

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KUYU TEMEL TASARIMLARINA YÖNELİK YER
DEĞİŞTİRME KONTROLÜNÜN SONLU ELEMANLAR VE
YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMLERİYLE
KARŞILAŞTIRILMA ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Sait ÇAĞLAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

**TEMMUZ 2024
İSTANBUL**

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KUYU TEMEL TASARIMLARINA YÖNELİK YER
DEĞİŞTİRME KONTROLÜNÜN SONLU ELEMANLAR VE
YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMLERİYLE
KARŞILAŞTIRILMA ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Muhammet Sait ÇAĞLAR
(211282011)**

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mert TOLON

İstanbul 2024

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Sait ÇAĞLAR
(211282011)

İstanbul Gedik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat
Mühendisliğinde Yapılan Bu Tez Çalışması, Geoteknik Anabilim Dalı Yüksek
Lisans Derecesi Gereksinimlerini Sağlamaktadır

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mert TOLON

Temmuz 2024



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü

Jüri Tez Onay Formu

22.07.2024

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Bu çalışma 22.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Hemşirelik Anabilim Dalı, Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği (Tezli Yüksek Lisans) Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Mert TOLON

Danışman

İstanbul Maltepe Üniversitesi

Doç. Dr. Redvan GHASEMLOUNİA

Üye (İmza)

İstanbul Gedik Üniversitesi

Doç. Dr. Seyit ÇERİBAŞI

Üye (İmza)

İstanbul Maltepe Üniversitesi

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kuyu Temel Tasarımlarına Yönelik Yer Değiştirme Kontrolünün Sonlu Elemanlar Ve Yapay Sinir Ağları Yöntemleriyle Karşılaştırılma Analizi” adlı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun biçimde tarafımda yazıldığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve ahlaki kurallar içinde elde ettiğimi, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını, patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını belirtir ve bunu onurumla tasdiklerim. (22/07/2024)

Muhammet Sait ÇAĞLAR

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitim süresince ve tez çalışmalarım da akademik ve bireysel anlamda yakından ilgilenen, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, tecrübe ve bilgi birikimi ile her zaman varlığını yanımda hissettiren çok kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mert Tolon'a ayrıca eğitim süresi boyunca genel olarak her konuda öğrencisiyle ilgilenen, değerli görüşleriyle ile tezimin şekillenmesine katkı sağlayan çok kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Redvan GHASEMLOUNIA'a, değerli jüri üyelerine, Geoteknik bilimi ve yapay zeka konusunda isteğimi sürekli olarak artıran ve bu heyecanımı benimle içten bir şekilde paylaşan sevgili ailem; annem, babam, kardeşlerime ayrıca tez çalışmalarım boyunca sabırla desteğini esirgemeyen sevgili eşim Kübra ÇAĞLAR'a, bana olan desteklerini esirgemeyen meslektaşlarıma ve arkadaşlarıma en içten dileklerime çok teşekkür ederim.

Temmuz 2024

Muhammet Sait ÇAĞLAR
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No:
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞİMGE VE KISALTMALAR	ix
TABLO LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xii
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xviii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1. Geoteknik Mühendisliğinde Temel Tasarımı	7
2.2. Temel Tipleri	10
2.2.1. Yüzeysel temeller	11
2.2.1.1. Münferit (tekil) temel	11
2.2.1.2. Duvar altı temel.....	12
2.2.1.3. Birleşik temel	12
2.2.1.4. Müttemadi (sürekli) temel.....	13
2.2.1.5. Radye temel	14
2.2.2. Derin temeller.....	15
2.2.2.1. Ayaklı temel.....	16
2.2.2.2 Keson temel.....	16
2.2.2.3 Kazıklı temel.....	17
2.2.2.4 Kuyu temel.....	19
2.3 İksa Sistemleri.....	20
2.3.1 Düşey destek elemanları	20
2.3.1.1 Fore kazık	21
2.3.1.2 Diyafram duvarlar	22
2.3.1.3 Paçplanş perdeler	23
2.3.1.4. Mini kazıklar	24

2.3.1.5. Betonarme kuyu perde duvar	25
2.3.2. Yatay destek elemanları.....	26
2.3.2.1. Ankrajlar	26
2.3.2.2. Gergi.....	28
2.3.2.3. Zemin çivisi	28
2.4. Kuyu Temel Tasarımı, Kullanılan Yöntemler ve Standartlar	28
2.4.1. Kuyu temel tasarımı	28
2.4.2. Kuyu temel tasarımında kullanılan yöntem ve standartlar	33
2.4.2.1. Dayanma yapılarında stabilite ve göçme kontrolleri.....	35
2.4.2.2. Kuyu temel analizleri için ankraj tasarımı.....	37
2.4.2.3. Kuyu temel tasarımına etkileyen toprak basıncı	43
2.4.2.4. Kuyu temel tasarımında deprem etkisi	50
2.4.2.5. Kuyu temel tasarımında kullanılan sayısal analiz modeli	51
2.4.2.6. Bağlı basınçlar yöntemi	53
2.4.2.7. Chadeisson yatay yatak katsayısı yöntemi.....	55
2.5. Kuyu Temel Tasarımını Etkileyen Geoteknik Parametreler	55
2.5.1. Toplam gerilme parametreleri.....	55
2.5.2. Efektif gerilme parametreleri	58
2.5.3. Diğer geoteknik parametreler.....	60
2.6. Kuyu Temellerde Yer Değiştirme (Deplasman) Hesabı	66
2.6.1. Hizmet görebilirlik sınır durumu (SLS)	66
2.6.2. Kazı destek yapılarında gözlemlenen deplasman biçimleri.....	67
2.6.3. Duvar arkasında meydana gelen deplasman biçimleri	68
3. KARŞILAŞTIRMA ANALİZLERİNE ESAS YÖNTEMLER.....	71
3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi	71
3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemine Dayalı Geoteknik Mühendisliği Paket Programında Kuyu Temel Analizi	74
3.3. Yapay Sinir Ağları Yöntemi	86
3.4. Yapay Sinir Ağları Yöntemine Dayalı Paket Program Analizi	97
4. METODOLOJİ VE GELİŞTİRİLEN MODELLER	114
4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapılan Analizlerde Kullanılan Kabuller ve Parametreler.....	114
4.1.1. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlerde sabit kabul edilen değerler	114

4.1.2. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlerde değişken kabul edilen değerler	119
4.2 Sonlu Elemanlar Analizleri.....	121
4.3. Yapay Sinir Ağ Modelleri Geliştirilirken Atılan Adımlar.....	129
4.4. Yapay Sinir Ağları Analizleri	136
4.4.1. BPNN backprop with 3 hidden slabs mimari ağ opsiyonu	136
4.4.2. GRNN general regression neural network mimari ağ opsiyonu	141
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	146
5.1 Sonuçlar	146
5.2 Öneriler	151
KAYNAKLAR.....	153
ÖZGEÇMİŞ	157

SİMGE VE KISALTMALAR

YSA	: Yapay Sinir Ağı
YASS	: Yeraltı Su Seviyesi
Df	: Gömülme Derinliği
B	: Temel Kısa Kenar Uzunluğu
H	: Kazı Derinliği
EI	: Eğilme Rijitliği
σ'_v	: Düşey Efektif Gerilme
Ka	: Yanal Aktif Toprak Basıncı Katsayısı
Kp	: Yanal Pasif Toprak Basıncı Katsayısı
Ko	: Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısı
γ_n	: Doğal Birim Hacim Ağırlık
M	: Metre
Cm	: Santimetre
Mm	: Milimetre
STR	: Yapısal Elemanda Göçme Veya Aşırı Şekil Değiştirme
GEO	: Zeminde Oluşan Göçme Veya Aşırı Şekil Değiştirme
GS	: Güvenlik Sayısı
TY	: Tasarım Yaklaşımı (Design Approach, DA)
OCR	: Zeminin Aşırı Konsolidasyon Oranı
θ	: Duvar Yüzeyinin Yatay İle Yaptığı Açık
δ	: Duvar Sürtünme Açısı
ϕ	: İçsel Sürtünme Açısı
Su(Cu)	: Drenajsız Kayma Direnci
Eu	: Drenajsız Elastisite Modülü
Vu	: Drenajsız Poisson Oranı
Gu	: Kayma Modülü
C'	: Efektif Kohezyon
θ'	: Efektif Kayma Direnci Açısı
E'	: Drenajlı Elastisite Modülü
V'	: Drenajlı Poisson Oranı
SPT	: Standart Penetrasyon Standart Penetrasyon Deneyi
MPM	: Presiyometre Deneyi
SLS	: Hizmet Görebilirlik Sınır Durumu (Serviceability Limit State, SLS)
ULS	: Göçme Sınır Durumu (Ultimate Limit State, ULS)
Ap	: Kohezyon Etki Katsayısı
BPNN	: Backpropagation Neural Network
GRNN	: General Regression Neural Network
GMDH	: Group Method of Data Handling
İE	: İleri Beslemeli Ağ
KK-1	: Kazı Destek Yapısı Kategorisi – 1
KK-2	: Kazı Destek Yapısı Kategorisi – 2

TABLO LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 2.1: Kazı Destek Yapıları Kategorileri (Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Tablo 1.1).....	34
Tablo 2.2: Depremsiz Durumda ULS Hesabı İçin Kullanılan Kısmi Katsayılar (Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Tablo 2.1)	36
Tablo 2.3: Aktif Toprak Basıncının Oluşması İçin Gereken Spesifik Deplasmanlar	46
Tablo 2.4: Farklı Zemin Türlerinde Pasif Durumun Oluşması İçin Gereken Yatay Hareket.....	48
Tablo 2.5: Geçici Ve Kalıcı Kazı Destek Yapılarının Sismik Tasarım Yöntemleri İle Dikkate Alınacak Deprem Düzeyleri	51
Tablo 2.6: Normal ve Önemli Yapı Tanımı	51
Tablo 2.7: Elastik Oturmalar ve Taşıma Gücü İçin Gerekli Olası Özellikler ve Parametreler	56
Tablo 3.1: Biyolojik Sinir Ağı Ve Yapay Sinir Ağının Karşılaştırılması	90
Tablo 4.1: Aşırı Konsolidasyon Oranı Tablosu.....	118
Tablo 4.2: 50 Adet Geoteknik Vakaya Ait Parametreler	120
Tablo 4.3: Örnek Vaka Analizi 1 Modelinin Düğüm Noktalarına Göre Toprak Basıncı Sonuçları.....	122
Tablo 4.4: Örnek Vaka Analizi 1 Modelinin Düğüm Noktalarına Göre Yatak Katsayıları, Yerdeğiştirmeler, Etkiler Sonuçları.....	123
Tablo 4.5: Örnek Vaka Analizi 2 Modelinin Düğüm Noktalarına Göre Toprak Basıncı Sonuçları.....	126
Tablo 4.6: Örnek Vaka Analizi 2 Modelinin Düğüm Noktalarına Göre Yatak Katsayıları, Yerdeğiştirmeler, Etkiler Sonuçları.....	127
Tablo 4.7: Farklı Mimari Yapı Seçimlerine Göre Başarı Oranları.....	134
Tablo 4.8: GRNN Ve GMDH Seçimlerine Göre Başarı Oranları	135
Tablo 4.9: Scale Function Opsiyonlarına Göre Başarı Oranı Sonuçları	136
Tablo 4.10: Contribution Factors Sonuçları.....	139

Tablo 4.11: BPNN Backprop With 3 Hidden Slabs Mimari Ağ Opsiyonu Göre Tahmin Etme Sonuçları	139
Tablo 4.12: GRNN General Regression Neural Network Mimari Ağ Opsiyonu Göre Tahmin Etme Sonuçları	145



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No:
Şekil 2.1: Temel Tipleri	10
Şekil 2.2: Tekil Temel.....	11
Şekil 2.3: Duvar Altı Temel	12
Şekil 2.4: Birleşik Temel.....	13
Şekil 2.5: Tek Yönlü ve Çift Yönlü Sürekli Temeller	14
Şekil 2.6: Kirişsiz Radye Temel	15
Şekil 2.7: Kirişli Radye Temel Uygulaması.....	15
Şekil 2.8: Ayak Temel	16
Şekil 2.9: Yerinde Döküm Keson, Batırma Keson.....	17
Şekil 2.10: Kullanım Yerlerine Göre Kazık Tipleri	19
Şekil 2.11: Fore Kazıklı Duvar Örneği	22
Şekil 2.12: Diyafram Duvar Yapım Aşamaları	23
Şekil 2.13: Palplanş Duvar Örneği	24
Şekil 2.14: Mini Kazık Duvar Örneği.....	25
Şekil 2.15: Betonarme Kuyu Perde Uygulaması	26
Şekil 2.16: Ankraj Kesiti.....	27
Şekil 2.17: Zemin Çivisi	28
Şekil 2.18: Betonarme Perde Duvarlı Kuyu Temel	29
Şekil 2.19: Betonarme Perde Duvarlı Kuyu Temel	29
Şekil 2.20: Tipik Kuyu Perde Kesiti	30
Şekil 2.21: Hesaba Dayalı Geoteknik Tasarım Yöntemlerine Ait Süreçler.....	35
Şekil 2.22: Enjeksiyon Gövdesi/Zemin Arayüzeyi Sıyırılma Yenilmesi	39
Şekil 2.23: Ankraj Çekme Yenilmesi	40
Şekil 2.24: Halat/Enjeksiyon Gövdesi Arayüzü Sıyırılma Yenilmesi	41
Şekil 2.25: İç Stabilite Analizi.....	42
Şekil 2.26: Sükunetteki Yanal Toprak Basıncı.....	45
Şekil 2.27: Aktif Toprak Basıncı Durumu	46
Şekil 2.28: Toprak Basıncının Hareket Yönü ve Miktarı İle Değişimi	47

Şekil 2.29: Pasif Toprak Basıncı Durumu.....	47
Şekil 2.30: Öngermeli Ankraj Modeli	52
Şekil 2.31: İterasyon Süresince Analiz Modeli	54
Şekil 2.32: Mohr Coloumb Yenilme Teorisi.....	56
Şekil 2.33: Sürşarj Yükünün Duvara Etkimesi.....	65
Şekil 2.34: Kazı Derinliği, H.....	67
Şekil 2.35: Kazı Destek Yapılarında Gözlemlenen Deplasman Biçimleri	68
Şekil 2.36: Destek Yapısında ve Arkasında Gözlemlenen Tipik Deplasman Biçimleri	69
Şekil 2.37: Duvar Arkası Zemin Oturmaları ve Duvar Deplasmanlarının Tipleri	70
Şekil 3.1: Sonlu Eleman Gösterilişi.....	73
Şekil 3.2: Setaf 2018 Program Ara Yüzü.....	76
Şekil 3.3: Birimler	76
Şekil 3.4: Geoteknik Malzeme Ekleme.....	77
Şekil 3.5: Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması	78
Şekil 3.6: Malzeme Mekanik Özellikleri Tanımlanması	79
Şekil 3.7: Sondaj Kuyusu Tanımlama	80
Şekil 3.8: Sondaj Kuyusu Özellikleri.....	81
Şekil 3.9: Tabaka Özellikleri.....	81
Şekil 3.10: İksa Kesitleri	82
Şekil 3.11: Betonarme Perde Özellikleri.....	83
Şekil 3.12: Arazi Kesiti	83
Şekil 3.13: Çelik Halatlı Ankraj Detayları	84
Şekil 3.14: Kuyu Temel Kesitinin Analiz Penceresi	85
Şekil 3.15: Kuyu temel kesitinin Yer Değiştirme SLS Kontrolü	86
Şekil 3.16: Biyolojik Bir Sinir Ağının Gösterimi.....	89
Şekil 3.17: Yapay Sinir Ağları Yapısı	90
Şekil 3.18: Yapay Sinir Hücresinin Yapısı	91
Şekil 3.19: İleri Beslenmeli Ağlar İçin Blok Diyagram	92
Şekil 3.20: İleri Beslenmeli YSA modeli.....	92
Şekil 3.21: Geri Beslemeli YSA Modeli.....	93
Şekil 3.22: YSA'nın Eğitici Öğrenme İle Eğitilmesi	95
Şekil 3.23: Kullanım Amaçlarına Göre YSA Modelleri.....	97
Şekil 3.24: NeuroShell 2 Ana Menü Penceresi	97

Şekil 3.25: Advanced Neural Networks Arayüzü	99
Şekil 3.26: Data Entry Sekmesi.....	99
Şekil 3.27: Define Inputs/Outputs Sekmesi	100
Şekil 3.28: Test Set Extraction Sekmesi	101
Şekil 3.29: Network Architecture Options Sekmesi.....	102
Şekil 3.30: Linear Scale Function Eğrisi	103
Şekil 3.31: Mimari Ağ Aktivasyon Fonksiyonu Seçenekleri.....	104
Şekil 3.32: Backpropagation Training Criteria	107
Şekil 3.33: Learning Sekmesi.....	107
Şekil 3.34: Training Set Average Error Grafiği	109
Şekil 3.35: Contribution Factors Sekmesi.....	109
Şekil 3.36: Network Processing Sekmesi.....	110
Şekil 3.37: Output Sekmesi.....	112
Şekil 3.38: Examine Data Çıkış Verileri.....	113
Şekil 4.1: Örnek Vaka Analizi 1 Kuyu Temel Kesit Modeli	121
Şekil 4.2: Örnek Vaka Analizi 1 Yerdeğiştirme ve Etki Grafikleri.....	124
Şekil 4.3: Örnek Vaka Analizi 2 Kuyu Temel Kesit Modeli	126
Şekil 4.4: Örnek Vaka Analizi 2 Yerdeğiştirme ve Etki Grafikleri.....	129
Şekil 4.5: Datagrid Veri Havuzu	130
Şekil 4.6: Define İntput/Output	131
Şekil 4.7: Test Set Extraction	132
Şekil 4.8: Begin Extract Sekmesi	132
Şekil 4.9: Network Architecture Options 1	133
Şekil 4.10: Backpropagation Training Criteria	133
Şekil 4.11: Network Architecture Options 2	135
Şekil 4.12: Backprop With 3 Hidden Slabs Scale Function.....	135
Şekil 4.13: BPNN Backprop With 3 Hidden Slabs Mimari Ağ Opsiyonu	137
Şekil 4.14: Backprop With 3 Hidden Slabs Learning Sekmesi.....	137
Şekil 4.15: Backprop With 3 Hidden Slabs Network Processing Sekmesi.....	138
Şekil 4.16: Backprop With 3 Hidden Slabs Contribution Factors Sekmesi.....	138
Şekil 4.17: Backprop With 3 Hidden Slabs /Actual (1) - Network (1) Grafiği.....	140
Şekil 4.18: GRNN General Regression Neural Network Mimari Ağ Opsiyonu.....	141
Şekil 4.19: GRNN Scale Functions Sekmesi	142
Şekil 4.20: GRNN Training Criteria.....	142

Şekil 4.21: GRNN Learning Sekmesi.....	143
Şekil 4.22: GRNN Test-Set Average Error Grafiği.....	143
Şekil 4.23: GRNN Network Processing Sekmesi.....	144
Şekil 4.24: GRNN /Actual (1) - Network (1) Grafiği.....	144



KUYU TEMEL TASARIMLARINA YÖNELİK YER DEĞİŞTİRME KONTROLÜNÜN SONLU ELEMANLAR VE YAPAY SINIR AĞLARI YÖNTEMLERİYLE KARŞILAŞTIRILMA ANALİZİ

ÖZET

Her geçen gün artan nüfusun ihtiyacına karşılık inşaat faaliyetlerinin yürütülmesi adına mevcut ya da yeni arazilerin kullanımları artmaktadır. Bu araziler farklı geoteknik problemlere sahip olabileceği gibi gelişen hızlı teknolojiyle birlikte farklı disiplinlerin sorunlarına karşılık olarak çözüm önerileride artmaktadır. Dolayısıyla inşaat faaliyetlerinin güvenli bir şekilde devam edebilmesi için yapılacak olan derin kazılarda geoteknik problemlerden biri olan kazı destekleme sistemlerinin yer değiştirme (deplasman) miktarının kontrol altına alınması bu açıdan çok önem arz etmektedir.

Geoteknik mühendisliğinde temel tasarımı konusu bu tez çalışması kapsamında araştırılmış olup, derin ve yüzeysel temellerin yapılması esnasında çevre yapılar zarar verilmemesi, temel sisteminin stabilitesinin sağlanması, yer değiştirmesinin sınırlandırılması ve sistemin güvenliği açısından temel tasarımı yapılmadan önce birçok etken parametre göz önüne alınmalıdır. Ayrıca inşaat başlamadan önce yapılacak olan kazının stabilitesinin sağlanması, oluşabilecek can ve mal kayıplarının önüne geçecektir. Bu nedenle tasarım mühendisi derin temel imalatı yapılacağı zaman ortaya çıkacak olan kazıyı desteklemek için kullanacağı iksa sistemi hakkında yeterli bilgiye sahip olmalıdır ve iksa sistemine etki eden faktörleri detaylı bir şekilde araştırmalıdır. Zemin özelliklerini iyi bilerek uygulanacak olan yöntemi doğru seçmelidir. İksa projesi tasarımı aşamasında zeminin özellikleri doğru şekilde yorumlanıp, mevcut arazide bulunan yer altı su seviyesi, deprem durumu, sürşarj yükleri, toprak basıncı gibi çevresel etkileri göz önüne alarak güvenli tarafta kalacak şekilde kazı destekleme sistemi tasarımları yapılmalıdır.

Bu tez çalışması kapsamında kazı destekleme sistemlerinden biri olan kuyu temellere yer verilmiş olup kuyu temel sisteminde oluşabilecek deplasmanların kontrol altına alınması için sonlu elemanlar ve yapay sinir ağları yöntemleriyle karşılaştırma analizleri yapılmıştır. Gerekli geoteknik çalışmaların yapılması için sonlu elemanlar yöntemine dayalı analiz yapabilen Setaf2018 paket programı kullanılmıştır. Bu kapsamda daha önceden seçilmiş olan 50 adet geoteknik rapordan çeşitli zemin değerleri alınmış olup paket programda her biri için kuyu temel modeli oluşturulup, analizi yapılmıştır. Böylece kuyu temel kesitlerinde yapılan tahkikler sonucu ortaya çıkan yer değiştirme miktarları, yapay sinir ağları yöntemine dayalı kullanılacak olan paket program NeuroShell 2'nin veri havuzunu oluşturmaktadır. Yapay sinir ağlarının (YSA) geoteknik mühendisliği çözümlerinde kullanımı artmaya başlamıştır. Bu kapsamda geoteknik verilere sahip kuyu temel tasarımlarında yer değiştirmelere yönelik bir modelleme yapmaksızın yer değiştirme miktarını tahmin etmeye yaramaktadır.

Bu tez çalışmasında ki amaçlara bakılacak olunursa, sonlu elemanlar yöntemiyle çözülen toplam 50 adet vakanın son 5 adedinin deplasman miktarları yapay sinir ağları yöntemiyle tahmin edilmesi istenmiştir. Araştırılan diğer konu ise,

kuyu temel analizlerinde bazı parametreler sabit tutularak sisteme etki eden çevresel faktörlerin (sürşarj yükleri, deprem durumu, yer altı suyu durumu, toprak basıncı) incelenmesi istenmiştir. Kuyu perdeye etki eden bu gibi parametrelerin yer değiştirme (deplasman) miktarını ne kadar etkilediğini ve hangi parametrenin en etkin olduğunu oranlar verilerek tahmin edilmesi istenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda çeşitli yöntemlerle yapay sinir ağ modelleri oluşturulmuş olup tahmin etme oranında %83 başarı oranına ulaşılmıştır. Daha sonrasında geliştirilen modellerin karşılaştırma analizleri sonucunda kuyu temel sisteminde yer değiştirmeye en yüksek miktarda etki eden parametrenin yer altı su seviyesi durumu olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlarla birlikte geoteknik mühendisliği kapsamında yapılacak olan iksa projelerine fikir vermesi istenilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Temel Tasarımı, Kazı Destekleme Sistemi, Kuyu Temel Sistemleri, Yer Değiştirme Kontrolü, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Yapay Sinir Ağları Yöntemi



COMPARISON ANALYSIS OF DISPLACEMENT CONTROL FOR WELL FOUNDATION DESIGNS WITH FINITE ELEMENTS AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS METHODS

ABSTRACT

In response to the needs of the ever-increasing population, the use of existing or new lands for construction activities is increasing. These lands may have different geotechnical problems, and with the rapid development of technology, solution suggestions for the problems of different disciplines are also increasing. Therefore, in order for construction activities to continue safely, it is very important to control the displacement of excavation support systems, which is one of the geotechnical problems in deep excavations.

The subject of foundation design in geotechnical engineering has been researched within the scope of this thesis, and many factors should be taken into consideration before foundation design in order to prevent damage to surrounding structures during the construction of deep and superficial foundations, to ensure the stability of the foundation system, to limit displacement and to ensure the safety of the system. In addition, ensuring the stability of the excavation before starting construction will prevent possible loss of life and property. For this reason, the design engineer must have sufficient knowledge about the shoring system that he will use to support the excavation that will arise when the deep foundation will be manufactured, and should research the factors affecting the shoring system in detail. The method to be applied should be chosen correctly by knowing the soil properties well. During the shoring project design phase, the characteristics of the ground should be interpreted correctly and excavation support system designs should be made to stay on the safe side, taking into account environmental effects such as groundwater level, earthquake condition, surcharge loads and soil pressure in the existing land.

Within the scope of this thesis study, well foundations, one of the excavation support systems, are included and comparative analyzes have been made with finite element and artificial neural network methods to control the displacements that may occur in the well foundation system. Setaf2018 package program, which can perform analysis based on the finite element method, was used to carry out the necessary geotechnical studies. In this context, various ground values were taken from 50 previously selected geotechnical reports, and a well foundation model was created and analyzed for each of them in the package program. Thus, the displacement amounts resulting from the investigations on the well foundation sections constitute the data pool of NeuroShell 2, a package program to be used based on the artificial neural networks method. The use of artificial neural networks in geotechnical engineering solutions has begun to increase. In this context, it is useful to estimate the amount of displacement in well foundation designs with geotechnical data without making any modeling for displacements.

Considering the objectives of this thesis study, the displacement amounts of the last 5 of a total of 50 cases solved by the finite element method were asked to be estimated by the artificial neural networks method. The other issue researched was to

examine the environmental factors affecting the system (surcharge loads, earthquake condition, groundwater condition, soil pressure) by keeping some parameters constant in the well foundation analyses. It was requested to estimate how much such parameters affecting the well curtain affect the amount of displacement and which parameter is the most effective by giving ratios.

As a result of the studies, artificial neural network models were created using various methods and an 83% success rate in prediction was achieved. As a result of the comparison analysis of the models developed later, it was seen that the parameter that had the greatest impact on the displacement in the well foundation system was the groundwater level. These results were asked to give ideas for shoring projects to be carried out within the scope of geotechnical engineering.

Keywords: *Foundation Design, Excavation Support System, Well Foundation Systems, Displacement Control, Finite Element Method, Artificial Neural Networks Method*



1. GİRİŞ

Mühendislik, doğadaki malzemeleri ekonomik bir şekilde kullanarak toplumun yararına olacak işleri ortaya koymaya çalışan ve her geçen gün ilerlemeye açık olan bir bilim dalıdır. Bu bağlamda inşaat mühendisleri, insanların hizmet, ulaşım, barınma alanlarındaki ihtiyaçlarını yerine getirmek için konut, köprü, baraj, alt yapı tesisleri, demiryolları, havalimanları, alışveriş merkezleri ve hastaneler gibi birçok alanda çalışmaktadır. Dünya genelinin ve gelişmekte olan ülkemizin nüfusunun hızla artması, insanın yaşamını idare edebilecek ve isteklerine karşılık verebilecek yapıların sayısına olan talebin artmasına neden olmaktadır. Bu yapıların kat adetleri talebin artması nedeniyle, şehirlerin yoğun arazilerinde talebi karşılamak için artmaktadır. Bu nedenle, bu devasa yapıların üst ve alt katları yani bodrum katları artmaktadır. İnşaatın başlamasından önce, zemin altında artan kat sayısının projeye uygun seviyeye kadar kazılması gerekmektedir. Sadece konut veya büyük karma projeler değil, metro inşaatları gibi ulaştırma ağları için hayati önem taşıyan projelerde de zemin uygun şekilde açılmalıdır. Bu tür projeler için inşaat mühendisleri, kazıyı planlamak, desteklemek ve uygulamak için geoteknik alanında uzmanlaşmaktadır.

İnşaat sektörünün hız kazandığı son yıllarda daha fazla yapının bir arada oluşturulmasıyla bitişik nizama sahip yapıların sayısı artmıştır. Bu nedenle iksa projelerinde aşamasında kuyu temel uygulamalarına da daha fazla başvurulmuştur. Kuyu temel bitişik nizam yapılarda veya şevleyerek kazı yapılamayan yerlerde, inşaat alanı kaybetmemek için uygulanan bir çeşit kuyu iksa kazma işlemi olarak ifade edilebilir. Yapılan kuyu temel perdesi aynı zamanda yeni imalatı yapılacak olan binanın taşıyıcı perdesi olarak kullanılmaktadır. Bodrum katlarının döşeme filiz kesitleri kuyu temel imalatında yapılabiliyor olması avantajları arasındadır. Çevre de bulunan yapıların çökme ve hasar görme gibi riskleri ortadan kaldırmak ve güvenli bir şekilde derin kazı yapabilmek bir diğer avantajıdır. Fakat betonarme perdeye sahip kuyu temellerde deplasman miktarlarının sınırlandırılması konusu çok önemli bir konuya sahip olmaktadır. Bu bağlamda uygulama safhasına ışık tutması amacıyla,

kuyu temele etkileyen hangi geoteknik faktörün ne kadar etki oranına sahip olduğunu görmek istenmesi bu tez çalışmasının konusunu oluşturmuştur.

Derin kaz sisteminde kazı işleri yaparken çevre yapılarına zarar vermemek, ön görülmesi gereken önemli bir diğer sorundur. Zeminin gerilme durumu, kazılar sırasında değişebilmektedir ve bu ciddi sorunlara neden olabilir. Güvenli olması ve yakınındaki yapılarla zarar vermemesi için kazının cephelerinde yeterli stabilite ve destek sağlanması çok önemlidir. Kazı destek sistemlerinin projelendirilmesi, öncelikle kazı destek sistemini etkileyen yüklerin karşılanması garanti etmek ile başlar. Bununla birlikte, stabiliteyi garanti etmek için uygun destek sistemleri belirlenmeli ve tasarlanmalıdır. Tasarımı yapılan destek elemanları, çevredeki binalara, yollara ve mevcut altyapıya zarar verme tehlikesi ile birlikte zeminde oluşabilecek deformasyonları ve yer değiştirmeleri kısıtlamalıdır. Bu sorunları çözmek için yönetmeliklere uygun yardımcı mühendislik uygulamaları geliştirilmektedir.

Günümüz dünyasında teknolojinin ilerlediği bu noktada bilişim konusunda ciddi adımlar atılmıştır. Bu bağlamda çeşitli dillere sahip yazılım paketleri ortaya çıkmıştır. Çoğu bilim dalında ki gibi geoteknik mühendisliğinde de yapay zekâ yazılımlarını kullandığımızda güvenilir tasarımlar oluşturma ve hızlı karar verme şansı yakalayabiliriz. Bu tez çalışmasında da istenilen sonuca ulaşılması açısından yardımcı olabilecek bazı yazılım programları kullanılmıştır. Bunlardan ilki sonlu elemanlar yöntemine dayalı geoteknik iksa modellerini oluşturup analizini yapabileceğiniz paket program Setaf 2018'dir. Diğerleri ise yapay sinir ağları yöntemine dayalı ve istenen parametreyi tahmin etmenize yarayan geoteknik çalışmalarda da kullanılacak olan NeuroShell2'dir. Bu programlar yardımıyla tez çalışmasının metodoloji kısmı oluşturulmuş olup sonuç kısmında karşılaştırılması yapılmıştır.

Bu tez çalışmasındaki asıl amaç, sonlu elemanlar yöntemiyle çözülen geoteknik vakalar sonucu ortaya çıkan verileri kullanarak yapay sinir ağlarının kendini eğitme ve öğrenme yöntemleriyle istenen parametrelerin tahmin edilmesini ve kuyu temel iksa sistemine etkileyen en yüksek geoteknik faktörün bulunmasını farklı opsiyonların seçilmiş şekliyle örneklerle açıklanmasını sağlamaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Günümüzde nüfusu fazla olan büyük yerleşim yerlerinde ve şehir merkezlerinde boşta olan arazilerin azalması sonucunda arsaların en faydalı kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Çeşitli fonksiyonda kullanılan yapıların bodrum katlarının inşaatı için derin kazı yapılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu talepleri karşılamak için geoteknik mühendisliği önemini artmaktadır. Jeoloji mühendisliğinin farklı iş kolları ile ilgilenen geoteknik mühendisliğinin en önem arz eden konularından birisi de derin kazılardır. Derin kazılar birçok inşaat aşamasının bir araya getirilerek ortaya koyulduğu, birçok bağımsız değişken parametreyi içinde bulunduran ve bu değişkenlerin tasarımda birbirlerini etkilediği karışık ve zor konuları içermektedir. Zemin özellikleri, kazı yüksekliği ve genişliği, kazı çevresinde bulunan yapıların etkisi dikkate alındığı zaman derin kazılar konusu geoteknik mühendisliğinin en önemli başlıklarından birisi haline gelmiştir. Derin kazıların sorunsuz yapılması için öncelikli olarak kapsamlı bir geoteknik araştırma yapılmalıdır. Kazı işlemi olabildiğince hızlı bitirilmeli ve gerekli iş güvenliği önlemleri alınmalıdır. (Alkaya ve Çobanoğlu, 2007).

Yapıların bodrum katları veya temeli inşaat edilmeden önce arazinin durumu ve proje gereksinimlerine göre temel tasarımı yapılmalıdır. Sonraki aşamada destekli bir derin kazı yapılacaksa komşu yapıların ve destek sisteminin sınır limitlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Tasarım aşamasında hesaplanan deplasmanlar ile sahada ölçülen değerler mukayese edilmeli gerekli önlemler önceden alınmalıdır. "İksa" sistemi, kazılar sırasında doğal malzemelerin kaymasını veya şekil değiştirmesini engellemek için beton, çelik, ahşap veya buna benzer materyallerin birlikte kullanılarak oluşturulan her türlü tahkimat sistemidir. Özellikle derinliği 5 m'den fazla olan kazılarda, iksa sistemlerinde, şevlerin duraylılığını sağlamak için sıklıkla kullanılır. Temel kazılar, metro tünelleri ve çok sayıda yapı inşaatı sırasında da kullanılır.

Wong ve Poh (1999), derin kazılarda istinat duvarını ve diyafram duvarını, inşaat sistemini, zemin türünü, kullanılan malzemeler ve ekipmanlar gibi

değişkenlerle karşılaştırarak sert ve esnek tipteki duvarların teknik özelliklerini karşılaştırdılar.

Her ne kadar daha pahalı olsa da, diyafram duvarlarının toprak itkisine karşı çok daha güçlü olduğunu gösteren ekonomik açıdan analizler ve karşılaştırmalar yapmışlardır.

Lilly ve Li (2000), kaya kütlelerindeki kazının başarısı veya başarısızlığı, kazının ardından meydana gelen yer değiştirmeye bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Commend vd. (2004), çalışmalarında büyük bir yapının inşası için gereken kazıda, iksa öncesi 3 boyutlu modellemeler tasarlamış ve kazı sonrası sahada meydana gelen yer değiştirmeler ile kazı öncesi yapılan modellemelerden elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuçlar arasında önemli miktardaki doğru orantı tespit etmişlerdir. Sonuçlar arasında küçük hataların ve farklılıkların nedenlerini ortaya koymuşlardır.

Afşar, (2021) Kuyu temellerde deprem bölgesi ve zemin türlerinin değişikliğinin imalat maliyetine etkisini incelemiştir. Yüksek, orta, düşük deprem riski taşıyan Düzce, Zonguldak ve Karaman illeri gibi çeşitli deprem bölgelerinden ve farklı zemin sınıflarından ayrıca farklı rölatif sıklığa ait (SM, SP, ML, GP, SW, GW) gibi zemin türlerini veri olarak seçmiştir. Bu verilerle Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve İstCAD 2021 yazılım programı yardımıyla kuyu temel analizleri yapmıştır. Daha sonrasında bu analiz sonuçlarında çıkan kalıp, beton, demir, kazı metrajlarıyla Çevre Şehircilik Bakanlığı 2021 birim fiyatlarını kullanarak maliyet analizleri çıkarmıştır. Sonuç kısmına gelindiğinde tasarım ivme spektral katsayılarının yani bölgenin depremselliği ve zemin sınıfı için “içsel sürtünme açılarının” ve bazı geoteknik verilerin kuyu temellerin boyutlarını ve doğrudan kuyu temel maliyetlerini etkileyen en önemli etkenler olduğunu görmüştür.

Koyuncu vd. (2006) 10 metrelik bir kazıyı desteklemek için ankrajlı ve ankrajsız iksa Duvar ölçümleri ile yatay yer değiştirmeyi karşılaştırdılar. Elde edilenlere göre ankrajsız duvarda duvar kalınlığı arttıkça yer değiştirmelerde düşüşler gözlenirken, ankrajlı iksa sisteminin bulunduğu bölümlerde önemli bir değişiklik görülmemiştir.

Akçay , (2021) Araştırma makalesinde, tarihi yarımada da yapılacak inşaat işlerinde arkeolojik kazı ve kuyu temel imalatları ile fore kazık imalatlarının süre-maliyet açısından karşılaştırmasını yaparak vaka analizi gerçekleştirmiştir. Birçok tarihi alan ve esere ait bu yarım ada günümüz Fatih ilçesi ve Yenikapı dolgu alanı arasında kalmaktadır. Bu alan süre aşımından dolayı toprak altında kalmıştır ve burada denetim eşliğinde arkeolojik kazılar yapılmaktadır. Örnek projede, arkeolojik kazı, kuyu temel kazısı, fore kazık imalatları, kuyu temel iksa imalatları ve hafriyatın çıkarılması ve temel atma sonuçları gelinceye kadar inşaat maliyetleri ve süreleri tablo şeklinde karşılaştırılmıştır. Tablolar, arkeolojik kazılarda kuyu temel imalat masraflarının fore kazıklara göre toplam %58, sürenin ise %113 daha fazla olduğunu göstermektedir. Süre ve masraf gerektirmesine rağmen, çevrede bulunan tescilli yapıların bozulmayarak zarar görmemesi, istinat yapısının temeliyle olası arkeolojik varlığın korunması için en güvenli yöntemin kuyu temel imalatının yapılması gerektiğine kanaat getirilmiştir. Ayrıca fore kazık yapımı sırasında titreşimler yüksek frekanslı oluşmaktadır. Kuyu temel üretiminde ise titreşimler düşük frekansta kalmaktadır. Çevre yapıların temel sistemleri tam olarak bilenemediği için, Tarihi yapıların olumsuz etkilenmemesi için, sondaj kuyularının güvenli ve kontrollü bir şekilde açılması için kuyu temel yöntemine başvurulması gerekmektedir.

Başeski, (2008) Derin kazılardaki iksa sistemlerine yaptığı incelemede çeşitli toprak basınçlarının oluşturduğu dağılımların iksa sistemleri üzerindeki davranışını incelemek için İksa2008 adlı programı geliştirilmiştir. Bu çalışmada bölümler halinde derin kazıları, iksa sistemlerine etkileyen toprak basıncı, su basıncı sürşarj etkisinden bahsedilmiştir. Zemin tabakasının karakteristik dağılımına göre seçilebilecek iksa sisteminden de bahsedilmiştir. Çok sıralı ankrajların imalatında dikkat edilmesi gereken hususlara değinilmiştir. Son bölümde geliştirilen ve yapılan analiz bulgularının karşılaştırılmalı grafikler halinde sunulmuştur ve yorumlanmıştır.

Eçin, (2021) yapmış olduğu çalışma da geoteknik tasarımda temel derinliğini etkileyen faktörleri ve temel tasarımında olabilecek riskleri ele almıştır. Zemin sınıflandırma yöntemlerini ele alarak temel tasarlarken farklı zemin parametrelerinin etkilerini gözlemlemiştir. Taşıma gücü ve oturma analizlerini inceleyerek temel ile zeminin etkileşimlerini araştırmıştır. Araştırma sonucunda bazı bulgular edinmiştir. Don derinliği altında temel derinliği belirlemek gerekir. Yeni yapılacak temel ile mevcut temel arasında kot farkı olan yerlerde aralarındaki mesafeye ve birbirine

etkisi olacak olan sürşarj yüklerine dikkat çekmiştir. Kumlu tabakalı zeminlerde sığ temel olduğunda, temel çevresinden zemin kayması ya da su ve rüzgâr erozyonuna sebebiyet verebilir. Bundan kaynaklı göreceli sıklığın yüksek olması ve yüklerden dolayı oturma analizinin yapılmış olması gerekmektedir. Y.A.S.S. altında ince kum ve siltli zemin tabakalarında deprem etkileriyle birlikte sıvılaşma riski gözetilmektedir. Yumuşak kohezyonlu zemin tabakalarında da taşıma kapasitesi yenilmesi gözlemlenmiştir. Yumuşak kil ve siltli zeminlerinde taşıma ve oturma kayıplarını göze alarak drenajsız kayma mukavemeti ve konsolidasyon deneylerine tabi tutulmalıdır. Bu durumlar tahkik edildikten sonra temel derinliğine karar verilmelidir.

Özberk, (2009) Ankraj destekli derin iksalarda deformasyonların incelenmesi adlı çalışmasında, derin kazıların destekleme sistemlerinde kullanılan ankrajları incelemiş ve bunları tanıtmıştır. Çeşitli alanlarda yapılacak olan iksa sistemlerinde ankrajın etkilerini irdelemiştir. Ankrajların kullanım alanları, zemin ankrajlarının sınıflandırılması ve tasarımını açıklanmıştır. Ankrajlar vasıtasıyla zemine iletilen öngerme kuvvetleri karşılanmış olup küçük kesitlerde büyük kuvvetlerin karşılanabileceğini görmüştür. Yapılacak olan kazılarda karşılaşılabilecek belirsizlikleri göz önüne alarak emniyetli tarafta kalmak için deplasman sınırlarına dikkat çekmiştir. İksa sistemine gelen toprak basınçlarını ve dağılımlarını açıklamış olup derin kazıları gözlemlene yoluna gitmiştir. Sonraki aşamada projelendirilme sırasında sonlu elamanlar yöntemiyle hesap yapan Plaxis programını kullanmış olup tasarlanmak istenen sistemlerin deformasyonlarını hesaplamıştır. Daha sonrasında imalat aşamasında inklinometre ölçümlerinden faydalanarak her bir kademedeki ölçüm yapılmıştır ve kazı güvenliğini ayrıca çevre yapılara etkilerini incelemiştir. İnceleme neticesinde proje ve uygulama sonuçlarında karşılaştırılmaya gidilmiştir.

Örnek olarak alınan İstanbul Anel İş Merkezi iksa projesinde bulunan fore kazık kesitlerinde bu aşamalar gerçekleştirilmiş program verileri sonucu çıkan yatay deplasman değerleriyle saha ölçümlerinde ortaya çıkan maksimum yer değiştirmeler kıyaslanmıştır ve sonuçların birbirinden uzak olmadığı gözlemlenmiştir.

Yağcı, (2018) Derin kazıların desteklenmesinde farklı geoteknik modellerin deformasyon üzerinde etkisini inceleyen bir makale hazırlamıştır. Bunun için Balıkesir'de bulunan mevcut geoteknik parametreler üzerinde çalışılmış ve farklı geoteknik modeller ortaya konmuştur. Farklı kazı yükseklikleri için, konsol ve

ankrajlı sistemlerin tasarımını Geo5 programı ile deformasyonları ise hem Geo5 hem de Plaxis programları yardımıyla tasarlamıştır. Efektif parametre modelleri ile drenajsız parametre modellerinin kullanıldığı programların deformasyon sonuçlarının uyumu kıyaslanarak, inceleme alanını en iyi temsil eden efektif parametre modeli olduğu belirlenmiştir. Bu yaklaşımda seçilen zemin koşulları için yapılan modellemelere dayalı olarak 4 m kazı derinliği için dahi konsol iksa sisteminin deformasyonlarının farklı sürsaj yükleri etkisi altında güvenli tarafta olmadığı ve yatay destek elemanı olan ankraj gibi elemanlara ihtiyaç olduğu söylenebilir. Deformasyonların hesaplanmasında Geo5 programı ve Plaxis programını kıyasladığımızda, bir sonlu elemanlara dayalı çözüm yapan Plaxis programı ile yapılan analizlerde daha doğru sonuçlara ulaşılabilmesinde, seçilen verilerin ne kadar önemli olduğu ve daha detaylı veriye dayalı geoteknik tasarımlara ihtiyacımız olduğu görülmüştür.

Bu çalışmalar göstermektedir ki temel tasarım konusu geoteknik mühendisliğinde çok önemli bir yere sahiptir. Mevcut arazi koşulları, zemin özellikleri, çevrede bulunan yapılar, mimari proje ve sahip olunan bütçe gibi parametreler temel tasarımını ve goteknik hesapları etkilemektedir. Derin temellerin yapılması için oluşan derin kazıların desteklenmesi konusunda hem proje hemde uygulama noktasında her türlü eksilikler giderilmeli hata payları en aza indirilmelidir.

2.1. Geoteknik Mühendisliğinde Temel Tasarımı

Genel olarak geoteknik mühendisliği, zemin mekaniğini, temel inşaatını ve zemin dinamiğini kapsayan inşaat mühendisliğinin alt bilim dallarından biridir. Geoteknik incelemenin ana amacı, inşaatın yapılacağı arazinin zemin tabakalaşmalarını ve mühendislik özelliklerini belirlemektir. Asıl amaç bu parametreleri kullanarak, ekonomik ve güvenli bir temel sistemi seçmektir. Üst yapı ve temel sisteminin tasarımı için gerekli parametrelerin bulunması incelemenin amacı olmalıdır. Temel mühendisliği ise, geotekniğin diğer bir alanıdır. En basit tanımıyla, temel mühendisliği, geoteknik araştırma ile bulunan zemin parametreleri kullanılarak temel tipinin seçimi ve boyutlandırılmasıdır.

Birçok yapı, Marmara depreminde meydana gelen hasarın bir kısmını oluşturan yanlış temel tipi, temel derinliği veya temel işçiliği seçimleri nedeniyle

zarar görmüştür. Bu durum temel mühendisliğinin ne kadar mühim olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak geoteknik, inşaatın yapılacağı zemin, temele etkileyen yükleri birlikte hesaplamaktadır (Eke, 2004).

İnşaat sektöründeki son gelişmeler, geoteknik ve temel mühendisliği tasarım ve uygulama faaliyetlerini oldukça çeşitlendirmiştir. Enerji ve petrokimya tesisleri, otoyollar, köprüler, tüneller, viyadükler, limanlar ve diğer mega projeler gibi çeşitli mühendislik yapılarının derin taşıyıcı temel sistemleri ve iksa projeleri, özellikle son teknoloji ürünü geoteknik ve temel mühendisliği uygulamaları kullanılarak başarıyla tamamlanmaktadır. Günümüzde inşa edilen binaların yüksekliği arttıkça, bodrum, otopark ve sığınak gibi bölümlerin derinliği de artmaktadır. Bu nedenle, geoteknik mühendisliğinde uygulama ve tasarım problemlerinin değerlendirilmesi için temel inşaatı ve zemin mekaniği konusunda yeterli bilgiye sahip olmak gerekir.

Terzaghi'ye göre temeller, sistemin en son yapı elamanları olarak üst yapıdan gelen yükleri zemine aktarmaktadır. Zemine yük iletimi sırasında, yapının bütünlüğünü koruması ve zemin tabakalarında aşırı gerilmeler oluşturmamaları gerekmektedir. Bu nedenle, bu aşırı gerilmeler, zeminde kayma yenilmesine, aşırı deformasyonlara ve büyük şekil değişikliklerine neden olan sıkışma-oturma gibi sorunlar çıkartabilirler. Bunun bir sonucu olarak, temel tasarımları geoteknik gereksinimler ve yapısal ihtiyaçları ekonomik ilkeye dikkat edilerek karşılamak zorundadır (Coduto, 2001).

Günümüzde nüfus artışının hızı arttıkça, yeni yapı talepleri ve yapı boyutları artmaktadır. Yapıların hizmet amaçlarının da çeşitliliği buna bağlı olarak artış göstermektedir. Temel tasarımlarını da bu genişleme ve çeşitlilik etkilemiştir. Temelin inşa edilmesinden önce, temelin oturacağı zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinin kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Yer altı su seviyesi zeminin mekanik özelliklerinden oluşan belirli formüller ile bulunmaktadır. Zemin parametreleri ise, arazide yapılan sondajlar, zeminden alınmış numuneler ve gözlemler aracılığıyla veya belirli formüller kullanılarak elde edilir. Zemin analizi, temelin sürekli olarak zeminle temas etmesi nedeniyle yapının ve temelin güvenliğini belirler ve temel tasarımını öncesinde yapılması gerektiğini gösterir.

Temeller, yapısal eleman olmalarından dolayı hizmet amaçları ve boyutları nedeniyle tasarımlarında hassas hesaplar gerektirmektedir. Bir yapının yüksekliği ve

genişliği, temele iletilecek statik yükleri etkilerken, yapının kullanım amacı dinamik yükleri etkilemektedir. Temellerin eşidi ve boyutları, temele iletilen yüklere bağlıdır. Temellerin yapıya istenilen faydayı sağlayabilmelerindeki önemli kriterler, kendilerine iletilecek yükler sonucunda oluşabilecek stabilite ve göçme problemlerine karşı mukavemet gösterebilmesi yani taşıma gücü analizinde güvenli tarafta olmaları ve oluşabilecek muhtemel oturmaların yapının zarar görmesini engelleyecek seviyelerde kalması diğer bir deyişle zeminin taşıma gücü ve oturma analizi sonuçlarında güvenli tarafta kalmasıdır.

Zeminin taşıma gücü analizlerinde ve yapının statik ve dinamik yüklerinden kaynaklanan oturma analizlerinde yapılacak bir hata, temelin ciddi zarar görmesine ve binanın kısmen veya tamamen yıkılmasına neden olabilmektedir. Üst yapı yüklerini zemine aktarırken temellerin yapısal bütünlüklerinin korunması ve üzerinde yer aldıkları zeminleri aşırı gerilmelere maruz bırakmaması gerekir. Ayrıca, eski bir temelin yanında yapılacak yeni bir temelin kazısı nedeniyle eski temelin güvenliğini tehlikeye atmamak için özel destekleyici sistemler ile veya temel zeminin özelliklerine göre belirlenecek kritik alan dışında kalmak için düzenlemeler yapılmalıdır.

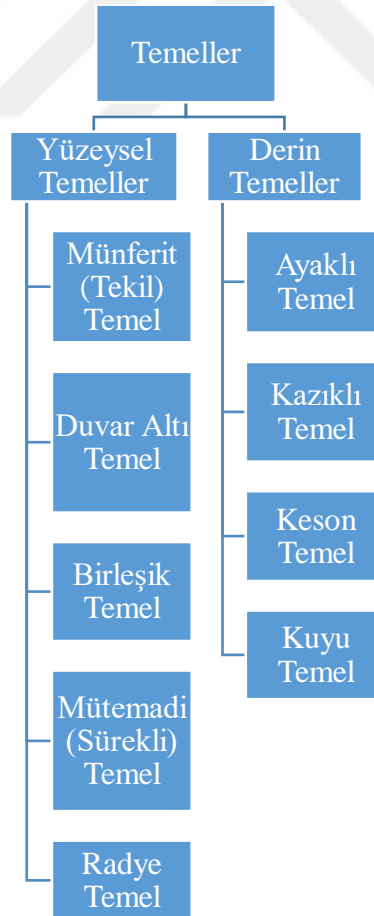
Zeminlerdeki aşırı gerilmeler, aşırı oturmalar ve kayma sorunlarına neden olabilir. Sonuç olarak, temel tasarımları hem yapısal hem de geoteknik gereksinimleri ekonomik olarak karşılamak zorundadır. Başka bir deyişle, yapı ve geoteknik mühendisliği disiplinleri, güvenli ve ekonomik bir temel tasarımı oluşturmak için birlikte çalışmalıdır. Temellerin tasarımları sırasında, dış kaynaklardan kaynaklanabilecek diğer etkenler de göz önüne alınmalıdır. Bu faktörlerin bazıları, deprem yüklerinden kaynaklanan zemin sıvılaşması, mevsim değişikliklerinden kaynaklanan yeraltı su seviyesindeki değişiklikler, biyolojik faktörler ve diğer etkenlerdir. Bu bileşenleri göz ardı ederek tasarlanan temeller, bu tür aşırı koşullara maruz kaldığında zarar görebilir ve yapıya zarar verebilir. Temellerin tasarımı ve boyutlarını, taşıyıcı sistemden kaynaklanan etkiler yanında, temel zemininin taşıma gücü etki etmektedir. Sonuç olarak, temel sistemin oluşturulmasından önce, zeminin taşıma kapasitesi hakkında sağlam verilerin bulunması gerekir.

Farklı temel eşitleri, etkileşimde olacakları zeminlerle farklı yollarla çalıştıkları için yapıya faydaları değişmektedir. Binanın inşa edileceği zemin üzerine

yerleştirilen bir temel, zemin ile çalışma mekanizmasında meydana gelen bir hata nedeniyle tamamen çökebilir. Bununla birlikte, yapının boyutları ve amacına bağlı olarak, diğer yapısal elemanlardan temele aktarılacak yükler farklı olabilir. Bu nedenle, temellerin yapıya sağlaması gereken dayanım gücü değişebilir. Her temel, bina için özel olarak seçilmeli ve tasarlanmalıdır. Temel boyutlarının tasarımı sırasında veya temel çeşidinin seçilmesinde karşımıza çıkacak bir problem, temelin sağlaması gereken dayanma gücünü yapıya aktaramayabilir ve bunun sonucunda yapı hasar görebilir. Bu nedenlerden dolayı, bir yapının tasarımı esnasında tasarım mühendisi, inşaatı yapılacak zemini ve yapının özelliklerini detaylı bir şekilde analiz ettikten sonra yapı için en uygun temele doğru bir biçimde karar vermelidir. (Eçin, 2021)

2.2. Temel Tipleri

Temeller, zeminde oluşacak yükü iletme türlerine bağlı olarak yüzeysel ve derin temeller olmak üzere iki farklı gruba ayrılırlar.



Şekil 2.1: Temel Tipleri

2.2.1. Yüzeysel temeller

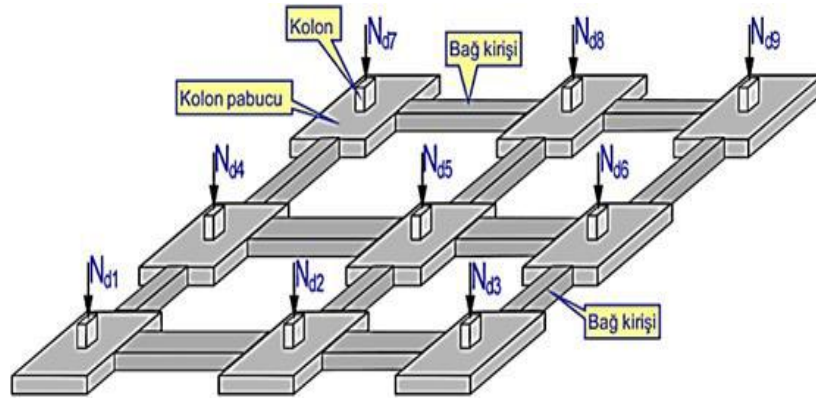
Yüzeysel temeller yapı yüklerini yüzeye yakın zemin tabakalarına aktarırlar. Kuru ve sulu zeminlerde uygulanabilirler. Bu temeller toprak yüzeyine yakın inşa edildiği için çevresel etkilerden korunması gerekmektedir. Yapılacağı bölgede don seviyesi dikkate alınmalıdır. Yüzeysel temel, zeminin parametrelerinin yeterli olduğu, binadan gelen yükün fazla olmadığı ve yer altı su seviyesinin de temele zarar vermediği durumlarda tercih edilir. Yüzeysel temeller beş farklı gruba ayrılırlar.

2.2.1.1. Münferit (tekil) temel

Tekil temeller, düşey taşıyıcı elemanı olarak kullanılan kolonların zemine temas eden tarafının kolon boyutlarından büyük olmasını sağlamak için betonarme pabuçun kurulmasını sağlamaktadır.

Pabuçların birbiri arasında deprem kuvvetlerini aktarması için her iki yönde 15cm'den fazla döşeme ya da bağ kirişi ile bağlantı yapılması gerekmektedir.

Tekil temeller genellikle zeminin sertlik durumunun orta sert ya da sert zemin olma durumuna göre tercih edilmektedir. Çoğunlukla yüksek olmayan binalarda, yapının fazla ağırlığa sahip olmadığı durumlarda kullanılmaktadır.



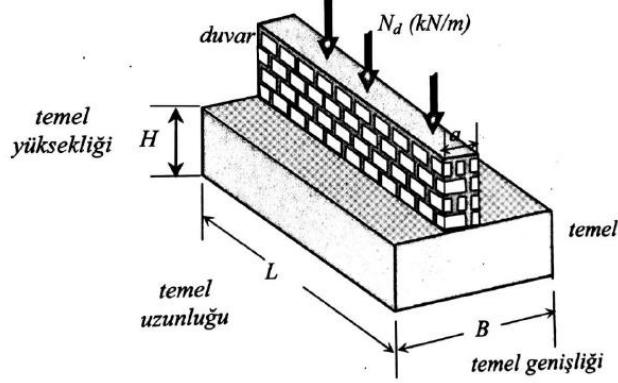
Şekil 2.2: Tekil Temel

Kaynak: (Topçu, 2019)

TS500'e göre tekil temelin en küçük boyutu 0,7 m'den, alanı 1 ya da 2 m² den, kalınlığı ise 250 mm'den ve konsol açıklığının 1/4 'ünden daha az alınmaz (Doğangün, 2002: 780).

2.2.1.2. Duvar altı temel

Duvar altı temeller, birkaç katlı basit yığma yapılarının taşıyıcı duvarlarının altına duvar altı temel yapımı yönetmelik gereği zorunludur.



Şekil 2.3: Duvar Altı Temel

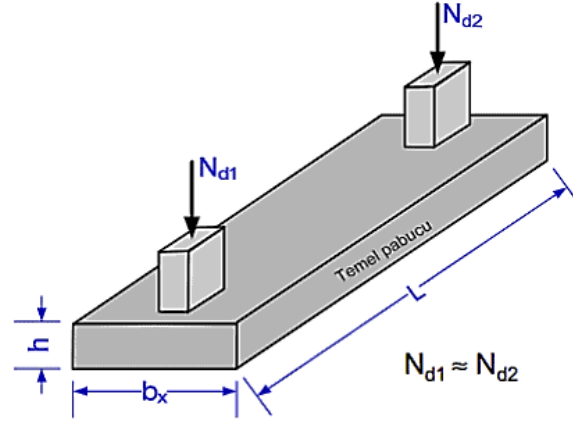
Duvar altı temeller, her bir cephede, üzerinde bulunan duvardan en az 100 mm dışarı taşmalıdır. Duvar altı temeli kalınlığı ise, duvar dışına taşan konsol açıklığının yarısından ve 200 mm den az olamaz. (TS500, 2000: 10.2.2)

Duvar boyunca her köşede bir tane olmak şartıyla en az 4φ10 boyuna donatı bulundurulmalıdır. Bu boyuna donatılar aralığı 300 mm yi geçmeyen, en az 8 mm çapında etriyelerle sarılmalıdır. (TS500, 2000: 10.2.3)

2.2.1.3. Birleşik temel

Tekil temel göre kolonlara gelen yükün arttığı ve düşey taşıyıcılar arasındaki mesafenin yakın olduğu, durumlarda birleşik temel tipi kullanılmaktadır. İki kolon arasındaki pabuçlar birleştirilerek tek bir sömel oluşturulur.

Eksenel kuvveti fazla olan kolon tarafında pabuç büyütülerek zeminde oluşan gerilmenin pabuçlar altında her yerde eşit oluşmasına olanak sağlar. (Topçu, 2019)



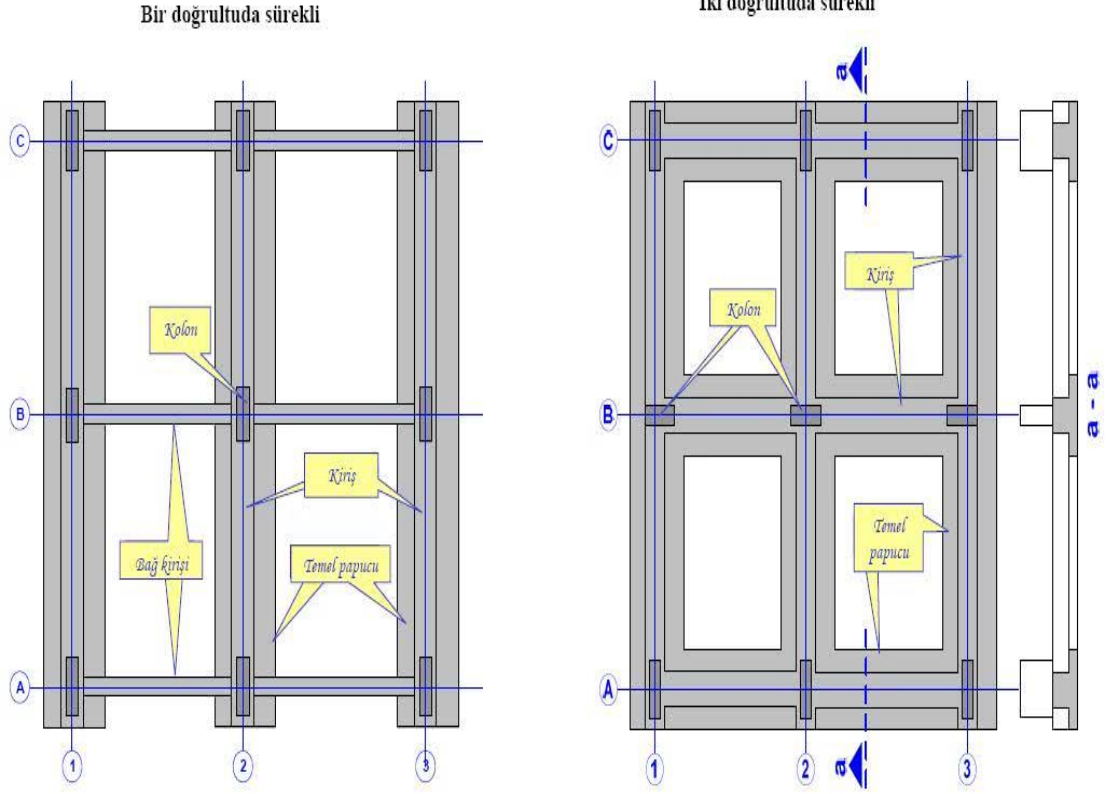
Şekil 2.4: Birleşik Temel

Kaynak: (Topçu, 2019)

2.2.1.4. Mütemadi (sürekli) temel

Sürekli temel tipi, yapı yükünün fazla olduğu ve kolonların birbirine uzak olmadığı, zemin dayanımının yüksek olmadığı yerlerde kullanılır. Kolonlar kirişli ya da kirişsiz yapılan plakalara bağlanır. Kolon yükleri bir bütün olarak kirişe, kirişten pabuca, pabuçtan dağılan yük düzenli bir şekilde zemine uygulanır. Tek veya çift yönlü sürekli temel tipleri mevcuttur. Tek yönlü sürekli temel aynı doğrultudaki iki veya daha fazla kolondan oluşan birleşik temeldir. Tek yönlü mütemadi temeller yüksek yapılar için genellikle tercih edilmemektedir. Çift yönlü sürekli temeller yatay ve dikey aksa sahiptir ve alan temel olarak nitelendirilir. Ayrıca tek yönlü sürekli temellere göre farklı oturma riski daha düşüktür.

Kirişli olan mütemadi temellerde, kirişin kendi yüksekliği plağın içinde olmak üzere, serbest açıklığın 1/10 undan, plak kalınlığı ise 200 mm den daha az olamaz. Kirişsiz plak olarak düzenlenen sürekli temellerde plak kalınlıkları, 300 mm den küçük olamaz. (TS500,2000: 10.4.2.)



Şekil 2.5: Tek Yönlü ve Çift Yönlü Sürekli Temeller

Kaynak: (Topçu, 2019)

2.2.1.5. Radye temel

Yapı oturumunun tamamını kapsayacak bir plak şeklinde uygulanan radye temel günümüzde zeminlerin sağlam ya da zayıf şartlarına bakılmaksızın en çok tercih edilen temel sistemidir. Radye temel sayesinde binanın oluşturduğu yük, zemine düzgün ve eşit bir şekilde dağılmaktadır. Yükler tek bir plağı etkilediği için temelde farklı oturmaların önüne geçilebilmektedir. Yapı yükünün çok olduğu zamanlarda ise zeminin dayanma kapasitesini artırır.

Depreme karşı en dayanıklı temellerden birisi olan radye temel, deprem sırasında yapıyla birlikte hareket eder ve yapıda meydana gelebilecek hasarların oluşmasını büyük derecede engeller. Radye temel zeminin düzenlenerek sıkıştırılması sayesinde yapıya daha fazla dayanıklılık katmaktadır.

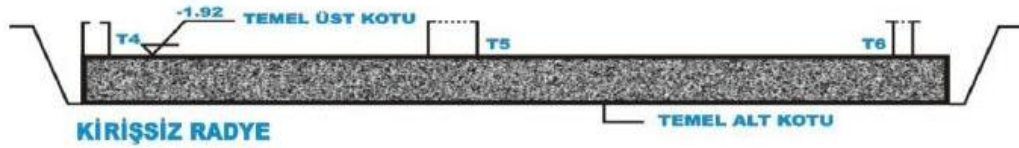
Radye temellerinin tasarımında yeterli bir plak rijitliği sağlanmalıdır. Bu nedenle plak kalınlığı, plak boyutu ve buna etkiyen yükler, geçilecek açıklık göz önüne alınarak belirlenmesi gerekmektedir (Celep ve Kumbasar, 1998).

Radye temeller farklı çeşitlerde uygulanmaktadır.

2.2.1.5.1. Kirişsiz radye temel

Düşey taşıyıcı elemanların oturma alanını kapsayan plak yapılı, düşey taşıyıcı elemanlar bütün olarak temel plağına oturtularak yapının yük aktarımı doğrudan temele iletilmektedir. Bu durumda temel plağının kalınlığı üstten gelen yapı yüküne bağlı olarak değişmektedir.

Kirişsiz radye temel binanın bodrum katlarında düz bir alan sağladıkları için kullanımı daha rahat olmaktadır.



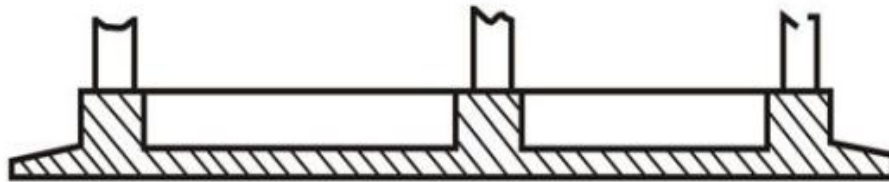
Şekil 2.6: Kirişsiz Radye Temel

2.2.1.5.2. Kirişli radye temel

Uygulamada en çok kullanılan temel çeşitlerinden bir tanesi radye temeldir.

Farklı oturmaları engellemek için farklı çeşitlerdeki zemin türünde kullanılan kirişli radye temel sistemi, kirişsiz radye temel sistemine göre daha fazla moment etkisine maruz kalmaktadır (Çamlıbel, 2000).

Ekonomik olmasının bir sebebi ise, plağın üzerine veya altına uygulanan kiriş nedeniyle plak kalınlığında azalmaya gidilmesidir. Ancak yine de kalıp, donatı, dolgu ve kirişler arasında yapılacak tesviye betonu giderlerini de hesaba katmak gerekmektedir (Doğangün, 2008).



Şekil 2.7: Kirişli Radye Temel Uygulaması

Kaynak: (Çamlıbel, 2000)

2.2.2. Derin temeller

Sağlam zeminin temel alt kotundan daha aşağıda olması halinde ve yüzeysel temel yapılamayacak durumlarda; sağlam zemin tabakasından yararlanmak için

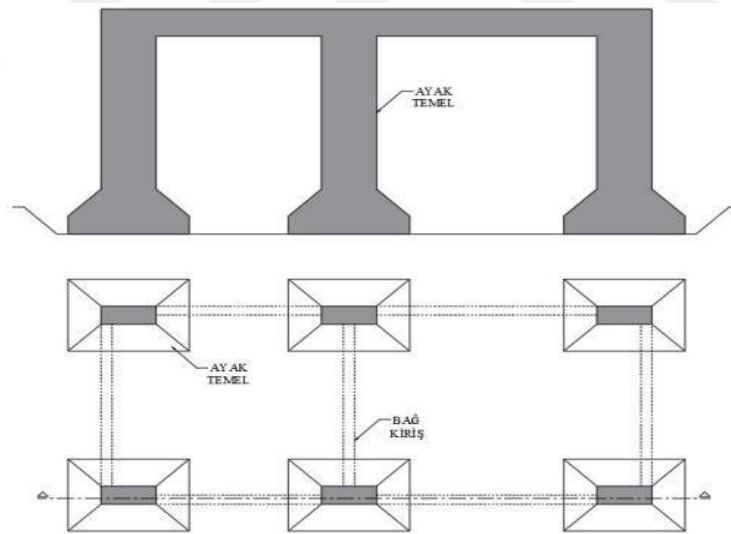
uygulanan temel sistemine derin temel denir. (Toğrol ve Tan, 2003). Bir diğer ifadeyle “Df/B oranı 1’den büyük olan yapı temelleri derin temel olarak adlandırılır.” (Keleşoğlu 2011).

Yeterli taşıma gücüne sahip olmayan ve oturmaların izin verilen sınırları aşması beklenildiği yüzeye yakın tabakalarda, yüklerin daha derinlerdeki sağlam tabakalara aktarılması için kullanılan düşey yapısal elemanlarla taşıtılan derin temellere ihtiyaç duyulmaktadır.

Derin temel türleri dört başlıkta incelenmektedir;

2.2.2.1. Ayaklı temel

Ayaklı temeller için, sağlam zemin tabakalarının kazık gerektirmeyecek kadar derinde olmadığı durumlarda ve zemin iyileştirmenin yeterli olmadığı hatta zemin iyileştirmesinin yapılmasına rağmen riskin gitmediği durumlarda gerekli hesaplar yapılarak sağlam zemine kadar kazı yapılır. Daha sonrasında ayak temeller sağlam zemine oturtulur. Son olarak ayak temeller üst kısımda betonarme kirişler ile birbirine bağlanmalıdır. (Toğrol ve Tan, 2003).



Şekil 2.8: Ayak Temel

Kaynak: (Toğrol ve Tan, 2003)

2.2.2.2 Keson temel

Keson temeller, kazık temelin uygulanamadığı durumlarda ve sağlam zeminin yer yüzeyinden çok aşağıda olduğu su altı veya sulu bölgelerde kullanılır. Keson temeller taşıma kapasitesinin düşük olduğu zeminlerde, içine dolgu malzemesi olarak

kum veya çakıl doldurularak sağlam zemine ulaşınca kadar üzerine malzemeler eklenerek batırma yöntemiyle yapılmaktadır.

Genellikle kare veya dörtgen şekillerde olan keson temeller köprü ayaklarında, limanlarda, dalga kıran vb. yerlerde kullanılmaktadır.



Şekil 2.9: Yerinde Döküm Keson, Batırma Keson

2.2.2.3 Kazıklı temel

Kazıklı temeller, üst yapı yükünün zayıf zeminden derinlerdeki sağlam zemin tabakalarına aktaran ve yüzeysel temellere göre daha güvenli olan bir derin temel çeşididir. Yapısal güvenliği oluşturmak için maliyetli olmasına bakılmadan kazık kullanımını gereklidir.

Kazıklar imal edildikleri malzemeye göre dört farklı gruba girerler. Bunlar ahşap kazıklar, çelik kazıklar, betonarme kazıklar, kompozit (Karmaşık, genellikle alt kısmı ahşap veya çelik, üst kısmı betonarme olarak yapılan) kazıklardır (Toğrul ve Tan, 2009).

2.2.2.3.1 Kazıkların kullanım nedenleri

1) Zemin tabakaları, üst yapı tarafından zemine iletilen yükleri taşıyamayacak kadar zayıf olduğunda, yükü alttaki ana kayaya veya daha sağlam bir zemin tabakasına taşımak için kazıklar kullanılır.

2) Yapısal yükü yeterli derinliğe sahip olmayan zemine kademeli olarak iletmek için kazıklar kullanılır.

3) Kazıklı temeller, yanal yükler altında üst yapı tarafından iletilen düşey yükleri taşıyabilir ve eğilmeye karşı dayanım gösterdiklerinden dolayı tercih edilebilir.

4) Kazıklı temeller, büzülen ve şişen bölgelerde de kullanılabilir. Bu tür durumlarda kazıkların amacı, temel üzerindeki yükleri zeminin nemden etkilenmeyen bir seviyeye taşımaktır.

5) Köprü ayakları, yüzeysel temellerin erozyon nedeniyle taşıma kapasitesi kaybını önlemek için çoğunlukla kazıklı temeller üzerine inşa edilir (Yiğit, 2019).

2.2.2.3.2 Kullanım amaçlarına göre kazıklar

Kullanım amaçlarına göre kazıklar beş gruba ayrılabilirler (Toğrol ve Tan, 2009).

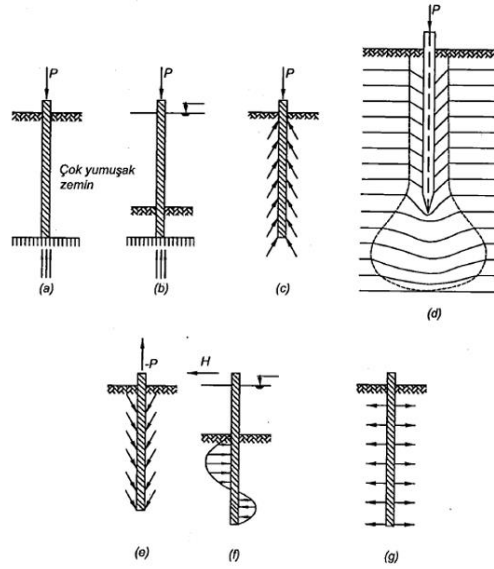
1) Uç kazıkları: Temel altındaki zeminin zayıf ve sıkışabilirliği yüksek tabakalardan oluştuğu durumlarda, temelden zemine aktarılacak yüklerin kazıklar yardımıyla daha aşağı seviyelerdeki sağlam zemin tabakalarına aktarılması sağlanır. (Şekil 2.10a,b)

2) Sürtünme kazıkları: Yapı yükleri kazık çevresinde bulunan zemin sürtünmesi ile taşınmaktadır. (Şekil 2.10c,d)

3) Çekme kazıkları: Suyun kaldırma kuvvetine maruz kalan yapıları veya üstyapıya gelen kuvvetler nedeniyle moment etkisi tesirindeki temellerin güvenilir bir şekilde zemine iletmek için kullanılan kazıklardır. (Şekil 2.10e)

4) Ankraj kazığı: Yatay kuvvetlere karşı mukavemet gösteren kazıklardır. Palplanş perdelerin yanal hareketinin önlenmesinde, dolfen kazıkları ve gemi bağlama yanal kuvvetlere karşı kullanılmaktadır (Şekil 2.10f).

5) Kompaksiyon kazıkları: İri daneli zeminlerin sıkıştırılması amacıyla kullanılmaktadır. (Şekil 2.10g)



Şekil 2.10: Kullanım Yerlerine Göre Kazık Tipleri

Kaynak: (Toğrul ve Tan, 2009).

2.2.2.4 Kuyu temel

Kuyu temeller bitişik nizama sahip yapı sistemlerde kullanılan bir geçici iksa uygulama şeklidir. Yapım itibariyle yandaki bitişik nizamda var olan yapı ile yapılacak yapı arasında bildiğimiz kuyu düzenekleri birer atlamalı olarak açılıp, bu kuyu düzeneklerinin göçmesini engelleyici iksa tedbirleri alındıktan sonra, ahşap anolar yerleştirilerek tahkimatlar yapılır daha sonrasında aşağıdan yukarıya doğru donatı düzeneği yerleştirilerek beton dökümü gerçekleştirilir. Genel olarak, bitişik nizam binalarda yer kazanmak için kullanılan kuyu temel perdesi binanın subasman perdesi olarak ta kullanılmaya devam etmektedir. İnşaat sektörünün vazgeçilmezleri arasında yer alan kuyu temel, en fazla işçilik gerektiren ve en fazla tehlike içeren yöntemlerden biridir. Diğer iksa yöntemlerine göre daha ucuz olması tercih edilme sebepleri arasındadır.

Fore kazığa alternatif olarak daha derin ve geniş kazılarda diyafram makinelerinin kullanılması ve ortaya çıkan iş güvenliği tehlikesi nedeniyle, kuyu temeller günümüzde fore kazık sistemlerinin yaygınlaşması nedeniyle pek kullanılmamaktadır. Genelde çok fazla derin olmayan ve çok basit yapı sistemlerinde uygulama alanı bulabilmektedir.

Kuyu temeller ile ilgili detaylı bilgiler 2.4 başlığı altında verilecektir.

2.3 İksa Sistemleri

Kazı yapılacak alanda kuru zeminlerde veya kendini tutamayan gevşek zeminlerde oluşabilecek kaymaları, yatay gerilme zayıflaması ve göçmeleri engellemek için, şev stabilitesini sağlamak için, komşu yapıların hasar görmesini engellemek için yapılan yatay ve düşey destek elemanlarının tümüne iksa sistemi denmektedir.

Seçilecek iksa sistemlerinin belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır;

- Derin kazının açıkta kalacağı zaman,
- Zemin profili ve zemin katmanlarının karakteristik özellikleri,
- Çevre yapıların taşıyıcı sistemleri, temel tipleri ve temel boyutları,
- Oturum alanı ve yerleşme yeri ve gibi çevresel faktörler ve komşu binalarda izin verilen oturma değerleri,

-İksa destekleme sisteminde oluşacak deplasmanın hesap edilmesi ve destek sisteminin boyutlarının seçilmesi (Yılmaz 2001).

İksa sistemleri yatay ve düşey destek elemanları olmak üzere iki farklı çeşitten oluşmaktadır.

2.3.1 Düşey destek elemanları

Düşey destek iksa elemanlarının amacı, yatay toprak basınçlarını karşıladıktan sonra zemindeki göçmeleri engellemektir. Uzun vakit açıkta kalan kazı alanlarında daha güvenli iksa sistemleri seçilmelidir. İksa sistemi tasarlarken yapılacak kazı alanının, jeolojik yapısı, zemin koşulları, iklim koşulları ve çevresel etken parametreleri dikkate alınmalıdır. Yapının türüne, dönme ve oturma miktarlarına bakılarak iksa sistemleri seçilmelidir (Kekül, A. 2016).

Günümüzde en çok kullanılan düşey destek iksa elemanları;

- Fore Kazık Duvarları,
- Diyafram Duvarlar,
- Palplanş Perdeler,
- Mini Kazıklar,

- Kuyu Tipi Perde Duvarlardır.

Bu düşey destek elemanları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

2.3.1.1 Fore kazık

Fore kazık ankrajlı bir iksa yapısı, farklı boyutlardan oluşan kuşak kirişleri ve ön germeli ankrajlar ile desteklenmiş olan iksa sistemleridir. Bu kazıkların yapım yöntemleri; Kazı derinliğine, sahanın durumu, zemin koşullarına ve sürsarj yüklerine, çevre yapıların durumuna, yeraltı suyu durumu gibi faktörler göz önüne alınarak boyutlandırılırlar. Kuşak kirişi ve ankraj sisteminden oluşan bu iksa destekleme yapısı, yüksek güvenlik gerektiren durumlarda kullanılmaktadır. (Tschebotarioff, G.P., 1951.)

En büyük avantajı, çoğu zemin şartlarında yapılabilmesi olan fore kazıklar, ayrıca mevcut yapıların civarındaki kazı alanında inşa faaliyetlerine devamlılığını sağlamak ve diğer yöntemlere oranla daha düşük titreşim ve gürültü kirliliği seviyesine sahip olması nedeniyle en çok tercih edilen sistemler arasındadır. Ana amacı yanal toprak basınçlarının desteklenmesi ve dayanıklılığın sağlanması amacıyla üretilen fore kazıklı iksa sistemlerin bir diğer görevi ise düşey yükler altında destek sağlamaktadırlar (Clayton ve diğ., 2013).

Fore kazıklar, ülkemizde projelendirilmesi ve inşası konusunda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Derin kazı destekleme sistemi olarak da geoteknik sorunları çözmek için kullanılır. Hızlı bir şekilde istenilen boyutlarda üretilmesi, diğer iksa destek sistemlerinden daha fazla kullanılmasını sağlamıştır. Fore kazıkların delik çapı uzunlukları 50 cm ile 200 cm arasında olabilmektedir.



Şekil 2.11: Fore Kazıklı Duvar Örneği

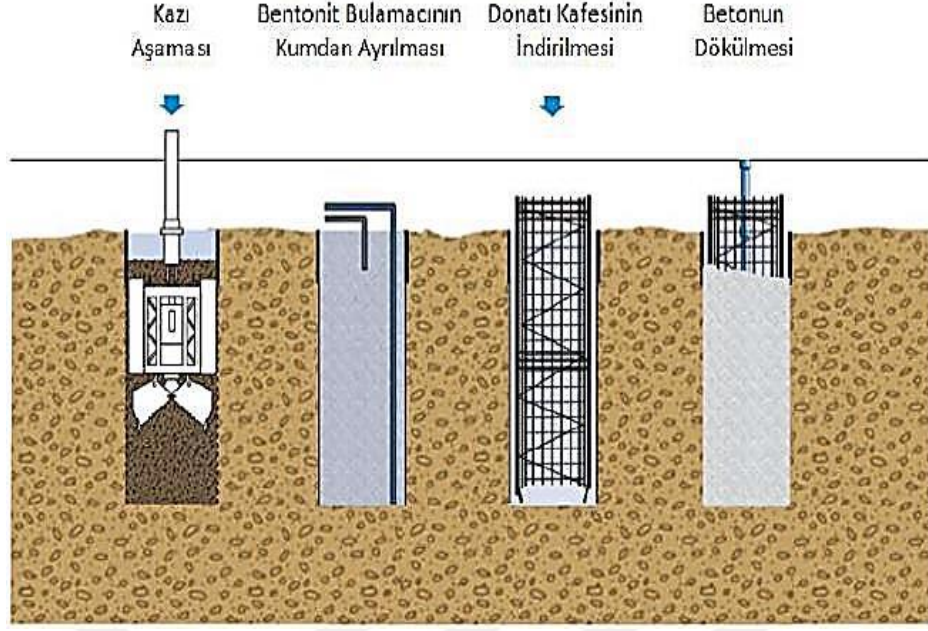
2.3.1.2 Diyafram duvarlar

1940'lı yıllarda ilk kez inşa edilen diyafram duvarlar klasik betonarme duvarlardan daha az kazı gerektirmektedir. Diyafram duvar tekniği ile yapılan iksa sistemi kazı alanına bitişik binalar olması halinde de inşaatı mümkün hale getirmektedir. Kazı desteklenmesi veya inşa edilecek yapının taşıyıcısı olarak diyafram duvarlar da tasarlanabilmektedir.

Derin kazılarda, diyafram duvar olan betonarme perdenin öngermeli ankrajlarla zemine bağlanması uygun olacaktır. Bu, yanıl deformasyonları azaltır, komşu binalarda istenmeyen hasarları önler ve genel olarak inşaatı daha ekonomik hale getirir (Günsever, 1999).

Derin kazı hendeklerinin stabilitesini sağlamak, oluşan toprak basınçlarını ve sürşarj yüklerini tutmak, çevrede bulunan yapıların oturmalarını ve kazı tabanındaki kabarmaları önlemek için diyafram duvarlar kullanılır. Yeraltı suyunun yüksek seviyelerde olduğu yerlerde gerekli olan geçirimsizliği sağlamak için diyafram duvarlar da en iyi derin iksa yöntemidir. Diyafram duvarlar, kalıcı veya geçici bir iksa sistemi olarak inşa edilebilir ve buna uygun olarak tasarlanabilir. Diyafram duvarların yüksek rijitliği, iksa kazısı sırasında deformasyonları azaltır. Diyafram duvarlar ayrıca düşey yük taşıyan eleman veya hidrolik geçirimsizlik duvarı olarak da kullanılabilir. (Alp GÖKALP, 2017)

Zeminde oluşan deformasyonlara ve yeraltı suyu problemlerine karşı toleransların daha az olduğu durumlarda diyafram duvarlar tercih edilmektedir.



Şekil 2.12: Diyafram Duvar Yapım Aşamaları

2.3.1.3 Palplanş perdeler

Bir zemin kütleini tutmak için teker teker zemin içine çakılan parçalardan oluşan sürekliliğin sağlanması gereken düşey duvarlardır. Palplanş duvarlar, zeminden gelen yatay kuvvetlerin çoğunu ve düşey yüklerin az bir kısmını tutan bir statik sistem olarak düşünülebilir.

Kesit olarak genişliklerine oranla uzunlukları çok fazla olduğundan, yapı elemanlarının oldukça narin olduğunu söyleyebiliriz. Su tutma yapıları, diğer duvarların inşaatı sırasında suyu inşaat sahasından uzak tutmak için kullanılır veya hafif yapılarda üst zeminin veya tabakaların istinat yapısını desteklemeye yetersiz kaldığında kullanılır. Palplanş duvarlar, dalgakıranlarda, deniz içerisinde yapılan duvarlarda ve derin kazı duvar kaplamalarında yaygın olarak kullanılır. (Günsever, 1999).

Palplanş perdelerin kullanıldığı durumlara bir örnek vermek gerekirse, zemini kazıya müsait hale getirmek için kullanılır. Hidrolik çakıcılar, ekskavatörlere palplanşları çakmak için yerleştirilir. Palplanş zemin için gerekli kazı ölçüsüne göre çakılabilir. Palplanş, kazıya uygun olmayan yumuşak zeminlerin stabilitesini artırır. Palplanş istinat duvarı gibi kullanılacağı zaman su izolasyonu içinde kullanılabilir.

Genellikle serbest olarak kazılmasına izin verilmeyen durumlarda kullanılan palplanşlar ortalama 6 ila 12 metre boyları arasındadır. Palplanşlar çelik, beton ve

ahşap olarak yapılabilirler. Çelik olan palplanşlar ağır olmalarının yanında en çok dayanıma sahip oldukları ve tekrardan kullanılabilirlikleri için uygulamada daha çok tercih edilirler.



Şekil 2.13: Palplanş Duvar Örneği

2.3.1.4. Mini kazıklar

Büyük makinelerin girişinin riskli olduğu ve mümkün olmadığı yerlerde, mini kazık derin temel uygulamalarında etkili sonuçlar vermektedir. Mini kazıklar, zemin iyileştirme ve iksa için yaygın olarak kullanılan 25-30 cm çaplı kazıklardır. Fore kazık ve jet kazık sistemlerine kıyasla mini kazık makineleri daha küçüktür. Micro ve mini kazık makineleri, bina içinde bile kullanılabilir. Büyük kazık makinelerinin plansız ve çarpık kentsel yerleşim nedeniyle iş yerlerine taşınması ve çalıştırılması zordur. Mini kazıklar, temel altında zemin iyileştirme çalışmalarında ve 12-15 metre derinliğe kadar olan iksa uygulamalarında ankrajlı olarak da kullanılır.

Mini kazık uygulamalarında, kazık makinesi ile delgi işlemi tamamlandıktan sonra hazırlanan demir parçası kuyuya indirilir. Donatı indirdikten sonra kuyuya beton dökülür. Donatı indirdikten sonra mini kazık uygulaması tamamlanır. Yeraltı su seviyesi yüksek olan zeminlerde beton dökümü, kazıkların boş kalmasına neden olur. Enjeksiyon hortumları, bu tür sulu zeminlerde demir donatıya bağlanır.

Donatı indirdikten sonra kuyuya mıcır dökülür. Daha sonra, donatı ile berber kuyuya indirilen enjeksiyon hortumlarından aşağıdan yukarıya doğru çimento şerbeti basılır. Bu, mıcırların arasındaki suyun çimento şerbetine dönüşmesini sağlar. İksa uygulamalarında, mini kazıklar üst kısımlarında donatı filizlerine yapılan başlık kırışleri ile birbirine bağlanır. İksa uygulamalarında ankrajlı olarak kullanılır.



Şekil 2.14: Mini Kazık Duvar Örneği

2.3.1.5. Betonarme kuyu perde duvar

Türkiye'de derin kazılarda en yaygın iksa sistemlerinden birisi betonarme kuyu perdelerdir. Diğer adıyla bilinen Kuyu temel iksa sistemleri, mini kazık ya da fore kazık iksa sistemlerinin uygun olmadığı yerlerde yaygın olarak kullanılabilir. Genel olarak, perde duvarlar bir bütün olarak çalışır ve keson kuyulara benzemektedir. Kuyu temel iksa sistemi, çok büyük makine ihtiyacı olmadan elle kazı yapılmasına ve istenilen derinliğe kadar inebildikleri için dar alanlarda çalışma yapmaya ideal bir ortam sağlar. Betonarme kuyu temeller yer kaybını en aza indirmek için çeşitli arazi şekillerinde kullanılabilir. Kuyu temel perdeleri binanın taşıyıcı perdeleri olarak kullanıldığından, ek perde imalatına gerek kalmamaktadır ve ekonomik anlamda kolaylık sağlanmış olur.

Kuyu perde çeşitleri, değişken boru destekli kuyu perdeleri, ankraj sistemli kuyu perdeleri ve düz kesitli kuyu perdeleri gibi farklı türlerde kullanabilmektedir. Betonarme kuyu perde duvarları kullanmanın birkaç avantajı vardır: Betonarme kuyu perde sistemlerinde yer kaybı yoktur. Betonarme kuyu perdeler ayrıca taşıyıcı perdeler olarak kullanılır. Perde yüzeyinin izolasyonu, ek işçilik gerektirmeden kolayca yapılabilir. Perde kesiti kademeli olarak azaltılabilir, bu da tasarım ve ekonomi konularında tasarrufu kolaylaştırıyor. Derin kazılarda betonarme kuyu perdesi yapmak için bazı ana makine ve ekipmanlar kullanılmaktadır. Bunlar kazma, küskü, havalı kırıcı, ahşap destek elemanları, vinç, kalıp, pasa kovanı, su pompası ve kompresördür. (Şekil 2.16).

Göçme noktasından uzakta yeterli bir derinliğe kadar zemin kazılır. Daha sonra kuyu cidarı yatay ahşap iksa elemanları ile desteklenir. Sıkıntı yaratacak bir zemin varsa, yatay iksa elemanlarının arası düşey tahtalarla desteklenir. Kuyuların

kazısı tamamlandıktan sonra perde donatısı monte edilir ve ardından beton dökülür. Bodrum katlarda, toprak basıncı dağılımına göre perde kalınlığı değişebilir ve döşemeler perdeye oturtulabilir. Bu perdeler, binanın taşıyıcı perdeleri olarak da kullanılabilir. Malzeme ve işçilik maliyetlerinin artmasıyla kuyu tipi betonarme perdeler yerine ankrajlı betonarme perdeler kullanılmaya başlandı (Yılmaz, 2001).



Şekil 2.15: Betonarme Kuyu Perde Uygulaması

2.3.2. Yatay destek elemanları

Yanal toprak basınçlarını karşılamak için düşey destek elemanlarının yeterli olmadığı durumlarda, iksa sistemi yatay destek elemanlarıyla desteklenmelidir. Ankraj, Gergi (çelik borulu destek) ve zemin çivisi gibi elemanlar en yaygın yatay destek malzemeleridir.

2.3.2.1. Ankrajlar

Günümüzde, derin kazılarda düşey destek elemanlarını desteklemek için en çok tercih edilen yatay destek elemanlarından biri ankrajlardır. Zemin içinde açılan kuyuya çimento enjekte edildikten sonra çelik bir halat yerleştirilir. Zeminin çalışma prensibi, çimento enjeksiyonunun ve çelik halatın birbirleri arasındaki sürtünme kuvvetidir. Ankrajın gerilme kuvvetini zemine aktarır. Kaya bulonu (rock bolt), ankraj kazığı, bağlama kirişi, enjeksiyonlu kablo, vb. Ankraj gergileri, çelik teller veya çubuklardan yapılır. 5 ila 10 mm çapında önceden gerilmiş tel, önceden gerilmiş çubuk ve beton ile aderansı fazla olan boru kesitli çubukların hepsi yaygın olarak kullanılır.

Çalışma bakımından ankrajlar iki çeşittir;

- Basit ankrajlar
- Öngermeli ankrajlar

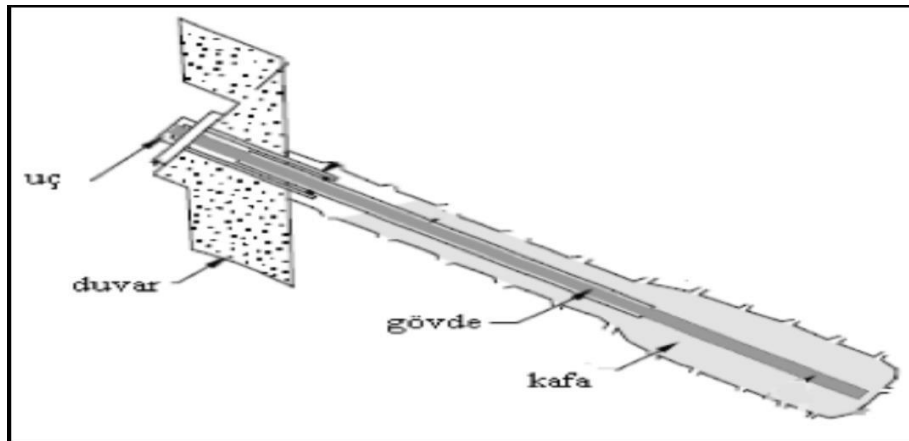
Çimento enjeksiyonu ile örtülü çelik borulardan oluşan basit ankrajlar, yük ankrajı çevre sürtünmesi yoluyla zemine yerleştirilir. Ankraj kuvveti, yük arttıkça artar. Büyük rölatif hareketler basit ankrajlarla engellenemez. Önceden gerilmiş kablolardan meydana gelen öngermeli ankrajlar, gerideki zemin ve perdenin deformasyonu birbirini izlemektedir.

Ön gerilmeli ankrajlar üç kısımdan oluşmaktadır (Şekil 2.17.);

Ankraj Başlığı (Uç): Başlık plakasıyla birlikte çalışan bu bölüm, ön germe kuvvetinin iksa sistemine aktarılmasını sağlar. Tendonu oluşturan sarmal çelik halatların tipi ve adedi, ankraj başlıklarının tasarımını belirler. Ankraj tendonlarının başlık plakasına sabitlenmesi için kama veya dişli kısaç kelepçeleri kullanılır.

Serbest Tendon (Gövde): Ankrajların kök bölümünü başlık bölümüne bağlayan, ön germe kuvvetini kök bölgesine aktaran ve gerilme arttıkça elastik uzama gösteren bölümdür.

Ankraj Kökü (Kafa): Enjeksiyon ve zemin aderansıyla ön germe kuvvetinin sağlam zeminlere aktarılmasını sağlar. (Karaosmanoğlu 2018)



Şekil 2.16: Ankraj Kesiti

Kaynak: (Altun G., 2013)

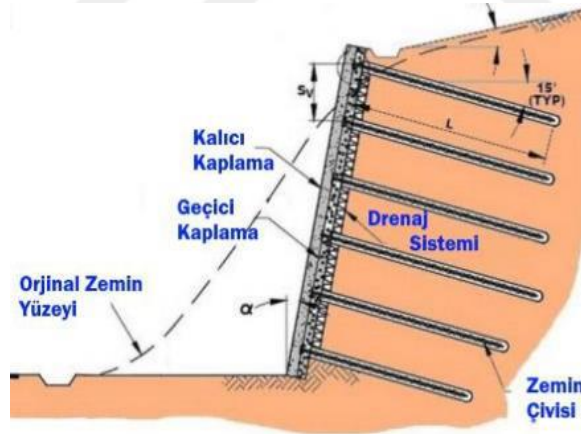
2.3.2.2. Gergi

İksa sistemini dıştan destekleyen destek elemanları ise ankrajlar ve zemin çivileridir. Gergiler ise, ankrajlar ve zemin çivilerin tersine iksa sistemini içten destekleyen iksa destek elemanlarıdır.

2.3.2.3. Zemin çivisi

Zemin çivisi, derin kazı çalışmalarında zemin duraylılığını ve yükü taşımayı sağlar. Ayrıca zeminin ve ayrıışmış kayacın kesme dayanımını artırır. Zemin çivisi iksa sistemi, yatay ve düşey yer değiştirmeleri karşılar. Pasif ankraj, zemin çivisi için bir terimdir. Delgi işlemi, zemin düzlemine paralel ve yataya yakın açıyla yapılır. İmalat, açılan delgi içine inşaat demiri ve çimentoyu belirli çaplarda yerleştirerek tamamlanır. Katı killerde, ayrıışmış kaya formlarında ve kayalarda zemin çivileri kullanılır. Yapımı basit ve kullanışlıdır. Bu nedenle, bu yöntem hem kendi kendini tutabilen hem de kaya zeminlerde kullanılabilir.

Zemin çivileri, kazılarda zeminin kararlılığını artırmak için kullanılır. Zemin çivileri, çelikten veya fiber halatlardan üretilen, pasif ankraj sistemleri olarak da düşünülebilen çubuk donatı şeklindeki yapı elemanlarıdır.



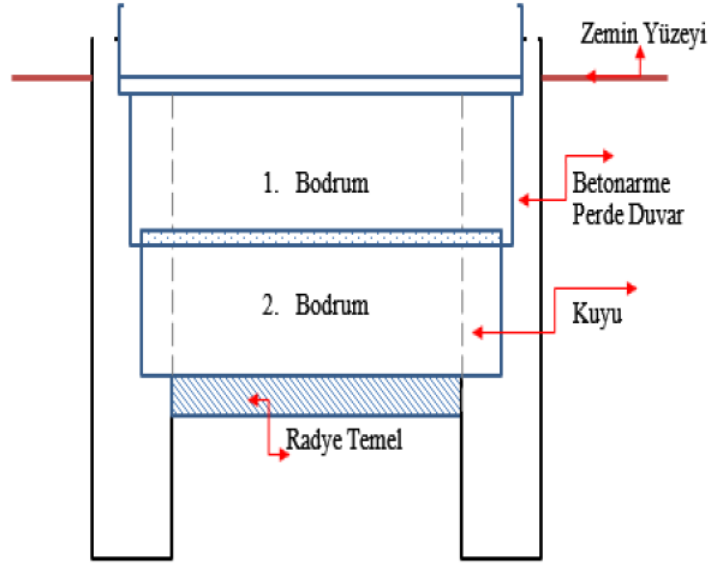
Şekil 2.17: Zemin Çivisi

2.4. Kuyu Temel Tasarımı, Kullanılan Yöntemler ve Standartlar

2.4.1. Kuyu temel tasarımı

Kuyu temel sistemi geçici iksa projelerinde, genellikle bitişik nizamda bulunan yapıların imalatında yapılacak olan derin kazılarda tercih edilen bir destekleme sistemidir. Kuyu perdeler düşey shaft kazısı (madenci) tekniği ile imal

edilir. Ahşap destekli olarak elle kazılan kuyuların içinde tek yüzlü kalıpla aşağıdan yukarıya imal edilen bir betonarme perdeden oluşan kazı destek yapısıdır.



Şekil 2.18: Betonarme Perde Duvarlı Kuyu Temel

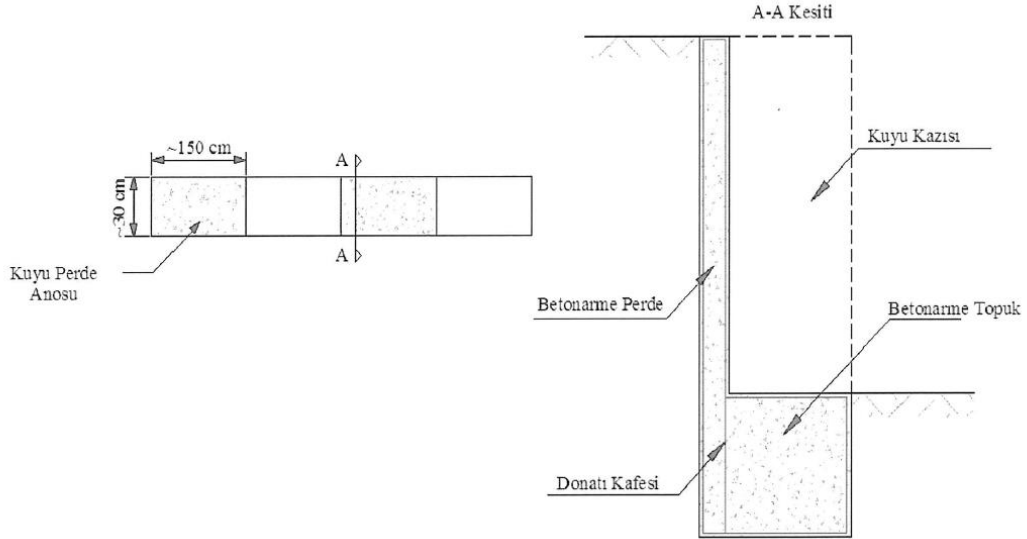


Şekil 2.19: Betonarme Perde Duvarlı Kuyu Temel

Zemin, göçmeden kaçınmak için yeterli bir derinliğe kadar kazılır. Daha sonra kuyu cidarı yatay ahşap iksa elemanları ile desteklenir ve yıkıntı yapabilecek bir zemin varsa yatay iksa elemanlarının arası düşey tahtalarla desteklenir. Kuyuların kazısı bittikten sonra, perde donatısı yerleştirilir ve beton dökülür. Bodrum katlarda, toprak basıncı dağılımına göre perde kalınlığı değiştirilebilir ve döşemeler perdeye oturtulabilir. Bu perdeler aynı zamanda binanın taşıyıcı perdeleri olarak da

kullanılabilir. Malzeme ve işçilik maliyetleri arttıkça, kuyu tipi betonarme tercihi azalmaktadır (Yılmaz, 2001).

Kuyuların plandaki boyutları genelde 150cm x 300cm olarak uygulanmaktadır. Ancak projenin ihtiyacına göre ölçüler değişebilir. Perde kalınlığı, yatay toprak itkisinin değişimine göre yukarıdan aşağıya doğru kademeli olarak arttırılabilmektedir. Gerektiği zamanlarda yatay destek elemanları olan ankraj, çivi veya boru gibi elemanlarla ilave destek sağlanabilmektedir. Perde kalınlığı genel olarak 25-80 cm arasında seçilmektedir. Kalıp imalatı kuyu içinde yapıldığından dolayı daha kalın perde yapılabilmesi için kuyu genişliğinin artırılması gerekmektedir. Sistemin tipik kesiti Şekil 2.21’de gösterilmiştir. (Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Madde 1A.5.)



Şekil 2.20: Tipik Kuyu Perde Kesiti

Düşey shaft kazısı tekniği ile yapılan kuyu perdelerde yatay destek elemanı kullanılması zorunludur. Kuyu perdeler konsol olarak çalıştırılmaz.(2018 Kazı İKSA Genelgesi Madde 1.2.3.r) maddesinden yola çıkılarak bu tezde geliştirilen modellerin hepsinde yatay destek elemanı olarak ankraj kullanılmıştır.

20 metre derinliğe kadar uygulanabilen kuyu temellerin imalatından önce projeye uygun olarak sahaya aplikasyonu yapılır. Kazı birer atlamalı olarak yapılacağı için uygulama öncesinde imalat sıralaması yapılmalı ve projesi buna göre hazırlanmalıdır. Kuyuların ağız kısmı, vincin konumu, pasa döküm planlanması ve malzeme stok alanı önceden planlanmalıdır.

Yumuşak toprağın kazılması için kazma ve küsküler kullanılır. Sert kaya kazısı ise havalı kırıcılar yardımıyla yapılabilir. Kazı destekleme adımları yerinde tespit edilerek zemin koşullarına göre yapılır. Sağlam zeminde boyuna destek aralıkları 1.2m ye kadar ulaşabilirse de zayıf zeminlerde 50 cm ye kadar düşebilir. Kazı profili itina ile yapılmalıdır. Bu sayede destek elemanlar görevini daha iyi yerine getirebilmektedir. Çalışma alanı içinde su için bir çukuru olmalı ve sürekli derin tutulmalıdır. Böylece suyun yayılmasını önlemek, kuru ortamda çalışmayı daha verimli hale getirecektir.

Temel olarak tehlikeli olmayan zeminlerde sert bir kaya yumrusu ile karşılaşıldığında, zayıf zeminin desteksiz kalmasını önlemek için sert kaya önce kazılır. Pasa gırgır olarak da bilinen ankastre vinçler, malzemeyi çıkarmak için kullanılır. Taş pasanın altına yapışıp yapışmadığını kontrol eder ve pasanın düşme tehlikesi yaratmayacak kadar doldurulur. Vinç pasa alırken kuyudaki çalışanlar koruyucu sundurma altında bekler. Vinç halatının düzenli olarak kontrol edilmesi çok elzemdir; arızalı halatla çalışmak kesinlikle önerilmez. Halat dönmesini önlemek için derin kuyularda kova kayıt sistemi kullanılabilir.

Kazı-Destek adımları dikkate alınmalıdır. Desteksiz derin kazı güvenlik zaafı, fazla kısa süreli çalışmaya neden olur. Destekler için kullanılan ahşap doğru seçilmelidir. Zemin ile destekleme elemanı arasında boşluk bırakılmamalıdır. Akmalara, desteğin boşa çıkmasına ve yıkıma neden olabilir. Bu durumda doğru destek ve kazı ustalığı çok önemlidir. Betonun arkasındaki ahşap destek parçaları özellikle temiz ve düzenli olmalıdır. Destekleme elemanları birbirine sıkıca bağlanmalıdır. Destekleme mimarisi verimliliği engellememelidir.

Projedeki derinliğe ulaşıldıktan sonra kuyunun dip kotu ölçülür. Projesine uygun olması ve beton dökümü sırasında düzgün kalacak sağlamlıkta olması gerekir. Ahşap destek, arkasındaki donatı önüne yerleştirilir. Bu kısımda pas payı bulunur.

Birincil kuyulardaki etriye aralıklarına uygun olarak, filiz donatısı katlanır. Bu, ikincil kuyulardaki donatılarla ankrajın yapılmasını sağlar. İkincil kuyu kazılarında bu filizler temizlenir ve açılır ve ikincil kuyuların etriye demirleri ile birleştirilir. Donatı yağ, pas ve çamur gibi kirlerden arındırılmalıdır. Kalıp ile donatının arasında uygun bir pas payı bırakılır. Yapı, bağlandıktan sonra yaş betonu taşıyabilecek sağlamlıkta desteklenir. Kalıp yüzeyleri, yüksek kaliteli bir beton

yüzeyi oluşturmak için düzeltilir. Kalıpta herhangi bir yabancı madde bulunmamalıdır. Gerekirse beton pompası hortumu ya da boru kullanılarak beton yüksek bir yükseklikten dökülür. Kuyunun pabuç kısmına önce beton dökülür. Ertesi gün perde betonu düzgün bir şekilde dökülür ve vibratör kullanılarak yerleştirilir. Dökümden sonra betonu korumak için sulanır. (Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Madde 1A.5.)

Kuyu temel (düşey shaft kazısı tekniği) imalatında dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Bunlar özellikle iş güvenliği açısından önem arz etmektedir. İş başlamadan önce, yöntem (imalat) raporu, test planı, risk analizi ve iş güvenliği dokümanları hazırlanmalı ve onay verilmelidir. Kazı veya imalat sırasında herhangi bir tehlike görüldüğünde, şantiye şefi, iş güvenliği uzmanı veya kontrol mühendisi tarafından iş durdurulmalıdır. Alınacak önlemleri içeren yöntem raporu hazırlanıp onaylandıktan sonra iş devam edebilir. Kuyu temel imalatı sırasında açıklan kazı anolarının çevresine ağır iş makinesinin yaklaşmaması için bir engel veya uyarıcı levha yerleştirilmelidir. Kuvvetli yağış durumunda, kuyuyu su basmaması için önlem almalı, gerekirse kuyu kenarları yüksek tutulmalı ve gerektiğinde su pompası kullanılarak müdahale edilmelidir. (Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Madde 4.2.7)

Kuyu temelin dezavantajları;

a) Bitişik tarafta yapılan kuyu temele su izolasyonu yapılamaması en önemli sorunlardan bir tanesidir.

b) Kuyu temeller sert zeminlerde daha çok kullanılmaya elverişlidir. Yeraltı suyu fazla olan yerlerde yapılması problem doğurabilir bu yüzden detaylı mühendislik hesabı gerektirir.

c) Kuyu temele ait betonarme perdelerde kademeye sahip olan yerlerde ya da tek kesite sahip kalıplarda beton genellikle parça parça döküldüğü için soğuk derz oluşabilir. Bunun önüne geçmek için gerekli önlemlerin alınması gerekir.

Kuyu temelin avantajları;

a. Uygulama sırasında yer kaybı çok azdır. İnşaat alanı haklarında lehine kar sağlanmış olur.

b. Çevrede bulunan yapılara ve araziye zarar vermez hatta güvenlik anlamında katkıda bulunur.

c. Kuyu temel ile temel perde yüzeyine fazla iş masrafı çıkmadan izolasyon yapılabilir.

d. Kuyu temele ait betonarme perdeler, binanın taşıyıcı perde işlevini de görmektedir.

İnşaat işçileri için en tehlikeli uygulamalardan birisi olan kuyu temeller insan emeğinin en fazla kullanıldığı yerlerden biridir. İnşaat firmalarının iksa projelerinde can ve mal kaybını önlemek için de kullanılan kuyu temel, diğer iksa yöntemlerinden farklıdır. Oldukça ekonomik ve pratiktir. Bitişik nizam projelerde hafriyat alınmadan, kuyu temelini en önemli aşaması, komşu binanın temelini oluşturmaktır. Proje dahilinde fore kazık ya da mini kazık makinesinin çalışmayacağı vaziyette kuyu temel uygulaması madenci düşey şaft kazısı yöntemiyle yapılır. Bununla birlikte, kuyu temel uygulaması sırasında yeraltı sularının nasıl izole edileceğine dikkat etmek gerekir. Zemin sert olmalıdır. Yeraltı su izolasyonu yapılmazsa veya zemin sert değilse kuyu temeli yapmak yanlıştır. Bu nedenle, uygulama yapılmadan önce tüm ölçümler doğru yapılmalıdır.

2.4.2. Kuyu temel tasarımında kullanılan yöntem ve standartlar

Çevre ve şehircilik bakanlığı yapı işleri genel müdürlüğünün 31.08.2018 tarihli 84122464-755.01-E.150340 numaralı genelgesinde: “Herhangi bir yapının temellerinin veya bodrum katlarının inşa edilebilmesi için 1.75m’den daha derin bir kazı yapılması gerektiği durumda; Kazının uygun şev açıları verişmek suretiyle şevli olarak verilmesi veya kazıya başlamadan önce kazı çukuru çevresinde bir iksa sistemi (dayanma yapısı) inşaa edilerek yatay toprak basınçlarının karşılanması suretiyle önlem alınması zorunludur” denmektedir.

Bu bağlamda Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Madde 1.4.11.’e göre kazı destek yapıları kazı derinliği, yer altı suyunun durumu, zemin cinsi, toplam cephe plan uzunluğu, komşu yapıların uzaklığı, yapı toplam servis ömrü ve yatay elamanın varlığına göre kategorize edilmiştir. Taşıdıkları risk, projelendirme ve uygulama zorlukları çeşidi bakımından üç (3) kategoriye ayrılmıştır.

Tablo 2.1: Kazı Destek Yapıları Kategorileri (Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Tablo 1.1)

Kazı Destek Yapıları Kategorileri			
Kriterler	Kategori-1	Kategori-2	Kategori-3
Kazı Derinliği (H)	0 - 7 m	<7 - 25 m	> 25 m
Kazı Taban Seviyesi Üzerinde Yeraltı Suyu Varlığı	yok	her durumda	her durumda
Zemin Cinsi	Kaya Sıkı – Çok Sıkı Kum/Çakıl Katı – Sert Kil	Toplam kalınlığı 2 m'yi geçen kontrolsüz dolgu, bitkisel toprak ve organik zeminler hariç hepsi	hepsi
Komşu Yapı Uzaklığı (d)	d > H	her durumda	her durumda
Toplam Cephe Plan Uzunluğu	0 - 200 m	her durumda	her durumda
Yapı Ömrü	geçici/kalıcı	geçici	geçici / kalıcı
Yatay Elemanlar	yok	her durumda	her durumda

Tablo 2.1'deki kategorilerin herhangi birine girilebilmesi için, kazı destek yapısının o kategorinin tüm şartlarını sağlaması gerekmektedir. Sağlamıyorsa bir üst kategoriye geçilmelidir. (Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Madde 1.4.11.3.)

Kazı Destek Yapıları Kategorisi belirlendikten sonra kazı destek sistemi seçilmesi gerekmektedir. Bu seçim yapılırken;

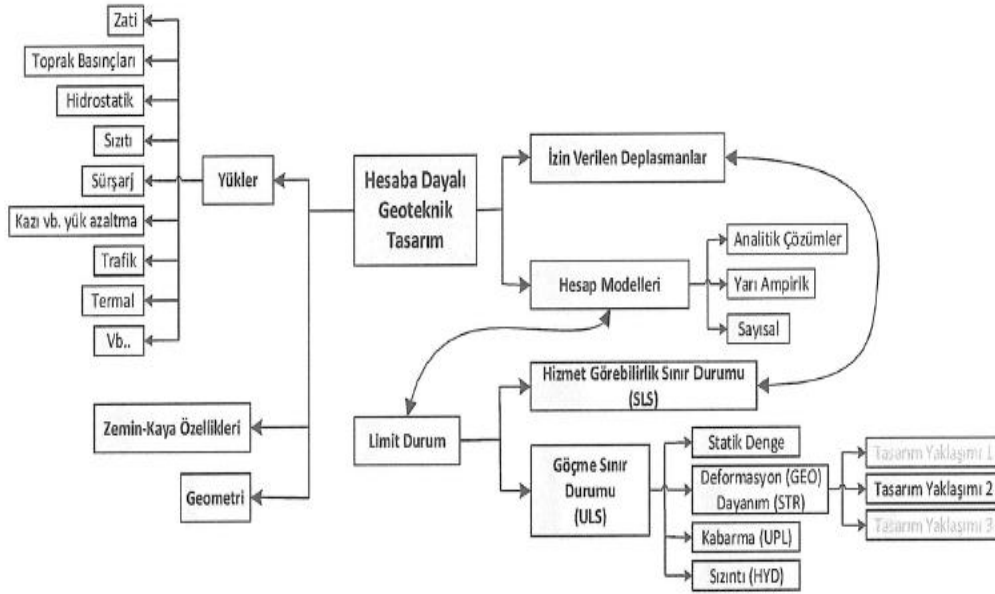
- 1) Kazı destek yapısı ihtiyacının tanımlanması,
- 2) Saha koşullarının belirlenmesi,
- 3) Destek yapısı tipi alternatiflerin değerlendirilmesi,
- 4) Kabul edilebilir bir kazı destek yapısı tipi seçilmesi,

Gibi adımlara dikkat edilmelidir.

Kazı destek yapısı ihtiyacı belirlendikten sonra, yapılacak destek sisteminin seçimi

- a) Emniyetli (yönetmeliklere uygun)

- b) Zemin ve çevre şartlarına uyumlu
- c) Teknoloji ve uygulama süresi, maliyet bakımından elverişli olmalıdır.



Şekil 2.21: Hesaba Dayalı Geoteknik Tasarım Yöntemlerine Ait Süreçler

2.4.2.1. Dayanma yapılarında stabilite ve göçme kontrolleri

İksa dayanma yapılarında dinamik ve statik yükler altında devrilme ve göçme ihtimali her koşulda bulunmaktadır. Bu göçmeler zeminin, zemin tabakalarına gelen yüklerin taşıyamaması, yer altı su seviyesinin fazla olması, deprem etkisinin artması gibi durumlarda istinat yapıları statik ve dinamik etkilerle dengeyi sağlamayabilmekte ve göçme gerçekleşebilmektedir. Tasarım yapılmadan önce tüm tahkikler yapılarak dayanma yapılarında güvenlik zaafı verilmemelidir.

Göçme Sınır Durumları (ULS) canlıların ve yapıların güvenliklerini gözetir. Aynı tasarımın içinde sistem dengesinin kaybolması, yapısal elemanda göçme ve şekil değiştirme (STR), zeminde oluşan göçme ve şekil değiştirme (GEO) vb. gibi farklı ULS kontrolleri yapılması gerekebilir. Tüm geoteknik tasarımlarda bu ULS kontrolleri yapılmalıdır. (Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Madde 2.9.1.)

Bu uygulama esasları kapsamına giren dayanma yapılarının zemin ve yapısal elemanlarında şekil değiştirme ve göçme kontrollerine yönelik ULS hesaplarında, EC7 tarafından tanımlanan Tasarım Yaklaşımı-2 kullanılacaktır. Bu yaklaşımda;

- a) Etkiler veya tesirler kısmi faktörler ile arttırılırken,

- b) Zemine ait malzeme özellikleri değiştirilmez fakat
- c) Dirençler azaltılır.

Toptan göçme analizinde kısmi faktörler kullanılmaması durumunda geçici kazı destek yapılarında GS: 1.35, kalıcı destek yapılarında GS: 1.5 şartları aranmaktadır.

TY2 ile yapılacak hesaplarda kullanılacak kısmi katsayılar Tablo 2.2’de verilmiştir. TY2’ye göre; dayanma yapısına uygulanan etkiler A kısmi katsayı seti ile artırılırken, zemin özellikleri M kısmi katsayı seti kullanılacağı için değişim olmayacak fakat dayanımlar R kısmi katsayı seti ile bölünerek azaltılacaktır.

Tablo 2.2: Depremsiz Durumda ULS Hesabı İçin Kullanılan Kısmi Katsayılar (Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Tablo 2.1)

Kısmi Katsayı Seti			A	M	R
Sabit Etki (G)	Güvenliği azaltıcı	$\gamma_{G,dst}$	1.35		
	Güvenliği artırıcı	$\gamma_{G,stab}$	1.00		
Değişken Etkiler (Q)	Güvenliği azaltıcı	$\gamma_{Q,dst}$	1.50		
	Güvenliği artırıcı	$\gamma_{Q,stab}$	0.00		
Kayma Mukavemeti Katsayısı ($\tan \phi$)		γ_{ϕ}		1.00	
Efektif Kohezyon (c')		$\gamma_{c'}$		1.00	
Drenajsız Kayma Mukavemeti (s_u)		γ_{s_u}		1.00	
Serbest Basınç Dayanımı (q_u)		γ_{q_u}		1.00	
Birim Hacim Ağırlık (γ)		γ_{γ}		1.00	
Pasif Zemin Direnci (Dayanma Yapıları)*		γ_{Re^*}			1.40
Zemin Direnci (Toptan Göçme)*		γ_{Re}			1.10
Öngermeli ankrajlar (geçici - kalıcı)		γ_a			1.10
* Zemin direnci, dayanma yapıları ve toptan göçme analizlerinde farklı değerler almakta olup, yukarıda her iki koşul için de kısmi katsayılar verilmiştir.					

Dayanma yapıları ya da iksa duvarları, deprem sonrasında işlevlerine devam edebilecek mertebelerde yer değiştirmelere izin verilecek şekilde tasarlanabilir. Devrilmeye ve yatayda kaymaya zorlayan etkiler ile bunlara karşı koyan etkilerin ve dirençlerin dengesi her koşulda karşılaştırılmalıdır.

Dayanma yapısının devrilmeye karşı güvenliğinin olması için Denk. (2.1)’deki koşul sağlanmalıdır:

$$E_{dev} \leq \frac{R_{dev}}{\gamma_{Rdev}} \quad (2.1)$$

Burada, E_{dev} devrilmeye zorlayan etkiler toplamı, R_{dev} devrilmeye karşı koyan etkiler ve dirençler toplamı, γ_{Rdev} ise devrilmeye karşı tasarım güvenlik katsayısıdır. Bu katsayısı $\gamma_{Rdev} \geq 1.3$ olmak üzere, göçmeden doğabilecek problemler göz önüne alınarak projeden sorumlu mühendis tarafından seçilecektir.

Dayanma yapısı temelinde zemin taşıma gücünün aşılması ve yatayda kaymaya karşı tahkikler, 16.8.3 ve 16.8.4'e göre, toptan göçmeye ilişkin tahkikler ise 16.13'e göre yapılacaktır. (TBDY 2018 Madde 16.12.1.2.) Yatayda kayma ile ilgili olarak statik ve depremi içeren yükleme durumlarının her birinde denklem 2.2'deki eşitsizlik sağlanacaktır.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0,3 R_{pt} \quad (2.2)$$

Burada V_{th} temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini, R_{th} tasarım sürtünme direncini, R_{pt} ise tasarım pasif direncini göstermektedir (TBDY 2018).

Kayma ve devrilme tahkiklerinin yanında kuyu temellerin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 parametreleri ışığında temel taşıma gücü hesapları da yapılmaktadır.

(TBDY 2018) 16.8.3.1 – Statik ve deprem etkisini içeren yükleme durumlarının her birinde denklem (2.3)'deki eşitsizlik sağlanacaktır.

$$q_0 \leq q_t \quad (2.3)$$

Burada q_0 temel seviyesinde etkiyen düşey yük, kesme ve moment etkilerinin oluşturduğu temel taban basıncını, q_t ise tasarım dayanımı R_t 'nin temel taşıma gücüne ilişkin karşılığını ifade etmektedir.

2.4.2.2. Kuyu temel analizleri için ankraj tasarımı

Ankraj tasarım hesapları yapılmaktadır.” Kazı Destek Yapıları ve Uygulama Esasları” yönetmeliği çerçevesinde zemin ve yapısal elemanlarda göçme ve şekil değiştirme kontrollerine yönelik ULS hesaplarında, Eurocode7 tarafından tanımlanan tasarım yaklaşımı 2 (TY2) kullanılmaktadır. TY2'ye göre yapılan hesaplarda: etkiler

veya tesirler kısmi faktörler ile arttırılırken zemine ait malzeme özellikleri değiştirilmez ancak dirençler azaltılır.

Nihai Limit Durum;

Denklem 2.4'de kalıcı ve geçici durumlarda yapısal ve zemin limit durumları için direncin doğrulanması gösterilmektedir.

$$E_d \leq R_d \quad (2.4)$$

E: Etki nedeniyle oluşan tesir,

E_d: Tasarım tesir değeri,

R: Direnç,

R_d: Tasarım direnç değeri,

$$E_d = \gamma_A E \{ F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d \} \quad (2.5)$$

Y_A: Etkiler için kısmi katsayı,

F_{rep}: Etkilerin temsili değerleri,

X: Geoteknik parametrelerin karakteristik değerleri,

Y_M: Zemin parametreleri için kısmi katsayı,

a_d: Geometrik verilerin tasarım değerleri,

Ankrajlı Sistemler;

Ankrajlı sistemlerde enjeksiyon gövdesi/zemin ara yüzü sıyrılma yenilmesi, halat/enjeksiyon gövdesi ara yüzü sıyrılma yenilmesi ve halat çekme yenilmesi, ankraj iç stabilitesi gibi kontrolleri yapılmaktadır. Bunlar aşağıda sırasıyla denklemler yardımıyla açıklanmıştır.

1) Ankrajın Zeminden Sıyrılma direnci

Ankraj kökü nihai taşıma kapasitesi,

$$T_f = \pi \cdot D \cdot L_t \cdot T_f \quad (2.6)$$

Ankraj kökü karakteristik taşıma kapasitesi,

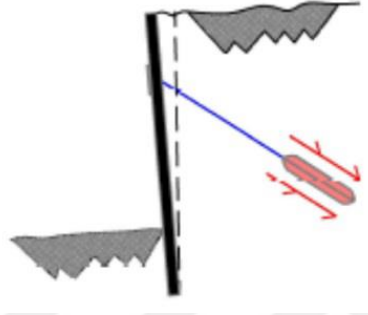
$$T_k = \frac{T_f}{\xi} \quad (2.7)$$

D: Kök bölgesi etkin çap değeri,

Ltb: Halat kök boyu,

Tf: Ankraj kökü nihai çeper sürtünmesi,

ξ: Karakteristik çeper sürtünmesi için güvenlik sayısı,



Şekil 2.22: Enjeksiyon Gövdesi/Zemin Arayüzeyi Sıyırılma Yenilmesi

Nihai çeper sürtünmesi toplam gerilmelerle,

$$\tau_f = \alpha_a \cdot S_u \quad (2.8)$$

α_a : Adezyon faktörü,

S_u : Drenajsız kayma direnci

Nihai çeper sürtünmesi efektif gerilmelerle,

$$\tau_f = K_1 \cdot \sigma'_v \cdot \tan \phi' \quad (2.9)$$

K_1 : Basınçsız enjeksiyon yöntemi ile yapılan ankrajlar için zemin basıncı katsayısı,

σ'_v : Düşey efektif gerilme, α

ϕ' : Kayma direnci açısı

Nihai çeper sürtünmesi ampirik veri ile,

Tf→ ampirik/tablolarda

Nihai çeper sürtünmesi karakteristik geoteknik parametrelerle belirlenirse $\xi=1$ alınır. Nihai çeper sürtünmesi Tf ankraj testleri ile de belirlenir.

2) Tendon Çekme Dayanımı

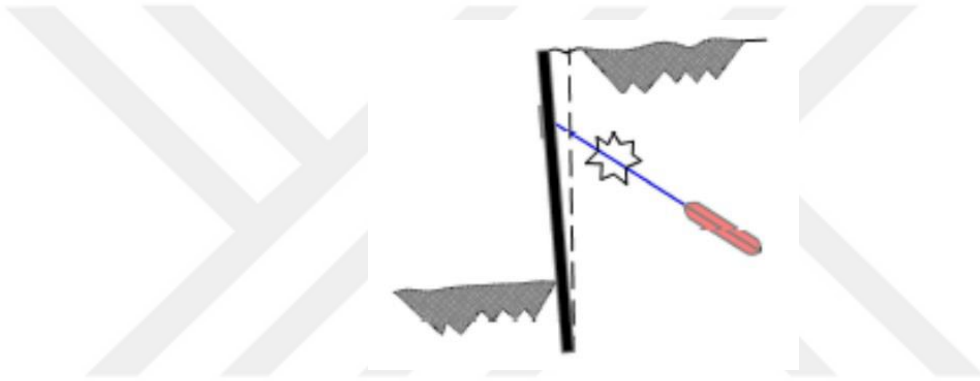
Ankraj çekme dayanımı,

$$R_t = n \cdot F_u \quad (2.10)$$

n: Tendon sayısı,

F_u: Bir tendonun çekmede yenilme kuvveti

$$F_u = A_1 \cdot f_u \quad (2.11)$$



Şekil 2.23: Ankraj Çekme Yenilmesi

F_u: Tendonun nominal çekme dayanımı,

A₁: Bir tendonun nominal kesit alanı

d₁: Bir tendonun nominal çapı

$$A_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \quad (2.12)$$

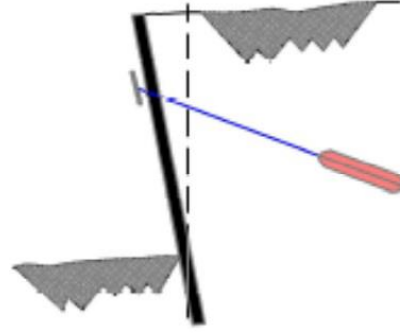
3) Tendon/Enjeksiyon Aderansı

Ankrajın enjeksiyondan sıyrılma direnci,

$$R_c = \pi \cdot d_s \cdot L_{tb} \cdot \tau_c \quad (2.13)$$

τ_c: Tendon/enjeksiyon aderansı,

d_s: Ankraj çubuğunun çapı



Şekil 2.24: Halat/Enjeksiyon Gövdesi Arayüzü Sıyrılma Yenilmesi

Tendon/enjeksiyon aderansı TS500 ile,

$$C_1 = \frac{1}{4 \cdot C_0} \quad (2.14)$$

$$f_{ctd} = 0.35 \cdot \sqrt{f_c}$$

$$\tau_c = C_1 \cdot f_{ctd} \quad (2.15)$$

f_c : Enjeksiyon basınç dayanımı,

f_{ctd} : Enjeksiyon çekme dayanımı,

C_0 : Deneysel katsayı,

C_1 : Enjeksiyon çekme gerilmesine uygulanan katsayı,

Tendon/enjeksiyon aderansı ACI ile,

$$\tau_c = 3,3\sqrt{f_c} \rightarrow \tau_c \leq 689kPa \quad (2.16)$$

4) Ankraj İç Stabilitesi

Ankrajlı kazı destek sistemlerinin iç stabilitesi tüm imalat aşamalarında belirecek blokların analizleri ile yapılır. Bir inşaat aşamasındaki tüm aktif ankrajlar için blok analizi yapılır. Doğrulanmış bir ankrajın blok analizine ilgili inşaat aşamasındaki diğer ankrajların kuvvetleri, bloğu etkilerse dahil edilir.

Blok teorik duvar alt noktasını (A) ankraj kök ortası (B) ile birleştirip, bu noktadan arazi yüzeyine dik çıkılarak belirlenir (Şekil 2.26).

E_a : A-D noktaları arasındaki aktif itki [F/L],

δ : AD doğrusu boyunca ortalama duvar/zemin sürtünme açısı

Θ_i : AB doğrusunun yatayla yaptığı açı,

δ_i : BC doğrusu boyunca duvar/zemin sürtünme açısının ağırlıklı ortalaması,

Θ_i : AB doğrusu boyunca ortalama kayma direnci açısı,

α_i : Doğrulan ankrajın yatayla yaptığı açı,

$\alpha_{j,k..}$: Doğrulanan haricinde blok analizine dahil edilen diğer ankrajların yatayla yaptıkları açılar,

Güvenlik sayısı $GS = F_i/F$ ile hesaplanır.

2.4.2.3. Kuyu temel tasarımına etkileyen toprak basıncı

2.4.2.3.1. Yanal toprak basıncı

İnşaat mühendisliği uygulamalarında sıklıkla farklı seviyelerdeki zemin düzlemleri ile karşılaşılır. Bu düzlemler, düşey veya şevli bir dayanma yapısı inşa ederek birbirlerine bağlanabilir. Günümüzde çoğu inşaat alanı yerleşim yerleri içinde olduğundan, planda fazla alan kaplayan şevler yerine dayanma yapıları seçilmektedir. Dayanma yapısına zeminden etkileyen kuvvetlerin şiddetinin ve yönlerinin belirlenmesi, inşaat yapılarının tasarımında yapılması gereken önemli bir konudur. Yanal toprak basıncı bu kuvvetlerden en önemlisidir.

Bu binaların projelendirilmesi, gerekli tahkikler sonucu izin verilen deplasman sınırı altında oluşan toprak basınçlarının dağılımına bağlıdır. Dayanma yapılarının tasarımında konu edinilmesi gereken ilk tespit, destek sistemine etkileyen kuvvetlerin yönünün ve büyüklüklerinin belirlenmesidir. Yanal toprak basıncı adı verilen bu kuvvetlerin adına yanal toprak basıncı denmesinin sebebi ise ana bileşen yönünün yatay olmasıdır. Yanal toprak basıncının hesaplanabilmesi için, 1857 yılında Rankine Teorisi, 1776 yılında Coloumb tarafından ortaya konulan ve daha sonraları geliştirilen Kama Teorisi ve Log-Spiral Teori gibi birçok teori öne sürülmüştür. Tüm bu teoriler zemin tabakalarındaki yanal toprak basınçlarını hesaplamak için ortaya çıkmıştır.

Zemindeki yatay gerilmeler, yanal toprak basıncı oluşturur. Yanal toprak basıncı katsayısı (K), zemin üzerindeki herhangi bir noktada yatay efektif gerilmelerin düşey efektif gerilmelere oranını ifade eder (Coduto, 2001).

Özetle yanal toprak basıncı katsayısı aşağıdaki Denklem 2.18 ile tanımlanır:

$$K = \frac{\sigma'_x}{\sigma'_z} \quad (2.18)$$

Bu formüldeki;

K: yanal toprak basıncı katsayısını,

σ'_x : yatay efektif gerilmeyi,

σ'_z : düşey efektif gerilmeyi temsil etmektedir.

2.4.2.3.2. Sükunetteki toprak basıncı

Sükunetteki toprak basıncı durumunda, zeminin stabil kabul edildiği herhangi bir değişim gözlenmediği, kendi içinde homojen duruma yakın, derinlikle doğrusal bir şekilde değiştiği gözükmemektedir. İksa sistemi ile zemin arasında sabit kaldığı durum olarak gösterilir. Zeminde stabil bir duruma sahip olduğundan dolayı farklı bir noktada kayma olmayacaktır. Rijit, yatay ötelenmesiz ve dönmeyen bir duvar inşa edildiği kabulü ile başlarsak, duvar arkasındaki zeminde yatay yönde herhangi bir deplasman meydana gelmeyecektir. Bu durumda yerdeki yanal gerilme dağılımları, henüz gerilme durumunun değişmediği doğal haldekine eşit olacaktır. Bu halde oluşan yatay toprak basıncına, sükunetteki yanal toprak basıncı adı verilir ve yanal toprak basıncı katsayısı “K₀” ile gösterilir. K₀ elde etmek için kullanılan denklem (2.19)’ de gösterilmiş olup, Mayne ve Kulhawy tarafından geliştirilmiştir. Bu formül 170 farklı zemin numunesi kullanılarak laboratuvar deneylerine bağlı olarak elde edilmiştir (Dayıoğlu, 2010).

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \times OCR^{\sin \phi'} \quad (2.19)$$

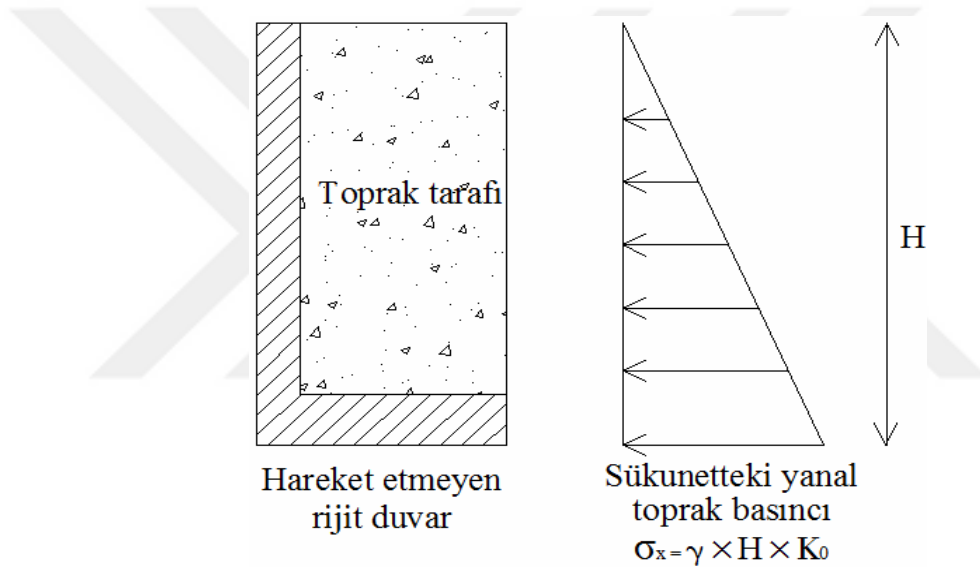
Zemin yüzeyi yatay olduğunda bu formül geçerlidir. Duncan vd.; arka tarafında bulunan dolgu tipi kumlu zemin çeşidine sahip ve temeli anakaya üzerine

oturan ağırlık duvarları için sıkıştırılmış arka dolgu sükunetteki toprak basıncı katsayısını $K_0 = 0.45$, sıkıştırılmamış arka dolgu için sükunetteki toprak basıncı katsayısını $K_0 = 0.55$ değerlerini önermiştir (Coduto, 2001).

Homojen bir zemin tabakasında K_0 sabit olup, σ'_z 'de derinliğin artmasıyla birlikte doğrusal olarak artar, aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi üçgen şeklinde bir basınç dağılımı oluşturmaktadır.

$$\sigma'_x = \gamma \times H \times K_0 \quad (2.20)$$

Bu ilişkide “ γ ” zeminin birim hacim ağırlığını, “ H ” ise basınç için hesaplanan derinliği temsil eder.

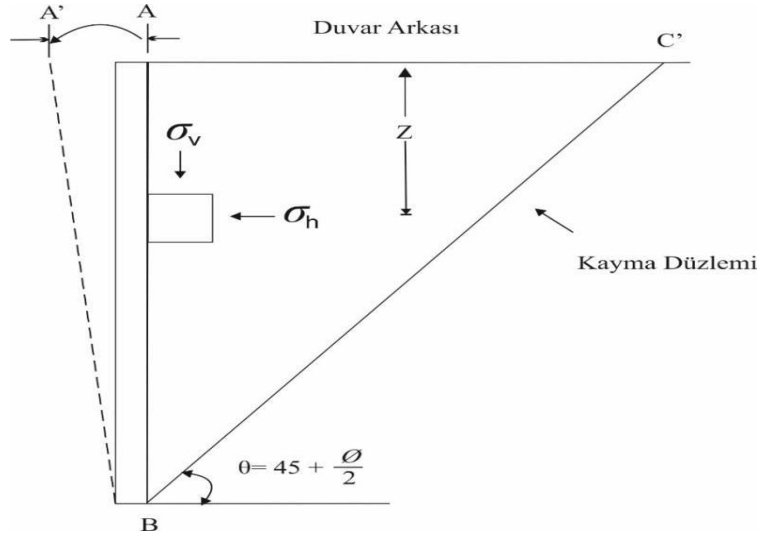


Şekil 2.26: Sükunetteki Yanal Toprak Basıncı

Kaynak: (Dayıoğlu, 2010)

2.4.2.3.3. Aktif toprak basıncı

Duvarlar ve zemin, statik toprak basıncı nedeniyle hareket eder. Dolgu dışına doğru çok az hareket ettiğinde, ardında zemin tutan ve itkiye maruz kalan duvarın düşey gerilmeleri değişmez. Sükunette bulunan yatay zemin gerilmeleri azalacak ve bir noktada kayma yüzeyi oluşacaktır. Yatay gerilmeler en aza indirildiğinde göç gerçekleşecektir. Aktif toprak basıncı, kayma yüzeyi boyunca dış tarafa doğru ilerlemeye çalışan zemin kamasının duvara yaptığı yanal toprak basıncıdır. Şekil 2.28'de görüldüğü gibi zemin kamasındaki kayma düzlemleri yatay ile $45^\circ + \phi/2$ açı yapmaktadır. (Yıldız, 2015)



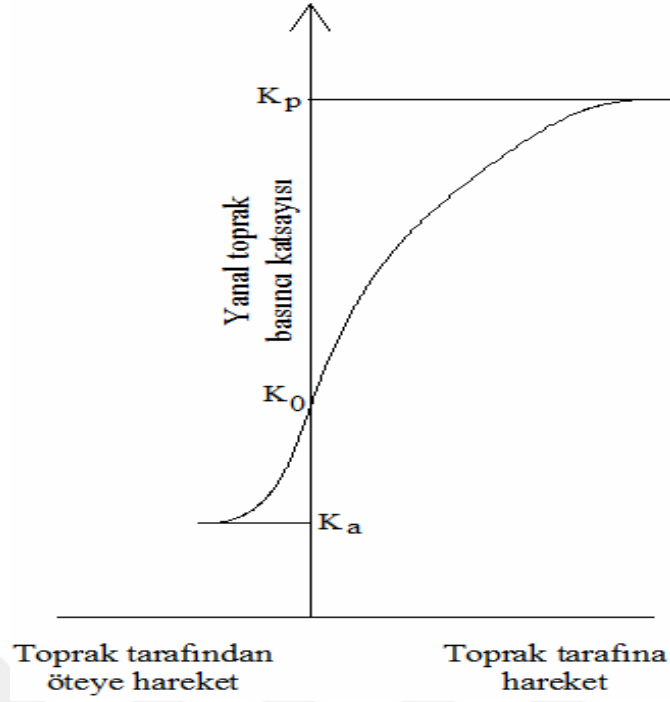
Şekil 2.27: Aktif Toprak Basıncı Durumu

Duvar, aktif toprak basıncı oluşturmak için çok az hareket etmelidir. Farklı zemin çeşitleri için gerekli yer değiştirme miktarları duvar yüksekliği olan H mertebesinde ilişkilendirilerek Tablo 2.3’de özetlenmiştir (Coduto, 2001).

Tablo 2.3: Aktif Toprak Basıncının Oluşması İçin Gereken Spesifik Deplasmanlar

Zemin Türü	Aktif duruma erişilebilmesi için gerekli yatay hareket (H : Duvar yüksekliği)
Sıkı Kum	0.001 H
Gevşek Kum	0.004 H
Katı Kil	0.010 H
Yumuşak Kil	0.020 H

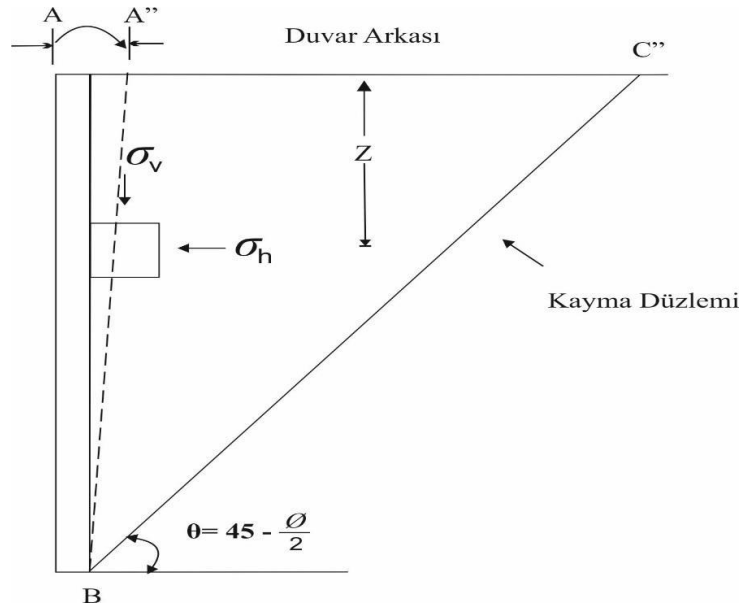
Kaynak: (CGS, 1992).



Şekil 2.28: Toprak Basıncının Hareket Yönü ve Miktarı İle Değişimi

2.4.2.3.4. Pasif toprak basıncı

Dayanma duvarı dolguya doğru hareket başlatırsa zemin kaması duvara pasif basınç uygulayabilmektedir. Pasif toprak basıncı, kamanın duvara uyguladığı bu dirence denilmektedir. Şekil 2.30'da ki gibi zemin kamasındaki kayma düzlemleri yatay ile $45 + \frac{\phi}{2}$ açı yapmaktadır. K_p pasif yanal toprak basıncı katsayısı ifade etmektedir (Yıldız, 2015).



Şekil 2.29: Pasif Toprak Basıncı Durumu

Zeminin pasif toprak basınçları, sükunetteki ve aktif toprak basınçlarından daha yüksektir. Duvar, nihai derecede pasif toprak basıncı oluşturmak için bir miktar hareket etmelidir. Tablo 2.4 farklı zemin tipleri için gerekli yer değiştirme miktarları, duvar yüksekliği ile H mertebesinde ilişkilendirilerek gösterilmiştir (Coduto, 2001).

Tablo 2.4: Farklı Zemin Türlerinde Pasif Durumun Oluşması İçin Gereken Yatay Hareket

Zemin Türü	Pasif duruma erişilebilmesi için gerekli yatay hareket (H: Duvar yüksekliği)
Sıkı Kum	0.020 H
Gevşek Kum	0.060 H
Katı Kil	0.020 H
Yumuşak Kil	0.040 H

Kaynak: (CGS, 1992)

Hesaplarda, pasif yanal toprak basıncı değerinin $F_s = 1.5$ güvenlik katsayısı ile bölünerek hesaplarda kullanılması önerilmektedir (FHWA-Rd-75-129, 1976) .

2.4.2.3.5. Coulomb teorisi

Coulomb Teorisi'nin geçerli olabilmesi için aşağıdaki kabuller yapılmalıdır:

- Tabakaların malzeme özellikleri sabit kabul edilmelidir. Zemin kısaca izotropik ve aynı türdendir.
- Duvarların arkasında yatay şekilde bulunmak koşulu ile birden fazla zemin tabakası olabilir.
- Duvar arkasındaki zeminin yüzeyi eğimli olabilir, ancak genel olarak düzlemdir.
- Duvar arkası zeminin eğimli olduğu durumlarda, Bu dolgunun taban suyu seviyesi altında veya tamamen üstünde olduğu düşünülebilir. Yüzey yatay olduğunda, su tablası herhangi bir seviyede olabilir.
- Duvar ve/veya şev üzerindeki sürşarj düzgün yayılı yük şeklindedir ve şev yüzeyinin tamamını kaplar.
- Duvar arkası zeminin yüzeyi eğimli olduğunda zemin granüler olmalıdır. Kohezyonlu bir zemin, zemin yatay konumda ise hesaba katılabilir (Birand, 2006).

Bu teoride de aktif toprak basıncı Denklem 2.21 da ki gibi hesaplanabilir:

$$P_a = -2c\sqrt{K_a} + K_a \times \gamma \times H \quad (2.21)$$

Bu denklemde;

P_a : aktif yanal toprak basıncını,

c :zemindeki kohezyonu,

K_a : aktif yanal toprak basıncı katsayısını,

γ :zeminin birim hacim ağırlığını,

H :derinliği temsil etmektedir.

Coulomb Teorisi'nin, Rankine Teorisi'nden karşılaştırılması bakımından en yüksek farkı yanal toprak basıncı katsayısının hesabının farklı olmasıdır. (Dayıoğlu, 2010)

Coulomb Teori'sine göre aktif yanal toprak basıncı katsayısı Denklem 2.22 ile hesaplanabilir:

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi) \times \cos \delta}{\sin \theta \times \sin(\theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \times \sin(\phi - \beta)}{\sin(\theta - \delta) \times \sin(\theta + \beta)}} \right]^2} \quad (2.22)$$

Duvar sürtünmesinin oluşması durumunda pasif basınç hesapları gerçeğe göre çok daha yüksek sonuçlar ortaya çıkarır. Bu nedenle sürtünme hesaba katılmaz. Bu durumda dik yüzeyli bir dayanma duvar için pasif yanal toprak basıncı katsayısı Denklem 2.23 ile hesaplanabilir (Birand, 2006):

$$K_p = \frac{\cos^2 \phi}{\left[1 - \sqrt{\frac{\sin \phi \times \sin(\phi + \beta)}{\cos \beta}} \right]^2} \quad (2.23)$$

Bu bağıntılarda,

θ :duvar yüzeyinin yatay ile yaptığı açığı,

δ : duvar sürtünme açısını,

ϕ : içsel sürtünme açısını temsil etmektedir.

2.4.2.4. Kuyu temel tasarımında deprem etkisi

Kazı destek yapılarının tasarımında kullanılacak deprem etkisinin belirlenmesine yardımcı olacak yönetmelik TBDY2018'dir. Fakat kazı destek yapısının geçici ya da kalıcı olması dikkate alınacak deprem yer hareketi düzeyini belirlemektedir. Destek yapılarının ömrü geçici ve kalıcı destek yapısı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu durum Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Madde 1.4.6 da şöyle açıklanmıştır;

Geçici destek yapıları, üzerine etkiyen tüm yükleri gerekli emniyet ve stabilite tahkiklerini sağlayacak şekilde en çok 2 yıl boyunca hizmetine yerine getirecek şekilde projelendirilmiş mühendislik yapılarıdır.

Bu 2 yılın sonunda tüm yüklerin ve etkilerin fonksiyonun destek yapısı önünde yapılan binalara aktarılacağı ve destek yapısının artık bir görevi kalmadığı kabulü yapılır. Gerekli önlemler henüz projelendirilme aşamasındayken alınmak şartıyla 2 yıllık süre en fazla 3 yıla kadar uzatılabilir. Geçici destek yapısının bir fonksiyonun farklı nedenlerle daha uzun süre sürdürülmesinin gerekmesi halinde alınması gereken inşaa ve idari önlemler Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Madde 2.13 ve Madde 4.8'de belirtilmiştir.

Kalıcı destek yapıları ise, üzerine etkiyen tüm yükleri gerekli sınır koşulları sağlayacak şekilde, en az destek yapısının bulunduğu kazı çukurunda inşaa faaliyetleri bulunan yapıların kullanım süresi boyunca taşımak üzere projelendirilmiş kalıcı fonksiyonel yapılardır.

Geçici ve kalıcı destek yapılarının deprem etkisini dikkate alan tasarım yöntemleri için Tablo 2.5 kullanılmaktadır. (Kazı Destek Yapıları ve Uygulama Esasları, Madde 2.14.)

Tablo 2.5: Geçici Ve Kalıcı Kazı Destek Yapılarının Sismik Tasarım Yöntemleri İle Dikkate Alınacak Deprem Düzeyleri

Tasarım Yöntemi	Yöntem 1 Statik Eşdeğer Hesap	Yöntem 2 Şekil Değiştirmeye Göre Hesap	
		1. Aşama Statik Eşdeğer Hesap	2. Aşama Zaman Tanım Aralığında Hesap
Geçici destek sistemlerinde (Tüm KK-1 ve KK-2'nin $H < 15m$ olduğu geçici sistemler için)	-	-	-
Geçici destek sistemlerinde (KK-2'nin $H \geq 15m$ olduğu ve KK-3 olan geçici sistemler için)	DD-4	-	DD-4
Kalıcı destek sistemlerinde (Normal yapılar için)	DD-2	DD-2a	DD-2
Kalıcı destek sistemlerinde (Önemli yapılar için)	DD-1	DD-2a	DD-1

Günümüzdeki şantiyelerde temel kazısı ile başlayıp, yapının bodrum katının inşaa faaliyetleri bitimine kadar devam eden süreç 2 yıldan azdır. Bundan kaynaklı bu tezde mevcut olup iksa tipi olarak seçilen kuyu temel analizleri, geçici destek yapısı kategorisi ile tasarlanmıştır.

Kazı destek yapısının tasarımında hem kazı çukurunda olan bina ve hem arkasında bulunan yapılar dikkate alınır. Bunlar Tablo 2.6'a göre önemli ve normal yapılar olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 2.6: Normal ve Önemli Yapı Tanımı

Yapı Tanımı	Kazı çukuru içinde ve arkasında bulunan yapılar
Normal Yapılar	TBDY Tablo 2.1'de tanımlanan BKS=2 ve BKS=3'e giren binalar Yollar Altyapı hatları vb.
Önemli Yapılar	TBDY Tablo 2.1'de tanımlanan BKS=1'e giren binalar, Tarihi yapı ve eserler Kritik öneme sahip altyapı hatları, Önemli yol ve caddeler (çok şeritli otoyollar, ağır tonajlı araçların kullandığı yollar, insan kalabalığının fazla olduğu şehir içi caddeler vb.) Demiryolları ve metro yapıları Deplasman ve titreşim etkilerine hassas yapılar

2.4.2.5. Kuyu temel tasarımında kullanılan sayısal analiz modeli

Kuyu temel analizlerinde kullanılan paket program olan Setaf 2018, hesaplama yöntemi olarak duvara etki eden basınçları bağlı basınçlar yöntemini kullanarak belirler. Deformasyondan türetilen yükler yapıya uygulanmaktadır ve bu

da onu gerçekçi bir şekilde modellememizi ve uygun maliyetli tasarımlar oluşturmamızı sağlar. Duvarın imalat aşamaları arasında ankrajların sonradan gerilmesi ve deformasyonların kademeli gelişimi yer alır. Bağlı basınçlar yönteminin uygulanması için doğrusal veya doğrusal olmayan zemin yatak katsayısı belirlenmelidir.

Program ayrıca kullanıcının ankraj sisteminin iç stabilitesini kontrol etmesine de olanak tanır. Analiz, matris-deplasman yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir. Yer değiştirmeler, iç kuvvetler ve zemin yatak katsayısı ayrı düğüm noktalarında değerlendirilir.

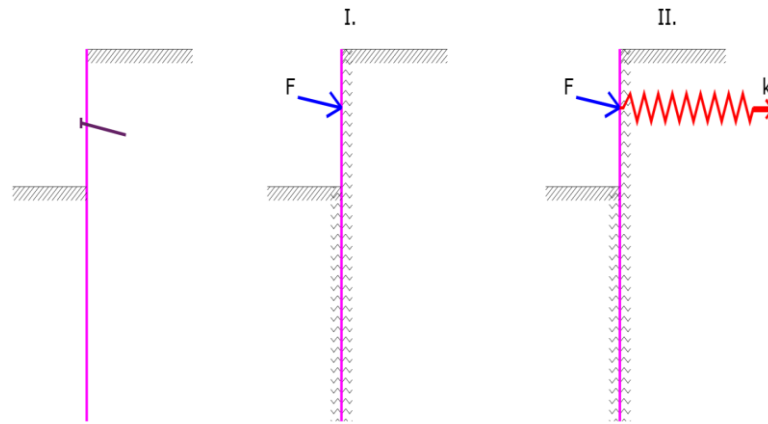
Yapıyı sonlu elemanlara bölmek için aşağıdaki metodoloji uygulanmıştır:

1) İlk olarak, düğüm noktaları bir yapının tüm topolojik noktalarına (başlangıç ve bitiş noktaları, ankraj noktaları, kazı düzlem noktaları, kesit parametrelerinin değişim noktaları) eklenir.

2) Kalan düğüm noktaları, tüm elemanlar yaklaşık olarak aynı boyuta ulaşacak şekilde hesaplanır.

Her elemana bir zemin yatak katsayısı değeri atanır - elastik zemin Winkler yayı olarak kabul edilmektedir. Destekler deforme olmuş yapıya yerleştirilir - her destek daha sonra yapıya uygulanan zorunlu bir yer değiştirmeyi temsil eder.

Öngermeli ankrajların tanıtıldığı yapım aşamasında, ankraj kuvvet olarak modellenir (Şekil 2.31'deki I. durum). Diğer yapım aşamalarında, ankrajlar, k yay katsayılı (Şekil 2.31'deki II. durum) ve kuvvetle modellenmiş yaylardır:



Şekil 2.30: Öngermeli Ankraj Modeli

Ankraj kuvvetinin deformasyona bağılı değişimi Denklem 2.24 yardımıyla bulunabilir:

$$\Delta F = \frac{k \cdot v \cdot \Delta w}{\cos \alpha} \quad k = \frac{E \cdot A}{L} \quad (2.24)$$

Burada bulunan ifadeler aşağıda sıralanmıştır:

v - Ankrajlar arasındaki yatay mesafe

Δw – Ankraj noktasındaki deformasyon

E – Ankraj elastisite modülü

A – Ankraj kesit alanı

l – Ankraj uzunluğu

k – Ankraj rijitliği

α – Ankraj eğimi

2.4.2.6. Bağlı basınçlar yöntemi

Bağlı basınçlar metodolojisi, duvarın etrafındaki kayanın veya zeminin ideal olarak elasto-plastik Winkler malzemesi gibi davranması gerektiği varsayımına dayanır. Bu malzemenin elastik bölgedeki deformasyonunu gösteren zemin yatay yatak sayısı (kh) ve ek sınırlayıcı deformasyonlar bu malzemeyi belirlemektedir. Bu bozulmalar belirli sınırları aştığında malzeme neredeyse plastik gibi davranır.

Aşağıdaki varsayımlar kullanılır:

- Bir duvara etki eden basınç, aktif ve pasif basınç arasında bir değere ulaşabilir ancak bu sınırların dışına çıkamaz.

- Sükunetteki basınç, deforme olmamış bir yapıya etki eder ($w = 0$).

Deforme olmuş bir yapıya etkiyen basınç şu şekilde verilir:

$$\sigma = \sigma_r - kh * w$$

$\sigma < \sigma_a$ durumunda $\sigma = \sigma_a$ alınır.

$\sigma > \sigma_p$ durumunda $\sigma = \sigma_p$ alınır.

Buradaki simgelerin açıklamaları aşağıdaki gibidir:

σ_r - Sükunetteki basınç

k_h - Yatak katsayısı

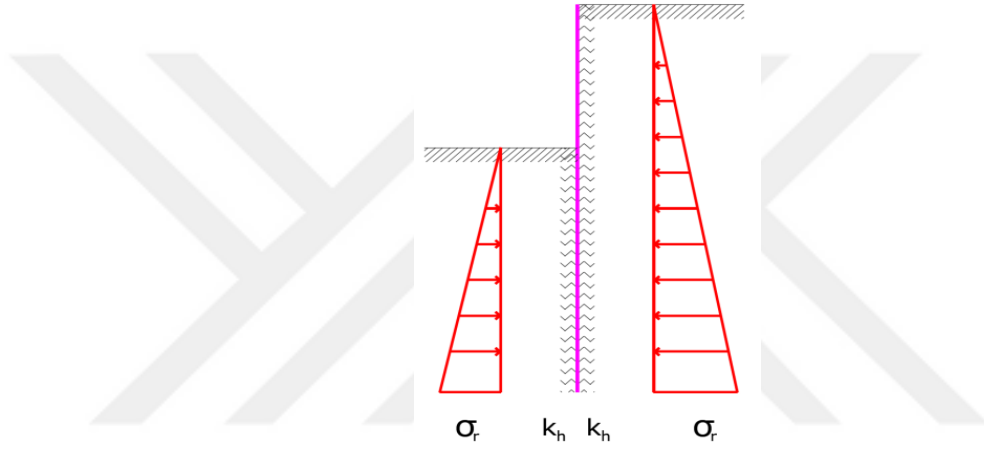
w - Yapının deformasyonu

σ_a - Aktif toprak basıncı

σ_p - Pasif toprak basıncı

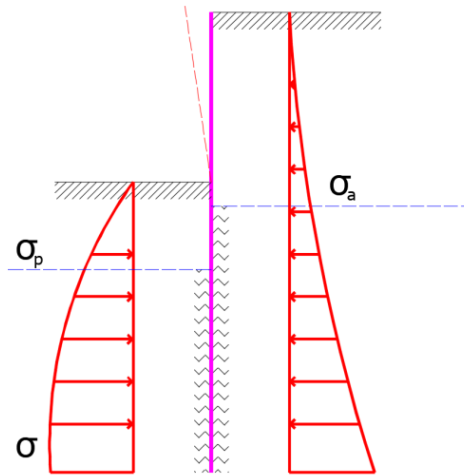
Hesaplama prosedürü aşağıdaki gibidir:

1-Tüm elemanlara yatay yatak katsayısı k_h atanır ve yapı, hareketsiz durumdaki basınç tarafından yüklenir. (Şekil 2.32.)



Şekil 2.32: Birinci İterasyon Adımı Öncesi Analiz Modeli

2-Analiz yapılır ve duvara etki eden izin verilen basınç büyüklüklerinin durumu kontrol edilir. Bu koşulların ihlal edildiği yerlerde program $k_h = 0$ değerini atar ve duvar sırasıyla aktif veya pasif basınçla yüklenir. (Şekil 2.33.)



Şekil 2.31: İterasyon Süresince Analiz Modeli

Yukarıdaki iterasyon, duvardaki yatay basınçların dengesi sağlanana kadar devam ettirilir. İnşaatın sonraki aşamalarının analizlerinde, program duvarın plastik deformasyonunu hesaba katar. Bu aynı zamanda, gerçek inşaat sürecine uygun inşaat aşamalarının belirtilmesinin nedenidir.

2.4.2.7. Chadeisson yatay yatak katsayısı yöntemi

Chadeisson yöntemi ile yatay yatak katsayısı hesaplanması Denklem 2.25 ile yapılabilir:

$$k_h = \left[20EI \left(\frac{K_p \gamma \left(1 - \frac{K_o}{K_p} \right)}{0,015} \right)^4 \right]^{\frac{1}{5}} + A_p c' \frac{\tanh\left(\frac{c'}{30}\right)}{0,015} \quad (2.25)$$

EI: Duvarın eğilme rijitliğidir. [F.L²/L]

γ : Zemin birim hacim ağırlığı [F/L³]

K_p: Pasif basınç katsayısı

K_o: Sükunette toprak basıncı katsayısı

c' : Efektif kohezyon [F/L²]

A_p: Kohezyon etki katsayısı. 1 – 15 arasında bir değerdir.

2.5. Kuyu Temel Tasarımını Etkileyen Geoteknik Parametreler

Kayma direnci analizleri yapmanın iki çeşit yolu bulunmaktadır. Bunlar toplam gerilme analizi ve efektif gerilme analizidir. Derin temel tasarımında iki analiz çeşidi de kullanılmaktadır.

2.5.1. Toplam gerilme parametreleri

Efektif gerilmeye dayanan analizler, sadece etkili efektif gerilmelerin sahada bulunduğu durumlarda kullanılabilir. Bu nedenle, Sadece hidrostatik boşluk suyu basıncı altında gerçekleşebilir. Aşırı boşluk suyu basıncı işlemi zorlaştırabilir. Örneğin, bir temel inşa edilirken doymuş kil üzerine uygulanan yük, yüzeyde aşırı boşluk suyu basıncı oluşturur. Ayrıca kayma boşluk suyu basıncını artırır. Genel

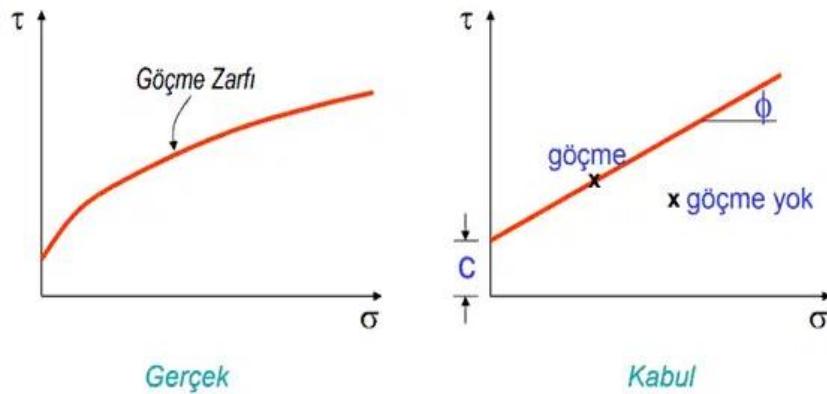
olarak, bu aşırı boşluk suyu basınçlarının hesaplanmasında büyük bir zorluk vardır. Boşluk suyu basıncının hesaplanmadığı bu durumlarda, efektif gerilmenin ne kadar büyük olduğunu bilmek normal değildir. Bu gibi nedenlerden dolayı, geoteknik mühendisleri boşluk suyu basıncının hesaplanmadığı sorunları çözmek için efektif gerilme yerine toplam gerilme yöntemini tercih etmek durumunda kalabilirler. (Bowles, 1990).

Tablo 2.7: Elastik Oturmalar ve Taşıma Gücü İçin Gerekli Olası Özellikler ve Parametreler

Zemin Tipi	Tanım	E' [kPa]	ν'	c' [kPa]	ϕ' [°]	Su(cu) [kPa]
Kil	Yumuşak	1000 - 15000	0,35 - 0,40	0 - 8	30 - 20	0 - 50
	Orta katı	15000 - 30000	0,30 - 0,35	8 - 17	26 - 20	30 - 170
	Katı	30000 - 100000	0,2 - 0,3	17 - 60	20 - 15	150 - 500
Kum	Gevşek	10000 - 20000	0,15 - 0,25	-	26 - 30	-
	Orta sıkı	20000 - 40000	0,25 - 0,3	-	30 - 34	-
	Sıkı	40000 - 80000	0,25 - 0,35	-	34 - 46	-
Çakıl		40000 - 80000	0,25 - 0,35	-	30 - 50	-

1) Drenajsız kayma direnci S_u (cu)

Drenajsız kayma mukavemeti göçme zarfı oluşmadan önce zeminin karşı koyabileceği en yüksek kayma gerilmesini ifade etmektedir. Drenajsız Kayma Mukavemeti deneyleri laboratuvar ortamında serbest basınç deneyi, direkt kesme kutusu deneyi, üç eksenli basınç deneyi ile yapılabilir. Arazide ise kanatlı kesici veyn deneyiyle yapılarak anlaşılabilir.



Şekil 2.32: Mohr Coloumb Yenilme Teorisi

2) Drenajsız Elastisite Modülü (Eu)

Drenajsız elastisite modülü, drenajsız koşullarda uygulanan bir yük altında zeminin ne kadar deformasyona uğrayacağını hesaplar. Zeminin geçici yükler altında (örneğin inşaat sırasında) nasıl davranacağını anlamak için bu değer gereklidir. Bir malzemeye uygulanan gerilmeler altında meydana gelen deformasyonun, gerilme meydana getiren yükün etkisi kaybolduktan sonra tekrar eski şekline gelme özelliğini gösteren bir değer elastisite modülüdür. Birim gerilmeve birim şekil değiştirme arasındaki oran elastisite modülü (E) olarak bilinir.

Kil gibi ince daneli düşük geçirgenliğe sahip zeminlerde su hareketi yavaştır ve bu nedenle yük altında hızlı drenaj gerçekleşmez, bu nedenle drenajsız elastisite modülü çok önemlidir. Bu durum, zeminin mühendislik davranışını etkileyebileceğinden, zeminin davranışını doğru bir şekilde tahmin etmek için drenajsız elastisite modülünün bilinmesi gerekir. Laboratuvar deneyleri veya yerinde yapılan testler, drenajsız elastisite modülünü bulmak ve zeminin mühendislik özelliklerini belirlemek için kullanılır. Bu değer, zeminin yük altında nasıl davranacağını ve yapısal tasarımlarda nasıl dikkate alınacağını anlamak için temel bir parametredir.

3) Drenajsız poisson oranı (Vu)

Poisson oranı, bir malzemenin elastik davranışını gösteren bir parametredir. Bu oran, bir malzemenin uzunlamasına gerilme altında enine genişlemesi veya daralması ile ilişkilidir. Genellikle ν (nu) sembolü ile gösterilir.

4) Kayma modülü (Gu)

Geoteknik mühendislikte "kayma modülü" veya "kesme modülü", bir malzemenin kesme gerilmeye karşı olan direncini ifade eden bir mühendislik ölçüsüdür. Bu modül, bir malzemenin yatay düzlemde kesilme gerilmelerine karşı nasıl direndiğini tanımlar. Kayma modülü, genellikle G harfi ile temsil edilir. Kayma modülü, bir malzemenin elastik davranışını tanımlayan bir parametredir. Bu, malzemenin kesme kuvvetlere maruz kaldığında nasıl deforme olduğunu ve bu deforme sırasında ne kadar mukavemet gösterdiğini ifade eder. Kayma modülü, malzemenin mühendislik tasarımında, zemin stabilitesi analizlerinde ve temel hesaplamalarında önemli bir rol oynar. Kayma modülü, bir malzemenin elastiklik modülü (Young modülü) ve poisson oranı gibi diğer malzeme özellikleriyle

ilişkilidir. Bu modül, malzemenin kesme direncinin belirlenmesinde önemli bir faktör olarak kabul edilir ve çeşitli laboratuvar deneyleri veya alan testleri yoluyla belirlenebilir.

2.5.2. Efektif gerilme parametreleri

Bir yüzey tabakasının üzerindeki daneler tarafından karşılanan toplam gerilme, efektif gerilme olarak bilinir. Su ve hava fazlarının yüzeydeki kayma direnci olmadığından, sadece daneler yüzeydeki kayma direncini karşılar. Danelerin taşıdığı toplam gerilmenin bir bölümünü meydana getirmesinden dolayı, direnç sorunlarını çözmek için efektif gerilmeyi (σ_1) kullanmak daha uygun bir yaklaşım gibi görünüyor. Kayma direnci, "Mohr-Coulomb Kırılma Hipotezi" kullanılarak etkili gerilme analizi kullanılarak tanımlanır. Efektif gerilme analizi, boşluk suyu basıncının etkili olmadığı, yeraltı suyu olmayan tabakalarda veya boşluk suyu basıncının hesaplanabildiği, drenajlı yüzey koşullarında kullanılabilir. (Altun, 2013)

1) Efektif kohezyon (c')

Geoteknik mühendisliğinde "efektif kohezyon", zeminin kesme direncini tanımlayan bir parametredir. Kohezyon, bir zeminin içyapısını bir arada tutan ve kesme gerilmelerine karşı gösterdiği direnci ifade eder. Efektif kohezyon ise, zeminin sıkıştırılabilir su içeriğinin neden olduğu etkileri dikkate alarak hesaplanan veya ölçülen kohezyon değeridir. Efektif kohezyonun hesaplanmasında, zeminin gerçek kohezyonu ve zemin içerisindeki suyun etkisi göz önünde bulundurulur. Özellikle drenajlı veya drenajsız durumlarda zeminin kesme direncinde suyun etkisi önemlidir. Drenajsız koşullarda, sıkıştırılabilir su içeriği zeminin içinde kilitlebilir ve kesme direncini azaltabilir. Bu nedenle, efektif kohezyon, gerçek kohezyon değeri ile sıkıştırılabilir su içeriğinin etkisi bir araya getirilerek belirlenir.

Efektif kohezyon, genellikle triaksial deneyler veya diğer laboratuvar deneyleri yoluyla belirlenir. Bu değer, zeminin mühendislik tasarımında ve zemin stabilitesi analizlerinde önemli bir parametredir. Özellikle zeminin stabilitesi, yapı temellerinin tasarımı ve kayaç veya zemin kesitlerinin stabilitesi gibi konularda efektif kohezyonun doğru bir şekilde belirlenmesi önemlidir.

2) Efektif kayma direnci açısı (ϕ')

Geoteknik mühendisliğinde "efektif kayma direnci açısı", bir zeminin kesme direncini tanımlayan bir parametredir. Genellikle ϕ (phi) sembolü ile gösterilir ve derece cinsinden ifade edilir. Bu parametre, zeminin doğal eğimli yüzeylerde kayma direncini tanımlar. Efektif kayma direnci açısı, bir zeminin içsel kohezyonu ve iç sürtünme direnci ile ilgilidir. Bu açı, bir zeminin kesme direncini belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Zeminin kesme direnci, yapıların temel tasarımı, zemin stabilitesi analizleri ve yamaç stabilitesi gibi birçok mühendislik uygulaması için önemlidir.

Efektif kayma direnci açısı, triaksial deneyler veya diğer laboratuvar deneyleri yoluyla belirlenebilir. Bu deneyler, zeminin kesme davranışını analiz etmek ve efektif kayma direnci açısını belirlemek için kullanılır. Elde edilen veriler, mühendislerin yapı tasarımı ve zemin stabilitesi analizlerinde kullanabilecekleri değerli bilgiler sağlar. Özellikle efektif kayma direnci açısı, Mohr-Coulomb teorisinde temel bir parametredir. Bu teori, zeminlerin kesme direncini ve stabilitesini analiz etmek için çoğunlukla kullanılan bir yaklaşımdır. Bu bağlamda, efektif kayma direnci açısı, zeminin kesme davranışını anlamak ve mühendislik uygulamalarında doğru kararlar almak için temel bir parametredir.

3) Drenajlı Elastisite Modülü =E'

Drenajlı elastisite modülü, bir zeminin elastik davranışını tanımlayan bir parametredir. Bu terim, genellikle drenajlı koşullarda zeminin elastik özelliklerini ifade etmek için kullanılır. Elastisite modülü, bir malzemenin gerilmeye maruz kaldığında nasıl deforme olduğunu tanımlayan bir parametredir. Bu, malzemenin gerilme altında nasıl davrandığını ve gerilme kuvvetlerine karşı ne kadar direnç gösterdiğini ifade eder. Elastisite modülü, bir malzemenin lineer elastik davranışını modellemek için kullanılır, yani gerilme altında deformasyon miktarı gerilme miktarına doğru orantılıdır.

"Drenajlı elastisite modülü" terimi, zeminin drenaj koşullarını ifade ederken, elastisite modülünün bu özel koşullara göre hesaplandığını veya belirlendiğini belirtir. Drenajlı koşullar altında, zeminin içindeki suyun etkisi genellikle göz önünde bulundurulur. Suyun zemindeki boşlukları doldurması ve zeminin özelliklerini değiştirmesi, elastik davranışını etkiler.

Drenajlı elastisite modülü, laboratuvar deneyleri veya alan testleri yoluyla belirlenebilir. Bu değer, zeminin mühendislik tasarımında, zemin stabilitesi analizlerinde ve yapıların temel hesaplamalarında önemli bir parametredir. Özellikle, zeminin stabilitesi ve yapısal performansı üzerindeki etkileri dikkate alınarak doğru bir şekilde belirlenmelidir.

4) Drenajlı poisson oranı = ν

Poisson oranı, ν (nu) sembolü ile gösterilir. Poisson oranı, normalde -1 ile 0.5 arasında değer alır. Bir malzemenin Poisson oranı ne kadar az ise, malzeme o kadar az sıkışır veya genişler. Örneğin, $\nu = 0,5$ için, bir malzemenin enine doğru genişleme miktarı, uzunlamasına gerilmenin yarısı kadardır. $\nu = -1$ için, bu durumda, bir malzeme enine doğru genişlemez; aksine, sıkışır. Poisson oranı, malzemenin elastik modülü (Young modülü) ve kesme modülü ile ilişkilidir. Bir malzemenin elastik davranışını tam olarak tanımlayan bu üç parametre arasında bağıntı vardır. Poisson oranı, genellikle temel stabilitesi, zeminin davranışı ve yapıların tasarımında dikkate alınır. Özellikle, zemin mekaniği ve yapısal mühendislikte, malzeme davranışını analiz etmek ve yapıların performansını tahmin etmek için önemlidir.

2.5.3. Diğer geoteknik parametreler

1. Malzeme tipi

Kum, çakıl, kil, silt, kaya gibi çeşitli tipteki zeminlerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır.

2. Birim hacim ağırlık

Bir cismin birim hacminin (1cm³, 1m³, vb.) ağırlığına o cismin birim hacim ağırlığı denilmektedir.

$$\gamma = \text{Ağırlık/hacim (gr/cm}^3, \text{ t/m}^3 \dots)$$

Doğal birim hacim ağırlık γ_n ; zeminin doğal ağırlığının tüm hacmine oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\gamma_n = \frac{W_{tüm}}{V_{tüm}}$$

Kuru birim hacim ağırlık γ_k ; Yaş veya kuru zemindeki, kuru ağırlığın (tane ağırlığının) tüm hacme oranı olarak tanımlanır.

$$\gamma_k = \frac{W_{kuru}}{V_{tüm}}$$

Doğun birim hacim ağırlık γ_d ; Zeminin bütün boşluklarının su ile dolu olduğu suya tamamıyla doğun zeminlerde; tüm ağırlığın tüm hacme bölümü olarak açıklanmaktadır.

$$\gamma_{doy} = \frac{(W_{tane} + W_{su})}{V_{tüm}}$$

3. Aşırı konsolidasyon oranı (OCR)

‘OCR veya AKO’ ile gösterilen aşırı konsolidasyon oranı, zeminin geçmişte etkilendiği en yüksek efektif zemin basıncının şuan ki efektif zemin basıncına oranı olarak tanımlanmıştır.

Normal konsolide zeminlerde OCR=1 iken aşırı konsolide zeminlerde OCR > 1 olmaktadır. OCR değeri 1 ile 3 arasında olan zeminler hafif aşırı konsolide, 6 ile 8 arasında olan zeminler ise çok aşırı konsolide şeklinde tanımlanmaktadır (Bowles, 1996: 22).

Ön konsolidasyon basıncına benzer bir biçimde olan aşırı konsolidasyon oranı da derinlikle bağlı olarak değişmektedir (Coduto, 2001: 70).

Aşırı konsolidasyon oranı zemin yüzeyine yaklaştığı zaman artar, derine indiği zaman 1’e yaklaşır yani derinlikle doğru orantılı olarak azalmaktadır (Bowles, 1996: 22; Budhu, 2011: 216).

4. Duvar zemin sürtünme açısı (δ)

Zeminin cinsi kohezyonlu olması durumunda, duvar ile arasında oluşacak adhezyon nedeniyle kaymaya karşı bir direnç gösterir. Bazı zemin cinslerinde alınabilecek Duvar zemin sürtünme açısı değerleri aşağıda gösterilmiştir;

- Kum çakıl karışımı, iyi derecelenmiş kaya dolgu, temiz çakıl (22-26)
- Tek boyutlu sağlam kaya, siltli kum-çakıl karışımı, temiz kum (17-22)

- Silt veya çakıllı ya da kille karışmış kum, siltli kum (17)
 - Plastik olmayan silt, ince kumlu silt (14)
5. Sukünette toprak basıncı kat sayısı (K_0)

Yanal harekete sahip olmayan bir istinat yapısı sükunetteki toprak basıncı etkisindedir (Jaky, J. 1944). Sükunetteki toprak basıncı katsayısı olan K_0 için aşağıdaki ampirik formülü Denklem 2.26 deki gibi kurmuştur:

$$K_0 = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} = 1 - \sin \phi' \quad (2.26)$$

Şu unutulmamalıdır ki, sükunetteki toprak basıncı rijit olmayan yapılarda örneğin ankrajlı iksa sistemi gibi sistemlerde pek tercih edilmemektedir. Bunun sebebi sükunetteki toprak basınçlarını hesaba katmak sistemde herhangi bir yatay deformasyona izin verilmediği anlamına geldiğinden efektif ve ekonomik olmamaktadır (ÜK, 2009).

6. Kohezyon etki katsayısı (A_p)

Duvar analizlerinde Chadeisson yöntemiyle yatak katsayısı hesaplanırken kullanılır.

Kohezyon etki katsayısı. 1 – 15 arasında bir değerdir.

7. Yer altı su seviyesi

İksa destekleme sisteminin imal edileceği zemin etrafına yeraltı suyunun bulunması halinde mevcut toprak basıncına ek olarak su basıncı faktörü etkileyecektir. Su seviyesine kadar olan gerilme (2.27) bağıntısı ile hesaplanır. (Başeski, 2008)

$$\sigma_a = K_a [\gamma_{su} z_{su} + \gamma' (z - z_w)] \quad (2.27)$$

8. Zemin Tabaka kalınlığı

Zemin tabaka kalınlığı, toprak basıncını etkileyen önemli bir faktördür. Toprak basıncı, bir zemin tabakasının yatay yüzeyine dik bir yüzey üzerindeki basıncı ifade eder. Bu basınç, zeminin ağırlığı ve tabakanın eğimi gibi parametreye bağlı olarak değişmektedir. Zemin tabakası kalınlığı, toprak basıncını etkiler çünkü

tabakanın kalınlığı, yatay yönde yayılan zemin ağırlığının bir sonucudur. Daha kalın bir zemin tabakası, yukarıdaki zeminin üzerinde daha fazla ağırlık oluşturur ve dolayısıyla altındaki tabakanın üzerine daha fazla basınç uygulamaktadır. Bu nedenle, zemin tabakasının kalınlığı, altındaki tabakalara uygulanan yatay toprak basıncının miktarını belirler. Özellikle yamaçlarda veya eğimli arazilerde, zemin tabakası kalınlığındaki değişiklikler, toprak basıncının da değişmesine neden olabilir. Daha kalın bir tabaka, yamaç boyunca daha fazla basınç oluşturabilirken, daha ince bir tabaka ise daha az basınç oluşturabilir.

9. Drenaj Koşulları

Zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliğinde drenajsız ve drenajlı koşul kavramları önemlidir. Bu kavramlar, suyun zeminde içine ya da dışına doğru akma kolaylığı ve hızı ile ilgilidir. Bu kavramlar, zeminin yükleme sırasında belirli değişikliklere uğradığı süreye göre değişmektedir. Boşluk suyu basıncı, yukarıda meydana gelen değişikliklerden etkilenir. (İspiroğlu, 2016)

Drenajlı koşulları, yükteki değişikliklerin yeteri kadar olmadığı ve tüm zeminin denge durumuna geldiği ve yüklerden kaynaklanan aşırı boşluk suyu basıncı olmadığı koşullardır. Zemin içindeki su durağan olabilir veya zemin içindeki su kütlesini etkilemeyecek şekilde sızıntı olabilir. Bu koşullar drenajlı analizi uygundur. Toplam birim ağırlık, efektif kesme dayanımı parametreleri ve boşluk suyu basıncı, drenajlı analiz için gereklidir.

Drenajsız koşullar, yüklerde meydana gelen değişikliklerin suyun zemine girme ya da çıkma hızından fazla olduğunda ortaya çıkar. Boşluk suyu basıncı, dış yüklerden ve zeminin davranışından etkilenir. Bu koşullar sağlandığında drenajsız analizler uygundur. Drenajsız analiz için kesme dayanımı parametreleri ve toplam birim ağırlıklar gereklidir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır;

- Toplam gerilme kohezyonu = c
- Drenajsız kesme dayanımı = S_u
- Toplam gerilme sürtünme açısı = ϕ_u

10. Kılcallık

Kılcallık, bir malzemenin içindeki küçük boşluklar aracılığıyla sıvıların hareket etme yeteneği olarak tanımlanır. Bu, toprak, kum, çamur gibi malzemelerde

suyun hareket etme yeteneğini ifade eder. Kılcallık, malzemenin kapiler özelliklerini ve suyun bu malzemenin içinde nasıl hareket ettiğini belirleyen önemli bir parametredir. Toprak gibi gözenekli malzemelerde, toprak partiküllerinin arasındaki boşluklar suyun hareketine izin verir. Bu boşluklar, bir tür kılcallık oluşturur ve suyun yukarı veya yana doğru hareket etmesine olanak tanır. Bu görüngü, özellikle zeminin nem içeriği ve drenajı ile ilgili mühendislik uygulamalarında önemlidir.

Kılcallık, malzemenin gözenekliliği ve suyun yüzey gerilimi gibi faktörlere bağlıdır. Küçük boşluklar arasındaki yüzey gerilimi, sıvının malzemenin içine çekilmesini ve yükselmesini sağlar. Bu, kılcallık yoluyla suyun toprağın içinde yukarı doğru hareket etmesini sağlar. Kılcallık, zeminlerin drenaj özelliklerini, suyun hareketini ve nem içeriğini etkiler. Bu nedenle, toprak mühendisliğinde, drenaj sistemlerinin tasarımı, zemin stabilitesi analizleri ve inşaat malzemelerinin seçimi gibi birçok uygulamada kılcallık önemli bir parametredir.

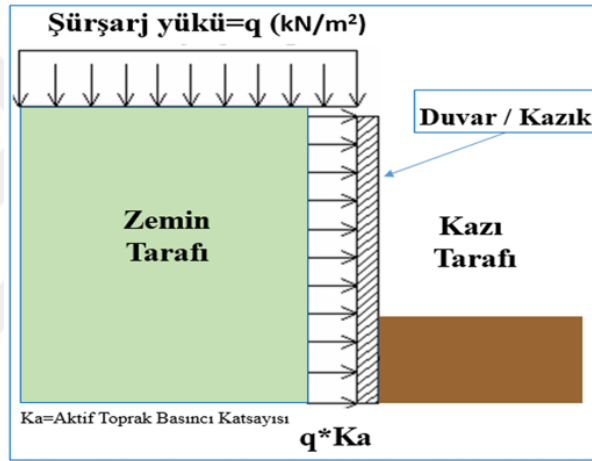
11. Artezyen Basıncı

Artezyen basıncı (veya artezyen su basıncı), yer altı su tabakalarında, yüzeyden daha derinde yer alan suyun, bir kuyu veya artezyen kuyusu gibi bir açıklıktan yukarı doğru uyguladığı basınçtır. Bu basınç, yer altı suyunun birikmesiyle ve bu suyun yer altında biriktiği kayaların, kuyunun delindiği bölgenin altındaki su tabakasının basıncı nedeniyle oluşur. Artezyen basıncı, yeraltı suyunun kuyunun üzerindeki bir baskıya sahip olması sonucu meydana gelir. Bu baskı, yer altı suyunun kuyunun üzerindeki seviyeden daha yukarıda bir seviyede bulunması nedeniyle oluşur. Dolayısıyla, bir kuyunun derinlik kazıldığında, yeraltı su seviyesi yüzeye yaklaştıkça bu basınç daha belirgin hale gelir.

Artezyen basıncı, suyun yüzeye doğru akışını sağlar. Yüzeyin üzerindeki bir açıklık (bir kuyu, bir artezyen kuyusu veya bir sondaj kuyusu gibi) vasıtasıyla yer altı su tabakalarına ulaşılabilir. Yüzeydeki bir kuyunun açılması durumunda, yeraltı suyu genellikle yukarı doğru yükselir ve bu da artezyen basıncının etkisiyle gerçekleşir. Artezyen basıncı, tarım, endüstri, içme suyu temini ve hidroelektrik santrallerde enerji üretimi gibi çeşitli alanlarda yeraltı suyunun kullanılmasında önemli bir faktördür. Bununla birlikte, bu basınç, yeraltı suyunun kontrolsüz bir şekilde çıkması veya kuyu kirliliği gibi sorunlara sebep olabilmektedir ve bu nedenle su kuyularının doğru bir biçimde tasarlanması ve yönetilmesi önemlidir.

12. Sürşarj yükü

Derin kazı yapılırken çevrede bulunan binaların, kazı sırasında kullanılacak ağır makinelerin ve yolların varlığı, sürşarj yükü olarak derin kazı duvarlarının deplasmanlarını, duvar arkası zemin oturmalarını, İksa sisteminin desteklerine gelecek yükleri, duvara gelen maksimum momentlerini ve kesme kuvvetlerini büyük ölçüde etkiler. Sürşarj yükünün aşırı olması veya sonradan artması durumunda bu değerler de artacaktır. Genellikle, sürşarj yükü, duvarın veya yamacın stabilitesini olumsuz yönde etkileyebilir ve ciddi deplasmanlar, hasarlar veya hatta çökme gibi sıkıntılara neden olabilir. Bu nedenle, mühendisler sürşarj yükünün etkilerini minimize etmek için uygun drenaj sistemleri kullanarak veya duvar tasarımında gerekli güçlendirmeleri yaparak önlemler alırlar.



Şekil 2.33: Sürşarj Yükünün Duvara Etkimesi

Duvar arkası dolgusu, çeşitli nedenlerle sürşarj yüküne maruz kalabilir. Yapı, inşaat makinesinin çalışması, ulaşım araçları gibi yükler duvarın arkasında olabilir. Culmann ve Kama Metodu gibi grafik metotlar kullanılarak, bu sürşarj yükünün kama ağırlığına ilave edilmesiyle duvar üzerindeki ilave toprak basıncı hesaplanabilir. Duvarın üzerine etkileyen yükün çizgi, nokta ve şerit yük tipleri için, yükün belirli bir yatay uzaklığından, derinlikten ve yükün şiddetine göre toprak basıncına olan ek etkisi, abaklardan veya yarı ampirik hesaplama tekniklerinden hesaplanabilir. Duvar arkasında zemin yüzeyini tamamen kaplayan bir yayılı yük (q) mevcut ise, z derinliğinde etki eden ek aktif toprak basıncı (2.28) bağıntısı kullanılarak hesaplanır. (Başeski, 2008)

$$\sigma_a = K_a q$$

(2.28)

2.6. Kuyu Temelerde Yer Değiştirme (Deplasman) Hesabı

İksa sisteminde oluşabilecek yatay yer değiştirmelerin sınırlandırılmasında iksa sisteminin kendi stabilitesinin ve etki alanı içindeki mevcut yapıların, yolların stabilitesinin korunması esastır. Bu bağlamda aşağıda sıralanmış olan geoteknik analizler sonucu iksa sistemlerinde oluşabilecek deplasman çeşitleri kazı genelgesi gereğince belirlenmelidir.

- a) İksa-zemin birleşik ortamında oluşan toplam deplasman değeri ve yönü,
- b) İksa sistemi düşey elemanı (kazık, perde vb.) yatay deplasman değeri,
- c) Ankraj kök bölgesi toplam deplasman değeri,
- d) İksa arkasındaki yapıların düşey oturma değeri,
- e) İksa arkasındaki yapılan yatay yer değiştirme değeri,
- f) Kazı çukurundaki taban kabarması (düşey yönde) değeri.

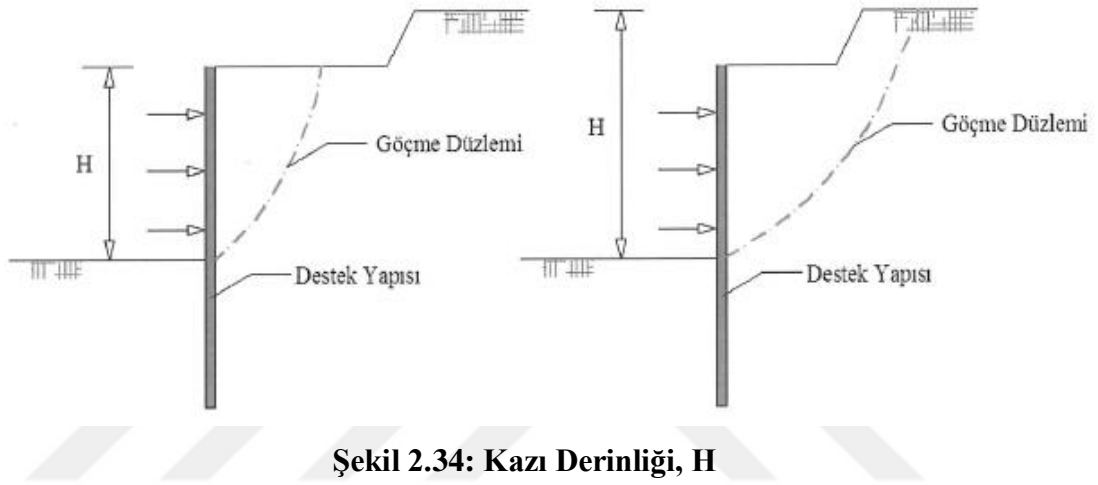
Bu değerlerin kendi stabilitesi açısından izin verilebilir değerlerden küçük olduğu gösterilmelidir.

2.6.1. Hizmet görebilirlik sınır durumu (SLS)

Kazı destek yapıları tasarım ve uygulama esasları Madde 2.10' da belirtilen Hizmet görebilirlik sınır durumu, yapının servis ömrü boyunca yapılış amacına uygun şekilde kalmasını, dış görünüşünün korunmasını sağlamaktır. Bu sebeple, tasarlanan dayanma yapısında oluşan düşey ve yatay yer değiştirmeler, açısız dönme, yapısal elemanlardaki çatlaklar, birim şekil değiştirme vb. değerlerin, izin verilebilir sınır değerler arasında kalmalıdır. Derin kazı tasarımında, izin verilebilir deplasman olarak tanımlanan limit değer hesaplanırken; çevre yapıların mevcut durumları, yapısal özellikleri ve kullanma amacına bağlı olarak hizmet koşulları dikkate alınmalıdır.

SLS hesaplarında dikkate alınacak tüm etkiler, dirençler ve zemin parametreleri için kısmi katsayı setleri 1 olarak kullanılır. Kazı çalışmaları sırasında ve sonrasında iksa sisteminde oluşan yer değiştirmeler ile destek yapısının arkasında kalan ortamda oluşan deformasyonlar sınırlandırılmalıdır. Kazı destek yapısında oluşan sınır deplasman değeri, iksa üst kotu ile nihai kazı kotu arasında kalan yükseklik olan (H) kazı derinliğinin bir oranı olarak belirlenmelidir.

Kazı yüksekliği bakımından kazı yükseklik değeri ile deplasman değeri arasındaki oran %0.1 ila %0.5 arasında olması önemlidir (Ou, 2006).



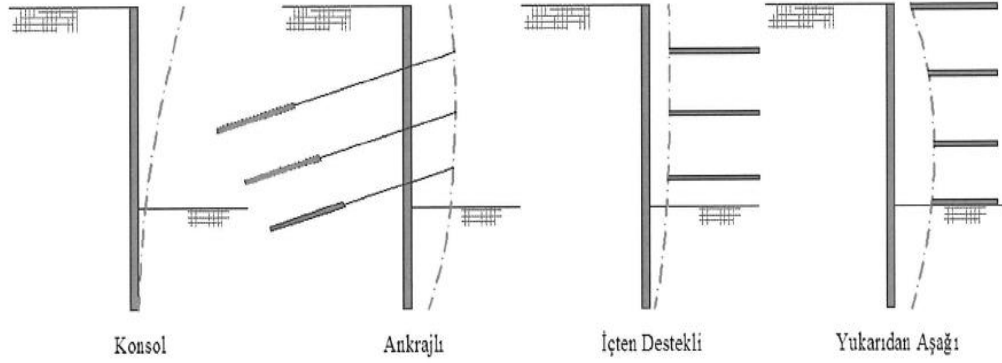
Şekil 2.34: Kazı Derinliği, H

Kaynak: (Kazı Yönetmeliği)

2.6.2. Kazı destek yapılarında gözlemlenen deplasman biçimleri

Destek sisteminin türüne bağlı olarak kazı destek elemanında gözlemlenecek deplasman biçimlerini etkileyen parametreler aşağıda sıralanmıştır.

- i. Çevresel faktörler (sürşarj yükleri, toprak basınçları vb.),
- ii. Zemin tabakalarının mekanik ve fiziksel özellikleri,
- iii. Kazının derinliği,
- iv. iksa sisteminin türü (konsol, ankrajlı vb.),
- v. Destek sisteminin ön germesi,
- vi. Zemin iyileştirme metotlarının uygulanıp uygulanmadığı,
- vii. Yapım metodu,
- viii. Planlanandan fazla yapılan kazı,
- ix. İşçilik kalitesi.



Şekil 2.35: Kazı Destek Yapılarında Gözlemlenen Deplasman Biçimleri

Kaynak: (Kazı Yönetmeliği)

Ankrajlı sistemlerde oluşacak yatay deplasmanlar için genellikle $dx=0.003H$ (Nihai kazı derinliğinin binde üçü) değeri üst limit olarak kabul belirlenmiştir. Ankrajlı kazı destek sistemlerinde bu değeri geçmeyecek şekilde analizler yapılmalıdır. (Kazı destek Madde 2.12.7)

31.08.2018 tarihli 84122464 sayılı genelge madde 1.5.19’da “İksa sisteminin kendi stabilitesi açısından yatay deplasmanı; konsol sistemler için ise nihai kazı derinliğinin en fazla %1’i (yüzde bir) mertebesinde, yatayda desteklenmiş sistemler için ise nihai kazı derinliğinin en çok %0,2.5 ile %0,5’i (binde 2.50 ile binde 5) arasında kalmalıdır.” olarak belirtilmiştir. Söz konusu sistemleri ankraj ile yatay destekli olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle kesitlerde oluşacak yatay deplasmanın nihai kazı derinliğinin en çok % 0.5 mertebesinde olmalıdır. (2018, kazı genelgesi)

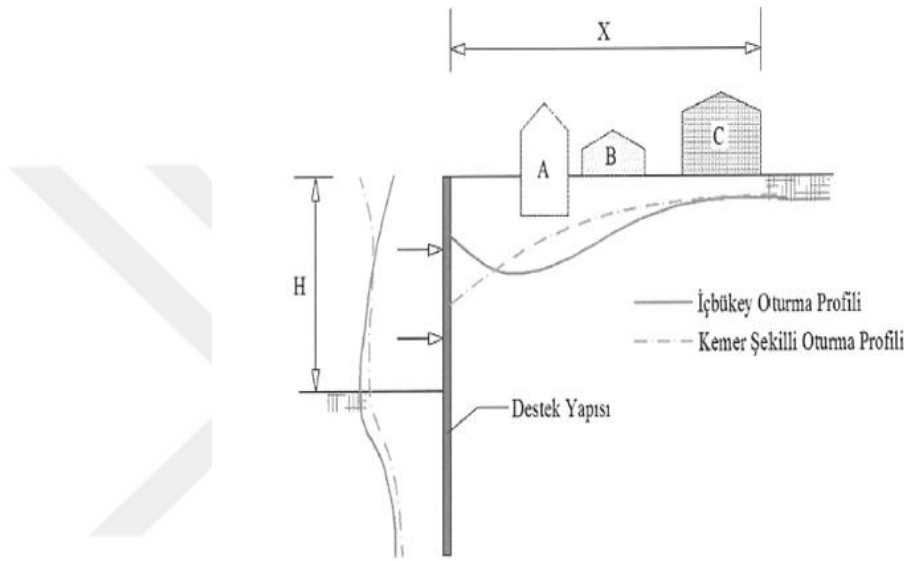
Kazı destek sisteminin yatay deplasman hesaplamaları her kazı kademesi için yapılmalıdır. Uygulama esnasındaki yer değiştirme miktarları ölçülmeli hesaplanan deplasman değerleriyle karşılaştırılmalı ve tehlike arz etmeden önce gerekli tedbirler alınmalıdır. Kazı kademe sırasında bu sınırlara göre belirlenen yer değiştirme miktarları aşıldığı gözlemlenirse, önce yapılan çalışmalar durdurulacak daha sonrasında da iksa sistemi üzerinde aşırı deplasmanı engelleyecek ve göçmeyi önleyecek topuk dolgusu yapılarak iksa sisteminde acil önlemler alınmalıdır.

2.6.3. Duvar arkasında meydana gelen deplasman biçimleri

Geoteknik mühendisler, derin desteklenmiş kazının yakınında bulunan yapı temellerinin oturmalarını incelemektedir. Destekli veya ankrajlı iksa sistemlerinin arkasında bulunan zemin yüzeyinde meydana gelen oturmalar, daha önceki

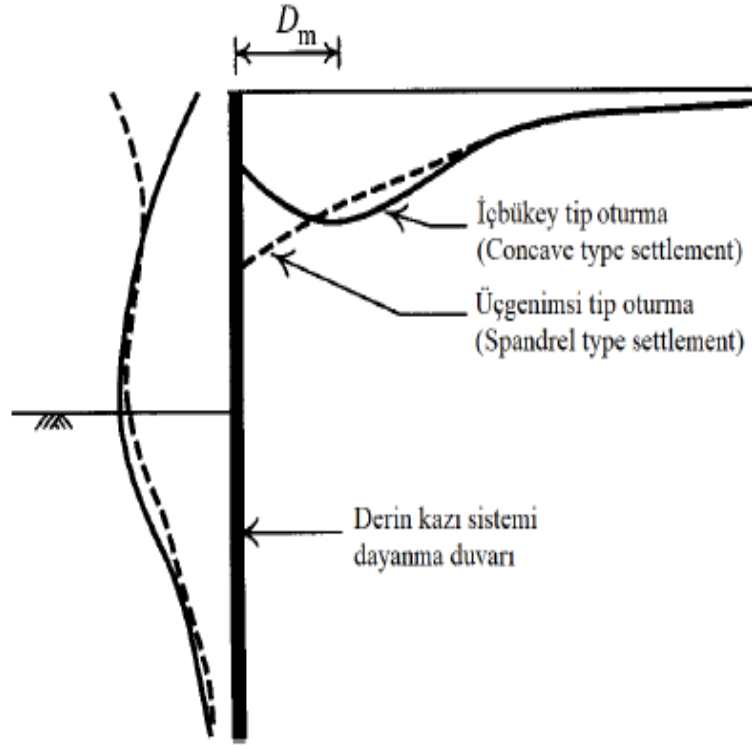
araştırmaların odak noktası olmuştur. Bunun en büyük nedeni, kazı derinliğini ve iksa sistemine olan uzaklığını belirlemektir.

Yapı temellerinin etkilenme mesafesinin kazının derinliğinin üç ila dört katı olduğunu keşfettiler. Bazı araştırmacılar, destekleme sistemlerinin ve duvarların rijitliğinin iksa sisteminin arkasındaki oturmaların nedeni olduğunu belirtmişlerdir. Duvar destek sisteminin bu özelliği, zemin hareketini ikiye katlayabilme etkisine sahiptir.



Şekil 2.36: Destek Yapısında ve Arkasında Gözlemlenen Tipik Deplasman Biçimleri

Hsieh ve Ou (1998) kazı nedeniyle oluşacak duvar arkası zemin oturmalarının içbükey veya üçgenimsi olarak iki kategoriye ayrıldığını belirtmektedir. Şekil 2.39 Her biri, derin kazı duvarının yapacağı deplasmanın Şekline ve büyüklüğüne göre farklıdır. Duvar arkası zemin oturmalarının üçgenimsi (spandrel) bir Şekilde hareket etmesi veya kazının ilk aşamasının diğer aşamalardan daha fazla hareket etmesi mümkündür. Oturma duvarının hemen yanında ortaya çıkacaktır. Duvar içeri yönlü bel verme tipi Şeklinde hareket ederse, duvar arkası zemin oturmaları içbükey tipi olacaktır. (Ou, 2006)



Şekil 2.37: Duvar Arkası Zemin Oturmaları ve Duvar Deplasmanlarının Tipleri

Kaynak: (Ou, 2006, s. 189).

3. KARŞILAŞTIRMA ANALİZLERİNE ESAS YÖNTEMLER

3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Teknolojinin hızla geliştiği günümüzde, sonlu elemanlar yöntemine dayalı bilgisayar paket programları, geoteknik sorunları hızlı bir şekilde çözmek için kullanılabilir. SETAF2018, PLAXIS ve diğer programlar, sonlu elemanlar yöntemiyle kullanılıp zemin ve temel yapısını hızlıca modelleyip deformasyon, gerilme ve göçme gibi durumları önceden görmemizi sağlamak için geoteknik araştırmalarında yaygın olarak kullanılır.

Bu programlar ile yapılan hesaplamalar sonucu çıkan analizlerde problemsiz ve güvenilir sonuçlar elde etmek için, arazi ve laboratuvar çalışmalarında ortaya çıkan yapı ve zemin bilgilerinin programa doğru bir şekilde aktarılması çok önemlidir. Aksi takdirde yanlış inançlar çeşitli yorumları ve değerlendirmeleri ortaya çıkarabilir.

Sonlu Elemanlar Yöntemi, karmaşık ve elle hesaplanması oldukça uzun süren bir sayısal çözüm yöntemidir. Mühendislik sorunlarını kabul edilebilir bir şekilde çözmek için kullanılır. Bu yaklaşımın temeli, bir fiziksel sistemi matematiksel olarak tanımlamaktır. Başka bir deyişle, karmaşık ve değişken geometriye sahip sistemler çok sayıda basit geometriye sahip parçacığa bölünerek ayrı ayrı çözülür. Sığ temeller ve çevreleyen zeminin davranışı yüklenme sırasında ve nihai durumda deformasyon şekillerini ve gerilme dağılımını belirlemek için sonlu elemanlar yöntemi oldukça uygundur. (Ornek ve ark.,2012).

Geoteknik sorunları analiz ederken aynı anda birçok farklı özellik göz önünde bulundurmak oldukça zordur. Her bir ampirik bağıntı, yeni kabuller gerektirir, bu da sorunun gerçek çözümünden uzaklaşmaya neden olur. Bu nedenle, jeolojik ortamları sürekli bir ortam olarak görerek, çeşitli etkiler karşısında nasıl davrandığına dair teoriler fiziksel bir temele dayanmaktadır. Terzaghi (1943) konsolidasyon teorisini geliştirdi ve geoteknik mühendisliğinde bu temele dayanan bir örnek oluşturdu. Bu

teorilerin çoğul olarak diferansiyel denklemlere dayandığından, kapsamlı çözümlere ulaşmak için birkaç basit kabul yapmak gerekir.

Bu yöntem, çoğu pratik durum için yeterli çözüm sağlamaya rağmen, jeolojik ortamların homojen olmayan yapısı, doğrusal olmayan malzeme performansı, gelişigüzel geometrik yapısı, içerdikleri süreksizlikler, malzemenin zaman ve ortamla değişimi gibi karmaşık özellikler nedeniyle problemin çözümüne ulaşamaz. Bu nedenle, geomekanik sorunların analizinde çoğunluğun aynı anda göz önüne alan nümerik analizlerin kopyalanması sağlanmaktadır. Yukarıda ifade edilen teorilerinin çoğu, diferansiyel denklemlerin çözümü için nümerik analiz yöntemlerinin kullanılmasıyla kalıcı olarak kanıtlanmıştır. (Çil, 2007).

Sonlu eleman yöntemi, sürekli bir sistem problemin özelliklerine uygun sonlu elemanlara ayrılır. Bu yöntem, iç ve dış kuvvetlerin enerjisinin çok düşük düzeyde olması ve bu elemanların sınır koşulları, sistem özelliklerinin ve dış yüklerin sürekli veya ani değişimlerin göz önünde bulundurulabilmesidir.

Ek olarak, sürekli sistemdeki tipik bölgelerin boyutlarının azalması, o bölgenin daha kapsamlı bir şekilde incelenmesine izin vermektedir. Sınırın şartlarının probleminin çözümüne göre en son dayanıklılık hesaplarına dahil edilmesi bu yöntemin diğer bir avantajıdır.

Bu nedenle, çeşitli sınır şartlarını sorunla uygularken başlangıçta karmaşık hesapların tekrarlanması gerekmez. Sonlu eleman analizi, geoteknik mühendisliği uygulamaları gerçek durum özeti için adım adım (aşamalı yükleme ve aşamalı kazı) yapılmaktadır.

Analizin sırayla yapılabilmesi önemli avantajları beraberinde getirmektedir.

i) Analizlerde dolgu katmanının eklenmesi veya kaldırılması durumunda, sistemin geometrisi her adımda değişmektedir. Geometride oluşan değişiklik sonlu elemanlar ağına eleman eklenerek veya kaldırılarak modellenmektedir.

ii) Analizlerde zemin katmanları içinde gerilmelerin değişmesi sonucu her bir yükleme kademesinde zemin fiziksel ve mekanik özellikleri değişmektedir (Çetin, 2001).

Aşağıda sonlu eleman analizlerinde uygulanan işlem sırası gösterilmektedir.

- Eleman seçilmesi ve ortamı elemanlara bölme,

- Yaklaşım modelinin (veya fonksiyonun) seçimi,
- Malzemenin bünye davranışı,
- Elemana ait denklemlerinin hesaplanması,
- Eleman denklemlerinin birleştirilmesi yoluyla sistem denklemlerinin hesaplanması
- Sistem denklemlerinin çözülmesi yoluyla birincil bilinmeyenleri keşfetme

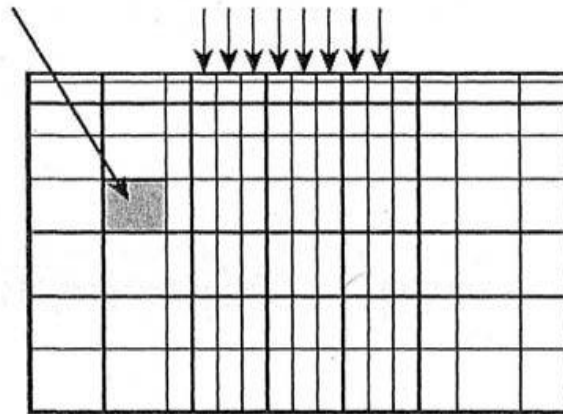
Sonuçların yorumu, birincil bilinmeyenlerden ikincil bilinmeyenlerin hesaplanmasını içerir.

Geoteknik sorunlarda sonlu elemanlar analizi sonucu oluşan gerilmeler, yanal ve düşey hareketler, boşluk suyu basınçları ve zemin suyu akışı gibi faktörler belirlenmektedir. Zemin gerilme-şekil değiştirme yöntemi doğrusal olmayan olduğundan, sonlu elemanlar analizlerinde modellenmesi gerekir.

Bu nedenle, analizler, yapımdan önceki başlangıç gerilme durumunu, zeminin doğrusal olmayan gerilme şekil değiştirmesini ve yükleme aşamaları arasındaki bekleme sürelerini gerçek duruma yakın olarak göstermektedir (Özberk, 2009).

Denklemler bir eleman için yazılır, sürekli bir ortam sonlu elemanlara bölünür ve ardından sistem denklemleri elde edilir. Bir diferansiyel denklem, sürekli bir ortamda lineer bir denklem takımına indirgenir (Şekil 3.1).

Sonlu eleman



Şekil 3.1: Sonlu Eleman Gösterilişi

Kaynak: (Özberk, 2009)

Program geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında gerekli deformasyon ve stabilite analizlerini gerçekleştirmek için tasarlanmıştır. Uygulanan

sonlu elemanların oluşturulmasında deplasman veya yer değiştirme yöntemi kullanılmıştır, bu nedenle deplasmanlar esas olarak bilinmeyen olarak kabul edilir. Sonlu elemanlar yöntemi, bir sürekli ortamı birçok elemana ayırır ve her bir eleman üstündeki düğüm noktaları belirli bir serbestlik düzeyine sahiptir. Deformasyon teorisinde serbestlik derecesi, yer değiştirme unsurlarının derecesine benzer. Bir eleman içinde yer değiştirme vektörü $\{u\}$, herhangi bir noktada $\{u\}$ deplasmanlarının düğüm noktasındaki ifadesi $\{v\}$ ve şekil fonksiyonlarını içeren matris $[N]$ ile gösterilmektedir (Çetin, 2001).

3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemine Dayalı Geoteknik Mühendisliği Paket Programında Kuyu Temel Analizi

Setaf 2018 Programı duvar analizi yaparken bazı aşamaları takip etmektedir. Bu yöntemlerden biri, bağlı basınçlar yöntemi aracılığıyla duvara etki eden basınçları belirlemek için kullanılır. Deformasyon, yapının davranışını gerçekçi bir şekilde modellememizi sağlar. Ayrıca uygun maliyetli tasarımlarda ortaya koymamızda yardımcı olur. Analiz, deformasyonların kademeli gelişimi ve ankrajların sonradan gerilmesi dahil olmak üzere, duvarın aşamalı inşasını doğru bir şekilde hesaba katmaktadır. Yöntem, duvarın etrafındaki zemin veya kayanın ideal olarak elasto-plastik Winkler malzemesi gibi davranması gerektiği varsayımına dayanmaktadır. Daha fazla sınırlayıcı deformasyon ve zemin yatay yatak sayısı (kh), bu malzemenin elastik bölgedeki deformasyonunu göstermektedir. Bu bozulmalar aşıldığında malzeme plastik gibi davranır.

Daha sonra tüm inşaat aşamalarında sayısal analiz modeli geliştirilir. Duvara etkiyen basınçların tespit edilmesi için bir dizi iterasyon yapılır. Matris-Deplasman yöntemi tüm adımları çözer. Son olarak, imalata uygun inşaat aşamaları belirtilir. Tüm inşaat aşamalarını otomatik olarak oluşturma seçeneği vardır. Ayrıca program duvar arkasında farklı arazi tipleri (eğimli, düz) kullanma imkanı sunmaktadır. Duvar arkasında nokta, çizgisel, şerit ve alan tipinde dört farklı sürşarj yükü tanımlanabilir. Yükler tüm inşaat aşamalarında değiştirilebilir birden fazla eklenebilir. Ayrıca tanımlanan tüm inşaat aşamaları için yer altı su seviyeleri değiştirilebilir. Duvar arkasındaki belirli bir zemin kamasının ağırlığı yatay sismik ivme katsayısı ile çarpılarak duvara etkiyen statik eşdeğer deprem yükü belirlenir. Toprak basınçları için bağımlı basınçlar yöntemi geçerlidir. Programda iki tip deprem analizi

bulunmaktadır. Analizler depremli durumda toprak basınçlarını belirleyen teorilerle veya statik eşdeğer deprem yükünü duvara yükleyerek yapılır. Depremli durumda toprak basınçlarını belirlemek için Mononobe-Okabe yöntemi kullanılmaktadır.

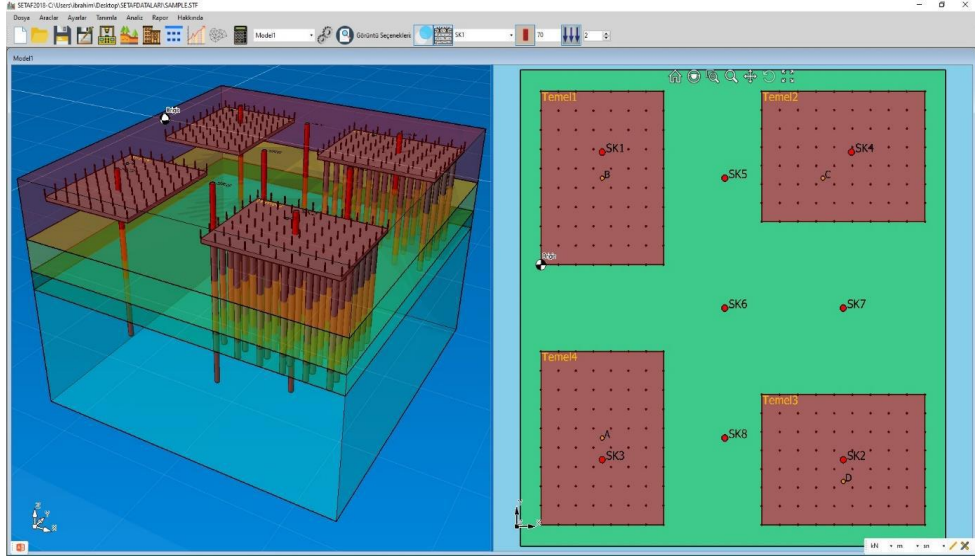
Program tarafından tüm inşaat aşamaları için duvar yer değiştirmeleri, ankraj, çivi, destek kuvvetleri, normal kuvvet, moment ve kesme kuvveti diyagramları oluşturulabilir ve raporlanabilir. Perdeli duvarların çeşitli kalınlıkları için betonarme hesaplamaları yapılabilir ve yönetmeliklerin izin verdiği sınırlar dahilinde eğilme ve kesme donatılarının yeterliliği kontrol edilebilir.

Yönetmeliklere, azaltma katsayılarına ve yerdeğiştirme sınırlarına göre, program tüm SLS ve ULS tasarımlarını düzenler. Duvarın tüm inşaat aşamalarında, SLS tasarımı sırasında yerdeğiştirme kontrolü yönetmelik sınır değerlerine göre yapılır ve raporlanır. ULS Tasarımlarında ise, ankrajlarda ve zemin çivilerinde enjeksiyon gövdesi-zemin arayüzü yenilme kontrolü, çelik halatlı ankrajlarda ve zemin çivilerinde tendon kopma kontrolü, çelik halatlı ankrajlarda tendon-enjeksiyon gövdesi arayüzü yenilme kontrolü, çelik boru desteklerde normal kuvvet + eğilme momenti ve kesme kuvveti etkisinde tasarım "Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik" yapılabilmektedir.

Bu tezde kullanılmak için geliştirilen modeller, Setaf 2018 geoteknik paket program yardımıyla oluşturulmuştur. Kullanılan bu programda veri girişlerinden başlayan ve kuyu temel analiz sonuçlarına kadar olan süreç, aşağıda açıklanmalı görseller ile sıralanmıştır.

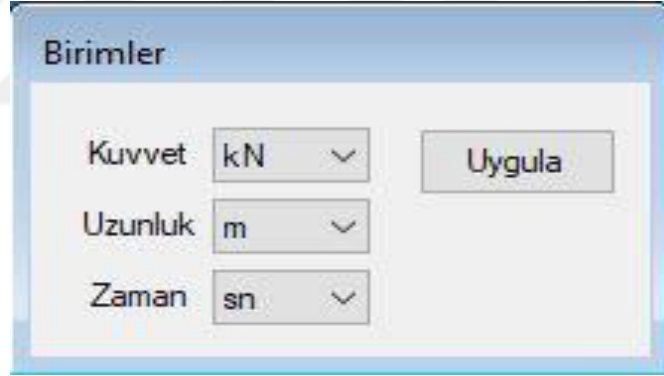
1) Genel Özellikler

SETAF2018 yüzeysel ve derin temel sistemlerinin taşıma gücü ve oturma analizlerini yapan geoteknik hesaplama programıdır. Program sonuçların geoteknik rapor içerisinde değerlendirilmesinin yapılması amacıyla verileri ve analiz sonuçlarını detaylı tablolar, grafikler ve raporlar olarak sunar. Fore kazıklı, ankrajlı, zemin çivili, betonarme perdeli iksaların modellenmesi, çizim ve metrajları yapılabilmektedir.



Şekil 3.2: Setaf 2018 Program Ara Yüzü

SETAF2018'e kullanıcı verileri malzeme, sondaj kuyusu, temel ve dayanma duvarı modeli olarak girer. İlgili penceredeki veriler değiştirilmezse varsayılan olarak kalacaktır. Veri girişleri kullanıcının istediği kuvvet, uzunluk ve zaman birimlerinde yapılabilir. Kullanılan birimler ayarlanabilir.

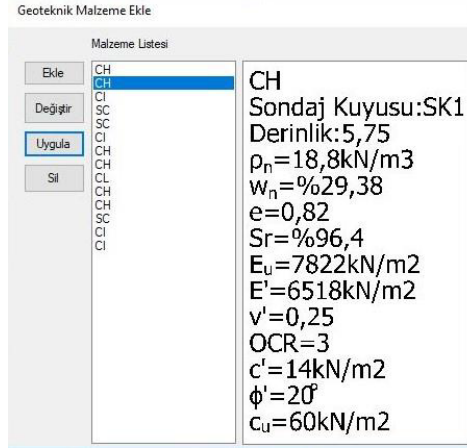


Şekil 3.3: Birimler

Tanımlanan sondaj kuyuları, temeller, dayanma duvarları ve oturma noktaları görüntü ekranında perspektif (3D) ve plan (2D) olarak görülmektedir. Ekrandaki Zoom, zoom sınırlar, zoom pencere, büyüteç, taşı gibi butonlarla model incelenebilir. Aynı program dosyası (.STF) içinde birden çok temel modeli girilebilir. Bir modele de birden çok temel girişi yapılabilir. Dikdörtgen geometrili temeller dilatasyonlu, ayırık veya sürekli olarak modellenebilmektedir. Kazıklı, püskürtme beton, kuyu ve diyafram duvar tipinde betonarme perdeli, çelik halat ankrajlı, zemin çivili dayanma duvarları modellenebilir. Proje çizimleri alınabilmektedir.

2) Malzeme Tanımlanması

Malzeme tanımlanırken, öncelikle hangi sondaj kuyusu ve derinlikten olduğu bilgisi girilir. İstenilen sayıda malzeme tanımlanabilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Geoteknik Malzeme Ekleme

3) Fiziksel Özellikler

Fiziksel özellikler sekmesinde doymun, doğal ve kuru birim hacim ağırlıklar, doğal su muhtevası, likit limit, plastik limit, büzülme limiti vb. fiziksel özelliklerin girişi yapılır (Şekil 3.4).

Fiziksel özellikler sekmesinde;

γ_d : doymun birim hacim ağırlık

γ_n : doğal birim hacim ağırlık

γ_k : kuru birim hacim ağırlık

γ_b : batık birim hacim ağırlık

Geoteknik Malzeme Özellikleri

Sınıflandırma: Malzeme Adı: CH Delgi: SK: 1 Derinlik: 4 m

Filtreleme Korelasyonlar ve Tüm Parametreler Yüzeysel ve Derin Temel Taşıma Gücü (Toplam Gerilme $\phi=0$ Analizi)

Fiziksel Özellikler Mekanik Özellikler İnsutu Korelasyonlar(Konsolidasyon) Korelasyon(Kayma Direnci) Korelasyon(Stifness) Korelasyon(Ku)

Birim Hacim Ağırlıklar:

pd: 18.8 kN/m³ Hesapla

p_c: 18.4 kN/m³ gs.wn.Ron, parametrelerine göre e.n.Sr.Rok.Rod.Rob özelliklerini hesaplar. [Program Bülteni]

p_i: 14.2 kN/m³

p_b: 9 kN/m³

Kıvam Limitleri:

w_n: 30 % I_p: 36 %

w_L: 56 % IL: 0.06

w_p: 20 % Kıvam limitlerine göre İp ve İL hesaplar

w_s: 6 % Hesapla

Çakıl,Kum,Silt gibi Plastik olmayan malzemelerde Bu değerler Sıfır Yazılmalıdır.

Boşluk - Dane Birim Hacim Ağırlık:

e: 0.91

n: 47.58 %

S_c: 91.01 %

ps: 27 kN/m³

İri Daneli Zeminlerde:

D₁₀: 52 %

FC: 12 %

Geçirimsizlik:

k_v: 0.00159 m/sm

k_h: 0.00132 m/sm

Şekil 3.5: Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

w_n: doğal su muhtevası

w_L: likit limit

w_p: plastik limit

w_s: büzülme limiti

I_p: plastisite indisi

IL: sıvılık indisi

Değerleri bulunmaktadır.

Boşluk oranı, porozite, doygunluk derecesi, doygun birim hacim ağırlık, kuru birim hacim ağırlık, batık birim hacim ağırlık, plastisite indisi, sıvılık indisi gibi özellikleri program “Hesapla” butonuyla hesaplayabilir veya isterse kullanıcı belirlediği değerleri girebilir.

4) Mekanik Özellikler

Mekanik Özellikler sekmesinde toplam gerilme, efektif gerilme, konsolidasyon ve kompaksiyon parametreleri girilmektedir. Toplam Gerilme parametrelerinde drenajsız kayma direnci c_u , kayma direnci parametreleri c , ϕ , drenajsız elastisite modülü E_u , drenajsız Poisson oranı ν_u değerleri girilir. Efektif gerilme parametrelerinde kayma direnci parametreleri c' , ϕ' , drenajlı elastisite modülü E' , drenajlı Poisson oranı ν' değerleri girilir. Program E, ν değerlerinden

kayma modülünü kendi hesaplar. Drenajlı veya drenajsız E, v değerleri arasında geçiş “Hesaplama” butonu yardımıyla yapılabilir.

Konsolidasyon özellikleri olarak ön konsolidasyon basıncı, düşey efektif gerilme, aşırı konsolidasyon oranı, sükunette yatay toprak basıncı katsayısı, yatay efektif gerilme, sıkışabilirlik katsayıları Cc, Cr, av, mv, zaman faktörleri t50, t90, konsolidasyon katsayıları t50 ve t90 için cv ve yatay konsolidasyon katsayısı ch girilir. OCR, $\alpha'c$, αv , ,h, arasında “Hesapla” butonlarıyla geçiş yapılabilir.

Şekil 3.6: Malzeme Mekanik Özellikleri Tanımlanması

Malzemenin optimum su muhtevası wopt, maksimum kuru birim hacim ağırlık pkmax taşıma oranı CBR gibi kompaksiyon özellikleri de girilir.

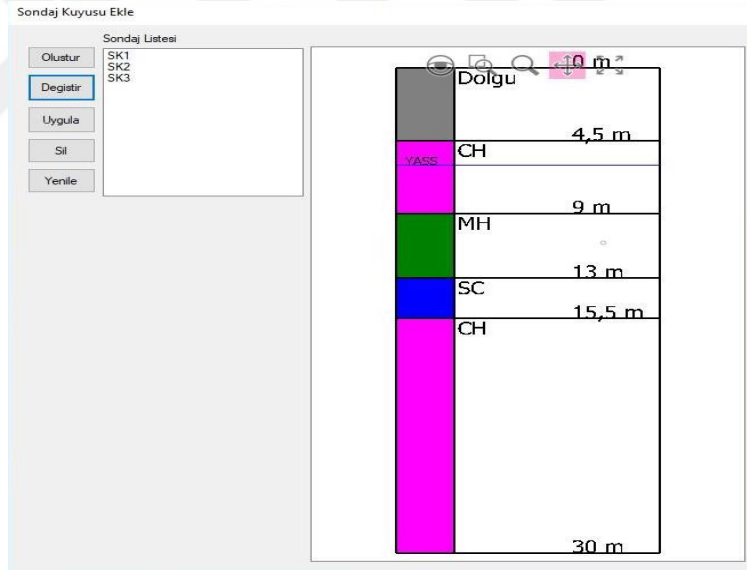
Mekanik özellikler sekmesinde simgeler şunları ifade etmektedir;

- Cu: drenajsız kayma direnci
- c: CU koşullar için toplam gerilmelerle kohezyon
- Ø: CU koşullar için toplam gerilmelerle kayma direnci açısı
- Eu: drenajsız elastisite modülü
- vu: drenajsız poisson oranı
- Gu=G'= kayma modülü
- c': efektif veya drenajlı kohezyon

- ϕ' : efektif veya drenajlı kayma direnci açısı
- E' : efektif veya drenajlı elastisite modülü
- ν' : efektif veya drenajlı poisson oranı
- $\alpha'c$: ön konsolidasyon basıncı
- $\alpha'v$: düşey efektif gerilme
- OCR: aşırı konsolidasyon oranı
- K_0 = sükunette yatay toprak basıncı katsayısı

5) Sondaj Kuyusu Tanımlanması

SETAF2018'de kullanıcı 21 adedi aşmamak üzere sondaj kuyuları tanımlayabilir. Sondaj Kuyularında sınırsız sayıda tabaka girilebilir. Sondaj Kuyusunda SPT(Standart Penetrasyon) ve MPM (Presiyometre) profili de tanımlanmaktadır.



Şekil 3.7: Sondaj Kuyusu Tanımlama

Sondaj kuyuları sondaj numarası, koordinatları ve Y.A.S.S ile tanımlanmaktadır (Şekil 3.7).

Sondaj Kuyusu Özellikleri

Sondaj İsmi: SK 1

Koordinatlar
x: 5
y: 5

Toplam Derinlik: 50 m
Y.A.S.S Kotu: 7 m

Tabakalar SPT Profili MPT Profili

Tabaka Ekle

Tabakalar:
Dolgu
CH
CH
SC
CH

Tabaka Oluştur
Tabaka Değiştir
Tabaka Uygula
Tabaka Sil

Ekle
Uygula
İptal

Şekil 3.8: Sondaj Kuyusu Özellikleri

6) Zemin Tabakası Tanımlanması

Programda Tabakaların tabaka ismi, açıklama, üst kot, alt kot, artezyen basıncı, kılcılık, drenaj koşulları, alt katman sayısı, konsolidasyon gibi özellikler girilir. Konsolidasyon özelliklerinde fazla boşluk suyu dağılımları için seçim yapılır (Şekil 3.9).

Tabaka Özellikleri

Tabaka İsmi: CH
Açıklama: CH KİL
Tabaka Üst Kot: 0 m
Tabaka Alt Kot: 8 m
 Artezyen Basıncı: 0,137 kN/m²

Kılcalık
Y.A.S.S Silt Tabanında veya içinde ise işaretlenir.

Drenaj Koşulları
 Drenajsiz
 Drenajlı

Alt Katman Sayısı: 8

Görüntüleme
Renk: Kırmızı

Konsolidasyon Özellikleri
 Konsolidasyon

Fazla Boşluk Suyu Basıncı Dağılımı

Dağılım 1
 Dağılım 2
 Dağılım 3

Drenaj Yolu Sayısı n = 2

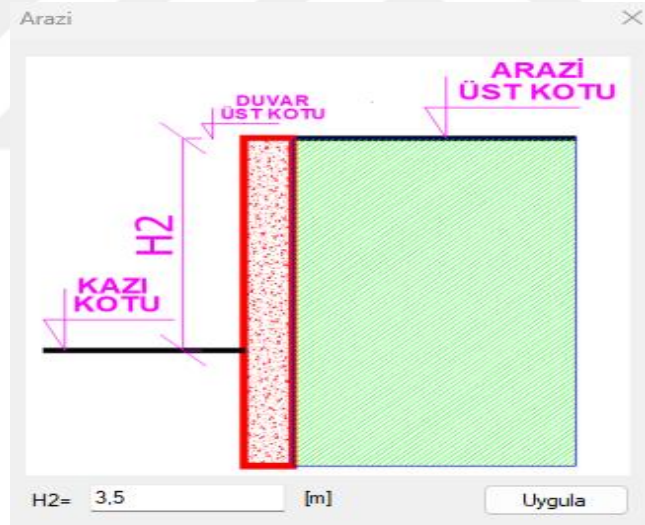
Ekle
Uygula
İptal

Şekil 3.9: Tabaka Özellikleri

Tabaka kotları girilirken global eksen takımına göre girilir. Kotlar girilirken yukarı pozitif aşağı yön negatiftir. Tabaka kotlarında süreklilik sağlanmalıdır.

Şekil 3.11: Betonarme Perde Özellikleri

Betonarme perde özellikleri girildikten sonra arazi şartları seçimine geçilir (Şekil 3.112). Burada arazinin eğimli ya da dikey kazı şeklinde seçilme durumlarına bakılır. Sonrasında yapılacak kazı miktarının yükseklik değeri (m) cinsinden girilir.



Şekil 3.12: Arazi Kesiti

Kazı yüksekliği ve perde detayları belirlenen kuyu temele eklenecek çelik halatlı ankraj detaylarının, yerleşim-boyutlar sekmesi ve mekanik özellikleri Şekil 3.12'de olduğu gibi seçilip gereken değerler girilmelidir. Burada ekranda bulunan simgeler şunları ifade etmektedir;

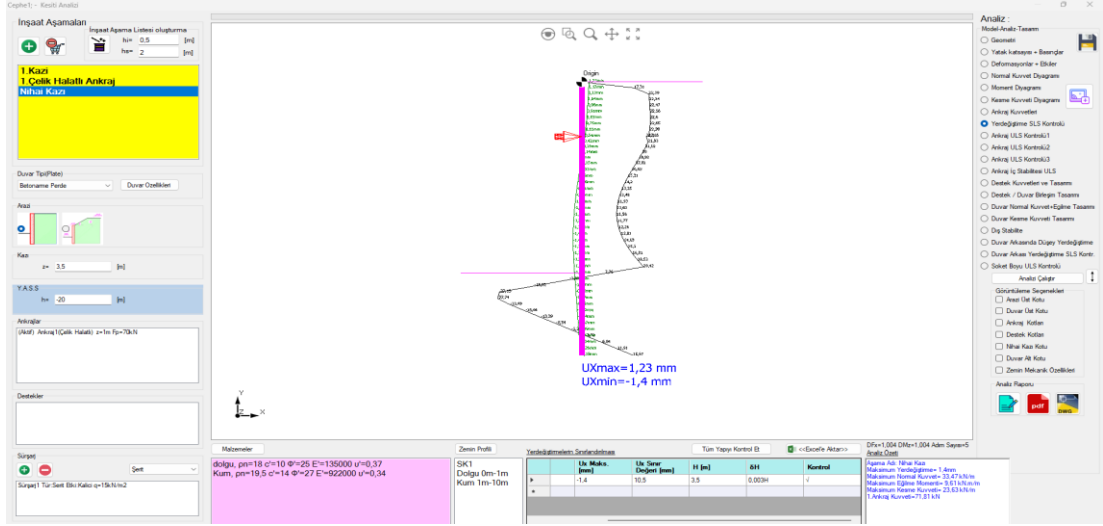
- z = Duvar üst kotundan ankraj kotuna olan mesafe (m)
- S = Yatay aralık (m)
- α = Ankrajın yatayla yaptığı açı (°)

- n = Halat adet
- d_i = Halat çapı (inç)
- d_s = Ankraj çubuk çapı (m)
- d = Ankraj kök bölgesi çapı (m)
- L_s = Ankraj serbest boyu (m)
- L_k = Ankraj kök boyu (m)
- F = Ankraj Öngerme kuvveti (kN)
- E = Çelik halat elastisite modülü (kN/m²)
- V = Çelik halat poisson oranı

Şekil 3.13: Çelik Halatlı Ankraj Detayları

8) Kuyu temel kesit analizi

Veri girişleri tamamlanmış olan kuyu temel kesitinin analiz ekran penceresi bölümlendirilmiş olarak program tarafından (Şekil 3.1.) deki gibi gösterilmektedir. Kuyu temel kesitine etkiyen durumlar ve girilmiş değerler ilgili yerde model olarak kesit çizilmiştir. Program bu pencerede istenilen veri girişlerini revize etme imkânı kullanıcıya sunmaktadır. Sol kısımda bulunan inşaat aşamaları bölümünden manuel ya da otomatik olarak yapılacak inşaat aşamaları kazı yükseklikleri ile birlikte kademeli olarak girilebilir. Sol alt kısımda duvar analizini etki edecek Y.A.S.S seviyesi ve sürşarj durumu, sürşarj miktarı seçildikten sonra analizi çalıştır butonu



Şekil 3.15: Kuyu temel kesitinin Yer Değiştirme SLS Kontrolü

3.3. Yapay Sinir Ağları Yöntemi

Yapay sinir ağları, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkileri ve biyolojik ağların yapılarını taklit ederek doğrusal olmayan ve karmaşık sorunları çözer. Bu, insan beyninin öğrenmesini taklit eder. Bu yöntem, insan beyninin çözemeyeceği karmaşık sorunları çözmek için tasarlanmıştır. Bunun için insan beyninin sınıflandırma, genelleme, öğrenme ve ilişkilendirme gibi işlevlerini kullanarak örneklerden deneyimler edinebilir. Kazanılan deneyimler onları karar verme konusunda etkili yapabilir (Öztemel,2016: 29).

Özetle, yapay sinir ağları, biyolojik sinir ağlarını modelleyen yeni bir algoritma tasarımı kullanmaktadır (Graupe, 2013).

Yapay sinir ağlarının tarihsel gelişimi, 1970 öncesi ve sonrası olarak iki döneme ayrılabilir. 1943 yılında Warren McCulloch ve Walter Pitts, ilk yapay sinir ağı modelini geliştirdi ve ek mantıksal devreler geliştirdi. 1949 yılında Donald Hebb, kendi adı ile anılan "Hebbian Öğrenme" kuralını geliştirdi. "Birlikte tetiklenen nöronlar, birbirlerine bağlanırlar", bu kuramın özetini açıklamaktadır. Hebb'e göre, bir sinir başka bir sinir hücrelerinden veri girdisi alırsa ve her ikisi de aktifse, iki nöron arasındaki ağırlık artacaktır.

Araştırmacılar, 1956 yılında yapay zekânın ortaya çıkmasından bu yana yapay sinir ağları ve makine öğrenmesinden yapay zekâyâ odaklandılar. 1965 yılında makine öğrenmesi ile ilgili ilk kitap yayınlandı, ancak 60'lı yılların sonlarına doğru yapay sinir ağları hakkındaki çalışmalar durmuştu. 1980 yıllarına kadar devam eden

duraklamının ardından 1982'de Hopfield ağlarının geliştirilmesi yoluyla çözülmesi zor sorunlara çözüm sağlanabileceği ortaya çıktı. 1982 yılında çok katmanlı algılayıcılar geliştirilmiştir. Tek katmanlı algılayıcılar sorunları çözme yeteneğine sahip değillerdi. Çok katmanlı algılayıcıların XOR sorununu çözmesi, 1986 yılında Rumelhart tarafından geliştirilen geri yayımlı bir algoritma ile makine öğrenmesi ve yapay sinir ağlarının ilerlemesinde etkin bir rol oynadı. Bu algoritma günümüzde de çok popüler olan bir uygulama haline gelmiştir (Çetinkaya, 2022)

Geoteknik mühendisliğinde yapay sinir ağları ile ilgili daha önceki çalışmalara bakılacak olursa;

Yapay sinir ağları, geoteknik mühendisliği başta olmak üzere birçok mühendislik alanında son zamanlarda daha fazla kullanılmaktadır. Denetimli öğrenme yapay sinir ağlarının en yaygın uygulamaları tahmin ve sınıflandırmadır. Gerçek veriler kullanılarak tahmin, belirli bir değeri tahmin eder. Sınıflandırma, verilerin hangi kategoriye ait olduğunu belirler. (Kim, Phil. (2017).

YSA tekniği, zemin sıkıştırılabilirlik özelliklerinin tahmini, toprak geçirgenliği, şev stabilitesi, yapı stabilitesi ve diğer geoteknik vaka uygulamaları için kullanılabilir (Shahin, Mohamed A. ve ark. 2009).

H. I. Park, toprak geçirgenlik katsayısının öngörücü bir modelini geliştirmek ve test etmek için Kore'deki 21 şantiyede 379 yerinde geçirgenlik testi yaptı. Sinir ağının girdisi, su içeriği, özgül ağırlık, çakıl, kum, silt ve kilin ağırlık yüzdesi, yaş ve sinir ağının çıktısı tarafından belirlenir. Sonuçlar, geçirgenlik katsayısının, silt, çakıl ve kum yüzdesinden öncelikle etkilendiğini göstermiştir. Ek olarak, sahadaki toprağın geçirgenlik katsayısı için basit ve güvenilir bir öngörücü araç olarak ANN modeli geliştirilmiştir. (Park, H. I. , 2011).

Grzegorz Wrzesinski ve Anna Markiewicz (2022), bağıl yoğunluk, boşluk oranı e , etkin toprak çapı d_{10} ve toprak geçirgenlik katsayısı k için yapay sinir ağı kullandı. YSA modeli, bağıl hata $RE = \pm \%4$, bireysel maksimum bağıl hata $RE = \%7,59$ ve regresyon katsayısı $R = 0,97$ ile toprak geçirgenliğini ölçmek için laboratuvar veya saha testleri 16 yapmak için gereken zamanı ve harcamaları azaltır (Wrzesiński, Grzegorz et al., 2022).

Mintae Kim ve ark. (2022), giriş parametreleri olarak kullanılmayan kayma dayanımını (c_u), etkili gerilmeyi (v), standart penetrasyon test sonuçlarını (NSPT),

sıvı limitini (LL), plastik limitini (PL) ve plastisite indeksini (PI) tahmin etmek için bir YSA modeli tasarladı. Daha düşük hata oranları (MAE = 14.64 ve RMSE = 22.74) ve korelasyon katsayısı ($R = 0.83$) beklenen modelin etkinliğini göstermektedir (Kim, Mintae, et al.(2022)).

Van-Ngoc Pham, çimento ile işlenmiş kumlu toprakların basınç dayanımını hesaplamak için bir YSA modeli geliştirdi. Bu çalışmanın önerdiği model, yüksek korelasyon katsayısı ve düşük kök ortalama kare hataları ile doğru ve güvenilir olduğunu gösteren istatistiksel analiz sonuçlarına sahiptir.

Ek olarak, bu araştırmalar YSA yönteminin geoteknik parametreler için büyük bir öngörücü yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni, UCS tahmin modelinin 17 dış kriterle uyumlu olduğudur (Pham, Van-Ngoc ve diğerleri, 2021).

2011'de Heidari, geri yayımlı YSA modellemesinde aktif (W_a) ve pasif (W_p) durumları için korelasyon katsayılarını 0.998 0.997 ile aktif (W_a) ve pasif (W_p) durumları için girdiler olarak kayma direnci açısını, birim hacim ağırlığını, zeminin eğimini, duvarın yüksekliğini ve ortalama kalınlığını kullanarak tahmin etti.

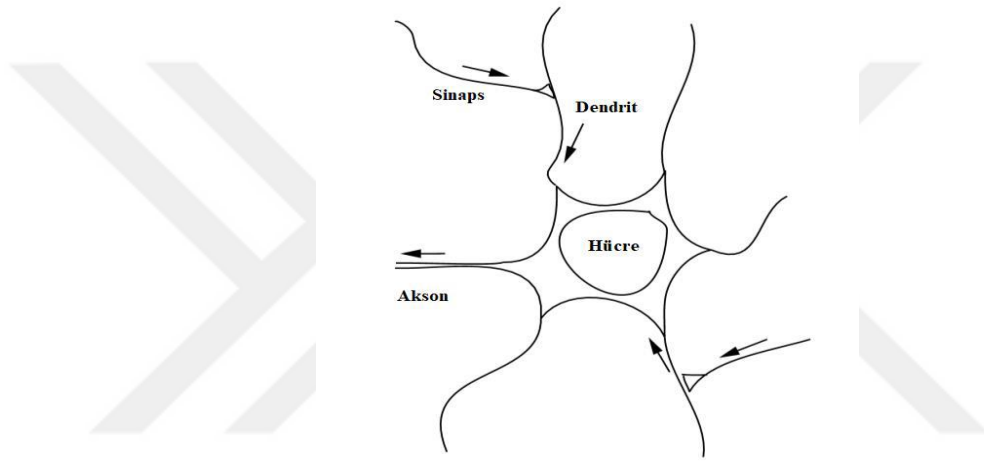
YSA'nın dayanma yapılarında, dizayn, meydana gelecek hareketler (movimientos) ve yanılma analizlerinin tahmini için kullanılır. Bu konuyla ilgili araştırmalar arasında Hutchinson ve diğerleri (1987), toprak dayanma duvarlarının dizaynında YSA'nın sekiz farklı dayanma duvarı türünde kullanılabileceğini göstermiştir. 1995 yılında Arockia-samy ve ark., duvarların tipi ve tasarımıyla ilgili olarak ağırlıktan palplanşa değişen on dayanma yapısı üzerinde çalıştılar.

Biyolojik olarak sinir ağının yapısı açıklanmak istenirse;

Çevrelerinden topladıkları verileri işler ve bilgi oluşturur. Bu bilgileri kullanarak kararlar alabilir ve sorunlara çözümler bulabilir. İnsanlarda öğrenmenin nasıl gerçekleştiği tam olarak bilinmese de, bazı örneklerle somutlaştırılabilir. Buna en iyi örnek, bir bebeğin konuşmayı öğrenmesidir. Bebeklerin konuşma yeteneği yoktur veya sesleri çıkaramaz, ancak zamanla çevresindeki insanlardan kelimeler öğrenir. İlk denemelerinde anlamsız, hatta bazen anlaşılması zor sesler çıkarır. Bu sesler, ifade edilmeye çalışılan kelimenin ne olduğunu anlamak için çok zordur. Bebek, zamanla tekrar edilen kelimeleri anlayabilir ve kolayca ifade edebilir. Gün geçtikçe, bebek söylemek istediği kelimeleri ve diğer kelimeleri daha rahat

söyleyebildiği için konuşmaya başlar. Bu aşamada, anne ya da babanın bebeğe kelimelerin nasıl söyleneceğini öğretmesi, bebeğin konuşmasına en büyük katkıyı sağlar. Bununla birlikte, belirli bir yaşa geldikten sonra, bebek gibi birine yeni duyduğumuz ve anlamlandıramadığımız kelimeleri tekrarlamak ya da öğrenmek için yine de bebek gibi birine anlatması gerekmez. Özellikle, kişi kendi dilinden yeni kelimeleri söyleyebilir. Bu yetenek sayesinde kişinin dili ve beyni artık sonuç üretebilir. Örnekler, "Öğrenme" sürecinin en önemli aşamasıdır (Çakır, 2018: 4-6).

Şekil 3.16 öğrenmeyi gerçekleştiren biyolojik sinir hücrelerinin yapısıdır. Bilgi oklarının gidiş yönüne doğru hareket etmektedir.



Şekil 3.16: Biyolojik Bir Sinir Ağının Gösterimi

Kaynak: (Jan Larsen, 1999: 3.)

İnsan beyninin biyolojik ağları gerçek sinir hücrelerinden oluşur. Sinir hücresi, işleyişin ana merkezi olduğu için tüm hücrelerin birbirine bağlanması gerekir. Hücrenin tüm parçacıkları (akson, sinaps ve dendrit) hücreler arası bağlantılarda görev yapar. Sinapslar, hücre aksonlarının diğer dendritlerle bağlanmasını sağlar. Sinapslar, çeşitli hücrelerden gelen sinyallerin bir hücreden diğerine aktarılmasını sağlar. Hücrelerden hücreye bilgi aktarır. Nöronun hücre çekirdeğinden sinyalleri alır ve sinapslara iletir, dendritler ağaç dalları gibi dallanır. Daha iyi sinyal aktarımı için ince ve uzun aksonlar dendritlere neden olur (Kriesel, 200: 16-18). Bir bağlantı teli olarak algılanabilir (Graupe, 2013: 5).

Tablo 3.1'de gösterildiği gibi, biyolojik sinir ağının yapısı ve yapay sinir ağının bileşenleri birbirine karşılık gelecek şekilde adlandırılabilir.

Tablo 3.1: Biyolojik Sinir Ağı Ve Yapay Sinir Ağının Karşılaştırılması

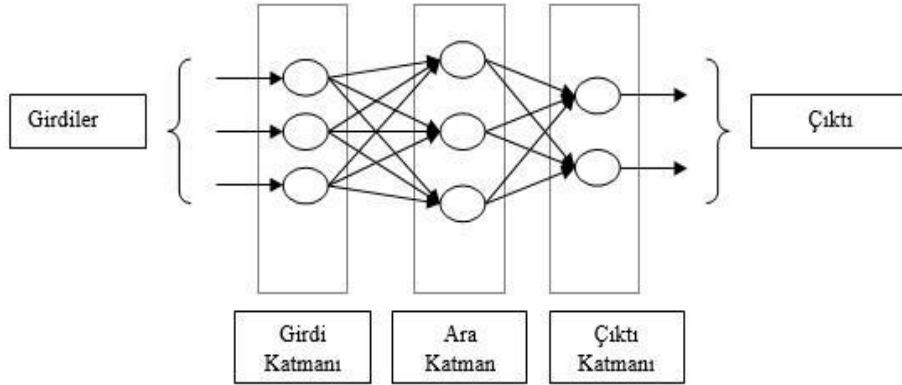
Biyolojik Sinir Ağı	Yapay Sinir Ağı
Sinir Sistemi	Sinir Hesaplama Sistemi
Sinaps	Düğüm (Sinir, İşlem Elemanı)
Dendrit	Sinirler Arası Bağlantı Ağırlıklar
Hücre Gövdesi	Toplama İşlevi
Akson	Sinir Çıkışı

Kaynak: (Çakır, 2018)

Yapay sinir ağlarının yapısı incelenmek istenirse;

Yapay nöronların birbirleriyle bağlantılı olması, yapay sinir ağlarını biyolojik sinir hücrelerine benzer bir hale getirmektedir. Biyolojik sinirsel hücreler gibi, yapay nöronların da girişte sinyallerini alıp toplayıp uygun hale getirdikleri bu sinyalleri çıktılara aktardıkları bölümleri vardır.

Herhangi bir yapay sinir hücresinin beş ana parçası vardır;

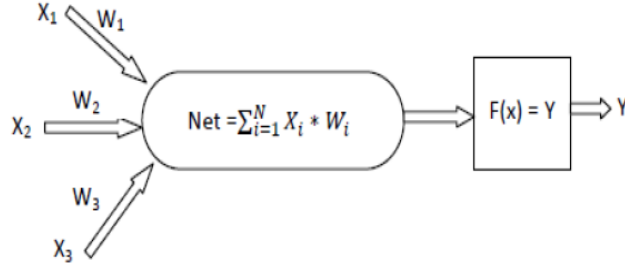


Şekil 3.17: Yapay Sinir Ağları Yapısı

Bu bölümler aşağıdaki gibi isimlendirilirler;

- Girdiler
- Ağırlıklar
- Toplama Fonksiyonu
- Aktivasyon fonksiyonu

- Çıktılardır (Saraç,2004).



Şekil 3.18: Yapay Sinir Hücresinin Yapısı

YSA'lar veri toplar, genellemeler ve bir formülasyon yapar. Hiç bilinmeyen örnekler üzerinde sonuçlara ulaşmak için öğrendiği bilgileri kullanır. Bu bilgi edinme ve özelden genele geçiş özellikleri sayesinde, YSA'lar şu anda çok sayıda bilim alanında geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Ayrıca karmaşık sorunları başarılı bir şekilde çözüme bağlama yeteneğini göstermektedir. (Ergezer, ve ark. 2003).

Yapay sinir ağlarının sınıflandırılmasına bakılacak olunursa,

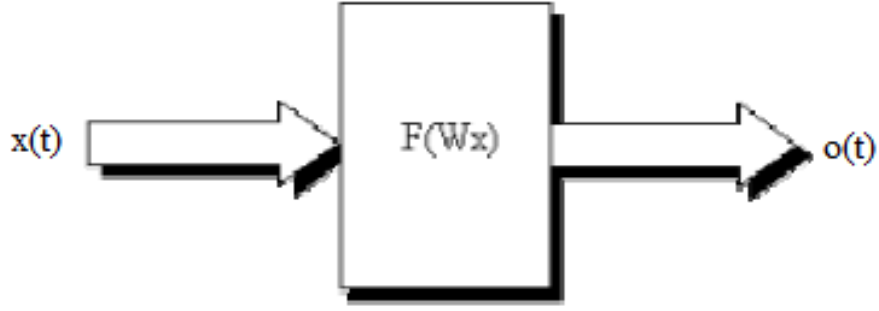
YSA'larda, birbirine bağlı (sinir hücresi) işlemci birimlerinden oluşan ağ yapısı, tüm işlemci birimleri arasındaki bağların yapısına bağlıdır. Hedefe ulaşmak için bağlantılar öğrenme algoritması tarafından değiştirilir. Ağın ağırlığı, hiç hata yapmayan bir öğrenme algoritması tarafından belirlenir.

Mimari opsiyonlarına göre yapay sinir ağları; ileri beslemeli, geri beslemeli olarak 2'ye ayrılır.

1) İleri Beslemeli Ağlar

İşlemci parçaları ve göstergeler, giriş katmanından çıkış katmanına tek yönlü bağlantılar yoluyla ileri beslemeli ağ (İE) katmanlarına ayrılır. İE'ler tek yönlü bir şekilde bir katmandan başka bir katmana hareket ederken, aynı katmanda iken birbirleriyle iletişim kurmazlar. İleri beslemeli ağ için blok diyagram Şekil 3.19'da gösterilmektedir.

İleri beslemeli ağ yapısı, çok katmanlı perseptron ağı (Multi Layer Perseptron-MLP) ve LVQ ağı ile örneklenebilir (Saraç, T. 2004).



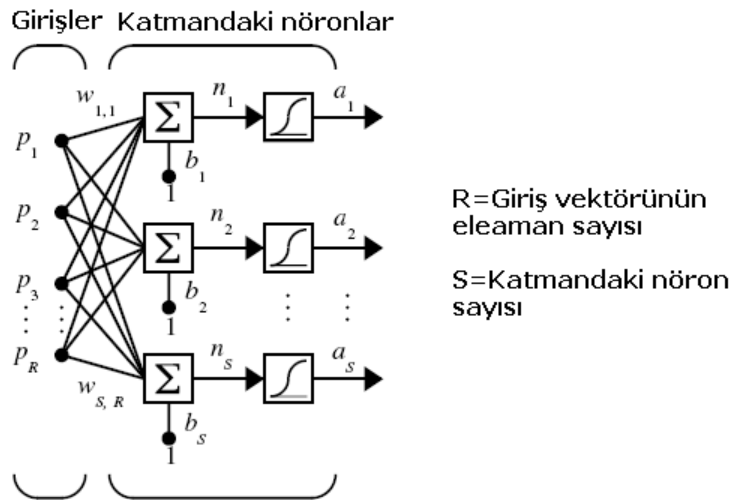
Şekil 3.19: İleri Beslenmeli Ağlar İçin Blok Diyagram

Kaynak: (McCullogh, 1943)

İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları, hücrelerin katmanlar halinde düzenlendiği bir sistemdir. Bir katmandaki hücrelerin çıkışları, ağırlıklar kullanılarak bir sonraki katmana giriş olarak gönderilir.

Giriş katmanı tarafından dışarıdan alınan veriler, orta (gizli) katmandaki hücrelere aynı şekilde aktarılır. Bilginin orta ve çıkış katmanlarında işlenmesiyle ağ çıkışı hesaplanabilir. Bu yapısı nedeniyle, İE'ler nonlinear gelişme ve ilerleme göstermeyen bir işlev gerçekleştirmektedir.

İleri Beslemeli Ağ yapısının orta katmanında uygun sayıda hücre olması koşuluyla, istenilen doğrulukta rastgele bir sürekli fonksiyonu yaklaşılabileceği gösterilmiştir. Bu tür YSA'ların eğitiminde en yaygın geriye yayılım öğrenme algoritması kullanılmaktadır. Bu ağlara başka bir ad da geriye yayılım ağları denir. Şekil 3.20, ileri beslemeli yapay sinir ağlarının yapısını göstermektedir.



Şekil 3.20: İleri Beslenmeli YSA modeli

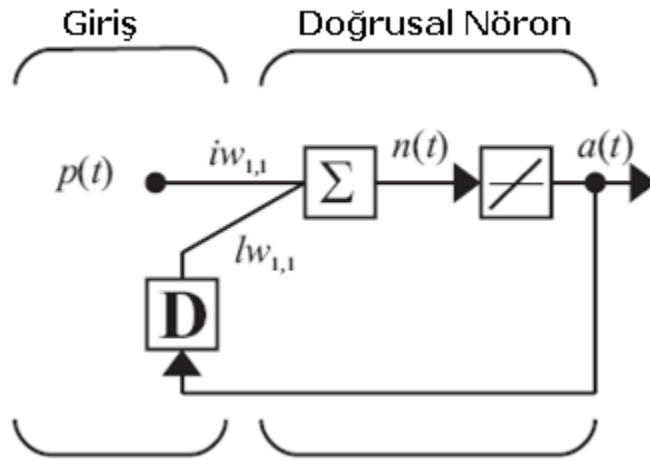
Kaynak: (McCullogh, 1943)

$$\text{NET: } a_j = \sum A_{kj} C_k^i \quad (3.1)$$

j. ara katman elemanına $A_{kj} = k$. girdi katmanı elemanını bağlayan bağın ağırlık değeri, j. ara katman elemanının çıktı parametresi ise bu net girdinin aktivasyon fonksiyonundan geçmesiyle sağlanmaktadır (Oberguggenberger, M., 2004).

2) Geri Beslemeli Ağlar

Bu, YSA yapısına sahip geri beslemeli ağlardaki giriş ve aralardaki katman çıkışlarının giriş birimlerine veya daha önceki ara katmanlara geri beslenmesi anlamına gelir. Böylece girişler ileri ve geri yönde iletilir. Şekil 3.21, geri beslemeli YSA yapısını göstermektedir. Önceden tahmin yapmak için bu sinirsel ağlar etkin belleğe sahiptir. Ayrıca bir andaki çıkış önceki girişleri ve o andaki girişleri gösterir. Hopfield, Elman ve Jordan ağları geri beslemeli ağlara örnektir. Bu ağlar, çeşitli zaman serilerinin tahmininde son derece başarılı olmuştur.



Şekil 3.21: Geri Beslemeli YSA Modeli

Kaynak: (McCulloch ,1943)

Şekil 3.21'de, D (delay) Zaman gecikmesi "D" harfi ile gösterilir ve önceki bilgiyi bellekte tutar. Sonraki çıkış, Yapay Sinir Ağları'nın girişi olarak kullanılır. Geri beslemeli YSA'larda, en az bir hücrenin çıkışı kendisine veya başka hücelere giriş olarak verilen geri beslemeli bir geciktirme elemanı yaygın olarak kullanılır.

Bir katmandaki hücreler arasında geri besleme gerçekleştirilebilir. Bu, katmalar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Bunun nedeni, YSA'nın istikrarsız ve sürekli değişen davranışındır. Sonuç olarak, geri beslemeli YSA yapıları, geri beslemenin yapılış şekline bağlı olarak elde edilebilir. Geriye doğru hesaplama, ağın

tahmin edilen çıktıları ile gerçek çıktı değerini karşılaştırır. Ek olarak, aralarındaki fark hata olarak algılanmaktadır. Ve bu hata düzeltilmelidir.

$E_m = B_m - Ç_m$ değeri, çıktı katmanında m. prosedürün hatasını gösterir. Çıktı katmanında oluşan toplam hata, tüm hataların toplanması yoluyla bulunabilir. Bazı hatalar negatif bir sonuç vereceğinden, toplamın sıfır olmasına izin vermek için ağırlıkların kareleri hesaplanır. Aşağıdaki denklem, toplam hata değerini bulmak için kullanılır.

$$\text{Toplam Hata} = \frac{1}{2} \sum_m E_m^2$$

Toplam hatayı neredeyse sıfıra indirmek için proses elemanlarının ağırlıklarını tekrardan girmek gerekmektedir (Civalek, Ö. Ve ark.,2004).

Doğumdan sonraki gelişim sürecinde insan beyni duyu organları ile çevresinden algıladığı davranışları kendine göre yorumlar ve bu yorumları diğer davranışlarında uygulamak için kullanır. Yaşadıkça büyüyen ve gelişen beyin, çoğu zaman karşılaştığı durumlara nasıl tepki vereceğini bilir. Bununla birlikte, daha önce hiç karşılaşmadığı bir durum karşısında yine de yetersiz kalabilir.

Yapay sinir ağları öğrenirken de dış kaynaklardan girdiler alırlar. Bu girdiler beyin merkezinde incelenir. Yapay sinir ağında da aktivasyon fonksiyonu kullanılarak bir tepki çıkışı oluşturulabilir.

1990'lardan beri çok sayıda öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Üç farklı öğrenme algoritması grubu incelenmektedir.

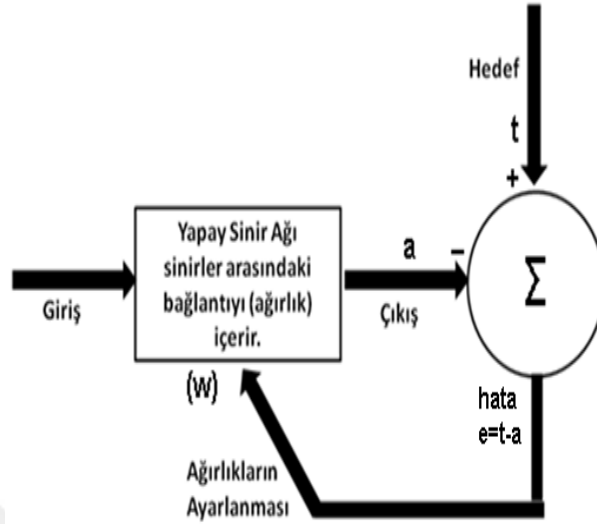
Öğrenme algoritmalarına göre yapay sinir ağları danışmansız öğrenme, danışmanlı öğrenme, takviyeli öğrenme gibi çeşitleri mevcuttur.

Öğrenme algoritmaları incelenmek istenirse,

1) Eğiticili Öğrenme

Eğitici öğrenme, girişleri ağa uyguladıktan ve aktivasyon fonksiyonunu kullandıktan sonra elde edilen çıktıları deneysel çıktılarıyla karşılaştırarak hataları bulma yeteneğine sahiptir. Gerçek çıktıya yaklaşmak için çeşitli öğrenme algoritmaları kullanılarak hata payı en aza indirilecektir. Bu çalışma, yapay sinir ağının ağırlıklarını inceledi. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, hedef her bir çevrimde ağırlıkların yenilenmesi yoluyla elde edilecektir. Amaca yaklaşmanın veya

ulaşmanın ölçüsü de dışarıdan belirlenir. Ağırlıkların güncellenmesi sırasında Ödüllendirme-cezalandırma şeması ağı uygulandığında, eğitici öğrenme hatayı azaltır. Eğitim kümelerinde giriş ve çıkış örnekleri toplanır. (Karaoğlan, S. 2012).



Şekil 3.22: YSA'nın Eğitici Öğrenme İle Eğitilmesi

Kaynak: (Karaoğlan, S. 2012).

Yapay Sinir Ağının ağırlık değerleri gizlenmişse, verilen giriş ve çıkış çiftleri kullanılarak hedefe ulaşılabilir. Öğrenme, ağırlıkların sürekli yenilenmesi yoluyla hedeflenen sonuca ulaşılana kadar geçen süreçtir. Yapay sinir ağı öğrenme süreci tamamlandıktan sonra, önceden verilmeyen girişler verilir ve sinir ağı çıkışı gerçek çıktısıyla karşılaştırılır ve değerlendirilir.

Yeni örnekler de gerçek çıktıyı gösteriyorsa, sinir ağı işi kavramış demektir. Sinir ağına en uygun değerden fazla örnek verilirse, sinir ağı işlemi ezberler. Daha doğrusu, işi tam olarak kavrayamamış demektir. Ağ, genel olarak mevcut örneklerin yüzde sekseni ile eğitilir. Geriye kalan %20'lik kısımda ise ağın davranışını incelemek için bir şeyler yapılır. Başka bir deyişle, ağ incelenmektedir. (McCulloch,1943).

2) Eğitici Öğrenme

Eğitimsiz ve eğitilmiş öğrenme birbirinden farklıdır. Bu tür öğrenme, eğitici öğrenmedeki gibi istenilen y çıkışları içermez. Sonuç olarak, kesin bir hata bilgisi ağın davranışını değiştirmek için kullanılamaz. Öğrenme, soruların doğru ya da yanlış olduğu bilinmediği için girişlerin verdiği yanıtları inceleyerek istenilen

sonuçlara ulaşabilir. Sınıflandırma sorunlarının çözümünde bu teknik daha sık kullanılmaktadır (McCullogh,1943).

3) Takviyeli Öğrenme

Ağın davranışının uygun olup olmadığını belirlemek için öz yetenek bilgisi gereklidir. Bu bilgiler ağırlıkları ayarlamak için kullanılır. Ayrıca deneme-yanılma yöntemi kullanılarak sinir ağı gerçek zamanlı olarak eğitilir.

Yapay sinir ağı çalışma prosedürüne bakılacak olunursa,

Bir sinir ağının temel amacı, bir bilgisayarın birbirine bağlı çok sayıda beyin hücresinin basit ama makul bir şekilde sadık bir şekilde kopyalanmasını sağlamaktır. Bu, bilgisayarın kalıpları tanınmasını, bir şeyler öğrenmesini ve insan düşüncesine benzer bir şekilde kararlar almasını sağlar. Sinirsel bir ağ, açıkça öğrenmek için programlama gerekmez.

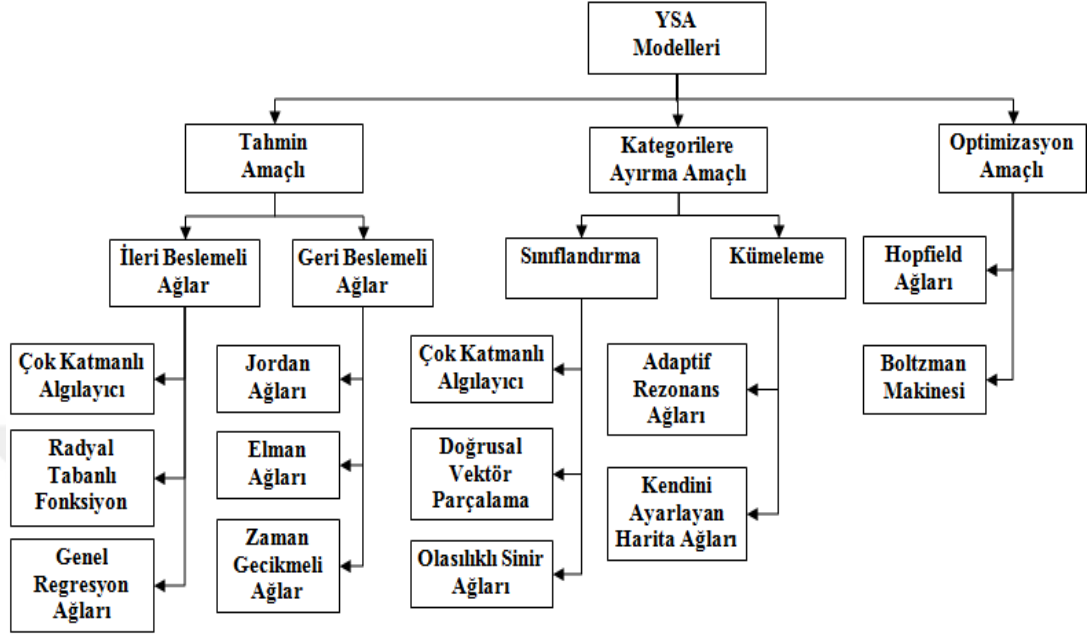
Normal bir sinir ağı, birkaç yüz ila yüzlerce, hatta milyonlarca yapay sinir hücresinden oluşur. Her biri iki taraftaki katmanlara bağlanmış bir dizi tabakadan oluşur. Bazıları giriş birimleri olarak bilinir ve ağları dış dünyadan tanımak, öğrenmek veya başka bir şekilde işlemeye çalışmak için tasarlanmıştır. Ağın karşı tarafında oturan diğer birimler, edindikleri bilgiye nasıl tepki verdiklerini göstermektedir.

Bunlar çıkış birimleridir. Yapay beyin, giriş ve çıkış birimlerinin bir ya da daha çok gizli birim tabakasından oluşur. Çoğu sinir ağları tamamen bağlantılı olduğundan, Her bir giriş ve gizli birim iki tarafa da bağlıdır. Ağırlık sayısı, bir birim ile diğeri arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu sayı pozitif olabilir (bir birim diğeri heyecanlandırır) veya negatiftir (bir birim diğeri absorbe eder veya engeller). Birim ağırlığı arttıkça diğeri daha fazla zarar verir.

Bir sinir ağı bilgiyi iki şekilde taşır. Bilgi kalıpları, öğrenirken (eğitildikten) veya normal olarak (eğitildikten) çalışırken ağa beslenir. Giriş birimleri, gizli birimlerin katmanlarını tetiklemek için kullanıldıktan sonra çıktı birimlerine ulaşır. İleri besleme ağı, bu birlikte geliştirilen tasarımıdır (Havva, 2018).

1960 yıllarından bu yıllara kadar yapılan araştırmalar, çeşitli amaçlar için çeşitli YSA modelleri oluşturmuştur. YSA modelleri, öğrenme algoritmalarına ve mimari yapılarına bağlı olarak farklı veya benzer amaçlar için kullanılabilir. YSA'lar,

tahmin, fonksiyon yaklaşımı, sınıflandırma, kümeleme ve optimizasyon gibi farklı hedefler için kullanılan bir araçtır. Şekil 3.23, YSA modellerinin kullanım amaçlarına göre birçok yapının sınıflandırılmasını göstermektedir.

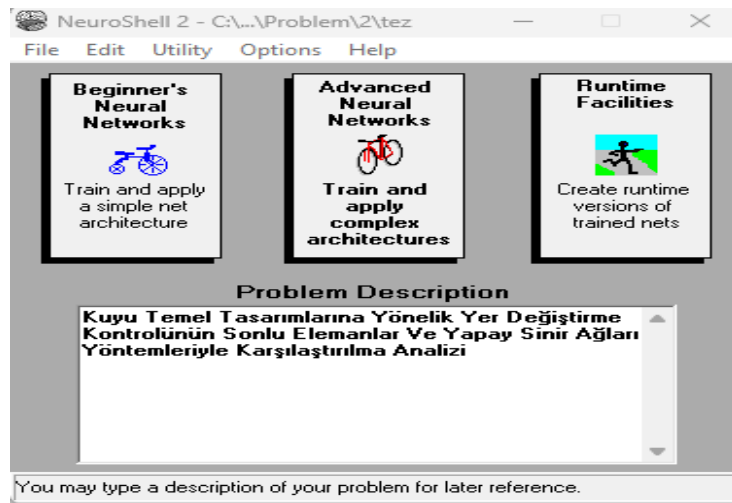


Şekil 3.23: Kullanım Amaçlarına Göre YSA Modelleri

Kaynak: (Hamzaçebi, 2011: 26)

3.4. Yapay Sinir Ağları Yöntemine Dayalı Paket Program Analizi

Bu tez çalışmasının sonucunda karşılaştırma analizleri yapabilmek için geliştirilen modeller, yapay sinir ağları yöntemine dayalı NeuroShell 2 programı aracılığıyla oluşturulmuştur. Bu program özelinde çalışmalarda sekmeler görsel destekli açıklamalar ile aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.24: NeuroShell 2 Ana Menü Penceresi

Ana Menü Penceresi size NeuroShell 2'yi üç farklı şekilde kullanma seçeneği sunmaktadır. 1)The Beginner's Neural Network (Başlangıç Sistemi), 2) Advanced Neural Networks (Gelişmiş Sistem) ve 3) Runtime Facilities (RunTime Sistemi). Her üç sistem de "modüller" adı verilen alt programlardan yapılmıştır ve her modül bir simgeyle temsil edilir.

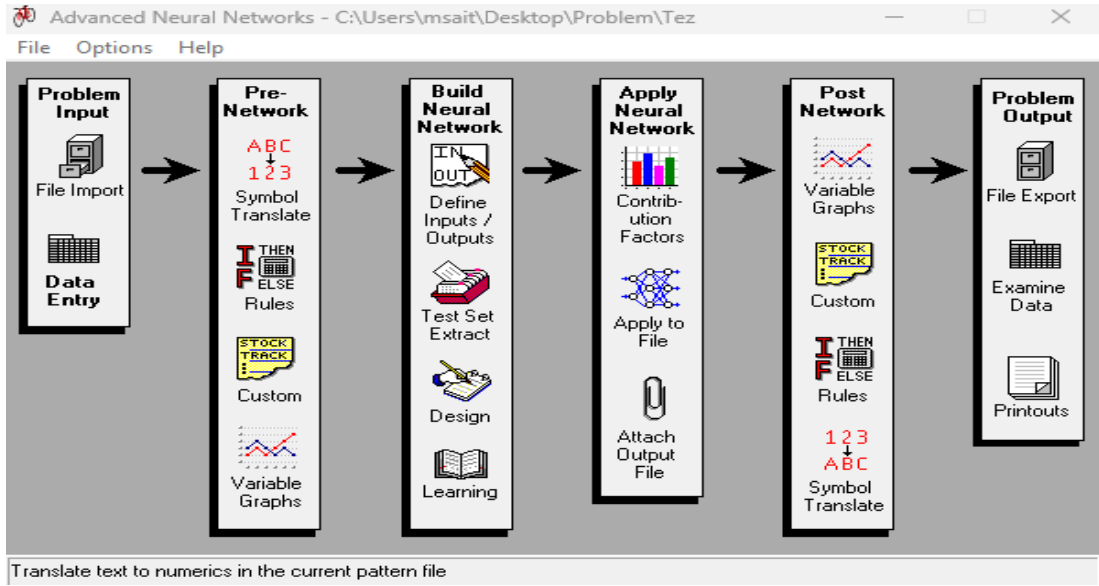
Aşağıda üç farklı kullanım seçeneği açıklanmıştır;

1) The Beginner's Neural Network modülü, Gelişmiş Sistem ile çalışmaktan daha kolay kullanımı olan bir sistemde eksiksiz, güçlü bir sinir ağı uygulaması oluşturmak ve yürütmek için basitleştirilmiş bir prosedürler dizisidir. The Beginner's Neural Network, çok çeşitli problemleri iyi bir şekilde genelleştirme yeteneğine sahip evrensel bir mimari olan üç katmanlı bir geri yayılım ağı kullanır. The Beginner's Neural Network, öğrenme hızı, momentum ve gizli düğüm sayısı gibi ağ parametrelerini önceden ayarlamaktadır. Verileri girdikten sonra, girişleri ve çıkışları belirlersiniz ve ağı eğitirsiniz. Daha sonra eğitilen ağı yeni verilere uygulayabilir ve sonuçları dışarı aktarabilirsiniz. Çoğu kullanıcı ilk olarak Başlangıç Sistemiyle programı tanımaya başlamalıdır.

2) Advanced neural networks, deneyimli sinir ağı kullanıcılarına Beginner's neural networks'a kıyasla daha fazla kullanıcı kontrolüyle çeşitli sinir ağı mimarileri oluşturma ve yürütme yeteneği vermektedir. Bu tez çalışmasında advanced neural networks modülü kullanılmıştır.

3) Runtime Facilities, Bu isteğe bağlı modül, verileri bir Windows Dinamik Bağlantı Kitaplığı (DLL) aracılığıyla işlenmesine olanak tanımaktadır. Bu özellik, eğitilmiş bir NeuroShell 2 Ağını Visual Basic, Access Basic, Pascal, C veya diğer dillerden aramanıza olanak tanımaktadır. Eğitilen ağı, gerçek zamanlı olarak başka bir programdan çalıştırılabilir.

Şekil 3.25'de ki NeuroShell 2 Advanced neural networks ekranı, bir sinir ağı uygulaması oluşturmak için kullanılacak bağımsız modülleri görüntülemektedir.



Şekil 3.25: Advanced Neural Networks Arayüzü

Şekil 3.25’ de ki ara yüzün sütunlarındaki butonlara ait açıklamalar aşağıda sırasıyla verilmiştir;

Problem Input

1. File Import : Bu modül ASCII, İkili ve Elektronik Tablo dosyalarını içe aktarmamıza olanak tanımaktadır.

2. Data Entry : Bu modül, elektronik tablo benzeri bir arayüze veri girmenizi sağlamaktadır. Sonlu elemanlar analizindeki vakalara ait kullanılan değerler ve ilgili sütunlar data entry kısmından veri havuzu oluşturulmaktadır. Sütunlar analizlerde kullanılan parametre isimlerini, satılar girilen değerleri göstermektedir.

Datagrid: C:\Users\msait\Desktop\NeuroShell 2\Örnek.pat

File Edit Format Help

Number of row with variable names (blank if none): left/right arrow keys end edit

First row containing actual training data: Size: 366 row 20 columns

Note: This is not a commercial spreadsheet and may not load fast enough for large files. The NeuroShell 2 Options menü

	A	B	C	D
1	Input 1	Input 2	Input 3	Actual Output
2	27,000000000000	31,000000000000	31,000000000000	8,750000000000
3	27,000000000000	31,000000000000	31,000000000000	8,750000000000
4	28,000000000000	31,000000000000	31,000000000000	8,900000000000
5	28,000000000000	31,000000000000	31,000000000000	8,750000000000
6	29,000000000000	31,000000000000	31,000000000000	8,750000000000
7	30,000000000000	31,000000000000	31,000000000000	8,500000000000
8	30,000000000000	31,000000000000	31,000000000000	8,500000000000
9	30,000000000000	32,000000000000	32,000000000000	9,000000000000
10	30,000000000000	32,000000000000	32,000000000000	8,500000000000
11	30,000000000000	32,000000000000	32,000000000000	8,750000000000
12	30,000000000000	32,000000000000	32,000000000000	8,550000000000
13	31,000000000000	32,000000000000	32,000000000000	8,500000000000
14	31,000000000000	32,000000000000	32,000000000000	8,500000000000
15	31,000000000000	32,000000000000	32,000000000000	8,500000000000

Şekil 3.26: Data Entry Sekmesi

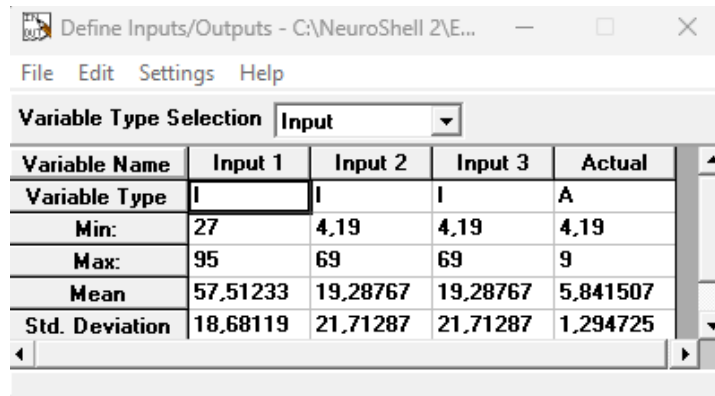
Pre-Network

1. Symbol Translate : Bu modül, alfanümerik verileri veya sembolleri ağ tarafından işlenebilecek sayılara dönüştürmektedir.
2. Rules : Bu modül, verileri ön işlemek için If/Then/Else türü kurallar oluşturmamıza olanak tanımaktadır.
3. Custom : NeuroShell 2 seçeneklerinin bu modülü, ekonomi ve endüstri verilerini işleyebilmektedir.
4. Variable Graphs : Bu modül verileri grafiksel olarak görüntülenmesini sağlamaktadır.

Pre-network sütunu kullanılmamıştır. Sistemimizde eğer koşulu yoktur ve verilerimiz spesifik olduğu için herhangi bir bağlaca sahip değildir. Build Neural Network sütunünden işleme devam edilmelidir.

Build Neural Networks

1. Define Inputs/Outputs : Bu modül, hangi verilerin ağ girişi veya çıkışı olarak kullanılacağını belirlenmesinde kullanılır. Settings bölümünden compute min ve max tuşu yardımıyla maksimum ve minimum değerler hesaplanabilmektedir. Ortalama standart deviasyonu program kendisi otomatik olarak hesaplamaktadır.



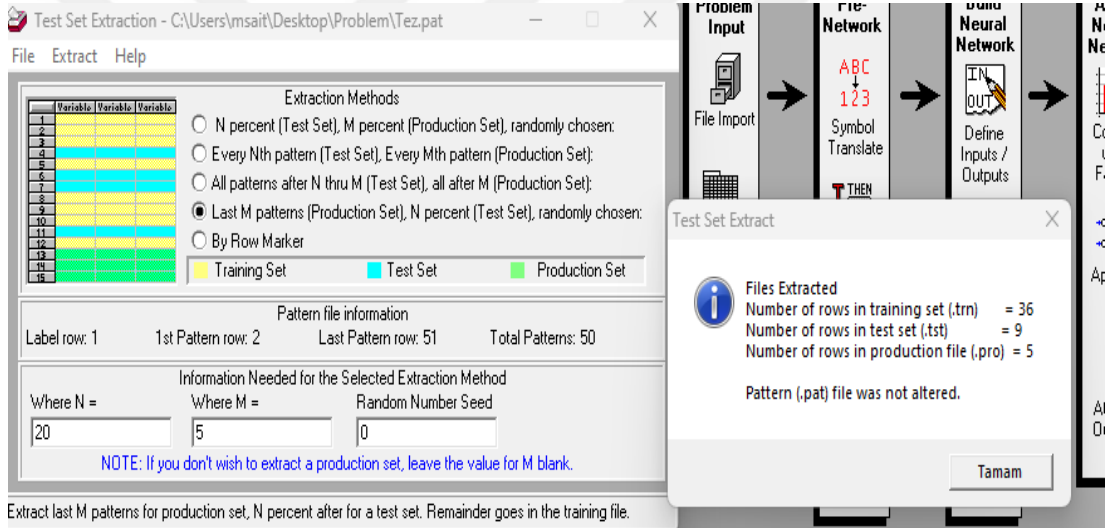
Variable Name	Input 1	Input 2	Input 3	Actual
Variable Type	I	I	I	A
Min:	27	4.19	4.19	4.19
Max:	95	69	69	9
Mean	57.51233	19.28767	19.28767	5.841507
Std. Deviation	18.68119	21.71287	21.71287	1.294725

Şekil 3.27: Define Inputs/Outputs Sekmesi

2. Test Set Extract : Bu modül, bir test veri setini ve/veya bir üretim (doğrulama) veri setini eğitim verilerinden ayırmaya olanak tanımaktadır. Eğitim modellerinden bir Test Set ve/veya Production Set verisi çıkarmak için bu modülü kullanılır. Test Set, ağların aşırı eğitilmesini önleyen ve böylece ağların yeni veriler üstünde olumlu bir şekilde genelleme yapmasını sağlayan kalibrasyon ile birlikte kullanılabilir. Test Set Extract, Kalibrasyon, Geriye Yayılım, PNN, GRNN ve

GMDH gibi mimari ağlarıyla birlikte kullanılmaktadır. Üretim Seti, ağıın sonuçlarını ağıın daha önce hiç "görmediği" verilerle test etmek için kullanılabilir. Test setleri, eğitim sırasında ağıın genelleşme kapasitelerini test etmek için kullanılan bir dizi modeldir. Bunu yaparken, eğitim süreci her önceden belirtilen ve değişken eğitim iterasyon sayısını (kalibrasyon aralığı) geçici olarak durdurur ve eğitim setinin ortalama hatasını hesaplar. Üretim dizisi, daha önce ağa maruz kalmamış ve eğitilmiş bir ağıın performans değerini test etmek için kullanılmış bir dizidir.

5 adet extraction metotları bulunmaktadır. Last M patterns production set ile araştırılması istenen yani tahmin ettiği vaka sayıları yazılır. N percent test set kısmına veri girdilerinden teste girilmesi istenen yüzde belirtilir. Random number seed kısmı boş bırakılarak geri kalan girdilerin eğitime girilmesi sağlanır. Extract kısmından veriler eğitime girilmek için ilgili bölmelere ayrılmaktadır.



Şekil 3.28: Test Set Extraction Sekmesi

3. Design : Bu modül, bir öğrenme paradigması, mimari ve ağı eğitim parametrelerini seçerek bir mimari ağı tasarlanmasına olanak tanımaktadır.

Backpropagation networks (Geri yayılım ağları), çok çeşitli problemler üzerinde iyi genelleme yapma yetenekleriyle bilinir. Backpropagation networks (Geri yayılım ağları), örneğin hem giriş hem de çıkışlarla eğitilmiş, denetlenen bir ağı türüdür. Örüntü sayısına bağlı olarak eğitim diğer paradigmalara göre daha yavaş olabilir. Backpropagation networks (Geri yayılım ağları), çalışan sinir ağı uygulamalarının büyük çoğunluğu için kullanılmaktadır çünkü iyi genelleme eğilimindedirler. Backpropagation networks (Geri yayılım ağları) kullanırken her çıkış için ayrı bir ağı oluşturarak ağıın hassasiyetini artırabilmektedir.

NeuroShell 2, Geriye Yayılım ağlarının birkaç farklı varyasyonunu sunar:

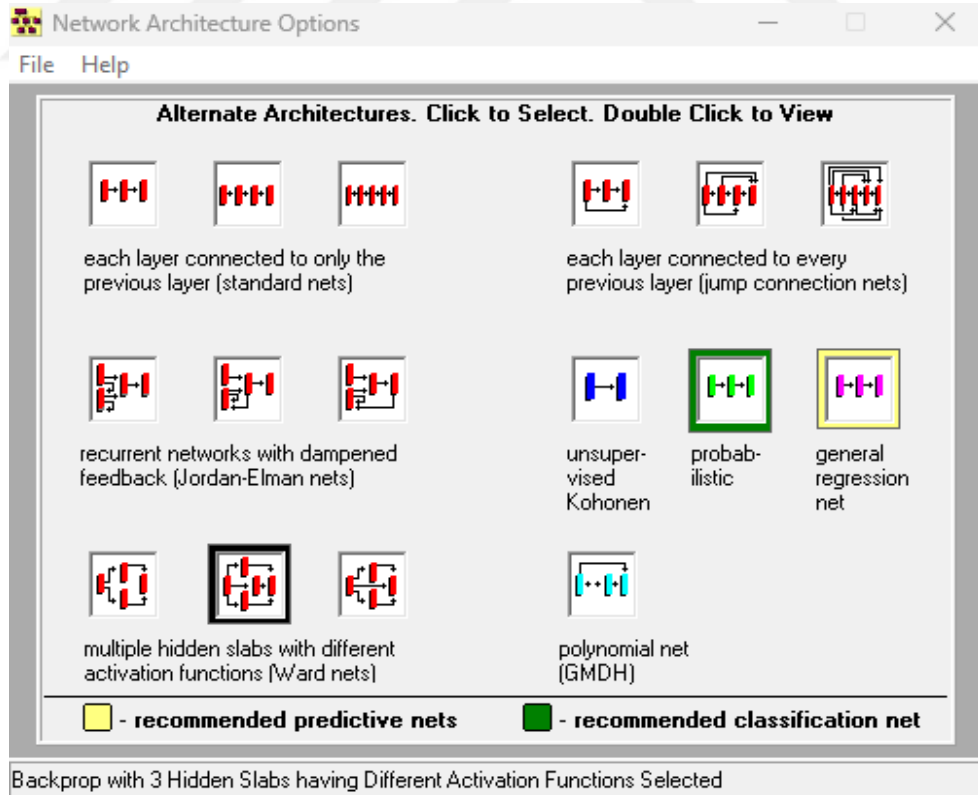
a. Her katman bir önceki katmana (3, 4 veya 5 katmanla) bağlanır. Kalibrasyon kullanıyorsanız 3'ten fazla katmanın kullanılması nadiren gerekli olur. 5'ten fazla katmanın kullanılması asla yapılmamalıdır çünkü 5'ten fazla katmanın bilinen bir faydası yoktur.

b. Her katman önceki katmanların her birine bağlanır (3, 4 veya 5 katmanla).

c. Giriş, gizli veya çıkış katmanından gelen sönümlenmiş geri bildirimle sahip tekrarlayan ağlar. Bunlar zaman serisi verileri için mükemmeldir.

d. Birden fazla gizli dökemeye sahip koğuş ağları. Farklı gizli dilimlere farklı aktivasyon fonksiyonları verildiğinde, bu ağlar çok güçlüdür çünkü gizli katmanlar giriş vektörlerinin farklı özelliklerini tespit eder. Bu, çıktı katmanına verilerin farklı "görünümlerini" verir.

Şekil 3.29' deki beş farklı öğrenme paradigması türü arasından seçim yapmak için aşağıdaki mimari yapılardan bir tanesi seçilir. Her bir mimari yapı istenen başarı oranını yakalama sürecine kadar teker teker denenmelidir.

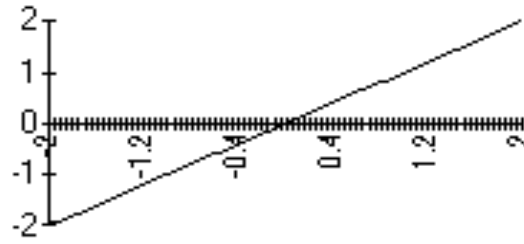


Şekil 3.29: Network Architecture Options Sekmesi

Mimari yapı seçildikten sonra yapay sinir ağlarındaki öğrenme linkleri ve bağlantılar arası aktivasyon fonksiyonlarının seçimleri Şekil 3.31’de tanımlanır.

Scale function- Linear (Doğrusal): Bu fonksiyonun kullanımı genellikle çıktı katmanıyla sınırlı olmalıdır. Kategorileri temsil eden çeşitli çıktıların aksine, çıktının sürekli bir değişken olduğu problemler için kullanışlıdır. Kategoriler için lojistiğe bağlı kalın. Doğrusal fonksiyon ağı gücünü bir miktar azaltsa da bazen ağı çıkış ölçeğinin minimum veya maksimumuna yakın daha fazla hatayla çıktı üretmesini engeller. Başka bir deyişle sonuçlar ölçek genelinde daha tutarlı olabilir.

Bunu kullanırsanız, daha küçük öğrenme oranlarına, momentumlara ve başlangıç ağırlık boyutlarına sadık kalın. Aksi takdirde ağ giderek daha büyük hatalar ve ağırlıklar üretebilir ve dolayısıyla hatayı asla düşüremez. Çıkış katmanına gelen çok sayıda bağlantı varsa, oluşturulan toplam ağırlık toplamı yüksek olacağından doğrusal aktivasyon işlevi genellikle aynı nedenden dolayı etkisizdir.



Şekil 3.30: Linear Scale Function Eğrisi

Verileriniz için hangisinin en iyi sonucu verdiğini görmek için doğrusal ölçeklendirme yöntemlerini kullanılmalıdır. Varsayılan ölçeklendirme işlevi doğrusal olan $[-1, 1]$ 'dir.

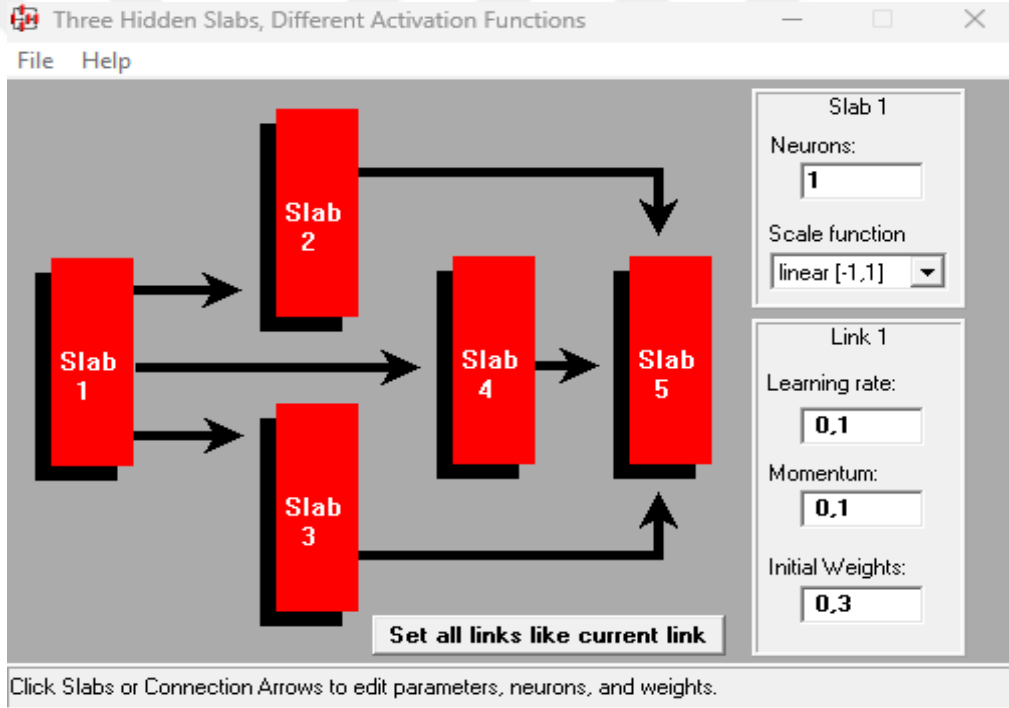
Learning rate: Ağa bir model her sunulduğunda, bir çıkış düğümüne giden ağırlıklar, aynı modelin bir sonraki sunumunda daha küçük bir hata üretmek için gereken yönde öğrenme sırasında hafifçe değiştirilir. Ağırlık değişikliğinin miktarı, öğrenme oranının hatayla çarpımıdır. Örneğin öğrenme oranı 0,5 ise ağırlık değişimi hatanın yarısı kadardır. Öğrenme oranı ne kadar büyük olursa, ağırlık değişiklikleri de o kadar büyük olur ve öğrenme o kadar hızlı ilerler. Öğrenme oranı çok büyükse salınım veya yakınsama meydana gelebilir.

Momentum: Büyük öğrenme oranları genellikle ağırlık değişimlerinde salınımlara neden olur ve öğrenme hiçbir zaman tamamlanmaz veya model optimum olmayan bir çözüme yaklaşır. Salınım olmadan daha hızlı öğrenmeye izin vermenin

bir yolu, ağırlık değişimini önceki ağırlık değişiminin bir fonksiyonu haline getirerek yumuşatma etkisi sağlamaktır. Momentum faktörü, yeni ağırlık değişimine eklenen son ağırlık değişiminin oranını belirler.

Weights: Geri yayılım ağlarında nöronlar değerleri ağırlık bir katmanından sonraki katmana aktarırken, değerler, nöronlar arasındaki bağlantı kuvvetlerini temsil eden bağlantıdaki bir ağırlık değeriyle değiştirilir. Mimari ve Parametreler modülünde ağ tasarlanırken ağırlıklar, modülde belirtilen aralıkta yer alan rastgele sayılar olarak başlar.

Her model ağıdan geçerken, bağlantıyı olumlu yönde güçlendirmek için ağırlık artırılır. Bir bağlantıyı olumsuz yönde güçlendirmek veya engellemek için ağırlık azaltılır.



Şekil 3.31: Mimari Ağ Aktivasyon Fonksiyonu Seçenekleri

Aktivasyon fonksiyonları seçiminden sonra geri beslemeli ağı eğitimi kriterlerine ait seçim modları Şekil 3.31’ de gösterilmiş olup aşağıda açıklamaları yapılmıştır.

Pattern Selection

Rotation (Döndürme) : Bu seçenek, eğitim modellerini PAT dosyasında veya Kalibrasyon kullanılıyorsa TRN dosyasında göründükleri sıraya göre seçmektedir.

Benzer eğitim desenleri eğitim seti boyunca eşit şekilde dağıldığında kullanılması faydalıdır.

Random (Rastgele) : Bu seçenek eğitim modellerini rastgele seçer ancak her modelin eşit sayıda seçileceğini garanti etmez. Eğitim seti döngüsel modeller içerdiğinde (mevsimsel değişimleri takip eden satış rakamları gibi) ve ağırlık, kümelenmiş veri modellerinden bağımsız olarak yanıtlar vermesini istediğinizde kullanılması faydalıdır.

Genel olarak konuşursak, ikili problemlerde rotasyonel model seçimini kullanmalı ve finansal problemler gibi sayısal çıktıları olan karmaşık problemler rastgele seçim kullanmalıdır. Bunlar kurallardan ziyade yönergelerdir ve kullanıcının belirli bir uygulamada hangisinin en başarılı sonucu ortaya koyduğunu görmek için farklı kombinasyonlar denemesi gerekir.

Sıra önemli olduğundan tekrarlayan ağırlıkların rotasyonla eğitilmesi gerekmektedir.

Weight Updates

Vanilla: NeuroShell 2'nin geri yayılım algoritması, kitaplarda görünen basit vanilya algoritması değil, Ward Systems Group'un hız ve doğruluk için değiştirdiği bir algoritmadır. Bu durumda vanilya, ağırlık güncellemelerine bir öğrenme oranının uygulandığı ancak momentum teriminin uygulanmadığı anlamına gelir.

Momentum: Ağırlık güncellemeleri yalnızca öğrenme oranının gerektirdiği değişikliği içermez, aynı zamanda son ağırlık değişikliğinin bir kısmını da içerir. Fizikteki momentum gibi, yüksek momentum terimi de ağırlık genel olarak gittiği yönde ilerlemesini sağlayacaktır. Başka bir deyişle ağırlık dalgalanmaları yüksek momentum terimiyle sönümlenme eğiliminde olacaktır. Son derece gürültülü veriler için veya yüksek öğrenme hızı istediğinizde yüksek momentum kullanılmalıdır.

TurboProp: Bu, "toplu" modda diğer Geriye Yayılım yöntemlerimize göre çok daha hızlı çalışan bir eğitim yöntemidir ve öğrenme hızına ve momentuma duyarlı olmaması gibi ek bir avantaja sahiptir. Ağırlıklar güncellenmeden önce eğitim tüm bir dönem boyunca devam eder. Tüm ağırlık değişikliklerini ekler ve bir dönemin sonunda ağırlıkları değiştirir.

Turboprop yöntemi, tüm ağırlıklar için geçerli olan tek bir öğrenme oranı ve momentuma sahip olan olağan yöntem yerine, her farklı ağırlık için bağımsız bir ağırlık güncelleme boyutunu kullanır. Ayrıca adım boyutları, öğrenme ilerledikçe uyarlanabilir şekilde ayarlanır. TurboProp'un kullanımı diğer yöntemlere göre daha basittir çünkü kullanıcının öğrenme hızını ve momentumunu ayarlamasına gerek yoktur.

Genel olarak konuşursak, öğrenme hızı ve momentum doğru ayarlanırsa momentum ağırlığı güncellemeleri hız açısından TurboProp'tan daha iyi çalışabilir, ancak momentum açısından her zaman işe yaramayabilir.

Ancak öğrenme hızı ve momentum için doğru değerleri bulmakta sorun yaşıyorsanız TurboProp'u kullanımı sağlıklı sonuçlar verebilir.

Automatically Save Training On

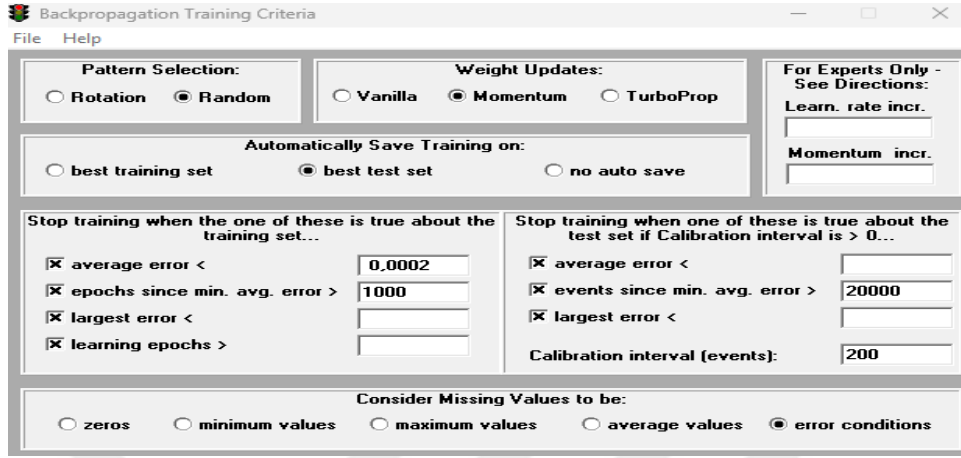
Best Training Set (En İyi Eğitim Seti): Eğitim seti için yeni bir minimum ortalama hataya ulaştığında ağı kaydeder. Kalibrasyon kullanılmıyorsa bu seçenek kullanılabilir. (Bu seçeneği kullanırken, minimum ortalama hata hesaplamaları her dönemin sonunda yapılır.)

Best Test Set (En İyi Test Seti) : Test seti için yeni bir minimum ortalama hataya ulaştığında ağı kaydeder. Kalibrasyon kullanılıyorsa bu seçenek seçilmelidir. (Test seti için hesaplamalar, belirtilen sayıda olay sonunda yapılır.)

Kalibrasyon kullanıldığında ağ, test aralığı için belirtilen olay sayısında test setine uygulandıktan sonra test setindeki veriler için ortalama karesel hatalar hesaplanır. Ortalama karesel hata önceki herhangi bir ortalama karesel hatadan küçük olduğunda, En İyi Test Seti'ni seçtiyseniz ağ otomatik olarak kaydedilir.

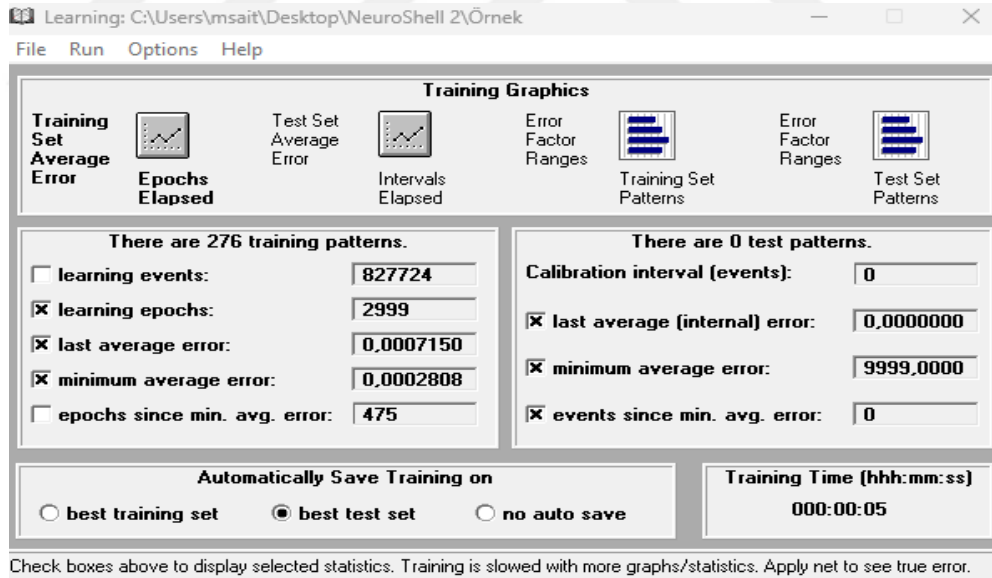
No Auto Save (Otomatik Kaydetme Yok) : Ağı kaydetmez. Ağın sürekli olarak yeni minimum hatalar bulduğu başlangıçta eğitimi hızlandırmak için bu seçenek kullanılabilir, ancak modülü kapatmadan önce ağı kaydetmeniz gerekir. Yeni minimum hatalar daha az sıklıkta bulunduğu, Otomatik Kaydetme Yok seçeneğini kapatmak ve En İyi Eğitim Seti veya En İyi Test Seti'ni seçme şansını doğmaktadır.

Consider Missing Values to be: Error conditions butonu sayesinde tahmin edilemeyen verilerin hata koşulu dikkate alınmış olup beklenilenden farklı çıkan sonucu belirli bir yere yaklaştırmaya çalışılmaktadır.



Şekil 3.32: Backpropagation Training Criteria

4. Learning : Bu modül ağı eğitmek için kullanılmaktadır. Şekil 3.32’de öğrenme sırasında ortaya çıkan veriler hakkında görsel ve aşağısında açıklamalarıyla birlikte verilmiştir.



Şekil 3.33: Learning Sekmesi

Learning events (Öğrenme etkinlikleri): Bu, ağı üzerinden yayılan eğitim modellerinin sayısıdır.

Learning epochs (Öğrenme dönemleri) : Bu, tüm eğitim modeli setinin (bir dönem) ağı üzerinden yayılma sayısıdır. Büyük bir antrenman setiniz varsa bu sayının görüntülenmesi biraz zaman alacaktır.

Last average error (Son ortalama hata): Bu, ağın tahminleri ile eğitim setindeki verilere yönelik gerçek tahminler veya sınıflandırmalar arasındaki farka ilişkin ağın en son hesaplamasıdır. Birden fazla çıkış varsa, hatanın tüm çıkış değerleri üzerinden "ortalaması alınır". Hata, uyumun yakınlığını belirlemek için standart bir istatistiksel teknik olan ortalama karesel hatayı ifade eder.

Ağ, tüm modellerdeki tüm çıktılar için gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki (ortalama karesel) hatayı hesaplar. Çalışma şekli, ağın öncelikle bir modeldeki her çıktı için hatanın karesini hesaplaması, bunları toplaması ve ardından her model için toplamın ortalamasını hesaplamasıdır. Ağ daha sonra bu sayının ortalamasını eğitim setindeki tüm kalıplar üzerinden hesaplar.

Minimum average error (Minimum ortalama hata) : Bu, eğitim setindeki veriler için ağın eğitim sırasında elde ettiği ortalama hatanın en düşük değerini görüntüler.

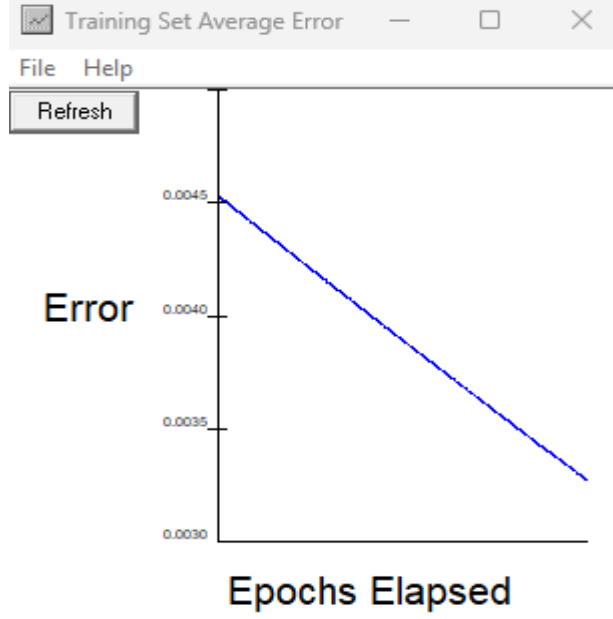
Epochs since min avg error (Minimum ortalama hatadan bu yana geçen dönemler): Bu, Minimum Ortalama Hatanın hesaplanmasından bu yana geçen dönemlerin sayısını görüntüler.

Calibration interval (Kalibrasyon aralığı): Bu sayı, test seti için ortalama hata hesaplanmadan önce ağ üzerinden yayılan olayların veya test seti modellerinin sayısını belirtir.

Last average error (Son ortalama hata): Bu, ağın tahminleri ile test setindeki verilere ilişkin gerçek tahminler veya sınıflandırmalar arasındaki farka ilişkin ağın en son hesaplamasıdır. Birden fazla çıktı varsa, hata her modeldeki tüm çıktı değerleri üzerinden toplanır ve ardından tüm modellerin ortalaması alınır. Ayrıntılar için Eğitim Setindeki Son Ortalama Hata bölümüne bakılmalıdır.

Minimum average error (Minimum ortalama hata): Bu, test setindeki veriler için eğitim sırasında ağın elde ettiği ortalama hata için en düşük değeri görüntüler.

Events since min avg error (Minimum ortalama hatadan bu yana gerçekleşen olaylar): Bu, Minimum Ortalama Hatanın hesaplanmasından bu yana geçen olayların sayısını görüntüler.

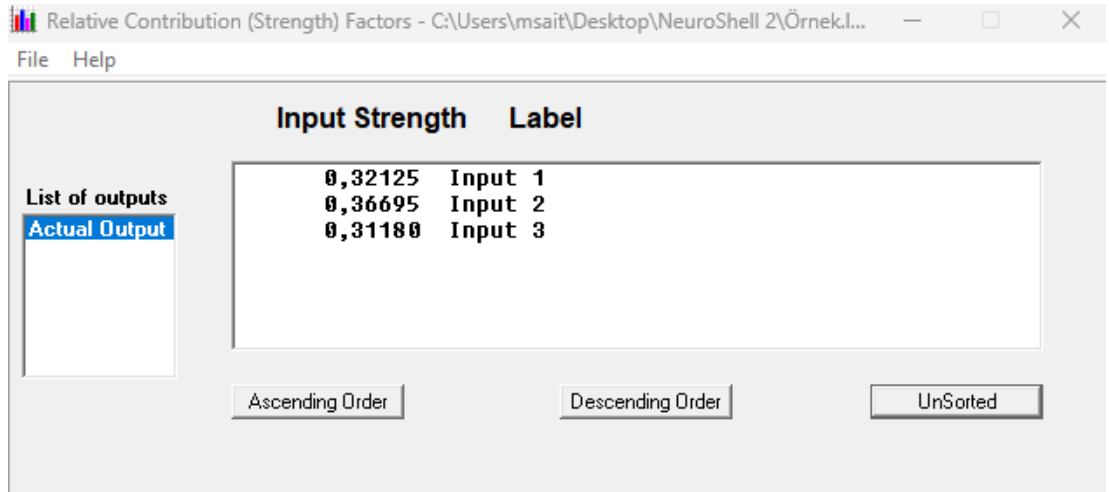


Şekil 3. 34: Training Set Average Error Grafiği

Backpropagation networks (Geri yayılım ağlarını) eğitirken, bu modül Y eksenindeki Test Seti Ortalama Hatasını X ekseninde (etiketlenmemiş) geçen aralık sayısına göre grafikleyecektir. Grafiğin doğru şekilde görüntülenmesi için iki eğitim dönemi geçmesi gerekecektir. Grafiği güncellemek için Yenile düğmesine tıklanmalıdır.

Apply Neural Network

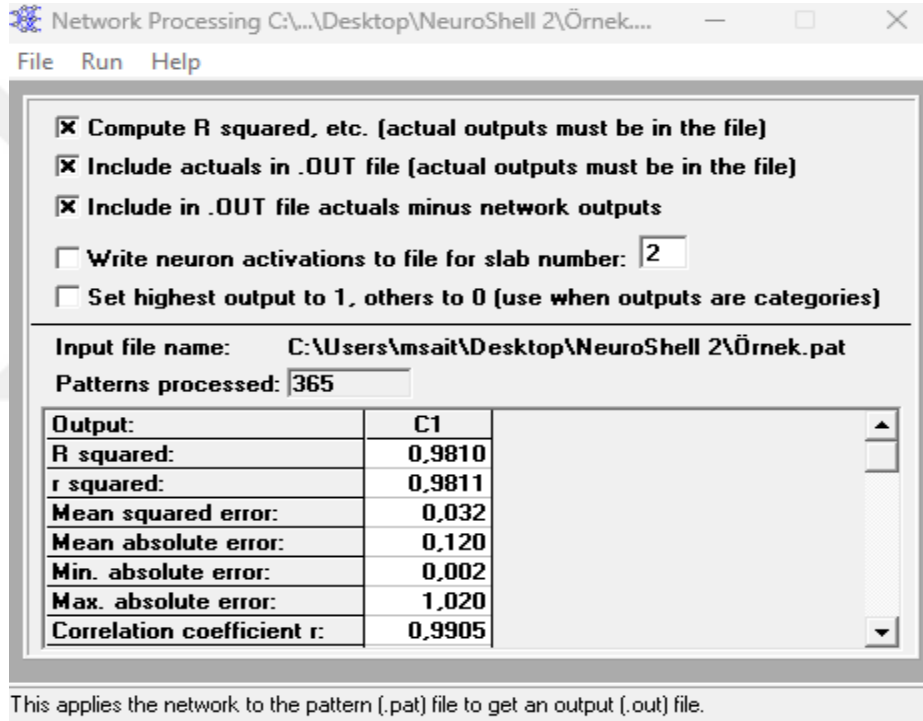
1. Contribution Factors: Bu modül, ağın çıktığı tahmin etmede hangi değişkenleri en önemli olarak değerlendirdiğini belirler. Şekil 3.35’de örnek bir analizde kullanılan veri girişlerinden sonuca en etkin oranda etkidiği sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 3.35: Contribution Factors Sekmesi

2. Apply to File: Bu modül, eğitimli bir ağ aracılığıyla bir veri dosyasını işler ve ağın tahminlerini veya sınıflandırmalarını içeren yeni bir dosya üretir.

R Squared : Çoklu belirleme katsayısı, genellikle çoklu regresyon analizine uygulanan istatistiksel bir göstergedir. Modelin doğruluğunu, tahminin sadece tüm numunelerin ortalaması olduğu önemsiz bir kıyaslama modelinin doğruluğuyla karşılaştırır. Mükemmel bir uyum, 1 tam değerlik bir R kare değeri, 1'e yakın çok iyi bir uyum ve 0'dan küçük bir çok zayıf uyumla sonuçlanacaktır. Sinir modeli tahminleriniz, yalnızca örnek durum çıktılarınızın ortalamasını kullanarak tahmin edebileceğinizden daha kötüyse R kare değeri 0'dan küçük olacaktır. Denklem 3.2.'de R squared formülü verilmiştir.



Şekil 3.36: Network Processing Sekmesi

The formula NeuroShell 2 uses for R Squared is the following:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SS_{yy}}$$

$$\text{where } SSE = \sum (y - \hat{y})^2,$$

$$SS_{yy} = \sum (y - \bar{y})^2,$$

y is the actual value,

\hat{y} is the predicted value of y,

and \bar{y} is the mean of the y values.

(3.2)

Çoklu belirleme katsayısı olan R kareyi, belirleme katsayısı olan r kare ile karıştırılmamalıdır. İkincisi genellikle elektronik tablolarda bulunandır. Ayrıca bazen çoklu belirleme katsayısına çoklu belirleme katsayısı denildiğini, ancak her durumda bunun basit bir regresyon uyumu yerine çoklu bir regresyon uyumuna atıfta bulunduğunu unutmamalıyız. Ayrıca bu korelasyon katsayısı olan r ile karıştırılmamalıdır.

r squared (r kare) : Bu, bu bölümün ilerleyen kısımlarında anlatılacak olan korelasyon katsayısının karesidir.

Mean Squared Error (Ortalama Kare Hatası) : Bu, gerçek değerin karesi eksi tahmin edilen değerin dosyasındaki tüm modellerin ortalamasıdır, yani (gerçek - tahmin edilen)'nin ortalamasıdır.

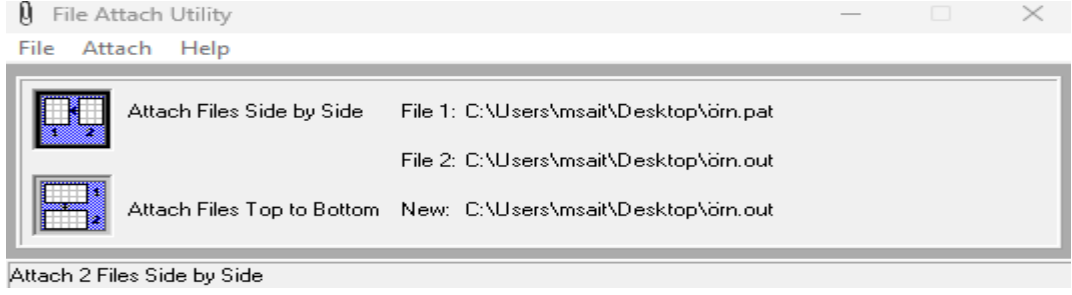
Mean Absolute Error (Ortalama Mutlak Hata) : Bu, tahmin edilen gerçek eksi mutlak değerinin tüm modellerinin ortalamasıdır, yani gerçek tahmin edilenin ortalamasıdır.

Min Absolute Error (Minimum Mutlak Hata) : Bu, tüm modeller arasında tahmin edilen minimum gerçek değerdir.

Max Absolute Error (Maksimum Mutlak Hata): Bu, tüm modeller arasında tahmin edilen maksimum gerçek değerdir.

Correlation Coefficient r - (Pearson's Linear Correlation Coefficient): Bu, gerçek ve tahmin edilen çıktılar arasındaki ilişkinin gücüne ait istatistiksel bir ölçüsüdür. R katsayısı -1 ila +1 arasında değişebilir. r, 1'e ne kadar yakınsa, pozitif doğrusal ilişki o kadar güçlüdür ve r -1'e ne kadar yakınsa, negatif doğrusal ilişki de o kadar güçlüdür. r 0'a yakın olduğunda doğrusal bir ilişki yoktur. Korelasyon Dağılım Grafiğini kullanarak ve gerçek ve tahmin edilen çıktılarının grafiğini çizerek aynı sonuçları elde edebilirsiniz. (Doğrusal korelasyon katsayısının sinir ağı modellerinin performansının iyi bir ölçüsü olduğuna inanmıyoruz, ancak birçok müşteri bunu kullanmak istediği için dahil edilmiştir. R2, gerçek ve tahmin edilen değerlerin yakınlığının çok daha iyi bir ölçüsüdür.)

3. Attach Output File : Bu modül, yeni çıktı dosyasını orijinal desen dosyasıyla birleştirir. Bu modülü bir dosyaya daha fazla veri eklemek için de kullanabilirsiniz.



Şekil 3.37: Output Sekmesi

Side By Side: Bu modül genellikle ağın sınıflandırmalarını veya tahminlerini ağı eğitmek için kullanılan verilerle karşılaştırmak istediğinizde kullanılır. Bu modül, ağın sonuçlarını model dosyasının sağ tarafına birleştirir veya "yapıştırır".

Top to Bottom: Mevcut bir dosyaya veri eklemek istediğinizde olduğu gibi iki dosyayı birleştirmek için bu seçenek kullanılabilir. Her iki dosya da aynı sütunlarda aynı değişkenleri içermelidir.

Post Network

1. **Variable Graphs** - Bu modül verileri grafiksel olarak görüntülemenizi sağlar.
2. **Custom** - Bu modül, race handicapping prenetwork modülü tarafından işlenen bir dosyayı orijinal biçimine çeviren ve ağın tahminlerini içeren bir NeuroShell 2 seçeneğini içerir.
3. **Rules** - Bu modül If/Then/Else kurallarını ağın çıkışlarına uygular.
4. **Symbol Translate** - Bu modül, sayıları alfanümerik metin veya sembollere dönüştürür.

Pre-Network kullanılmaz ise geriye dönük Post Network kullanılmasına gerek kalmaz.

Problem Output

1. **File Export** : Bu modül, NeuroShell 2 dosyalarındaki verileri ASCII (metin) dosyalarına, ikili dosyalara aktarmanıza veya NeuroShell dosyalarındaki verileri elektronik tablonuzdaki belirli sütunlara yapıştırmanıza olanak tanır.
2. **Examine Data** : Ağda işlemten sonra dosyaları görüntülemek için bu modül kullanılmaktadır. Ağda işlemten sonra dosyaları görüntülemek için Verileri İnceleme modülü kullanılabilir.

OUT dosyası Datagrid'e iletilen varsayılan dosyadır. Bu, verileri kesmenize, yapıştırmanıza ve taşımanıza olanak tanıyan elektronik tablo benzeri bir formdur ancak tam olarak işlevsel bir elektronik tablo değildir. Datagrid, büyük dosyalarda daha yavaş ve daha verimsiz hale geldiğinden yalnızca küçük dosyalarla kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

Datagrid: C:\NeuroShell 2\EXAMPLES\ELECTRIC.out

File Edit Format Help

Number of row with variable names (blank if none): 1 [X] left/right arrow keys end edit

First row containing actual training data: 2 Size: 366 row 20 columns

Note: This is not a commercial spreadsheet and may not load fast enough for large files. The NeuroShell 2 Options menu allows you to change the datagrid call to your own spreadsheet. Search help file for

	A	B	C	D	E	F	G
1	Input 1	Input 2	Input 3	Actual Output	Actual(1)	Network(1)	Act-Net(1)
2	27,00000000000000	31,00000000000000	31,00000000000000	8,75000000000000	8,75000000000000	8,850020408630	-0,100020408630
3	27,00000000000000	31,00000000000000	29,00000000000000	8,75000000000000	8,75000000000000	8,850020408630	-0,100020408630
4	28,00000000000000	31,00000000000000	30,00000000000000	8,90000000000000	8,899999618530	8,776391029358	0,123608589172
5	28,00000000000000	31,00000000000000	30,00000000000000	8,75000000000000	8,75000000000000	8,776391029358	-0,026391029358
6	29,00000000000000	31,00000000000000	30,00000000000000	8,75000000000000	8,75000000000000	8,679486274719	0,070513725281
7	30,00000000000000	31,00000000000000	30,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,553317070007	-0,053317070007
8	30,00000000000000	31,00000000000000	30,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,553317070007	-0,053317070007
9	30,00000000000000	32,00000000000000	30,00000000000000	9,00000000000000	9,00000000000000	8,611339569092	0,388660430908
10	30,00000000000000	32,00000000000000	31,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,611339569092	-0,111339569092
11	30,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,75000000000000	8,75000000000000	8,611339569092	0,138660430908
12	30,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,55000000000000	8,550000190735	8,611339569092	-0,061339378357
13	31,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,440559387207	0,059440612793
14	31,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,440559387207	0,059440612793
15	31,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,440559387207	0,059440612793
16	31,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,60000000000000	8,600000381470	8,440559387207	0,159440994263
17	31,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,440559387207	0,059440612793
18	31,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,40000000000000	8,399999618530	8,440559387207	-0,040559768677
19	31,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,440559387207	0,059440612793
20	31,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,00000000000000	8,00000000000000	8,440559387207	-0,440559387207
21	31,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,440559387207	0,059440612793
22	31,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,00000000000000	8,00000000000000	8,440559387207	-0,440559387207
23	31,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,440559387207	0,059440612793
24	32,00000000000000	32,00000000000000	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,221765518188	0,278234481812
25	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,394084930420	0,105915069580
26	32,00000000000000	8,55000000000000	8,55000000000000	8,55000000000000	8,550000190735	8,421468734741	0,128531455994
27	32,00000000000000	8,75000000000000	8,75000000000000	8,75000000000000	8,75000000000000	8,523536682129	0,226463317871
28	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,394084930420	0,105915069580
29	32,00000000000000	8,45000000000000	8,45000000000000	8,45000000000000	8,449999809265	8,365923881531	0,084075927734
30	32,00000000000000	7,75000000000000	7,75000000000000	7,75000000000000	7,75000000000000	7,883159637451	-0,133159637451
31	32,00000000000000	8,00000000000000	8,00000000000000	8,00000000000000	8,00000000000000	8,07532641602	-0,07532641602
32	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,394084930420	0,105915069580
33	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,394084930420	0,105915069580
34	32,00000000000000	8,75000000000000	8,75000000000000	8,75000000000000	8,75000000000000	8,523536682129	0,226463317871
35	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,394084930420	0,105915069580
36	32,00000000000000	8,00000000000000	8,00000000000000	8,00000000000000	8,00000000000000	8,07532641602	-0,07532641602
37	32,00000000000000	8,25000000000000	8,25000000000000	8,25000000000000	8,25000000000000	8,245234489441	0,004765510559
38	32,00000000000000	8,25000000000000	8,25000000000000	8,25000000000000	8,25000000000000	8,245234489441	0,004765510559
39	32,00000000000000	8,25000000000000	8,25000000000000	8,25000000000000	8,25000000000000	8,245234489441	0,004765510559
40	32,00000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,50000000000000	8,394084930420	0,105915069580

Şekil 3.38: Examine Data Çıkış Verileri

- Input (1-2-3) sütunlarında geliştirilen modele ait veri girişleri gözükmetedir.
- Actual Output sütununda geliştirilen modele ait çıkış verileri gözükmetedir.
- Actual (1) sütununda programa tanıtılabildiğimiz outputlarımız gözükmetedir.
- Network (1) sütununda yapay sinir ağları yöntemi ve geri beslemeli mimariler kullanılarak ortaya çıkan tahmin sonuçları gözükmetedir.
- Act-Net (1) sütununda ise veri girişi yapılan değerler ile tahminler arasında çıkan fark gözükmetedir.

3. Printouts: NeuroShell 2 dosyalarında özel çıktılar oluşturmak için bu modülü kullanılmaktadır.

4. METODOLOJİ VE GELİŞTİRİLEN MODELLER

4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapılan Analizlerde Kullanılan Kabuller ve Parametreler

Sonlu elemanlar yöntemiyle çözülen, farklı zemin mekanik ve fiziksel özelliklerine sahip olan ve daha önceden belirli olan 50 adet örnek geoteknik vaka seçilmiştir. Bu vakaların sonlu elemanlar yöntemine dayalı paket program analizinde kullanılan parametrelerden bazıları istenen sonuca rahatlıkla varabilmek için sabit, bazıları ise farklı değerler girilip karşılaştırma yapılacağı için değişken kabul edilmiştir. Aşağıda örnek analizler gösterilerek kuyu temel kesitlerinde çıkan deplasmanların analiz sonuç raporlarıyla birlikte açıklanmıştır.

4.1.1. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlerde sabit kabul edilen değerler

Geoteknik vakaların analizi yapılırken programa veri giriş aşamasında sabit tutulan değerler ve kabuller, neden sabit tutulduğuna dair açıklamalarıyla birlikte aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Sabit Kabul Edilen Standartlar;

Kazı Destek Yapıları: Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları

Çelik Halatlı Ankrajlar: BS5896 Super Tendon

Betonarme Yapılar: TS500 ve TBDY2018

Betonarme Donatı Çeliği: TS-708 Betonarme İçin Donatı Çeliği

Çelik Yapılar: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik

Çelik Malzeme: TS EN 10025-2

Kazı destek yapıları ve betonarme, çelik, ankraj hesaplarında kullanılacak olan güncel yönetmelikler ve hesaplara esas alınan standartlar yukarıda sıralanmıştır.

- 2) Sabit Kabul Edilen Toprak Basınçlarını Hesaplama Yöntemleri;

Aktif Ve Pasif Basınç: Coulomb

Coulomb ve Rankine aynı şartlarda (sürtünmesiz duvar yüzeyi, yatay dolgu ve homojen kohezyonsuz zemin) aynı sonuçları vermektedir. Bununla birlikte, her iki teori farklı inançlara dayanmaktadır: Rankine, deforme olan zeminin plastik bir dengeye sahip olduğunu iddia ediyor. Başka bir deyişle, göçme kaması içindeki zemin toptan göçme halindedir, bu nedenle sayısız göçme yüzeyi vardır. Coulomb teorisi, kuvvetler dengesine dayanmaktadır. Başka bir deyişle, sadece bir göçme yüzeyi var. Duvar ve kayan göçme yüzeyi arasında kalan kama rijittir ve göçme yüzeyi düzlemseldir. Fakat reelde durum çok farklıdır ve bu şartların hiçbirini sağlamayabilir. Duvar sürtünmeli kabul edilir. Dolgu şevli olabilmektedir. Arazi durumundan ötürü farklı yükler olabilir. Rankine bu değişken koşullara uymayabilmektedir. Coulomb teorisi ise yeni şartlara göre modifiye edilebilir fakat çözüm bulmak zorlaşabilmektedir. Duvar sürtünmesiz kabul edildiğinde tüm teoriler nerdeyse aynı sonucu vermektedir. Fakat Sürtünmenin yüksek olmadığı durumlarda Coulomb'un teorisi daha genel uygulanabilir bir teori olduğu için Coulomb toprak basıncı hesaplama yöntemi seçilmiştir.

Etkiler: Yerdeğiştirmeye Bağlı Basınçlar

Setaf 2018 paket programı duvara etki eden basınçları bağlı basınçlar yöntemini kullanarak belirler. Kullanılan bu yöntem geoteknik vakaları daha gerçekçi bir şekilde modellenmesini ve maliyeti uygun tasarımlar oluşturmamızı sağladığı için hesaplara esas alınmıştır.

Deprem Etkisi: Deprem Etkisi Yok

Geçici ve kalıcı destek yapılarının deprem etkisini dikkate alan tasarım yöntemleri için Kazı Destek Yapıları ve Uygulama Esasları Tablo 2.5. kullanılmaktadır. Bu tablo baz alınarak geçici iksa projesi olarak kuyu temel hesaplarında deprem etkisi, geçici destek sistemlerinde Tüm KK-1 ve KK-2'nin $H < 15m$ olduğu geçici sistemler için statik eşdeğer hesap yada zaman tanım aralığında hesaplar yapılmamaktadır. Kuyu temel analizlerine esas alınan kazı yükseklikleri 3,5m sabit alınmıştır ve belirtilen kategoriler içerisinde.

Drenaj Durumu: Drenajlı Yöntem

Geçici iksa projelerinin yapım aşamasında gerekli drenaj önlemleri alınacağından dolayı yapılacak olan kuyu temel iksa yapısında drenajlı durum hesapları ve parametreleri kullanılmıştır.

3) Sabit Kabul Edilen Kısmi Faktörler;

Ankraj Kuvvet Faktörü $\gamma_{G,dst}= 1,35$

Ankraj Dayanım Azaltma Faktörü $\gamma_{Re}= 1,4$

Çelik Kopma Kontrolünde Dayanım Azaltma Faktörü $\gamma_{Re}= 1,4$

Kesit Tesiri Faktörü $\gamma_{G,dst}= 1,35$

Ankraj tasarımı ACI 318-11, Çelik tasarımı AISC 360 gibi şartnamelerden alınan kısmi faktörler yönetmeliklerden gelen sabitlerdir.

4) Sabit Kabul Edilen Duvar Bilgileri;

Duvar Tipi: Betonarme Perde Duvar

İncelemeye konu olan iksa projelerindeki kuyu perdelerin kullanım amacı binanın subasman perdeleri olacağı için yapının karkas biçimi olan betonarme perde duvar tipi seçilmiştir.

Duvar Yüksekliği= 3,5 [m]

50 adet geoteknik vaka analizi sonucu kullanılacak olan kuyu perdelerin yükseklikleri mimari tasarım açısından binaların bodrum kat yüksekliklerine eş değer bir yükseklik kabul edilmek istenmiştir.

Analizlerde duvar yüksekliklerinin 3,5 m seçilmesinin bir diğer sebebi ise duvara etki eden toprak basıncına ait zemin tabaka değerlerinde çok farklı değişiklikler ortaya çıkması istenmemesinden dolayıdır. Bir diğer deyişle 2. zemin tabaka çeşidi kabulü yapılmaması içindir.

Perde Seviye Sayısı= 1,

Perde Genişlikleri= 0,25m,

Perde Yükseklikleri= 3,5m,

Beton Sınıfı: C30,

Donatı Çelik Sınıfı: B420C,

Kuyu perdeye ait diğer sabit kabuller ise güncel iksa proje çizimlerinde piyasada kullanılan perde en kesitleri ve kademe sayıları, beton ve çelik sınıfları genellikle bu veriler olduğundan dolayı vaka analizlerinde sabit olarak kabul edilmiştir. Ayrıca bu tez çalışmasında perdede yapılan değişikliklerle deplasman sonucunu etkilemek istenmemiştir.

5) Sabit Kabul Edilen Nihai Kazı;

Kazı Derinliği= 3,5 [m]

Kazı Kotu= -3,5 [m]

Kazı derinlikleri sabit tutularak geoteknik analizlerde kazı faktörünün etkisi baz alınmamıştır.

6) Sabit Kabul Edilen Ankraj Bilgileri;

Ankraj Tipi: Çelik Halat

z [m]=1,

Ls[m]=5,

Lk[m]=10,

Tendon Sayısı=3

Halat Çapı=0.6"

Ankraj Çapı [m]=0,047

Enjeksiyon Çapı [m]=0,15

Ankraj Elastisite Modülü [kN/m²]= 210000000

Ankraj a ait parametrelerin duvar deplasmanına etkisi incelenmek istenmediği için bu değerler programın standart kabul etmiş olduğu değerler aracılığıyla analizlerde sabit alınmıştır.

7) Diğer Sabit Kabul Edilen Değerler;

Duvar Zemin Sürtünme Açısı δ [°]=15,

Coulomb teorisine göre zemin ve duvar arasında ki sürtünmenin var olduğu kabul edilmiştir. Analizlerde sabit olarak 15 derece alınmıştır.

Kohezyon Etki Katsayısı [Ap]=3

Kohezyon etki katsayı 1 ila 15 arasında bir değer seçilebilir. Çalışmalarda 3 kullanılmıştır.

Aşırı Konsolidasyon Oranı [OCR]=1

Aşırı konsolidasyon oranı Tablo 4.1'den yola çıkararak sahip olduğumuz kil tabakalarında aşırı konsolide durumu olmadığından dolayı 1 alınmıştır.

Tablo 4.1: Aşırı Konsolidasyon Oranı Tablosu

Açıklama	OCR
Normal konsolide	1
Hafif aşırı konsolide	1-3
Orta aşırı konsolide	3-9
Yüksek oranda aşırı konsolide	>9

Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısı [Ko]=0,5

Sükunetteki toprak basıncı katsayısı, aşırı konsolidasyon oranına bağlı olarak yüksek ölçüde etkilenmektedir. Aşırı konsolidasyon oranı arttığı sürece, sükunetteki toprak basıncı da ona bağlı olarak artmaktadır. Analize esas tüm zemin tabakaları için ortalama sükunetteki toprak basıncı katsayısı 0.5 kabul edilmiştir.

Dolgu Kalınlığı=1 m

Kuyu temel kazısı sırasında dolgu katman ortadan kalktığı ya da hafriyat edildiği için perde duvara etkisi dikkate alınmamıştır. Kuyu temel kesit analizlerinde dolgu tabakası kalınlığı sabit kabul edilmiştir.

Yukarıdaki sonlu elemanlar analizini etkileyen parametreler sabit tutulmuş olup, aşağıdaki diğer parametreler değişken kabul edilmiştir. Bu sayede zemin tabakasına ait parametrelerin, ankraj kuvvetinin ve duvara etki eden çevresel etkilerin (toprak basıncı, sürşarj yükü, yer altı suyunun durumu, deprem durumu) gibi durumların kuyu temele ait perde duvarının yer değiştirmesine etkisi incelenmek istenmiştir.

4.1.2. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlerde değişken kabul edilen değerler

Doğal Birim Hacim Ağırlık ρ_n [kN/m³]=Değişken,

Efektif kohezyon c' [kN/m²]=Değişken,

Efektif kayma direnci açısı Φ' [°]=Değişken,

Drenajlı Elastisite Modülü E' [kN/m²]=Değişken,

Drenajlı Poisson Oranı ν' =Değişken,

Öngerme Kuvveti [Kn]=Değişken,

Y.A.S.S= Değişken,

Sürsarj Şerit Yük [kN/m²]= Değişken,

Zemin Tabakaları= Değişken (Kil, silt, kum, çakıl, kaya gibi iri veya ince daneli olmak üzere farklı zemin türleri üzerinden çalışmıştır.)

Önemli Not 1: Drenajlı yöntem kabulü sonucunda ortaya çıkan zemin fiziksel özellikleri ve zemin mekanik özellikleri, yer altı suyunun durumu, ankrajın ön germe kuvveti, sürsarj yükü gibi çevresel faktörler ve diğer parametreler geoteknik analizler sonucu kuyu perde deplasmanına etki miktarları ölçülmek istendiğinden dolayı değişken kabul edilmiştir.

Önemli Not 2: Tablo 4.2'de gösterilen ve daha önceden belirlenmiş olan geoteknik raporlardan çıkarılan değerler sonucu değişken kabul edilen ve karşılaştırmalı analizlerde kullanılacak geoteknik parametrelerden oluşan bir veri havuzu oluşturulmuştur. Bu değerler kullanılarak kuyu temel tasarımları yapılmış olup sonlu elemanlar yöntemiyle çözülmüş olan paket program yardımıyla kuyu perde deplasman miktarları hesaplanmıştır. Daha sonrasında detayları Bölüm 4.3. te verilen toplam 50 vakanın parametreleri kullanılarak (deplasman miktarlarıyla birlikte) yapay sinir ağ modelleri oluşturulmuştur.

Tablo 4.2: 50 Adet Geoteknik Vakaya Ait Parametreler

Vaka Sıra No	Y.A.S.S [m]	Sürşarj Yükleri [kN/m ²]	Ankraj Öngerme Kuvveti [kN]	Doğal Birim Hacim Ağırlık ρ_n [kN/m ³]	Efektif kohezyon c' [kN/m ²]	Efektif kayma direnci açısı Φ' [°]	Drenajlı Elastisite Modülü E' [kN/m ²]	Drenajlı Poisson Oranı ν'
1	-	15	70	19,5	14	20	922000	0,34
2	-2,5	25	50	20	14	27	1029000	0,4
3	-3	-	55	20	15	29	919000	0,25
4	-2	20	45	19,5	15	27	1172800	0,38
5	-2	10	60	20,5	14	26	1116600	0,39
6	-3	-	70	16,5	9	27	1875800	0,38
7	-	20	80	19	14	26	1741500	0,37
8	-	30	60	19,5	13	28	1389300	0,34
9	-4	10	30	18,5	25	19	911626	0,44
10	-3,5	-	50	18,3	73	4	1354789	0,36
11	-	25	40	19,5	14	32	883600	0,4
12	-4	30	55	18,5	14	24	1464800	0,36
13	-1,5	20	45	19	48	16	1417200	0,38
14	-4,5	25	65	19	13	26	1291900	0,36
15	-4	35	60	19,2	49	13,2	1354495	0,36
16	-2	30	65	20	14	28	1354800	0,37
17	-4	40	65	19	14	26	839900	0,4
18	-3,5	15	80	18,5	14	23	1396000	0,38
19	-2,5	20	50	18,5	61	6	2089307	0,26
20	-2,5	20	45	20	14	29	775900	0,36
21	-3,45	10	30	19	60	7	1381200	0,36
22	-	-	20	19	11	26	1348000	0,36
23	-3,5	25	50	19,5	13	28	1310300	0,36
24	-4,5	15	50	19	60	7	1381200	0,36
25	-	30	60	19,3	80	8	46000	0,36
26	-2	5	35	20,5	20,5	29	1367500	0,36
27	-4	30	50	19	9	25	1764500	0,37
28	-2,5	20	50	19	14	25	105300	0,4
29	-4	20	55	19	10	27	397600	0,25
30	-	40	100	19	15	26	1260600	0,39
31	-2,5	25	50	17,6	22	20	833369	0,02
32	-3	30	50	19,5	54	12	1369600	0,35
33	-2,5	30	50	19,7	45	11	651260	0,29
34	-	15	30	20,6	29,1	12,6	1053626	0,38
35	-	30	45	19,2	20,9	17,7	1085596	0,39
36	-3	20	55	19	13	25	922400	0,41
37	-2,5	25	55	18,5	9	27	1094300	0,15
38	-4	25	50	20,6	39,1	12,6	1289200	0,38
39	-4	15	60	20	10	28	2418000	0,26
40	-	30	55	19	16	28	1367900	0,29
41	-2,5	25	60	19,5	10	28	1194100	0,39
42	-3	20	35	19,5	12	31	1331900	0,37
43	-	20	30	20	14	27	1417300	0,38
44	-3	30	45	19	13	24	1411500	0,37
45	-4	40	100	19,5	13	31	765100	0,38
46	-2	40	60	19,5	13	37	1031856	0,13
47	-	20	40	19,5	13	28	767100	0,38
48	-	-	25	16,5	13	27	1348100	0,36
49	-2	5	65	18	6	31	1003200	0,15
50	-3	30	60	20	80	10	2564300	0,33

4.2 Sonlu Elemanlar Analizleri

Örnek Vaka Analizi 1;

İdealize Profil ve Temel Zemin Parametreleri;

Tabaka Adı	Üst Kot [m]	Alt Kot [m]	Drenaj Durumu	ρ_n [kN/m ³]	ρ_d [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	Φ' [°]
Dolgu	0	1	Drenajli	18	18	10	25
Kum	1	5	Drenajli	19,5	19,5	14	27

Toprak Basınç Katsayıları ve Hesaplanması için Gerekli Zemin Parametreleri;

Tabaka Adı	Φ' [°]	δ [°]	ν	OCR	Kr	Ka	Kp
Dolgu	25	15	0,37	1	0,59	0,36	3,85
Kum	27	15	0,34	1	0,55	0,34	4,26

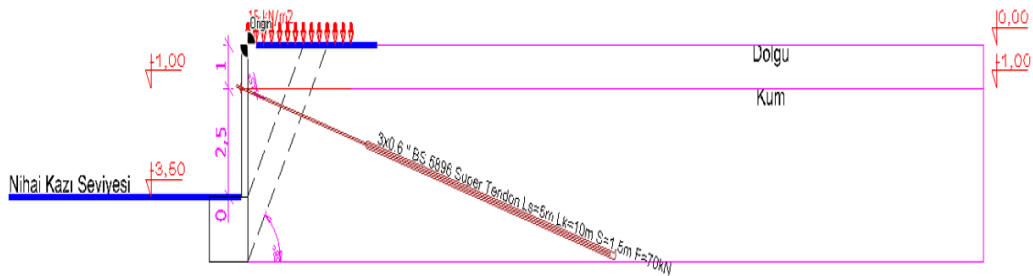
Zemin Rijitliği;

Tabaka Adı	ν	Eoed [kN/m ²]	E' [kN/m ²]	kh [kN/m ³]
Dolgu	0,37	238770,354	135000	11948,078
Kum	0,34	1419123,13	922000	14574,891

Y.A.S.S= -20 [m]

Sürşarj Şerit Yük [kN/m²]=15

Ankraj Öngerme Kuvveti [Kn]= 70



Şekil 4.1: Örnek Vaka Analizi 1 Kuyu Temel Kesit Modeli

Örnek Vaka Analizi 1 modelinin düğüm noktalarına göre toprak basıncı sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir;

Tablo 4.3: Örnek Vaka Analizi 1 Modelinin Dügüm Noktalarına Göre Toprak Basıncı Sonuçları

z [m]	σ_{pf} [kN/m ²]	σ_{rf} [kN/m ²]	σ_{af} [kN/m ²]	σ_{ab} [kN/m ²]	σ_{rb} [kN/m ²]	σ_{pb} [kN/m ²]
0	0	0	0	0	0	0
-0,11	0	0	0	7,235	8,409	17,311
-0,11	0	0	0	7,235	8,409	17,311
-0,22	0	0	0	6,971	9,32	27,122
-0,22	0	0	0	6,971	9,32	27,122
-0,33	0	0	0	6,708	10,232	36,935
-0,33	0	0	0	6,708	10,232	36,935
-0,44	0	0	0	6,448	11,146	46,751
-0,44	0	0	0	6,448	11,146	46,751
-0,56	0	0	0	6,19	12,063	56,569
-0,56	0	0	0	6,19	12,063	56,569
-0,67	0	0	0	5,937	12,985	66,392
-0,67	0	0	0	5,937	12,985	66,392
-0,78	0	0	0	5,688	13,911	76,219
-0,78	0	0	0	5,688	13,911	76,219
-0,89	0	0	0	5,445	14,842	86,051
-0,89	0	0	0	5,445	14,842	86,051
-1	0	0	0	5,207	15,778	95,889
-1	0	0	0	5,207	15,035	103,483
-1,1	0	0	0	4,998	15,891	113,92
-1,1	0	0	0	4,998	15,891	113,92
-1,2	0	0	0	4,794	16,752	124,363
-1,2	0	0	0	4,794	16,752	124,363
-1,3	0	0	0	4,596	17,618	134,811
-1,3	0	0	0	4,596	17,618	134,811
-1,4	0	0	0	4,404	18,491	145,266
-1,4	0	0	0	4,404	18,491	145,266
-1,5	0	0	0	4,217	19,369	155,726
-1,5	0	0	0	4,217	19,369	155,726
-1,62	0	0	0	4,006	20,41	168,039
-1,62	0	0	0	4,006	20,41	168,039
-1,74	0	0	0	3,802	21,459	180,361
-1,74	0	0	0	3,802	21,459	180,361
-1,85	0	0	0	3,608	22,517	192,692
-1,85	0	0	0	3,608	22,517	192,692
-1,97	0	0	0	3,422	23,584	205,031
-1,97	0	0	0	3,422	23,584	205,031
-2,09	0	0	0	3,244	24,659	217,379
-2,09	0	0	0	3,244	24,659	217,379
-2,21	0	0	0	3,075	25,742	229,735
-2,21	0	0	0	3,075	25,742	229,735
-2,32	0	0	0	2,914	26,834	242,099
-2,32	0	0	0	2,914	26,834	242,099
-2,44	0	0	0	2,761	27,933	254,472
-2,44	0	0	0	2,761	27,933	254,472
-2,56	0	0	0	2,678	29,041	257,626
-2,56	0	0	0	2,678	29,041	257,626
-2,68	0	0	0	3,288	30,155	266,93
-2,68	0	0	0	3,288	30,155	266,93
-2,79	0	0	0	3,905	31,278	276,241
-2,79	0	0	0	3,905	31,278	276,241
-2,91	0	0	0	4,529	32,407	285,56
-2,91	0	0	0	4,529	32,407	285,56

Tablo 4.3: (Devamı) Örnek Vaka Analizi 1 Modelinin Düğüm Noktalarına Göre Toprak Basıncı Sonuçları

z [m]	σ_{pf} [kN/m ²]	σ_{rf} [kN/m ²]	σ_{af} [kN/m ²]	σ_{ab} [kN/m ²]	σ_{rb} [kN/m ²]	σ_{pb} [kN/m ²]
-3,03	0	0	0	5,16	33,543	294,885
-3,03	0	0	0	5,16	33,543	294,885
-3,15	0	0	0	5,797	34,685	304,216
-3,15	0	0	0	5,797	34,685	304,216
-3,26	0	0	0	6,441	35,834	313,554
-3,26	0	0	0	6,441	35,834	313,554
-3,38	0	0	0	7,09	36,988	322,897
-3,38	0	0	0	7,09	36,988	322,897
-3,5	0	0	0	7,745	38,148	332,246
-3,5	0	0	0	7,745	38,148	332,246

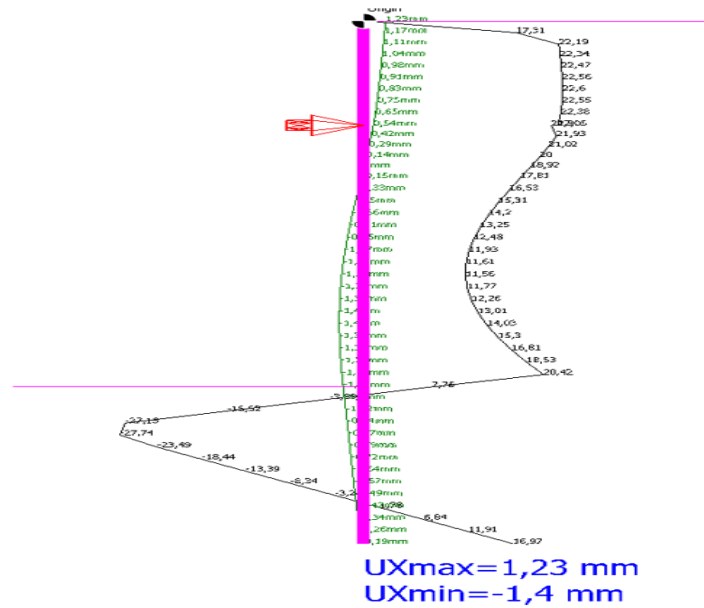
Örnek vaka analizi 1 modelinin düğüm noktalarına göre yatak katsayıları, yerdeğıştirmeler, etkiler sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir;

Tablo 4.4: Örnek Vaka Analizi 1 Modelinin Düğüm Noktalarına Göre Yatak Katsayıları, Yerdeğıştirmeler, Etkiler Sonuçları

z [m]	khf [kN/m ³]	kfb [kN/m ³]	Ux [mm]	Etki [kN/m ²]	N [kN/m]	M [kN.m/m]	V [kN/m]
0	0	0	1,234	0	-0,486	0	0
-0,11	0	0	1,17	17,311	-0,486	-0,036	-0,962
-0,11	0	0	1,17	17,311	-0,972	-0,036	-0,962
-0,22	0	11948,078	1,107	22,19	-0,972	-0,259	-3,156
-0,22	0	11948,078	1,107	22,19	-1,458	-0,259	-3,195
-0,33	0	11948,078	1,042	22,336	-1,458	-0,752	-5,669
-0,33	0	11948,078	1,042	22,336	-1,944	-0,752	-5,708
-0,44	0	11948,078	0,977	22,466	-1,944	-1,524	-8,197
-0,44	0	11948,078	0,977	22,466	-2,431	-1,524	-8,236
-0,56	0	11948,078	0,907	22,562	-2,431	-2,578	-10,737
-0,56	0	11948,078	0,907	22,562	-2,917	-2,578	-10,775
-0,67	0	11948,078	0,831	22,601	-2,917	-3,915	-13,284
-0,67	0	11948,078	0,831	22,601	-3,403	-3,915	-13,319
-0,78	0	11948,078	0,747	22,553	-3,403	-5,534	-15,828
-0,78	0	11948,078	0,747	22,553	-3,889	-5,534	-15,859
-0,89	0	11948,078	0,65	22,382	-3,889	-7,435	-18,356
-0,89	0	11948,078	0,65	22,382	-4,375	-7,435	-18,381
-1	0	11948,078	0,537	22,045	-4,375	-9,615	-20,849
-1	0	11948,078	0,537	21,302	-16,939	-9,615	23,634
-1,1	0	14574,891	0,418	21,927	-16,939	-7,359	21,472
-1,1	0	14574,891	0,418	21,927	-17,425	-7,359	21,467
-1,2	0	14574,891	0,286	21,017	-17,425	-5,32	19,32
-1,2	0	14574,891	0,286	21,017	-17,912	-5,32	19,33
-1,3	0	14574,891	0,144	19,999	-17,912	-3,491	17,28
-1,3	0	14574,891	0,144	19,999	-18,398	-3,491	17,307
-1,4	0	14574,891	-0,003	18,917	-18,398	-1,858	15,362
-1,4	0	14574,891	-0,003	18,917	-18,884	-1,858	15,408
-1,5	0	14574,891	-0,152	17,812	-18,884	-0,41	13,571
-1,5	0	14574,891	-0,152	17,812	-19,37	-0,41	13,643
-1,62	0	14574,891	-0,327	16,528	-19,37	1,075	11,623
-1,62	0	14574,891	-0,327	16,528	-19,856	1,075	11,728
-1,74	0	14574,891	-0,498	15,311	-19,856	2,343	9,855
-1,74	0	14574,891	-0,498	15,311	-20,342	2,343	9,986
-1,85	0	14574,891	-0,661	14,204	-20,342	3,414	8,249

Tablo 4.4: (Devamı) Örnek Vaka Analizi 1 Modelinin Düğüm Noktalarına Göre Yatak Katsayıları, Yerdeğiştirmeler, Etkiler Sonuçları

-1,85	0	14574,891	-0,661	14,204	-20,828	3,414	8,405
-1,97	0	14574,891	-0,813	13,248	-20,828	4,307	6,791
-1,97	0	14574,891	-0,813	13,248	-21,314	4,307	6,969
-2,09	0	14574,891	-0,952	12,479	-21,314	5,037	5,456
-2,09	0	14574,891	-0,952	12,479	-21,8	5,037	5,655
-2,21	0	14574,891	-1,074	11,927	-21,8	5,617	4,22
-2,21	0	14574,891	-1,074	11,927	-22,287	5,617	4,436
-2,32	0	14574,891	-1,178	11,614	-22,287	6,057	3,051
-2,32	0	14574,891	-1,178	11,614	-22,773	6,057	3,282
-2,44	0	14574,891	-1,264	11,559	-22,773	6,363	1,918
-2,44	0	14574,891	-1,264	11,559	-23,259	6,363	2,159
-2,56	0	14574,891	-1,329	11,772	-23,259	6,537	0,786
-2,56	0	14574,891	-1,329	11,772	-23,745	6,537	1,033
-2,68	0	14574,891	-1,373	12,256	-23,745	6,576	-0,38
-2,68	0	14574,891	-1,373	12,256	-24,231	6,576	-0,131
-2,79	0	14574,891	-1,398	13,011	-24,231	6,474	-1,617
-2,79	0	14574,891	-1,398	13,011	-24,717	6,474	-1,37
-2,91	0	14574,891	-1,402	14,03	-24,717	6,22	-2,961
-2,91	0	14574,891	-1,402	14,03	-25,203	6,22	-2,719
-3,03	0	14574,891	-1,387	15,302	-25,203	5,8	-4,444
-3,03	0	14574,891	-1,387	15,302	-25,689	5,8	-4,211
-3,15	0	14574,891	-1,355	16,808	-25,689	5,195	-6,1
-3,15	0	14574,891	-1,355	16,808	-26,175	5,195	-5,881
-3,26	0	14574,891	-1,306	18,526	-26,175	4,383	-7,959
-3,26	0	14574,891	-1,306	18,526	-26,662	4,383	-7,755
-3,38	0	14574,891	-1,244	20,425	-26,662	3,338	-10,046
-3,38	0	14574,891	-1,244	20,425	-27,148	3,338	-9,861
-3,5	0	0	-1,172	7,745	-27,148	2,066	-11,518
-3,5	0	0	-1,172	7,745	-27,634	2,066	-11,518



Şekil 4.2: Örnek Vaka Analizi 1 Yerdeğiştirme ve Etki Grafikleri

Duvar Yerdğiştirme Kontrolü (SLS)

Düğü m Nokta No	Maks. [mm]	U _x	U _x Sınır Değeri [mm]	H [m]	δH	Kontrol
27	-1,4		10,5	3,5	0,003H	√

Örnek Vaka Analizi 2;

İdealize Profil ve Temel Zemin Parametreleri;

Tabaka Adı	Üst Kot [m]	Alt Kot [m]	Drenaj Durumu	ρ_n [kN/m ³]	ρ_d [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	Φ' [°]
DOLGU	0	1	Drenajli	18	18	10	25
ÇAKIL	1	2,5	Drenajli	20	20	14	27
ÇAKIL	2,5	5	Drenajli	20	20	14	27

Toprak Basınç Katsayıları ve Hesaplanması için Gerekli Zemin Parametreleri;

Tabaka Adı	Φ' [°]	δ [°]	ν	OCR	K_r	K_a	K_p
DOLGU	25	15	0,37	1	0,59	0,36	3,85
ÇAKIL	27	15	0,4	1	0,55	0,34	4,26
ÇAKIL	27	15	0,4	1	0,55	0,34	4,26

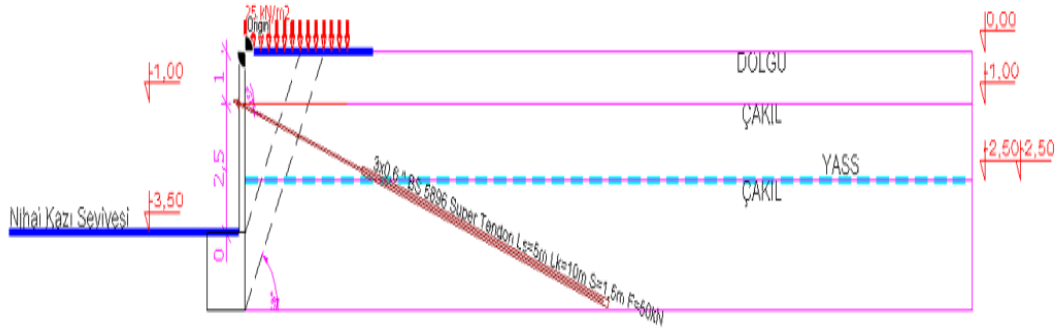
Zemin Rijitliği;

Tabaka Adı	ν	EOed [kN/m ²]	E' [kN/m ²]	kh [kN/m ³]
DOLGU	0,37	238770,354	135000	11948,078
ÇAKIL	0,4	2205000	1029000	14848,154
ÇAKIL	0,4	2205000	1029000	14848,154

Y.A.S.S= -2,5 [m]

Sürşarj şerit Yü k [kN/m²]=25

Ankraj Ö ngerme Kuvveti [Kn]= 50



Şekil 4.3: Örnek Vaka Analizi 2 Kuyu Temel Kesit Modeli

Örnek Vaka Analizi 2 modelinin düğüm noktalarına göre toprak basıncı sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir;

Tablo 4.5: Örnek Vaka Analizi 2 Modelinin Düğüm Noktalarına Göre Toprak Basıncı Sonuçları

z [m]	σ_{pf} [kN/m ²]	σ_{rf} [kN/m ²]	σ_{af} [kN/m ²]	σ_{ab} [kN/m ²]	σ_{rb} [kN/m ²]	σ_{pb} [kN/m ²]
0	0	0	0	0	0	0
-0,11	0	0	0	12,058	13,233	22,134
-0,11	0	0	0	12,058	13,233	22,134
-0,22	0	0	0	11,618	13,967	31,769
-0,22	0	0	0	11,618	13,967	31,769
-0,33	0	0	0	11,18	14,704	41,407
-0,33	0	0	0	11,18	14,704	41,407
-0,44	0	0	0	10,746	15,444	51,049
-0,44	0	0	0	10,746	15,444	51,049
-0,56	0	0	0	10,317	16,19	60,696
-0,56	0	0	0	10,317	16,19	60,696
-0,67	0	0	0	9,895	16,943	70,35
-0,67	0	0	0	9,895	16,943	70,35
-0,78	0	0	0	9,481	17,703	80,011
-0,78	0	0	0	9,481	17,703	80,011
-0,89	0	0	0	9,075	18,472	89,681
-0,89	0	0	0	9,075	18,472	89,681
-1	0	0	0	8,678	19,25	99,36
-1	0	0	0	8,678	18,506	106,954
-1,1	0	0	0	8,33	19,25	117,525
-1,1	0	0	0	8,33	19,25	117,525
-1,2	0	0	0	7,99	20,003	128,105
-1,2	0	0	0	7,99	20,003	128,105
-1,3	0	0	0	7,66	20,764	138,695
-1,3	0	0	0	7,66	20,764	138,695
-1,4	0	0	0	7,34	21,536	149,293
-1,4	0	0	0	7,34	21,536	149,293
-1,5	0	0	0	7,029	22,317	159,902
-1,5	0	0	0	7,029	22,317	159,902
-1,61	0	0	0	6,695	23,197	171,701
-1,61	0	0	0	6,695	23,197	171,701
-1,72	0	0	0	6,374	24,089	183,513
-1,72	0	0	0	6,374	24,089	183,513
-1,83	0	0	0	6,066	24,994	195,338
-1,83	0	0	0	6,066	24,994	195,338

Tablo 4.5: Devamı) Örnek Vaka Analizi 2 Modelinin Düğüm Noktalarına Göre Toprak Basıncı Sonuçları

z [m]	σ_{pf} [kN/m ²]	σ_{rf} [kN/m ²]	σ_{af} [kN/m ²]	σ_{ab} [kN/m ²]	σ_{rb} [kN/m ²]	σ_{pb} [kN/m ²]
-1,94	0	0	0	5,77	25,912	207,175
-1,94	0	0	0	5,77	25,912	207,175
-2,06	0	0	0	5,487	26,842	219,025
-2,06	0	0	0	5,487	26,842	219,025
-2,17	0	0	0	5,217	27,785	230,887
-2,17	0	0	0	5,217	27,785	230,887
-2,28	0	0	0	4,959	28,741	242,762
-2,28	0	0	0	4,959	28,741	242,762
-2,39	0	0	0	4,713	29,708	254,648
-2,39	0	0	0	4,713	29,708	254,648
-2,5	0	0	0	4,478	30,687	266,547
-2,5	0	0	0	4,478	30,687	266,547
-2,61	0	0	0	6,785	32,251	265,071
-2,61	0	0	0	6,785	32,251	265,071
-2,72	0	0	0	9,169	33,827	272,298
-2,72	0	0	0	9,169	33,827	272,298
-2,83	0	0	0	11,564	35,414	279,535
-2,83	0	0	0	11,564	35,414	279,535
-2,94	0	0	0	13,97	37,01	286,783
-2,94	0	0	0	13,97	37,01	286,783
-3,06	0	0	0	16,385	38,617	294,041
-3,06	0	0	0	16,385	38,617	294,041
-3,17	0	0	0	18,81	40,233	301,308
-3,17	0	0	0	18,81	40,233	301,308
-3,28	0	0	0	21,244	41,858	308,584
-3,28	0	0	0	21,244	41,858	308,584
-3,39	0	0	0	23,686	43,492	315,869
-3,39	0	0	0	23,686	43,492	315,869
-3,5	0	0	0	26,137	45,134	323,162
-3,5	0	0	0	26,137	45,134	323,162

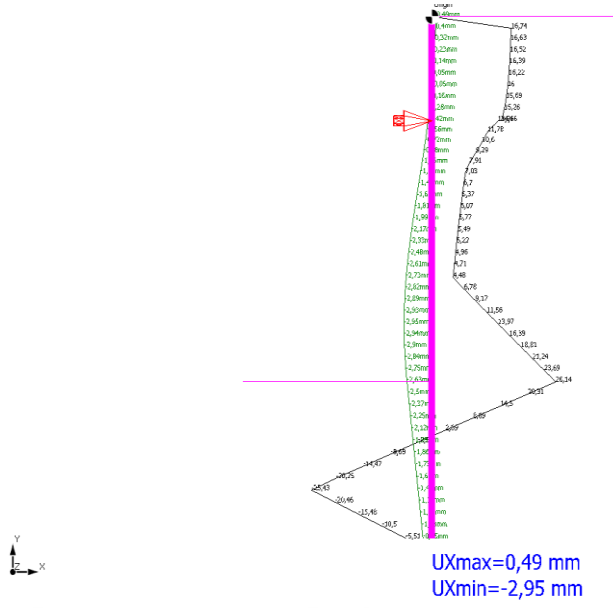
Örnek vaka analizi 2 modelinin düğüm noktalarına göre yatak katsayıları, yerdeğıştirmeler, etkiler sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir;

Tablo 4.6: Örnek Vaka Analizi 2 Modelinin Düğüm Noktalarına Göre Yatak Katsayıları, Yerdeğıştirmeler, Etkiler Sonuçları

z [m]	khf [kN/m ³]	khb [kN/m ³]	U _x [mm]	Etki [kN/m ²]	N [kN/m]	[kN.m/m]	V [kN/m]
0	0	0	0,491	0	-0,476	0	0
-0,11	0	11948,078	0,404	16,74	-0,476	-0,034	-0,93
-0,11	0	11948,078	0,404	16,74	-0,951	-0,034	-1,077
-0,22	0	11948,078	0,317	16,631	-0,951	-0,257	-2,931
-0,22	0	11948,078	0,317	16,631	-1,427	-0,257	-3,056
-0,33	0	11948,078	0,229	16,517	-1,427	-0,699	-4,897
-0,33	0	11948,078	0,229	16,517	-1,902	-0,699	-5
-0,44	0	11948,078	0,14	16,387	-1,902	-1,356	-6,828
-0,44	0	11948,078	0,14	16,387	-2,378	-1,356	-6,909
-0,56	0	11948,078	0,046	16,222	-2,378	-2,225	-8,721
-0,56	0	11948,078	0,046	16,222	-2,853	-2,225	-8,778
-0,67	0	11948,078	-0,053	16	-2,853	-3,3	-10,568
-0,67	0	11948,078	-0,053	16	-3,329	-3,3	-10,602

Tablo 4.6: (Devamı) Örnek Vaka Analizi 2 Modelinin Düğüm Noktalarına Göre Yatak Katsayıları, Yerdeğiştirmeler, Etkiler Sonuçları

z [m]	khf [kN/m ³]	khb [kN/m ³]	Ux [mm]	Etki [kN/m ²]	N [kN/m]	[kN.m/m]	V [kN/m]
-0,78	0	11948,078	-0,162	15,69	-3,329	-4,576	-12,363
-0,78	0	11948,078	-0,162	15,69	-3,804	-4,576	-12,372
-0,89	0	11948,078	-0,283	15,257	-3,804	-6,047	-14,091
-0,89	0	11948,078	-0,283	15,257	-4,28	-6,047	-14,072
-1	0	11948,078	-0,421	14,658	-4,28	-7,703	-15,734
-1	0	11948,078	-0,421	13,915	-13,383	-7,703	18,233
-1,1	0	14848,154	-0,561	11,784	-13,383	-5,946	16,948
-1,1	0	14848,154	-0,561	11,784	-13,858	-5,946	17,035
-1,2	0	14848,154	-0,715	10,6	-13,858	-4,3	15,915
-1,2	0	14848,154	-0,715	10,6	-14,334	-4,3	16,037
-1,3	0	14848,154	-0,879	9,295	-14,334	-2,747	15,042
-1,3	0	14848,154	-0,879	9,295	-14,809	-2,747	15,201
-1,4	0	14848,154	-1,05	7,909	-14,809	-1,271	14,34
-1,4	0	14848,154	-1,05	7,909	-15,285	-1,271	14,536
-1,5	0	0	-1,224	7,029	-15,285	0,145	13,79
-1,5	0	0	-1,224	7,029	-15,76	0,145	13,79
-1,61	0	0	-1,42	6,695	-15,76	1,634	13,027
-1,61	0	0	-1,42	6,695	-16,236	1,634	13,027
-1,72	0	0	-1,615	6,374	-16,236	3,041	12,301
-1,72	0	0	-1,615	6,374	-16,712	3,041	12,301
-1,83	0	0	-1,806	6,066	-16,712	4,369	11,61
-1,83	0	0	-1,806	6,066	-17,187	4,369	11,61
-1,94	0	0	-1,991	5,77	-17,187	5,622	10,952
-1,94	0	0	-1,991	5,77	-17,663	5,622	10,952
-2,06	0	0	-2,167	5,487	-17,663	6,804	10,327
-2,06	0	0	-2,167	5,487	-18,138	6,804	10,327
-2,17	0	0	-2,331	5,217	-18,138	7,918	9,732
-2,17	0	0	-2,331	5,217	-18,614	7,918	9,732
-2,28	0	0	-2,48	4,959	-18,614	8,968	9,167
-2,28	0	0	-2,48	4,959	-19,089	8,968	9,167
-2,39	0	0	-2,613	4,713	-19,089	9,956	8,63
-2,39	0	0	-2,613	4,713	-19,565	9,956	8,63
-2,5	0	0	-2,726	4,478	-19,565	10,887	8,119
-2,5	0	0	-2,726	4,478	-20,04	10,887	8,119
-2,61	0	0	-2,818	6,785	-20,04	11,756	7,493
-2,61	0	0	-2,818	6,785	-20,516	11,756	7,493
-2,72	0	0	-2,886	9,169	-20,516	12,542	6,607
-2,72	0	0	-2,886	9,169	-20,991	12,542	6,607
-2,83	0	0	-2,929	11,564	-20,991	13,215	5,455
-2,83	0	0	-2,929	11,564	-21,467	13,215	5,455
-2,94	0	0	-2,946	13,97	-21,467	13,745	4,036
-2,94	0	0	-2,946	13,97	-21,943	13,745	4,036
-3,06	0	0	-2,937	16,385	-21,943	14,102	2,35
-3,06	0	0	-2,937	16,385	-22,418	14,102	2,35
-3,17	0	0	-2,9	18,81	-22,418	14,257	0,395
-3,17	0	0	-2,9	18,81	-22,894	14,257	0,395
-3,28	0	0	-2,836	21,244	-22,894	14,18	-1,83
-3,28	0	0	-2,836	21,244	-23,369	14,18	-1,83
-3,39	0	0	-2,747	23,686	-23,369	13,84	-4,327
-3,39	0	0	-2,747	23,686	-23,845	13,84	-4,327
-3,5	0	0	-2,634	26,137	-23,845	13,208	-7,095
-3,5	0	0	-2,634	26,137	-24,32	13,208	-7,095



Şekil 4.4: Örnek Vaka Analizi 2 Yerdeğiştirme ve Etki Grafikleri

Duvar Yerdeğiştirme Kontrolü (SLS)

Düğüm Nokta No	Maks. [mm]	Ux	Ux Sınır Değeri [mm]	H [m]	δH	Kontrol
28	-2,95		10,5	3,5	0,003H	√

4.3. Yapay Sinir Ağ Modelleri Geliştirilirken Atılan Adımlar

Sonlu elemanlar yöntemiyle çözülen, farklı mekanik ve fiziksel özelliklerine sahip olan zeminlerin daha önceden belirlenmiş olan 50 adet örnek geoteknik vakanın yapay sinir ağları modeliyle karşılaştırma analizi yapılması için NeuroShell 2 programı kullanılmıştır. Bu vakaların yapay sinir ağları yöntemine dayalı paket program analizinde kullanılan parametrelerden bazıları ana esas olarak alınmış olup, bazı bölümleri sonuç kısmında başarı oranını artırmak için değişiklik göstermektedir.

Yapay sinir ağları modellerinde BPNN Geri beslemeli mimari ağ modeli seçimine kadar geline kısıma ait bazı program verileri (Problem Input sekmesinden - Build Neural Network sekmesindeki Design komutuna kadar olan kısım) sabit tutulmuş olup aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

Şekil 4.5’de gösterilen Datagrid’e (Advanced Neural Network > Problem Input >Data Entry) adımları sırasıyla takip edilip ulaşılmıştır. 50 adet geoteknik

vakaya ait parametreler datagride girilerek yapay sinir ağıları modellerinde kullanılmak üzere veri havuzu oluşturulmuştur.

Datagrid: C:\Users\msait\Desktop\Problem1\problem1.pat
File Edit Format Help

Number of row with variable names (blank if none): 1 left/right arrow keys end edit
First row containing actual training data: 2 Size: 100 row 20 columns

Note: This is not a commercial spreadsheet and may not load fast enough for large files. The NeuroShell 2 Options menu allows you to change the datagrid call to your own spreadsheet. Search help file for "datagrid" for details.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Y.A.S.S [m]	Sürüş Yüklemleri [kN/m²]	Ankraj Öngörme Kuvve Doğal Birim Hacim Ağırlık	Efektif kohezyon c' [kN	Efektif kayma direnci a	Drenajlı Elastisite Modu	Drenajlı Poisson Oranı	Max Yer	değişirme [mm]
2	0,0000000000	15,0000000000	70,0000000000	19,5000000000	14,0000000000	20,0000000000	0,3400000000	1,4000000000	
3	-2,5000000000	25,0000000000	50,0000000000	20,0000000000	14,0000000000	27,0000000000	0,4000000000	2,9500000000	
4	-3,0000000000	0,0000000000	55,0000000000	20,0000000000	15,0000000000	29,0000000000	0,2500000000	1,7300000000	
5	-2,0000000000	20,0000000000	45,0000000000	19,5000000000	15,0000000000	27,0000000000	0,3800000000	4,4200000000	
6	-2,0000000000	10,0000000000	60,0000000000	20,5000000000	14,0000000000	26,0000000000	0,3900000000	4,7600000000	
7	-3,0000000000	0,0000000000	70,0000000000	16,5000000000	9,0000000000	27,0000000000	0,3800000000	1,3600000000	
8	0,0000000000	20,0000000000	80,0000000000	19,0000000000	14,0000000000	26,0000000000	0,3700000000	1,6100000000	
9	0,0000000000	30,0000000000	60,0000000000	19,5000000000	13,0000000000	28,0000000000	0,3400000000	1,4600000000	
10	-4,0000000000	10,0000000000	30,0000000000	18,5000000000	25,0000000000	19,0000000000	0,4400000000	2,3900000000	
11	-3,5000000000	0,0000000000	50,0000000000	18,3000000000	73,0000000000	4,0000000000	0,3600000000	1,5600000000	
12	0,0000000000	25,0000000000	40,0000000000	19,5000000000	14,0000000000	32,0000000000	0,4000000000	1,5400000000	
13	-4,0000000000	30,0000000000	55,0000000000	18,5000000000	14,0000000000	24,0000000000	0,3600000000	3,0900000000	
14	-1,5000000000	20,0000000000	45,0000000000	19,0000000000	48,0000000000	16,0000000000	0,3800000000	3,7400000000	
15	-4,5000000000	25,0000000000	65,0000000000	19,0000000000	13,0000000000	26,0000000000	0,3600000000	1,7700000000	
16	-4,0000000000	35,0000000000	60,0000000000	19,2000000000	49,0000000000	13,2000000000	0,3600000000	2,2900000000	
17	-2,0000000000	30,0000000000	65,0000000000	20,0000000000	14,0000000000	28,0000000000	0,3700000000	4,8900000000	
18	-4,0000000000	40,0000000000	65,0000000000	19,0000000000	14,0000000000	26,0000000000	0,4000000000	2,4400000000	
19	-3,5000000000	15,0000000000	80,0000000000	18,5000000000	14,0000000000	23,0000000000	0,3800000000	3,6200000000	
20	-2,5000000000	20,0000000000	50,0000000000	18,5000000000	61,0000000000	6,0000000000	0,2600000000	1,2200000000	
21	-2,0000000000	20,0000000000	45,0000000000	20,0000000000	14,0000000000	29,0000000000	0,3600000000	1,4700000000	
22	-3,4500000000	10,0000000000	30,0000000000	19,0000000000	60,0000000000	7,0000000000	0,3600000000	1,5300000000	
23	0,0000000000	0,0000000000	20,0000000000	19,0000000000	11,0000000000	26,0000000000	0,3600000000	1,4900000000	
24	-3,5000000000	25,0000000000	50,0000000000	19,5000000000	13,0000000000	28,0000000000	0,3600000000	3,3800000000	
25	-4,5000000000	15,0000000000	50,0000000000	19,0000000000	60,0000000000	7,0000000000	0,3600000000	1,5800000000	
26	0,0000000000	30,0000000000	60,0000000000	19,3000000000	80,0000000000	8,0000000000	0,3600000000	2,1800000000	
27	-2,0000000000	5,0000000000	35,0000000000	20,5000000000	20,5000000000	29,0000000000	0,3600000000	1,4300000000	
28	-4,0000000000	30,0000000000	50,0000000000	19,0000000000	9,0000000000	25,0000000000	0,3700000000	3,2900000000	
29	-2,5000000000	20,0000000000	50,0000000000	19,0000000000	14,0000000000	25,0000000000	0,4000000000	3,5100000000	
30	-4,0000000000	20,0000000000	55,0000000000	19,0000000000	10,0000000000	27,0000000000	0,2500000000	2,3100000000	
31	0,0000000000	40,0000000000	100,0000000000	19,0000000000	15,0000000000	26,0000000000	0,3900000000	1,9400000000	
32	-2,5000000000	25,0000000000	50,0000000000	17,6000000000	22,0000000000	20,0000000000	0,0200000000	3,0300000000	
33	-3,0000000000	30,0000000000	50,0000000000	19,5000000000	54,0000000000	12,0000000000	0,3500000000	2,0900000000	
34	-2,5000000000	30,0000000000	50,0000000000	19,7000000000	45,0000000000	11,0000000000	0,2900000000	1,4700000000	
35	0,0000000000	15,0000000000	30,0000000000	20,6000000000	29,1000000000	12,6000000000	0,3800000000	1,8500000000	
36	0,0000000000	30,0000000000	45,0000000000	19,2000000000	20,9000000000	17,7000000000	0,3900000000	3,0400000000	
37	-3,0000000000	20,0000000000	55,0000000000	19,0000000000	13,0000000000	25,0000000000	0,4100000000	2,6300000000	
38	-2,5000000000	25,0000000000	55,0000000000	18,5000000000	9,0000000000	27,0000000000	0,1500000000	3,3500000000	
39	-4,0000000000	25,0000000000	50,0000000000	20,6000000000	39,1000000000	12,6000000000	0,3800000000	2,2600000000	
40	-4,0000000000	15,0000000000	60,0000000000	20,0000000000	28,0000000000	28,0000000000	0,2600000000	2,6200000000	
41	0,0000000000	30,0000000000	55,0000000000	19,0000000000	16,0000000000	28,0000000000	0,2900000000	1,3400000000	
42	-2,5000000000	25,0000000000	60,0000000000	19,5000000000	10,0000000000	28,0000000000	0,3900000000	3,1200000000	
43	-3,0000000000	20,0000000000	35,0000000000	19,5000000000	12,0000000000	31,0000000000	0,3700000000	1,3900000000	
44	0,0000000000	20,0000000000	30,0000000000	20,0000000000	14,0000000000	27,0000000000	0,3800000000	1,8300000000	
45	-3,0000000000	30,0000000000	45,0000000000	19,0000000000	13,0000000000	24,0000000000	0,3700000000	2,4900000000	
46	-4,0000000000	40,0000000000	100,0000000000	19,5000000000	13,0000000000	31,0000000000	0,3800000000	1,9900000000	
47	-2,0000000000	40,0000000000	60,0000000000	19,5000000000	13,0000000000	37,0000000000	0,1300000000	3,0500000000	
48	0,0000000000	20,0000000000	40,0000000000	19,5000000000	13,0000000000	28,0000000000	0,3800000000	1,3300000000	
49	0,0000000000	0,0000000000	25,0000000000	16,5000000000	13,0000000000	27,0000000000	0,3600000000	1,3600000000	
50	-2,0000000000	5,0000000000	65,0000000000	18,0000000000	6,0000000000	31,0000000000	0,1500000000	3,8600000000	
51	-3,0000000000	30,0000000000	60,0000000000	20,0000000000	80,0000000000	10,0000000000	0,3300000000	1,2800000000	

Şekil 4.5: Datagrid Veri Havuzu

Şekil 45'te gösterilen Define Input/Output sekmesinde geoteknik vakalara ait veri havuzundan çekilen parametrelerin hangilerinin girdi, hangilerinin çıktı olarak tanımlatılabileceğine ait pencere gösterilmekte olup sonrasında sırasıyla yazılmıştır. Ayrıca veri havuzuna ait minimum ve maksimum sayıları, standart deviasyon değeri bu sekmeden hesaplatılmıştır.

Define Inputs/Outputs - C:\Users\msait\Desktop\Problem\1\problem 1.pat

File Edit Settings Help

Variable Type Selection Actual Output

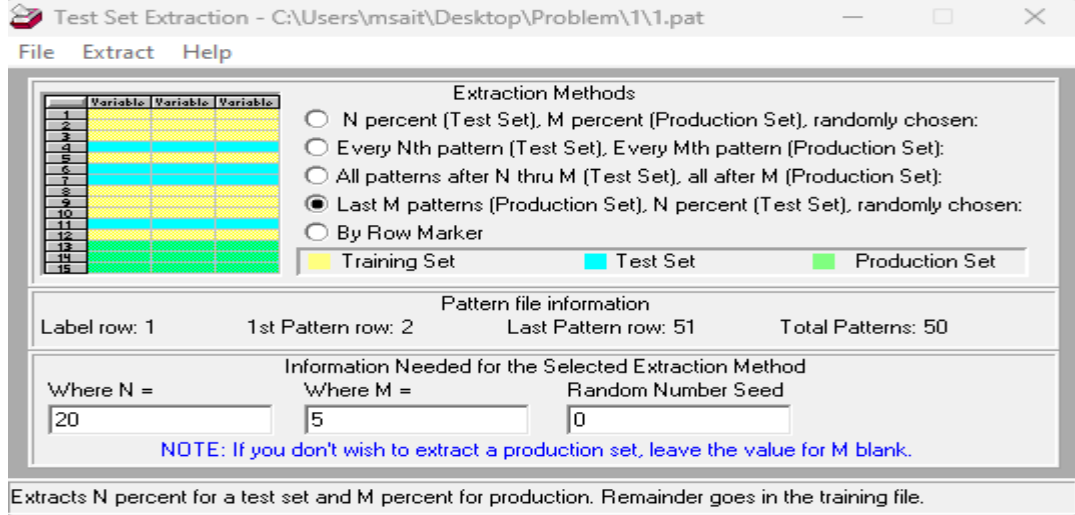
Variable Name	Y.A.S.S	Sürşarj	Ankraj	Doğal	Efektif	Efektif	Drenajlı	Drenajlı	Max Yer
Variable Type	I	I	I	I	I	I	I	I	A
Min:	-4,5	0	20	16,5	6	4	46000	0,02	1,22
Max:	0	40	100	20,6	80	37	2564300	0,44	4,89
Mean	-2,269	21,2	53,2	19,19	23,972	22,642	1211645	0,3402	2,3758
Std. Deviation	1,531869	10,99907	16,18641	0,8502701	20,17922	8,043303	466395,8	8,029258E-0	0,9681606

Şekil 4.6: Define İntput/Output

1. Y.A.S.S [m] : Input
2. Sürşarj Yükleri [kN/m²] : Input
3. Ankraj Öngerme Kuvveti [kN] : Input
4. Doğal Birim Hacim Ağırlık ρ_n [kN/m³] : Input
5. Efektif kohezyon c' [kN/m²] : Input
6. Efektif kayma direnci açısı Φ' [°]: Input
7. Drenajlı Elastisite Modülü E' [kN/m²] : Input
8. Drenajlı Poisson Oranı ν' : Input
9. Max Yer değıştirme [mm] : Actual Output

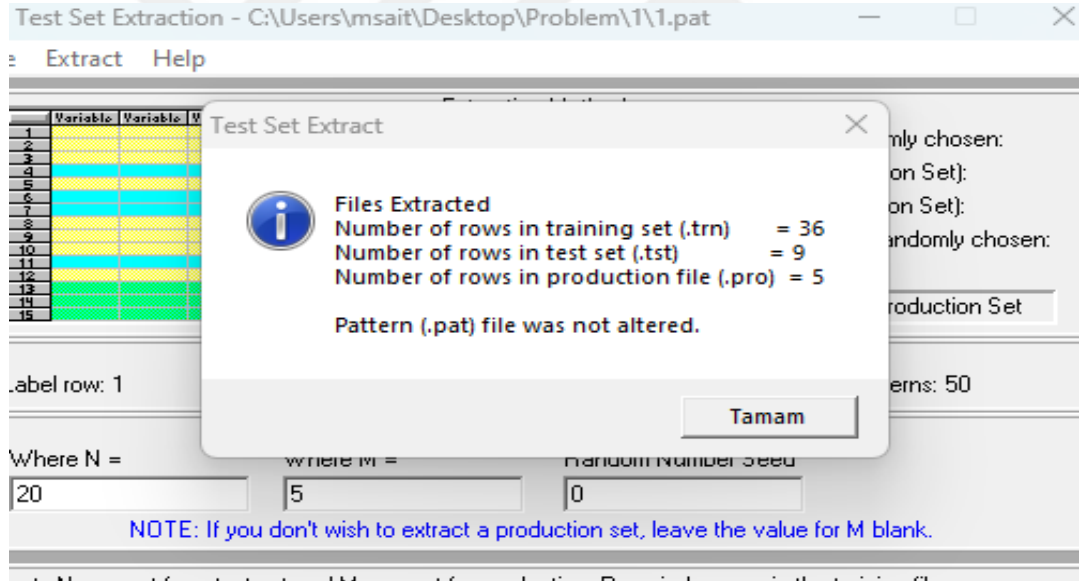
Şekil 4.6'da gösterilen Test Set Extraction penceresinde toplam 50 vakanın;

- %20 si teste tabi tutulmuştur.
- %10'luk kısmı tahmin edilmesi istenmiştir.
- %70 ise traine gitmektedir.



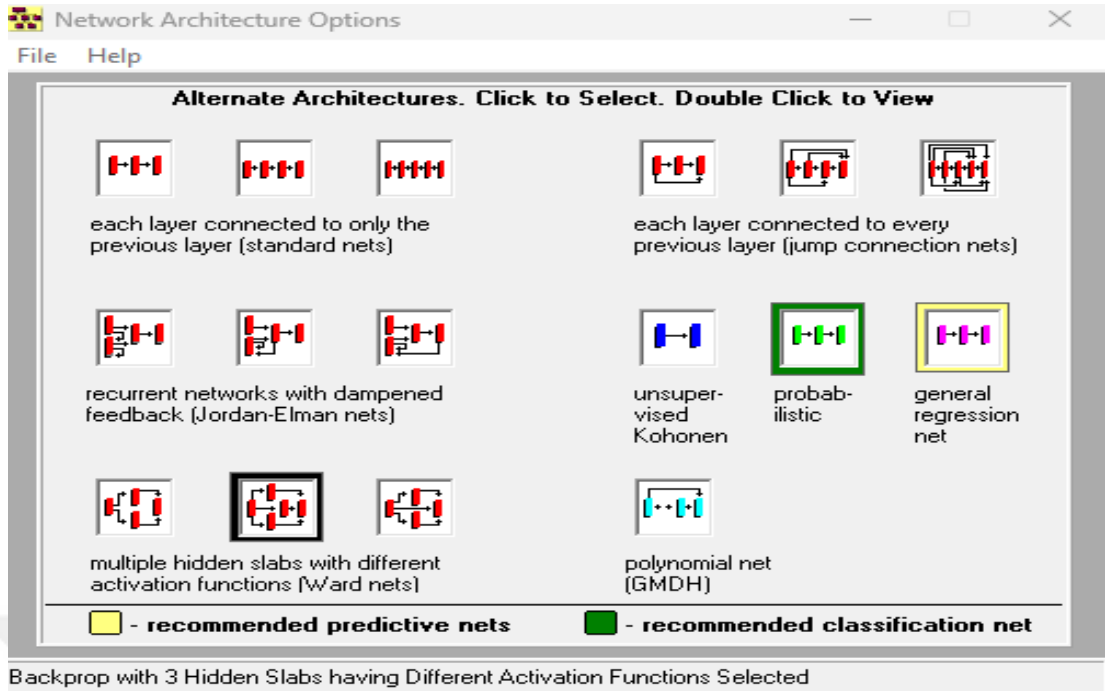
Şekil 4.7: Test Set Extraction

Şekil 4.7’de ki gibi veri havuzuna girilen toplam 50 geoteknik vakanın %10’u olan son 5 vakanın (46. - 50. vakalar) yapay sinir ağları tarafından deplasman sonuçlarının tahmin edilmesi istenmiştir.



Şekil 4.8: Begin Extract Sekmesi

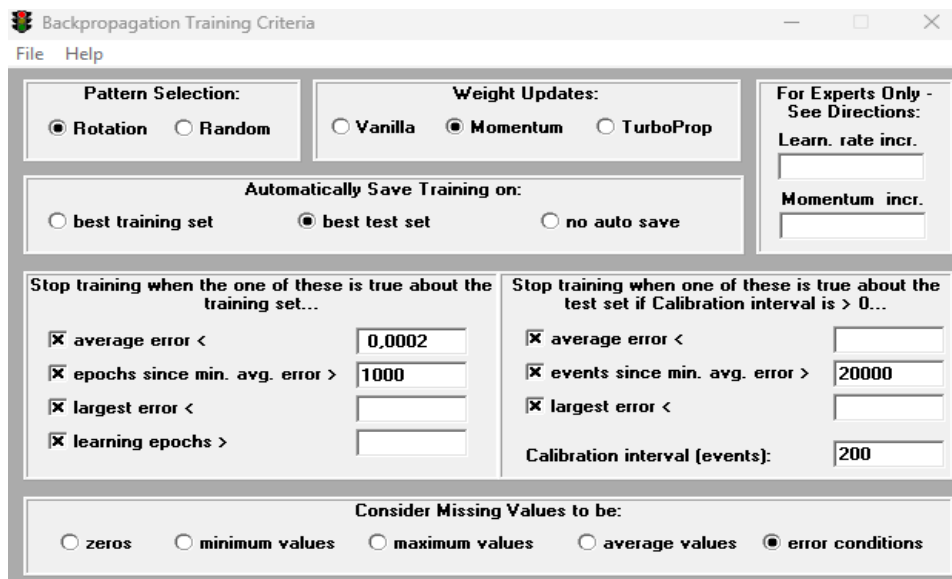
Şekil 4.8’deki kırmızı sütunlara sahip 12 tane BPNN veri türüne uygun mimari opsiyonlarının başarı sonuçları elde edilmesi için sırasıyla her bir mimari opsiyonu için yapay sinir ağ modeli oluşturulmuş olup sonuçları aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 4.9: Network Architecture Options 1

Şekil 4.9’da 12 adet mimari opsiyonların geri beslemeli eğitim kriterlerinde başarı oranlarında en yüksek etki eden ortak seçimler gösterilmiştir.

- Weight Updates: Momentum
- Pattern Selections: Rotation
- Automatically Save Training On: Best Tes Set
- Consider Missing Values to be: Error Conditions



Şekil 4.10: Backpropagation Training Criteria

Başarı oranı sonuçları;

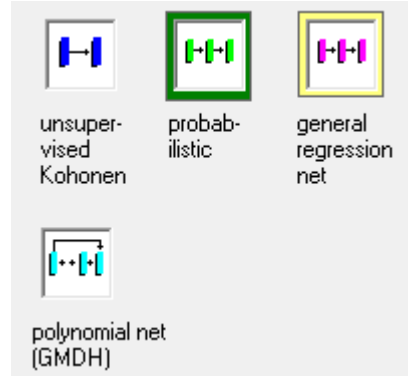
Tablo 4.7: Farklı Mimari Yapı Seçimlerine Göre Başarı Oranları

3 Layer Backprob Network:	0,0164
4 Layer Backprob Network:	0,5611
5 Layer Backprob Network:	0,0048
Recurrent Net With Input Layer Feedback:	0,0004
Recurrent Net With Hidden Layer Feedback:	0,3265
Recurrent Net With Output Layer Feedback:	0,6188
Backprop With 2 Hidden Slabs Having Different Activation Functions :	0,4872
Backprop With 3 Hidden Slabs Having Different Activation Functions :	0,8303
Backprop With 2 Hidden Slabs, Different Activation Functions, Jump Connection:	0,7749
3 Layer Backprop With Jump Connections:	0,5821
4 Layer Backprop With Jump Connections:	0,5126
5 Layer Backprop With Jump Connections:	0,5294

Tablo 4.7’de 12 adet geri beslemeli mimari opsiyonların en yüksek başarı oranını veren farklı aktivasyon fonksiyonlarına sahip Backprop with 3 Hidden Slabs olduğu anlaşılmıştır. R squared %83 oranla başarı oranı geçerli sayılmıştır. Bu nedenle Back Propagation mimari opsiyonları hangi parametrenin ne kadar etkin olduğunu ortaya çıkardığı için kullanılması daha iyi bir yaklaşımdır.

Bu mimari ağ yapılarına özel olarak başarı oranı en yüksek çıkan 2 adet analiz bölüm 4.4.’te gösterilmiştir.

Şekil 4.10’de ki Unsupervised Kohonen, Probabilistic, General regression net, Polynomial net (GMDH) mimarilerinde Countribution Factors seçeneği içermediği için yani hangi parametrenin ne kadar etkili olduğunu tahmin edemediği için kullanıma esas alınmamıştır. Fakat başarı oranlarının görülmesi için yapay sinir ağ modelleri oluşturulmuş olup sonuçları aşağıda verilmiştir.



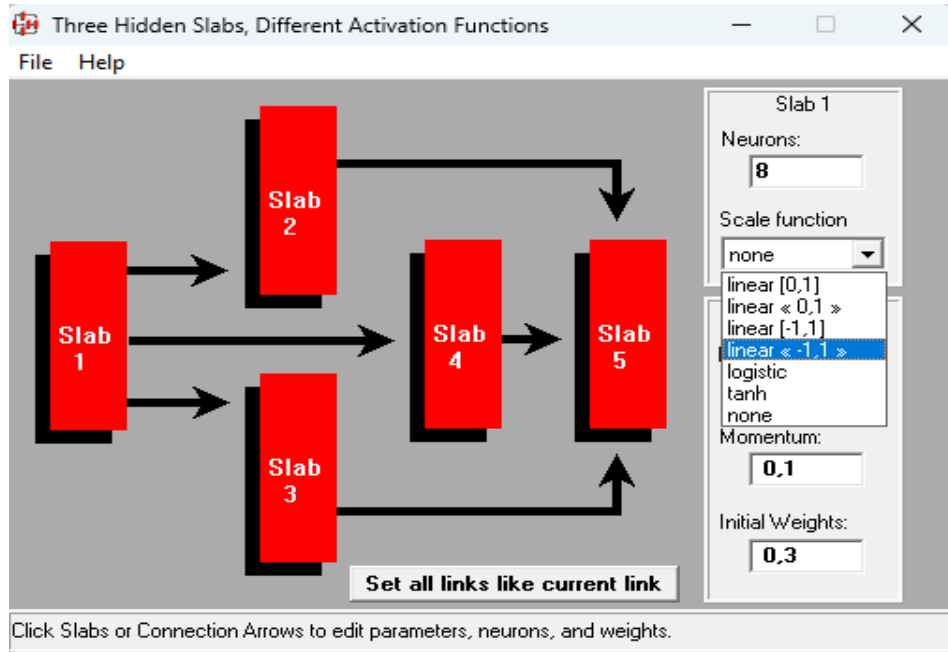
Şekil 4.11: Network Architecture Options 2

Başarı oranı sonuçları;

Tablo 4.8: GRNN Ve GMDH Seçimlerine Göre Başarı Oranları

General Regression Neural Network	0,9259
Group Method of Data Handling	0,7483

Şekil 4.12’de mimari opsiyon olarak seçilen ve en yüksek başarı oranına sahip Backprop With 3 Hidden Slabs mimari aktivasyon fonksiyonunun içerisinde başarı oranını etki eden Scale function parametresi için her biri seçilip analiz edildikten sonra sonuç tablosu Tablo 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.12: Backprop With 3 Hidden Slabs Scale Function

Scale Function Opsiyonlarına Göre Başarı Oranı Sonuçları ;

Tablo 4.9: Scale Function Opsiyonlarına Göre Başarı Oranı Sonuçları

Linear [0,1]	0,3656
Linear <<0,1>>	0,3656
Linear [-1,1]	0,8303
Linear <<-1,1>>	0,829
Logistic	0,6286
Tanh	0,7563
None	0,0019

Backprop With 3 Hidden Slabs mimari aktivasyon fonksiyonunda tüm scale function seçenekleri denenmiştir ve başarı yüzdesine en çok etki eden Scale function parametresi 'Linear [-1,1]' olduğu görülmüştür.

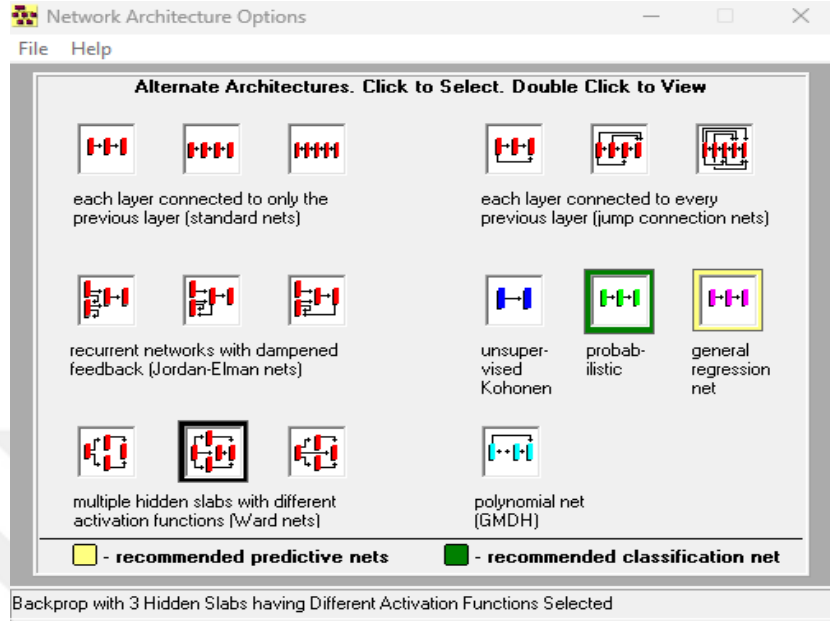
4.4. Yapay Sinir Ağları Analizleri

Bölüm 4.3. 'de yapılan işlemler sonucunda programın ara yüzündeki Build Neural Networks'e ait Design komutuna yani mimari ağ opsiyonu seçilmesine kadar gelinmiştir. Bu bölümde ise taban başarı oranı olan %80 den fazla orana sahip 2 adet analizde geriye kalan işlemler sırasıyla görseller yardımıyla açıklanmıştır. Gösterilen analizlerde veri havuzundaki son 5 vakanın deplasmanlarının tahmin etme yüzdesinde en yüksek başarı oranına sahip mimari ağ opsiyonları seçilmiştir. Kuyu temel tasarımları sonrasında deplasmana etki eden en yüksek parametreler Contribution Factors yardımıyla açıklanmaya çalışılmıştır. Aşağıda farklı aktivasyon fonksiyonlarına sahip iki farklı mimari ağ opsiyonları seçilmiş olup sonuçları tablo gösterimleriyle birlikte verilmiştir.

4.4.1. BPNN backprop with 3 hidden slabs mimari ağ opsiyonu

Backpropagation networks (Geri yayılım ağları), çok çeşitli problemler üzerinde iyi genelleme yapma yetenekleriyle bilinir. Geri yayılım ağları, örneğin hem giriş hem de çıkışlarla eğitilmiş, denetlenen bir ağ türüdür. Örüntü sayısına bağlı olarak eğitim diğer paradigmalara göre daha yavaş olabilir. Geri yayılım ağları, çalışan sinir ağı uygulamalarının büyük çoğunluğu için kullanılır çünkü başarılı bir genelleme eğilimindedirler. Geri yayılım ağlarını kullanırken her veri çıkışına özel bir ağ oluşturarak ağın hassasiyetini artırma fırsatı sunmaktadır.

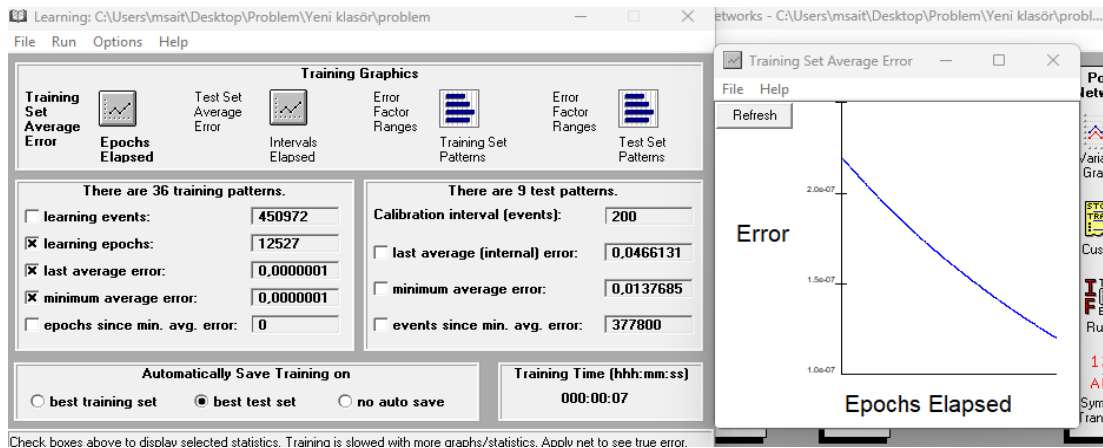
NeuroShell 2, Backpropagation networks (Geriye Yayılım ağlarının) birkaç farklı varyasyonunu sunmaktadır. Şekil 4.13’de siyah kare çerçeve içerisinde gösterilen Backprop With 3 Hidden Slabs Mimari Ağ Opsiyonu seçilmiştir.



Şekil 4.13: BPNN Backprop With 3 Hidden Slabs Mimari Ağ Opsiyonu

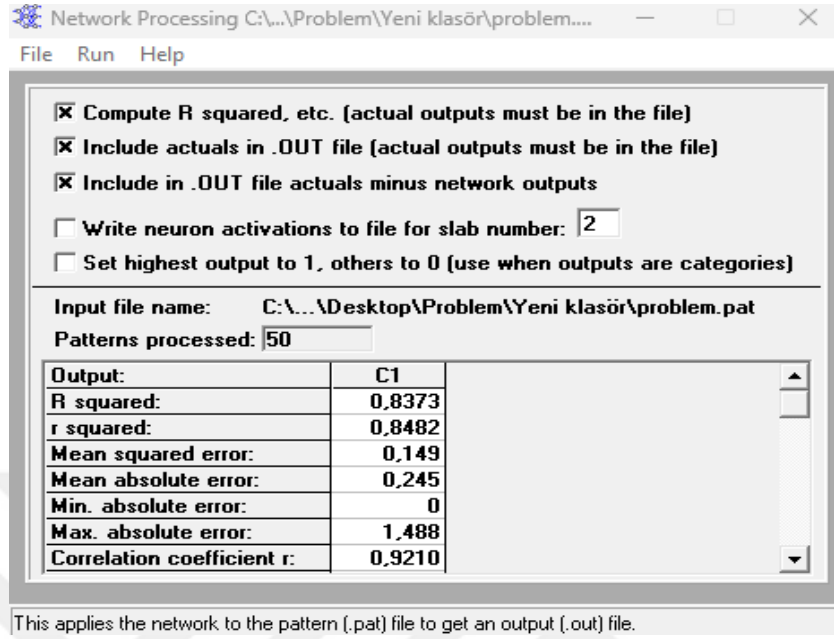
Mimari opsiyon seçildikten sonra eğitim kriterleri kısmında Bölüm 4.3. deki Şekil 4.10 ’da gösterilen opsiyonlar seçilmiştir.

Daha sonra Şekil 4.14 ’de ki Learning kısmına geçilmiş olup girilen verilerin yapay sinir ağları tarafından öğrenilmesi sağlanmıştır. Bu kısım ağın eğitim setindeki veri havuzunun öğrendiği modüldür. Öğrenme aşaması, eğitim kriterleri sekmesinde belirlediğimiz koşullara ulaşana kadar devam etmektedir. Eğitim sırasında oluşan grafik yan tarafında gösterilmiş olup, öğrenme kısmında çıkan hataların döngü sürecinin uzadığı eksen boyunca azaldığı görülmüştür.



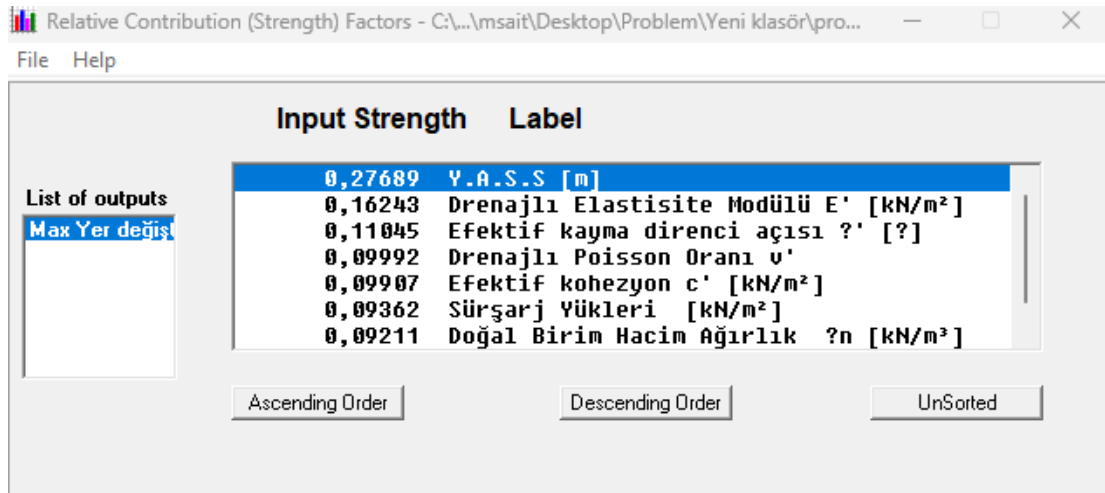
Şekil 4.14: Backprop With 3 Hidden Slabs Learning Sekmesi

Eğitim süreci bittikten sonra hata paylarında sıfıra yaklaşan bir eğri görülmesi takdirinde Apply to File butonu yardımıyla ağların işlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.15: Backprop With 3 Hidden Slabs Network Processing Sekmesi

Şekil 4.15' de görüldüğü gibi R squared %83,73 oranla başarı oranı geçerli sayılmıştır. Geri beslemeli mimari yapısına sahip olan (Backprop With 3 Hidden Slabs Mimari Ağ Opsiyonu) esas alınarak tezin sonuç kısmı bu yapı sonucuna göre hazırlanmıştır.



Şekil 4.16: Backprop With 3 Hidden Slabs Contribution Factors Sekmesi

Contribution Factors her veri giriş değişkeni için, aynı ağdaki diğer giriş değişkenlerine göre, ağın çıktısını tahmin etmede söz konusu değişkenin öneminin bir ölçüsü olan katkı faktörlerini etki sırasına göre üretir. Bu modül yalnızca geri yayılım ağları için çalışmaktadır.

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi kuyu temel tasarımında oluşan perde deplasmanına en etkin parametrenin yer altı su seviyesi olduğu görülmüştür. Diğer geoteknik parametreler etki değerlerine göre artandan azalana doğru aşağıda sıralanmıştır.

Tablo 4.10: Contribution Factors Sonuçları

0,27689	Y.A.S.S
0,16243	Drenajlı Elastisite Modülü
0,11045	Efektif kayma direnci açısı
0,09992	Drenajlı Poisson Oranı
0,09907	Efektif kohezyon
0,09362	Sürşarj Yükleri
0,09211	Doğal Birim Hacim Ağırlık
0,06551	Ankraj Öngerme Kuvveti

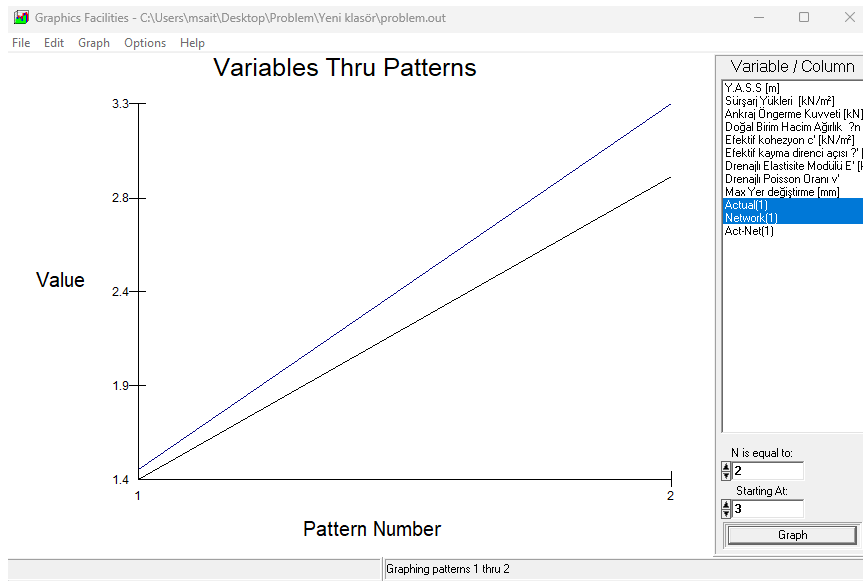
Tablo 4.11'de görüldüğü üzere BPNN Backprop With 3 Hidden Slabs Mimari Ağ Opsiyonu seçilip analiz yapıldığında tahmin edilme sonucu olarak bulunan başarı oranı yüksek olmasına karşın yer değiştirmelerin 1.5 cmin üzerinde olan karşılaştırmalarda hata payının yaklaşık %20-25 civarında olduğu görülmüştür.

Tablo 4.11: BPNN Backprop With 3 Hidden Slabs Mimari Ağ Opsiyonu Göre Tahmin Etme Sonuçları

Vaka Sıra No	Max Yer Değiştirme [mm]	Actual(1)	Network(1)	Act-Net(1)
1	1,4	1,399999976	1,451328397	-0,051328421
2	2,95	2,950000048	3,320257187	-0,370257139
3	1,73	1,730000019	1,28078711	0,449212909
4	4,42	4,420000076	4,267075539	0,152924538
5	4,76	4,760000229	4,197934151	0,562066078
6	1,36	1,360000014	1,390040517	-0,030040503
7	1,61	1,610000014	1,673910379	-0,063910365
8	1,46	1,460000038	1,508174062	-0,048174024
9	2,39	2,390000105	2,483813286	-0,093813181
10	1,56	1,559999943	1,53181386	0,028186083
11	1,54	1,539999962	1,460807443	0,079192519
12	3,09	3,089999914	2,330999136	0,759000778
13	3,74	3,74000001	3,813513994	-0,073513985
14	1,77	1,769999981	2,305589437	-0,535589457
15	2,29	2,289999962	2,31517148	-0,025171518
16	4,89	4,889999866	4,889999866	0
17	2,44	2,440000057	1,498057246	0,941942811
18	3,62	3,619999886	3,844242334	-0,224242449
19	1,22	1,220000029	1,316997051	-0,096997023
20	2,53	2,529999971	2,889101982	-0,359102011
21	1,53	1,529999971	1,52338469	0,006615281
22	1,49	1,49000001	1,431347013	0,058652997
23	3,38	3,380000114	2,610910654	0,76908946
24	1,58	1,580000043	1,678743839	-0,098743796

Tablo 4.11: (Devamı) BPNN Backprop With 3 Hidden Slabs Mimari Ağ Opsiyonu Göre Tahmin Etme Sonuçları

Vaka Sıra No	Max Yer Değiştirme [mm]	Actual(1)	Network(1)	Act-Net(1)
25	2,18	2,180000067	1,623874664	0,556125402
26	1,43	1,429999948	1,472399354	-0,042399406
27	3,29	3,289999962	3,229228973	0,060770988
28	3,51	3,50999999	3,313705921	0,196294069
29	2,31	2,309999943	2,330000877	-0,020000935
30	1,94	1,940000057	1,987992167	-0,04799211
31	3,03	3,029999971	3,044245958	-0,014245987
32	2,09	2,089999914	1,720995069	0,369004846
33	1,47	1,470000029	1,586940885	-0,116940856
34	1,85	1,850000024	1,866517305	-0,016517282
35	3,04	3,039999962	2,680624008	0,359375954
36	2,63	2,630000114	2,424757242	0,205242872
37	3,35	3,349999905	3,348487139	0,001512766
38	2,26	2,25999999	2,28194046	-0,02194047
39	2,62	2,619999886	2,606822491	0,013177395
40	1,34	1,340000033	1,391258121	-0,051258087
41	3,12	3,119999886	3,279545069	-0,159545183
42	1,39	1,389999986	1,900646448	-0,510646462
43	1,83	1,830000043	1,858146071	-0,028146029
44	2,49	2,49000001	2,899254799	-0,409254789
45	1,99	1,99000001	2,048216343	-0,058216333
46	3,05	3,049999952	4,538223743	-1,488223791
47	1,33	1,330000043	2,031142473	-0,70114243
48	1,36	1,360000014	1,220000029	0,139999986
49	3,86	3,859999895	4,4080863	-0,548086405
50	1,28	1,279999971	1,50985837	-0,229858398



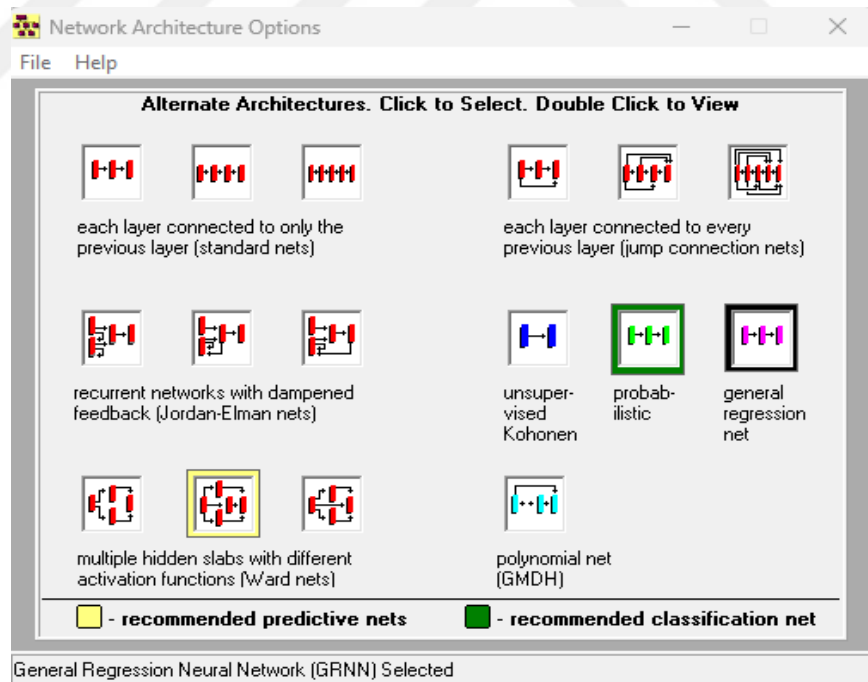
Şekil 4.17: Backprop With 3 Hidden Slabs /Actual (1) - Network (1) Grafiği

Şekil 4.17’de Actual (1) ve Network (1) arasında gösterilen grafikte tahmin etmelerde yaklaşık %20 sapma olduğu gözlemlenmiştir.

4.4.2. GRNN general regression neural network mimari ağ opsiyonu

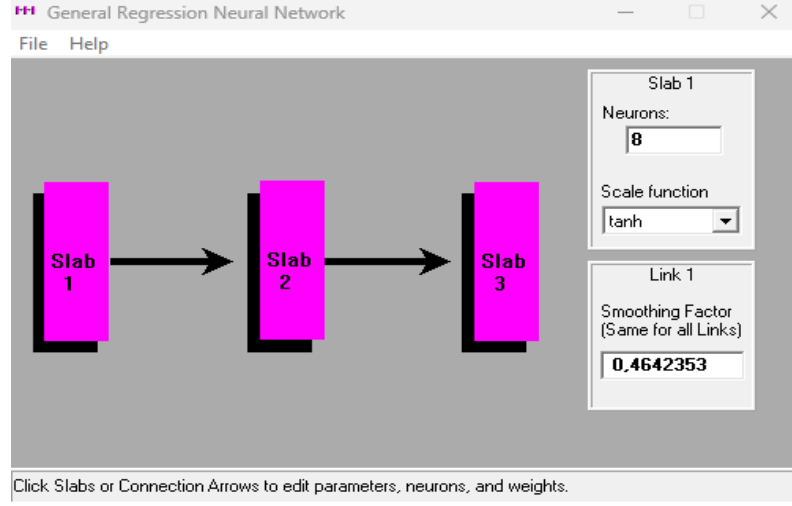
Genel Regresyon Sinir Ağları seyrek veri kümeleri üstünde pratik bir şekilde eğitim verme yeteneğiyle bilinmektedir. GRNN bir tür denetimli ağ olmakla birlikte, PNN gibi verileri kategorilere ayırmak yerine GRNN uygulamaları sürekli değerli çıktılar üretebilmektedir. Testlerimizde GRNN'nin birçok sorun türüne (ancak hepsine değil) Geriye Yayılımdan çok daha iyi yanıt verdiğini görebilirsiniz. Özellikle sürekli fonksiyon yaklaşımı için kullanışlıdır. GRNN çok boyutlu girdiye sahip olabilir ve veriler aracılığıyla çok boyutlu yüzeylere uyabilmektedir. GRNN ağları her çıktığı diğer çıktılardan bağımsız olarak değerlendirdiğinden, birden fazla çıktı olduğunda GRNN ağları Geri Yayılım ağlarına nispeten seçilmesi daha doğru olabilmektedir.

Şekil 4.18’de siyah kare çerçeve içerisinde gösterilen GRNN General Regression Neural Network Mimari Ağ Opsiyonu seçilmiştir.



Şekil 4.18: GRNN General Regression Neural Network Mimari Ağ Opsiyonu

Şekil 4.18’de GRNN modeli için scale function seçeneğine en uygun parametrenin ‘tanh’ olduğu görülmüştür. Diğer scale function seçeneklerinin çalışma prensibine uymadığı görülmüştür.

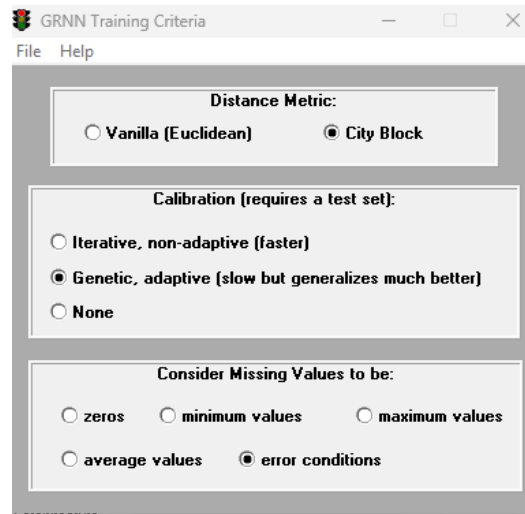


Şekil 4.19: GRNN Scale Functions Sekmesi

GRNN ağları, yakınsaklığı birbirlerine olan mesafelerine göre karşılaştırarak çalışır. The City Block uzaklık metriği, o nöron için desen ve ağırlık vektörü arasındaki tüm boyutlardaki farkların mutlak değerlerinin toplamıdır. Distance Metric seçeneklerinden City Block seçilmesinin sebebi Vanilla yöntemine göre daha hızlı hesap yaptığı için seçilmiştir.

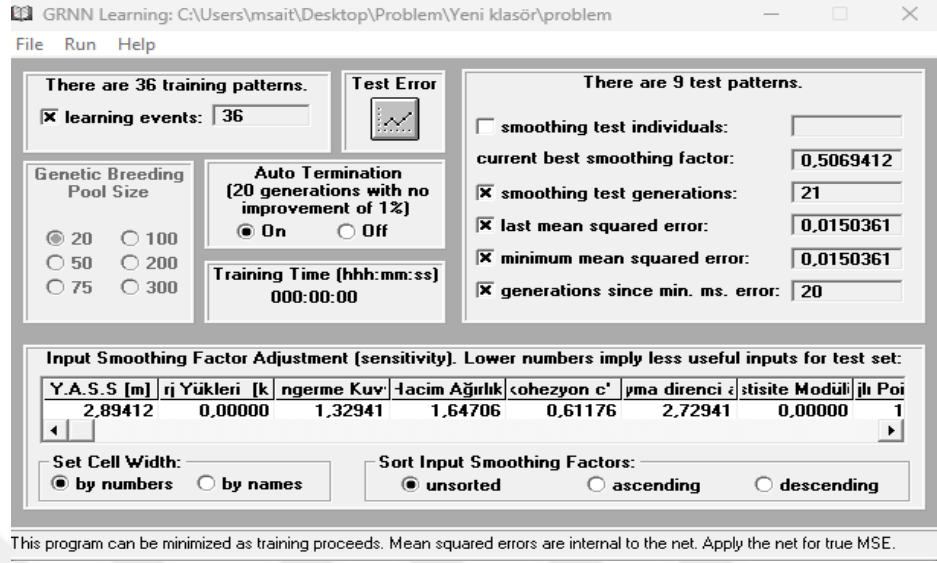
GRNN ağı için bir test seti varsa, sorunun çözümü için hangi yumuşatma faktörünün başarı oranını artırdığına karar vermek üzere Calibration kullanması faydalı olmaktadır. GRNN ağlarının başarısı yumuşatma faktörüne bağlıdır. Her bir girdi için uygun bireysel yumuşatma faktörlerinin yanı sıra genel bir yumuşatma faktörünü bulmak için genetik bir algoritma kullanılmaktadır.

Verilerde kayıp değerler konusunda uyarı alınması için error conditions seçeneği seçilmiştir.



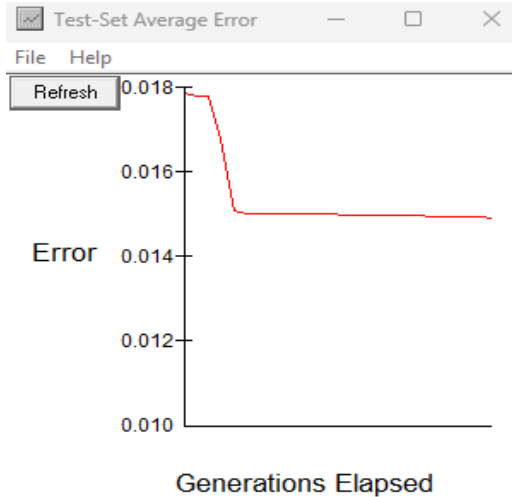
Şekil 4.20: GRNN Training Criteria

Şekil 4.20 'de GRNN General Regression Neural Network Learning kısmı gözükmekte olup bu mimari yapıya göre program eğitilmektedir.

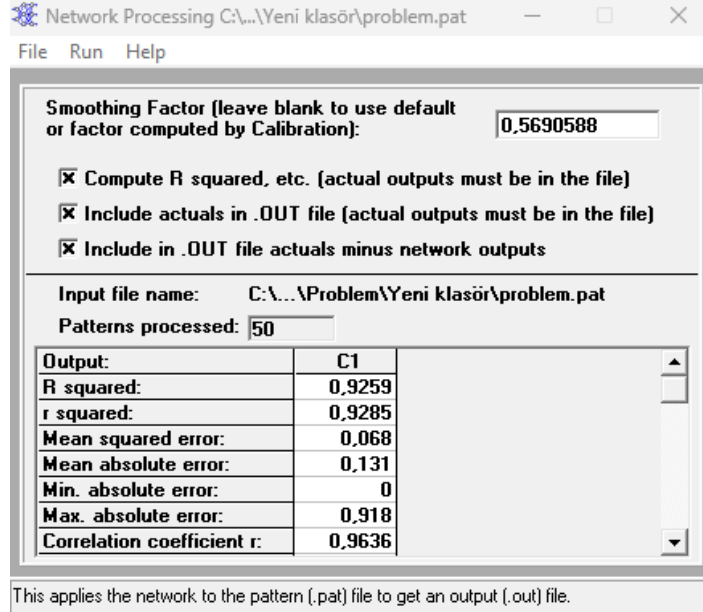


Şekil 4.21: GRNN Learning Sekmesi

Şekil 4.21 'de gösterildiği gibi GRNN Test-Set Average Error Grafiği eğitim ve test seti modellerine ilişkin istatistikleri görüntülemenize olanak tanır ve en iyi yumuşatma faktörünü bulmaya çalışan kalibrasyon grafiği gösterilmektedir. Kalibrasyon X ekseninde en iyi yumuşatma faktörünü ararken, Y eksenindeki test seti ortalama kare hatasını düzeltme faktörüne göre grafik olarak gösterilmektedir.

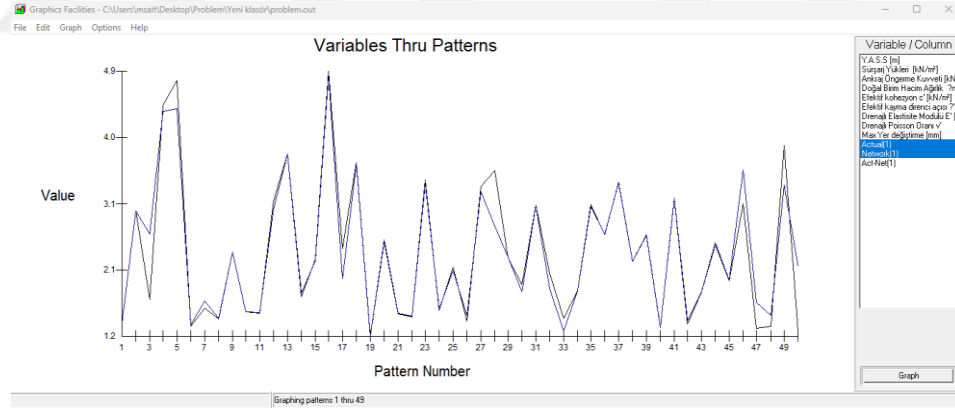


Şekil 4.22: GRNN Test-Set Average Error Grafiği



Şekil 4.23: GRNN Network Processing Sekmesi

Şekil 4.23 'de görüldüğü gibi R squared %92,59 oranla başarı oranı geçerli sayılmıştır. Fakat Countribution Factors seçeneği içermediği için yani istenen parametrenin hangi yüzde de etkin olduğunu tahmin edemediği için kullanıma esas alınmamıştır.



Şekil 4.24: GRNN /Actual (1) - Network (1) Grafiği

Şekil 4.24. 'de Actual (1) ve Network (1) arasında gösterilen grafikte tahmin etmelerde en fazla % 10 sapma olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.12'e göre GRNN General Regression Neural Network Mimari Ağ Opsiyonu seçildiğinde tasarlanan deplasmanlarla tahmin edilenler arasında oluşan farklar gösterilmiştir.

**Tablo 4.12: GRNN General Regression Neural Network Mimari Ağ Opsiyonu
Göre Tahmin Etme Sonuçları**

Vaka Sıra No	Max Yer değiştirme [mm]	Actual(1)	Network(1)	Act-Net(1)
1	1,4	1,399999976	1,400607109	-0,000607133
2	2,95	2,950000048	2,952238321	-0,002238274
3	1,73	1,730000019	2,632885695	-0,902885675
4	4,42	4,420000076	4,333280087	0,08671999
5	4,76	4,760000229	4,369535923	0,390464306
6	1,36	1,360000014	1,376344681	-0,016344666
7	1,61	1,610000014	1,710991979	-0,100991964
8	1,46	1,460000038	1,46519053	-0,005190492
9	2,39	2,390000105	2,389708757	0,000291348
10	1,56	1,559999943	1,561870217	-0,001870275
11	1,54	1,539999962	1,547285557	-0,007285595
12	3,09	3,089999914	2,985233545	0,104766369
13	3,74	3,74000001	3,739423752	0,000576258
14	1,77	1,769999981	1,816607833	-0,046607852
15	2,29	2,289999962	2,268096447	0,021903515
16	4,89	4,889999866	4,827620029	0,062379837
17	2,44	2,440000057	2,012657881	0,427342176
18	3,62	3,619999886	3,602467775	0,01753211
19	1,22	1,220000029	1,223840833	-0,003840804
20	2,53	2,529999971	2,552624941	-0,022624969
21	1,53	1,529999971	1,534844398	-0,004844427
22	1,49	1,49000001	1,495358109	-0,0053581
23	3,38	3,380000114	3,337458611	0,042541504
24	1,58	1,580000043	1,59657824	-0,016578197
25	2,18	2,180000067	2,125525236	0,054474831
26	1,43	1,429999948	1,506896973	-0,076897025
27	3,29	3,289999962	3,222145319	0,067854643
28	3,51	3,50999999	2,749392271	0,760607719
29	2,31	2,309999943	2,320640564	-0,010640621
30	1,94	1,940000057	1,835652471	0,104347587
31	3,03	3,029999971	3,027315855	0,002684116
32	2,09	2,089999914	1,882968783	0,207031131
33	1,47	1,470000029	1,288062453	0,181937575
34	1,85	1,850000024	1,850260258	-0,000260234
35	3,04	3,039999962	3,008957386	0,031042576
36	2,63	2,630000114	2,63300705	-0,003006935
37	3,35	3,349999905	3,345450878	0,004549026
38	2,26	2,25999999	2,257421732	0,002578259
39	2,62	2,619999886	2,616869211	0,003130674
40	1,34	1,340000033	1,343686461	-0,003686428
41	3,12	3,119999886	3,134589195	-0,01458931
42	1,39	1,389999986	1,437007427	-0,047007442
43	1,83	1,830000043	1,825034618	0,004965425
44	2,49	2,49000001	2,515470028	-0,025470018
45	1,99	1,99000001	1,996486783	-0,006486773
46	3,05	3,049999952	3,523269653	-0,473269701
47	1,33	1,330000043	1,684299707	-0,354299664
48	1,36	1,360000014	1,507341027	-0,147341013
49	3,86	3,859999895	3,317714214	0,542285681
50	1,28	1,279999971	2,182908535	-0,902908564

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

1. Geoteknik Açından Değerlendirildiğinde;

Sonlu elemanlar analizinde kullanılmak üzere veri havuzu oluşturulurken çeşitli zemin tabakası ve malzeme tipi bulunan, değişken yer altı su seviyesi ve sürşarj yükü içeren, farklı zemin mekanik ve fiziksel özelliklerine sahip 50 adet vakanın geoteknik raporları İstanbul ili Sultanbeyli ilçesinde bulunan kamu kurumlarından elde edilmiştir. Bu veri havuzundaki bazı parametreler değişken, bazı parametreler ise istenen sonucu daha olumlu oranda görebilmek adına sabit tutulmuştur.

Yeni yapılacak olan temel inşaatları sonucunda ortaya çıkan kazılarda alınacak iksa önlemleri kapsamında suyun zeminden drene edildiği sistem, yani drenajlı yöntem kabulü sonucunda ortaya çıkan zemin fiziksel özellikleri ve zemin mekanik özellikleri, yer altı suyunun durumu, ankrajın ön germe kuvveti, sürşarj yükü gibi çevresel faktörler ve diğer parametreler geoteknik analizler sonucunda kuyu perde deplasmanına etki miktarları ölçülmek istendiğinden dolayı değişken kabul edilmiştir.

Kuyu perdeye ait duvar verilerinin (kazı derinliğinin ve perde duvar yüksekliğinin 3,5m, perde genişliğinin 0.25m , beton sınıfının C30 ve çelik donatı sınıfının B420C) olması sebebiyle kuyu temel sisteminde duvar bilgilerinin yer değiştirmesine olan etkisi incelenmek istenmediğinden dolayı ve genellikle seçilen değerler günümüz ruhsat projelerinde sıklıkla kullanılan ortak bilgiler olduğundan dolayı tüm modellerin analizlerinde sabit tutulmuştur.

Kuyu temele ait ankraj verilerinde kazı iksa genelgesinde verilen sınırlamalar baz alınarak tüm analizlerde ankrajın göçme zarfında tutularak toptan yenilmeye maruz kalınmaması sağlanmıştır. Bu sebeple ankraja ait veriler (ankraj kök boyu 10 m, serbest boyu 5 m, duvar yüksekliğinden 1m aşağıda yapılacak olması ve tendon,

halat, ankraj çapları vb.) ankraj verilerinin (ankraj öngerme kuvveti hariç) sabit tutularak kuyu perde deplasmanına olan etkisi incelenmek istenmemiştir.

Sıkışabilirlik-konsolidasyon özelliklerinden olan sükunetteki toprak basıncı katsayısı, aşır konsolidasyon oranı, kohezyon etki katsayısı, duvar zemin sürtünme açısı gibi parametreler daha detaylı zemin raporları ve veri havuzu olmadığından ve deplasman faktörüne önemli ölçüde etki etmediğinden dolayı sabit tutulmuştur.

Geoteknik verileri girilen kuyu temel kesitlerinde 3 kazı aşaması bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla 1. kazı aşaması, elik halatlı ankraj aşaması, nihazi kazı aşamasıdır. 1.Kazı aşaması, elik halatlı ankraj imalatının kolaylıkla yapılabilmesi için ankraj seviyesinin 50 cm aşağısına kadar yapılmaktadır. elik halatlı ankraj aşaması duvar st kotundan 1 m aşağıda yapılarak 3.5 m duvar yüksekliği için deplasman grafiğinin doğrusal olması sağlanmıştır. Eğer ankraj seviyesi duvar st kotundan 0.5 m aşağıda yapılırsa 1.kazı aşamasındaki duvar deplasman grafiği pozitif yönde artmakta olup, nihai kazı aşamasında maksimum yer değiştirme miktarının yaklaşık 3 kat daha fazla çıktığı gözlemlenmiştir. Eğer ankraj seviyesi duvar st kotundan 2 m aşağıda yapılırsa 1.kazı aşamasındaki duvar deplasman grafiği negatif yönde artmakta olup, nihai kazı aşamasında maksimum yer değiştirme miktarının yaklaşık 2.5 kat daha fazla çıktığı gözlemlenmiştir.

Ayrıca değişken parametrelerden olan ankraj n germe kuvvetinin 100 Kn seviyesine doğru artmasıyla birlikte nihai kazı aşamasında oluşan kuyu perde yer değiştirmelerinde azalmalar gözlemlenmiştir.

Geçici iksa projelerinde yapım süresi 2 yıldan az olduğu kabulü yapıldığı için kazı destek yapı kategori 1 sisteminde değerlendirmeler yapılmış olup kuyu temel analizlerinde deprem durumu içermemiştir.

Sürşarj yükünün, kuyu temel sistemlerinin genelde bitişik nizam yapılarında kullanılma sebebiyle perdenin sınırından etkidiği kabulü yapılmıştır. 1. Kazı aşamasında yer değiştirmeyi etkileyen en etkin parametrelerden birisi olan sürşarj yükünün artmasıyla birlikte perdeye etkileyen toprak basıncında arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda nihai kazı aşamasında yer değiştirme sınır değer kontrollerinin sağlanamadığı gözlemlenmiştir. Sürşarj yükünün 40 Kn seviyesinden sonra artmasıyla birlikte perde duvarların arkasında oturma kontrolü sağlanamamış

olup duvar arkasındaki yapıda sürşarj etkisinden dolayı iç bükey oturma profili gözlemlenmiştir.

Zemin tabaka koşullarının sonlu elemanlar analizi sonucu ortaya çıkan yer değiştirmelere geoteknik açıdan etkisine bakılacak olunursa, yer değiştirmeye en yüksek miktarda etki eden parametrelerden bir tanesi olan drenajlı elastisite modülünün ince daneli zeminlerde iri daneli zeminlere göre daha yüksek elastisitelere sahip olduğu görülmüştür.

Yüksek elastisite modülüne sahip zeminlerde ise perde de oluşan deplasmanların daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Efektif kayma direnci açısının ise çakıl ve kaya birimi gibi iri daneli zeminlerde daha fazla olduğu olduğu gözlemlenmiştir. Efektif kayma direnci açısının düşük olduğu zeminlerde ise deplasman miktarlarında azalmalar olduğu gözlemlenmiştir.

Kil ve silt zemin tabakası içeren zeminlerde efektif kohezyonun yüksek olduğu görülmüş olup yer değiştirmeye olan etkileri, kumlu zeminlerde ise düşük kohezyon miktarlarına karşın yer değiştirmelerin diğer parametrelere oranla yüksek çıkmadığı görülmüştür.

Doğal birim hacim ağırlığı ve poisson oranları gibi perde deplasmanını fazla etkilemeyen parametrelere bakıldığında, veri havuzunda bu iki parametre kendi içerisinde neredeyse tüm zemin tabakalarında yakınsak değerlere sahip olduğu görülmüştür. Fakat drenajlı poisson oranı düşük olan zemin tabakalarında yer değiştirme miktarlarında olumsuz anlamda artışlar gözlemlenmiştir. Doğal birim hacim ağırlığı 18 kn/m³ ve 20 kn/m³ arasında geniş bir skalaya sahip olmadığı için yer değiştirmeye olan etkisi hakkında bir yorum yapılamamıştır.

Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu durumlarda yapılan çalışmalara bakılırsa -2m veya -2,5m seviyesinde olan yer altı su seviyesinin zemin boşlukları su ile dolup perdeye etkileyen toprak basıncına ilaveten su basıncıda eklenmekte olup bu durum deplasmanı anlamlı oranda değiştirmektedir. Yer altı su seviyesinin hiç olmadığı durumlarda yapılan geoteknik analiz sonuçlarında yer değiştirmelerin 2mm geçmediği görülmüştür. Yer altı su seviyesinin var olma durumu perdede oluşan yatay deplasmanı ciddi oranda etkilediği görülmektedir.

Tasarlanan sonlu elemanlar analizleri sonucunda yer değiştirme grafiklerinde sürşarj yükünün fazla olmadığı durumlarda genel olarak 1. kazı aşamasında ankraj

kuvvetinin etkisiyle pozitif (güvenli) tarafta yatay deplasmanlara sıklıkla rastlanılmıştır. Fakat diğer kazı aşamalarına etkiyen yatay toprak basınçları ve yer altı suyu seviyesi gibi çevresel etkiler hesaplara dahil edildiği zaman, kuyu perdenin yer değiştirme miktarına bağlı olarak deplasman şekli iç bükey (bel verme) şeklinde olduğu gözlemlenmiştir.

2. Yapay Sinir Ağları Açısından Değerlendirildiğinde;

Öncelikle yapay sinir ağlarının tahmin modelinde kullanılacak olan girdi ve çıktı verileri, tahmin edilmesi istenilen sonuç ışığında belirlenmiştir. Farklı girdi ve çıktı değişkenlerine ait geoteknik veriler seçilmiş olup içerdikleri zemin çeşidine göre irdelenmiştir. Değişkenlere ait veriler hazırlanarak yapay sinir ağları modeli geliştirilmesi için veri havuzu oluşturulmuştur. Yer altı su seviyesi, sürşarj yükleri, ankraj öngerme kuvveti, doğal birim hacim ağırlık, efektif kohezyon, efektif kayma direnci açısı, drenajlı elastisite modülü, drenajlı poisson oranı gibi veriler programa girdi parametresi olarak tanımlanmış olup çıktı parametresi olarak yer değiştirme miktarının tahmin edilmesi istenmiştir.

Toplam 50 geoteknik vakanın %10'luk kısmı yani son 5 vakanın deplasman sonuçları tahmin edilmesi istenmiştir. 9 adet vaka teste tabi tutulmuş olup geriye kalan 36 adet vaka ise eğitimde kullanılmıştır. Tasarım kısmına geçildiğinde Şekil 4.9'da ki 16 adet mimari opsiyonlarından başarı sonuçları elde edilmesi için sırasıyla her bir mimari opsiyon için yapay sinir ağ modeli oluşturulmuş olup en yüksek başarı oranlarını veren BPNN ve GRNN veri türlerine ait mimari ağ opsiyonları olduğu görülmüştür. Probleme en uygun ağ mimarisini belirleme noktasında girdi ve çıktı katmanlarının aktivasyon fonksiyonları içerisinde en yüksek başarı oranını sağlayan Linear [-1,1] ve tanh scale function seçenekleri olduğu görülmüştür. Şekil 4.10 ve Şekil 4.20'de ise mimari opsiyonların eğitim kriterlerinde başarı oranlarına en fazla etki eden seçimler gösterilmiştir.

12 adet geri beslemeli mimari opsiyonların en yüksek başarı oranı sağlayan BPNN veri türüne ait Backprop with 3 Hidden Slabs olduğu anlaşılmıştır. Bu mimari ağ opsiyonuna sahip yapay sinir ağı modelinde R squared %83 ile başarı oranı sağlanmıştır. Diğer mimari opsiyonlarla birlikte yapay sinir ağ modelleri oluşturulmuş olup başarı oranlarının en yüksek çıktığı GRNN veri türüne ait General Regression Neural Network olduğu görülmüştür. Bu mimari ağ opsiyonuna sahip

yapay sinir ağı modelinde R squared %92 ile en yüksek başarı oranı sağlanmıştır. GRNN R squared %92 oranla başarı oranı vermesine karşın contribution factors seçeneği içermediği için yani istenen parametrenin hangi yüzde de etkin olduğunu tahmin edemediği için kullanıma esas alınmamıştır.

Bu tez çalışmasındaki asıl amaçlardan biri, kuyu temel sisteminde yer değiştirmeye en yüksek oranda etkiyen parametrenin belirlenmesi olduğundan dolayı geri beslemeli mimari opsiyonlardan en yüksek başarı oranını veren Backprop with 3 Hidden Slabs kullanıma esas alınmıştır. Geliştirilen yapay sinir ağ modellerinde eğitim kısmına geçildiğinde hata payının sıfır eğrisine yaklaştığı grafiklerde tahmin sürelerinin yaklaşık 1-3 dk içerisinde sonuçlandığı, dolayısıyla başta sahada olmak üzere ön analiz aşamasında rahatlıkla sektörde kullanılabileceği söylenebilmektedir.

Seçilen mimari ağ opsiyonuna göre katkı oranlarında çıkan sonuçlara bakılacak olunursa, kuyu temel sistemine etkiyen geoteknik parametreler arasından yer değiştirmeye etkiyen en yüksek faktörün % 27,689 oranla yer altı su seviyesi olduğu görülmüştür. %16,243 oranla drenajlı elastisite modülü, %11,045 oranla efektif kayma direnci açısı en çok etki eden diğer iki parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. %9,992 oranla drenajlı poisson oranı, %9,907 oranla efektif kohezyon, %9,362 oranla sürşarj yükleri, %9,211 oranla doğal birim hacim ağırlık gibi diğer geoteknik parametrelerin yer değiştirmeye olan etkisinin birbirine yakın çıktığı görülmüştür. %6,551 oranla ankraj öngerme kuvvetinin ise kuyu temel sisteminde deplasmana etkiyen en düşük parametre olduğu gözlemlenmiştir. BPNN sonucu çıkan en etkin 3 parametrenin, geliştirilen sonlu elemanlar modellerinin vermiş olduğu sonuçlara göre disiplinler arası uyum içinde bulunduğu anlamlı sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.11'de görüldüğü üzere BPNN Backprop With 3 Hidden Slabs Mimari Ağ Opsiyonunun tahmin etme sonucu olarak bulunan başarı oranının genel itibariyle %83 olmasına karşın yer değiştirmelerin 1.5 cmin üzerinde olan karşılaştırmalarda hata payının yaklaşık %20-25 civarında olduğu görülmüştür. Tablo 4.12'e göre GRNN General Regression Neural Network Mimari Ağ Opsiyonu tahmin etme sonucu olarak bulunan başarı oranının %92 olmasına karşın deplasman tahminlerinde en fazla %10 hata payları gözükmemektedir. Geliştirilen yapay sinir ağları modelleriyle toplam 50 geoteknik vakanın son 5 tanesinin yer değiştirmelerini program tarafından tahmin edilmesi sağlanmış olup, bu şekilde bulunan yer

değiştirmelerin sonlu elamanlar sonucu ortaya çıkan yer değiştirme miktarlarıyla yakınsak olduğu olduğu görölmüştür.

Elde edilen bu sonuçlara göre yapay sinir ağlarının geoteknik mühendisliğinde kazı destek sistemlerinin deplasman sınırlamalarının tahmini için kullanılabilir bir program olduğunu göstermektedir.

5.2 Öneriler

Bu tez çalışması kapsamından yola çıkılarak bazı öneriler verilmesi gerekirse, veri havuzunun genişletilip vaka sayısının artırılması ile birlikte sonuç kısmını etkileyen başarı oranı artacaktır. Daha fazla veriye sahip olan yapay sinir ağlarının öğrenme ve eğitim aşamaları daha hızlı gerçekleşmekte olup hata payının sıfıra yaklaşması sağlanabilmektedir.

Oluşturulan veri havuzundaki her vakada dikkate alınan parametre sayısının artırılması ile birlikte daha fazla etken arasında karşılaştırılma yapılabilir. Tahmin sonuçlarına etki miktarları ölçülebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında sabit tutulan geoteknik parametreler bir sonraki problem için değişken kabul edilerek onların etkileride gözlemlenebilir.

Sonlu elemanlar yöntemiyle bulunan yer değiştirme miktarlarıyla birlikte sahada gözlemlenen ve zamana bağlı olarak ölçülen deplasman miktarlarının karşılaştırılma analizi yapılip ilerleyen inşaat aşamalarında kazı destek yapılarında oluşacak deplasman miktarları hakkında fikir sahibi olunabilir.

DeneySEL bir çalışma ile mevcut yer altı su seviyesinin kuyu temellerde yer değiştirme miktarına en etkin parametre olduğunun gözlemlenmesi farklı akademisyenler tarafından çalışmalar olarak yapılabilir.

Tasarım aşamasında hesaplanan yer değiştirme miktarlarının sahada paralel olarak karşılığının alınması için projeye uygun imalat yapılması önem arz etmektedir.

Kazı destek yapılarından kuyu temel hesaplarına etki eden çevresel faktörlerin (Sürşarj yükü, Toprak basıncı, Yer altı suyu durumu vb.) sahada mutlaka değişkenlik göstermediği gözlemlenmelidir.

Sonlu elemanlar yöntemi ve yapay sinir ağı yöntemi birbirinden farklı disiplinler arasında karşılaştırma analizi yapmanıza olanak sağlayabilmektedir.



KAYNAKLAR

- Afşar, E., & Bilgen, G. (2021).** Kuyu Temel Maliyetinin Deprem Riskine Göre Değişimi. *Tasarım Mimarlık Ve Mühendislik Dergisi*, 1(3), 181-188.
- Akçay, C. (2021).** Tarihi Yarımada İnşaat İşlerinde Arkeolojik Kazı İmalatlarının Süre Ve Maliyete Etkisi: Vaka Analizi. *Art-Sanat Dergisi*, (16), 1-29.
- Alkaya, D. Ve Çobanoğlu, İ., 2007.** Toprakarme (Donatılı Zemin) Yapılar, *Denizli İmo Bülten - İnceleme Araştırma*, Sayı. 54, Denizli.
- Alp Gökçalp,** Farklı Destek Sistemleri Uygulanan Diyafram Duvarların Performansı 7. Geoteknik Sempozyumu 22-23-24 Kasım 2017, İstanbul
- Altun G. (2013),** Ankrajlı Ve Ankrajsız Derin Kazı İksa Sistemlerinin Sayısal Yöntemler İle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 337208.
- Birand, A., (2006).** Duvarlar. Teknik Yayınevi Mühendislik Ve Mimarlık. Yayınları, Ankara.
- Başeski, O., (2008),** Derin Kazılarda İksa Sistemleri Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Burak Sarp Özberk (2009),** Ankraj Destekli Derin İksalarda Deformasyonların İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Bowles, J.E.** 1990. *Foundation Engineering And Design*, John Wiley And Sons, New York.
- Çamlıbel A.N.** “Yüzeysel Yapı Temelleri “, Isbn: 975-511-232-4 Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000, Sayfa: 105-111.
- Clayton, C. R., Woods, R. I., Bond , A. J., & Milititsky, J. (2013).** *Earth Pressure And Earth Retaining Structures (3rd Edition)*. U.S.A: Crc Press, Taylor And Francis Group.
- Cgs., (1992).** *Canadian Foundation Engineering Manual 3rd Ed.*, Canadian Geotechnical Society, Bitech, Vancouver.
- Coduto, D. P., (2001).** *Foundation Design: Principles And Practices*, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River.
- Civalek, Ö., Çatal, H. H. (2004).** Geriye Yayılma Yapay Sinir Ağı Kullanarak Elastik Kirişlerin Statik Ve Dinamik Analizi, Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi. 6(1), 1-16.
- Celep, Z., & Kumbasar, N. (1998).** *Betonarme Yapılar Sema Matbaacılık*. Baskı, İstanbul.

- Çil, T.B., (2007),** “ İksa Sistemleri Ve Analiz Yöntemleri Plaxis Paket Programı”, Bitirme Ödevi, Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana.
- Çetin, D. (2001),** “Destekli İksa Perdelerinde Ölçülen Ve Tahmin Edilen Deplasmanların Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çakır, F.S. (2018).** Matlab Kodları Ve Matlab Toolbox Çözümleri. İstanbul: Nobel Yayıncılık.
- Doğangün, A. (2016).** Betonarme yapıların hesap ve tasarımı. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Eçin, A. , (2021),** Geoteknik Tasarımda Temel Derinliğini Belirleyen Etkenler Ve Temel Tasarımında Olası Riskler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul
- E. Toğrul Ve O.Tan, (2009) ,**Kazıklı Temeller, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, Kazıklı Temellerde Zemin Kazık Etkileşimi Parametrelerinin Ortaya Konulması , Mehmet Ali Yiğit Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
- Ergezer, H., Dikmen, M., Özdemir E.** Yapay Sinir Ağları Ve Tanıma Sistemleri (2003). Pivolka (Yapay Sinir Ağları Ve Tanıma Sistemleri, Başkent Üniversitesi İdari Bilimler Fakültesi). 6, 4-17.
- Eke, Rabia 2004,** Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Temel Tasarımında Etkin Parametrelerin Belirlenmesi, Isparta
- E. Öztemel (2016),** Yapay Sinir Ağları, 4th Ed. Papatya Bilim, Isbn:978-975-6797-39-6.
- Fhwa-Rd-75-129, 1976.** Lateral Support Systems And Underpinning, Vol. Iı. Design Fundamentals, Washington, D.C..
- Günsever, İ. (1999),** “Derin Kazılarda Çok Sıralı Ankrajlı İksa Sistemlerinin Tasarımı Ve Bir Bilgisayar Programı İle Desteklenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Graupe, D. (2013).** Principles Of Artificial Neural Networks (Vol. 7). Singapur: World Scientific.
- Havva Hilal Metin, (2018)** Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Türkiye'de Elektrik Enerjisi, Tüketimi Tahminlemesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi ,Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul
- Hamzaçebi, Coşkun Ve Kutay, Fevzi (2004).** Yapay Sinir Ağları İle Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19 (3), 227-233.
- İncecik, M., (1977),** “Mini Kazıkların Uygulamaları”, Zemin Mekaniği Ve Temel Mühendisliği Iı. Ulusal Kongresi.

- Karaosmanoğlu**, Derin Kazıda Farklı İksa Sistemlerinin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kocaeli,2018.
- Karaoğlan, S. (2012).** Bazı Mühendislik Problemlerinde Yapay Sinir Ağları Ve Bulanık Mantığın Uygulanması, Gaziantep Üniversitesi Matematik Bölümü Yüksek Lisans Tezi
- Kim, M., Okuyucu, ve ark. (2022).** Prediction Of Undrained Shear Strength By The Gmdh-Type Neural Network Using Spt-Value And Soil Physical Properties. Mdp1, 1-14.
- Koç, S. , (2023) ,** Farklı Zeminlerde Uygulanan Temel Tiplerinin Yapı Maliyetine Etkisi, Yüksek Lisan Tezi, Iğdır Üniversitesi, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Iğdır.
- Kekül, A. (2016).** Üstyapı Uygulamalarında Derin Kazıların Desteklemesinde Ankraj Modelinin Oluşturulması Ve Alternatif Çözümlerle Karşılaştırılması. Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi, Sivas.
- Merve İspiroğlu**, Kasım 2016, İnce Daneli Zeminlerde Drenajlı Kayma Direnci Parametrelerinin Tayini ,Yüksek Lisans Tezi , T.C.Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ,Geoteknik
- Mustafa Dayıoğlu, 2010** Yüksek Lisans Tezi Derin Kazıların İncelenmesi Ve Derin Kazı Uygulaması Üzerine Bir Örnek: Harbiye Kongre Merkezi Derin Temel Kazısı
- Murat Can Yıldız , 2015 ,** İstinat Duvarına Etkiyen Dinamik Toprak Basınçları İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Mccullogh, W.S. Pitts, W. (1943).** A Logical Calculus Of Ideas İmminent İn Nervousactivity, Bull. Math. Biophysics, 5, 115-33.
- Oberguggenberger, M. (2004).** Introductory Remaks Mathematical Models Of Uncertainly Zamm. Z, Angew. Math. Mech. 84, 10–11.
- Ou, C. Y. (2006).** Deep Excavation: Theory And Practice, Taylor & Francis,London.
- Okan Çetinkaya (2022),** Sıvılaşma Kaynaklı Yanal Yayılmaların Yapay Sinir Ağları İle Tahmini,Yüksek Lisans Tezi , Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Ornek, M., Laman, M., Demir, A., & Yıldız, A. (2012).** Numerical Analysis Of Circularfootings On Natural Clay Stabilized With A Granular Fill. Acta Geotechnica Slovenica, 9(1), 61-75
- Pham, V.-N., Do ve ark.(2021).** Prediction Of Unconfined Compressive Strength Of Cement-Stabilized Sandy Soil İn Vietnam Using Artificial Neural Networks (Anns) Model. International Journal Of Geotechnical Engineering, 1-7.
- Saraç, T. (2004).** Yapay Sinir Ağları Seminer Projesi, Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Shahin, M. A., Jaksa, M. B., & Maier, H. R. (2009).** Recent Advances And Future Challenges For Artificial Neural Systems İn Geotechnical Engineering Applications. Hindawi Publishing Corporation, 1-5.

- Topçu, Osman (2019)** , Betonarme 2, Ders notları, Eskişehir osmangazi üniversitesi
- Tschebotarioff, G. P. (1951)**. Soil Mechanics, Foundations, And Earth Structures: An Introduction To The Theory And Practice Of Design And Construction
- Ural, N. 2015**. Deprem Sırasında Boşluk Suyu Basıncı Oluşumu Üzerine İnceleme, Geoteknik Sempozyumu, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Url1**http://Eng.Harran.Edu.Tr/Moodle/Moodldata/139/Backupdata/Ban_Hru_5.Pdf syf.117 Harran.Edu.Tr Betonarme 1 Ders Notları, 16 Ekim 2013
- Wrzesiński, G., & Markiewicz, A. (2022)**. Prediction Of Permeability Coefficient K In Sandy Soils Using Ann. Mdp1, 1-13.
- Yağcı, B. (2018)**., Derin Kazı Destek Sistemlerinin Analizinde Geoteknik Modelleme Farklılıkları, Araştırma Makalesi, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir.
- Yılmaz, Z., (2001)**. “Çeşitli Toprak Basıncı Dağılımları İçin Ankrajlı Perde Hesabı”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yiğit, M. A. (2019)**. Kazıklı Temellerde Zemin Kazık Etkileşimi Parametrelerinin Ortaya Konulması (Doctoral Dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir, 599445).

ÖZGEÇMİŞ

Muhammet Sait ÇAĞLAR

EĞİTİM BİLGİLERİ:

1. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği, (2016-2020).
2. Hoca Ahmet Yesevi Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği, Tezsiz Yüksek Lisans, (2020-2021).
3. İstanbul Gedik Üniversitesi, , Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans, (2022-2024).

MESLEKİ DENEYİMLERİ:

1. ÖZSOY İnşaat, Sultanbeyli Devlet Lisesi ve Yurt Yapım İşİ, Stajyer Mühendis, (2019-2020)
2. MAQ İnşaat, Sultanbeyli Devlet Ortaokulu ve Spor Salonu Yapım İşİ, Saha Mühendisi, (2020-2021).
3. Sultanbeyli Belediyesi, İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, Teknik İşler Şefliği, Betonarme Statik ve Geoteknik İksa Projeleri Raportörü, (2021-Devam Ediyor)

PROGRAM BİLGİSİ:

- Autocad – İstcad - Ms Office - İdecad Betonarme Statik – Sta4cad Betonarme Statik
- Setaf2018 - NeuroShell2