

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME İKSA SİSTEMLERİNİN İMALAT TEKNİKLERİ VE
MALİYET ANALİZLERİ BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Şahin ATMACA**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK

EYLÜL 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME İKSA SİSTEMLERİNİN İMALAT TEKNİKLERİ VE
MALİYET ANALİZLERİ BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Şahin Atmaca
501061120

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Eylül 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Eylül 2010

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Nilgün AKTAN (YTÜ)

EYLÜL 2010

Aileme ve sevgilime,

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimimin yanı sıra tez çalışmamın hazırlanma süresi boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana her konuda destek olan sayın hocam Doç. Dr. Turgut Öztürk'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımı her daim destekleyen ZETAŞ Zemin Teknolojisi AŞ yöneticileri ve ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca, maddi ve manevi açıdan her türlü desteği gösteren aileme, tüm kalbimle teşekkür ederim.

Eylül 2010

Şahin Atmaca
İnş. Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. İKSA YAPISI KAVRAMI	3
3. DERİN KAZI BETONARME İKSA YAPILARI VE İNŞAAT TEKNİKLERİ	5
.....	5
3.1 Giriş.....	5
3.2 Fore Kazıklar.....	5
3.2.1 Teğet – aralıklı fore kazıklar.....	5
3.2.2 Kesişen fore kazıklar.....	6
3.2.3 Fore kazık genel yapım yöntemi.....	7
3.2.3.1 Tarif.....	7
3.2.3.2 Makineler ve tesisler.....	7
3.2.3.3 Malzemeler.....	8
3.2.3.4 Fore kazık imalatı.....	10
3.2.3.5 Yer altı engeller.....	11
3.2.3.6 Kazık başlarının kırılması.....	11
3.2.3.7 Raporlar ve kazık fişleri.....	11
3.2.3.8 Kazık delgisi esnasında stabilite.....	12
3.2.3.9 Kalite kontrol sistemi.....	14
3.3 Diyafram Duvar.....	15
3.3.1 Diyafram duvar genel yapım yöntemi.....	16
3.3.1.1 Tarif.....	16
3.3.1.2 Makineler ve tesisler.....	16
3.3.1.3 Malzemeler.....	19
3.3.1.4 Diyafram duvar imalatı.....	20
3.3.1.5 Yer altı engelleri.....	22
3.3.1.6 Raporlar ve panel fişleri.....	22
3.3.1.7 Diyafram duvar delgisi esnasında stabilite.....	23
3.3.1.8 Kalite kontrol sistemi.....	23
3.4 Zemin Çivisi ve Püskürtme Beton.....	24
3.4.1 Zemin çivisi ve püskürtme beton genel yapım yöntemi.....	24
3.4.1.1 Tarif.....	24
3.4.1.2 Makineler ve Tesisler.....	24

3.4.1.3 Malzemeler.....	25
3.4.1.4 Zemin çivisi ve püskürtme beton imalat aşamaları	28
4. ÖRNEK UYGULAMALAR İLE İKSA SİSTEMLERİ VE MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	31
4.1 Giriş	31
4.2 Örnek Uygulamaların Tarifi ve Tasarım Ölçütleri.....	31
4.2.1 Zemin parametreleri	32
4.2.2 Yer altı suyu etkisi.....	33
4.2.3 Tasarım ölçütleri ve kabuller.....	34
4.2.4 Sonlu elemanlar yöntemi ile geoteknik modelleme – PLAXIS	34
4.3 Uygulama – 1: İki Bodrum Yapı Temel Kazısı – 8 Metre Derinlik.....	37
4.3.1 Kuru zemin durumu	37
4.3.1.1 Konsol sistem	37
Analiz no : 1 – Teğet fore kazık	38
Analiz no : 2 – Kesişen fore kazık	38
Analiz no : 3 – Diyafram duvar.....	39
4.3.1.2 Tek sıra ankrajlı sistem	40
Analiz no : 4 – Teğet fore kazık.....	41
Analiz no : 5 – Kesişen fore kazık	42
Analiz no : 6 – Diyafram duvar.....	43
4.3.2 Yer altı suyu mevcut durumu	44
4.3.2.1 Konsol sistem	44
Analiz no : 7 – Kesişen fore kazık	45
Analiz no : 8 – Diyafram duvar.....	46
4.3.2.2 Tek sıra ankrajlı sistem	47
Analiz no : 9 – Kesişen fore kazık	48
Analiz no : 10 – Diyafram duvar.....	49
4.4 Uygulama – 2: Dört Bodrum Yapı Temel Kazısı – 16 Metre Derinlik.....	50
4.4.1 Kuru zemin durumu	50
4.4.1.1 Tek sıra ankrajlı sistem	50
Analiz no : 11 – Teğet fore kazık	52
Analiz no : 12 – Kesişen fore kazık	52
Analiz no : 13 – Diyafram duvar.....	53
4.4.1.2 İki sıra ankrajlı sistem	54
Analiz no : 14 – Teğet fore kazık.....	55
Analiz no : 15 – Kesişen fore kazık	56
Analiz no : 16 – Diyafram duvar.....	57
4.4.2 Yer altı suyu mevcut durumu	58
4.4.2.1 İki sıra ankrajlı sistem	58
Analiz no : 17 – Kesişen fore kazık	60
Analiz no : 18 – Diyafram duvar.....	61
4.4.2.2 Üç sıra ankrajlı sistem.....	62
Analiz no : 19 – Kesişen fore kazık	64
Analiz no : 20 – Diyafram duvar.....	65
4.5 Maliyet Analiz ve Karşılaştırması	66
4.5.1 Birim fiyat tarifleri	67
4.5.2 Maliyet Analizleri	69
4.5.3 Karşılaştırma ve sonuçlar	80

5. İSTANBUL METRO VE HAFİF METRO SİSTEMİ KİRAZLI – BAŞAK KONUTLARI HATTI İSTOÇ İSTASYONU ÖRNEĞİ	91
5.1 Giriş	91
5.2 İstasyon Geometrisi	92
5.3 Zemin Koşulları	92
5.4 İksa Sistemleri Alternatifleri Teknik ve Maliyet Değerlendirmeleri	93
5.4.1 Zemin çivisi ve püskürtme beton	94
5.4.2 Kesişen fore kazık ve ankrajlı sistem	94
5.4.3 Üstte (23m) kesişen fore kazık – altta perde duvar ve ankrajlı sistem	95
5.4.4 Üstte (11m) aralıklı fore kazık – altta kesişen fore kazık ve ankrajlı sistem	96
5.4.5 Kazı tabanına kadar geçici diyafram duvar ve ankrajlı sistem	97
5.4.6 Üstte (11m) aralıklı fore kazık – altta geçici diyafram duvar ve ankrajlı sistem	98
5.4.7 Kazı tabanına kadar kalıcı diyafram duvar (top – down) sistemi	99
5.4.8 Üstte (11m) aralıklı fore kazık – altta kalıcı diyafram duvar (top – down) sistemi	100
5.5 Seçilen Sistem ve Sonuçlar	102
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	103
KAYNAKLAR	107

KISALTMALAR

YASS	: Yer altı su seviyesi
HFC	: Hydro fraise cutter
HG	: Hidrolik grab
Dduvar	: Diyafram duvar
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
PVC	: Polivinil klorür
İETT	: İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel
İSTOÇ	: İstanbul Toptancılar Çarşısı
SPT	: Standart penetrasyon deneyi (standard penetration test)
TCR	: Toplam karot yüzdesi (total core recovery)
SCR	: Silindirik karot yüzdesi (solid core recovery)
RQD	: Kaya kalitesi (rock quality designation)
Ø	: Çap

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Örnek uygulama analizleri	32
Çizelge 4.2 : Örnek uygulama zemin profili ve parametreleri	33
Çizelge 4.3 : Birim fiyat ve tarifleri.....	67
Çizelge 4.4 : Analiz No 1 maliyet tablosu	69
Çizelge 4.5 : Analiz No 2 maliyet tablosu	70
Çizelge 4.6 : Analiz No 3 maliyet tablosu	70
Çizelge 4.7 : Analiz No 4 maliyet tablosu	71
Çizelge 4.8 : Analiz No 5 maliyet tablosu	71
Çizelge 4.9 : Analiz No 6 maliyet tablosu	72
Çizelge 4.10 : Analiz No 7 maliyet tablosu	72
Çizelge 4.11 : Analiz No 8 maliyet tablosu	73
Çizelge 4.12 : Analiz No 9 maliyet tablosu	73
Çizelge 4.13 : Analiz No 10 maliyet tablosu	74
Çizelge 4.14 : Analiz No 11 maliyet tablosu	74
Çizelge 4.15 : Analiz No 12 maliyet tablosu	75
Çizelge 4.16 : Analiz No 13 maliyet tablosu	75
Çizelge 4.17 : Analiz No 14 maliyet tablosu	76
Çizelge 4.18 : Analiz No 15 maliyet tablosu	76
Çizelge 4.19 : Analiz No 16 maliyet tablosu	77
Çizelge 4.20 : Analiz No 17 maliyet tablosu	78
Çizelge 4.21 : Analiz No 18 maliyet tablosu	78
Çizelge 4.22 : Analiz No 19 maliyet tablosu	79
Çizelge 4.23 : Analiz No 20 maliyet tablosu	79
Çizelge 4.24 : Maliyet analizleri özet tablo	80
Çizelge 5.1 : Kesişen fore kazık ve ankrajlı sistem maliyet analizi	95
Çizelge 5.2 : Üstte (23m) kesişen fore kazık – Altta perde duvar maliyet analizi	96
Çizelge 5.3 : Üstte (11m) aralıklı fore kazık – Altta kesişen kazık maliyet analizi ..	97
Çizelge 5.4 : Kazı tabanına kadar geçici diyafram duvar maliyet analizi	98
Çizelge 5.5 : Üstte (11m) aralıklı kazık altta geçici diyafram duvar maliyet analizi	99
Çizelge 5.6 : Kazı tabanına kadar kalıcı diyafram duvar maliyet analizi.....	100
Çizelge 5.7 : Üstte (11m) aralıklı kazık altta kalıcı dduvar analizi	101

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Teğet fore kazık plan görünüşü	6
Şekil 3.2 : Kesişen fore kazık plan görünüş	6
Şekil 3.3 : Hidrolik delgi makineleri ve servis vinçleri	7
Şekil 3.4 : Farklı boy ve çaplarda muhafaza boruları	8
Şekil 3.5 : Hazırlanan donatı kafesi	8
Şekil 3.6 : Betonlama işlemi	10
Şekil 3.7 : Bentonit tesisi	14
Şekil 3.8 : Diyafram duvar plan görünüşü	16
Şekil 3.9 : Hydro-Fraise cutter	17
Şekil 3.10 : HFC çalışma şeması ve delgi prensibi	18
Şekil 3.11 : Operatör kabini içindeki bilgi ekranı ve düşeyde yön kabiliyeti.....	18
Şekil 3.12 : Hidrolik grab kazıcı	19
Şekil 3.13 : Donatı kafesi kaldırılması ve delgi kuyusuna indirilmesi	20
Şekil 3.14 : Diyafram duvar imalat aşamaları	21
Şekil 3.15 : Diyafram duvar bentonit tesisi	23
Şekil 3.16 : Hidrolik delgi makinesi	25
Şekil 3.17 : Çelik hasır ve püskürtme beton	27
Şekil 3.18 : Zemin çivisi - püskürtme beton imalat aşamaları	29
Şekil 4.1 : Plaxis yazılımında oluşturulan düğüm ve gerilme noktaları seçenekleri .	35
Şekil 4.2 : Analiz no 1 – 3 tipik kesit	37
Şekil 4.3 : Analiz no 1 – 3 hesap adımları	38
Şekil 4.4 : Analiz no 1 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	38
Şekil 4.5 : Analiz no 2 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	39
Şekil 4.6 : Analiz no 3 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	40
Şekil 4.7 : Analiz no 4 – 6 tipik kesit	40
Şekil 4.8 : Analiz no 4 – 6 hesap adımları	41
Şekil 4.9 : Analiz no 4 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	42
Şekil 4.10 : Analiz no 5 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	43
Şekil 4.11 : Analiz no 6 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	44
Şekil 4.12 : Analiz no 7 – 8 tipik kesit	44
Şekil 4.13 : Analiz no 7 – 8 hesap adımları	45
Şekil 4.14 : Analiz no 7 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	46
Şekil 4.15 : Analiz no 8 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	46
Şekil 4.16 : Analiz no 9 – 10 tipik kesit	47

Şekil 4.17 : Analiz no 9 – 10 hesap adımları	47
Şekil 4.18 : Analiz no 9 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	49
Şekil 4.19 : Analiz no 10 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	50
Şekil 4.20 : Analiz no 11 – 13 tipik kesit.....	51
Şekil 4.21 : Analiz no 11 – 13 hesap adımları	51
Şekil 4.22 : Analiz no 11 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	52
Şekil 4.23 : Analiz no 12 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	53
Şekil 4.24 : Analiz no 13 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	54
Şekil 4.25 : Analiz no 14 – 16 tipik kesit.....	54
Şekil 4.26 : Analiz no 14 – 16 hesap adımları	55
Şekil 4.27 : Analiz no 14 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	56
Şekil 4.28 : Analiz no 15 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	57
Şekil 4.29 : Analiz no 16 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	58
Şekil 4.30 : Analiz no 17 – 18 tipik kesit.....	58
Şekil 4.31 : Analiz no 17 – 18 hesap adımları	59
Şekil 4.32 : Analiz no 17 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	61
Şekil 4.33 : Analiz no 18 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	62
Şekil 4.34 : Analiz no 19 – 20 tipik kesit.....	62
Şekil 4.35 : Analiz no 19 – 20 hesap adımları	63
Şekil 4.36 : Analiz no 19 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	65
Şekil 4.37 : Analiz no 20 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri	66
Şekil 4.38 : 8 metre kazı tüm durumlar ortalama maliyet karşılaştırması	81
Şekil 4.39 : 16 metre kazı tüm durumlar ortalama maliyet karşılaştırması	82
Şekil 4.40 : 8 metre kazı tüm durumlar farklı iksa tipleri maliyet karşılaştırması	83
Şekil 4.41 : 16 metre kazı tüm durumlar farklı iksa tipleri maliyet karşılaştırması ..	83
Şekil 4.42 : 8 metre kazı kuru zemin şartları farklı iksa sistem maliyetleri	85
Şekil 4.43 : 16 metre kazı kuru zemin şartları farklı iksa sistem maliyetleri	85
Şekil 4.44 : 8 metre kazı yer altı suyu mevcut farklı iksa sistem maliyetleri	86
Şekil 4.45 : 16 metre kazı yer altı suyu mevcut farklı iksa sistem maliyetleri	87
Şekil 5.1 : İstasyon vaziyet planı	91
Şekil 5.2 : İstasyon kesiti	92
Şekil 5.3 : İstasyon inşaat çalışmalarından görünüm.....	102

BETONARME İKSA SİSTEMLERİNİN İMALAT TEKNİKLERİ VE MALİYET ANALİZLERİ BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Günümüz şehirciliğinde, yüksek katlı yapıların yerleşimini sağlayabilmek İnşaat Mühendisliği açısından önemli bir durumdur. Bu tip yapıların bodrum katlarının ve metro, tünel, köprü gibi yapıların inşası sırasında derin kazı yapma zorunluluğu zemin stabilitesi problemlerini de beraberinde getirmiştir. Açığa çıkan yüksek zemin tabakalarının göçmeden yerinde kalabilmesi için çeşitli iksa sistemleri geliştirilmiştir. Bu iksa sistemleri zeminin cinsine ve yapının büyüklüğüne bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Hangi tür iksa sisteminin seçileceğine karar verme aşamasında birçok faktör gözönüne alınmaktadır. Bunlardan en önemlisi de ekonomiktir.

İksa sistemleri, temel altı taşıyıcı elemanlar, zemin iyileştirme yöntemleri gibi geoteknik mühendisliğinin ilgi alanlarına giren konular aslında diğer inşaat mühendisliği disiplinleri olan yapı mühendisliğini, malzeme bilimi, planlama, ulaştırma bilimleri ile direk teorik ve fiziki ilişki içindedir. Bu çalışmada incelenen betonarme iksa sistemlerinin kalıcı yapılar ile etkileşimleri, betonarme kesit davranışları ve projelerin toplam maliyetine olan büyük etkileri nedeni ile yapı mühendisliği bakış açısından değerlendirilmeleri önem kazanmaktadır.

Son yıllarda derin kazıların iksalarla desteklenmesi konusunda büyük ekonomi sağlandığı görülmektedir. Kazı derinliğinin az olduğu durumlar için ankastre kazıklı iksa sistemleri daha uygun çözümler vermekte iken derinliğin fazla olduğu derin iksa gerektiren durumlarda ise, çok sıra ankrajlı iksa sistemleri daha ekonomik hale gelmektedir. Bunun başlıca nedenleri; zemin mekaniği alanındaki gelişmeler, işçilik ve malzeme kalitesindeki iyileşmeler ile betonarme hesaplamalar konusundaki yeni bilişim teknolojilerinin kullanımı olarak sıralanabilir.

Bu çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda derin kazı iksa yapıları, özellikleri, imalat teknikleri ve hesaplama yöntemleri açıklanmaktadır. İkinci kısımda ise, çalışmanın amacına uygun bir örnek olay değerlendirilmiş; üzerinde farklı çözüm yöntemlerinin teknik çözümleri yapılarak maliyet karşılaştırması analizi uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

COMPARISON OF CONSTRUCTION METHODS AND COST ANALYSES OF REINFORCED CONCRETE EARTH RETAINING SYSTEMS

SUMMARY

In modern urban development planning of high rise buildings is an important study for civil engineering. Construction of multi level basements, subways, tunnels and bridges requires deep excavations which bring many challenges due to soil stability and safety of other structures. In order to maintain the soil, a wide range of earth retaining systems (shoring systems) have been developed; each being specifically designed depending on the unique characteristics of the soil and type of structures for every single project. Determining the type of earth retaining system is a fundamental step which involves many factors. Economy, in this aspect, has a significant role.

Subjects like earth retaining systems, deep foundations and soil improvement methods that are specialized under geotechnical engineering are in fact both theoretically and physically related to structural engineering, materials science, planning and transportation; making all an interdisciplinary study for civil engineering. Therefore it is of high importance that the subject of this paper; reinforced concrete earth retaining systems; shall be deeply evaluated from the structural engineer's point of view considering the interference with the permanent structures, reinforced concrete behavior and large scale cost impact on projects.

There has been major improvements in the recent years that lead cost effectiveness of earth retaining systems. Cantilever piled walls prove to be more economical for shallow excavations whereas deep walls supported by multi level anchors or struts tend to be more cost effective and better suited for deep excavations. Such targets are achieved by developments in soil mechanics, high quality of workmanship and materials and advancement in reinforced concrete technologies and engineering.

This study consists of two distinct sections. First part forms the introduction for reinforced concrete shoring systems for deep excavations which presents different types of systems, construction methodologies and analyses procedures. Second part focuses on a case study in order to realize the actual parameters defining the choice of the right methods and systems. Multiple scenarios are demonstrated which are technically evaluated and compared cost wise.

1. GİRİŞ

Zemini tutma işlemleri inşaat mühendisliğinde çözülmesi gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle derin kazılara ihtiyaç duyulduğunda çeşitli yöntemler kullanarak kazıyı göçmeden ayakta tutabilmek, stabilitesini güçlendirmek gerekmektedir. Derin kazı ile ilgili tasarımlarda hemen hemen her zaman birden fazla çözüm olabilir. Mühendislik tecrübeleri ve eldeki proje verilerine dayanarak emniyetli tarafta ve en ucuz çözümün hangisi olduğuna karar verilmelidir. Meydana getirilen yapı inşaat süresi bitiminde gözle görülmediği için tüm tarafların karşılıklı olarak birbirlerine güvenmesi ve en uygun çözümü bulması zorunludur.

Temel çukurunun kazısı yapıldığında zemin ve çevre yapılarının durumu da gözönüne alınarak; çelik, beton veya ahşap palpaş perdeler, kaplamalı veya kaplamasız kazık veya düşey kirişler, dökme kazıklar, diyafram duvarlardan veya diğer yapısal elemanlar ve tekniklerin kullanılmasından oluşmuş bir iksa sisteminin inşa edilmesi zorunluluğu vardır. Bu tür dayanma yapılarının yatay destekleri için destek payanda, basınç halkaları ve ankajlar da kullanılmaktadır.

İksa yapıları sadece kazıların güvenli bir şekilde yapılıp inşaatın tamamlanmasında geçici bir yapı olarak kullanıldıkları gibi, binaların kalıcı duvar ve/veya kolonlarını oluşturan kalıcı birer yapısal eleman olarak da tasarlanmaktadır.

Stabiliteyi sağlayan uygulanabilir ve ekonomik iksa sisteminin seçilebilmesi için tüm ön etüd ve araştırmaların yeterli doğrulukta yapılması önemlidir. Bu seçimde karşılaşılan zeminin durumu, özellikleri, çevre yapıların durumu, inşaat sırasında üretilen gürültü ve titreşim, çalışma serbestliği, şantiye ulaşım ile yeraltı suyunun durumu, seviyesi ve kimyasal yapısı en önemli etkenlerdendir.

Bu çalışmada derin kazı iksa sistemlerinden teğet – aralıklı fore kazık, keşisen fore kazık, diyafram duvar ve püskürtme beton ve zemin çivisi uygulamaları seçilmiştir. Öncelikle bu sistemlerin inşa teknikleri hakkında bilgi verilmiş, daha sonra ise teorik örnek uygulamalarla ardından da gerçek bir proje üzerinde maliyetli karşılaştırma analizi uygulanmıştır.

2. İKSA YAPISI KAVRAMI

Yerleşimin yoğun olduğu şehir merkezlerinde çok katlı yapılara, iş merkezlerine, taşıma araçlarına (metro) duyulan ihtiyacı derin kazıların yapılarak inşa sistemini ortaya çıkarmıştır. Bu bölgelerdeki zemin yapısının zayıf olması ve çevre binaların, yolların ve diğer yapıların güvenliği sebebiyle de kazı sırasında iksa sistemine ihtiyaç olmaktadır. Dik ya da eğik zeminlerin iç ya da dış yapısal elemanlarla yanal olarak desteklenme sistemine “iksa yapısı” adı verilmektedir. İksa sisteminin seçiminde kazının yapılacağı zeminin durumu ve süresi de dikkate alınmalıdır. Ayrıca bölgeye ve iklim şartlarına uygun iksa sistemi seçilmeli, ekonomik olması gözardı edilmemelidir (Gaba ve diğ., 2003).

İksa yapılarının görevi, zemini tutmak ve temel kazısı içersine zemin suyunun akışını engellemek olmak üzere başlıca iki adettir. Bu durumda zemin özenle analiz edilmeli ve gerekli destek sistemi seçilmelidir.

Bu çalışma dahilinde sadece betonarme iksa yapılarına yer verilmiştir.

3. DERİN KAZI BETONARME İKSA YAPILARI VE İNŞAAT TEKNİKLERİ

3.1 Giriş

Temel çukurlarının istenilen derinlikte açılması ve çukur içerisinde işlemlerin yapılabilmesi; yeraltı suyu durumu, komşu yapılarla olan uzaklık, zemin durumunun derin kazı yapılmasına uygun olmaması gibi nedenlerle iksalı kazı yapılması gerekmektedir. Bu bölümde incelenecek olan betonarme iksa sistemleri fore kazıklar (teğet – aralıklı fore kazıklar ve kesişen fore kazıklar), diyafram duvar ve zemin çivisi ve püskürtme beton olarak sıralanmıştır.

3.2 Fore Kazıklar

Zemin içerisinde açılan bir kuyuya konulan donatılar ve üzerine dökülen, kuyuyu tamamen dolduracak şekilde, beton ile yerinde imal edilen kazıklardır. Bu kazıkların teğet – aralıklı veya birbirlerini kesecek şekilde imal edilmesi sürekli betonarme bir iksa perde sistemi oluşturur.

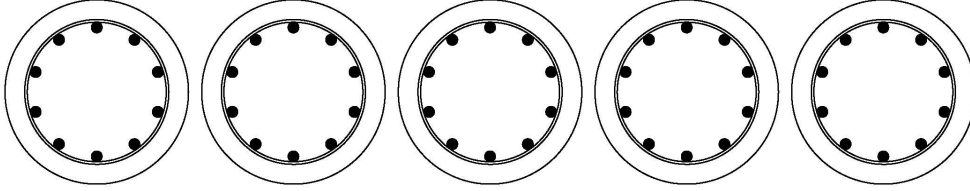
Fore kazıkların teğet veya kesişen türde seçilmesi zemin koşullarına ve özellikle yer altı suyu seviyesine bağlıdır.

3.2.1 Teğet – aralıklı fore kazıklar

Yer altı su seviyesi (YASS) yapılacak kazı seviyesinden daha derin olduğu durumlarda iksa sisteminin su geçirimsiz olmasına gerek yoktur. Bu sebeple fore kazıklar aralarında genel olarak 5 ile 10cm kalacak şekilde imal edilebilirler. Kazıklar birbirine neredeyse temas ettiği için teğet kazık olarak adlandırılırlar (Şekil 3.1).

Zemin koşulları elverişli ise ve zemin kendini tutabilen özelliklere sahip, döküntü ve akma olmayacağı düşünüldüğü durumlarda fore kazıklar aralarında kazık çapı kadar veya daha geniş boşluk bırakılarak imal edilebilirler.

Teğet ve aralıklı fore kazıklı iksa sistemlerinde yüklerin eşit dağılımı ve fore kazıkların bir bütün olarak çalışmasını sağlamak amacıyla betonarme başlık kirişi yapılması önemlidir. Başlık kirişi fore kazıkları tepe noktalarından birbirine bağlayarak sistemin müttemadi bir perde olarak davranmasını sağlar.



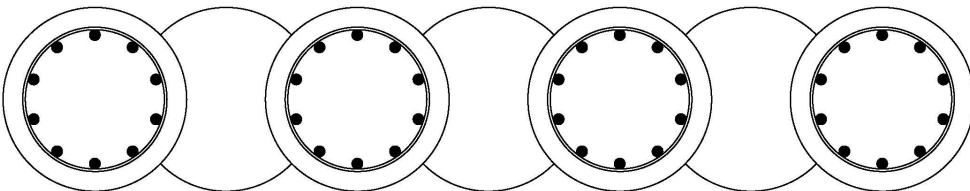
Şekil 3.1 : Teğet fore kazık plan görünüşü

3.2.2 Kesişen fore kazıklar

YASS sığ ise ve kazı içerisinden uzaklaştırılması mümkün değil veya çok maliyetli olduğu durumlarda yapılacak iksa sisteminin su geçirimsiz olması gerekmektedir. Kesişen kazıklar aralarında su sızdıracak boşluk olmadığı için su tutucu yapı özelliği kazanırlar.

Tasarım açısından zemin yüklerine su yükü de eklendiği için kesit ölçüleri susuz durumlarda kullanılan teğet fore kazıklı sistemlere göre daha büyük olur.

Kesişen fore kazıklar birbirlerini 10 ile 15cm kesecek şekilde imal edilirler (Şekil 3.2). Kesişen kazık imalatı için öncelikle birincil (primer) kazıklar donatısız olarak imal edilir. Ardından onları kesecek olan ikincil (sekonder) donatılı kazıklar imal edilir (Macnab, 2002). İkincil kazıklar, birincil kazıkların imalatından 18 – 24 saat sonra imal edilirler. Böylece birincil kazıkların betonları akıcı ve çok yumuşak olmamakla birlikte kesilmeyi zorlamayacak kadar da sertleşmemektedir. Kesim işlemini kolaylaştırmak için ikincil kazıkların betonu daha düşük mukavemetli hatta bentonit katkılı seçilebilir.



Şekil 3.2 : Kesişen fore kazık plan görünüşü

3.2.3 Fore kazık genel yapım yöntemi

3.2.3.1 Tarif

Betonarme delme kazık (fore kazık) imalatı, teknik şartnamelerde tariflenen yöntemlerin uygulanması ile projede öngörülen çap ve derinlikte zeminde bir delik oluşturulması, hazırlanan kazık donatı kafesinin bu delik içine yerleştirilmesi ve kazık betonunun dökülmesi işlemlerinden oluşur (TS 3168 EN 1536, 2001). Delgi işlemi zemin cinsine uygun delgi takımları kullanılarak yapılır. Ratori makineler için yumuşak zeminler ve sert kayalar için farklı auger – bucket – core bucket adı verilen takımlar mevcuttur (Tomlinson, 1994).

3.2.3.2 Makineler ve tesisler

Fore kazıklar imalatında kullanılan makine ve ekipman listesi aşağıdaki gibidir:

- Hidrolik Rotari Delgi Makinesi (Şekil 3.3)
- Paletli servis vinçleri
- Delgiden çıkan malzemenin uzaklaştırılması için JCB tipi kepçe
- Betonlama esnasında hazır beton mikser kamyonları
- Muhafaza boruları (Şekil 3.4)
- Bentonit (kullanılacak ise) üretim ve sirkülasyon tesisi (tanklar, kum/silt ayrıştırma ünitesi, pompalar, borular vs.)
- Diğer ekipmanlar; dalgıç pompalar, elektrik jeneratörü, tremie (betonlama) boruları



Şekil 3.3 : Hidrolik delgi makineleri ve servis vinçleri



Şekil 3.4 : Farklı boy ve çaplarda muhafaza boruları

3.2.3.3 Malzemeler

Çelik donatı

Kazık, boyu uzunluğunca devam eden boyuna ve enine yönde çelik donatı ile donatılır. Donatı kafesinin betonlama sırasında kayıp dağılmaması ve geçici muhafaza borusu çekilip çıkarılırken takılıp sıyrılmaması için özen gösterilmelidir. Donatının tümü dışarıda bir kafes şeklinde bağlanarak hazırlanır ve betonlamadan önce deliğe projelerde gösterildiği konumda yerleştirilir (Şekil 3.5).

Demir donatı boyunda hazırlanacak kafesler değişken kazık boyuna göre uygun şekilde kesilerek kuyu başına dikey durumda ve projesinde belirtilen bindirme şartları sağlanarak birleştirilir. Donatının ek yerleri uygulama projesinde gösterildiği gibi olmalıdır. Donatı kafesinin kaldırılması ve yerleştirilmesi esnasında aşırı yüklenip deforme olmaması için gerekirse kalıcı çember ve boyuna takviye donatıları konulur. Takviye donatısı betonlama (tremie) borusunun donatı içine girmesine olanak tanıyacak şekilde olmalıdır. Donatı kafesi yerleştirilirken takviye donatılarının korunmasına özen gösterilmelidir.



Şekil 3.5 : Hazırlanan donatı kafesi

Beton

Kazık imalatında kullanılan beton, uygulama projelerinde belirtilecek mukavemet özelliklerine sahip olmalıdır.

Foraj işlemi biter bitmez hemen donatı yerleştirilerek aynı gün beton dökümüne geçilmesi esastır. Hemen betonlamaya imkân bulunmadığında, geçen süre içinde kazık tabanında bir şişme olup olmadığı kontrol edilmeli ve gerekirse donatı çıkarılarak, betonlamadan önce tekrar delik tarama ve kazık içi temizliği yapıldıktan sonra betonlamaya başlanmalıdır.

Beton dökümü, betonlama boruları (tremie borusu) kullanılarak yapılır. Betonlama borusu 180-250 mm çapında ve birbirine manşon ile eklenmiş borulardan oluşur.

Betonlama borusu aşağıdaki şartları sağlamalıdır:

- Boru çeperleri temiz, eğilme ve burkulmalara dayanabilecek mukavemette olmalıdır.
- Ek yerleri su sızdırmaz olmalı ve kalın dişli manşonlar kullanılmalıdır.
- Betonlama başlamadan önce betonlama borusu kazık deliğinin dibinden 30-40 cm yukarı olmalıdır.
- Forajı takiben tabanın 30-40 cm betonlanması ve donatının betona indirilmesi düşünülmelidir.

Betonlama işlemi aşağıdaki hususlara uygun olmalıdır (Şekil 3.6):

- Betonlama işleri esnasında, beton sürekli bir şekilde ve döküm hızı en az 5 m³/saat olacak şekilde deliğe doldurulmalıdır. Daha düşük hızlar boruda birikinti yapacağından beton hızının sabit tutulmasına özen gösterilmelidir.
- Betonlama borusu, dökülmüş olan beton içerisinde sürekli olarak 2 – 6 m gömülü olacak şekilde tutulmalıdır.



Şekil 3.6 : Betonlama işlemi

3.2.3.4 Fore kazık imalatı

Kazık imalat alanı

Çalışma sahasına ulaşımı sağlayacak servis yolları teşkil edilmeli ve kazık makinesinin çalışmasına müsait olacak şekilde çalışma platformu hazırlanmalıdır. Çalışma platformu dolgusu foraja engel olmayacak şekilde olmalı, iri bloklar içermemelidir. Sahadaki tüm su derivasyon ve pompaj gibi yollarla çalışma platformundan uzak tutulmalı ve platformun yağmur, akarsu ve yeraltı sularından korunması için gerekli tedbirler alınmalıdır. Kazıkların akstan kaymaması için kılavuz duvar ve/veya çelik şablon gibi ilave önlemler alınır. Kazık aplikasyon merkez noktaları imalat öncesinde topograf tarafından zemine çakılmış en az 30 cm boyda demirle işaretlenir.

Kazık boyu

Kazık boyları ve çapları uygulama projesi paftalarında gösterilen şekilde olmalıdır. Doğal veya doğal olmayan engeller nedeniyle verilmiş olan proje kazık boylarına ulaşılması mümkün olmazsa durum gerekçeleri ile ilgili taraflara iletilmeli, imalatın devamında benzer engeller ile karşılaşılması için gerekli metot ve çözümler üretilmelidir

Toleranslar

Tüm kazıklar, uygulama projelerinde gösterilen konumlarından en fazla 50 mm mesafe içinde kalacak şekilde oluşturulmalıdır. Kazık deliğinin oluşturulması esnasında, delgi ucu mümkün olduğunca düşey bir konumda tutulacak (makina

oturumunda maksimum tolerans 1/100) ve tamamlanmış kazıkta düşeyden sapma 1/75'den fazla olmamalıdır.

3.2.3.5 Yer altı engeller

Bilinen ve yüzeye yakın engeller, kazık imalat işlerinin başlamasından önce kaldırılmalı ve boşlukları uygun granüler malzeme ile doldurulmalıdır.

Yeraltında bilinmeyen bir engelle karşılaşılması halinde bu engelin kaldırılması veya kazık uygulama şeklinin değiştirilmesi konusunda karara varılır.

3.2.3.6 Kazık başlarının kırılması

Kazık betonu projedeki kesim kotunun 20-50 cm üzerine kadar dökülür ve fazla beton daha sonra kırılır. Bu kırım sırasına çatlamış ve kusurlu hale gelmiş beton temizlenerek kırım seviyesinde sağlam bir yapı elde edilmeli, varsa boşluklar onaylanan yöntem ve malzemelerle tamir edilmelidir.

3.2.3.7 Raporlar ve kazık fişleri

Her bir kazık için fiş tutulmalı ve bu fişleri günlük raporların ekinde yetkili kişinin imzası ile teyitli olarak ilgililere iletilmelidir. Bu kazık fişlerinde aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır:

- Kazık referans numarası
- Delme tarihi
- Betonlama tarihi
- Kazık çapı
- Beton sınıfı, katkı maddeleri, çökme ve miktarı
- Çelik donatı detayı
- Delme boyu
- Betonlama boyu
- Geçici muhafaza borusu boyu, çakma ve çekme yöntemi
- Zemin ve kaya seviyeleri
- YASS
- Bentonit kalite kontrol deneyleri (bentonit kullanılırsa)
- Engeller ve gecikmeler
- Kullanılan delgi uçları

3.2.3.8 Kazık delgisi esnasında stabilite

Kazık delgisi esnasında kuyu çeperlerinin stabil olmaması durumunda, kısmi veya tam boy muhafaza borusu, su, bentonit çamuru veya bu sistemler ortaklaşa kullanılmalıdır. Aşağıda bu yöntemlere ilişkin teknik hususlar belirtilmiştir.

Geçici muhafaza borusu

Kuyu çeperlerinin stabil olmaması durumunda, geçici muhafaza borusu kullanılabilir. Geçici muhafaza borusu, rotari, osilatör, ön foraj vs. yöntemlerle sürülerek kuyu çeperlerinin stabil olması temin edilir.

Sadece geçici muhafaza borusu kullanılması durumunda (bentonit çamuru uygulanmadan), muhafaza borusu stabilite bozukluğu olan zemin tabakalarının en az 2 kazık çapı altına kadar sürülmelidir. Daha uygun çalışma ortamı temin edilmesi durumunda geçici muhafaz borusu kısmi olarak sürülmeli ve kuyu içi su ile doldurulmak suretiyle kuyu stabilitesi temin edilmelidir.

Geçici muhafaza borusu içinden foraj yapılarak temiz kazık kuyusu elde edildikten sonra, donatı kafesi kuyuya indirilmeli ve betonlama yapılmalıdır. Betonlama ile paralel olarak ve her zaman geçici muhafaza borusu beton seviyesinin en az 2 kazık çapı altında olmak şartıyla, muhafaza borusu geri çekilmeli ve kazık imalatı tamamlanmalıdır.

Geçici muhafaza borusunun su veya bentonit çamuru ile birlikte kullanılması durumunda, üst seviyelerdeki stabiliteyi temin etmek bakımından 3 - 4 m uzunlukta bir geçici muhafaza borusunun kullanılması mümkündür.

Bu seviye altındaki stabil olmayan zeminlerin delgi ve betonlama esnasında stabilitesi, su veya aşağıda detayları tariflenen bentonit çamuru ile sağlanacaktır. Kullanılacak muhafaza borusu deliksiz, aşırı kullanım sonucunda yapısal zarar görmemiş ve gerek sürme gerekse çekme işlemleri esnasında etkiyen yükleri karşılayacak nitelikte çelik malzemedenden olmalıdır.

Bentonit Çamuru

Kuyu çeperlerinin stabil olmaması durumunda geçici muhafaza borusu kullanılmaması ve gerekmesi durumunda bentonit çamuru kullanılmalıdır. Su ile karıştırılan bentonit tozu kuyu çeperini saracak bir çamur haline gelir ve aynı zamanda kazılan zemin parçalarının çamur içinde askıda kalmasını sağlar (O'Neil ve Reese, 1999).

Bentonit çamuru yapımında saf ve kaliteli bentonit kullanılmalıdır. Bentonit üreticisi firmadan, bentonitin özelliklerini gösteren bir sertifika temin edilmelidir.

Bentonit tozu, temiz su ile tamamen karıştırılmalıdır. Bentonit çamurunun yapımında kullanılacak bentonit tozu, kazık deliği duvarlarının stabilitesini sağlayacak miktarda ve tercihen ağırlıkça % 4 ila % 8 nispetinde olmalıdır. Gerekli görüldüğü takdirde katkı maddeleri de kullanılabilir (Şekil 3.7).

Bentonit çamurunun kalitesi deneyler ile kontrol edilmeli ve kayıt altında tutulmalıdır. Aşağıda belirtilen parametrelerin kontrolü amacıyla uygun deney aletleri şantiyede imalat süresince hazır bulundurulmalıdır.

- Yeni karıştırılmış (kullanılmamış) bentonit çamuru

Yeni karıştırılmış (kullanılmamış) bentonit çamurunun yoğunluğu her iş günü ölçülmedilir. Ölçümler 0,01 kg/l hassasiyetle yapılmalıdır. Taze karıştırılmış bentonit çamurunun yoğunluğu en fazla 1,08 kg/l olmalıdır.

- Delik içine pompalanan bentonit

Delik içine doldurulan bentonit çamurundan alınan numuneler üzerinde gerekli kalite kontrol deneyleri gerçekleştirilmelidir. Yoğunluk, viskosite, kayma mukavemeti, pH ve kum içeriği değerlerinin belirlenmesine yönelik deneyler çalışma yönteminin tam olarak işler hale gelmesine kadar düzenli olarak her delik için gerçekleştirilmelidir.

Bu aşamadan sonra uyum görüldüğü takdirde kayma mukavemeti ve pH ölçmeye yönelik deneyler durdurularak, sadece yoğunluk, viskosite ve kum içeriği ölçmeye yönelik deneyler devam ettirilebilir. Ancak, kurulu çalışma düzeninde herhangi bir değişiklik yapılması halinde, belirli bir süre kayma mukavemeti ve pH deneyleri tekrar gerçekleştirilmelidir.

- Delme işlemi esnasında delik içindeki bentonit

Delme işlemi esnasında bentonit çamurunun yoğunluğu düzenli aralıklar ile ölçülür. Yoğunluğun 1,3 kg/l'ten fazla olması halinde, çamur içinde aşırı miktarda malzeme var olduğundan, deliğin alt kısmından eski bentonit çamuru pompaj ile delik dışına alınarak taze bentonit çamuru deliğe doldurulmalıdır. Bu işlem esnasında bentonit seviyesinin sabit tutulmasına özen gösterilmelidir.

- Betonlama öncesi delik içindeki bentonit

Betonlama işlemine başlamadan önce her kazık için bentonitin yoğunluğu değişik iki (2) derinlikten alınan numuneler üzerinde ölçülmelidir. Betonlama işlemi delik tabanından 1 m yukarıda alınan numunenin yoğunluğu 1,2 kg/lt'den daha az ise gerçekleştirilebilir. Yoğunluğun 1,2 kg/lt'den yüksek olması halinde yeterli süre eski bentonit-taze bentonit sirkülasyonu yapılarak, yoğunluk 1,2 kg/lt'ye indirilmelidir. Yoğunluk istenen mertebeye indirilmeden betonlama işlemine geçilmemelidir.



Şekil 3.7 : Bentonit tesisi

Bentonit imalatına ilişkin aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- Bentonit, delgi esnasında ve betonlama işlemi süresince delik duvarlarının göçmesini önleyecek seviyede tutulmalıdır.
- Bentonitin ve çalışma esnasında oluşan çamurun, şantiyenin geneline yayılmaması ve imalat yapılan alanda tutulması için önlemler alınmalıdır.
- Tekrar kullanılmayacak bentonit çamuru şantiyeden derhal uzaklaştırılmalıdır.
- Delgi veya beton dökümü esnasında herhangi bir nedenle deliğin göçmesi durumunda, aynı noktada projeye uygun bir delik oluşturacak şekilde tekrar delgi yapılmalıdır.

3.2.3.9 Kalite kontrol sistemi

Yapılan fore kazık imalatlarının şartnamelere uygunluğunun temini, gerekli test ve deneylerin yapılması ve rapor edilmesi amacıyla kontrol işlemleri ifa edilmelidir. Burada verilenlerle sınırlı olmamakla birlikte aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- İmalatın şartnamelere uygunluğunun kontrolü,
- Gerekli testlerin yapılması ve yaptırılmasının programlanması, şantiye laboratuvarı tesisi ve testlerin yapılması,
- Kazık aks ve ölçülerinin projeye uygunluğunun kontrolü,
- Gelen malzemelerin standart ve şartnamelere uygunluğunun sağlanması,
- Her türlü dokümantasyon ve kayıt işlemlerinin düzenli yürütülmesinin temini, dizayn ve çizimlerin kontrolü

3.3 Diyafram Duvar

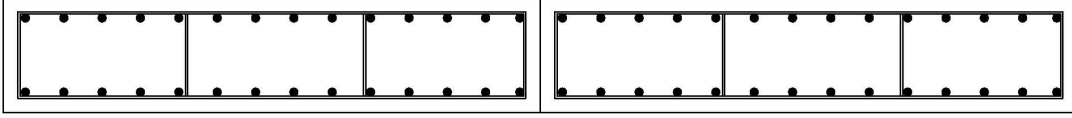
Diyafram duvar (DDuvar) iksa sistemi fore kazık ve diğer sistemlere göre yeni ve daha ileri bir teknolojidir. Dduvarlar zeminde açılan dikdörtgen kesitli panellerin içine donatı kafeslerinin yerleştirilmesi ve betonlanması ile oluşturulan betonarme elemanlardır (Şekil 3.8).

Dduvarların en büyük özellikleri olarak su geçirimsizliği ve mütemadi fore kazıklı perdelerle göre kesit atalet momentlerinin çok daha yüksek ve oluşturdukları perde duvarın üniform nitelik taşımasıdır.

Diyafram duvar imalat teknikleri ve kullanılan ekipmanların son yıllarda özellikle üretici bazı Batı Avrupa ülkeri tarafından oldukça geliştirilmiş olması, ulaşılabilen kazı derinlikleri, imalat toleransları ve kalite kontrol sistemlerinin fore kazıklara göre çok daha ileri noktalara taşınmasını sağlamıştır.

Kullanılan makine, ekipman ve işletim maliyetlerinin diğer sistemlere göre yüksek olması sebebiyle 4 – 5m gibi sığ kazılarda ekonomik bir çözüm olmamakla birlikte derin kazılarda ve komşu yapılar sebebiyle deplasmanların asgariye indirilmesi gereken durumlarda diyafram duvarlar teknik olarak en uygun iksa sistemini oluşturur.

Kontröllü ve toleransları düşük imalat imkanları sayesinde Dduvarlar birçok projede kalıcı olarak tasarlanmakta ve kazı içine inşa edilecek yapının bodrum duvarlarını oluşturmaktadır. Top – down inşaat yöntemine en uygun elemanlar olarak toplam proje maliyetlerinde önemli kazançlar sağlamaktadırlar.



Şekil 3.8 : Diyafram duvar plan görünüşü

3.3.1 Diyafram duvar genel yapım yöntemi

3.3.1.1 Tarif

Diyafram Duvar, teknik şartnamede tariflenen yöntemlerin uygulanması ile projede öngörülen kalınlık ve derinlikte zeminde dikdörtgen kesitli bir çukur oluşturulması, hazırlanan donatı kafesinin bu çukur içine yerleştirilmesi ve betonunun dökülmesi işlemlerinden oluşur (TS EN 1538, 2001).

Diyafram duvarın kazısında zemin şartlarına uygun olarak hydro-fraise cutter (HFC) kesiciler veya hidrolik grab (HG) kazıcılar kullanılmalıdır.

3.3.1.2 Makineler ve tesisler

Diyafram duvar imalatında kullanılan makine ve ekipman listesi aşağıdaki gibidir:

- Hidrolik Grab Kazıcı veya Hydro-Fraise Cutter Kesici
- Paletli servis vinçleri
- Delgiden çıkan malzemenin uzaklaştırılması için JCB tipi kepçe
- Betonlama esnasında hazır beton mikser kamyonları
- Panel birleşim noktalarında kullanılmak üzere özel “stop-end” adı verilen çelik kılavuz borular
- Bentonit üretim ve sirkülasyon tesisi (tanklar, kum/silt ayrıştırma ünitesi, pompalar, borular vs.)
- Diğer ekipmanlar; dalgiç pompalar, elektrik jeneratörü, tremie (betonlama) boruları

Proje gereksinimleri ve zemin koşullarına göre kullanılacak delgi makinesi farklılık göstermektedir.

Hydro-Fraise Cutter Kesici

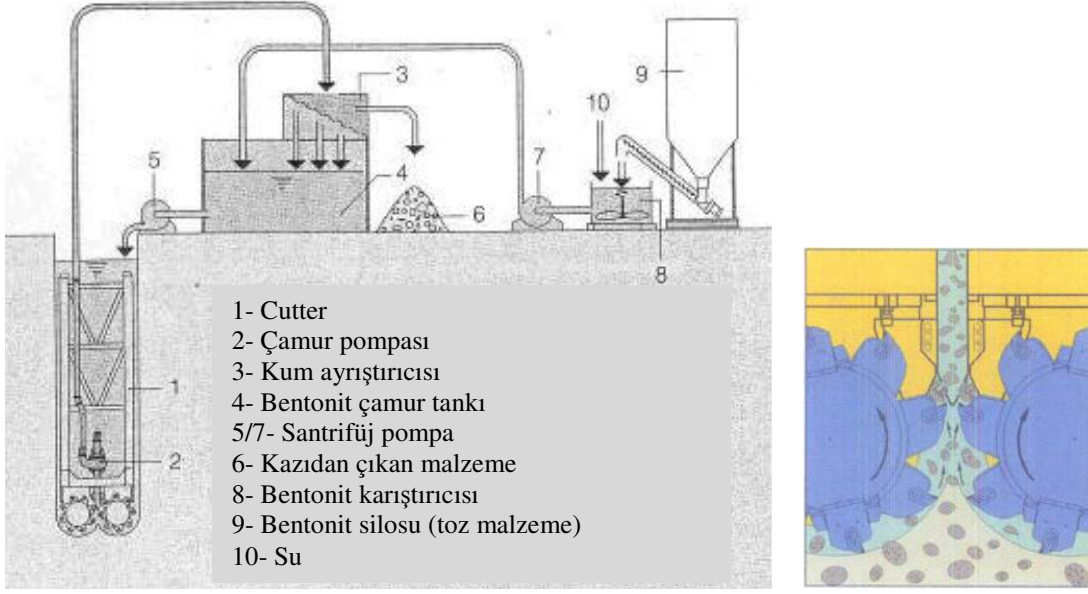
Hydro-Fraise Cutter ekipmanları (Şekil 3.9) konvansiyonel grab yöntemine göre titreşimsiz ve sessiz imalat imkanı sağlar. Çok daha yeni ve gelişmiş bir teknoloji olması dolayısıyla imalat hızı ve verimliği önemli derecede kazanç sağlar. HG

kullanımında karşılaşılan bentonit çamuru döküntüsü ortadan kalkar. Bunun yanı sıra özel kesici dişleri sayesinde hemen hemen en sert kaya koşullarında bile projede belirlenen derinliklere inilebilmesini sağlar. Düşey sapma toleransı sürekli elektronik olarak gözlemlenen ekipmanlar sayesinde oldukça düşüktür.



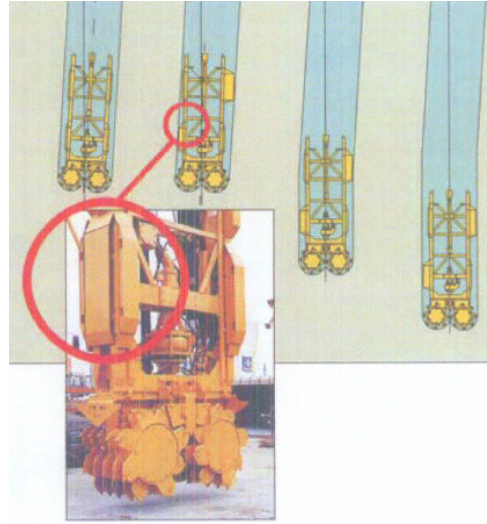
Şekil 3.9 : Hydro-Fraise cutter

Bu sistemde HFC kesici dişleri kazı çukuru dibindeki zemini sürekli olarak parçalar ve bentonit çamuru ile karıştırır. Parçalanan zemin ile karışmış bentonit çamuru bir dizi hortum ve pompa vasıtası ile kuyudan dışarı atılır. Kuyudan uzaklaştırılan çamur kum/silt ayrıştırıcı ünitesinde sirküle edilir ve içindeki zemin taneciklerinden ayrıştırılmış şekilde kuyuya geri dönüşümü sağlanır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : HFC çalışma şeması ve delgi prensibi

HFC delgi işlemi süresince elektronik olarak operatör tarafından kabin içindeki ekrandan gözlemlenir. Bu bilgi ekranında hidrolik basınç değerleri, delgi derinliği, kesici dişlerin dönüş hızı, pompalanan çamur hacmi, kesici dişlerdeki düşey basınç ve x-y akslarında düşeyden sapma eşzamanlı olarak izlenir. Böylece operatör delgi esnasında gerekli ayarlamaları yaparak düşeyden sapmaları en aza indirgeyebilir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 : Operatör kabini içindeki bilgi ekranı ve düşeyde yön kabiliyeti

Hidrolik Grab Kazıcı

Hidrolik grab kazıcılar açılıp kapanan çenelerin ve hidrolik sistemin grab gövdesinin ağırlığı yardımı ile uyguladığı basınç sayesinde zemini parçalayarak delgi işlemini

gerçekleştirirler (Şekil 3.12). HG gövdesinin ucuna bağlı çene tam olarak açıldıktan sonra kazı çukuru içinde zemine düşey darbeler vurarak zemini parçalar. Bentonit çamuru içerisinde örselenmiş zemin HG çeneleri vasıtasıyla kuyudan dışarı atılır.

HG sistemi özellikle yumuşak killi siltli kohezyonu yüksek, alüvyon ve iri kaya parçalarının bulunduğu taşınarak birikmiş zeminlerde tercih edilir. Bu zemin koşulları HFC ekipmanının kesici dişlerinin tam verimlilikle çalışmasını engelleyici özelliktedir.



Şekil 3.12 : Hidrolik grab kazıcı

3.3.1.3 Malzemeler

Çelik donatı

Duvar, projesinde verilen boya uygun olarak boyuna ve enine yönde çelik donatı ile donatılır. Donatı kefesinin betonlama sırasında kayıp dağılmaması için özen gösterilmelidir. Donatının tümü dışarıda bir kafes şeklinde bağlanarak hazırlanmalı ve betonlamadan önce deliğe projelerde gösterildiği konumda yerleştirilmelidir. Donatı kafeslerin ağırlığının çok arttığı durumlarda, kafesler 12m'lik parçalar halinde hazırlanır. 12m'lik parça kafes kuyuda indirildikten sonra demir çubuklar vasıtası ile askıya alınır. Bir sonraki parça kafes askıdaki donatı kafesinin üstüne vinç

yardımla sabitlenir. Demir donatılar arasında uygun bindirme sağlandıktan sonra gerekirse klemensler yardımı ile birleşim noktasının rijitliği artırılır (Şekil 3.13).

Donatı kafesinin kaldırılması ve yerleştirilmesi esnasında aşırı yüklenip deforme olmaması için kalıcı takviye donatıları konulmalıdır. Takviye donatısı betonlama (tremie) borusunun donatı içine girmesine olanak tanıyacak şekilde olmalıdır. Donatı kafesi yerleştirilirken takviye donatılarının korunmasına özen gösterilmelidir.



Şekil 3.13 : Donatı kafesi kaldırılması ve delgi kuyusuna indirilmesi

Beton

Diyafram Duvar imalatında betonlama işlemi fore kazıklarda olduğu gibi tremie boruları kullanarak kuyu dibinden yukarı olmak koşulu ile gerçekleştirilir. Bölüm 3.2.3.3’de belirtilen hususlar diyafram duvarlar için de geçerlidir.

Diyafram duvarlarda betonlanan panel genişliğine bağlı olarak 2,8m’lik panellerde 1 adet; 6m ve daha geniş panellerde 2 adet tremie borusu kullanılmalıdır. Köşe (L şeklinde) panellerde de 2 adet tremie borusu kullanılır.

3.3.1.4 Diyafram duvar imalatı

İmalat Alanı

Çalışma sahası ve imalat alanı bir önceki bölümde fore kazık imalatı için belirtilen özellikleri taşımaktadır.

Duvarın akstan kaymaması için kılavuz duvar yapılır. Diyafram duvar kazısı bu çift taraflı kılavuz duvarın arasından yapılır.

Diyafram Duvar Boyu

Dduvar boyları uygulama projesi paftalarında gösterilen şekilde olmalıdır. Doğal veya doğal olmayan engeller nedeniyle verilmiş olan proje boylarına ulaşılması mümkün olmazsa durum gerekçeleri ile ilgili taraflara iletmeli, imalatın devamında benzer engeller ile karşılaşılması için gerekli metot ve çözümler üretilmelidir.

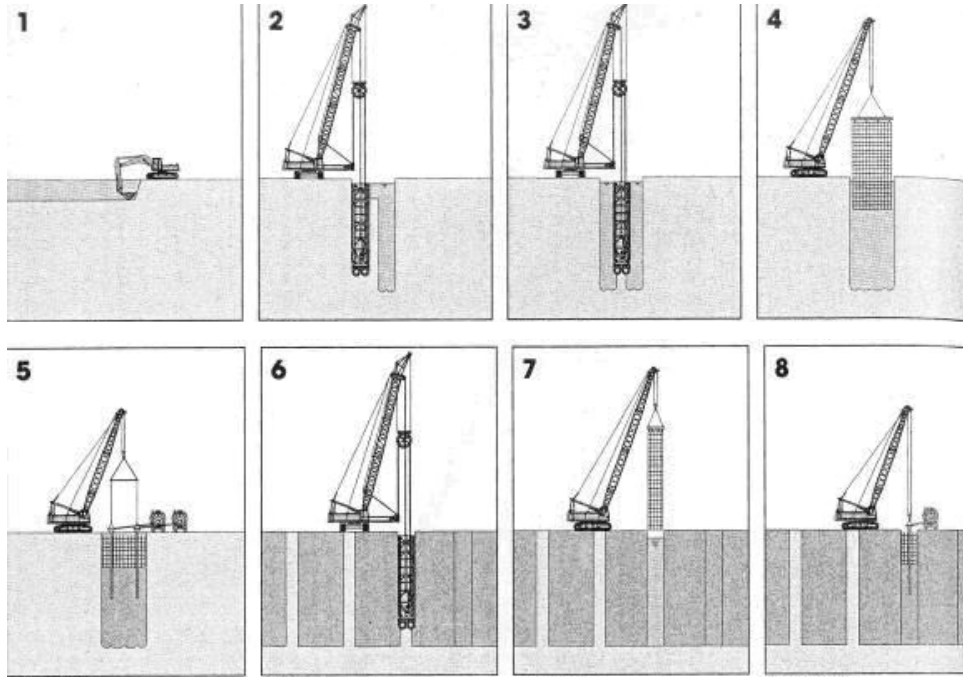
Toleranslar

Dduvar uygulama projelerinde gösterilen konumlarından en fazla 50 mm mesafe içinde kalacak şekilde oluşturulmalıdır. Çukurun oluşturulması esnasında, kazıcı mümkün olduğunca düşey bir konumda tutulacak ve tamamlanmış duvarda sapma 1/100'den fazla olmamalıdır.

İmalat Aşamaları

Dduvar panelleri atlayarak yapılır, ara bağlantı yüzeylerindeki düzgünlük stop-end boruları ile sağlanır. Beton dökümünü takiben beton stop-end'e tam olarak yapışmadan stop-end çekilmelidir. İki tarafta tamamlanmış panellerin arasındaki duvar stop-end borusuz olarak imal edilir (Strom ve Ebeling, 2001).

Stop-end kullanılan yöntem hem HFC hem HG tipleri için geçerli olup HFC kullanılarak yapılan kazılarda komşu panellerde beton kesimi yapılarak su geçirimsizliği sağlanan ikinci bir yöntem de izlenmektedir. Diyafram duvar imalat aşamaları aşağıdaki gibidir (Şekil 3.14):



Şekil 3.14 : Diyafram duvar imalat aşamaları

- 1- 1,5 – 2,5m derinliğinde hendek kazısı yapılır. Bu kazının içine çift taraflı kılavuz duvarlar yerleştirilir ve bentonit ile doldurulur.
- 2- Birincil panellerin kazısı yapılır. Panellerin genişliği tipik olarak 2,80 m'dir (diyafram duvar delgi makinesi ağız genişliği) veya 6 – 7 m (diş genişliğinin yaklaşık 2,5 katı).
- 3- Panel genişliği 6 – 7 m olması durumunda kazı 3 aşamada yapılır. Panelin başından ve ortasından 2,80 m'lik kazıları takiben ortada kalan zemin kazılır.
- 4- Kazısı tamamlanan kuyuya demir donatı kafesi indirilir.
- 5- Tremie boruları vasıtasıyla kuyu uç kısmından tepesine doğru olarak betonlanır.
- 6- İkincil panellerin kazısı yapılır.Cutter makinesi kullanılması durumunda ikincil paneller 2,80 m genişliğinde olup önceden betonlanması tamamlanmış ve prizini almış komşu birincil panellerden yaklaşık 25 cm keserek kazısı gerçekleşir.
- 7- İkincil panellerin donatısı yerleştirilir.
- 8- İkincil paneller betonlanır.

3.3.1.5 Yer altı engelleri

Bilinen ve yüzeye yakın engeller, kazık imalat işlerinin başlamasından önce kaldırılmalı ve boşlukları uygun granüler malzeme ile doldurulmalıdır.

Yeraltında bilinmeyen bir engelle karşılaşılması halinde bu engelin kaldırılması veya kazık uygulama şeklinin değiştirilmesi konusunda karara varılır.

3.3.1.6 Raporlar ve panel fişleri

Her bir panel imalatı için fiş tutulmalı ve bu fişleri günlük raporların ekinde yetkili kişinin imzası ile teyitli olarak ilgililere iletilmelidir. Bu panel fişlerinde aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır:

- Panel referans numarası
- Delme tarihi
- Betonlama tarihi
- Panel boyutları
- Beton sınıfı, katkı maddeleri, çökme ve miktarı
- Çelik donatı detayı

- Delme boyu
- Betonlama boyu
- Zemin ve kaya seviyeleri
- YASS
- Bentonit kalite kontrol deneyleri
- Engeller ve gecikmeler

3.3.1.7 Diyafram duvar delgisi esnasında stabilite

Dduvar delgisi esnasında kuyu çeperlerinin stabil olmaması durumunda, su, bentonit çamuru, polimer çamuru veya bu sistemler ortaklaşa kullanılmalıdır (Şekil 3.15).

Bentonit çamuru ile ilgili teknik şartname 3.2.3.8 bölümünde fore kazıklar için verilen ile aynıdır.



Şekil 3.15 : Diyafram duvar bentonit tesisi

3.3.1.8 Kalite kontrol sistemi

Yapılan diyafram duvar imalatının şartnamelere uygunluğunun temini, gerekli test ve deneylerin yapılması ve rapor edilmesi amacıyla kontrol işlemleri ifa edilmelidir. Bunlar:

- İmalatın şartnamelere uygunluğunun kontrolü
- Gerekli testlerin yapılması ve yaptırılmasının programlanması, şantiye laboratuvarı tesisi ve testlerin yapılması
- Diyafram duvar panel aks ve ölçülerinin projeye uygunluğunun kontrolü

- Gelen malzemelerin standart ve şartnamelere uygunluğunun sağlanması
- Her türlü dokümantasyon ve kayıt işlemlerinin düzenli yürütülmesinin temini, dizayn ve çizimlerin kontrolü

3.4 Zemin Çivisi ve Püskürtme Beton

Zemin çivisi ve püskürtme beton olarak adlandırılan iksa sistemi zeminin yaklaşık olarak düşeyle 5 derecelik bir şev açısıyla kazılması ve belirlenen kademelerde zemin çivileri le desteklenip stabilitesinin sağlanmasıyla oluşturulur. Her kazı kademesinde zemin çivileri imal edildikten sonra şev yüzeyine hazır çelik serilir ve püskürtme beton ile kaplanır.

Prensip olarak zeminde deplasmanlara izin veren bir sistem olduğundan yoğun yerleşim alanlarında özellikle komşu yapıların yakın olduğu durumla tercih edilmez. Yer altı suyu şev yüzeyine imalat sırasında yerleştirilen drenaj boruları ile tahliye edilir. Fore kazıklar ve diyafram duvar gibi büyük kesitli betonarme elemanlar bu sistemde varolmadığından imalat daha ufak ekipmanlarla gerçekleştirilir ve maliyeti genel olarak daha düşüktür.

3.4.1 Zemin çivisi ve püskürtme beton genel yapım yöntemi

3.4.1.1 Tarif

Zemin çivisi (pasif ankraj) ve hasır çelikli püskürtme beton imalatı tariflenen yöntemlerin uygulanması ile projede öngörülen açı ve derinliğe uygun kazı yapılması; belirlenen sayı, aralık, ve uzunlukta pasif ankraj imalatı ve bunu takiben çelik hasır serilip püskürtme beton ile kaplanması işlemlerinden oluşur. Bu imalat sırası nihai kazı seviyesine kadar kalan pasif ankraj kademeleri için tekrarlanır.

3.4.1.2 Makineler ve Tesisler

Zemin çivili iksa sistemi imalatında kullanılan makine ve ekipman listesi aşağıdaki gibidir:

- Pasif ankraj imalatı için hidrolik rotari ve/veya hava tabanlı delgi makinesi (Şekil 3.16)
- Püskürtme beton pompası
- Püskürtme beton üretim tesisi (hazır olarak alınmıyor ise)



Şekil 3.16 : Hidrolik delgi makinesi

3.4.1.3 Malzemeler

Zemin çivisi toprak veya kaya zeminde kazı nedeniyle zeminde oluşan yatay yükleri olası kayma şevine göre daha arkadaki hareketsiz sağlam zemine aktaran bir ankraj tipidir. Öngermeli ankrajdan farkı kullanılan malzeme ve ankrajın öngermeye tabi tutulmayarak yatay itki oluştuğunda bunu transfer ederek kendiliğinden (pasif olarak) gerilmesidir.

Zemin çivisi

Zemin çivisi aşağıdaki ana kısımlardan oluşmaktadır:

- Çivi bedeni

Projede belirtilen çapta nervürlü StIIIa tipi inşaat demiridir. StIIIa tipi inşaat demirinin TSE'nin ilgili yayınlarında belirtilen teknik özelliklerine sahip olmalıdır. Dışarıda kalan ucu üzerine somun takılacak şekilde yivli olarak açılmış olmalıdır.

- Plaka

Çivinin üzerine geçecek şekilde delik açılmış kare sac plakadır. Boyutları 300x300x20mm'dir. Fe37 şartlarına haiz olmalıdır.

- Somun

Çiviyi plaka üzerinden zemin yüzeyine sabitleyen saplama dişli olarak sıkılan somundur. Fe37 şartlarına haiz olmalıdır.

- Dış enjeksiyon tüpü

Zemin çivisi etrafına yapılacak enjeksiyonun zemin çivisinin en ucuna kadar ulaşması için kullanılan PVC'den mamul tüptür. En az 10 atü dayanımlı ve en az 20 mm iç çapa sahip olmalıdır. 6 m'den uzun boyda zemin çivilerinde bu tüp iki tane olup biri çivinin ucuna kadar, diğeri çivinin ortasına kadar olmalıdır.

- İç enjeksiyon tüpü

Kalıcı tipte zemin çivisi tüpü içine yapılan enjeksiyonu taşıyan PVC'den mamul tüptür. En az 10 atü dayanımlı ve en az 20 mm iç çapa sahip olmalıdır. 6 m'den uzun boyda zemin çivilerinde bu tüp iki tane olup biri çivinin ucuna kadar, diğeri çivinin ortasına kadar olmalıdır.

- Merkezleyici

Delik içinde zemin çivisinin tam ortada yerleşmesini sağlayan plastik parçadır. Enjeksiyonun geçişine izin verecek şekilde deliklere sahip olmalıdır. Enjeksiyon tüpü malzemesinden 10 cm uzunlukta parçalar halinde kesilerek çok sayıda bağlanmak suretiyle çiviye ortada tutma ve enjeksiyonu geçirme özelliği dikkate alınarak üretilebilir.

- Enjeksiyon

Açılan deliğe yerleştirilen zemin çivisi etrafına (kalıcı tipte oluklu tüp içerisine de) yapılan su-çimento karışımı enjeksiyondur.

- Oluklu polietilen tüp

Kalıcı tipte zemin çivisinde iç enjeksiyonla dış enjeksiyon arasında kalan koruyucu tüptür.

Su çimento harcı enjeksiyonu

Su-çimento karışımı tipik olarak 1/1 oranında hazırlanır (100 lt su + 100 kg çimento gibi).

Yapım hızını arttırmak gibi nedenlerle gerekli görüldüğü haller dışında priz hızlandırıcı ya da diğeri katkı maddeleri kullanılmaz. Gerekli görülen zorunlu durumlarda kullanılacak katkı maddeleri asidik ve bazik yönde agresiviteye sahip olmamalı, pH değeri 5-9 aralığı dışına çıkmamalıdır.

Enjeksiyon karışımının minimum basınç mukavemeti projede verilen şartnamelere uygun olmalıdır.

Çimento harcı karıştırıcıda hazırlanarak oradan dinlendirici kazana alınmalı ve homojenliği sağlanmalıdır. Daha sonra sürekli basınç sağlayabilen bir pompa ile enjeksiyon harcı enjeksiyon tüplerinin ikisinden de delik içine verilir. Verilen enjeksiyon tamamen kuyu ağzından dönene kadar işlem devam etmelidir.

Çelik hasır ve püskürtme beton

Çelik hasır olarak tipleri ve bindirme detayları proje verilen esaslara uygun olmalıdır.

Püskürtme beton mevcut ekipman ve uygulayıcıya göre kuru ya da yaş tip olabilir. Esas olarak karışım oranları geri dönmeyi (rebound) en aza indirecek şekilde ayarlanmalıdır. Tecrübelerle karışımda minimum 400 kg/m^3 çimento olması gerektiği bilinmektedir. Ayrıca çakıl çapının 16 mm'den büyük olmaması ve taş tozu karıştırılmasının faydalı netice verildiği deneyimle görülmüştür. Kuru tipte yapılan püskürtme betonda kuru karışımda su muhtevasının ağırlıkça %4'ü geçmemesi gerekmektedir. Kuru ve yaş tip püskürtme betonlar için üretilmiş özel katkı maddeleri kullanılmalıdır. Katkı oranı olarak üreticinin püskürtme beton için verdiği ürün bilgileri esas alınmalıdır.

Püskürtme beton yapılırken yüzeyde herhangi bir yeraltı suyu akıntısı var ise önce burası çimento pastası, harç ya da enjeksiyon yoluyla tıkanmalıdır. Kaya yüzey üzerine önce su püskürtülerek nemlendirilecek ondan sonra püskürtme beton yüzeye mümkün olduğunca dik olarak tatbik edilmelidir. Püskürtme hızı ve mesafesi geri dönüşü en aza indirecek şekilde ayarlanmalıdır (Şekil 3.17).

Püskürtme beton minimum kalınlığı ve mukavemeti projede verilen esaslara uygun olmalıdır.



Şekil 3.17 : Çelik hasır ve püskürtme beton

Drenaj

Proje alanındaki yeraltı suyu ve kayadaki çatlaklılık durumuna oluşacak cep suları için dren sistemi kurulmalıdır. En az 100 mm çapta açılacak dren deliklerine perfore drenaj boruları yerleştirilir. Drenaj borularının etrafı örgüsüz geotekstil filtre ile sarılı olmalıdır. Toplanan sular imalatlar sırasında bir geçici kanal vasıtasıyla sahadan uzaklaştırılmalıdır. Ayrıca sahanın üst kotlarından yağmur sularının kazıya sızmasını engelleyecek ve akar kotu takip edecek şekilde kafa hendeği teşkil edilmelidir.

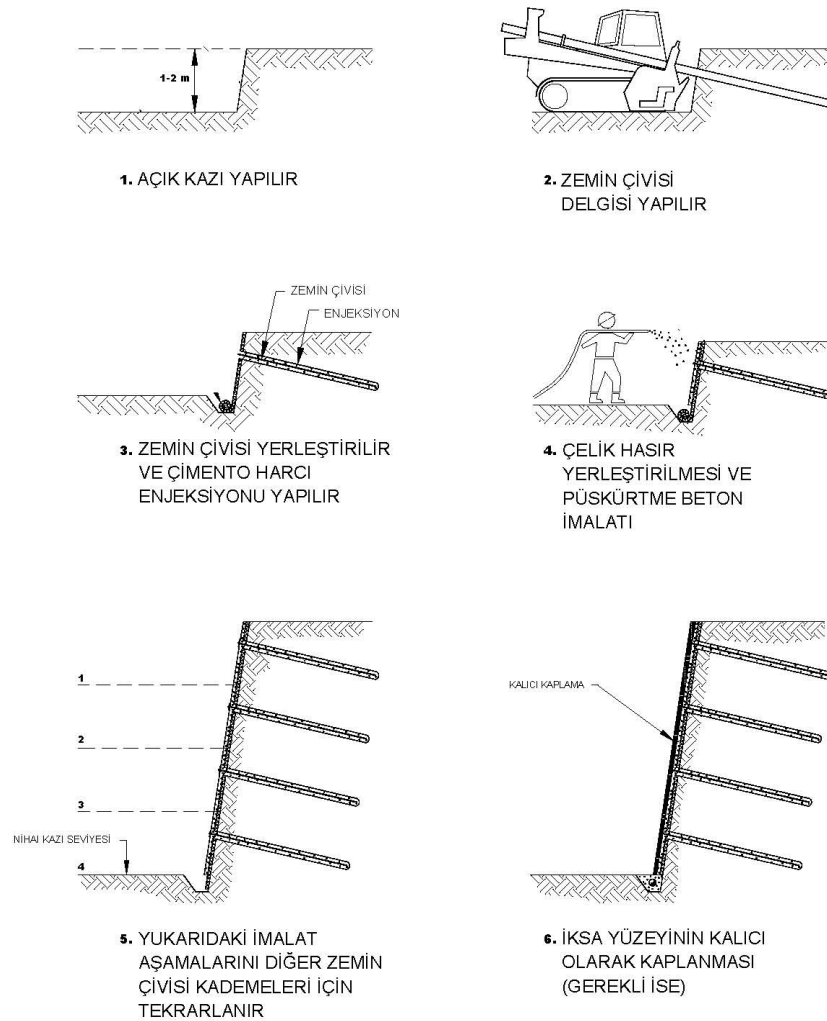
Kılavuz kazıklar

Kalıcı iksa yüzeylerinde şev açısının mümkün olan en yüksek hassasiyetle sağlanması için kazıya başlamadan önce kazı sınırında kılavuz kazıklar imal edilmelidir. Bu kazıklar taşıyıcı olmayıp yalnızca yön tayininde yardımcı olacağından içine yalnızca bir adet $\phi 20$ mm çapta demir indirilerek çevresi çimento harcı ile doldurulur. Bu kazılar projelendirilen kazı taban kotunun en az 0,5 m altına kadar indirilmeli ve ara mesafeleri 1,5 m'yi geçmemelidir.

3.4.1.4 Zemin çivisi ve püskürtme beton imalat aşamaları

- Öncelikle kılavuz kazıkların imalatı yapılır.
- Kazıya başlanmadan önce projede öngörülen noktalarda inklinometre cihazları yerleştirilir.
- Kazı 1,50 m'lik bir kademe olarak yapılır. Açılan yüzey döküntü yapmayacak şekilde sağlam olarak görülürse delgiye başlanır. Yüzeysel döküntü tespit edilirse önce 5-10 cm kalınlıkta püskürtme beton tatbik edilerek delgi bunun üzerinden yapılmalıdır.
- Delgi zemin cinsine göre auger takımı ya da havalı tabanca kullanılarak yapılabilir. Delgi en az 100 mm çapta ve projede belirtilen boy, ara mesafe ve açıda yapılır. Delginin içi malzeme/döküntü kalmayacak şekilde zeminin cinsine uygun olarak basınçlı hava ya da sirkülasyon suyu ile temizlenmelidir.
- Delinen temizlenen kuyu içerisine daha önceden hazırlanan kalıcı ya da geçici tipte zemin çivisi yerleştirilir.
- Yukarıda tarif edilen şekilde çimento enjeksiyonu yapılır. Çimentonun prizini alması için somun sıkılmadan en az 24 saat beklenmelidir.

- Delgi, zemin çivisi yerleştirme ve enjeksiyonun aynı günde tamamlanması amaçlanmalı ve imalat programı zorunlu haller dışında bu şekilde yapılmalıdır.
- Zemin çivi yerleştirme ve enjeksiyon işlemi tamamlanmış yüzeyde hasır çelik yerleştirir, hasır çeliğin üzerinden saplamaya plaka geçirilerek bunun üzerinden takılan somun boşluğunu alacak kadar sıkılır. Hasır çelik yerleştirilirken ek yerlerinde en az iki göz bindirme yapılmasına dikkat edilmelidir.
- Projede öngörülen kalınlıkta püskürtme beton yapılır.
- Püskürtme betonu tamamlanmış yüzey üzerinden projede belirtilen ara mesafe, açı ve boylarda drenaj delikleri açılır ve drenaj boruları bu deliklere yerleştirilir.
- Yukarıda belirtilen tüm imalat aşamaları tamamlanmadan bir sonraki kazı kademesine başlanmamalıdır. Püskürtme beton tamamlandıktan sonra bir alt kademeye geçilmeden en az 8 saat beklenmelidir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 : Zemin çivisi - püskürtme beton imalat aşamaları (Lazarte ve diğ., 2003)

4. ÖRNEK UYGULAMALAR İLE İKSA SİSTEMLERİ VE MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

4.1 Giriş

İksa sistemlerinin seçimi elbette tek bir değişkene bağlı değildir. Amaç her zaman teknik olarak en uygun ve aynı zamanda en ekonomik çözümü elde etmek olsa da her derin kazı problemi kendi şartları içinde değerlendirmeli, mevcut saha koşulları, proje gereksinimleri ve imalat süresi gibi özel parametler göz önüne alınmalıdır. Bu bağlamda benzer kazı derinlikleri ve zemin şartlarında dahi tek bir çözümün olmadığı aşikardır.

Bu bölümde seçilen kazı derinlikleri ve tipik zemin şartları altında önceki bölümde tariflenen betonarme iksa sistemlerinden teğet fore kazık, kesişen fore kazık ve diyafram duvar uygulamaları karşılaştırılacaktır.

4.2 Örnek Uygulamaların Tarifi ve Tasarım Ölçütleri

Bu çalışma kapsamında iki farklı kazı derinliği için aynı tip zemin modeli altında değişken iksa sistemleri ve yer altı suyu durumu incelenmiştir. Seçilen kazı derinlikleri iki bodrumlu ve dört bodrumlu bir yapıya ait derin kazıları temsilen sırasıyla 8 ve 16 metredir. Yer altı suyunun bulunmadığı durumlarda teğet fore kazık, kesişen fore kazık ve diyafram duvar yöntemleri uygulanmış; yer altı suyunun mevcut olduğu durumlarda ise su geçirimsiz sistemler olan kesişen fore kazık ve diyafram duvar çözümleri sunulmuştur.

8 metrelik kazı derinliğinde sulu ve susuz durumlar için her bir iksa sistemi konsol ve 1 sıra öngermeli ankraj destekli olarak çözülmüştür. 16 metrelik kazı derinliğinde gene her iki yer altı suyu koşulu altında iksa sistemleri 1, 2 ve 3 sıra olmak üzere farklı ankraj kademeleri ile çözülmüştür. Amaçlanan farklı iksa sistemlerinin önceden belirlenen tasarım ölçütlerini sağlayacak şekilde tasarlanması ve çıkan sonuçların maliyet olarak karşılaştırılmasıdır. Yukarıda özetlenen değişkenlerin ışığı altında çözümü sunulacak analizler Çizelge 4.1’de verilmiştir:

Çizelge 4.1 : Örnek uygulama analizleri

Analiz No	Kazı Derinliği (m)	Yer altı Suyu	İksa Sistemi	Ankraj Kademesi
1	8	Yok	Teğet F.K.	0
2	8	Yok	Kesişen F.K.	0
3	8	Yok	Diyafram D.	0
4	8	Yok	Teğet F.K.	1
5	8	Yok	Kesişen F.K.	1
6	8	Yok	Diyafram D.	1
7	8	Var	Kesişen F.K.	0
8	8	Var	Diyafram D.	0
9	8	Var	Kesişen F.K.	1
10	8	Var	Diyafram D.	1
11	16	Yok	Teğet F.K.	1
12	16	Yok	Kesişen F.K.	1
13	16	Yok	Diyafram D.	1
14	16	Yok	Teğet F.K.	2
15	16	Yok	Kesişen F.K.	2
16	16	Yok	Diyafram D.	2
17	16	Var	Kesişen F.K.	2
18	16	Var	Diyafram D.	2
19	16	Var	Kesişen F.K.	3
20	16	Var	Diyafram D.	3

4.2.1 Zemin parametreleri

Bu uygulamada farklı iksa sistemlerinin kullanılması durumunda oluşan sonuçları irdeleyebilmek için tüm analizlerde tek tip zemin modeli kullanılmıştır. Zemin tipinin sabit olması aynı koşullarda farklı yöntemlerin karşılaştırılmasına imkan verecektir.

Geoteknik modelleme yapılırken kullanılan zemin profili üst tabakalarda gevşek – orta sıkı ve derinlikle sıkılaştıran kum; alt tabakalarda zayıf – orta sert orta kaliteli kumtaşı olarak oluşturulmuştur. Seçilen zemin parametreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Örnek uygulama zemin profili ve parametreleri

Derinlik (m)	Tabaka	İçsel Sürtünme Açısı ϕ (°)	Kohezyon c (kN/m ²)	Birim Ağırlık γ (kN/m ³)	Elastisite Modülü E (MPa)
0 – 4	Gevşek Kum	32	-	17	20
4 – 8	Orta Sıkı Kum	36	-	17	60
8 – 12	Zayıf Kumtaşı	35	15	20	180
12 – 30	Orta Sert Kumtaşı	35	25	21	250

4.2.2 Yer altı suyu etkisi

Yer altı suyunun mevcut olduğu durumlarda ve zemindeki bu doğal su kütlelerinin zemin şartları ve kazı derinliği dolayısı ile drene edilmesi ve kazı içerisinden uzaklaştırılması mümkün değilse su geçirimsizliğini sağlayacak bir iksa yöntemi seçilmelidir. Özellikle gevşek ve granüler tabakalardan oluşan zemin profillerinde teğet fore kazık gibi su geçirgen sistemlerin kullanılması yoğun su akışı ile birlikte zemin akışı da gerçekleşeceğinden duvar arkalarında borulama ve boşalma gibi olumsuz şartların doğmasına neden olur. Bunun yanısıra mevcut yer altı su seviyesinin kazı duvarı arkasında ani düşüşü zemin yüzeyinde oturmalara sebep olabilir. Yerleşimlerin yoğun olduğu bölgelerde özellikle bu tip etkenler özenle tetkik edilmelidir.

İksa sistemi tasarımı açısından su geçirimsiz bir iksa duvarı arkasında kalan yer altı suyu gerilmeler açısından olumsuz etki yapmaktadır. Zemin kütlelerinden kaynaklanan aktif basıncına ek olarak su basıncından gelen ek yüklerin de güvenli bir şekilde iksa duvarı tarafından taşınması gereklidir. Bu da daha rijit ve daha fazla sayıda destek elemanı kademesi ile sağlamlaştırılmış iksa duvarı tasarımı anlamına gelmektedir.

İncelenen örnek uygulamalarda aynı kazı derinliklerinde yer altı suyunun etkisi gözlenmiştir. Yer altı suyunun sistemde yarattığı zorlamaların net bir şekilde görülebilmesi için su seviyesi sığ sayılabilecek bir derinlik olan zemin yüzeyinden 2 metre derinlikte kabul edilmiştir.

4.2.3 Tasarım ölçütleri ve kabuller

Örnek uygulama analizlerinde seçilen sistemler bir takım tasarım ölçüt, kabul ve limit değerleri sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu kabuller aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- İksa duvarının herhangi bir noktasında maksimum deplasman 30 mm olmalıdır.
- Sistemin göçmeye karşı genel güvenlik katsayısı minimum 1,30 olmalıdır.
- Maksimum ankraj çalışma yükü 720 kN olarak kabul edilmiştir.
- Kullanılan malzemeler donatılı kesitlerde C40 beton, donatısız primer kazıklarda (kesişen kazık sisteminde) C20 beton ve STIII donatı çeliğidir.
- İksa duvarı arkasında zemin yüzeyinde daimi yayılı yük 20 kN/m^2 olarak kabul edilmiştir.

4.2.4 Sonlu elemanlar yöntemi ile geoteknik modelleme – PLAXIS

Sonlu elemanlar sayısal analiz yöntemi özellikle karmaşık sınır koşulları, non-lineer ve homojen olmayan malzeme davranışları altında mühendislik problemlerinin hassas çözümü için kullanılan en iyi metotlardan biridir. Karmaşık problemlerin daha ufak ve basit parçalara bölünerek matematiksel ifadelerle sistematik olarak çözülmesi temel alındığından bu yöntem özellikle bilgisayar yazılımları modellemesi için oldukça elverişlidir.

Sonlu elemanlar yönteminde sürekli bir sistem bölgesinin çok sayıda, küçük birbiri ile etkileşimli sonlu elemanlara ayırarak, elde edilen bu elemanlar üzerinde oluşan iç ve dış kuvvetlerin hesaplanması ve ardından tüm parçaların birleştirilerek genel çözüme ulaşılması esas alınmıştır.

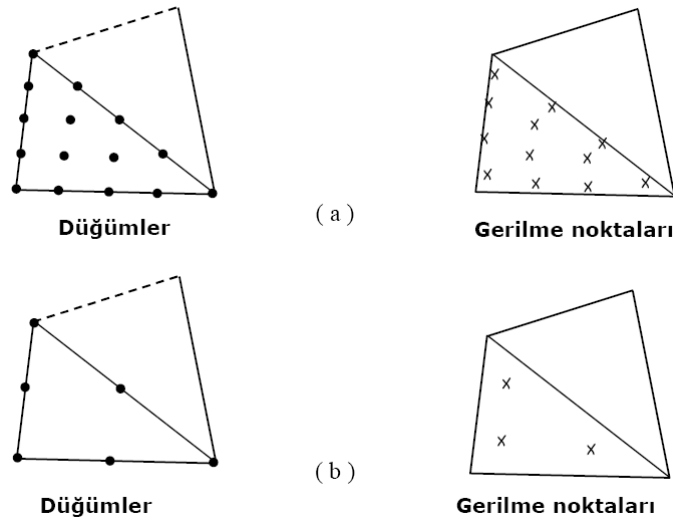
Buna göre problemdeki ortam cisimleri veya kontinyum sonlu elemanlara ayrılırlar. Bu alt elemanlar birbirlerine düğüm noktaları ile bağlıdır. Düğüm noktaları elemanların sınırlarında bulunur. Sistemki değişkenler için oluşturulan matematiksel fonksiyonlar bu değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri olarak ifade edilir. Problemin çözümü için denge denklemleri oluşturulduğunda bilinmeyenler düğüm noktalarındaki fonksiyonların değerleri haline gelir ve bu denklemler dizisi matris denklemleri şeklinde çözülür.

Geoteknik modelleme yapılırken sonlu elemanlar yöntemi en gerçekçi sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır. Özellikle analizler sonucunda gerilmelerin, zemin ve rijit

elemanlarda oluşan yanal ve dikey hareketlerin, boşluk suyu basıncı, zemin suyu akışı ve zamana bağlı değişkenlerin gözlemlenebilmesi gibi birçok veri elde edilmesi günümüzde geoteknik problemlerin hassasiyetle, güvenli ve ekonomik olarak çözümüne olanak sağlar.

PLAXIS bilgisayar yazılımı bu bağlamda en yaygın olarak kullanılan geoteknik ve temel mühendisliği sonlu elemanlar sayısal analiz programıdır. Bu yazılım sayesinde özellikle çok kademeli destekli iksa sistemi kazılarının her destek kademesinde ayrı hesap adımları tanımlanması problemlerin sahadaki imalat sırasına göre adım adım gerçekçi bir şekilde irdelenmesini sağlar.

Bu yazılımda solü elemanların oluşturulmasında üçgen elemanlar kullanılmaktadır. Oluşturulan modelin genel seçeneklerinden bu elemanlar ihtiyaç duyulan hesap hassasiyetine göre 6 veya 15 düğüm noktalı oluşturulabilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Plaxis yazılımında oluşturulan düğüm ve gerilme noktaları seçenekleri (Brinkgreve, 2002)

Plaxis veri girişi, hesap, veri çıkışı ve eğriler olmak üzere dört modülden oluşmaktadır. Veri girişi modülünde zemin parametleri, model geometrisi, iksa ve destek elemanları kesit özellikleri ve diğer tanımlamalar veri olarak görsel model penceresinde oluşturulur. Hesap modülünde inşaat adımları takip edilerek kademeli çözüm sırası oluşturulur. Analiz tamamlandığında her bir kademeye ait çıktılar detaylı olarak incelenebilir, seçime bağlı olarak detaylı rapor çıktıları oluşturulabilir. Eğri modülü ise analiz sonuçlarını sistem üzerinde önceden belirlenmiş noktalarda gözlenmek istenen değişkene bağlı olarak iterasyon esnasında oluşan sonuçların eğrilerle temsil edilmesini sağlar.

Hesap modülünde kademe analizleri yapılırken güvenlik katsayılarının hesaplanmasını sağlayan parametre azaltma seçeneği bulunur. Bu seçenek dahilinde zemin parametreleri içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri kademeli olarak azaltılarak sistemin göçtüğü durum belirlenmektedir. Bu şekilde istenilen kazı kademesinde sistemin göçmeye karşı güvenlik katsayısı ölçülebilir.

Tez çalışmasında konu örnek analizler PLAXIS yazılımı ile çözümlenmiştir. Çalışmanın amacı betonarme iksa sistemlerinin seçiminde ve maliyet açısından karşılaştırılmasında bilgi kaynağı sağlamak olduğundan analizlerde yukarıda belirtilen kabuller yapılmış ve sonuçlar sadece iksa duvarları üzerindeki kuvvet ve deplasmanların incelenmesi şeklinde verilmiştir.

Hesaplarda izlenen kazı kademeleri aşağıdaki şekildedir:

- Adım 1: Yayılı yükün ve iksa duvarının aktif hale getirilmesi.
- Adım 2: İlk ankraj kazı seviyesine inilmesi. Yer altı suyu mevcut ise kazıyı takiben saha içinde yapılacak yer altı suyunun düşürülmesini temsilen su seviyesinin kazı tarafında kazı kotundan 1 metre aşağıya düşürülmesi ve su basıncının hesaplanarak güncellenmesi. Güvenli tarafta kalmak için duvarın arkasında zemin tarafındaki su seviyesinin düşmediği kabul edilmiştir.
Gerçekte kazı içindeki su seviyesi düşürülmesi ile duvar arkasında da bir miktar su seviyesinde düşüş meydana gelir. Bu etki zemin tabakalarının laboratuvar deneyleri ile belirlenen geçirgenlik katsayılarının modele girilmesi ile aktif hale getirilebilir.
Konsol (ankrajsız) çözümlerde bu adımda son kazı seviyesine inilir.
- Adım 3: İlk ankraj kademesinin aktif hale getirilmesi ve öngerme yükünün uygulanması.
- Adım 2 ve 3 birden fazla ankraj seviyesi olması durumunda her kademe için tekrarlanır.
- Adım 4: Son kazı seviyesine inilir.
- Adım 5: Son kazı seviyesindeki göçme güvenlik katsayısı hesaplatılır.

Analizlere ait verilen kesme kuvveti ve moment grafikleri farklı kazı kademelerinde elde edilen grafiklerin üst üste bindirilerek oluşturulan zarf halidir. Böylece iksa duvarının aşama aşama ilerleyen kazı süresince maruz kaldığı tüm kuvvetler dikkate alınmış olunur. Betonarme kesit analizleri de buna göre yapılır. Örneğin tek sıra

ankraj ile desteklenmiş bir iksa duvarında ankraj imalat kazı kotuna inildiğinde maksimum moment duvarın zemin tarafında; ankraj imal edilip son kazı seviyesine inildiğinde ise maksimum moment duvarın kazı tarafında oluşur. Donatı hesabı yapılırken her iki durumunda göz önüne alınarak uygun şekilde donatı detayları hazırlanmalıdır.

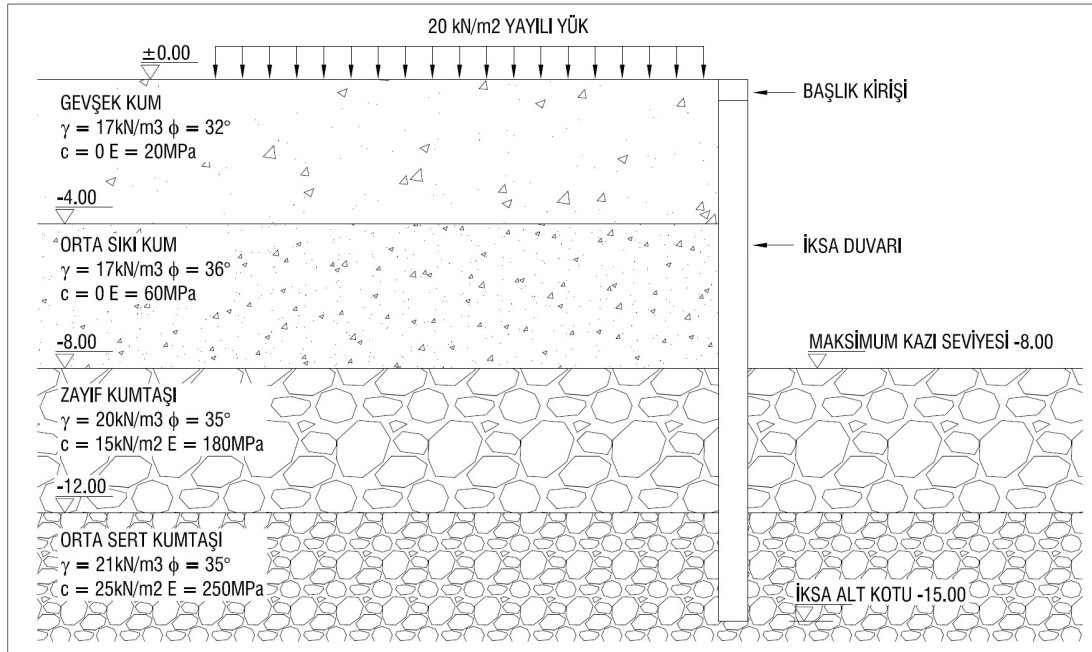
4.3 Uygulama – 1: İki Bodrum Yapı Temel Kazısı – 8 Metre Derinlik

Kuru ve yer altı suyu mevcut durumlar için konsol ve ankraj destekli sistemler analiz no 1 – 10’da irdelenmiştir. Seçilen iksa sistemleri bir dizi deneme yanılma ile tekrarlanan hesaplar sonucunda tasarım ölçütlerini sağlayacak mümkün en küçük kesit ve boylar ile tasarlanmıştır. Karşılaştırma amacı ile kuru zemin şartlarında dahi kesişen fore kazık ve diyafram seçenekleri değerlendirilmiştir.

4.3.1 Kuru zemin durumu

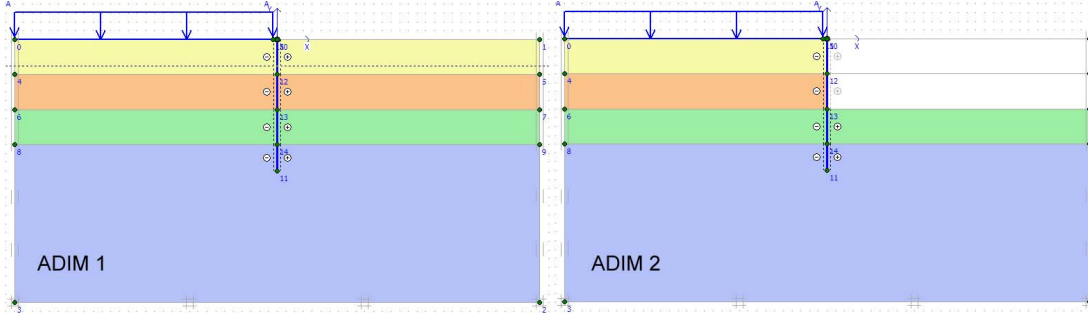
4.3.1.1 Konsol sistem

Analiz no 1 – 3 için uygulanan tipik kesit Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Analiz no 1 – 3 tipik kesit

Seçilen iksa sistemleri 800 mm çapında teğet fore kazık; 900 mm çapında kesişen fore kazık ve 600 mm kalınlığında diyafram duvardır. İksa duvar boyları 15 metre olarak belirlenmiştir. PLAXIS hesap adımları Şekil 4.3’de görülebilir.



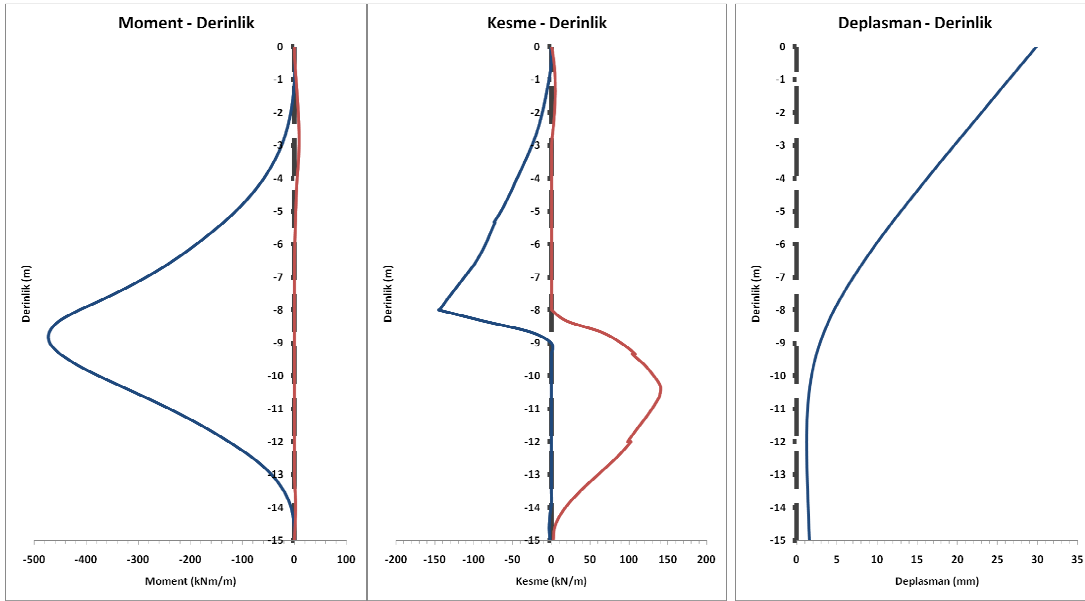
Şekil 4.3 : Analiz no 1 – 3 hesap adımları

Analiz no : 1 – Teğet fore kazık

Sistem 800 mm çapında 850 mm merkezden merkeze aralıklı 15 metre boyunda teğet fore kazık olarak öngörülmüştür. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment	: 471,20 kNm/m
Maksimum kesme kuvveti	: 145,02 kN/m
Maksimum deplasman	: 29,87 mm
Göçmeye karşı güvenlik katsayısı	: 1,80

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.4’de görülebilir.



Şekil 4.4 : Analiz no 1 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

Analiz no : 2 – Kesişen fore kazık

Sistem 900 mm çapında 1400 mm merkezden merkeze (donatılı kazıklar) aralıklı 15 metre boyunda kesişen fore kazık olarak öngörülmüştür.

Donatısız primer kazıkların sistem rijitliğine etkisi ihmal edilmekte sadece su geçirimsizliğini sağlayan elemanlar olarak kabul edilmektedirler. Bu sebeble aynı çaptaki teğet fore kazık sistemine kıyasla metre başına gelen rijitlik daha düşüktür. Kazık çapı artırılarak benzer mertebede sonuçlara ulaşılması mümkün olmaktadır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

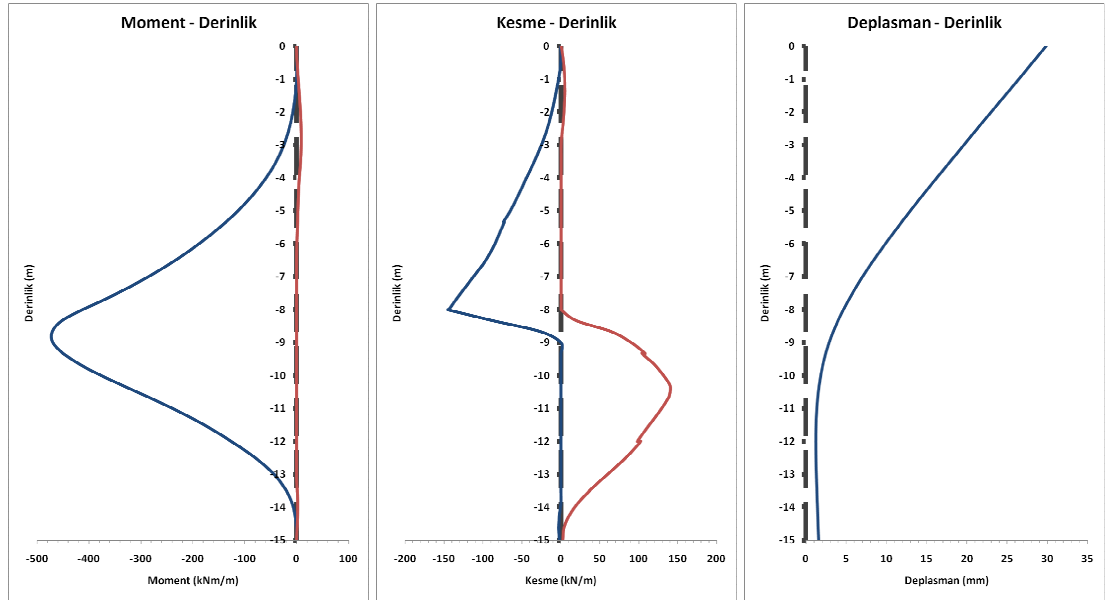
Maksimum moment : 471,56 kNm/m

Maksimum kesme kuvveti : 144,92 kN/m

Maksimum deplasman : 30,78 mm

Göçmeye karşı güvenlik katsayısı : 1,83

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.5’de görülebilir.



Şekil 4.5 : Analiz no 2 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

Analiz no : 3 – Diyafram duvar

Sistem 600 mm kalınlığında 15 metre boyunda diyafram duvar olarak öngörülmüştür.

Diyafram duvarlar dikdörtgen kesitli sürekli elemanlar olduklarından metre başına gelen rijitlik değeri aynı kalınlıktaki kazıklı sistemlere göre daha yüksektir. Önceki analizlerde seçilen kazık çapları göz önüne alındığında minimum diyafram duvar kalınlığı olan 600 mm seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

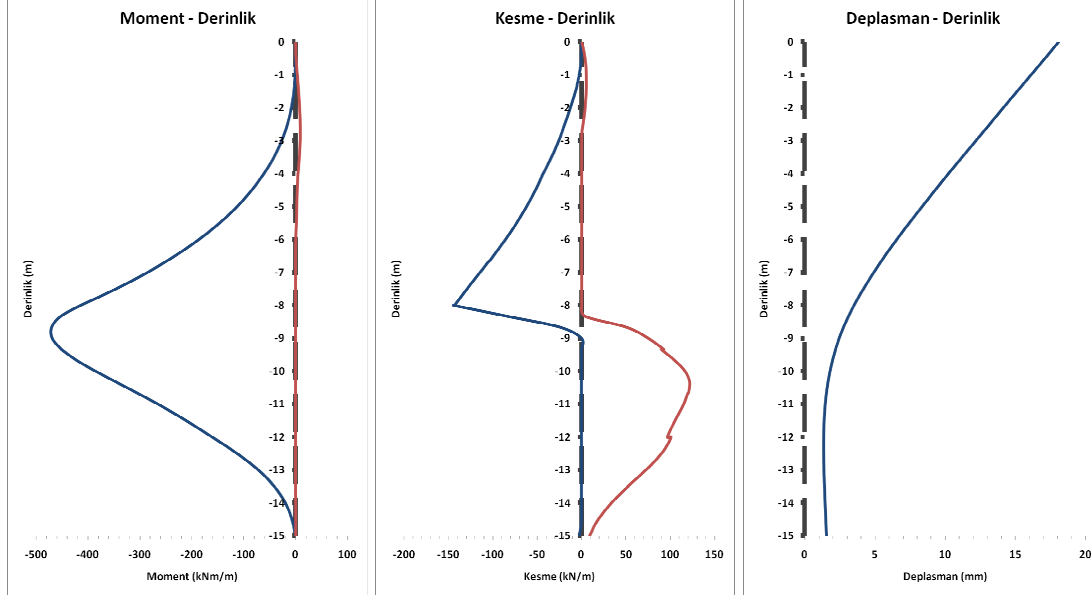
Maksimum moment : 470,01 kNm/m

Maksimum kesme kuvveti : 144,29 kN/m

Maksimum deplasman : 18,07 mm

Göçmeye karşı güvenlik katsayısı : 1,84

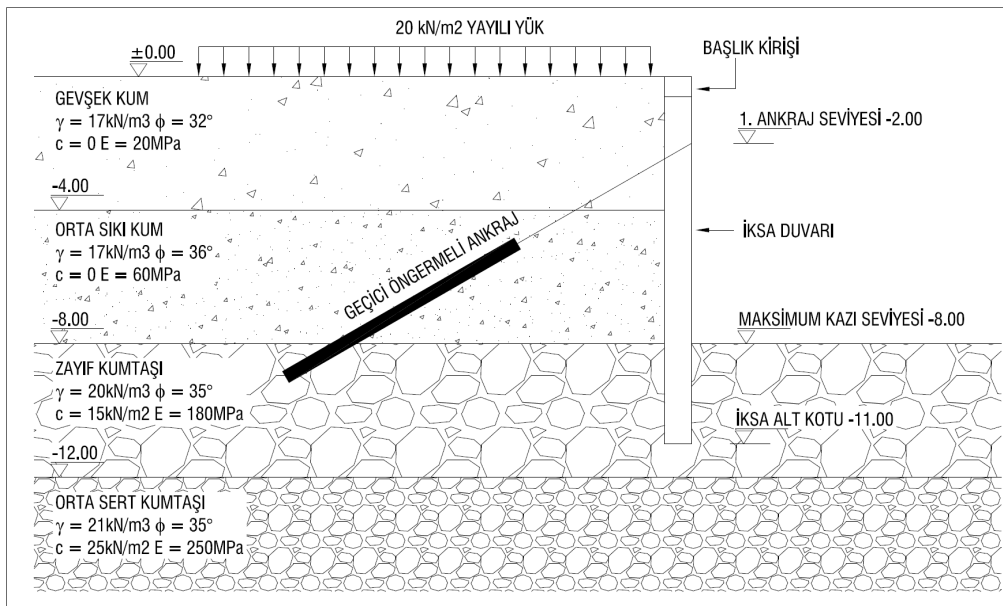
Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.6’da görülebilir.



Şekil 4.6 : Analiz no 3 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

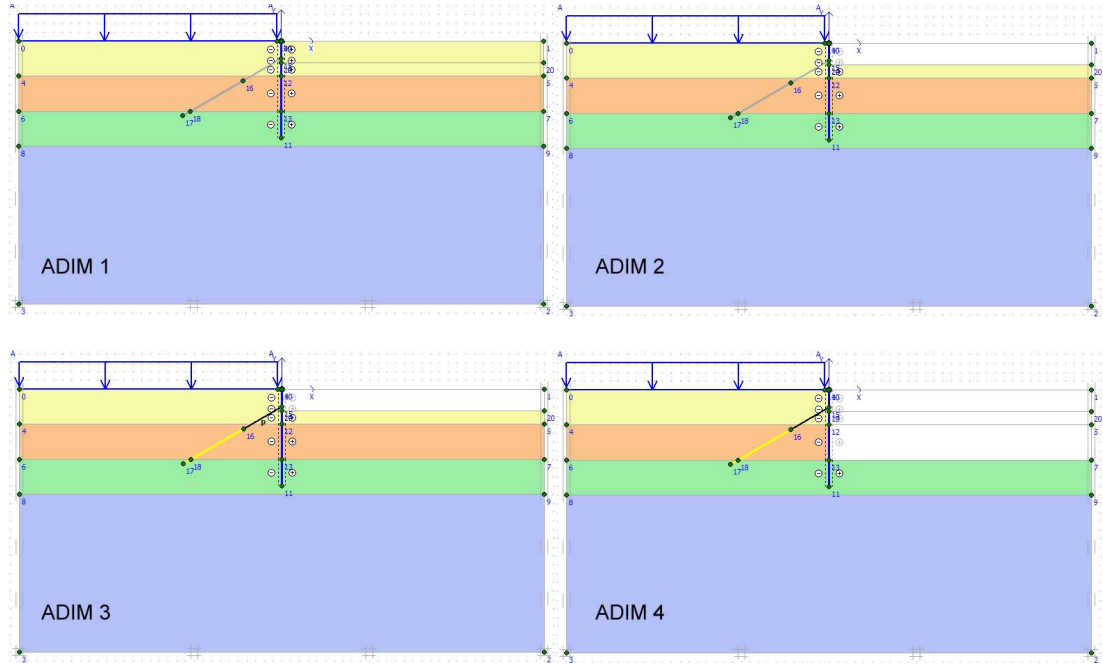
4.3.1.2 Tek sıra ankrajlı sistem

Analiz no 4 – 6 için uygulanan tipik kesit Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 : Analiz no 4 – 6 tipik kesit

Seçilen iksa sistemleri 600 mm çapında teğet fore kazık; 600 mm çapında kesişen fore kazık ve 600 mm kalınlığında diyafram duvardır. İksa duvar boyları 11 metre olarak belirlenmiştir ve tek sıra ankraj ile desteklenmiştir. PLAXIS hesap adımları Şekil 4.8’de görülebilir.



Şekil 4.8 : Analiz no 4 – 6 hesap adımları

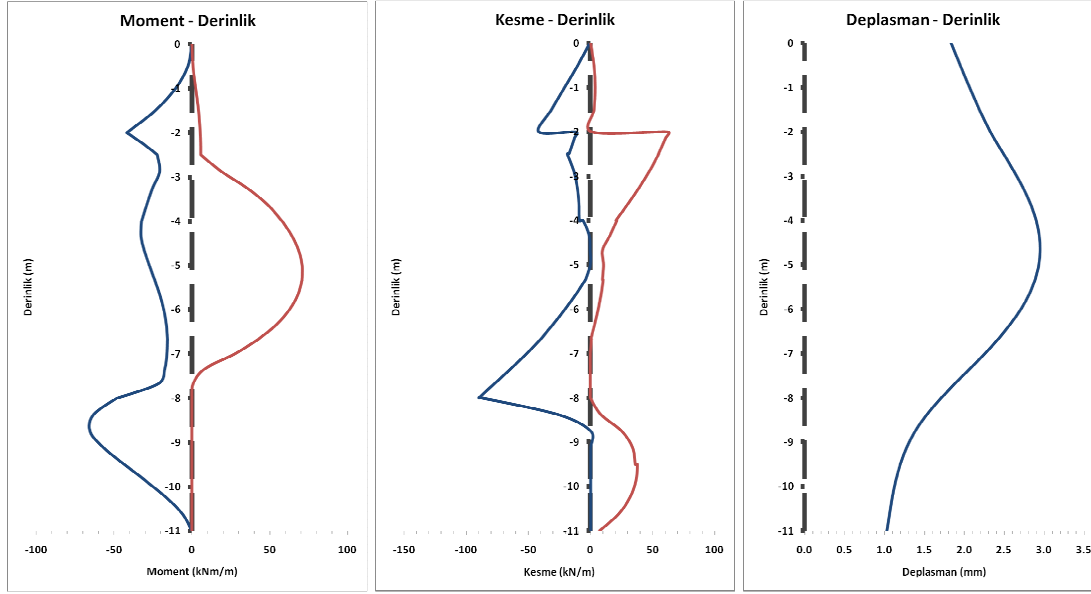
Kademeli kazılarda destek elemanlarının taşıdığı yükler kazı kademeleri boyunca zeminde oluşan gerilmeler ve varsa diğer destek elemanlarının devreye girmesi ile birlikte artma veya azalma gösterir. Bu bağlamda ankraj öngerme yükleri belirlenirken son kazı seviyesine inildiğinde artan gerilmeler nedeni ile ankrajların taşıyacağı yüklerin de artacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Gerek zemin taşıma kapasitesi gerekse ankraj halat akma sınır değerleri doğrultusunda maksimum ankraj çalışma yükünün aşılması gerekir. Kritik yükler altında bu koşul ankraj aralıklarının sıklaştırılması, ankraj kademelerinin fazlalaştırılması ve iksa duvarı rijitliğinin artırılması gibi değişkenlerin birinin veya birkaçının uygulanması ile sağlanır.

Analiz no : 4 – Teğet fore kazık

Sistem 600 mm çapında 650 mm merkezden merkeze aralıklı 11 metre boyunda teğet fore kazık olarak öngörülmüştür. İksa duvarı tek sıra 2,60 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü 100 kN/m (100 x 2,60 = 260 kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment : 70,86 kNm/m
 Maksimum kesme kuvveti : 89,91 kN/m
 Maksimum deplasman : 2,95 mm
 Maksimum ankraj yükü : 107,30 kN/m (107,3 x 2,6 = 279 kN)
 Göçmeye karşı güvenlik katsayısı : 2,15

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.9'da görülebilir.



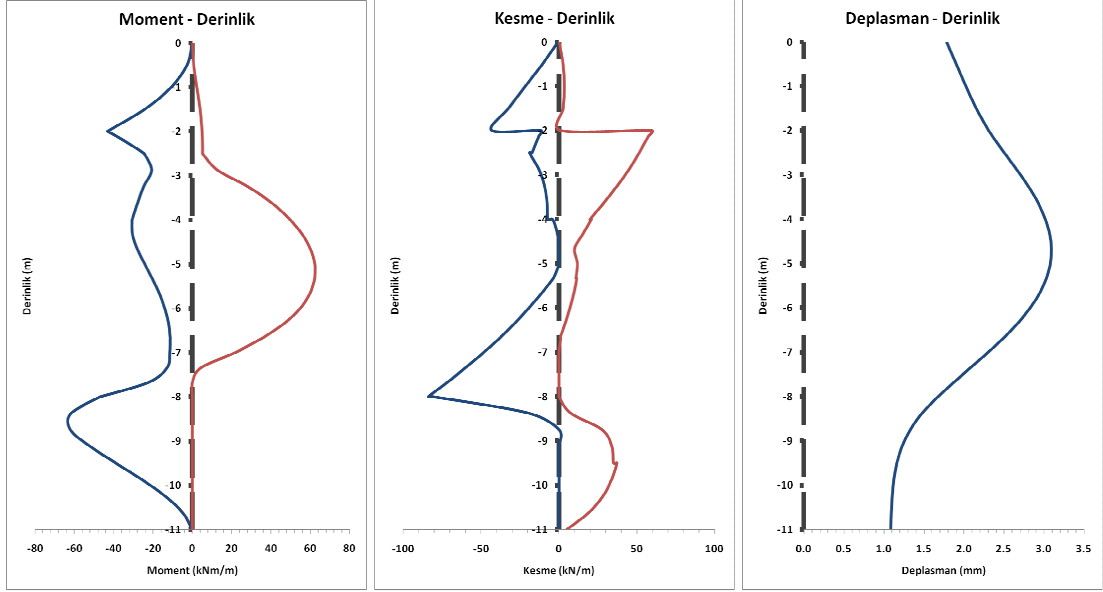
Şekil 4.9 : Analiz no 4 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

Analiz no : 5 – Kesişen fore kazık

Sistem 600 mm çapında 900 mm merkezden merkeze (donatılı kazıklar) aralıklı 11 metre boyunda kesişen fore kazık olarak öngörülmüştür. İksa duvarı tek sıra 2,70 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü 100 kN/m (100 x 2,70 = 270 kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment : 62,20 kNm/m
 Maksimum kesme kuvveti : 83,82 kN/m
 Maksimum deplasman : 3,09 mm
 Maksimum ankraj yükü : 107,10 kN/m (107,1 x 2,7 = 289 kN)
 Göçmeye karşı güvenlik katsayısı : 2,20

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.10'da görülebilir.



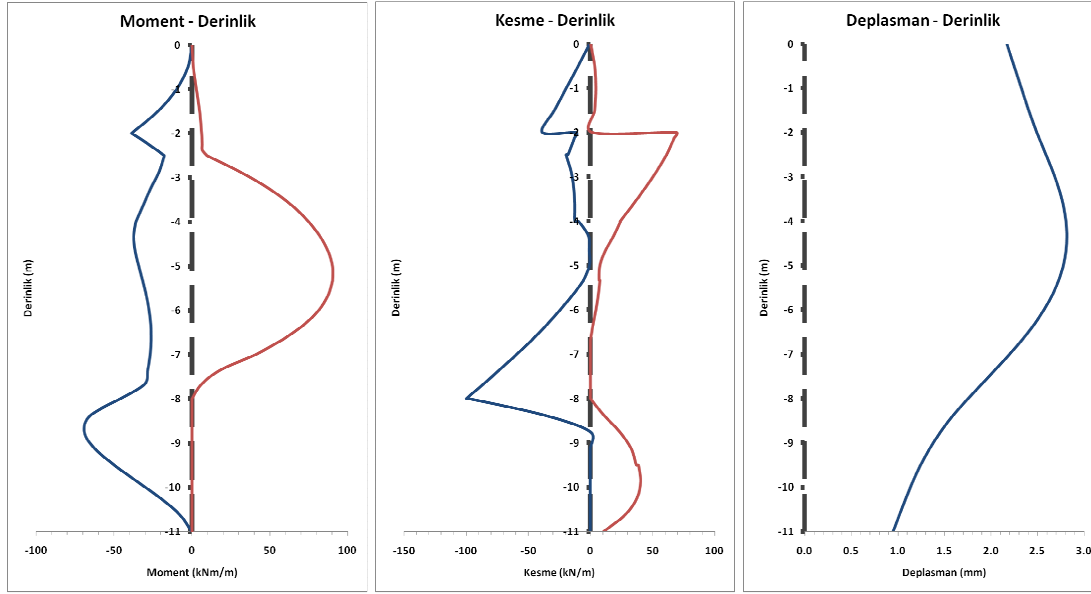
Şekil 4.10 : Analiz no 5 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

Analiz no : 6 – Diyafram duvar

Sistem 600 mm kalınlığında 11 metre boyunda diyafram duvar olarak öngörülmüştür. İksa duvarı tek sıra 2,40 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü 100 kN/m ($100 \times 2,40 = 240$ kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment	: 90,27	kNm/m
Maksimum kesme kuvveti	: 100,02	kN/m
Maksimum deplasman	: 2,81	mm
Maksimum ankraj yükü	: 108,20	kN/m ($108,2 \times 2,4 = 260$ kN)
Göçmeye karşı güvenlik katsayısı	: 2,09	

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.11’de görülebilir.

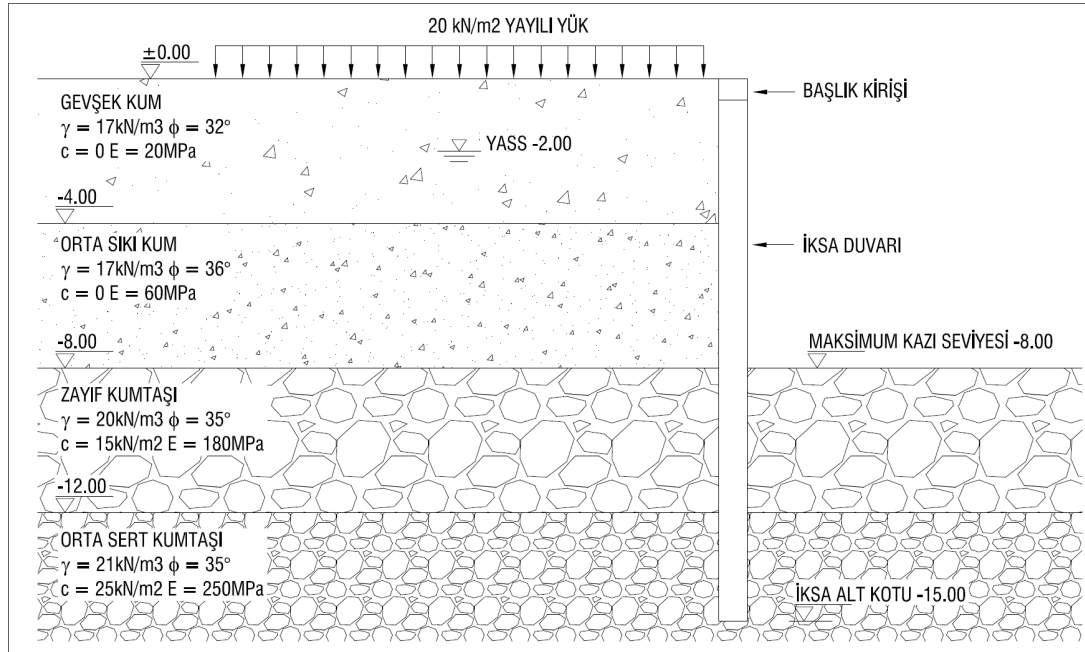


Şekil 4.11 : Analiz no 6 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

4.3.2 Yer altı suyu mevcut durumu

4.3.2.1 Konsol sistem

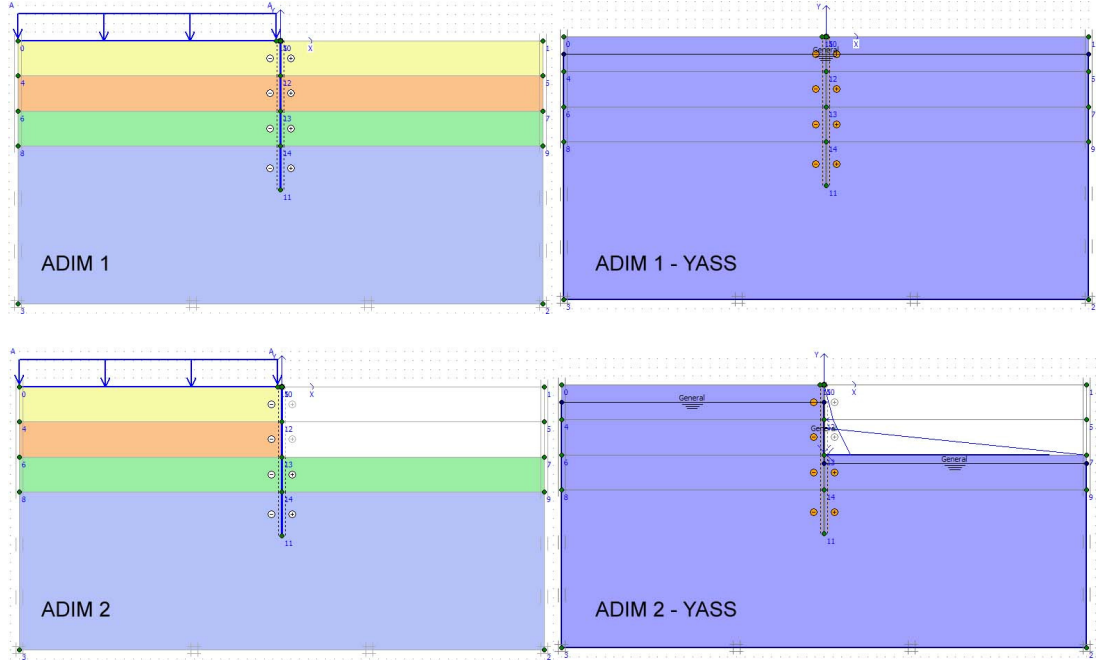
Analiz no 7 – 8 için uygulanan tipik kesit Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12 : Analiz no 7 – 8 tipik kesit

Seçilen iksa sistemleri 1700 mm çapında kesişen fore kazık ve 1200 mm kalınlığında diyafraim duvardır. Yer altı suyu bulunduğundan su geçirimsiz olmayan teğet fore kazıkların uygulanması mümkün değildir. İksa duvar boyları 17 metre olarak

belirlenmiştir. Yer altı suyu zemin dayanımının parametreleri, gerilmeler ve oturma süreçleri açısından oldukça önemlidir (Bowles, 1997). Görüldüğü üzere yer altı suyu gerilmelerde oldukça büyük artışlara sebep olmakta ve kuru zemin durumunda aynı deplasman değerlerini sağlayan duvar çap ve kalınlıklarının çok üzerinde tasarım yapılmasına gerek duyulmaktadır. PLAXIS hesap adımları Şekil 4.13’de görülebilir.



Şekil 4.13 : Analiz no 7 – 8 hesap adımları

Analiz no : 7 – Kesişen fore kazık

Sistem 1700 mm çapında 2700 mm merkezden merkeze aralıklı 17 metre boyunda kesişen fore kazık olarak öngörülmüştür. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

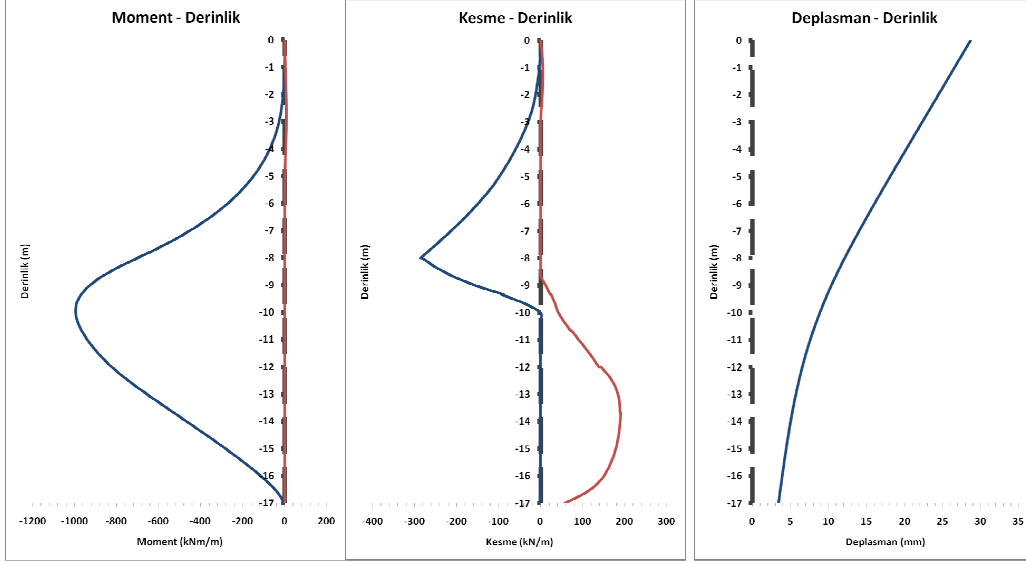
Maksimum moment : 994,44 kNm/m

Maksimum kesme kuvveti : 286,44 kN/m

Maksimum deplasman : 28,70 mm

Göçmeye karşı güvenlik katsayısı : 1,52

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.14’de görülebilir.



Şekil 4.14 : Analiz no 7 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

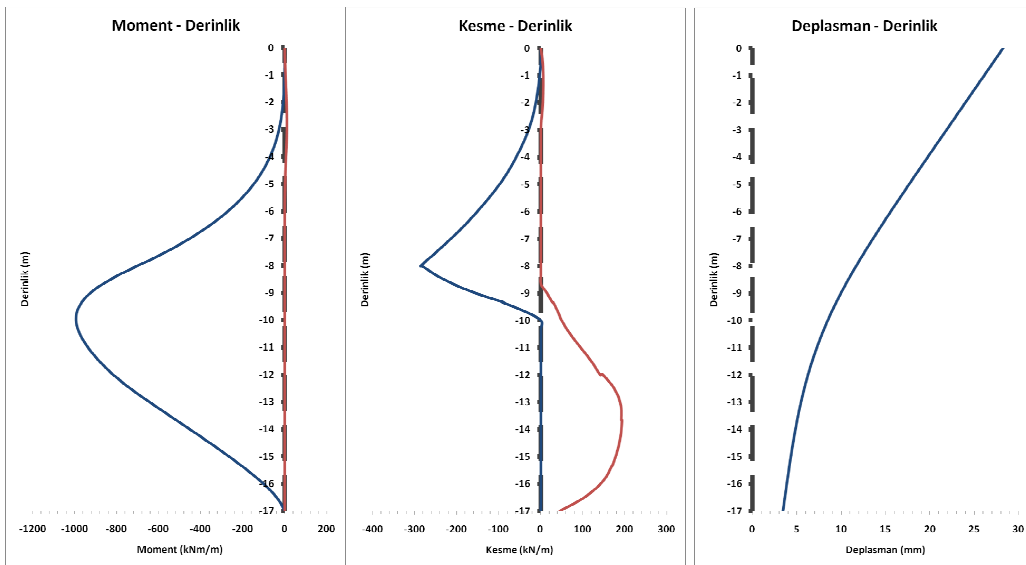
Analiz no : 8 – Diyafram duvar

Sistem 1200 mm kalınlığında 17 metre boyunda diyafram duvar olarak öngörülmüştür. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment : 993,39 kNm/m
Maksimum kesme kuvveti : 285,77 kN/m
Maksimum deplasman : 28,25 mm

Göçmeye karşı güvenlik katsayısı : 1,56

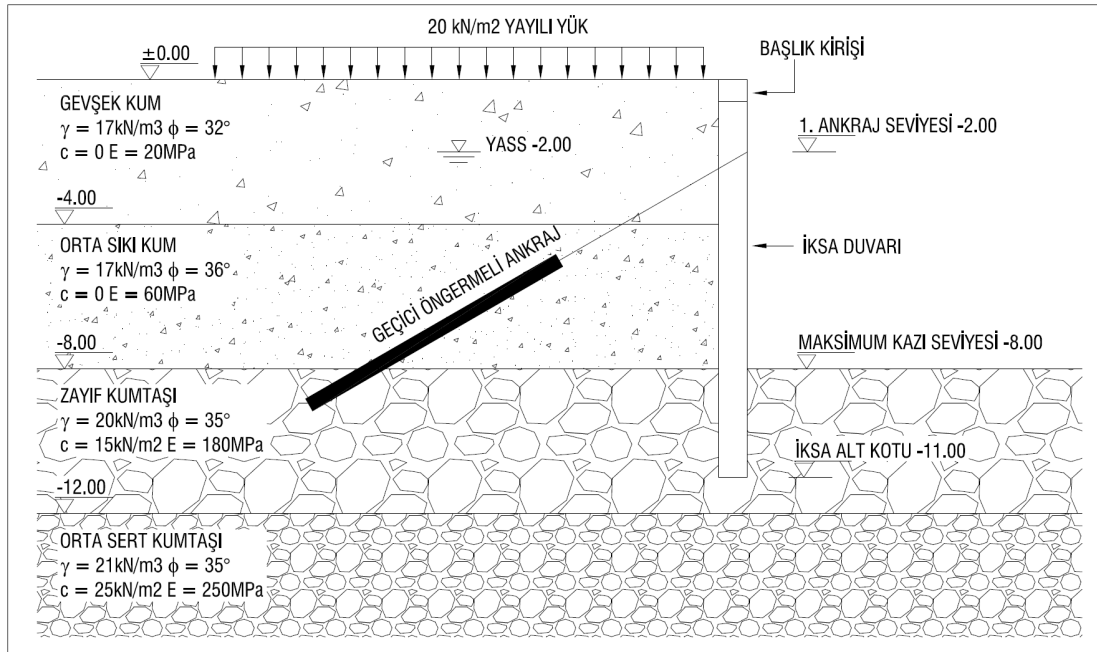
Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.15’de görülebilir.



Şekil 4.15 : Analiz no 8 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

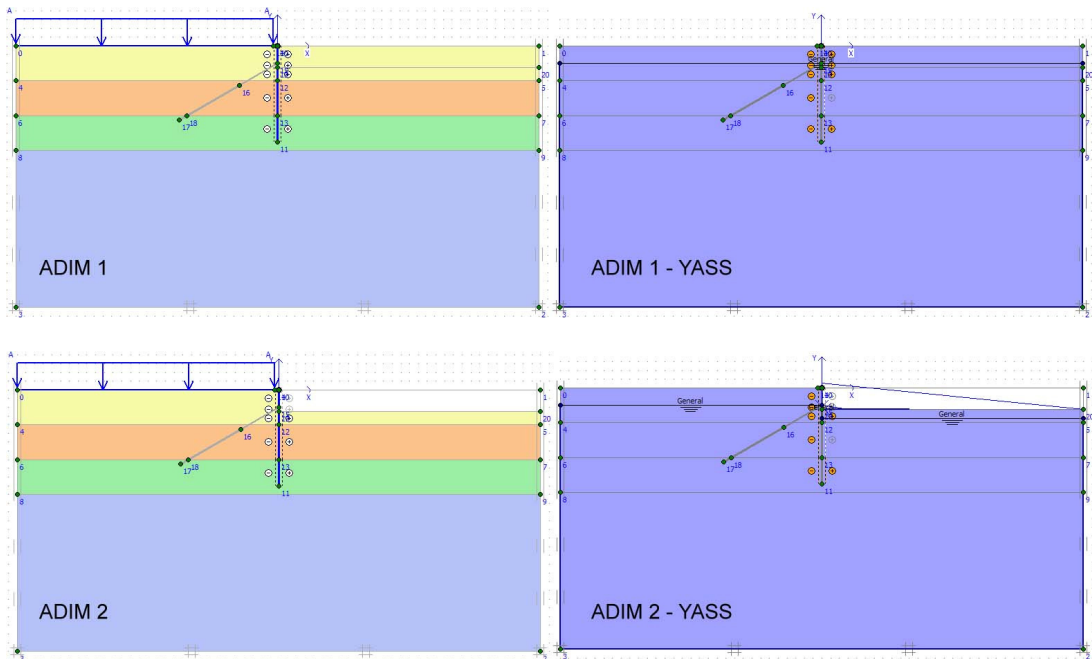
4.3.2.2 Tek sıra ankrajlı sistem

Analiz no 9 – 10 için uygulanan tipik kesit Şekil 4.16’da verilmiştir.

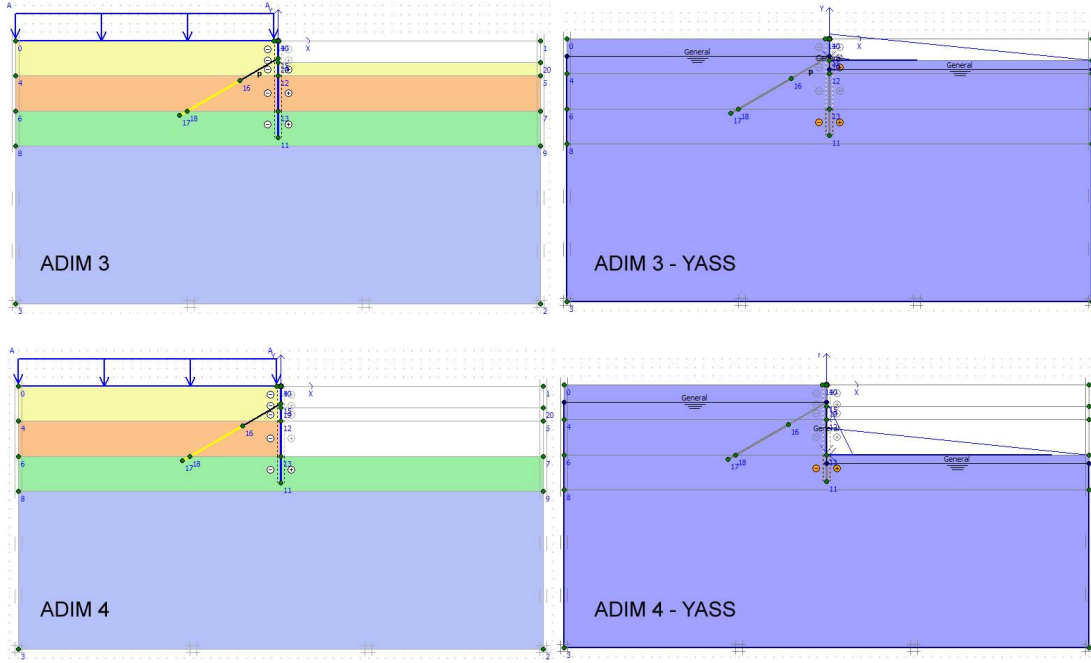


Şekil 4.16 : Analiz no 9 – 10 tipik kesit

Seçilen iksa sistemleri 600 mm çapında kesişen fore kazık ve 600 mm kalınlığında diyafram duvardır. İksa duvar boyları 11 metre olarak belirlenmiştir ve tek sıra ankraj ile desteklenmiştir. PLAXIS hesap adımları Şekil 4.17’de görülebilir.



Şekil 4.17 : Analiz no 9 – 10 hesap adımları



Şekil 4.17 (devam) : Analiz no 9 – 10 hesap adımları

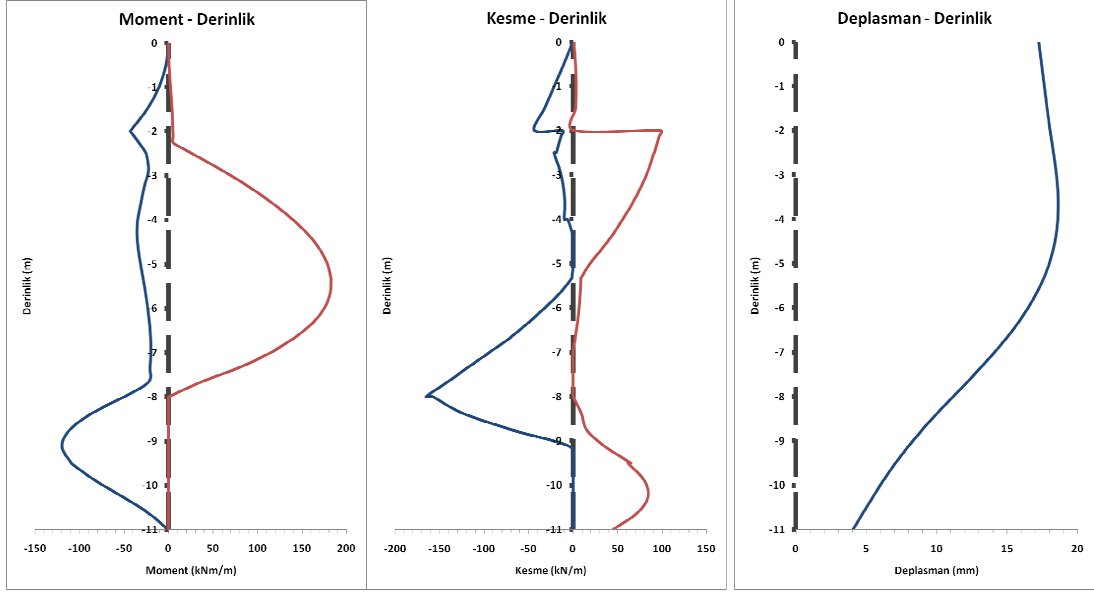
Yer altı suyunun mevcut olduğu tüm kademeli kazılarda, kazı içindeki su seviyesi her adımdaki kazı kotunun 1 m altına kadar indirilir.

Analiz no : 9 – Kesişen fore kazık

Sistem 600 mm çapında 900 mm merkezden merkeze aralıklı 11 metre boyunda fore kazık olarak öngörülmüştür. İksa duvarı tek sıra 2,70 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü 100 kN/m ($100 \times 2,70 = 270$ kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment	: 182,61 kNm/m
Maksimum kesme kuvveti	: 165,46 kN/m
Maksimum deplasman	: 18,62 mm
Maksimum ankraj yükü	: 141,30 kN/m ($141,3 \times 2,7 = 382$ kN)
Göçmeye karşı güvenlik katsayısı	: 1,69

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.18’de görülebilir.



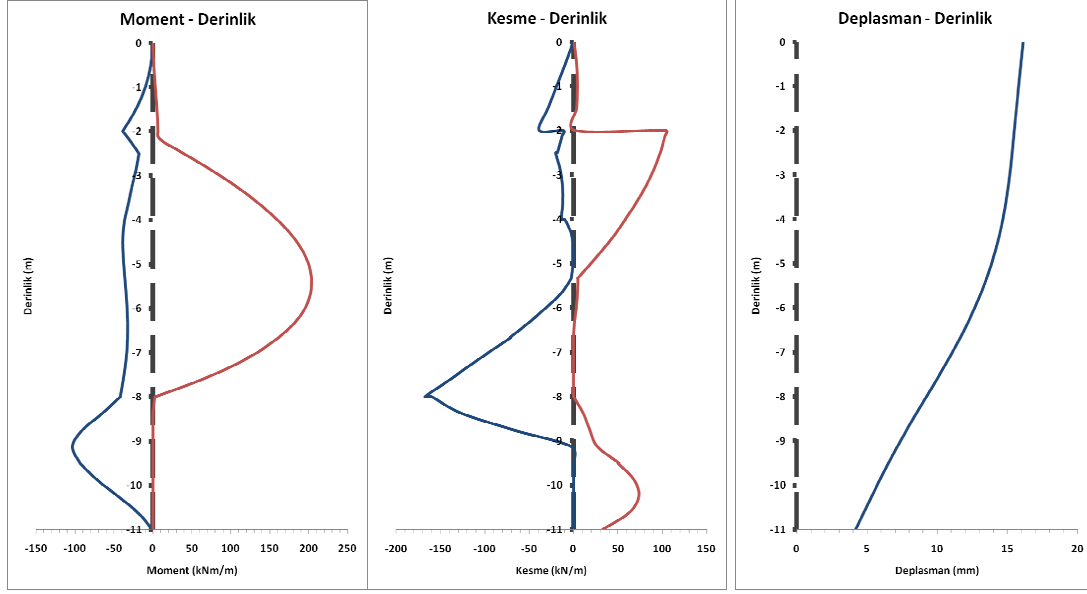
Şekil 4.18 : Analiz no 9 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

Analiz no : 10 – Diyafram duvar

Sistem 600 mm kalınlığında 11 metre boyunda diyafram duvar olarak öngörülmüştür. İksa duvarı tek sıra 2,40 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü 100 kN/m ($100 \times 2,40 = 240$ kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment	: 204,00 kNm/m
Maksimum kesme kuvveti	: 167,31 kN/m
Maksimum deplasman	: 16,13 mm
Maksimum ankraj yükü	: 136,40 kN/m ($136,4 \times 2,4 = 327$ kN)
Göçmeye karşı güvenlik katsayısı	: 1,62

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.19'da görülebilir.



Şekil 4.19 : Analiz no 10 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

4.4 Uygulama – 2: Dört Bodrum Yapı Temel Kazısı – 16 Metre Derinlik

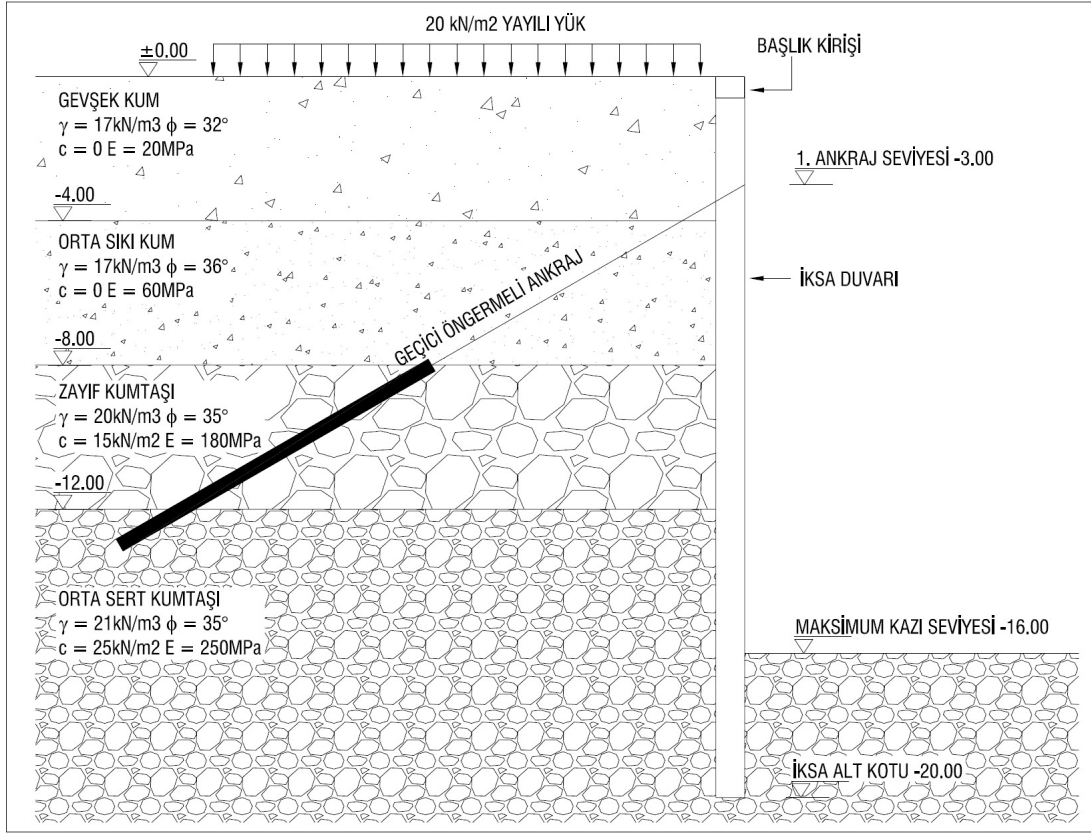
Kuru ve yer altı suyu mevcut durumlar için tek sıra ve çok sıra ankraj destekli sistemler analiz no 11 – 20’de irdelenmiştir. Seçilen iksa sistemleri bir dizi deneme yanılma ile tekrarlanan hesaplar sonucunda tasarım ölçütlerini sağlayacak mümkün en küçük kesit ve boylar ile tasarlanmıştır. Karşılaştırma amacı ile kuru zemin şartlarında dahi geniş fore kazık ve diyafram seçenekleri değerlendirilmiştir.

16 metrelik derin kazı iksa sisteminin desteklenmemiş konsol tasarımı normal imalat teknikleri ile mümkün olmamaktadır. Bu mertebede veya daha derin kazılar için bu tez çalışmasının kapsamı dışında bırakılan öngermeli veya atalet momentlerinin yükselttiği özel şekil kesit (T kesit gibi) imal edilen diyafram duvar çözümleri az rastlanmasına rağmen uygulanabilen çözümlerdir.

4.4.1 Kuru zemin durumu

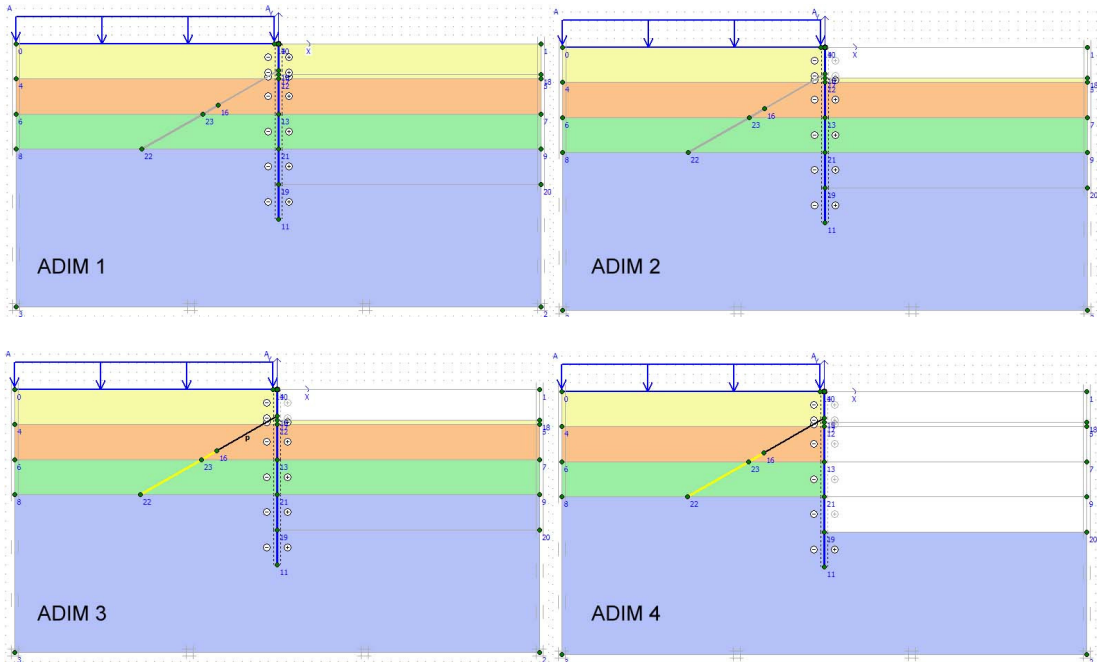
4.4.1.1 Tek sıra ankrajlı sistem

Analiz no 11 – 13 için uygulanan tipik kesit Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20 : Analiz no 11 – 13 tipik kesit

Seçilen iksa sistemleri 700 mm çapında teğet fore kazık; 700 mm çapında kesişen fore kazık ve 600 mm kalınlığında diyafram duvardır. İksa duvar boyları 20 metre olarak belirlenmiştir. PLAXIS hesap adımları Şekil 4.21’de görülebilir.



Şekil 4.21 : Analiz no 11 – 13 hesap adımları

Analiz no : 11 – Teğet fore kazık

Sistem 700 mm çapında 750 mm merkezden merkeze aralıklı 20 metre boyunda teğet fore kazık olarak öngörülmüştür. İksa duvarı tek sıra 1,50 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü 250 kN/m (250 x 1,50 = 375 kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment : 290,47 kNm/m

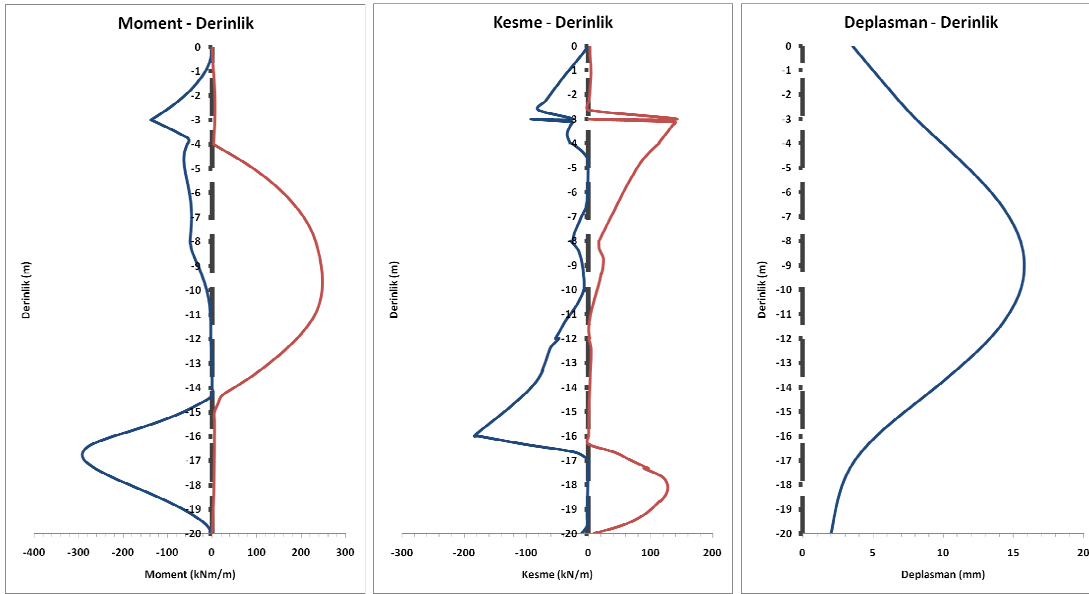
Maksimum kesme kuvveti : 183,47 kN/m

Maksimum deplasman : 15,79 mm

Maksimum ankraj yükü : 268,40 kN/m (268,4 x 1,5 = 403 kN)

Göçmeye karşı güvenlik katsayısı : 1,72

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılım Şekil 4.22’de görülebilir.



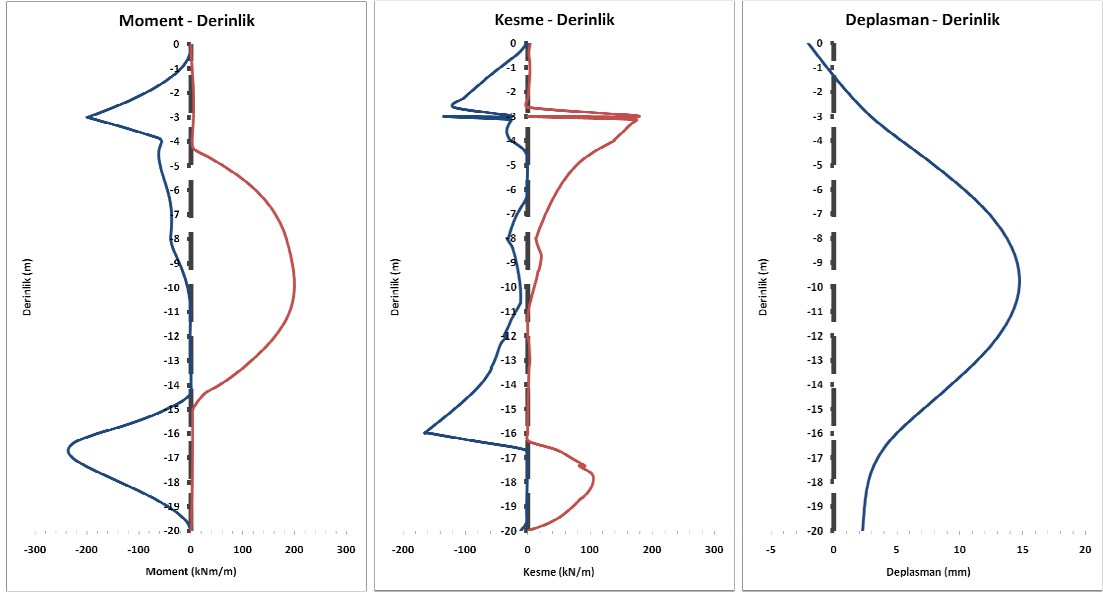
Şekil 4.22 : Analiz no 11 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

Analiz no : 12 – Kesişen fore kazık

Sistem 700 mm çapında 1100 mm merkezden merkeze (donatılı kazıklar) aralıklı 20 metre boyunda kesişen fore kazık olarak öngörülmüştür. İksa duvarı tek sıra 1,10 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü 350 kN/m (350 x 1,10 = 385 kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment : 236,73 kNm/m
 Maksimum kesme kuvveti : 179,48 kN/m
 Maksimum deplasman : 14,76 mm
 Maksimum ankraj yükü : 362,50 kN/m (362,5 x 1,1 = 399 kN)
 Göçmeye karşı güvenlik katsayısı : 1,73

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.23’de görülebilir.



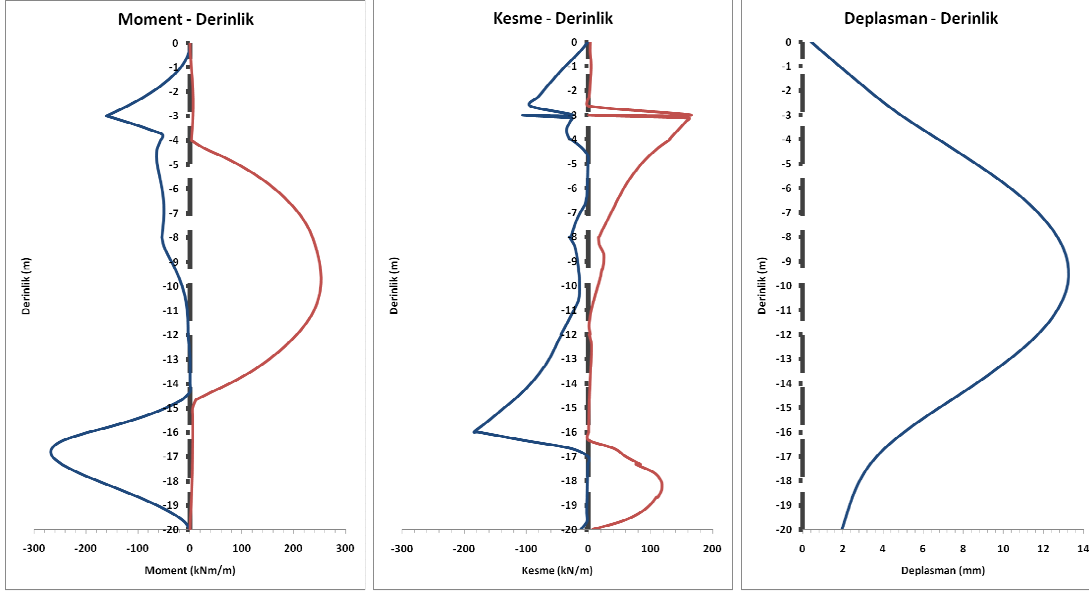
Şekil 4.23 : Analiz no 12 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

Analiz no : 13 – Diyafram duvar

Sistem 600 mm kalınlığında 20 metre boyunda diyafram duvar olarak öngörülmüştür. İksa duvarı tek sıra 1,20 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü 300 kN/m (300 x 1,20 = 360 kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment : 236,73 kNm/m
 Maksimum kesme kuvveti : 179,48 kN/m
 Maksimum deplasman : 14,76 mm
 Maksimum ankraj yükü : 314,40 kN/m (314,4 x 1,2 = 377 kN)
 Göçmeye karşı güvenlik katsayısı : 1,71

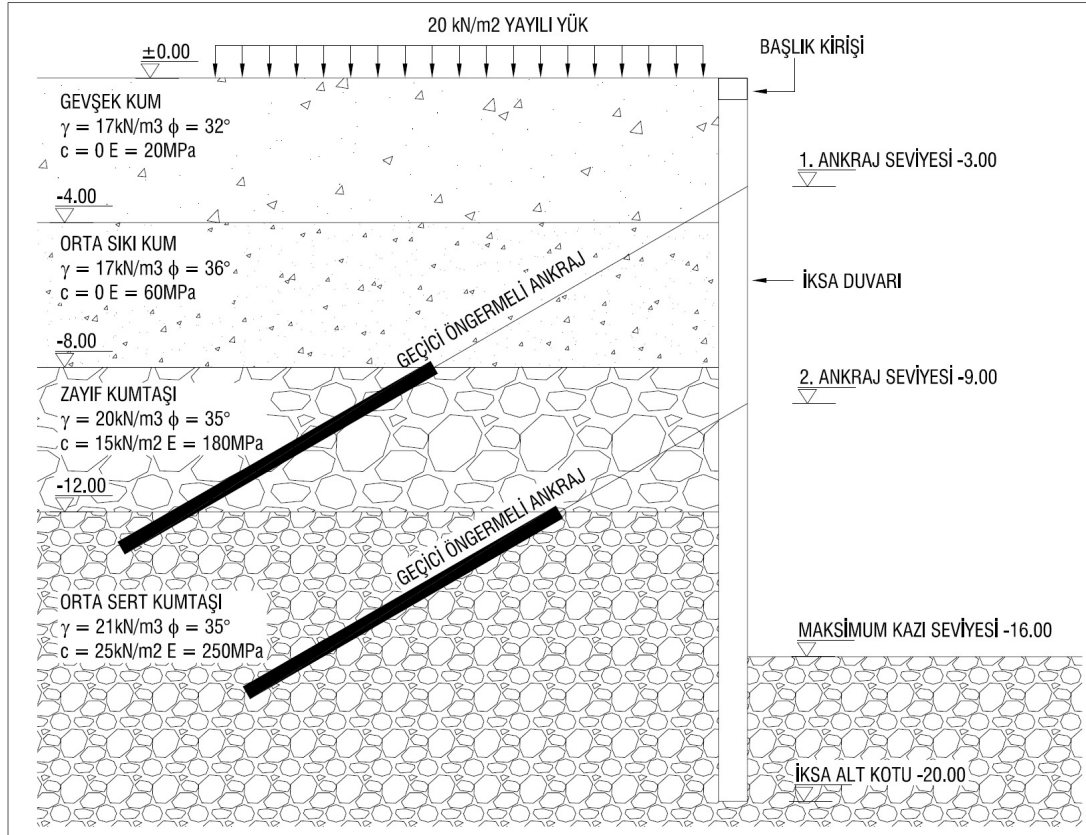
Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.24’de görülebilir.



Şekil 4.24 : Analiz no 13 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

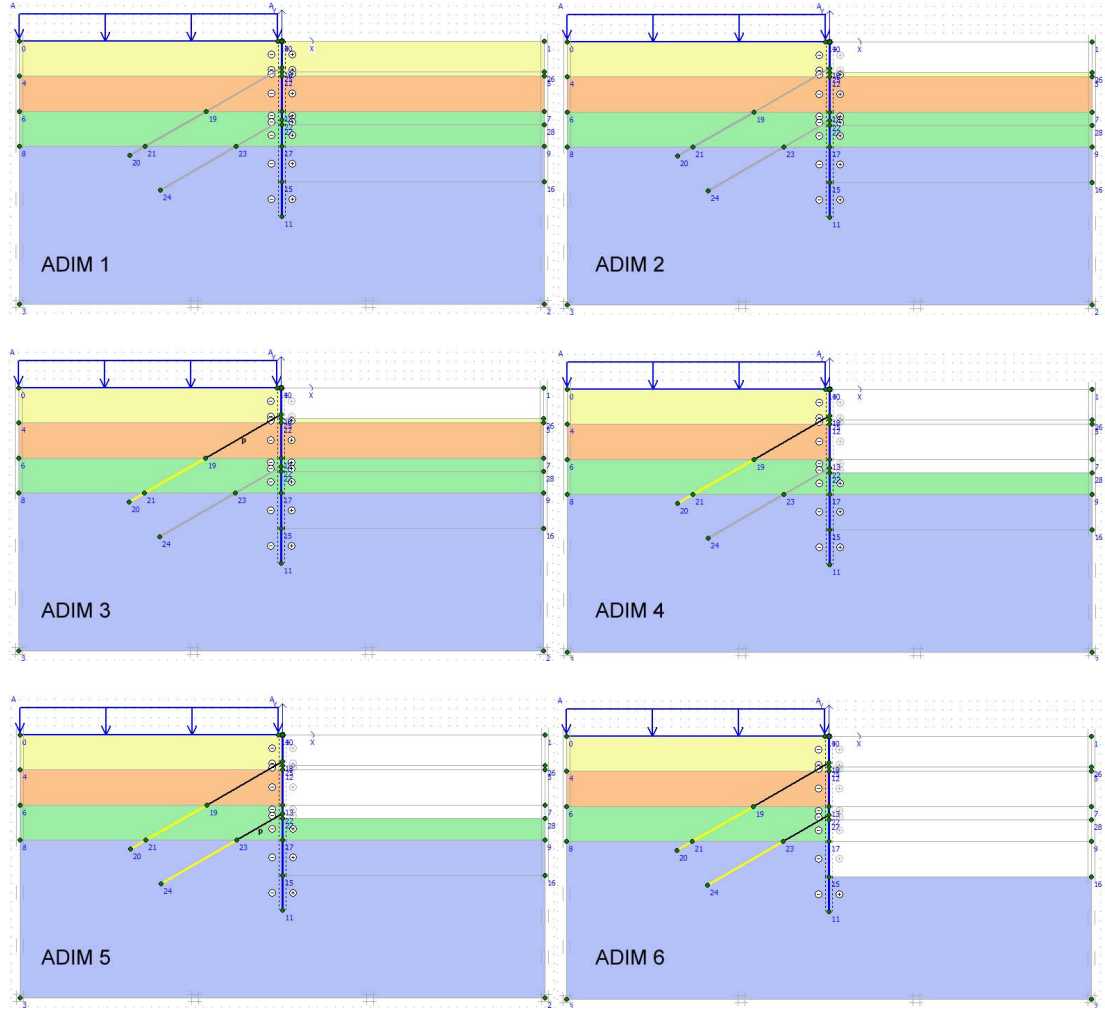
4.4.1.2 İki sıra ankrajlı sistem

Analiz no 14 – 16 için uygulanan tipik kesit Şekil 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.25 : Analiz no 14 – 16 tipik kesit

Seçilen İksa sistemleri 600 mm çapında teğet fore kazık; 600 mm çapında kesişen fore kazık ve 600 mm kalınlığında diyafram duvardır. İksa duvar boyları 20 metre olarak belirlenmiştir ve iki sıra ankraj ile desteklenmiştir. PLAXIS hesap adımları Şekil 4.26’da görülebilir.



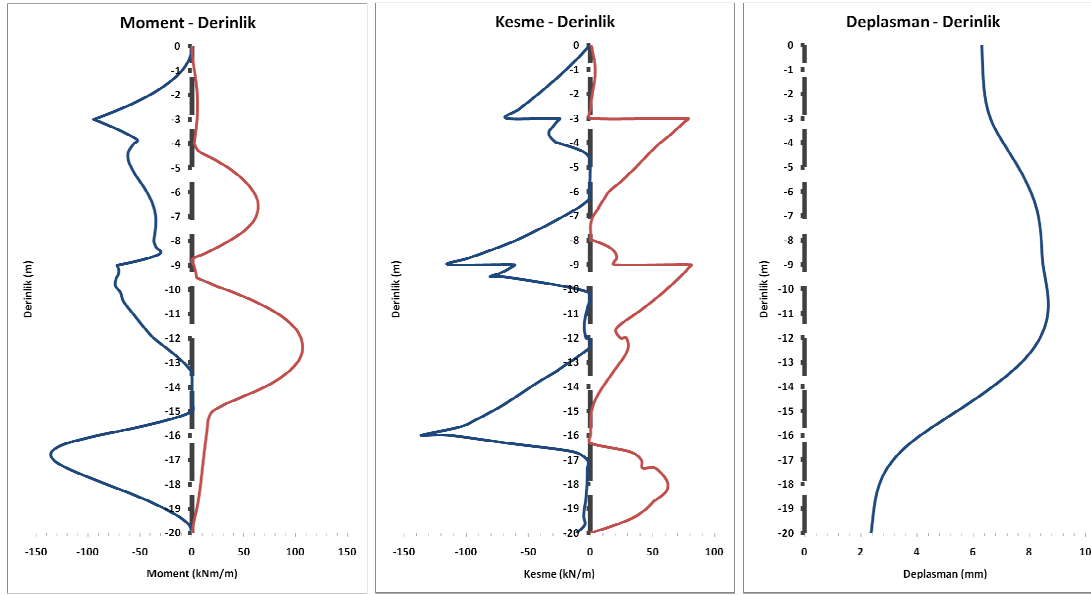
Şekil 4.26 : Analiz no 14 – 16 hesap adımları

Analiz no : 14 – Teğet fore kazık

Sistem 600 mm çapında 650 mm merkezden merkeze aralıklı 20 metre boyunda teğet fore kazık olarak öngörülmüştür. İksa duvarı iki sıra 2,60 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü her iki kademe için 150 kN/m ($150 \times 2,60 = 390$ kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment : 135,32 kNm/m
 Maksimum kesme kuvveti : 136,35 kN/m
 Maksimum deplasman : 8,66 mm
 Maksimum ankraj yükü kademe 1 : 156,30 kN/m ($156,3 \times 2,6 = 406$ kN)
 Maksimum ankraj yükü kademe 2 : 161,80 kN/m ($161,8 \times 2,6 = 421$ kN)
 Göçmeye karşı güvenlik katsayısı : 1,76

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.27’de görülebilir.



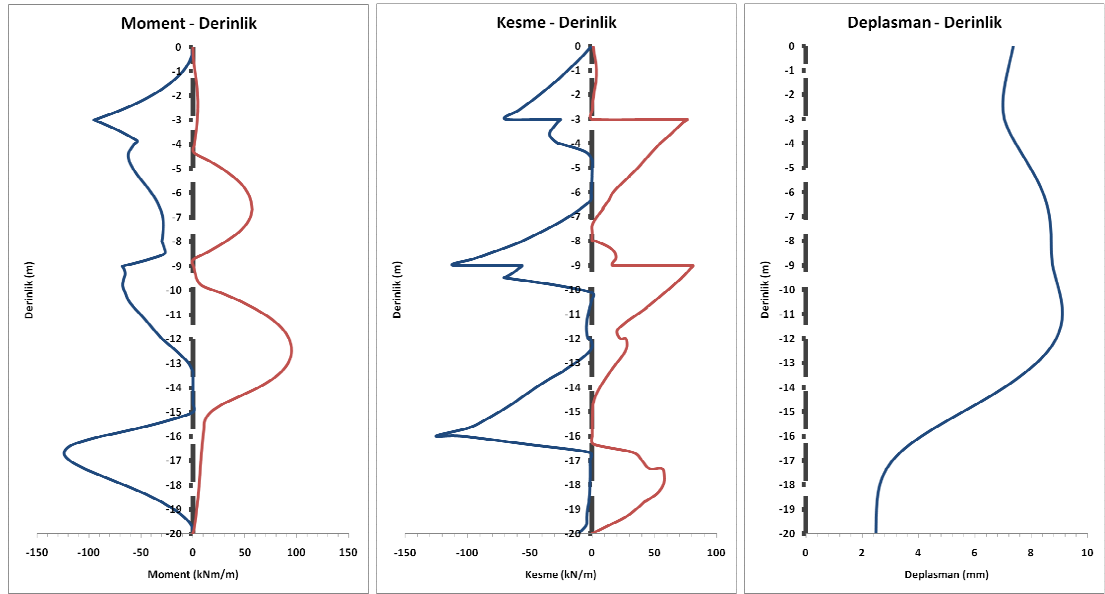
Şekil 4.27 : Analiz no 14 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

Analiz no : 15 – Kesişen fore kazık

Sistem 600 mm çapında 900 mm merkezden merkeze (donatılı kazıklar) aralıklı 20 metre boyunca kesişen fore kazık olarak öngörülmüştür. İksa duvarı iki sıra 2,70 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü her iki kademe için 150 kN/m ($150 \times 2,70 = 405$ kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment : 124,14 kNm/m
 Maksimum kesme kuvveti : 125,23 kN/m
 Maksimum deplasman : 9,10 mm
 Maksimum ankraj yükü kademe 1 : 156,60 kN/m ($156,6 \times 2,7 = 423$ N)
 Maksimum ankraj yükü kademe 2 : 162,60 kN/m ($162,6 \times 2,7 = 439$ kN)
 Göçmeye karşı güvenlik katsayısı : 1,77

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.28’de görülebilir.



Şekil 4.28 : Analiz no 15 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

Analiz no : 16 – Diyafram duvar

Sistem 600 mm kalınlığında 20 metre boyunda diyafram duvar olarak öngörülmüştür. İksa duvarı iki sıra 2,40 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü her iki kademe için 150 kN/m (150 x 2,40 = 360 kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment : 158,90 kNm/m

Maksimum kesme kuvveti : 156,52 kN/m

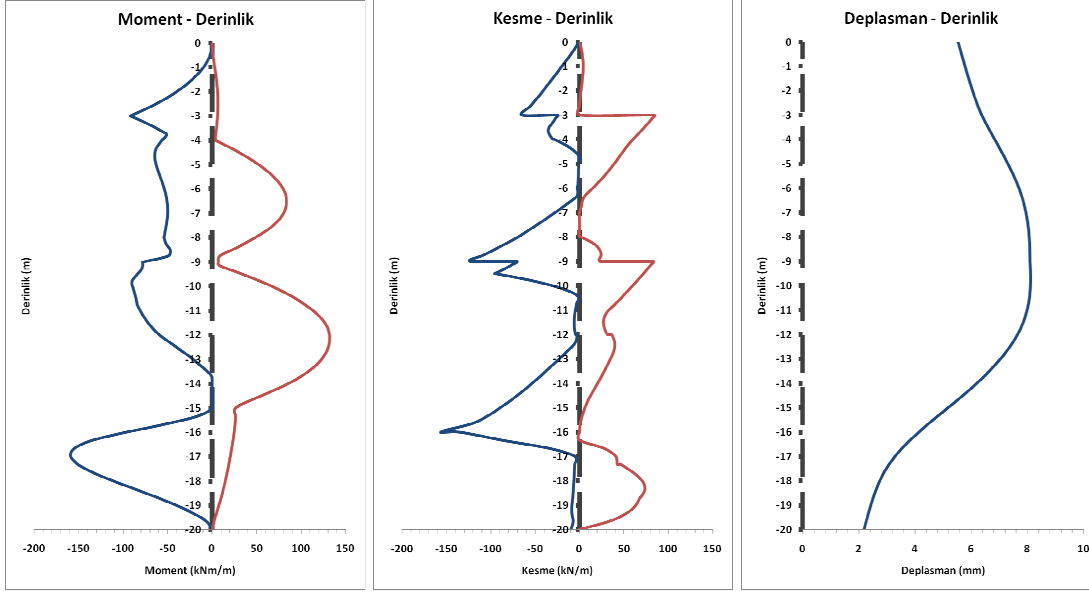
Maksimum deplasman : 8,11 mm

Maksimum ankraj yükü kademe 1 : 156,30 kN/m (156,3 x 2,4 = 375N)

Maksimum ankraj yükü kademe 2 : 160,40 kN/m (160,4 x 2,4 = 385 kN)

Göçmeye karşı güvenlik katsayısı : 1,80

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.29’da görülebilir.

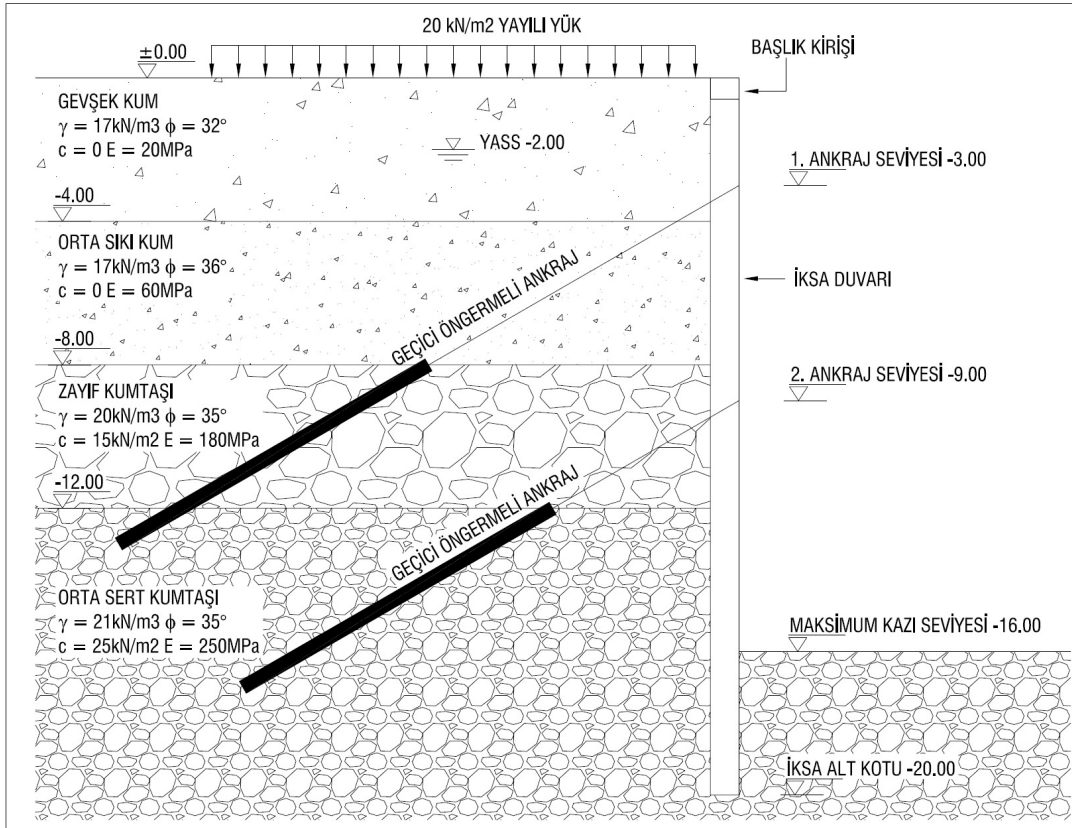


Şekil 4.29 : Analiz no 16 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

4.4.2 Yer altı suyu mevcut durumu

4.4.2.1 İki sıra ankrajlı sistem

Analiz no 17 – 18 için uygulanan tipik kesit Şekil 4.30’da verilmiştir.

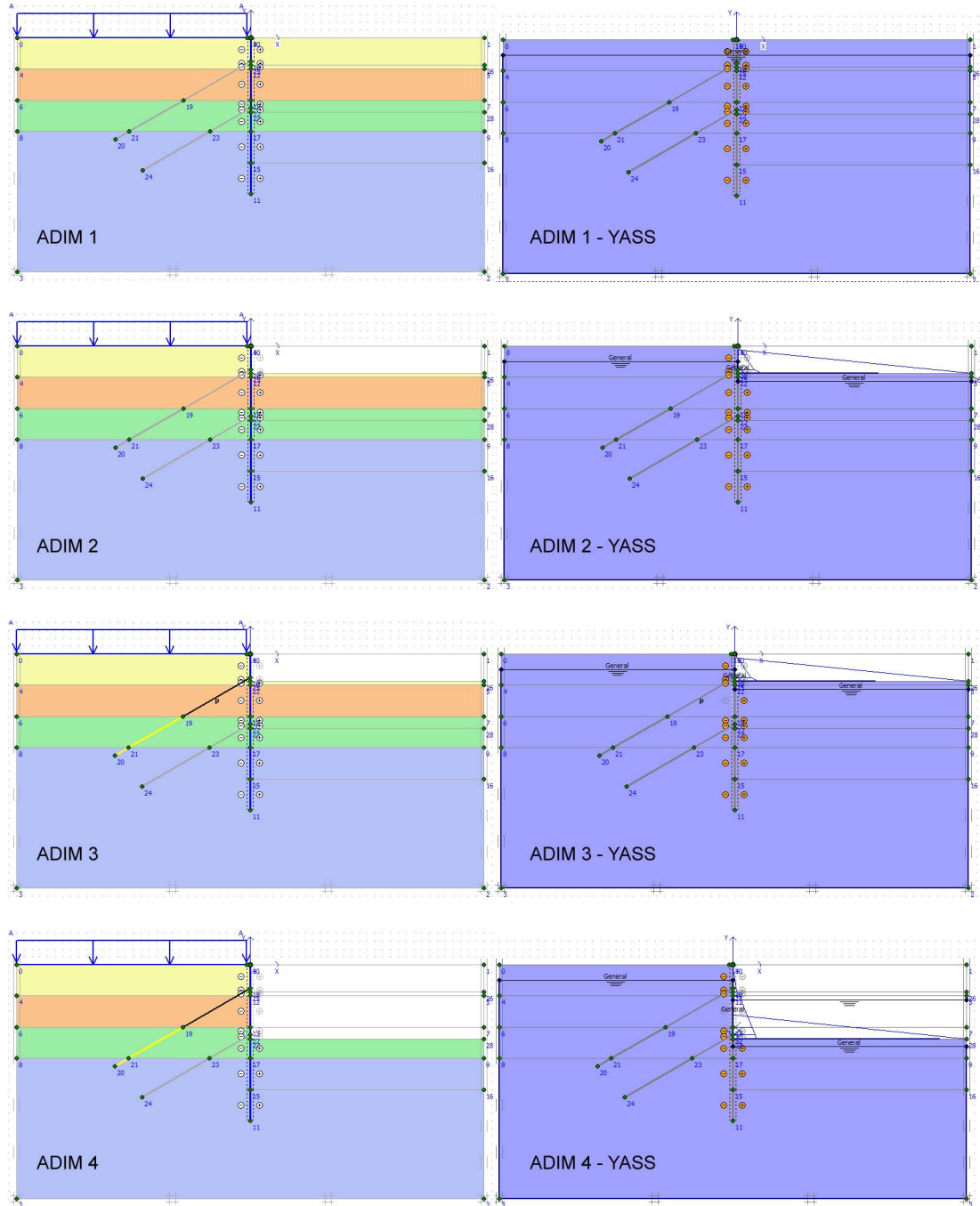


Şekil 4.30 : Analiz no 17 – 18 tipik kesit

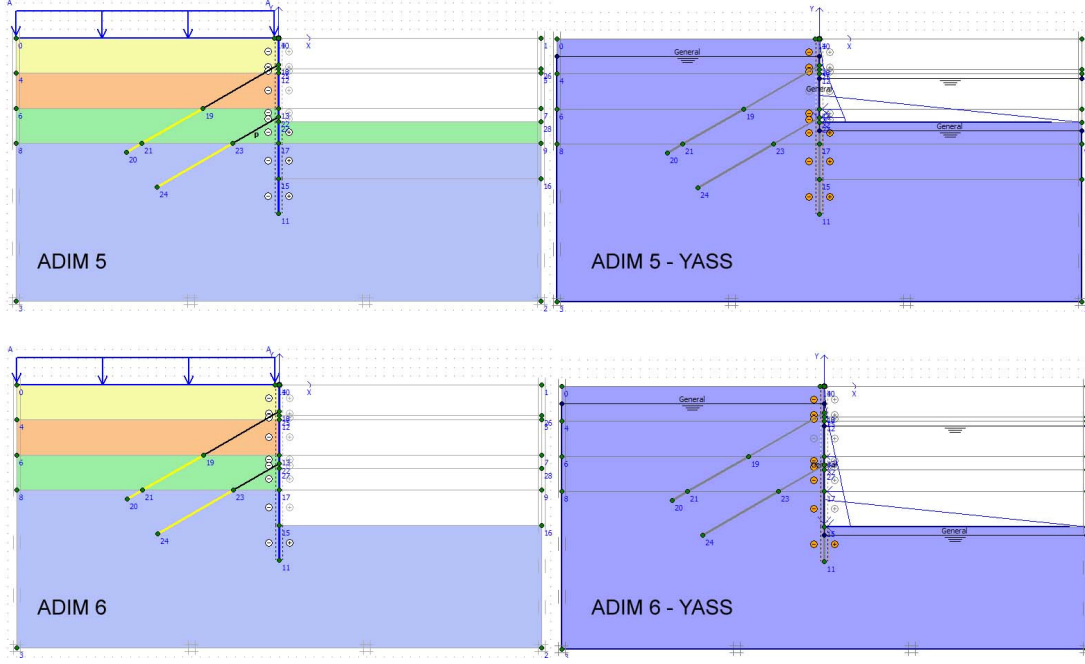
Seçilen iksa sistemleri 1100 mm çapında kesişen fore kazık ve 800 mm kalınlığında diyafram duvardır. İksa duvar boyları 20 metre olarak belirlenmiştir.

Yer altı suyunun sistem üzerindeki olumsuz etkisi bu analiz dizisinde de açıkça görülmektedir. Kuru ortamda aynı kazı derinliğinde tek sıra ankraj desteği yeterli olurken yer altı suyu mevcut durumda en az iki kademe ankraja ihtiyaç duyulmuştur. Aksi takdirde ankrajlar izin verilen çalışma yüklerinin üstüne çıkmaktadır.

PLAXIS hesap adımları Şekil 4.31’de görülebilir.



Şekil 4.31 : Analiz no 17 – 18 hesap adımları



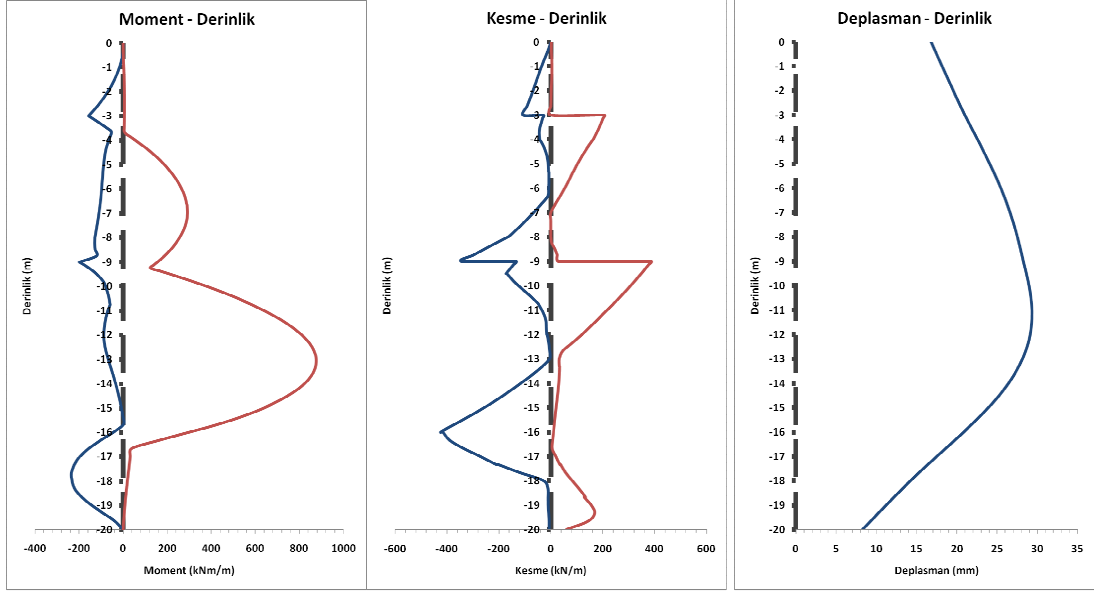
Şekil 4.31 (devam) : Analiz no 17 – 18 hesap adımları

Analiz no : 17 – Kesişen fore kazık

Sistem 1100 mm çapında 1800 mm merkezden merkeze aralıklı 20 metre boyunda kesişen fore kazık olarak öngörülmüştür. İksa duvarı iki sıra 1,80 ve 0,90 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü ilk kademe için 330 kN/m ($330 \times 1,80 = 594$ kN ankraj başına yük), ikinci kademe için 630 kN/m ($630 \times 0,90 = 567$ kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment	: 874,84 kNm/m
Maksimum kesme kuvveti	: 425,64 kN/m
Maksimum deplasman	: 29,33 mm
Maksimum ankraj yükü kademe 1	: 343,80 kN/m ($343,8 \times 1,8 = 619$ kN)
Maksimum ankraj yükü kademe 2	: 674,40 kN/m ($674,4 \times 0,9 = 607$ kN)
Göçmeye karşı güvenlik katsayısı	: 1,37

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.32’de görülebilir.



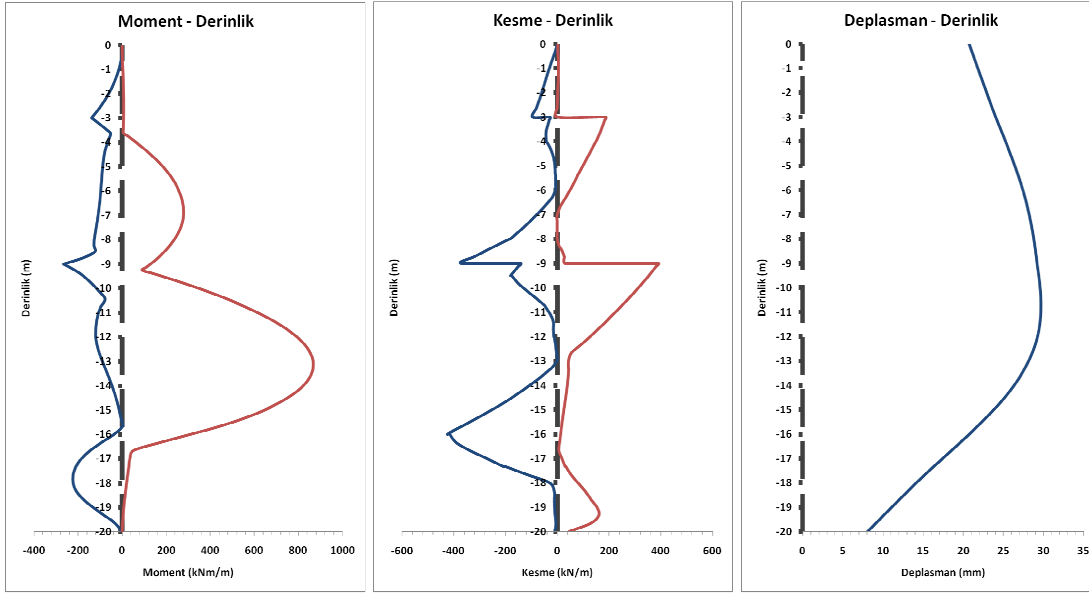
Şekil 4.32 : Analiz no 17 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

Analiz no : 18 – Diyafram duvar

Sistem 800 mm kalınlığında 20 metre boyunda diyafram duvar olarak öngörülmüştür İksa duvarı iki sıra 2,40 ve 1,00 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü ilk kademe için 285 kN/m ($285 \times 2,40 = 684$ kN ankraj başına yük), ikinci kademe için 690 kN/m ($690 \times 1,00 = 690$ kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment	: 867,05 kNm/m
Maksimum kesme kuvveti	: 424,05 kN/m
Maksimum deplasman	: 29,68 mm
Maksimum ankraj yükü kademe 1	: 301,50 kN/m ($301,5 \times 2,4 = 724$ kN)
Maksimum ankraj yükü kademe 2	: 720,00 kN/m ($720,0 \times 1,0 = 720$ kN)
Göçmeye karşı güvenlik katsayısı	: 1,37

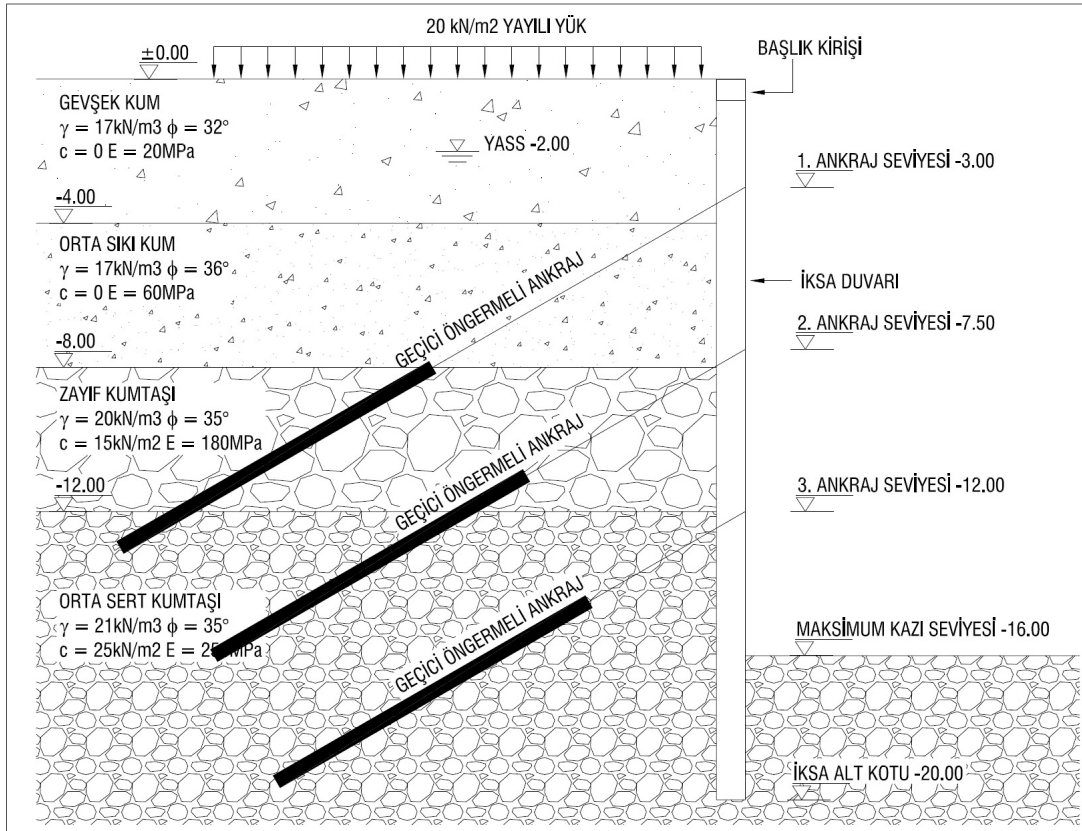
Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.33’de görülebilir.



Şekil 4.33 : Analiz no 18 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

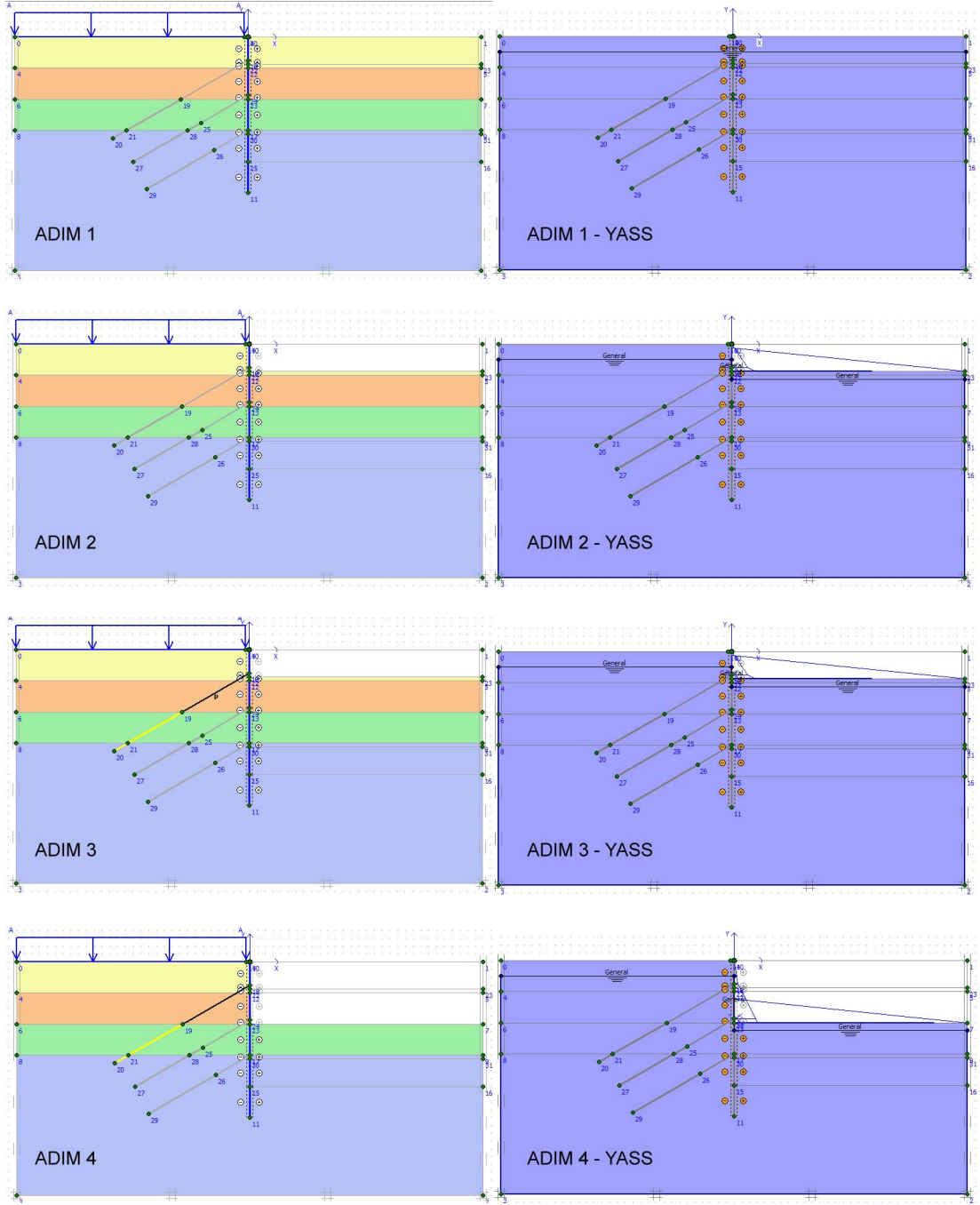
4.4.2.2 Üç sıra ankrajlı sistem

Analiz no 19 – 20 için uygulanan tipik kesit Şekil 4.34’de verilmiştir.

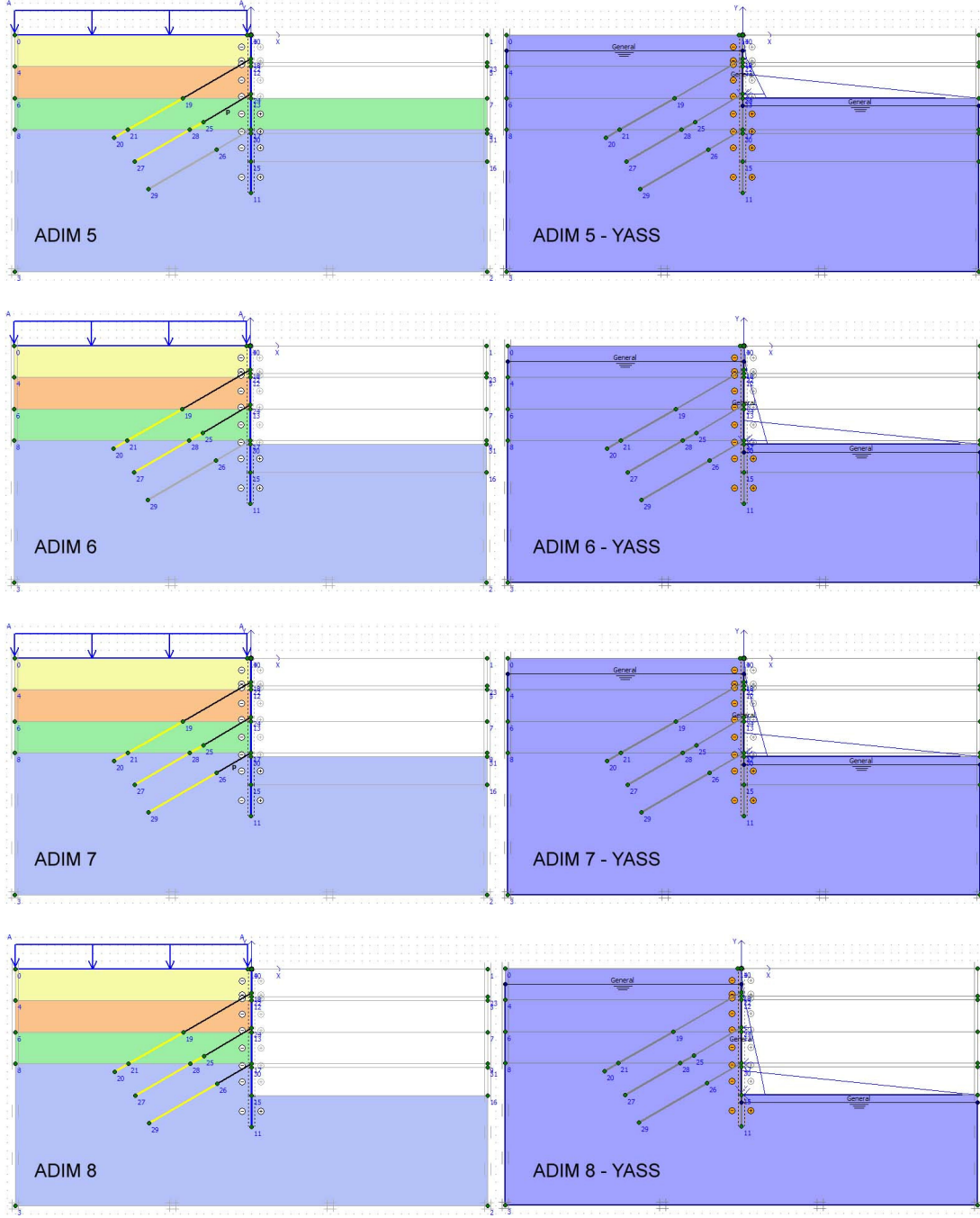


Şekil 4.34 : Analiz no 19 – 20 tipik kesit

Seçilen iksa sistemleri 800 mm çapında keşişen fore kazık ve 600 mm kalınlığında diyafram duvardır. İksa duvar boyları 20 metre olarak belirlenmiştir ve üç sıra ankraj ile desteklenmiştir. PLAXIS hesap adımları Şekil 4.35’de görülebilir.



Şekil 4.35 : Analiz no 19 – 20 hesap adımları



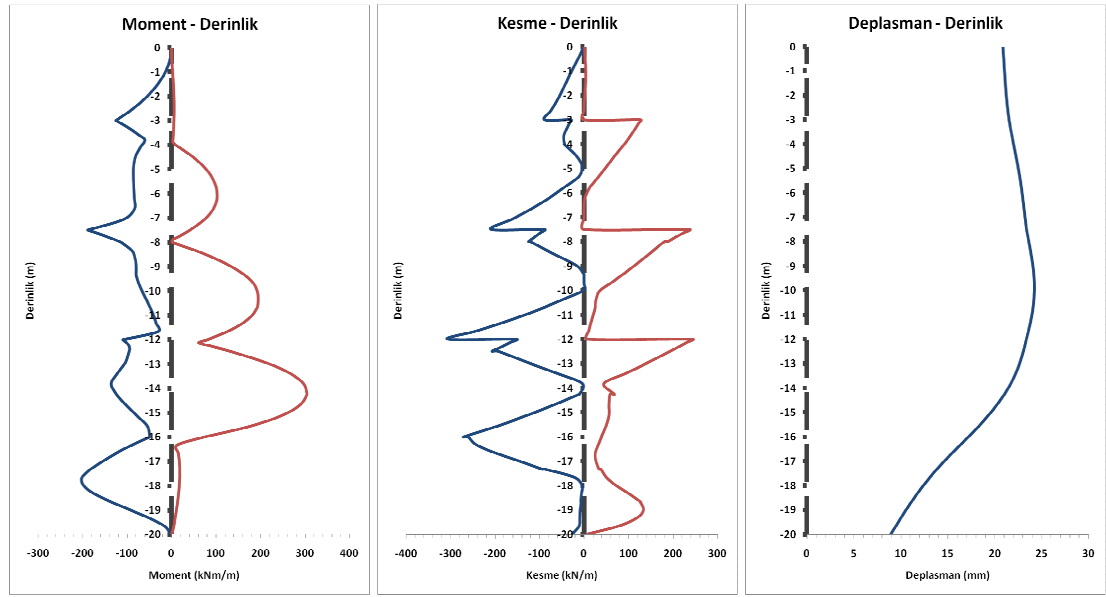
Şekil 4.35 (devam) : Analiz no 19 – 20 hesap adımları

Analiz no : 19 – Kesişen fore kazık

Sistem 800 mm çapında 1200 mm merkezden merkeze aralıklı 20 metre boyunda kesişen fore kazık olarak öngörülmüştür. İksa duvarı üç sıra 2,40, 1,20 ve 1,20 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü ilk kademe için 220 kN/m ($220 \times 2,40 = 528$ kN ankraj başına yük); ikinci ve üçüncü kademe için 450 kN/m ($450 \times 1,20 = 540$ kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment	: 304,18 kNm/m
Maksimum kesme kuvveti	: 306,09 kN/m
Maksimum deplasman	: 24,22 mm
Maksimum ankraj yükü kademe 1	: 229,90 kN/m (229,9 x 2,4 = 552 kN)
Maksimum ankraj yükü kademe 2	: 468,70 kN/m (468,7 x 1,2 = 562 kN)
Maksimum ankraj yükü kademe 3	: 485,60 kN/m (485,6 x 1,2 = 583 kN)
Göçmeye karşı güvenlik katsayısı:	1,49

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.36’da görülebilir.



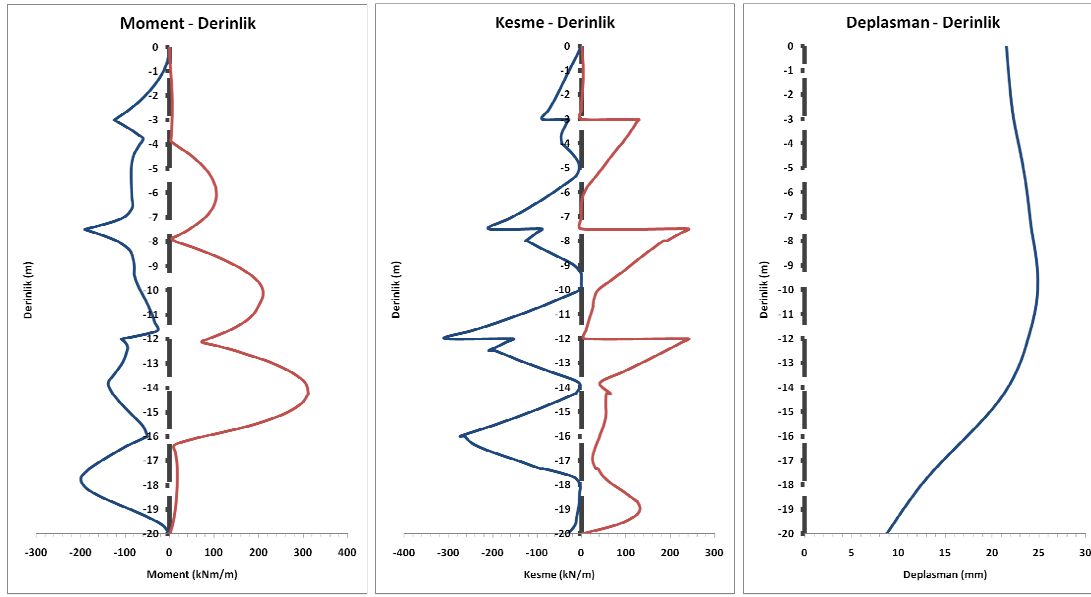
Şekil 4.36 : Analiz no 19 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

Analiz no : 20 – Diyafram duvar

Sistem 600 mm kalınlığında 20 metre boyunda diyafram duvar olarak öngörülmüştür. İksa duvarı üç sıra 2,40, 1,20 ve 1,20 m arayla yerleştirilen ankrajlar ile desteklenmiştir ve ankraj öngerme yükü ilk kademe için 220 kN/m (220 x 2,40 = 528 kN ankraj başına yük); ikinci ve üçüncü kademe için 450 kN/m (450 x 1,20 = 540 kN ankraj başına yük) olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Maksimum moment	: 311,47 kNm/m
Maksimum kesme kuvveti	: 308,14 kN/m
Maksimum deplasman	: 24,87 mm
Maksimum ankraj yükü kademe 1	: 230,70 kN/m (230,7 x 2,4 = 554 kN)
Maksimum ankraj yükü kademe 2	: 469,10 kN/m (469,1 x 1,2 = 563 kN)
Maksimum ankraj yükü kademe 3	: 484,10 kN/m (484,1 x 1,2 = 581 kN)

Kuvvetlerin ve deplasmanların dağılımı Şekil 4.37’de görülebilir.



Şekil 4.37 : Analiz no 20 moment / kesme / deplasman değerleri derinlikle değişim grafikleri

4.5 Maliyet Analiz ve Karşılaştırması

Bu bölümde geoteknik analizleri yapılan tüm iksa sistemlerinin maliyet analizleri ve çapraz karşılaştırmaları incelenmiştir.

Analizler orta büyüklükte bir çalışma sahasının toplam maliyetini yansıtmak amacı ile çevresi 100 metre olan bir uygulama için hesaplanmıştır. Toplam maliyetten birim metre fiyatına dönülmüş ve böylece lineer metre birim fiyatlar karşılaştırılmıştır.

Hesaplamalarda sadece iksa sistemine yönelik iş kalemleri ve bunların toplamı göz önünde bulundurulmuştur. Bir başka deyişle ekipman – makine mobilizasyonu, saha kurulumu ve sözleşme bedelleri gibi ön maliyetler kapsam dışında bırakılmıştır. Bununla birlikte iksa imalatı dışında kazı ve susuzlaştırma işlerinin maliyetleri de aynı kazı derinlikleri ve zemin şartları için sabit kabul edilmiş ve iş kalemlerine yansıtılmamıştır. İş başlangıç ve süresince herhangi yer altı ve yerüstü engel ile karşılaşmadığı varsayılmış ve ilgili ek maliyetler ihmal edilmiştir.

Böylelikle salt iksa iş kalemlerinden doğan maliyetlerin farklı kazı derinlikleri, yer altı suyu şartları ve farklı iksa sistemleri açısından karşılaştırması yapılmıştır.

4.5.1 Birim fiyat tarifleri

Malzeme ve işçilik birim fiyatları belirlenirken bu tez çalışması süresince takip edilen Birleşik Arap Emirlikleri'nde geçerli temel mühendisliği işçilik ve inşaat malzemeleri 2010 ikinci çeyrek fiyatları baz alınmış ve bu birim fiyatlarının %10 kar oranı içerdiği varsayılmıştır. Böylece sadece iksa sistemleri sadece birim maliyet cinsinden karşılaştırılmakla kalınmamış, tariflenen sistemlerin gerçekçi ve güncel imalat maliyetleri de ortaya çıkarılmıştır.

Birim fiyatlar uluslar arası geçerlilik bakımından Amerikan Doları (USD) kuru üzerinden hesaplanmıştır. Maliyet analizlerinde kullanılan birim fiyatlar ve tarifleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Birim fiyat ve tarifleri

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)
Donatılı Kazık İmalatı		
Kapsam: Delgi, donatı kafesinin kuyuya yerleştirilmesi ve betonlama işçiliği, varsa bentonit çamuru malzeme ve sirkülasyon ve/veya geçici muhafaza borusu yerleştirilmesi		
Çap 600mm	m	33,0
Çap 700mm	m	38,5
Çap 800mm	m	44,0
Çap 900mm	m	49,5
Çap 1100mm	m	60,5
Çap 1700mm	m	93,5
Donatısız Kazık İmalatı (Kesişen Kazıklarda)		
Kapsam: Delgi, betonlama işçiliği, varsa bentonit çamuru malzeme ve sirkülasyon ve/veya geçici muhafaza borusu yerleştirilmesi		
Çap 600mm	m	26,4
Çap 700mm	m	30,8
Çap 800mm	m	35,2
Çap 900mm	m	39,6
Çap 1100mm	m	48,4

Çizelge 4.3 (devam) : Birim fiyat ve tarifleri

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)
Çap 1700mm	m	74,8
Diyafram Duvar İmalatı		
Kapsam: Delgi, donatı kafesinin kuyuya yerleştirilmesi ve betonlama işçiliği, bentonit çamuru malzeme ve sirkülasyon		
Kalınlık 600mm	m ²	81,0
Kalınlık 800mm	m ²	108,0
Kalınlık 1200mm	m ²	162,0
Geçici Öngermeli Ankraj İmalatı		
Kapsam: 130mm delgi, çimento enjeksiyonu, ankraj halatlarının hazırlanması ve yerleştirilmesi, PÇ 42,5 çimento ve 3'lü, 4'lü veya 5'li 0,5" halat malzemeleri dahil, kafa plakalarının imalatı, proje yüklerine germe işçiliği		
	m	50,0
Demir Kafes İşçiliği		
Kapsam: Tam boy demirlerin kesilmesi, bağ telleri ile bağlanması, spirallerin ve konstruktif parçaların imalatı, varsa kaynak işleri, paspayları dahil dairesel veya dikdörtgen donatı kafeslerinin imalatı		
	ton	130,0
Başlık Kirişi İmalatı		
Kapsam: Kazık / Diyafram duvar başlık kırımı, çift taraftı kalıp işçiliği, demir donatı yerleştirilmesi ve betonlama işçiliği, STIII tipi çelik donatı ve C40 beton malzemeleri dahil		
	m ³	285,0
Kuşak Kirişi İmalatı		
Kapsam: Çift U profil kiriş hazırlanması ve yerleştirilmesi, kaynak işleri, 270 MPa çelik profil malzeme dahil		
	ton	870,0
Püskürtme Beton (Shotcrete)		
Kapsam: Kazık aralarındaki boşluğu dolduracak ortalama 10cm kalınlığında C30 tip püskürtme beton malzeme dahil imalatı		
	m ²	25,0

Çizelge 4.3 (devam) : Birim fiyat ve tarifleri

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)
Hazır Beton		
Kapsam: Belirtilen dayanımda, çökme (slump) 175 ± 25mm, maksimum agrega tane çapı 20mm, maksimum 32° C ısı kontrol, mobil pompa kiralama dahil		
C40	m ³	75,0
C20	m ³	65,0
Çelik Donatı		
Kapsam: STIII tipi nervürlü çelik donatı	ton	700,0

4.5.2 Maliyet Analizleri

Önceki bölümlerde tariflenen ve çözümleri yapılan örnek uygulama analizlerine ait maliyet tabloları bu bölümde sunulmuştur.

8 metre kazı derinliği, kuru zemin, konsol sistem, teğet fore kazık çözümü:

Çizelge 4.4 : Analiz No 1 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık imalatı (800mm)	m	44	1.770	77.880
Beton (C40)	m ³	75	978	73.350
Demir	ton	700	79	55.300
Demir işçiliği	ton	130	79	10.270
Başlık kirişi	m	137	100	13.700
Püskürtme beton	m ²	25	800	20.000
			TOPLAM (100m)	250.500
			TOPLAM (m)	2.505

Sadece kazık imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %36 ve %64'dür.

8 metre kazı derinliği, kuru zemin, konsol sistem, kesişen fore kazık çözümü:

Çizelge 4.5 : Analiz No 2 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık imalatı Donatılı (900mm)	m	49,5	1.080	53.460
Kazık imalatı Donatısız (900mm)	m	39,6	1.080	42.768
Beton (C40)	m ³	75	755	56.625
Beton (C20)	m ³	65	755	49.075
Demir	ton	700	64	44.800
Demir işçiliği	ton	130	64	8.320
Başlık kirişi	m	154	100	15.400
Püskürtme beton	m ²	25	800	20.000
		TOPLAM (100m)		290.448
		TOPLAM (m)		2.904

Sadece kazık imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %47 ve %53'dür.

8 metre kazı derinliği, kuru zemin, konsol sistem, diyafram çözümü:

Çizelge 4.6 : Analiz No 3 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Diyafram duvar imalatı (800mm)	m ²	108	1.500	162.000
Beton (C40)	m ³	75	1.320	99.000
Demir	ton	700	97	67.900
Demir işçiliği	ton	130	97	12.610
Başlık kirişi	m	137	100	13.700
		TOPLAM (100m)		355.210
		TOPLAM (m)		3.552

Sadece diyafram duvar imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %47 ve %53'dür.

8 metre kazı derinliği, kuru zemin, 1 sıra ankraj destekli sistem, teğet fore kazık çözümü:

Çizelge 4.7 : Analiz No 4 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık imalatı (600mm)	m	33	1.694	55.902
Beton (C40)	m ³	75	527	39.525
Demir	ton	700	38	26.600
Demir işçiliği	ton	130	38	4.940
Ankraj	m	50	546	27.300
Kuşak kirişi	ton	870	5	4.350
Başlık kirişi	m	103	100	10.300
Püskürtme beton	m ²	25	800	20.000
		TOPLAM (100m)		188.917
		TOPLAM (m)		1.889

Sadece kazık imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %44 ve %56'dır.

8 metre kazı derinliği, kuru zemin, 1 sıra ankraj destekli sistem, kesişen fore kazık çözümü:

Çizelge 4.8 : Analiz No 5 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık imalatı Donatılı (600mm)	m	33	1.232	40.656
Kazık imalatı Donatısız (600mm)	m	26,4	1.232	32.525
Beton (C40)	m ³	75	383	28.725
Beton (C20)	m ³	65	383	24.895
Demir	ton	700	28	19.600
Demir işçiliği	ton	130	28	3.640
Ankraj	m	50	532	26.600
Kuşak kirişi	ton	870	5	4.350
Başlık kirişi	m	103	100	10.300
Püskürtme beton	m ²	25	800	20.000
		TOPLAM (100m)		211.291
		TOPLAM (m)		2.113

Sadece kazık imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %49 ve %51'dir.

8 metre kazı derinliği, kuru zemin, 1 sıra ankraj destekli sistem, diyafram duvar çözümü:

Çizelge 4.9 : Analiz No 6 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Diyafram duvar imalatı (600mm)	m ²	81	1.100	89.100
Beton (C40)	m ³	75	726	54.450
Demir	ton	700	53	37.100
Demir işçiliği	ton	130	53	6.890
Ankraj	m	50	588	29.400
Başlık kirişi	m	103	100	10.300
TOPLAM (100m)				227.240
TOPLAM (m)				2.272

Sadece diyafram duvar imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %48 ve %52'dir. 8 metre kazı derinliği, yer altı suyu mevcut, konsol sistem, kesişen fore kazık çözümü:

Çizelge 4.10 : Analiz No 7 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık imalatı Donatılı (1700mm)	m	93,5	646	60.401
Kazık imalatı Donatısız (1700mm)	m	74,8	646	48.321
Beton (C40)	m ³	75	1.612	120.900
Beton (C20)	m ³	65	1.612	104.780
Demir	ton	700	83	58.100
Demir işçiliği	ton	130	83	10.790
Başlık kirişi	m	291	100	29.100
Püskürtme beton	m ²	25	800	20.000
TOPLAM (100m)				452.392
TOPLAM (m)				4.524

Sadece kazık imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %27 ve %73'dür.

8 metre kazı derinliği, yer altı suyu mevcut, konsol sistem, diyafram duvar çözümü:

Çizelge 4.11 : Analiz No 8 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Diyafram duvar imalatı (1200mm)	m ²	162	1.700	275.400
Beton (C40)	m ³	75	2.244	168.300
Demir	ton	700	134	93.800
Demir işçiliği	ton	130	134	17.420
Başlık kirişi	m	205	100	20.500
			TOPLAM (100m)	575.420
			TOPLAM (m)	5.754

Sadece diyafram duvar imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %50 ve %50'dir. 8 metre kazı derinliği, yer altı suyu mevcut, 1 sıra ankraj destekli sistem, kesişen fore kazık çözümü:

Çizelge 4.12 : Analiz No 9 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık imalatı Donatılı (600mm)	m	33	1.232	40.656
Kazık imalatı Donatısız (600mm)	m	26,4	1.232	32.525
Beton (C40)	m ³	75	383	28.725
Beton (C20)	m ³	65	383	24.895
Demir	ton	700	34	23.800
Demir işçiliği	ton	130	34	4.420
Ankraj	m	50	532	26.600
Kuşak kirişi	ton	870	5	4.350
Başlık kirişi	m	103	100	10.300
Püskürtme beton	m ²	25	800	20.000
			TOPLAM (100m)	216.271
			TOPLAM (m)	2.163

Sadece kazık imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %47 ve %53'dür.

8 metre kazı derinliği, yer altı suyu mevcut, 1 sıra ankraj destekli sistem, diyafram duvar çözümü:

Çizelge 4.13 : Analiz No 10 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Diyafram duvar imalatı (600mm)	m ²	81	1.100	89.100
Beton (C40)	m ³	75	726	54.450
Demir	ton	700	56	39.200
Demir işçiliği	ton	130	56	7.280
Ankraj	m	50	588	29.400
Başlık kirişi	m	103	100	10.300
			TOPLAM (100m)	229.730
			TOPLAM (m)	2.297

Sadece diyafram duvar imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %47 ve %53'dür. 16 metre kazı derinliği, kuru zemin, 1 sıra ankraj destekli sistem, teğet fore kazık çözümü:

Çizelge 4.14 : Analiz No 11 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık imalatı (700mm)	m	38,5	2.680	103.180
Beton (C40)	m ³	75	1.134	85.050
Demir	ton	700	82	57.400
Demir işçiliği	ton	130	82	10.660
Ankraj	m	50	1.340	67.000
Kuşak kirişi	ton	870	5	4.350
Başlık kirişi	m	120	100	12.000
Püskürtme beton	m ²	25	1.600	40.000
			TOPLAM (100m)	379.640
			TOPLAM (m)	3.796

Sadece kazık imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %40 ve %60'dır. 16 metre kazı derinliği, kuru zemin, 1 sıra ankraj destekli sistem, kesişen fore kazık çözümü:

Çizelge 4.15 : Analiz No 12 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık imalatı Donatılı (700mm)	m	38,5	1.820	70.070
Kazık imalatı Donatısız (700mm)	m	30,8	1.820	56.056
Beton (C40)	m ³	75	770	57.750
Beton (C20)	m ³	65	770	50.050
Demir	ton	700	67	46.900
Demir işçiliği	ton	130	67	8.710
Ankraj	m	50	1.820	91.000
Kuşak kirişi	ton	870	5	4.350
Başlık kirişi	m	120	100	12.000
Püskürtme beton	m ²	25	1.600	40.000
TOPLAM (100m)				436.886
TOPLAM (m)				4.369

Sadece kazık imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %44 ve %56'dır. 16 metre kazı derinliği, kuru zemin, 1 sıra ankraj destekli sistem, diyafram duvar çözümü:

Çizelge 4.16 : Analiz No 13 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Diyafram duvar imalatı (600mm)	m ²	81	2.000	162.000
Beton (C40)	m ³	75	1.320	99.000
Demir	ton	700	111	77.700
Demir işçiliği	ton	130	111	14.430
Ankraj	m	50	1.680	84.000
Başlık kirişi	m	103	100	10.300
TOPLAM (100m)				447.430
TOPLAM (m)				4.474

Sadece diyafram duvar imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %46 ve %54'dür.

16 metre kazı derinliği, kuru zemin, 2 sıra ankraj destekli sistem, teğet fore kazık çözümü:

Çizelge 4.17 : Analiz No 14 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık imalatı (600mm)	m	33	3.080	101.640
Beton (C40)	m ³	75	958	71.850
Demir	ton	700	70	49.000
Demir işçiliği	ton	130	70	9.100
Ankraj	m	50	1.404	70.200
Kuşak kirişi	ton	870	9	7.830
Başlık kirişi	m	103	100	10.300
Püskürtme beton	m ²	25	1.600	40.000
TOPLAM (100m)				359.920
TOPLAM (m)				3.599

Sadece kazık imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %44 ve %56'dır.

16 metre kazı derinliği, kuru zemin, 2 sıra ankraj destekli sistem, kesişen fore kazık çözümü:

Çizelge 4.18 : Analiz No 15 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık imalatı Donatılı (600mm)	m	33	2.240	73.920
Kazık imalatı Donatısız (600mm)	m	26,4	2.240	59.136
Beton (C40)	m ³	75	697	52.275
Beton (C20)	m ³	65	697	45.305
Demir	ton	700	51	35.700
Demir işçiliği	ton	130	51	6.630
Ankraj	m	50	1.368	68.400

Çizelge 4.18 (devam) : Analiz No 15 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kuşak kirişi	ton	870	9	7.830
Başlık kirişi	m	103	100	10.300
Püskürtme beton	m ²	25	1.600	40.000
			TOPLAM (100m)	399.496
			TOPLAM (m)	3.995

Sadece kazık imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %49 ve %51'dir.

16 metre kazı derinliği, kuru zemin, 2 sıra ankraj destekli sistem, diyafram duvar çözümü:

Çizelge 4.19 : Analiz No 16 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Diyafram duvar imalatı (600mm)	m ²	81	2.000	162.000
Beton (C40)	m ³	75	1.320	99.000
Demir	ton	700	94	65.800
Demir işçiliği	ton	130	94	12.220
Ankraj	m	50	1.512	75.600
Başlık kirişi	m	103	100	10.300
			TOPLAM (100m)	424.920
			TOPLAM (m)	4.249

Sadece diyafram duvar imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %48 ve %52'dir.

16 metre kazı derinliği, yer altı suyu mevcut, 2 sıra ankraj destekli sistem, kesişen fore kazık çözümü:

Çizelge 4.20 : Analiz No 17 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık imalatı Donatılı (1100mm)	m	60,5	1.120	67.760
Kazık imalatı Donatısız (1100mm)	m	48,4	1.120	54.208
Beton (C40)	m ³	75	1.170	87.750
Beton (C20)	m ³	65	1.170	76.050
Demir	ton	700	109	76.300
Demir işçiliği	ton	130	109	14.170
Ankraj	m	50	2.912	145.600
Kuşak kirişi	ton	870	9	7.830
Başlık kirişi	m	188	100	18.800
Püskürtme beton	m ²	25	1.600	40.000
		TOPLAM (100m)		588.468
		TOPLAM (m)		5.885

Sadece kazık imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %32 ve %68'dir.

16 metre kazı derinliği, yer altı suyu mevcut, 2 sıra ankraj destekli sistem, diyafram duvar çözümü:

Çizelge 4.21 : Analiz No 18 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Diyafram duvar imalatı (800mm)	m ²	108	2.000	216.000
Beton (C40)	m ³	75	1.760	132.000
Demir	ton	700	151	105.700
Demir işçiliği	ton	130	151	19.630
Ankraj	m	50	2.440	122.000
Başlık kirişi	m	137	100	13.700
		TOPLAM (100m)		609.030
		TOPLAM (m)		6.090

Sadece diyafram duvar imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %46 ve %54'dür.

16 metre kazı derinliği, yer altı suyu mevcut, 3 sıra ankraj destekli sistem, kesişen fore kazık çözümü:

Çizelge 4.22 : Analiz No 19 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık imalatı Donatılı (800mm)	m	44	1.680	73.920
Kazık imalatı Donatısız (800mm)	m	35,2	1.680	59.136
Beton (C40)	m ³	75	929	69.675
Beton (C20)	m ³	65	929	60.385
Demir	ton	700	64	44.800
Demir işçiliği	ton	130	64	8.320
Ankraj	m	50	3.528	176.400
Kuşak kirişi	ton	870	14	12.180
Başlık kirişi	m	137	100	13.700
Püskürtme beton	m ²	25	1.600	40.000
TOPLAM (100m)				558.516
TOPLAM (m)				5.585

Sadece kazık imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %42 ve %58'dir. 16 metre kazı derinliği, yer altı suyu mevcut, 3 sıra ankraj destekli sistem, diyafram duvar çözümü:

Çizelge 4.23 : Analiz No 20 maliyet tablosu

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Diyafram duvar imalatı (600mm)	m ²	81	2.000	162.000
Beton (C40)	m ³	75	1.320	99.000
Demir	ton	700	113	79.100
Demir işçiliği	ton	130	113	14.690
Ankraj	m	50	3.528	176.400
Başlık kirişi	m	103	100	10.300
TOPLAM (100m)				541.490
TOPLAM (m)				5.415

Sadece diyafram duvar imalatı toplam tutarına göre işçilik ve malzeme maliyet oranları sırası ile %46 ve %54'dür.

4.5.3 Karşılaştırma ve sonuçlar

Görüldüğü üzere elde edilen sonuçlar kazı derinliklerine, zemin şartlarına ve seçilen iksa sistemine göre farklılık göstermektedir. Sonuçları karşılaştırırken belli bir kazı derinliğinde veya zemin koşulları altında tek bir iksa sistemi en ekonomik çözümdür demek yanlış olur. Nitekim yukarıdaki maliyet analizlerine girmeyen değişkenler, özel şartlar, iş süresi ve bunun gibi dış etkenler daha geniş çaplı bir değerlendirmeyi gerektirecektir.

Ancak kesin yargılar olmamakla birlikte örnek uygulamalardan elde edilen maliyet analizleri ışığı altında bir takım sonuç ve genel yönlendirmelere ulaşılabilir. Bunların daha rahat görülebilmesi için karşılaştırmalar grafikler halinde verilmiştir. Tüm analizlerin özeti Çizelge 4.24'de görülebilir.

Çizelge 4.24 : Maliyet analizleri özet tablo

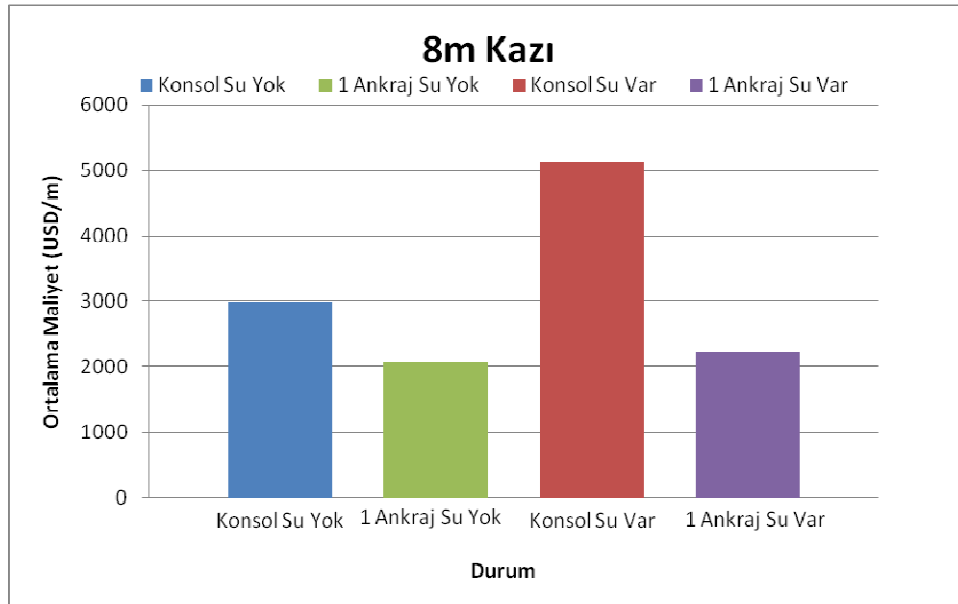
Analiz No	Kazı Derinliği (m)	Yer Altı Suyu	İksa Sistemi	Çap / Kalınlık (mm)	Boy (m)	Ankraj Kademe	Maliyet (USD/m)	Ortalama Maliyet (USD/m)
1	8	Yok	Teğet F.K.	800	15	0	2.505	
2	8	Yok	Kesişen F.K.	900	15	0	2.904	2.987
3	8	Yok	Diyafram D.	800	15	0	3.552	
4	8	Yok	Teğet F.K.	600	11	1	1.889	
5	8	Yok	Kesişen F.K.	600	11	1	2.113	2.091
6	8	Yok	Diyafram D.	600	11	1	2.272	
7	8	Var	Kesişen F.K.	1.700	17	0	4.524	5.139
8	8	Var	Diyafram D.	1.200	17	0	5.754	
9	8	Var	Kesişen F.K.	600	11	1	2.163	2.230
10	8	Var	Diyafram D.	600	11	1	2.297	
11	16	Yok	Teğet F.K.	700	20	1	3.796	
12	16	Yok	Kesişen F.K.	700	20	1	4.369	4.213
13	16	Yok	Diyafram D.	600	20	1	4.474	
14	16	Yok	Teğet F.K.	600	20	2	3.599	
15	16	Yok	Kesişen F.K.	600	20	2	3.995	3.948
16	16	Yok	Diyafram D.	600	20	2	4.249	

Çizelge 4.24 (devam) : Maliyet analizleri özet tablo

Analiz No	Kazı Derinliği (m)	Yer Altı Suyu	İksa Sistemi	Çap / Kalınlık (mm)	Boy (m)	Ankraj Kademe	Maliyet (USD/m)	Ortalama Maliyet (USD/m)
17	16	Var	Kesişen F.K.	1.100	20	2	5.885	5.988
18	16	Var	Diyafra D.	800	20	2	6.090	
19	16	Var	Kesişen F.K.	800	20	3	5.585	5.500
20	16	Var	Diyafra D.	600	20	3	5.415	

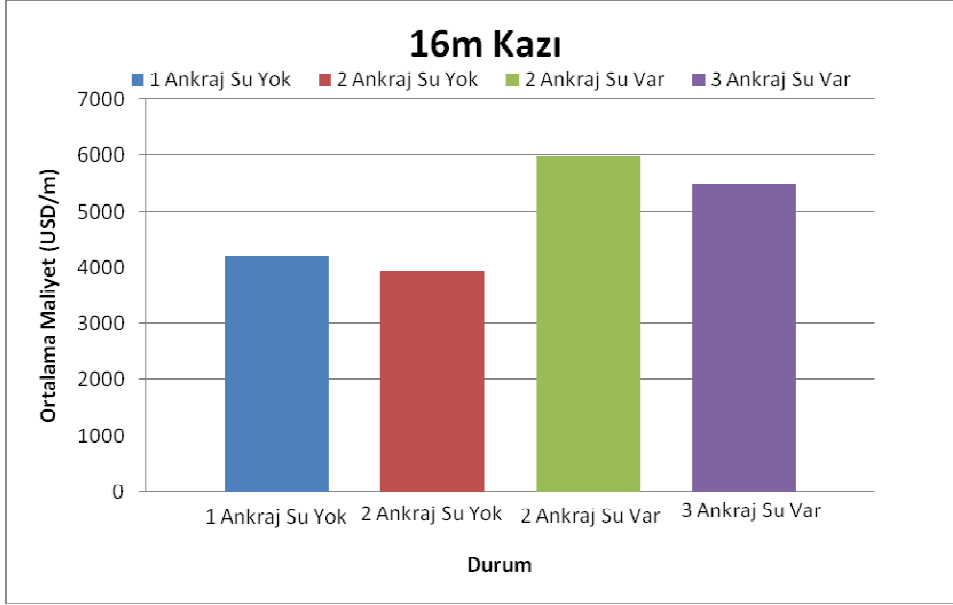
Analizlerde elde edilen en açık sonuçlardan birisi yer altı suyunun getirdiği negatif etki ve ek maliyetlerdir.

Şekil 4.38’de görüldüğü gibi 8 metrelik kazıda konsol durumunda kuru şartlarda ortalama maliyet 2.987 usd / m iken yer altı suyu mevcut durumda 5.139 usd / m’ye çıkmaktadır. Bu da %72’lik bir artışa denk gelmektedir. Ancak gene 8 metre kazıda 1 sıra ankraj destekli durumda kuru ve su mevcut koşullar arasında çok az fark oluşmaktadır. Ortalama 2.091 ve 2.230 usd / m gibi yakın değerlerin sebebi kazı derinliğinin az olduğu durumlarda ankraj destek yüklerinin su sebebiyle oluşan ek gerilmelerin çok üstünde olmasıdır. Konsol durumu ise artan gerilmeler altında kritik olmakta ve iksa duvarı kalınlığı eksponansiyel olarak artmaktadır. Bu da oldukça yüksek maliyet farkına yol açmaktadır.



Şekil 4.38 : 8 metre kazı tüm durumlar ortalama maliyet karşılaştırması

16 metrelik kazıda 2 sıra ankraj destekli durumda kuru ve yer altı suyu mevcut durumlarda ortalama maliyet sırasıyla 3.948 ve 5.988 usd / m olarak elde edilmiştir. Su mevcut durumda 3 sıra ankraj ile ortalama maliyet 5.500 usd / m seviyesine indirilmiş olsa da bu halen %39'luk bir artış anlamına gelmektedir. 16 metre kazı için ortalama maliyet değerleri Şekil 4.39'da verilmiştir.



Şekil 4.39 : 16 metre kazı tüm durumlar ortalama maliyet karşılaştırması

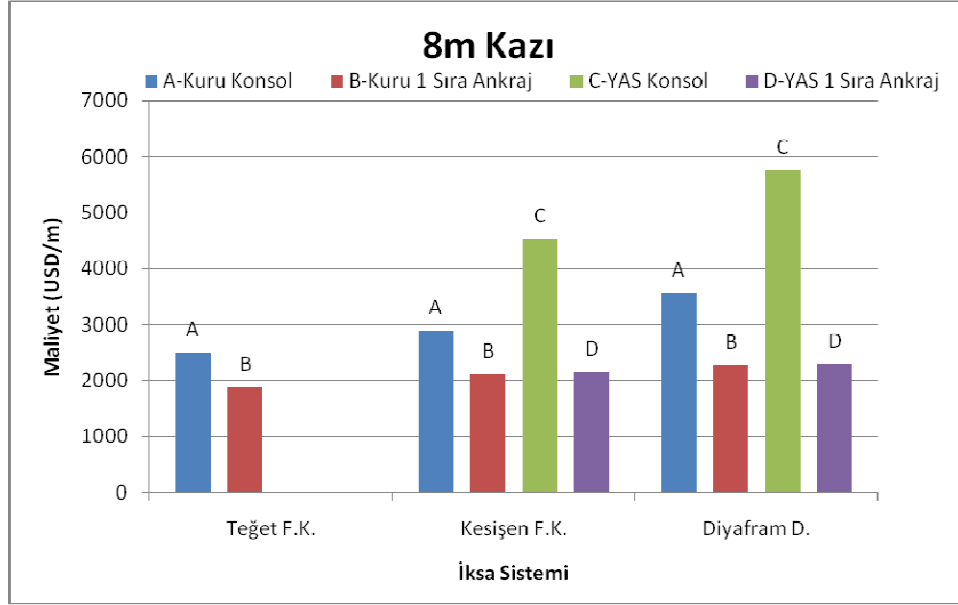
Yer altı suyunun durumu sadece iksa duvarı kesitlerini, donatı miktarını, ankraj adedini etkilemekle kalmayıp seçilecek iksa tipini de belirlemektedir. Bu durumda teğet fore kazık uygulaması mümkün olmamaktadır.

Belirgin fark yaratan bir etken de sistemin konsol veya ankraj destekli olmasıdır.

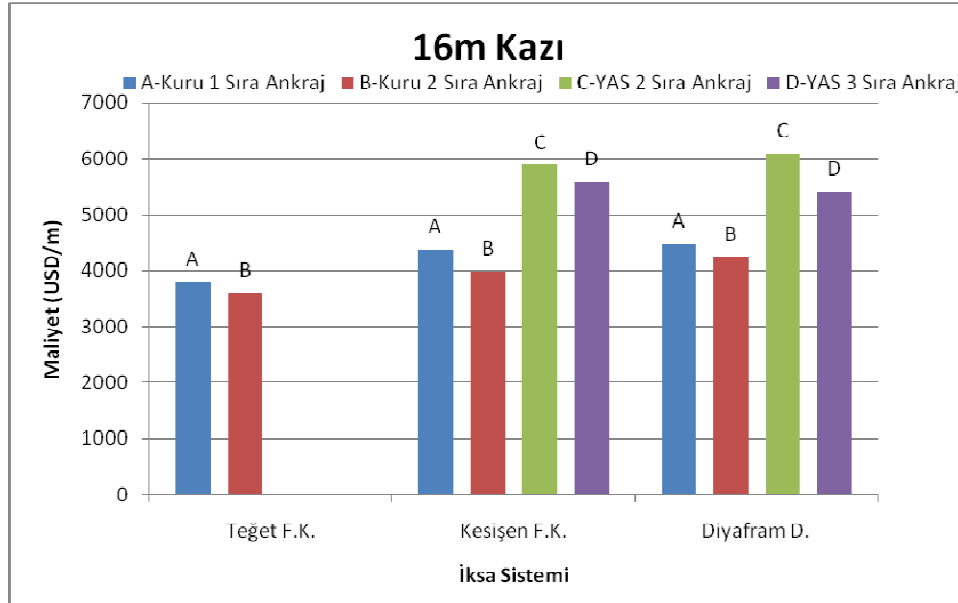
16 metrelik kazıda konsol çözüm mümkün dahi olmazken 8 metrelik kazı derinliğinde maliyeti çok yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Kuru ortamda konsol çözüm için ortalama maliyet 2.987 usd / m iken tek sıra ankrajlı çözüm ile bu değer 2.091 usd / m'ye düşmüştür ki bu %43'lük bir fark demektir.

Yer altı suyu mevcut durumda ise konsol çözümü çok kritik hale geldiğinden bu fark daha da artmakta ve ortaya 5.139 ve 2.230 usd / m gibi bir durum çıkmaktadır. Görüldüğü üzere 8 metrelik bir kazı derinliğinde, yer altı suyunun mevcut olduğu ve ankraj imalatının herhangi bir sebeple mümkün olmadığı bir durumda konsol bir sistem uygulanmak zorunda kalındığı takdirde varsayılan ankrajlı çözüme göre maliyette %130'luk bir artış söz konusu olabilir.

Yer altı suyu ve destek elemanlarının kullanılıp kullanılmaması gibi çok önemli faktörlerin ötesinde en temel etken pek tabii kazı derinliklerindeki farklılıklardır. 8 metre ve 16 metre için elde edilen maliyetler doğal olarak farklı olacaktır. Her iki kazı derinliğine ait tüm durumları kapsayan ortalama maliyet çizelgeleri Şekil 4.38 ve Şekil 4.39’da verilmiştir. İksa tiplerine göre detaylandırılmış maliyet karşılaştırma çizelgeleri aşağıda Şekil 4.40 ve Şekil 4.41’de verilmiştir.



Şekil 4.40 : 8 metre kazı tüm durumlar farklı iksa tipleri maliyet karşılaştırması



Şekil 4.41 : 16 metre kazı tüm durumlar farklı iksa tipleri maliyet karşılaştırması

8 metre derinlik için uygulanan konsol çözümü özel bir durum kabul edip sadece ankraj destekli analizleri göz önüne alındığında kuru şartlarda 8 metre için ortalama

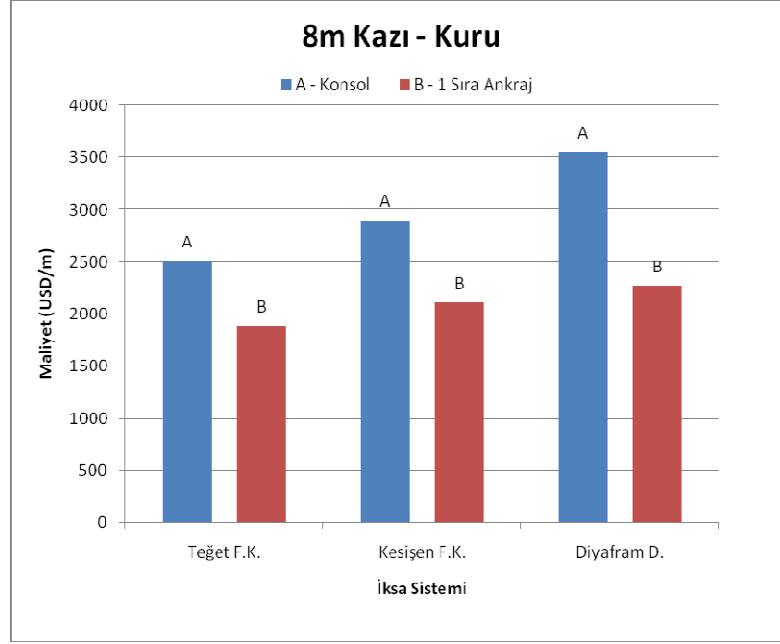
maliyet 2.091 usd / m iken 16 metre için minimum 3.948 usd / m'dir. Maliyet yaklaşık olarak 2 katına çıkmıştır. Yer altı suyu mevcut durumda ise 8 metre için ortalama maliyet 2.230 usd / m iken 16 metre için minimum 5.500 usd / m'dir ve gene maliyet yaklaşık 2 katıdır.

Bu çalışma kapsamında iksa sistemlerindeki farkların ortaya çıkarılması adına zemin parametreleri sabit tutulmuştur. Ulaşılan sonuçların aynı ve sabit olarak belirlenen zemin koşulları altında gerçekleştiği unutulmamalıdır. Bu bağlamda örneğin daha elverişsiz zemin koşullarında daha yüksek gerilmeler ortaya çıkacağından 8 metre ile 16 metre kazı derinlikleri iksa sistemi maliyetleri arasındaki fark 2 katın üstüne çıkabilir. Ya da daha elverişli zemin koşullarında aradaki fark derinlikle orantılı olmayabilir ve 2 katın aşağısında kalabilir. Tamamen farklı zemin koşullarında ise bire bir karşılaştırma yapmak tutarsız sonuçlar doğuracaktır.

Kazı derinliği, yer altı suyu durumu ve sistemin konsol veya destekli olması gibi temel etkenler maliyetlerin merteye olarak asıl belirleyicisidir. Ancak bu etkenler bir projede başlangıçta varolan ve değiştirilmesi mümkün olmayan koşullardır. Amaç her mühendislik probleminde olduğu gibi varolan koşullar ve proje gereksinimleri altında teknik ve ekonomik olarak en uygun tasarımın yapılmasıdır. Bu tez çalışması kapsamında vurgulanmak istenen nokta bu aşamada seçilecek iksa sistemleri arasındaki farklar ve birbirlerine karşı olan avantajları, dezavantajlarıdır.

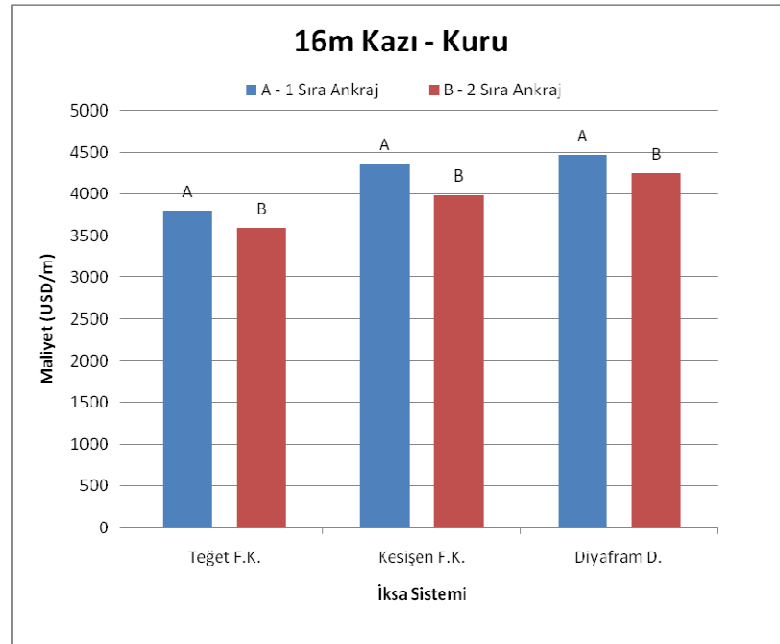
Kuru zemin koşulları altında su geçirimsizliğe gerek olmadığından teğet fore kazıklar diğer sistemlere göre daha ekonomik olmaktadır. Özel gereksinimler olmadığı takdirde aralıklı fore kazıkların tercih edilmesi uygun olacaktır.

8 metre konsol durumda teğet fore kazık çözümü 2.505 usd / m maliyet getirirken bu geniş kazıklarda 2.904 ve diyafram duvarda 3.552 usd / m'ye yükselmektedir ki bu %42'ye bir artış anlamına gelmektedir. Ankraj ile desteklenen iksa sisteminde ise farklar daha azalmakta ve maksimum fark %20 civarındadır. Değerler Şekil 4.42'de verilmiştir.



Şekil 4.42 : 8 metre kazı kuru zemin şartları farklı iksa sistem maliyetleri

16 metre tek sıra ankraj destekli durumda teğet fore kazık imalat maliyeti 3.796 usd / m, kesişen fore kazık 4.369 usd / m ve diyafram duvar 4.474 usd / m'dir. Yani %15 - %18'lik bir fark söz konusudur. İki sıra ankraj çözümlerinde ise toplam maliyetler bir miktar azalmış ancak fark mertebesi benzer kalmıştır. 3.599 usd / m'lik teğet fore kazık maliyeti 3.995 ve 4.249 usd / m'lik kesişen kazık ve diyafram duvar maliyetleri ile karşılaştırıldığında aradaki fark %11 - %18 civarında gözükmemektedir. Değerler Şekil 4.43'de verilmiştir.



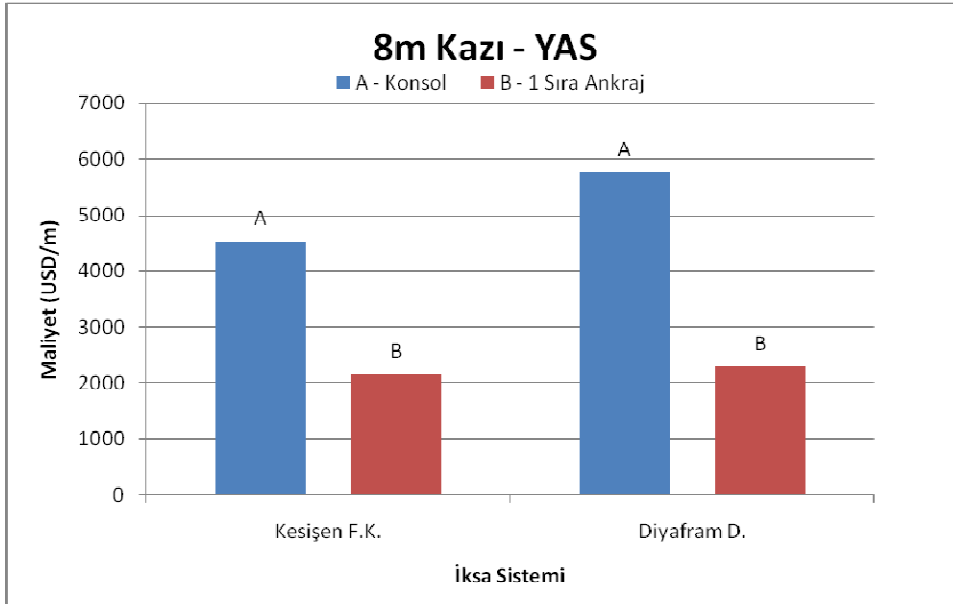
Şekil 4.43 : 16 metre kazı kuru zemin şartları farklı iksa sistem maliyetleri

Yer altı suyu mevcut durumlarda ise daha su geçirimsizliği sağlayacak bir iksa tipi seçilmesi teknik olarak gereklidir. Önceki bölümlerde imalat teknikleri detaylı incelenen kesişen fore kazık ve diyafram duvar su geçirimsizliği sağlayacak iksa sistemleridir. Bununla beraber maliyetleri teğet ve aralıklı fore kazıkla göre daha yüksek olmaktadır.

Kesişen fore kazık ve diyafram maliyet analizleri karşılaştırma amaçlı kuru zemin şartları için de incelenmiştir. 8 metre kazı konsol durumunda kesişen fore kazık maliyeti 2.904 usd / m iken diyafram duvar maliyeti 3.552 usd / m'dir ve fark %22'dir. Ankrajlı durumda ise beklendiği gibi fark azalmış ve %8'e düşmüştür.

16 metre kazıda ise 1 sıra ankrajlı sistemde kesişen fore kazık ve diyafram duvar maliyetleri sırasıyla 4.369 ve 4.474 usd / m olarak hesaplanmıştır. Değerler oldukça yakın ve fark %2 mertebelerindedir. 2 sıra ankrajlı sistemde ise diyafram duvar maliyeti biraz daha artış göstermiş ve fark %6'ya yükselmiştir.

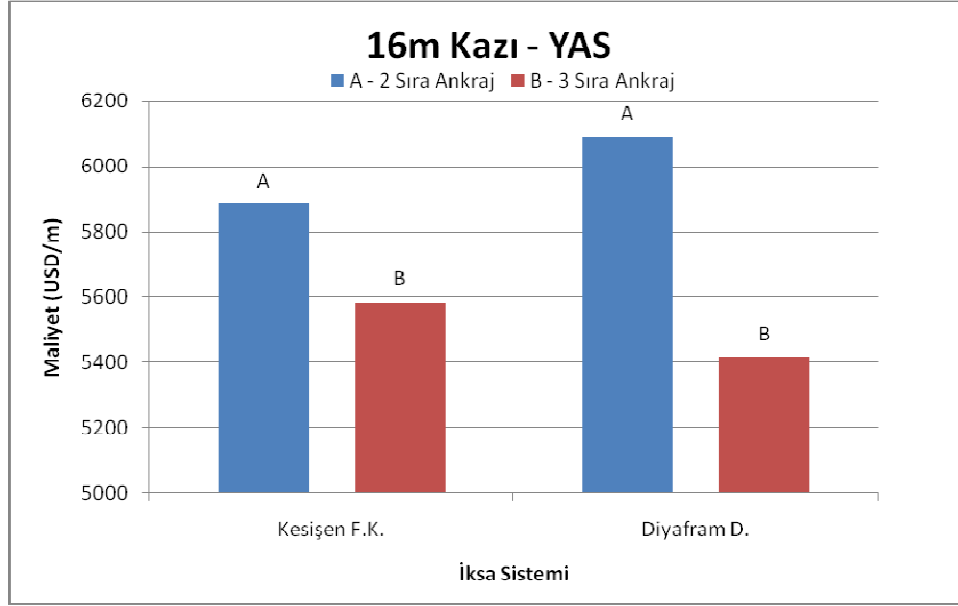
Yer altı suyu mevcut durumda da kesişen fore kazık ve diyafram duvar karşılaştırmasında 8 metre kazı için elde edilen sonuçlar benzerdir. Konsol durumda diyafram duvar %27, ankrajlı durumda %6 daha pahalıdır (Şekil 4.44).



Şekil 4.44 : 8 metre kazı yer altı suyu mevcut farklı iksa sistem maliyetleri

16 metre kazıda ise imalat maliyetleri diyafram duvar için daha avantajlı olmaya başlamıştır. 2 sıra ankrajlı durumda kesişen kazık maliyeti 5.885 usd / m, diyafram duvar ise 6.090 usd / m'dir ki bu halen diyafram duvar için %3'lük bir ek maliyet anlamına gelmektedir. 3 sıra ankrajlı durumda ise kesişen kazık ve diyafram duvar

maliyetleri sırası ile 5.585 ve 5.415 usd / m. Bu durumda diyafram duvar kesişen kazık imalatına göre %3 daha ucuz olmaktadır (Şekil 4.45).



Şekil 4.45 : 16 metre kazı yer altı suyu mevcut farklı iksa sistem maliyetleri

Salt imalat maliyetlerin karşılaştırılmasının ötesinde imalat hassasiyetleri ve özellikleri dolayısı ile iksa duvarı içindeki kazı gerçekleştirildikten sonra ortaya çıkabilecek ek maliyetler de göz önüne alınmalıdır. Bu bağlamda diyafram duvar tekniğinin fore kazıklara göre daha üstün olduğu kesindir. Diyafram duvar teknolojisi fore kazık imalatına göre daha yeni ve ileri bir sistem olarak kabul edilmektedir. Diyafram duvar düşeyden kaçıklık toleransı açısından fore kazıklara göre iki üç kat daha fazla hassasiyet ile imal edilebilir.

Bu özellikle derin kazılarda iksa duvarı ile kazı içine inşa edilecek bina arasındaki mesafenin korunumu açısından oldukça önemlidir. Teorik olarak 1/75 hassasiyet ile imal edilen bir fore kazık 30 metre derinlikte kazı tabanında 40 cm kazı içerisine kayacaktır. Oysa 1/200 hassasiyetinde diyafram duvar imalatı ile maksimum kaçıklık 15 cm ile sınırlıdır. Böyle bir durumda örneğin arsa sınırları içinde iksa duvarı ile bina arasında mimari olarak 20 cm boşluk düşünülmüş ise kesişen fore kazık imalatı neredeyse imkansız hale gelmektedir.

Düşeyden kaçıklık sadece kazı içerisine doğru değil iksa doğrultusunda da meydana gelebilir. Örneğin kesişen fore kazık imalatında bir kazığa komşu kazıklar iksa doğrultusunda farklı yönlere kayarsa 30 metre derinlikte teorik olarak $40 + 40 = 80$ cm açıklık meydana gelecektir. Kazıkların kesişmesini sağlamak ve yer altı suyunun

kazı içerisine sızmasını önlemek için bu kaçıklık ihtimali göz önüne alınmalı ve planda kazıklar en az 40 cm kesiştirilmelidir. Bu da sadece toleranslar sebebi ile çok büyük çaplı kazıkların imal edilmesine yol açacak ve ek maliyetler getirecektir.

Diyafram duvar imalatı ortalama 6m uzunluğunda paneller halinde yapılabileceğinden kesişen fore kazıklara göre kesişim noktalarının sayısı büyük ölçüde azalır. Bu su sızdırmazlık anlamında risklerin azalması anlamına gelmektedir. Özellikle derin kazılarda yer altı suyu basıncı çok artmakta ve kesişen fore kazıklarda kazık aralarından diyafram duvarda ise panel birleşim noktalarından kazı içerisine sızmalar meydana gelebilmektedir. Kesişen kazıklarda birleşim noktalarının sayısı oldukça fazladır ve bu nedenle su sızması daha olasıdır (ICE, 2007). Çimento harcı ve bazı kimyasallar ile kapanabilen bu sızıntı noktalarının diyafram duvarda oluşma yüzdesi kesişen kazıklara göre çok daha azdır. Diyafram duvar uygulaması kazı sonrası birçok durumda kaçınılmaz hale gelen iksa duvarı üstündeki tamiratların maliyeti açısından da bir avantaj sağlamaktadır.

Diyafram duvarların bir başka avantajı ise kazıdan sonra ortaya çıkan düz iksa duvarı yüzeyidir. Bu yüzey basit çimento harcı ile yapılacak sıva ile su yalıtım malzemesinin direk duvar üstüne uygulanması için hazır hale gelmektedir. Fore kazıklarda ise dairesel kesitlerin oluşturduğu sürekli engebeli ve düzensiz yüzeyin öncelikle püskürtme beton veya benzeri bir yöntem ile doldurulması ve üstüne sıva yapılarak yalıtıma hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Görüldüğü üzere iksa duvarının kazı tabanına kadar olan tüm yüzeyine uygulanması gereken bu ek işlem bir maliyet kalemi olarak analizlere girmektedir.

Diyafram duvarlar geçici bir iksa yapısı dışında yapısal kesit özellikleri ve hassas imalat teknikleri sayesinde bir takım projelerde kazı içerisine inşa edilecek binanın kalıcı bodrum kat duvarlarını oluşturur. Bu sayede binanın toplam maliyeti düşürülebilir.

Bu bölümün başındaki maliyet analizlerinde diyafram duvar iksa sistemi analiz no 20 hariç diğer tüm çözümlerde en pahalı sistem olarak göze çarpmaktadır. Kullanılan makine, ekipman ve işçiliğin ön maliyetinin yüksek olması dolayısı ile bu sistem sığ (10 metre ve aşağısı denilebilir) kazılarda ekonomik olmayabilir. Ancak düşeyden kaçıklık hassasiyeti, daha ileri su sızdırmazlık ve düz iksa yüzeyi gibi kazı yapıldıktan sonra ortaya çıkan avantajları dolayısı ile özellikle derin kazılarda daha sağlam ve güvenilir bir tercih olacağı gibi toplam maliyetler göz önüne alındığında

(püskürtme sıva, tamirat işleri vs.) kesişen kazıklara göre daha ekonomik olabilmektedir.

Yapılan değerlendirmeler teorik örnek uygulamalar üzerinde oluşturulan maliyet analizlerine göre şekillenmiştir. Bir sonraki bölümde hayata geçirilmiş bir derin kazı iksa projesinin tasarım aşamasında yapılan iksa sistemi ve maliyet karşılaştırması örneği incelenmiştir.

5. İSTANBUL METRO VE HAFİF METRO SİSTEMİ KİRAZLI – BAŞAK KONUTLARI HATTI İSTOÇ İSTASYONU ÖRNEĞİ

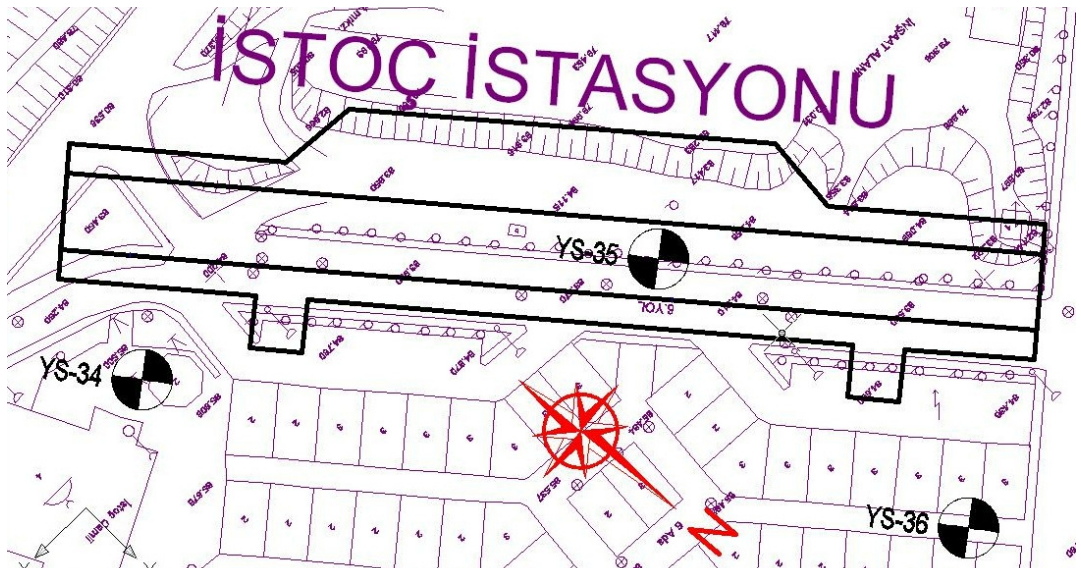
5.1 Giriş

Bu bölümde İstanbul Büyükşehir Belediyesi İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından İstanbul İli Bakırköy İlçesi'nde kaba inşaatı tamamlanmış İSTOÇ İstasyonu için kazı ve iksa sisteminin seçimine yönelik alternatiflerin karşılaştırılması ve maliyetleri açısından değerlendirilmesi sunulmaktadır.

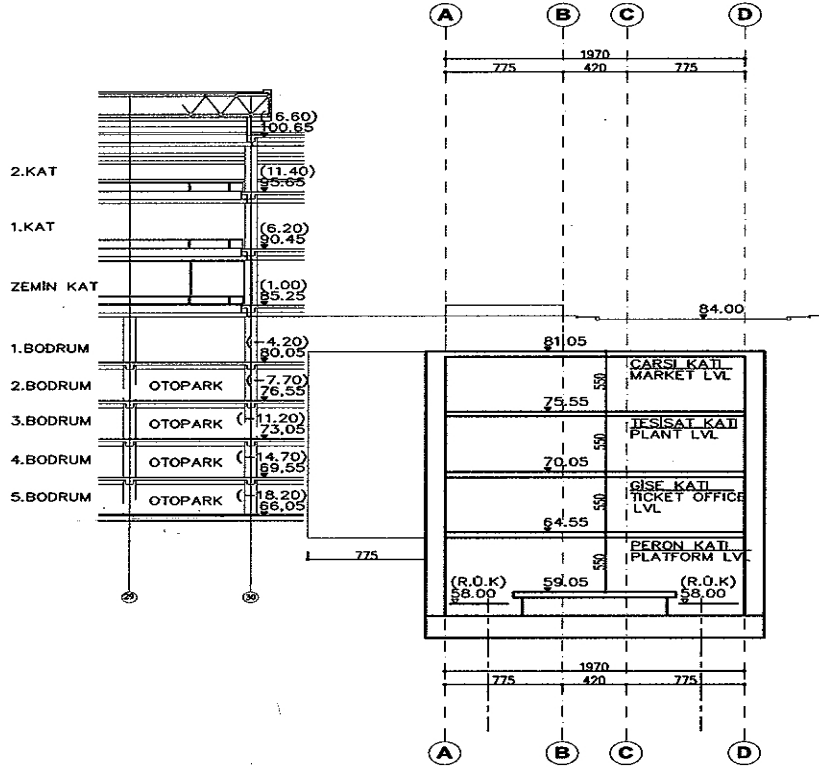
İlgili saha İSTOÇ Ticaret Merkezi sınırları içinde yer almakta ve arazi kotları +77m ile +86m arasında değişmektedir. İnşası süren istasyonun izdüşüm alanı dikkate alındığında ise arazi kotları +80m ile +85m arasında değişmektedir.

İstasyonun kuzey-doğu sınırları ise İSTOÇ binaları ile çevrelenmiştir. Bu binaların temel sistemi ve temel kotları esas projede göz önüne alınmıştır. İstasyon planını ve sahada yapılmış sondajları içeren arazi planı Şekil 5.1'de verilmiştir.

İstasyonun güney-batısındaki arazi sınırları içerisinde ticaret merkezi inşası sürmektedir. Ticaret merkezi ve istasyonun temel kotlarını gösterir kesit Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1 : İstasyon vaziyet planı



Şekil 5.2 : İstasyon kesiti

5.2 İstasyon Geometrisi

İlgili istasyonda mevcut siyah kot ile kırmızı kot arasındaki fark 29m civarındadır. İstasyon kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu olup istasyonun güney-batısında inşası süren iş merkezini de içeren temsili kesit Şekil 5.2’de verilmiştir. İnşası süren istasyon 180m uzunluğunda olup ray üst kotu +58m’dir.

5.3 Zemin Koşulları

İnceleme alanında iksa sistemini belirlemeye yönelik derinlikleri 42 m ile 45 m arasında değişen üç (3) adet, toplam 129 m uzunluğunda sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. Sondaj Vaziyet Planı Şekil 5.1’de verilmektedir.

Sondajlar esnasında karşılaşılan zemin koşullarına bağlı olarak, sistematik 1,5m ara ile Standard Penetrasyon deneyleri gerçekleştirilerek SPT/N darbe sayıları belirlenmiş olup (Day, 2006) temsili zemin numuneleri alınmış; kaya ile karşılaşılan formasyonlarda sürekli karot alınarak ilerlenmiştir. Kaya ile karşılaşılan sondajlarda kaya kalitesi ile ilgili TCR, SCR, RQD sayıları hesap edilmiş ve ilgili sondaj logları üzerinde gösterilmiştir.

Yapılan sondajlarda zemin yüzeyinden 5,5 m ile 7,0 m arasında değişen derinliklerde dolguya rastlanmıştır. Dolgunun altında, Trakya formasyonunun üzerinde kalınlığı 13,0 m ile 24,0 m arasında değişen kil-kum-çakıl ar dalanmasına girilmiştir. Etüt alanını kaplayan Trakya formasyonunu kıltaşı-kumtaşı ve şeyl ar dalanması oluşturmaktadır. Yapılan sondajlarda zemin yüzeyinden itibaren 19,6 m ile 31,0 m arasında değişen derinliklerde bu formasyona girilmiş ve sondajlar bu birim içinde sonlandırılmıştır. Bu formasyon genel olarak çok düşük/düşük kaliteli, çok çatlaklı, tamamen veya kısmen ayrılmış, zayıf veya orta sert bir yapıdadır.

YS-34 no'lu sondajda 19,6 metre derinlikte RQD değerleri 0 ile 39 arasında değişen düşük kalitede kumtaşına girilmiş ve sondaj bu seviyede sonlandırılmıştır. YS-35 no'lu sondajda 21,0 metre derinlikte RQD değerleri 0 ile 27 arasında değişen düşük kalitede kıltaşı-şeyl ar dalanmasına girilmiş ve sondaj bu seviyede sonlandırılmıştır. YS-36 no'lu sondajda 31,0 metre derinlikte tamamen ayrılmış çok kötü kalitede kıltaşı-kumtaşı ar dalanmasına girilmiş ve sondaj bu seviyede sonlandırılmıştır.

Tamamlanan sondajlara yeraltı su seviyesini belirleme amacı ile piyezometre boruları yerleştirilmiş ve yeraltı su seviyesi ölçülmüştür. Ölçülen su seviyesi mevcut zemin yüzeyinden itibaren 10,5 m ile 16,3 m arasında değişen derinliktedir. Bu değerler arazi kotu +67,6 m ile +73,5 m arasına tekabül etmektedir.

5.4 İksa Sistemleri Alternatifleri Teknik ve Maliyet Değerlendirmeleri

Söz konusu sahada mevcut siyah kot ile kırmızı kot arasındaki fark 29 m civarındadır. Ayrıca sahanın kuzey-doğu sınırlarında 2,5 m ile 15,0 m arasında değişen mesafelerde ilk sıra İSTOÇ binaları yer almaktadır.

İksa sistemine yönelik alternatifler pasif ankraj, kesişen veya teğet fore kazık ve ankrajlı sistem, üstte kesişen fore kazık altta perde duvar ve ankrajlı sistem, geçici diyafram duvar ve ankrajlı sistem, üstte fore kazık altta geçici diyafram duvar ve ankrajlı sistem, kazı tabanına kadar kalıcı diyafram duvar (top-down) ve üstte fore kazık altta kalıcı diyafram duvar (top-down) olarak düşünülmüştür. Kazı sistemi seçiminde yüzeyden takriben 10 metre derinlikte rastlanan yeraltı suyu önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Sondaj loglarında belirtilen bu suyun miktarı ve beslenme durumu da bilinmemektedir.

Alternatif sistemlerin maliyet karşılaştırmasını yapmak için söz konusu projenin müteahhit firmasının verdiği birim fiyatlar esas alınmıştır. Birim fiyatlar Amerikan Doları (USD) bazında esas alınmıştır. Varsayılan tasarım sadece fiyat karşılaştırma amaçlı olup uygulama projesi niteliği taşımamaktadır.

Ön germeli ankrajların test metodu Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenmiştir. Buna karşılık müteahhit firma birim fiyatlarında, ankrajların deneyleri için bir birim fiyat belirtilmemiştir. Maliyet hesaplarında bu miktar toplam ankraj maliyetinin yüzde 5'i olarak öngörülmüştür. Ayrıca geçici iksa sistemleri için istasyon binasının dış duvarlarının inşası ile ilgili maliyetler ilgili karşılaştırma çizelgelerine eklenmiştir.

5.4.1 Zemin çivisi ve püskürtme beton

Pasif ankraj etki alanındaki zeminin deplasmanına izin vererek yük taşıyan bir sistemdir. Söz konusu sahada kazı etki alanı içerisinde yol ve İSTOÇ binaları olduğundan ve kazının büyük bir kısmının yeraltı su seviyesi altında yapılması gerektiğinden bu sistem önerilmez.

5.4.2 Kesişen fore kazık ve ankrajlı sistem

YS-34 ve YS-35 no'lu sondajlarda yaklaşık 20 m'de, YS-36 no'lu sondajda ise yaklaşık 31 m'de taban kayaya girilmiştir. Bu gibi derin ve sert zemin ile karşılaşılan kazılarda ankrajlı fore kazık delgisi sırasında kazıkların düşeyden sapma olasılığı mevcuttur. Dolayısı ile kazıkların kesişmesi veya teğet olmasının sağlanmasında sıkıntılar yaşanabilir. Bu durum kazı içerisine yeraltı suyunun sızmasını doğurabilir. Dolayısıyla pompaj ile suyun drene edilmesi göz önüne alınmalıdır. Ek olarak bu yeraltı suyu drene edilse bile drenaj işlemi bölgedeki yeraltı su seviyesini lokal olarak düşüreceğinden inşaat alanını çevreleyen İSTOÇ binalarının oturması ve hasar görmesi ihtimal dahilindedir. Dolayısı ile teğet veya kesişen fore kazık ve ankrajlı sistem seçilmesi halinde imalatın azami titizlik ve sıkı kalite kontrol yöntemleri altında gerçekleştirilmesi şarttır.

Bu sisteme ilişkin maliyet tablosu Çizelge 5.1'de verilmiştir. Maliyet tablosu yeraltı suyunun kazı içerisine dolması halinde gereken pompajı ve çevre binaların görmesi muhtemel hasarını içermemektedir.

Çizelge 5.1 : Kesişen fore kazık ve ankrajlı sistem maliyet analizi

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık Yapımı (1200mm)	m	157,79	14.744	2.326.456
Kazık Beton (1200mm)	m ³	95,28	16.675	1.588.801
Kazık Donatısı	ton	728,71	2.501	1.822.694
Kuşak Kiriş Betonu	m ³	95,44	1.150	109.756
Kuşak Kiriş Donatısı	ton	260,79	115	29.991
Ankraj	m	24,95	100.000	2.495.000
Ankraj Testi	götürü	-	-	124.750
Kazı	m ³	10,55	158.050	1.667.428
Bina Su Yalıtımı	m ²	26,73	19.250	514.553
Bina Betonu	m ³	95,28	10.750	1.024.260
Bina Donatı	ton	260,79	2.150	560.699
TOPLAM (420m)				12.264.386
TOPLAM (m)				29.201

5.4.3 Üstte (23m) kesişen fore kazık – altta perde duvar ve ankrajlı sistem

Taban kayaya soketlenecek derinlikte (23 m ila 31 m) fore kazıkların düşeyden sapma riski bu sistem için de geçerlidir. Dolayısı ile gerek yüksek yeraltı su seviyesi, gerekse YS 35 no'lu sondajda deneylerde belirtilen 26 ila 31 metre arasındaki geçirimli ve çok çatlaklı kıltaşı dikkate alındığında kazı içerisine su dolması bu sistem için de önemli bir problem olarak düşünülebilir.

Ek olarak YS 36 no'lu sondajda taban kaya 31 metre seviyelerinde belirtilmiştir. Bu seviyelerde perde duvar uygulaması sırasında taban kaya üzerinde kalan marn ve kil tabakasının kazı içerisine doğru hareketi ile sonuçlanabilecek stabilite sorunları kaçınılmazdır.

Kazı açıldıktan sonra gerek yeraltı suyu, gerekse stabilite ile ilgili bir problemin oluşması halinde geri dönüş de mümkün olmayacaktır. Tüm bu unsurlar dikkate alındığında üstte kesişen fore kazık, altta perde duvar ve ankrajlı sistem önerilmez.

Bu sistem önerilmemekle beraber, bu sisteme ilişkin maliyet analizi Çizelge 5.2'de verilmiştir. Maliyet tablosu yeraltı suyunun kazı içerisine dolması halinde gereken pompajı ve çevre binaların görmesi muhtemel hasarını içermemektedir.

Çizelge 5.2 : Üstte (23m) kesişen fore kazık – Altta perde duvar maliyet analizi

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık Yapımı (1200mm)	m	15,79	10.010	1.579.478
Kazık Beton (1200mm)	m ³	95,28	11.321	1.078.669
Kazık Donatısı	ton	728,71	1.698	1.237.464
Kuşak Kiriş Beton	m ³	95,44	842	80.313
Kuşak Kiriş Donatısı	ton	260,79	84	21.945
Perde Duvar Beton	m ³	95,28	4.730	450.674
Donatı	ton	728,71	710	517.020
Ankraj	m	24,95	100.000	2.495.000
Ankraj Testi	götürü	-		124.750
Kazı	m ³	10,55	158.050	1.667.428
Ek Kazı	m ³	10,55	4.600	48.530
Bina Su Yalıtımı	m ²	26,73	19.250	514.553
Bina Beton	m ³	95,28	10.750	1.024.260
Bina Donatı	ton	260,79	2.150	560.699
TOPLAM (420m)				11.400.781
TOPLAM (m)				27.145

5.4.4 Üstte (11m) aralıklı fore kazık – altta kesişen fore kazık ve ankrajlı sistem

Bu başlık altında, komşu parselde yer alan ticaret merkezi cephesi hariç diğer üç cephede yeraltı su seviyesine kadar aralıklı fore kazık, bu kottan itibaren tüm cephelerde kazı tabanına kadar kesişen fore kazık ve ankrajlı sistem değerlendirilmiştir.

Bu yöntem seçildiği takdirde, özellikle ikinci sıra kazıkların düşeyden sapma riski halen mevcuttur. Ayrıca yapılan üç sondajdan ikisinin istasyon kazı sınırının dışında kalması da ek bir risk faktörü oluşturmaktadır. Kazı açıldıktan sonra gerek yeraltı suyu, gerekse stabilite ile ilgili bir problemin oluşması halinde geri dönüş de mümkün olmayacaktır. Dolayısı ile üstte aralıklı fore kazık aşağıda kesişen fore kazık sistemi seçilmesi halinde imalatın azami titizlik ve sıkı kalite kontrol yöntemleri altında gerçekleştirilmesi şarttır.

Bu sisteme ilişkin maliyet analizi Çizelge 5.3’de verilmiştir. Maliyet tablosu yeraltı suyunun kazı içerisine dolması halinde gerekecek pompajı ve çevre binaların görmesi muhtemel hasarını içermemektedir.

Çizelge 5.3 : Üstte (11m) aralıklı fore kazık – Altta kesişen kazık maliyet analizi

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık Yapımı (800mm)	m	70,13	2.156	151.200
Kazık Beton (800mm)	m ³	95,28	1.179	112.292
Kazık Yapımı (1200mm)	m	157,79	9.890	1.560.543
Kazık Beton (1200mm)	m ³	95,28	11.185	1.065.738
Kazık Donatısı	ton	728,71	1.855	1.351.452
Kuşak Kiriş Beton	m ³	95,44	1.150	109.756
Kuşak Kiriş Donatısı	ton	260,79	115	29.991
Ankraj	m	24,95	100.000	2.495.000
Ankraj Testi	götürü	-	-	124.750
Kazı	m ³	10,55	158.050	1.667.428
Bina Su Yalıtımı	m ²	26,73	19.250	514.553
Bina Beton	m ³	95,28	10.750	1.024.260
Bina Donatı	ton	260,79	2.150	560.699
TOPLAM (420m)				10.767.661
TOPLAM (m)				25.637

5.4.5 Kazı tabanına kadar geçici diyafram duvar ve ankrajlı sistem

Diyafram duvar ve ankrajlı sistem, kazı çevresinde geçirimsiz diyafram duvar teşkil edilmesi ve su yükünün de duvar tarafından taşınması sayesinde yeraltı suyunun kazıya girmesini ve çevre binaların deplasmanını engelleyerek bu binaların hasar görmesini önleyen bir sistemdir. Ancak bu sistem tüm sistemler arasında en maliyetli sistem olarak görülmektedir.

Söz konusu sahanın kuzey-doğu tarafı (İSTOÇ bölgesi) ile güney-batı (Ticaret merkezi inşaat alanı) tarafı arasında arazi kot farkı 8 metrelere ulaşmaktadır. Dolayısı ile bu başlık altında önerilen diyafram duvar kalıcı bir yapı olarak (top-down) ele alınmamıştır. Kalıcı diyafram duvar içeren sistemler son iki başlık altında değerlendirilmiştir.

Diyafram duvar ve ankrajlı sisteme ilişkin maliyet analizi Çizelge 5.4’de verilmiştir. Bu sistem kazı güvenliği, yeraltı suyu ve çevre binalar dikkate alındığında güvenli bir sistem olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak yüksek maliyetler dikkate alınmalıdır.

Çizelge 5.4 : Kazı tabanına kadar geçici diyafram duvar maliyet analizi

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Diyafram Duvar (1200mm)	m ²	455,36	11.775	5.361.864
Duvar Betonu	m ³	95,28	14.130	1.346.306
Donatı	ton	728,71	2.120	1.544.501
Ankraj	m	24,95	100.000	2.495.000
Ankraj Testi	götürü	-	-	124.750
Kazı	m ³	10,55	158.050	1.667.428
Bina Su Yalıtımı	m ²	26,73	19.250	514.553
Bina Betonu	m ³	95,28	10.750	1.024.260
Bina Donatı	ton	260,79	2.150	560.699
TOPLAM (420m)				14.639.360
TOPLAM (m)				34.856

5.4.6 Üstte (11m) aralıklı fore kazık – altta geçici diyafram duvar ve ankrajlı sistem

Yeraltı suyu yüzeyden yaklaşık 10m derinlikte görülmüştür. Bu yüzden istasyon yapısı konumunda komşu parselde yer alan ticaret merkezi cephesi hariç diğer üç cephede yeraltı su seviyesine kadar fore kazık kullanımı bir problem teşkil etmeyecektir. Su seviyesinin altında ise diyafram duvar ve ankrajlı sistem çevre binaların deplasmanına izin vermeyeceği gibi yeraltı suyunun da kazı içerisine dolmasını engelleyecektir. Üstte fore kazık altta geçici diyafram duvar ve ankrajlı sistem için maliyet analizi Çizelge 5.5’de verilmiştir. Çizelgelerde de görüldüğü üzere, bu sistem tüm kazı boyunca geçici diyafram duvar uygulamasına göre daha ekonomik olurken, fore kazık ve kalıcı diyafram duvar içeren alternatiflere göre daha yüksek maliyetli bulunmuştur.

Geçici diyafram duvar veya perde duvar alternatiflerinden birinin seçilmesi halinde inşa edilecek iksa sisteminin geçici bir yapı olarak düşünülmesi ve müteakip istasyon yapısı buna göre planlanmalıdır. Bu bağlamda istasyon duvarlarının sükunetteki

toprak yükü, deprem ve hidrostatik yükleri taşıyacak şekilde projelendirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.5 : Üstte (11m) aralıklı kazık altta geçici diyafram duvar maliyet analizi

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Kazık Yapımı (800mm)	m	70,13	2.820	197.767
Kazık Beton (800mm)	m ³	95,28	1.417	135.058
Kazık Donatısı	ton	728,71	213	154.940
Kuşak Kiriş Betonu	m ³	95,44	282	26.914
Kuşak Kiriş Donatısı	ton	260,79	28	7.354
Diyafram Duvar (1200mm)	m ²	455,36	9.890	4.503.510
Duvar Betonu	m ³	95,28	11.868	1.130.783
Donatı	ton	728,71	1.780	1.297.250
Ankraj	m	24,95	100.000	2.495.000
Ankraj Testi	götürü	-	-	124.750
Kazı	m ³	10,55	158.050	1.667.428
Ek Kazı	m ³	10,55	4.600	48.530
Bina Su Yalıtımı	m ²	26,73	19.250	514.553
Bina Betonu	m ³	95,28	10.750	1.024.260
Bina Donatı	ton	260,79	2.150	560.699
TOPLAM (420m)				13.888.795
TOPLAM (m)				33.069

5.4.7 Kazı tabanına kadar kalıcı diyafram duvar (top – down) sistemi

Diğer bir alternatif olarak, yukarıdan kazı tabanına kadar kalıcı bir diyafram duvar inşası düşünülmüştür. Ancak söz konusu sahanın kuzey-doğu tarafı (İSTOÇ bölgesi) ile güney-batı (Ticaret merkezi inşaat alanı) tarafı arasındaki cephede arazi kot farkı 8 metrelere ulaşmaktadır. Dolayısı ile diğer üç cephede üstteki 8-10 metrelik kısmın ön germeli geçici ankrajlar ile tutulması inşaat tamamlandığında ise bu duvarın istasyon yapısına kalıcı bir duvar olarak entegre edilmesi değerlendirilmiştir. Bu durumda maliyet hesabı yapılırken su tutucu bantlar ve mimari projede belirtilen ek kirişler de maliyete eklenmiştir.

Yukarıda değinildiği üzere bu sistem ile inşa edilecek diyafram duvar kalıcı bir yapı olacaktır. Bu sebeple diyafram duvar ve kirişlerin sükunetteki toprak yükü, deprem ve hidrostatik yükleri taşıyacak şekilde projelendirilmesi gerekmektedir.

Diyafram duvar ve ankrajlı sisteme ilişkin maliyet analizi Çizelge 5.6'da verilmiştir. Bu sistem kazı güvenliği, yeraltı suyu ve çevre binalar dikkate alındığında güvenli bir sistem olarak ortaya çıkmaktadır. Buna karşılık maliyet olarak en ekonomik çözüm değildir.

Çizelge 5.6 : Kazı tabanına kadar kalıcı diyafram duvar maliyet analizi

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyat (USD)	Miktarı	Tutar (USD)
Diyafram Duvar (1200mm)	m ²	455,36	11.775	5.361.864
Duvar Beton	m ³	95,28	14.130	1.346.306
Donatı	ton	728,71	2.826	2.059.334
Ankraj	m	24,95	19.600	489.020
Ankraj Testi	götürü	-	-	24.451
Üst Kazı	m ³	10,55	49.050	517.478
Top-Down Kazı	m ³	32,21	109.000	3.510.890
Su tutucu bant	m	34,53	4.710	162.636
Ek Kiriş Beton	m ³	95,44	800	76.352
Ek Kiriş Donatısı	ton	260,79	120	31.295
Bina Su Yalıtımı	m ²	26,73	5.610	149.955
Bina Beton	m ³	95,28	1.110	105.761
Bina Donatı	ton	260,79	222	57.895
TOPLAM (420m)				13.893.238
TOPLAM (m)				33.079

5.4.8 Üstte (11m) aralıklı fore kazık – altta kalıcı diyafram duvar (top – down) sistemi

Son alternatif olarak, komşu parselde yer alan ticaret merkezi cephesi hariç diğer üç cephede yeraltı su seviyesine kadar ankrajlı fore kazık, bu kottan itibaren tüm cephelerde ise kazı tabanına kadar kalıcı diyafram duvar ve top-down yöntemi ile kazısı değerlendirilmiştir. Bu durumda maliyet hesabı yapılırken su tutucu bantlar ve mimari projedeki ek kirişler de maliyete eklenmiştir. Bu sistemde inşa edilecek

diyafram duvar kalıcı bir yapı olacaktır. Bu sebeple diyafram duvar ve kirişlerin sükunetteki toprak yükü, deprem ve hidrostatik yükleri taşıyacak şekilde projelendirilmesi gerekmektedir.

Bu sistemde kullanılan fore kazıkların konumu ve geometrisi, giriş-çıkış yapılarının konumları, servis şaftları ve mimari projedeki değişikliklere uyum sağlayabilecek şekilde değiştirilebilecektir. Buna karşılık bir önceki alt başlıkta incelenen zemine kadar kalıcı diyafram duvar uygulaması böyle bir esnekliğe sahip değildir. Ek olarak fore kazık ve diyafram duvar, zemine kadar diyafram duvar uygulamasına göre daha ekonomiktir.

Fore kazık ve kalıcı diyafram duvar inşasına ilişkin maliyet analizi Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Üstte (11m) aralıklı kazık altta kalıcı dduvar analizi

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyatı (USD)	Miktarı	Tutarı (USD)
Kazık Yapımı (800mm)	m	70,13	2.820	197.767
Kazık Beton (800mm)	m ³	95,28	1.417	135.058
Kazık Donatısı	ton	728,71	213	154.940
Kuşak Kiriş Betonu	m ³	95,44	282	26.914
Kuşak Kiriş Donatısı	ton	260,79	28	7.354
Ankraj	m	24,95	23.500	586.325
Ankraj Testi	götürü	-	-	29.316
Diyafram Duvar (1200mm)	m ²	455,36	9.890	4.503.510
Duvar Betonu	m ³	95,28	11.868	1.130.783
Donatı	ton	728,71	2.374	1.729.666
Üst Kazı	m ³	10,55	49.050	517.478
Top-Down Kazı	m ³	32,21	109.000	3.510.890
Water Stop	m	34,53	3.784	130.662
Ek Kiriş Betonu	m ³	95,44	800	76.352
Ek Kiriş Donatısı	ton	260,79	120	31.295
Bina Su Yalıtımı	m ²	26,73	7.080	189.248
Bina Betonu	m ³	95,28	2.580	245.822
Bina Donatı	ton	260,79	516	134.568

Çizelge 5.7 (devam) : Üstte (11m) aralıklı kazık altta kalıcı dduvar analizi

İşin Adı	Birimi	Birim Fiyatı (USD)	Miktarı	Tutarı (USD)
			TOPLAM (420m)	13.337.949
			TOPLAM (m)	31.757

5.5 Seçilen Sistem ve Sonuçlar

Yukarıdaki analizler sonucunda üstte aralıklı fore kazık – aşağıda kesişen fore kazık uygulaması diğer yöntem ve alternatif sistemlere karşın önemli bir maliyet avantajı getirmektedir. Ancak kazı derinliği göz önüne alındığında bu sistemin imalat yönünden muhtemel sıkıntıları ve zorlukları olacağı düşünülmektedir.

İSTOÇ istasyon yapısında (Şekil 5.3) iksa sistemi olarak yukarıda tanımlanan üstte aralıklı fore kazık – aşağıda kesişen fore kazık uygulanmıştır. İksa sisteminin imalatında gerekli önlemler alınmış, proje esaslarına uygun, titiz bir çalışma yapılmıştır. İstasyon inşası iksa sistemine bağlı herhangi bir zorlukla karşılaşılmadan tamamlanmıştır. Böylece maliyet açısından en ekonomik çözüm hayata geçirilmiştir.



Şekil 5.3 : İstasyon inşaat çalışmalarından görünüm

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tanımlanan sistemler, imalat yöntemleri ve farklı durum ve öncelikler iksa sistemlerinin seçiminin tek bir değişkene veya salt maliyet hesaplarına bağlı olmadığını göstermiştir.

Bölüm 4 ve 5'te irdelendiği üzere ön maliyetleri yüksek bir sistem proje geneline etkileri göz önüne alındığında en ekonomik veya maliyeti en düşük olarak hesaplanan sistem teknik şartnameler ve zemin koşulları dolayısı ile teknik olarak uygun olmayabilir. Çözümlenen teorik ve gerçek örnek uygulamalara göre elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Seçilecek iksa sisteminden önce projenin gereksinimleri, kazı derinliği, zemin şartları ve yer altı suyu durumu gibi başlıca etkenler maliyetlerin mertebesini belirlemektedir.
- Yer altı suyu mevcut olmayan durumlarda teğet fore kazıklar kesişen kazıklara ve diyafram duvarlara göre daha ekonomik olmaktadır.
- Yer altı suyu mevcut durumlarda teğet fore kazıkların uygulanması teknik olarak geçerli olmamaktadır. Bu durumda kesişen fore kazık veya diyafram duvar iksa sistemleri tasarlanır. Diyafram duvar imalatının ön maliyetleri yüksek olduğundan dolayı özellikle 10m ve daha sığ kazılarda kesişen kazıklara göre daha pahalı olmaktadır. Derin kazılarda ise diyafram duvarlar imalat hassasiyeti ve daha güvenilir bir sistem olması dolayısıyla genel maliyeti kesişen kazıklara göre daha avantajlı hale gelmektedir.
- Yer altı suyu olmaksızın çok derin kazılarda fore kazıkların uygulanması imalat toleransları (düşeyden kaçıklık gibi) sebebiyle riskli ve zordur. Kazı tabanında kazıkların aralarındaki boşlukların tamiratı, izin verilenden daha çok kazı içerisine kayan kazıkların yontulması gibi ek işler maliyetleri yükseltir. Bu durumlarda diyafram duvarlar alternatif olarak analiz edilmeli ve karşılaştırmalı olarak uygulamaya geçilmelidir.

- Diyafram duvar iksa duvarı yüzeyi düz olduğundan dolayı kazı yapıldıktan sonra püskürtme beton uygulamasına gerek duyulmamaktadır. Kazıklı iksa duvarlarında ise yüzeyin düzeltilmesi ve kazık aralarındaki boşlukların doldurulması için ek işlemler gerekmektedir. Bu da göz önüne alınması gereken bir noktadır.
- Diyafram duvarların bir başka kullanım alanı da binaların bodrum duvarlarını oluşturan kalıcı duvarlar olarak tasarlandıkları sistemlerdir. İksa sistemi daha yüksek gerilmelere ve güvenlik faktörlerine göre tasarlandığı için maliyeti oldukça yüksek olsa da bina yapım maliyetlerini düşürdüğü için toplamda avantaj sağlanabilir.
- İksa sistemi seçimde arsa sınırı çevresindeki yerleşimler, yollar, mevcut bina ve diğer yapılar göz önüne alınmalıdır. Zeminde ve iksa duvarında oluşacak oturma ve deplasmanlar bu bağlamda irdelenmeli ve sınır değerler belirlenmelidir. Püskürtme beton ve zemin çivisi sistemi prensip olarak zeminde oluşan gerilmeler doğrultusunda yük taşımaya başladığı ve rijitliği düşük olduğu için deplasmanlar diğer sistemlere göre daha yüksek olmaktadır. Bu da mevcut yapılara komşu derin kazılarda bu sistemin kullanılmasının tehlikeli olmasına sebep olur.
- İksa sistemleri çözümlenirken farklı alternatifler mevcut olduğu gibi bunların proje gereksinimleri ile de uyumlu olmaları gerekmektedir. Örneğin iş süresi kısıtlı bir projede 1 sıra ankraj desteği ile tasarlanan bir iksa sistemi 2 sıra ankrajlı sisteme göre daha kısa sürede imal edileceği için tercih sebebi olacaktır. Yapılan analizler de göstermiştir ki daha az ankraj seviyesi daha yüksek moment ve gerilmeler oluşturacağından iksa duvarının kalınlığı ve kullanılan donatı miktarı artacak ve daha yüksek maliyetli bir uygulama haline gelebilecektir. Fakat ek ankraj seviyeleri imal edilmeyeceğinden imalat süresinde avantaj sağlanacaktır.
- İksa sistemi maliyeti kazı derinliği ile doğru orantılı olması gibi bir koşul söz konusu değildir. Zemin şartlarına, projenin fiziki koşullarına ve diğer etkenlere bağlı olarak değişen maliyetler örneğin komşu sahalarda dahi kazı derinliği 10 ve 20 metre olan iksalarda daha derin kazı maliyetinin diğerine oranla 2 kat olacağı anlamına gelmeyebilir.

İksa sistemleri projelerin ilk adımı olarak doğru planlama yapılması, maliyetlerin proje bütçesine uygun olması ve mühendislik yönünden uygunluk gibi birçok bakımdan değerlendirilmeli, her bir projenin özgün koşullarına en uygun ve en ekonomik çözüm aranmalıdır.

İksa sistemleri sadece bir zemin mekaniği problemi olarak görülmemeli; aksine bir inşaat projesinde bütünün bir parçası olarak algılanmalı, buna istinaden geoteknik, yapı ve planlama mühendislerinin ortak yürüttüğü titiz bir çalışma sonucu şekil almalıdır. Çünkü ekonomiklik sadece bir iş kaleminin salt maliyetini düşürmek değil bu işin kendisini takip eden diğer işlere olan olumlu ve olumsuz etkilerinin proje gereksinimleri ışığı altında özümsemesidir.

KAYNAKLAR

- Bowles, J. E.**, 1997. "Foundation analysis and design", McGraw – Hill, NY.
- Brinkgreve, R. B. J.**, 2002. "Plaxis 2D Version 8 – Manual", A. A. Belkama Publishers, Delft.
- Day, R. W.**, 2006. "Foundation engineering handbook", McGraw – Hill, NY.
- Gaba, A. R., Simpson, B., Powrie, W., Beadman, D.R.**, 2003. "Embedded retaining walls – guidance for economic design", *CIRIA Construction Industry Research and Information Association Report*, **C580**, CIRIA, London.
- ICE**, 2007. "Specification for piling and embedded retaining walls", *ICE Institution of Civil Engineers Report*, ICE, London.
- Lazarte, C. A., Elias, V., Espinoza, D. R., Sabatini, P. J.**, 2003. "Geotechnical engineering circular no.7 – soil nail walls", *FHWA Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation Report*, **FHWA0-IF-03-017**, FHWA, WA.
- Macnab, A.**, 2002. "Earth retention systems handbook", McGraw – Hill, NY.
- O'Neil, M. W. and Reese, C. L.**, 1999. "Drilled shafts – construction procedures and design methods", *FHWA Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation Report*, **FHWA-IF-99-025**, FHWA, WA.
- Strom, R.W. and Ebeling, R. M.**, 2001. "State of the practice in the design of tall, stiff, and flexible tieback retaining walls", *US Army Corps of Engineers – Engineer Research and Development Center – Innovations for Navigation Projects Research Program Report*, **ERDC/ITL TR-01-1 (TR INP-01-4)**, US Army Corps of Engineers, WA.
- Tomlinson, M. J.**, 1994. "Pile design and construction practice – 4th edition", E & FN Spon, London.
- TS 3168 EN 1536**, 2001. Özel jeoteknik uygulamalar - delme (fore) kazıklar (yerinde dökme betonarme kazıklar), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1538**, 2001. Özel jeoteknik uygulamalar – diyafram duvarlar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Şahin ATMACA

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul 10.11.1983

Adres: Ethemefendi Cad. 2.Orta Sk. 70/13 Erenköy
İstanbul

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Müh.

Yayın Listesi:

- Soylu, H. G., **Atmaca Ş. A.**, Kulaç, H. F., Durgunoğlu, H. T., 2010. “Çift kademeli iki yönlü kazık yükleme deneyleri lighthouse tower projesi”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi*