

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KAZI DESTEK YAPILARININ VERİ MADENCİLİĞİ İLKELERİ İLE İNCELENMESİ

ÖZGÜR YILDIZ

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOTEKNİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. MEHMET M. BERİLGİN**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAZI DESTEK YAPILARININ VERİ MADENCİLİĞİ İLKELERİ İLE İNCELENMESİ

Özgür YILDIZ tarafından hazırlanan tez çalışması 26.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Mehmet M. BERİLGEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet M.BERİLGEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşe EDİNÇLİLER
Boğaziçi Üniversitesi

Doç. Dr. Havvanur KILIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Sadık ÖZTOPRAK
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Pelin ÖZENER
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu doktora tez çalışması kapsamında; destekli kazılarda meydana gelen zemin hareketleri ile bunlara etki eden faktörlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda inşası tamamlanmış derin kazılardan alınan arazi ölçümleri ile benzer literatür çalışmalarından elde edilen veriler ile oluşturulmuş veritabanı üzerinde incelemeler yapılmış, çağdaş bilgi işleme teknikleri ve sayısal analizlerden yararlanılarak geoteknik mühendisliği açısından yararlı bulgulara ulaşılmıştır.

Tez çalışması süresince ortaya koyduğu vizyon ve motivasyon ile çalışmaya özgün bir bakış açısı kazandıran, sunduğu katkı ve yönlendirmeler ile çalışmanın tamamlanmasında büyük emeği olan tez danışmanım Prof.Dr. Mehmet BERİLGİN'e gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Tez ilerleme süreçlerinde sundukları katkılardan ötürü Doç.Dr. Havvanur KILIÇ ve Doç.Dr. Sadık ÖZTOPRAK'a teşekkür ederim.

Çalışma süresince bigli ve tecrübelerini esirgemeyen Dr. Murat Ergenekon SELÇUK'a gönülden teşekkür ederim.

Derin kazılara ait verilerin kullanımına fırsat tanıyarak sundukları katkıdan ötürü İstanbul Büyükşehir Belediyesinin değerli yöneticilerine teşekkür ederim.

Çalışmanın veri toplama aşamasında yardımlarını esirgemeyen İnş. Yük. Müh. Bora GÜNDOĞDU'ya, İnş. Yük. Müh. Ahmet Dursun Üzüm'e, moral desteğini eksik etmeyen Harita Yük. Müh. Fırat EKİNCİ'ye gönülden teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan aileme, çalışma süresince gösterdiği sabır ve anlayış için eşime sonsuz teşekkür ederim.

Temmuz, 2019

Özgür YILDIZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ÖZET	xviii
ABSTRACT.....	xxi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Özeti	1
1.1.1 Terzaghi (1943) Kazı Stabilitesi Çalışmaları	2
1.1.2 Peck (1969) Yöntemi.....	3
1.1.3 Lambe (1970) tarafından yürütülen çalışmalar	4
1.1.4 Goldberg vd. (1976) tarafından yürütülen çalışmalar	4
1.1.5 Mana ve Clough (1981) Yöntemi	5
1.1.6 Bowles (1988) Yöntemi.....	7
1.1.7 Clough vd. (1989) Yöntemi	8
1.1.8 Clough ve O'Rourke (1990) Yöntemi	9
1.1.9 Ou vd. (1993) tarafından yürütülen çalışmalar	11
1.1.10 Hsieh ve Ou (1998) tarafından yürütülen çalışmalar	12
1.1.11 Addenbrooke (2000) tarafından yürütülen çalışmalar	14
1.1.12 Long (2001) veritabanı çalışmaları	15
1.1.13 Moormann (2004) veritabanı çalışmaları	18
1.1.14 Diğer Çalışmalar	24
1.2 Tezin Amacı	28
1.3 Hipotez	28

BÖLÜM 2

DERİN KAZILAR VE DESTEKLEME SİSTEMLERİ	29
2.1. Derin Kazılar	29
2.2. Derin Kazı Destekleme Sistemleri	34
2.2.1. Fore Kazıklı Duvarlar	34
2.2.2. Diyafram Duvarlar	35
2.2.3. Kuyu Perde Duvarlar	36
2.2.4. Palplanş Perdeler	37
2.3. Destekleme Sistemlerine Etkiyen Yanal Toprak Basınçları	42
2.3.1. Rankine Toprak Basınçları Teorisi	42
2.3.2. Coulomb Toprak Basıncı Teorisi	45
2.4. Destek Sistemlerine Etkiyen Toprak Basıncı Dağılımları	47
2.5. Derin Kazıların Stabilitesi	48
2.6. Derin Kazı Destekleme Sistemlerinde Yer Değiştirmeler	55
2.8. Derin Kazı Davranışına Etki Eden Faktörler	60
2.8.2. Duvar Rijitliği	61
2.8.4. Yatay Destek Elemanlarının Rijitliği	63
2.8.5. Kazı Tabanı ile Destek Elemanı Arasındaki Düşey Mesafe	63
2.8.6. Öngermeli Elemanlar	63
2.8.7. Kazı Derinliği	63
2.8.8. Gömme Derinliği	63
2.8.9. Soket Boyları	64
2.8.10. Duvar Arkası Zeminin Kayma Mukavemeti	64
2.8.11. Kazı Genişliği	64
2.8.12. Zemin Yapı Etkileşimi	64
2.8.13. İnşaat Yöntemi ve İşçilik	65
2.9. Destekli Kazılarda Aletsel Gözlem	65
2.9.1. Yeraltı ve Boşluk Suyu Ölçümleri	65
2.9.2. Yüzey ve Bina Oturma Bulonları	66
2.9.4. Ekstansometre	66
2.9.5. İnklinometre	67
2.9.6. Reflektör	67
2.9.7. Yük Hücresi	68

BÖLÜM 3

MODERN VERİ İŞLEME TEKNİKLERİ VE GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDEKİ UYGULAMALARI	69
3.1 Veri İşleme Sürecinin Aşamaları	69
3.1.1 Veri Toplama	69
3.1.2 Hazırlık	70
3.1.3 Giriş	70
3.1.4 İşleme	70
3.1.5 Çıktı ve Yorumlama	70
3.1.6 Depolama	71
3.2 Yapay Zeka Uygulamaları	71

3.2.1	Bulanık Mantık.....	71
3.2.2	Genetik Algoritma.....	72
3.2.3	Uzman Sistemler.....	73
3.2.4	Yapay Sinir Ağları	74
3.2.4.1	Tarihçesi	74
3.2.4.2	Yapısı ve Temel Özellikleri.....	75
3.2.4.3	Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme ve Öğrenme Algoritmaları.....	78
3.2.4.4	Tek Katmanlı Algılayıcılar	79
3.2.4.5	Basit Algılayıcı Modeli (Perceptron).....	79
3.2.4.6	Adaline Modeli	80
3.2.4.7	Çok Katmanlı Algılayıcılar (ÇKA)	80
3.2.4.8	İleri Beslemeli Ağlar.....	81
3.2.4.9	Geriye Beslemeli Ağlar	82
3.2.4.10	Levenberg-Marquardt Algoritması	83
3.3	Geoteknik Mühendisliğinde Veri Yönetimi ve Yapay Sinir Ağları	83
BÖLÜM 4		
GEOTEKNİK GÖZLEM YAPILMIŞ DERİN KAZILARIN İNCELENMESİ		89
4.1.	İncelenen Derin Kazı Projeleri.....	89
4.1.1.	Mecidiyeköy İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	90
4.1.2.	Çağlayan İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	90
4.1.3.	Giyimkent-Tekstilkent İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	91
4.1.4.	Yüzyıl İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	92
4.1.5.	Veysel Karani İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi.....	92
4.1.6.	Fulya İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	93
4.1.7.	Karadeniz Mahallesi İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	94
4.1.8.	Kazım Karabekir İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi.....	95
4.1.9.	Mahmutbey İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi.....	95
4.1.10.	Fıstıkağacı İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	96
4.1.11.	Üsküdar İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi.....	97
4.1.12.	Altunizade İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi.....	98
4.1.13.	Çekmeköy İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	98
4.1.14.	Ihlamurkuyu İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi.....	99
4.1.15.	Necip Fazıl İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi.....	100
4.1.16.	Türkîş Blokları İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	101
4.1.17.	Bostancı İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	101
4.1.18.	Kozyatağı İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	102
4.1.19.	Bayrampaşa Belediyesi Zeminaltı Otopark Kazı Destekleme Sistemi	103
4.1.20.	Kadıköy Hasanpaşa Pazaryeri ve Zeminaltı Otopark Projesi Kazı Destekleme Sistemi	104
4.1.21.	Merter Zeminaltı Otopark Projesi Kazı Destekleme Sistemi.....	104
4.1.22.	Yeşilpınar İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	105
4.1.23.	Göztepe İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	106
4.1.24.	Bulgurlu İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	106
4.1.25.	Dudullu İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi	107

4.1.26. Esenler Havaalanı Mahallesi Zeminaltı Otopark Projesi Kazı Destekleme Sistemi.....	108
4.1.27. Gaziosmapaşa Barbaros Hayrettin Paşa Kapalı Spor Salonu Projesi Kazı Destekleme Sistemi	109
4.1.28. Kadıköy Gençlik Merkezi Projesi Kazı Destekleme Sistemi	109
4.2. Derin Kazı Projelerinin Değerlendirilmesi	114
4.2.1. Jeolojik Ortamlarına Göre Yer Değiştirme Grafikleri	114
4.2.2. Jeolojik Tabakalanma Durumuna Göre Yer Değiştirme Grafikleri...	130
4.2.3. Kazı Destekleme Sistemine Göre Yer Değiştirme Grafikleri	146
4.3. Verilerin Literatür Çalışmalarıyla Değerlendirilmesi	166
BÖLÜM 5	
DERİN KAZI PROJELERİ VERİLERİ KULLANILARAK YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLEME.....	180
5.1. YSA Modeli Özellikleri	180
5.2. YSA Modelinin Denenmesi.....	184
5.3. YSA Modelinin Performansının Derin Kazı Projeleri ile Değerlendirilmesi	186
5.3.1. Fıstıkağacı İstasyonu Derin Kazısı	186
5.3.2. Mahmutbey İstasyonu Derin Kazısı	191
5.3.3. İhlamurkuyu İstasyonu Derin Kazısı.....	195
BÖLÜM 6	
YSA MODELİ VE SAYISAL ANALİZLERDEN ELDE EDİLEN YER DEĞİŞTİRMELERİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	199
6.1. Fıstıkağacı istasyonu derin kazısına ait yer değiştirme ölçümleri.....	199
6.2. Mahmutbey istasyonu derin kazısına ait yer değiştirme ölçümleri.....	205
6.3. İhlamurkuyu İstasyonu derin kazısına ait yer değiştirme ölçümleri	210
BÖLÜM 7	
SONUÇ VE ÖNERİLER	214
KAYNAKLAR.....	221
EK-A	
YSA MATLAB KODU	228
EK-B	
LİTERATÜR VERİLERİ.....	231
ÖZGEÇMİŞ.....	254

SİMGE LİSTESİ

A_1	Yapay sinir ağı birinci girdi elemanı
B	Kazı alanı genişliği
c	Zemin kohezyonu
c_u	Drenajsız kohezyon
D	Yüzey oturması etki alanı
E	Young modülü
EA	Normal rijitlik
EI	Eğilme rijitliği
h	Destek elemanları arası düşey açıklık
H_e	Kazı derinliği
H_p	Gömme derinliği
H_g	Kaya tabanı derinliği
K_{ac}	Coulomb aktif itki katsayısı
K_p	Pasif zemin itki katsayısı
K_a	Aktif zemin itki katsayısı
L	Kazı alanı uzunluğu
N_b	Stabilite faktörü
N_{cb}	Kritik stabilite faktörü
P_p	Zemin pasif itkisi
P_a	Zemin aktif itkisi
q_a	Eşdeğer serbest basınç direnci
R	Duvar göçme yüzeyinde doğan toplam kuvvet
R_f	Göçme oranı
R_i	Düğüm noktası yükseklik indisi
W	Toplam duvar ağırlığı
W_1	Yapay Sinir ağı birinci ağırlık değeri
ϕ_u	Drenajsız kayma mukavemeti açısı
ϕ'	Efektif içsel sürtünme açısı
α	Duvar arkası zeminin duvarla yaptığı açı
Z_c	Çekme çatlağı derinliği
δ	Duvar sürtünme açısı
γ	Birim hacim ağırlığı
γ_k	Kuru birim hacim ağırlık
γ_a	Eşdeğer birim hacim ağırlık
γ_s	Zeminin birim hacim ağırlık

γ_{eq}	Eşdeğer birim hacim ağırlığı
γ_w	Suyun birim hacim ağırlığı
θ_1	Göçme yüzeyinin duvar arkası açısı
ν	Poisson oranı
ψ	Genleşme açısı
S_u	Kayma mukavemeti
Δ	Yer değiştirme esnekliği
$\delta_{v \max}$	Maksimum zemin yüzeyi oturması
$\delta_{h \max}$	Maksimum duvar yatay yer değiştirmesi
σ_a	Aktif yanıl zemin gerilmesi
σ_h	Zemin yatay gerilmesi
σ_v	Zemin düşey gerilmesi
σ_1	Büyük asal zemin gerilmesi
σ_3	Küçük asal zemin gerilmesi
ϕ	Kayma mukavemeti açısı



KISALTMA LİSTESİ

ASTM	American Society of Testing and Materials
ART	Adaptif Rezonans Teorisini
BS 8002-1994	British Standart - Code of Practice for Earth Retaining Structures
CPT	Kon Penetrasyon Testi
ÇKA	Çok Katmanlı Algılayıcı
DB	Dudullu Bostancı
EN 1997-1	Eurocode 7 Geotechnical Design
KMM	Kabataş Mecidiyeköy Mahmutbey
LM	Levenberg-Marquardt Algoritması
MSE	Ortalama Karesel Hata
MAE	Ortalama Mutlak Hata
RMSE	Ortalama Hata Kareleri Kökü
SPT	Standart Penetrasyon Testi
UUCS	Üsküdar Ümraniye Çekmeköy Sancaktepe
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Yumuşak zeminlerde kazı stabilitesi	3
Şekil 1.2	Kazı yüzeyine olan uzaklığa bağlı oturma diyagramı [1]	4
Şekil 1.3	Kil zeminlerde duvar rijitliği ve zemin stabilite sayısının yer değiştirmeler üzerindeki etkisi [5].....	5
Şekil 1.4	Kazı geometrisi ve güvenlik sayısı yaklaşımı	6
Şekil 1.5	Kazı tabanı kabarmasına karşı güvelik sayısı ile maksimum yatay yer değiştirme arasındaki ilişki [6]	6
Şekil 1.6	Zemin yüzeyi oturmalarının tahmini [8]	7
Şekil 1.7	Kazı tabanı kabarmasına karşı güvelik sayısına bağlı olarak normalize edilmiş yatay yer değiştirmeler ile sistem rijitliği arasındaki ilişki (Clough vd. [9])	8
Şekil 1.8	Zemin hareketi tipleri [10]	10
Şekil 1.9	Zemin yüzeyi oturmaları etki alanı [11]	12
Şekil 1.10	Zemin yüzeyi oturma tipleri [12]	13
Şekil 1.11	Maksimum yatay yer değiştirme ve zemin yüzeyi oturmasının destek rijitliği ile değişimi [13].....	14
Şekil 1.12	Yumuşak zemin kalınlığının düşük olduğu durumlarda yatay yer değiştirmelerin kazı derinliği ile ilişkisi [14]	15
Şekil 1.13	Yumuşak zemin kalınlığının düşük olduğu durumlarda yatay yer değiştirmelerin sistem rijitliği ile ilişkisi [14].....	16
Şekil 1.14	Yumuşak zemin kalınlığının düşük olduğu durumlarda yatay yer değiştirmelerin Addenbrooke Esneklik Katsayısıyla değişimi [14]	16
Şekil 1.15	Destekli sistemlerde normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin sistem rijitliğiyle ilişkisi [14].....	17
Şekil 1.16	Aşırı deformasyonlara neden olan faktörler[14]	18
Şekil 1.17	Derin kazı iksa ve destek sistemiyle ilgili notasyonlar [15].....	18
Şekil 1.18	Yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğiyle ilişkisi [15]	20
Şekil 1.19	Maksimum yatay yer değiştirmenin ölçüldüğü kazı derinliği ile nihai kazı derinliğinin ilişkisi [15]	21
Şekil 1.20	Ölçülen maksimum zemin yüzeyi oturmasının kazı derinliğiyle ilişkisi [15] .	22
Şekil 1.21	Yatay yer değiştirmelerin sistem rijitliği ile ilişkisi [15].....	23
Şekil 2.1	Ankrajlı kazı yöntemi.....	30
Şekil 2.2	İçten destekli kazı yöntemi	31
Şekil 2.3	Kazı yöntemleri (a) şevli kazı, (b) dik kazı.....	31

Şekil 2.4	Yukarıdan aşağıya inşaat yöntemi	32
Şekil 2.5	Bölgesel kazı yöntemi (a) geniş kazı alanı, (b) bölgelere ayrılmış kazı alanı .	33
Şekil 2.6	Ada kazı yöntemi, (a) kesit görünüşü, (b) plan görünüşü	33
Şekil 2.7	Fore kazıklı duvar tipleri (a) aralıklı, (b,c) teğet, (d) kesişen, (e) karışık dizilimli	34
Şekil 2.8	Diyafram duvar kesit görünüşleri	35
Şekil 2.9	Kuyu perde duvar	37
Şekil 2.10	Palplanş perde duvar kesitleri	38
Şekil 2.11	Püskürtme beton kaplamalı duvar	40
Şekil 2.12	Berlin duvarı şematik gösterimi (a) önden görünüş, (b) kesit görünüşü	41
Şekil 2.13	Ahşap kaplamalı Berlin duvarı	41
Şekil 2.14	Aktif Rankine toprak basıncı durumunda mohr daireleri ve göçme zarfı [32]	43
Şekil 2.15	Rankine pasif zemin toprak basıncı [32]	45
Şekil 2.16	Coulomb kama yöntemiyle aktif itki [28]	46
Şekil 2.17	Coulomb pasif toprak basıncı [28]	47
Şekil 2.18	Farklı zemin tiplerine göre gerilme dağılımı [32]	48
Şekil 2.19	Kazı destek sistemlerinde görülen stabilite problemleri	50
Şekil 2.20	Kazı tabanı kabarması [7]	52
Şekil 2.21	Ankrajlı sistemlerde yerel stabilite bozuklukları	53
Şekil 2.22	Zemin çivili sistemlerde yerel stabilite bozuklukları	54
Şekil 2.23	Kazık imalat bozuklukları	55
Şekil 2.24	İksa sisteminde ve zemin yüzeyinde görülen yer değiştirme tipleri	56
Şekil 2.25	Konkav tipli zemin yüzeyi oturması [11]	57
Şekil 2.26	Kazı tabanı kabarması	58
Şekil 2.27	Kazıdan kaynaklı toplam ve efektif gerilme değişimi izleri (19)	59
Şekil 2.28	Kazı tabanı kabarmasına karşı güvelik sayısı ile maksimum yatay yer değiştirme arasındaki ilişki [6]	62
Şekil 2.29	Kazı tabanı kabarmasına karşı güvelik sayısına bağlı olarak normalize edilmiş yatay yer değiştirmeler ile sistem rijitliği arasındaki ilişki (Clough vd. [10])	62
Şekil 2.30	Boşluk suyu basıncı ölçer	66
Şekil 2.31	Çatlak ölçer	66
Şekil 2.32	Çubuk ekstansometre	67
Şekil 2.33	İnklinometre	67
Şekil 2.34	Reflektör	68
Şekil 2.35	Yük hücresi	68
Şekil 3.1	Yapay sinir ağı modeli	76
Şekil 3.2	Tek katmanlı algılayıcı modeli [56]	79
Şekil 3.3	Basit algılayıcı modeli [58]	80
Şekil 3.4	Adaline ağ modeli	80
Şekil 3.5	Çok katmanlı algılayıcı modeli	81
Şekil 3.6	İleri beslemeli ağ modeli [57].	82
Şekil 3.7	Geriye beslemeli ağ modeli [60]	83
Şekil 3.8	Yapay sinir ağı metodunun diğer yöntemlere ait sonuçlar ile karşılaştırılması [65]	86
Şekil 4.1	Mecidiyeköy İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri	90

Şekil 4.2	Çağlayan İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	91
Şekil 4.3	Giyimkent-Tekstilkent İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	91
Şekil 4.4	Yüzyıl İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	92
Şekil 4.5	Veysel Karani İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	93
Şekil 4.6	Fulya İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	94
Şekil 4.7	Karadeniz Mahallesi İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	94
Şekil 4.8	Kazım Karabekir İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	95
Şekil 4.9	Mahmutbey İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	96
Şekil 4.10	Fıstıkağacı İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	97
Şekil 4.11	Üsküdar İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	97
Şekil 4.12	Altunizade İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	98
Şekil 4.13	Çekmeköy İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	99
Şekil 4.14	İhlamurkuyu İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	100
Şekil 4.15	Necip Fazıl İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	100
Şekil 4.16	Türkîş Blokları İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	101
Şekil 4.17	Bostancı İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili.....	102
Şekil 4.18	Kozyatağı İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili.....	103
Şekil 4.19	Merter Zeminaltı Otopark inşaatı derin kazısına ait ideal zemin profili.....	105
Şekil 4.20	Yeşilpınar İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	105
Şekil 4.21	Göztepe İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili.....	106
Şekil 4.22	Bulgurlu İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri.....	107
Şekil 4.23	Dudullu İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili.....	108
Şekil 4.24	Gaziosmapaşa Barbaros Hayrettin Paşa Kapalı Spor Salonu inşaatı derin kazısına ait ideal zemin profili.....	109
Şekil 4.25	Kadıköy Gençlik Merkezi inşaatı derin kazısına ait ideal zemin profili.....	110
Şekil 4.26	Ölçülen yatay yer değıştirmelerin kazı derinliğine bağılı değışimi.....	115
Şekil 4.27	Ölçülen yatay yer değıştirmelerin kazı derinliğine oranı ile kazı derinliği arasındaki ilişki.....	116
Şekil 4.28	Ölçülen maksimum yatay yer değıştirmeler ile analizlerden elde edilen yatay yer değıştirmeler arasındaki ilişki.....	117

Şekil 4.29	Ölçülen yatay yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelere oranıyla kazı derinliği arasındaki ilişki	118
Şekil 4.30	Ölçülen yatay yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelere oranıyla kazı derinliğinin logaritması arasındaki ilişki	119
Şekil 4.31	Ölçülen düşey yer değiştirmeler ile ölçülen yatay yer değiştirmeler arasındaki ilişkisi	120
Şekil 4.32	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin kazı derinliğiyle ilişkisi.....	121
Şekil 4.33	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin kazı derinliğine oranı ile kazı derinliği arasındaki ilişki	122
Şekil 4.34	Ölçülen düşey yer değiştirmeler ile analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmeler arasındaki ilişki	123
Şekil 4.35	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelere oranının kazı derinliğiyle değişimi	124
Şekil 4.36	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen maksimum düşey yer değiştirmeye oranının kazı derinliğinin logaritmasıyla değişimi.....	125
Şekil 4.37	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin duvar yüzüne olan mesafeyle değişimi	126
Şekil 4.38	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin duvar yüzüne olan mesafenin logaritmasıyla değişimi	127
Şekil 4.39	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin yatay yer değiştirmelere oranı ile analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelerin yatay yer değiştirmelere oranı arasındaki ilişki.....	128
Şekil 4.40	İncelenen kesitlere ait oturma verilerinin Peck (1969) oturma diyagramında gösterimi	129
Şekil 4.41	Ölçülen yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğine bağlı değişimi	131
Şekil 4.42	Ölçülen yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğine oranı ile kazı derinliği arasındaki ilişki	132
Şekil 4.43	Ölçülen yatay yer değiştirmeler ile analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmeler arasındaki ilişki	133
Şekil 4.44	Ölçülen yatay yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelere oranıyla kazı derinliği arasındaki ilişki	134
Şekil 4.45	Ölçülen yatay yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelere oranıyla kazı derinliğinin logaritması arasındaki ilişki	135
Şekil 4.46	Ölçülen düşey yer değiştirmeler ile ölçülen yatay yer değiştirmelerin ilişkisi	136
Şekil 4.47	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin kazı derinliğiyle ilişkisi.....	137
Şekil 4.48	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin kazı derinliğine oranı ile kazı derinliği arasındaki ilişki	138
Şekil 4.49	Ölçülen düşey yer değiştirme ile analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme arasındaki ilişki.....	139
Şekil 4.50	Ölçülen düşey yer değiştirmenin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmeye oranının kazı derinliğiyle değişimi.....	140
Şekil 4.51	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelere oranının kazı derinliğinin logaritmasıyla değişimi	141
Şekil 4.52	Ölçülen maksimum düşey yer değiştirmenin duvar yüzüne olan mesafeyle değişimi.....	142

Şekil 4.53	Ölçülen düşey yer değiştirmenin duvar yüzüne olan mesafenin logaritmasıyla değişimi	143
Şekil 4.54	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin yatay yer değiştirmelere oranı ile analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelerin yatay yer değiştirmelere oranı arasındaki ilişki	144
Şekil 4.55	İncelenen kesitlere ait oturma verilerinin Peck (1969) oturma diyagramında gösterimi	145
Şekil 4.56	Ölçülen yatay yer değiştirmenin kazı derinliğine bağlı değişimi	147
Şekil 4.57	Ölçülen yatay yer değiştirmenin kazı derinliğine oranı ile kazı derinliği arasındaki ilişki	148
Şekil 4.58	Ölçülen maksimum yatay yer değiştirme ile analizlerden elde edilen maksimum yatay yer değiştirme arasındaki ilişki	149
Şekil 4.59	Ölçülen yatay yer değiştirmenin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmeye oranıyla kazı derinliği arasındaki ilişki	150
Şekil 4.60	Ölçülen maksimum yatay yer değiştirmenin analizlerden elde edilen maksimum yatay yer değiştirmeye oranıyla kazı derinliği arasındaki ilişki	151
Şekil 4.61	Ölçülen düşey yer değiştirmeler ile ölçülen yatay yer değiştirmelerin ilişkisi	152
Şekil 4.62	Ölçülen düşey yer değiştirmenin kazı derinliğiyle ilişkisi	153
Şekil 4.63	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin kazı derinliğine oranı ile kazı derinliği arasındaki ilişki	154
Şekil 4.64	Ölçülen düşey yer değiştirmeler ile analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmeler arasındaki ilişki	155
Şekil 4.65	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelere oranının kazı derinliğiyle değişimi	156
Şekil 4.66	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelere oranının kazı derinliğinin logaritmasıyla değişimi	157
Şekil 4.67	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin duvar yüzüne olan mesafeyle değişimi	158
Şekil 4.68	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin duvar yüzüne olan mesafenin logaritmasıyla değişimi	159
Şekil 4.69	Ölçülen düşey yer değiştirmelerin yatay yer değiştirmelere oranı ile analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelerin yatay yer değiştirmelere oranı arasındaki ilişki	160
Şekil 4.70	İncelenen kesitlere ait verilerin Peck (1969) oturma diyagramında gösterimi	161
Şekil 4.71	Tasarım durumlarının oransal gösterimi	163
Şekil 4.72	Tasarım durumlarının oransal gösterimi	163
Şekil 4.73	Ölçülen ve analizlerden elde edilen maksimum yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine göre durumlarının oransal gösterimi	164
Şekil 4.74	Ölçülen ve analizlerden elde edilen maksimum yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine göre durumlarının oransal gösterimi	165
Şekil 4.75	Normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğine bağlı değişimi	166
Şekil 4.76	Farklı duvar tiplerine göre ölçülen maksimum yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğiyle ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterim	168

Şekil 4.77	Farklı duvar tiplerine göre ölçülen normalize edilmiş maksimum yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğiyle ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterim	169
Şekil 4.78	Kazı derinliğiyle normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin literatür verileriyle birlikte özet gösterimi	171
Şekil 4.79	Farklı duvar tiplerine göre ölçülen maksimum zemin yüzeyi oturmalarının kazı derinliğiyle ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterim	172
Şekil 4.80	Farklı duvar tiplerine göre ölçülen normalize edilmiş maksimum zemin yüzeyi oturmalarının kazı derinliğiyle ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterim	173
Şekil 4.81	Farklı duvar tiplerine göre ölçülen normalize edilmiş maksimum zemin yüzeyi oturmalarının kazı derinliğiyle ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterim	174
Şekil 4.82	Normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerinin sistem rijitliğiyle ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterimi	177
Şekil 4.83	Normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin esneklik katsayısıyla ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterimi	178
Şekil 4.84	İncelenen kesitlere ait normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin jeolojik ortamın elastisite modülüyle ilişkisi	178
Şekil 4.85	İncelenen kesitlere ait normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmalarının jeolojik ortamın elastisite modülüyle ilişkisi	179
Şekil 5.1	İncelenen bir kazı kesitine ait şematik gösterim.....	181
Şekil 5.2	Yapay sinir ağı modelinin şematik gösterimi	182
Şekil 5.3	Yapay sinir ağı analiz ekranı	183
Şekil 5.4	Hedeflenen ve elde edilen değerlerden oluşan eğriler	184
Şekil 5.5	INC-1 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	187
Şekil 5.6	INC-2 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	188
Şekil 5.7	INC-4 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	189
Şekil 5.8	INC-5 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	190
Şekil 5.9	INC-6 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	191
Şekil 5.10	INC-2 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	192
Şekil 5.11	INC-3 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	193
Şekil 5.12	INC-4 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	194
Şekil 5.13	INC-5 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	195
Şekil 5.14	INC-1 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	196
Şekil 5.15	INC-2 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	197

Şekil 5.16	INC-3 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	198
Şekil 6.1	INCL-01 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	200
Şekil 6.2	INCL-02 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	201
Şekil 6.3	INCL-04 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	202
Şekil 6.4	INCL-05 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	203
Şekil 6.5	INCL-06 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	204
Şekil 6.6	INCL-02 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	206
Şekil 6.7	INCL-03 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	207
Şekil 6.8	INCL-04 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	208
Şekil 6.9	INCL-05 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	209
Şekil 6.10	INCL-01 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	210
Şekil 6.11	INCL-02 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	211
Şekil 6.12	INCL-03 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi	212

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1	En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları.....76
Çizelge 3. 2	Yapay sinir ağlarının geleneksel algoritmalarla karşılaştırılması.....78
Çizelge 3. 3	Ölçülen ve tahmin edilen oturma değerleri [63].....86
Çizelge 4. 1	İncelenen derin kazı projelerine ait özet bilgiler.....111
Çizelge 4. 2	İncelenen derin kazı projelerine ait ortalama yer değiştirme verileri...130
Çizelge 4. 3	İncelenen derin kazı projelerine ait ortalama yer değiştirme verileri...146
Çizelge 4. 4	İncelenen derin kazı projelerine ait ortalama yer değiştirme verileri...162
Çizelge 4.5	Duvar tiplerine göre incelenen vakalar ile literatür çalışmalarına ait özet yatay yer değiştirme verileri..... 170
Çizelge 4.6	Duvar tiplerine göre incelenen vakalar ile literatür çalışmalarına ait özet yer değiştirme verileri..... 175
Çizelge 5.1	YSA modelinden elde edilen hedeflenen ve tahmin edilen değerler....185
Çizelge 6.1	Fıstıkağacı istasyonu derin kazısına ait ölçülen, tahmin edilen ve sayısal modellemelerden elde edilen maksimum yer değiştirmeler ve derinlikleri.....205
Çizelge 6.2	Mahmutbey istasyonu derin kazısına ait ölçülen, tahmin edilen ve hesaplanan maksimum yer değiştirmeler ve derinlikleri.....209
Çizelge 6.3	Ihlamurkuyu istasyonu derin kazısına ait ölçülen, tahmin edilen ve hesaplanan maksimum yer değiştirmeler ve derinlikleri.....213

KAZI DESTEK YAPILARININ VERİ MADENCİLİĞİ İLKELERİ İLE İNCELENMESİ

Özgür YILDIZ

Geoteknik Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet M.BERİLGİN

Günümüzde, şehir nüfusunun hızlı ve kontrolsüz bir şekilde artması, yerleşim alanlarının planlama ve şehircilik ilkeleri gözetilmeksizin oluşturulması ve parsel değerlerinin öngörülmemiş bir hızla yükselmesi şehirlerdeki yapılaşmanın karakterini belirleyen en önemli faktörler haline gelmiştir. Artan nüfus yoğunluğu ve nüfusun belli merkezlerde yoğunlaşması sebebiyle şehir merkezlerindeki boş parsel alanlarına, bodrum kat sayısı fazla olan yüksek yapılar inşa edilerek parsel alanlarının olabildiğince verimli kullanılması amaçlanmaktadır.

Derin kazılarda kullanılan destekleme sistemleri, kazı alanını en aza indirmek, kazı kenarlarını sabit tutmak ve hareketlerin komşu yapılara ya da çevre alanlara zarar vermesini önlemek amacıyla kullanılan yapılardır. Kazı çukurunun desteklenmesinde, kazı alanı açıklığına ve kazı derinliğine, çevre yapıların durumuna ve zeminin özelliklerine uygun destekleme sistemleri seçilmelidir. Bu sistemler ahşap, beton veya çelik iksa yapıları, diyafram duvarlar, yerinde dökme kazıklar, püskürtme beton ve zemin çivili duvarlar olabilir.

Bu doktora tezi çalışmasıyla destekli kazılarda meydana gelen zemin hareketleri ve bunlara etki eden faktörlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda inşası tamamlanmış derin kazılardan alınan arazi ölçümleri ve benzer literatür çalışmalarından elde edilen veriler ile oluşturulmuş veritabanı üzerinde incelemeler yapılmış, çağdaş bilgi işleme teknikleri ve sayısal analizlerden yararlanılmıştır. Arazi gözlemleri, İstanbul ve çevresinde inşa edilmiş, aletsel gözlem yapılan destekli derin kazılardan toplanmıştır. Derin kazılardan alınan ölçümler literatür çalışmalarıyla birlikte değerlendirilmiş, bir

Çağdaş bilgi işleme tekniği olan yapay sinir ağları yaklaşımı kullanarak farklı kazı aşamalarında oluşan yer değiştirmelerin tahmini gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen model ile farklı kazı aşamalarında tahmin edilen ve sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen yer değiştirme değerleri, saha ölçümleri ile karşılaştırılarak modelin başarı performansı değerlendirilmiş, yaklaşımın ileride inşa edilecek derin kazı projelerinde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Derin kazılar, kazı destekleme sistemleri, yatay yer değiştirmeler, veri madenciliği, yapay sinir ağları



**INVESTIGATION OF THE EXCAVATION SUPPORT STRUCTURES WITH DATA
MINING PRINCIPLES**

Özgür YILDIZ

Department of Civil Engineering

Doctoral Thesis

Adviser: Prof. Dr. Mehmet M.BERİLGİN

Today, the rapid and uncontrolled growth of the urban population, the generation of residential areas regardless of city planning principles, and the unprecedented rise of parcel values, expose as the most important factors determining the character of urban settlement. With increasing population density and concentration of the population in certain centers, it is aimed to construct the high number of basement floors in the empty parcel areas in the city centers and to use the parcel areas as efficiently as possible.

Support systems used in deep excavations are structures that are used to minimize the excavation area, to keep the edges of excavations steady and to prevent the movements to damage neighboring structures or surrounding areas. In support of the excavation pit, support systems should be selected according to the depth and span of the excavation, surrounding facilities and the properties of the soil layer. These systems may include concrete, wood or steel structures, diaphragm walls, reinforced concrete piles, shotcrete and soil nailed walls.

The aim of this doctoral thesis is to investigate the ground movements and the factors affecting them. In accordance with this purpose, field measurements compiled from the deep excavations and the data obtained from the literature studies were performed and modern data processing techniques and numerical analyses were used. The field measurements were collected from the instrumented deep excavations built in and around Istanbul. The measurements compiled from the deep excavations were

evaluated together with the literature studies, the displacement of the various excavation stages was estimated with using artificial neural network approach which is a modern data processing method. The success of the developed model was evaluated by comparing the estimated displacement values at different excavation stages with the displacement values obtained from the finite element method and field measurements and use of this approach was evaluated for prospective deep excavation projects.

Keywords: Deep excavations, excavation support systems, horizontal displacements, data mining, artificial neural networks



1.1. Literatür Özeti

Kentsel gelişimin önündeki en önemli problemlerden biri olan yüksek arazi maliyetinin optimize edilmesi ve inşaat alanlarının arttırılması amacıyla zeminaltı yapıları inşaat mühendislerince yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek binaların ve diğer inşaat mühendisliği yapılarının geliştirilmesiyle, yeraltı yapıları, metro yapıları ve servis tünelleri gibi yapıların inşasında derin kazı inşaatlarına sıklıkla ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kazıların stabilitesini sağlamak için uygun iksa duvarı ve destekleme sistemlerinin kullanılması gerekmektedir. Yetersiz iksa ve destekleme sistemi tasarımı, aşırı yer hareketlerine ve buna bağlı göçmelerin meydana gelmesine, inşaat süresinde gecikmelerin yaşanmasına, proje tarafları arasında anlaşmazlıkların ortaya çıkmasına ve maliyet aşımına neden olmaktadır.

Derin kazılar, zeminin gerilme durumunda değişim meydana getirmekte, bu değişim kazı alanı ve çevresinde yatay ve düşey zemin hareketlerine neden olmaktadır. Kazı sahaları içinde kazının stabilitesini sağlamak, kazı sahasının çevresinde bulunan bina, yol ve tesislerde oluşabilecek hasarın önüne geçmek ve zemin yer değiştirmelerini kabul edilebilir sınırlarda tutmak için göçme, kayma ve şekil değiştirmelere engel olacak destekleme sistemleri seçilmeli, bu doğrultuda gerekli analizler yapılmalıdır.

Kazı alanında meydana gelen zemin hareketleri; kazı alanının geometrisi, kullanılan inşaat yöntemi, seçilen iksa ve destek tipi, zemin koşulları, yeraltı su seviyesi ve çevre yapıları gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerin büyük çoğunluğu uygulama alanını yansıtan faktörler olduğundan yalnızca teorik hesaplamalar üzerinden yapılan tahminlerin başarı yüzdeleri düşük kalmaktadır.

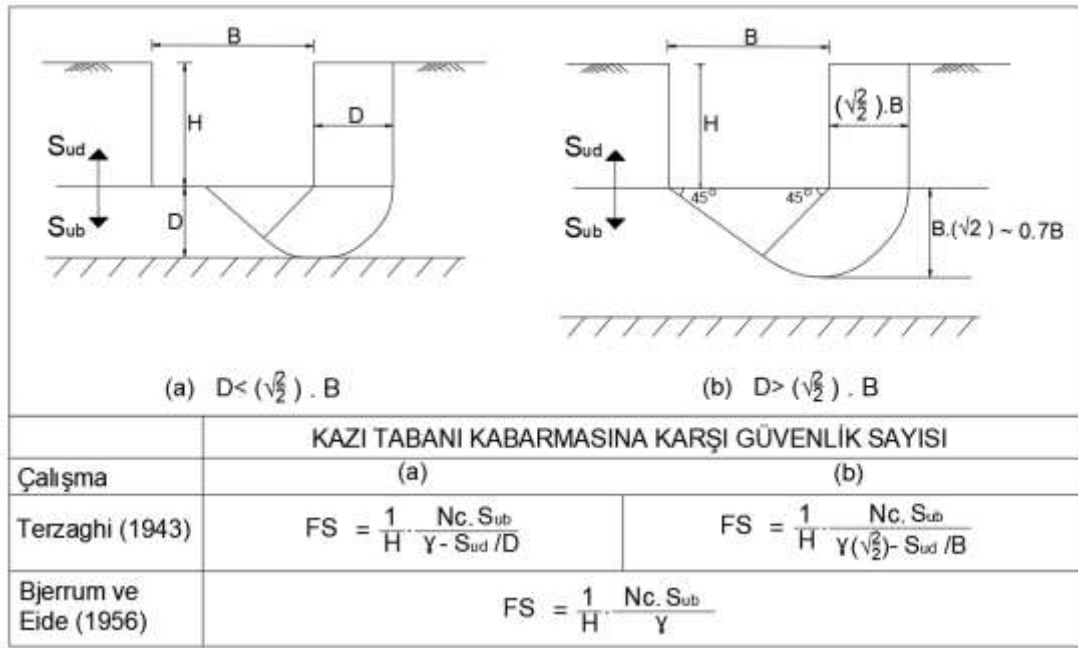
Doğrusal olmayan yapısı sebebiyle karmaşık bir davranış sergileyen zemin ve kayaların modellenmesi zor olduğundan yer hareketlerinin tahminine yönelik geliştirilmiş modellerde, zemin parametrelerinin doğru tanımlanmış olması ve arazi koşullarını yeterli doğrulukta yansıtabilmesi büyük önem arz etmektedir. İksa yapılarında görülen yer değiştirmeleri tahmin etmek amacıyla ya bir veri tabanından yararlanılarak amprik tahminler geliştirilmekte ya da sonlu elemanlar ve sonlu farklar gibi numerik interpolasyon yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Farklı yöntemlerle şekil değiştirmelerin tahminine yönelik geliştirilen analitik ve sayısal modellerden elde edilen sonuçlar saha verileri ile karşılaştırılarak bu modellerin başarısı hakkında doğru sonuçlara ulaşılmaktadır.

1.1.1 Terzaghi (1943) Kazı Stabilesi Çalışmaları

Derin kazılar üzerine yapılan ilk teorik çalışmalar Terzaghi [1] tarafından, kil zeminlerde inşa edilen derin kazılarda, taban stabilesini analiz etmek amacıyla yürütülmüştür. Bu çalışmalarda geliştirilen yöntemler ile yumuşak zeminlerde inşa edilen derin kazıların tasarımında taban stabilesinin önemli bir faktör olduğu ortaya konulmuştur. Destek elemanlarına gelen yükler ve kazı alanında oluşan deformasyonların kazı tabanı stabilesine bağlı olduğu ifade edilmiştir. Bjerrum ve Eide [2], Terzaghi [1] tarafından geliştirilmiş yöntemi, kullandıkları taşıma gücü kapasitesi faktörü N_c ile yeniden düzenlemiştir. Taban stabilesi faktörü olarak birçok defa N_b stabilite sayısı da kullanılmaktadır. N_b stabilite sayısı;

$$N_b = \gamma \cdot H / S_u \quad (1.1)$$

eşitliğiyle hesaplanmaktadır. γ , zeminin birim hacim ağırlığını; H , kazı derinliğini ve S_u , kazı tabanı altındaki zeminin kayma mukavemetini temsil etmektedir. Çalışmada, kazı geometrisinin kazı tabanı stabilesine etkileri, uzunluk-genişlik (L/B) ve derinlik-genişlik (H/B) oranları açısından da incelenmiştir (Şekil 1.1).

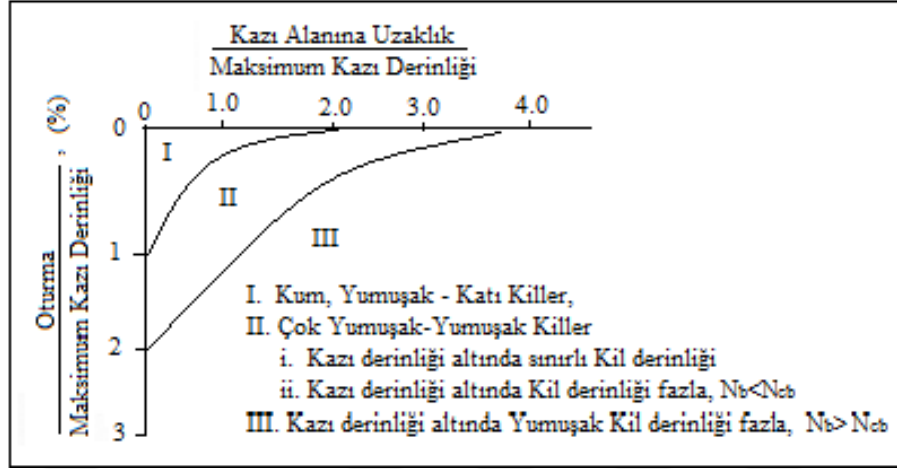


Şekil 1.1 Yumuşak zeminlerde kazı stabilitesi

1.1.2 Peck (1969) Yöntemi

Peck [3] tarafından yapılan çalışmalar ile farklı zemin türlerinde kazı alanına olan uzaklığa bağlı olarak oluşan yüzey oturmaları grafik ortamda gösterilmiştir. Çalışmada geliştirilen oturma diyagramında kullanılan vaka analizleri palplanş perdeler ile göğüsleme kirişli kazıklı destekleme sistemlerinden oluşmaktadır. Çalışmada incelenen vakalardan elde edilen oturma verileri, zemin ve işçilik türüne bağlı olarak üç bölgeye ayrılmıştır. Kum, yumuşak ve katı killerde inşa edilen derin kazılarda oluşan oturmalar I. bölgede gösterilmekte ve maksimum kazı derinliğinin % 1' iyle sınırlandırılmaktadır. Bu bölgede oluşan oturmaların kazı alanına olan uzaklığı, maksimum kazı derinliğinin 2 katı kadardır. Çok yumuşak ve yumuşak killerde inşa edilen derin kazılarda oluşan oturmalar, kazı derinliği altındaki kil derinliğine de bağlı olarak II. bölgede gösterilmekte ve maksimum kazı derinliğinin % 2' siyle sınırlandırılmaktadır. II. bölgede oluşan oturmaların kazı alanına olan uzaklığı, maksimum kazı derinliğinin 2 katı ile 4 katı arasında değişmektedir. Diyagramda, kazı derinliği altındaki yumuşak kil tabakasının fazla olduğu zeminlerde inşa edilen derin kazılarda oluşan oturmalar III. bölgede gösterilmiştir. Kazı derinliğinin % 2' sinden büyük olan bu oturmalar, kazı alanına maksimum kazı derinliğinin 4 katı kadar mesafe yakınlığında ve daha uzak mesafelerde oluşmaktadır. Peck [3] tarafından

geliştirilen oturma diyagramı, zemin yüzeyi oturmalarını tahmin etmek için geliştirilmiş ilk pratik yaklaşımdır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Kazı yüzeyine olan uzaklığa bağlı oturma diyagramı [1]

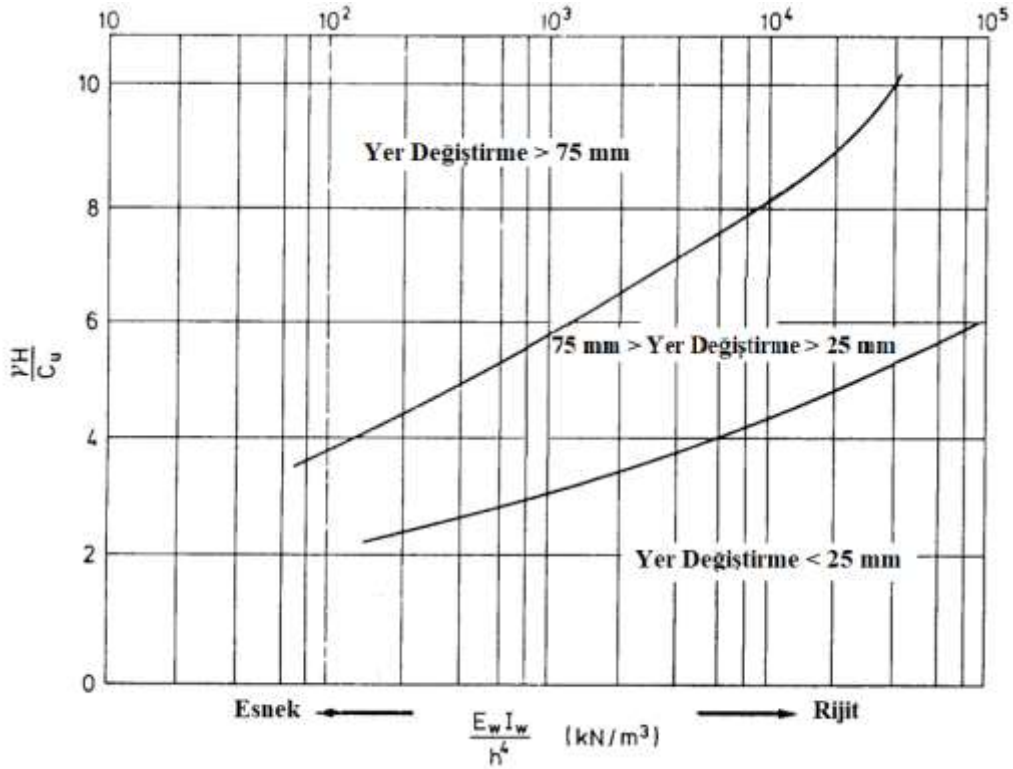
1.1.3 Lambe (1970) tarafından yürütülen çalışmalar

Lambe [4], derin kazı ve destekleme sistemlerinin tasarımı ve analizleri üzerine çalışmalar yürütmüş, derin kazılarda oluşan yer hareketlerine etki eden faktörler üzerinde değerlendirmeler yapmıştır. Boston şehrindeki metro istasyonuna ait 3 derin kazı inşaatında ölçülen deformasyon değerlerine ait tahminlerin yapıldığı çalışmada, destek yüklerinin ve zemin hareketlerinin yeterli güvenilirlikle tahmin edilememesi sebebiyle derin kazıların tasarım ve analizinden elde edilen bulgular yeterli bulunmamıştır. Çalışmada sonlu eleman analizi ve vaka analizlerinden elde edilen tecrübelerin derin kazıların performansı hakkında önemli bilgiler verdiği ortaya konulmaktadır.

1.1.4 Goldberg vd. (1976) tarafından yürütülen çalışmalar

Goldberg vd. [5] tarafından kazı davranışlarının anlaşılmasına yönelik tasarım örnekleri ve bunların pratik uygulamaları incelenmiş, destekli kazıların tasarımı ve inşaat uygulamaları kapsamlı bir şekilde özetlenmiştir. Kazı destekleme duvarının eğilme rijitliğinin $E_w.l_w$, destek elemanları arası düşey mesafenin h ile gösterildiği çalışmada $\gamma.H/C_u$, kazı seviyesi üzerindeki zemin yükünün kayma mukavemetine oranını ifade etmektedir. Sistem rijitliği ve derin kazılarda meydana gelen yanal şekil değiştirmelerin incelendiği çalışmada şekil değiştirme tahminine yönelik bir takım grafikler önerilmiştir.

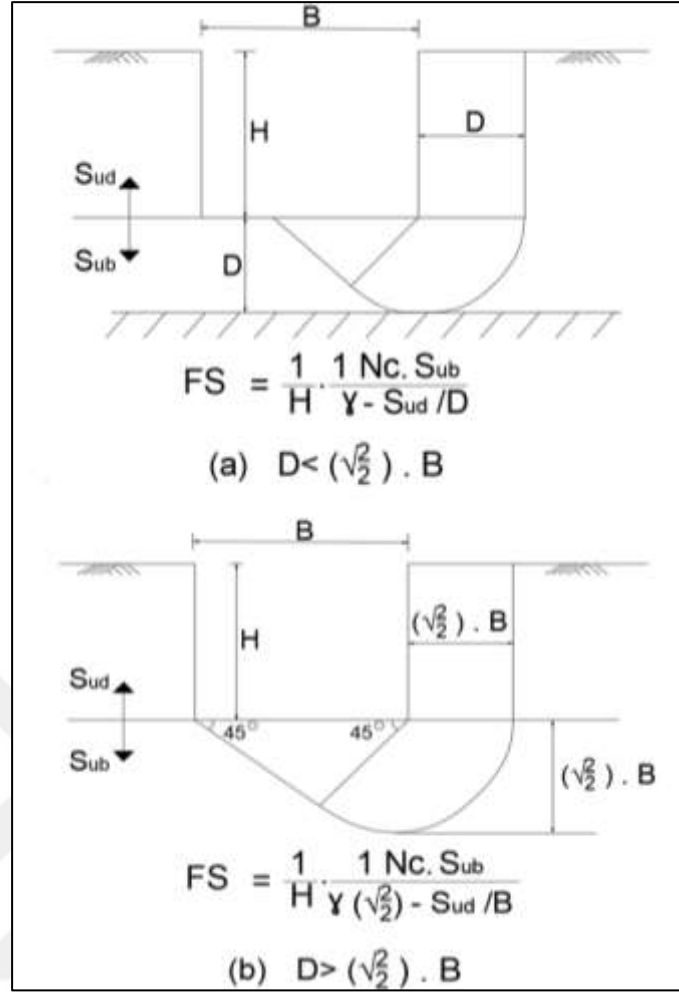
(Şekil 1.3). Son 25 yılda önemli bir değişiklik yapılmamış temel tasarımı kavramları ve pratik uygulamalar hakkında bu çalışma ile yeni yaklaşımlar getirilmiş, yapım yöntemlerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir.



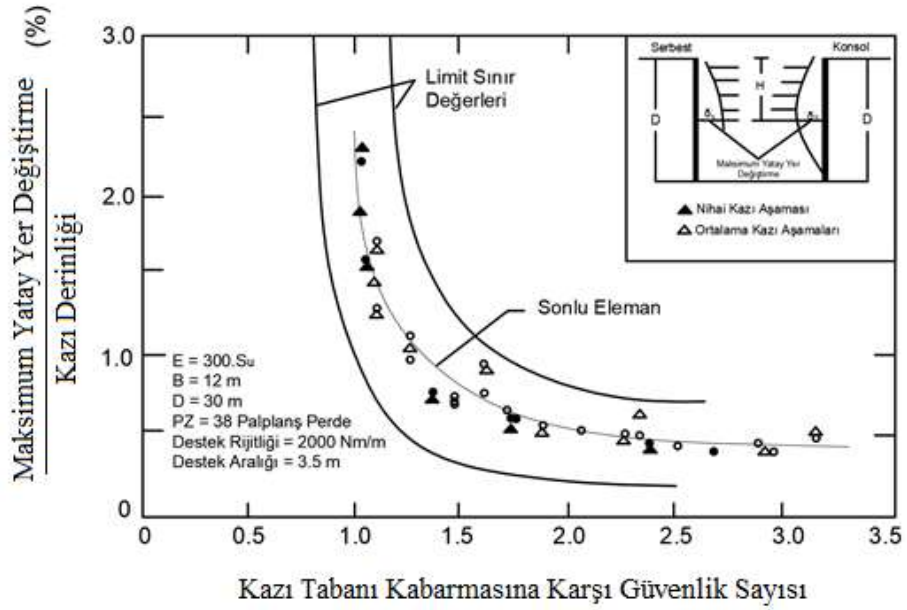
Şekil 1.3 Kil zeminlerde duvar rijitliği ve zemin stabilite sayısının yer değiştirmeler üzerindeki etkisi [5]

1.1.5 Mana ve Clough (1981) Yöntemi

Mana ve Clough [6] tarafından, yumuşak kil zeminlerde inşa edilen 11 destekli derin kazı sistemi üzerinde zemin hareketlerinin tahminine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.4). Çalışmada, duvar hareketleri ve zemin yüzeyi oturmalarının taban kabarmasına karşı güvenlik sayısına bağlı olarak boyutsuz abaklar yardımıyla belirlenmesi öngörülmüştür. Bu abaklar ile elde edilen sonuçlar saha verileri ile mukayese edilmiştir. Çalışma sonucunda maksimum yatay yer değiştirmeler ile kazı tabanı kabarması arasında Terzaghi [7] ile belirtilen güvenlik sayısına bağlı olarak güçlü bir korelasyon olduğu ortaya konulmuştur. Kazı tabanı kabarmasına karşı düşük güvenlik sayılı durumlarda duvar hareketlerinde ani artışlar görüldüğü, yüksek güvenlik sayılı durumlarda ise duvar hareketlerinin sabit bir değişim gösterdiği belirtilmiştir (Şekil 1.5).



Şekil 1.4 Kazı geometrisi ve güvenlik sayısı yaklaşımı



Şekil 1.5 Kazı tabanı kabarmasına karşı güvenlik sayısı ile maksimum yatay yer değiştirme arasındaki ilişki [6]

1.1.6 Bowles (1988) Yöntemi

Derin kazılarda görülen zemin yüzeyi oturmalarının tahminine yönelik Bowles [8] tarafından farklı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşıma göre zemin yüzeyi oturması değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

1. Duvar derinliği boyunca yatay duvar hareketlerinin tahmini,
2. Yatay duvar hareketlerine bağlı olarak hareket eden zemin hacminin (V_s) hesaplanması,
3. Yüzey oturması etki alanı 'D' nin hesaplanması:

$$D = (H_e + H_d) \tan (45 - \Phi' / 2) \quad (1.2)$$

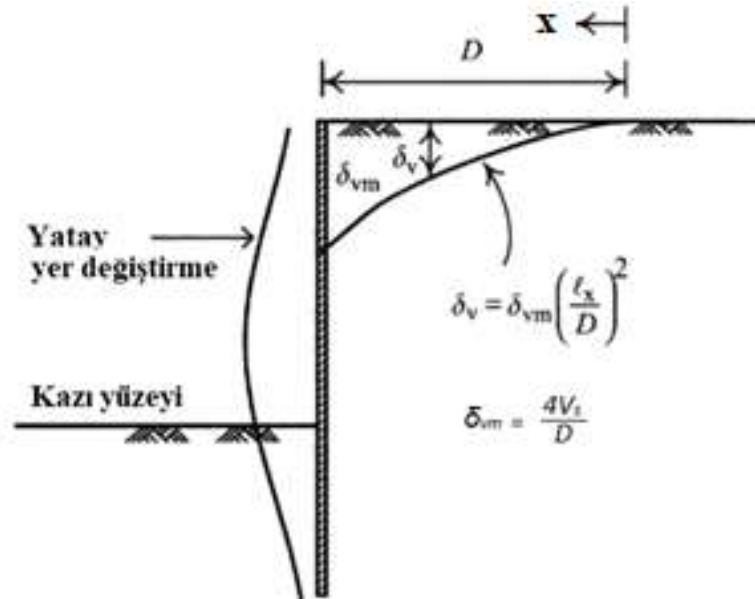
4. Maksimum zemin yüzeyi oturmasının hesaplanması:

$$\delta_{vm} = 4V_s / D \quad (1.3)$$

5. Duvar yüzüne olan mesafeye (x) bağlı olarak oturma profilinin hesaplanması:

$$\delta_v = \delta_{vm} (x/D)^2 \quad (1.4)$$

Burada H_e , final kazı derinliği, ϕ , kohezyonlu zeminler için içsel sürtünme açısı, x, duvar yüzüne olan mesafedir. Kohezyonlu zeminlerde $H_d = B$ kazı genişliği, kohezyonsuz zeminlerde ise $H_d = 0.5B \cdot \tan 45 + \Phi' / 2$ ile bulunmaktadır (Şekil 1.6).



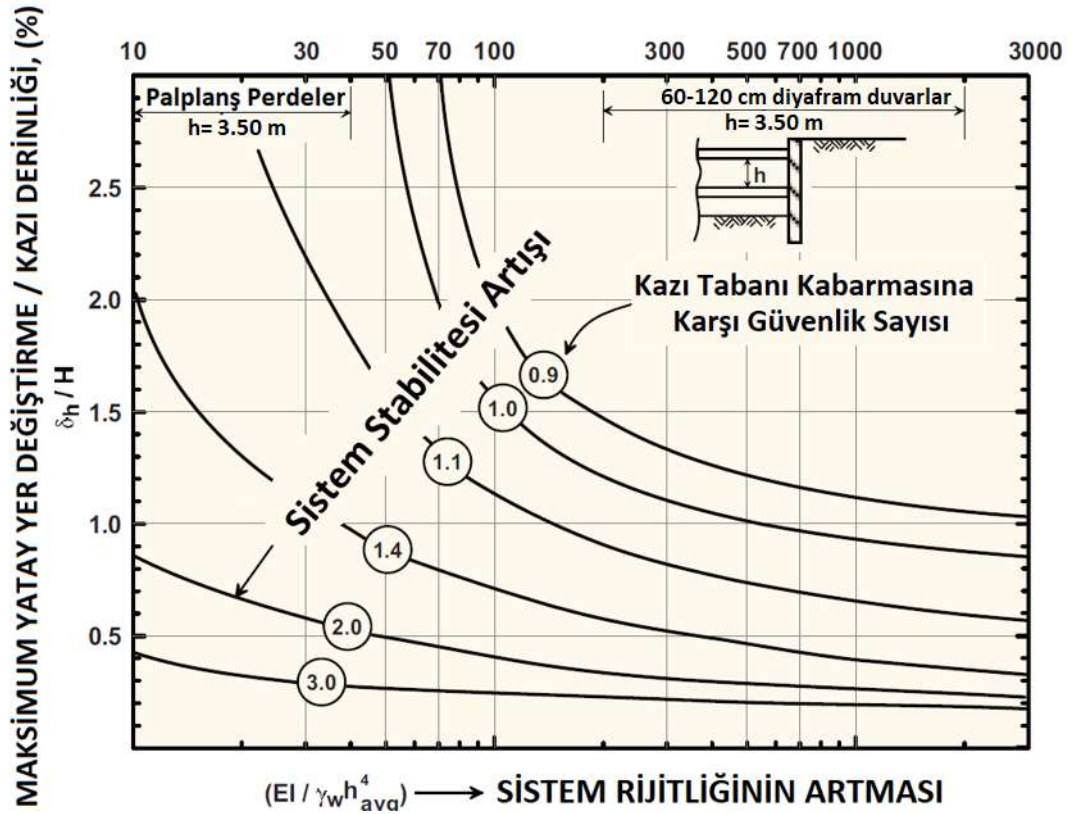
Şekil 1.6 Zemin yüzeyi oturmalarının tahmini [8]

1.1.7 Clough vd. (1989) Yöntemi

Clough vd. [9] tarafından, derin kazılarda meydana gelen zemin hareketlerinin öngörülmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kil zeminlerde inşa edilen derin kazılarda görülen zemin hareketlerini tahmin etmek için yarı amprik bir yöntem geliştirilmiştir. Maksimum yatay yer değiştirmelerin güvenlik sayısı ve sistem rijitliğine bağlı olarak değiştiğini ifade eden yöntemde,

$$\text{Sistem Rijitliği} = EI/\gamma_w h^4 \quad (1.5)$$

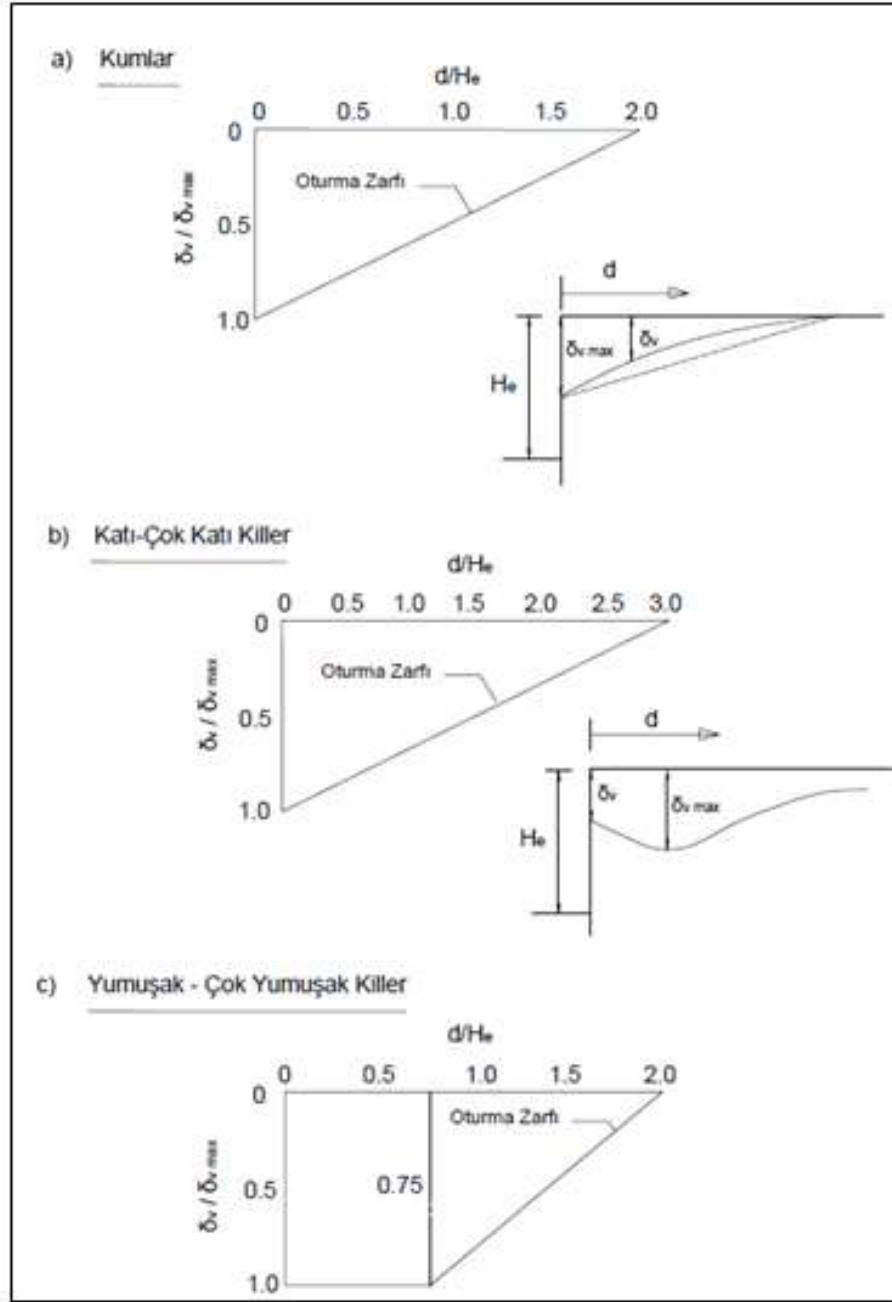
eşitliğiyle ifade edilmiştir. γ_w suyun birim hacim ağırlığını, EI kazı destekleme sisteminin rijitliğini, h ise destek elemanları arasındaki düşey mesafesi ifade etmektedir. İksa duvarının, çeşitli güvenlik sayıları için sistem rijitliğine bağlı değişim grafiği Şekil 1.7' de yer almaktadır. Çalışmada kazı tabanı kabarmasına karşı güvenlik sayılarını ifade eden eğriler, ortalama zemin ve işçilik koşulları ile kazı destekleme sisteminin minimum deformasyon durumuna göre oluşturulmuştur.



Şekil 1.7 Kazı tabanı kabarmasına karşı güvelik sayısına bağlı olarak normalize edilmiş yatay yer değiştirmeler ile sistem rijitliği arasındaki ilişki (Clough vd. [9])

1.1.8 Clough ve O'Rourke (1990) Yöntemi

Derin kazılarda oluşan zemin yüzeyi oturmaları üzerine yapılan bir diğer çalışma Clough ve O'Rourke [10] tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada öncelikli olarak kazı destekleme sistemlerine yönelik yeni teknolojiler ve yer değiştirme hareketi bilgileri ile mevcut veritabanı güncellenmiştir. Kazı alanında oluşan yatay ve düşey hareketlerin tahminine yönelik yer hareketleri olgusu netleştirilerek mevcut yöntemler değerlendirilmiş, farklı zemin tiplerine göre olası yer hareketleri yapısal hasarlarla ilişkilendirilmiştir. Çalışma sonucunda kum ve sert killerde inşa edilen derin kazılarda ölçülen maksimum zemin yüzeyi oturmalarının duvar yüzünde olduğu ve oturma profillerinin ise üçgen şeklinde olduğu ifade edilmiştir (Şekil 1.8a, 1.8b). Bu zeminlerde gerçekleştirilen derin kazılarda oluşan zemin yüzeyi oturmaları, kazı alanına sırasıyla kazı derinliğinin 2 ve 3 katı kadar mesafelerdedir. Yumuşak ve orta yumuşak killerde inşa edilen derin kazılarda ise duvar yüzünden, kazı derinliğinin 2 katı kadar mesafede trapezoidal zemin yüzeyi oturmalarının olduğu ifade edilmiştir (Şekil 1.8c). Çalışmada, lineer olmayan sonlu eleman analizleri ile incelenen vakalar, kum ve yumuşak kil zeminlerde gerçekleştirilen kazılar olmak üzere iki sınıfta değerlendirilmiştir. Birinci sınıfta incelenen inşaatlarda ölçülen maksimum yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğinin % 0.2' si, zemin yüzeyi oturmalarının ise kazı derinliğinin % 0.15' i mertebelerinde olduğu belirtilmiştir. Bu sınıfta incelenen vakalara ait verilerin geniş bir alanda dağılım gösterdiği ve farklı duvar tiplerinde ölçülen değerler arasında çok az farkların bulunduğu ifade edilmiştir. İkinci sınıfta incelenen inşaatlarda ise kazı tabanı kabarmasına karşı güvenlik sayısı ve sistem rijitliği değerleri dikkate alınmıştır. Güvenlik sayısının 1.2' den düşük olduğu durumlarda yatay yer değiştirmelerin, kazı derinliğinin % 2' sinden büyük olduğu, güvenlik sayısının 2' den büyük olduğu durumlarda ise yatay yer değiştirmelerin, kazı derinliğinin % 0.5' inden düşük değerler aldığı ifade edilmiştir.



Şekil 1.8 Zemin hareketi tipleri [10]

Çalışmada, kazı alanında görülen hareketlere etki eden faktörler ile göz önünde bulundurulması gereken diğer parametreler hakkında önemli bilgilere yer verilmiştir. Derin kazıların ilk aşamalarında desteksiz geçilen kazı derinliğinin, iksa duvarının üst bölgelerinde oluşan yer değiştirme profilini etkilediği belirtilmiştir. Sert killer ve kumlarda zemin yüzeyi oturmaları konkav, yumuşak ve orta yumuşak killerde ise trapezoidal şekiller almaktadır. Yetersiz inşaat teknikleri, destek sistemlerinin yavaş yerleştirilmesi ve destek elemanlarının tasarım kotu altındaki zeminin kazılması, kazı

sahasında aşırı yer değıştirmelerin oluşmasına neden olabilmektedir. Yatay gerilmelerin yüksek olduğu aşırı konsolide killerde, kazıdan kaynaklanan zemin hareketleri ve duvar gömülmeleri oluşmaktadır. Ankrajlı sistemlerde bu durum ankraj kökünde hareketlere neden olabilir. Yumuşak ve orta yumuşak zeminlerde etkisi sınırlı olsa da özellikle katı zeminlerde zemin seddeleri ilave destek görevi görebilirler. Duvar hareketlerinin kontrolünde zemin suyu ve piezometrik basınç kontrolü önemlidir. Özellikle yumuşak ve orta yumuşak zeminlerde, duvar rijitliğinin arttırılması sistem hareketlerini azaltmaktadır. Kalitesiz işçilik ve zayıf inşaat teknikleri, düzensiz zemin suyu kontrolü ve destek aralıklarının genişliği, sistem rijitliğini azaltmaktadır. Sistem rijitliği ve duvar hareketleri üzerinde destek aralıklarının etkisi büyüktür. Ön yüklemenin, duvar hareketlerini sınırlayıcı bir etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle özellikle ankrajlı sistemler ile içten destekli sistemlerde önyükleme tavsiye edilir. Potansiyel yapısal hasarların önlenmesinde, inşaat alanının ön incelemesinin yapılması önemlidir. Üstyapıyla ilişkili zemin altı yapıları, su ve gaz sistemleri ile zemin altı kemerleri, yapının zemin hareketlerine verdiği tepkinin incelenmesi sürecinde kontrol altında bulundurulmalıdır.

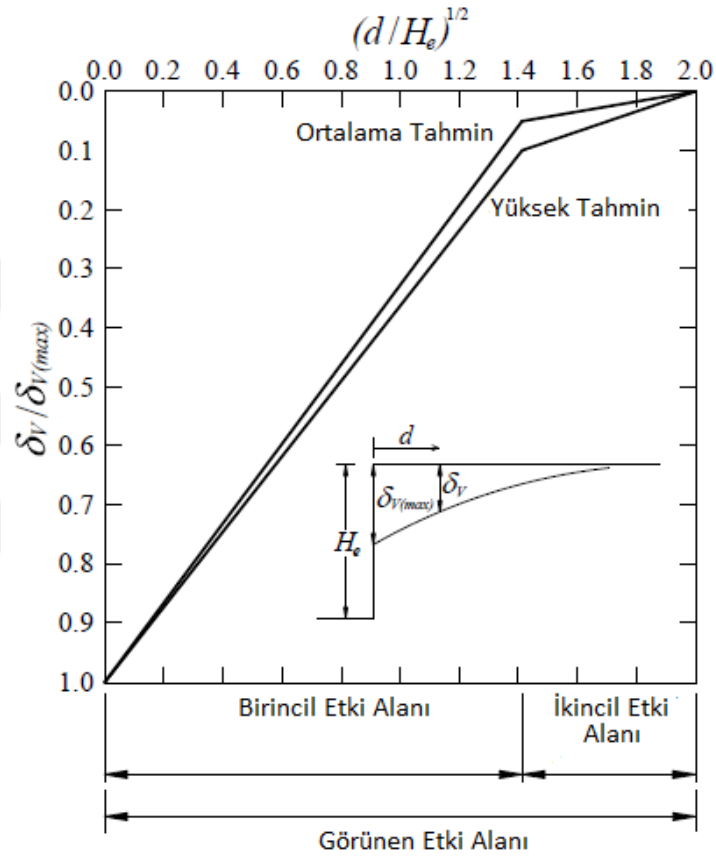
1.1.9 Ou vd. (1993) tarafından yürütölen çalışmaları

Ou vd. [11] tarafından, Taiwan’ da, kil zeminlerde yapılan 10 adet destekli derin kazı üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda, duvar yüzüne yakın mesafelerde görölen oturmaların uniform olmadığı ve kazı derinliğiyle artan nitelikte olduğu belirlenmiştir. Çalışmada zemin yüzeyi oturmalarının göröldüğü etki alanı (Apparent Influence Range: AIR);

$$AIR = (H_e + H_p) \cdot \tan(45 - \phi / 2) < (H_e + H_p) \quad (1.6)$$

eşitliğiyle ifade edilmiş bu alan dışındaki oturmaların ise ihmal edilebilecek seviyelerde olduğu belirtilmiştir (Şekil 1.9). Bu eşitlikte H_e kazı derinliğini, H_p ise gömme derinliğini göstermektedir. Çalışmada incelenen bütün inşaatlar kazı tabanı kabarmasına karşı yüksek güvenlik sayısına sahiptir. Çalışma sonucunda; yatay yer değıştirme değğerlerinin; Clough ve O’Rourke [10] ile önerilen değğerlerden büyük, Peck [3] tarafından oluşturulan oturma diyagramları ile tahmin edilen değğerlerden ise küçük olmak suretiyle kazı derinliğinin % 0.2’ si ile % 0.5’ i arasında olduğu görölmüştür. Maksimum zemin yüzeyi

oturması değerlerinin ise Clough ve O'Rourke [10] tarafından önerilen değerlere benzer şekilde kazı derinliğinin % 0,5' i ile % 0,7' si arasında değiştiği ifade edilmiştir. Kazıların ilk aşamalarında duvara çok yakın bölgelerde 'Spandrel' tipli oturmaların olduğu, duvarda görülen deformasyonların ise minimum seviyelerde olduğu belirtilmiştir. Konkav tipli oturmaların ise duvar yüzünden, maksimum yatay yer değiştirmenin meydana geldiği derinliğin yarısına eşit bir mesafede olduğu ifade edilmiştir.

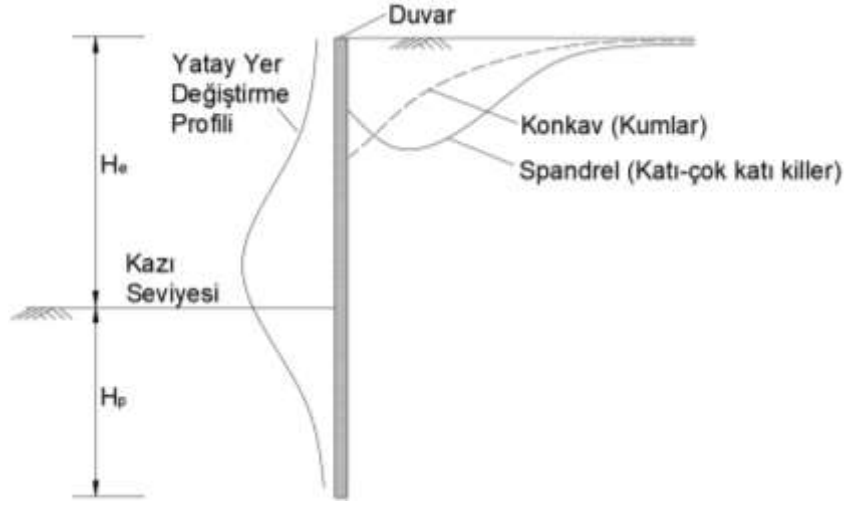


Şekil 1.9 Zemin yüzeyi oturmaları etki alanı [11]

1.1.10 Hsieh ve Ou (1998) tarafından yürütülen çalışmalar

Hsieh ve Ou [12] tarafından yapılan çalışmalarda; derin kazılardan kaynaklanan iki farklı zemin yüzeyi oturma profili olduğu ifade edilmiştir. Bu oturma profilleri şunlardır:

1. Duvar yüzüne çok yakın mesafede meydana gelen spandrel tipli zemin yüzeyi oturması.
2. Duvar yüzüne daha uzak mesafede meydana gelen konkav tipli zemin yüzeyi oturması (Şekil 1.10).



Şekil 1.10 Zemin yüzeyi oturma tipleri [12]

İksa duvarlarında oluşan yer değiştirmelerin büyüklüğü ve şekilleri, zemin yüzeyinde oluşan oturmalarla göre farklılık gösterir. Kazının ilk aşamalarında büyük yatay yer değiştirmeler ve konkav tipli zemin yüzeyi oturmaları, takip eden aşamalarda ise daha küçük yer değiştirmelerin olduğu, zemin yüzeyi oturmalarının ise spandrel tipli olduğu görülmektedir. Kazının ilk aşamalarında, iksa duvarının üst bölgelerinde görülen yer değiştirmeler destek elemanlarıyla sınırlanmaktadır. Yukarıda sıralanan, Ou vd. [11] tarafından elde edilen bulguları müteakiben, Hsieh ve Ou [12], zemin yüzeyi oturmalarının tahminine yönelik geliştirilen hesaplama adımlarını aşağıdaki gibi özetlemiştir:

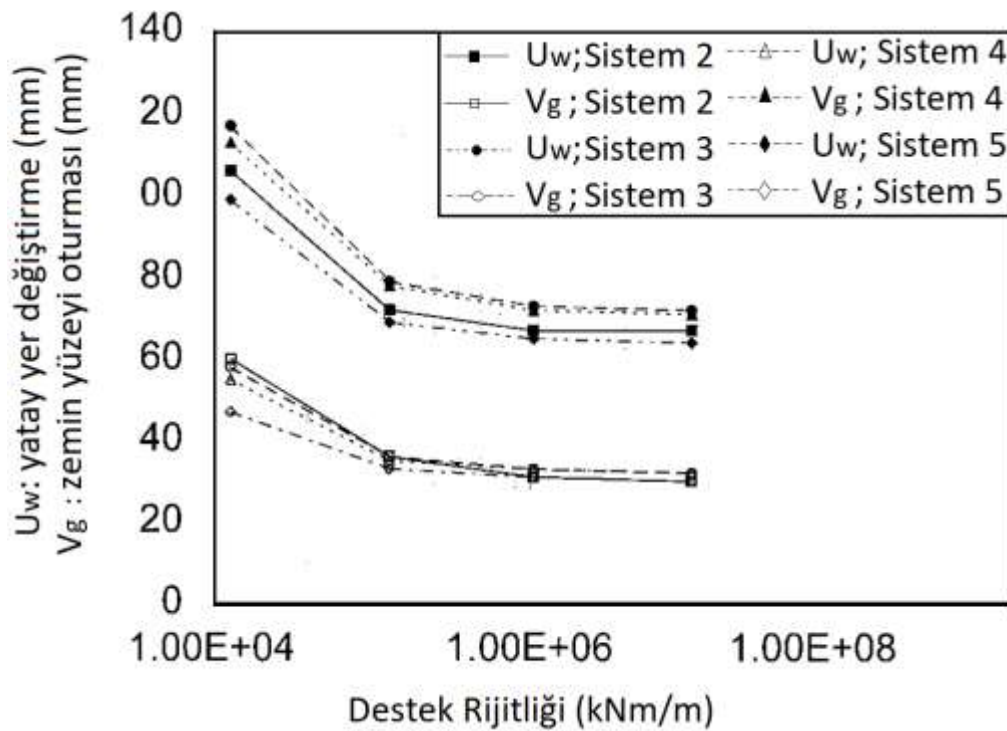
1. Sonlu eleman ya da elastik kiriş gibi yöntemler kullanılarak maksimum yatay yer değiştirmelerin belirlenmesi,
2. Konsol sistemin hareket alanı (A_s) ve kazı derinliğinde duvarın yatay deformasyon gösterdiği alanın (A_c) grafik üzerinde hesaplanması,
3. $A_s \geq 1.6A_c$ ise konkav, $A_s < 1.6A_c$ ise zemin yüzeyi oturması profilinin spandrel tipli oturma profili olarak tanımlanması,
4. Yatay yer değiştirmeler ile zemin yüzeyi oturmaları arasındaki ilişkinin belirlenmesinden sonra amprik veriler yardımıyla maksimum zemin yüzeyi oturmasının belirlenmesi,
5. Ou vd. [11] ile önerilen zemin yüzeyi oturması profilleri ışığında duvar yüzüne farklı mesafelerde oluşan yüzey oturmalarının belirlenmesi.

1.1.11 Addenbrooke (2000) tarafından yürütülen çalışmalar

Araştırmacılar tarafından geliştirilen esneklik katsayılarının çok sıra destekli sistemlerin yer değiştirmelere bağlı tasarımında yetersiz olduğu kanısıyla Addenbrooke vd.[13], yer değiştirme kriterlerini karşılayacak farklı destek elemanlı konfigürasyonların tasarımı için yeni bir esneklik katsayısı tanımı getirmiştir. Çalışmada, derin kazı destekleme sistemlerinde yapısal rijitliğin yer değiştirmeler üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla sonlu eleman analizleri ile yeni bir kavram olarak geliştirilen yer değiştirme esnekliği;

$$\Delta = h^5 / EI \quad (1.7)$$

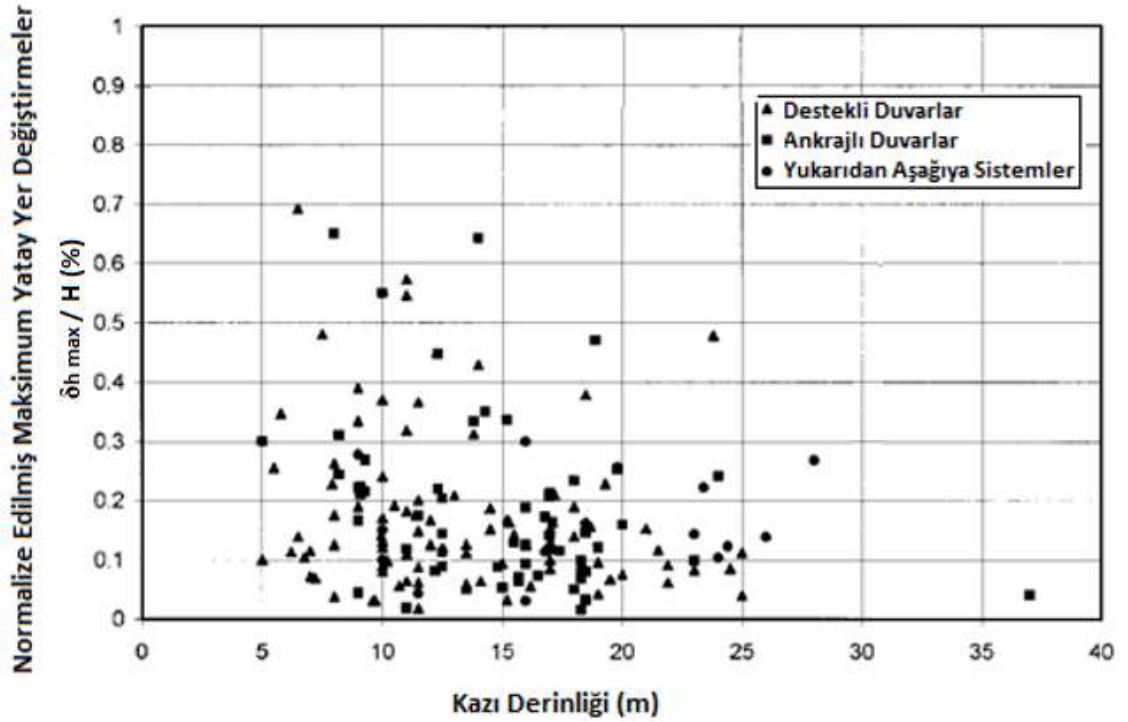
eşitliğiyle hesaplanmıştır. Burada h, destek elemanları arasındaki düşey mesafe, EI ise iksa sisteminin eğilme rijitliğidir. Çalışma ile drenajsız katı kil ortamlarda inşa edilen destekli derin kazılarda, esneklik katsayısı, başlangıç gerilmeleri ve rijitlik değerleri aynı olan destek sistemlerinde oluşan maksimum yatay yer değiştirmeler ile zemin yüzeyi oturması değerlerinin aynı olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 1.11). Farklı destek koşullarında aynı yer değiştirmelerin elde edilmesini sağlayan bu yaklaşım daha fazla sayıda vaka analizleri ile oluşturulmuş veritabanları ile önce Long [14], daha sonra Moormann [15] tarafından da kullanılmıştır.



Şekil 1.11 Maksimum yatay yer değiştirme ve zemin yüzeyi oturmasının destek rijitliği ile değişimi [13]

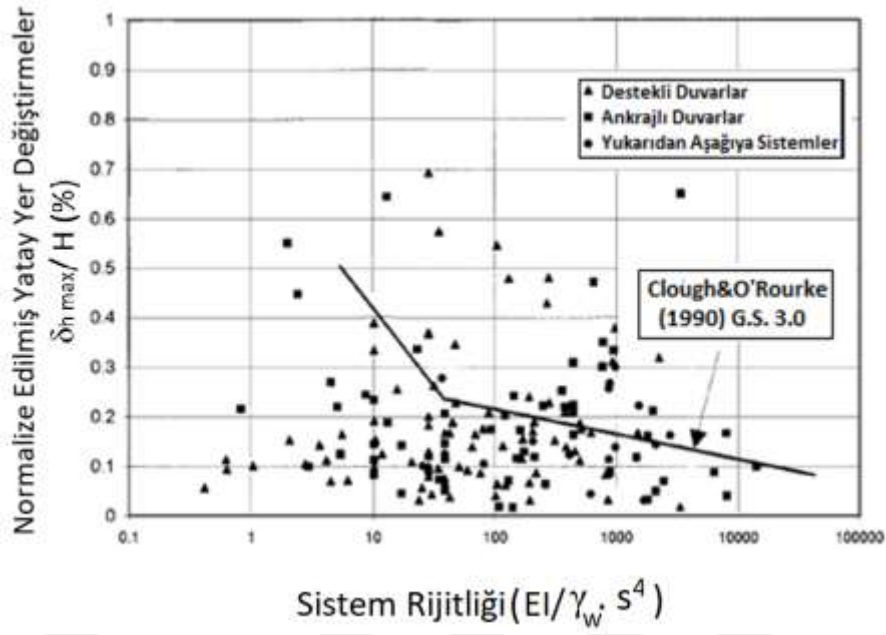
1.1.12 Long (2001) veritabanı çalışmaları

Long [14], derin kazılarda ölçülen zemin hareketlerini 296 vaka analizi üzerinde, farklı destek sistemleri, iksa tipleri ve farklı yumuşak zemin kalınlığı değerleri için incelemiştir. Çalışmada yumuşak zemin kalınlığının kazı derinliğinin 0.6 katından yüksek olduğu, kazı tabanı kabarmasına karşı düşük güvenlik sayılı durumlarda ölçülen yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğine oranı; % 3.2 olarak ölçülmüştür. Yumuşak zemin tabakası kalınlığının kazı derinliğinin 0.6 katından az olduğu durumlarda destekli, ankrajlı ve yukarıdan aşağıya sistemler için ölçülen yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğine oranı ise sırasıyla % 0.17, % 0.19 ve % 0.16 olarak bulunmuştur. Çalışmada, Wong vd. [16] tarafından ifade edilenin aksine farklı destek sistemleriyle inşa edilmiş sistemlerin yatay yer değiştirmeler açısından birbirine yakın davranış gösterdiği görülmektedir (Şekil 1.12).



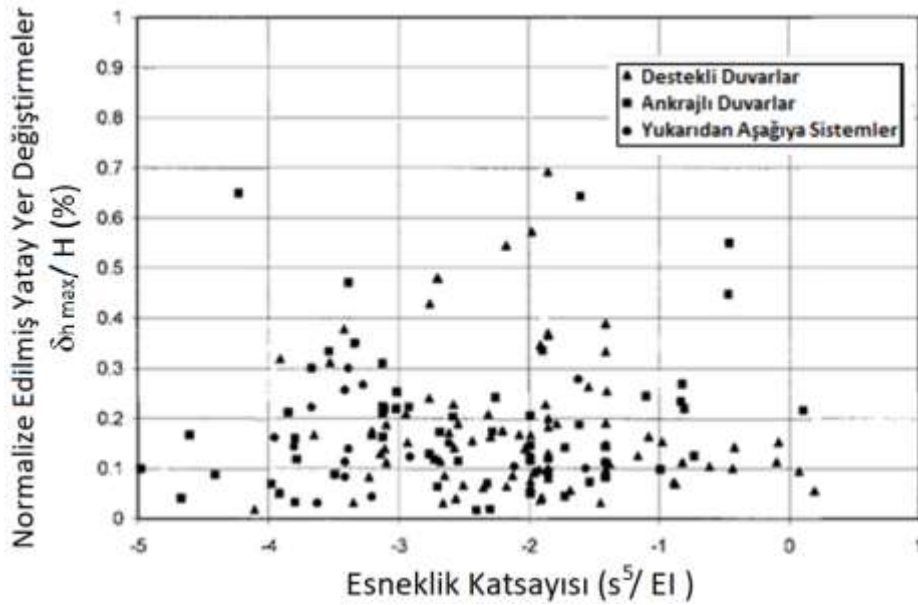
Şekil 1.12 Yumuşak zemin kalınlığının düşük olduğu durumlarda yatay yer değiştirmelerin kazı derinliği ile ilişkisi [14]

Yumuşak zemin tabakası kalınlığının kazı derinliğinin 0.6 katından küçük olduğu derin kazılarda, sistem rijitliğinin artmasıyla kazı hareketlerindeki azalmanın sınırlı olduğu görülmektedir. Çalışmada incelenen veriler ışığında kazı hareketlerinin sistem rijitliğinden bağımsız davranış gösterdiği görülmektedir. Bu durum, önemli ekonomik ve pratik sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. (Şekil 1.13).



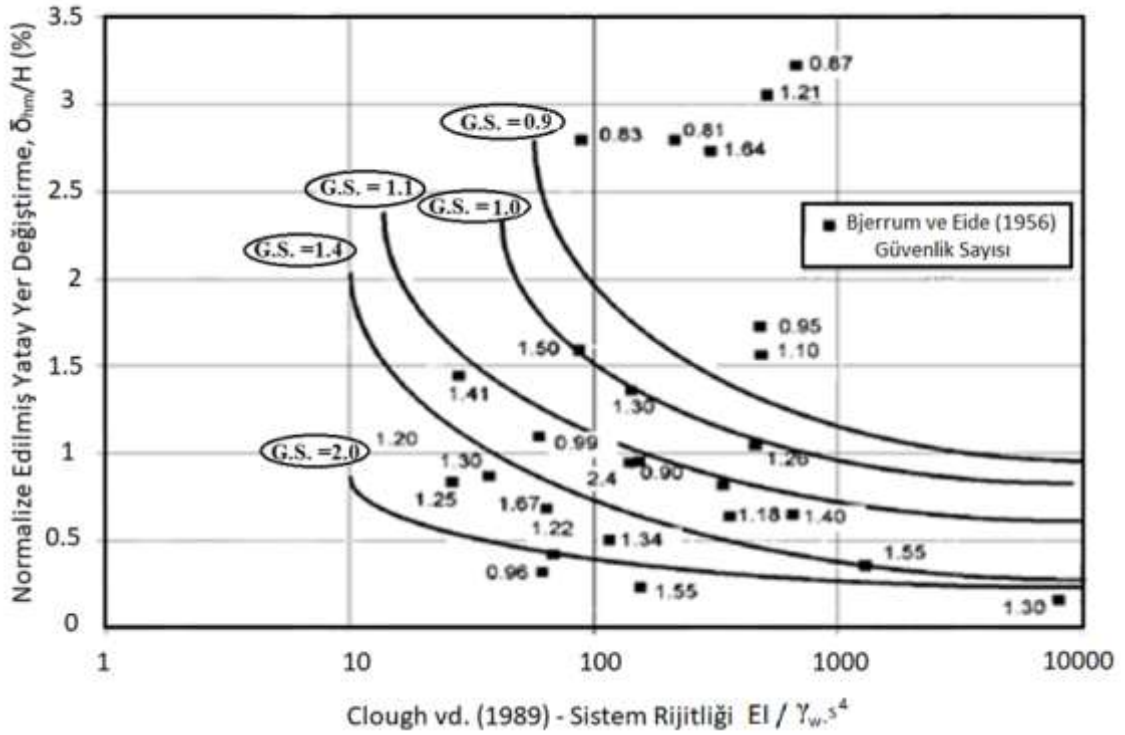
Şekil 1.13 Yumuşak zemin kalınlığının düşük olduğu durumlarda yatay yer değiştirmelerin sistem rijitliği ile ilişkisi [14]

Addenbrooke [13] tarafından geliştirilen sistem rijitliği yaklaşımı ile destek sistemi rijitliğinin deformasyonlar üzerindeki etkisinin de incelendiği çalışmada genel olarak Clough vd. [9] ile elde edilen sonuçlara yakın sonuçlara ulaşılmıştır. Kohezyonsuz zeminlerde inşa edilen derin kazılarda ölçülen deformasyonların katı killerde inşa edilen derin kazılara benzer şekilde, duvar ve destek rijitliği ile destek tipinden bağımsız olduğu ifade edilmiştir (Şekil 1.14).



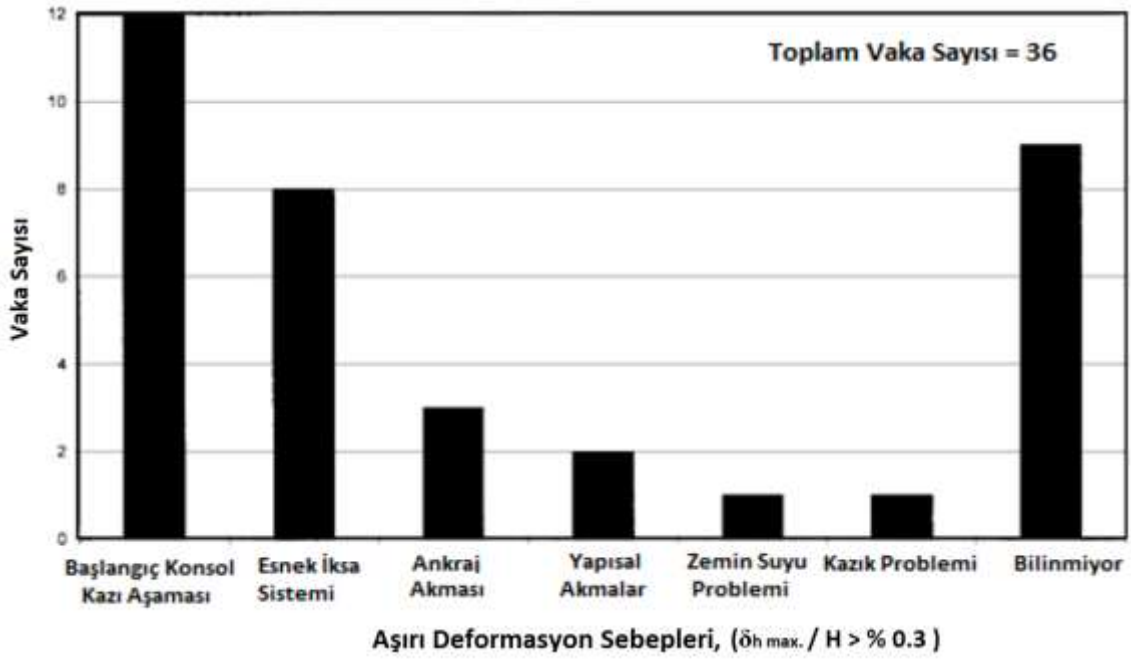
Şekil 1.14 Yumuşak zemin kalınlığının düşük olduğu durumlarda yatay yer değiştirmelerin Addenbrooke Esneklik Katsayısıyla değişimi [14]

Çalışmada, düşük sistem rijitliğine sahip duvarların deformasyonlar açısından yeterli performansı gösterdiği belirtilmiştir. Özellikle konsol sistemlerde düşük rijitlik değerleriyle bile yer değiştirmeler açısından yeterli performansın sağlandığı görülmüştür. Clough vd. [9] tarafından önerilen güvenlik sayısı eğrilerine göre incelemelerin de yapıldığı çalışmada normalize edilmiş maksimum yatay yer değiştirme değerlerinin geniş bir aralıkta dağılım gösterdiği görülmektedir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15 Destekli sistemlerde normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin sistem rijitliğiyle ilişkisi [14]

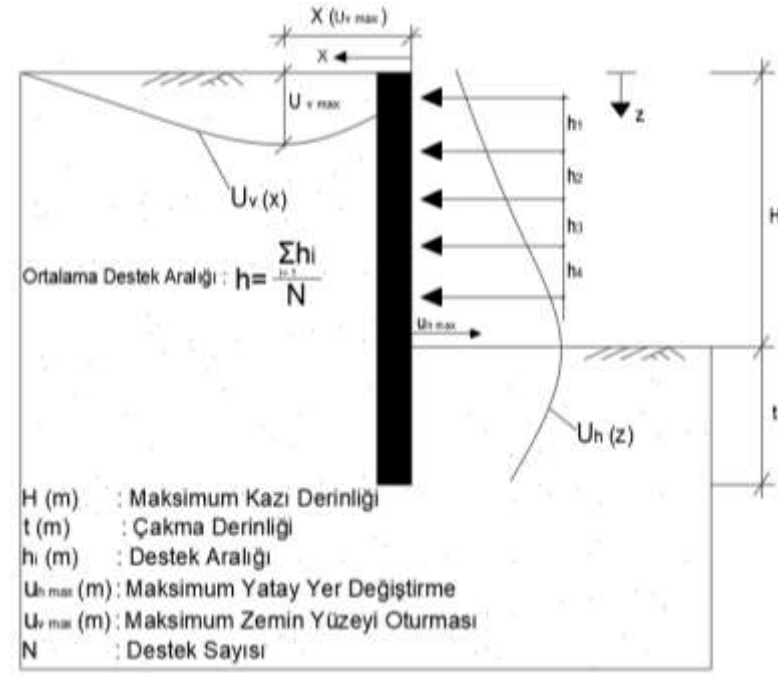
Long [14] tarafından yürütülen çalışmada, derin kazılarda aşırı deformasyonlara neden olan faktörlerin dağılımı da incelenmiştir. İncelenen 36 derin kazıda ölçülen aşırı deformasyonların ($\delta_{hm}/H > 0.3$) 12' sinin konsol kazı derinliğinden, 8' inin kazı destekleme sisteminin esnek tasarlanmış olmasından, 7' sinin ise diğer zemin koşulları ve yapısal problemlerden kaynaklandığı belirtilmiştir. Çalışmada incelenen 9 vakada tespit edilen aşırı deformasyonların nedeni hakkında bir bulgu elde edilememiştir (Şekil 1.16).



Şekil 1.16 Aşırı deformasyonlara neden olan faktörler[14]

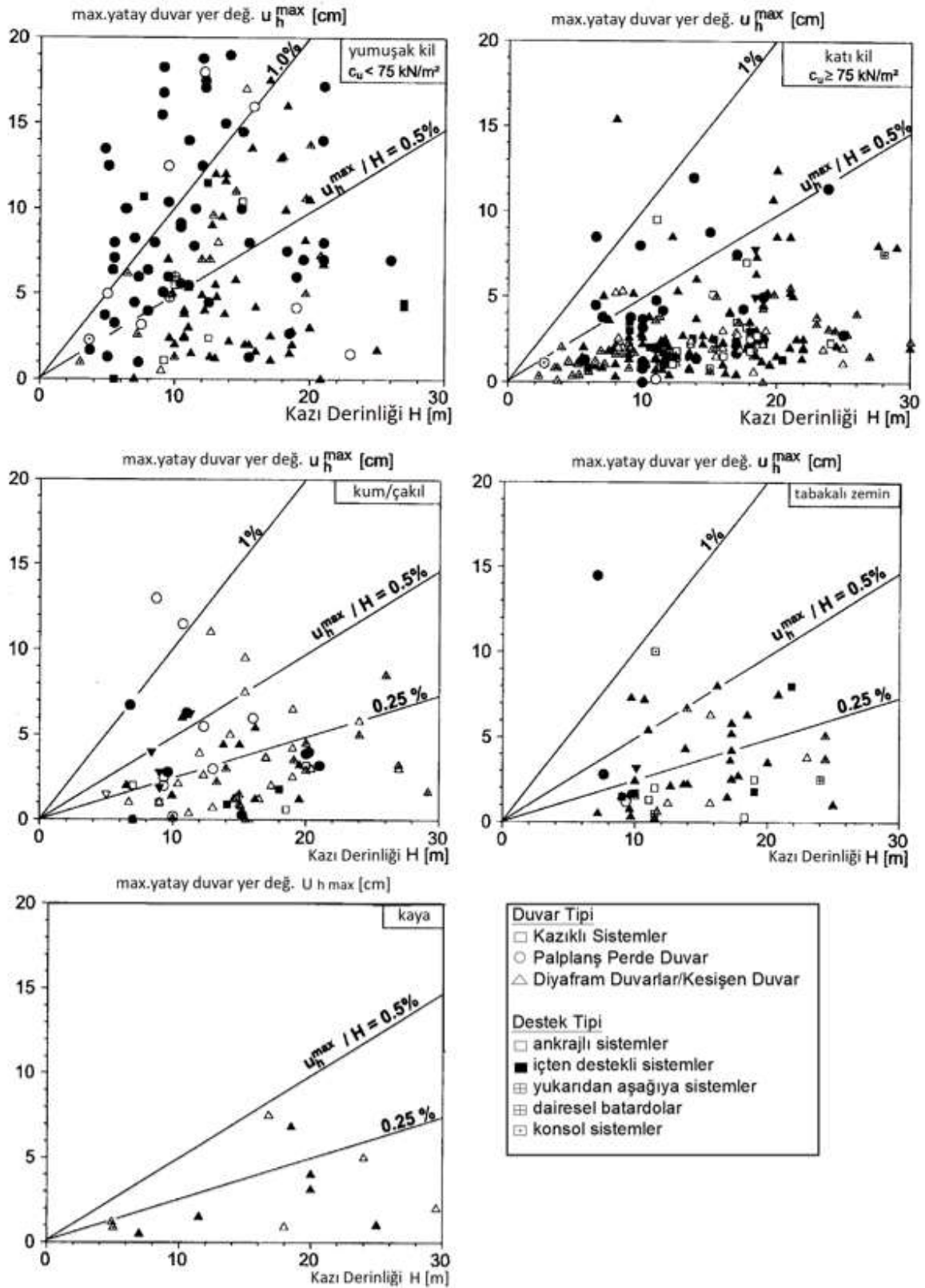
1.1.13 Moormann (2004) veritabanı çalışmaları

Moormann [15] tarafından yürütülen çalışmada drenajsız kayma mukavemeti 75 kPa ile 100 kPa değerlerinin altında olan kil zeminlerde inşa edilen 536 adet derin kazı inşaatında ölçülen zemin ve duvar hareketleri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan kazı destekleme sistemi ve kullanılan notasyonlar şematik olarak Şekil 1.17' de gösterilmiştir.



Şekil 1.17 Derin kazı iksa ve destek sistemiyle ilgili notasyonlar [15]

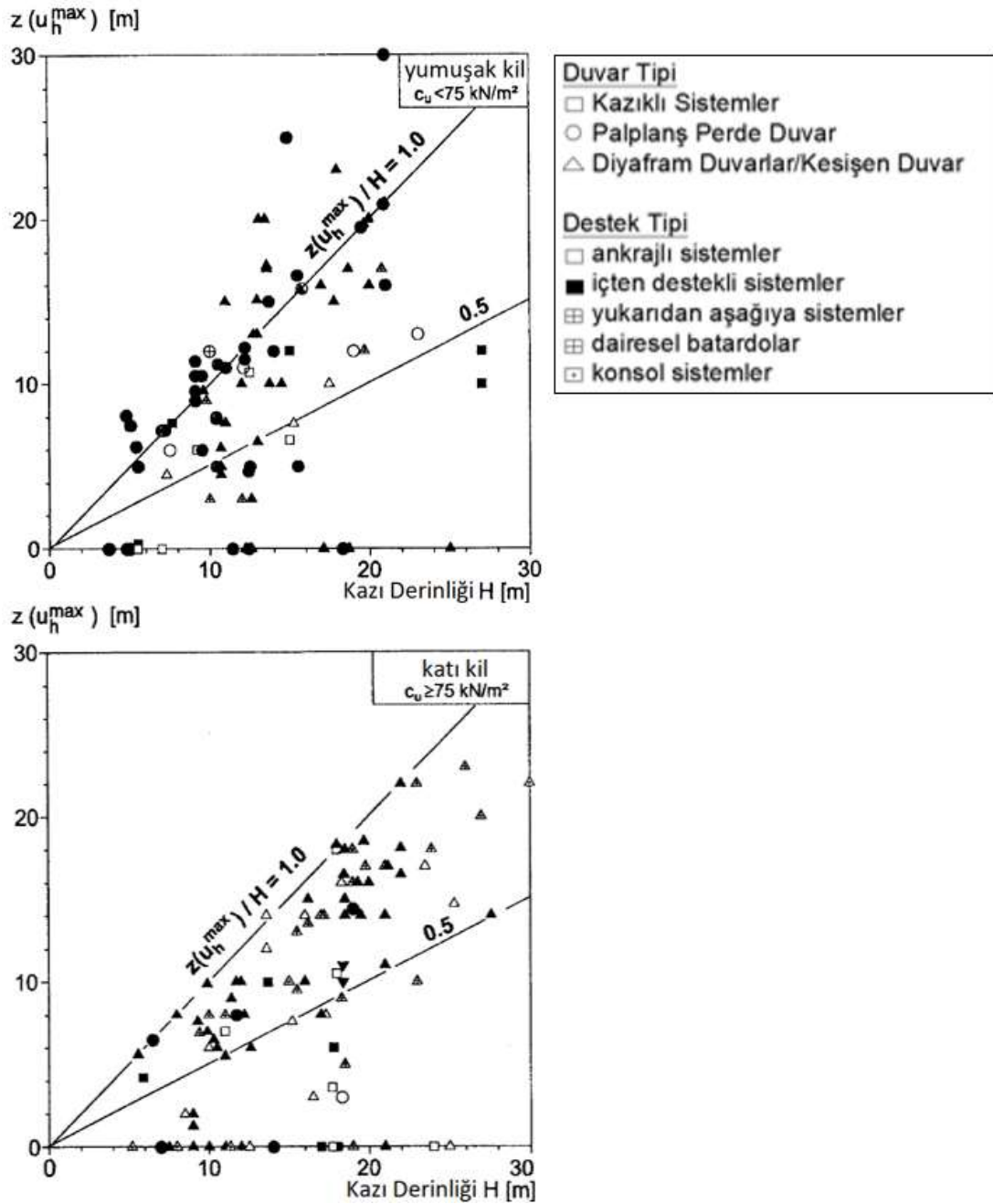
İncelenen tüm veriler gözönünde bulundurulduğunda ölçülen yatay yer değiştirmeler ile kazı derinliği arasında basit doğrusal bir ilişkiye rastlanmadığı belirtilmiştir. Çalışmada aşırı deformasyon gösteren birkaç vaka gözardı edildiğinde, tüm zemin ortamlarında inşa edilen derin kazılarda, kazı derinliğinin artmasıyla ölçülen yatay yer değiştirmelerin arttığı ifade edilmiştir. Tabakalı zeminlerde inşa edilen derin kazılarda ölçülen yer değiştirmeler kohezyonsuz zeminlerde inşa edilen kazılarda ölçülen yer değiştirmelere yakın büyüklüklerdedir. Zemin tipinden bağımsız olarak iksa tipinin duvar deformasyonları üzerinde etkisinin olduğu görülmektedir. Palplanş perdelerde ölçülen yatay yer değiştirmelerin diyafram duvarlar ile kesişen kazıklı duvarlarda ölçülen yatay yer değiştirmelerden daha yüksek mertebelerde olduğu belirtilmiştir. Çalışmada yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen yatay yer değiştirmelerin diğer destekli sistemlerde ölçülen yatay yer değiştirmelerden daha düşük mertebelerde olduğu görülmektedir (Şekil 1.18).



Şekil 1.18 Yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğiyle ilişkisi [15]

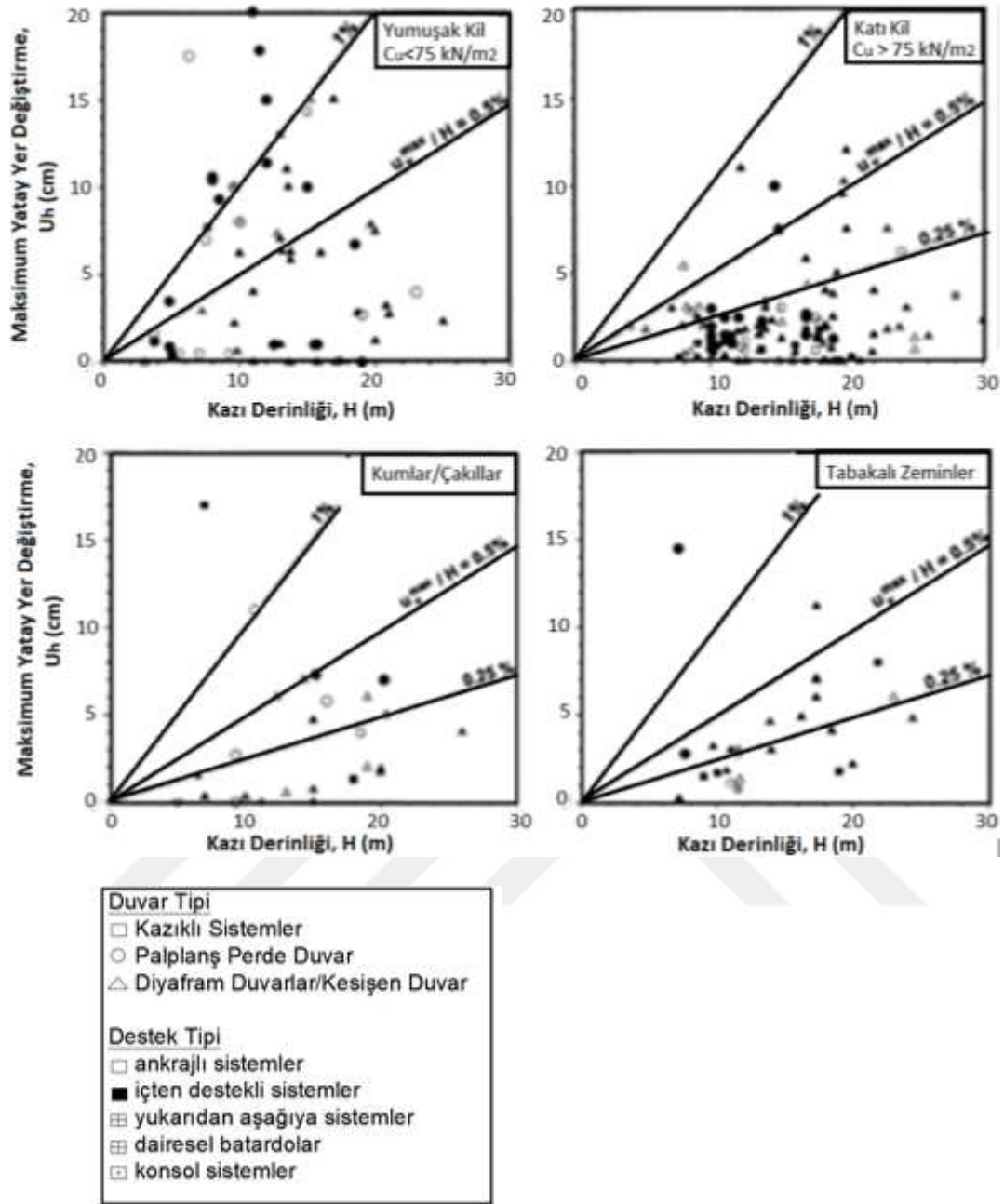
Moormann [15] tarafından incelenen derin kazılarda, maksimum yatay yer değiştirmelerin ölçüldüğü kazı derinliğinin, nihai kazı derinliğine göre değişimi Şekil 1.19' da verilmiştir. İncelenen yumuşak ve katı kohezyonlu zeminlerde inşa edilen derin

kazıların % 67' sinde maksimum yatay yer değiştirmelerin duvar üst kotundan 0.5H ile 1.0H derinliği arasında, % 21' inde ise iksa duvarı üst bölgesinde olduğu görülmektedir.



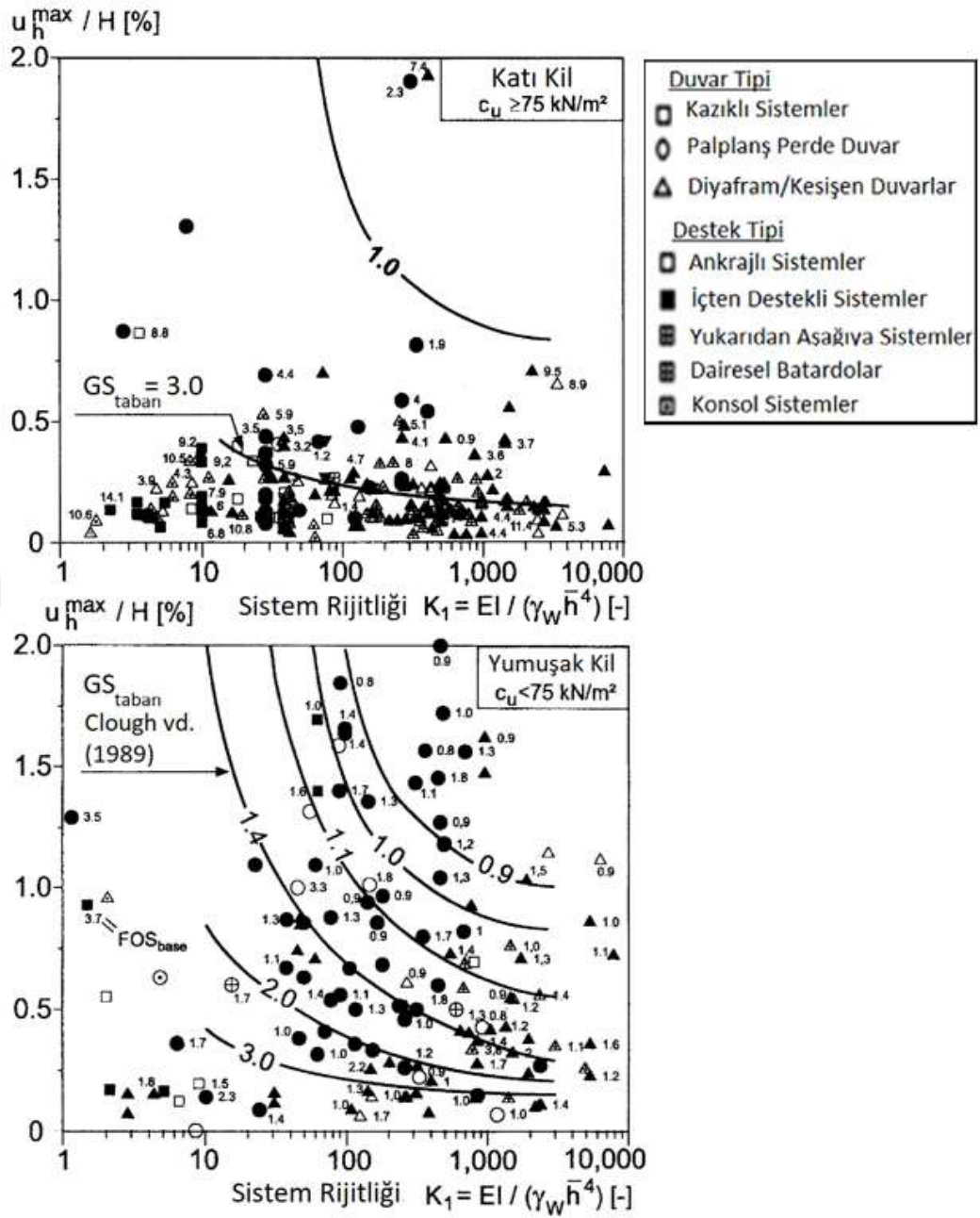
Şekil 1.19 Maksimum yatay yer değiştirmenin ölçüldüğü kazı derinliği ile nihai kazı derinliğinin ilişkisi [15]

Çalışmada yumuşak killer, katı killer, kohezyonsuz zeminler ve tabakalı zeminlerde inşa edilen derin kazılarda ölçülen yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğine oranları sırasıyla % 1.07, % 0.18, % 0.33 ve % 0.25 mertebelerindedir. Katı killerde oluşan zemin yüzeyi oturmaları yumuşak zeminlerde ölçülen zemin yüzeyi oturmalarından daha düşük mertebelerde olduğu belirlenmiştir (Şekil 1.20).



Şekil 1.20 Ölçülen maksimum zemin yüzeyi oturmasının kazı derinliğiyle ilişkisi [15]

Moormann [15] incelediği yumuşak killerde inşa edilen derin kazılarda, sistem rijitliği ile duvar yer değiştirmeleri arasında Clough vd. [9] tarafından yapılan çalışmanın aksine bir ilişkiye rastlamamıştır. Kazı tabanı kabarmasına karşı güvenlik sayısının 1.5' ten düşük olduğu kazılarda sistem rijitliğinin yatay yer değiştirmeler üzerinde sınırlı etkisinin olduğu ifade edilmiştir. İncelenen vakalarda, sistem rijitliğinin artması her zaman yatay yer değiştirmelerin azalmasıyla sonuçlanmamaktadır. Bu durumun uygulama ve inşaat maliyetleri açısından önemli ekonomik ve pratik sonuçlarının olduğu düşünülmektedir (Şekil 1.21).



Şekil 1.21 Yatay yer değiştirmelerin sistem rijitliği ile ilişkisi [15]

Moormann [15] zemin koşulları ve kazı derinliğinin kazı destekleme sisteminin performansı üzerindeki en etkili parametre olduğunu belirtmiştir. Çalışmada destek sistemi tiplerinin kazı performansı üzerinde kanıtlanmış bir etkisine rastlanmamıştır. Duvar hareketlerinin büyük ölçüde sistem rijitliğinden bağımsız olduğu sonucuna varılmıştır. Minimum sistem rijitliğinin sağlanması durumunda kazı hareketleri üzerinde diğer kazı parametrelerinin etkili olduğu ifade edilmiştir.

1.1.14 Diğer Çalışmalar

Pratik olarak kabul gören çalışmalara ilave olarak araştırmacılar tarafından derin kazılarda görülen zemin hareketleri incelenmeye devam edilmiştir. Wong vd. [16] tarafından derin kazılar üzerinde yapılan çalışmada yumuşak zemin tabakası kalınlığının, kazı derinliğinin 0.6 katından büyük olduğu durumlarda maximum zemin yüzeyi oturması ve yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğinin sırasıyla % 0.35' i ve % 0.5'i mertebelerinde olduğu görülmüştür. Yumuşak zemin tabakası kalınlığının kazı derinliğinin 0.6 katından düşük olduğu kazılarda ise maximum zemin yüzeyi oturması ve yatay yer değiştirme değerlerinin sırasıyla kazı derinliğinin % 0.2' si ve % 0.35'i mertebelerinde olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada konsol kazı destekleme sistemlerinin içten destekli sistemlerden daha küçük hareketlere maruz kaldığı, zemin yüzeyine yakın mesafelerdeki ilk sıra desteğin kazı hareketini kontrol etmede önemli rol oynadığı belirtilmiştir.

Karlsrud [17] tarafından yapılan çalışmada, kazı tabanı kabarmasına karşı güvenlik sayısı ile duvar deformasyonları arasında yakın bir ilişki olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda kazı alanına olan uzaklık ve güvenlik sayısı ile kil tabakası kalınlığı ve normalize edilmiş yatay yer değiştirmeler arasındaki ilişkiyi inceleyen diyagramlar üretilmiştir.

Whittle vd. [18], 7 katlı zemin altı otopark yapısının yukarıdan aşağıya inşaatında, yatay yer değiştirmeler ve zemin suyu hareketlerinin tahmini için bir dizi sonlu eleman analizi gerçekleştirmiştir. Çalışmada kullanılan sayısal model ile zemin suyu akışı ve şekil değiştirmeler tanımlanarak oluşturulmuş sonlu eleman formülasyonu ile kazı faaliyetinin non-lineer zemin koşulları ile simulasyonu, MIT-E3 olarak adlandırılan davranış modeliyle gerçekleştirilmiştir. Arazi ölçümleri değerlendirilirken kazı geometrisi, döşeme plağının yerleştirilmesi ve drenaj gibi inşaat faaliyetlerinin de etkileri gözönünde bulundurulmuştur. Çalışma sonucunda yeraltı su seviyesindeki yükselmelerin sınır şartlarından önemli ölçüde etkilendiği belirtilmiştir. Zemin koşullarının iyi modellenmesinin yapıda oluşacak hareketlerin tahmini açısından önemli olduğu ifade edilmiştir. Zeminin küçük gerilme seviyelerinde doğrusal olmayan davranışlarının iyi tanımlanmasının, sonlu eleman analizleri ile yatay deformasyonları tahmin etmede yüksek başarı sağlayacağı belirtilmiştir. Çalışmada, düşey ve yatay yer değiştirmeler ile

boşluk suyu basıncı değişiminin, kazıdan kaynaklı hareketlerin tahmini açısından önemli olduğu vurgulanmıştır. Zemin hareketlerinin tahmininde, sadece yatay yer değiştirmelerin gözönünde bulundurulmasına dayanan yorumlar eksik kalabileceğinden tahmin modelinin performansı hakkında yanıltıcı çıkarımlara neden olabileceği ifade edilmiştir. Sonlu eleman modelinde zemin davranışıyla ilgili belirsizlikleri en aza indirmek için araziye iyi temsil eden kesitlerin tasarlanması ve zemin parametrelerinin laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi önerilmiştir.

Ng [19] tarafından yürütülen çalışmalarda aşırı konsolide kil zeminlerde inşa edilmiş 10 m derinliğinde, çok sıra destekli bir derin kazı inşaatı üzerinde incelemeler gerçekleştirilmiştir. Kazı alanında ölçülen değerler ile Peck [3] tarafından geliştirilen zemin yüzeyi oturması değerlerinin karşılaştırıldığı çalışmada inşaat sahasında ölçülen zemin yüzeyi oturması değerlerinin, Peck [3] oturma diyagramıyla işaret edilen alt sınır değerlere yakın olduğu görülmüştür. Çalışmada diyafram duvar inşaatı sırasında en alt sıra desteğe gelen yatay yüklerin zeminde oluşan yatay gerilmelerden düşük olduğu dikkat çekmiştir.

Wang vd. [20], tarafından yürütülen çalışmada Taipei ve Singapur'da, 6 adet metro istasyonuna ait derin kazı inşaatlarına ait duvar yatay yer değiştirmeleri ve zemin yüzeyi oturmaları incelenmiştir. İncelenen derin kazılarda ölçülen maksimum zemin yüzeyi oturması değeri nihai kazı derinliğinin % 0.45'i mertebesinde. Ölçülen zemin yüzeyi oturmaları Peck [3] tarafından önerilen oturma diyagramında belirtilen I. bölgede yoğunlaşmıştır. Çalışmada ölçülen zemin yüzeyi oturmaları, ölçülen yatay yer değiştirmeler ile orantılıdır. Gözlemlenen düşük meretebeli duvar hareketlerinin, önerilmeli desteklerin kullanımına, gerilmelerin kazı sırasında toplam düşey gerilmelerin yaklaşık 0.7 katına karşılık gelecek şekilde sabitlenmesine ve kazı alanı açıklığının kısa olmasına bağlı olabileceği ifade edilmiştir.

Leung ve Charles [21] tarafından yürütülen çalışmada farklı zemin koşullarında inşa edilen 14 derin kazıya ait zemin ve duvar hareketleri incelenmiştir. SPT-N sayısının 30' dan küçük ve büyük olduğu zeminlerin farklı sınıflarda değerlendirildiği çalışmada kullanılan destek sisteminin rijitliğinin duvar ve yer hareketleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Zemin yüzeyi oturmalarının ve duvar ötelenmelerinin sistem rijitliğinden etkilenmediği çalışmada yumuşak zeminlerde (SPT-N<30) inşa edilen derin kazılarda

yatay yer değiştirmeler ve zemin yüzeyi oturmaları sırasıyla % 0.23H ve % 0.12H olarak ölçülmüş, SPT-N>30 olan zeminlerde inşa edilen derin kazılarda ise yatay yer değiştirmelerin %0.10-0.16H, zemin yüzeyi oturmalarının ise % 0.02H seviyelerinde olduğu belirtilmiştir.

Hwang vd. [22] sonlu eleman yöntemi ve parametrik çalışmalar ile diyafram duvarlarda oluşan yer değiştirme profillerini incelemiştir. Çalışmada, zemin deformasyon modülü arttıķa sığ derinliklerde yanal deformasyon değerlerinin düştüğü grlmştir. Derinliğin yüksek olduğu durumlarda ise deformasyon değerlerinin zemin elastisite modülünden bağımsız oluştuğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada, zemin kazısının ilerleyen aşamalarında duvar yatay yer değiştirme değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

Ou vd. [23] tarafından yapılan çalışmada, oluşturulan 3 boyutlu model üzerinde gerçekleştirilen sonlu eleman analizleri yardımıyla destek elemanlarının kazı destekleme sistemleri ve zemin oturmaları üzerindeki etkisi incelenmiş, destek elemanlarının inşa edilmesiyle iksa duvarlarında görülen yatay yer değiştirmeler ve zemin yüzeyi oturmalarının azaldığı gözlenmiştir.

Hashash ve Whittle [24], geliştirdikleri efektif gerilme modeliyle (MIT-E3) kil zemin üzerine inşa edilmiş diyafram duvarlarda soket boyu, destekleme koşulları ve gerilme geçmişinin deformasyonlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda soket boyunun düşük olduğu diyafram duvarlarda, duvar boyunun n deformasyonlar üzerinde sınırlı etkilerinin olduğu sonucuna varılmıştır. Duvar boyunun 40 m' den büyük olduğu kazı destekleme sistemlerinde ise oluşan eğilme mometlerinin taban stabilitesine katkı sağladığı belirtilmiştir. Destek aralığı arttıķa, zeminin gerilme geçmişine de bağlı olarak taban hareketlerinin oluştuğu grlmştir. Ayrıca aşırı konsolidasyon oranı 2 ve 4 olan zeminlerde taban stabilitesi probleminin grldğ, zemin hareketlerinin duvar boyundan bağımsız olarak kazı derinliğiyle lineer olarak değiştiği sonucuna varılmıştır.

Osman and Bolton [25] yumuşak killerde inşa edilen derin temellerin oturma tahminine yönelik geliştirdikleri yöntem ile zeminin gerilme şekil değiştirme ilişkilerinden faydalanarak yer değiştirme tahminleri gerçekleştirmiştir. Çalışmada, geleneksel yöntemlerden farklı olarak, servis yükleri altında mobilize olan zemin gerilmeleri yardımı ile geliştirilmiş 'Mobilize Olabilir Mukavemete Dayalı Dizayn' yaklaşımı ile yer değiştirmelerin tahmini gerçekleştirilmiştir. alışmalar sonucunda plastik deformasyon

gösteren zeminlerde ölçülen yer değiştirmeler başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir. İksa ve destek sistemlerinin etkileri gözönünde bulundurulmadan zemin yüzeyi oturmalarının da incelendiği çalışmada, sonlu eleman analizleri ile elde edilen sonuçların basit hesaplamalarla doğrulanabildiği görülmüştür.

Koutsoftas [26] tarafından yapılan çalışma ile yumuşak zeminlerde derin kazı tasarımı ve inşasına yönelik gelişmelere değinilmiştir. Genel olarak derin kazıların tasarımı ve inşası, sözleşme gereği yükleniciler tarafından gerçekleştirilmektedir. Tasarım araçlarının ve inşaat yöntemlerinin gelişmesi nedeniyle kazı kaynaklı şekil değiştirmelerinden ve çevre yapılara olan etkilerinden kaynaklanan yasal sorunların daha geniş bir şekilde tanımlanması ve yönetmeliklerde yer bulması gerekmektedir. Kazıdan kaynaklı aşırı zemin hareketlerinin önüne geçmek için inşaat yönetmeliklerinde sorumluların tayin edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada derin kazı inşaatlarına ait yönetmeliklerin kapsam ve içeriğinde aşağıdaki hususların da yer alması gerektiği ifade edilmiştir:

1. İnşa edilecek duvarların birim uzunluğa göre sahip olması gereken rijitlik değerleri belirtilmeli, projelerde rijitliğin yatay deformasyonlar üzerinde önleyici etkilerini gösteren tasarım tablolarına yer verilmelidir.
2. Minimum duvar boyları, pratik tecrübeye veya analitik hesaplara dayalı olacak şekilde belirtilmelidir.
3. İksa sistemlerinde uygulanacak maksimum düşey ve yatay destek aralıkları ile minimum destek sayıları belirtilmelidir.

Çetin [27], İstanbul’ da inşa edilen 28 derin kazı inşaatına ait proje ve arazi verileri ile derin kazılarda görülen yer değiştirmeleri incelemiştir. Zemin çivili duvarlar ile ankrajlı kazıklı sistemlere ait verilerin derlendiği çalışmada, sistem rijitliği, soket boyu ve zemin çivisi yoğunluğunun kazı performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, zemin çivili duvarlarda ve ankrajlı kazıklı sistemlerde ortalama yatay yer değiştirmelerin sırasıyla %0.20H ve %0.155H mertebelerinde olduğu ifade edilmiştir. Sistem rijitliği ile yatay yer değiştirmeler arasında doğrusal bir ilişkiye rastlanmadığı, artan soket boyuyla maksimum yatay yer değiştirmelerin azaldığı, aynı rijitliğe sahip sistemlerde kazı derinliğinin soket boyundan daha önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu doktora tezinde derin kazılardan kaynaklanan zemin hareketlerinin incelenmesi ve bu zemin hareketleri ile bunlara etki eden faktörler arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kazı alanlarından elde edilen aletsel ölçümler ve kazı bilgileri ile bilgisayar ortamında bir veri bankası (databank) oluşturularak kazı etkisiyle oluşan hareketlerin zemin cinsi, kazı derinliği, vb. faktörlere göre değişimi incelenmiştir. Bir veri madenciliği yöntemi olan Yapay Sinir Ağları yaklaşımıyla, bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model ile derin kazılarda, farklı kazı aşamalarında görülen yatay yer değiştirmelerin tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Derin kazılarda meydana gelen yatay ve düşey zemin hareketleri kazı alanı ve çevresinde bulunan bina, yol ve tesislerde hasarlara neden olabilmektedir. Derin kazılardan alınan arazi yer değiştirme ölçümleri ve destekleme sistemi bilgileri ile oluşturulacak bir veri tabanı ile ileride yapımı gerçekleştirilecek derin kazı tasarımlarına ışık tutulması mümkündür. Bir çağdaş bilgi işleme tekniği olan Yapay Sinir Ağları yaklaşımı ile bir tahmin modeli geliştirilerek farklı kazı aşamalarında oluşan yer değiştirmeleri önceden tahmin edilecek, bu sayede kazı sahası ve çevresinde bulunan bina, yol ve tesislerde oluşabilecek hasarların önüne geçilebilecektir.

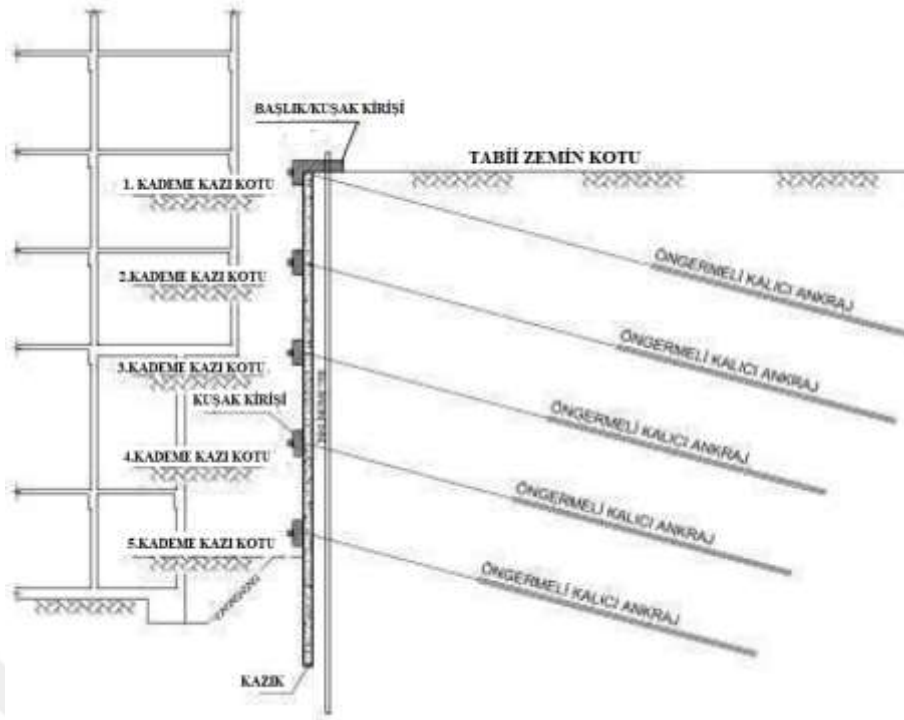
DERİN KAZILAR VE DESTEKLEME SİSTEMLERİ

2.1. Derin Kazılar

Binalar, ulaştırma yapıları ve barajlar gibi yapıların inşasında yapı temelini inşa etmenin yanında yapının yatay yüklere karşı güvenliğini arttırmak ve/veya yapıda ilave alanlar kazanmak için de derin kazılar inşa edilmektedir. Geoteknik mühendisliğinde derin kazı tanımı, derinliği 6 m' den daha fazla olan kazılar için kullanılmaktadır. Günümüzde mevcut teknolojik imkanlar ile 100 m derinliğe ulaşan derin kazılar yapılabilmektedir. Bu kazılarda farklı birçok koşula bağlı olarak ankrajlı kazı, içten destekli kazı, açık kazı, yukarıdan aşağıya kazı, bölgesel kazı ve ada kazı yöntemleri tercih edilmektedir.

2.1.1. Ankrajlı Kazı Yöntemi

Yatay destek elemanları olarak ankrajların kullanıldığı kazı yöntemidir. Ankrajlar öngermeli ya da pasif olarak imal edilmektedir. Öngermeli ankraj elemanlarının kullanıldığı kazı yönteminde yatay toprak itkileri öngermeli ankrajlar tarafından karşılanır. Ankraj elemanları; ankraj yüklerini alan kök kısım, yükleri kafa bölgesinden alıp kök bölgesine aktaran serbest kısım ve kazı yüzeyinde iksa ankraj bağlantısının yapıldığı kafa kısmından oluşmaktadır (Şekil 2.1).

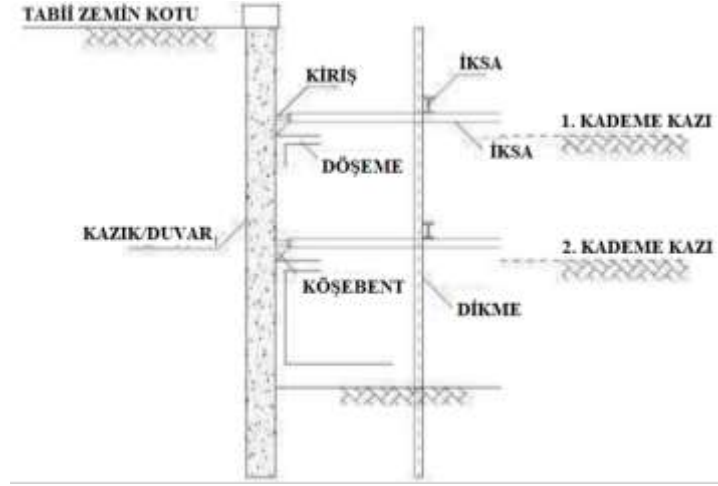


Şekil 2.1 Ankrajlı kazı yöntemi

2.1.2. İçten Destekli Kazı Yöntemi

Kazıdan kaynaklanan yatay toprak basınçlarının kazı yüzeyi önünde yapılacak yatay destek elemanları ile karşılandığı kazı yöntemidir. İçten destekli kazı sistemleri, iksa elemanı, göğüsleme kirişi, köşebent ve dikme gibi elemanlardan meydana gelmektedir. Göğüsleme kirişleri yatay toprak basınçlarını destek elemanlarına aktarır. Yatay destek elemanları ile duvar arasında teşkil edilen köşebentler kiriş açıklığını azaltarak kullanılan yatay eleman boyunu azaltır. Düşey iksa elemanları ise kazı alanında belirli sıklıklarla kullanılarak yatay elemanların burkulma boyunu azaltır (Şekil 2.2).

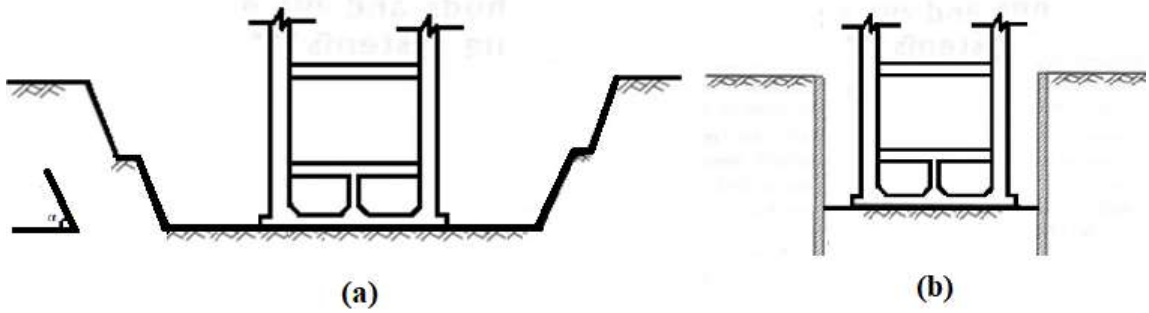
İçten destekli kazı yöntemi her derinlik ve genişlikteki kazılarda uygulanabilir. Ancak kazı çukuru içerisinde teşkil edilen destek elemanları kazı işlemlerini ve ekipman hareketlerini önemli ölçüde sınırlar. Ayrıca inşaat aşamasında kısımlar halinde birleştirilen destek elemanlarının aynı aksta yerleştirilmesi, yük dağılımı açısından önemlidir.



Şekil 2.2 İçten destekli kazı yöntemi

2.1.3. Açık Kazı Yöntemi

Açık kazı yöntemi, derin kazılarda en sık kullanılan kazı yöntemidir. Şevli açık kazı veya iksalı açık kazı olmak üzere farklı tiplerde uygulanabilmektedir. Şevli açık kazılarda derinlik çok fazla olduğundan maden ve baraj inşaatı gibi geniş alanlara sahip uygulamalarda tercih edilmektedir (Şekil 2.3a). Komşu yapıların sık bulunduğu çalışma alanının kısıtlı olduğu durumlarda ise derin kazıların dik açılması kaçınılmazdır. Kazıların dik açılması durumunda kazı stabilitesini sağlamak ve komşu yapılarda deformasyondan kaynaklanan hasarlara yol açmamak için iksalı bir destekleme yapısına ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 2.3b).

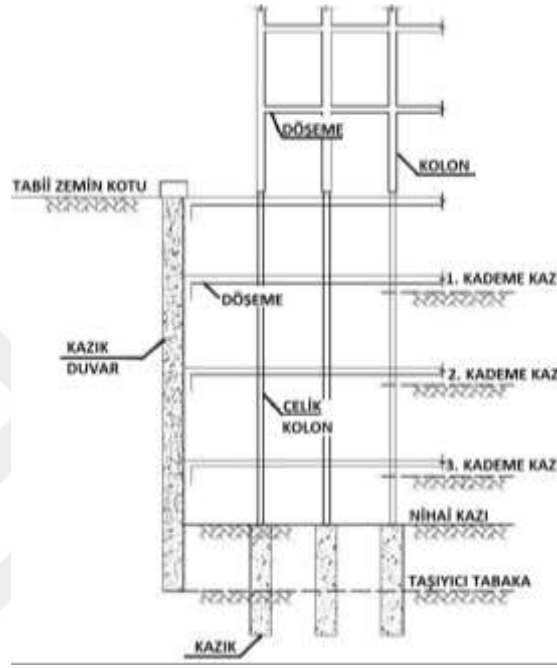


Şekil 2.3 Kazı yöntemleri (a) şevli kazı, (b) dik kazı

2.1.4. Yukarıdan Aşağıya Kazı Yöntemi

Yatay ve düşey yer değiştirmelerin çok kritik olduğu yerleşim yoğunluğu yüksek şehir merkezlerinde, ankraj ya da destek elemanlarının kullanımının mümkün olmadığı, karmaşık yer altı tesisleri ve önemli üst yapıların bulunduğu kazı işlemlerinin gerçekleştirilmesinin zor olduğu durumlarda yukarıdan aşağıya kazı yöntemi

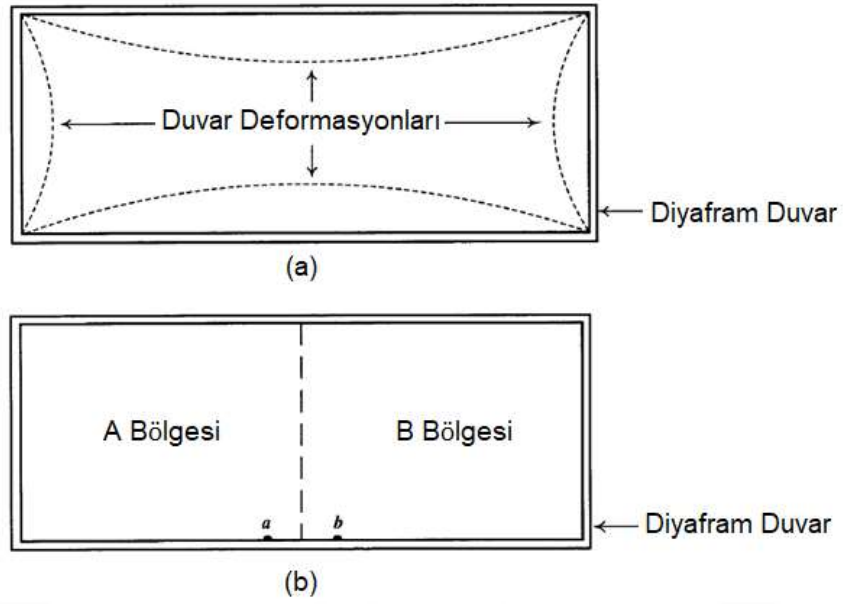
uygulanmaktadır. Bu kazı yönteminde iksa yapısı (genellikle diyafram duvarlar), zemin altı katların sabit yük taşıyan duvarları olarak tasarlanır. Yapısal çerçeveyi tamamlamak için kolonlar yerleştirilir. Üst döşeme, zemin yüzeyi seviyesinde dökülür ve daha küçük boyutlu ekskavatörler ile döşeme altında kazı yapılır. Nihai kazı aşamasına kadar bu işlemler tekrar edilir. Nihai kazı aşamasına gelindiğinde yapı temeli inşa edilerek çalışma tamamlanır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Yukarıdan aşağıya inşaat yöntemi

2.1.5. Bölgesel Kazı Yöntemi

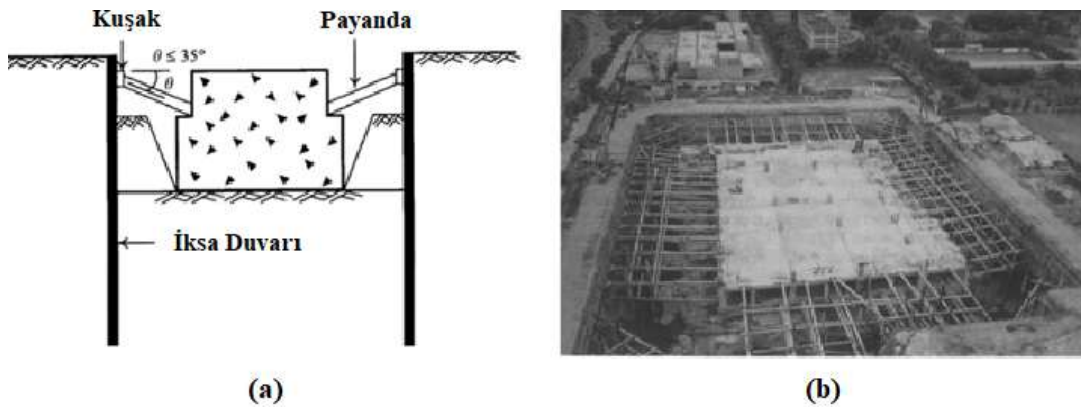
Derin kazılarda genellikle kısa kazı kenarında oluşan yer değiştirmeler uzun kenarlarda oluşan yer değiştirmelerden daha fazladır. Kazı geometrisinden kaynaklanan büyük yer değiştirmelerin önüne geçmek için bölgesel kazı yöntemi uygulanır. Bu yöntemde kazı işlemi, kazı alanı bölgelere ayırdıktan sonra aşamalı olarak gerçekleştirilir. Şekil 2.5' te görüldüğü gibi kazı alanı ikiye bölündüğünde B bölgesinde kazı işleminin bekletilerek önce A bölgesinin belli seviyeye kadar kazılması ve destek elemanlarının yerleştirilmesi, daha sonra B bölgesinde kazı işleminin gerçekleştirilmesi ve destek elemanlarının yerleştirilmesi şeklinde kazı alanı daha kısa açıklıklı iki bölgeye ayırarak orijinal kazı alanının uzun kenarlarında oluşacak yer değiştirmelerin önüne geçilebilmektedir.



Şekil 2.5 Bölgesel kazı yöntemi (a) geniş kazı alanı, (b) bölgelere ayrılmış kazı alanı

2.1.6. Ada Kazı Yöntemi

Kazı alanının çok geniş, inşa edilecek yapının kazı alanının merkezinde bulunduğu durumlarda ada kazı yöntemi olarak tanımlanan kazı yöntemi uygulanmaktadır. Bu kazı yönteminde, kazı derinliğinin fazla olmadığı durumlarda destek elemanları yerleştirildikten sonra kazı aşaması tek seferde tamamlanabilir. Kazı derinliğinin çok fazla olduğu durumlarda destek elemanlarının yerleştirilmesi ve şev bölgesinin kazılması işlemleri aşamalı olarak gerçekleştirilmelidir. Destekleme yapısı yatay ve düşey taşıyıcı elemanlardan oluşan yapısal bir sistemdir. Bu yapı sisteminin kazı geometrisi ve kazı alanının geoteknik özelliklerine göre tasarlanması gerekmektedir (Şekil 2.6).



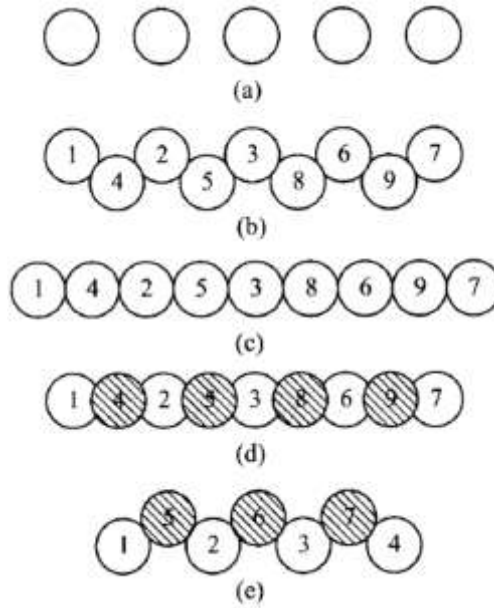
Şekil 2.6 Ada kazı yöntemi, (a) kesit görünüşü, (b) plan görünüşü

2.2. Derin Kazı Destekleme Sistemleri

Derin kazıların güvenli ve çevre yapılarına zarar vermeden yapılabilmesini sağlamak amacıyla kazı destekleme sistemleri geliştirilmiştir. Derin bir kazı için uygun destekleme sisteminin seçimi arazi koşullarına, kazı boyutlarına, çevre yapıların durumuna ve proje kriterlerine bağlıdır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan derin kazı sistemleri aşağıda verilmiştir.

2.2.1. Fore Kazıklı Duvarlar

Fore kazıklı duvarlar, beton kazıkların yerinde dökme ya da çakma kazık olarak değişik çap ve boylarda, birbirine teğet ya da aralıklı, kılıflı ya da kılıfsız olarak imal edildiği iksa duvarlarıdır. Zemin hareketlerini kontrol etmek, şev stabilitesini sağlamak ya da su geçirimsizliğini tesis etmek amacıyla kullanılırlar. Fore kazıklar zeminde gerçekleştirilen delgi işlemi sonrasında oluşturulan donatı kafesinin delgi çukurunun içine yerleştirilmesi ve beton dökülmesiyle imal edilirler. Kazık çapları 30cm ile 200 cm arasında değişebilir. Aralıklı, teğet, kesişen ya da karma şekillerde uygulanabilirler (Şekil 2.7). Uygun zemin koşulları ve ekipmanlara göre istenen derinliklerde imal edilebilirler. Kesişen tipte fore kazık imalatı yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu durumlarda sızdırmazlık görevi de görür. Diğer iksa yapılarına göre yüksek rijitlik değerlerine sahip olduklarından fore kazıklı duvarlarda daha az yatay yer değiştirmeler ölçülür.



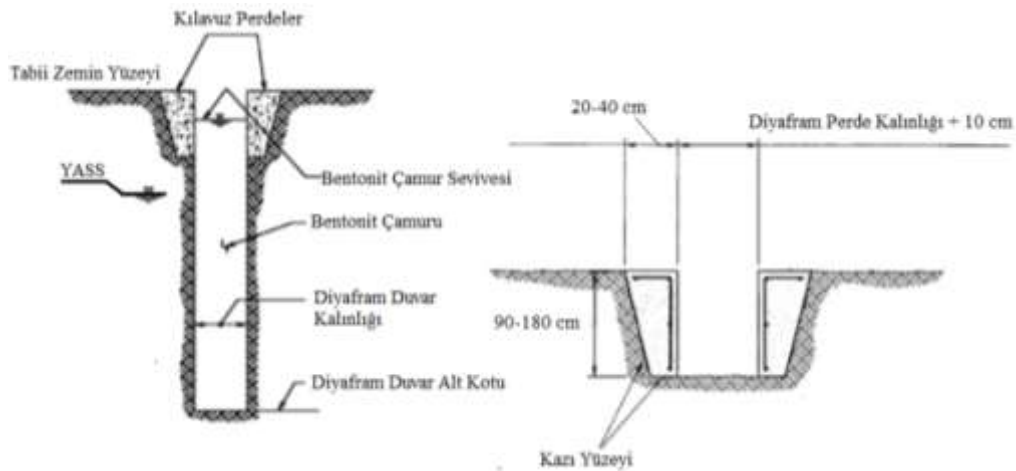
Şekil 2.7 Fore kazıklı duvar tipleri (a) aralıklı, (b,c) teğet, (d) kesişen, (e) karışık dizilimli

2.2.2. Diyafram Duvarlar

Diyafram duvarlar, genel olarak kazı duvarlarını desteklemek için inşa edilen geçirimsiz, donatılı ve yüksek dayanımlı zemin dayanma yapılarıdır. Parsel kullanım alanlarının çok değerli olduğu şehir merkezlerinde, yeraltı otoparklarında, istasyon derin kazılarında, bodrum kat sayısı fazla yapılarda sıklıkla kullanılırlar. Diyafram duvarlar yapısal destek ve su geçirimsizliği sağlarlar. Bu sebeple özellikle su seviyesi altındaki birçok derin kazı projesinde, sık kullanılan destekleme sistemleridir.

Diyafram duvarlar zemin içerisinde anolar veya paneller halinde, 60 cm ile 150 cm arasında değişen kalınlıklarda inşa edilirler. Zemin içerisinde, yeraltı su seviyesi altındaki diyafram duvar panel veya anolarının kazısı ile teşkil edilen hendeklerin iç stabilitesi, kazı çukuru içinde seviyesi sabit tutulan bentonit çamuru kullanılarak sağlanır. Böylelikle hendek içerisindeki bulamaç çamurunun pozitif basıncı ile kazı aynası betonlama aşamasına kadar sabit tutulur.

Diyafram duvarlar inşa edilmeden önce uygulama yapılacak bölgede duvar kalınlığına göre kılavuz duvarlar imal edilir. Bu duvarlar yerinde dökme ya da prekast elemanlardır. Kılavuz duvarlar 90 cm ile 180 cm arasında değişen derinliklerde, 20 cm ile 40 cm arasında değişen kalınlıklarda karşılıklı olarak imal edilirler. Kılavuz duvarlar, inşa edilecek diyafram duvarların yerinin tespiti ve doğru konumda inşa edilmesi ile kullanılacak donatı kafesinin beton dökülene kadar asılı durmasını sağlamaktadır. Uygulamada iki kılavuz duvar arası mesafe, diyafram duvar kalınlığından minimum 10 cm fazla olmalıdır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Diyafram duvar kesit görünüşleri

Diyafram duvar inşası esnasında tekil ano veya panel uzunluğu, kullanılan ekipman, hendek kazısının stabilitesi, donatı sıklığı gibi farklı faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Duvarlar mevcut yapılara yakın mesafede kılavuz duvarların yerleştirilebileceği minimum mesafe içinde inşa edilebilirler. Bir panelin kazısı tamamlandıktan sonra, önceden hazırlanmış donatı kafesi kazı çukuruna yerleştirilir. Tremi boruları ile beton aşağıdan yukarıya doğru dökülür. Anolarda imalatı yapılan duvarların birleştirilmesi sonucu diyafram duvar oluşur.

Diğer duvar tipleriyle karşılaştırıldığında diyafram duvarların avantajları şu şekilde sıralanabilir:

1. Düşük titreşim ve az gürültüye neden olurlar,
2. İstenilen kalınlıkta ve derinlikte imal edilebilirler,
3. Yüksek rijitlikli olmaları nedeniyle ölçülen deplasman değerleri düşüktür,
4. Su yalıtımı açısından elverişlidir,
5. Kalıcı yapılar olarak da kullanılabilirler.

Diyafram duvarların yukarıda sıralanan avantajları dışında birtakım dezavantajları da vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

1. İmalat esnasında ağır ve yer kaplayan ekipmanlar gerekmektedir,
2. Uzun inşaat süreleri gerektiren yüksek maliyetli bir uygulamadır,
3. Akıcı kum zeminlerde uygulanması zordur.

2.2.3. Kuyu Perde Duvarlar

Yeraltı su seviyesinin yüksek olmadığı kendi kendini tutabilen zeminlerde, 20-30 m derinliğe kadar, 2x2 m ya da 2x4 m boyutlarında elle yapılan, kazı sonrasında iksa yüzeyi betonarme perde duvarlar ile desteklenerek oluşturulan kazı destekleme sistemidir. Genellikle çalışma alanının yeteri kadar geniş olmadığı durumlarda uygulanırlar. Kuyu perde duvarların imalatı, kazı alanı kısımlara ayrılarak aşamalı olarak gerçekleştirilir. İlk açılan kuyunun, desteksiz olarak stabil durabileceği derinliğe gelindiğinde yatay destek elemanlarıyla kazı yüzeyi desteklenir ve kazı işlemine devam edilir. Nihai kazı derinliğine ulaşıldığında çelik donatı kafesi açılan kuyuya indirilir. Donatıların kazı çukuruna bakan yüzü ahşap kalıpla örüldükten sonra tremi borusuyla beton dökümü gerçekleştirilir.

İmalatı aşamalı olarak gerçekleştirilen kuyu perdeler başlık kirişi ile bağlanarak inşaat tamamlanır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Kuyu perde duvar

Kuyu perde duvarların inşaat maliyeti diğer kazı destekleme sistemlerine göre düşüktür. Kazı alanında yer kaybı olmaz. Kuyu perde duvarlar taşıyıcı eleman olarak da görev yaparlar. Ancak kuyu perde duvarlarda kazı derinliği arttıkça işçilik zorlaşır ve kazı aşamaları daha yavaş ilerler. Gelişen inşaat teknolojileri kuyu perde duvarları daha az tercih edilen bir kazı destekleme sistemi haline getirmiştir.

2.2.4. Palplanş Perdeler

Palplanş perdeler, kazı yüzeyini tutmada ve yeraltı suyunu engellemede kullanılan kazı destekleme sistemleridir. Rıhtım yapıları, iskeleler, derin kazılar, toprak kaymaları ve su yapılarında sızıntı uzunluğunu arttırmada kullanılırlar. Genel olarak ahşap, betonarme ve çelik malzemeden üretilirler. Yerleştirilen her bir palplanş perde eleman zemin içerisinde kenetli halde bulunur. Çok sayıda şekil ve türde kesitlerden oluşurlar. Betonarme palplanş perdeler istenilen kesitlerde üretilebilirler. Çakma işlemi esnasında oluşacak hasarların önüne geçmek için alt ve üst uçlarda donatı sıklaştırmaları yapılır. Çelik palplanş perdeler en çok tercih edilen palplanş perde tipidir. En sık kullanılan kesitler ise geniş kemerli, Z tipi ve düz gövdeli kesitlerdir (Şekil 2.10). İyi kenetlenmiş palplanş perde elemanlar su yalıtımı için elverişlidir. Düşük permeabiliteli kil zeminlerde palplanş perde elemanları arasındaki kenetlenme işlemi sızdırmazlık görevini yeteri kadar yerine getiremeyebilir. Kum gibi permeabilitesi yüksek zeminlerde sızıntı problemleri aynı zamanda kum akımlarına da neden olabilir. Palplanş perde duvarların inşaat aşamaları şu şekildedir:

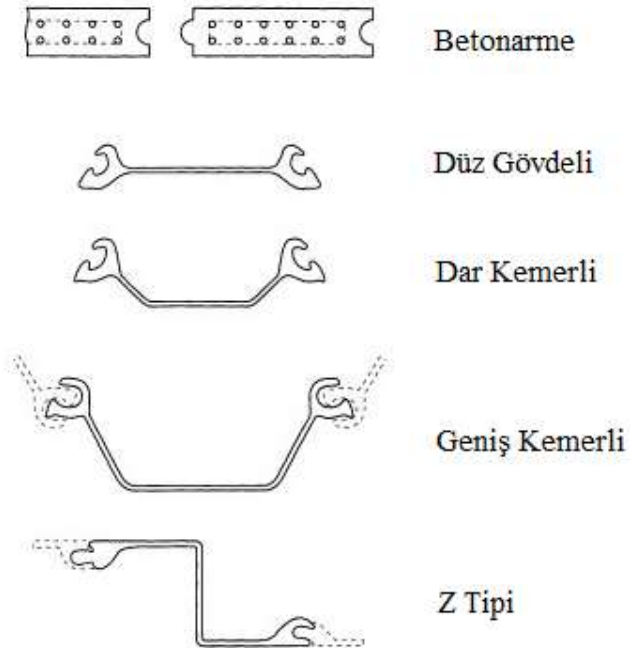
1. Palplanş perde elemanlarının çakma ya da titreşimle zemine yerleştirilmesi,
2. İlk kazı işleminin gerçekleştirilmesi,
3. Kuşakların ve yatay desteklerin yerleştirilmesi,
4. Bir sonraki kazı aşamasına geçilmesi,
5. Nihai kazı derinliğine ulaşıldığında üstyapı inşaatına başlanarak destek elemanların sökülmesi.

Palplanş perde kullanımının avantajları şunlardır:

1. Su sızdırmazlık yeteneği yüksektir,
2. Söküldükten sonra tekrar kullanımı mümkündür,
3. Berlin duvarı gibi sistemlere kıyasla yüksek rijitliğe sahiptir.

Avantajlarının yanında palplanş perde duvarların dezavantajları şunlardır:

1. Diyafram duvarlar ve kazıklı sistemlere göre daha düşük rijitliğe sahiptir,
2. Çakma esnasında oluşan titreşimden ötürü oturma problemlerine neden olabilmektedir,
3. Sert zeminlerde çakma işlemi hasarlara ve gürültüye neden olmaktadır,
4. Su sızıntıları tamamen önlenememektedir. Sızıntının önlenememesi durumunda beton enjeksiyonu kaçınılmaz olmaktadır.



Şekil 2.10 Palplanş perde duvar kesitleri

2.2.5. Püskürtme Betonlu Kaplamalar

Püskürtme betonlu kaplamalar çimento, su ve agrega karışımından oluşan harcın, hava basıncıyla yüksek hızla önceden hazırlanan yüzeye püskürtülmesiyle elde edilen beton duvarlardır. Püskürtme betonlar, uygulanma yöntemine göre kuru veya yaş olarak üretilmektedir. Kuru karışımda agrega ve çimento uygun ölçülerde karıştırıldıktan sonra, karışım basınçlı hava yardımıyla hortumdan püskürtme ucuna iletilir. Püskürtme ucuna gelen bu kuru karışıma operatör basınçlı su ekleyerek elde edilen betonu basınçlı hava yardımıyla uygulanacak yüzeye püskürtür. Yaş yöntemde ise agrega ve çimento karışımına su da ilave edilerek meydana gelen harç yine hortum içinde basınçlı hava ile püskürtme ucuna iletilir. Püskürtme ucuna gelen bu karışım yine hava basıncı ile 70-120 m/sn' lik hızla uygulama yüzeyine püskürtülür. Bu karışım uygulanacak yüzeye çarpınca uygulama yüzeyinde bir beton kabuk oluşur. Kavisli, kubbeli ya da serbest şekiller verilmek istenen yerlerde, yığma ve betonarme yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde, tünel kaplamalarında, farklı tip kalıp ve yüzeylere uygulanabilmektedir. Püskürtme beton kaplamalar yapı güçlendirme projelerinde, derin kazılarda, bina duvar ve kolonlarında, yol ve otoban kenarlarındaki şevlerde, tünel ve metro inşaatlarında kazı aynalarında, silo tamirlerinde, dekoratif amaçlı uygulamalarda ve suyun aşındırma etkisinden korumak amacıyla dere yataklarında kullanılırlar (Şekil 2.11).

Püskürtme beton kaplamalar derin kazılarda iksa duvarı görevini görürler. Tek başına veya farklı destek elemanlarıyla kullanımları mümkündür. Genellikle yatay destek elemanı olarak zemin çivileri ile birlikte kullanılırlar. Geçici ya da kalıcı olarak projelendirilebilirler. Kazı yüzeyinin kendini desteksiz tutabileceği süre ve derinlikte açıldıktan sonra çelik hasır elemanların üzerine zemin çivilerinin montajı gerçekleştirilir. Daha sonra beton püskürtme işlemi gerçekleştirilir. Bu aşamadan sonra zemin çivilerine germe işlemi uygulanır. Beton priz süresinden sonra kazı işlemine devam edilir ve aynı imalat aşamaları nihai kazı aşamasına kadar tekrarlanır.



Şekil 2.11 Püskürtme beton kaplamalı duvar

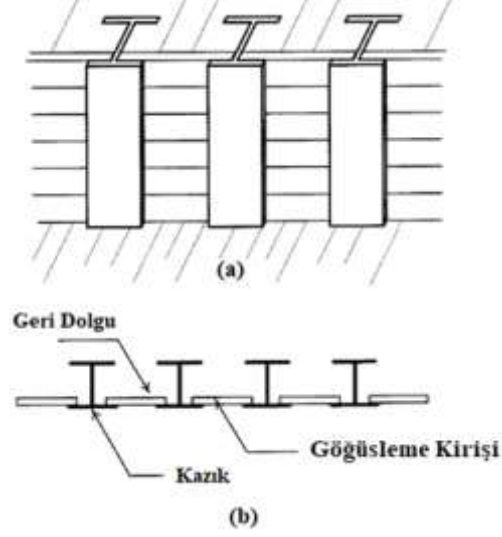
2.2.6. Berlin Duvarı

Literatüre 'Berlin Duvarı' olarak geçmiş, H veya I tipi çelik profil elemanların zemine çakıldığı, göğüsleme panellerinin yatay destek elemanı olarak kullanıldığı kazı destek sistemleridir. Göğüsleme elemanları, prekast ya da yerinde imalatı gerçekleştirilen paneller ya da ahşap kaplama elemanları olabilir (Şekil 2.12). Berlin duvarının inşaat aşamaları aşağıdaki gibidir:

1. Düşey profiller zemine titreşim yoluyla çakılır. Sert zemin tabakalarında çakma işleminden önce zemin kazılarak ilerlenebilir,
2. Göğüsleme elemanları yerleştirilir. Kazı yüzeyiyle iksa elemanı arasına geri dolgu yerleştirilir,
3. Kazı aşaması tamamlandıktan sonra üstyapı inşaatına başlanır.

Diğer kazı destekleme sistemleriyle karşılaştırıldığında Berlin duvarının avantajları şunlardır:

1. Kolay ve hızlı inşaat tekniği ile yapılan düşük maliyetli bir uygulamadır,
2. Düşey kazık elemanları kolayca yerleştirilir,
3. Palplanş perdelere göre çakma esnasında daha az hasarla karşılaşılır,
4. Çakıl zeminlerde kullanımını mümkün kılmak için uç bölgesi özel çelik elemanlarla güçlendirilir.



Şekil 2.12 Berlin duvarı şematik gösterimi (a) önden görünüş, (b) kesit görünüşü

Sayılan avantajlarının yanında Berlin duvarının birtakım dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlar şunlardır:

1. Yeraltı su seviyesinin olduğu zeminlerde yalıtım konusunda problemler çıkabilir,
2. Çakma işlemi sırasında gürültü ve titreşimler oluşur,
3. İksa duvarı ve kazı yüzeyi arasında geri dolgu yerleştirilmesi çoğu zaman gereklidir.

Şekil 2.13' te H tipi çelik kazıklı ahşap kaplamaların kullanıldığı Berlin duvarına ait gösterim yer almaktadır.



Şekil 2.13 Ahşap kaplamalı Berlin duvarı

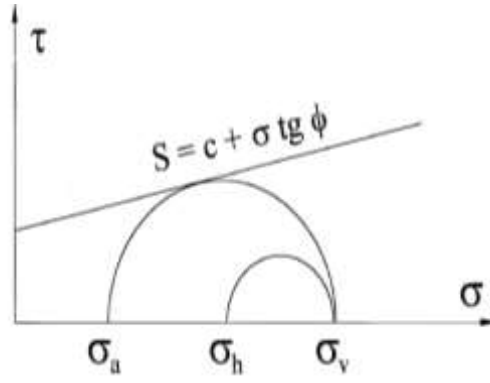
2.3. Destekleme Sistemlerine Etkiyen Yanal Toprak Basınçları

Destek sistemlerine etkiyen toprak basınçları, karşılayan düşey destek elemanlarının hareketine bağlıdır. Destekleme yapılarına gelen toprak basınçlarının belirlenmesi için ilk teori Coulomb [28] tarafından geliştirilmiştir. Arkası eğimli yığma istinad duvarlar için geliştirilen bu ilk teoriyi Rankine [29] tarafından önerilen toprak basıncı teorisi izlemiştir. Bu iki toprak basıncı teorisi halen istinad yapılarının tasarımlarında düşey elemanlara etkiyen yanal toprak basınçlarını tanımlamada kullanılmaktadır. Bu toprak basıncı teorileri dayanma yapısı arkasında yapının hareketine bağlı olarak limit dengeye ulaşıldığında bir kayma kaması oluştuğunu kabul eder. Sadece düşey elemanlara sahip ağırlık tipi istinad yapıları ile konsol plaplanşlarda bu durum geçerli iken içten destekli ve ankrajlı sistemler gibi yatay destekleri olan destekleme yapılarında arka zeminin hareketleri kısıtlandığından plastik denge durumları genellikle oluşmaz. Bu nedenle yatay destekli kazı destekleme sistemlerinde amprik toprak basınç teorileri tercih edilir. İçten destekli kazı destekleme sistemlerine gelen toprak basınçları için kullanılan yaklaşımlar Terzaghi ve Peck [30] , Tschobotarioff [31] gibi araştırmacı ve mühendislerin saha ölçümleri ve laboratuvar deneylerine dayanmaktadır.

Aşağıda, derin kazı destekleme sistemlerinin tasarımında gözönüne alınan yanal toprak basınçlarının belirlenmesinde kullanılan yaklaşımlar anlatılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak Rankine [29] ve Coulomb [28] toprak basınçlarının özetlenmesinin uygun olacağı düşünülmüştür.

2.3.1. Rankine Toprak Basınçları Teorisi

Şekil 2.14' te gösterilen, duvarın yanal olarak dışa doğru ötelenmesi veya alt ucu etrafında dönmesi durumunda zemindeki düşey gerilmeler değişmezken yanal gerilmeler azalır. İncelenen düşey gerilmeye göre azalan yanal gerilmelerin minimum değerlere ulaşması durumunda zeminde göçmeler oluşur. Ulaşılan bu minimum yanal gerilme değerine Aktif Toprak Basıncı (σ_a) denir.



Şekil 2.14 Aktif Rankine toprak basıncı durumunda mohr daireleri ve göçme zarfı [32]

Duvarın düşey ve sürtünmesiz, duvar arkasının da düz olması durumunda düşey ve yanal gerilmeler asal gerilmeler olup duvar arkasında göçmeye ulaşıldığında düşey gerilme büyük asal gerilme, aktif gerilme ise küçük asal gerilme değerindedir. Zeminde göçme durumu için asal gerilmeler ile kayma dayanımı parametreleri arasında;

$$\sigma_1 = \sigma_3 \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \cdot \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right), \quad (2.1)$$

bağıntısıyla ifade edilen bir ilişki vardır. Eşitlikte $\sigma_1 = \sigma_a$ ve $\sigma_3 = \sigma_v$ olarak yazılırsa

$$\sigma_a = \sigma_v \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) - 2c \cdot \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right), \quad (2.2)$$

$$\sigma_a = \sigma_v \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) - 2c \cdot \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right), \quad (2.3)$$

$$\sigma_a = \sigma_v \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \quad (2.4)$$

eşitliğine dönüşür. Burada c ve ϕ toplam gerilmeler cinsinden kayma mukavemeti parametreleridir. Bu eşitlikte uzun süreli analiz için parametreler, efektif gerilmeler cinsinden c ve K_a olarak yazılmalı, su basıncı ayrıca gözetilmelidir. Kırılma düzlemi yatayla toplam gerilmeler için $45 + \phi / 2$, efektif gerilmeler için $45 + \phi' / 2$ açısını yapar. Suyu doygun killerde ise kısa süreli analizler için drenajsız koşullar geçerlidir. Bu durumda $\phi_u = 0$ yazılabileceği için $K_a = 1$ olduğundan (2.4) eşitliği; ϕ

$$\sigma_1 = \sigma_v - 2 \cdot c_u \quad (2.5)$$

eşitliğine dönüşmektedir. Temiz granüler zeminler de ise $c = 0$ olduğundan (2.4) eşitliği

$$\sigma_a = \sigma_v \cdot K_a, \quad (2.6)$$

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

şeklini alır. K_a Aktif Rankine itki katsayısıdır. Duvar arkası zeminin yatayla α açısı yapması halinde aktif itki katsayısı K_a için;

$$K_a = \cos \alpha \cdot \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} \quad (2.8)$$

eşitliğinin geçerli olduğu gösterilmiştir. Bu eşitlikte K_a değiştirilmiş aktif Rankine toprak basınç katsayısıdır.

$$\sigma_a = \sigma_v \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \quad (2.9)$$

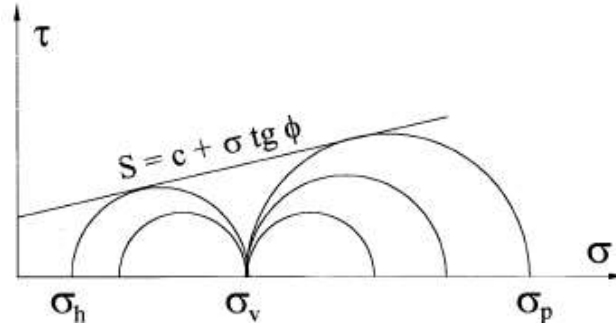
eşitliğinde $c > 0$ için yanal gerilmeler zemin yüzeyinde olduğundan zemin çekme gerilmeleri altındadır. Gerilmelerin pozitif değerlere ulaştığı yerler için $\sigma_a = 0$ yazılırsa

$$0 = \gamma \cdot z_c \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}, \quad (2.10)$$

$$z_c = \frac{2 \cdot c}{\gamma \cdot \sqrt{K_a}} \quad (2.11)$$

eşitliği elde edilir. z_c çekme çatlağı derinliğini göstermektedir. Aktif itkilerin doğabilmesi için duvarın gevşek kumda 0.002H, sıkı kumda 0.0005H, yumuşak kilde 0.02H ve katı kilde 0.01H kadar dışa doğru yer değiştirme yapması gerekmektedir [32].

Duvar zemine doğru ötelenir veya alt nokta etrafında zemine doğru dönerse, gösterilen zemin elemanında düşey gerilmeler değişmezken yanal gerilmeler giderek artar. Normal koşullarda düşey gerilmelerden az olan yanal gerilmeler giderek önce düşey gerilmelere eşit olur, daha sonra artan gerilmelerin belirli bir limit değere ulaşması halinde zeminde göçme meydana getirir. Ulaşılan bu değere 'Pasif Toprak Basıncı' adı verilir. Bu gerilmenin meydana gelmesi Mohr daireleri formunda Şekil 2.15' te gösterilmektedir.



Şekil 2.15 Rankine pasif zemin toprak basıncı [32]

Zeminde göçme oluştuğu anda yanal gerilme büyük asal gerilme, düşey gerilme ise küçük asal gerilmedir. Bu durumda $\sigma_3 = \sigma_v$ ve $\sigma_p = \sigma_1$ olduğu düşünülürse,

$$\sigma_1 = \sigma_3 \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \cdot \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.12)$$

eşitliği

$$\sigma_p = \sigma_v \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \cdot \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.13)$$

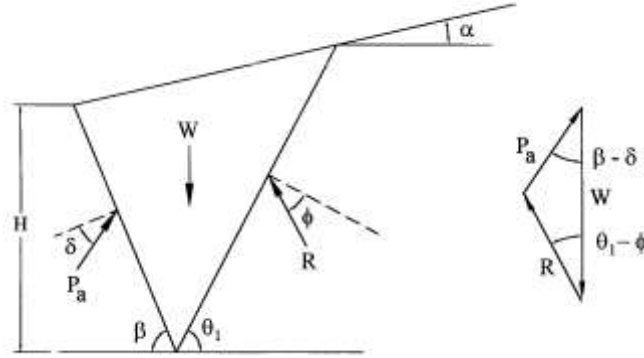
şeklini alır.

Pasif yanal itkinin doğabilmesi için aktif itkilerden çok daha fazla yanal ötelenme gerekmektedir. Duvar üst noktasının gevşek kumda 0.006H, sıkı kumda 0.002H, yumuşak kilde 0.04H, katı kilde 0.02H mertebelerinde yer değiştirme yapması gerektiği model deneyleriyle gösterilmiştir [32].

2.3.2. Coulomb Toprak Basıncı Teorisi

Duvar arkasındaki zeminin granüler $c=0$ ve yatayla α açısı yaptığı, duvarın düşey olmadığı ve arkasında sürtünme olduğu durumlarda yanal zemin itkisi farklı olmaktadır. Şekil 2.16' da görüldüğü gibi duvar arkasında yatayla θ_1 açısı yapan bir deneme göçme yüzeyinin belirlendiği zemin kütesinin dengesi düşünülürse bu kamaaya etkiyen kuvvetler W ağırlığı, duvarın kütleyle yaptığı P_a tepkisi ve göçme yüzeyinde doğan R kuvvetidir. Kama aşağı ve yana doğru yer değiştirmeye çalıştığı için P_a ve R bu yer değiştirmeye engel olacak bileşenler verecek şekilde kesit normallerine göre eğik olmak zorundadırlar. Yani duvar-sürtünme açısı δ olduğu için P_a duvar düzlemine dik doğrultudan δ kadar aşağı, duvar-zemin sürtünme açısı ϕ olduğu için deneme göçme yüzeyine dik doğrultuya göre

R , ϕ açısı yapacak şekilde aşağıya yönelmiştir. Göz önüne alınan kama için düşey yönde etki eden W ağırlığı hesaplanabileceğinden P_a ve R değerleri bulunabilir. θ_1 açısı değiştirilerek P_a' lar bulunursa bunların içerisinde en fazla zemin itkisini veren değer 'Coulomb Yanal İtkisi' olacaktır.



Şekil 2.16 Coulomb kama yöntemiyle aktif itki [28]

Yukarıda grafik olarak bulunuşu açıklanan toplam itki kuvveti analitik olarak

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{ac} \quad (2.14)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Burada K_{ac} Coulomb Aktif İtki katsayısı olup değeri

$$K_{ac} = \frac{\sin^2(\beta + \phi)}{\sin^2 \beta \cdot \sin(\beta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (2.15)$$

eşitliği ile bulunabilir. Duvar arkasında yayılı ' q ' yükü bulunması durumunda;

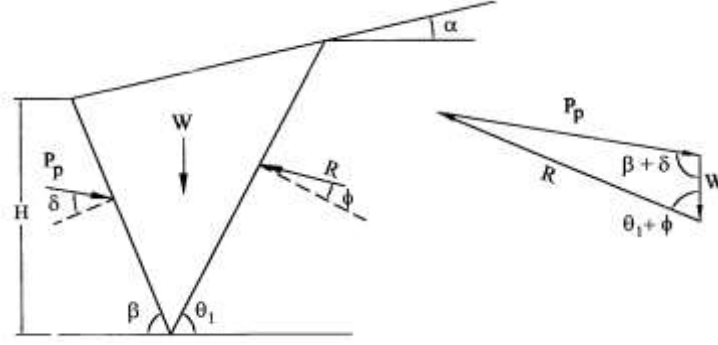
$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{eq} \cdot H^2 \cdot K_{ac} \quad (2.16)$$

eşitliği ile toplam itki bulunabilir. Burada γ_{eq} eşdeğer birim hacim ağırlığıdır ve

$$\gamma_{eq} = \gamma + \left[\frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \alpha)} \right] \cdot \left(\frac{2q}{H} \right) \quad (2.17)$$

eşitliği ile bulunabilir.

Duvar ve duvar arkası zemin koşullarının Rankine koşullarından farklı olduğu durumda granüler zeminlerde pasif itki Coulomb [28] tarafından bir kamanın dengesi düşünülerek K_{ac} hesaplanmıştır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Coulomb pasif toprak basıncı [28]

Zeminin göçme durumu, zemin kamasının yukarı doğru yer değiştirmesi ile mümkün olduğundan bu kez P_p duvar normalinden yukarıya doğru δ , göçme yüzeyindeki kuvvet de bu yüzey normalinden ' ϕ ' kadar yukarı doğru yönelmiştir. P_p ve R ' nin yönleri, W ' nun ise hem yönü hem büyüklüğü belli olduğundan, varsayılan θ_1 için P_p değeri bulunabilir. Çözüm analitik olarak yapılırsa;

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{p_c}, \quad (2.18)$$

$$K_{a_c} = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \cdot \sin(\beta + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi + \alpha)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (2.19)$$

eşitlikleri elde edilir [32].

2.4. Destek Sistemlerine Etkiyen Toprak Basıncı Dağılımları

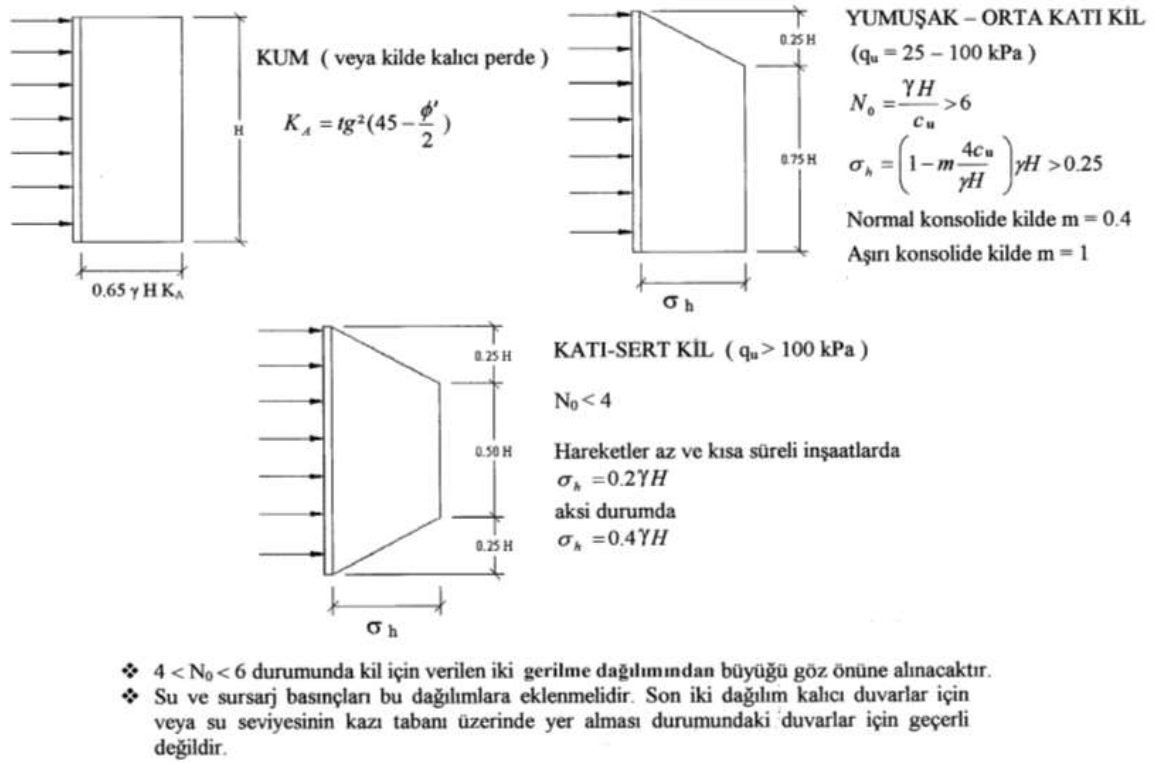
Derin kazılarda oluşturulan destek sistemleri, zeminin yanal hareketlerini sınırlar. Destek sistemine aktarılan yükler aktif toprak basıncı kuramıyla hesaplanandan daha fazladır. Bu yanal yükler zeminin cinsine göre farklılık göstermektedir (Şekil 2.18).

Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin birlikte olması durumunda zeminin birim hacim ağırlığı ve basınç direnci;

$$q_a = \frac{1}{2} \cdot H \cdot (\gamma_s \cdot K_s \cdot H_s^2 \cdot \tan \phi_s + H_c \cdot n \cdot q_u), \quad (2.20)$$

$$\gamma_a = \frac{1}{H} \cdot (\gamma_s \cdot H_s + \gamma_c \cdot H_c) \quad (2.21)$$

eşitlikleriyle hesaplanır. Formülasyonda 'n' 0.5 ile 1.0 arasında bir değer alır. 'K_s' değeri ise kumlar için '1' alınır. Tabaka sayısının birden fazla olması durumunda tabaka kalınlıklarını gözönünde bulundurarak birim hacim ağırlığı, kohezyon ve içsel sürtünme açılarını kullanarak zemin formasyonu iki tabakalı bir yapıya indirgenir. Kısa süreli analizler için toplam gerilme kayma mukavemeti parametrelerini, uzun süreli analizlerde ise efektif gerilme analizi parametrelerini dikkate almak gerekir.



Şekil 2.18 Farklı zemin tiplerine göre gerilme dağılımı [32]

2.5. Derin Kazıların Stabilitesi

Derin kazıların tasarımında dikkate alınması gereken stabilite problemleri genel olarak üç başlıkta toplanabilir:

- Genel stabilite,
- Destekleme sistemini oluşturan elemanların yerel stabilitesi,
- Taban kabarmasına karşı stabilite.

Tasarımda dikkate alınması gereken bu stabilite durumları Şekil 2.19' da gösterilmiştir. Bunların ayrıntıları aşağıda açıklanmıştır.

2.5.1. Genel Stabilit 

Derin kazı destekleme sistemlerinde stabilit  tahkikleri, sistemin göçmesini inceleyen toptan göçme ve taban göçmesine karşı yapılan analizler ile gerçekleştirilir. Toptan göçme analizi derin kazılarda irdelenmesi gereken, göçme durumunda b  y k zararlar oluşturacak hareket mekanizmasıdır. Derin kazılarda tutulu zemin kütlesinin tamamının bir bütün olarak göçmesi ve destekleme sisteminin işlevini yitirmesi durumu toptan göçme olarak tanımlanır.

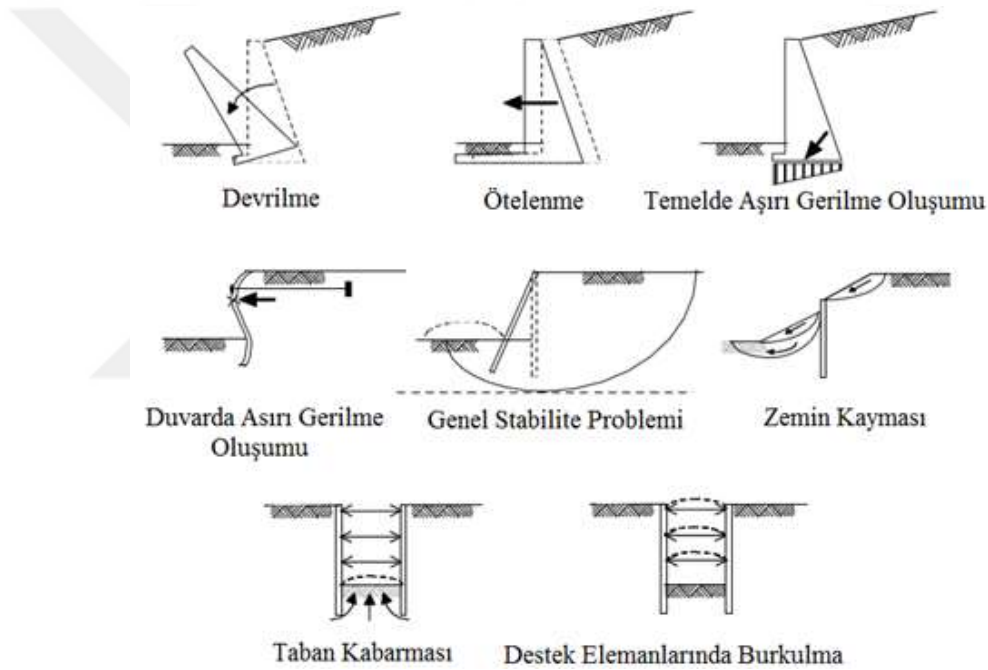
Toptan göçme tahkikinde zamin kütlesinin derin bir kayma düzleminde, silindirik kayma daireleri veya logaritmik bir spiral boyunca kayd ı kabul edilmektedir. Silindirik kayma daireleri ile tahkik yapmak için farklı hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Bütün hesap yöntemlerinde kayma dairesi boyunca zemin kütlesi dilimlere ayrılarak hesap yapılır. Sistemin güvenliği kaymaya karşı koyan kuvvetlerin momentlerinin kaymaya zorlayan kuvvetlerin momentlerine oranıyla hesaplanmaktadır. Ankrajlı kazı destekleme sistemlerinde, ankrajlar kayma dairesi tarafından kesiliyorsa kesilen ankrajın kuvveti hesaplamalarda dikkate alınır. Kayma dairesi içinde kalan ankrajlar ise dikkate alınmaz. Tahkiklerde ankraj kuvvetinin kayma merkezine göre momenti alınarak hesaplamalara dahil edilir. Bazı yaklaşımlarda ise ankraj kuvveti, kayma yüzeyi üzerine etkiyen yayılı olarak kabul edilmektedir. Kayma tahkikinin yapıld ı  sve  Dilim yönteminde ise dilimler arası kuvvet bile kesinin dilim tabanına paralel olduğu varsayılır. Bishop yönteminde ise dilimler arası normal kuvvetler ihmal edilip yalnızca dilim sınırındaki normal kuvvetler hesaba katılır.

Stabilit  tahkikleri, geçici veya kalıcı kazı destekleme sistemlerinde farklı parametreler kullanılarak yapılmalıdır. Bu tahkiklerde, geçici kazı destekleme sistemlerinde drenajlı ve drenajsız zemin durumlarından riskli sonuç veren durum, kalıcı kazı destekleme sistemleri için ise drenajlı zemin parametreleri kullanılarak stabilit  analizleri yapılmalıdır.

Kazı destekleme sistemleri tasarlanırken mühendislik parametrelerinin yanlış alınması, inşaat sahası koşullarının değişmesi, inşaat süresince kazı destekleme sistemine etkiyen hesap dışı s r arj yükleri, yeraltı su seviyesinin değişmesi, kazıklar arası kemerlenme etkisinin oluşmaması ve kazık aralarından malzeme akması gibi nedenlerle derin kazılarda,

- Devrilme ve ötelenme,
- Toptan göçme,
- İksa sisteminin önündeki veya arkasındaki şevin kayması,
- Taban kabarması,
- Düşey oturmalar,
- Destek elemanlarında deformasyonlar,
- Aşırı gerilme birikmesi

gibi stabilite problemleri ortaya çıkabilmektedir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19 Kazı destek sistemlerinde görülen stabilite problemleri

2.5.2. Taban Kabarmasına Karşı Stabilite

Derin kazılarda kazı derinliği arttıkça kazı tabanında zemin yükünün azalması neticesinde düşey gerilmelerin rahatlamasına bağlı olarak kayma gerilmeleri artmaktadır. Kazı destekleme sisteminde herhangi bir stabilite problemi yaşanmaması kabulüyle kazı tabanında oluşan kayma gerilmeleri kazı zemininin kayma direncini aştığında kazı tabanı kabarması meydana gelmektedir. Kumlu zeminlerde, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu durumlarda, kritik hidrolik eğime ulaşıldığında kazı tabanı kabarması oluşur. Killi zeminlerde kazı tabanı kabarması, zemin cinsi ve dayanımı, kazı geometrisi, kazı derinliği,

yeraltı su seviyesi ve kazı tekniğinden etkilenmektedir. Kazı tabanı kabarmasının elastik hesabında farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş eşitlikler vardır. Terzaghi [7] destekli kazı tabanında killi zemin olması durumunda tabanın kabarma sorununu incelemiş, yaptığı analizlerde kazı tabanında Şekil 2.20’ de görülen ‘ i f ’ hattı boyunca toplam;

$$Q_u = \gamma_s \cdot H_e \cdot 0,7 \cdot B - C_u \cdot H_e \quad (2.22)$$

yükünün $0,7 \cdot B$ genişliğinde bir temel üzerinde etkiyeceğini düşünerek temelin taşıma gücünü;

$$Q_u = C_u \cdot N_c \cdot 0,7 \cdot B \quad (2.23)$$

eşitliğiyle ifade etmiştir. Bu durumda taban kabarmasına karşı güvenlik sayısı;

$$FS = \frac{S_u \cdot N_c}{\gamma_s \cdot H_e + q_s - S_u \cdot \frac{H_e}{B}} \quad (2.24)$$

olarak elde edilir. Bu eşitlikte zeminin en az $0,7 \cdot B$ derinliğe kadar homojen olduğu varsayımı yapılmıştır. Bu derinlikten daha sığ derinliklerde sert bir formasyon varsa ve derinliği D ile gösterilirse güvenlik katsayısı;

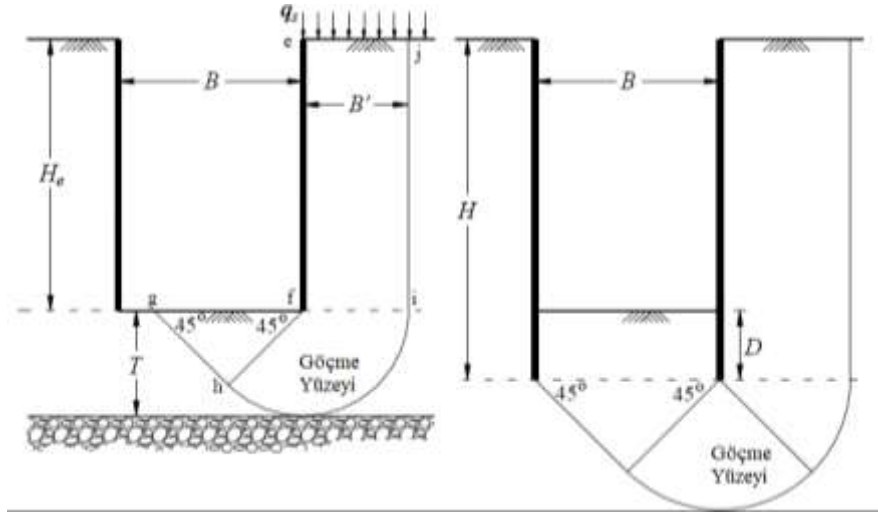
$$FS = \frac{1}{H} \cdot \left(\frac{5,7 \cdot C_u}{\gamma - \frac{C_u}{D}} \right) \quad (2.25)$$

olarak hesaplanır. Taban kabarmasına karşı sistemin güvenliğinin minimum 1,5 olması istenir. Bu değer eğer daha küçükse kazı sisteminin derinliği, kazı genişliğinin yarısı kadar arttırılır (Şekil 2.20).

Bjerrum ve Eide [2], kazı tabanı kabarmasına karşı güvenlik sayısını ise;

$$FS = \frac{c \cdot N_c}{\gamma \cdot H} \quad (2.26)$$

eşitliğiyle hesaplamıştır.

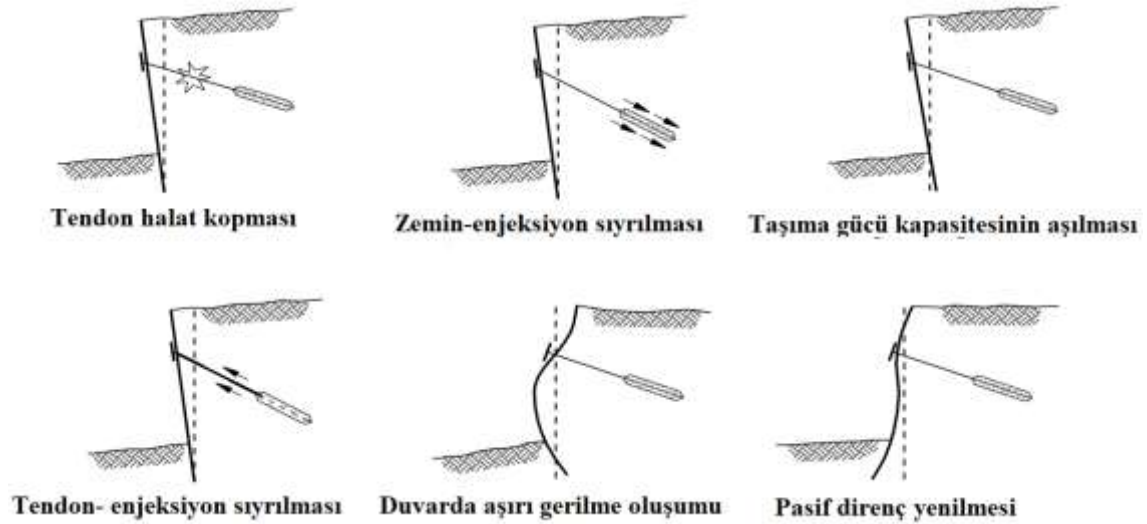


Şekil 2.20 Kazı tabanı kabarması [7]

2.5.3. Destekleme Sistemlerinin Yerel Stabilitesi

Kazı destekleme sistemlerinde, sistemi oluşturan her bir elemanın yerel stabilitesi kazı destekleme sisteminin performansını etkilemektedir. Ankrajlı iksa sistemlerinde, ankraj tendonlarına gelen yük, taşıma gücünü aşarsa kopma kaçınılmazdır. Tasarımlarda, ankraja gelecek yükler, halat kopma yükünün 0.6 katını, ankraj deneylerinde ise 0.8 katını geçmemelidir. Ankraj kök bölgesi ile zemin kitlesi arasında oluşan sürtünme kuvveti ankrajların uygulanan yükleri taşımasına olanak sağlar. Uygulanan yüklerin kök bölgesi ile zemin arasındaki sürtünme kuvvetini yenmesi durumunda zemin kitlesinde kopmalar oluşur. Kök boyu uzunluğu yeterli olan ankrajlarda ise bu tür göçme ve sıyırılma riskleri azdır. Adezyon, sürtünme ve mekanik kilitleme olarak tanımlanan etkiler ankraj tendonlarının enjeksiyondan sıyırılma dayanımını oluşturur. Enjeksiyon-tendon sıyırılmalarının önüne geçmek için uygulanan enjeksiyon basıncı, enjeksiyon içindeki tendon boyu, tendon yüzeylerinde korozyon oluşumu gibi hususlara dikkat edilmelidir. Zemin-enjeksiyon sıyırılmaları, zemin cinsi ve uygulanan enjeksiyon basıncına bağlıdır. Zemin-enjeksiyon sıyırılmalarının önüne geçmek için ankraj kökünde, enjeksiyonla doldurularak oluşturulan silindir, yüksek basınçla oluşturulan genişletilmiş silindir ve mekanik olarak genişletilmiş silindir tiplerinden en uygunu yapılmalıdır. Enjeksiyon karışımlarından istenen verimin alınmadığı durumlarda hedeflenen enjeksiyon mukavemetini, priz hızını ve işlenebilirliği sağlayacak en uygun karışım oranı seçilmelidir. Ankraj plakaları uygulanan yükleri karşılayacak, ezilme, eğilme ve deformasyona uğramayacak niteliklerde seçilmelidir. Ankraj başlıklarının da yükleme esnasında aynı

yapısal deformasyonlara uğramadan hizmet vermesi önemlidir. Ankraj başlıklarının, delgi açısı ile uyumlu ve düzgün yerleştirilmesi gerekmektedir. Ankraj kamalarının, başlık içindeki boşluğun geometrisiyle uygun olması gerekmektedir. Aksi halde kamalanma performansı olumsuz etkilenir. Ankraj halatları arasındaki mesafeyi ayarlayan ayıraçların, tendonlar arasındaki mesafeyi koruyacak şekilde seçilmesi ve uygulanması gerekmektedir (Şekil 2.21).

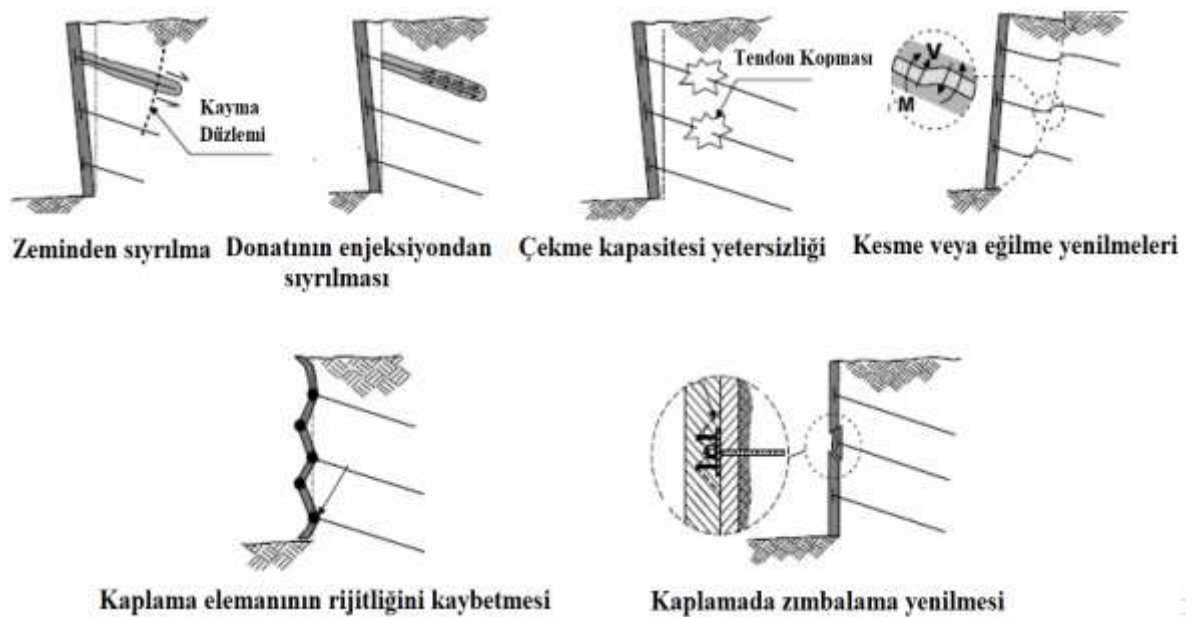


Şekil 2.21 Ankrajlı sistemlerde yerel stabilite bozuklukları

İçten destekli sistemlerde, destek elemanları, reaksiyon kuvvetlerini destekleme sistemi içerisindeki karşı ya da komşu düşey destek elemanlara aktarırlar. Kendi ağırlıklarından kaynaklanan eğilme momenti ve yanal kuvvetlerden kaynaklanan normal kuvvet altında, eğilme ve normal kuvvet etkisi altında çalışırlar. Tasarım esnasında kullanılan kesitlerin bu yükleri karşılayacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. İçten destekli sistemlerde deplasmanlar destek seviyeleri arasında ve göbeklenme şeklinde oluşmaktadır. Bu deplasmanlar genelde kazı kademeleri arasında oluşur. Kazı kademelerinin kontrolsüz ilerlemesi destek elemanlarının aşırı yüklenmesine ve taşıma kapasitelerinin aşılmasına neden olur. Bu nedenle destek elemanlarının aşırı yüklenmesine neden olacak kontrolsüz kazı kademelerinden kaçınılmalıdır. Kazının tamamlanmasından sonra destek elemanlarının sökümü esnasında nihai ve büyük deplasmanlar oluşmaktadır. Bu nedenle destek elemanlarının söküm işlemlerinin kontrollü bir şekilde yapılması gerekmektedir. Destek elemanları ile iksa duvarının temasını sağlayan birleşim detayları önemlidir. Kullanılan yatay destek elemanlarının düşey elemanlar ile birleşim noktalarındaki düzensizlikler destek elemanlarında dönme, burkulma ve burulma gibi yapısal hasarlara neden olabilir. Bu

nedenle yatay destek elemanları ile duvar yüzeyindeki plakalar arasındaki birleşimin boşluk bırakılmadan yapılması gerekmektedir. Destek elemanlarına uygulanan öngerme yükü destek elemanı ile plaka arasındaki boşlukların kapanmasını sağlamaktadır. Yatay deplasman değerinin çok düşük tutulması gereken sistemlerde verilen öngerme yükleri, termal etkiler de göz önünde bulundurularak dizayn yükünün altında tutulmalıdır. Ön yüklemeye gerek duyulmayan sistemlerde borular ile yatay eleman arasındaki boşluk, kamalanarak ya da kaynaklanarak giderilmelidir. Destek elemanlarının yerleşimi yapılırken, sisteme gelen yüklerin tasarımı kadar kazı alanının makine ve ekipman açısından kazılabilirliği de önemlidir. Yeterli kazı alanının bırakılmadığı durumlarda kazı işlemi esnasında destek elemanlarında çarpmalardan kaynaklı hasarlar meydana gelebilmektedir.

Zemin çivili duvarlarda önyüklemeye yapılmadığından zemin çivilerinin yük taşıyacak hale gelmesi için duvarın, çivi elemanlarının mobilize olmasını sağlayacak kadar deplasman yapması gerekmektedir. Bu nedenle zemin çivili duvarlarda oluşan deplasmanlar kazı alanı yakınındaki tesisleri etkileyebilir. Zemin çivili duvarlarda, zeminde sıyırılma, çivi çekme kapasitesinin aşılması, çivide kesme veya eğilme yenilmelerinin oluşması gibi iç stabilite bozukluklarının yanında beton kaplamanın rijitliğini kaybetmesinden ya da kaplamada oluşan zımbalamalardan kaynaklanan stabilite bozuklukları görülebilmektedir. Zemin çivili durumlarda tasarımların dış stabilite yenilmeleri kadar iç stabilite yenilmeleri ve beton kaplamadan kaynaklanan yenilmeleri de karşılayacak şekilde yapılması gerekmektedir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 Zemin çivili sistemlerde yerel stabilite bozuklukları

Düşey destekleme elemanlarının imalatı sırasında da birtakım stabilite problemleriyle karşılaşmaktadır. Düşey destek elemanları nihai kazı derinliğine ulaşıldıktan sonra sağlam zemine soketlenmelidir. Düşey destek elemanlarının kazı tabanına yakın bölgelerde düzgün imal edilmemesi veya altının boşalması, oturmaların meydana gelmesine sebep olabilmektedir. İmalat sırasında derinlik boyunca oluşan süreksizlikler, hatalı kazık boşlukları, yerinde döküm esnasında yabancı madde betona yabancı madde karışması, yüksek taban suyu seviyesinden kaynaklanan beton sızmaları, uygunsuz inşa metodları ya da beton kalitesinin düşük olması sebebiyle düşey destek elemanları hedeflenen taşıma gücü kapasitesinin altında kalmaktadır. Bu gibi hatalar, iksa sisteminin bütünlüğünü etkileyen ve geri dönüşü olmayan stabilite problemlerine neden olabilmektedir (Şekil 2.23).



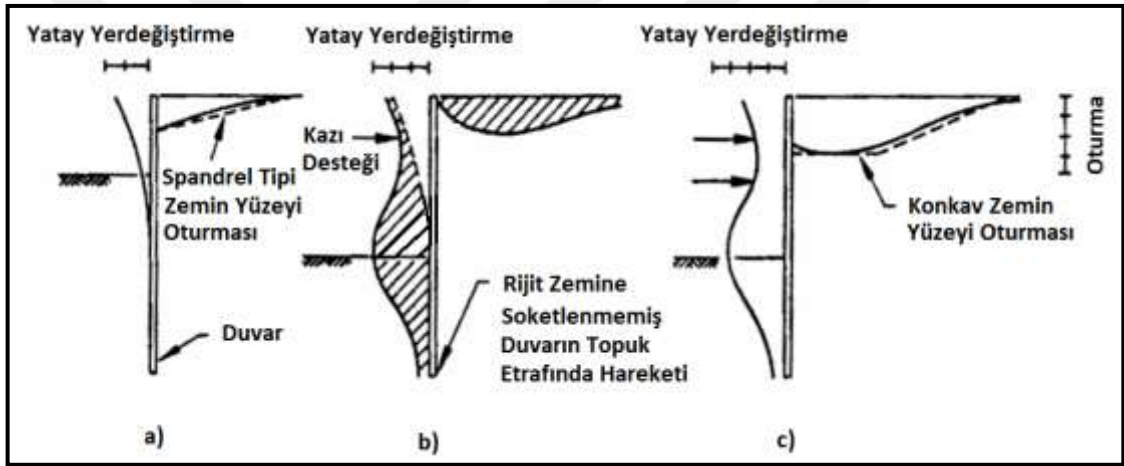
Şekil 2.23 Kazık imalat bozuklukları

2.6. Derin Kazı Destekleme Sistemlerinde Yer Değiştirmeler

Derin kazıların stabilitesi destekleme sistemleri ile sağlansa da destek elemanlarının ve kazının yapıldığı ortamın rijitliğine bağlı olarak bir takım hareketlerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Kazıdan kaynaklı oluşan bu hareketler birçok defa çevre yapılarda hasarların oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle derin kazılarda oluşan yatay ve düşey yer değiştirmelerin incelenmesi önemlidir.

Derin kazı duvarlarında meydana gelen yer değiştirmeler neticesinde duvar arkasında ileri ve aşağı yönlü zemin yüzeyi oturmaları oluşmaktadır. Duvar hareketlerine neden olan faktörler aynı zamanda zemin yüzeyi oturmalarına da sebep olmaktadır. Hsieh ve

Ou [12], kazı sonrasında oluşan zemin yüzeyi oturmalarını konkav ve spandrel tipli oturmalar olmak üzere iki kısma ayırmıştır (Şekil 2.24). Başlangıç kazı aşamalarında oluşan duvar deformasyonlarının sonraki kazı aşamalarından daha büyük olduğu ya da ilerleyen kazı aşamalarında kazının daha çok konsol tipi duvar yer değiştirmelerine neden olduğu durumlarda spandrel tipli zemin yüzeyi oturmalarının oluşması ve maksimum oturma duvar yüzünde gerçekleşmesi beklenir (Şekil 2.24a). İksa duvarının daha derinde, genişleyen bir deformasyon göstermesi durumunda ise maksimum zemin yüzeyi oturmalarının duvar yüzünden daha geri mesafelerde ve konkav tipli olması beklenmektedir. Farklı şekillerde oluşan zemin yüzeyi oturmalarının başlıca sebebi kazı duvarlarında oluşan deformasyonun büyüklüğü ve şeklidir (Şekil 2.24b).



Şekil 2.24 İksa sisteminde ve zemin yüzeyinde görülen yer değiştirme tipleri

Hsieh ve Ou [12] kum ve katı kil ortamlarda inşa edilen derin kazılarda, duvar arkasında oluşan zemin oturmasının spandrel tipli ve maksimum oturma duvar yüzünde oluştuğunu belirtmiştir. Yumuşak killerde inşa edilen derin kazılarda ise maksimum oturma duvar yüzünden belli bir mesafede oluşur. Oluşan zemin yüzeyi oturmasının şekli ise trapezoidtir.

Hsieh ve Ou [12], derin kazılarda görülen konkav tipli maksimum zemin yüzeyi oturmalarının $0,5\delta_{v,max}$ mertebelerinde, duvar yüzeyinden $H_e/2$ mesafede oluştuğunu ifade etmiştir. Zemin yüzeyinde görülen bu oturmaların öncelikli etki bölgesinin duvardan $2.H_e$ mesafesinde olduğunu belirtmiş, duvar yüzünden $4.H_e$ mesafesinden

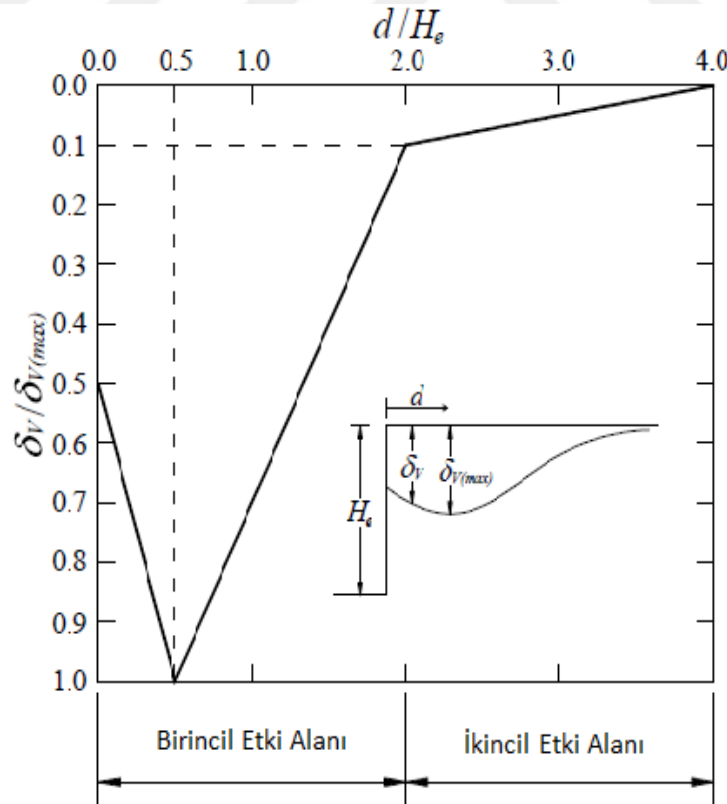
sonra oluşan oturmaların ise ihmal edilebilir seviyelerde olduğunu ifade etmiştir (Şekil 2.9).

Ou vd. [11], derin kazılarda oluşan zemin yüzeyi oturmalarının sınırlarını ve mekanizmalarını incelemek amacıyla sonlu eleman analizi yöntemiyle parametrik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çalışma ile PIZ (Primarily Influenced Zone = Birincil Etkilenme Alanı) olarak tanımlanan zemin yüzeyi oturmasının görüleceği öncelikli bölgenin kazı derinliği, kil tabakası kalınlığı, ana kaya derinliği gibi faktörlerden etkilendiği sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda kazı genişliği ve kazı derinliği göz önüne alınarak birincil etki alanı (PIZ) sınırları;

$$\sqrt{B^2 + H_e^2} > 2.H_e \text{ ise } PIZ = \min.\left(\sqrt{B^2 + H_e^2}, H_g\right), \quad (2.26)$$

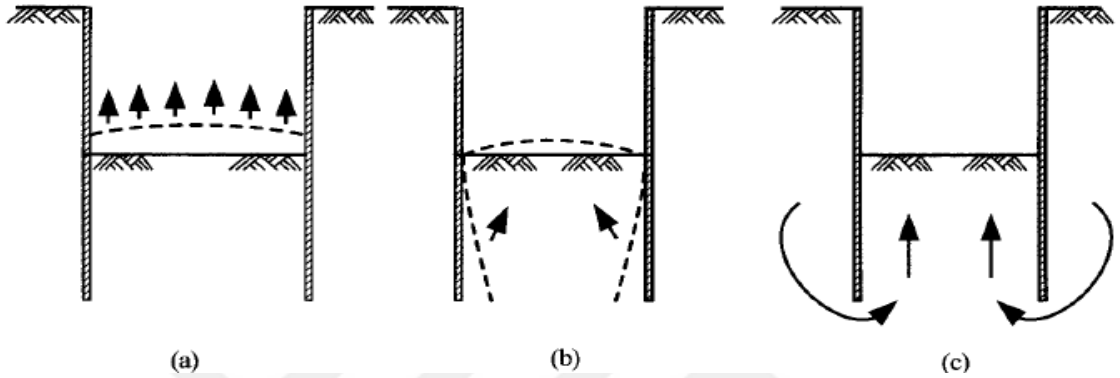
$$\sqrt{B^2 + H_e^2} \leq 2.H_e \text{ ise} \quad (2.27)$$

eşitlikleri ile ifade edilmiştir. Burada B kazı genişliğini, H_e kazı derinliğini, H_g ise kaya tabakası derinliğini ifade etmektedir. (Şekil 2.25).



Şekil 2.25 Konkav tipli zemin yüzeyi oturması [11]

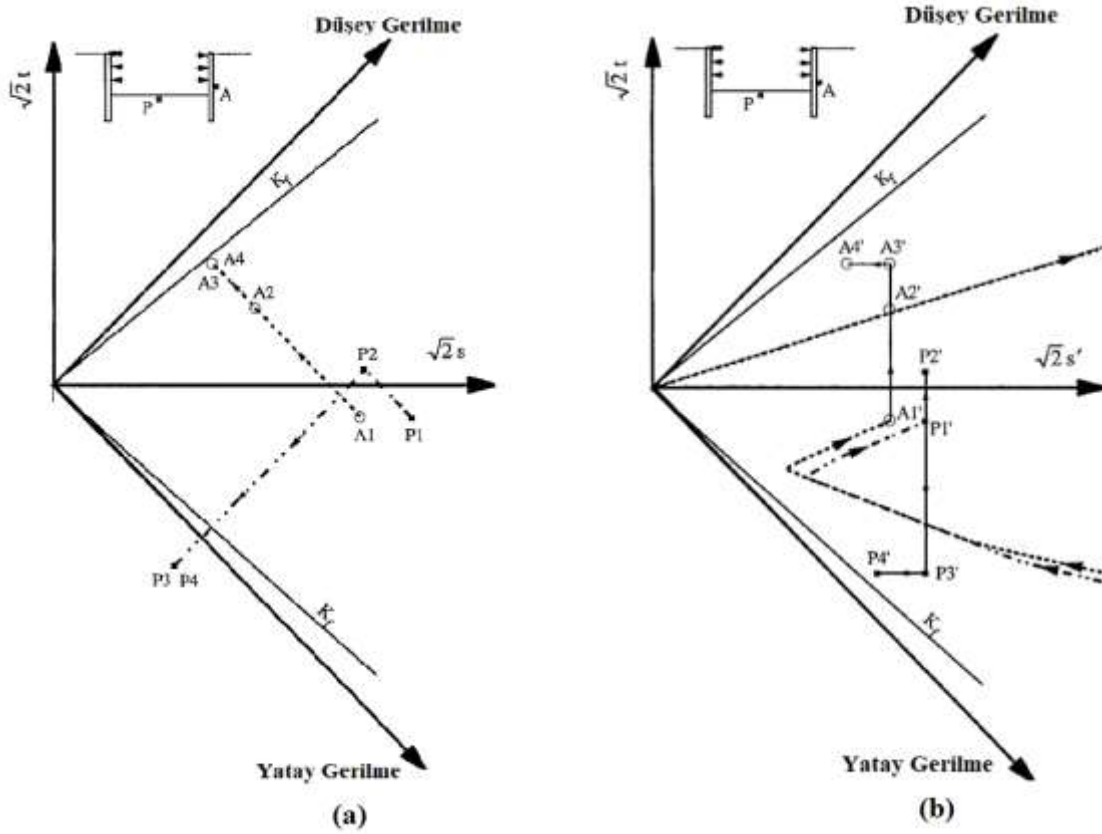
Derin kazılarda zemin yükünün azalması, gömme derinliğindeki duvarlarda yatay yerdeğiştirmelerin oluşması ya da plastik deformasyonlar nedeniyle düşey gerilmelerin rahatlamasına bağlı olarak kazı tabanında elastik boşalmalar oluşmaktadır. Kazı alanında görölen hareketin mekanizmasına bağlı olarak, kazı tabanında maksimum zemin kabarması oluşur. Bu zemin kabarması, iksa duvarının gömme boyuna bağlı olarak azalma gösterir (Şekil 2.26).



Şekil 2.26 Kazı tabanı kabarması

Kazıdan kaynaklı gerilme değişimlerini incelemek amacıyla Ng [19], inşaat aşamasından önce farklı gerilme geçmişine sahip iki zemin elemanı üzerinde zemin kazılması, zeminin yüklenmesi ve tekrar kazılması sonucunda oluşan gerilme izlerini incelemiştir. Ele alınan aşırı konsolide kil zeminde yapılan kazı işlemi neticesinde yanal gerilmeler önemli ölçüde azalmaktadır. Düşey gerilmelerdeki değişiklikler gözardı edildiğinde, inşaatın drenajsız koşulları sağlayacak kadar hızlı yapıldığı durumlarda A ve P noktalarına toplam gerilme izleri A1A2 ve P1P2 yatayla 45° yapar (Şekil 2.27a). Öte yandan efektif gerilmeler A' ve P' izlerini oluşturur (Şekil 2.27b). İlerleyen kazı aşamalarında, kazıdan kaynaklanan boşaltma işlemi neticesinde P noktasında oluşan düşey gerilme azalması A noktasında oluşan yatay gerilme azalmasından çok daha düşüktür. Yatay gerilmeler ihmal edildiğinde P2P3 toplam gerilme izi yatayla 45° yapar (Şekil 2.27b). Karşılık gelen P2'P3' efektif gerilme izi ise düşey yönde hareket eder. Kazı neticesinde oluşan boşluk suyu basıncı negatiftir. Kazıdan sonra uzun vadede P3 noktasında oluşan toplam gerilmelerde önemli bir değişiklik olmaz. Öte yandan negative boşluk suyu basıncının azalmasıyla efektif gerilmeler azalır ve efektif gerilme izi K_f basınç çizgisinin uzantısına doğru hareket eder. Nihai P4' gerilmesi, zeminin dayanımına ve efektif gerilme değişimine göre göçmeye neden olabilir. P noktasının aksine A noktasında oluşan toplam gerilme

değişimi yatay gerilmelerin azalmasından kaynaklanmaktadır. Düşey gerilmelerdeki değişimler ise daha küçük seviyelerdedir. Toplam gerilme izi A_2A_3 , K_f basınç çizgisine doğru hareket eder. Buna karşılık gelen $A_2'A_3'$ gerilme izi ise düşey doğrultudadır. Oluşan boşluk suyu basıncı negatiftir. Boşluk suyu basıncı azaldıkça efektif gerilme izi K_f basınç çizgisinin uzantısına doğru hareket eder.



Şekil 2.27 Kazıdan kaynaklı toplam ve efektif gerilme değişimi izleri (19)

2.7. Derin Kazılarda Yer Değiştirmelerin Belirlenmesi

Derin kazılarda oluşan yer değiştirmelerin belirlenmesinde araştırmacılar tarafından farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler dört ana başlıkta toplanabilir:

1. Gerilme Şekil Değiştirme Analizleri: Elastisite teorisi yardımıyla gerçekleştirilen gerilme şekil değiştirme analizleri zeminin lineer olmayan davranışını ve karmaşık yükleme durumlarını gözönüne almadığı için yeterli doğrulukta sonuçlar verememektedir. Hesaplamalara arazi koşullarının tam yansıtılamadığı bu yöntem günümüzde yerini daha çok bilgisayarlar yardımıyla yapılan analizlere bırakmıştır.

2. Sayısal Analizler: Derin kazılarda oluşan yer değiştirmelerin belirlenmesi amacıyla sonlu elemanlar ve sonlu farklar gibi karmaşık geoteknik mühendisliği problemlerin çözümünde kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler, karmaşık sınır ve geometri koşullarının ve lineer olmayan zemin davranışlarının modellenemediği, yükleme durumlarının hesaba katıldığı, aşamalı kazı durumlarına göre hesap yapabilen yöntemlerdir.
3. Amprik Yöntemler: Saha ölçümlerini esas alan, Peck [3], Bowles [8], Clough ve O'Rourke [10], Ou vd. [11] tarafından geliştirilmiş yaklaşımlardır. Bu amprik yer değiştirme yöntemlerine ait detaylar 1. bölümde yer verilmiştir.
4. Arazi Ölçümlerine Dayanan Yöntemler: Son yıllarda kullanılmaya başlanan, geçmiş kazı projelerine ait arazi ölçüm bilgileriyle mevcut ve yeni yapılacak derin kazılarda oluşacak zemin hareketlerinin farklı veri işleme metodları ile öngörülmesine dayanan veri tabanlı yöntemlerdir.

2.8. Derin Kazı Davranışına Etki Eden Faktörler

Derin kazıların performansı yer değiştirme ve stabilite konularıyla ilişkilidir. Derin kazılarda gerçekleştirilen tasarımların stabil, oluşan deformasyonların ve kazı tabanı kabarmalarının ise limit değerlerin altında olması hedeflenir. Kazı alanı etrafında oluşan deformasyonlar çevre yapı ve tesisler ile yollarda hasarlara neden olabilir. Göçmeye karşı güvenlik sayısının yüksek olduğu durumlarda zemindeki şekil değiştirmeler ile kazıdan kaynaklı yer hareketleri küçük olmaktadır. Göçmeye karşı güvenlik sayısının 1' e eşit olduğu durumlarda ise şekil değiştirmeler ve zemin hareketleri yüksek olmaktadır. Bu nedenle kazı performansının stabilite ve deformasyonlar gibi iki başlığı vardır. Tecrübeler, derin kazılarda oluşan stabilite problemlerinin, yeterli sayıda limit denge analizi ile önüne geçilebileceğini, deformasyonların ise sonlu eleman analizleriyle tahmin edilebildiğini göstermektedir.

2.8.1. Zemin Özellikleri

Zemin türü ve özellikleri derin kazılarda oluşan hareketleri etkileyen en önemli faktördür. Araştırmacılar, derin kazılarda oluşan hareketler üzerinde zemin özelliklerinin etkisini incelerken zeminleri mukavemet parametrelerine ya da kazı tabanı altındaki yumuşak zemin kalınlığına göre sınıflandırmışlardır. Peck [3], zemin hareketlerini

incelediği vakaları kum, katı-yumuşak-çok yumuşak kil ve kazı tabanı altındaki kil derinliğine göre tasnif etmiştir. Çalışmada genel olarak duvar ötelenmelerinin ve zemin yüzeyi oturmalarının, dayanımı ve ortam rijitliği düşük zeminlerde daha yüksek mertebelerde olduğunun altı çizilmiştir. Long [14], yürüttüğü çalışmada kazı tabanı altındaki yumuşak zemin kalınlığını, Moormann [15] ise incelediği vakaların inşa edildiği zeminlerin drenajsız kayma mukavemetini dikkate alarak sınıflamalar yapmıştır. Yapılan çalışmalar, derin kazı inşaatlarında görülen yer değiştirmelerin katı killer ve granüler zeminler gibi sert ortamlarda yumuşak ve orta katı killerden daha düşük mertebelerde olduğunu göstermektedir.

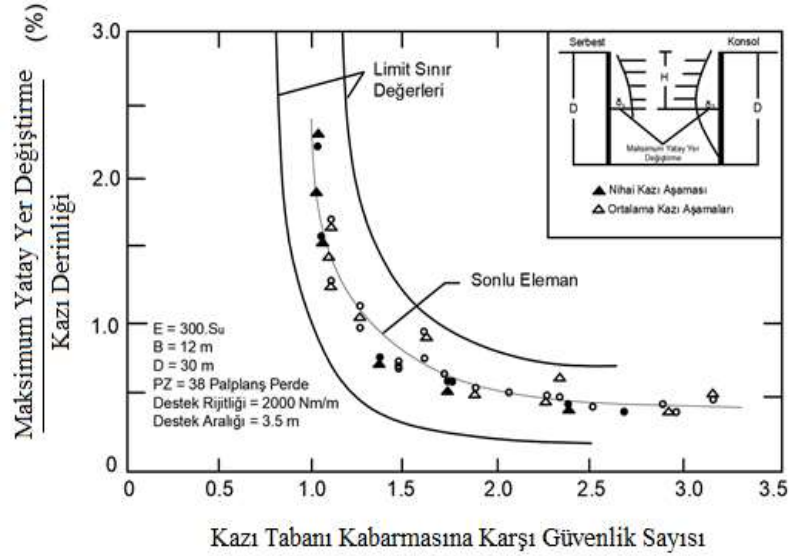
2.8.2. Duvar Rijitliği

Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda genel olarak duvar rijitliğinin zemin hareketleri üzerinde ihmal edilebilir bir etkisinin olduğu ön plana çıkmıştır [33], [34], [35], [36], [37]. Peck [3], duvar ötelenmelerinin kazı ortamının rijitliğine bağlı olduğunu, dayanma duvarının rijitliğinin duvar ötelenmeleri üzerinde bir etkisinin bulunmadığını ifade etmiştir. Çok defa, zemin rijitliğinin sistemin gerektirdiği limit rijitlik değerlerini karşılaması nedeniyle iksa rijitliğinin duvar davranışı üzerinde çok etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Bryson ve Zapata [99], özellikle kazı ortamı rijitliğinin yüksek olduğu zeminlerde, sistem rijitliğinin yatay yer değiştirmeler üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu belirtmiştir. Clough ve O'Rourke [10] tarafından yürütülen çalışmalarda, düşük güvenlik sayılı durumlarda duvar rijitliğinin sistem stabilitesi üzerindeki etkisinin fazla olduğu ifade edilmiştir (Şekil 1.5). Clough and Tsui [38] tarafından yürütülen çalışmada ise duvar rijitliğinin 32 kat artmasıyla, zemin hareketlerini ancak % 50 azaldığı ifade edilmiştir.

2.8.3. Taban Kabarmasına Karşı Güvenlik Sayısı

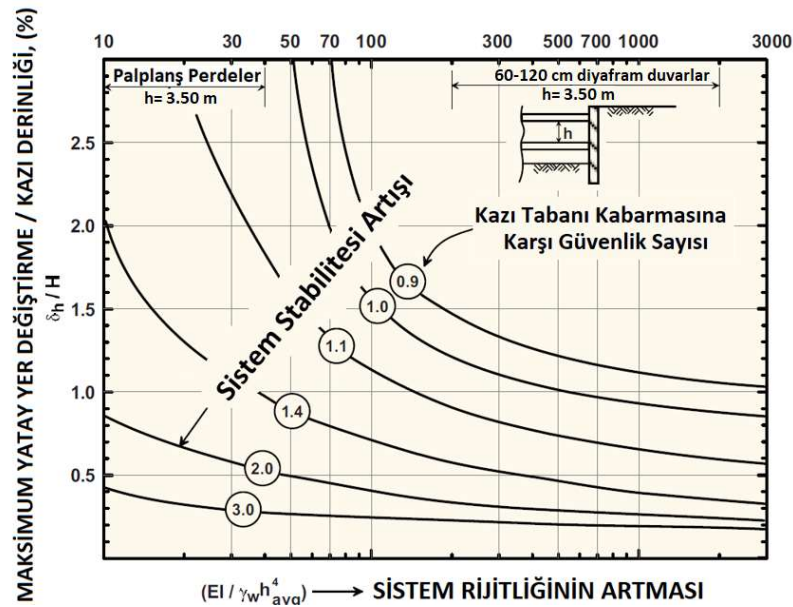
Derin kazılarda, kazı tabanı kabarmasına karşı güvenlik sayısı yüksek olduğu ölçüde sistemin stabilitesi de yüksektir. Genellikle dayanımı düşük yumuşak zeminlerde güvenlik sayısı düşük, sert zeminlerde ve kaya ortamlarda güvenlik sayısı ve sistem stabilitesi yüksektir. Mana ve Clough [6] tarafından yapılan çalışmada kazı tabanı kabarmasına karşı güvenlik sayısının yatay yer değiştirmeler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Güvenlik sayısının 1' den küçük olduğu durumlarda normalize edilmiş maksimum yatay yer değiştirmelerin ($\delta_{h \max}/H$), % 3' ten daha büyük değerlere ulaştığı

görülmektedir. Güvenlik sayısının 1.5' ten büyük olduğu durumlarda ise normalize edilmiş maksimum yer değiştirmelerin % 0.5H' den daha düşük değerler aldığı görülmektedir (Şekil 2.28).



Şekil 2.28 Kazı tabanı kabarmasına karşı güvenlik sayısı ile maksimum yatay yer değiştirme arasındaki ilişki [6]

Benzer çalışmalar Clough ve O'Rourke [10] tarafından da yürütülmüştür. Yumuşak-orta katı kil ortamlarda inşa edilen derin kazıların incelendiği çalışmada kazı tabanı kabarmasına karşı güvenlik sayısının artmasıyla ölçülen normalize edilmiş maksimum yatay yer değiştirmelerin azaldığı görülmektedir (Şekil 2.29).



Şekil 2.29 Kazı tabanı kabarmasına karşı güvenlik sayısına bağlı olarak normalize edilmiş yatay yer değiştirmeler ile sistem rijitliği arasındaki ilişki (Clough vd. [10])

2.8.4. Yatay Destek Elemanlarının Rijitliği

Kazı destekleme sistemlerinde, destek elemanları arasındaki açıklıklar duvar ötelenmeleri üzerinde önemli rol oynarlar. Addenbrooke vd. [13], yatay destek elemanlarının rijitliği arttıkça duvar deplasmanları ve duvar arkası zemin oturmalarının azaldığını belirtmiştir. Araştırmacılar, destek elemanlarının çok rijit olduğu sistemlerde, yanal zemin hareketlerinin düşük, desteklere gelen yüklerin ve duvarda görülen eğilme momentinin ise yüksek olduğu sonucuna ulaşmıştır [33], [34], [35], [36], [37]. [38]. Yüzey oturmaları ise her durumda kaçınılmaz bir şekilde oluşmaktadır.

2.8.5. Kazı Tabanı ile Destek Elemanı Arasındaki Düşey Mesafe

Yatay duvar hareketlerinin daha çok nihai kazı derinliğine yakın seviyelerde oluşması nedeniyle, bu bölgelerde oluşacak yük ile zemin tipi ve özellikleri arasında ilişki bulunmaktadır. Kazı derinliğinde duvara etkiyen yükü azaltmak için destek elemanlarının daha sık olması, son destek elemanı ile kazı tabanı arasındaki mesafenin ise kısa tutulması önerilmektedir.

2.8.6. Öngermeli Elemanlar

Destek elemanlarındaki öngermeler zemin hareketlerini azaltmakta ancak belli yük değerlerinden sonra öngirme miktarındaki artışların sistemin stabilitesine ilave etkisi bulunmamaktadır. Özellikle yumuşak killi zeminlerde ankrajlara öngirme verilirken zeminin akma dayanımları göz önünde bulundurulmalıdır [37].

2.8.7. Kazı Derinliği

Literatür çalışmaları incelendiğinde, derin kazılarda kazı derinliği arttıkça, yüzey oturmaları, duvar deformasyonları ve eğilme momentlerinin arttığı görülmektedir.

2.8.8. Gömme Derinliği

Gömme derinliğinin artmasının kazı performansına etkisi minimumdur [18]. Mana [6] serbest ve tutulu mesnetli duvarlarda görülen zemin hareketleri arasında çok az bir fark olduğunu, gömme derinliğinin artmasıyla, kazı tabanına yakın duvar kesitlerinde oluşan eğilme momentlerinin arttığını belirtmiştir.

2.8.9. Soket Boyları

Kazıklı temmelerde üstyapıdan aktarılan yüklerin taşınması için kazık temellerin daha derinlerde bulunan sert zemine soketlenmesi gerekir. Bu gibi durumlarda toplam yer değiştirme, farklı yer değiştirme, açılal dönme vb. gibi yer değiştirmelerin sınırlandırılması önemlidir. Literatür çalışmaları artan soket boyu ile iksa sistemlerinin yanal yük taşıma kapasitelerinin arttığını, ölçülen yatay yer değiştirmelerin ve oluşan eğilme momentlerinin azaldığını göstermektedir.

2.8.10. Duvar Arkası Zeminin Kayma Mukavemeti

Zemin itki katsayısının kazı performansına etkisi hakkında farklı görüşler vardır. Palmer ve Kenny [33], ' K_o ' zemin itki katsayısının kazı performansı üzerinde sınırlı etkisinin olduğunu ifade etmiştir. Potts ve Fourie [40] ile Potts ve Bond [41] tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, ' K_o ' zemin itki katsayısının 0.5 ile 2.0 arasında artan değerlerine karşılık, eğilme momenti ve destek elemanlarına gelen yüklerin arttığı belirtilmiştir. Yine Freiseder [37] tarafından yapılan çalışmada, ' K_o ' ın 0.3 ile 1.0 aralığında değişen değerlerine karşılık duvar eğilme momentleri, desteklere gelen yükler ve toprak basınçlarının arttığı belirtilmiştir.

2.8.11. Kazı Genişliği

Mana [35], artan kazı genişliğinin yatay ve düşey zemin hareketlerini arttırdığını ve daha geniş akma yüzeylerine neden olduğunu belirtmiştir. Çalışmada söz konusu zemin akma yüzeylerinin Terzaghi [7] ile belirtilenden çok daha geniş olduğu vurgulanmıştır. Clough ve O'Rourke [10] tarafından yapılan çalışmalarda geniş kazı geometrili derin kazılara ait destekleme sistemlerinde daha yüksek yatay yer değiştirmelerin olduğu ifade edilmektedir.

2.8.12. Zemin Yapı Etkileşimi

Freiseder [37] kazı ve duvar yüzeyi arasındaki sürtünmenin tabandaki duvar hareketi üzerinde bir etkisinin olmadığını, duvarın üst bölgelerinde oluşan eğilme momentine etkisinin sınırlı olduğunu, yatay ve düşey zemin hareketleri üzerindeyse önemli etkiler de bulunduğunu belirtmiştir.

2.8.13. İnşaat Yöntemi ve İşçilik

Derin kazı destekleme sistemlerinin inşası esnasında tercih edilen yöntemler, zeminde oluşacak deformasyonlara bağlı kazı performansları açısından önemlidir. Kazıklı veya palplanş perde duvarlı bir istinat yapısına göre yukarıdan aşağıya inşaat metodu ile inşa edilmiş bir sistemde oluşan zemin hareketleri daha düşük mertebelerde kalmaktadır. Standartlara uygun olmayan kalitesiz işçilik kazı destekleme sisteminde aşırı hareketlerin oluşmasına, bölgesel stabilite problemlerine ve göçmelere neden olabilir. Fazla hafriyat alımı, yanal destek imalatındaki gecikmeler, kazık boylarının kısa imal edilmesi, kazık açıklıklarının fazla bırakılmasından kaynaklanan malzeme boşalmaları, kullanılan malzeme ve ekipmanların yeterli rijitliğe sahip olmaması vb. imalat hataları kazı destekleme sisteminin güvenliğini riske atan diğer faktörlerdir.

2.9. Destekli Kazılarda Aletsel Gözlem

Kazı destek sistemlerinin inşaat ve servis aşamalarındaki davranışını gözlemlemek ve çevre yapıların güvenliğini kontrol etmek amacıyla yerleştirilen cihaz ve aletler ile gözlem ve deneyler yapılmaktadır. Bu gözlemler, projelendirme aşamalarında saha koşullarının belirlenmesi ve belirsizliklerin netleştirilmesinde kullanıldığı gibi imalat sürecinde sistemin stabilitesini sağlamak, maliyeti minimize etmek, inşaat planlaması yapmak, servis süresince de yapının davranışını izlemek amacıyla kullanılmaktadır. Geoteknik aletsel gözlemler boşluk suyu basıncı ölçümleri, gerilme ve yük ölçümleri, yatay ve düşey deformasyonların ölçümleri olarak sıralanabilir. Ölçümlerde kullanılan aletlerin başlıcaları piyezometre, basınç hücresi, ektansometre, çatlak ölçerler, oturma bulonları, inklinometre ve yük hücreleridir.

2.9.1. Yeraltı ve Boşluk Suyu Ölçümleri

Kaya ve zemin ortamlarda yeraltı suyu ve boşluk suyu akım değişimi ölçümleri piyezometreler yardımıyla yapılır. Zemin içerisinde herhangi bir derinliğe daldırıldıktan sonra alttan ve üstten su girişleri engellenerek yalnızca aletin bulunduğu derinlikteki su basıncı değişimi incelenir. Yeraltı suyu akımı ölçüm uygulamalarına örnek olarak kuyu pompaj testlerindeki su akımının gözlenmesi, dolgu ve şevlerdeki sızıntı ağının

ıkartılması ve beton barajların altındaki kaldırma kuvvetinin gözlenmesi amacıyla kullanılırlar (Şekil 2.30).



Şekil 2.30 Boşluk suyu basıncı ölçer

2.9.2. Yüzey ve Bina Oturma Bulonları

Oturma bulonları, zeminde yapılan bir kazı işlemi sonrasında kazı alanı ve yakın bölgelerde görülebilecek zemin yüzeyi oturmalarını ölçmek amacıyla yerleştirilen deformasyon ölçüm noktalarıdır. Nivelman ölçümleri ile bu noktaların yukarı veya aşağıya doğru hareketleri, ölçüm planına göre kritik kazı derinliklerinde günlük olarak gözlemlenir.

2.9.3. Çatlak Ölçer

Çatlaklardaki hareketleri gözlemlemek amacıyla çatlağın her iki tarafına tesis edilerek sabitlenen, olası deformasyon artışlarını izlemek amacıyla kullanılan aletlerdir. Çatlak ölçerlerde tel ya da uzatma çubuğu kullanılarak ölçümler gerçekleştirilir (Şekil 2.31).



Şekil 2.31 Çatlak ölçer

2.9.4. Ekstansometre

Sondaj kuyusu ekseninde bulunan iki ya da daha fazla nokta arasındaki mesafe değişiminin gözlenmesi için kullanılan zemin veya kayaya yerleştirilen aletlerdir.

Konsolidasyon oturmaları ve zemin kabarmalarını gözlemlemek amacıyla da kullanılırlar. (Şekil 2.32).



Şekil 2.32 Çubuk ekstansometre

2.9.5. İnklinometre

İksa yapılarının düşeyden sapmasının ölçülmesinde, kazı ve tünellerde yatay deformasyon miktarlarının ölçülmesinde, heyelanlarda kayma bilgilerinin belirlenmesinde kullanılan, sondaj deliğine daldırılarak eğim sensörü yardımıyla yatay deformasyonları ölçen aletlerdir (Şekil 2.33).



Şekil 2.33 İnklinometre

2.9.6. Reflektör

Derin kazılarda, kazı esnasında komşu yapılarda oluşan kazıdan kaynaklı hareketlerin gözlenmesi amacıyla kullanılan aletlerdir. Hareketin gözleneceği noktalara sabitlenerek

optik okuyucular yardımıyla düzenli aralıklarla okuma alınarak kazı alanında oluşan yatay ve düşey doğrultudaki hareketler kontrol edilir (Şekil 2.34).



Şekil 2.34 Reflektör

2.9.7. Yük Hücresi

Yük hücreleri, derin kazı destekleme sistemlerinde kullanılan ankraj ve zemin çivileri ile kazık yükleme testlerinde ankraj plakalarına gelen yüklerin takibinde, köprü ve viyadük ayaklarına gelen yüklerin ölçülmesinde ve izlenmesinde kullanılır. Uygulamada en sık kullanılan yük hücreleri ankraj yük hücresi, elektrikli ankraj yük hücresi ve çelik kaplama disk yük hücreleridir (Şekil 2.35).



Şekil 2. 35 Yük hücresi

MODERN VERİ İŞLEME TEKNİKLERİ VE GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDEKİ UYGULAMALARI

Veri işleme, bir sorunun çözülmesini veya varolan bir durumun iyileştirilmesini sağlayacak sonuçların üretilmesi için verilerin manipüle edilmesi, başka bir deyişle ham verilerin bir süreç aracılığıyla anlamlı bilgilere dönüştürülmesidir. Bu süreç içerisinde veriler, çıktı (bilgi ve içgörüler) üretmek için girdilerin (ham veriler) bir işleme (bilgisayar sistemleri, yazılım, vb.) gönderildiği döngüyü izlerler.

Genellikle, veriyi sunmak, yorumlamak veya elde etmek için bir dizi işlemi gerçekleştirmek amacıyla bilgisayar sistemleri kullanılmaktadır. Süreç; veri girişi, özet, hesaplama, saklama vb. aktiviteleri içerir. Faydalı ve bilgilendirici çıktı; diyagram, rapor ve grafik gibi formlarda sunulur.

3.1 Veri İşleme Sürecinin Aşamaları

3.1.1 Veri Toplama

Veri toplama, veri işleme sürecinin ilk aşamasıdır. Toplanan verilerin kalitesi çıktı üzerinde büyük etkiye sahip olduğu için veri toplama aşaması çok önemlidir. Veri toplama işlemi, elde edilen verilerin hem tanımlanmış olduğunu hem de doğruluğunu sağlamalıdır.

3.1.2 Hazırlık

Ham veriler işlenemezler. İşlem sonuçlarının doğruluğu açısından ham verilerin dönüştürülmesi gerekir. Hazırlık aşamasında ham verilerin işlenmesi için uygun biçimde manipüle edilmesi sağlanır. Veri manipülasyonu, verileri okumayı veya organize etmeyi kolaylaştırmak amacıyla verileri değiştirme işlemidir. Örneğin, bu aşamada bir veri günlüğü, alfabetik sıraya göre düzenlenebilir. Bu da, bireysel kayıtların bulunmasını kolaylaştırır. Hazırlık aşamasında dikkatli bir şekilde taranmamış verileri analiz etmek, hazırlanan verilerin büyük oranda kalitesine bağlı olan son derece yanıltıcı sonuçlara neden olabilir.

3.1.3 Giriş

Veri girişi, doğrulanmış verilerin kodlandığı veya işlenebilmesi için bir makineye aktarılacak üzere okunabilir biçimlere dönüştürüldüğü işlemidir. Bu zaman alan süreç hız ve doğruluk gerektirir. Çoğu zaman verilerin, resmi ve sıkı bir söz dizimini izlemesi gerekir. Karmaşık verileri parçalamak için bazen çok fazla işlem gücü gerekebilir. Maliyetlerden ötürü, birçok defa veri girişi için dış kaynak kullanımına başvurulur.

3.1.4 İşleme

Veri işleme, verilerin toplanması ve daha sonra anlamlı bir sonuç olarak özetlenmesi amacıyla genellikle bilgisayar yazılımları tarafından yürütülen işlemler bütünüdür. Veri işleme süreci, işletim sistemine bağlı olarak talimatları aynı anda yürüten çok sayıda iş parçacığından oluşabilir. Veri işleme sürecinde kullanılan bilgisayar programları kendi başlarına pasif birer talimat topluluğudur, veri işleme süreci ise bu talimatların yürütülmesidir.

3.1.5 Çıktı ve Yorumlama

İşlenmiş bilgilerin kullanıcıya iletildiği aşamadır. Çıktı; basılı rapor, ses, video veya grafik gibi çeşitli formlarda kullanıcılara sunulur. Sonuçlar, problem ile ilgili gelecekteki kararlara rehberlik etmeye yönelik anlamlı bilgiler sağlayacak şekilde yorumlanırlar.

3.1.6 Depolama

Veri depolaması, bilginin ileride kullanılmak üzere saklı tutulduğu, veri işleme döngüsünün son aşamasıdır. Bu aşama, işlenmiş bilgilerin hızlı erişimine izin vererek gerektiğinde bir sonraki aşamaya geçilmesine olanak sağlaması açısından önemlidir. Her bilgisayar, sistem ve uygulama yazılımlarını tutmak için depolama alanları kullanır.

3.2 Yapay Zeka Uygulamaları

Yapay zeka, insanların zihinsel fonksiyonlarını bilgisayar modelleri yardımıyla taklit edip problem çözmede kullanımını amaçlayan araştırma alanıdır. Bir başka deyişle yapay zeka, insanın düşünme yapısını anlamak ve bu yapıda çalışan bilgisayar modelleri geliştirilerek sorun çözümünde kullanmak üzere geliştirilen sayısal çözüm modelleridir [45]. Yapay zeka uygulamalarında kullanılan yaklaşım tekniklerinin başında; Bulanık Mantık, Genetik Algoritma, Uzman Sistemler ve Yapay Sinir Ağları gelmektedir.

3.2.1 Bulanık Mantık

Bulanık mantık, tamamen doğru ve tamamen yanlış doğruluk değerleri arasında yer alan "kısmen doğru" kavramını da kapsayacak şekilde genişletilmiş, olayların hangi oranlarda gerçekleştiğini belirleyen çoklu mantık sistemidir. Bu sistem, çok net olmayan mantığa dayalı önermelerin, mantık süzgecinden geçirilerek incelemesinin yapıldığı bir yöntem olarak da tanımlanabilmektedir. Bulanık mantık, problemlerin girdi-çıkı ilişkilerini insanın düşünme tarzını taklit ederek anlamaya çalışan, her olayın farklı bir doğruluk derecesine sahip olduğu bir küme üyeliğidir [46] .

Bulanık mantıkta bir önerme aynı zamanda hem “doğru” hem de “yanlış” olabilir. Bu durum, doğruluğun çok değerli oluşundan ve bu çerçevede dilsel bağlaçlara yüklenen anlamlardan kaynaklanmaktadır. Dilsel değişkenlerin kullanımına izin vermesi, bulanık mantığı diğer klasik mantık sistemlerinden ayıran en önemli özelliktir [47] .

Bulanık mantığın özelliklerinden birisi, klasik küme anlayışının dayandığı bazı temel ilkelerin dışındaki ilkeleri kullanmasıdır. Mesela klasik düşüncede bir A kümesi ve onun değillemesi olarak $\bar{A}$ kümesi vardır; fakat bulanık mantıkta küme anlayışı, bu iki değeri (yani 1 ve 0 değerlerini) birer sınır durumu olarak kabul etmektedir. Klasik mantık anlayışı açısından bir eleman A kümesine ait değilse, onun değillemesi olan $\bar{A}$ kümesine

ait olacaktır. Mesela bir elma kırmızı elmalar kümesi A' ya ait değilse, A kümesinin değillemesi olan $\bar{A}$ kümesinin bir elemanı olacaktır. Fakat bulanık mantığa göre kırmızı olmayan bir elmayı, eğer tam olarak yeşil de değilse, belli bir yüzdeyle kırmızı olarak kabul edebiliriz. Bu durumda, tam kırmızı elmanın değeri 1 ise tam kırmızı olmayan elmanın (yeşil elmanın) değeri 0 olacaktır. Diğer bütün elmaları kızarıklık derecelerine göre, mesela '% 40, % 60, % 90, vb. oranında kırmızıdır' gibi değerlerle nitelemek mümkün olacaktır. Benzer şekilde bir motorun çalışmasını 1 ve 0 arasında kalan değerleri kullanarak "yavaş", "daha yavaş", "çok yavaş" şeklinde programlamak bu yöntemle mümkün olmaktadır [48].

Bulanık mantık teoreminin insan düşünme tarzına yakın olması, uygulanışında herhangi bir matematik modele gereksinim duyulmaması ve yazılımlarının ucuz olması gibi avantajlarının yanında, uygulamada kullanılan kurallar bütününün uygulamaya tanıtılması ve programın uzman eliyle işletilmesini zorunlu kılması, üyelik fonksiyonlarının deneme - yanılma yolu ile bulunmasından dolayı uzun zaman alabilmesi ve kararlılık analizinin yapılmasının zorluğu gibi dezavantajları da vardır.

3.2.2 Genetik Algoritma

Genetik algoritma, doğadaki evrim mekanizmasını örnek alan bir arama metodudur. Bir veri grubundan özel bir veriyi bulmak için kullanılır. Genetik algoritmalar 1970' lerin başında ortaya atılan, evrimsel genetik ve Darwin'in doğal seleksiyonuyla benzerlik kurularak geliştirilmiş "iteratif" ve olasılıksal bir arama metodudur. Genetik algoritmalar doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir. Bunun için "iyi"nin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk (fitness) fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için yeniden kopyalama (recombination), değiştirme (mutation) gibi operatörler kullanılır. Genetik algoritmaların bir diğer önemli özelliği de bir grup çözümle uğraşmasıdır. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyiler seçilip kötüler elenebilir. Genetik algoritmaları diğer algoritmalarından ayıran en önemli özelliklerden biri seçme özelliğidir. Genetik algoritmalarda çözümün uygunluğu onun seçilme şansını artırır ancak bunu garanti etmez. Seçim de ilk grubun oluşturulması gibi rasgeledir ancak bu rastgele seçimde, seçilme olasılıklarını çözümlerin uygunluğu belirler.

3.2.3 Uzman Sistemler

Uzman Sistemler bilgi alanındaki problemleri çözmede kullanılan bilgisayar yazılımlarıdır. Bu yazılımların mantığı; bilgilerin bilgi tabanlarına depolanıp daha sonra problemlerle karşılaşıldığında bu bilgi tabanlarının üzerinde yapılan çıkarımlarla sonuçlara ulaşılması şeklindedir. Uzman sistemler bir uzmanın uzmanlık bilgisini bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesini amaçlar.

Uzman sistemlerin en önemli özellikleri;

- Problem çözümünde hiyerarşik bir yaklaşım izlemeleri,
 - Nümerik veri ve algoritmalarla ziyade gerçek kurallar ve ilişkilerden oluşmaları,
 - Problem çözerken ve tanımlarken kullanıcıya danışmaları,
 - Danışma yapısının ve şeklinin elde bulunan bilgiye, probleme ve soru şekline göre değişmesi,
 - İstenildiğinde, problem çözümü sona ulaşmadan ara sonuç verebilmeleri,
 - Belli bir soruyu niçin sorduklarını veya belli bir sonuca nasıl ulaştıklarını açıklayabilmeleri,
 - Kesin veya tam olmayan bilgileri kullanabilmeleri,
 - Kesin olmayan veya gerekli durumlarda birden fazla sonuca ulaşabilmeleri (burada tek bir doğru cevabın olmadığı durumlar söz konusudur),
 - Gerçek bir problemi çözmek için, bilgiler tam olmasa bile yaklaşık bir sonuç verebilmeleri,
 - Çözülen problemin sonuçlarını doğal bir dille açıklamaları,
 - Bir kere kurulduktan sonra kullanıcı tarafından, programcıya ihtiyaç duyulmadan, kolayca geliştirilip değiştirilebilmeleri,
 - Problemleri çözerken, çözülen problemin verilerini daha sonraki çözümlerde kullanmak amacıyla kendi bilgilerine ilave ederek kendilerini geliştirebilmeleridir.
- [49]

3.2.4 Yapay Sinir Ağları

Bilgisayar teknolojilerinin hızla gelişmesiyle insanoğlu problemlerini yenilikçi teknolojilerle çözme yollarına gitmiştir. 1980' li yıllarda ortaya atılan, makinelerin insan gibi düşünebilmesi fikri, 1990' lı yıllarda yapay sinir ağı teknolojisini büyük bir gelişme sağlayarak bilim insanının kullanım alanına sokmuştur. Yapay sinir ağları, insan beyninin öğrenme yeteneğinden esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklandırılmış ilişki bağları yoluyla birbirine bağlanan ve işlem aşamaları bulunan bilgi işleme tekniği ürünü yazılımlardır. Bu yazılımlar, belirli bir algoritma veya formülasyon kullanılarak çözülemeyen problemlerin herhangi bir yardım almadan yeni bilgi üretme yeteneğini kullanarak çözülmesi için adaptif çözümler üretirler. Yapay sinir ağlarının farklı öğrenme algoritmaları yardımıyla öğrenme yeteneği, iterasyonun her adımında öğrendikçe daha bilgili hale gelerek doğru sonuca ulaşmasını sağlamaktadır.

3.2.4.1 Tarihçesi

Daha önceki yıllarda insan beyninin nasıl çalıştığı ve fonksiyonları konusunda uzun araştırmalar yapılmış olsa da bu çalışmaların mühendislik değerlerinin olduğu söylenemez. Mc Cullough ve Pitts [50] tarafından gerçekleştirilen, ağı davranış modelinde mantıksal bir öğrenme kuralının olduğunu belirten çalışma yapay sinir ağlarına dair yapılan ilk çalışma olarak kabul edilmektedir. Hebb [51] tarafından, iki sinir hücresinin birbiriyle nasıl ilişki kurduğu incelenerek geliştirilen sinir ağı teorisi, yapay sinir ağlarının en basit ve en eski öğrenme kuralını oluşturmaktadır. Rosenblatt [52], bilginin depolanması ve beyin içindeki organizasyonuna yönelik yaptığı çalışmada, bilginin depolanması ve hatırlanmasıyla birlikte depolanan bilginin algılanmasını ve ağı davranışını nasıl etkilediğini incelemiştir. Bu çalışmada kullanılan Basit Algılayıcı Modeli (Perceptron) olarak bilinen ağ modeli birden fazla girdiyi ağırlıklandırarak bir çıktı üretmektedir. Çıktının hesaplanmasında ise eşik değer fonksiyonu kullanılmaktadır. Çok katmanlı algılayıcıların geliştirilmesinde de kullanılan bu model yapay sinir ağlarının geliştirilmesinde çok önemli bir yer tutmaktadır.

Widrow ve Hoff [53], tarafından ADALINE (**AD**aptive **L**inear **NE**uron) algılayıcı modeli geliştirilmiştir. Adaline ağ modelinin yapısı tüm sinir ağlarının en basitidir ve öğrenme metodu olarak danışmanlı öğrenmeyi kullanır. 1960' lı yılların sonlarında, Minsky ve

Pappert [54] tarafından yazılan 'Algılayıcılar' (Perceptrons) kitabıyla yapay sinir ağlarının lineer olmayan problem çözümüne katkı sağlamadığı iddia edilmiş konuyla ilgili araştırmalar yavaşlamıştır.

1970' li yılların başlarında çeşitli araştırmacılar tarafından kendi kendine öğrenme (öğretmensiz öğrenme) konularında çeşitli çalışmalar yapıldı. Hopfield [55] tarafından çözülen 'Gezgin Satıcı' problemi ile geleneksel bilgisayarlar ile çözülmesi zor olan problemlerin çözülebileceği gösterilmiştir. Mühendislerin kolaylıkla anlayabileceği bir model olması nedeniyle yapay sinir ağlarına ilgi yeniden artmaya başlamıştır. Rummelhart vd. [56] tarafından paralel programlama konularında yayınlanan çalışmalardan sonra yapay sinir ağı çalışmaları tekrar hız kazandı ve günlük hayatta da pratik olarak kullanılmaya başlandı. Zamanın en karmaşık yapay sinir ağ modeli olan Adaptif Rezonans Teorisi (ART) ise ilk defa Carpenter [57] tarafından geliştirildi.

3.2.4.2 Yapısı ve Temel Özellikleri

Yapay sinir ağlarının proses elemanları olarak adlandırılan sinir hücreleri bulunmaktadır. Bu hücreler içerisinde girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere 5 temel elemanı vardır.

Girdiler, yapay sinir ağına dış dünyadan ya da diğer hücrelerden aktarılan bilgilerdir.

Ağırlıklar, yapay sinir ağı hücresine gelen girdilerin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterirler. Ağırlıkların matematiksel değeri, etki ettiği girdi elemanının önemli ya da önemsiz olduğuna işaret etmez. Bir ağırlığın değerinin sıfır olması ağın sonuca ulaşmasındaki en önemli olay olabilir. Ağın kendini eğitmesi aşamasında ağırlıklar değişken ya da sabit değerler alabilirler.

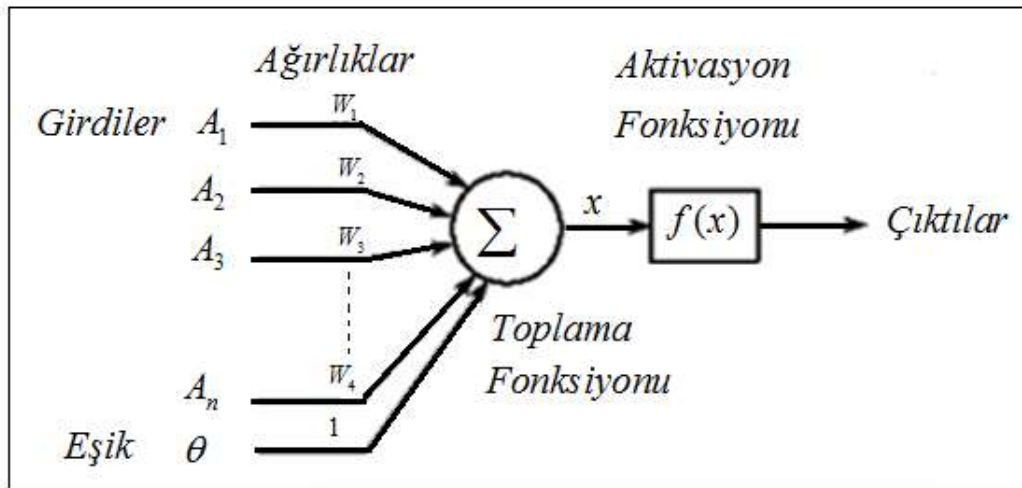
Toplama Fonksiyonu, bir hücreye giren net girdiyi vermektedir. Genel olarak girdi elemanının ilgili ağırlık değeriyle çarpımlarının toplamından oluşmakla beraber farklı fonksiyonların kullanıldığı ağ modelleri de bulunmaktadır. Toplama Fonksiyonu deneme yanılma yoluyla belirlenmektedir. Her bir proses elemanının sahip olduğu toplama fonksiyonu farklı olabileceği gibi tüm proses elemanlarının toplama fonksiyonlarının aynı olduğu durumlar da vardır.

Aktivasyon Fonksiyonu hücreye giren net girdi değerine karşılık hücrenin üreteceği çıktıyı belirler. Tıpkı toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu da her proses elemanı için farklı olabilir. En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3. 1 En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları

Lineer Fonksiyon $f(x) = x$	Sinusoidal $f(x) = \sin(x)$
Sigmoid Fonksiyon $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	Hiperbolik Tanjant Fonksiyon $f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{1 + e^{-x}}$
Eşit Mantıksal Fonksiyon $f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ x, & 0 < x < 1 \\ 1, & x \geq 1 \end{cases}$	Adım Fonksiyonu $f(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$

Çıktılar, aktivasyon fonksiyonu tarafından hesaplanan değerdir. Her proses elemanı tek bir çıktı değerine sahiptir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Yapay sinir ağı modeli

Yapay sinir ağıları genel olarak bir girdi setini alıp işleyip çıktı setine çevirmek suretiyle çalışırlar. Ağa tanıtılan girdi setinin doğru çıktıları üretecek hale gelmesi için her bir elemana ait ağırlık değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ağırlık değerleri başlangıçta rastgele seçilmekte olup girdi setini oluşturan örnekler ağa defalarca gösterildikten sonra ağı doğru ağırlık değerlerine ulaşması sağlanmaktadır. Ağı bu şekilde eğitilmesi yoluyla öğrenmesine 'Adaptif Öğrenme' denir. Ağı öğrenmesi, belirlenen model ve öğrenme algoritmasının temel prensiplerine göre gerçekleşir. Öğrenme sonucu doğru çıktı üreten ağı proses elemanlarına dağıttığı ağırlık değerlerinin ne anlama geldiği bilinmemektedir. Ancak, doğru çıktı değerlerine uygun ağırlık değerleriyle ulaşılması sebebiyle ağı zekasının bu ağırlıklarda gizli olduğu söylenebilir.

Ağa girdi seti olarak tanıtılan veriler belirlenen oranda ağı eğitilmesinde kullanılırken verilerin kalan kısmı, eğitilen ağı test edilmesinde kullanılmaktadır. Mevcut verilerin ne kadarının ağı eğitilmesinde kullanılacağı ya da ne kadarının ağı performansını test etmek amacıyla kullanılacağını kullanıcı belirleyebilmektedir. Oluşturulan ağ modelinin yüksek doğruluklu sonuçlar vermesi için geniş bir veri setiyle ağı eğitilmesi önemlidir. Yapay sinir ağıları, herhangi bir girdi vektörünü çıktı vektörüne nasıl dönüştürdüğü hakkında kullanıcıya bilgi vermezler. İşlem aşamalarının gizli olması yapay sinir ağlarına olan ilgiyi arttırmaktadır. Bu yönüyle yapay sinir ağlarına 'Kara Kutu' benzetmesi de yapılmaktadır.

Yapay sinir ağlarının kontrol ve sistem tanımlama, görüntü ve ses tanıma, tahmin, arıza analizleri, tıp, haberleşme, trafik, üretim yönetimi ve hatta pazarlama alanlarında kullanıldığını söylemek mümkündür. Çizelge 3.2' de yapay sinir ağları ve geleneksel algoritmalar ile arasındaki farklar yer almaktadır.

Çizelge 3. 2 Yapay sinir ağlarının geleneksel algoritmalarla karşılaştırılması

Geleneksel Algoritmalar	Yapay Sinir Ağları
Çıkışlar, koyulan kurallara girişlerin uygulanması ile elde edilir.	Öğrenme esnasında giriş çıkış bilgileri verilerek, kurallar koyulur.
Bilgiler ve algoritmalar kesindir.	Deneyimden yararlanır.
Hesaplama; merkezi, eş zamanlı ve ardışıktır.	Hesaplama; toplu, eş zamansız ve öğrenmeden sonra paraleldir.
Bellek paketlenmiş ve hazır bilgi depolanmıştır.	Bellek ayrılmış ve ağa yayılmıştır.
Hata toleransı yoktur.	Hata toleransı vardır.
Nispeten hızlıdır.	Yavaş ve donanıma bağımlıdır.

3.2.4.3 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme ve Öğrenme Algoritmaları

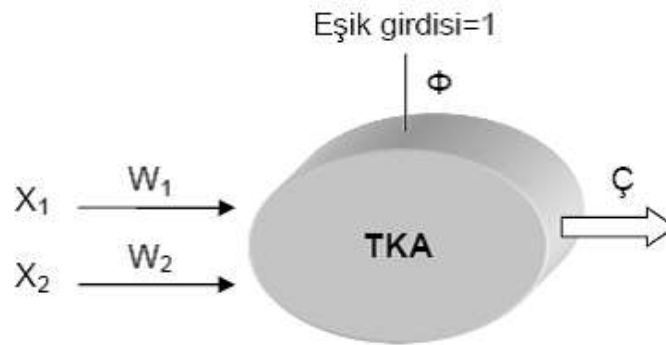
Yapay sinir ağlarında öğrenme, eğitici ve eğitici olmayan öğrenme olarak ikiye ayrılmaktadır. Eğitici öğrenmede, girdi değerlerine karşılık hedeflenen çıkış değerleri ile ağın eğitimi gerçekleştirilir. Hata değerleri, hedeflenen ve elde edilen çıkış değerlerinin karşılaştırılmasıyla elde edilir. Elde edilen hata değerine göre ağırlık değerleri yeniden düzenlenerek yeni ağırlık değerleri ile işlem tekrarlanır. Eğitici olmayan öğrenmede ise öğrenme işleminin sonucu önceden bilinmez. Öğrenme işlemi içinde, nöronları birleştiren bağlantıların ağırlıkları, verilen giriş değerlerine bağlı olarak belirli bir aralık içinde düzenlenir. Birbirine benzeyen değerler böylelikle belirli değer aralıkları içinde gruplanır. Öğrenme işleminin her adımında bir eğitici olmamakla beraber sisteme aktarılan bir beklenti vardır. Sistem, elde edilecek yanıtı yol açacak her etkiyi kendisi oluşturur ve eleştiriye göre yorumlayarak öğrenme işlemi tamamlanır.

Yapay sinir ağlarında öğrenme sürecini gerçekleştirmek için kullanılan yöntem “Eğitim Algoritması” denir. Yapay sinir ağlarının nöronları, ağı eğitmek için kullanılan, ağı tasarımıda görülen öğrenme algoritmalarıyla birbirlerine bağlıdır.

3.2.4.4 Tek Katmanlı Algılayıcılar

Tek katmanlı yapay sinir ağları sadece girdi ve çıktı katmanlarından oluşur. Çıktı üniteleri bütün girdi ünitelerine bağlanmaktadır ve her bağlantının bir ağırlığı vardır. İki girdi ve bir çıktıdan oluşan tek katmanlı bir yapay sinir ağı modeli Şekil 3.2’ de gösterilmektedir.

Bu ağlarda çıktı değerinin “0” olmasını engelleyen eşik değerler vardır. Ağı çıktısı, girdi değerlerinin ağırlık değerleri ile çarpımıyla eşik değerinin toplanması sonucu ortaya çıkmaktadır. Tek katmanlı algılayıcılarda çıktı fonksiyonu doğrusal bir fonksiyondur ve 1 veya -1 değerlerini almaktadır. Eğer çıktı 1 ise birinci sınıfa, -1 ise ikinci sınıfa kabul edilmektedir [58].



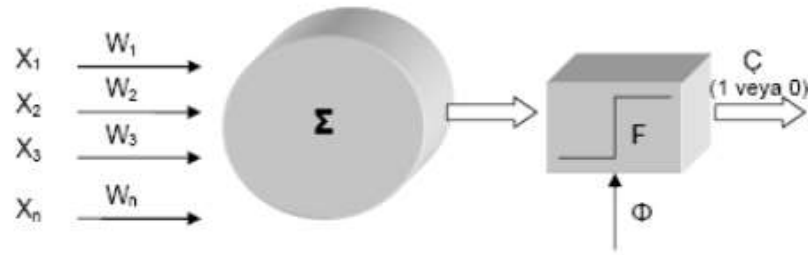
Şekil 3.2 Tek katmanlı algılayıcı modeli [56]

3.2.4.5 Basit Algılayıcı Modeli (Perceptron)

Basit algılayıcı modeli Mc Culloch ve Pitts [50] tarafından ortaya atılmış, 1950’li yıllarda Rosenblatt [52] tarafından geliştirilmiş karmaşık bir sınıflandırma modelidir. Bir araya gelmiş sinir hücrelerinin miktarına bağlı olarak, basit algılayıcılar ile değişik sayıda sınıflandırma problemi çözülebilir. Doğru bir sınıflandırma için sınıfların düzlemsel olarak ayrılması gerekmektedir [54].

Basit algılayıcılar bir sinir hücresinin birden fazla girdiye karşılık bir çıktı üretmesi prensibine dayanmaktadır. Ağı çıktısı bir veya sıfırdan oluşan mantıksal bir değerdir.

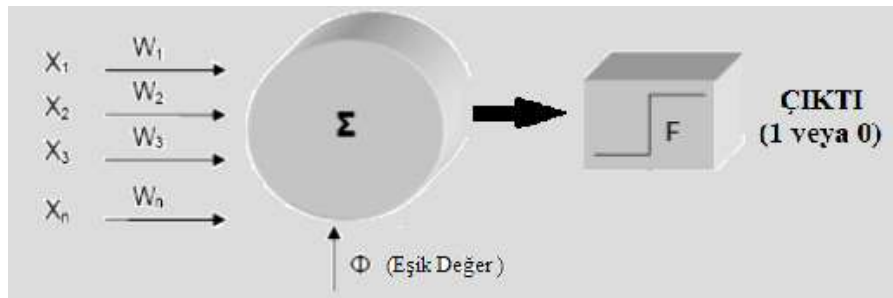
Çıktının hesaplanmasında eşik değer fonksiyonu kullanılır. Şekil 3.3' te basit algılayıcı modelinin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.3 Basit algılayıcı modeli [58]

3.2.4.6 Adaline Modeli

Adaline ağ modelinin yapısı tüm sinir ağlarının en basitidir. Basit nöron benzeri elemanlara dayanan ve “Adaline” (**A**daptive **L**inear **N**euron) olarak adlandırılan bir adaptif lineer eleman olarak geliştirilmiştir. Adaline ve iki tabakalı biçimi olan “Madaline” (Multiple Adaline); ses tanıma, karakter tanıma, hava tahmini ve adaptif kontrol gibi çok çeşitli uygulamalar için kullanılmıştır. İlk defa Widrow ve Hoff [53] tarafından, telefon hatları üzerindeki ekoları elimine etmeye yarayan adaptif filtreleri geliştirmede, adaptif lineer eleman algoritması kullanılmıştır. Adaline ağ modeli birçok uygulama için oldukça iyi çalışmasına rağmen kullanım alanı lineer problem uzayıyla sınırlıdır, doğrusal olmayan problemler için çözüm üretmez (Şekil 3.4).

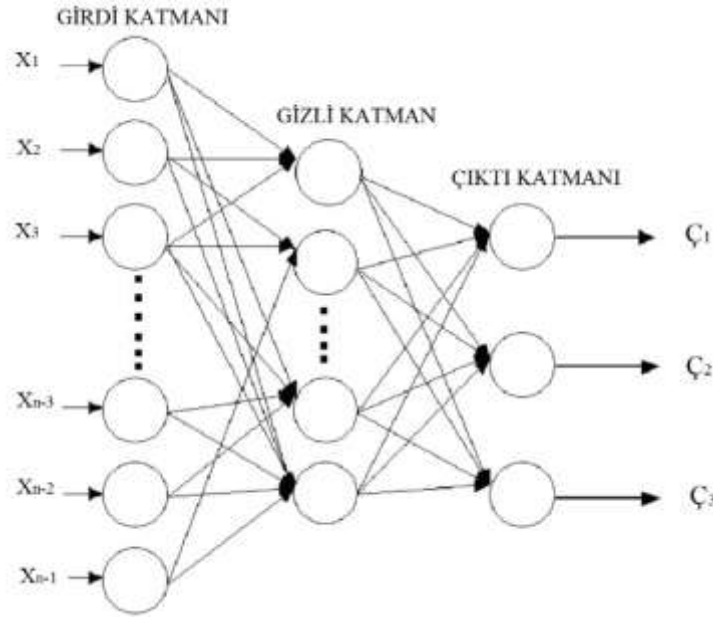


Şekil 3.4 Adaline ağ modeli

3.2.4.7 Çok Katmanlı Algılayıcılar (ÇKA)

Perceptron ve Adaline yöntemleri doğrusal olmayan problemler için çözüm üretmemektedir. Doğrusal olmayan problem çözümleri için ağın geometrisi ve eğitim algoritması açısından iyileştirilmiş çok katmanlı algılayıcı (Multi Layer Perceptron) ağ modelleri önerilmektedir. Mimari açıdan, birçok nöronun birbirine hiyerarşik olarak

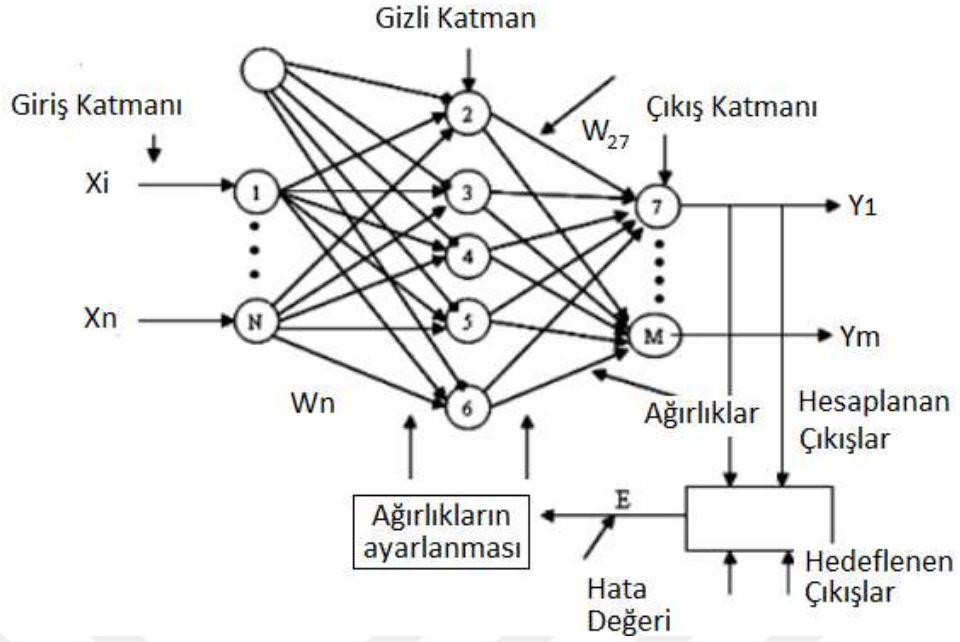
bağlandığı doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonuna sahip olan çok katmanlı algılayıcı ağ modelleri ileri beslemeli ve geri beslemeli ağlar olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Çok katmanlı algılayıcı modeli

3.2.4.8 İleri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli yapay sinir ağları çok katmanlı olarak organize edilmekte ve tek yönlü sinyal akışına izin vermektedir (Şekil 3.6). İleri beslemeli sinir ağında hücreler, katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan gizli katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, ara ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Bu yapısı ile ileri beslemeli ağlar, doğrusal olmayan statik bir işlev gerçekleştirir. İleri beslemeli ağlarda hatanın geriye doğru dağıtılması işlemi, çıkış katmanında hesaplanan ve hedeflenen değerler arasındaki farkın, hata değeri olarak ağırlıklar üzerinden geriye doğru dağıtılması suretiyle gerçekleştirilir. İleri beslemeli 3 katmanlı yapay sinir ağının, orta katmanında yeterli sayıda hücre olmak kaydıyla, herhangi bir sürekli fonksiyona istenilen doğrulukta yaklaşabileceği gösterilmiştir. Ağa, örneklerden elde edilmesi gereken çıktılar (beklenen çıktılar) verilmektedir. Ağın bu şekilde eğitilmesine ‘Eğitici Öğrenme’ denir. Ağ, kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yaparak problem uzayını temsil eden bir çözüm uzayı üretmektedir. Daha sonra gösterilen benzer örnekler için bu çözüm uzayı sonuçlar ve çözümler üretebilmektedir [58].



Şekil 3.6 İleri beslemeli ağ modeli [57].

3.2.4.9 Geriye Beslemeli Ağlar

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücrelere giriş olarak verilir ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılır. İleri beslemeli yapay sinir ağ modellerinde, ağırlıklar üzerinden yapılan hatanın geriye doğru dağıtılması işlemi, geri beslemeli yapay sinir ağ modellerinde bir katmanın çıktılarının bir önceki ara katmanı ya da giriş katmanı beslemesi şeklinde gerçekleşir. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olduğu gibi farklı katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli yapay sinir ağları, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli ağ yapıları elde edilebilir. Şekil 3.7’ de iki katmanlı ve çıkış katmanından giriş katmanına geri beslemeli bir yapay sinir ağ modelinin yapısı görülmektedir [60].

yorumlama, risk analizi ve analiz için uygun araçların seçimi ile gerektiğinde düzeltici faaliyetlerin uygulanmasını içerir [43].

Yeterli ve kaliteli zemin araştırma verisi, jeolojik ve hidrojeolojik modellerin ve zeminin mühendislik özelliklerinin tanımlanması ile olası göçme durumlarının anlaşılması açısından önemli bir başlangıç noktası oluşturmaktadır. İnşaat sırasında gerçek performans verisinin zamanında geri bildirimi, geoteknik risk yönetimi sürecinin ayrılmaz bir parçası olan, Peck' in [3] savunduğu gözlemsel yaklaşımın önemli bir parçasını oluşturur. Bu durum inşaat kontrolü ve tasarım varsayımlarının doğrulanması için hayati önem taşımakta, belirsizlikler karşısında tasarımın optimize edilmesinin de temelini oluşturmaktadır.

Geoteknik yapıların yapım sonrasında izlenmesi, yatırımın yönetimi açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür çalışmalar hizmet ömrü boyunca geoteknik yapıların performansı hakkında önemli veriler sağlar. Tasarım varsayımlarının uygulanabilirliğinin gözden geçirilmesine ve deformasyon tahminlerinin sınırlarının daha iyi anlaşılmasına olanak tanır.

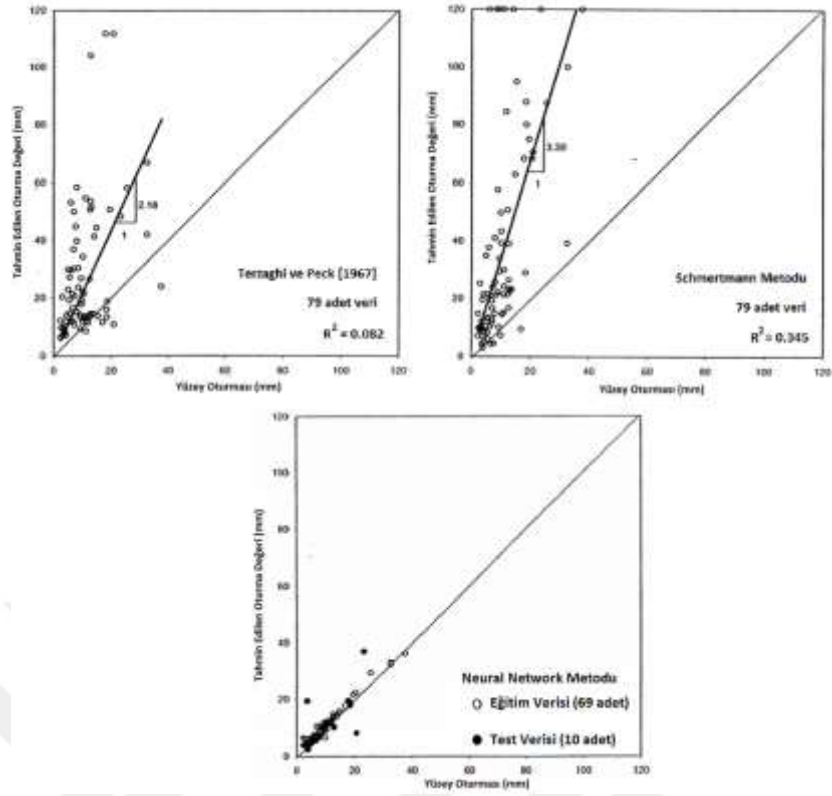
Geoteknik mühendisliğindeki son gelişmeler, enstrümantasyon ekipmanları, inşaat araçları, veri toplama ve iletim sistemleri, mühendislik analizleri, risk değerlendirmeleri kaliteli veriye erişimin yanı sıra, başarısız uygulamalardaki göçme mekanizmalarını sağlıklı analiz etme yeteneğini de arttırmıştır. Buna ek olarak, dijital teknoloji, bilgi ve uzay teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte yeni mühendislik malzemelerinin geliştirilmesi geoteknik mühendisliği uygulamalarının ilerlemesinde de önemli bir rol oynamaktadır [44].

Bir geoteknik tasarım ve uygulama sürecinin başarılı bir şekilde uygulanması ve yönetimi, potansiyel tehlikelerin ve göçme mekanizmalarının doğru bir şekilde anlaşılmasına olanak sağlayacak kaliteli verilerin bulunması ve en son teknolojilerin uygun bir şekilde uygulanmasına bağlıdır. Uygulama alanını doğru temsil eden kaliteli veriler, gelişen teknoloji ve uygulama bilgi ve tecrübesi, başarılı geoteknik uygulamaların temelini oluşturmaktadır. Geoteknik tasarımların davranışlarının karmaşıklığı sebebiyle zemin yapılarının modellenmesinde birtakım idealizasyonlara gidilmektedir. Tam bu noktada, veri tabanlı bir yaklaşım olarak yapay sinir ağları, zemin yapılarının modellenmesinde kabul edilebilir bir başarı sergilemektedir. Geoteknik problemlerinin çözümünde

geliştirilen matematiksel modeller zeminin karmaşık davranışını yansıtmakta yetersiz kalabildiğinden veri bazlı ve eğitilebilen modeller olan yapay sinir ağları, problemi basitleştirme yoluna gitmezler. Problemin çözümüne yönelik daha iyi sonuçlar elde etmek için kendini eğitmekle beraber yeni dataların kullanımına da sistem olarak imkan tanırırlar.

Yapay sinir ağları, geoteknik mühendisliğinde ilk olarak kazık taşıma gücü kapasitelerini belirlemede araştırmacılar tarafından tercih edilmiştir. Goh [61], [62] kil zeminlerde kazıkların sürtünme kapasitelerinin öngörülmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Kazık boyu, kazık çapı, ortalama efektif gerilme ve drenajsız kayma mukavemeti gibi parametrelerin girdi verileri olarak kabul edildiği bu çalışmada klasik metodlardan daha başarılı bir performans elde edildiği görülmüştür. Goh [63] homojen zemin içinde eksenel yüklenmiş kazıkların oturma değerlerinin tahminine yönelik bir yapay sinir ağı modeli geliştirmiştir. Modelin girdi verileri; kazık elastisite modülünün zeminin kayma modülüne oranı, kazık boyu, kazık yükü, zeminin kayma modülü, Poisson oranı ve kazığın çapı olarak kabul edilmiştir. Randolph ve Wroth [64] tarafından geliştirilen eşitlik ile çalışma sonuçları karşılaştırılmış, geliştirilen model ile oturma değerlerinin yüksek doğrulukla öngörülebildiği sonucuna varılmıştır.

Sivakugan vd. [65] yapay sinir ağı modellerini kullanarak granüler zeminlerdeki sığ temellerin oturma miktarlarını belirlemeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Temelin şekli, genişliği ve derinliği, SPT değeri ve uygulanan net basınç değerleri modelin girdi verileri olarak kabul edilmiştir. Modelden elde edilen sonuçlar Terzaghi ve Peck [64], Schmertmann [65] metodlarıyla elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış her iki metod ile zemin oturma değerlerinin yüksek doğrulukla tahmin edildiği ancak YSA modelinin oturma değerlerini daha başarılı bir şekilde tahmin ettiği görülmüştür (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Yapay sinir ağı metodunun diğer yöntemlere ait sonuçlar ile karşılaştırılması [65]

Shahin vd. [68] kohezyonsuz zeminlerde sıg temellerin oturma değerlerini tahmin etmeye yönelik bir yapay sinir ağı modeli geliştirmiştir. Geliştirilen modelin girdi verileri olarak, temel genişliği, temel uzunluğu, uygulanan basınç ve zeminin sıkışabilirliği alınmıştır. Çalışma sonucunda Shahin vd. [68] tarafından geliştirilen model ile hesaplanan ortalama hata kerelerinin kökü RMSE değeri ile ortalama mutlak hata MAE değerlerinin Meyerhoff [72], Schultze ve Sherif [68], Schmertmann vd. [67] tarafından kullanılan metodlar ile elde edilen değerlerden çok daha düşük olduğu görülmüştür (Çizelge 3.3).

Çizelge 3. 3 Ölçülen ve tahmin edilen oturma değerleri [63]

KATEGORİ	ANN-Shahin vd. [68]	Meyerhoff [74]	Schultze ve Sherif [70]	Schmertmann vd. [67]
Korelasyon, R	0.99	0.33	0.86	0.70
RMSE (mm)	3.9	27	23.8	45.2
MAE (mm)	2.6	20.8	11.1	29.5

Goh [69] zemin özellikleri ve davranışlarını belirlemeye yönelik geliştirdiği yapay sinir ağı modeli ile normal ve aşırı konsolide kumların relatif sıkılık ve CPT testinden elde edilen uç direnci değerleri arasında bir ilişki kurmaya çalışmıştır. Relatif sıkılık ve ortalama efektif gerilme değerlerinin girdi parametreleri olarak alındığı modelde CPT uç direnci çıktı parametresi olarak tanımlanmıştır. Modelin, CPT uç direnci ile relatif sıkılık değerleri arasındaki lineer olmayan ilişkiyi hem eğitim hem de test aşamalarında 0.97 ve 0.91 gibi yüksek korelasyon katsayılarıyla tahmin ettiği görülmüştür. Chan vd. [71] tarafından, kazık taşıma gücü kapasitelerini öngörmeye yönelik geliştirilen yapay sinir ağı modelinde de aynı girdi verisi seti kullanılmıştır. Test verilerinin hata karelerinin ortalama değeri % 12 olarak elde edilmiştir.

Lee ve Lee [72], yerinde kazık yükleme deneyi verilerini kullanarak kazıkların nihai taşıma gücünü tahmin etmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, maksimum hata oranının % 20 ' yi geçmediği ve hata kareleri ortalaması değerinin % 15' ten küçük olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmada öngörülen kazık taşıma gücü değerlerinin sahada ölçülen değerlerle, Meyerhoff [74] taşıma gücü eşitliği ile tahmin edilenden daha yüksek oranda eşleştiği görülmüştür.

Abu-Khief [73], kohezyonsuz zeminlerdeki kazık taşıma gücü kapasitesinin öngörülmesine yönelik üç yapay sinir ağı modeli geliştirmiştir. Birinci model toplam kazık kapasitesini, ikinci model kazık uç taşıma gücü kapasitesini, üçüncü model ise shaft kazığı taşıma gücü kapasitesini öngörmek için kullanılmıştır. Çalışma ile geliştirilen modellerin % 95 doğrulukla taşıma gücü değerlerini tahmin ettiği belirlenmiştir.

Ellis vd. [75], geliştirdikleri yapay sinir ağı modeli ile kumların dane çapı dağılımı ve gerilme geçmişlerini incelemişlerdir. Ghaboussi ve Sidarta [76], üç eksenli basınç testi altındaki kumlu zeminlerin drenajlı ve drenajsız davranışlarını incelemek için yapay sinir ağı metodunu kullanmışlardır. Penumadu ve Zhao [77] üç eksenli basınç testi altındaki kum ve çakılların gerilme–şekil değiştirme ve hacim değişikliği davranışlarını incelemek amacıyla yapay sinir ağı modeli geliştirmiştir. Zhu vd. [78], [79] ince daneli ve volkanik kökenli zeminlerin kayma davranışlarını, geliştirdikleri yapay sinir ağı modeliyle başarılı bir şekilde tahmin etmişlerdir. Najjar vd. [80] zeminlerin şişme özelliklerini öngörmek amacıyla yapay sinir ağı modeli geliştirmiştir. Agrawal vd. [81] ile Gribb ve Gribb [82] kil zeminlerin permeabilitesini tahmin etmek amacıyla yapay sinir ağlarını kullanmışlardır.

Romero ve Pamukcu [83] yapay sinir ağlarını daneli zeminlerin kayma modülünü tahmin etmede kullanmışlardır. Najjar vd. [84] ile Basheer ve Najjar [85] zeminlerin sıkışabilirliğini yapay sinir ağları yardımıyla incelemişlerdir. Penumadu vd. [84] kil zeminlerin davranışlarını incelemekte, Basheer [87], Basheer ve Najjar [88] tek eksenli ve çevrimsel yükleme altındaki ince daneli zeminlerin gerilme-şekil değiştirme davranışlarının incelenmesinde, Najjar ve Ali [89] ile Najjar vd. [90] üç eksenli basınç gerilmeleri altındaki Nevada kumunun drenajsız gerilme-şekil değiştirme davranışlarının incelenmesinde, Zhu vd. [91] yükleme, boşaltma ve geri yükleme etkisi altındaki kumların eksenel ve hacimsel gerilme-şekil değiştirme davranışlarının incelenmesinde, Tutumluer ve Seyhan [92] üç eksenli basınç testi altındaki daneli malzemelerin anizotropik rijitliğini incelemek amacıyla yapay sinir ağlarını kullanmışlardır.

Shi vd. [93] tarafından tünel yapılarındaki oturmaları belirlemek amacıyla yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Brezilyadaki 6,5 km uzunluğundaki tünel inşaatı üzerinde yapılan çalışmada, tünel kazısı uzunluğu, tünelin taç noktasından itibaren yapılan kaplama yapısının derinliği, tünel kesitinin alanı, yeraltı su seviyesi derinliği, kazı ve inşaat modeli ile zemin SPT sayıları girdi parametreleri olarak alınırken zemin oturmaları çıktı paramteresi olarak kabul edilmiştir. Yüksek doğruluklu tahminler geliştiremeyen yapay sinir ağı modeli, Shi [94] tarafından, projenin her bir kısmı için farklı model oluşturulması ve bu modellerin birbirine entegre edilmesiyle daha başarılı sonuçlar vermiştir. Shahin vd. [95] tarafından yapılan çalışmada, geoteknik mühendisliğinin birçok karmaşık probleminde çeşitli basitleştirme ya da varsayımlar ile problemin çözümünün yapay sinir ağları yardımıyla desteklendiği belirtilmektedir. Jan vd. [96], 4 ile 8 arasında değişen kazı aşamalarından oluşan 18 derin kazı inşaatı verisiyle geliştirdikleri yapay sinir ağı modeli ile duvar yüksekliği boyunca ölçülen yatay yer değiştirmeleri tahmin etmişlerdir. Çalışmada, duvar yüksekliği boyunca tanımlanan düğüm noktaları ve gözlem noktası indisi parametresi ile tahmin edilen yatay yer değiştirme değerlerinin ait oldukları duvar yüksekliği belirlenmiş, yükseklik değerlerine karşılık tahmin edilen yer değiştirmeler ile yer değiştirme profili elde edilmiştir. Geri analiz ve amprik parametrelerle hesaplanan yer değiştirme değerleri ile karşılaştırılan YSA sonuçlarının yüksek performans gösterdiği ifade edilmiştir.

GEOTEKNİK GÖZLEM YAPILMIŞ DERİN KAZILARIN İNCELENMESİ

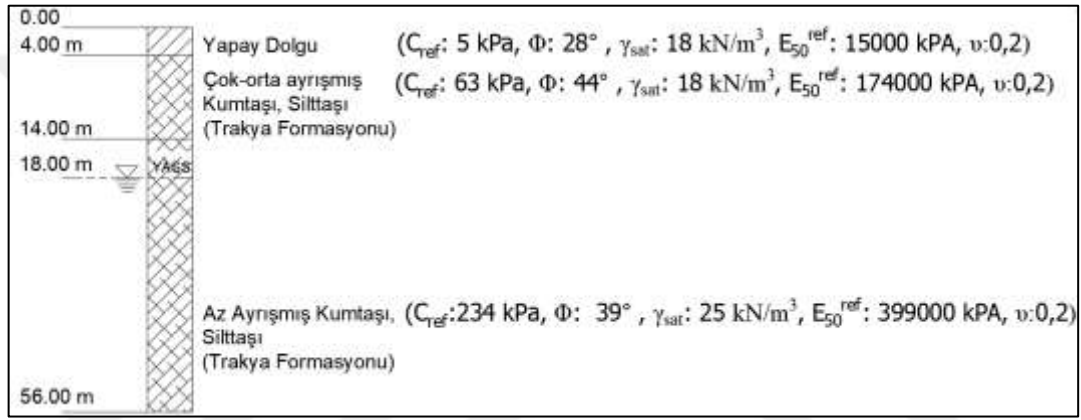
Bu tez çalışması kapsamında İstanbul ve çevresinde yapılan 28 adet derin kazı projesinin verileri incelenmiştir. İncelenen bu derin kazı projelerinin gerilme şekil değiştirme analizi sonuçları ile arazi yer değiştirme ölçümleri verileri değerlendirmeye alınmıştır. Yer değiştirme okumaları Kaya, Zemin ve Zemin+Kaya formasyonlar, Tabakalı ve Homojen ortamlar ile yukarıdan aşağıya, ankrajlı ve içten destekli kazı destekleme sistemlerine göre tasnif edilmiştir. Benzer literatür çalışmaları da göz önünde bulundurularak derin kazı inşaatlarına ait toplam 1243 adet kazı kesitine ait duvar ve zemin hareketlerinin kazı derinliği, sistem rijitliği ve esneklik katsayısı ile ilişkileri, farklı iksa ve destek sistemi tiplerine göre incelenmiştir.

4.1. İncelenen Derin Kazı Projeleri

İncelenen derin kazı projeleri İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yapımı devam eden ve tamamlanan metro hatlarına (Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey, KMM; Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe, UUCS ve Dudullu-Bostancı, DB) ait istasyon yapıları, zeminaltı otoparklar, kapalı spor salonu, pazaryeri ve gençlik merkezi gibi kamusal yapılara aittir. Bu derin kazı inşaatlarına ait veriler İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistemler Daire Başkanlığı ile Fen İşleri Daire Başkanlığına bağlı birimlerden temin edilmiştir. Derin kazılar farklı jeolojik ortamlarda ve kazı konfigürasyonlarında inşa edilmiş, proje gereksinimlerine göre kazı destekleme sistemleri tasarlanmıştır. İncelenen derin kazı inşaatlarına ait özet bilgiler Çizelge 4.1' de yer almaktadır.

4.1.1. Mecidiyeköy İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

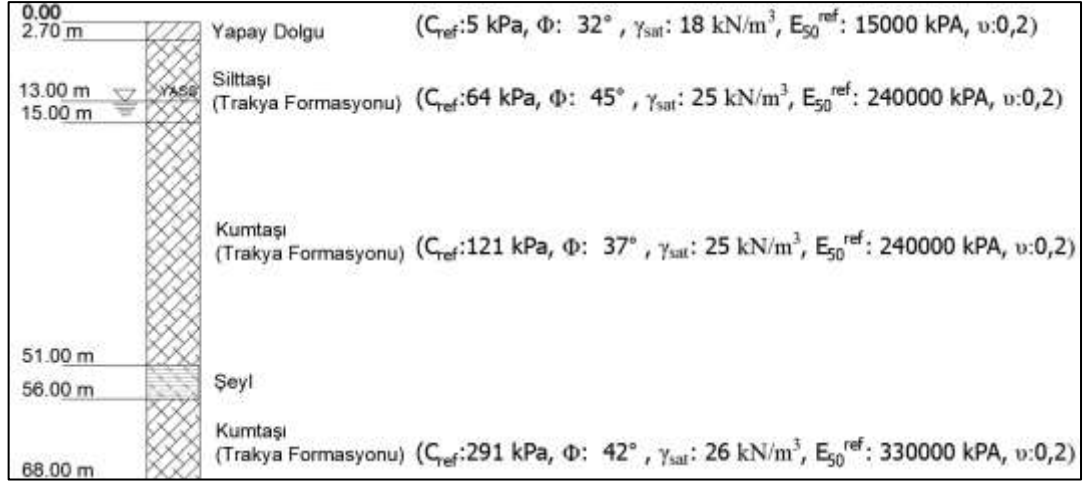
Mecidiyeköy İstasyonu Batı Konkors yapısına ait kazı destekleme sisteminde öngermeli ankrajlarla destekli betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. Kazı alanı 63.80 m boyunda, 32.8 m enindedir. Ortalama kazı derinliği 21.3 m' dir. Boyu 24 m ile 27.5 m arasında değişen, merkezden merkeze 130 cm aralıklı, 80 cm çapında betonarme kazıklar, serbest uzunluğu 8 ile 17 m arasında değişen, kök boyu 8 m, yatay ve düşey aralıkları 2 m olan ankrajlar ile desteklenmiştir. Ankraj elemanları 40 ton servis yüküne kilitlenmiştir. Kazı sahasında derinlikleri 55.00 m ile 58.00 m arasında değişen 5 adet araştırma sondajı açılmış olup ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.1' de yer almaktadır.



Şekil 4.1 Mecidiyeköy İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.2. Çağlayan İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

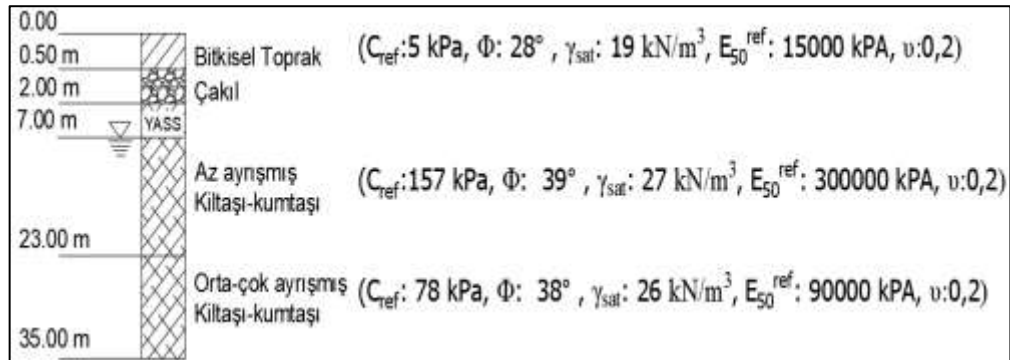
Çağlayan İstasyonu Doğu Konkors yapısına ait kazı destekleme sisteminde içten çelik boru destekli betonarme fore kazıklı kazı destekleme sistemi kullanılmıştır. Kazı derinliği 27 m' dir. İksa sisteminde 80 cm çapında, merkezden merkeze 130 cm aralıklı betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. Kullanılan kazıkları toplam boyu 27.7 m, soket boyu 3.0 m' dir. Betonarme fore kazıklar, yatay aralığı 3.5 m, düşey aralığı 5 m olan Ø1016/20 mm' lik çelik borularla desteklenmiştir. Zemin profili ve tasarım parametreleri kazı sahasında gerçekleştirilen 5 adet araştırma sondajı ile belirlenmiş olup Şekil 4.2' de yer almaktadır.



Şekil 4.2 Çağlayan İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.3. Giyimkent-Tekstil Kent İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

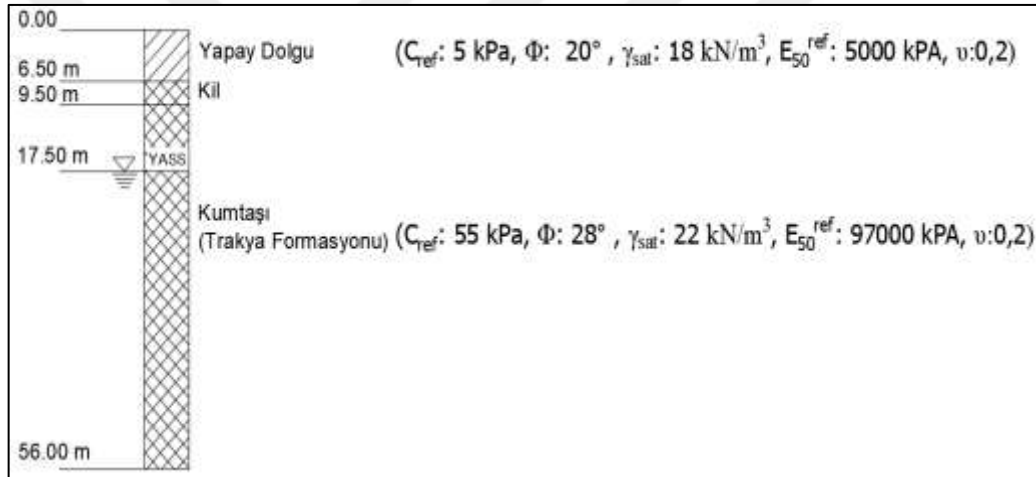
Giyimkent-Tekstil Kent istasyon yapısı kazı destekleme sisteminde öngermeli ankrajlarla destekli betonarme fore kazıklar, püskürtme beton ve zemin çivileri kullanılmıştır. Kazı alanı boyu 569 m, eni 35 m ile 12 m aralığında değişmektedir. İksa sisteminde boyu 11.80 m ile 16.65 m arasında değişen, 80 cm çapında ve merkezden merkeze 130 cm aralıklı betonarme fore kazıklar, serbest uzunluğu 8 ile 13 m arasında değişen boylarda, kök boyu 8 m, yatay aralıkları 2.60 m, düşey aralıkları 2.50 m olan ankrajlar ile desteklenmiştir. Kazı sahasında derinlikleri 22.00-35.00 m arasında değişen 5 adet araştırma sondajı açılmış olup ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.3' te yer almaktadır.



Şekil 4.3 Giyimkent-Tekstil Kent İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.4. Yüzyıl İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

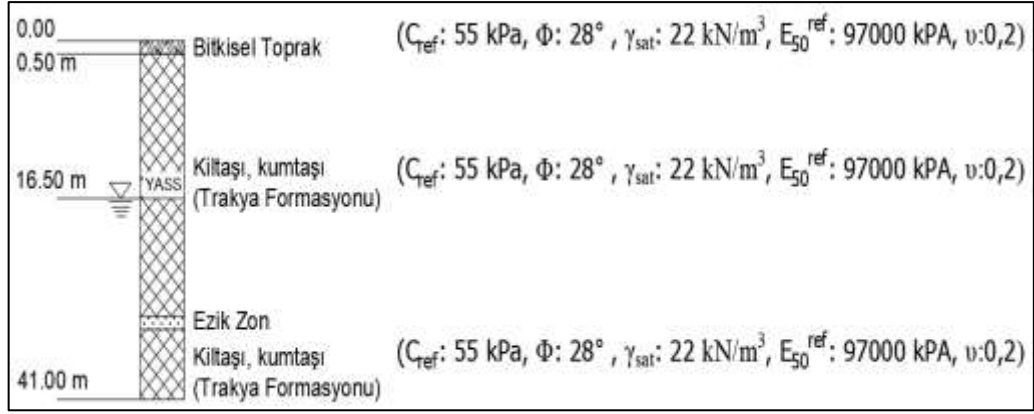
Yüzyıl İstasyonu Doğu Konkors yapısına ait kazı destekleme sisteminde öngermeli ankrajlarla destekli betonarme fore kazıklı kazı destekleme sistemi kullanılmıştır. Kazı derinliği 26.0 m' ye kadar ulaşmaktadır. Kazı alanı 50 m boyunda, 43 m enindedir. Kazı alanı 80 cm çapında ve merkezden merkeze 130 cm aralıklı, boyları 15.0 m ile 26.50 m arasında değişen betonarme fore kazıklar ile ilgili kazı kesitine göre 6 ile 11 sıra arasında, yatay aralıkları 1.30 m ile 2.60 m arasında değişen, düşey aralıkları ise 2.0 m olan öngermeli ankrajlar ile desteklenmiştir. Ankraj kök boyu 8.0 m, serbest boyu ise 8-17.0 m arasında değişmektedir. Kullanılan betonarme fore kazıkların soket boyları 2.50 m' dir. Kazı sahasında 2 adet araştırma sondajı açılmış olup ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.4' te yer almaktadır.



Şekil 4.4 Yüzyıl İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.5. Veysel Karani İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

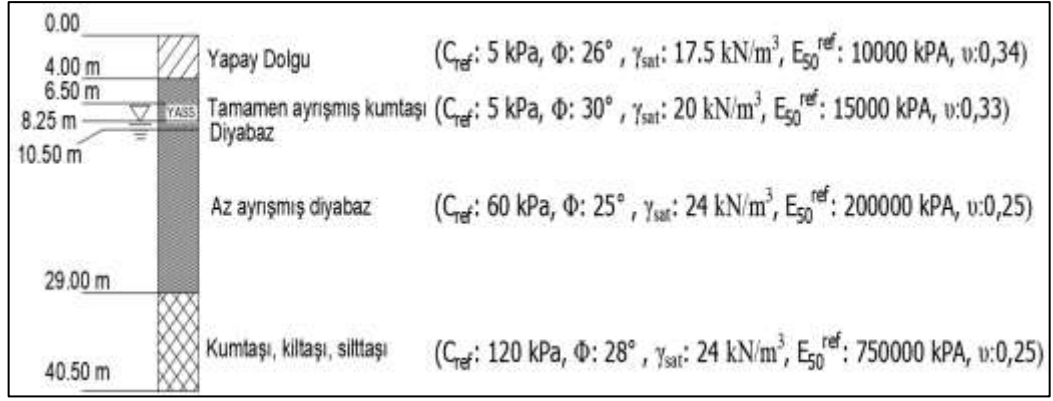
Veysel Karani İstasyon yapısına ait kazı destekleme sisteminde öngermeli ankrajlarla destekli betonarme fore kazıklar, püskürtme beton ve zemin çivileri kullanılmıştır. Maksimum kazı derinliği 15.80 m' dir. Kazı alanı 65 cm ile 80 cm çapında, merkezden merkeze 100 cm ile 130 cm aralıklı fore kazıklar ile yatay aralıkları 2 m olan, düşey aralıkları ise 1.45 ile 2.90 m arasında değişen, kök boyu 8.0 m, serbest boyu ise 8-16.0 m arasında değişen 40 ton servis yüküne kilitlenmiş öngermeli ankrajlar ile desteklenmiştir. Kazı sahasında açılan araştırma sondajları sonucu elde edilen ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.5' te yer almaktadır.



Şekil 4.5 Veysel Karani İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.6. Fulya İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

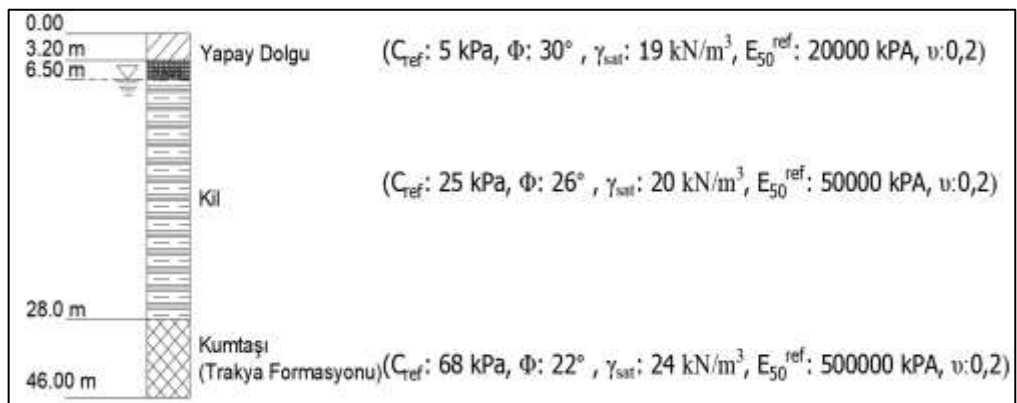
Fulya İstasyon yapısına ait kazı destekleme sisteminde öngermeli ankrajlarla desteklenmiş betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. Kazı alanında, net iç açıklıkları değişken düzgün olmayan çokgen şeklindeki geçici kazı destekleme sistemi imal edilmiştir. Kazı taban kotu +80.00 ve +90.00 arasında değişmektedir. Maksimum kazı derinliği 21 m' dir. İksa destek sistemi olarak 3 farklı tip kesit kullanılmıştır. Söz konusu tip kesitlerde öngermeli ankrajlarla desteklenmiş betonarme fore kazıklar teşkil edilmiştir. Tasarlanan 1. tip kesitlerde 65 cm çapında fore kazıklar merkezden merkeze 80 cm aralıklı olarak teşkil edilmiş, öngermeli ankrajlar ile desteklenmiştir. Kullanılan kuşak kirişi boyutu 40x80 cm, başlık kirişi boyutu ise 75x75 cm olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan 2.tip kesitlerde 65 cm çapında fore kazıklar merkezden merkeze 100 cm aralıklı olarak teşkil edilmiş, öngermeli ankrajlar ile desteklenmiştir. Bu kesitlerde kullanılan kuşak kirişi boyutu 40x80 cm, başlık kirişi boyutu ise 75x75 cm olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan 3. tip kesitlerde 80 cm çapında fore kazıklar merkezden merkeze 100 cm aralıklı olarak teşkil edilmiş, öngermeli ankrajlar ile desteklenmiştir. Bu kesitlerde kullanılan kuşak kirişi boyutu 40x80 cm, başlık kirişi boyutu ise 90x90 cm olarak tasarlanmıştır. Ankrajlar kök boyu 8 m, serbest boyları ise 8-18.0 m arasında değişen boylarda, 2 m yatay aralıklı, 3-6 sıra olarak imal edilmiştir. Çalışma alanında zemin profilini gözlemlemek amacıyla ve kazı destekleme sistemini belirlemeye yönelik 3 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili ile ilgili tasarım parametreleri Şekil 4.6' da yer almaktadır.



Şekil 4.6 Fulya İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.7. Karadeniz Mahallesi İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

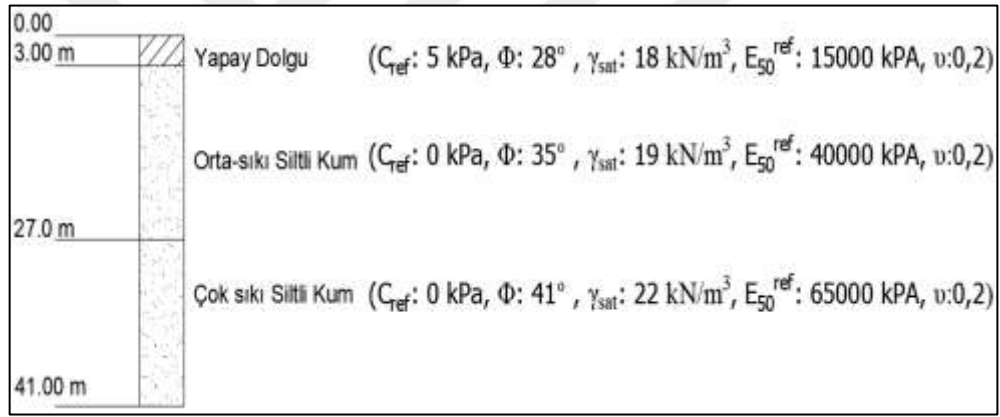
Karadeniz Mahallesi istasyon yapısına ait kazı destekleme sisteminde öngermeli ankrajlı ve içten çelik boru destekli betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. İksa destek sistemi olarak 80 cm çapında ve merkezden merkeze 100 cm aralıklı betonarme fore kazıklar imal edilmiştir. Kazıklar kazı tabanından itibaren Güngören formasyonuna ait çok katı-sert kil birimine 7 m boyunda soketlenecek şekilde toplam 25.5 m boyunda imal edilmiştir. Betonarme fore kazıkların yatay aralığı 2.0 m, düşey aralığı 1.50 m olan öngermeli ankrajlar ile desteklenmesi uygun görülmüştür. Çalışma alanında zemin profilini gözlemlemek amacıyla ve kazı destekleme sistemini belirlemeye yönelik 6 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.7' de yer almaktadır.



Şekil 4.7 Karadeniz Mahallesi İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.8. Kazım Karabekir İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

Kazım Karabekir istasyon yapısına ait kazı destekleme sisteminde öngermeli ankrajlı betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. Dörtgen kesitli konkors yapısı ortalama 184.5 m eninde, 25 m boyundadır. Kazı taban kotu + 2.50 m kotunda, azami kazı derinliği 25 m, maksimum kazı derinliği 27.3 m' dir. Proje güzergahında Çukurçeşme Formasyonuna ait kum birimlerini üzerleyen heterojen yapıda moloz ve harfiyat atıkları içeren yapay dolgu birimler vardır. Kazı alanı 100 cm çapında ve merkezden merkeze 100 cm mesafede teğet betonarme fore kazıklar ile 18.0 metre uzunluğunda öngermeli 1 m yatay aralıklı 3x0.5" çelik halatlı ankrajlar ile desteklenmiştir. Kazık toplam boyu 30 m, soket boyu 5.0 m olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında zemin profilini gözlemlemek amacıyla ve kazı destekleme sistemini belirlemeye yönelik 5 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.8' de yer almaktadır.

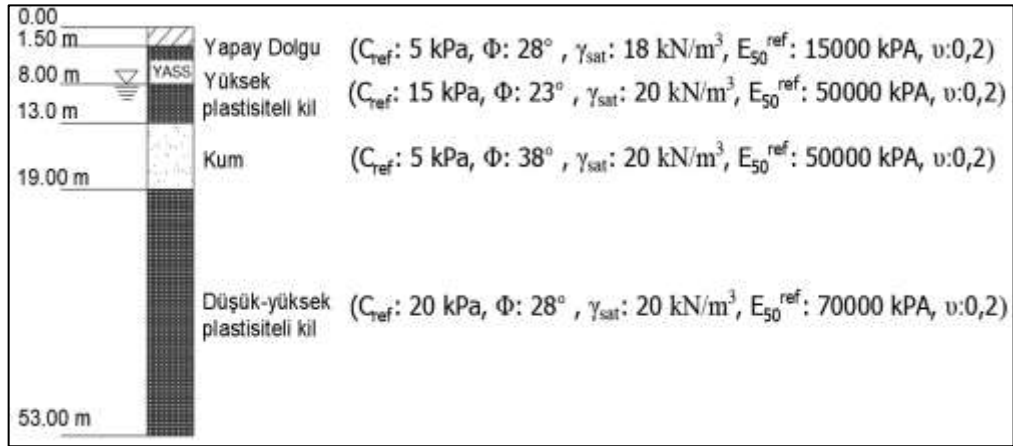


Şekil 4.8 Kazım Karabekir İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.9. Mahmutbey İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

Mahmutbey İstasyon yapısı yukarıdan aşağıya inşaat yöntemi ile imal edilmiş olup kazı destekleme sisteminde içten destekli diyafram duvarlar kullanılmıştır. Arazinin tabii kotu +106.50, en derin kazı derinliğinde kazı taban kotu +76.50 ve azami kazı derinliği 30 m mertebelerindedir. Kazı alanı kenar uzunlukları 30 m eninde, 85 m boyundadır. Kazı alanının desteklenmesinde diyafram duvarların kullanıldığı derin kazı inşaatında 4 tip kesit kullanılmıştır. Duvar tipi olarak 120 cm çapında diyafram duvar, destek tipi olarak yatay aralığı 4.2 m, çapı 1220 mm ve et kalınlığı 20 mm olan çelik borular kullanılmıştır. Çalışma alanında zemin profilini gözlemlemek amacıyla ve kazı destekleme sistemini

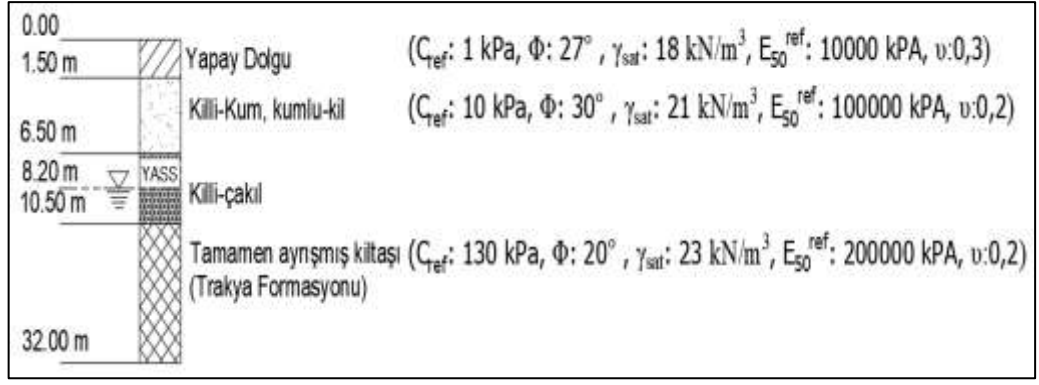
belirlemeye yönelik 5 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.9' da yer almaktadır.



Şekil 4.9 Mahmutbey İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.10. Fısıkağacı İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

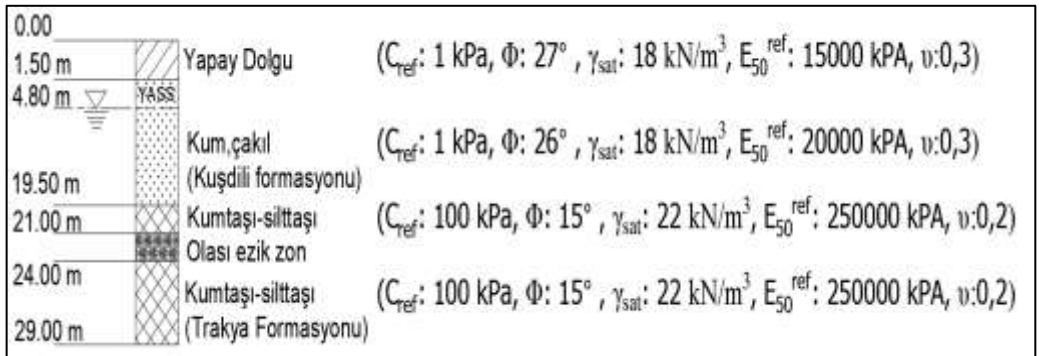
Fısıkağacı İstasyonuna ait kazı destekleme sisteminde öngermeli ankrajlar ile desteklenmiş betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. Kazı alanı dörtgen kesitli konkors yapısının net iç kenar uzunlukları 34 m x 50 m boyutlarındadır. İstasyon yapısının bulunduğu arazi kotları +56.00 m ile +66.00 m arasında değişmektedir. Kazı tabanı kotu +27.4, azami kazı derinliği 29.6 m mertebelerindedir. Kazıklı ankrajlı kazı destekleme sisteminin kullanıldığı derin kazı inşaatında 8 tip kesit kullanılmıştır. Duvar tipi olarak 65 cm çapında, merkezden merkeze 100 cm aralıklı sürekli betonarme fore kazık, destek elemanı olarak değişen kök ve serbest uzunluklar ile değişen yatay ve düşey aralıklarda öngermeli ankrajlar kullanılmıştır. Ankraj eğimleri 20° ile 30° arasında değişmektedir. Ankrajlara uygulanan öngerme kuvveti 40 tondur. Çalışma alanında zemin profilini gözlemek amacıyla ve kazı destekleme sistemini belirlemeye yönelik 3 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.10' da yer almaktadır.



Şekil 4.10 Fısıkağacı İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.11. Üsküdar İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

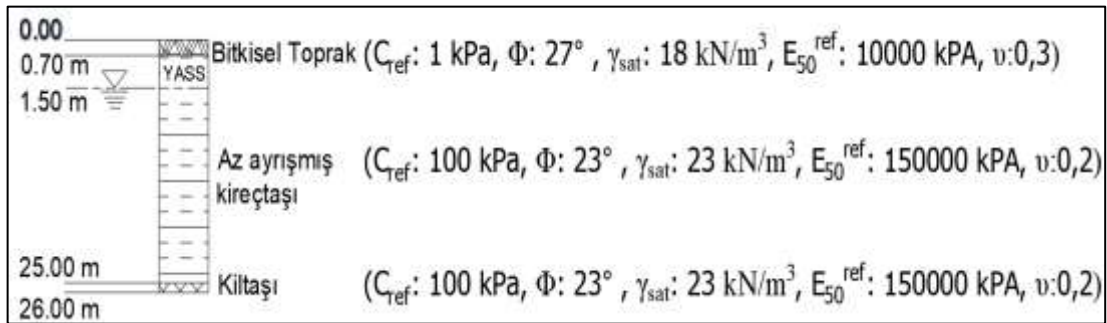
Üsküdar istasyon yapısına ait kazı destekleme sisteminde içten destekli betonarme fore kazıklı sistem kullanılmıştır. Kazı alanı dikdörtgen kesitli 207 m boyunda, 26 m enindedir. Arazi kotları +2.50 m, kazı taban kotu ise -20.60 m mertebelerindedir. Sondaj çalışmalarında, değişen seviyelerde yeraltı suyuna rastlanılmış olup yeraltı su seviyesi olarak deniz kotu olan +4.80 m kabul edilmiştir. İçten destekli kazıklı kazı destekleme sisteminin kullanıldığı derin kazı inşaatında 4 farklı tip kesit tasarlanmıştır. Tip kesitlerde değişen çap ve uzunluklarda betonarme fore kazıklar ile çelik içten destek elemanları kullanılmıştır. Çalışma alanında zemin profilini gözlemek amacıyla ve kazı destekleme sistemini belirlemeye yönelik 8 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.11' de yer almaktadır.



Şekil 4.11 Üsküdar İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.12. Altunizade İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

Altunizade İstasyonu Doğu Konkors yapısına ait kazı destekleme sisteminde içten destekli betonarme fore kazıklı kazı destekleme sistemi kullanılmıştır. Kazı alanı dikdörtgen kesitli 42 m boyunda, 40 m enindedir. İstasyon yapısının bulunduğu arazi kotları +101.50 m ve +103.50 m arasında değişmektedir. Kazı taban kotu +78.82 m, azami kazı derinliği 24.5 m mertebelerindedir. Sondajlar esnasında yeraltı su seviyesine rastlanmamıştır. Geçici kazı destek sisteminde 3 tip kesit kullanılmıştır. Tüm tiplerde 65 cm çapında fore kazıklar merkezden merkeze 100 cm aralıklı olarak teşkil edilmiştir. Kazık boyları kazı derinliğine göre 24 m ile 28 m arasında değişmektedir. Ayrıca tüm kesitlerde kullanılan kuşak kirişi boyutu 40x80 cm, başlık kirişi boyutu ise 75x75 cm olarak tasarlanmıştır. Püskürtme beton kaplama ve zemin çivisi kullanılan kesitlerde ise püskürtme beton kalınlığı 25 cm ve çelik hasır ise çift sıra halinde 2xØ335/335 olarak teşkil edilmiştir. İkinci tipteki kesitlerde tünel portalına denk gelen kısımlarda öngermeli ankrajla destekli fore kazıklı sisteme ilave olarak zemin çivili püskürtme beton kaplamalı duvar teşkil edilmiştir. Çalışma alanında zemin profilini gözlemlemek amacıyla ve kazı destekleme sistemini belirlemeye yönelik 3 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.12' de yer almaktadır.

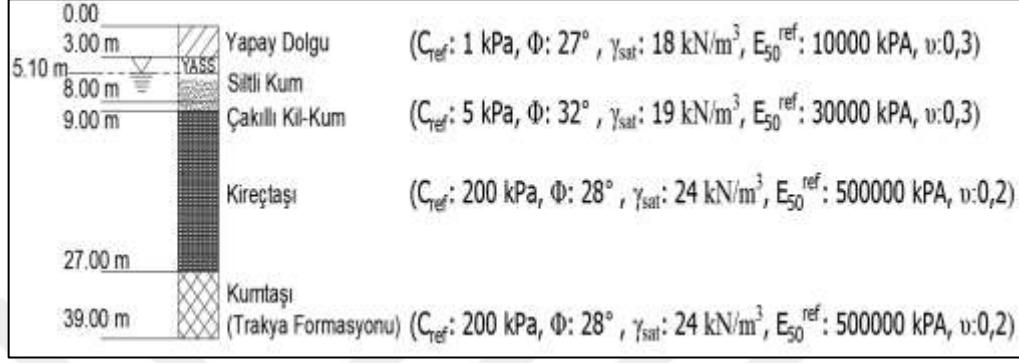


Şekil 4.12 Altunizade İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.13. Çekmeköy İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

Çekmeköy İstasyon yapısına ait kazı destekleme sisteminde mini kazıklar ile bu kazıkların altında değişen uzunluklarda öngermeli ankrajlar ile desteklenmiş betonarme perde duvarlar kullanılmıştır. Kazı alanı dikdörtgen geometrik şekle sahip 124 m boyunda, 30 m enindedir. İstasyon yapısının bulunduğu arazi kotları +133.50 m ve +139.00 m arasında değişmektedir. Kazı taban kotu +104.0 m, maksimum kazı derinliği 35 m' dir. Konkors

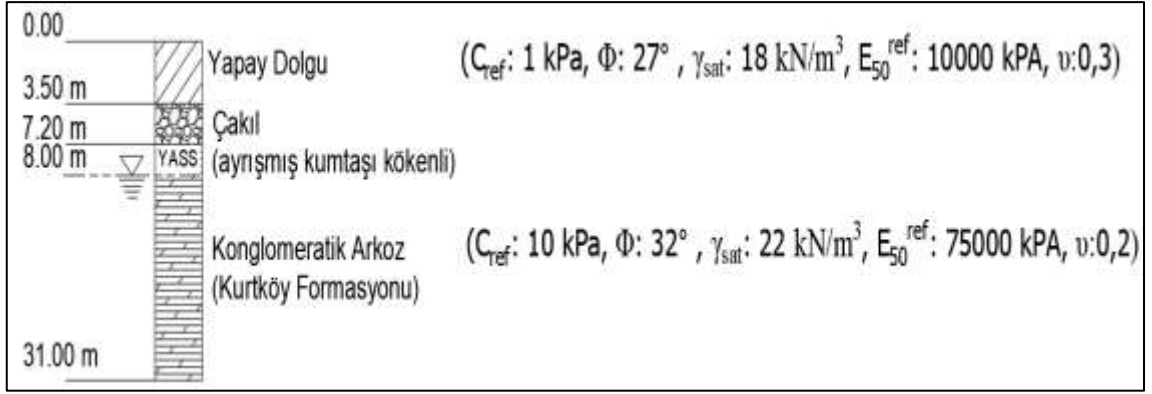
yapısının kazı destekleme sisteminde 28 cm çapında, 12 m boyunda mini kazıklar, bu kazıkların altında 40 cm kalınlığında betonarme perde duvar ve değişen uzunluklarda öngermeli ankrajlar kullanılmıştır. Çalışma alanında zemin profilini gözlemlemek amacıyla ve kazı destekleme sistemini belirlemeye yönelik 3 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.13' te yer almaktadır.



Şekil 4.13 Çekmeköy İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.14. İhlamurkuyu İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

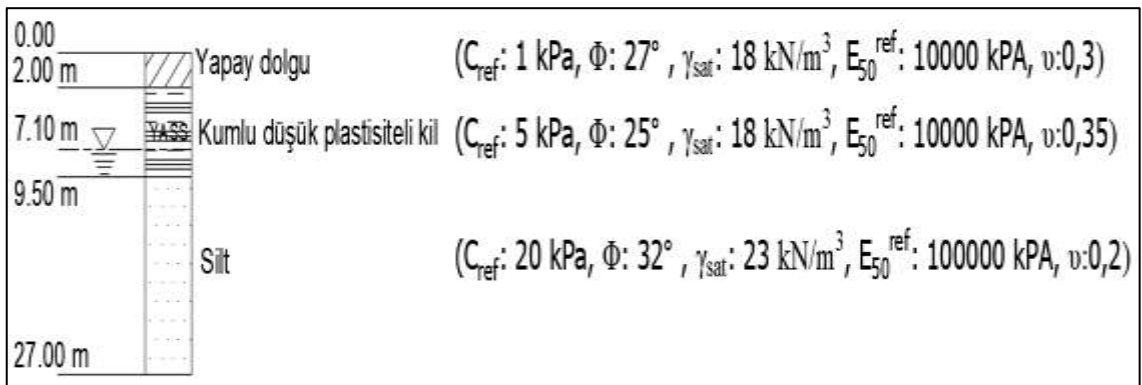
İhlamurkuyu İstasyonu çokgen kesitli konkors yapısına ait kazı destekleme sisteminde öngermeli ankrajlar ve içten destekli çelik elemanlar ile desteklenen betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. İstasyon yapısının bulunduğu arazi +161.00 m ile +166.00 m kotlarında, kazı taban kotu en derin yerde +139.50, azami kazı derinliği 25 m mertebelerindedir. İksa sistemi 29 tip kesitten oluşmaktadır. Kullanılan kazı destekleme sistemleri öngermeli ankraj ile içten destek elemanlarıyla desteklenmiş merkezden merkeze 100 cm aralıklı 65 cm ve 80 cm çapında betonarme fore kazıklar ile zemin çivili çelik hasırlı püskürtme beton kaplamadan oluşmaktadır. Çalışma alanında zemin profilini gözlemlemek amacıyla ve kazı destekleme sistemini belirlemeye yönelik 3 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.14' te yer almaktadır.



Şekil 4.14 Ihlamurkuyu İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.15. Necip Fazıl İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

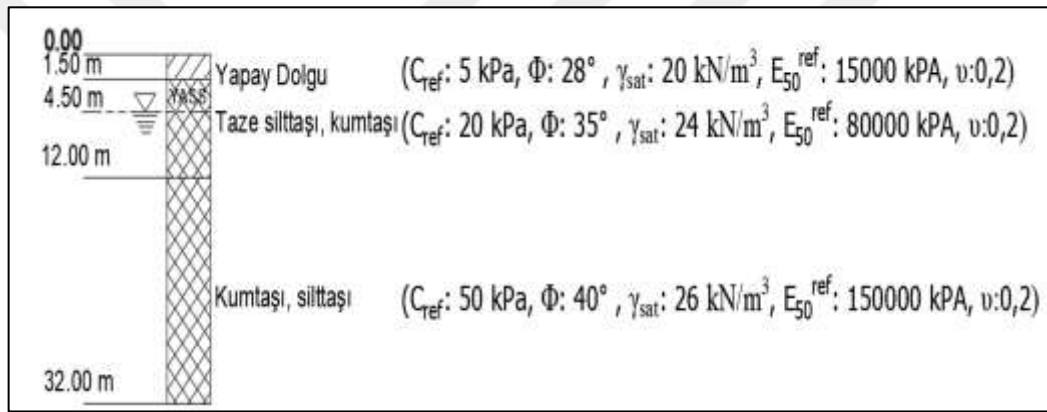
Necip Fazıl İstasyonu kazı destekleme sisteminde öngermeli ankraj ile desteklenmiş betonarme perde duvar kullanılmıştır. Kazı alanının net iç kenar açıklıkları 165 m boyunda 27 m enindedir. İstasyon yapısının bulunduğu arazi kotları +124.00 m, kazı taban kotu +103.6 m, azami kazı derinliği 20 m mertebelerindedir. İksa sistemi olarak, 65 cm çaplı ve merkezden merkeze 100 cm aralıklı fore kazık ile öngermeli ankraj, 40 cm kalınlığında öngermeli ankraj ile desteklenmiş betonarme perde duvar kullanılmıştır. Çalışma alanında zemin profilini gözlemlemek amacıyla ve kazı destekleme sistemini belirlemeye yönelik 2 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.15' te yer almaktadır.



Şekil 4.15 Necip Fazıl İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.16. Türkış Blokları İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

Türkış Blokları İstasyon yapısı kazı destekleme sisteminde öngermeli geçici ankrajlar ile desteklenmiş iksa duvarı kullanılmıştır. Kazı alanının kuzey ve güney cepheleri 93 m, doğu cephesi 52 m ve batı cephesi 43 m uzunluklara sahiptir. Yeraltı su seviyesi 3.30 m ile 6.54 m arasında değişmektedir. Saha kotları +122.00 m ile +122.60 m kotları arasında değişmektedir. Kazı alanı 80 cm kalınlığında, yatay aralığı 3.00 m, düşey aralığı 2.00 m olan öngermeli geçici ankrajlar ile desteklenmiş iksa duvarı ile tutulmaktadır. Çalışma alanında zemin profilini gözlemlemek amacıyla ve kazı destekleme sistemini belirlemeye yönelik 2 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili ile tasarım parametreleri Şekil 4.16' da yer almaktadır.

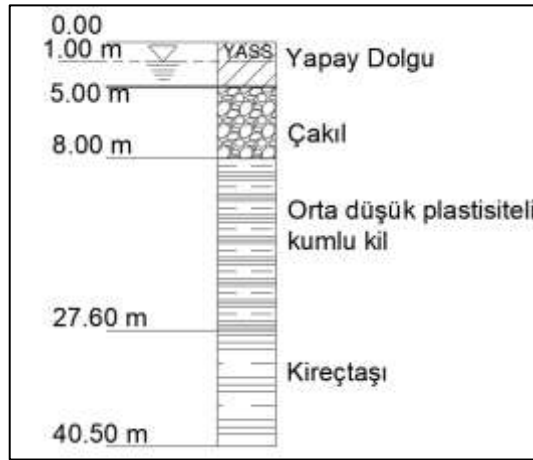


Şekil 4.16 Türkış Blokları İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.17. Bostancı İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

Bostancı İstasyonu yukarıdan aşağıya inşaat yöntemi ile imal edilecek olup, kazı destekleme sisteminde diyafram duvarlar, istasyon döşemeleri ve kalıcı kolonlar tasarlanmıştır. Kazı taban kotu -3,60, iksa derinliği ortalama 30.00 m olarak belirlenmiştir. Bostancı İstasyonu kazı destekleme sistemi analizleri 3 farklı kesit üzerinde yapılmıştır. Bu kesitler istasyon bölgesinde yer almakta olup diyafram duvarlar, istasyona ait mevcut döşemeler ve istasyon tavanı ile desteklenerek kazı destekleme sistemi oluşturulmuştur. İstasyon dış diyafram duvarı kalınlığı 120 cm, dış diyafram boyu 37 m olarak belirlenmiştir. İstasyon yapısı orta kalıcı kolonlar 1.20 x 2.80 m boyutunda, merkezden merkeze ortalama 12 m aralıklı imal edilmiştir. Bu kolonların boyları da 39 m olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında zemin profilini gözlemlemek amacıyla ve kazı

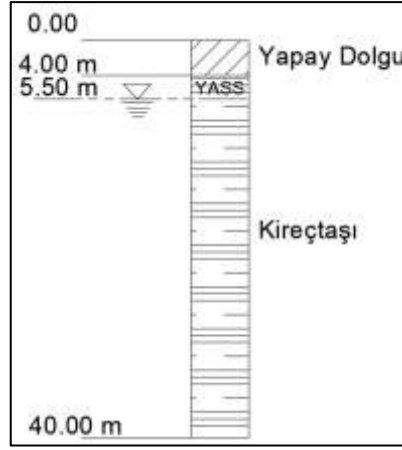
destekleme sistemini belirlemeye yönelik 10 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili Şekil 4.17’ de yer almaktadır.



Şekil 4.17 Bostancı İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili

4.1.18. Kozyatağı İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

Kozyatağı İstasyon yapısı kazı destekleme sisteminde öngermeli ankrajlarla destekli mini kazık sistemi kullanılmıştır. Kazı sahası 120 m boyunda 34 m enindedir. Proje kapsamında kazı taban kotu -4.00 m, iksa derinliği 1.kesitte ortalama 24.00 m, 2. kesitte 16 m olarak belirlenmiştir. Tasarımda yer altı su seviyesinin sondaj ağız kotundan ortalama 15.00 m derinde olduğu dikkate alınmıştır. Proje alanında gerçekleştirilen tüm sondajlarda en üstte 3.5-4.0 m kalınlıkta koyu kahverengi, nemli, bitki kökleri içeren, asfalt parçalı, çakıllı kil içerikli dolgu malzemesi ile karşılaşmıştır. Çalışma sahasının küçük bir bölümünde dolgu birimlerin altında sarımsı kahverengi, nemli, ince-orta taneli kumlu, orta yüksek plastisiteli kil birimlere rastlanmıştır. İnceleme alanında taban kayası olarak kireçtaşı birimler gözlenmektedir. Kritik iksa kesitleri, çevre yapılar ve sürşarj yükleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Kazıda 30 cm çapında 50 cm aralıklı 12 m boyunda mini kazıklar öngermeli ankrajlar ile desteklenecek şekilde imal edilmiş, TBM aynasının da geçeceği ve kireçtaşı biriminde açılacak olan kısım için ise kazığın soket kısmından 1 m mesafe kalacak şekilde şevli olarak kazı taban kotuna inilmiştir. Bu şevli kısım 20 cm kalınlığında püskürtme beton ve Ø32’lik yatayda ve düşeyde 1,5 m aralıklı olarak kaya bulonları ile desteklenmiştir. Çalışma alanında zemin profilini gözlemlemek amacıyla ve kazı destekleme sistemini belirlemeye yönelik 4 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili Şekil 4.18’ de yer almaktadır.



Şekil 4.18 Kozyatağı İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili

4.1.19. Bayrampaşa Belediyesi Zeminaltı Otopark Kazı Destekleme Sistemi

Bayrampaşa Belediyesi Zeminaltı Otopark binası kazı destekleme sisteminde öngermeli zemin ankrajları ile destekli fore kazıklı kazı destekleme sistemi kullanılmıştır. Proje kapsamında 14 m derinliğinde bir kazı yapılması planlanmıştır. Temel kazısının jeoteknik açıdan detaylandırılması, bu kesimde yer alan birimlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve yeraltı su seviyesinin tespiti amacıyla; toplam derinliği 122 m olan 5 adet araştırma sondajı açılmıştır. Proje alanında idealize zemin profili, yüzeyde gözlenen 0.5-4.50 m kalınlığındaki yapay dolgu biriminin altında kalınlığı 3.0-5.50 m arasında değişen orta katı – katı kumlu kil ve silt seviyelerinden oluşan alüvyon birim ile altında Güngören Üyesine ait çok katı – sert kumlu kil ve sıkı – çok sıkı killi kum birimlerinden oluşmaktadır. İnceleme alanında yapılan temel araştırma sondajları, genel olarak 7-14.0 m aralığında değişen seviyelerde yeraltı suyuna sahiptir. İksa destek sistemi iki kesit şeklinde tasarlanmıştır. 1. kesit bölgede yapılacak kazının mevcut yapılara en yakın olduğu kesimi temsil etmektedir. Bu kesitte kazı derinliği 11.3 m’ye kadar ulaşmaktadır. Kazı sınırına yaklaşık 1.0 m mesafede 5 katlı bir bina ve arkasında 3-4 katlı binalar bulunmakta olup, kazının 1.70 m yatay aralıklı, 1.50 m düşey aralıklı öngermeli zemin ankrajları ile destekli teğet kazıklarla desteklenmesi öngörülmüştür. Kazık çapı 80 cm, merkezden merkeze 90 cm mesafede, kazık soket boyu ise 5.0 m’ dir. 2. kesit, bölgede yapılacak kazının en derin olduğu kesimi temsil etmektedir. 2. kesitte kazı derinliği sağ tarafta 14.2 m’ye sol tarafta ise 11.3 m’ye kadar ulaşmaktadır. Sol tarafta kazı sınırına yaklaşık 14.4 m mesafede 17 katlı ve 1 bodrumlu bir bina ile sağ tarafta kazı sınırına yaklaşık 3.8 m mesafede 4 katlı bina ve arkasında 3-4 katlı binalar bulunmakta olup, kazının 1.70 m yatay aralıklı, 1.50 m

düşey aralıklı öngermeli zemin ankrajları ile destekli teğet kazıklarla desteklenmesi düşünülmüştür. Kazık çapı 80 cm, merkezden merkeze 90 cm mesafede, kazık soket boyu ise 5.0 m' dir.

4.1.20. Kadıköy Hasanpaşa Pazaryeri ve Zeminaltı Otopark Projesi Kazı Destekleme Sistemi

Kadıköy Hasanpaşa Pazaryeri ve Zeminaltı Otopark Projesi kazı destekleme sisteminde öngermeli ankraj elemanlar ile desteklenmiş fore kazıklı kazı destekleme sistemi kullanılmıştır. Kazı alanı 140 m eninde, 325 m boyundadır. İnceleme alanında 15 m ile 30 m arasında değişen derinliklerde 15 adet sondaj yapılmıştır. Proje alanında killi, kumlu ve taban çakıllı alüvyon birimlerin altında sarımsı kahverengi bol kırıklı çatlaklı ayrışmış kumtaşı birimler yer almaktadır. Arazi tabi kotu +11.50 m ile +7.30 m arasında değişmektedir. Maksimum kazı derinliği 13 m' dir. Kazı destekleme sisteminde 120 cm çapında kesişen kazıklar ile değişen boylarda ortalama 1.90 m yatay aralıklı, 2.60 m düşey aralıklı öngermeli ankrajlar kullanılmıştır.

4.1.21. Merter Zeminaltı Otopark Projesi Kazı Destekleme Sistemi

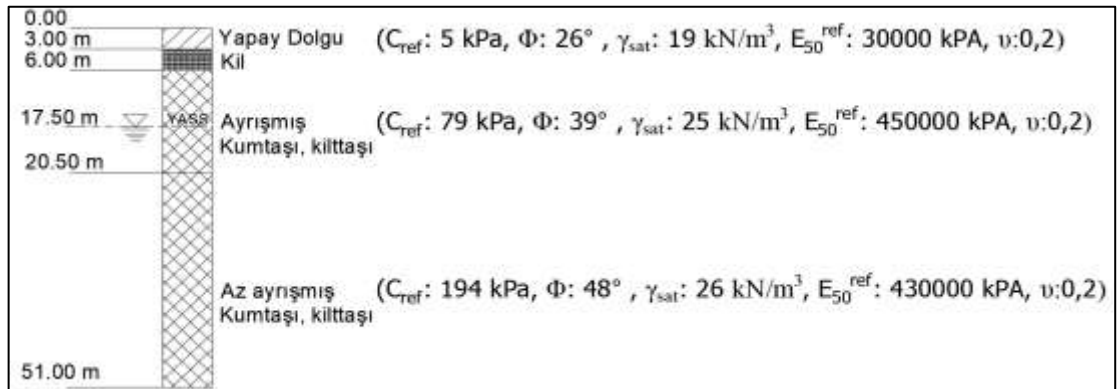
Merter Zeminaltı Otopark ve Çevre Düzenlemesi Projesi kazı destekleme sisteminde fore kazıklı ankrajlı kazı destekleme sistemi kullanılmıştır. Proje sahasında yapılan 5 adet sondajdan anlaşılağı üzere proje alanının geneli kil birimlerden oluşmaktadır. Sondajlarda yer altı su seviyesi +6.00 m kotunda bulunmuştur. İksa sistemi tasarlanırken kazı derinliğine ve çevresel şartlara bağılı olarak iki adet kritik kesit belirlenmiştir. Proje kapsamında kazı taban kotu +4.55 m olarak belirtilmiş olup, iksa derinliği 1. kesitte 10.0 m, 2. kesitte 14.0 m olarak belirlenmiştir. İksa sistemi, 80 cm çapında merkezden merkeze 90 cm aralıklı fore kazıklar 1.kesitte 4 sıra öngermeli ankraj, 2.kesitte 6 sıra öngermeli ankrajlarla desteklenecek şekilde tasarlanmıştır. Öngermeli ankrajlar, yatayda 1.80 m düşeyde ise 2 m mesafe ile yerleştirilmiştir. Ø32'lik yatayda ve düşeyde 1,5 m aralıklı olarak kaya bulonları ile desteklenmiştir. Çalışma alanına ait ideal zemin profili Şekil 4.19' da yer almaktadır.



Şekil 4.19 Merter Zeminaltı Otopark inşaatı derin kazısına ait ideal zemin profili

4.1.22. Yeşilpınar İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

Çalışmada incelenen KMM metro hattının Yeşilpınar İstasyon yapısına ait kazı destekleme sisteminde ankrajlarla destekli betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. Sondajlarda yeraltı suyuna rastlanmamış olup, 16.10-18.40 m arasında sızıntı sularına rastlanmıştır. İstasyonun her iki aç kapa bölgesinde kazı alanı 80 cm çapında, öngermeli ankrajlar ile desteklenmiş, merkezden merkeze 130 cm aralıklı fore kazıklı kazı destekleme sistemi tasarlanmıştır. Kazı derinliği 14 m ile 16 m arasında değişmektedir. Öngermeli ankrajlar yatayda 2.60 m, düşeyde 2.50 m aralıklı yerleştirilmiştir. Ankraj elemanları 40 ton servis yüküne kilitlenmiştir. Çalışma alanında zemin profilini gözlemlemek amacıyla ve kazı destekleme sistemini belirlemeye yönelik 6 adet sondaj açılmış olup ideal zemin profili Şekil 4.20' de yer almaktadır.



Şekil 4.20 Yeşilpınar İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.23. Göztepe İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

Çalışmada incelenen KMM metro hattının Göztepe Mahallesi Doğu Konkors istasyon yapısına ait kazı destekleme sisteminde öngermeli ankrajlı betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. İnceleme alanında derinliği 33-37 m arasında 7 adet araştırma sondajı açılmıştır. Arazi tabii kotu +60.00 m, maksimum kazı derinliği 17 m, kazı taban kotu ise +43.00 m' dir. Kazı destek sistemi tasarlanırken 3 tip kazı kesiti kullanılmıştır. 1. kesit merkezden merkeze 100 cm aralıklı 80 cm çapında betonarme fore kazıkları destekleyen ortalama yatay aralığı 1.5 m, düşey aralığı 2.00 m olan 6 sıra öngermeli ankraj elemanlarından oluşmaktadır. Kazık boyu 22 m, soket boyu 4.60 m' dir. 2. kesit merkezden merkeze 100 cm aralıklı 80 cm çapında betonarme fore kazıkları destekleyen ortalama yatay aralığı 1.5 m, düşey aralığı 2.00 m olan 8 sıra öngermeli ankraj elemanlarından oluşmaktadır. Kazık boyu 22 m, soket boyu 4.60 m' dir. 3. kesit merkezden merkeze 100 cm aralıklı 80 cm çapında betonarme fore kazıklardan oluşmaktadır. Kazık boyu 8.50 m, soket boyu 2.50 m' dir. Çalışma alanının ideal zemin profili Şekil 4.21' de yer almaktadır.

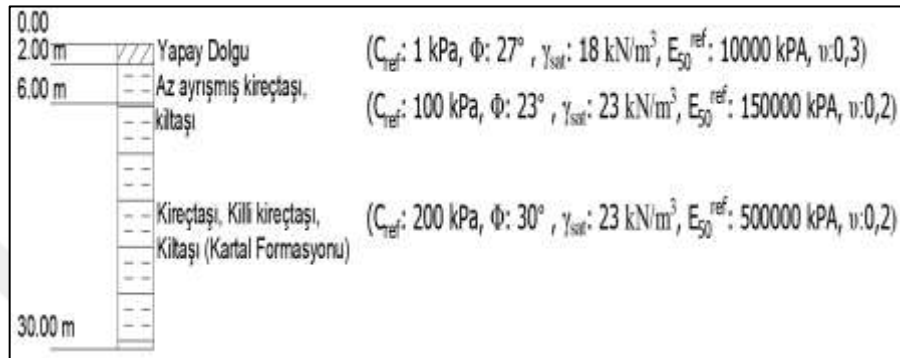


Şekil 4.21 Göztepe İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili

4.1.24. Bulgurlu İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

Çalışmada incelenen UUCS metro hattının Bulgurlu İstasyon yapısına ait kazı destekleme sisteminde ankrajlarla destekli betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. Bahsi geçen yapı planda düzgün olmayan çokgen geometrik şekle sahip bir konkors yapısıdır. Başlık kirişi üst kotları +117.31 m ve +120.75 m arasında değişmektedir ve kazı taban kotu +92.73 m, en yüksek kazı derinliği 28 m mertebelerindedir. Çalışma alanında 4 adet araştırma sondajı açılmıştır. Çalışma sahasında açılan sondajlara göre istasyonun olduğu bölgesinde 0-2.0 m arasında dolgu tabakası, bu tabakanın altında 2.0-6.0 m arasında az

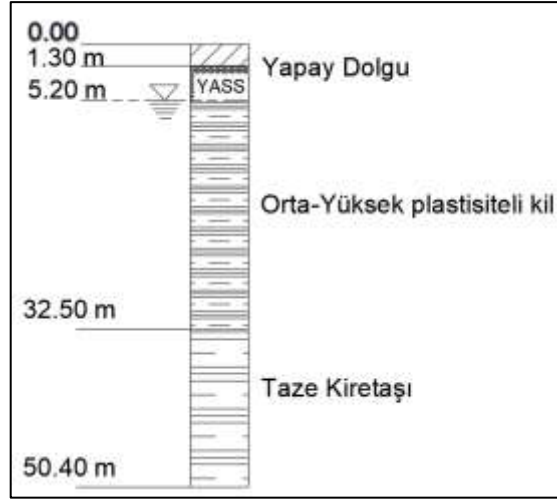
ayrışmış kireçtaşı-kiltaş ardalanması ve en altta ayrışmamış kireçtaşı-kiltaş ardalanmalı birimler yer almaktadır. İstasyon derin kazısının kazı destekleme sisteminde 28 cm çapında, 12 m boyunda mini kazıklar, bu kazıkların altında 40 cm kalınlığında betonarme püskürtme beton perde ve değişen uzunlukta öngermeli ankraj elemanlar kullanılmıştır. Ayrıca, altyapı ve bina bodrumları olan kesitlerde ankraj yapılabilecek derinliğe kadar mini kazık önüne 40 cm kalınlığında betonarme perde beton tasarlanmıştır. Çalışma alanının ideal zemin profili Şekil 4.22’ de yer almaktadır.



Şekil 4.22 Bulgurlu İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili ve tasarım parametreleri

4.1.25. Dudullu İstasyonu Kazı Destekleme Sistemi

Çalışmada incelenen UUCS metro hattının Dudullu İstasyon yapısına ait kazı destekleme sisteminde ankrajlarla destekli betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. İstasyon yapısının bulunduğu arazi takribi +151.00 m kotlarında, azami kazı derinliği 20 m mertebelerinde olacaktır. Kazı alanı geometrisi ortalama 120 m boyunda, 30 m enindedir. Dudullu İstasyonu yapısının tasarımına yönelik 9 adet araştırma sondajı açılmıştır. İnceleme alanında yapılan sondaj logları incelendiğinde, 0-2.0 m arasında dolgu tabakası altında sırasıyla kum-kil-silt-çakıl ardalanmalı zemin ile gri-mavimsi orta sık eklemlili kireçtaşı birimler yer almaktadır. Yeraltı suyu +132.00 m ile +145.00 m arasında değişen kotlardadır. Kullanılan kazı destekleme sistemi merkezden merkeze 80 cm aralıklı, 65 cm çapında betonarme fore kazık ile öngermeli ankrajlardan oluşmaktadır. Kazık soket boyları 4 m’ dir. Çalışma alanının ideal zemin profili Şekil 4.23’ te yer almaktadır.



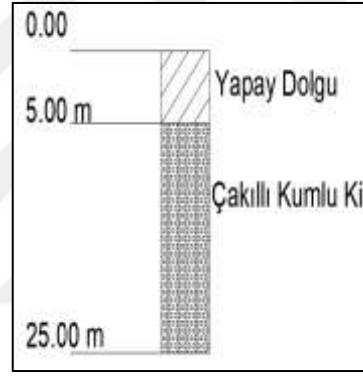
Şekil 4.23 Dudullu İstasyonu derin kazısına ait ideal zemin profili

4.1.26. Esenler Havaalanı Mahallesi Zeminaltı Otopark Projesi Kazı Destekleme Sistemi

Çalışmada incelenen Esenler Havaalanı Mahallesi Zeminaltı Otopark yapısına ait kazı destekleme sisteminde öngermeli ankrajlarla destekli betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. Proje alanı tabii arazi kotları +73.00 m ile +85.00 m arasında değişmektedir. Kazı taban kotu +58.00 m' dir. Kazı derinliği 14.00 m ile 26.00 m arasında değişen derinliklerdedir. Proje alanında 20 m, 25 m ve 30 m derinliklerinde toplam 9 adet sondaj çalışması yapılmıştır. Sondaj ağız kotları +73.50 ile +83.50 arasında değişmektedir. Proje alanında yüzeyden itibaren 1.5-3.0 m arasında değişen kalınlıklarda güncel dolgu zeminlerin altında kalınlığı 4-18 m arasında çakıllı kumlu katı ve sert kil katmanlar geçilmiştir. En alt tabakada ise silttaşı ve kumtaşı birimler ile yer yer kilaşı birimlere rastlanmaktadır. İksa sistemi olarak öngermeli ankraj elemanlar ile desteklenmiş merkezden merkeze 95 cm aralıklı 80 cm çapında fore kazıklar ile bazı kesitlerde merkezden merkeze 120 cm aralıklı 100 cm çapında fore kazıklar imal edilmiştir. Zemin ankrajları 44 ton öngerme yüküne kilitlenmiştir. Ankrajlar 3x0.6'' halatlardan oluşmaktadır. Ankrajlar ortalama 10 m kök boyunda, toplam ankraj boyu ise değişkendir.

4.1.27. Gaziosmapaşa Barbaros Hayrettin Paşa Kapalı Spor Salonu Projesi Kazı Destekleme Sistemi

Çalışmada incelenen Gaziosmapaşa Barbaros Hayrettin Paşa Kapalı Spor Salonu kazı destekleme sisteminde öngermeli zemin ankrajlı ve içten çelik boru destekli betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. Kazı alanı geometrisi 105 m boyunda 50 m enindedir. Proje sahasının tabii zemin kotu +104 m, kazı taban kotu +87.35 m' dir. Zemin profili ve tasarım parametreleri kazı sahasında gerçekleştirilen 7 adet araştırma sondajı ile belirlenmiştir. Proje alanında 0-5 m derinliğinde yapay dolgu tabakası altında 5-25 m arasında az çakıllı kumlu killi birimler yer almaktadır (Şekil 4.24). İksa sistemi olarak öngermeli ankraj elemanlar ile desteklenmiş merkezden merkeze 95 cm aralıklı 80 cm çapında betonarme fore kazıklar kullanılmıştır. Ankraj yatay aralıkları 2.5 m, düşey aralıkları ise 2 m' dir.

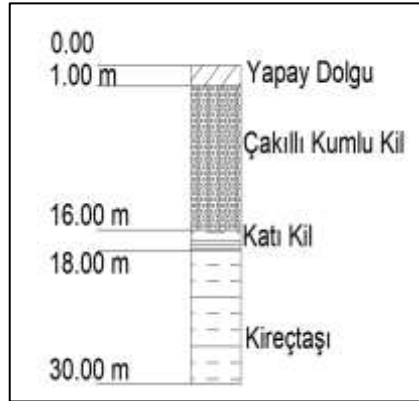


Şekil 4.24 Gaziosmapaşa Barbaros Hayrettin Paşa Kapalı Spor Salonu inşaatı derin kazısına ait ideal zemin profili

4.1.28. Kadıköy Gençlik Merkezi Projesi Kazı Destekleme Sistemi

Çalışmada incelenen Kadıköy Gençlik Merkezi binasına ait kazı destekleme sisteminde öngermeli ankrajlarla destekli fore kazık ile konsol kazı destekleme sistemi kullanılmıştır. Nihai kazı kotu +36.0 m, kazı taban kotu +31.70 m, iksa üst kotu +37.0 m ile +41.0 m arasında değişmektedir. Kazı esnasında karşılaşılabilecek zemin birimlerini belirlemek amacıyla yapılan sondaj çalışmalarından proje alanında, yüzeyden itibaren 1 m kalınlığındaki dolgu birimlerinin altında 16 m derinliğe kadar çakıllı kumlu killere, 16-18 m arasında sert kil birimleri ile daha derin tabakalarda kireçtaşı birimlerine rastlanmıştır. Merkezden merkeze 100 cm aralıklı 65 cm ve 80 cm çapında betonarme fore kazıklar, kök boyları 8 m, yatay aralıkları 2 m olan öngermeli ankrajlar ile desteklenmiştir.

Ankrajlar 30 ton öngerme yüklerine kilitlenmiştir. Çalışma alanına ait ideal zemin profili Şekil 4.25’ te yer almaktadır.



Şekil 4.25 Kadıköy Gençlik Merkezi inşaatı derin kazısına ait ideal zemin profili

Çizelge 4. 1 İncelenen derin kazı projelerine ait özet bilgiler

Sıra No	Proje Adı	Kazı Alanı (en-boy, m)	Ortalama Kazı Derinliği (m)	Destekleme Sistemi	Zemin Tipi
1	KMM- Mecidiyeköy İstasyonu (Batı Konkors)	63.80x32.80	21.3	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Çok-orta-az ayrılmış kumtaşı silttaşı, grovak
2	KMM- Çağlayan İstasyonu	44x13.6x45.4x24.7	27	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Taze az ayrılmış grovak
3	KMM- Giyimkent İstasyonu	35x569	24-25	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar, zemin çivili püskürtme beton	Orta-sağlam-zayıf dayanımlı taze-az ayrılmış kiltası
4	KMM- Yüzyl İstasyonu	50x43	26	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Çok orta ayrılmış şeyl-kumtaşı-silttaşı ar dalanmalı grovak
5	KMM- Veysel Karani İstasyonu	60x16 (ortalama)	15.80	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Trakya Formasyonu, grovak
6	KMM- Fulya İstasyonu	35.50x52.50x22x71x32	21	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	silttaşı (çamurtaşı), kumtaşı ve kiltası ar dalanmalı grovak
7	KMM- Karadeniz İstasyonu	107x50 (değişken)	24	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Ardalanmalı az ayrılmış şeyl-kumtaşı-kiltası
8	KMM- İhlamurkuyu İstasyonu	184.5x25	27.3	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar, yukarıdan aşağıya sistem	Çukurçeşme formasyonuna ait kum birimler altında şeyl-kumtaşı, silttaşı-şeyl ar dalanmalı Trakya formasyonu birimler
9	KMM- Mahmutbey İstasyonu	30x85	30	İçten destekli diyafram duvar, yukarıdan aşağıya sistem	Güngören Formasyonuna ait kil birimler, kumtaşı-silttaşı ar dalanmalı grovak birimler

Çizelge 4.1 İncelenen derin kazı projelerine ait özet bilgiler (devamı)

Sıra No	Proje Adı	Kazı Alanı (en-boy, m)	Ortalama Kazı Derinliği (m)	Destekleme Sistemi	Zemin Tipi
10	UUCS-Fıstıkağacı İstasyonu	34x50	29.6	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Ayrışmış kilaşı çamurtaşı
11	UUCS-Üsküdar İstasyonu	207x26	23	İçten destekli kazıklı, diyafram duvar, yukarıdan-aşağıya sistem	Çok gevşek kum-çakıl birimleri altında ayrıışmış kaya
12	UUCS-Altunizade İstasyonu	42x40	24.5	İçten destekli kazıklı sistem	Kireçtaşı, az ayrıışmış kilaşı
13	UUCS-Çekmeköy İstasyonu	124x30	35	Mini kazık, betonarme perde duvar	Orta sıkı killi siltli kum altında kireçtaşı
14	UUCS-İhlamurkuyu İstasyonu	217x26.5	25	Çok sıra ankrajlı, içten destekli kazıklı duvar, zemin çivili püskürtme beton	İleri derecede ayrıışmış arkozik kumtaşı
15	UUCS-Necip Fazıl İstasyonu	165x25	20	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Yumuşak kil tabakası altında sıkı kil-silt
16	DB-Türkış Blokları	93x52x43	30	Çok sıra ankrajı diyafram duvar	Arkozik kumtaşı dayk ardalanması
17	DB-Bostancı İstasyonu	100x30	35	İçten destekli diyafram duvar	Siltli Çakıllı kil birimler altında çok dayanımlı mavimsi gri renkli kireçtaşı
18	DB-Kozyatağı İstasyonu	120x34	16-24	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	İnce-orta taneli kumlu, orta yüksek plastisiteli kil birimler altında kireçtaşı
19	Bayrampaşı Bld.Zeminaltı Otopark	77x84 (değişken)	20	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Çok katı-sert kumlu kil ve sıkı-çok sıkı killi kum

Çizelge 4. 1 İncelenen derin kazı projelerine ait özet bilgiler (devamı)

Sıra No	Proje Adı	Kazı Alanı (en-boy, m)	Ortalama Kazı Derinliği (m)	Destekleme Sistemi	Zemin Tipi
20	Kadıköy Hasanpaşa Pazaryeri ve Zeminaltı Otopark	140x325	13	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Killi, kumlu ve taban çakıllı, bol kırıklı çatlaklı ayrılmış kumtaşı grovak
21	Merter Zeminaltı Otopark	63x51 (değişken)	10-14	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Killi kumlu birimler
22	KMM-Yeşilpınar İstasyonu	74x32	14-16	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Orta-çok ayrılmış kıltaşı – kumtaşı
23	KMM-Göztepe İstasyonu	45x40	18	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Çatlak araları kil dolgulu çok –orta ayrılmış kumtaşı silttaşı birimler
24	UUCS-Bulgurlu İstasyonu	48x44 (değişken)	28	Mini kazıklar ile ankrajlı beton perde duvar	Az ayrılmış kireçtaşı-kıltaşı arıdanması ve en altta ayrılmamış kireçtaşı-kıltaşı arıdanmalı birimler
25	UUCS-Dudulu İstasyonu	120x30 (değişken)	20	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	kum-kil-silt-çakıl arıdanmalı zemin ile gri-mavimsi orta sık eklemli kireçtaşı birimler
26	Esenler Havaalanı Mah.Zeminaltı Otopark	125x122 (değişken)	14-26	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Çakıllı kumlu katı sert kil birimlerin altında silttaşı-kumtaşı-kıltaşı birimler
27	GOP Barbaros Hayrettin Paşa Kapalı Spor Salonu	105x50	17.7	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	Az çakıllı kumlu killi birimler
28	Kadıköy Gençlik Merkezi	64x30 (değişken)	15	Öngermeli ankrajlarla destekli fore kazıklı duvar, içten destekli diyafram duvar	Çakıllı kumlu kil birimlerin altında sert kil birimleri ile daha derinde kireçtaşı birimler

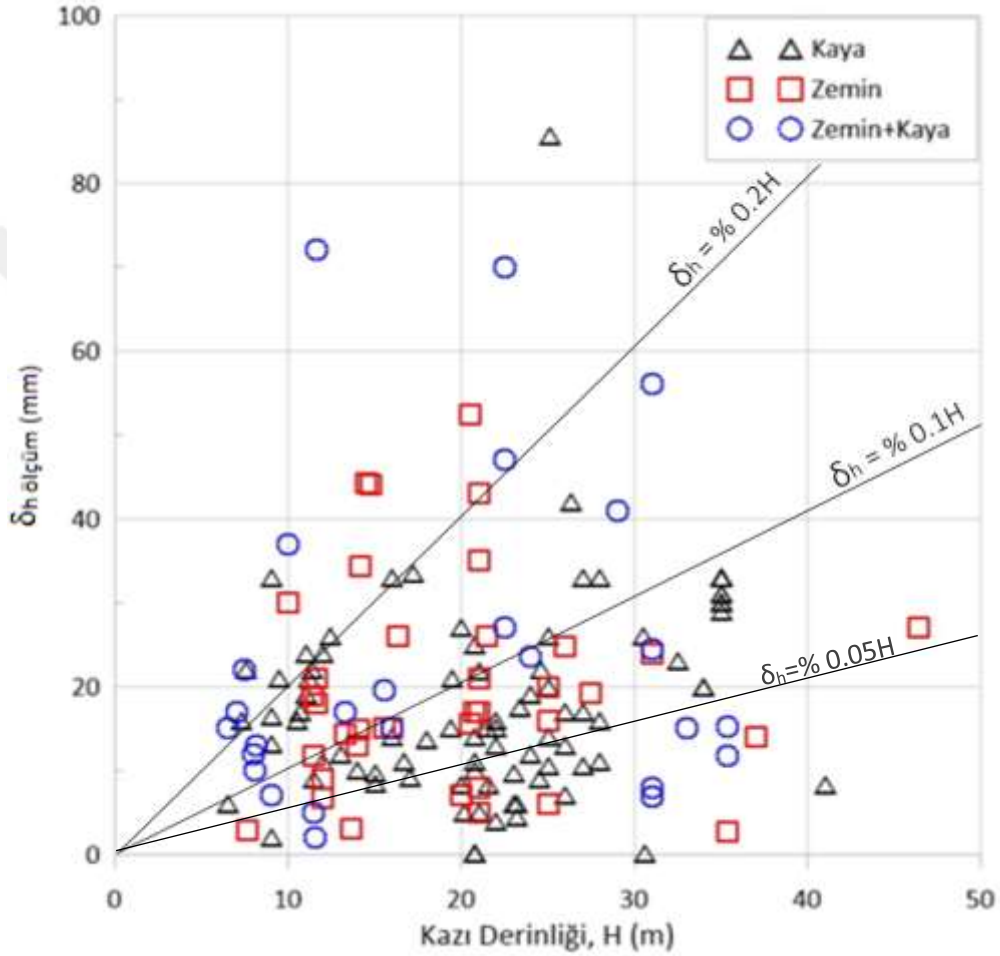
4.2. Derin Kazı Projelerinin Değerlendirilmesi

İncelenen 28 adet derin kazı projesinin gerilme ve şekil değiştirme analizi verileri ve arazi yer değiştirme ölçümleri, inşaatların yapıldığı jeolojik ortam, tabakalanma durumu ve kullanılan kazı destekleme sistemlerine göre incelenmiştir. İncelenen derin kazı inşaatları jeolojik ortamlarına göre kaya, zemin ve kaya+zemin ortamlar, tabakalanma durumlarına göre homojen ve tabakalı ortamlar, kullanılan kazı destekleme sistemlerine göre ise ankrajlı kazıklı duvarlar, içten destekli sistemler ve yukarıdan aşağıya sistemler olarak sınıflandırılmıştır. Benzer literatür çalışmalarıyla beraber derin kazı inşaatlarına ait toplam 1243 adet kazı kesitine ait duvar ve zemin hareketlerinin kazı derinliği, sistem rijitliği ve esneklik katsayısı ile ilişkileri, farklı iksa ve destek sistemi tiplerine göre incelenmiştir.

4.2.1. Jeolojik Ortamlarına Göre Yer Değiştirme Grafikleri

Kaya, Zemin ve Zemin+Kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait ölçülen yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğiyle değişimi Şekil 4.26’ da yer almaktadır. Her üç ortamda inşa edilen derin kazılarda ölçülen yatay yer değiştirme değerlerinin geniş bir aralıkta dağılım gösterdiği görülmektedir. Bazı vakalar ihmal edildiğinde kaya ortamında inşa edilen tasarımlara ait ölçülen yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğinin % 0.2’ si ve daha düşük mertebelerde olduğu görülmektedir. Zemin ve zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlardan ölçülen yatay yer değiştirme değerleri ise % 0.2H’ den daha yüksek değerler almaktadır. Kaya ortamında en yüksek yatay yer değiştirme değeri H=25 m kazı derinliğinde $\delta_h = 84$ mm olarak ölçülmüştür. Bu yer değiştirme değeri KMM metro hattının Tekstil Kent İstasyonu kazı kesitlerine aittir. Söz konusu istasyona ait derin kazının boyu 569 m, eni 35 m ile 12 m aralığında değişmektedir. Proje alanının zemin profili, kalınlığı 1.5 m ile 5.0 arasında değişen kalınlıklarda asfalt yapay dolgu altında derinliği 50 m’ yi bulan çok zayıf-zayıf dayanımlı tamamen ayrılmış kilaşı birimlerden oluşmaktadır. Söz konusu yüksek yer değiştirme değeri kazı alanının uzun açıklıklı kenarına ait kesitlerin 0-2 m derinliğindeki dolgu tabakasından ölçülmüştür. Aynı derin kazı inşaatının kısa açıklıklı kenarında yer alan kesitlerde ölçülen yer değiştirme değerlerinin düşük olması kazı geometrisinin yer değiştirmeler üzerindeki etkisini göstermektedir. Zemin ortamında inşa edilen tasarımlara ait ölçülen maksimum yatay

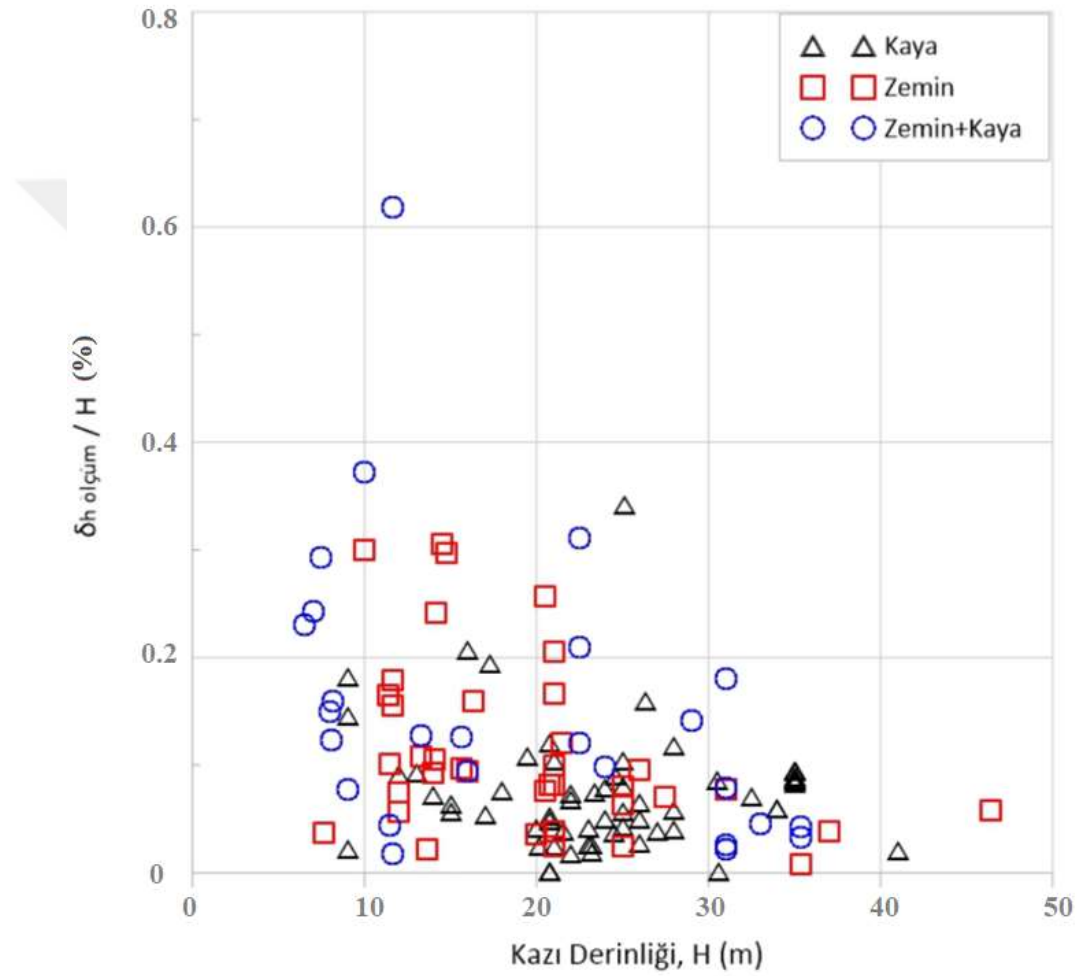
yer değiştirme değeri $H = 20.5$ m kazı derinliğinde $\delta_h = 52$ mm olarak ölçölmüştür. İncelenen tasarımlar içinde, zemin+kaya ortamlarda inşa edilen derin kazılarda en yüksek yatay yer değiştirme değeri $H = 12$ m kazı derinliğinde $\delta_h = 72$ mm olarak ölçölmüştür. Moormann [15], Clough ve O'Rourke [10] tarafından yürütölen çalışmalara benzer şekilde artan kazı derinliğiyle her üç ortamda inşa edilen tasarımlarda ölçölen yatay yer değiştirme değerleri artmaktadır.



şekil 4.26 Ölçölen yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğine bağlı değişimi

Ölçölen yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğine oranının, kazı derinliği ile değişimi şekil 4.27' de yer almaktadır. Kaya, zemin ve zemin+kaya ortamlarda inşa edilen derin kazılardan elde edilen kazı derinliği ile normalize edilmiş ortalama yatay yer değiştirme değerleri sırasıyla % 0.08, % 0.11 ve % 0.15' tir. İncelenen sistemlerden kaya ortamında inşa edilen derin kazılarda ölçölen normalize edilmiş ortalama yatay yer değiştirmelerin en düşük değerler aldığı görölmektedir. Moormann [15] rezidüel zeminlerde ve kumlarda inşa edilen derin kazılarda ölçölen maksimum yatay yer

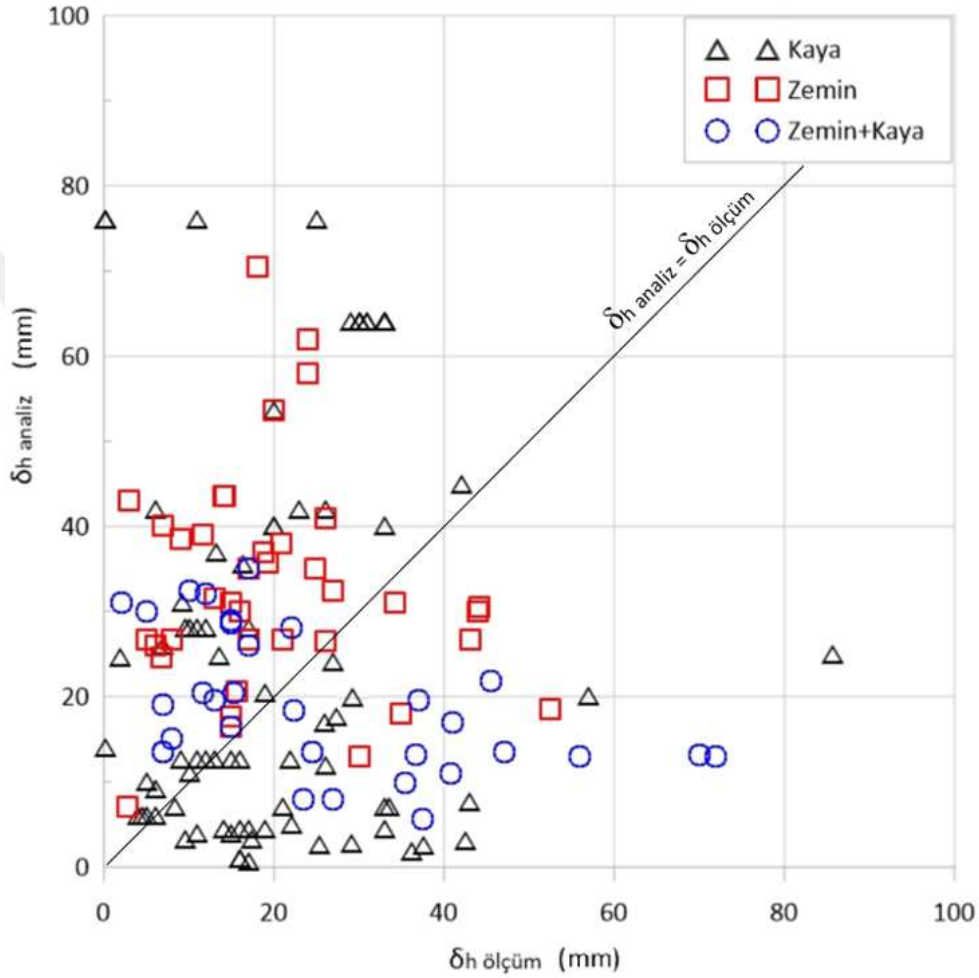
değiştirmelerin % 0.2H mertebelerinde olduğunu ifade etmiştir. İncelenen, zemin ortamında gerçekleştirilen tasarımlarda ölçülen yatay yer değiştirme değerleri Moormann [15] tarafından elde edilen yer değiştirmelerden daha dūřuktur. Her üç ortamda inřa edilen derin kazılarda, kazı derinliği arttıkça ölçülen yatay yer değiştirmeler artarken normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin azaldığı görölmektedir. Bu durum kazı derinliği artışıyla ölçülen yatay yer değiştirmelerdeki artışın aynı oranda olmadığını göstermektedir.



şekil 4.27 Ölçülen yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğine oranı ile kazı derinliği arasındaki ilişki

şekil 4.28' de ölçülen maksimum yatay yer değiştirme değerlerinin analizlerden elde edilen maksimum yatay yer değiştirme değerleriyle değişimi yer almaktadır. Her üç ortamda inşa edilen derin kazılarda, ölçülen ve analizlerden elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu sınırlı sayıda tasarım mevcuttur. Bu durumu sağlayan tasarımların inşa edildiği ortamların mühendislik özelliklerinin iyi tanımlandığı

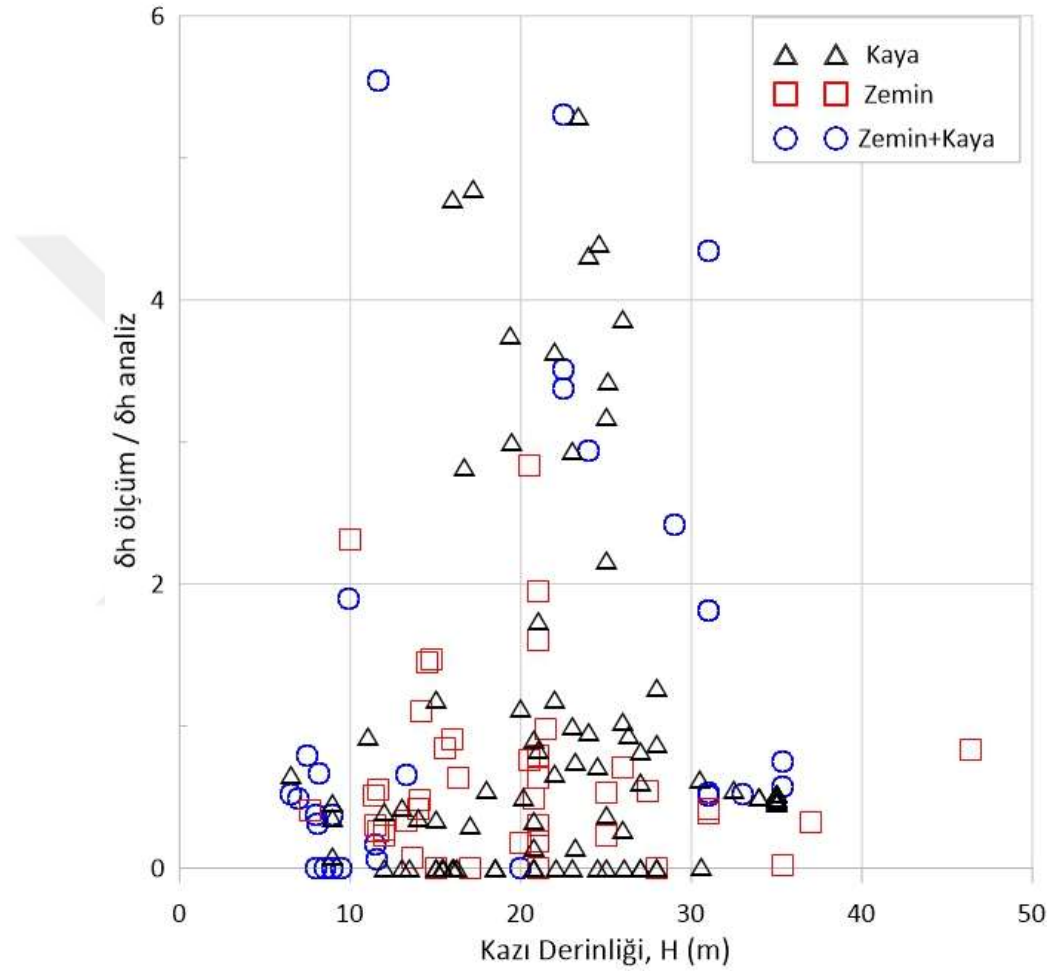
anlaşılmaktadır. İncelenen derin kazıların önemli bir kısmında analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmeler, ölçülen yatay yer değiştirmelerden daha yüksektir. Bu tasarımlarda kullanılan parametrelerin güvenli tarafta kalınarak seçildiği anlaşılmaktadır. Kaya, zemin ve zemin+kaya ortamlarda inşa edilen derin kazılarda ölçülen yatay yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelere oranı ($\delta_h \text{ ölçüm} / \delta_h \text{ analiz}$) sırasıyla 1.2, 0.7 ve 1.3' tür.



Şekil 4.28 Ölçülen maksimum yatay yer değiştirmeler ile analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmeler arasındaki ilişki

Şekil 4.29' da ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine oranı ile kazı derinliğinin değişimi incelenmiştir. Her üç ortamda gerçekleştirilen tasarımlardan ölçülen yer değiştirme değerlerinin analizlerden elde edilen yer değiştirmelere oranı geniş bir aralıkta dağılım göstermektedir. Artan kazı derinliğiyle $\delta_h \text{ ölçüm} / \delta_h \text{ analiz}$ oranında kaya ve zemin ortamlarda inşa edilen tasarımlarda azalma,

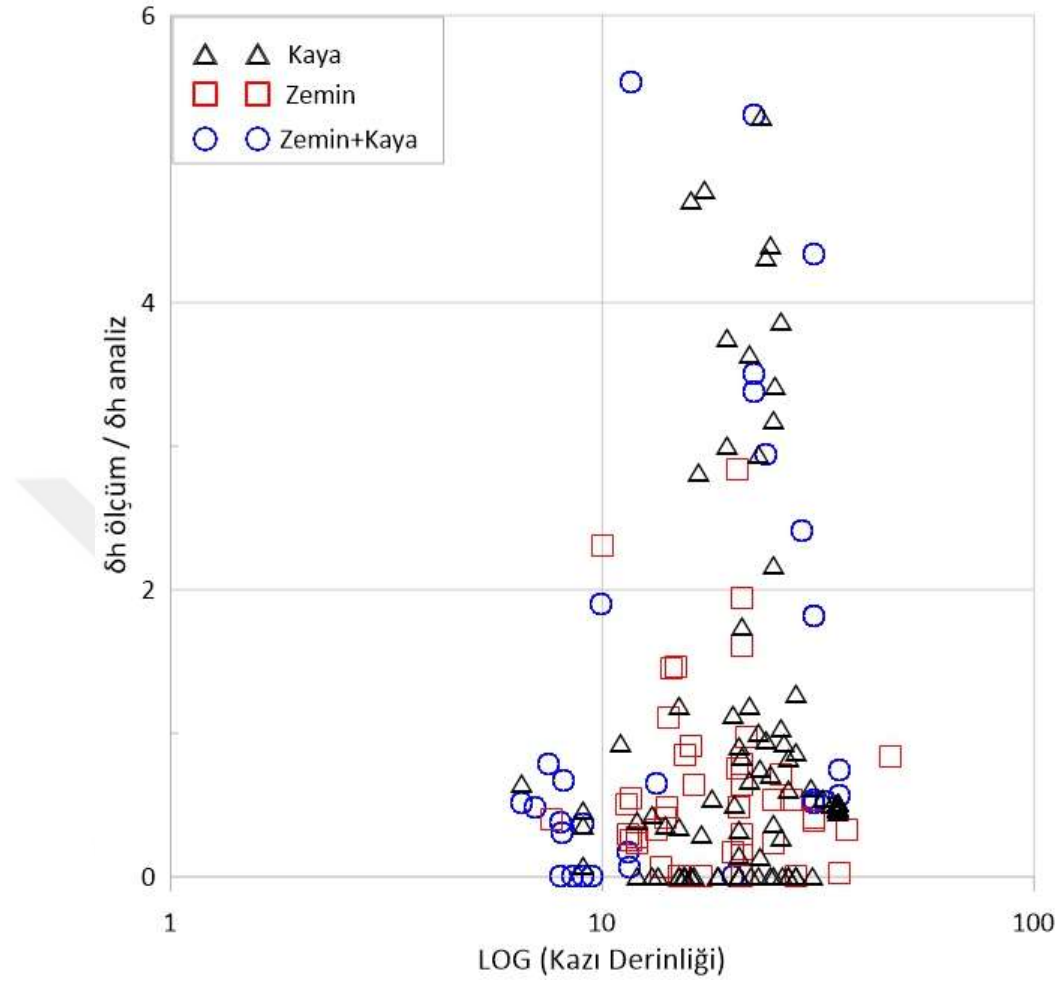
zemin+kaya ortamında inşa edilen tasarımlarda ise artış gözlenmektedir. Kazı derinliği arttıkça zemin ve kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait ölçülen ve analiz edilen yatay yer değiştirmeler birbirine yakın değerler almaktadır. İncelenen sistemler arasında ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelerin birbirine eşit ya da çok yakın olduğu sınırlı sayıda tasarım mevcuttur. Bu tasarımlar yatay yer değiştirmeler açısından başarılı tasarımlar olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 4.29 Ölçülen yatay yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelere oranıyla kazı derinliği arasındaki ilişki

Şekil 4.30' da ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine oranının kazı derinliğinin logaritması ile değişimi incelenmiştir. Kazı derinliği arttıkça ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmeler kaya ve zemin ortamlarda inşa edilen tasarımlarda birbirine yaklaşıırken, zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ise ölçülen ve analizlerden elde edilen yer değiştirme değerleri arasındaki fark artmaktadır. Her üç ortamda inşa edilen tasarımlardan ölçülen ve sayısal

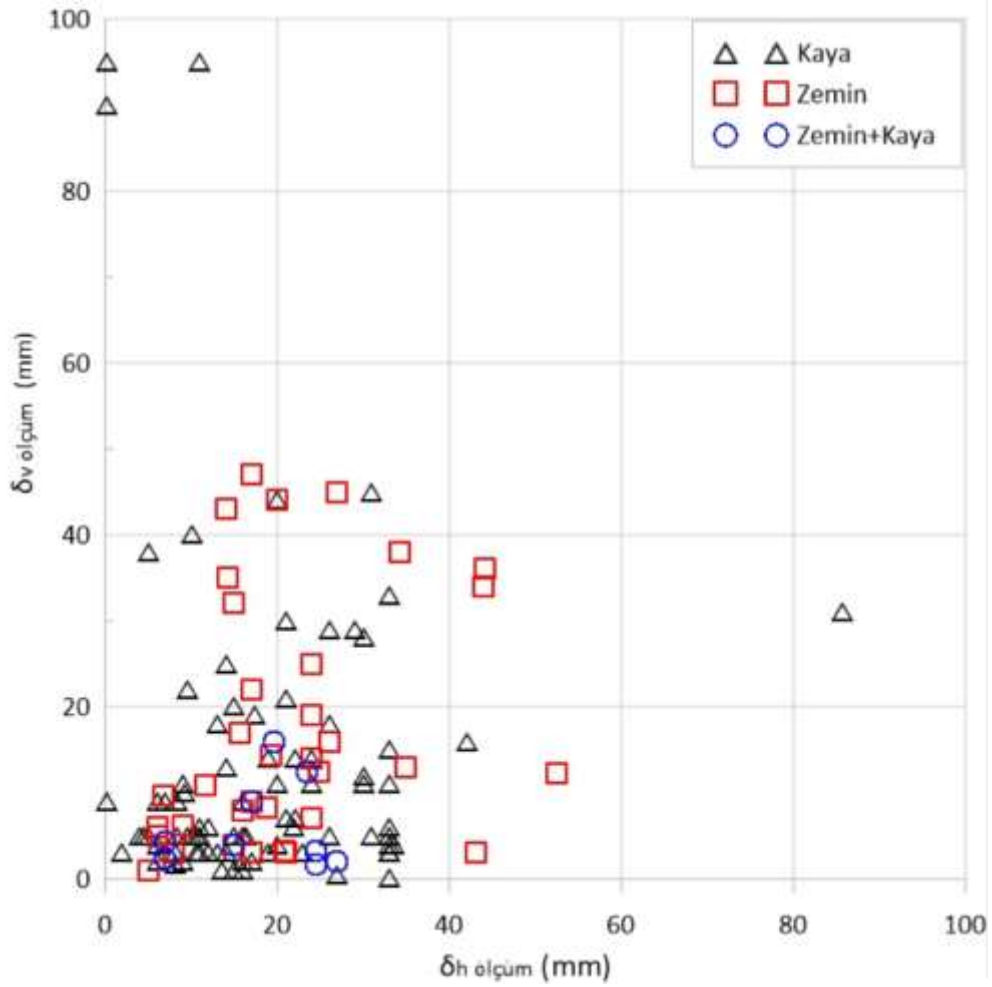
analizlerden elde edilen yer değiştirme değerlerinin birbirine yakın olduğu tasarım sayısı ise sınırlıdır.



şekil 4.30 Ölçülen yatay yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelere oranıyla kazı derinliğinin logaritması arasındaki ilişki

İncelenen vakalara ait ölçülen düşey yer değiştirme değerleri ile ölçülen yatay yer değiştirme değerleri arasındaki değişim şekil 4.31’ de gösterilmiştir. Peck [3] tarafından incelenen derin kazılarda, δ_h/δ_v oranının 1’e eşit olduğu ifade edilmiştir. Goldberg [5] ise yürüttüğü çalışmada, incelediği bazı tasarımlarda δ_h/δ_v oranının 2 değerine kadar çıktığına dikkat çekmiştir. Hsieh ve Ou [8] incelediği derin kazılardan elde ettiği bulgulara dayanarak $\delta_{v\max} = 0.50-0.75\delta_{h\max}$ olması gerektiğini, yumuşak killerde inşa edilen derin kazılarda ise bu oranın daha yüksek değerler alabileceğini belirtmiştir. Moormann [15] ise, derin kazılarda ölçülen $\delta_{v\max}/\delta_{h\max}$ oranının 0.5 ile 1.5 arasında değiştiğini, yumuşak killerde bu oranın daha yüksek değerler alabildiğini ifade etmiştir. İncelenen sistemler

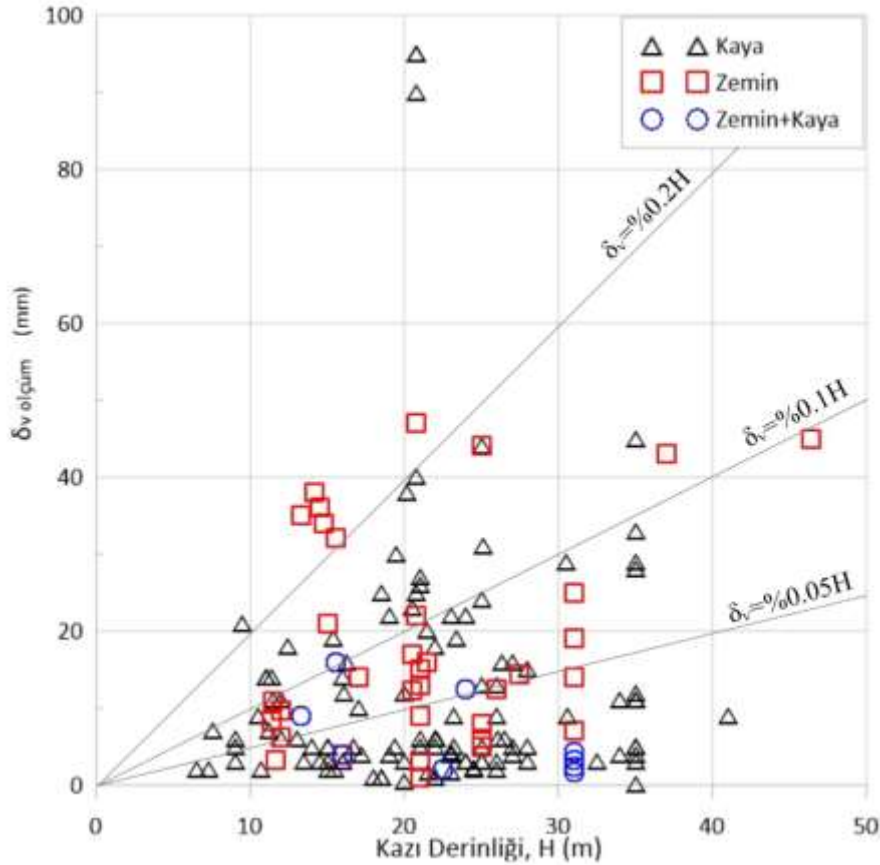
içinde ortalama δ_v ölçüm/ δ_h ölçüm oranı kaya, zemin ve zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda sırasıyla 1.00, 0.70 ve 0.40 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.31 Ölçülen düşey yer değiştirmeler ile ölçülen yatay yer değiştirmeler arasındaki ilişkisi

Ölçülen düşey yer değiştirme değerleri ile kazı derinliği arasındaki ilişki Şekil 4.32’ de verilmiştir. Kaya ve zemin ortamlarda inşa edilen tasarımlarda artan kazı derinliği ile ölçülen yüzey oturmalarında artış, zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ise azalma gözlenmektedir. Zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ölçülen ortalama zemin yüzeyi oturması değerinin kaya ve zemin ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ölçülen değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir. Kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ölçülen maksimum zemin yüzeyi oturması H=20.5 m kazı derinliğinde $\delta_v = 97$ mm değerlerine ulaşmaktadır. Wang vd. [20], kazı derinliğinin fazla olduğu bazı tasarımlarda ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının düşük değerler almasını, kazı yatay açıklığının kısa olması, destek elemanlarının hızlı yerleştirilmesi ve kazı

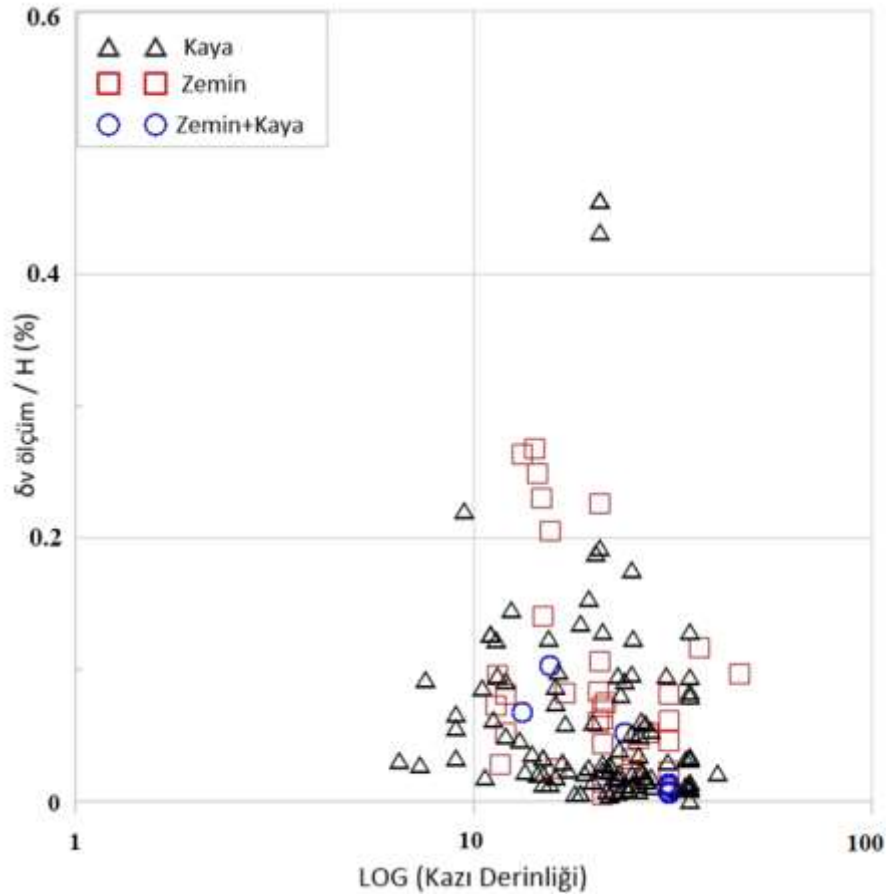
destekleme sisteminin rijitliği gibi faktörlerle açıklamaktadır. Hsieh ve Ou [12] ise zemin yüzeyi oturmasının büyüklüğü ve dağılımının, zemin koşulları, yeraltı suyu, işçilik kalitesi, kazı derinliği, kazı geometrisi, kazı aşamaları ve destek tipleri gibi faktörlerden kaynaklandığını ifade etmiştir. İncelenen derin kazılar arasında yüzey oturmalarının yüksek değerler aldığı kesitlerde su seviyesinde ani değişimler gözlenmiştir.



Şekil 4.32 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin kazı derinliğiyle ilişkisi

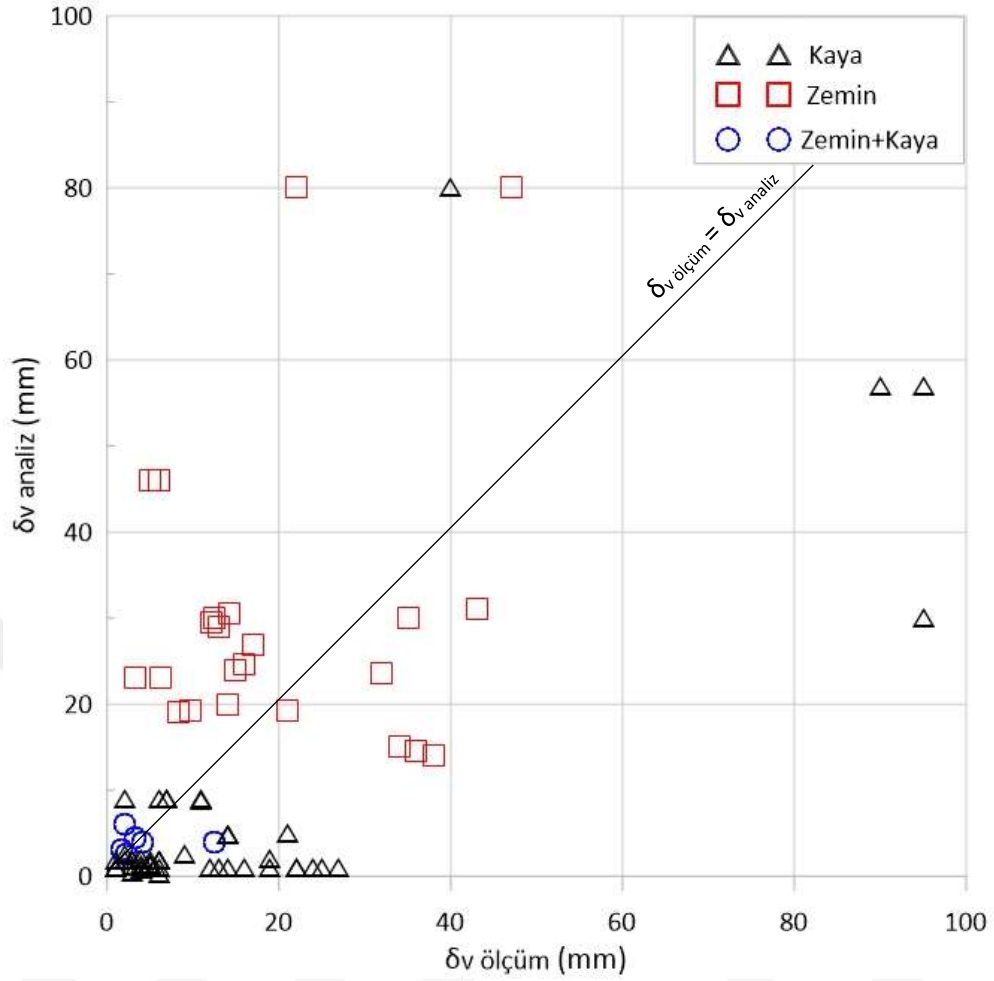
Şekil 4.33' te kazı derinliğiyle normalize edilmiş düşey yer değiştirmeler ile kazı derinliği arasındaki ilişki gösterilmiştir. Goldberg [5], incelediği kum, çakıl ve katı kil ortamlarda inşa edilen derin kazılarda ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının % 0.5H' den daha düşük değerler aldığını belirtmiştir. İncelenen yerel kazı örnekleri ile literatür çalışmalarından elde edilen oturma değerleri Peck [3] tarafından elde edilmiş yüzey oturması değerlerinden düşüktür. Hsieh ve Ou [12], Peck [3] tarafından yürütülen çalışmalarda palplanş perdeler ile göğüslemeli tekil kirişli sistemlerin incelendiğine işaret etmiş, günümüzde inşaat teknolojisinde ise önemli gelişmeler yaşandığının altını çizmiştir. Bu nedenle güncel çalışmalardan elde edilen yüzey oturması değerlerinin Peck [3] tarafından sunulan değerlerden daha düşük olduğunu belirtmiştir. İncelenen her üç

ortamda inşa edilen tasarımlara ait normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmalarının artan kazı derinliğiyle azaldığı görülmektedir. Zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmaları genel olarak kaya ve zemin ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait ölçülen normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmalarından daha düşük değerler almıştır. İncelenen kaya, zemin ve zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait ortalama δ_v / H değerleri sırasıyla % 0.07, % 0.09 ve % 0.04' tür.



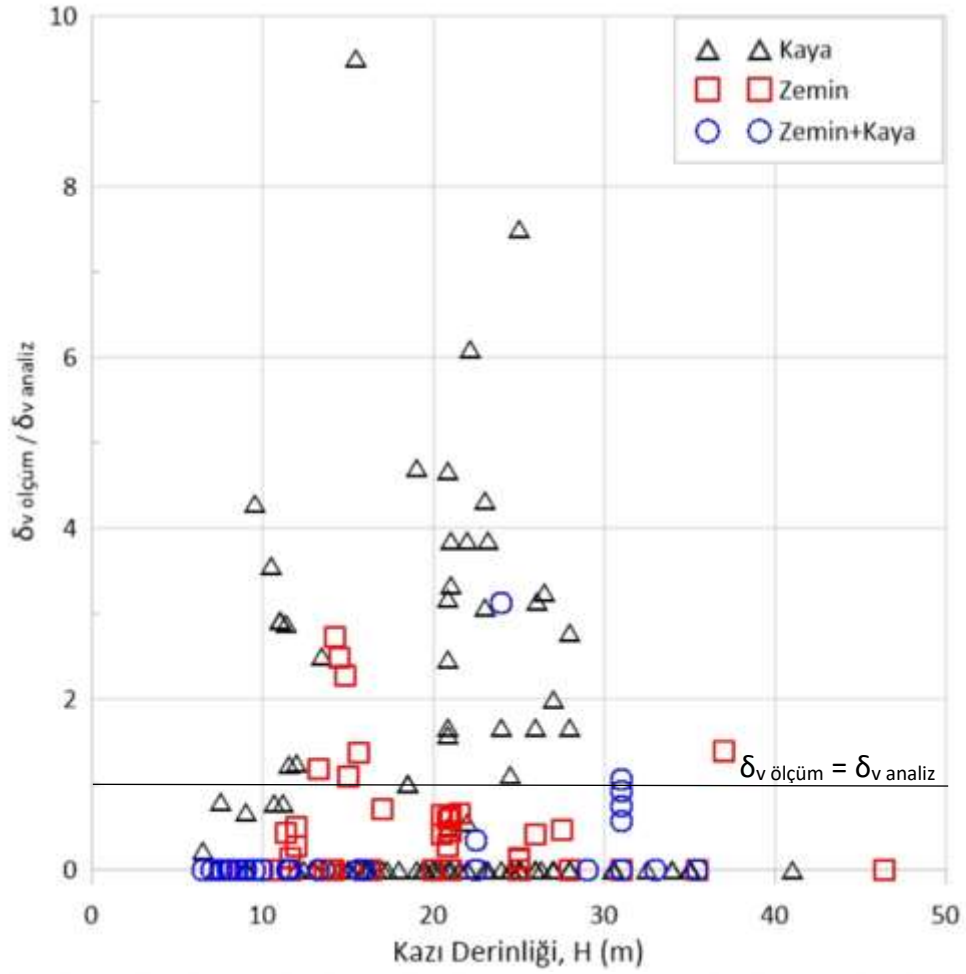
Şekil 4.33 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin kazı derinliğine oranı ile kazı derinliği arasındaki ilişki

Ölçülen ve analizlerden elde edilen maksimum düşey yer değiştirme değerleri ile kazı derinliği arasındaki ilişki Şekil 4.34' te verilmiştir. Kaya ve zemin+kaya ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlara ait ölçülen ve analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelerin çok düşük değerler aldığı tasarımlar yoğunluktadır. Zemin ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ise ölçülen ve analizlerden elde edilen yer değiştirme değerleri daha yüksek mertebelerdedir. Ölçülen ve analizlerden elde edilen yer değiştirme değerlerinin birbirine yakın ya da eşit olduğu tasarımlarda kullanılan parametrelerin arazi koşullarını başarılı temsil ettiği anlaşılmaktadır.



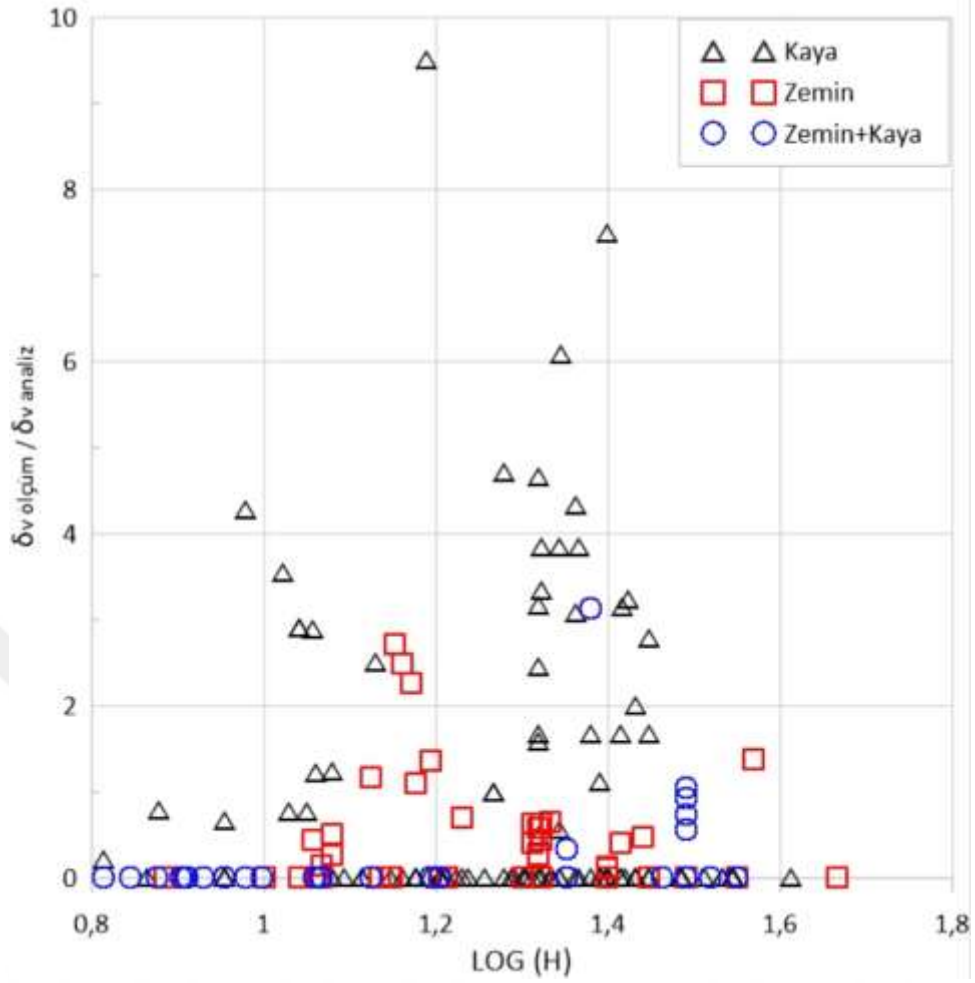
Şekil 4.34 Ölçülen düşey yer değiştirmeler ile analizlerden elde edilen düşey yerdeğiştirmeler arasındaki ilişki

Şekil 4.35' te ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme değerlerine oranının kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. Kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait $\delta_v \text{ ölçüm} / \delta_v \text{ analiz}$ oranının zemin+kaya ve zemin ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlara ait $\delta_v \text{ ölçüm} / \delta_v \text{ analiz}$ oranından daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda artan kazı derinliğiyle $\delta_v \text{ ölçüm} / \delta_v \text{ analiz}$ oranının arttığı, zemin ve zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ise bu oranın azaldığı gözlenmektedir. Kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ölçülen değerlerin analizlerden elde edilen değerlerden yüksek olduğu tasarımlarda tasarım parametrelerinin arazi koşullarını temsil yeteneğinin zayıf olduğu anlaşılmaktadır.



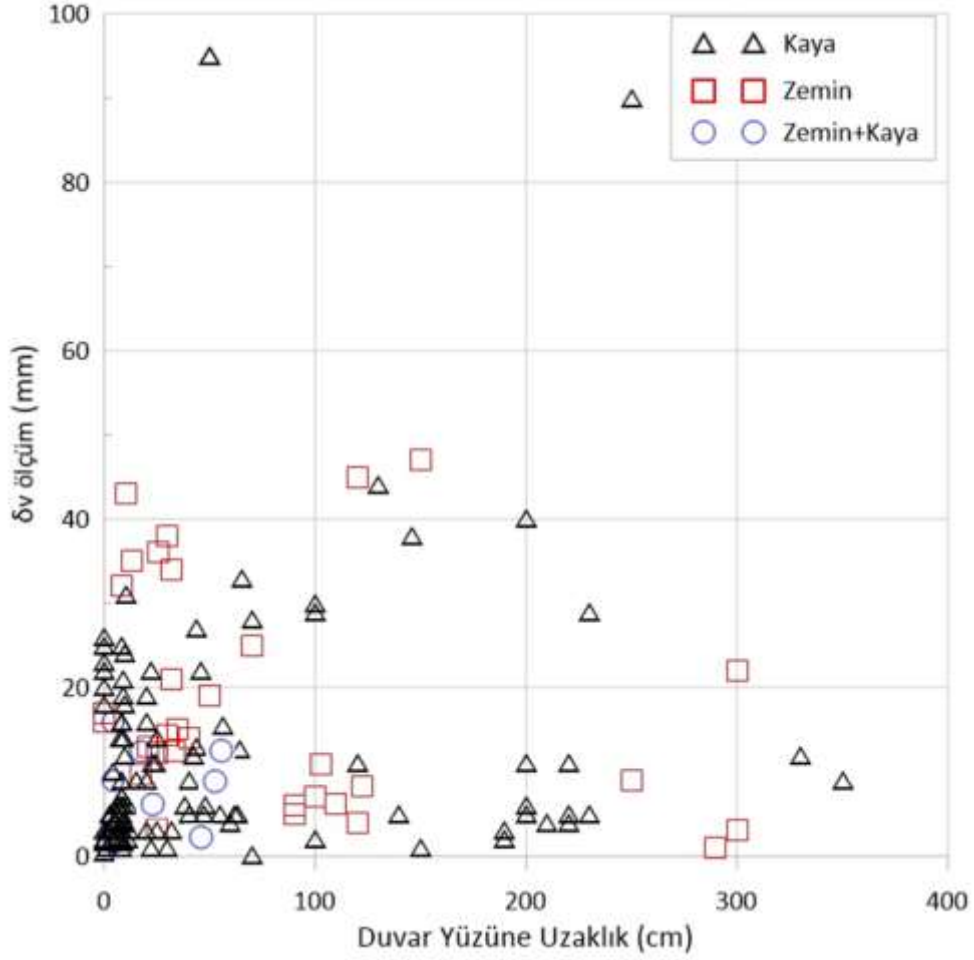
Şekil 4.35 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelere oranının kazı derinliğiyle değişimi

Ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme değerlerine oranı ile kazı derinliğinin logaritmik eksenindeki değişimi Şekil 4.36' da gösterilmektedir. Kaya ortamında inşa edilen tasarımlarda ölçülen zemin yüzeyi oturması değerlerinin analizlerden elde edilen yüzey oturması değerlerinden yüksek olduğu önemli sayıda tasarım mevcuttur. Zemin ve zemin+kaya ortamlarda inşa edilen önemli sayıda tasarımda ise δ_v ölçüm/ δ_v analiz oranının çok düşük değerler aldığı görülmektedir. İncelenen derin kazılara ait ölçülen ve analizlerden elde edilen yüzey oturmaları arasında oluşan büyük farklar tasarım yaklaşımı ve saha ölçüm tekniklerine bağlanmaktadır.



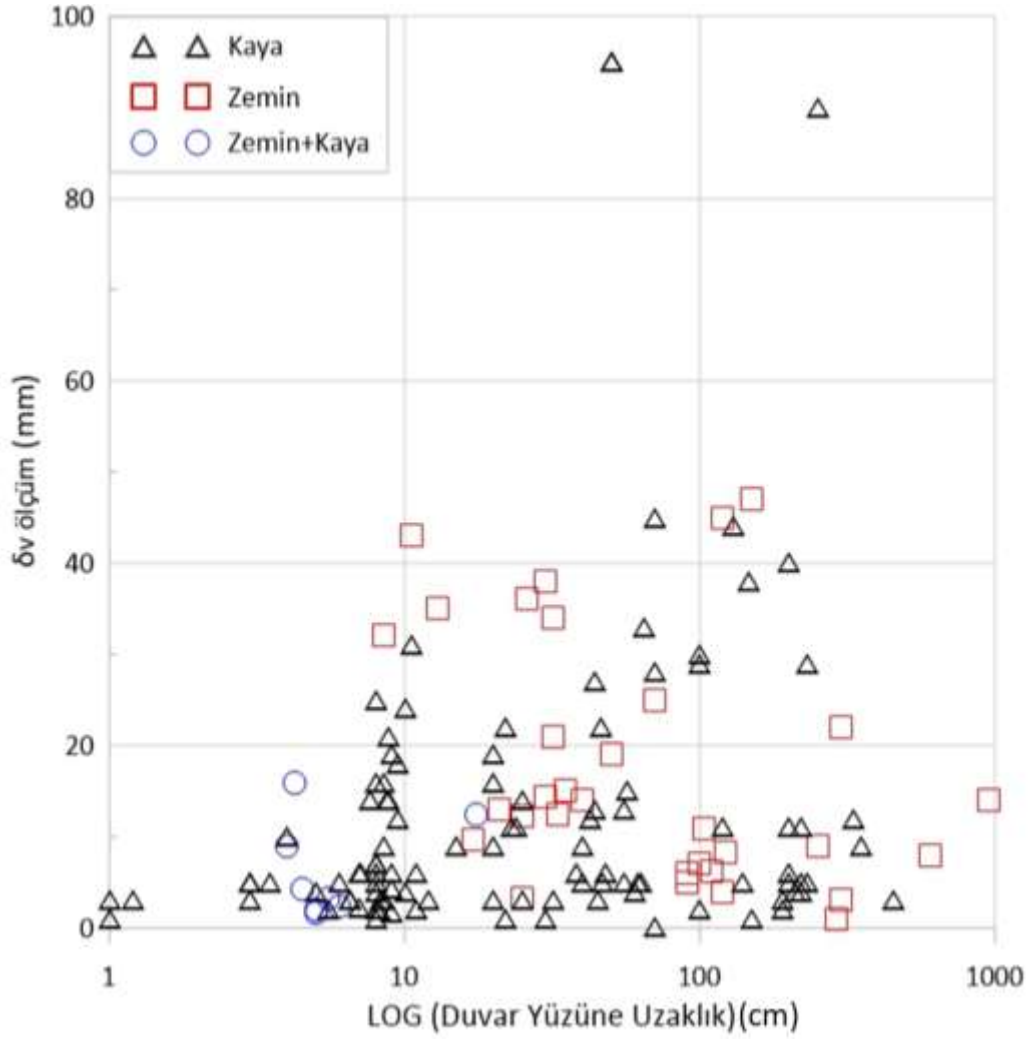
Şekil 4.36 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen maksimum düşey yer değiştirmeye oranının kazı derinliğinin logaritmasıyla değişimi

Şekil 4.37' de ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin duvar yüzüne olan mesafeyle değişimi yer almaktadır. Clough ve O'Rourke [10] tarafından yapılan çalışmada kum ve katı kil ortamlarda inşa edilen derin kazılarda maksimum zemin yüzeyi oturmalarının duvar yüzüne çok yakın bölgelerde olduğu ifade edilmiştir. Ou vd. [11] ise duvar arkasında oluşan zemin yüzeyi oturmalarının uniform dağılmadığını ve kazı derinliği ile arttığını belirtmiştir. İncelenen derin kazılardan her üç ortamda gerçekleştirilen tasarımlarda duvar yüzeyine çok yakın mesafelerde düşey yer değiştirmelerin ölçüldüğü görülmektedir. Kaya ve zemin ortamlarda inşa edilen tasarımlarda duvar yüzünden uzaklaştıkça düşey yer değiştirme değerlerinin azalma eğiliminde olduğu, zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ise bu değerlerin değişmediği görülmektedir.



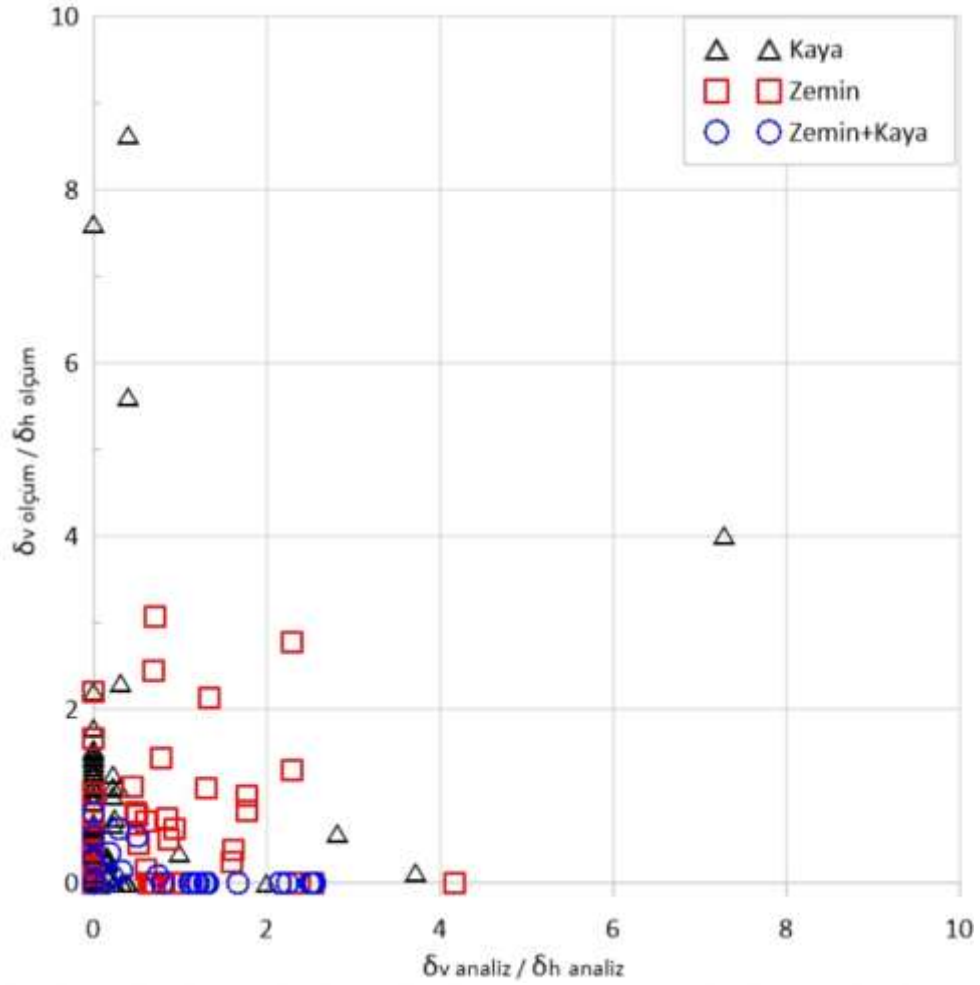
Şekil 4.37 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin duvar yüzüne olan mesafeyle değişimi

Şekil 4.38’ de ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin duvar yüzüne olan mesafenin logaritmasıyla değişimi yer almaktadır. Kaya ve zemin ortamlarda inşa edilen tasarımlarda duvar yüzünden sırasıyla 3 m ve 3.5 m mesafelere kadar zemin yüzeyi oturmalarının ölçüldüğü görülmektedir. Duvar yüzüne yakın mesafelerde ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının Ou vd. [11] tarafından tanımlanmış, görünen etki alanı (Apparent Influence range=AIR) sınırları içinde kaldığı görülmektedir. Duvar yüzünden uzaklaştıkça kaya ve zemin ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ölçülen oturma değerleri azalma eğilimindeyken zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ise önemli bir değişikliğe rastlanmamaktadır.



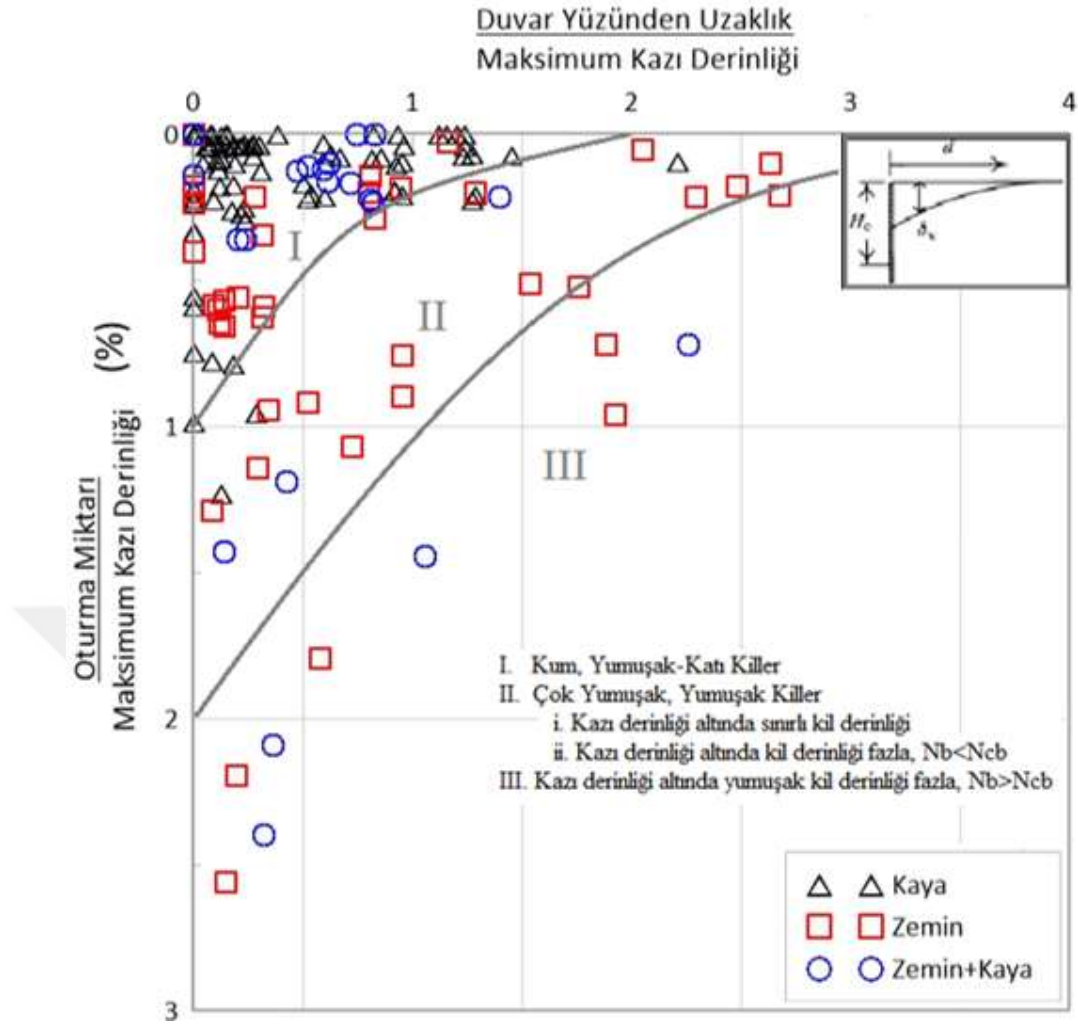
Şekil 4.38 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin duvar yüzüne olan mesafenin logaritmasıyla değişimi

Şekil 4.39' da ölçülen düşey ve yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine oranının, analizlerden elde edilen düşey ve yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine oranıyla değişimi gösterilmektedir. Bazı veriler ihmal edildiğinde, zemin ortamında gerçekleştirilen tasarımlara ait δ_v ölçüm/ δ_h ölçüm oranının en yüksek değerler aldığı görülmektedir. Peck [3] tarafından yapılan çalışma ile incelenen tasarımlara ait δ_v/δ_h oranının 1 olması gerektiği belirtilmiştir. İncelenen sistemler içinde ortalama δ_v ölçüm/ δ_h ölçüm oranı Kaya, zemin ve zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda sırasıyla 1.00, 0.70 ve 0.40 olarak hesaplanmıştır. Kaya ortamında inşa edilen tasarımlarda hesaplanan δ_v ölçüm/ δ_h ölçüm oranı Peck [3] ile uyumlu, zemin ve zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda hesaplanan δ_v ölçüm/ δ_h ölçüm oranları ise daha düşük değerler almaktadır.



Şekil 4.39 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin yatay yer değiştirmelere oranı ile analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelerin yatay yer değiştirmelere oranı arasındaki ilişki

Şekil 4.40' ta incelenen kesitlerden ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının duvar yüzüne olan mesafeyle değişimi Peck [3] tarafından oluşturulan oturma diyagramı formunda gösterilmektedir. Kaya ortamlarda ölçülen yüzey oturması değerlerinin I. bölgede yoğunlaştığı, zemin ve zemin+kaya ortamında gerçekleştirilen tasarımlara ait oturma değerlerinin II. ve III. bölgelerde de dağılım gösterdiği görülmektedir. Her üç ortamda inşa edilen tasarımlarda % 1 ' in altında zemin yüzeyi oturmalarının ölçüldüğü çok sayıda tasarımın olduğu görülmektedir. Zemin ve kaya ortamında yapılan bazı tasarımlarda ise duvar yüzünden uzaklaştıkça maksimum kazı derinliğinin % 2' sinden yüksek zemin yüzeyi oturmalarının ölçüldüğü görülmektedir.



Şekil 4.40 İncelenen kesitlere ait oturma verilerinin Peck (1969) oturma diyagramında gösterimi

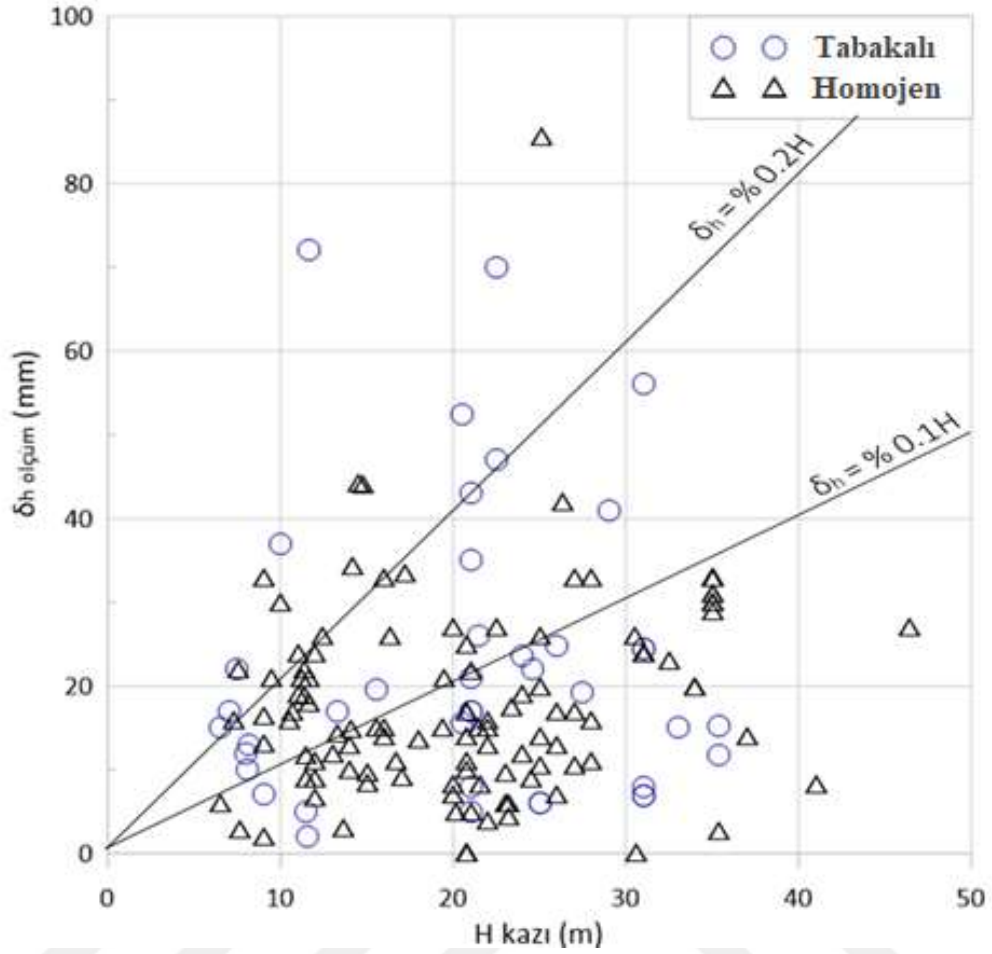
Bu bölümde incelenen tasarımlara ait ortalama yer değiştirme değerleri özet olarak Çizelge 4.2' de yer almaktadır. Ölçülen ortalama yer değiştirme değerleri zemin+kaya ortamlarda inşa edilen derin kazılarda en yüksek değerler almıştır. Bu ortamlarda inşa edilen tasarımların saha ölçümlerinden ve sayısal analizlerinden elde edilen yatay yer değiştirme değerleri birbirine çok yakındır. Zemin ortamında inşa edilen tasarımlarda ölçülen ve analizlerden elde edilen yer değiştirme değerleri arasındaki fark en yüksektir. Zemin+kaya ortamlarda inşa edilen zemin yüzeyi oturmaları en düşük değerler almıştır. Buna karşılık bu ortamlarda inşa edilen tasarımların sayısal analizlerinden elde edilen zemin yüzeyi oturması değerleri ile ölçülen oturma değerleri arasındaki fark yüksektir. Kazı derinliğiyle normalize edilmiş yatay yer değiştirme değerleri kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda en düşük değerler almıştır. Kazı derinliğiyle normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmaları ise zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda en düşüktür.

Çizelge 4. 2 İncelenen derin kazı projelerine ait ortalama yer değıştirme verileri

	δ_h ölçüm (mm)	δ_h analiz (mm)	δ_v ölçüm (mm)	δ_v analiz (mm)	δ_h/H (%)	δ_v/H (%)
Kaya	18	24	12,9	8	0,08	0,07
Zemin	19,4	32,2	16,6	32,6	0,11	0,09
Zemin+Kaya	23,2	23	6,40	24,20	0,15	0,04

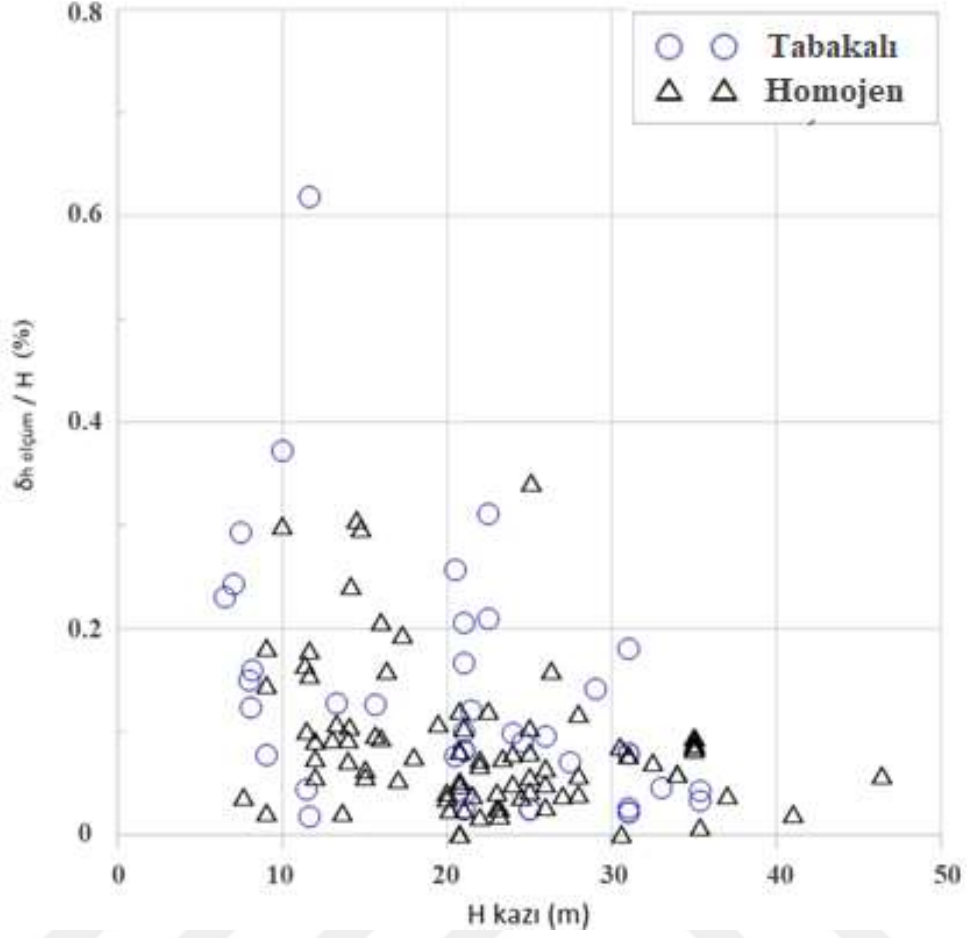
4.2.2. Jeolojik Tabakalanma Durumuna Göre Yer Değıştirme Grafikleri

Masif kaya blokları ile farklı ayrışma dereceli kumtaşı ve kilaşı birimlerin oluşturduğu kazı derinliği boyunca kesilen Trakya formasyonu birimler **‘Homojen Zemin’** olarak değerlendirilirken, ardalımalı kaya-zemin formasyonları ile aşırı konsolide kil birimlerinden oluşan Gürpınar formasyonu, çakıllı siltli kum birimlerinden oluşan Çukurçeşme formasyonu, organik kil birimlerinden oluşan Güngören formasyonu, marn ve kireçtaşlarından oluşan Bakırköy formasyonu ve çakıllı kumlu killerden oluşan Samandıra formasyonlarının ardalımalı birimleri ise **‘Tabakalı Zemin’** olarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.41’ de, homojen ve tabakalı ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlara ait ölçülen yatay yer değıştirme değęlerinin kazı derinliğiyle değışimi gösterilmektedir. Her iki ortamda gerçekleştirilen tasarımlara ait yer değıştirme değęleri geniş bir aralıkta dağılım göstermiştir. Bazı vakalar ihmal edildiğinde, tabakalı ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlara ait ölçülen maksimum yatay yer değıştirme değęlerinin homojen ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlardan ölçülen maksimum yatay yer değıştirmelerden daha yüksek değęlere ulaştığı görölmektedir. Moormann [15] ile uyumlu olarak artan kazı derinliğiyle homojen ortamda gerçekleştirilen tasarımlarda ölçülen yatay yer değıştirme değęleri artmaktadır. Tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ise artan kazı derinliğiyle ölçülen yatay yer değıştirmelerde herhangi bir değışim gözlenmemektedir.



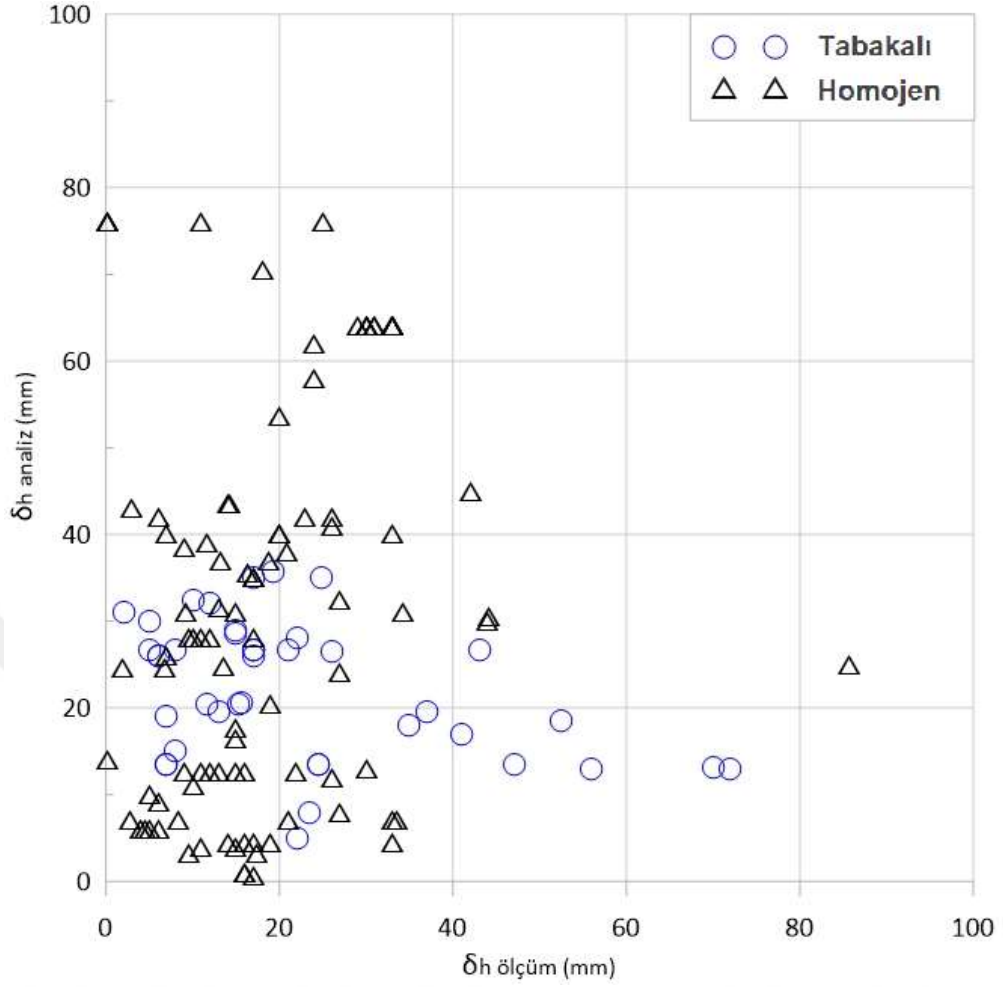
Şekil 4.41 Ölçülen yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğine bağlı değişimi

Homojen ve tabakalı ortamlarda inşa edilen derin kazılara ait kazı derinliğiyle normalize edilmiş yatay yer değiştirme değerlerinin, kazı derinliği ile değişimi Şekil 4.42’ de yer almaktadır. Her iki ortamda inşa edilen tasarımlara ait normalize edilmiş yer değiştirme değerleri geniş bir aralıkta dağılım göstermiştir. Homojen ve tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ölçülen normalize edilmiş ortalama yatay yer değiştirme değerleri sırasıyla kazı derinliğinin % 0.09 ve % 0.13’ ü olarak hesaplanmıştır. Tabakalı ortamlarda hesaplanan normalize edilmiş ortalama yatay yer değiştirme değerleri, homojen ortamlarda hesaplanan değerlerin iki katına yakındır. Her iki ortamda inşa edilen derin kazılarda, artan kazı derinliğiyle normalize edilmiş yatay yer değiştirme değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Kazı derinliği fazla olmasına rağmen ölçülen yatay yer değiştirmelerin düşük olduğu tasarımlar, kazı derinliği fazla olan tasarımlarda inşaat ve ölçüm çalışmalarına daha fazla önem gösterilmesiyle açıklanmaktadır [14].



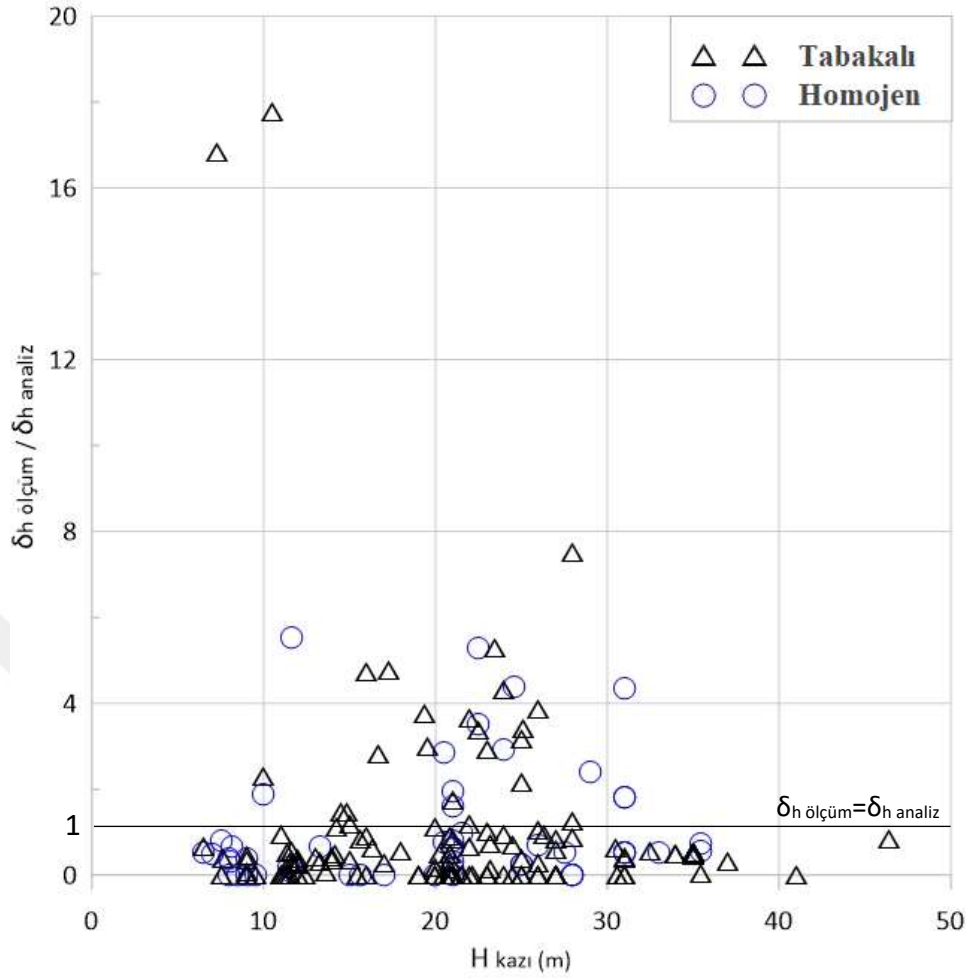
Şekil 4.42 Ölçülen yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğine oranı ile kazı derinliği arasındaki ilişki

Şekil 4.43' te ölçülen yatay yer değiştirme değerlerinin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirme değerleriyle değişimi görülmektedir. Homojen ortamlarda gerçekleştirilen tasarımların önemli bir kısmında, ölçülen yatay yer değiştirme değerlerinin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinden küçük olduğu görülmektedir. Tabakalı ortamlarda gerçekleştirilen tasarımların ise yaklaşık yarısında ölçülen yatay yer değiştirme değerlerinin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum tasarımlarda kullanılan parametrelerin arazi koşullarını iyi yansıtamamasına bağlanmaktadır. Analizlerden elde edilen yer değiştirme değerlerinin ölçülen yer değiştirmelerden daha yüksek olduğu tasarımlarda ise tasarım parametrelerinin muhafazakar alanda kalınmak suretiyle seçildiği anlaşılmaktadır.



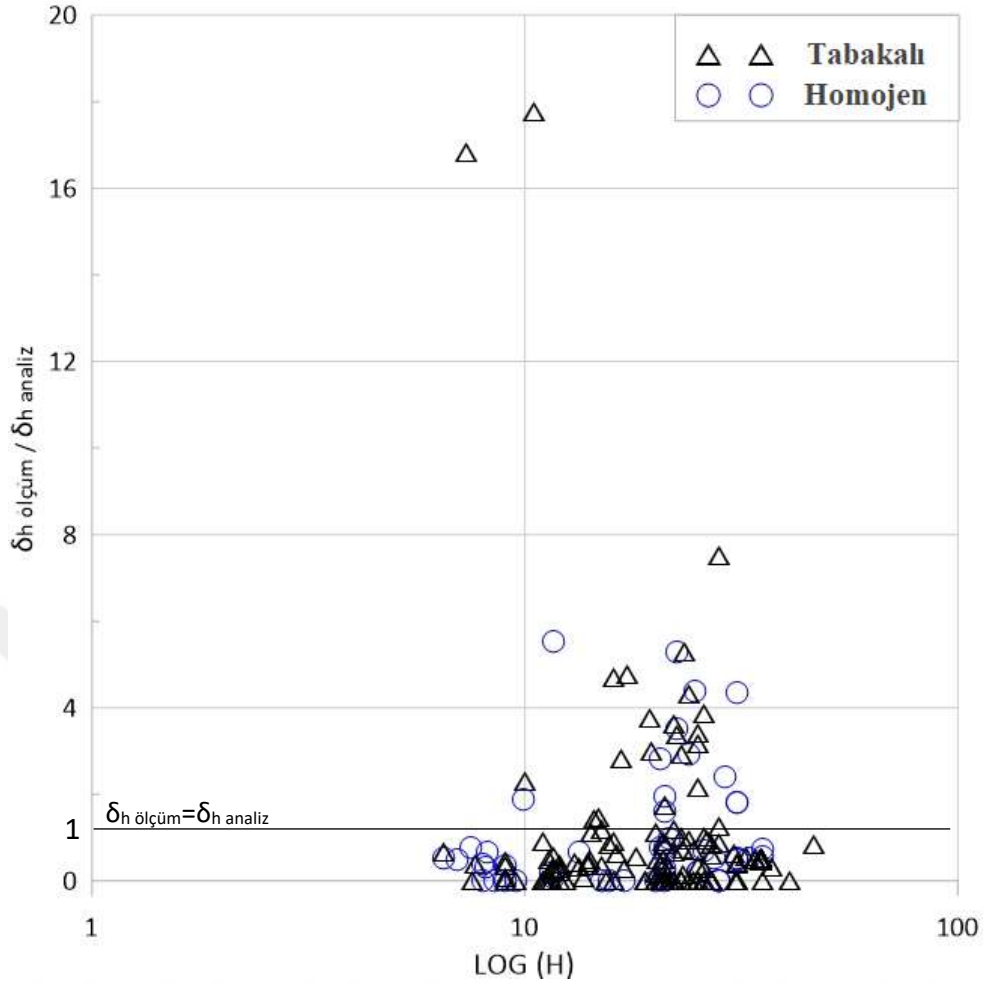
Şekil 4.43 Ölçülen yatay yer değiştirmeler ile analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmeler arasındaki ilişki

Şekil 4.44' te ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine oranının kazı derinliği ile değişimi incelenmiştir. Tabakalı ve homojen ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ortalama δ_h ölçüm/ δ_h analiz oranları birbirine yakın değerler almakta olup sırasıyla 1.6 ve 1.4 olarak hesaplanmıştır. Her iki ortamda inşa edilen tasarımlarda artan kazı derinliğiyle δ_h ölçüm/ δ_h analiz oranı azalmaktadır. Her iki ortamda inşa edilen tasarımlara ait δ_h ölçüm/ δ_h analiz oranının birbirine çok yakın değerler aldığı ya da eşit olduğu tasarımlar mevcuttur. Bu tasarımlar için saha koşullarının sayısal analizlere iyi yansıtıldığı, başarılı laboratuvar testleri ile zemin mühendislik özelliklerinin iyi belirlendiği söylenebilir. Ölçülen ve analizlerden elde edilen yer değiştirme değerlerinin birbirine yakın olmadığı tasarımlarda kullanılan zemin parametrelerinin arazi koşullarını yeterli doğrulukta yansıtamadığı anlaşılmaktadır.



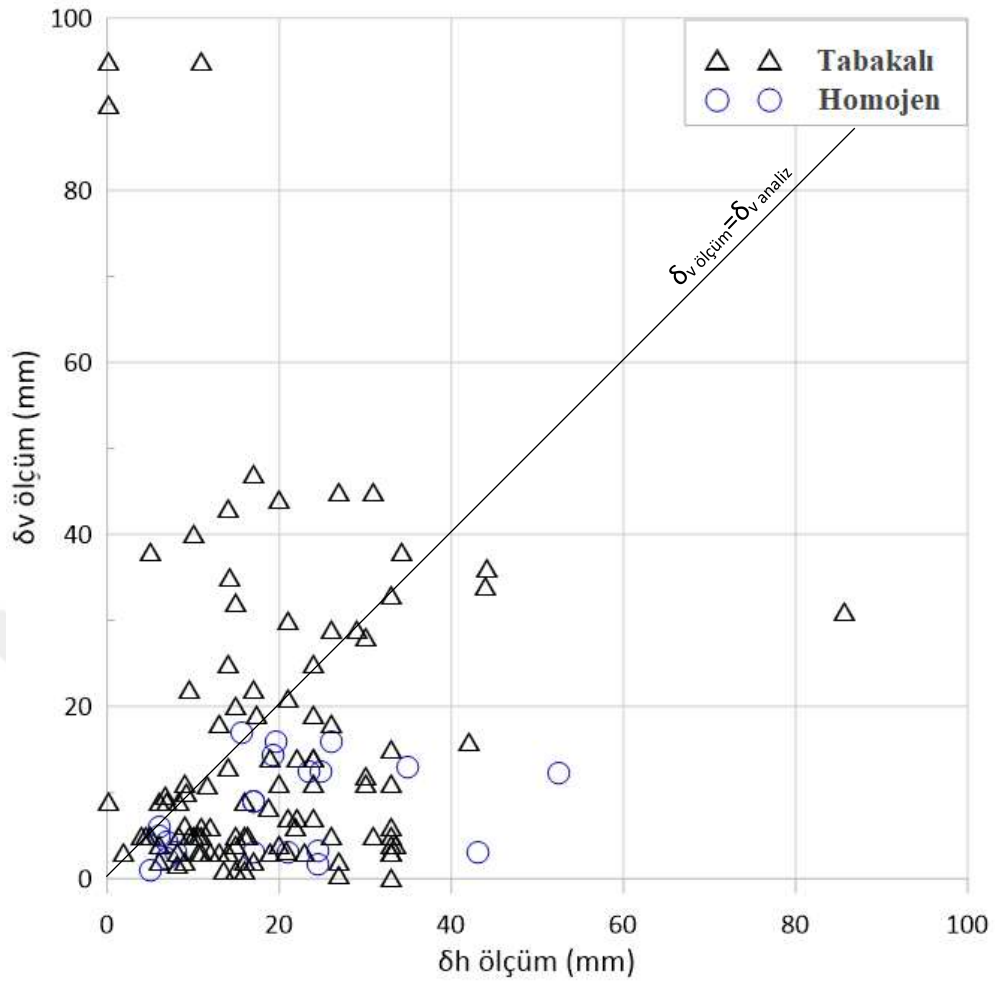
Şekil 4.44 Ölçülen yatay yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelere oranıyla kazı derinliği arasındaki ilişki

Şekil 4.45' te ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine oranının kazı derinliğinin logaritması ile değişimi yer almaktadır. Her iki ortamda inşa edilen tasarımlara ait veriler geniş bir aralıkta dağılım göstermiştir. Ölçülen ve analizlerden elde edilen yer değiştirmelerin birbirine yakın ya da eşit olduğu tasarımlarda kullanılan tasarım parametrelerinin arazi koşullarını iyi temsil ettiği düşünülmektedir. Ölçülen yatay yer değiştirmelerin çok küçük olduğu derin kazılarda çok rijit tasarımlar yapılmıştır. Herhangi bir yapısal sorunla karşılaşılmasına rağmen ölçülen yatay yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelerden çok yüksek değerler aldığı tasarımlarda yer değiştirme ölçümlerine yeterli önemin gösterilemediği düşünülmektedir.



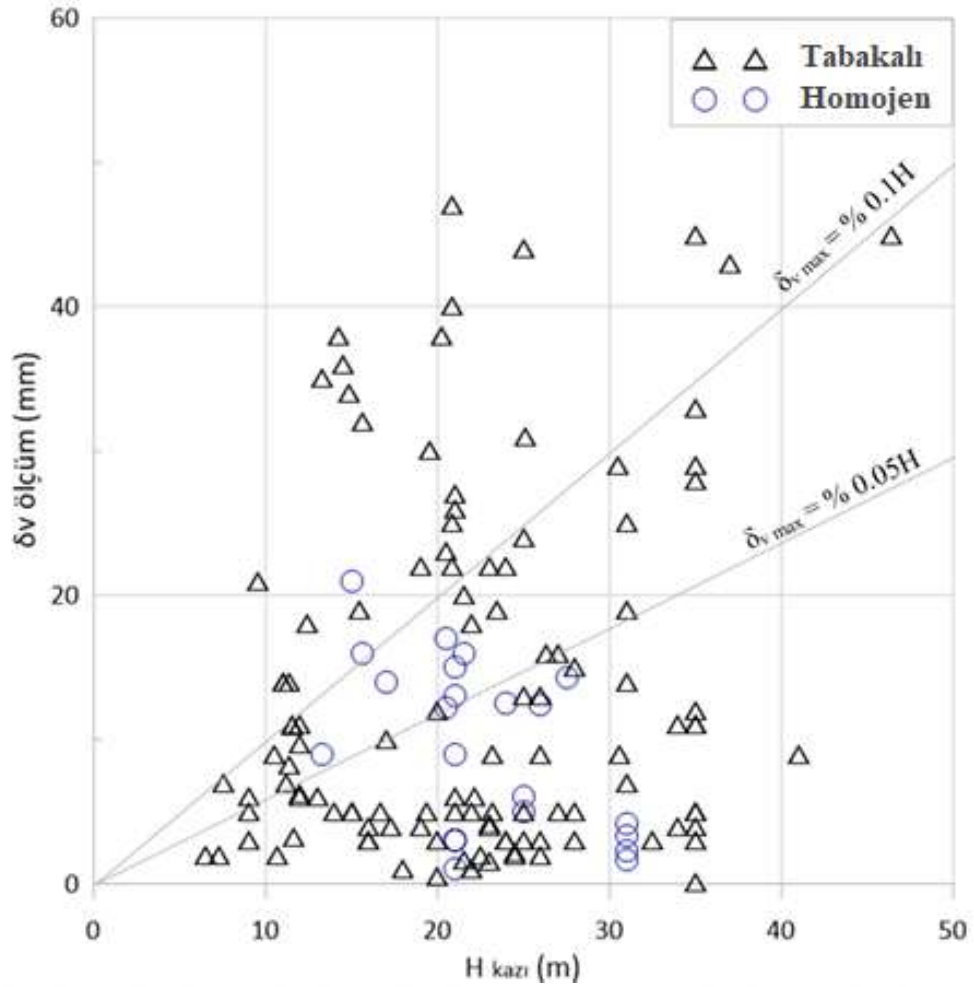
Şekil 4.45 Ölçülen yatay yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelere oranıyla kazı derinliğinin logaritması arasındaki ilişki

Ölçülen düşey yer değiştirme değerleri ile ölçülen yatay yer değiştirme değerleri arasındaki değişim Şekil 4.46' da gösterilmiştir. Tabakalı ortamlarda inşa edilen derin kazılarda ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin homojen ortamlarda inşa edilen derin kazılarda ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinden daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Homojen ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait ortalama δ_h ölçüm/ δ_v ölçüm oranı 1.35, tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait ortalama δ_h ölçüm/ δ_v ölçüm oranı ise 0.50 olarak hesaplanmıştır. Hsieh ve Ou [12], zemin yüzeyi oturmasının büyüklüğü ve dağılımının, zemin koşulları, yeraltı suyu, işçilik kalitesi, kazı derinliği, kazı geometrisi, kazı aşamaları ve destek tipleri gibi faktörlerden kaynaklandığını ifade etmiştir. Yatay yer değiştirmelerin düşük değerler aldığı ancak zemin yüzeyi oturmasının çok yüksek değerlere ulaştığı kesitlerde ölçülen yüksek oturma değerleri su seviyesindeki ani değişimlere bağlanmaktadır.



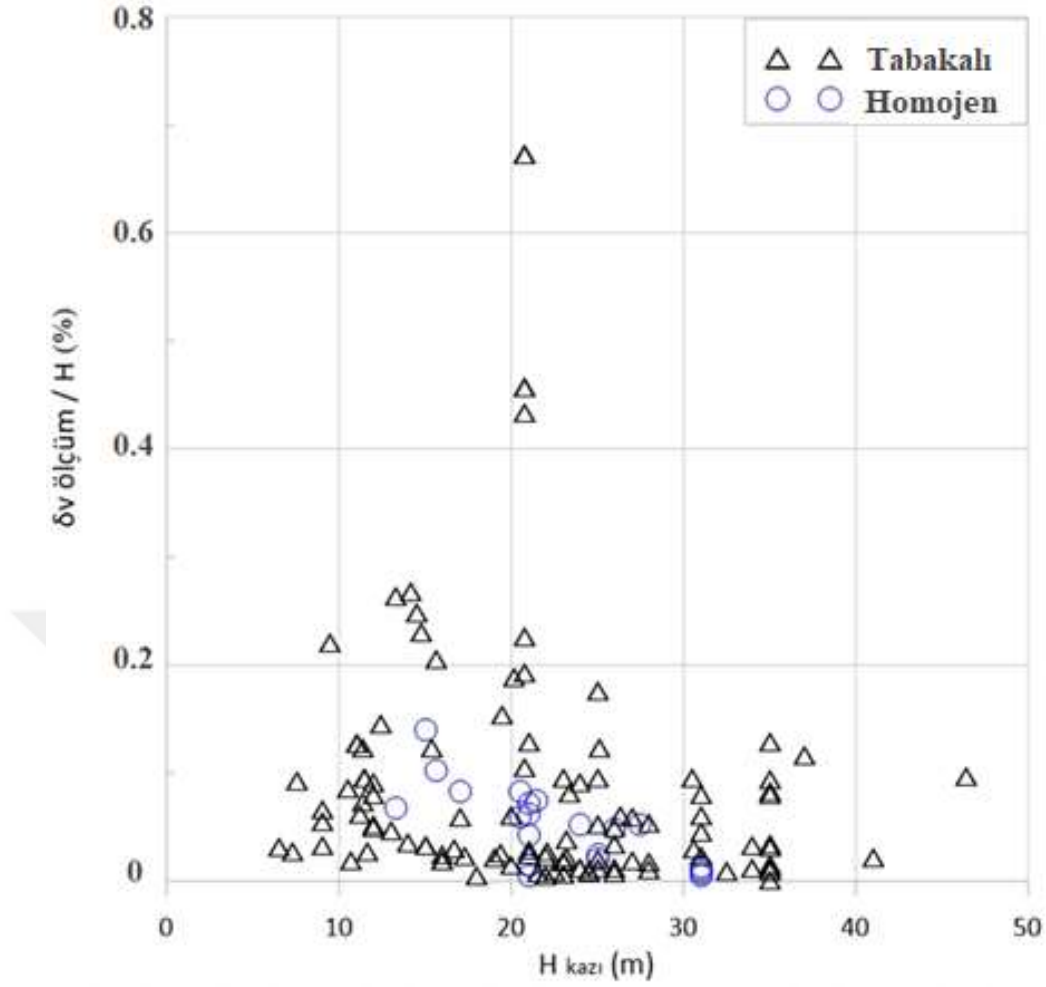
Şekil 4.46 Ölçülen düşey yer değiştirmeler ile ölçülen yatay yer değiştirmelerin ilişkisi

İncelenen tasarımlara ait ölçülen düşey yer değiştirme değerleri ile kazı derinliği arasındaki değişim Şekil 4.47’ de gösterilmiştir. Her iki ortamda inşa edilen tasarımlara ait ölçülen zemin yüzeyi oturması değerleri geniş bir aralıkta dağılım göstermektedir. Tabakalı ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlara ait ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının homojen ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlardan ölçülen zemin yüzeyi oturmalarından daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Her iki ortamda inşa edilen tasarımlarda artan kazı derinliğiyle ölçülen zemin yüzeyi oturması değerleri azalmaktadır. Kazı derinliği arttıkça ölçülen yer değiştirme değerlerinin azalması, kazı derinliği arttıkça inşaat ve ölçüm çalışmalarına daha fazla özen gösterilmesiyle açıklanmaktadır [14].



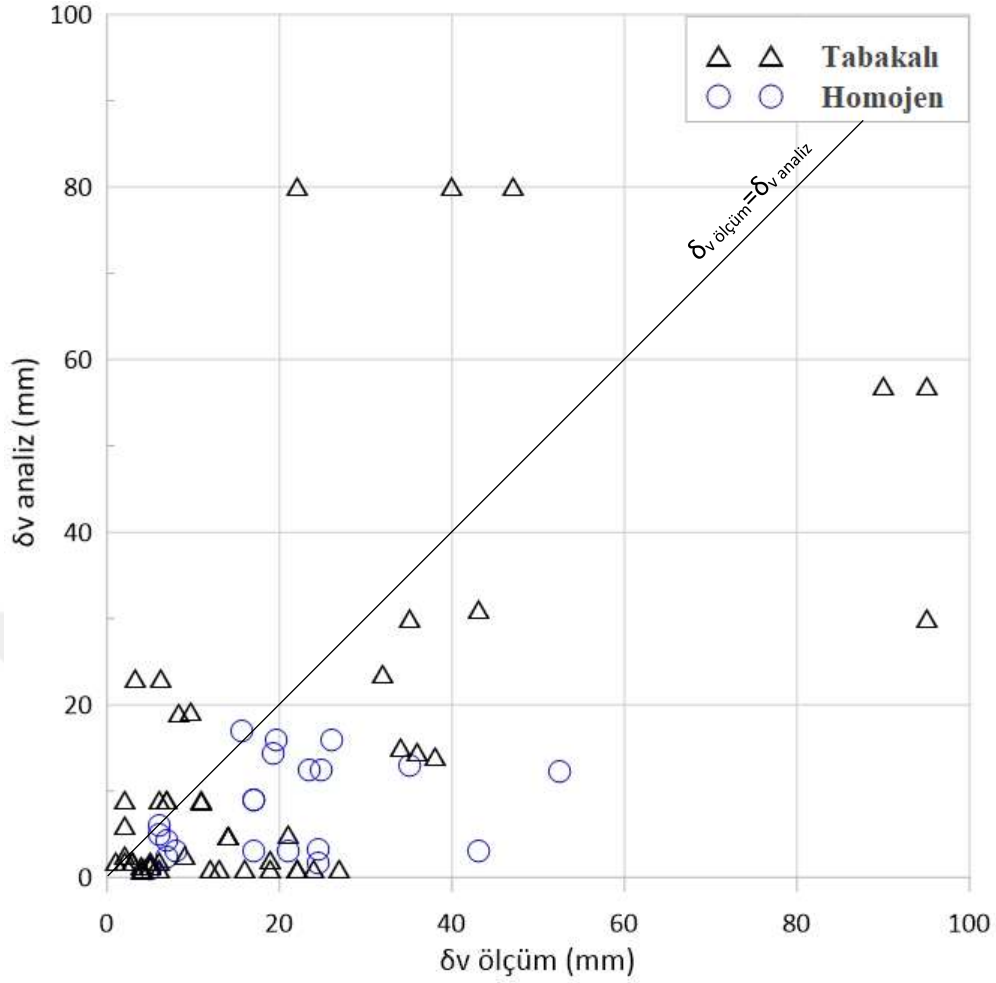
Şekil 4.47 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin kazı derinliğiyle ilişkisi

Şekil 4.48' de kazı derinliğiyle normalize edilmiş zemin yüzeyi oturması değerlerinin, kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. Tabakalı ortamlarda inşa edilen derin kazılara ait ölçülen normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmalarının homojen ortamlarda inşa edilen derin kazılarda ölçülen normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmalarından daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Ölçülen ortalama normalize edilmiş zemin yüzeyi oturması değerleri tabakalı ve homojen ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlarda sırasıyla % 0.08H ve % 0.05H olarak hesaplanmıştır. İncelenen, tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ani su seviyesi değişimleri yüksek oturmalarla neden olmuştur. Her iki ortamda inşa edilen derin kazılarda artan kazı derinliğiyle ölçülen normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmalarının azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.



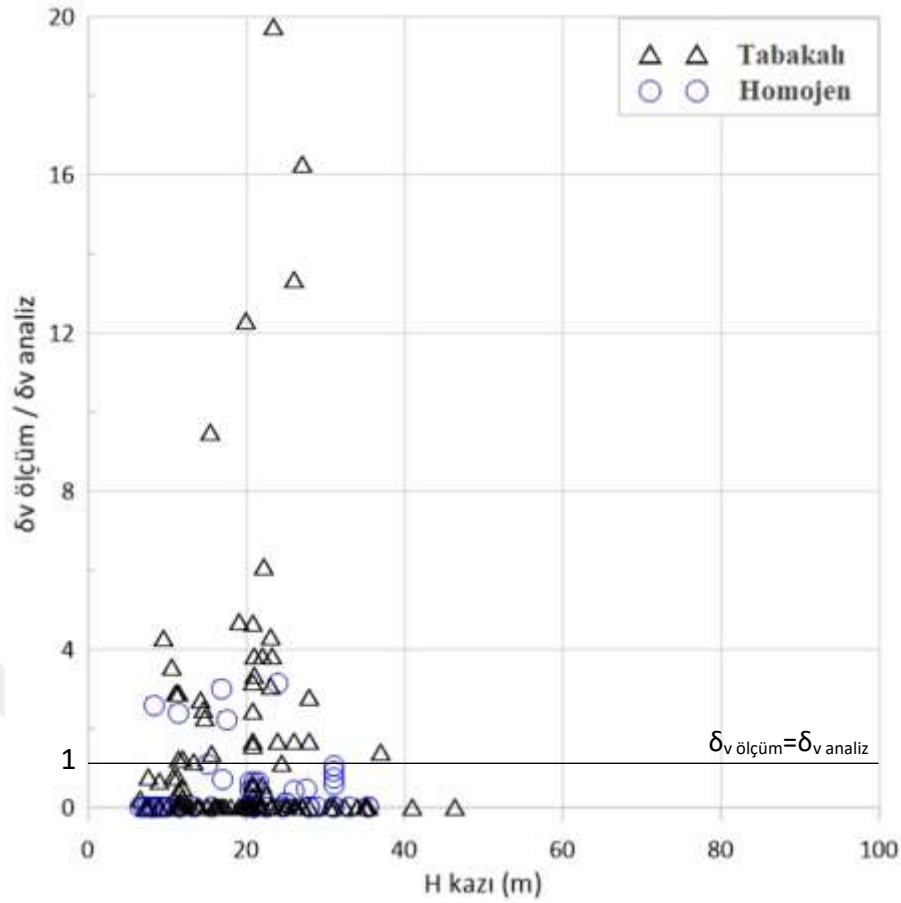
Şekil 4.48 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin kazı derinliğine oranı ile kazı derinliği arasındaki ilişki

Şekil 4.49' da ölçülen düşey yer değiştirme değerleri ile analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme değerleri arasındaki ilişki verilmiştir. Her iki ortamda inşa edilen tasarımlarda, ölçülen ve analizlerden elde edilen zemin yüzeyi oturması değerleri geniş bir aralıkta dağılım göstermektedir. Tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ölçülen zemin yüzeyi oturmaları daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Zemin yüzeyi oturmaları açısından homojen ortamlarda inşa edilen tasarımların analizlerinin daha başarılı olduğu görülmektedir. Zemin yüzeyi oturmaları açısından değerlendirildiğinde, homojen ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlarda kullanılan tasarım parametreleri tabakalı ortamlara göre daha başarılı seçilmiştir.



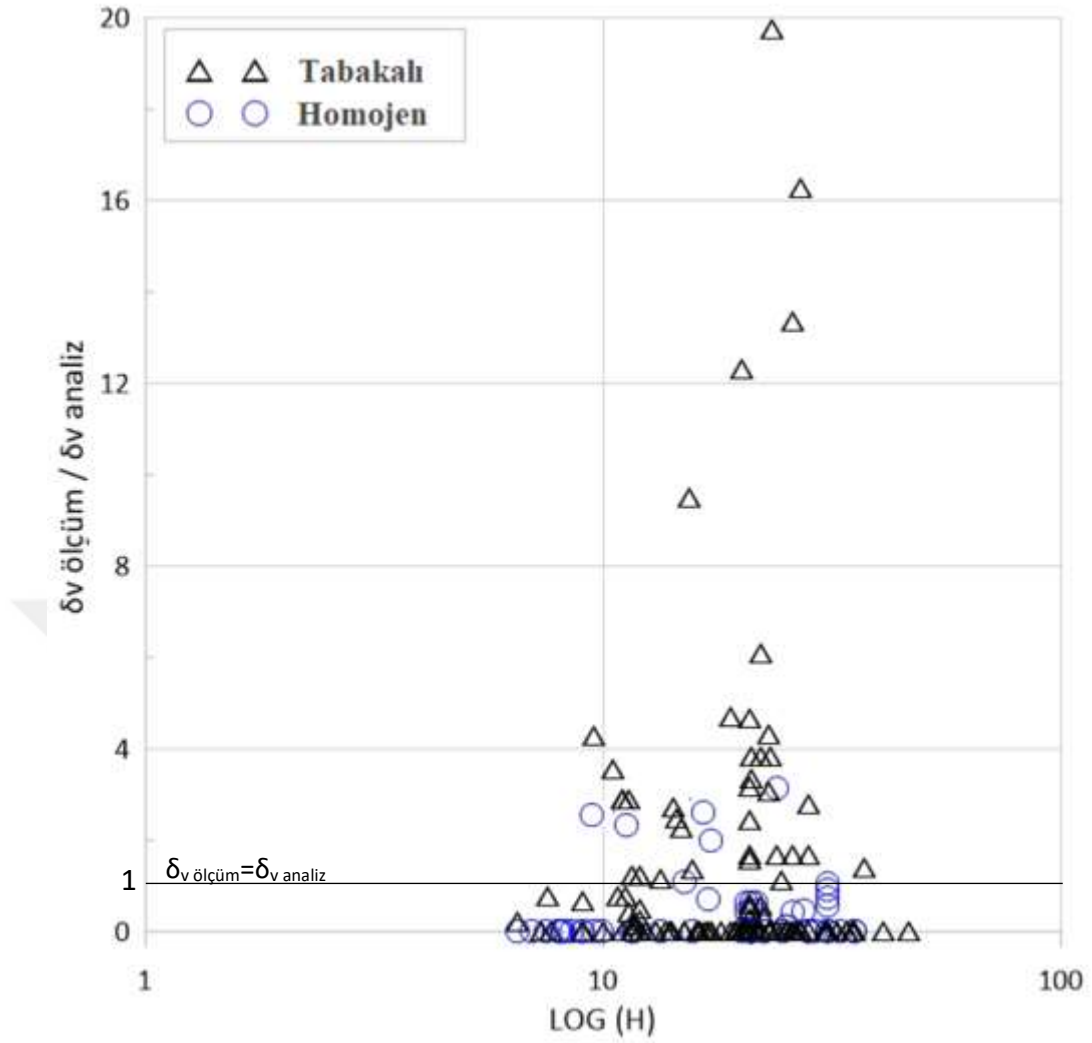
Şekil 4.49 Ölçülen düşey yer değiştirme ile analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme arasındaki ilişki

Şekil 4.50' de ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme değerlerine oranının kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. Homojen ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait δ_v ölçüm/ δ_v analiz oranı 1.9 iken tabakalı ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlara ait δ_v ölçüm/ δ_v analiz oranı 2.6' dır. Artan kazı derinliği ile homojen ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait δ_v ölçüm/ δ_v analiz oranı artarken, tabakalı tasarımlarda bu oran azalmaktadır. Analizlerden elde edilen yüzey oturması değerlerinin ölçülen değerlerle uyumu incelendiğinde homojen ortamlarda yapılan tasarımların zemin yüzeyi oturmaları açısından daha başarılı olduğu görülmektedir.



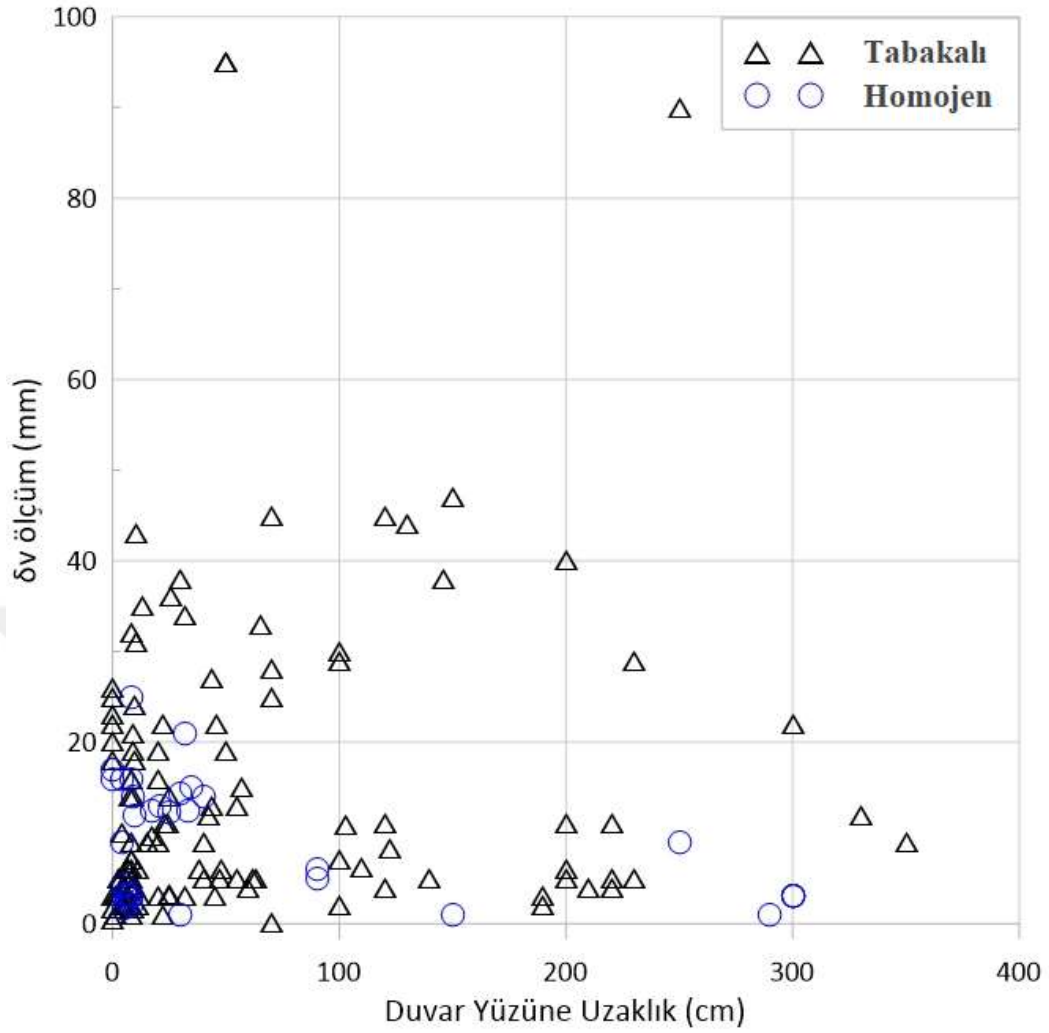
Şekil 4.50 Ölçülen düşey yer değiştirmenin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmeye oranının kazı derinliğiyle değişimi

Ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme değerlerine oranı ile kazı derinliğinin logaritmik eksenindeki değişimi Şekil 4.51’ de gösterilmektedir. Homojen ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlarda ölçülen ve analizlerden elde edilen zemin yüzeyi oturmalarının birbirine oranı, tabakalı ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlara ait ölçülen ve analizlerden elde edilen yüzey oturmalarının birbirine oranından daha düşüktür. İncelenen tasarımlara ait ortalama $\delta_v \text{ ölçüm} / \delta_v \text{ analiz}$ oranı dikkate alındığında zemin yüzeyi oturmaları açısından homojen ortamlarda gerçekleştirilen tasarımların daha başarılı olduğu görülmektedir. Her iki ortamda inşa edilen önemli sayıda tasarımda ölçülen zemin yüzeyi oturmaları çok düşük mertebelerdedir. Tabakalı ortamlarda inşa edilen bazı tasarımlarda $\delta_v \text{ ölçüm} / \delta_v \text{ analiz}$ oranı ise çok yüksek değerler almıştır.



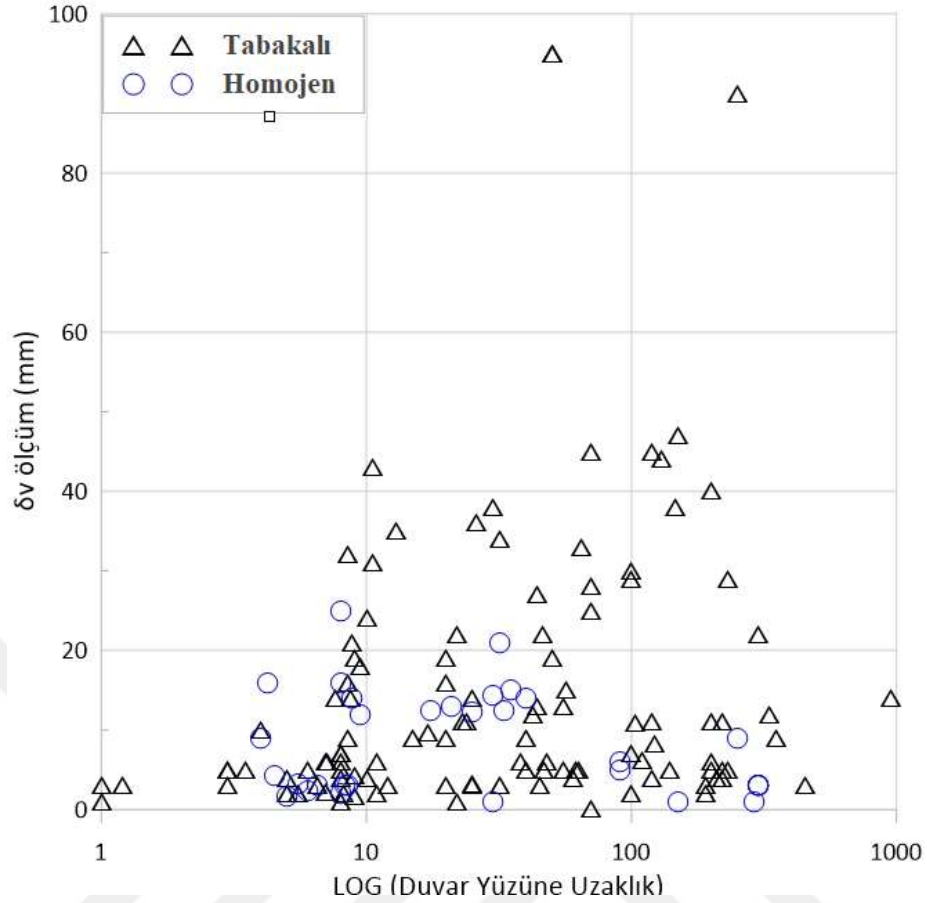
Şekil 4.51 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelere oranının kazı derinliğinin logaritmasıyla değişimi

Şekil 4.52' de ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin duvar yüzüne olan mesafeyle değişimi yer almaktadır. Tabakalı ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlarda ölçülen düşey yer değiştirmelerin homojen ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ölçülen yer değiştirmelerden daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Ou vd. [11], incelediği tasarımlarda ölçülen duvar arkasındaki zemin yüzeyi oturmasının uniform olmadığını ve kazı derinliği ile arttığını, kum ve katı killerde maksimum zemin yüzeyi oturmasının duvar yüzünde oluştuğunu belirtmiştir. Her iki ortamda inşa edilen tasarımlarda, duvar yüzünden uzaklaştıkça ölçülen zemin yüzeyi oturması değerleri azalma eğilimindedir. İncelenen tasarımlarda ölçülen zemin yüzeyi oturması değerlerinin daha çok Ou vd. [11] ile belirtilen birincil etki alanında (Primarily Influenced Zone:PIZ) bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 4.52 Ölçülen maksimum düşey yer değiştirmenin duvar yüzüne olan mesafeye değişimi.

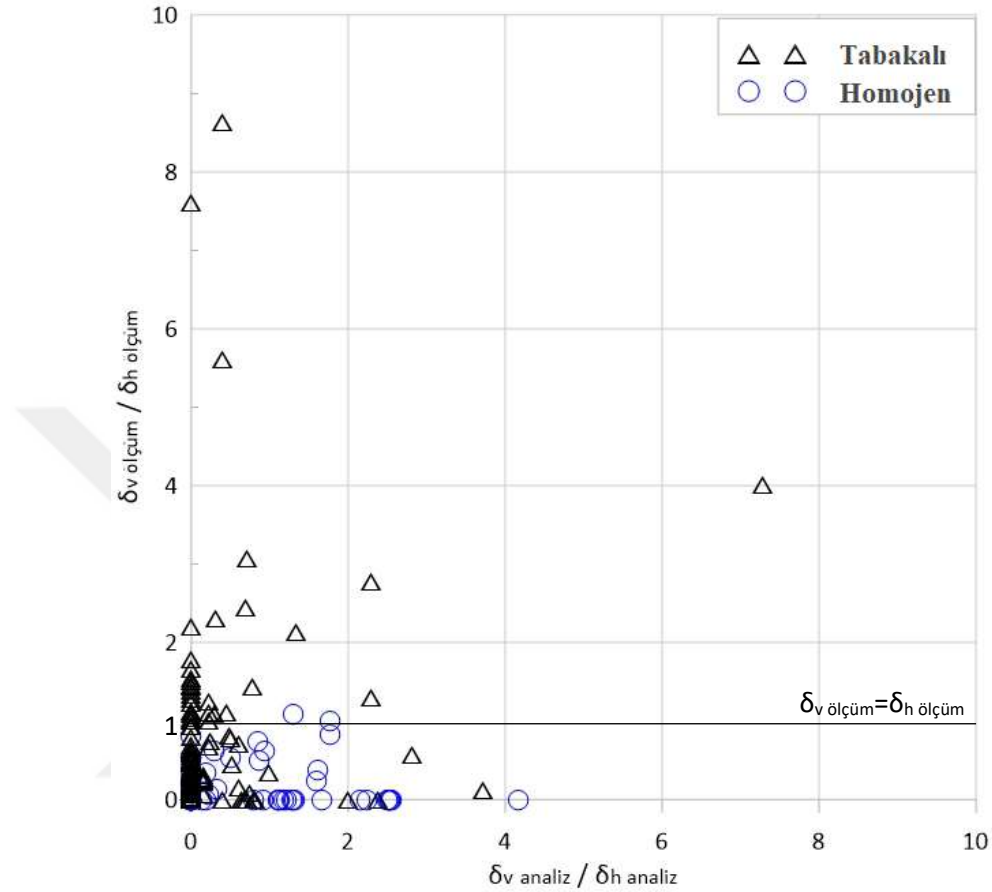
Şekil 4.53' te ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin duvar yüzüne olan mesafenin logaritmik eksenindeki değişimiyle ilişkisi yer almaktadır. Tabakalı ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlardan ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının homojen ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlarda ölçülen zemin yüzeyi oturmalarından daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Ou vd. [11], duvar yüzüne yakın mesafelerde ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının uniform dağılım göstermediğini, duvar yüzünden uzaklaştıkça ölçülen oturmaların daha düşük seviyelerde olduğunu ifade etmiştir. Her iki ortamda inşa edilen derin kazılarda duvar yüzünden uzaklaştıkça ölçülen zemin yüzeyi oturması değerleri azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.53 Ölçülen düşey yer değiştirmenin duvar yüzüne olan mesafenin logaritmasıyla değişimi

Şekil 4.54’ de ölçülen düşey yer değiştirmelerin ölçülen yatay yer değiştirmelere oranıyla analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelere oranının değişimi verilmektedir. Tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait ortalama δ_v ölçüm/ δ_h ölçüm oranı 1.35 homojen ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait ortalama δ_v ölçüm/ δ_h ölçüm oranı ise 0.50 olarak hesaplanmıştır. İncelenen tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait δ_v ölçüm/ δ_h ölçüm değerleri Peck [3] tarafından $\delta_v/\delta_h = 1$ olarak önerilen oranın üzerindeyken aynı oran homojen ortamlarda inşa edilen tasarımlarda daha düşük hesaplanmıştır. Hsieh ve Ou [12], genel olarak derin kazılarda maksimum zemin yüzeyi oturması ile maksimum yatay yer değiştirme arasında $\delta_{v \max} = 0.50-0.75\delta_{h \max}$ ilişkisinin olduğunu, çok yumuşak killerde ise plastik şekil değiştirmelerin olduğu durumlarda zemin yüzeyi oturmalarının yatay yer değiştirmelerden daha yüksek değerler alabildiğini ifade etmiştir. Moormann [15] ise, derin kazılarda ölçülen zemin yüzeyi oturmaları ile yatay yer değiştirmeler arasındaki oranın 0.5 ile 1.5 arasında değiştiğini, Hsieh ve Ou [12]’ ya benzer şekilde bu oranın kil

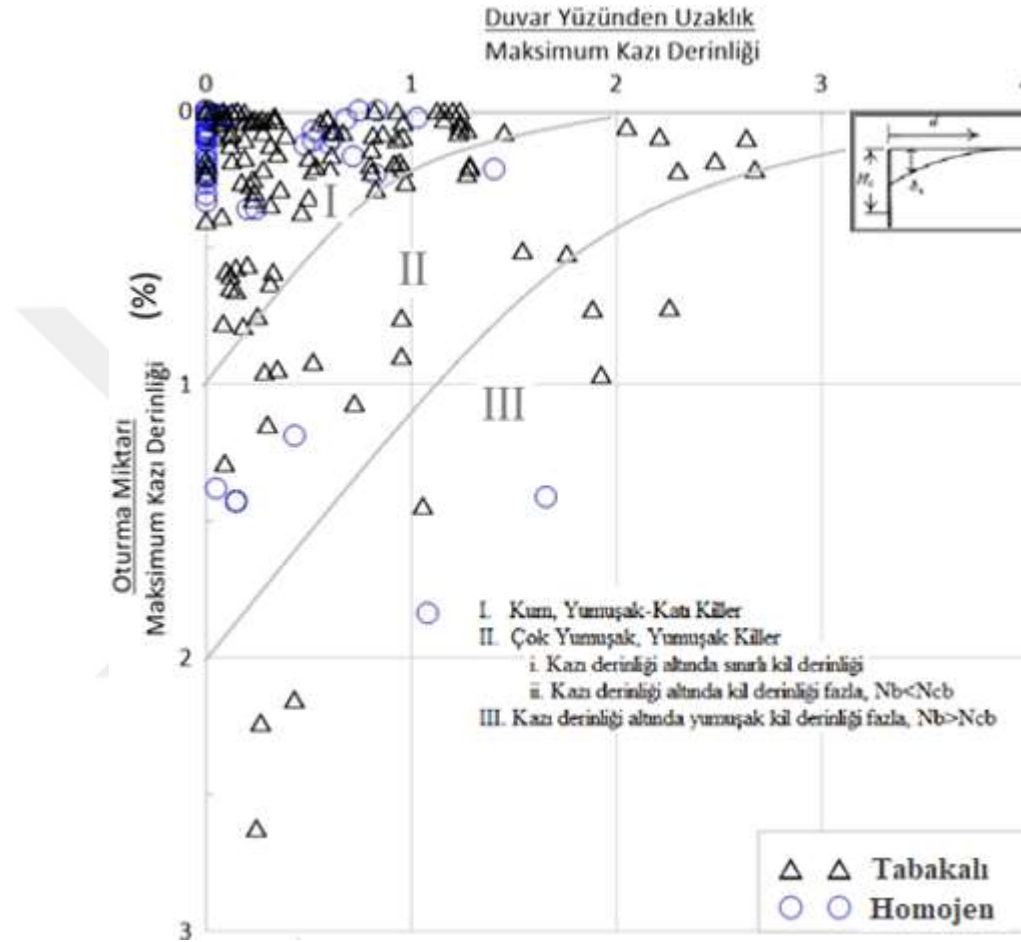
ortamlarda inşa edilen derin kazılarda daha yüksek değerler alabileceğini ifade etmiştir. Her iki ortamda inşa edilen önemli sayıda tasarımda hesaplanan $\delta_v \text{ analiz} / \delta_h \text{ analiz}$ oranının ise literatür çalışmalarından daha düşük değerler aldığı görülmektedir.



Şekil 4.54 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin yatay yer değiştirmelere oranı ile analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelerin yatay yer değiştirmelere oranı arasındaki ilişki

İncelenen kesitlere ait ölçülen zemin yüzeyi oturması değerleri Peck [3] tarafından oluşturulan oturma diyagramı formunda Şekil 4.55' de verilmektedir. Ou vd. [11], duvar arkasında oluşan maksimum zemin yüzeyi oturmasının duvardan, maksimum yatay yer değiştirmenin ölçüldüğü kazı derinliğinin yarısı kadar mesafede oluştuğunu belirtmiştir. Birçok kazıda maksimum yatay yer değiştirmeler nihai kazı derinliği seviyesine varıldığında oluştuğundan maksimum zemin yüzeyi oturmaları, duvar yüzünden $H_{\text{kazı}}/2$ mesafede ölçülmektedir. İncelenen tasarımlara ait ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının duvar yüzüne yakın mesafelerde, I numaralı bölgede yoğunlaştığı görülmektedir. Homojen ortamlarda inşa edilen derin kazılarda, ölçülen zemin yüzeyi oturması değerleri kazı derinliğinin % 2' sine, tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait ölçülen zemin

yüzeyi oturması değerlerinin maksimum kazı derinliğinin % 3' üne yakın değerler almaktadır. İncelenen tasarımlarda ölçülen zemin yüzeyi oturması değerlerinden, Ou vd. [11] tarafından $d > 1.H_e$ olarak tanımlanan ikincil etki alanında bulunan sınırlı sayıda tasarımın olduğu, zemin yüzeyi oturmalarının daha çok birincil etki alanı olarak tanımlanan duvar yüzüne $d < 1.H_e$ mesafesinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.55 İncelenen kesitlere ait oturma verilerinin Peck (1969) oturma diyagramında gösterimi

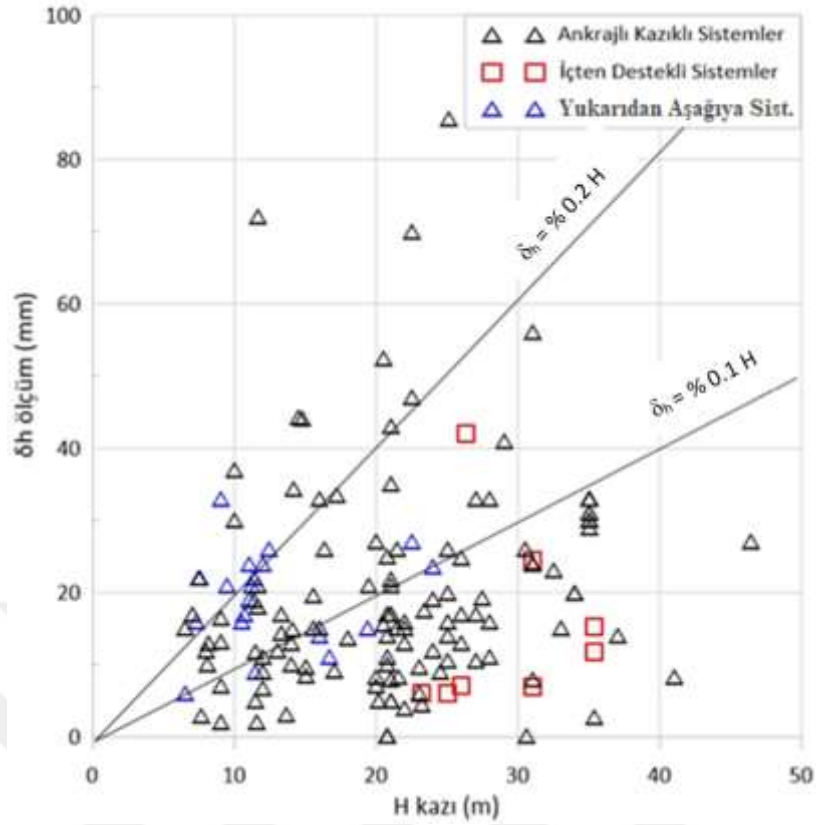
Bu bölümde incelenen tasarımlara ait ortalama yer değiştirme değerleri özet olarak Çizelge 4.3' te yer almaktadır. Ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmeler tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlarda birbirine daha yakın değerler almıştır. Ölçülen ve analizlerden elde edilen zemin yüzeyi oturmaları ise homojen ortamlarda inşa edilen tasarımlarda birbirine daha yakındır. Kazı derinliğiyle normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin ve zemin yüzeyi oturmalarının tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlarda en düşük değerler aldığı görülmektedir.

Çizelge 4. 3 İncelenen derin kazı projelerine ait ortalama yer değıştirme verileri

	δ_h ölçüm (mm)	δ_h analiz (mm)	δ_v ölçüm (mm)	δ_v analiz (mm)	δ_h/H (%)	δ_v/H (%)
Tabakalı	22,3	20,3	14,8	22,5	0,13	0,08
Homojen	18,4	30,2	9,3	16,2	0,09	0,05

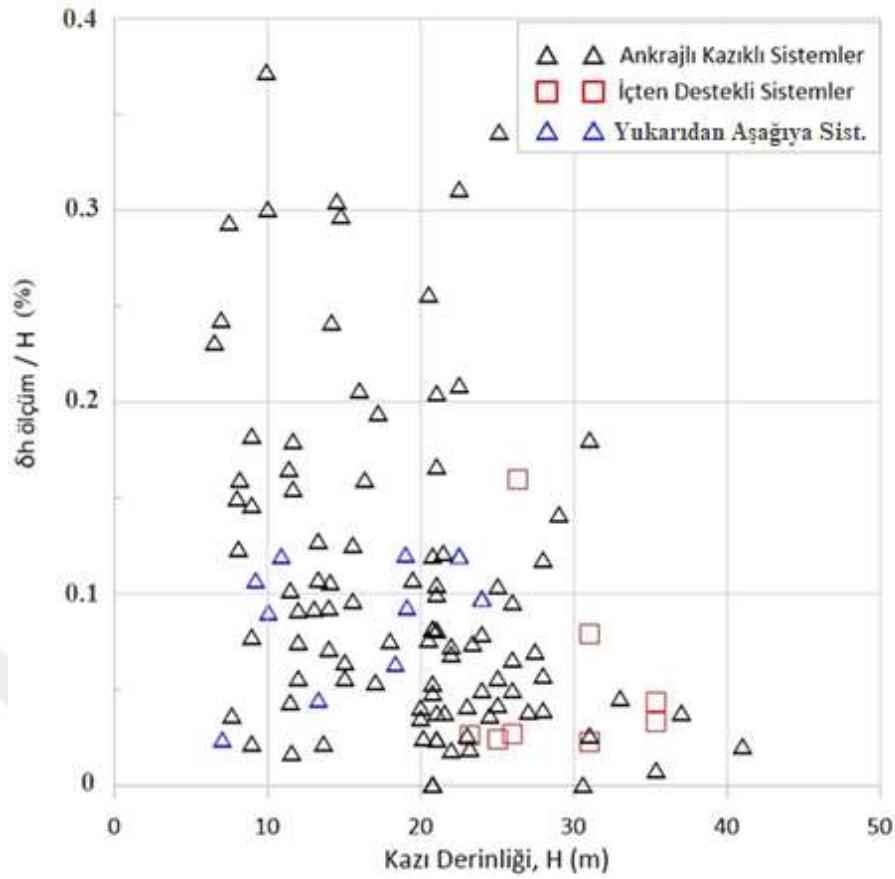
4.2.3. Kazı Destekleme Sistemine Göre Yer Değıştirme Grafikleri

İncelenen kazı destekleme sistemlerine ait ölçülen yatay yer değıştirmelerin kazı derinliğine göre değışimi Şekil 4.56' da verilmiştir. İncelenen tasarımlar içerisinde ankrajlı kazıklı sistemler, yukarıdan aşağıya sistemler ve içten destekli sistemlerde ölçülen ortalama yatay yer değıştirmeler sırasıyla $\delta_h = 18$ mm, $\delta_h = 19$ mm ve $\delta_h = 16$ mm olarak hesaplanmıştır. İncelenen her üç farklı iksa destek sisteminde de artan kazı derinliğiyle ölçülen yatay yer değıştirmelerin arttığı gözlenmektedir. Clough ve O'Rourke [10] tarafından yapılan çalışmada, kazı koşullarının benzer olduğu durumlarda farklı duvar tiplerinde ölçülen maksimum yatay yer değıştirmeler arasında çok az farklar olduğu belirtilmiştir. Long [14] tarafından yapılan vaka analizlerinde, yumuşak zemin tabakası kalınlığının düşük olduğu ortamlarda inşa edilen destekli, ankrajlı ve yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen yatay yer değıştirmelerin birbirine çok yakın değerler aldığı ifade edilmiştir. İncelenen kazı destekleme sistemlerinde ölçülen yatay yer değıştirmelerin literatür çalışmalarıyla uyumlu olarak birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir.



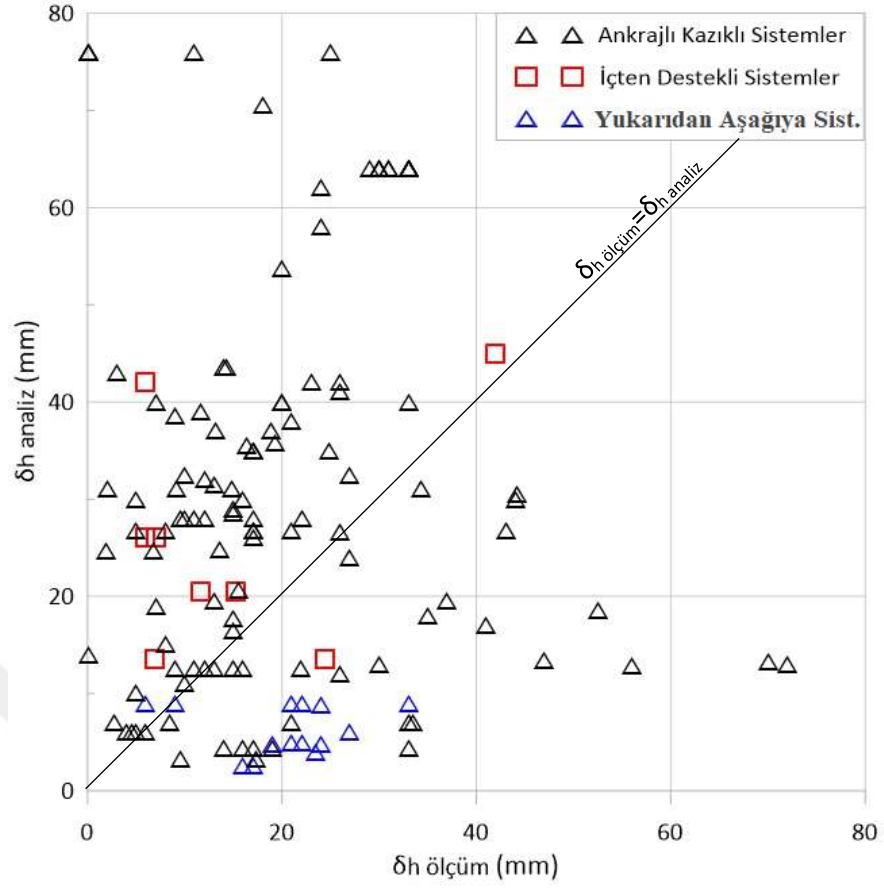
Şekil 4.56 Ölçülen yatay yer değiştirmenin kazı derinliğine bağlı değişimi

Ölçülen kazı derinliğiyle normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin kazı derinliği ile değişimi Şekil 4.57' de yer almaktadır. Ankrajlı kazıklı destek sistemlerinde ölçülen normalize edilmiş yatay yer değiştirmeler en yüksek, içten destekli sistemlerde ise ölçülen normalize edilmiş yatay yer değiştirmeler en düşük değerleri almaktadır. Ankrajlı kazıklı sistemlerde, içten destekli sistemlerde ve yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen normalize edilmiş ortalama yatay yer değiştirme değerleri sırasıyla % 0.11H, % 0.05H ve % 0.08H olarak hesaplanmıştır. İncelenen sistemlerde artan kazı derinliğiyle ölçülen yatay yer değiştirmeler artarken kazı derinliğiyle normalize edilmiş yatay yer değiştirmeler ise azalmaktadır.



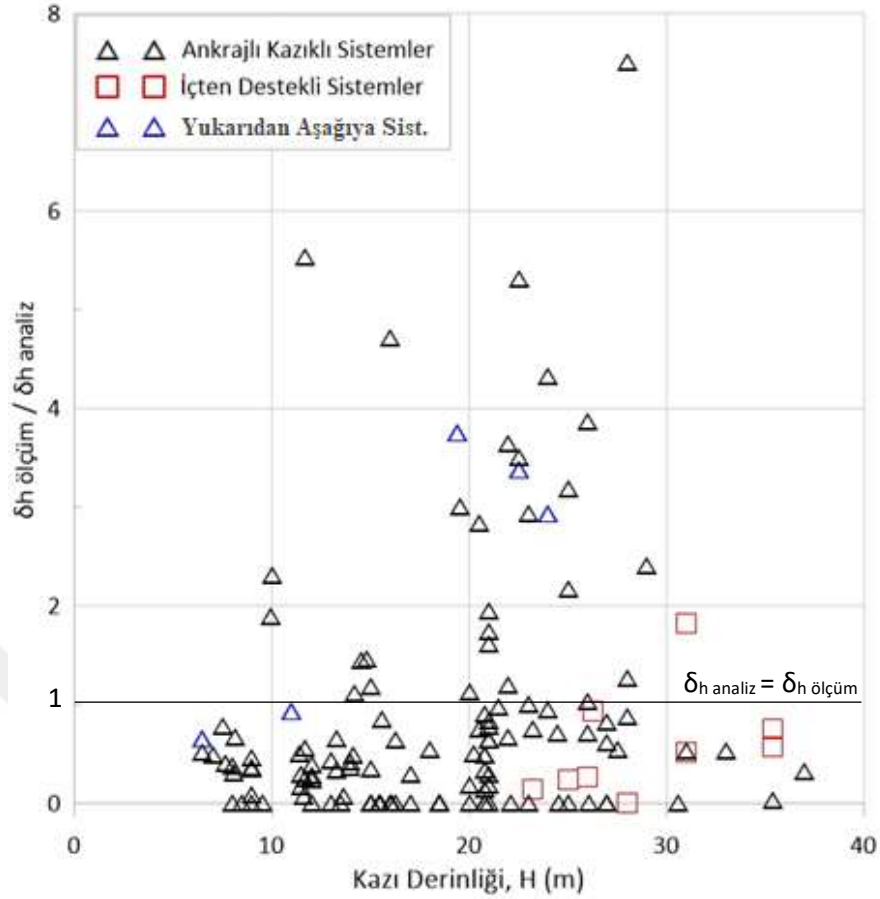
Şekil 4.57 Ölçülen yatay yer değiştirmenin kazı derinliğine oranı ile kazı derinliği arasındaki ilişki

Ölçülen yatay yer değiştirme değerlerinin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirme değerleriyle değişimi Şekil 4.58’ de yer almaktadır. İncelenen ankrajlı kazıklı perde sistemlerin analizlerinden elde edilen yatay yer değiştirmeler ile ölçümlerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine göre durumu değişkenlik göstermektedir. İncelenen yukarıdan aşağıya sistemlerin büyük kısmında ölçülen yatay yer değiştirme değerleri analizlerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinden büyüktür. İçten destekli sistemlerde ise analizlerden elde edilen yer değiştirme değerleri ölçülen yatay yer değiştirme değerlerinden daha yüksektir. İncelenen tasarımlara ait ölçülen ve analizlerden elde edilen yer değiştirme değerleri arasındaki yüksek farklar tasarım yaklaşımları ile arazi ölçüm tekniklerine bağlanmaktadır. Ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelerin birbirine yakın değerler aldığı tasarımların ise yatay yer değiştirmeler açısından başarılı tasarımlar olduğu görülmektedir.



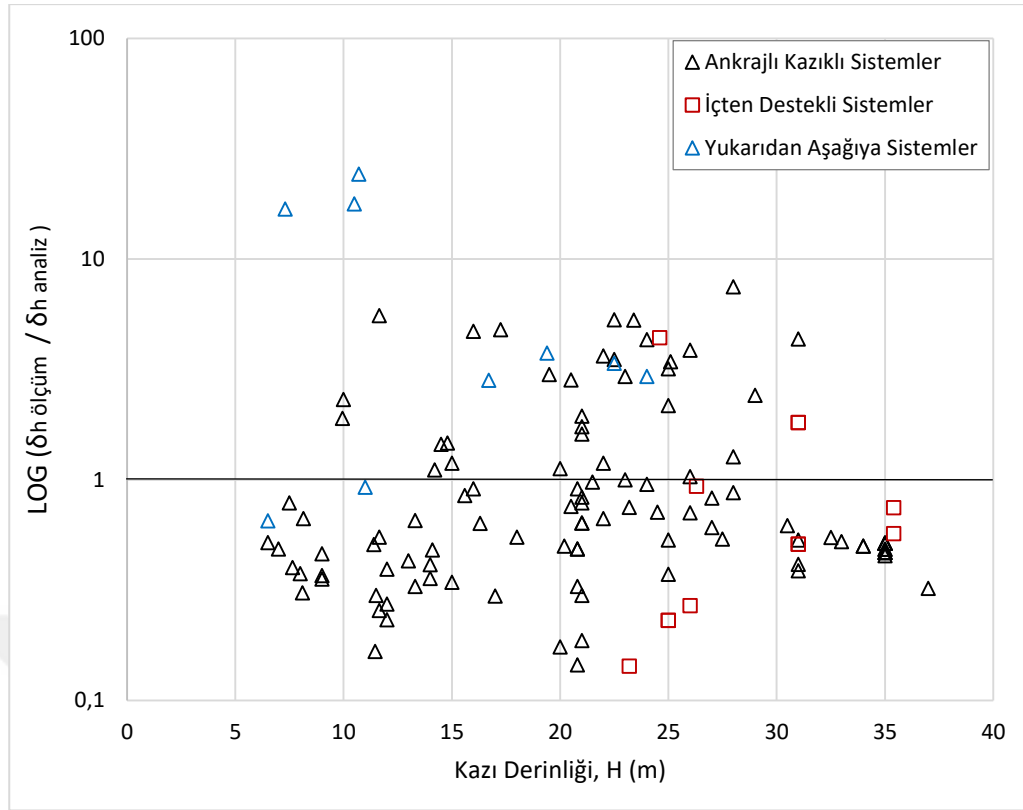
Şekil 4.58 Ölçülen maksimum yatay yer değiştirme ile analizlerden elde edilen maksimum yatay yer değiştirme arasındaki ilişki

Şekil 4.59’ da ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine oranının kazı derinliği ile değişimi görülmektedir. Ankrallı kazıklı perde sistemlerde ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelerin birbirine oranı $\delta_h \text{ ölçüm} / \delta_h \text{ analiz} = 0.95$, içten destekli sistemler ile yukarıdan aşağıya sistemlerde ise bu oran sırasıyla 0.7 ve 2.0 olarak hesaplanmıştır. İncelenen derin kazılarda ölçülen ve analizlerden elde edilen yer değiştirme değerlerinin birbirine yakın olmadığı tasarımlar, kazı modelinin ve zemin mühendislik özelliklerinin iyi tanımlanamaması ile saha ölçüm tekniklerine bağlanmaktadır. Artan kazı derinliğiyle ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelerin birbirine oranı ankrallı kazıklı sistemlerde ve yukarıdan aşağıya sistemlerde artarken, içten destekli sistemlerde bu oran azalmaktadır.



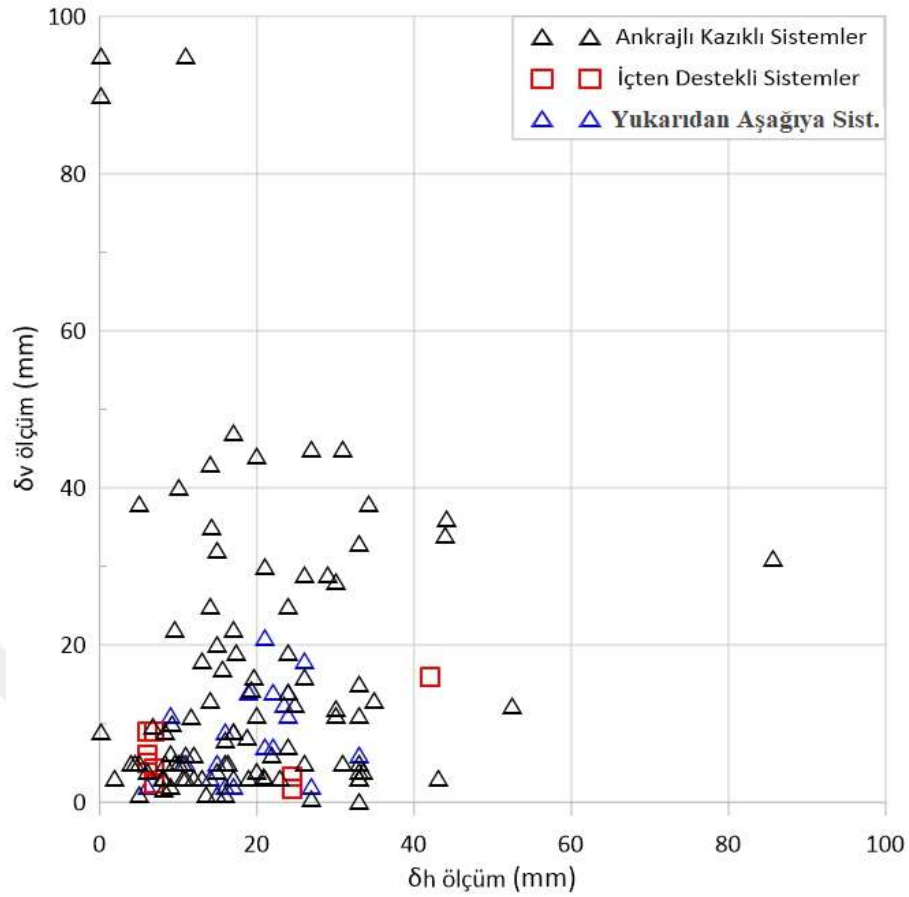
Şekil 4.59 Ölçülen yatay yer değiştirmenin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmeye oranıyla kazı derinliği arasındaki ilişki

Şekil 4.60' da ölçülen ve analizlerden elde edilen maksimum yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine oranının kazı derinliği ile değişimi yer almaktadır. İncelenen sistemler içinde ankrajlı kazıklı sistemler ve yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen yatay yer değiştirme değerleri ile analizlerden elde edilen yer değiştirme değerleri arasında yüksek farkların görüldüğü tasarımlar mevcuttur. İçten destekli tasarımlarda ise ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmeler birbirine yakın değerler almaktadır. Ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine yakın olduğu tasarımlar yer değiştirmeler açısından başarılı tasarımlar olarak değerlendirilmektedir.



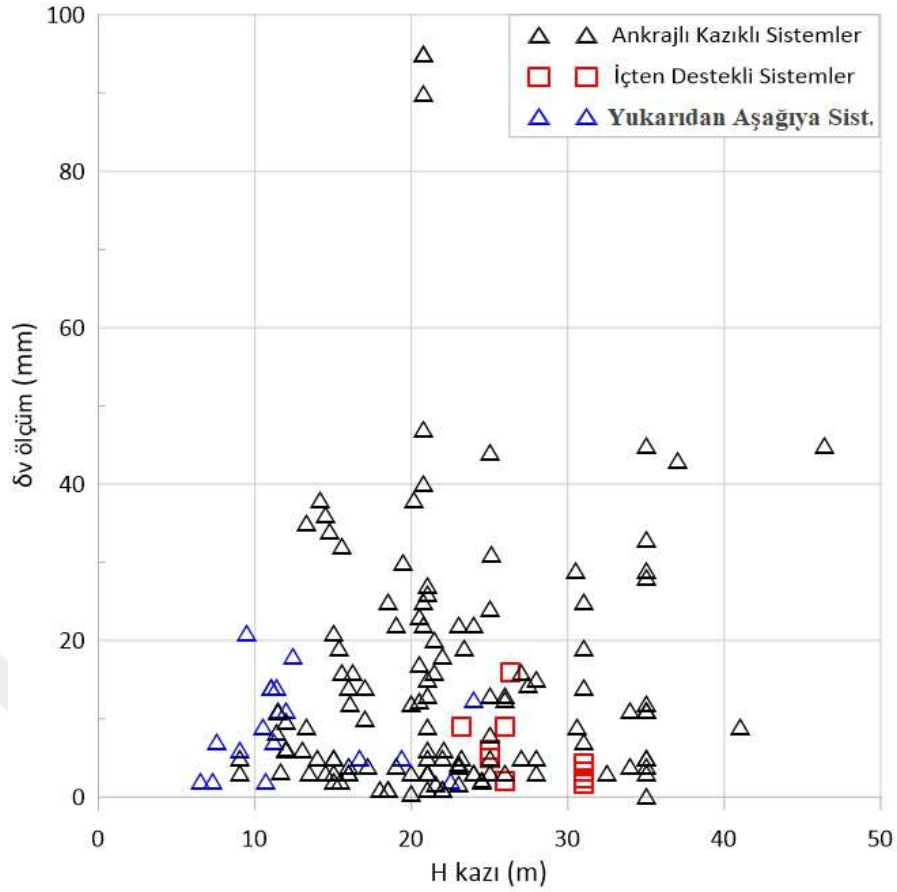
Şekil 4.60 Ölçülen maksimum yatay yer değiştirmenin analizlerden elde edilen maksimum yatay yer değiştirmeye oranıyla kazı derinliği arasındaki ilişki

İncelenen tasarımlara ait ölçülen düşey yer değiştirme değerleri ile ölçülen yatay yer değiştirme değerleri arasındaki değişim Şekil 4.61’ de gösterilmiştir. Ankrajlı kazıklı sistemlerde ölçülen yatay ve düşey yer değiştirmelerin genel olarak yukarıdan aşağıya sistemler ve içten destekli sistemlerde ölçülen yer değiştirmelerden daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. İncelenen tasarımlar içinde ölçülen ortalama yatay yer değiştirmeler ile zemin yüzeyi oturmalarının birbirine en yakın olduğu sistemler içten destekli sistemlerdir. Hsieh ve Ou [8], inceledikleri derin kazılarda $\delta_{v \max} / \delta_{h \max}$ oranının 0.5 ile 0.75 arasında değişmesi gerektiğini, Moormann [15] ise yürüttüğü çalışmada bu oranın 0.5 ile 1.5 arasında değiştiğini belirtmiştir. İncelenen ankrajlı kazıklı sistemler, içten destekli sistemler ile yukarıdan aşağıya sistemlerde ortalama $\delta_{v \max} / \delta_{h \max}$ oranı sırasıyla 1.2, 0.46 ve 0.52 olarak hesaplanmıştır. İncelenen ankrajlı kazıklı sistemlerin bir kısmında ölçülen yüksek zemin yüzeyi oturması değerleri nedeniyle $\delta_{v \max} / \delta_{h \max}$ oranı diğer sistemlerden daha yüksek değerler almıştır.



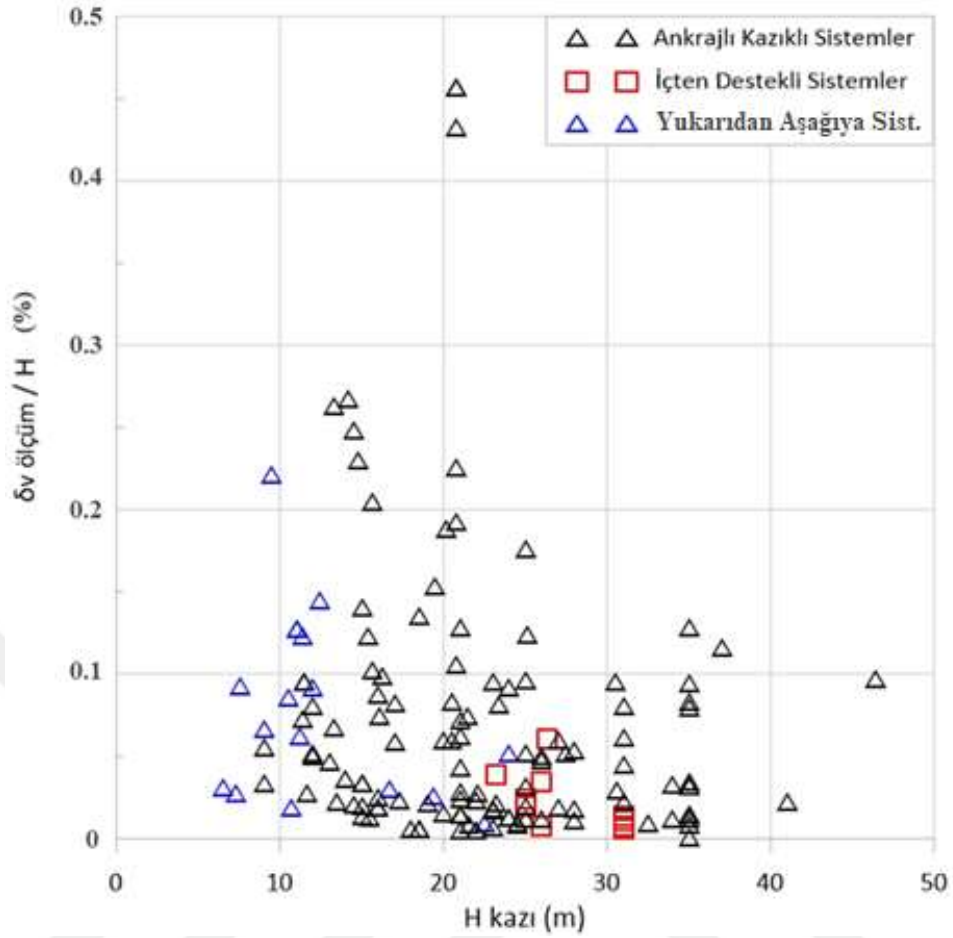
Şekil 4.61 Ölçülen düşey yer değiştirmeler ile ölçülen yatay yer değiştirmelerin ilişkisi

İncelenen tasarımlara ait ölçülen düşey yer değiştirme değerleri ile kazı derinliği arasındaki ilişki Şekil 4.62’ de verilmiştir. Ankrajlı kazıklı sistemlerde ölçülen düşey yer değiştirmelerin diğer destek sistemlerinde ölçülen düşey yer değiştirmelerden daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. İncelenen ankrajlı kazıklı sistemlerde $H=21$ m kazı derinliğinde ölçülen zemin yüzeyi oturmaları $96 \text{ mm}'$ ye kadar ulaşırken içten destekli sistemlerde ölçülen maksimum zemin yüzeyi oturması değerleri $H=26.5$ m kazı derinliğinde $18 \text{ mm}'$ dir. Hashash ve Whittle [24], inceledikleri sistemler arasında diyafram duvarlarda ölçülen yer değiştirmelerin 5 ile 15 mm arasında değiştiğini, bu yer değiştirme değerlerinin $\% 0.1H'$ den daha düşük değerlere karşılık geldiğini belirtmiştir. Kazı derinliği 40 m’ nin üzerindeki derin kazılarda ise ölçülen yer değiştirmelerin $60 \text{ mm}'$ ye kadar çıkabildiğini ifade etmiştir. İncelenen yukarıdan aşağıya sistemlerde maksimum zemin yüzeyi oturmaları $H=9$ m kazı derinliğinde 21 mm olarak ölçülmüştür. İncelenen tüm iksa destek sistemlerinde artan kazı derinliğiyle ölçülen zemin yüzeyi oturması değerlerinde azalma gözlenmektedir.



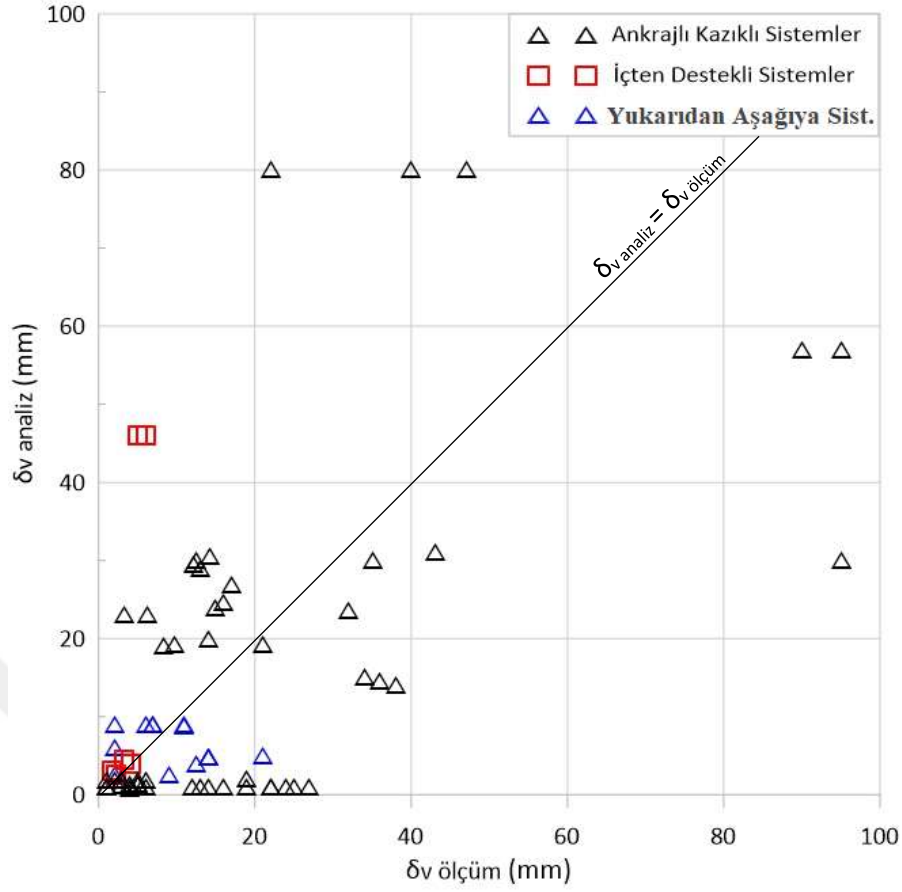
Şekil 4.62 Ölçülen düşey yer değiştirmenin kazı derinliğiyle ilişkisi

Şekil 4.63' te ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğine oranı ile kazı derinliği arasındaki ilişki gösterilmiştir. İncelenen tasarımlardan içten destekli sistemler ile yukarıdan aşağıya sistemlerde normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmaları ankrajlı kazıklı sistemlerden daha düşük değerler almaktadır. İncelenen ankrajlı sistemler, içten destekli sistemler ve yukarıdan aşağıya sistemlerde hesaplanan ortalama δ_v/H değeri sırasıyla % 0.10, %0.04 ve % 0.08' tir. İncelenen ankrajlı kazıklı sistemlerde, içten destekli sistemlerde ve diyafram duvarlarda artan kazı derinliğiyle normalize edilmiş zemin yüzeyi oturması değerleri azalma eğilimindedir. Normalize edilmiş zemin yüzeyi oturması değerlerinin yüksek olduğu tasarımlarda, yeraltı su seviyesinde kazı süresince oturmalara sebep olabilecek ani değişimler oluşmuştur.



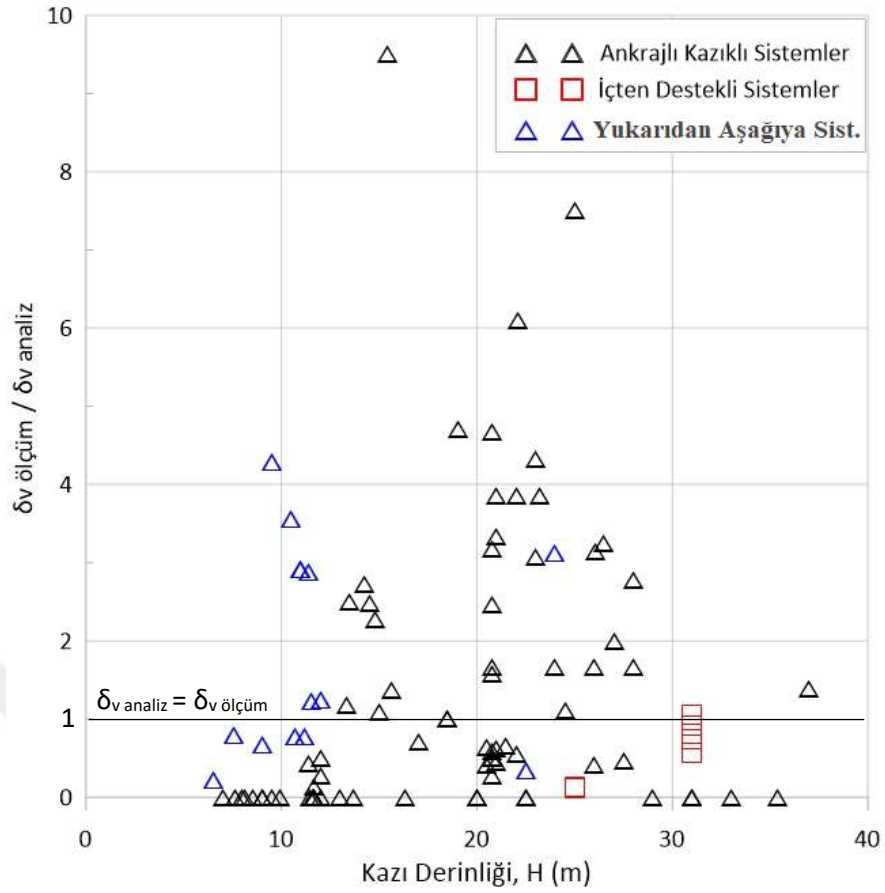
Şekil 4.63 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin kazı derinliğine oranı ile kazı derinliği arasındaki ilişki

Şekil 4.64' te ölçülen ve analizlerden elde edilen zemin yüzeyi oturması değerleri arasındaki ilişki verilmiştir. İncelenen sınırlı sayıda tasarımın analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme değerlerine ulaşılabilmektedir. İncelenen bazı ankrajlı kazıklı destekleme sistemlerinde ölçülen ve analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme değerleri arasında büyük farklar görülmektedir. İncelenen yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen ve analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme değerlerinin diğer sistemlere kıyasla birbirine daha yakın değerler aldığı, bu derin kazılarda tasarımların zemin yüzeyi oturmaları açısından daha başarılı gerçekleştirildiği görülmektedir.



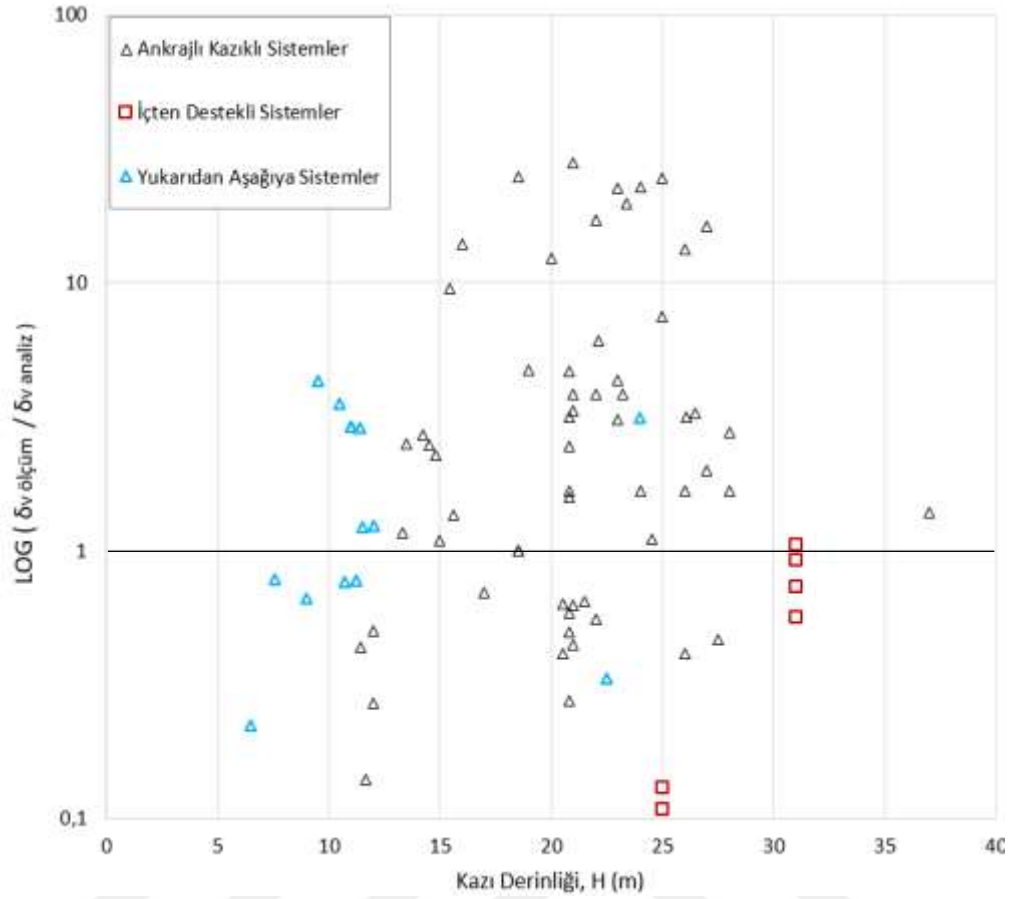
Şekil 4.64 Ölçülen düşey yer değiştirmeler ile analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmeler arasındaki ilişki

Şekil 4.65' de ölçülen ve analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme değerlerinin birbirine oranının kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. İncelenen tasarımlar içinde, ankrajlı kazıklı sistemlerde ölçülen ve analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme değerlerinin birbirine oranının yukarıdan aşağıya sistemler ile içten destekli sistemlerden hesaplanandan daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Kazı derinliği fazla olan derin kazılarda ankrajlı kazıklı sistemlerde ölçülen ve analizlerden elde edilen zemin yüzeyi oturması değerleri arasındaki farklar yüksektir. Bu durum analiz aşamalarında kullanılan tasarım parametrelerinin zemin koşullarını iyi yansıtamamasıyla açıklanmaktadır. İçten destekli sistemler ile yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen ve analizlerden elde edilen zemin yüzeyi oturması değerlerinin birbirine oranı daha düşük değerler almaktadır.



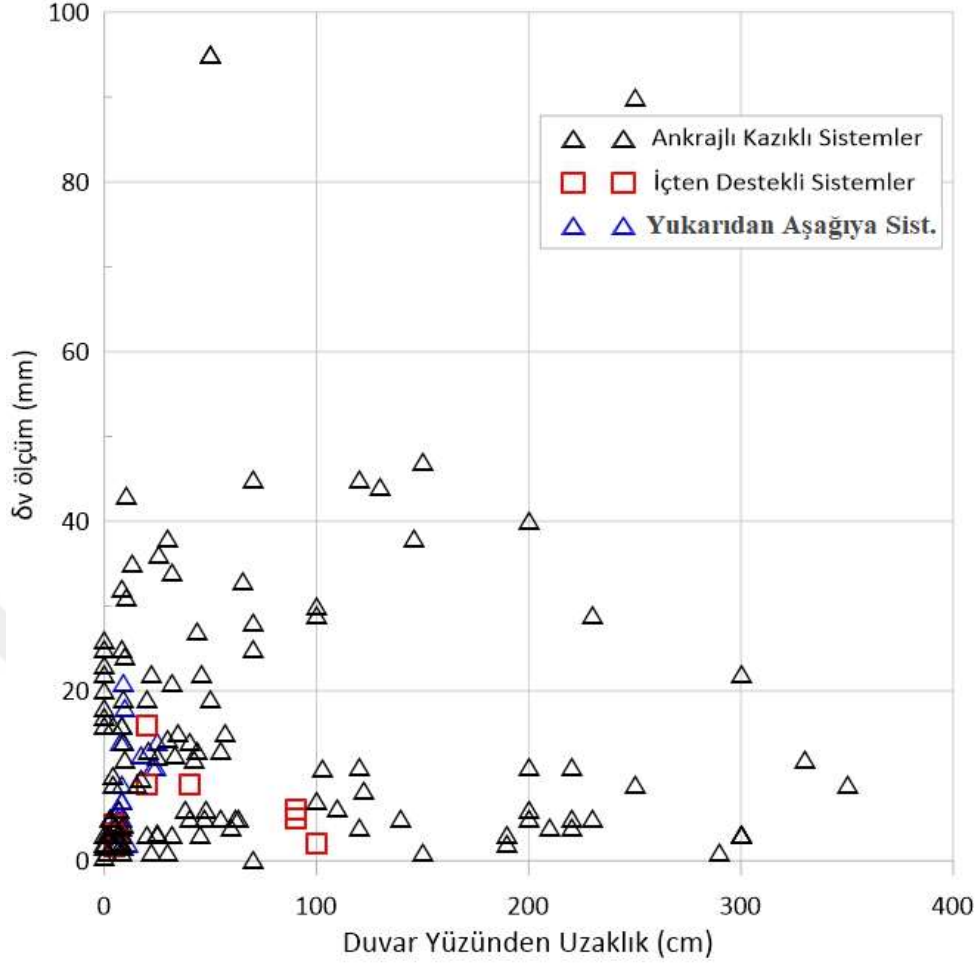
Şekil 4.65 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelere oranının kazı derinliğiyle değişimi

İncelenen tasarımlardan ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme değerlerine oranı ile kazı derinliğinin logaritmik eksenindeki değişimi Şekil 4.66' da gösterilmektedir. Ankranlı kazıklı sistemlerden ölçülen ve analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelerin birbirine oranının, diğer destek sistemlerinde elde edilenlerden daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. İncelenen tasarımların önemli bir kısmında ölçülen zemin yüzeyi oturmaları çok küçük değerler almıştır. İncelenen içten destekli sistemler ile yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen ve analizlerden elde edilen zemin yüzeyi oturması değerlerinin birbirine oranı ankranlı kazıklı sistemlerden hesaplanandan daha düşük değerler almaktadır.



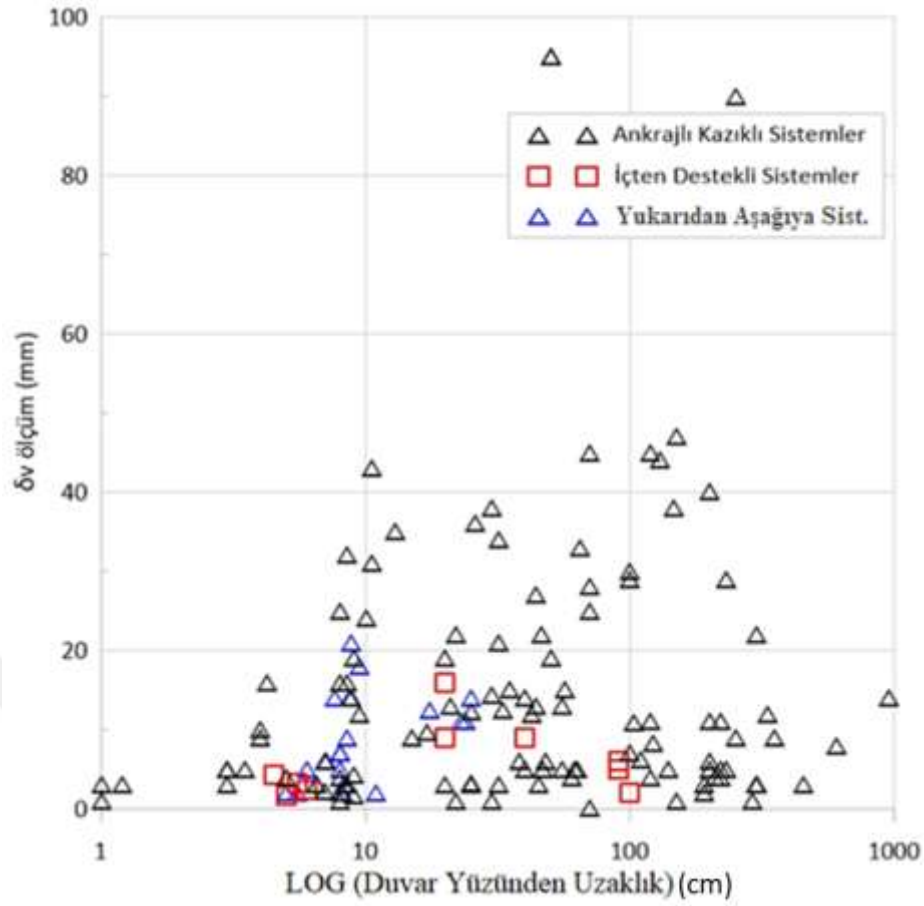
Şekil 4.66 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelere oranının kazı derinliğinin logaritmasıyla değişimi

Şekil 4.67' de ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin duvar yüzüne olan mesafeyle değişimi yer almaktadır. İçten destekli sistemlerde ve yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen düşey yer değiştirmelerin duvar yüzüne yakın mesafelerde olduğu, ankrajlı kazıklı sistemlerde ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının ise daha yüksek değerlere ulaştığı ve duvar yüzünden daha uzak mesafelerde ölçüldüğü görülmektedir. Ankrajlı kazıklı sistemler ile içten destekli sistemlerde duvar yüzünden uzaklaştıkça ölçülen zemin yüzeyi oturması değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Wang vd. [20] tarafından yürütülen çalışmada, zemin koşullarının zayıf olduğu durumlarda ölçülen zemin yüzeyi oturması değerlerinin, Mana ve Clough [6] ile Peck [3] tarafından belirtilen limit değerlerden daha düşük olmasını, kazı açıklığının kısa olması, hızlı inşaat teknikleri, destek elemanlarının hemen yerleştirilmesi, sistem rijitliği ve düzenli saha ölçümleriyle açıklamaktadır. İncelenen kesitler arasında ölçülen düşük zemin yüzeyi oturmalarının benzer faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



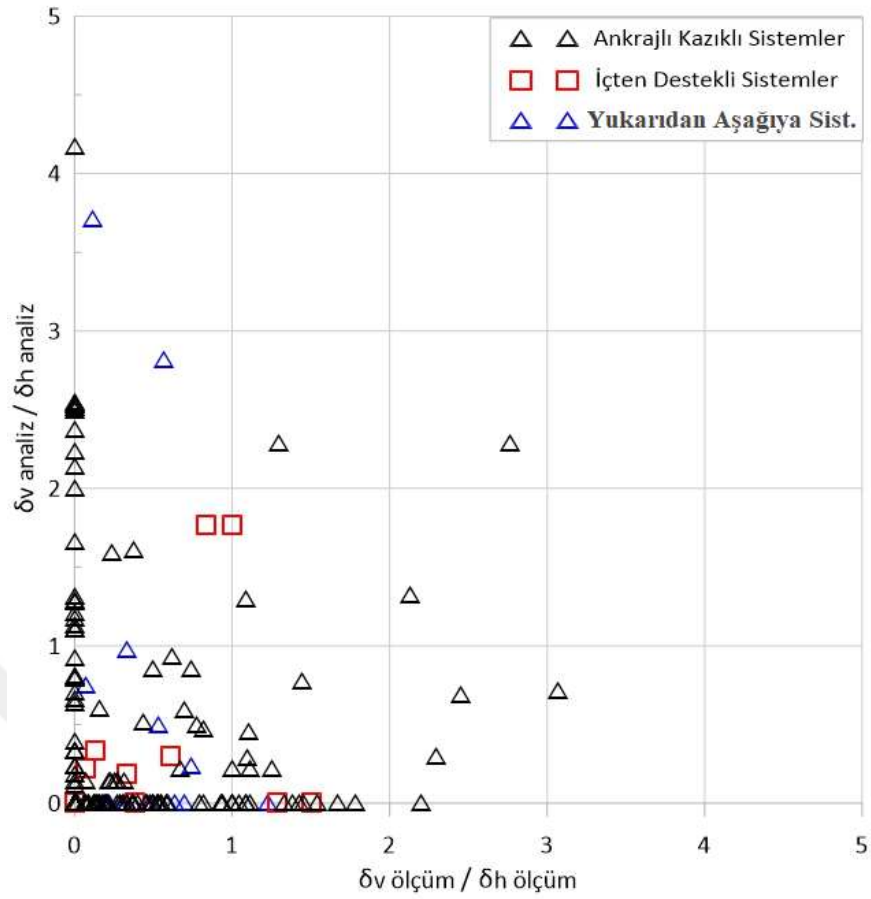
Şekil 4.67 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin duvar yüzüne olan mesafeyle değişimi

Şekil 4.68’ de ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin duvar yüzüne olan mesafenin logaritmasıyla değişimi yer almaktadır. İncelenen tasarımlarda, duvar arkasında ve duvar yüzüne farklı mesafelerde zemin yüzeyi oturmaları ölçülmüştür. Ankranlı kazıklı sistemlerde ölçülen düşey yer değiştirmelerin içten destekli sistemler ile yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen düşey yer değiştirmelerden daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Ankranlı kazıklı sistemler ile içten destekli sistemlerde duvar yüzünden uzaklaştıkça ölçülen zemin yüzeyi oturması değerleri azalma eğilimindedir. Zemin yüzeyi oturmasının yüksek değerler aldığı tasarımlarda inşaat süresince gözlenen ani su seviyesi değişimlerinin etkili olduğu düşünülmektedir.



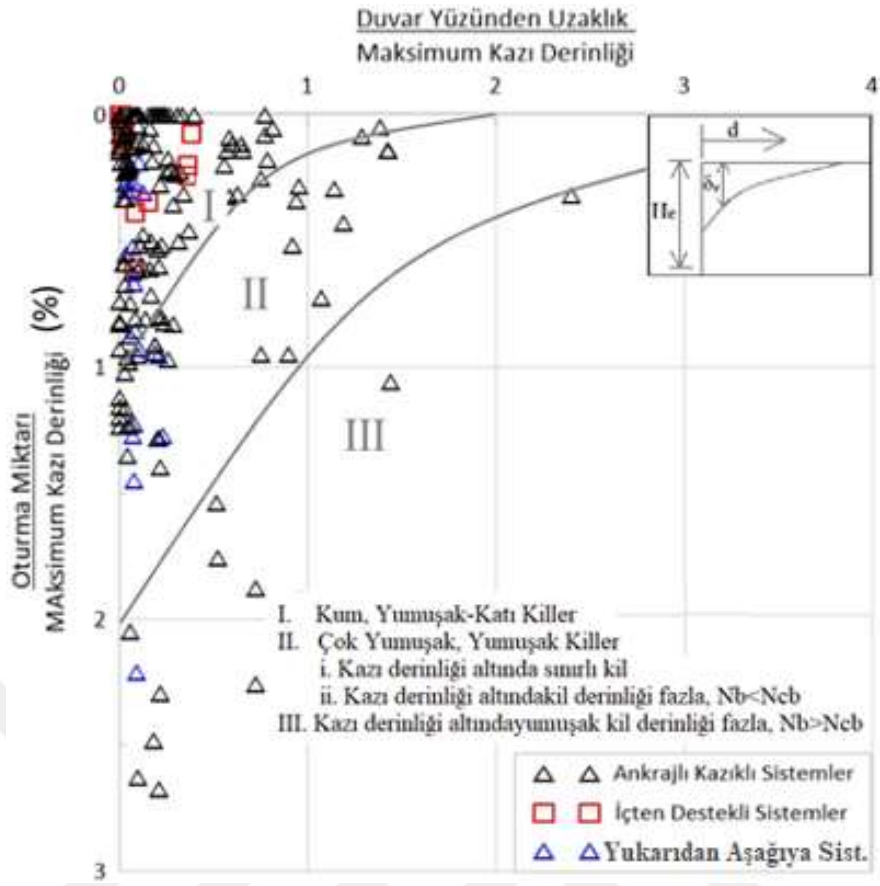
Şekil 4.68 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin duvar yüzüne olan mesafenin logaritmasıyla değişimi

Şekil 4.69’ da ölçülen düşey yer değiştirmelerin ölçülen yatay yer değiştirmelere oranıyla analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelere oranı arasındaki ilişki verilmektedir. İncelenen sistemlerin büyük kısmında ölçülen ve analizlerden elde edilen zemin yüzeyi oturmaları çok küçük değerler almaktadır. İncelenen her üç iksa tipinde ölçülen her iki yer değiştirme değeri arasındaki yüksek farklar tasarım yaklaşımları ile inşaat ve ölçüm tekniklerine bağlanmaktadır.



Şekil 4.69 Ölçülen düşey yer değiştirmelerin yatay yer değiştirmelere oranı ile analizlerden elde edilen düşey yer değiştirmelerin yatay yer değiştirmelere oranı arasındaki ilişki

İncelenen kesitlere ait ölçülen zemin yüzeyi oturması verileri, Peck [3] tarafından geliştirilen oturma diyagramı formunda Şekil 4.70' te verilmektedir. İncelenen sistemlerden ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının duvar yüzüne yakın mesafelerde ve I numaralı bölgede yoğunlaştığı görülmektedir. Yukarıdan aşağıya sistemler ile ankrajlı kazıklı sistemlerde ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının maksimum kazı derinliğinin sırasıyla 2.5 ve 3 katı mesafelerde ölçüldüğü görülmektedir. İncelenen tasarımlar arasındaki sınırlı sayıda ankrajlı kazıklı sistemlerde zemin yüzeyi oturmaları duvar yüzünden 3.He mesafelerine kadar ölçülmektedir. İçten destekli sistemlerde ise zemin yüzeyi oturmaları çok düşük mertebelerde ve duvar arkasında ölçülmektedir.



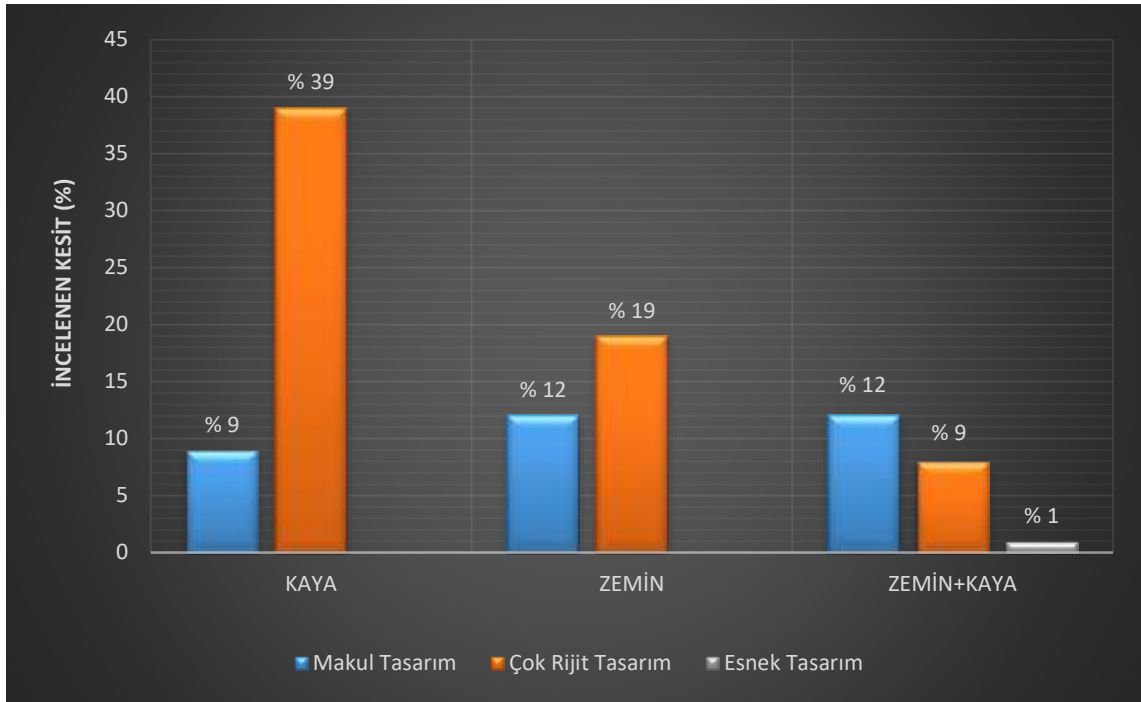
Şekil 4.70 İncelenen kesitlere ait verilerin Peck (1969) oturma diyagramında gösterimi

Bu bölümde incelenen tasarımlara ait ortalama yer değiştirme değerleri özet olarak Çizelge 4.4' te yer almaktadır. İncelenen derin kazı inşaatlarından içten destekli sistemlerde yatay yer değiştirmelerin, yukarıdan aşağıya sistemlerde ise zemin yüzeyi oturmalarının en düşük değerler aldığı görülmektedir. Ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmeler ve zemin yüzeyi oturmaları sırasıyla ankrajlı kazıklı sistemlerde ve yukarıdan aşağıya sistemlerde birbirine en yakın değerler almıştır. Kazı derinliğiyle normalize edilmiş yatay yer değiştirmeler ve zemin yüzeyi oturması değerleri ise içten destekli sistemlerde en düşük değerler almıştır. Literatür çalışmalarıyla da uyumlu olarak her üç destek sisteminde ölçülen yer değiştirmeler birbirine yakın değerler almaktadır.

Çizelge 4. 4 İncelenen derin kazı projelerine ait ortalama yer değıştirme verileri

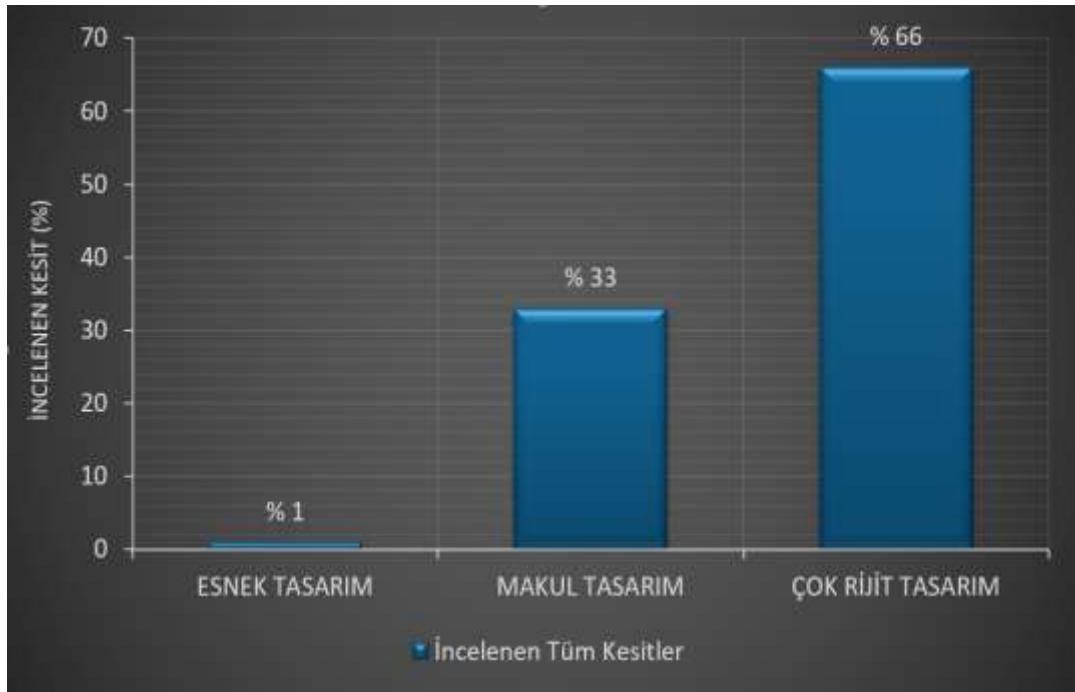
	δ_h ölçüm (mm)	δ_h analiz (mm)	δ_v ölçüm (mm)	δ_v analiz (mm)	δ_h/H (%)	δ_v/H (%)
Ankrajlı Kazıklı Sistemler	20,5	26,5	12,26	16,63	0,11	0,10
İçten Destekli Sistemler	15	31,4	28	41	0,05	0,04
Yukarıdan Aşağıya Sistemler	19,3	6,23	8,7	6,3	0,08	0,08

‘EN 1997-1 (Eurocode 7) Geoteknik Dizayn – Bölüm 1: Genel Kurallar’ [97] başlıklı standart ile sıkı zeminlerde yatay duvar hareketlerinin, duvar boyunun % 0.1’ i ile % 0.2’ si aralığında, gevşek zeminlerde ise yatay duvar hareketlerinin, duvar boyunun % 0.4’ü ile % 0.5’ i aralığında olması gerektiği belirtilmiştir. BS 8002-1994 sayılı ‘Zemin Dayanma Yapılarının Uygulanmasına Yönelik Standart’ (Code of Practice for Earth Retaining Structures) [98] ile zemin tipine bağlı olmaksızın yatay duvar hareketlerinin duvar boyunun % 0.5 ‘ inden ($\delta_h < \% 0.5 H_{\text{duvar}}$) düşük olması gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada yatay duvar hareketlerinin duvar boyunun % 0.1’ i ile % 0.5’ i aralığında ölçüldüğü tasarımlar ‘**Makul Tasarım**’, duvar boyunun % 0.5 ‘ inden yüksek olduğu tasarımlar ‘**Esnek Tasarım**’, duvar boyunun % 0.1’ inden küçük olduğu tasarımlar ise ‘**Çok Rijit Tasarım**’ olarak değerlendirilmiştir. Buna göre incelenen kazı kesitlerinin jeolojik ortamlara göre dağılımı Şekil 4.71’ de yer almaktadır. Kaya ve zemin ortamlarda inşa edilen tasarımlarda çok rijit tasarım oranı çok yüksektir. Zemin+kaya ortamlarda inşa edilen çok rijit tasarım oranı ise diğer ortamlarda inşa edilen çok rijit tasarımlardan düşüktür. Her üç ortamda inşa edilen makul tasarım oranları birbirine yakındır. İncelenen kazı kesitleri arasında ölçülen yer değıştirme değerlerinin, belirlenen limit değerin üzerinde ölçüldüğü tasarım oranı % 1’ dir (Şekil 4.72). Söz konusu tasarımlar zemin+kaya ortamlarda inşa edilmiştir.



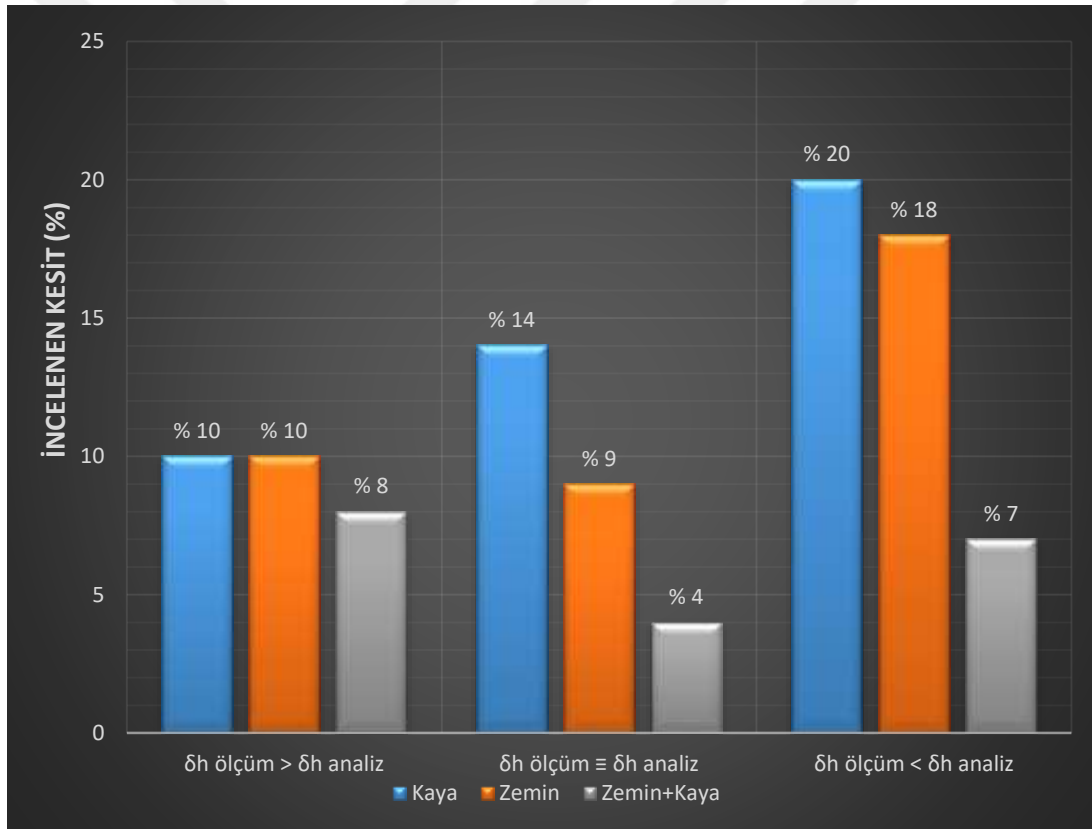
Şekil 4.71 Tasarım durumlarının oransal gösterimi

Şekil 4.47’ de incelenen tasarım durumlarının oransal gösterimi yapılmıştır. İncelenen tüm tasarımların % 66’ sının ‘Çok Rijit Tasarım’, % 33’ ünün ‘Makul Tasarım’, % 1’ inin ‘Esnek Tasarım’ olduğu görülmektedir.



Şekil 4.72 Tasarım durumlarının oransal gösterimi

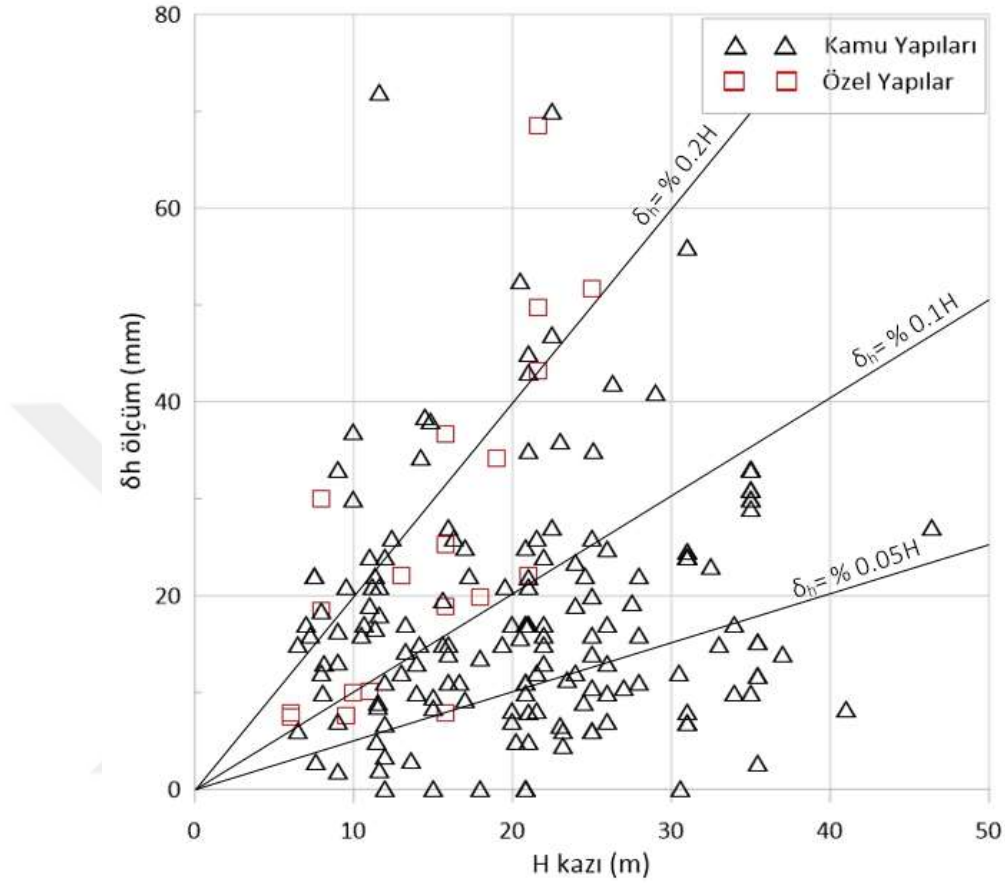
Farklı zemin ortamlarında inşa edilen tasarımlardan ölçülen ve analizlerden elde edilen yer değiştirme değerlerinin birbirine göre durumunun oransal dağılımları Şekil 4.73' te gösterilmektedir. İncelenen tasarımların % 28' inde ölçülen yatay yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelerden büyük olduğu görülmektedir. Bu durum derin kazıların sayısal modellerinde kullanılan tasarım parametrelerinin saha özelliklerini doğru yansıtamamasına bağlanmaktadır. Ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelerin birbirine çok yakın ya da eşit olduğu tasarım oranı % 27' dir. Bu tasarımlar yatay yer değiştirmeler açısından başarılı tasarımlardır. Analizlerden elde edilen yer değiştirmelerin ölçülen yer değiştirmelerden yüksek olduğu tasarım oranı % 45' tir. Bu tasarımların analizlerinde kullanılan parametrelerin muhafazakar alanda kalınarak seçildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.73 Ölçülen ve analizlerden elde edilen maksimum yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine göre durumlarının oransal gösterimi

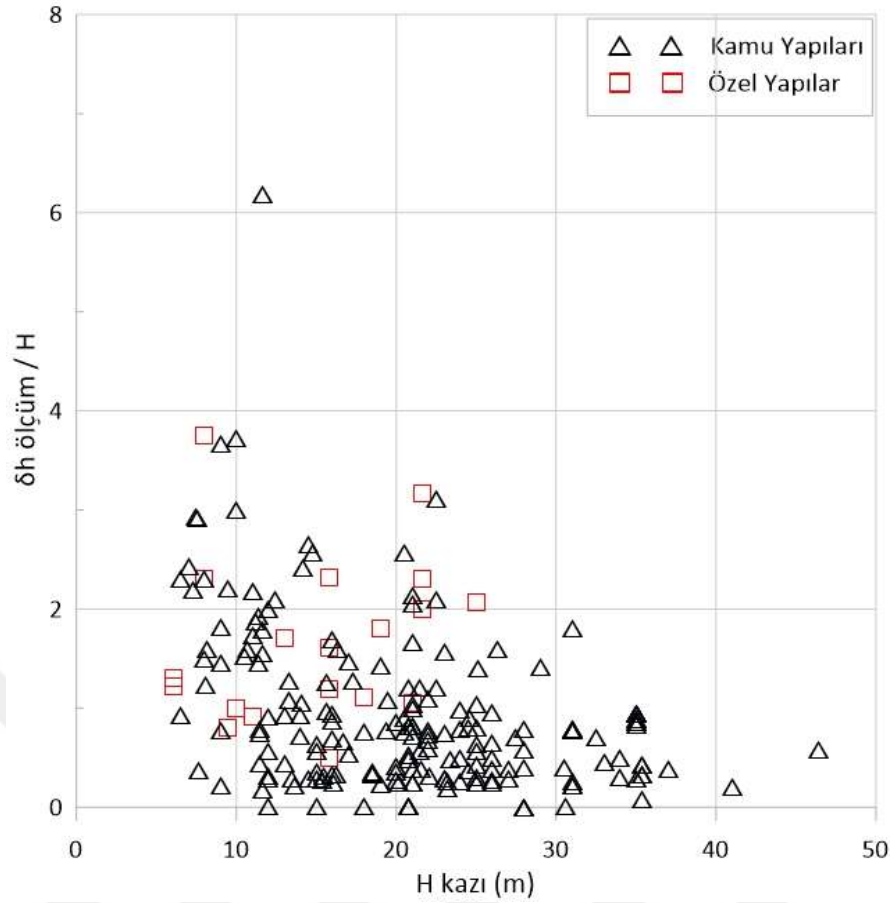
İlgili yatırım alanına göre incelenen derin kazılara ait ölçülen yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğine bağlı değişimi Şekil 4.74' te verilmektedir. Hem kamusal hem de özel yatırımların derin kazılarından ölçülen yatay yer değiştirme değerleri geniş aralıkta dağılım göstermiştir. Yatırım sektörüne göre sınıflandırıldığında ölçülen yer değiştirme

değerleriyle kazı derinliği arasında belirgin bir ilişkiye rastlanmamıştır. İncelenen kamusal ve özel yatırımlara ait derin kazılarda ölçülen yatay değişirme büyüklükleri arasında belirgin bir farklılık görülmemektedir.



Şekil 4.74 Ölçülen ve analizlerden elde edilen maksimum yatay yer değiştirme değerlerinin birbirine göre durumlarının oransal gösterimi

Şekil 4.75' te normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğine bağlı değişimi yer almaktadır. Her iki yatırım sektörüne ait yapıların derin kazılarında, artan kazı derinliğiyle ölçülen normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin azaldığı görülmektedir. Normalize edilmiş yatay yer değiştirme büyüklükleri arasında kamusal ve özel yatırıma ait derin kazılar arasında herhangi bir farklılığa rastlanmamıştır.



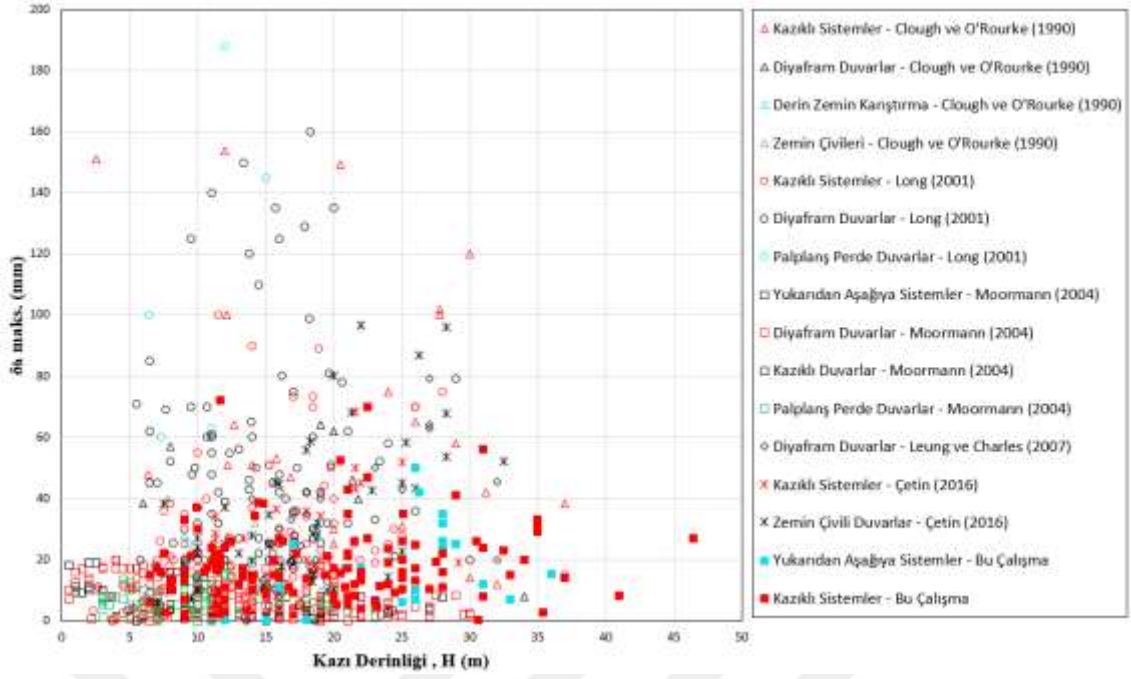
Şekil 4.75 Normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğine bağlı değişimi

4.3. Verilerin Literatür Çalışmalarıyla Değerlendirilmesi

Bu çalışmada incelenen Yukarıdan Aşağıya ve Kazıklı Sistemlere ait yer değiştirme verileri ile Clough ve O'Rourke [10] tarafından incelenen Derin Zemin Karıştırma, Zemin Çivileri, Diyafram Duvarlar ve Kazıklı Sistemlere ait yer değiştirme verileri, Long [14] tarafından incelenen Palplanş Perde Duvarlar, Diyafram Duvarlar ve Kasıklı Sistemlere ait yer değiştirme verileri ve Moormann [15] tarafından incelenen Yukarıdan Aşağıya Sistemler, Palplanş Perde Duvarlar, Diyafram Duvarlar ve Kazıklı Sistemler, Leung ve Charles [21] tarafından incelenen içten destekli sistemler ve Çetin [27] tarafından incelenen kazıklı sistemler ile zemin çivili duvarlara ait yer değiştirme verileri bir arada değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalarda kullanılan literatür çalışmalarından bir kısmında grafik ortamda yer alan yer değiştirme verilerinin sayısal değerleri grafikler üzerinden okunmuştur.

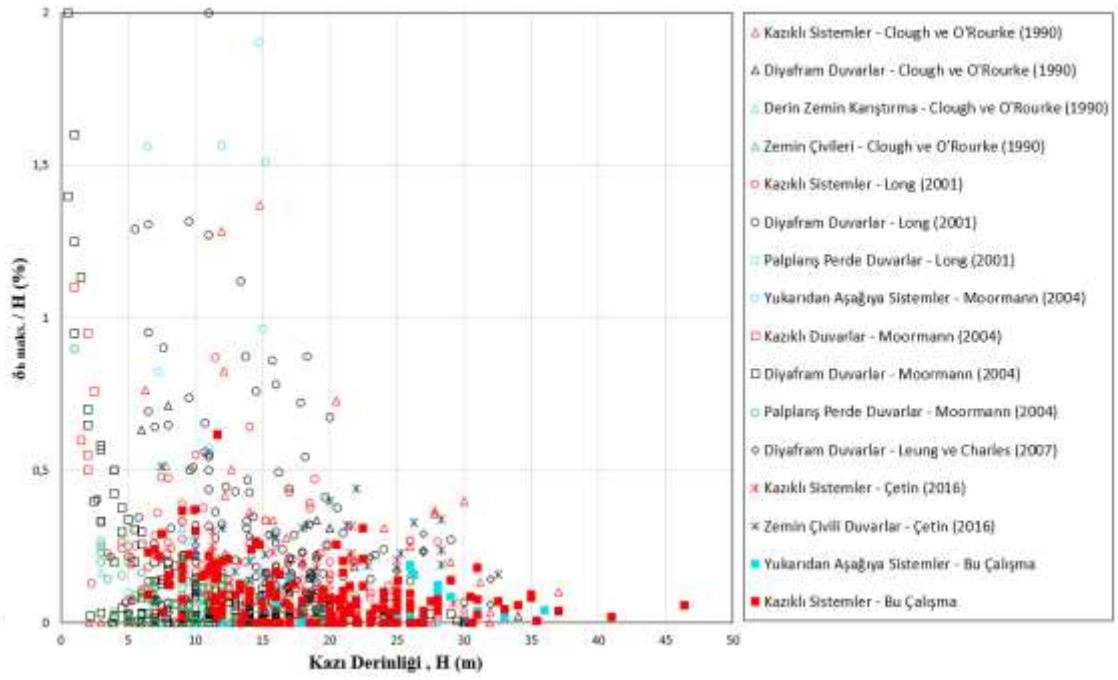
Clough ve O'Rourke [10], ölçülen yatay yer değiştirmelerin farklı duvar tiplerine göre çok az farklar gösterdiğini ifade etmiştir. Hsieh ve Ou [12] derin kazılarda oluşan yatay yer değiştirmelerin zemin koşulları, kazı aşamaları, kazı genişliği ve destek rijitliği gibi

faktörlerden etkilendiğini, Clough ve O'Rourke [10] tarafından oluşturulan diyagramların yer hareketlerinin ön tahmininde kullanılabileceğini belirtmiştir. Moormann [15] ise yukarıdan aşağıya sistemlerde diğer kazı destekleme sistemlerinden daha düşük yer değiştirmelerin ölçüldüğünü, bu durumun duvar elemanlarının döşemeler ile desteklenmesinden ve kazı işleminden önce sistemin inşa edilmesinden kaynaklandığını belirtmiştir. İncelenen kazıklı sistemlerden ölçülen yatay yer değiştirmelerin yukarıdan aşağıya sistemlerden daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Literatür çalışmalarıyla birlikte değerlendirildiğinde incelenen yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen ortalama yatay yer değiştirme değerleri 17.6 mm iken Moormann [15] tarafından yürütülen çalışmada yer alan yukarıdan aşağıya sistemlerden ölçülen ortalama yatay yer değiştirme değerleri 3.6 mm mertebesindedir. Clough ve O'Rourke [10], Long [14], Moormann [15] ve Leung ve Charles [21] çalışmalarında yer alan diyafram duvarlara ait ortalama yer değiştirme değerleri sırasıyla 31 mm, 45 mm, 8 mm ve 37 mm' dir. İncelenen sistemler içerisinde yer alan kazıklı sistemlerde ölçülen ortalama yatay yer değiştirme değerleri 19.3 mm iken Clough ve O'Rourke [10], Long [14], Moormann [15] ve Çetin [27] tarafından incelenen kazıklı sistemlere ait ortalama yer değiştirme değerleri sırasıyla 58 mm, 24 mm, 6 mm ve 24 mm ve 26.6' dir. Long [14] tarafından incelenen palplanş perdelerin yatay yer değiştirmeler açısından en esnek davranan sistemler olduğu dikkat çekmektedir. Clough ve O'Rourke [10] kazı destekleme sistemleri arasında özellikle palplanş perde imalatı esnasında titreşimden kaynaklanan problemlerin oluştuğunu belirtmiş, çakma esnasında oluşan oturmalarla yararlanarak uygulanan titreşime bağlı olarak oluşan düşey gerilmeleri ifade eden bir diyagram geliştirmiştir. İncelenen kazıklı sistemlerde ölçülen yatay yer değiştirmelerin Çetin [27] tarafından incelenen kazıklı sistemlerde ölçülen yatay yer değiştirme değerlerine yakın mertebelerde olduğu göze çarpmaktadır. İncelenen sistemler içerisinde yukarıdan aşağıya ve kazıklı sistemlerde artan kazı derinliğiyle ölçülen yatay yer değiştirmelerin artış eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 4.76).



Şekil 4.76 Farklı duvar tiplerine göre ölçülen maksimum yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğiyle ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterim

Şekil 4.77' de kazı derinliğiyle normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin (δ_h/H), kazı derinliğiyle ilişkisi yer almaktadır. İncelenen sistemlerde ortalama δ_h/H değerleri % 0.07H ile % 0.10H arasında değerler alırken Moormann [15] tarafından yürütülen çalışmada % 0.10H-0.15H, Long [14] tarafından yürütülen çalışmada % 0.12H-0.20H, Clough ve O'Rourke [10] tarafından yürütülen çalışmada % 0.15H-0.50H arasında değerler almaktadır. İncelenen sistemler içerisinde kazıklı sistemler ile yukarıdan aşağıya sistemlerde artan kazı derinliğiyle δ_h/H değerlerinin azaldığı görülmektedir. Long [14], artan kazı derinliğiyle azalan yer değiştirmeleri tasarım, inşaat ve sistem hareketlerinin kontrolüne daha çok özen gösterilmesiyle açıklanmıştır. İncelenen yukarıdan aşağıya sistemler ile kazıklı duvarlarda hesaplanan normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin, yine aynı yerel zemin koşullarında inşa edilmiş çalışmaların incelendiği Çetin [27] tarafından sunulan, zemin çivili duvarlar ile kazıklı sistemlere ait ölçülen normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerden daha düşük mertebelerde olduğu görülmektedir. Bu ilişki diğer literatür çalışmalarıyla kıyaslandığında da benzer bir durum söz konusudur.

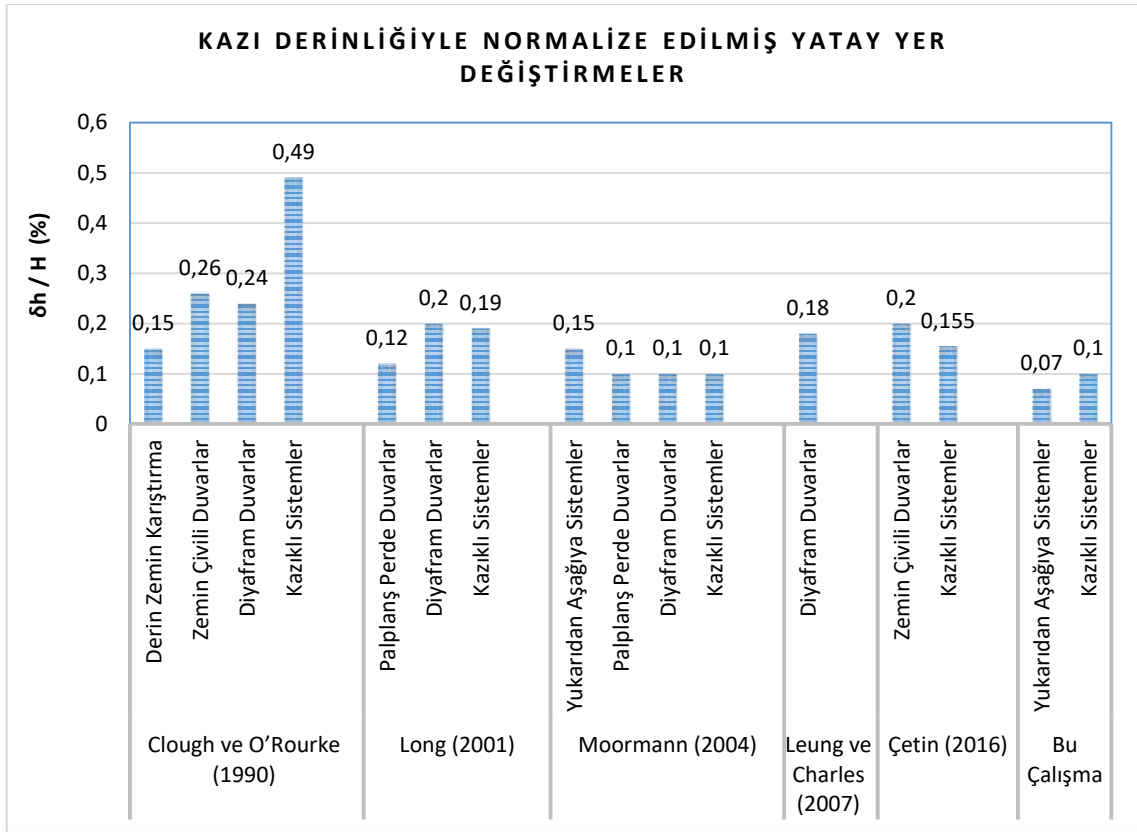


Şekil 4.77 Farklı duvar tiplerine göre ölçülen normalize edilmiş maksimum yatay yer değiştirmelerin kazı derinliğiyle ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterim

Şekil 4.78' de, incelenen destek sistemlerinden elde edilen kazı derinliğiyle normalize edilmiş ortalama yatay yer değiştirme değerleri, literatür çalışmalarıyla beraber özet olarak gösterilmiştir. Clough ve O'Rourke [10] tarafından incelenen sistemlerde ölçülen normalize edilmiş yatay yer değiştirmeler, diğer literatür çalışmaları ile bu çalışmada incelenen destek sistemlerinde ölçülen normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerden daha yüksek değerler almıştır. Clough ve O'Rourke [10] ile incelenen kazıklı sistemlerde normalize edilmiş yatay yer değiştirme değerleri en yüksek mertebelerdedir. Bu çalışmada incelenen destek sistemlerinden ölçülen, kazı derinliğiyle normalize edilmiş yer değiştirme değerleri ise literatür çalışmalarından daha düşük değerler almıştır. İncelenen derin kazı inşaatlarından yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen ortalama normalize edilmiş yatay yer değiştirmeler ise en düşük değerler almıştır. Çizelge 4.5' te incelenen sistemlere ait yatay yer değiştirme değerleri özet olarak verilmiştir.

Çizelge 4.5 Duvar tiplerine göre incelenen vakalar ile literatür çalışmalarına ait özet yatay yer değiştirme verileri

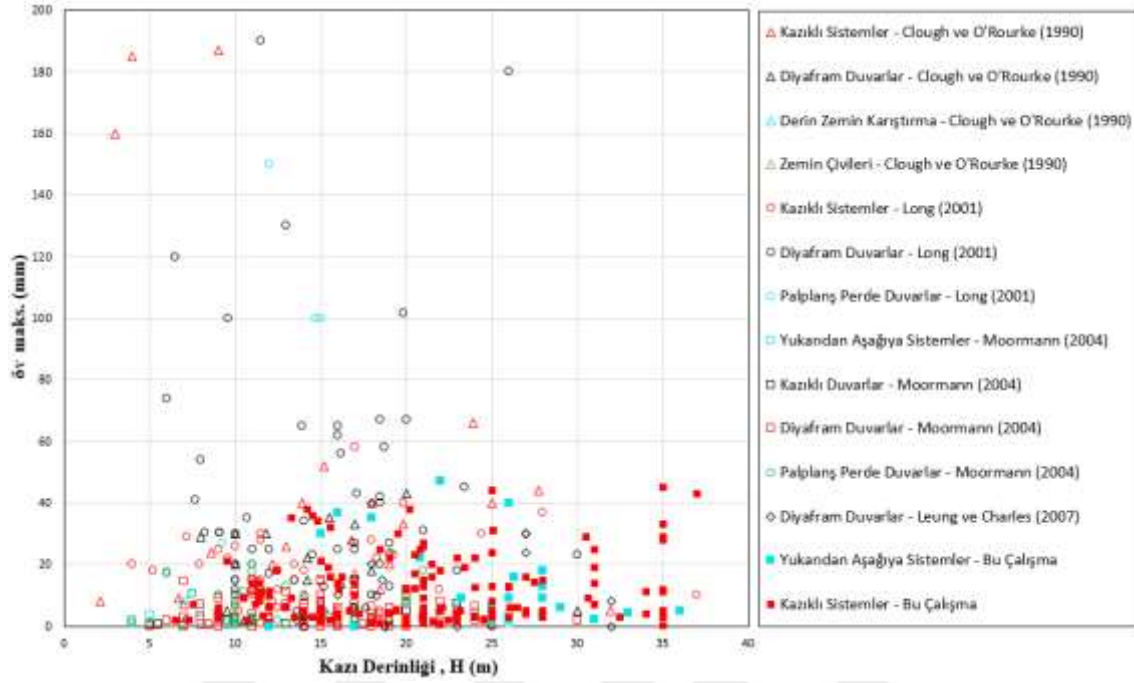
Çalışma	Duvar Tipi	δ_h ölçüm (mm)			δ_h ölçüm / H (%)		
		min.	ort.	maks.	min.	ort.	maks.
Clough ve O'Rourke (1990)	Derin Zemin Karıştırma	3	17,3	32	0,03	0,15	0,31
	Zemin Çivili Duvarlar	5	26,25	40	0,08	0,26	0,51
	Diyafram Duvarlar	4	31	64	0,02	0,24	0,71
	Kazıklı Sistemler	5	57,6	203	0,04	0,49	0,60
Long (2001)	Palplanş Perde Duvarlar	5	121	330	0,01	0,12	0,50
	Diyafram Duvarlar	3	45,2	220	0,01	0,20	0,30
	Kazıklı Sistemler	20	23,5	100	0,02	0,19	0,87
Moormann (2004)	Yukarıdan Aşağıya Sistemler	3	3,63	4,5	0,12	0,15	0,20
	Palplanş Perde Duvarlar	0,1	7,6	19	0,01	0,10	0,50
	Diyafram Duvarlar	0	8,2	330	0,01	0,10	0,20
	Kazıklı Sistemler	0,1	5,55	19	0,01	0,10	0,20
Leung ve Charles (2007)	Diyafram Duvarlar	15	37,4	79	0,06	0,18	0,22
Çetin (2016)	Zemin Çivili Duvarlar	5,6	34,7	96,8	0,05	0,20	0,51
	Kazıklı Sistemler	4	26,6	68	0,026	0,155	0,32
Bu Çalışma	Yukarıdan Aşağıya Sistemler	0,1	17,6	50	0,06	0,07	0,19
	Kazıklı Sistemler	0,1	19,3	72	0,03	0,10	0,62



Şekil 4.78 Kazı derinliğiyle normalize edilmiş yatay yer değıştirmelerin literatür verileriyle birlikte özet gösterimi

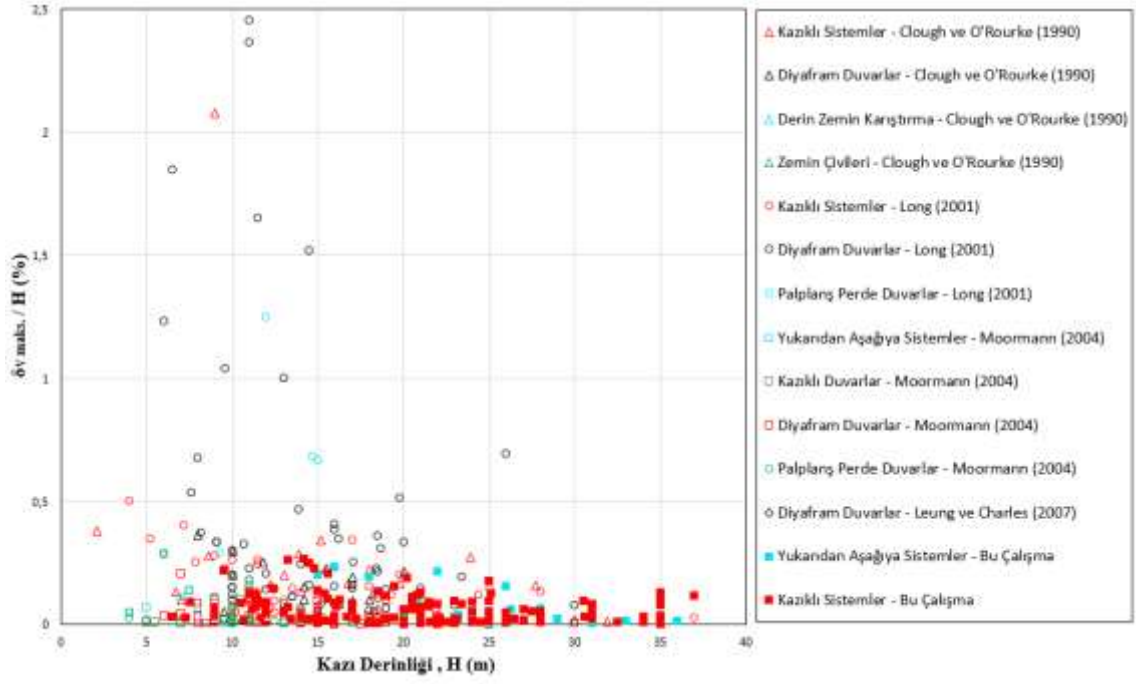
İncelenen sistemlerde ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının kazı derinliğiyle değışimi Şekil 4.79' da yer almaktadır. Yukarıdan aşağıya sistemlerde ve kazıklı duvarlarda ölçülen ortalama zemin yüzeyi oturmaları sırasıyla 8.7 mm ve 11.7 mm 'dir. İncelenen sistemler içerisinde yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen zemin yüzeyi oturmaları diğer sistemlerde ölçülen değerdelerden düşüktür. Long [14] incelediği sistemler içerisinde ölçülen düşey yer değıştirmelerin birbirine çok yakın olduğunu ancak bazı yukarıdan aşağıya sistemlerin daha düşük performans göstermesinin diğer sistemlerde söz konusu olmayan termal büzölme etkisinden kaynaklandığını belirtmiştir. Moormann [15] ile elde edilen ortalama zemin yüzeyi oturmaları 3-4 mm mertebelerinde iken Long [14], Clough ve O'Rourke [10] ve Leung ve Charles [27] tarafından yürütölün çalışmalarda yer alan zemin yüzeyi oturmaları sırasıyla 17-94 mm, 20-44 mm ve 15 mm mertebelerindedir. Literatür çalışmalarına benzer şekilde incelenen vakaların önemli bir kısmında ölçülen zemin yüzeyi oturmaları, ölçölün yatay yer değıştirmelerden düşüktür. Mana ve Clough [5] incelediği derin kazılarda zemin yüzeyi oturmaları ile yatay yer değıştirmeler arasındaki oranın 0.5 ile 1.0 arasında değıştiğini ifade etmiştir. Wang [20], incelediği

çalışmalarda yatay yer değiştirmelerden daha düşük oturmaların ölçülmesini duvar rijitliği, öngerilmeli destekler, kısa kazı alanı genişliği, hızlı inşaat teknikleri ve destek elemanı konfigürasyonuna bağlamıştır.



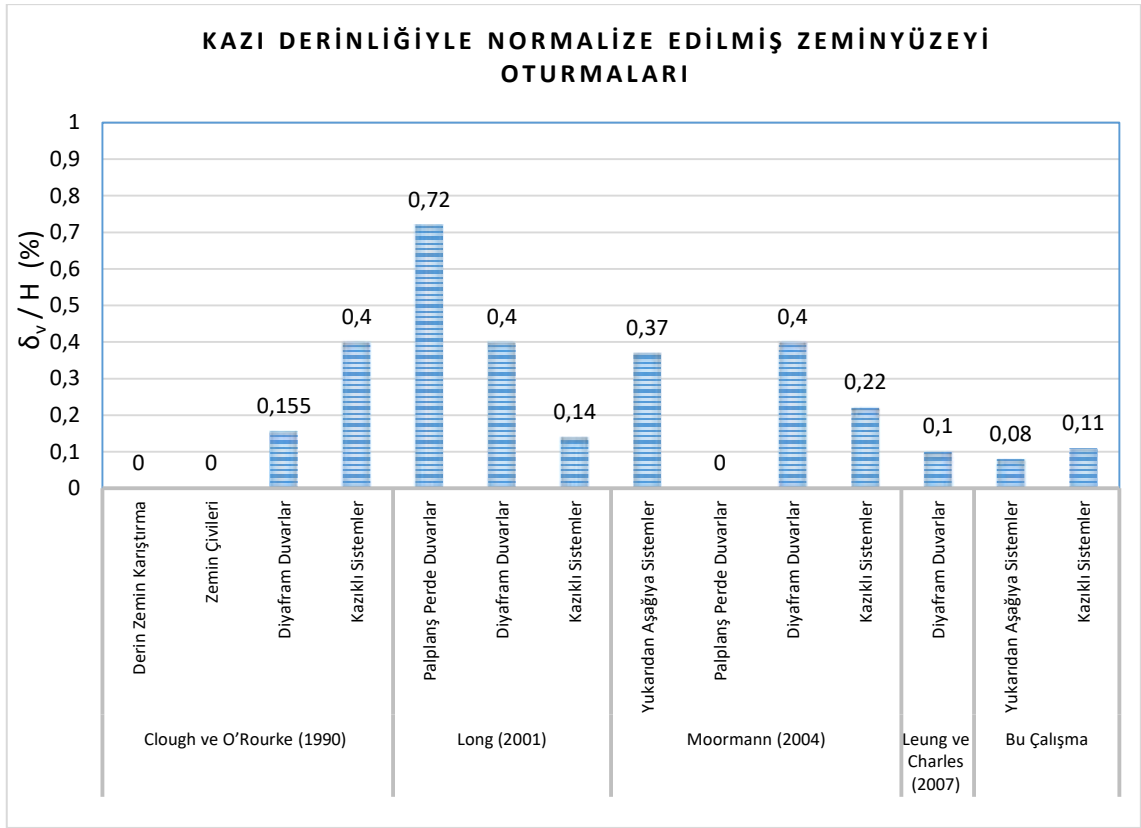
Şekil 4.79 Farklı duvar tiplerine göre ölçülen maksimum zemin yüzeyi oturmalarının kazı derinliğiyle ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterim

Şekil 4.80' de kazı derinliğine göre normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmalarının (δ_v/H) kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. Yukarıdan aşağıya sistemler ve kazıklı destekleme sistemlerinde ortalama δ_v/H değeri sırasıyla % 0.08 ve % 0.11' dir. Moormann [15] tarafından incelenen kazı destekleme sistemlerinde ortalama δ_v/H değeri % 0.2H - % 0.4H mertebelerinde iken Clough ve O'Rourke [10], Long [14] ve Leung ve Charles [27] çalışmalarında söz konusu değerler sırasıyla % 0.15H-%0.40H, % 0.15H-% 0.70H ve %0.10H mertebelerindedir. İncelenen yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen normalize edilmiş zemin yüzeyi oturması değerleri Moormann [15] ile incelenen yukarıda aşağıya sistemlerden elde edilen yer değiştirme değerlerinden düşüktür. İncelenen kazıklı sistemlerde ölçülen zemin yüzeyi oturmaları genel olarak literatür çalışmalarından elde edilen zemin yüzeyi oturmalarının altında değerler almaktadır.



Şekil 4.80 Farklı duvar tiplerine göre ölçülen normalize edilmiş maksimum zemin yüzeyi oturmalarının kazı derinliğiyle ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterim

Şekil 4.81' de, incelenen destek sistemlerinden elde edilen, kazı derinliğiyle normalize edilmiş ortalama zemin yüzeyi oturması değerleri, literatür çalışmalarıyla beraber özet olarak gösterilmiştir. Clough ve O'Rourke [10] ile incelenen kazıklı sistemlerde ölçülen normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmaları diğer çalışmalarda ve bu çalışmada incelenen kazıklı sistemlere ait ölçülen normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmaları değerlerinden yüksektir. Clough ve O'Rourke [10] tarafından incelenen diyafram duvarlara ait değerler ise Long [14] ve Moormann [15] ile incelenen diyafram duvarlara ait değerlerden daha düşüktür. Long [14] tarafından incelenen palplanş perdelerde ölçülen kazı derinliğiyle normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmaları en yüksek değerler almıştır. Long [14] ve Moormann [15] tarafından incelenen diyafram duvarlarda ölçülen normalize edilmiş zemin yüzeyi oturması değerleri birbirine eşit büyüklüklerdedir. Bu çalışma ile incelenen destek sistemlerinde ölçülen kazı derinliğiyle normalize edilmiş ortalama zemin yüzeyi oturması değerleri en düşük değerler almıştır. Duvar tiplerine göre, incelenen derin kazılar ile literatür çalışmalarına ait düşey yer değiştirme verileri özet olarak Çizelge 4.6' da yer almaktadır.



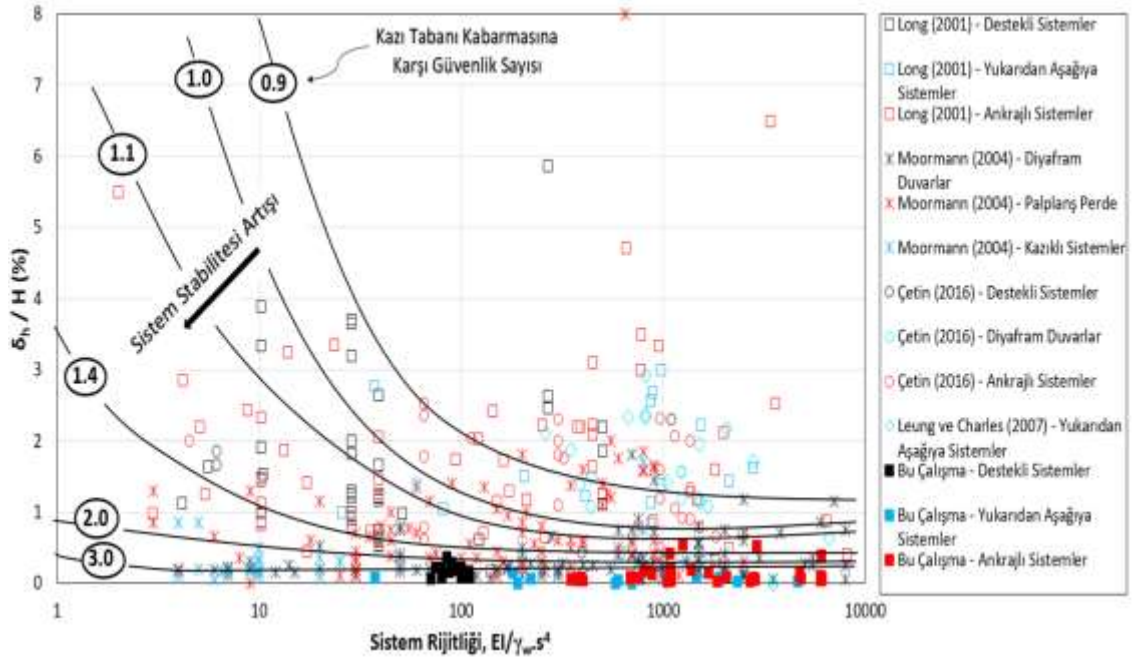
Şekil 4.81 Farklı duvar tiplerine göre ölçülen normalize edilmiş maksimum zemin yüzeyi oturmalarının kazı derinliğiyle ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterim

Çizelge 4. 6 Duvar tiplerine göre incelenen vakalar ile literatür çalışmalarına ait özet yer değiştirme verileri

Çalışma	Duvar Tipi	δ_v ölçüm (mm)			δ_v ölçüm / H (%)		
		min.	ort.	maks.	min.	ort.	maks.
Clough ve O'Rourke (1990)	Derin Zemin Karıştırma	-	-	-	-	-	-
	Zemin Çivileri	-	-	-	-	-	-
	Diyafram Duvarlar	2	20,5	43	0,02	0,155	0,36
	Kazıklı Sistemler	5	43,9	187	0,20	0,40	0,53
Long (2001)	Palplanş Perde Duvarlar	27	94,3	150	0,29	0,72	1,25
	Diyafram Duvarlar	1	51	270	0,10	0,40	2,5
	Kazıklı Sistemler	1,80	17	58	0,1	0,14	0,5
Moorman (2004)	Yukarıdan Aşağıya Sistemler	0,50	4,16	10,5	0	0,37	1,4
	Palplanş Perde Duvarlar	-	-	-	-	-	-
	Diyafram Duvarlar	0	4,44	100	0,02	0,40	0,72
	Kazıklı Sistemler	0,25	3,23	15	0,01	0,22	0,90
Leung ve Charles (2007)	Diyafram Duvarlar	2	14,7	40	0,15	0,10	0,30
Bu Çalışma	Yukarıdan Aşağıya Sistemler	22	8,7	48	0,01	0,08	0,6
	Kazıklı Sistemler	2	12,7	45	0,01	0,11	0,27

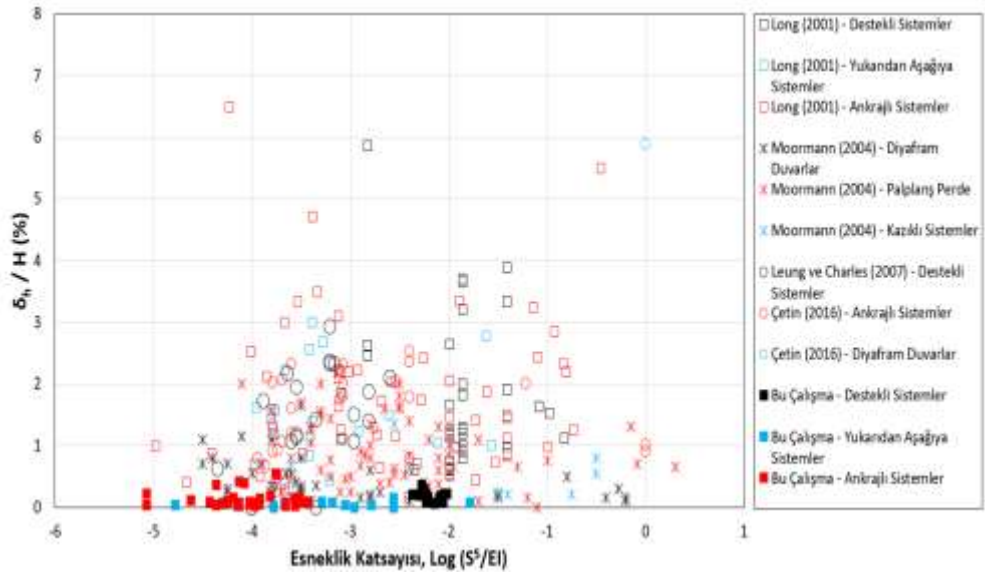
Şekil 4.82' de farklı iksa destek sistemlerine göre ölçülen normalize edilmiş maksimum yatay yer değiştirmelerin (δ_h/H) sistem rijitliğiyle ilişkisi literatür çalışmalarıyla birlikte gösterilmiştir. İncelenen sistemlerde sistem rijitliğinin artmasıyla normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerde önemli bir değişiklik görülmemektedir. İncelenen sistemlerde, sistem rijitliğinin farklı değerlerine karşılık ölçülen yatay yer değiştirmeler ise birbirine yakın değerler almıştır. Ankrajlı duvarlar, destekli ve yukarıdan aşağıya sistemlerde farklı sistem rijitliği değerlerine karşılık birbirine yakın normalize edilmiş yer değiştirmelerin ölçülmesi, sistem rijitliğinin yer değiştirmeler üzerinde sınırlı etkisinin olduğunu göstermektedir. Long [14] ile incelenen destekli, yukarıdan aşağıya ve ankrajlı sistemlerde artan sistem rijitliği ile δ_h/H değerleri azalmaktadır. Bryson ve Zapata-

Medina [99] ortalama güvenlik sayılarında, katı zeminlerde inşa edilen derin kazılarda ölçülen yatay yer değiştirmelerin duvar rijitliğinden bağımsız olduğunu belirtmiştir. Aynı çalışmada incelediği derin kazılarda eğilme rijitliğinin 1000 kat artmasına karşılık, yatay yer değiştirmelerin yalnızca % 0.18H' den % 0.10H' ye indiği belirtilmiştir. Sistem rijitliği ile yatay yer değiştirmeler arasında bir ilişki kurulamamasını zemin koşulları, gömme derinliği altındaki zemin tipi, yeraltı suyu, çevre yapılar, geometrik düzensizlikler, işçilik kalitesi, kazı alanında öngörülemeyen aktiviteler, zamana bağlı hareketler ve inşaat aşamalarına bağlamaktadır. Benzer bulgular Long [14] tarafından elde edilmiş, çalışmada pratik uygulamalarda derin kazılarda görülen yer değiştirmelerin sistem rijitliğinden bağımsız olduğu ifade edilmiştir. Bu durumun, sistemin gerekli minimum rijitlik değerini sağlaması durumunda hareketlerin istenilen sınırlarda tutulabilmesi gibi önemli pratik ve ekonomik sonuçları vardır. Yeterli sistem rijitliğinin olduğu durumlarda kazı alanındaki hareketler kazı tabanı kabarmasından etkilenmektedir. Özellikle rijit zeminlerde kemerlenme ya da kendi kendini destekleme etkisinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir [14]. Moormann [15] ile incelenen derin kazılara ait verilerin geniş bir dağılım gösterdiği çalışmada yeterli rijitlik değerinin üstündeki rijitlik artışlarının yer değiştirmelerin azalmasında bir etkisinin olmadığını, bu gibi durumlarda yer değiştirmelerin başka faktörler tarafından belirlendiğini ifade etmiştir. Clough ve O'Rourke [10] güvenlik sayısının 1.5' ten düşük olduğu durumlarda sistem hareketlerinin hızlı bir şekilde arttığını, yalnızca düşük güvenlik sayılarında diğer faktörlerin hareketler üzerinde çok etkili olduğunu ifade etmiştir. Çetin [16] tarafından İstanbul' da inşa edilen derin kazıların incelendiği çalışmada aynı rijitlik değerine sahip sistemlerde farklı yer değiştirme değerlerinin ölçülmesini kazı derinliği ya da soket boyu gibi parametrelere bağlamıştır. Clough ve Tsui [38] sistem rijitliğinin 32 kat artmasının ölçülen yatay yer değiştirmeleri ancak % 50 azalttığını belirtmiştir. Clough ve O'Rourke [10]' a göre ölçülen yatay yer değiştirmeler farklı duvar tiplerine göre çok az farklar göstermektedir. Güvenlik sayısının ve yatay yer değiştirmelerin çok küçük olduğu sistemlerde yer değiştirmelerin kazı alanı konfigürasyonu, inşaat tekniği ve zemin koşulları gibi faktörlerden etkilendiği ifade edilmiştir [10].



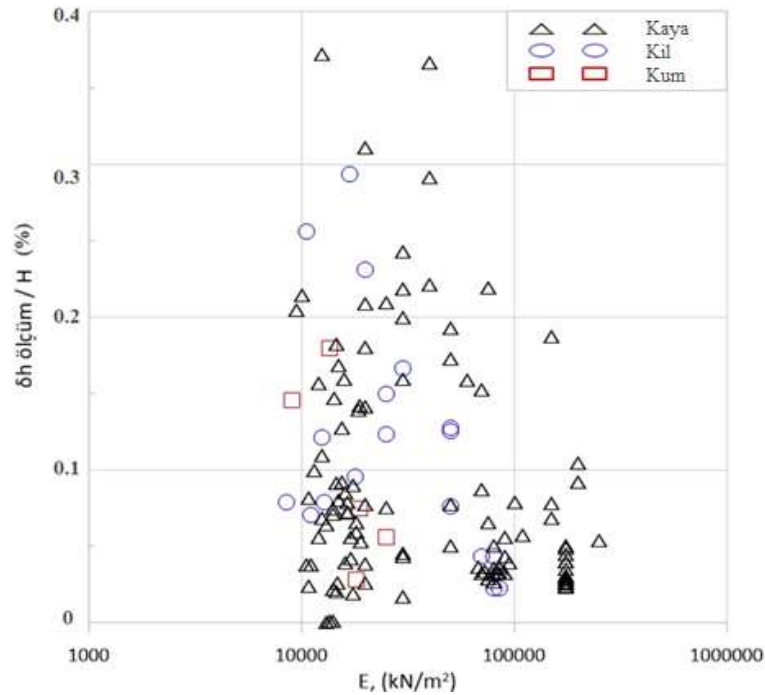
Şekil 4.82 Normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerinin sistem rijitliğiyle ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterimi

Şekil 4.83' te ölçülen normalize edilmiş maksimum zemin yüzeyi oturmalarının esneklik katsayısıyla ilişkisi literatür çalışmalarıyla birlikte gösterilmiştir. İncelenen derin kazılarda ölçülen δ_h/H değerleri, Long [14] ile incelenen destek sistemlerinden ölçülen δ_h/H değerlerinden düşüktür. İncelenen destekli sistemler, ankrajlı duvarlar ve yukarıdan aşağıya sistemlerde esneklik katsayısının değişen değerlerine karşılık ölçülen normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerde önemli bir değişikliğe rastlanmamaktadır. Long [14] ve Moormann [15] çalışmalarında elde edilen sonuçlara benzer şekilde incelenen sistemlerde ölçülen normalize edilmiş yatay yer değiştirmeler ile esneklik katsayısı arasında belirgin bir ilişkiye rastlanmamıştır.



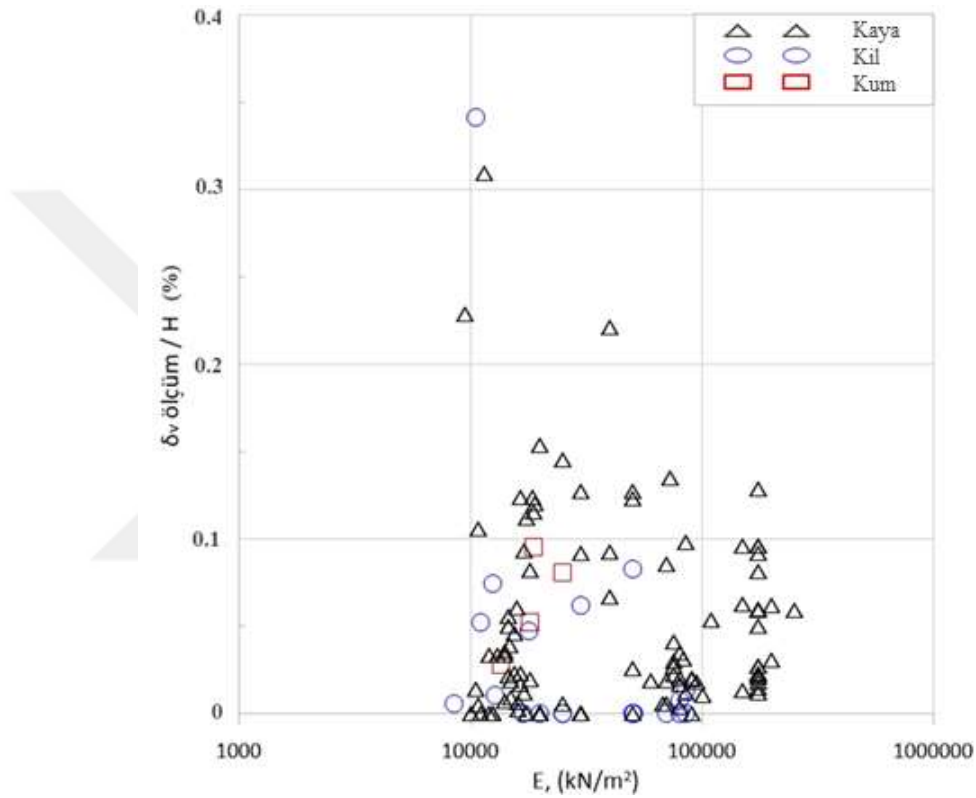
Şekil 4.83 Normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin esneklik katsayısıyla ilişkisi - Literatür çalışmalarıyla birlikte gösterimi

Şekil 4.84' te inşa edildiği ortama göre incelenen kesitlere ait ölçülen yatay yer değiştirmelerin ortam elastisitesiyle değişimi yer almaktadır. Kaya ve kil ortamlarda inşa edilen tasarımlardan ölçülen yatay yer değiştirmelerin, artan ortam elastisite modülüyle azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Kum ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ise artan ortam elastisite değerlerine karşılık normalize edilmiş yer değiştirme değerlerinde sabit bir değişim gözlenmektedir.



Şekil 4.84 İncelenen kesitlere ait normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerin jeolojik ortamın elastisite modülüyle ilişkisi

Şekil 4.85’ te normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmalarının ortam elastisitesiyle değişimi yer almaktadır. Kil ve kaya ortamlarda inşa edilen derin kazılarda normalize edilmiş yüzey oturmalarının artan kazı derinliğiyle azaldığı gözlenmektedir. Bazı vakalar ihmal edildiğinde, aynı ortam elastisitesi değerlerine karşılık kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ölçülen normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmalarının kil ve kum ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ölçülen normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmalarından daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.85 İncelenen kesitlere ait normalize edilmiş zemin yüzeyi oturmalarının jeolojik ortamın elastisite modülüyle ilişkisi

DERİN KAZI PROJELERİ VERİLERİ KULLANILARAK YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELEME

İncelenen derin kazı destekleme sistemlerine ait yer değiştirme verileri ve kazı özellikleri kullanılarak oluşturulmuş veritabanı yardımıyla bir bilgi işleme metodu olan Yapay Sinir Ağları (YSA) ile bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Bu tahmin modeli ile derin kazılarda oluşacak yer değiştirmelerin öngörülmesi hedeflenmektedir. Bu bölümde, geliştirilen YSA modelinin özellikleri tanıtılacak, modelin eğitiminde kullanılmayan 3 farklı derin kazı inşaatının farklı kazı aşamalarında oluşan yer değiştirmeler YSA modeli ile tahmin edilecektir. Tahmin edilen yer değiştirmeler ile sahada ölçülen yer değiştirmeler grafik ortamında sunulacaktır.

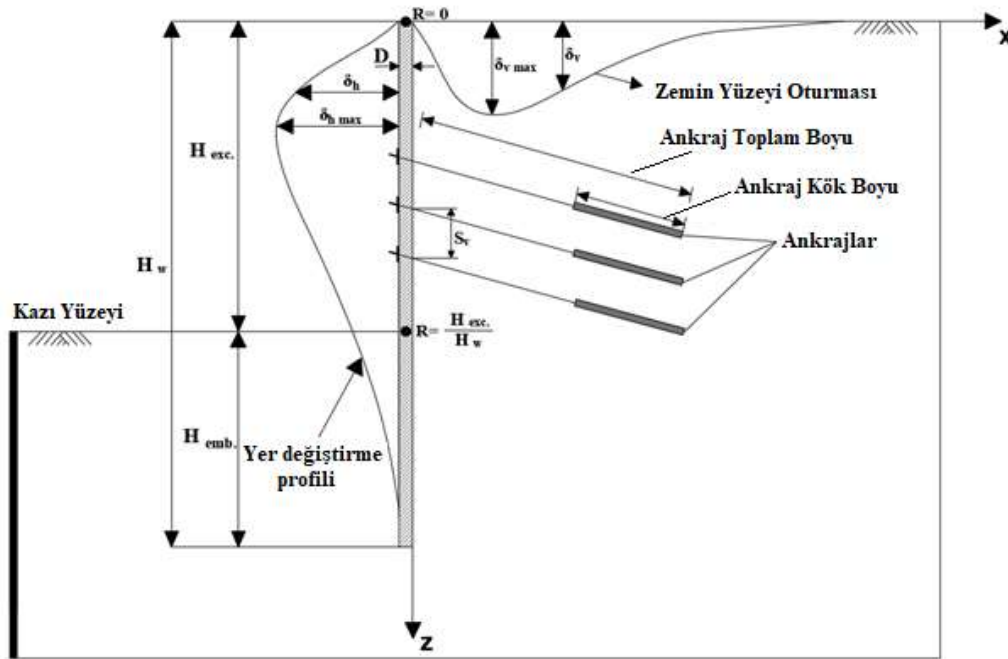
5.1. YSA Modeli Özellikleri

Eldeki derin kazı projelerine ait verilerin, tasarımı yapılacak bir derin kazı destekleme sistemine ışık tutabileceğini göstermek amacıyla bir YSA modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen YSA modeli ileri yönlü beslemeli, hatayı geriye doğru dağıtan tek gizli katmanlı bir ağ modelidir. Ağın eğitilmesi aşamasında, veritabanında bulunan derin kazılara ait kazı ve ölçüm bilgileri kullanılmıştır. Ağın eğitilmesinde sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır (Çizelge 3.1). İncelenen her bir derin kazı destekleme sistemi, geliştirilen YSA modeline tanıtılmadan önce, duvar yüksekliği boyunca düşey doğrultuda 19 düğüm noktası (i) aracılığıyla 18 eşit parçaya bölünmüştür. Tanımlanan her bir düğüm noktası, yer değiştirme değeri tahmin edilecek noktanın duvar boyunca yer aldığı yüksekliği temsil etmektedir (Şekil 5.1). Duvar yüksekliği boyunca $i=0$ ile $i=19$ düğüm noktalarından elde edilen yer değiştirme değerleri düşey yönde birleştirilerek yer

değiştirme profili oluşturulmaktadır. Duvar yüksekliği boyunca her bir düğüm noktasına ait yükseklik indisi

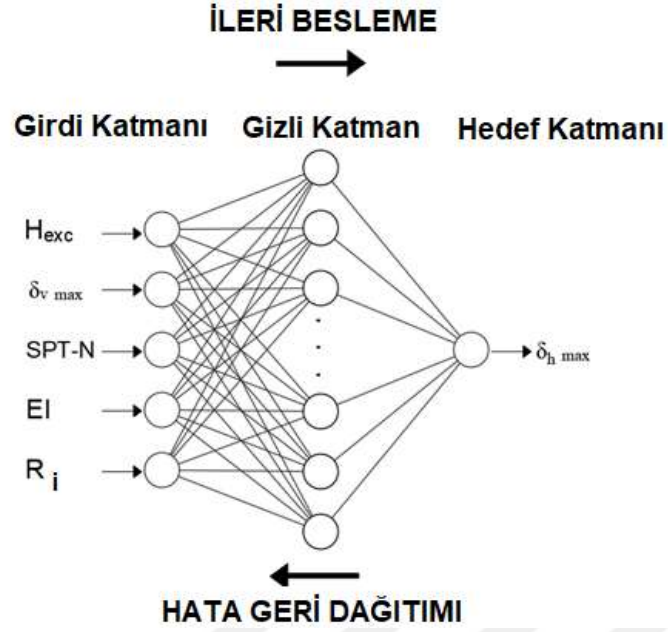
$$R_i = \frac{H_{kazi}}{H_{duv.}} \quad (5.1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.



Şekil 5.1 İncelenen bir kazı kesitine ait şematik gösterim

Şekil 5.2' de, geliştirilen YSA modelinin şematik görüntüsü yer almaktadır. Model; girdi katmanı (input layer), 30 adet nörondan oluşan gizli katman (hidden layer) ile çıktı katmanından (output layer) oluşmaktadır. Geliştirilen modelde girdi katmanını kazı yüzeyinde ve çevresinde görülen yer değiştirmelere etki eden; kazı derinliği, ölçülen maksimum düşey yer değiştirme, ilgili derinlikteki zemin SPT-N değeri, sistem rijitliği ve düğüm noktası yükseklik indisi (R_i) parametreleri oluşturmaktadır. Hedef katmanını ise ölçülen maksimum yatay yer değiştirme değeri oluşturmaktadır.

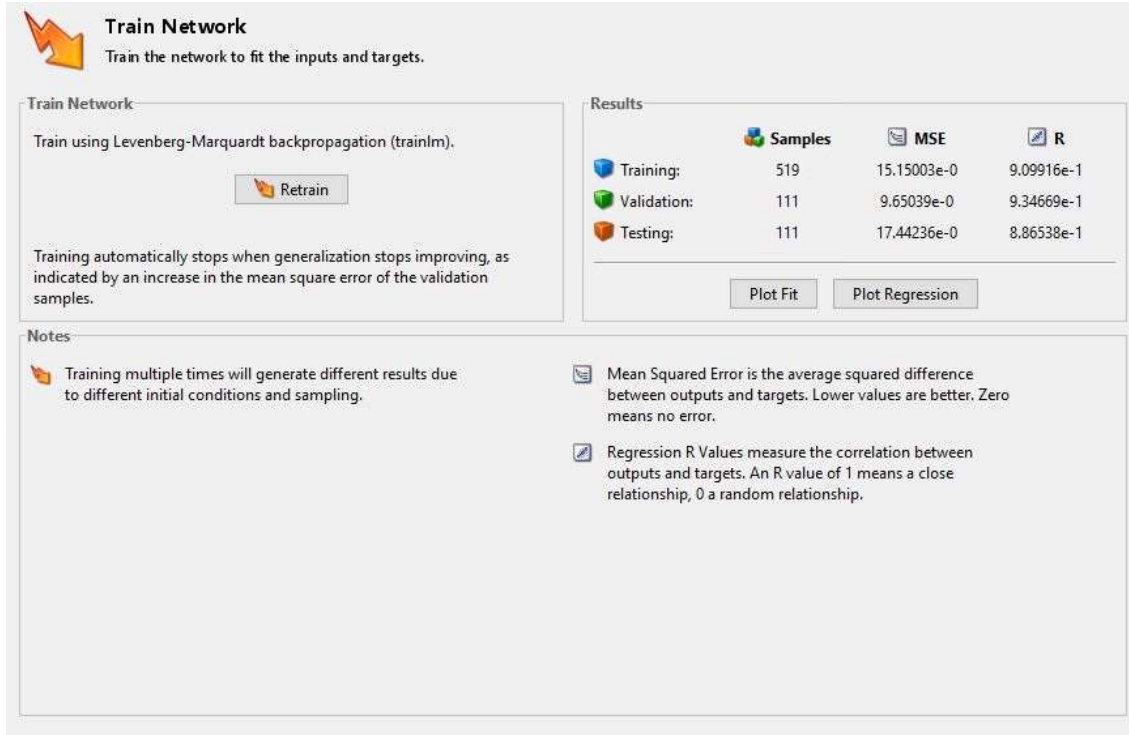


Şekil 5.2 Yapay sinir ağı modelinin şematik gösterimi

Model analizleri eğitim (training), doğrulama (validation) ve test etme (testing) aşamalarından oluşmaktadır. Her bir aşamada kullanılacak veri yüzdesi belirlendikten sonra analizler gerçekleştirilmiştir. Eğitim aşamasında Matlab yazılım programının 'Neural Network Toolbox' modülünde tanımlı '**Levenberg-Marquardt**' eğitim algoritması kullanılmıştır. Levenberg-Marquardt algoritması, YSA modellerinin eğitilmesinde kullanılan öğrenme hızı yüksek bir algoritmadır. Geliştirilen modelin, doğruluk oranı yüksek sonuçlar verebilmesine olanak sağlayan eğitim aşaması tekrarlanabilmekte, böylelikle hata oranı minimize edilmiş bir model elde edilebilmektedir. Eğitim aşaması sonunda, her bir aşamada kullanılan veri sayısı, hata karelerinin ortalaması (MSE) değeri, hedeflenen (targeted) ve elde edilen (output) değerler arasındaki farkı gösteren korelasyon faktörü (R) verilmektedir.

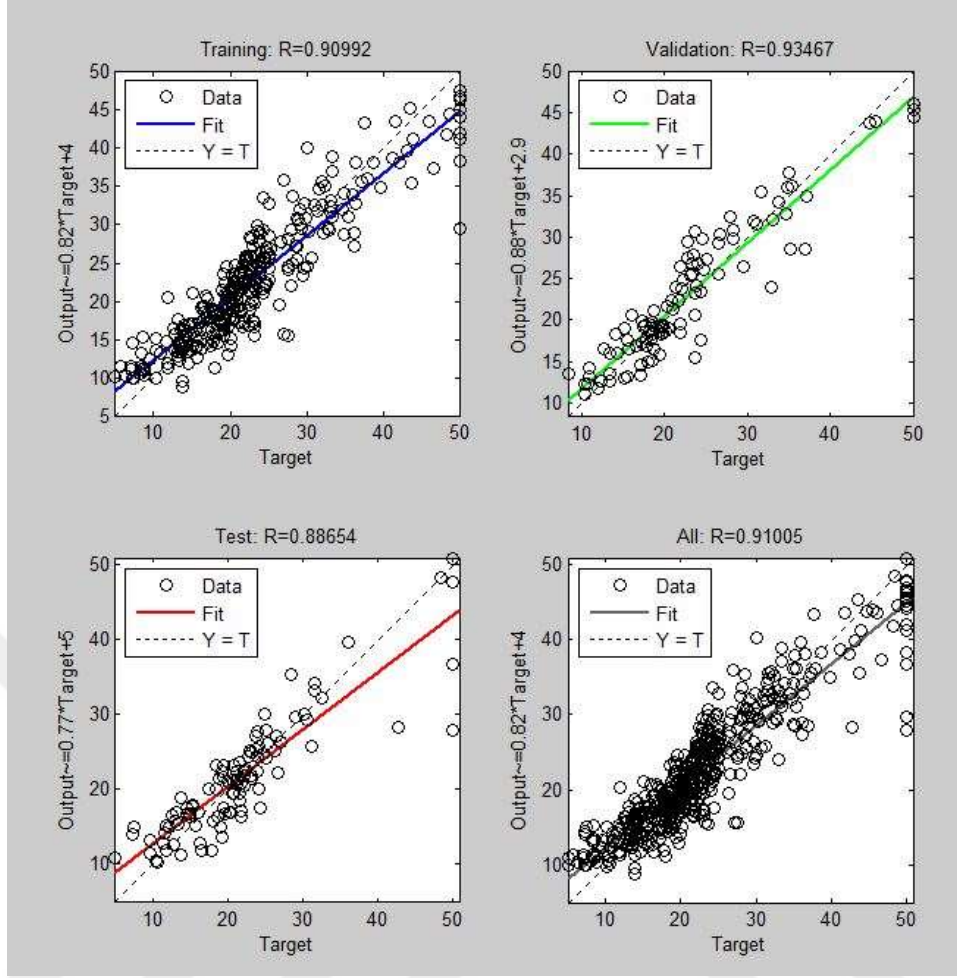
İncelenen derin kazı destekleme sistemlerine ait veriler, geliştirilen YSA modelinde eğitim, doğrulama ve test aşaması olmak üzere 3 farklı aşamada kullanılmıştır. Verilerin % 70' i ağın eğitilmesi amacıyla kullanılmış hedeflenen ve çıktı değerleri arasında korelasyon faktörü $R = 0.9099$ olarak elde edilmiştir. Bu değer, modelin eğitim aşamasında başarılı bir performans sergilediğini göstermektedir. Doğrulama aşamasında, eldeki tüm verilerin % 15' i kullanılmış $R = 0.9347$ gibi bir korelasyon faktörü değerine ulaşılmıştır. Test aşamasında kullanılan veri, tüm verilerin % 15' ine karşılık gelmektedir. Bu aşamada korelasyon değeri $R = 0.88654$ olarak elde edilmiştir. Her üç

aşamada elde edilen başarı performansı ve kullanılan veri yüzdesiyle beraber ağın toplam performansını temsil eden korelasyon faktörü $R = 0.91005$ olarak elde edilmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Yapay sinir ağı analiz ekranı

Eğitim aşamasında kullanılan veri sayısı tüm verilerin % 70' i, doğrulama ve test aşamalarında kullanılan veri sayıları ise tüm verilerin % 15' i kadardır. Eğitim aşamasında 519 veri, doğrulama aşamasında 111 veri, test aşamasında 111 veri kullanılmıştır. Modelin hedeflenen parametresi ölçülen maksimum yatay yer değiştirmedir. Test edilen verilerin %32' sinde minimum hata değeri olarak 0.5153 mm hata elde edilmiştir. Maksimum hata miktarı 23.38 mm olarak bir veride elde edilmiştir. Toplam 741 adet veriyle analizleri gerçekleştirilen YSA modelinin test aşamasında hesaplanan korelasyon değeri $R = 0.88654$ ' tür (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Hedeflenen ve elde edilen değerlerden oluşan eğriler

5.2. YSA Modelinin Denenmesi

YSA modeli oluşturulup test edildikten sonra ağın eğitimi aşamasında kullanılmamış 44 adet veri ile modelin performansı test edilmiştir. 44 adet veriye ait hedeflenen ve tahmin edilen değerler Çizelge 5.1' de gösterilmektedir.

Çizelge 5. 1 YSA modelinden elde edilen hedeflenen ve tahmin edilen değerler

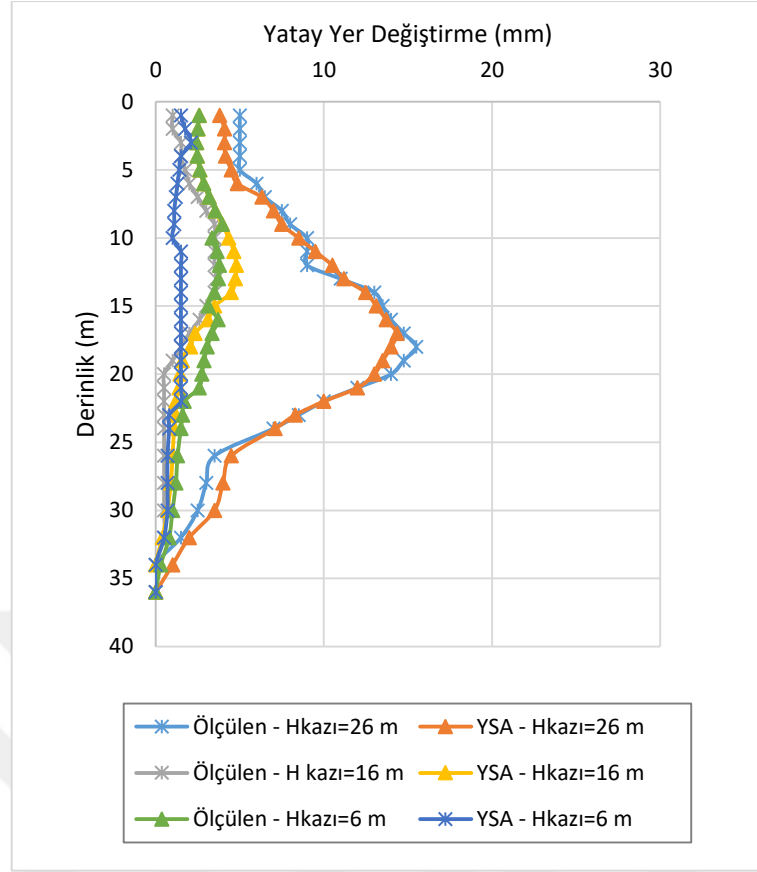
Sıra	Hedeflenen Değer (mm)	Tahmin Edilen Değer (mm)	Sıra	Hedeflenen Değer (mm)	Tahmin Edilen Değer (mm)
1	21	18,6996636	23	20	24,38636665
2	8	18,6996636	24	23	19,54049877
3	43	18,6996636	25	26	27,49294284
4	5	16,21699281	26	30	29,38397191
5	17	19,50329061	27	33	33,33909183
6	17	18,6996636	28	30	29,02326975
7	6	6,012489752	29	33	31,47313120
8	6	4,533791995	30	33	31,74625869
9	26	24,79596001	31	31	31,23290802
10	5	8,956111017	32	24	23,01630042
11	21	16,56067408	33	24	23,94085056
12	0,1	-1,773178021	34	24	25,0783634
13	17	17,12127409	35	24	23,89146897
14	17	16,89824839	36	29	29,75045486
15	10	9,887546786	37	33	30,85264932
16	0,1	0,217376251	38	33	34,78012447
17	0,1	12,56505585	39	33	31,4781394
18	0,1	5,544251286	40	30	31,02601649
19	11	5,544251286	41	31	31,53756187
20	25	12,56505585	42	27	27,17257678
21	16	16,59468681	43	15	14,42578795
22	20	25,0092411	44	20	19,78096228

5.3. YSA Modelinin Performansının Derin Kazı Projeleri ile Değerlendirilmesi

Geliştirilen YSA modelinin eğitiminde kullanılmayan vakalar üzerinden performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bu kapsamda 3 farklı derin kazı inşaatının ilgili müelliflerce sahada ölçülen yer değiştirme değerleri ile geliştirilen YSA modelinin tahmin ettiği yer değiştirme değerleri birlikte değerlendirilmiştir. Ele alınan derin kazı inşaatlarına ait kazı sahası bilgileri 4. bölümde detaylı olarak yer almaktadır.

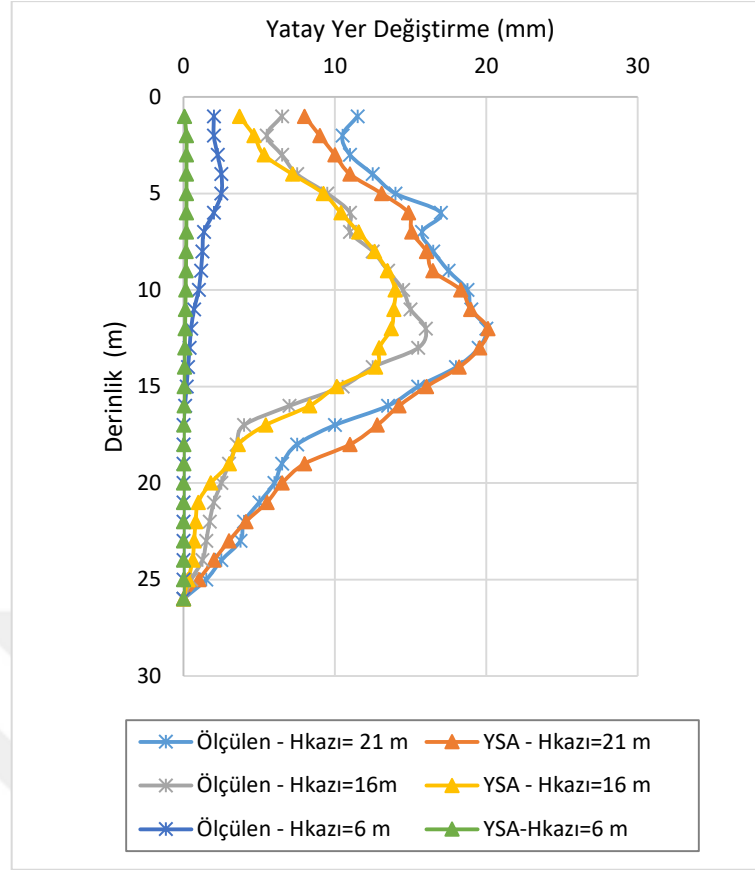
5.3.1. Fıstıkağacı İstasyonu Derin Kazısı

Fıstıkağacı istasyonu derin kazısının INC-1 kazı kesitine ait farklı kazı aşamalarında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinin kazı derinliği boyunca değişimi Şekil 5.5' te yer almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 6$ m olduğu kazı aşamasında duvar derinliği boyunca sahada ölçülen yer değiştirme değerleri YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden büyüktür. Bu kazı aşamasında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen maksimum yer değiştirme değerleri ve ait oldukları derinlikler sırasıyla $\delta_{h \max} = 4$ mm ($H=9$ m) ve $\delta_{h \max} = 2.1$ mm ($H=3$ m) ' dir. İlerleyen kazı aşamalarında, ölçülen yatay yer değiştirme değerleri artmakta, oluşan yer değiştirme profili kazı derinliğine yakın bölgede genişlemektedir. Kazı derinliğinin $H= 16$ m olduğu kazı aşamasında, duvar boyunun $H_{duvar} = 0-9$ m aralığında YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri sahada ölçülen yer değiştirme değerlerinden büyük, $H=9-35$ m kazı derinliği boyunca YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerleri, ölçülen değerlerden küçüktür. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 26$ m olduğu kazı aşamasında ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen maksimum yatay yer değiştirme değerleri $\delta_{h \max} = 15.5$ mm ($H=18$ m) ve $\delta_{h \max} = 14.4$ mm ($H=17$ mm)' dir. Duvar derinliği boyunca ölçülen ve tahmin edilen yatay yer değiştirme değerleri birbirine yakın, oluşan yer değiştirme profilleri ise büyük oranda benzerlik göstermektedir.



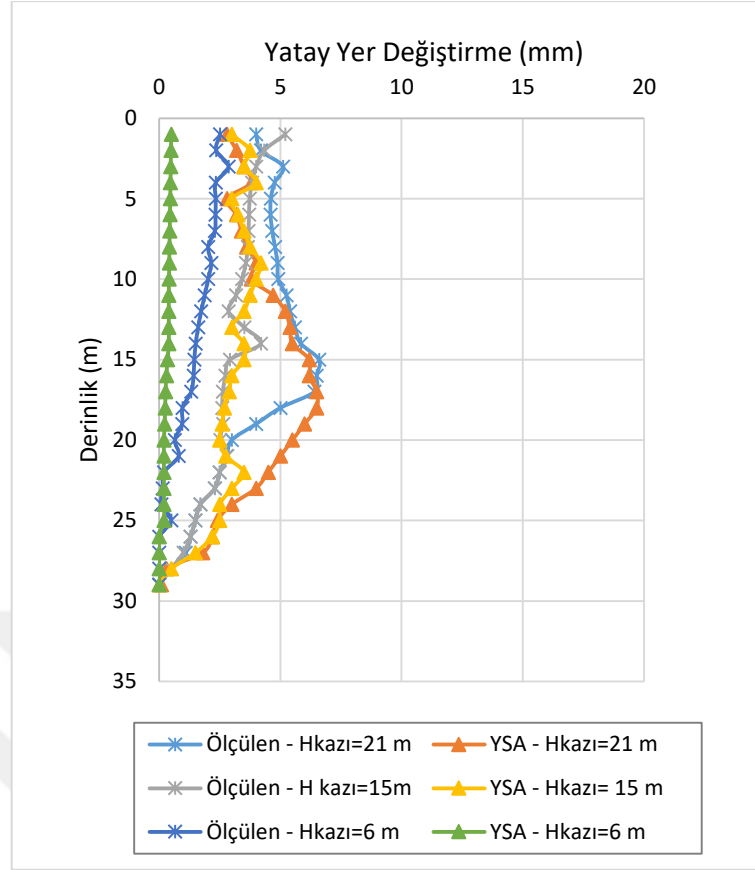
Şekil 5.5 INC-1 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Fısıkağacı istasyonu derin kazısının INC-2 kazı kesitine ait farklı kazı aşamalarında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinin kazı derinliği boyunca değişimi Şekil 5.6' da yer almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 6$ m olduğu kazı aşamasında ölçülen yatay yer değiştirme değerleri YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden büyüktür. Kazı derinliği arttıkça ölçülen yatay yer değiştirme değerleri kazı bölgesine yakın bölgelerde artış göstermektedir. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 16$ m olduğu kazı aşamasında ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirmeler birbirine yakın değerler almakta, oluşan yer değiştirme profilleri ise benzerlik göstermektedir. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 21$ m olduğu kazı aşamasında sahada ölçülen yer değiştirme değerleri duvar yüksekliğinin $H_{duvar} = 0-7$ m olduğu bölgede YSA modeliyle tahmin edilen değerlerden büyüktür. Kazı seviyesine yakın bölgelerde ise ölçülen ve YSA modeli ile tahmin edilen yatay yer değiştirmeler birbirine yakın değerler almaktadır. Elde edilen yer değiştirme profilleri ise benzerdir.



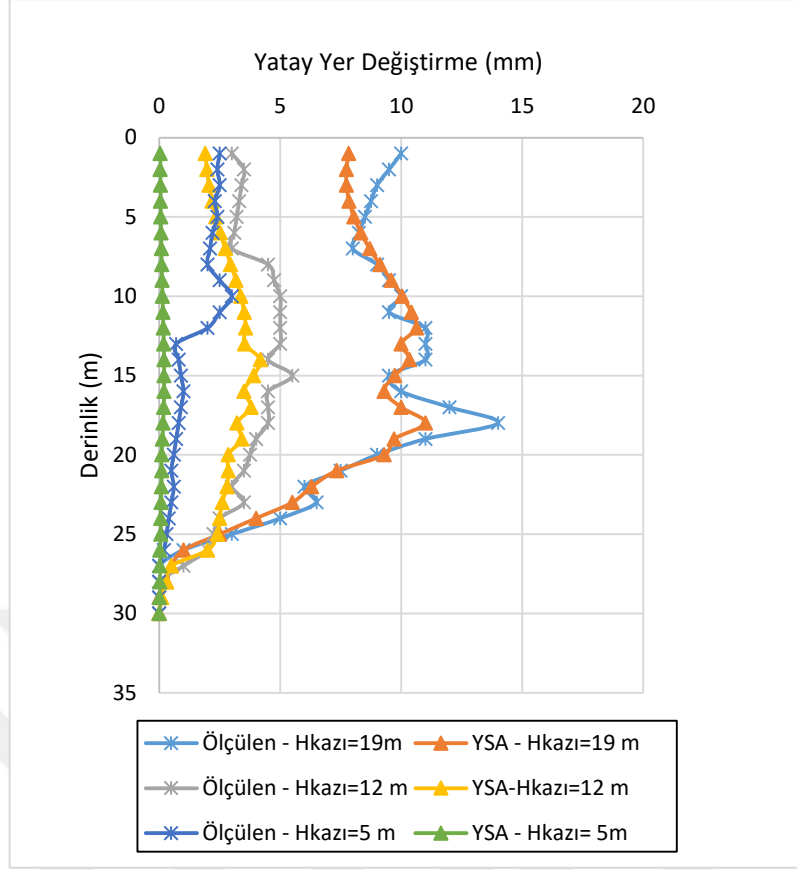
Şekil 5.6 INC-2 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Fıstıkağacı istasyonu derin kazısının INC-4 kazı kesitine ait farklı kazı aşamalarında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinin kazı derinliği boyunca değişimi Şekil 5.7' de yer almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 6$ m olduğu kazı aşamasında ölçülen yatay yer değiştirme değerleri YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden büyüktür. Bu kazı aşamasında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen maksimum yer değiştirme değerleri ve ait oldukları derinlikler sırasıyla $\delta_{h \max} = 2.9$ mm ($H=3$ m) ve $\delta_{h \max} = 0.50$ mm ($H=3$ m) ' dir. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 15$ m olduğu kazı aşamasında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirmeler birbirine yakın değerler almaktadır. Oluşan yer değiştirme profilleri ise benzerdir. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 21$ m olduğu kazı aşamasında duvar boyunun $H_{duvar} = 0-17$ m olduğu bölgede ölçülen yer değiştirme değerleri YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden büyüktür. Kazı seviyesine yakın bölgelerde ise YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirmeler sahada ölçülen yer değiştirmelerden büyük değerler almaktadır.



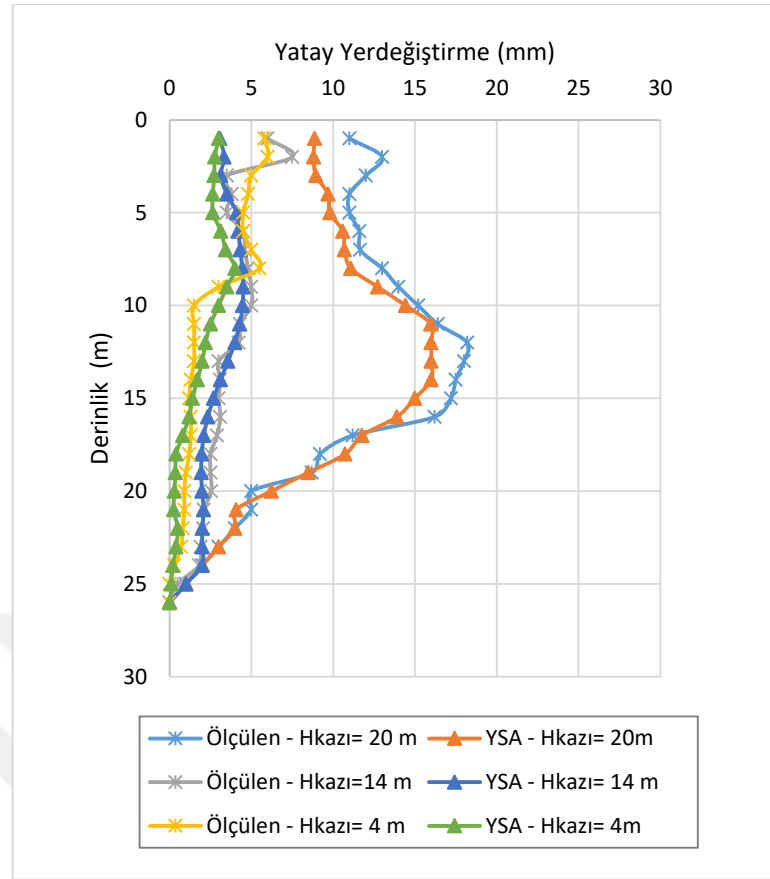
Şekil 5.7 INC-4 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Fısıkağacı istasyonu derin kazısının INC-5 kazı kesitine ait farklı kazı aşamalarında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinin kazı derinliği boyunca değişimi Şekil 5.8’ de yer almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 5$ m olduğu kazı aşamasında duvar boyunca ölçülen yer değiştirmeler, YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden büyüktür. İlerleyen kazı aşamasında ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirmeler birbirine daha yakın değerler almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 12$ m olduğu kazı aşamasında, sahada ölçülen yer değiştirme değerleri YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden büyüktür. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 19$ m olduğu kazı aşamasında ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirmeler birbirine çok yakın değerler almaktadır. Oluşan yer değiştirme profilleri benzerdir. Kazı derinliği boyunca zemin süreksizliklerinin ve ara bantların yer aldığı kesitlerde ölçülen yer değiştirme değerlerinde ani değişimler gözlenmektedir. Geliştirilen YSA modeli bu derinlikte ölçülen yer değiştirmeleri sınırlı yakınlıkla tahmin etmiştir.



Şekil 5.8 INC-5 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Fıstıkağacı istasyonu derin kazısının INC-6 kazı kesitine ait farklı kazı aşamalarında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinin kazı derinliği boyunca değişimi Şekil 5.9’ da yer almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 4$ m olduğu kazı aşamasında sahada ölçülen yer değiştirme değerleri, YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden büyüktür. İlerleyen kazı aşamalarında, $H_{kazı} = 14$ m kazı seviyesinde, kazı seviyesinin üstünde ölçülen yer değiştirme değerleri tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden büyüktür. Kazı seviyesinin altında ölçülen ve tahmin edilen yer değiştirmeler ise birbirine çok yakın değerler almaktadır. Kazı seviyesinin $H_{kazı} = 20$ m olduğu kazı aşamasında, kazı derinliği boyunca ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerleri birbirine çok yakındır. Bu kazı aşamasında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen maksimum yer değiştirme değerleri ve ait oldukları derinlikler sırasıyla $\delta_{h \max} = 18.2$ mm ($H=12$ m) ve $\delta_{h \max} = 16$ mm ($H=12$ m) ‘ dir. Bu kazı kesitinde kazı derinliği arttıkça YSA ile tahmin edilen yer değiştirmelerin ölçülen yer değiştirmelere daha yakın değerler aldığı görülmektedir. Ölçülen ve tahmin edilen değerlerin oluşturduğu yer değiştirme profilleri ise benzerlik göstermektedir.

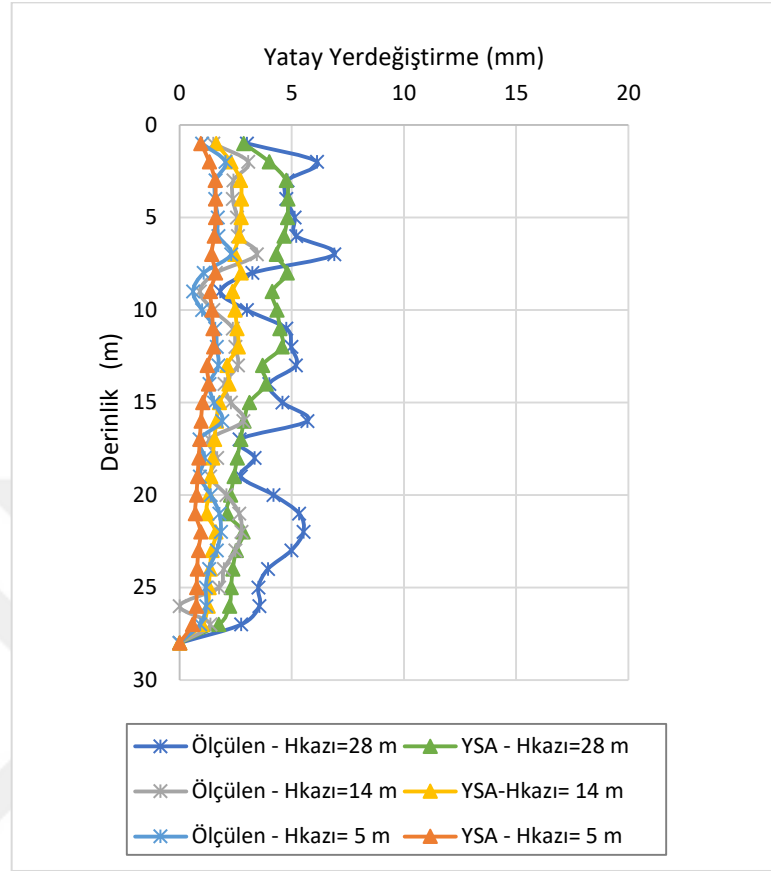


Şekil 5.9 INC-6 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

5.3.2. Mahmutbey İstasyonu Derin Kazısı

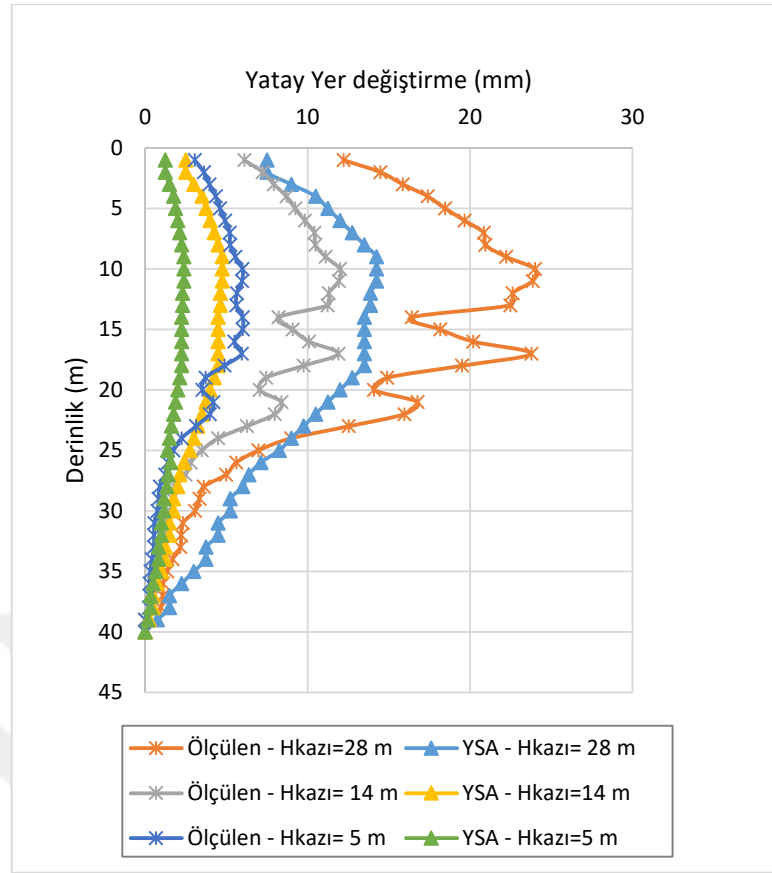
Mahmutbey istasyonu derin kazısının INC-2 kazı kesitine ait farklı kazı aşamalarında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinin kazı derinliği boyunca değişimi Şekil 5.10' da yer almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 5$ m olduğu kazı aşamasında sahada ölçülen yer değiştirmeler ile YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirmeler birbirine yakın değerler almaktadır. İncelenen kesitteki süreksizlik ortamları nedeniyle ölçülen yer değiştirme değerlerinde ani değişimler gözlenmektedir. YSA modelinin bu derinliklerde ölçülen yer değiştirme değerlerini tahmin yeteneğinin sınırlı olduğu görülmektedir. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 14$ m olduğu kazı aşamasında sahada ölçülen yer değiştirmeler ile YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirmeler birbirine yakın değerler almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 28$ m olduğu kazı aşamasında sahada ölçülen yer değiştirmelerde ani değişimler gözlenmiştir. YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirmeler ile ölçülen yer değiştirme değerleri duvar yüksekliği boyunca bazı kazı

derinliklerinde birbirine yakın değerler almaktadır. Ancak oluşan yer değiştirme profilleri arasında farklılıklar gözlenmektedir.



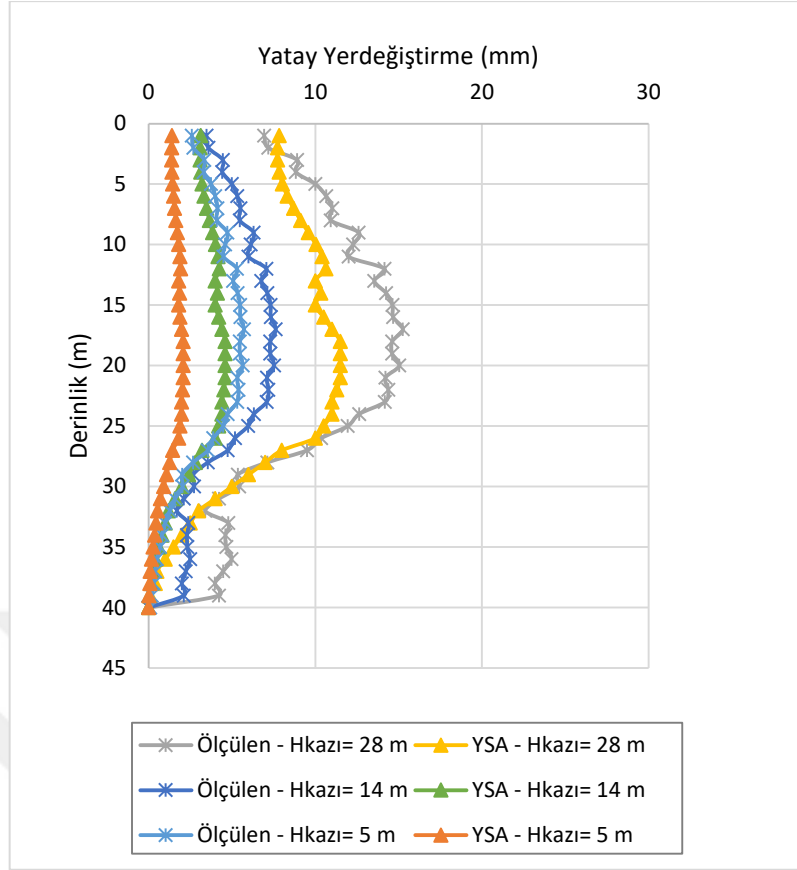
Şekil 5.10 INC-2 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Mahmutbey istasyonu derin kazısının INC-3 kazı kesitine ait farklı kazı aşamalarında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinin kazı derinliği boyunca değişimi Şekil 5.11’ de yer almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 5$ m olduğu kazı aşamasında, kazı duvarı yüksekliğinin $H_{duvar} = 0-25$ m bölgesinde, sahada ölçülen yatay yer değiştirme değerleri YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden büyüktür. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 14$ m olduğu kazı aşamasında ölçülen yatay yer değiştirme değerlerinde ani değişimler gözlenmiştir. Ölçülen yer değiştirme değerleri YSA ile tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden büyüktür. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 28$ m olduğu kazı aşamasında, sahada ölçülen yatay yer değiştirmeler önceki kazı aşamalarına göre önemli ölçüde artış göstermiştir. Kazı seviyesinin üstünde, YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri sahada ölçülen yer değiştirme değerlerinden küçük, kazı seviyesinin altında ise yüksektir.



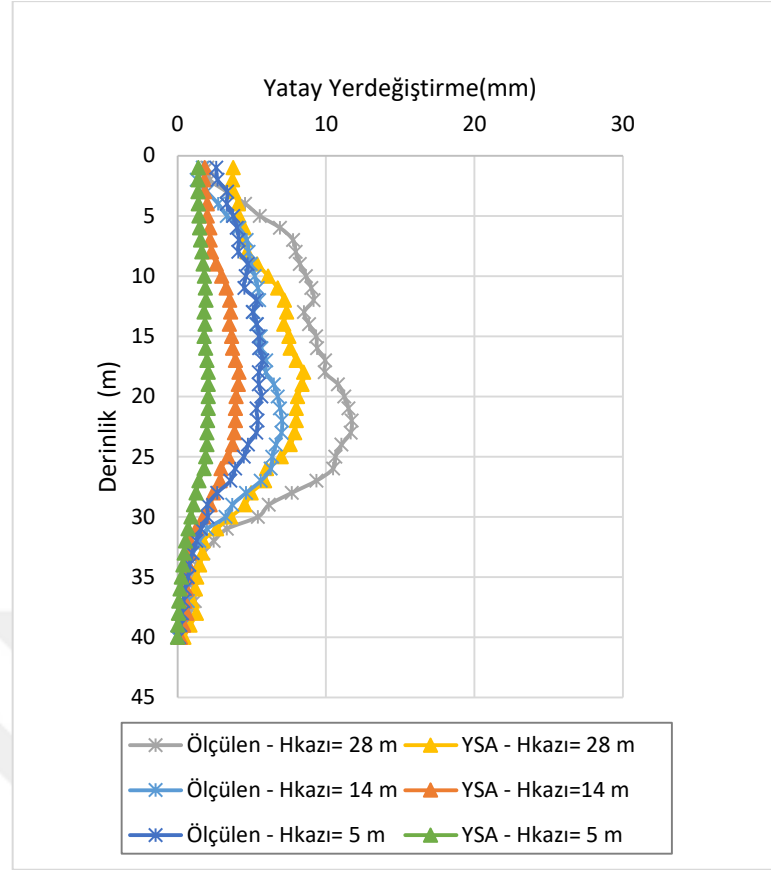
Şekil 5.11 INC-3 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Mahmutbey istasyonu derin kazısının INC-4 kazı kesitine ait farklı kazı aşamalarında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinin kazı derinliği boyunca değişimi Şekil 5.12’ de yer almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazi} = 5$ m olduğu kazı aşamasında duvar yüksekliği boyunca sahada ölçülen yer değiştirmeler YSA modeliyle elde edilen yer değiştirmelerden daha yüksek değerler almaktadır. Kazı aşaması ilerledikçe yer değiştirme değerlerinde artış görülmektedir. Kazı derinliğinin $H_{kazi} = 14$ m olduğu kazı aşamasında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen maksimum yer değiştirme değerleri ve ait oldukları derinlikler sırasıyla $\delta_{h \max} = 7.6$ mm ($H=17$ m) ve $\delta_{h \max} = 4.6$ mm ($H=18$ m) ’ dir. Kazı derinliğinin $H_{kazi} = 28$ m olduğu kazı aşamasında ölçülen yatay yer değiştirmeler YSA ile tahmin edilen yer değiştirmelerden yüksek değerler almaktadır. Bu kazı aşamasında ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen maksimum yatay yer değiştirmeler ve ait oldukları derinlikler sırasıyla $\delta_{h \max} = 15.3$ mm ($H=17$ m) ve $\delta_{h \max} = 11.5$ mm ($H=18$ m) ’ dir. Her iki yöntemle elde edilen yer değiştirme profilleri benzer davranış sergilemektedirler. Kazı derinliğinin altında, gömme derinliği boyunca ölçülen yatay yer değiştirmelerde görülen artışların ölçüm kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.12 INC-4 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

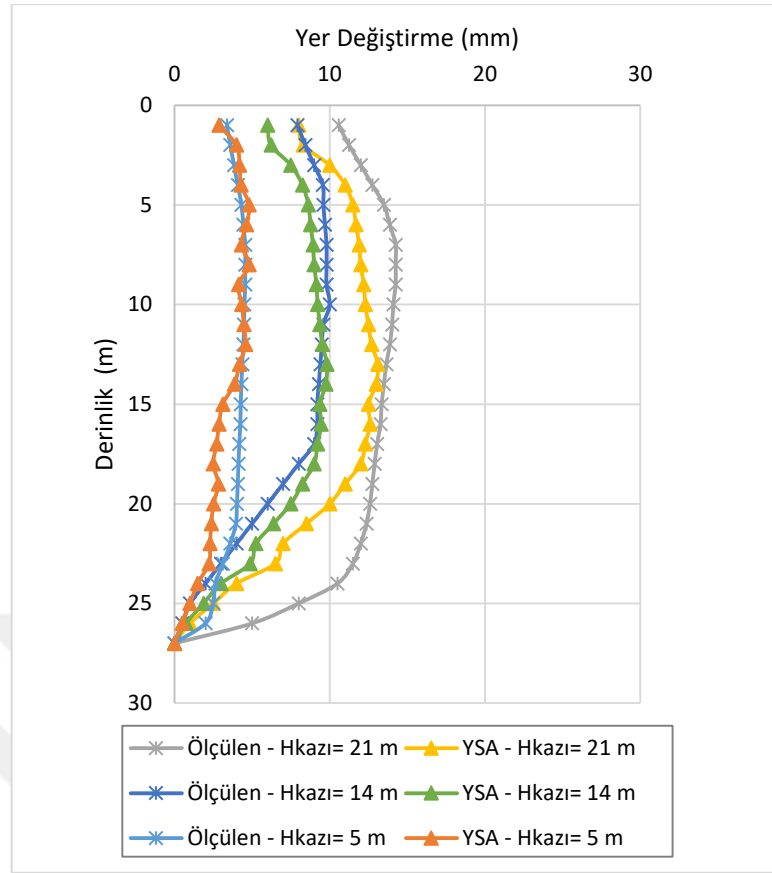
Mahmutbey istasyonu derin kazısının INC-5 kazı kesitine ait farklı kazı aşamalarında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinin kazı derinliği boyunca değişimi Şekil 5.13’ te yer almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazi} = 5$ m olduğu kazı aşamasında kazı seviyesinin üst bölgesinde ölçülen yatay yer değiştirme değerleri tahmin edilen değerlerden yüksektir. Bu kazı aşamasında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen maksimum yer değiştirme değerleri ve ait oldukları derinlikler sırasıyla $\delta_{h\max} = 7$ mm ($H=22$ m) ve $\delta_{h\max} = 4.2$ mm ($H=18$ m) ’ dir. Kazı derinliği ilerledikçe ölçülen ve tahmin edilen yer değiştirmeler arasındaki farklar artmaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazi} = 14$ m olduğu kazı aşamasında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen maksimum yer değiştirme değerleri ve ait oldukları derinlikler sırasıyla $\delta_{h\max} = 11.7$ mm ($H=22$ m) ve $\delta_{h\max} = 6.4$ mm ($H=18$ m) ’ dir. Nihai kazı aşamasında ölçülen yatay yer değiştirme değerleri tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden yüksektir. Yer değiştirme profilleri ise benzerlik göstermektedir. Kazı sahasında ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen maksimum yer değiştirme değerleri ve ait oldukları derinlikler sırasıyla $\delta_{h\max} = 11.7$ mm ($H=22$ m) ve $\delta_{h\max} = 8.5$ mm ($H=18$ m) ’ dir.



Şekil 5.13 INC-5 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

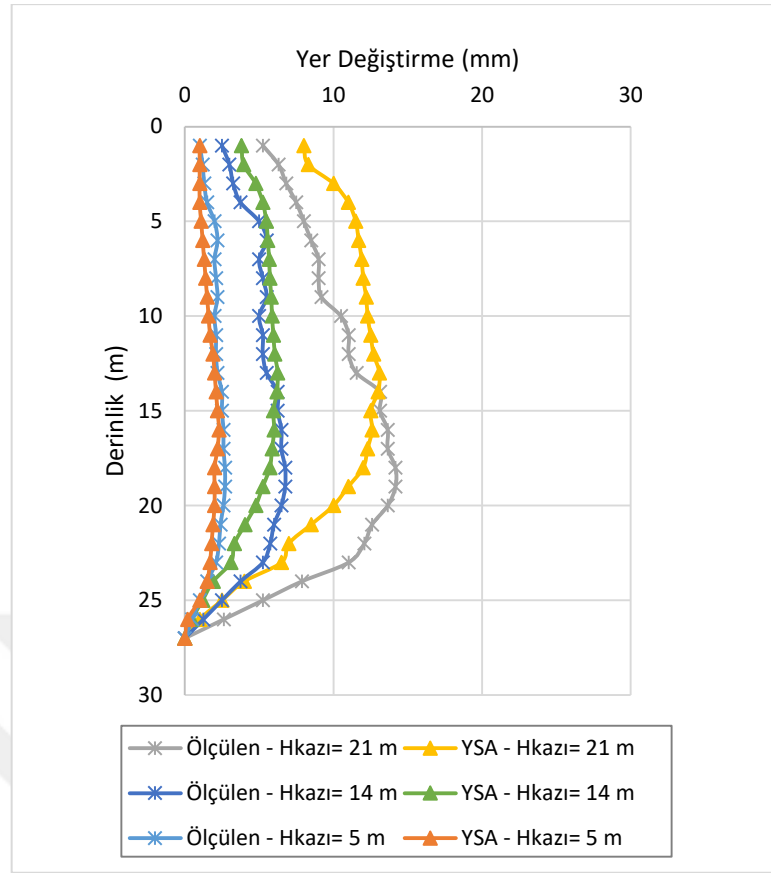
5.3.3. İhlamurkuyu İstasyonu Derin Kazısı

İhlamurkuyu istasyonu derin kazısının INC-1 kazı kesitine ait farklı kazı aşamalarında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinin kazı derinliği boyunca değişimi Şekil 5.14’ te yer almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 5$ m ve $H_{kazı} = 14$ m olduğu kazı aşamalarında ölçülen ve tahmin edilen yatay yer değiştirmeler birbirine çok yakın değerler almaktadır. Nihai kazı aşamasında, duvar yüksekliği boyunca ölçülen yer değiştirme değerleri YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden büyüktür. Oluşan yer değiştirme profilleri ise benzerlik göstermektedir.



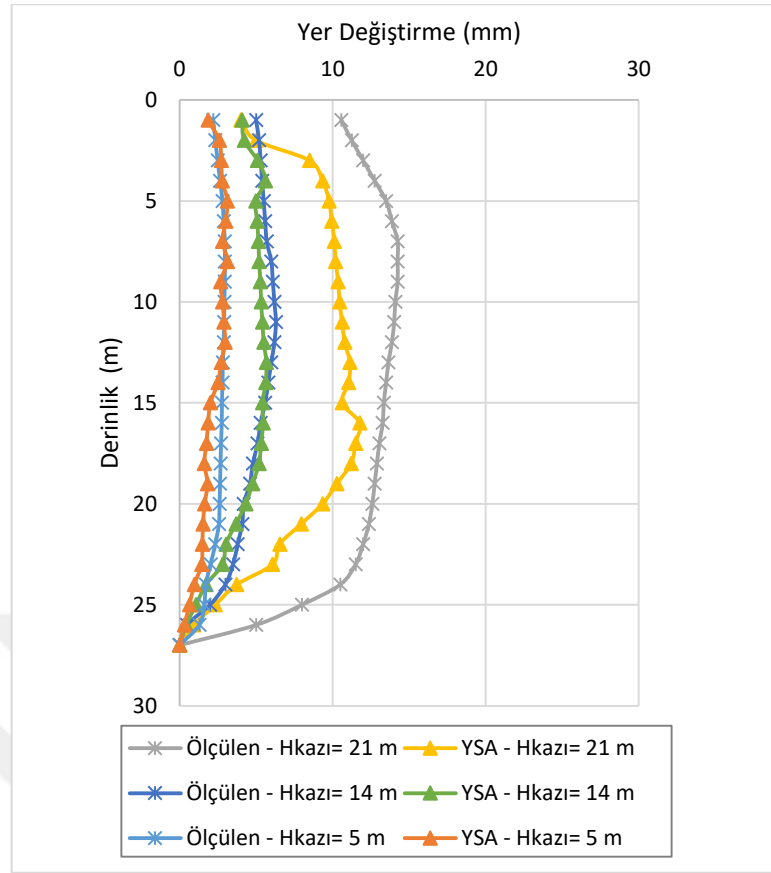
Şekil 5.14 INC-1 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Ihlamurkuyu istasyonu derin kazısının INC-2 kazı kesitine ait farklı kazı aşamalarında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinin kazı derinliği boyunca değişimi Şekil 5.15’ te yer almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazi} = 5$ m ve $H_{kazi} = 14$ m olduğu kazı aşamalarında duvar yüksekliği boyunca sahada ölçülen yer değiştirmeler ile YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirmeler birbirine yakın değerler almaktadır. Oluşan yer değiştirme profilleri ise benzer davranış göstermektedir. İncelenen kesite ait $H_{kazi} = 21$ m kazı seviyesindeki ölçülen yer değiştirme değerleri $H = 0-15$ m aralığında YSA ile tahmin edilen değerlerden düşük, $H = 15-25$ m aralığında ise yüksektir. Bu kazı aşamasında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen maksimum yer değiştirme değerleri ve ait oldukları derinlikler sırasıyla $\delta_{h \max} = 14.2$ mm ($H = 7$ m) ve $\delta_{h \max} = 13.1$ mm ($H = 13$ m) ‘ dir.



Şekil 5.15 INC-2 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Ihlamurkuyu istasyonu derin kazısının INC-3 kazı kesitine ait farklı kazı aşamalarında sahada ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinin kazı derinliği boyunca değişimi Şekil 5.16’ da yer almaktadır. Kazı derinliğinin $H_{kazı} = 5$ m ve $H_{kazı} = 14$ m olduğu kazı aşamalarında sahada ölçülen ve YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri birbirine yakındır. Oluşan yer değiştirme profilleri ise benzer davranış sergilemektedir. İlerleyen kazı aşamalarında ölçülen ve tahmin edilen yer değiştirme değerleri arasındaki fark artmaktadır. Nihai kazı aşamasında ölçülen ve YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri ve ait oldukları derinlikler sırasıyla $\delta_{h \max} = 14.3$ mm ($H=7$ m) ve $\delta_{h \max} = 11.8$ mm ($H=16$ m) ’ dir. YSA modeli ile tahmin edilen ve ölçülen yer değiştirme profilleri arasında farklar göze çarpmaktadır.



Şekil 5.16 INC-3 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

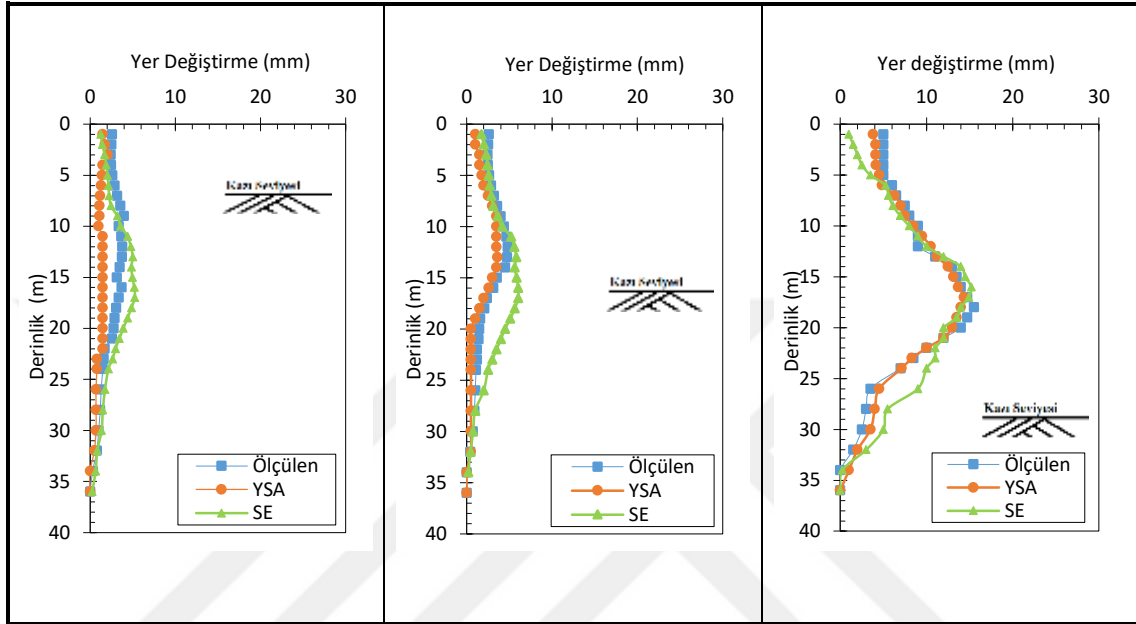
YSA MODELİ VE SAYISAL ANALİZLERDEN ELDE EDİLEN YER DEĞİŞTİRMELERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Önceki bölümde, geliştirilen YSA modeliyle, modelin eğitiminde kullanılmayan derin kazı inşaatlarında ölçülen yatay yer değiştirmeler tahmin edilmişti. Bu bölümde YSA modelinin farklı kazı aşamaları için tahmin ettiği yatay yer değiştirme değerleri, sahada ölçülen ve sonlu eleman (SE) yöntemi ile analizleri gerçekleştirilen sayısal modellerden elde edilen yer değiştirme değerleri ile birarada değerlendirilmiştir.

6.1. Fıstıkağacı istasyonu derin kazısına ait yer değiştirme ölçümleri

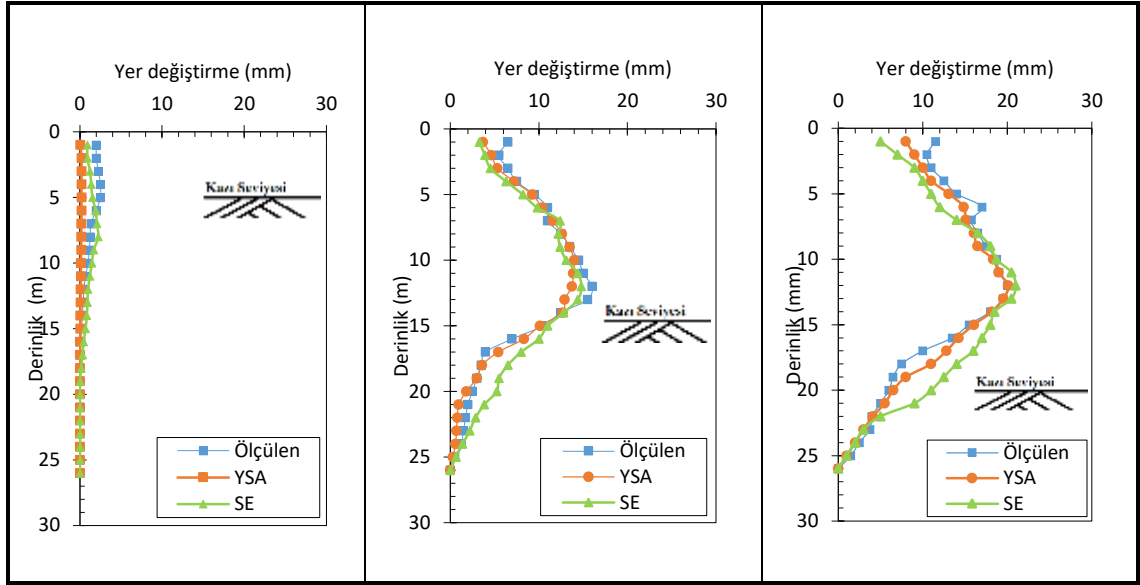
Şekil 6.1' de INCL-01 tarafından başlangıç, orta ve nihai kazı aşamalarında sahada ölçülen, YSA modeliyle tahmin edilen ve sayısal modellerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. **Başlangıç kazı aşamasında**, YSA ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri, ölçülen yer değiştirme değerlerinden düşüktür. Aynı kazı aşamasında, iksa duvarının üst kısmında SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri ölçülen yer değiştirme değerlerinden daha düşük değerler almaktadır. İksa duvarının alt bölgelerinde ise SE yöntemi ile hesaplanan değerler ölçülen değerlerden daha yüksek değerler almaktadır. **Orta ve nihai kazı aşamalarında** YSA ile hesaplanan yer değiştirme değerleri ölçülen yer değiştirme değerlerine yakındır. YSA modeli tahminleri ile oluşturulan yer değiştirme profili ölçülen yer değiştirme profiliyle benzer davranış sergilemektedir. SE yöntemi ile elde edilen yer değiştirme değerleri ise ölçülen ve tahmin edilen değerlerden daha yüksektir. **Nihai kazı aşamasında** ölçülen, tahmin edilen ve hesaplanan maksimum yer değiştirme değerleri

sırasıyla 15.5 mm, 14.5 mm ve 15.2 mm' dir. İncelenen kazı kesitinde YSA ile tahmin edilen ve SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirmelerin kazı aşaması ilerledikçe ölçülen yer değiştirmelere daha yakın değerler aldığı görülmektedir. Her üç kazı aşamasında maksimum yatay yer değiştirmeler kazı derinliğine göre farklı yüksekliklerde ölçülmektedir.



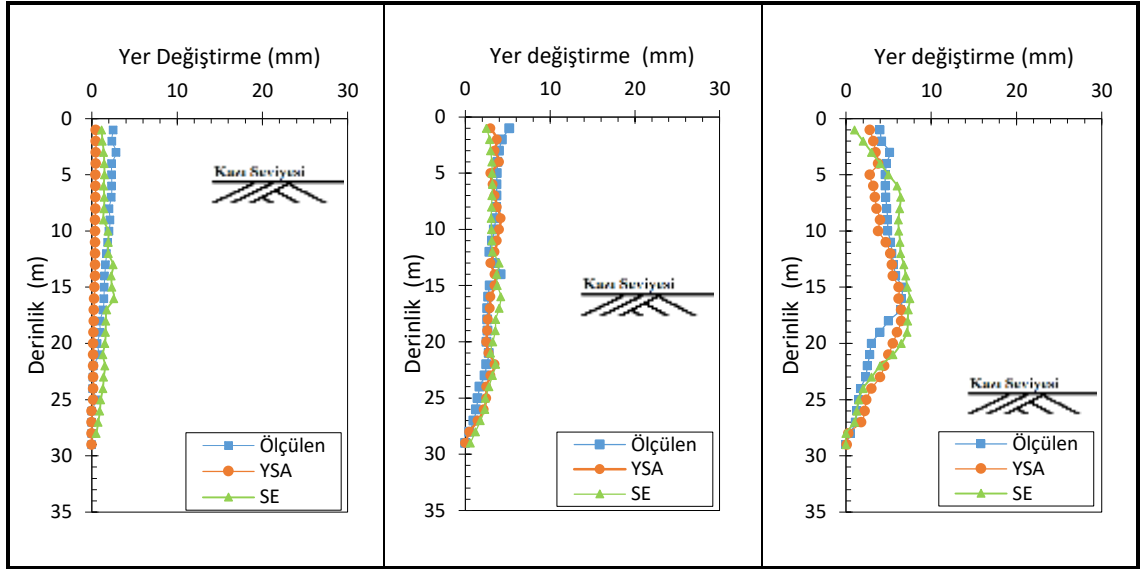
Şekil 6.1 INCL-01 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Şekil 6.2' de INCL-02 tarafından başlangıç, orta ve nihai kazı aşamalarında sahada ölçülen, YSA modeliyle tahmin edilen ve sayısal modellerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. **Başlangıç kazı aşamasında**, iksa duvarının üst kısmında ölçülen yatay yer değiştirmeler en yüksek değerler alırken YSA ile hesaplanan yer değiştirmeler ise en düşük değerler almıştır. İksa duvarının alt kısmında her üç yöntem ile elde edilen yer değiştirmeler çok düşük mertebelerdedir. **Orta kazı aşamasında** ölçülen maksimum yer değiştirme değeri, 12 m derinliğinde en yüksek (örn.16 mm) değerini almıştır. Aynı derinlikte YSA ile tahmin edilen ve SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri sırasıyla 13.7 mm ile 15.5 mm' dir. **Nihai kazı aşamasında**, her üç yöntem ile elde edilen yer değiştirme değerleri birbirine çok yakın, oluşan yer değiştirme profilleri büyük oranda birbirine benzerlik göstermektedir. SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri ölçülen ve YSA ile tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden, kazı seviyesi üstünde düşük, kazı seviyesine yakın derinliklerde ise daha yüksek değerler almıştır.



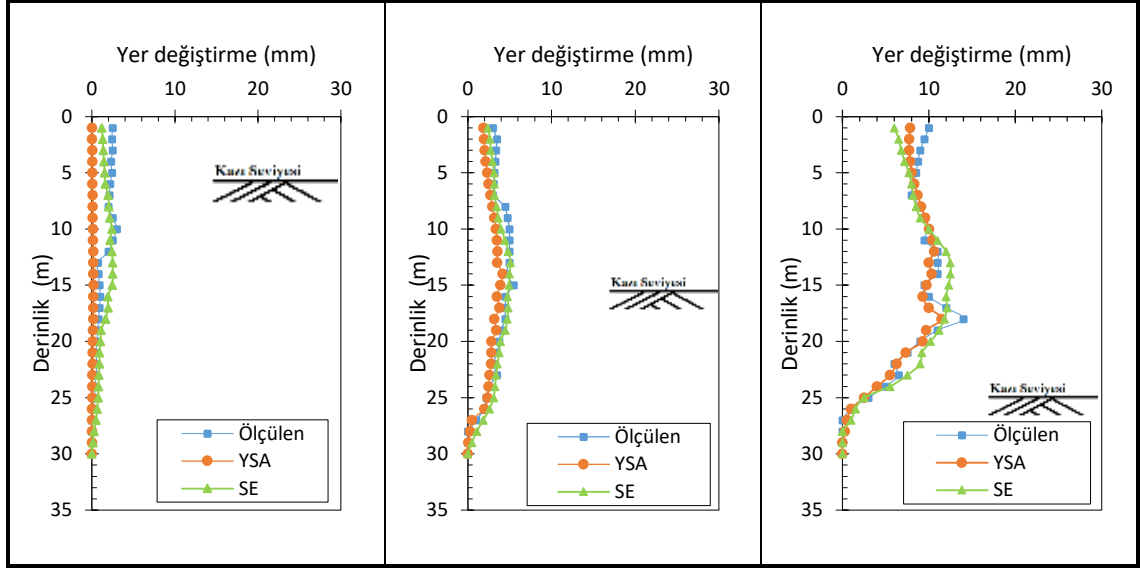
şekil 6.2 INCL-02 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

şekil 6.3' te INCL-04 tarafından başlangış, orta ve nihai kazı aşamalarında sahada ölçölen, YSA modeliyle tahmin edilen ve sayısal modellerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. **Başlangış kazı aşamasında** iksa duvarının üç bölgesinde, ölçölen yer değiştirme değerleri YSA ile tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden yüksektir. SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri ölçölen değerlerden düşük YSA ile tahmin edilen değerlerden ise yüksektir. Duvar alt bölgelerinde ise ölçölen, tahmin edilen ve hesaplanan yer değiştirmeler birbirine yakın ve çok düşük değerler almaktadır. **Orta kazı aşamasında** her üç yöntem ile elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri birbirine çok yakın, oluşan yer değiştirme profilleri ise benzerdir. **Nihai kazı aşamasında**, YSA ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri duvar üç bölgelerinde ölçölen değerlerden düşük, alt bölgelerinde ise ölçölen değerlerden yüksektir. SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri ölçölen ve tahmin edilen değerlerden yüksektir. İncelenen kazı kesitinde oluşan maksimum yatay yer değiştirmeler duvar yüksekliğinin % 0.1' i mertebelerindedir. Maksimum yatay yer değiştirmeler kazı seviyesine yakın bölgelerde oluşmaktadır.



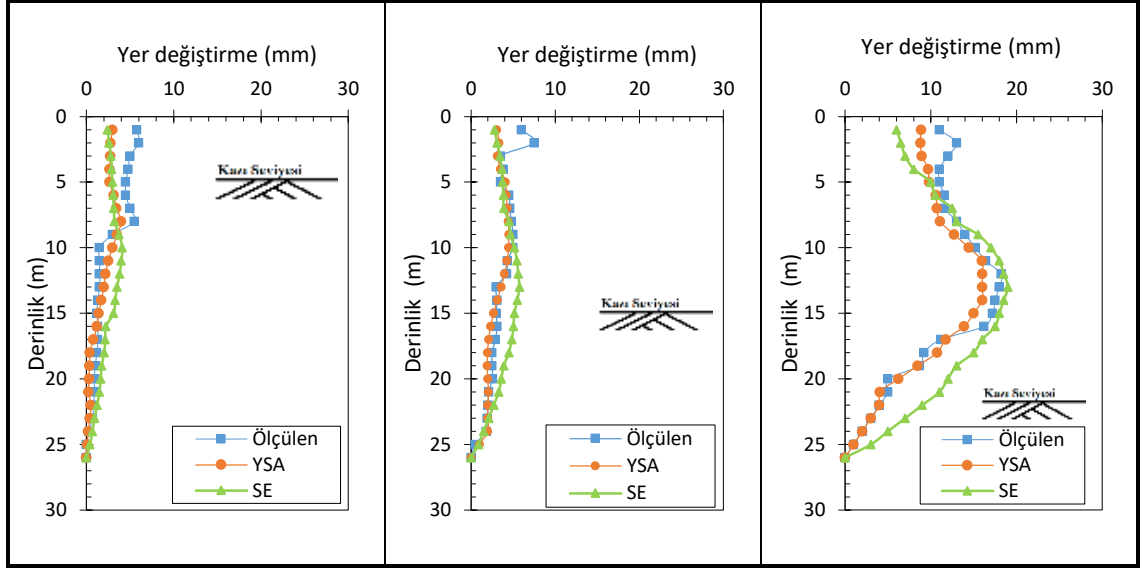
Şekil 6.3 INCL-04 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Şekil 6.4' te INCL-05 tarafından başlangıç, orta ve nihai kazı aşamalarında sahada ölçülen, YSA modeliyle tahmin edilen ve sayısal modellerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. **Başlangıç kazı aşamasında**, duvar üst bölgelerinde ölçülen yer değiştirme değerleri en yüksek, YSA ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri ise sıfıra yakındır. İksa duvarının alt kısmında ise her üç yöntem ile elde edilen yer değiştirmeler çok düşük değerler almaktadır. **Orta kazı aşamasında**, her üç yöntem ile elde edilen yer değiştirme değerleri birbirine çok yakındır. Oluşan yer değiştirme profilleri ise büyük oranda birbirine benzerlik göstermektedir. Maksimum yer değiştirmeler kazı derinliğine yakın bölgelerde ölçülmüştür. **Nihai kazı aşamasında**, ölçülen, tahmin edilen ve sayısal modellemelerden elde edilen maksimum yer değiştirmeler sırasıyla; 14 mm (H=18 m), 11.5 mm (H=17 m) ve 12.5 mm (H=14 m) değerlerini almaktadır.



Şekil 6.4 INCL-05 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Şekil 6.5' te INCL-06 tarafından başlangıç, orta ve nihai kazı aşamalarında sahada ölçülen, YSA modeliyle tahmin edilen ve sayısal modellerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. **Başlangıç kazı aşamasında**, duvar üst bölgelerinde YSA ile tahmin edilen ve SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri, ölçülen değerlerden düşüktür. İksa duvarının alt bölgelerinde ise ölçülen ve YSA ile hesaplanan yer değiştirme değerleri birbirine çok yakın, SE yöntemi ile hesaplanan değerler ise daha yüksek mertebelerdedir. **Orta kazı aşamasında**, yapay dolgu tabakasının geçildiği 0-3 m derinliğinde, ölçülen yer değiştirme değerleri hesaplanan ve tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden yüksektir. Duvar alt bölgelerinde ise başlangıç kazı aşamasında elde edilen sonuçlara benzer şekilde ölçülen ve tahmin edilen yer değiştirmeler birbirine çok yakın değerlerde, SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri daha yüksek mertebelerdedir. **Nihai kazı aşamasında**, konsol kazı aşamasının geçildiği derinlikte ölçülen yer değiştirme değerleri tahmin edilen ve hesaplanan değerlerden yüksektir. Kazı derinliğinin fazla olduğu bölgelerde ölçülen ve tahmin edilen sehim eğrileri birbirine çok yakındır. SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirmeler ise ölçülen ve YSA ile hesaplanan yer değiştirmelerden daha yüksek değerler almaktadır.



şekil 6.5 INCL-06 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

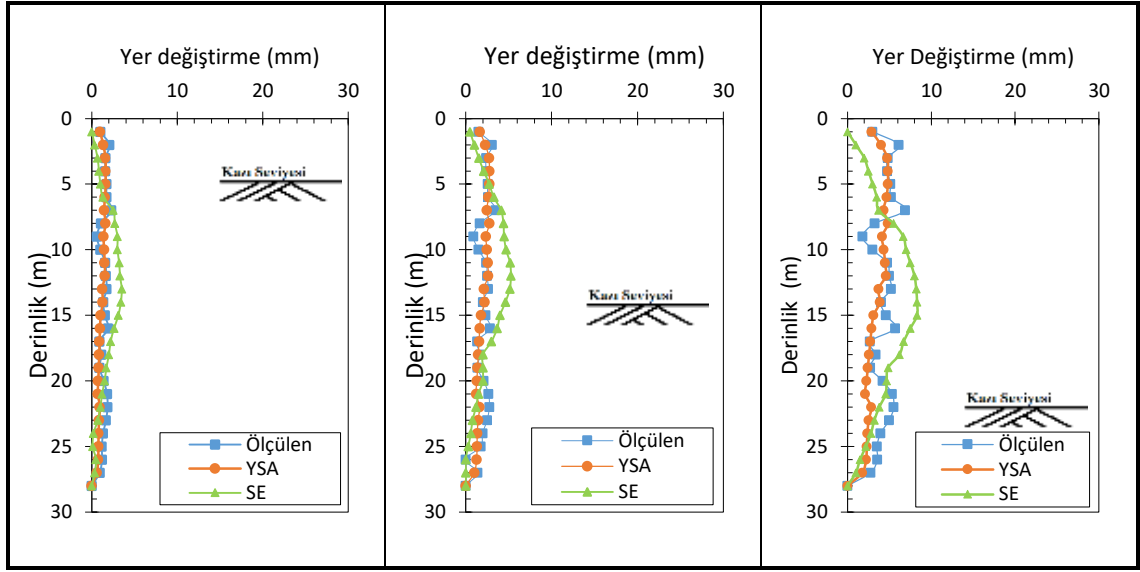
Çizelge 6.1’ de Fısıkağacı istasyonuna ait ölçülen, YSA modeliyle tahmin edilen ve sayısal analizlerden elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri, ait oldukları kazı derinliğiyle beraber verilmiştir. Oluşturulan YSA modeli, ölçülen maksimum yatay yer değiştirmeleri INCL-02 ve INCL-04 inklinometrelerinin okuma aldığı kazı kesitlerinde 1 mm mertebelerinde sapmayla tahmin etmiştir. YSA modeli, INCL-05 ve INCL-06 inklinometrelerince yatay yer değiştirmelerin kaydedildiği kazı kesitlerinde maksimum yer değiştirmeleri 2.5 mm sapmayla tahmin etmiştir. YSA modeliyle maksimum yer değiştirmelerin tahmin edildiği derinlikler INCL-01, INCL-02, INCL-05 ve INCL-06 kazı kesitlerinde başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir. YSA modeliyle, INCL-04 kazı kesitinde maksimum yer değiştirmelerin ölçüldüğü derinlik 3 m sapmayla tahmin edilmiştir. Sayısal modellerden elde edilen yatay yer değiştirmeler ile ölçülen yatay yer değiştirmeler arasındaki farklar okumaların alındığı bütün kesitlerde düşük mertebelerdedir. Oluşturulan veri tabanı içinde, YSA modelinin eğitiminde kullanılan yüksek oranda ankrajlı kazıklı sistem verisi ile ölçülen yatay yer değiştirmelerin tahmininde YSA modeli başarılı performans göstermektedir.

Çizelge 6.1. Fıstıkağacı istasyonu derin kazısına ait ölçülen, tahmin edilen ve sayısal modellemelerden elde edilen maksimum yer değiştirmeler ve derinlikleri

Fıstıkağacı İstasyonu Derin Kazısı										
Metod	INCL-01		INCL-02		INCL-04		INCL-05		INC-06	
	Derinlik (m)	$\delta_{h \max}$ (mm)	Derinlik (m)	$\delta_{h \max}$ (mm)	Derinlik (m)	$\delta_{h \max}$ (mm)	Derinlik (m)	$\delta_{h \max}$ (mm)	Derinlik (m)	$\delta_{h \max}$ (mm)
Ölçülen	18	15.5	12	20	15	6.5	18	14	12	18.5
YSA	17	14.5	12	20,1	18	6.6	17	11,5	13	16
SE	16	15.2	11	20,5	16	7.5	14	13	13	19

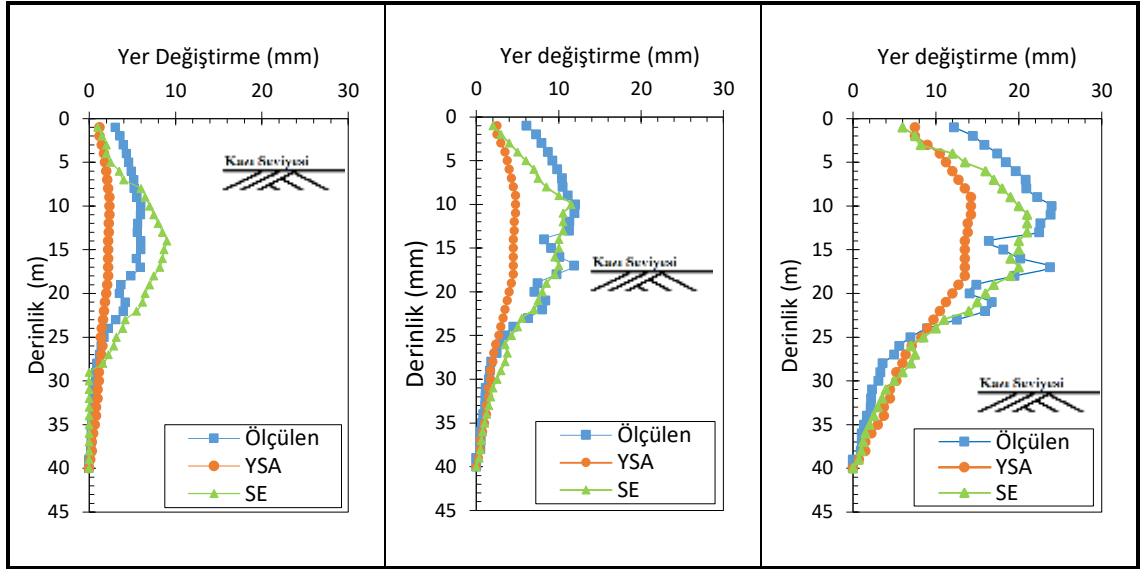
6.2. Mahmutbey istasyonu derin kazısına ait yer değiştirme ölçümleri

Şekil 6.6’ da INCL-02 tarafından başlangıç, orta ve nihai kazı aşamalarında sahada ölçülen, YSA modeliyle tahmin edilen ve sayısal modellerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. **Başlangıç kazı aşamasında** ölçülen, YSA modeli ile tahmin edilen ve SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri birbirine çok yakın, duvar boyunca oluşan sehim eğrileri ise birbirleriyle benzerlik göstermektedir. **Orta kazı aşamasında**, ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerleri birbirine çok yakın oluşan sehim eğrileri ise benzerdir. SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri ise kazı seviyesine yakın bölgelerde hesaplanan ve tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden yüksektir. **Nihai kazı aşamasında**, ölçülen yer değiştirme değerleri duvar yüksekliği boyunca ani azalış ve artışlar göstermiştir. Kazı derinliği boyunca kırıklı çatlaklı, süreksizlik arz eden ortam nedeniyle ölçülen yatay yer değiştirmelerde ani değişiklikler oluşmuştur. YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri INCL-02 tarafından kaydedilen bu ani artış ve azalışları başarılı bir şekilde öngörememiştir. Oluşan yer değiştirme profilleri ise benzer davranış göstermektedir.



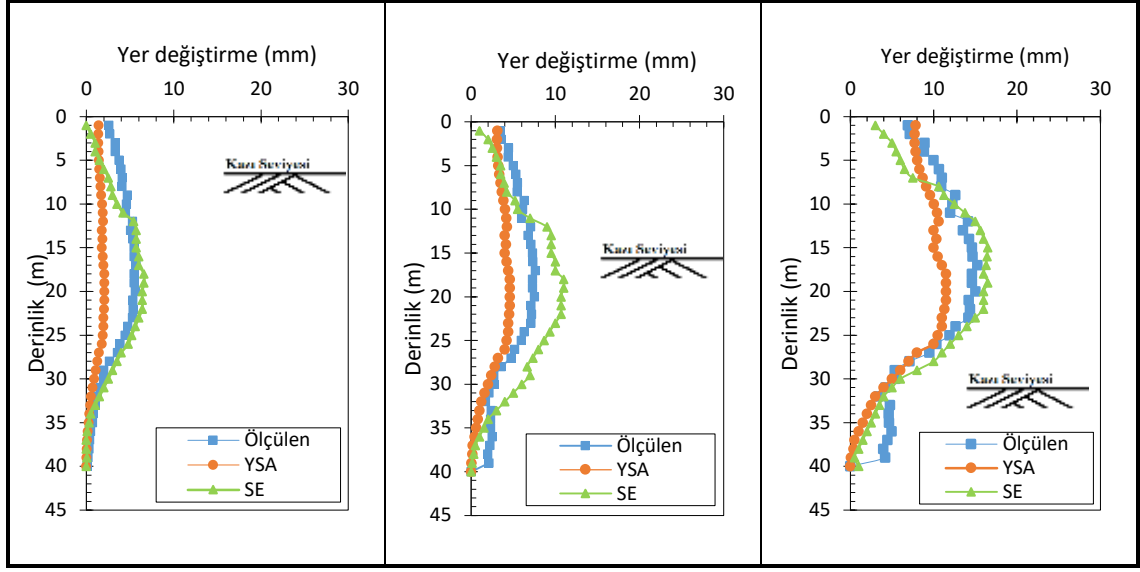
Şekil 6.6 INCL-02 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Şekil 6.7’ de INCL-03 tarafından başlangıç, orta ve nihai kazı aşamalarında sahada ölçülen, YSA modeliyle tahmin edilen ve SE analizlerinden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. **Başlangıç kazı aşamasında** iksa duvarının üst kısımlarında YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri ölçülen değerlerden düşük, duvar alt bölgelerinde ise ölçülen değerlerden yüksektir. SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri, ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden yüksektir. **Orta kazı aşamasında**, YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirmeler en düşük, SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirmeler ise en yüksek değerler almaktadır. YSA modelinin, ölçülen yer değiştirme değerlerinin duvar yüksekliği boyunca gösterdiği ani değişimleri tahmin başarısı düşüktür. İncelenen kazı kesitinde, ortam süreksizlikleri ve kırıklı çatlaklı yapı sebebiyle ölçülen yer değiştirme değerleri ani değişimlere neden olmaktadır. Maksimum yer değiştirmeler kazı seviyesine yakın derinlikte oluşmaktadır. **Nihai kazı aşamasında**, ölçülen yer değiştirme profili önceki kazı aşamalarıyla benzerlik göstermektedir. YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinin ölçülen yer değiştirmelerdeki ani değişimleri tahmin performansı düşüktür. YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerleriyle oluşturulan yer değiştirme profili ile SE yöntemiyle hesaplanan yer değiştirme profilleri benzer karakter sergilemektedir.



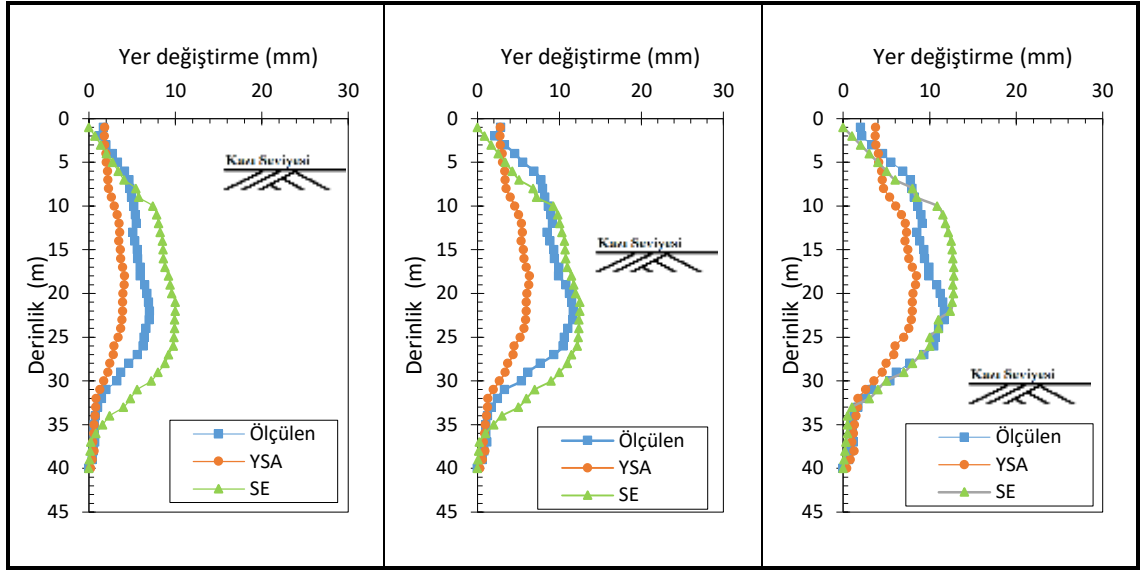
Şekil 6.7 INCL-03 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Şekil 6.8’ de INCL-04 tarafından başlangıç, orta ve nihai kazı aşamalarında sahada ölçülen, YSA modeliyle tahmin edilen ve sayısal modellerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. **Başlangıç kazı aşamasında**, YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri en düşük, SE analizleri ile hesaplanan yer değiştirme değerleri ise en yüksektir. Ölçülen maksimum yer değiştirme değeri 5.7 mm olarak ($H=17$ m) ölçülmüştür. Aynı derinlikte YSA modeli ile tahmin edilen ve SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri ise sırasıyla 2.1 mm ve 6.6 mm’ dir. **Orta kazı aşamasında**, SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri en yüksek, YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri ise en düşüktür. **Nihai kazı aşamasında**, maksimum yer değiştirme değeri kazı seviyesinin üstünde ölçülmüştür. Bu kazı aşamasında YSA modeli ile tahmin edilen, kazı sahasında ölçülen ve SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri ile ait oldukları derinlikler sırasıyla; 11,5 mm ($H=21$ m), 15.3 mm ($H=17$ m) ve 16.5 mm ($H=15$ m)’ dir.



Şekil 6.8 INCL-04 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Şekil 6.9’ da INCL-05 tarafından başlangıç, orta ve nihai kazı aşamalarında sahada ölçülen, YSA modeliyle tahmin edilen ve sayısal modellerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. **Başlangıç kazı aşamasında**, YSA ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri arazide ölçülen ve SE yöntemi ile hesaplanan değerlerden düşüktür. Ölçülen maksimum yer değiştirmeler kazı seviyesinin altında oluşmaktadır. **Orta kazı aşamasında**, ölçülen, tahmin edilen ve hesaplanan yer değiştirme değerleri ile oluşan yer değiştirme profilleri önceki kazı aşamalarına benzer karakterdedir. **Nihai kazı aşamasına** ait maksimum yer değiştirmeler kazı seviyesinin üstünde, H=22 m seviyesinde oluşmaktadır. YSA modeli, ölçülen yer değiştirmeleri önceki kazı aşamalarına benzer şekilde ölçülen değerlerden düşük tahmin etmiştir. SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri ise ölçülen yer değiştirme değerlerinden yüksektir. Her üç yöntem ile elde edilen yer değiştirme profilleri benzer davranış sergilemektedir. YSA ile hesaplanan, arazide ölçülen ve SE yöntemi ile hesaplanan maksimum yer değiştirme değerleri ve ait oldukları derinlikler sırasıyla; 8.5 mm (H= 18 m), 11.7 mm (H=22 m) ve 12.8 mm (H=17 m)’ dir.



şekil 6.9 INCL-05 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

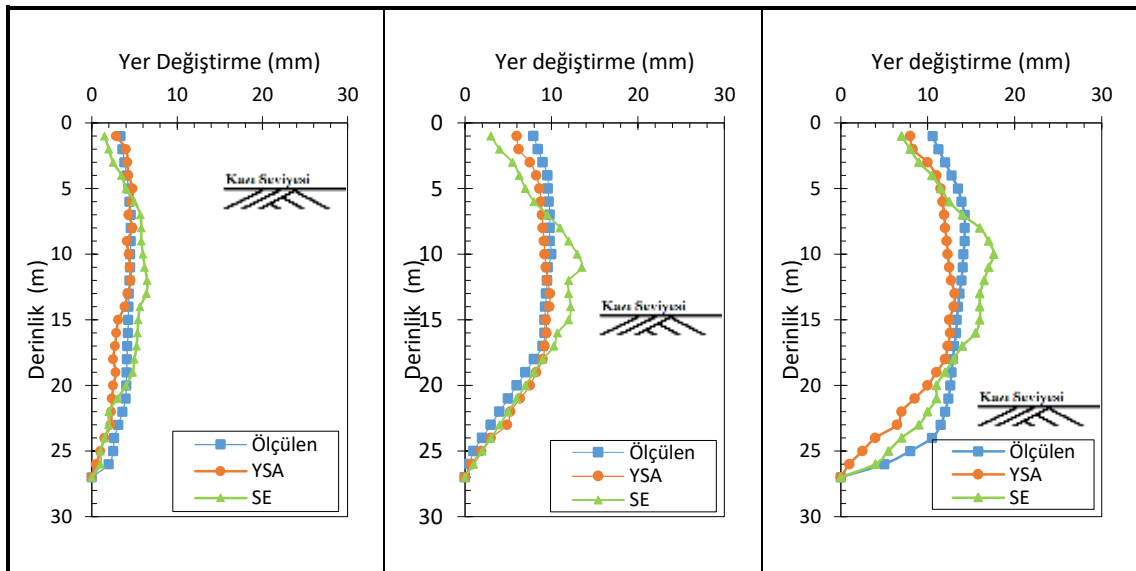
Çizelge 6.2’ de Mahmutbey istasyonuna ait öölölöl, YSA modeliyle tahmin edilen ve sayısal analizlerden elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri, ait oldukları kazı derinliğiyle beraber verilmiştir. YSA modeli ile tahmin edilen ve yerinde öölölöl yer değiştirme değerleri arasında INCL-02, INCL-03, INCL-04 ve INCL-05 inklinometrelerinin okuma aldığı kazı kesitlerinde sırasıyla 2 mm, 9.5 mm, 3.8 mm ve 3.2 mm fark vardır. Maksimum yer değiştirmelerin öölölölölöl kazı derinlikleri ile tahmin edilen derinlikler arasında ise 4 m’ ye varan farklar hesaplanmıştır. Aynı kazı kesitlerinde SE yöntemi ile hesaplanan ve öölölölöl yer değiştirme değerleri arasında sırasıyla 1mm, 3 mm, 1.2 mm ve 1.1 m fark vardır. SE yöntemi ile hesaplanan ve öölölölöl maksimum yer değiştirmeler arasında, YSA modeli ile hesaplanan değerlerden daha yüksek bir uyum görölmektedir.

Çizelge 6.2. Mahmutbey istasyonu derin kazısına ait öölölölöl, tahmin edilen ve hesaplanan maksimum yer değiştirmeler ve derinlikleri

Mahmutbey İstasyonu Derin Kazısı								
Metod	INCL-02		INCL-03		INCL-04		INCL-05	
	Derinlik (m)	δ_h max (mm)	Derinlik (m)	δ_h max (mm)	Derinlik (m)	δ_h max (mm)	Derinlik (m)	δ_h max (mm)
Öölölölöl	7	7	10	24	17	15.3	22	11.7
YSA	4	5	10	14.5	21	11.5	18	8.5
SE	14	8	11	21	15	16.5	17	12,8

6.3. İhlamurkuyu İstasyonu derin kazısına ait yer değiştirme ölçümleri

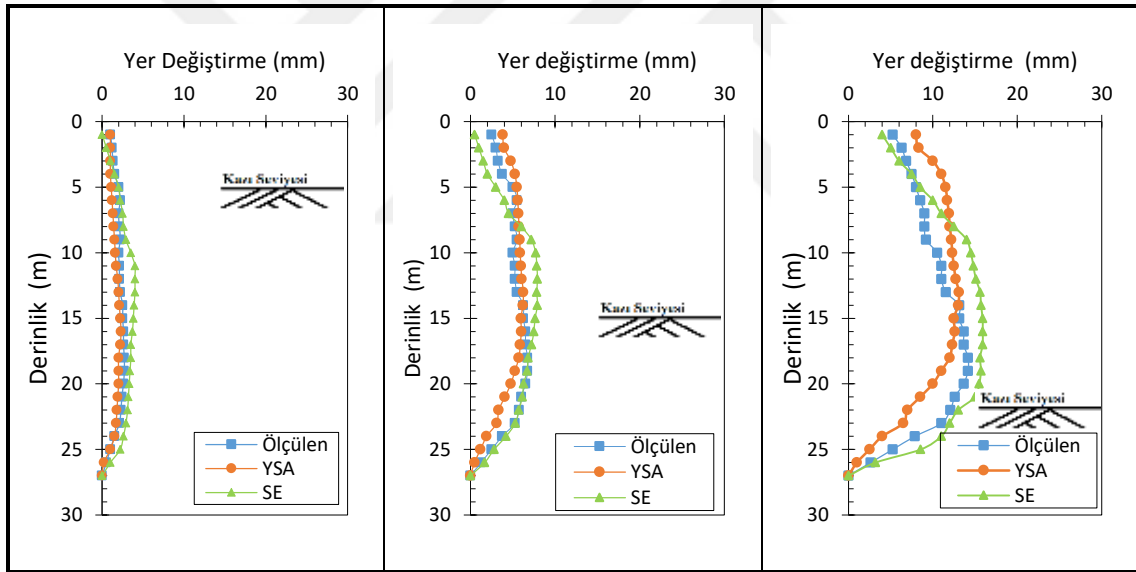
Şekil 6.10' da INCL-01 tarafından başlangıç, orta ve nihai kazı aşamalarında sahada ölçülen, YSA modeliyle tahmin edilen ve sayısal modellerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. **Başlangıç kazı aşamasında**, iksa duvarının üst kısımlarında YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri ölçülen ve SE yöntemi ile hesaplanan değerlere çok yakındır. Duvar alt bölgelerinde ise YSA modeli ile tahmin edilen değerler ölçülen ve SE yöntemi ile hesaplanan değerlerden düşüktür. **Orta kazı aşamasında**, YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme profili ile ölçülen yer değiştirme profili birbirine benzerdir. SE yöntemi ile hesaplanan değerler daha yüksek mertebelerdedir. Maksimum yer değiştirmeler kazı derinliğine yakın bölgelerde ölçülmüştür. **Nihai kazı aşamasında**, YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri, ölçülen ve SE yöntemi ile hesaplanan değerlerden düşüktür. Her üç yöntem ile elde edilen yatay yer değiştirme değerleri ile oluşan yer değiştirme profilleri arasında farklılıklar göze çarpmaktadır. YSA modeli ile tahmin edilen, ölçülen ve SE yöntemi ile hesaplanan maksimum yer değiştirme değerleri ve ait oldukları derinlikler sırasıyla; 13 mm (13 m), 14.3 mm (H=7 m) ve 17.6 mm (H=10 m)' dir.



Şekil 6.10 INCL-01 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Şekil 6.11' de INCL-02 tarafından başlangıç, orta ve nihai kazı aşamalarında sahada ölçülen, YSA modeliyle tahmin edilen ve sayısal modellerden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. **Başlangıç kazı**

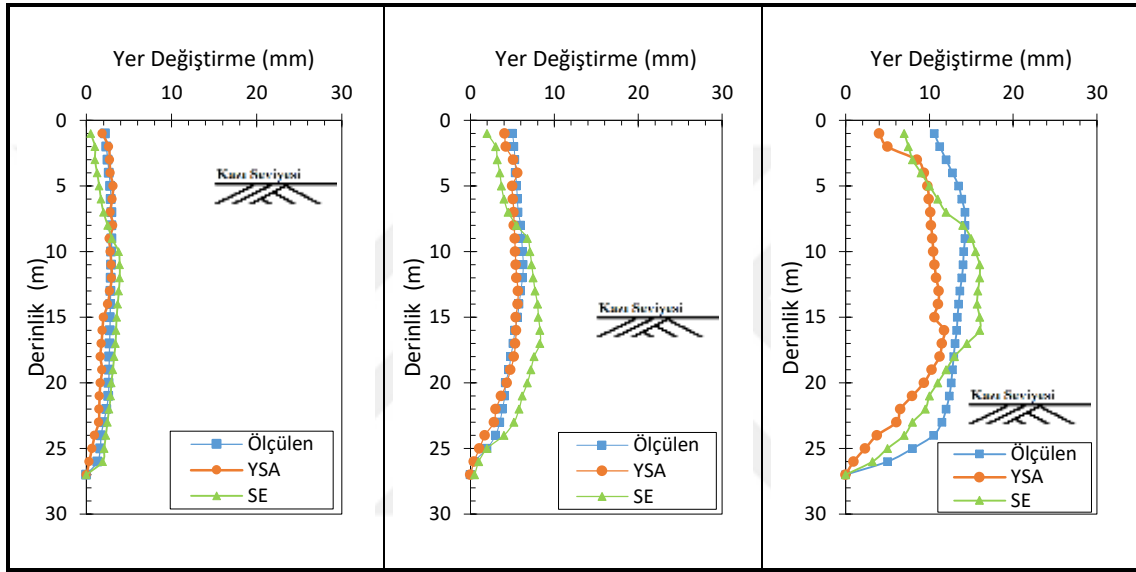
aşamasında, YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri ile ölçülen yer değiştirme değerleri birbirine çok yakın, oluşan yer değiştirme profilleri ise benzerdir. SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirmeler ise daha yüksek değerler almaktadır. **Orta kazı aşamasında**, duvar üst bölgelerinde YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri ile ölçülen yer değiştirme değerleri kazı derinliğinin üstünde, birbirine çok yakın değerler almaktadır. Kazı seviyesinin altında YSA modeli ile tahmin edilen değerler ölçülen değerlerden düşüktür. SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri, ölçülen ve tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden yüksektir. **Nihai kazı aşamasında**, YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri, tabii zemin üst kotundan itibaren 0-14 m arasında ölçülen yer değiştirme değerlerinden yüksek, 14-27 m kazı derinlikleri arasında ise ölçülen yer değiştirme değerlerinden düşüktür. SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri genel olarak ölçülen ve YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirme değerlerinden yüksektir.



Şekil 6.11 INCL-02 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Şekil 6.12' de INCL-03 tarafından başlangıç, orta ve nihai kazı aşamalarında sahada ölçülen, YSA modeliyle tahmin edilen ve SE analizlerinden elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin kazı derinliğiyle değişimi yer almaktadır. **Başlangıç kazı aşamasında**, YSA modeliyle tahmin edilen, ölçülen ve SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri birbirine yakın değerler almaktadır. Oluşan yer değiştirme profilleri büyük oranda birbirine benzemektedir. **Orta kazı aşamasında**, YSA modeli ile tahmin edilen ve ölçülen değerler birbirine yakın değerlerdedir. SE yöntemi ile hesaplanan yer

değiştirmeler ise daha yüksek mertebelerdedir. **Nihai kazı aşamasında**, YSA modeli ile tahmin edilen değerler ölçölen değerlerden düşüktür. Oluşan yer değiştirme profili ile ölçölen yer değiştirme profili arasında farklılıklar mevcuttur. Maksimum yer değiştirme değerleri kazı seviyesinin üstünde ölçölmüştür. YSA modeli ile tahmin edilen, ölçölen ve SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri ve ait oldukları derinlikler sırasıyla 11.5 mm (H=17 m), 14 mm (H=7 m) ve 16mm (H=16 m)' dir. Her üç yöntem ile elde edilen maksimum yer değiştirme değerlerinin ait oldukları derinlikler kazı derinliğine yakın bölgelerdedir.



şekil 6.12 INCL-03 kazı kesitinde, farklı kazı aşamalarındaki yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi

Çizelge 6.3' te İhlamurkuyu istasyonuna ait ölçölen, YSA modeliyle tahmin edilen ve sayısal modellerden elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri, ait oldukları kazı derinliğiyle beraber verilmiştir. YSA modeliyle tahmin edilen değerler ile ölçölen yatay yer değiştirmeler arasındaki fark, okumaların alındığı INCL-01, INCL-02 ve INCL-03 kesitlerinde sırasıyla; 1.3 mm, 1 mm ve 2.5 mm ' dir. Maksimum yer değiştirmelerin ölçöldüğü ve tahmin edildiği kazı derinlikleri arasında ise sırasıyla 6 m, 5 m ve 10 m farklar vardır. Aynı kazı kesitlerinde SE yöntemi ile hesaplanan ve ölçölen yer değiştirme değerleri arasındaki farklar sırasıyla 3.3 mm, 1.7 mm ve 2 mm' dir. Maksimum yer değiştirmelerin hesaplandığı ve ölçöldüğü kazı derinlikleri arasında ise her üç kazı kesitinde sırasıyla 3 m, 1 m ve 9 m fark vardır. YSA modeli ile tahmin edilen ve ölçölen maksimum yer değiştirme değerleri birbirine çok yakındır. Ancak maksimum yer

değişikliklerin tahmin edildiği ve ölçüldüğü kazı derinlikleri arasında belirgin farklar göze çarpmaktadır.

Çizelge 6.3. İhlamurkuyu istasyonu derin kazısına ait ölçülen, tahmin edilen ve sayısal modellemelerden elde edilen maksimum yer değişiklikleri ve derinlikleri

İhlamurkuyu İstasyonu Derin Kazısı						
Metod	INCL-01		INCL-02		INCL-03	
	Derinlik (m)	$\delta_{h \max}$ (mm)	Derinlik (m)	$\delta_{h \max}$ (mm)	Derinlik (m)	$\delta_{h \max}$ (mm)
Ölçülen	7	14.3	18	14.2	7	14
YSA	13	13	13	13.2	17	11.5
SE	10	17.6	17	15.9	16	16

SONUÇ VE ÖNERİLER

Derin kazı inşaatlarından elde edilen verilerin güvenilirliği, kazı sahalarında oluşacak hareketlerin tahmininde büyük rol oynamaktadır. Geçmiş kazı uygulamalarına ait verilerin çağdaş veri işleme metodlarıyla kullanımı, inşa edilecek derin kazılarda görülecek kazı hareketleri hakkında önemli bilgiler vermektedir.

Bu çalışmada İstanbul il sınırları içerisinde yapımı tamamlanan özel ve kamusal yatırımlara ait 28 derin kazı inşaatına ait 249 adet kesit incelenmiştir. Bu kazı kesitlerine ait yer değiştirme verileri jeolojik ortam, tabakalanma durumu ve kullanılan kazı destekleme sistemlerine göre incelenmiştir. Jeolojik ortamlarına göre derin kazılar; kaya, zemin ve zemin + kaya ortamlar, tabakalanma durumuna göre homojen ve tabakalı birimler, kullanılan kazı destekleme sistemlerine göre ise ankrajlı kazıklı, konsol kazıklı ve yukarıdan aşağıya sistemlere göre ayrılmıştır. Benzer literatür çalışmalarıyla beraber toplam 1243 adet veri ile oluşturulan veri tabanındaki kazı kesitlerine ait duvar ve zemin hareketlerinin kazı derinliği, sistem rijitliği ve esneklik katsayısı ile ilişkileri, farklı iksa ve destek sistemi tiplerine göre incelenmiştir. Yer değiştirmeler açısından belirlenen performans kriterleri doğrultusunda incelenen derin kazıların durumu hakkında önemli bulgulara ulaşılmıştır. İncelenen derin kazı inşaatlarından oluşturulan veri tabanı yardımıyla, derin kazılarda görülen yer değiştirmelerin tahmin edilmesinde kullanılabilecek veri madenciliği yöntemleri incelenmiştir. Bu yöntemler içerisinde, bir çağdaş bilgi işleme tekniği olan Yapay Sinir Ağları yaklaşımıyla, bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan tahmin modeliyle derin kazılarda, farklı kazı aşamalarında görülen yer değiştirmelerin tahmini başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Kaya, Zemin ve Zemin+Kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda artan kazı derinliğiyle ölçülen yatay yer değiştirmeler artmaktadır.
- Kaya, Zemin ve Zemin+Kaya ortamlarda inşa edilen derin kazılarda elde edilen kazı derinliği ile normalize edilmiş ortalama yatay yer değiştirme değerleri sırasıyla % 0.08, % 0.11 ve % 0.15' tir.
- Kazı derinliği arttıkça Kaya ve Zemin ortamlarda inşa edilen tasarımlardan hesaplanan $\delta_h \text{ ölçüm} / \delta_h \text{ analiz}$ oranında azalma, Zemin+Kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlardan hesaplanan $\delta_h \text{ ölçüm} / \delta_h \text{ analiz}$ oranında ise artış gözlenmektedir. Bu durumun Zemin+Kaya olarak tanımlanan ortamlarda tasarım parametrelerinin belirlenmesindeki güçlüklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- İncelenen sistemler içinde ortalama $\delta_v \text{ ölçüm} / \delta_h \text{ ölçüm}$ oranı Kaya, Zemin ve Zemin+Kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda sırasıyla 1.0, 0.70 ve 0.40 olarak hesaplanmıştır. Zemin ve Zemin+Kaya ortamlarda ölçülen yatay yer değiştirmelerin zemin yüzeyi oturmalarından daha düşük değerler aldığı görülmektedir.
- Kaya ve zemin ortamlarda inşa edilen tasarımlarda artan kazı derinliği ile ölçülen yüzey oturmalarında artış, Zemin+Kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ise azalma gözlenmektedir. Yeraltı su seviyesi değişiklikleri bazı tasarımlarda, ölçülen zemin yüzeyi oturmasının yüksek değerler almasına neden olmuştur.
- Duvar yüzünden uzaklaştıkça kaya ve zemin ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ölçülen oturma değerleri azalma eğiliminde, zemin+kaya ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ise önemli bir değişikliğe rastlanmamaktadır.
- Artan kazı derinliğiyle homojen ortamda gerçekleştirilen tasarımlarda ölçülen yatay yer değiştirme değerleri artmaktadır. Tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ise artan kazı derinliğiyle ölçülen yatay yer değiştirmelerde herhangi bir değişim gözlenmemektedir.
- Homojen ve tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ölçülen normalize edilmiş ortalama yatay yer değiştirme değerleri sırasıyla % 0.09 ve % 0.13 olarak hesaplanmıştır. İncelenen tasarımlar arasında kazı derinliği fazla olmasına rağmen ölçülen yatay yer değiştirmelerin düşük olduğu tasarımlar, kazı derinliği

fazla olan tasarımlarda inşaat ve ölçüm çalışmalarına daha fazla özen gösterilmesiyle açıklanmaktadır.

- Tabakalı ve homojen ortamlarda inşa edilen tasarımlarda ortalama $\delta_h \text{ ölçüm} / \delta_h \text{ analiz}$ oranı sırasıyla 1.6 ve 1.4' tür. Her iki ortamda inşa edilen tasarımlarda artan kazı derinliğiyle $\delta_h \text{ ölçüm} / \delta_h \text{ analiz}$ oranı azalmaktadır. Herhangi bir yapısal sorunla karşılaşılmasına rağmen ölçülen yatay yer değiştirmelerin analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelerden çok yüksek değerler aldığı tasarımlar yer değiştirme ölçümlerine yeterli önemin gösterilmemesiyle açıklanmaktadır.
- Tabakalı ortamlarda inşa edilen derin kazılarda ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinin homojen ortamlarda inşa edilen derin kazılarda ölçülen düşey yer değiştirme değerlerinden daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.
- Ölçülen ortalama normalize edilmiş zemin yüzeyi oturması değerleri homojen ve tabakalı ortamlarda gerçekleştirilen tasarımlarda sırasıyla % 0.05H ve % 0.08H olarak hesaplanmıştır. Her iki ortamda inşa edilen tasarımlarda artan kazı derinliğiyle ölçülen zemin yüzeyi oturması değerleri azalmaktadır. Kazı derinliği arttıkça ölçülen yer değiştirme değerlerinin azalması yüksek kazı derinliğinde inşaat ve ölçüm çalışmalarına daha fazla özen gösterilmesiyle açıklanmaktadır [14].
- Homojen ortamlarda inşa edilen tasarımlara ait ortalama $\delta_v \text{ ölçüm} / \delta_h \text{ ölçüm}$ oranı 1.35 tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlarda bu oran 0.50 olarak hesaplanmıştır. İncelenen homojen ortamda inşa edilen tasarımlara ait $\delta_v \text{ ölçüm} / \delta_h \text{ ölçüm}$ değerleri Peck [3] tarafından $\delta_v / \delta_h = 1$ olarak önerilen oranın üzerindeyken tabakalı ortamlarda inşa edilen tasarımlarda $\delta_v \text{ ölçüm} / \delta_h \text{ ölçüm}$ oranı daha düşük hesaplanmıştır.
- İncelenen tasarımlara ait ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının duvar yüzüne yakın mesafelerde, I numaralı bölgede yoğunlaştığı görülmektedir. Her iki ortamda inşa edilen tasarımlara ait ölçülen zemin yüzeyi oturması değerlerinin daha çok duvar yüzüne $d < 1.H_e$ mesafesinde olduğu görülmektedir.
- İncelenen ankrajlı kazıklı sistemlerde, yukarıdan aşağıya sistemlerde ve içten destekli sistemlerde ölçülen yatay yer değiştirmeler literatür çalışmalarıyla uyumlu olarak birbirine yakın değerler almaktadır. Ankrajlı kazıklı sistemlerde, içten destekli sistemlerde ve yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen normalize

edilmiş ortalama yatay yer değiştirme değerleri sırasıyla % 0.11H, % 0.05H ve % 0.08H olarak hesaplanmıştır. İncelenen sistemlerde artan kazı derinliğiyle ölçülen yatay yer değiştirmeler artarken normalize edilmiş yatay yer değiştirmeler ise azalmaktadır.

- Artan kazı derinliğiyle ölçülen ve analizlerden elde edilen yatay yer değiştirmelerin birbirine oranı ankrajlı kazıklı sistemler ve yukarıdan aşağıya sistemlerde artarken, içten destekli sistemlerde bu oran azalmaktadır.
- İncelenen tüm iksa destek sistemlerinde artan kazı derinliğiyle ölçülen zemin yüzeyi oturması değerlerinde azalma gözlenmektedir.
- İncelenen yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen ve analizlerden elde edilen düşey yer değiştirme değerlerinin birbirine daha yakın değerler aldığı, bu derin kazılarda tasarımların zemin yüzeyi oturmaları açısından daha başarılı gerçekleştirildiği görölmektedir.
- İçten destekli sistemlerde ve yukarıdan aşağıya sistemlerde ölçülen düşey yer değiştirmelerin duvar yüzüne yakın mesafelerde olduğu, ankrajlı kazıklı sistemlerde ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının daha yüksek değerlere ulaştığı ve duvar yüzünden daha uzak mesafelerde de ölçüldüğü görölmektedir.
- İncelenen kesitler arasında ölçülen düşük zemin yüzeyi oturmaları gelişen inşaat teknolojisi, kazı açıklığının kısa olması, hızlı inşaat teknikleri, destek elemanlarının hemen yerleştirilmesi, sistem rijitliği ve düzenli saha ölçümlerine bağlanmaktadır.
- İncelenen her üç iksa tipinde ölçülen ve analizlerden elde edilen zemin yüzeyi oturmalarının yüksek değerlere ulaştığı sınırlı sayıda tasarımlar mevcuttur. Bu derin kazılara ait her iki yer değiştirme değeri arasındaki yüksek farklar tasarım yaklaşımları ile inşaat ve ölçüm tekniklerine bağlanmaktadır.
- İncelenen sistemlerden ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının duvar yüzüne yakın mesafelerde ve I numaralı bölgede yoğunlaştığı görölmektedir. Yukarıdan aşağıya sistemler ile ankrajlı kazıklı sistemlerde ölçülen zemin yüzeyi oturmalarının maksimum kazı derinliğinin sırasıyla % 2.5 ile % 3 'ü mertebelerine ulaştığı görölmektedir. İncelenen sınırlı sayıda tasarımda duvar yüzünden daha uzak mesafelerde ankrajlı kazıklı sistemlerde zemin yüzeyi oturmaları

ölçülmektedir. İçten destekli sistemlerde ise zemin yüzeyi oturmaları çok düşük mertebelerde kalmaktadır.

- Kamusal ve özel yapılara ait ölçülen yatay yer değiştirme değerleri geniş bir aralıkta dağılım göstermiştir. Ölçülen yatay yer değiştirme değerleriyle kazı derinliği arasında belirgin bir ilişkiye rastlanmamıştır. İncelenen kamusal ve özel yatırımlara ait derin kazılarda ölçülen yatay değiştirme büyüklükleri arasında belirgin bir farklılık görülmemektedir.
- İncelenen sistemlerde sistem rijitliğinin artmasıyla normalize edilmiş yatay yer değiştirmelerde önemli bir değişikliğe rastlanmamıştır. İncelenen sistemlerde, sistem rijitliğinin farklı değerlerine karşılık ölçülen yatay yer değiştirmelerde önemli bir değişikliğe rastlanmamaktadır. Ankrajlı duvarlar, destekli ve yukarıdan aşağıya sistemlerde farklı sistem rijitliği değerlerine karşılık birbirine yakın normalize edilmiş yer değiştirmelerin ölçülmesi, sistem rijitliğinin yer değiştirmeler üzerinde sınırlı etkisi olduğunu göstermektedir.
- Kaya ve kil ortamlarda inşa edilen tasarımlardan ölçülen yatay yer değiştirmeler, artan elastisite modülüyle azalma eğilimindedir.
- İncelenen sistemlerden ölçülen yatay yer değiştirmeler ile zemin yüzeyi oturmalarının literatür çalışmalarından daha düşük mertebelerde olduğu görülmüştür.
- İncelenen derin kazı destekleme sistemlerinin % 66' sında ölçülen yatay yer değiştirmeler duvar boyunun % 0.1' inden küçük, % 33' ünde duvar boyunun % 0.1' i ile % 0.5' i arasında, % 1' inde ise duvar boyunun % 0.5'inden büyüktür
- Buna göre incelenen tasarımların yer değiştirmeler açısından % 66' sının güvenlik seviyesinin çok yüksek, % 33' ünün makul seviyede ve % 1' inin ise limit değerleri aştığı görülmektedir.
- Eldeki kazı projelerinin sayısal analizlerinden elde edilen maksimum yatay yer değiştirme değerleri büyük oranda ölçülen yer değiştirme değerlerinden büyük veya bu değerlere yaklaşık eşit çıkmıştır. Bu durum incelenen projelerin % 70' inin tasarımında seçilen parametrelerin güvenli tarafta kalınarak seçildiğini göstermektedir.

- Oluşturulan YSA modeli, kazı sahalarında görülen yatay yer değiştirmelerin tahmininde başarılı bir performans sergilemiştir. Farklı kazı aşamalarında ölçülen maksimum yatay yer değiştirmelerin tahmininde R, korelasyon katsayısı 0.91005 olarak elde edilmiştir.
- Oluşturulan YSA modelinin eğitiminde kullanılmayan üç adet derin kazı inşaatının, farklı kazı aşamalarında ölçülen yatay yer değiştirmeler geliştirilen YSA modeliyle tahmin edilmiştir.
- Fıstıkağacı İstasyonunda kazı derinliğinin artmasıyla ölçülen, YSA ile tahmin edilen ve SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerlerinin arttığı görülmektedir. Başlangıç kazı aşamasında oluşan yer değiştirmeler düşük mertebelerdedir. YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri ölçülen değerlerden düşüktür. Duvar üst bölgelerinde SE yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri ölçülen değerlere daha yakındır. Bazı kazı kesitlerinde YSA modeli ile elde edilen yer değiştirme profilleri ile ölçülen yer değiştirme profilleri arasında farklılıklar mevcuttur. Orta ve nihai kazı aşamasında YSA modeliyle tahmin edilen yer değiştirmelerin tahmin başarısı başlangıç kazı aşamasına kıyasla daha yüksektir. Maksimum yer değiştirme değerlerinin ölçüldüğü kazı derinlikleri YSA modeliyle başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir. Tahmin edilen ve ölçülen yer değiştirmelere ait yer değiştirme profilleri büyük oranda benzerlik göstermektedir. Geliştirilen YSA modelinin, incelenen kazı kesitlerinde kazı sahasında ölçülen yer değiştirme verilerini tahmin başarısının yüksek olduğu görülmektedir.
- Mahmutbey istasyonunda YSA modelinin tahmin ettiği değerler ölçülen ve hesaplanan değerlerden düşüktür. Oluşan yer değiştirme profilleri arasında farklılıklar görülmektedir. Bazı kesitlerdeki ölçülen yer değiştirme değerlerinin ani artış ve azalışları kazı derinliği boyunca kesilen ara bantlardan kaynaklanmaktadır. Bu derinliklerde YSA modelinin performansı düşüktür. Orta kazı aşamasında incelenen kesitlerde tahmin edilen değerler ölçülen değerlerden küçüktür. Ölçülen değerlerde ani değişimler gözlemlenmektedir. Bu durum zemin süreksizliklerine ve kazı derinliği boyunca kesilen ara bantlara bağlanmaktadır. Nihai kazı aşamasında YSA modelinin ani değişim gösteren yer değiştirme değerlerini tahmin başarısı düşüktür. Zemin süreksizliklerinden

kaynaklanan ani yer değiştirmeler YSA modelinin tahmin başarısını düşürmektedir.

- İhlamurkuyu istasyonunda başlangıç kazı aşamasında, YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme değerleri ölçülen değerlere çok yakındır. YSA modeli ile tahmin edilen yer değiştirme profili ile ölçülen yer değiştirme profilleri benzerlik göstermektedir. Ölçülen ve tahmin edilen maksimum yer değiştirmeler kazı derinliğinin altında oluşmuştur. Orta kazı aşamasında YSA ile tahmin edilen yer değiştirmeler ile ölçülen yer değiştirme değerleri birbirine çok yakındır. Yer değiştirme profilleri ise büyük oranda benzerlik göstermektedir. Nihai kazı aşamasında YSA ile tahmin edilen ve ölçülen yer değiştirme değerleri arasındaki fark artmıştır. Kazı derinliğinin artmasıyla YSA' nın tahmin başarısı azalmıştır. Başlangıç ve orta kazı aşamasına göre nihai kazı aşamasında ölçülen ve tahmin edilen yer değiştirme profillerinin benzerlik oranı düşüktür.
- İncelenen her üç farklı destek tipi incelendiğinde geliştirilen YSA modelinin ankrajlı kazıklı sistemlerde tahmin başarısının, yukarıdan aşağıya sistemler ile destekli ankrajlı kazıklı sistemlerden daha yüksek olduğu görölmektedir. Bunun, veri tabanı içindeki yüksek orandaki ankrajlı kazıklı sistem verisinden kaynaklandığı düşünölmektedir.
- Derin kazı destekleme sistemlerine ait kazı verileri ile farklı kazı aşamalarında oluşan yer değiştirmelerin başarılı bir şekilde tahmin edildiği görölmektedir. Veri sayısı yüksek veri tabanları ile eğitilen YSA modellerinin incelenen iksa destek yapılarında oluşacak yer değiştirmeleri tahminindeki başarı performansının daha yüksek olacağı düşünölmektedir. Bu çalışmada, bir çağdaş bilgi işleme tekniği olan YSA yöntemi ile geoteknik mühendisliği açısından faydalı bulgulara ulaşılmıştır. Geliştirilen bu metodun ileriki derin kazı inşaatlarında kullanımı ile kazı sahalarında oluşabilecek aşırı yer hareketlerinin önceden tahmini mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

-
- [1] Terzaghi, K., (1943). Theoretical Soil Mechanics. Wiley, New York.
 - [2] Bjerrum, L. ve Eide, O. (1956). "Stability of Strutted Excavations in Clay", Geotechnique, London, 6(1). 32-47.
 - [3] Peck, R.B., (1969). "Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground", Proceedings 7th I.C.S.M.F.E. State of Art Sayı, Mexico: 225-290.
 - [4] Lambe, T.W. (1970). "Measured Performance of Braced Excavation", JSMFD, ASCE, Vol.96, SM 3:817-836.
 - [5] Goldberg, D.T., Jaworski, W.E., ve Gordon, M.D. (1976). "Lateral Support Systems and Underpinning", Reports FHWA-RD 75-128, Vol. 1.
 - [6] Mana, A. I. ve Clough, G. W., (1981). "Prediction of movements for braced cuts in clay", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 107(6): 759-777.
 - [7] Terzaghi, K., (1943), Theoretical Soil Mechanics, John Wiley ve Sons, New York.
 - [8] Bowles, J.E. (1988). Foundation analysis ve design, 4th ed., McGraw-Hill Book Company, New York.
 - [9] Clough, G.W., Smith, E. W. ve Sweeney, B. P. (1989). "Movement control of excavation support system by iterative design", Foundation Engineering Current Principles and Practices, Vol.2 ASCE, New York, NY, 1989, pp.869-882.
 - [10] Clough, G. W. ve O'Rourke, T. D., (1990). "Construction Induced Movements of In-situ Walls", Design and Performance of Earth Retaining Structures, Proceedings of a Speciality Conference at Cornell University, ASCE, New York, : 439-470.
 - [11] Ou, C.Y., Hsieh, P.G. ve Chiou, D.C., (1993). "Characteristics of ground surface settlement during excavation", Canadian Geotechnical Journal, 30(5): 758-767.
 - [12] Hsieh, P.G. ve Ou, C.Y., (1998). "Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation", Canadian Geotechnical Journal, 35 (6): 1004-1017.
 - [13] Addenberooke, T.I., Potts, D. M. ve Dabee, B. (2000). "Displacement flexibility number for multi-propped retaining wall design", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental engineering, Vol. 126, No. 8, August, 2000, pp 718-726.

- [14] Long, M. (2001). "Database for retaining wall and ground movements due to deep excavation", J. Geotech. & Geoenviron. Engrg, ASCE, Vol. 127(3),203-224
- [15] Moormann, C. (2004). "Analysis of wall and ground movement due to deep excavation in soft soil based on a new worldwide database", Soils and Foundations, Vol. 44, No. 1, 87- 98.
- [16] Wong I. H., Poh T. Y. ve Chuah.H. L., (1997). "Performance of excavations for depressed expressway in Singapore", J. Geo. & Geoenv. Engrg., Vol. 123 (7). pp617-625.
- [17] Karlsrud, K. (1986). "Performance monitoring of deep supported excavations in soft clay", Proc. 4th Int. Geot. Seminar, 'Field instrumentation and in-situ measurement', NTU, Singapore, 187–202.
- [18] Whittle, A.J., Hashash, Y.M.A ve Whitman, R.V., (1993), "Analysis of Deep Excavation in Boston", Journal of Geotechnical Engineering. 119 (1):69-90.
- [19] Ng, C. W.W., (1998). "Observed Performance of multi-propped excavation in stiff clay", J. Geotech & Geoenviron. Engrg. Vol.124 (9). pp. 889-905.
- [20] Wang, Z. W., Ng C. W. W. ve Lui, G. B, (2005). "Characteristics of wall deflection and ground surface settlements in Shanghai", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 42, 1243-1254
- [21] Leung, E.H.Y. ve Charles, W.W.Ng. (2007). "Wall and Ground Movements Associated with Deep Excavations Supported by Cast In Situ Wall in Mixed Ground Conditions", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133(2): 129-143.
- [22] Hwang, R.N., Lee, T. Y., Chou, C.R ve Su.,T,C., (2012). "Evaluation of performance of diaphragm walls by wall deflection paths", Journal of GeoEngineering, 7 (1): 001-012.
- [23] Ou, C.Y., Hsieh P.G., ve Lin Y.L. (2013). "A parametric study of wall deflections in deep excavations with the installation of cross walls", Computer ve Geotechnics, 50: 55-65
- [24] Hashash, Y. M. A., ve Whittle, A. J. (1996). "Ground movement prediction for deep excavations in soft clay", J. Geotech. Eng., 122(6), pp.474-486.
- [25] Osman, A. S. & Bolton, M. D. (2004). "A new design method for retaining walls in clay", Canadian Geotechnical Journal, 41(3): 453-469.
- [26] Koutsoftas,D.C.m(2012). "State of Practice: Excavations in Soft Soils", Geotechnical Engineering State of the Art ve Practice, 678-728.
- [27] Çetin, D. (2016). "Performance of soil nailed and anchored walls based on field monitoring data in different soil conditions in Istanbul", Acta Geotechnica Slovenica, (1):49-63.
- [28] Coulomb, C. A., (1776). "Sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture", Me`m. Acad. Roy. Pre`s. Divers Savants 7, Paris.

- [29] Rankine, W.,(1857). "On the Stability of Loose Earth", Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 147.
- [30] Terzaghi,k. ve Peck.,R.B. (1967).Theoretical Soil Mechanics, Wiley, New York.
- [31] Tschebotarioff, G.P. (1973).Foundation, Retaining and Earth Structures, Mc Graw-Hill, New York.
- [32] Yıldırım, S., (2009). Zemin İncelenmesi ve Temel Tasarımı, Birsen Kitapevi, İstanbul.
- [33] Palmer, J.H.L.ve Kenny, T.C., (1972)." Analytical study of a braced excavation in weak clay", Canadian Geotechnical Journal, 9: 145 - 164.
- [34] Burland.,J.B. ve Wroth.,C.P.,(1979). "Movements around excavations in London clay",7th European Conference on Soil Mechanics ve Foundation Engineering, 1: 13-29.
- [35] Mana, A.I., (1978). Finite element analysis of deep excavation behaviour, Doctoral Thesis, Stanford University, Stanford, California.
- [36] Zeng, G.X., Pan, Q.Y. ve Hu, Y.F., (1986)." Behaviour of excavation with sheet piling in soft clay", The international conference of deep excavation, Beijing, 3.1 - 3.6.
- [37] Freiseder, M.G., (1998). "Ein Beitrag zur numerischen Berechnungen von tiefen Baugruben in weichen Böden", Gruppe Geotechnik Graz, Institute für Bodenmechanik und Grundbau, Heft 3.
- [38] Clough, G.W. ve Tsui, Y.,(1974). "Performance of tied - back walls in clay", Journal of Geotechnical Division, ASCE, 100 GT12: 1259 - 1273.
- [39] McRostij, G.C., Burn, K.N. ve Mitchell, R.J., (1972)."The performance of tied - back sheet piling in clay", Canadian Geotechnical Journal, 9: 206 - 218.
- [40] Potts, D.M. ve Fourie, A.B., (1985). "The effect of wall stiffness on the behaviour of a propped retaining Wall", Geotechnique 35(3): 347 - 352.
- [41] Potts, D.M. ve Bond, A.J., (1994). "Calculation of structural forces for propped retaining walls", XIII ICSMFE, Yeni Delhi, Hindistan: 823 - 826.
- [42] Bjerrum, L. , Clausen, C.-J. F. ve Duncan, J.M., (1972)." Earth pressures on flexible structures", A State-of-the-Art-Report; Proceeding of the 5th European Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Madrid, 2: 169 - 196.
- [43] Reid, M.E., Baum, R.L., Lahusen, R.G. ve Ellis, W.L., (2008)."Capturing landslide Dynamics and hydrologic triggers using near-real-time monitoring", Proceedings of the 10th International Symposium on Landslides, Xi'an, China 1: 179-191.
- [44] Ho, K.K.S., (2004). "Recent advances in geotechnology for slope stabilization and landslide mitigation – perspective from Hong Kong", Proceedings of the 9th International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, Brazil 2: 1507-1560.

- [45] Bozüyük, T., Yağcı, C., Gökçe, İ. ve Akar, G., (2005). "Yapay zeka teknolojilerinin endüstrideki uygulamaları", Marmara Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektrik Programı: 15-34.
- [46] Zadeh, L., (1975). "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning", Information Sciences, 8(3): 199 – 249.
- [47] Baykal, N. ve Beyan, T., (2004). Bulanık Mantık İlke ve Temelleri, Bıçaklar Kitabevi, 413, Ankara.
- [48] Ural, Ş., "Puslu (Fuzzy) Mantık", <https://www.safakural.com/makaleler/puslu-%28fuzzy%29-mantik>
- [49] Kurbanoglu, S., (1992). "Uzman Sistemler", Türk Kütüphaneciliği, 6(4), Hacettepe Üniversitesi.
- [50] McCulloch W.S. ve Pitts W.H. (1943), "A Logical Calculus of the Ideas Imminent in Nervous Activity", Bull. Math. Bioph., 5: 115-133.
- [51] Hebb, D., (1949). The Organization of Behavior, Wiley, New York.
- [52] Rosenblatt, F., (1958). "The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain", Psychological Review, 65(6): 386-408.
- [53] B. Widrow ve M.E. Hoff, (1962). "Associative Storage and Retrieval of Digital Information in Networks of Adaptive Neurons", Biological Prototypes ve Synthetic Systems, 1:160, 1962.
- [54] Minsky, M. ve Papert, S., (1969). Perceptrons, Cambridge, Mass. MIT Press.
- [55] Hopfield J.J. (1984). "Neurons with Graded Response Have Collective Computational Properties like Those of Two State Neurons", Proc. Natl. Acad. Sci. 81: 3088-3092.
- [56] Rumelhart, D.E., ve McClelland, J.L., (1986). "Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition," 1. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [57] Carpenter, G.A. ve Grossberg, S., (1987). "A massively parallel architecture for a self-organizing neural pattern recognition machine", Computer Vision, Graphics, ve Image Processing, 37: 54-115.
- [58] Öztemel, E., (2006). Yapay Sinir Ağları, 2. Baskı, İstanbul, Papatya Yayıncılık.
- [59] Elmas, Ç., (2003). Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), Seçkin Yayınları: Ankara.
- [60] Kabalcı, E., (2015). "Yapay Sinir Ağları", <https://ekblc.files.wordpress.com/2013/09/ysa.pdf>.
- [61] Goh, A.T.C., (1994). "Estimating basal heave stability for braced excavation in soft clay", Technical note, Journal of Geotechnical Engineering, 120(8): 1430-1436.
- [62] Goh, A.T.C., (1995b). "Modeling soil correlations using neural networks", Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, 9(4): 275-278.

- [63] Goh, A.T.C., (1994a). "Nonlinear modeling in geotechnical engineering using neural networks", Australian Civil Engineering Transactions, CE36(4), 293-297.
- [64] Randolph, M.F. ve Wroth, C.P., (1978). "Analysis of deformation of vertically loaded piles", ASCE, Journal of the Geotechnical Engineering Division, 104(12): 1465-1488.
- [65] Sivakugan, N., Eckersley, J. D., ve Li, H., (1998). "Settlement predictions using neural Networks", Australian Civil Engineering Transactions, CE40: 49-52.
- [66] Terzaghi, K. ve Peck, R. B., (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley ve Sons, Inc., New York, Toronto, London: 729.
- [67] Schmertmann, J.H., Hartman, J.P. ve Brown, P.R., (1978). "Improved strain influence factor diagrams", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 104(8): 1131-1135.
- [68] Shahin, M. A., Jaksa, M. B., ve Maier, H. R., (2000). "Predicting the settlement of shallow foundations on cohesionless soils using back-propagation neural networks", Research Report No. R 167, The University of Adelaide.
- [69] Goh, A. T. C., (1995a). "Empirical design in geotechnics using neural networks", Geotechnique, 45(4): 709-714.
- [70] Schultze, E. ve Sherif, G., (1973). "Prediction of Settlements from Evaluated Settlement Observations for Sand" Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics ve Foundation Engineering, Vol. 1.3: 225-230.
- [71] Chan, W. T., Chow, Y. K., ve Liu, L. F., (1995). "Neural network: An alternative to pile driving formulas", Computers ve Geotechnics, 17:135-156.
- [72] Lee, I. M., ve Lee, J. H., (1996). "Prediction of pile bearing capacity using artificial neural networks", Computers ve Geotechnics, 18(3): 189-200.
- [73] Abu-Kiefa, M. A., (1998). "General regression neural networks for driven piles in cohesionless soils", Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, ASCE, 124(12): 1177-1185.
- [74] Meyerhoff, G., (1976). "Bearing capacity ve settlement of pile foundations", Journal of the Geotechnical Engineering division, 102,3:195-228.
- [75] Ellis, G. W., Yao, C., Zhao, R., ve Penumadu, D., (1995). "Stress-strain modeling of sands using artificial neural networks", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 121(5): 429.
- [76] Ghaboussi, J., ve Sidarta, D. E., (1998). "New nested adaptive neural networks (NANN) for constitutive modeling", Computers ve Geotechnics, 22(1): 29-52.
- [77] Penumadu, D., ve Zhao, R., (1999). "Triaxial compression behavior of sand and gravel using artificial neural networks (ANN)", Computers ve Geotechnics, 24(3): 207-230.
- [78] Zhu, J. H., Zaman, M. M., ve Anderson, S. A., (1998a). "Modeling of soil behavior with a recurrent neural network", Canadian Geotechnical Journal, 35(5): 858-872.

- [79] Zhu, J. H., Zaman, M. M., ve Anderson, S. A., (1998b). "Modeling of shearing behaviour of a residual soil with recurrent neural network", *International Journal of Numerical ve Analytical Methods in Geomechanics*, 22(8): 671-687.
- [80] Najjar, Y. M., Basheer, I. A., ve McReynolds, R., (1996a). "Neural modeling of Kansan soil swelling", *Transportation Research Record*, No. 1526: 14-19.
- [81] Agrawal, G., Weeraratne, S., ve Khilnani, K., (1994). "Estimating clay liner ve cover permeability using computational neural networks", *Proceedings of the 1st Congress on Computing in Civil Engineering*, Washington.
- [82] Gribb, M. M., ve Gribb, G. W., (1994). "Use of neural networks for hydraulic conductivity determination in unsaturated soil", *Proceedings of the 2nd International Conference*.
- [83] Romero S. ve Pamukcu, S., (1996). "Prediction of Dynamic Properties of Granular Material by Low Strain Dynamic Excitation ve ANN," *Uncertainty in Geological Environment: From Theory to Practice*, ASCE, 2: 1134-1148.
- [84] Najjar, Y. M., Basheer, I. A. ve Naouss, W. A., (1996b). "On the identification of compaction characteristics by neuronets", *Computers ve Geotechnics*, 18(3), 167-187.
- [85] Basheer, I. A. ve Najjar, Y. M., (1995). "A neural-network for soil compaction." *Proc., 5th Int. Symp. Numerical Models in Geomechanics*, G. N. Pande ve S. Pietruszczak, eds., Rotterdam, Balkema: 435-440.
- [86] Penumadu, D., Jin-Nan, L., Chameau, J.-L. ve Arumugam, S., (1994). "Ratedependent behavior of clays using neural networks", *Proceedings of the 13th Conference of the International Society of Soil Mechanics & Foundation Engineering*, New Delhi: 1445-1448.
- [87] Basheer, I. A., (1998). *Neuromechanistic-based Modeling ve Simulation of Constitutive Behaviour of Fine-grained Soils*, PhD Thesis, Kansas State University, Manhattan, KS.
- [88] Basheer, I. A., ve Najjar, Y. M., (1998). "Modeling cyclic constitutive behavior by neural networks: Theoretical ve real data", *Proceedings of the 12th Engineering Mechanics Conference*, La Jolla, California: 952-955.
- [89] Najjar, Y. M., ve Ali, H. E. (1999). "Simulating the stress-strain behavior of Nevada sand by ANN" *Proceedings of the 5th U.S. National Congress on Computational Mechanics (USACM)*, Boulder, Colorado.
- [90] Najjar, Y.M., Ali,H.E., ve Basheer, I.A., (1999). "On the use of neuronets for simulating the stress-strain behavior of soils", *Proceedings of the 7th International Symposium on Numerical Models in Geomechanics*, Graz, Austria: 657-662.
- [91] Zhu, J.H., Zaman, M.M., ve Trafalis, T.B., (1996). "Prediction of shear stress-strain behavior of soil with recurrent neural network", *Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks*, 6: 809-814.

- [92] Tutumluer, E., ve Seyhan, U., (1998). "Neural network modeling of anisotropic aggregate behavior from repeated load triaxial tests", Transportation Research Record 1615, National Research Council, Washington, DC.
- [93] Shi, J., Ortigao, J.A.R., ve Bai, J., (1998). "Modular neural networks for predicting settlement during tunneling", Journal of Geotechnical&Geoenvironmental Engineering, ASCE, 124(5): 389-395.
- [94] Shi, J.J., (2000). "Reducing prediction error by transforming input data for neural networks", Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, 14(2): 109-116.
- [95] Shahin, M.A., Jaksa, M.B., ve Maier, H.R., (2001). "Artificial neural network applications in geotechnical engineering", Australian Geomechanics, 36(1): 49-62.
- [96] Jan, J.C., Hung, S.L., Chi, S.Y., Chern, J.C., "Neural network forecast model in deep excavation", J. Comput. Civil Eng., 16(1), 59-65, 2002
- [97] EN 1997-1, (2004). Eurocode 7: Geotechnical Design - Part 1: General Rules.
- [98] BS 8002, (1994). Code of Practice for Earth Retaining Structures, Incorporating Amendments Nos. 1 and 2, Corrigendum No. 1.
- [99] Bryson, L. S., ve Zapata-Medina, D. G. (2007). "Physical modeling of support excavation", Proc., Sessions of Geo-Denver, ASCE, Reston, VA.

YSA MATLAB KODU

```
1. % Solve an Input-Output Fitting problem with a Neural Network
2. % Script generated by Neural Fitting app
3. % Created 16-Jun-2017 01:36:03
4. %
5. % This script assumes these variables are defined:
6. %
7. % girdiler - input data.
8. % hedeflenen - target data.
9. x = girdi';
10. t = hedef';
11. % Choose a Training Function
12. % For a list of all training functions type: help nntrain
13. % 'trainlm' is usually fastest.
14. % 'trainbr' takes longer but may be better for challenging problems.
15. % 'trainscg' uses less memory. Suitable in low memory situations.
16. trainFcn = 'trainlm'; % Levenberg-Marquardt backpropagation.
17. % Create a Fitting Network
18. hiddenLayerSize = 25;
19. net = fitnet(hiddenLayerSize,trainFcn);
20. % Choose Input and Output Pre/Post-Processing Functions
21. % For a list of all processing functions type: help nnprocess
22. net.input.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};
23. net.output.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};
24. % Setup Division of Data for Training, Validation, Testing
```

```

25. % For a list of all data division functions type: help nndivide
26. net.divideFcn = 'dividerand'; % Divide data randomly
27. net.divideMode = 'sample'; % Divide up every sample
28. net.divideParam.trainRatio = 90/100;
29. net.divideParam.valRatio = 5/100;
30. net.divideParam.testRatio = 5/100;
31. % Choose a Performance Function
32. % For a list of all performance functions type: help nnperformance
33. net.performFcn = 'mse'; % Mean Squared Error
34. % Choose Plot Functions
35. % For a list of all plot functions type: help nnplot
36. net.plotFcns = {'plotperform','plottrainstate','ploterrhist', ...
37. 'plotregression', 'plotfit'};
38. % Train the Network
39. [net,tr] = train(net,x,t);
40. % Test the Network
41. y = net(x);
42. e = gsubtract(t,y);
43. performance = perform(net,t,y)
44. % Recalculate Training, Validation and Test Performance
45. trainTargets = t .* tr.trainMask{1};
46. valTargets = t .* tr.valMask{1};
47. testTargets = t .* tr.testMask{1};
48. trainPerformance = perform(net,trainTargets,y)
49. valPerformance = perform(net,valTargets,y)
50. testPerformance = perform(net,testTargets,y)
51. % View the Network
52. view(net)
53. % Plots
54. % Uncomment these lines to enable various plots.
55. %figure, plotperform(tr)
56. %figure, plottrainstate(tr)
57. %figure, ploterrhist(e)
58. %figure, plotregression(t,y)

```

```

59. %figure, plotfit(net,x,t)
60. % Deployment
61. % Change the (false) values to (true) to enable the following code blocks.
62. % See the help for each generation function for more information.
63. if (false)
64.     % Generate MATLAB function for neural network for application
65.     % deployment in MATLAB scripts or with MATLAB Compiler and Builder
66.     % tools, or simply to examine the calculations your trained neural
67.     % network performs.
68.     genFunction(net,'myNeuralNetworkFunction');
69.     y = myNeuralNetworkFunction(x);
70. end
71. if (false)
72.     % Generate a matrix-only MATLAB function for neural network code
73.     % generation with MATLAB Coder tools.
74.     genFunction(net,'myNeuralNetworkFunction','MatrixOnly','yes');
75.     y = myNeuralNetworkFunction(x);
76. end
77. if (false)
78.     % Generate a Simulink diagram for simulation or deployment with.
79.     % Simulink Coder tools.
80.     gensim(net);
81. End

```

LİTERATÜR VERİLERİ

Çizelge B.1. Literatür Verileri

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Long (2001)						
Croydon		20	11,4	Kesişen kazık +Çok sıra destek	500	5
Holborn		12	11	Kesişen kazık +Tek sıra destek	1169950	8,65
Minster Court		17	9	Diyafram duvar	1280000	7,3
Britannic Hse	34	60	14	Diyafram duvar	1280000	4,67
Chelsea		27	13	Diyafram duvar	312500	4,33
Barbican		10	16	Diyafram duvar+çok sıra destek	8437500	4
Charing Cross	20	35	11	Diyafram duvar+çok sıra destek	1280000	2,75
John Lewis KUT		20	12	Diyafram duvar	1280000	3,8
Victoria Emb	28	34	18	Kesişen kazıklı duvar	2717000	6
London		3	8	Diyafram duvar+Tek sıra destek	312500	5,2
Guildhall		9	6,5	Diyafram duvar+Tek sıra destek	312500	3

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
JLE III		10	8	Diyafram duvar+Tek sıra destek	540000	8,2
Malden Way		36	7,5	Sürekli kazık+Tek sıra destek	2544700	5,5
Bermondsey		13	19,5	Diyafram duvar+çok sıra destek	2500000	6
Canada Water		14,5	17	Kesişen kazık +Çok sıra destek	805158	5,7
Humber Bridge		21	24,5	Diyafram duvar+çok sıra destek	1280000	4,92
Cambridge	10	13	10	Diyafram duvar+çok sıra destek	540000	3,3
Channel Tunnel		45	6,5	Perde Duvar+Çok sıra destek	73500	4
Lyon		14	8	Diyafram duvar+çok sıra destek	540000	3,2
Switzerlve		36	17,2	Diyafram duvar+çok sıra destek	1280000	4,29
Dublin-Jervis	0	3	9,7	Kesişen+Tek sıra destek	1254800	8,5
Dublin-Clarend	0	7	6,2	Çakma profil+Tek sıra destek	3895	5
Dublin-M&S	2	5	7,2	Perde Duvar+Tek sıra destek	58500	6
MBTA, Boston	12,7	25,4	15,2	Perde Duvar+Çok sıra destek	1908880	3,36
Oaklve Houston	12,7	25,4	19	Çok sıra destekli perde duvar	63500	3,36
Seattle		18	18,3	Çok sıra destekli perde duvar	704900	6,1
West. Station,Seattle		114	23,8	?	63500	2,64
Pion. Square, Seattle	4,6	4,8	15,2	Çok sıra destekli perde duvar	1780000	3,8

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Washington	4,8	13,5	21,9	Çok sıra destekli kazıklı duvar	1126000	5,5
Washington		26	17	Çok sıra destekli kesişen kazık	1535850	11
Washington		28	25	Çok sıra destekli kesişen kazık	63500	6,25
Houston-Exxon	7	14	15	Çok sıra destekli perde duvar	20000	7,5
Houston-1Shell		9	16,2	Çok sıra destekli kazıklı duvar	7425	6,5
Houston-Coker		25	18	Çok sıra destekli çakma profil	8415500	6
Tiong Bahru		28	17,1	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	103600	3,5
Singapore CE II		25	15,3	Çok sıra destekli perde duvar	24900	4,6
Singapore CE II	10	30	9	Çok sıra destekli çakma profil	26250	4
Singapore CE II		30	9	Çok sıra destekli çakma profil	26250	4
Singapore CE II		35	9	Çok sıra destekli çakma profil	26250	4
Singapore CE II	5	10	10,2	Çok sıra destekli çakma profil	26250	4
Singapore CE II	9	20	10,5	Çok sıra destekli çakma profil	26250	4
Singapore CE II	10	17	11,5	Çok sıra destekli çakma profil	26250	4
Singapore CE II	15	10	11,5	Çok sıra destekli çakma profil	26250	4
Singapore CE II	7	8	10	Çok sıra destekli çakma profil	73500	4
Singapore CE II	12	9	10	Perde H Profil + çok sıra destek	73500	4

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Singapore CE II	15	12	10	Perde H Profil + çok sıra destek	73500	4
Singapore CE II	20	37	10	Perde H Profil + çok sıra destek	73500	4
Singapore CE II	15	20	11	Perde H Profil + çok sıra destek	73500	4
Singapore CE II	10	23	11,5	Perde H Profil + çok sıra destek	73500	4
Singapore CE II	12	42	11,5	Perde H Profil + çok sıra destek	73500	4
Singapore CE II	25	15	12	Perde H Profil + çok sıra destek	73500	4
Singapore CE II	15	17	17	Perde H Profil + çok sıra destek	73500	4
Singapore CE II	27	22	17	Perde H Profil + çok sıra destek	73500	4
Singapore CE II	12	7	11	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	100000	4
Singapore CE II	10	7	11	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	100000	4
Singapore CE II	10	7	11,5	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	100000	4
Singapore CE II		20	12	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	100000	4
Singapore CE II		20	12	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	100000	4
Singapore CE II	18	15	12,5	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	100000	4
Singapore CE II	15	7	13,5	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	100000	4
Singapore CE II	20	8	13,5	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	100000	4
Singapore CE II		17	13,5	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	100000	4

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Singapore CE II		15	20	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	100000	4
Singapore CE II		25	21,5	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	100000	4
Singapore CE II	15	15	13,5	Çok sıra destekli perde duvar	1280000	4
Singapore CE II	23	27	14,5	Çok sıra destekli perde duvar	1280000	4
Waterloo		20	5,78	Destek+seddeli diyafram duvar	540000	5,8
Eastbourne		60	11	Çok sıra destekli diyafram duvar	2500000	7
Buffalo		63	11	Çok sıra destekli palplanş perde	63585	3,67
Ontario		230	15,2	Çok sıra destekli palplanş perde	42000	3,04
Zurich		22	15,5	Tek sıra destekli diyafram duvar	1278760	13,7
Lyon-P Kleb		7	6,75	Tek sıra destekli palplanş perde duvar	57700	6,75
Lyon-R Ney		14	9,95	Çok sıra destekli diyafram duvar	107000	3,1
Lyon-S. Gam.		60	10,7	Tek sıra destekli diyafram duvar	185000	5,2
Karlshue		5	5	Tek sıra destekli palplanş perde duvar	2033	3,75
Maas, Rotterdam		32	21	Tek sıra destek perde+'tubes'	1717900	17
Cairo Metro		24	10	Çok sıra destekli duvar	227813	3,3
Lisbon-Carlos		43	13,8	Çok sıra destekli diyafram duvar	540000	2,76
Hannover		2	11,5	Çok sıra destekli geniş kazık	1527000	2,6

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Hannover	12	20	21,9	Çok sıra destekli kesişen kazık	1134000	6,6
Duisburg		19	23	Çok sıra destekli çakma profil	4320000	4,8
Offenbach	23	44	19,3	Çok sıra destekli kesişen kazık	805000	6,4
Lubeck		3	9,6	Çok sıra destekli kesişen kazık	631000	4,25
Salsburg	26	17	10	Tek sıra destekli çakma profil	1280000	5
Bruckmuhl		9	14,1	Tek sıra destekli çakma profil	2500000	7
Sao Paulo, ES1		15	9	Çok sıra destekli çakma profil	71700	3,6
Sao Paulo, ES2		18	19	Çok sıra destekli çakma profil	717000	3,8
Argyle Station, HK	58	29	18,7	Çok sıra destekli diyafram duvar	2500000	6,2
Manchester		5	7	Tek sıra destekli kazıklı duvar	254350	8
New York		70	18,5	Çok sıra destekli kazıklı duvar	1822500	3,7
Han River, Seoul		10	25	Çok sıra destekli kesişen-H profil	60640	2,78
YMCA, London		20	16	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	540000	10
Neasden	54	52	8	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	540000	2
Oresund-Sydh		55	10	Tek sıra ankrajlı çakma profil	48125	7
Copenhagen		2	11	Tek sıra ankrajlı 'tubes'+H profil	1000000	5,5
Lisbon-DD Ave.		24	17	Çok sıra ankraj çakma profil	19250	3,25

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Lisbon-Colom		90	14	Çok sıra ankraj çakma profil	14435	3,25
Lisbon-Ivens		4	9	Çok sıra ankraj çakma profil	19250	3,25
Colomb,Seattle	10	15	37	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	763400	1,75
University Street	1,8	12,7	18,3	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	1126000	2,6
Seattle	5,1	22,9	23	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	718690	1,5
Houston-Herm	5	20	9	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	203900	3
Houston-Bank		29	16,8	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	203900	3,35
Houston-FCB		20	9,1	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	209650	8
Houston-Smith		20	15,5	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	140135	3
Houston-Texas		30	16	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	13860	3,2
Houston-Cullen		20	8,2	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	210470	7
Houston-321		20	9,1	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	315050	3
Washington		51	15,2	Çok sıra ankrajlı Berlin duvarı	19000	3
State Trans, Boston	30,5	20,3	9,1	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	567450	3,36
60 State St., Boston	30,5	19,1	9,1	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	567450	3,36
Davis Square, Boston	43,2	27,9	17,1	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	567450	3,36
1 Memorial, Boston	30,5	25,4	8,2	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	567450	3,36

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Harvard Square, Boston		10	15,7	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	1908000	5,2
Harvard Square, Boston		11	15,7	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	1908001	6,2
Boston		89	18,9	Çok sıra ankraj çakma profil	347430	2,7
Salt Lake City		25,4	12,5	Çok sıra ankraj çakma profil	127436	3,2
Singapore CE II	8	10	12,2	Çok sıra ankraj çakma profil	26250	4
Singapore CE II	6	18	12,5	Çok sıra ankraj çakma profil	26250	4
Singapore CE II	12	14	12,5	Çok sıra ankraj çakma profil	26250	4
Singapore CE II		15	16	Çok sıra ankraj çakma profil	73500	4
Singapore CE II		8	15	Çok sıra ankraj çakma profil	100000	4
Singapore CE II		35	17	Çok sıra ankraj çakma profil	100000	4
Singapore CE II		27	18,5	Çok sıra ankraj çakma profil	100000	4
Singapore CE II		23	19	Çok sıra ankraj çakma profil	100000	4
A1(M)		20	9,3	Tek sıra destekli palplanş perde duvar	104785	10,6
Hatfield	27	25	9,3	Tek sıra destekli palplanş perde duvar	96440	6,8
Lisbon		46	13,8	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	540000	2,75
Paris-R Gau		55	12,3	Tek sıra destekli perde duvar	115080	8,3
Paris-13e		20	17,4	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	540000	4,35

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Calais		58	24	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	5881600	8
Le Havre		12	16,5	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	4320000	10,5
Geneva, Le Mail		13	14,8	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	2500000	2,5
Berlin P Platz DB	10	42	18	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	5184000	15
Berlin- Hofgarten		36	17	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	1280000	2,83
Berlin	5	15	18,5	Çok sıra ankrajlı çakma profil	4320000	0,75
Berlin		27	12,3	Çok sıra ankrajlı kesişen duvar	631000	3,6
SONY, Berlin		50	14,3	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	1280000	3,58
Salzburg	11	13	11	Çok sıra ankraj çakma profil	540000	4
Salzburg	28	20	11,5	Çok sıra ankraj çakma profil	540000	4,9
Urreiting		3	18,3	Çok sıra ankraj çakma profil	1280000	5,5
Fr'hafen		11	12,5	Çok sıra ankrajlı kesişen duvar	631000	2,9
Wien		6	18,5	Çok sıra ankraj çakma profil	1280000	2,9
Dusseldorf	40	50	19,8	Çok sıra ankraj çakma profil	5400000	3,5
Dusiburg		32	20	Çok sıra ankraj çakma profil	1280000	2,9
Grauholz, Switzerland		20	17	Çok sıra ankrajlı sürekli kazıklı duvar	483095	2,4
Johannsburg,	22	18	18,3	Çok sıra ankrajlı çakma profil	2581	3,05

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
South Africa		15	5	Derin zemin karıştırma	60000	1,67
Milwaukee		9	18	Çok sıra ankrajlı sürekli kazıklı duvar	919700	2,57
Norwich		15	9	Baret	1280000	2
Bell Common	25	25	9	Yukarıdan aşağıya+kazıklı duvar	2330250	8,9
New Palace Yard	20	30	18,5	Yukarıdan aşağıya diyafram duvar	2500000	3,08
British Library	30	30	24,4	Yukarıdan aşağıya+kazıklı duvar	2571750	5
Nat Gal Ext	2	10	10	Yukarıdan aşağıya+kazıklı duvar	618000	7
Aldersgate	18	33	23	Yukarıdan aşağıya diyafram duvar	2500000	3,3
Limehouse		5	16	Yukarıdan aşağıya diyafram duvar	4320000	4
PO Square Boston	45	52	23,4	Yukarıdan aşağıya diyafram duvar	1822500	3,3
HK&S Bank, HK	25	48	16	Yukarıdan aşağıya diyafram duvar	2500000	4
Charter Station, HK	180	36	26	Yukarıdan aşağıya diyafram duvar	2500000	4
Hong Kong	37	75	28	Yukarıdan aşağıya çakma profil	4320000	4,7
Rowes Whr, Boston		19,1	16,8	Yukarıdan aşağıya diyafram duvar	1106125	3,36
75 State St., Boston	101,6	50,8	19,8	Yukarıdan aşağıya diyafram duvar	1106125	3,36
125 Sum. St., Boston	9,7	15,2	18,3	Yukarıdan aşağıya diyafram duvar	1106125	3,36
Salzburg	8	5	11,5	Yukarıdan aşağıya çakma profil	1280000	3,8

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Wien		25	24	Yukarıdan aşağıya çakma profil	1280000	6,3
Cairo Metro		15	10	Yukarıdan aşağıya diyafram duvar	1280000	5
Singapore River		79	29	Çok sıra destekli diyafram duvar	1280000	3,3
Singapore Havelock		40	16,5	Çok sıra destekli diyafram duvar	1280000	4
Singapore CBD	100	280	14,7	Çok sıra destekli palplanş perde	60000	2,1
Singapore CE II	15	22	10	Çok sıra destekli diyafram duvar	1280000	4
Singapore CE II	30	32	10	Çok sıra destekli perde duvar	73500	4
Singapore CE II	25	48	11	Çok sıra destekli perde duvar	73500	4
Singapore CE II	18	37	14	Çok sıra destekli kazıklı duvar	100000	4
Singapore CE II	75	88	15	Çok sıra destek-'Arbed'	685000	4
Singapore CE II	58	73	17	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	100000	4
Singapore CE II	25	75	17	Çok sıra destekli perde duvar	735000	4
Singapore CE II		43	17,5	Çok sıra destek-'Arbed'	685000	4
Singapore CE II		73	18,5	Çok sıra destekli kazıklı duvar	100000	4
Singapore CE II		50	19	Çok sıra destek-'Arbed'	685000	4
Singapore multistory		50	17,3	Çok sıra destekli diyafram duvar	2500000	2,88
Singapore interchang		40	20	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	1338750	4
Singapore canal	120	85	6,5	Tek sıra destekli perde duvar	50000	5

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kızı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Bangkok B		45	15,5	Çok sıra destekli diyafram duvar	1378420	5,1
Bangkok D		25	16	Çok sıra destekli diyafram duvar	2500000	3,2
Oslo Gronlve 1	190	32	11,5	Çok sıra destekli perde duvar	73800	4,5
Oslo Tech School	74		6	Çok sıra destekli perde duvar	39600	2
Oslo Telephone	40	15	18,5	Çok sıra destekli diyafram duvar	2500000	6,1
Oslo Olav Kyrres	67	27	18,5	Çok sıra destekli perde duvar	135500	2
Oslo City	27	42	19	Çok sıra destekli perde duvar	127760	2,5
Nieuw Maas		32	19,5	Çok sıra destekli diyafram duvar	4320000	6
Japan 1		120	13,75	Çok sıra destekli perde duvar	63450	6,88
Sheung Wan HK	23	20	30	Çok sıra destekli diyafram duvar	4320000	2,73
Singapore CE II	17	15	12	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	1280000	4
Quai Gloria France		39	12	Tek sıra ankrajlı diyafram duvar	1378420	10
Hartford, Conn.		20	7	Tek sıra ankrajlı çakma profil	26250	5
UOB Singapore	130	56	13	Çok sıra destekli diyafram duvar	4320000	2,6
H'Fok A Singapore		60	7,3	Çok sıra destekli palplanş perde	75700	1,83
CTC Singapore	150	188	12	Çok sıra destekli palplanş perde	57400	2
Somerset Singapore		20	15,2	Çok sıra destekli diyafram duvar	540000	3,8

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
MOE I2 Singapore		330	6,8	Çok sıra destekli palplanş perde	4543600	1,7
MOE I9 Singapore		100	6,4	Çok sıra destekli palplanş perde	4543600	1,6
Singapore Bugis		160	18,3	Çok sıra destekli diyafram duvar	4320000	2,29
Singapore CBD	100	145	15	Çok sıra destekli palplanş perde	70000	2,5
Singapore Parking		70	9,5	Tek sıra destekli diyafram duvar	540000	5,9
Taiwan Airline	22	22	9,6	Çok sıra destekli sürekli kazıklı duvar	18850	2,4
Taiwan Power	56	80	16,2	Çok sıra destekli diyafram duvar	540000	3,24
Taiwan Quen M	35	70	10,7	Çok sıra destekli diyafram duvar	540000	2,68
Taiwan Tax	41	69	7,65	Çok sıra destekli perde duvar	40000	1,91
Taiwan Formosa	42	60	18,45	Çok sıra destekli diyafram duvar	1280000	2,64
Taiwan Cathay	31	62	21	Çok sıra destekli diyafram duvar	857500	2,63
Bangkok A		50	9,8	Çok sıra destekli diyafram duvar	1378420	3,1
Bangkok C		30	18,5	Çok sıra destekli diyafram duvar	1378420	4,6
Bangkok E		220	7,2	Çok sıra destekli perde duvar	50000	1,8
Oslo Vaterlve 1	270	220	11	Çok sıra destekli perde duvar	73800	2
Oslo Vaterlve 2	260	140	11	Çok sıra destekli perde duvar	73800	2
Oslo Studenterlu	65	42	16	Çok sıra destekli diyafram duvar	2500000	5,3

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Oslo Jurbanetorget		20	10	Çok sıra destekli diyafram duvar	2500000	5
Oslo Bank of Norway	62	16	16	Çok sıra destekli diyafram duvar	2500000	3,2
Eastbourne 1		61	11	Tek sıra destekli diyafram duvar	2500000	10
Eastbourne 2		15	14	Tek sıra destekli diyafram duvar	2500000	13
Pietrafitta, Italy		71	5,5	Çok sıra destekli perde duvar	42000	7,8
Chicago		150	13,4	Çok sıra destekli perde duvar	1055000	4,46
Inlve Steel Chicago		55	11	Çok sıra destekli perde duvar	50000	2
Sewage Tr. Tokyo		70	26	Çok sıra destekli çelik çakma kazıklı duvar	8000000	4,3
Osaka A		78	20,6	Çok sıra destekli diyafram duvar	2500000	3
Japan 2		26	17,1	Çok sıra destekli çelik çakma kazıklı duvar	34000000	4,3
Lake zone, Mexico		135	15,7	Çok sıra destekli diyafram duvar	2500000	2,62
Shanghi-Jin Mao		81	19,65	Çok sıra destekli diyafram duvar	2500000	3,93
Shanghi-Heng Long		99	18,2	Çok sıra destekli diyafram duvar	2500000	3,64
Shanghi		129	17,85	Çok sıra destekli diyafram duvar	2500000	3,57
River Wall M'Boro		125	9,5	Tek sıra ankrajlı perde duvar	177660	4,25
Detroit		45	7	Tek sıra ankrajlı perde duvar	83400	11,2
TP, Bogota	1	125	16	Çok sıra ankrajlı diyafram duvar	540000	3,75

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Newton Singapore	220	110	14,5	Yukarıdan aşağıya diyafram duvar	2500000	3,63
Taiwan Chi Ching	65	65	13,9	Yukarıdan aşağıya diyafram duvar	857500	2,78
Taiwan Far East	67	135	20	Yukarıdan aşağıya diyafram duvar	857500	3,33
Oslo Christiana	100	48	9,6	Yukarıdan aşağıya perde duvar	483600	3
Benwell Road		11	4,5	Sürekli kazıklı duvar	100661	6,3
A329-Reading		18	6,9	Diyafram duvar	2500000	9,66
Leith House		0.7	3,7	Sürekli kazıklı duvar	465950	5,18
Sanct Bld		4	5,3	Diyafram duvar	1280000	7,42
Newport Crt		8	3,7	Diyafram duvar	1280000	5,18
Putney Centre		3,3	4,8	Diyafram duvar	1280000	6,72
British Library	20	20	4	Kesişen kazıklı duvar	2571750	5,6
Bell Common	18	10	5,2	Kesişen kazıklı duvar	2330250	7,28
Dunton Green		38	8	Sürekli kazıklı duvar	4385400	11,2
Broadgate 5		8	9	Sürekli kazıklı duvar	465950	12,6
Broadgate 9/10		10	7,2	Sürekli kazıklı duvar	465950	10,08
Nat Gal Ext		3	2,3	Kesişen kazıklı duvar	618000	3,22
Bentalls KuT		12	6,5	Kesişen kazıklı duvar	2855000	9,1
Waitrose KuT		8	3,5	Sürekli kazıklı duvar	1132800	4,9
Swindon		12	4,5	Sürekli kazıklı duvar	179600	6,3
Channel Tunnel		11	2,7	Perde Duvar	73500	3,78
Cheltenham		40	10,6	Sürekli kazıklı duvar	4141760	14,84

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Finchley	0	11	5,2	Sürekli kazıklı duvar	1198500	7,28
Manchester		11	5	Sürekli kazıklı duvar	254250	7
Manchester		11	5	Sürekli kazıklı duvar	254250	7
Edinburgh		6	6	Sürekli kazıklı duvar	245400	8,4
Salzburg	30	100	11,5	Çakma kazıklı duvar	1280000	16,1
Konstanz	29	26	7,2	Kesişen kazıklı duvar	639000	10,08
UOB Singapore	—	10	3	Diyafram duvar	4320000	4,2
San Francisco		220	10	Perde duvar	61000	23,5
Thessaloniki		62	6,5	Diyafram duvar	14000	9,1
Vauxhall		22	14,5	Diyafram duvar+çok sıra destek	540000	3,63
Chingford		21	8	Kesişen kazıklı duvar	2291750	9,2
Mark Lane		8	7	Sürekli kazık+Çok sıra destek	250000	3,5
Mark Lane		14	5,5	Sürekli kazık+Çok sıra destek	250000	6,3
LEUNG vd. [21]						
Davies and Henkel (1980)- Charter Station	24	40	19	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	6,5
Chu et al (2001)- Cheung Sha Wan Government Office	3	15	14	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	4,1
Lui and Yau (1995) - Dragon Center 13	30	63	27	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	4,9

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Des Voeux Road	20	42	18	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	2700000	4,5
Sheung Wan Crossover	N/A	20	32	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	2,9
Site Q	15	N/A	18,6	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	4,6
Tseung Kwan O TKO Station	N/A	40	14	Aşağıdan yukarıya + Geçici destek	4600000	3,5
Tsuen Wan West TWW Station	40	35	18	Aşağıdan yukarıya + Geçici destek	4600000	9
Argyle Stationd	N/A	43	25	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	3,6
Festival Walk	8	45,5	32	Yukarıdan aşağıya ankrajlı duvar	4600000	4,6
Luen Wo Hui: IN2	6	24,5	17,6	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	5,9
IN8	6	33	16,9	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	4,2
IN9	6	19,9	16,9	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	4,2
IN16	6	19,2	16,9	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	4,2
Site P	2	N/A	13,6	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	3,4
Site P	5	N/A	13,6	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	3,4
Wong Tai Sin WTS Station	N/A	28	18,7	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	2100000	4,7

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Wong Tai Sin WTS Station	N/A	20	18,7	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	2100000	4,7
14	30	64	27	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	4,9
16	24	79	27	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	4600000	4,9
Hong Kong	N/A	50	23	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	9000000	4,6
Queen's Road Central	10	30	16	Yukarıdan aşağıya çok sıra destekli duvar	2700000	5,3
Çetin [27]						
Baumax AVM		7,9	15,8	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	312500	2,4
Baumax AVM		25,3	15,8	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	312500	2,4
Baumax AVM		18,9	15,8	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	312500	2,4
Baumax AVM		36,6	15,8	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	312500	2,4
Karabulut Tekstil		18,4	8	Çok sıra ankrajlı+destekli kazıklı	172300	2
Karabulut Tekstil		30	8	Çok sıra ankrajlı+destekli kazıklı	172300	2
Business Port AVM		49,7	21,6	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	115000	2,5
Business Port AVM		68,5	21,6	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	115000	2,5
Business Port AVM		43,2	21,6	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	115000	2,5
Business Port AVM		34,2	19	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	115000	2,5

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Bomonti		14,6	22	Çok sıra ankrajlı, zemin çivili duvar	*	2,1
Tekfen Tower		45	25	Zemin çivili beton kaplama	*	2
Tekfen Tower		14,4	24	Zemin çivili beton kaplama	*	2
Tekfen Tower		10	20	Zemin çivili beton kaplama	*	2
Tekfen Tower		9,75	19,5	Zemin çivili beton kaplama	*	2
Tekfen Tower		19,2	24	Zemin çivili beton kaplama	*	2
Otoport		51,7	25	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	312500	2,3
Otoport		22,1	21	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	312500	2,3
Setat 2002		7,6	9,5	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Setat 2002		10	10	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Setat 2002		10	10	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Setat 2002		22,1	13	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
İdeal hospital		18,9	29,2	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	699850	2,5
Metal Co Factory		16,2	9,25	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	123240	2,5
Metal Co Factory		4,1	5,25	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	123240	1,7
Bjk Fulya Complex		14,8	18,5	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Bjk Fulya Complex		22,5	25	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Bjk Fulya Complex		52	32,5	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Sağlık Grup Hotel		7,4	6,1	Tek sıra destekli kazıklı duvar	172300	*

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Sağlık Grup Hotel		7,9	6,1	Tek sıra destekli kazıklı duvar	172300	*
Erden Hastanesi		45,5	16,3	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	122570	1
Erden Hastanesi		13,7	16,3	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	122570	1
Filiz İnşaat		7,95	18,2	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	312500	3
Besler Co Warehouse		10,3	14,7	Zemin çivili beton kaplama	*	2
Besler Co Warehouse		17,8	16,2	Zemin çivili beton kaplama	*	2
Besler Co Warehouse		12,9	18,4	Zemin çivili beton kaplama	*	2
Ozbas Construction Residence		9,1	22,9	25 cm mini kazık+40 cm diyafram	233940	2,1
Ozbas Construction Residence		30,7	25,9	25 cm mini kazık+40 cm diyafram	233940	2,1
Ozbas Construction Residence		40,3	25,9	25 cm mini kazık+40 cm diyafram	233940	2,1
Ozbas Construction Residence		35,7	22,7	25 cm mini kazık+40 cm diyafram	233940	2,1
İstinyepark		27	10	Zemin çivili beton kaplama	*	*
İstinyepark		22	10	Zemin çivili beton kaplama	*	*
İstinyepark		37,2	12	Zemin çivili beton kaplama	*	*
İstinyepark		25,2	12	Zemin çivili beton kaplama	*	*
İstinyepark		19,6	14	Zemin çivili beton kaplama	*	*
İstinyepark		44,8	16	Zemin çivili beton kaplama	*	*

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
İstinyepark		55,8	18	Zemin çivili beton kaplama	*	*
İstinyepark		80	20	Zemin çivili beton kaplama	*	*
İstinyepark		96,8	22	Zemin çivili beton kaplama	*	*
Kanyon AVM		28	14	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Kanyon AVM		45,5	15,7	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Kanyon AVM		31,9	18,8	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Kanyon AVM		68,2	21,3	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Kanyon AVM		58,2	25,3	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Kanyon AVM		86,8	26,3	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Kanyon AVM		53,7	28,3	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Kanyon AVM		67,9	28,3	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Kanyon AVM		96,2	28,3	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Zeytinburnu Bld. ZOP		28,5	11,3	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	29240	2,6
Zeytinburnu Bld. ZOP		34	11,3	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	29240	2,6
Zeytinburnu Bld. ZOP		6,9	11,3	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	29240	2,6
Zeytinburnu Bld. ZOP		8,8	11,3	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	29240	2,6
Zeytinburnu Bld. ZOP		26,6	11,3	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	29240	2,6
Zeytinburnu Bld. ZOP		20,1	11,3	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	29240	2,6
Alper Co Company		24,9	15,2	Zemin çivili beton kaplama	*	1,6
Alper Co Company		34,5	15,2	Zemin çivili beton kaplama	*	1,6

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Mashattan		58,6	18,3	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Terrace Mix		10,4	11,5	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	312500	2,2
Terrace Mix		15,3	11,5	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	312500	2,2
Terrace Mix		26,9	13,4	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	312500	2,2
Terrace Mix		17,2	13,4	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	312500	2,2
Tepe AVM		5,6	7	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Tepe AVM		16,2	9	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Tepe AVM		15,3	9	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Tepe AVM		24	10	Zemin çivili beton kaplama	*	1,5
Sultangazi Kültür Merkezi		4,5	17,6	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	146000	2
Sultangazi Kültür Merkezi		6,7	17,6	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	146000	2
Radisson Hotel		15,4	7,5	Zemin çivili beton kaplama	*	2
Radisson Hotel		38,4	7,5	Zemin çivili beton kaplama	*	2
Axis AVM		100	17	Diyafram Duvar	1280000	*
Faco İlçe sanayi		45	22	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	115000	3,2
Faco İlçe sanayi		36	18	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	2350	2,7
Siyavuspasa ZOP		10,1	11	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	312500	2,25
Business Port AVM		19,8	18	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	115000	2,5
Taksim Residence		19,65	19,65	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	1070	*

KAYNAK	δv ölçüm (mm)	δh ölçüm (mm)	H kazı (m)	Destekleme Sistemi	EI (kNm ² /m)	Destek Aralığı (cm)
Taksim Residence		16,8	18,7	Çok sıra ankrajlı kazıklı duvar	1070	*
Bomonti		43,3	26	Çok sıra ankrajlı, zemin çivili duvar	2350	2,5
Bomonti		42,5	22,8	Çok sıra ankrajlı, zemin çivili duvar	2350	2,5



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Özgür YILDIZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.12.1982, Siirt
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ozguryildiz56@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği	Boğaziçi Üniversitesi	2012
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2005
Lise	Fen	Burak Bora Anadolu Lisesi	2000

YAYINLARI

Makale

1. Yıldız., Ö. ve Berilgen., M.M., (2020). "Artificial Neural Network Model to Predict Anchored Pile-Wall Displacements on Istanbul Greywackes", Teknik Dergi, 31(4):1-20.
2. Edinçliler, A., Yıldız, Ö., (2015). "Seismic behavior of tire waste-sand mixtures for transporation infrastructure in cold regions", Sciences in Cold and Arid Regions, Volume 7, Issue 5.

Bildiri

1. Edinçliler, A., Yıldız, Ö., (2019). "Numerical Study on Effects of Geotechnical Isolation Material on Seismic Performance of Medium Rise Buildings", 4th Eurasian Conference on Civil and Enniromental Engineering, October, Istanbul.
2. Yıldız., Ö. ve Berilgen., M.M., (2018). "Derin Kazılarda Destekleme Yapısı ve Zeminde Oluşan Hareketlerin Veritabanı", Prof. Feyza Çinicioğlu Onuruna Teoriden Uygulamaya Geoteknik Mühendisliği Sempozyumu, İstanbul.
3. Yıldız., Ö. ve Berilgen., M.M., (2017). "Destekli Derin Kazıların İnşa ve Tasarım Performansı", Uluslararası Katılımlı 7. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul.
4. Edinçliler, A., Yıldız, Ö., (2017). "Numerical Study on Seismic Isolation for Medium-rise Buildings", 4th Conference on Smart Monitoring, Assesment and Rehabilitation on Civil Structures, Zurich.
5. Edinçliler, A., Toksoy, Y.A., Yıldız, Ö., (2017). "The Effect of Earthquake Characteristics On The Seismic Performance Of Mid-Rise Structures On Geogrid-Reinforced Soils", 4th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Eskisehir, Turkey, October.
6. Edinçliler, A., Yıldız, Ö., (2016). "Improvement of Seismic Performance of the Mid-Rise Buildings with Geosynthetics", 6th European Geosynthetics Congress, Ljubljana, September 2016.