

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE ÖZEL ANKRAJLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ferit EYÜBOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

MAYIS 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE ÖZEL ANKRAJLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ferit EYÜBOĞLU
(501161314)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aykut ŞENOL

MAYIS 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501161314 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ferit EYÜBOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE ÖZEL ANKRAJLAR” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Aykut ŞENOL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ayfer ERKEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İlknur BOZBEY
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 02 Mayıs 2018
Savunma Tarihi : 28 Mayıs 2018





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, her türlü katkıyı yapan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam, tez danışmanım Prof. Dr. Aykut ŞENOL'a, gerekli tüm doküman ve kaynaklardan faydalanmama yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Ahmet SAĞLAMER'e, tüm katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca Enar Mühendislik Mimarlık ve Danışmanlık Ltd. Şti. çalışanlarına ve hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme teşekkürü borç bilirim.

Mayıs 2018

Ferit EYÜBOĞLU
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. DERİN KAZILAR VE İKSA SİSTEMLERİ ÇEŞİTLERİ	3
2.1 Derin Kazılar	3
2.2 Derin Kazı Yöntemleri ve İksa Sistemleri Çeşitleri	3
2.2.1 Kazıklı iksa sistemleri	4
2.2.2 Diyafram duvarlı iksa sistemleri	7
2.2.3 Püskürtme betonlu iksa sistemleri.....	8
2.2.4 Palplanşlar	9
2.2.5 Kuyu perdeli iksa sistemleri.....	10
2.2.6 Şevlendirme yöntemi	10
3. GELENEKSEL ÖNGERMELİ ANKRAJLAR.....	13
3.1 Genel.....	13
3.2 Öngermeli Ankraj Tipleri	13
3.2.1 Düz çeperli yerçekimiyle enjeksiyonlu ankrajlar.....	14
3.2.2 Düz çeperli basınçlı enjeksiyonlu ankrajlar	14
3.2.3 Sonradan enjeksiyonlu ankrajlar	14
3.3 Öngermeli Ankraj Elemanları	15
3.3.1 Öngermeli ankraj çelik halatları.....	15
3.3.2 Enjeksiyon.....	16
3.3.3 Ankraj başlığı ve kamalar	17
3.3.4 Ankraj Plakası	18
3.4 Öngermeli Ankraj İmalatı.....	18
3.4.1 Öngermeli ankraj imalatı öncesi saha incelemeleri	18
3.4.2 Öngermeli ankraj imalatı aşamaları	18
3.4.2.1 Ankraj noktasının belirlenmesi ve delgi için pozisyon alınması.....	19
3.4.2.2 Ankraj delgisi.....	20
3.4.2.3 Ankraj çelik halatı imalatı.....	22
3.4.2.4 Ankraj ön enjeksiyonu ve ankraj halatlarının yerleştirilmesi.....	23
3.4.2.5 Ankraj enjeksiyonu hazırlanması ve delginin enjeksiyonlanması....	24
3.4.2.6 Ankraj testi ve öngermesi.....	25
3.5 Öngermeli Ankrajların Kabul Kriterleri	33
3.5.1 Sünme kabul kriteri	33
3.5.2 Serbest bölge uzama kabul kriterleri.....	34
3.5.2.1 Minimum çalışan serbest boy kriteri.....	34
3.5.2.2 Maksimum çalışan serbest boy kriteri.....	35

3.5.3 Lift-off testi	35
3.6 Öngermeli Ankrajların Uygulama Alanları	36
3.6.1 Karayolları istinat duvarları	36
3.6.2 Şev stabilitesi ve toprak kaymaları.....	37
3.6.3 Çekme problemleri ve ağır yapıların stabilizasyonu	37
3.7 Öngermeli Ankrajların Tasarım Kriterleri.....	38
3.7.1 Aktif kayma kamasının belirlenmesi.....	39
3.7.2 Öngermeli ankrajların serbest bölgelerinin tasarımı	40
3.7.3 Öngermeli ankrajların kök bölgesinin tasarımı	40
3.7.4 Öngörülen tasarım yükleri ve imalat öncesi yapılan testler	43
3.7.5 Önerilen minimum ankraj aralıkları	43
3.8 Saha Araştırmaları ve Deneyler.....	45
3.8.1 Zemin araştırma çalışmaları	45
3.8.1.1 Zemin ve kaya stratigrafisi.....	45
3.8.1.2 Yeraltı suyu araştırması.....	46
3.8.2 Zemin ve kaya laboratuvarı deneyleri.....	47
3.8.2.1 Sınıflandırma ve Atterberg limitleri.....	47
3.8.2.2 Kayma mukavemeti.....	47
3.8.3 Saha deneyleri	47
4. TEK DELGİLİ ÇOK KÖKLÜ ANKRAJLAR	49
4.1 Tek Delgili Çok Köklü Ankraj Elemanları.....	50
4.1.1 Tek delgili çok köklü ankrajların çelik halatları	50
4.1.2 Tek delgili çok köklü ankrajların enjeksiyonlanması	51
4.1.3 Tek delgili çok köklü ankrajların testi ve öngermesi	51
4.1.4 Tek delgili çok köklü ankrajların çalışma prensibi	53
5. VAKA ANALİZİ.....	55
5.1 İnceleme Alanı.....	55
5.2 İnceleme Alanı Zemin Profili	55
5.2.1 Genel jeoloji	55
5.2.1.1 Trakya Formasyonu.....	56
5.2.1.2 Alüvyon.....	57
5.2.2 Zemin araştırma çalışmaları	57
5.2.3 Zemin profili	58
5.2.4 Zemin ve kaya birimlerin özellikleri	65
5.3 Yapılacak Olan Derin Kazı Kapsamında Tasarlanan İksa Sistemi	66
5.4 Tek Delgili Çok Köklü Ankraj İmalatları.....	67
5.5 Tek Delgili Çok Köklü Ankrajların Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	85
5.6 Tek Delgili Çok Köklü Ankrajlarla Geleneksel Ankrajların Karşılaştırılması	86
6. SONUÇLAR	91
KAYNAKLAR.....	95
EKLER.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	101

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
BS	: British Standards
FHWA	: Federal Highway Administration
KASKTAŞ	: Kayar Kalıp Altyapı Sondaj Kazık ve Tecrit Anonim Şirketi
SBMA	: Single Bore Multiple Anchors
SPT	: Standard Penetration Test
TS	: Türk Standartları



SEMBOLLER

c	: Kohezyon
τ_{ult}	: Zemin veya kaya/kök etkileşimi için adhezyon değeri
δ	: Deplasman





ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 : Zeminlerde tavsiye edilen delgi ekipmanları (SOILMEC, 2016).	5
Çizelge 3.1 : Farklı kesit alanlarına sahip ankraj çelik halatlarının karşılaştırılması (VSL, 2010).	16
Çizelge 3.2 : Performans testinin uygulama adımları (FHWA, 1999).	29
Çizelge 3.3 : Genişletilmiş sünme testinin yükleme şeması (TS EN 1537, 2001). ...	33
Çizelge 3.4 : Kök bölgesi ön tasarımı için SPT darbe sayılarına göre taşıma gücü (FHWA, 1999).	41
Çizelge 3.5 : Farklı zemin ve kaya sınıfları için önerilen ankraj kök bölgesi ile zemin/kaya etkileşiminin kayma gerilmeleri değeri (FHWA, 1999). ..	42
Çizelge 3.6 : RQD değerlerine göre kaya kalitesinin belirlenmesi (ASTM D6032, 2017).	46
Çizelge 3.7 : SPT darbe sayılarına göre ince daneli zeminlerin kıvamı ve iri daneli zeminlerin rölatif sıkılığı (AASHTO, 1988).	48
Çizelge 3.8 : Saha deneylerinin uygulanabilirliği ve saha deneylerinden elde edilebilen sonuçlar (FHWA, 1999).	48
Çizelge 5.1 : Zemin araştırma sondajlarına ait genel bilgiler.	58
Çizelge 5.2 : Zeminin ve kayanın mühendislik parametreleri.	66
Çizelge 5.3 : SBMA test ankrajlarına ait özet bilgiler.	68
Çizelge 5.4 : İki üniteli ankrajların sonuçları ve özet bilgiler.	85
Çizelge 5.5 : Üç üniteli ankrajların sonuçları ve özet bilgiler.	85



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 : Çelik boru destekli iksa sistemleri.....	4
Şekil 2.2 : Kayalarda kullanılması tavsiye edilen delgi ekipmanları (SOILMEC, 2016).....	6
Şekil 2.3 : Konsol çalışan fore kazıklı iksa sistemi.	6
Şekil 2.4 : Kesişen kazıklı iksa sistemi.....	7
Şekil 2.5 : Diyafram duvarlı iksa sistemi.....	8
Şekil 2.6 : Püskürtme betonlu iksa sistemi.	9
Şekil 2.7 : Kuyu perdeli iksa sistemi.	10
Şekil 2.8 : Şevlendirme yöntemi ile derin kazı uygulaması.	11
Şekil 3.1 : Enjeksiyon yöntemine göre ankraj tipleri (FHWA, 1999).	14
Şekil 3.2 : Öngermeli ankraj elemanları.	15
Şekil 3.3 : Ankraj başlığı ve kaması.	17
Şekil 3.4 : Ankraj delgisi yapılması.....	21
Şekil 3.5 : Muhafaza borusu yardımıyla ankraj delgisi yapılması.....	22
Şekil 3.6 : Öngermeli ankraj testi.	26
Şekil 3.7 : Performans testi kayıt grafiği (FHWA, 1999).	28
Şekil 3.8 : Kanıt testi sonucu grafiği örneği (FHWA, 1999).	31
Şekil 3.9 : Ankraj kabul kriterlerinin değerlendirilmesi (FHWA, 1999).	32
Şekil 3.10 : Geniştirilmiş sünme testinin örnek yükleme – zaman grafiği (FHWA, 1999).	33
Şekil 3.11 : Öngerme sırasında kök bölgesinde meydana gelen deplasmanların şematik olarak gösterilmesi (FHWA, 1999).	35
Şekil 3.12 : Karayolları inşaatında beton ağırlık duvarı (FHWA, 1999).	36
Şekil 3.13 : Karayolları inşaatında kalıcı ankrajlı duvarlar (FHWA, 1999).	36
Şekil 3.14 : Şev stabilitesi problemlerinde zemin ankrajlarının kullanılması (FHWA, 1999).	37
Şekil 3.15 : Çekme problemleri ve ağır yapılarının stabilizasyonun sağlanması amacıyla kullanılan kalıcı zemin ankrajları (FHWA, 1999).	38
Şekil 3.16 : Serbest ve kök bölgelerinin kayma kamasına göre yerleşimi (FHWA, 1999).	39
Şekil 3.17 : Ankraj kök bölgesinin yükleme sırasında kayma gerilmeleri dağılımı..	41
Şekil 3.18 : Ankrajlarda önerilen minimum yatay aralık (FHWA, 1999).	44
Şekil 4.1 : Tek delgili çok köklü ankraj üniteleri.	49
Şekil 4.2 : Tek delgili çok köklü ankrajların tip kesiti.	50
Şekil 4.3 : Ayrı hidrolik krikolar ile tek delgili çok köklü ankrajların öngerme işlemi.	52
Şekil 4.4 : Tek delgili çok köklü ankrajların kök bölgelerinin gerilme dağılımları. .	54
Şekil 5.1 : Proje sahası inceleme alanının hava fotoğrafı.	55
Şekil 5.2 : İstanbul İli'nde Trakya Formasyonu'nun yüzeyleme haritası (İBB, 2011).	56
Şekil 5.3 : Jeolojik kesitlerin yönleri.	59
Şekil 5.4 : Doğu - Batı doğrultusu 1 nolu kesiti.	60
Şekil 5.5 : Kuzey-Güney doğrultusu 1 nolu kesiti.....	61
Şekil 5.6 : Kuzey - Güney doğrultusu 1 nolu kesiti.....	61

Şekil 5.7 : Doğu – Batı doğrultusu 2 nolu kesiti.....	62
Şekil 5.8 : Kuzey - Güney doğrultusu 2 nolu kesiti.....	63
Şekil 5.9 : SPT N30 darbe sayıları – kot grafiği.....	65
Şekil 5.10 : SBMA-1 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.....	69
Şekil 5.11 : SBMA-2 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.....	70
Şekil 5.12 : SBMA-3 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.....	71
Şekil 5.13 : SBMA-4 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.....	72
Şekil 5.14 : SBMA-5 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.....	73
Şekil 5.15 : SBMA-6 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.....	74
Şekil 5.16 : SBMA-7 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.....	75
Şekil 5.17 : SBMA-8 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.....	76
Şekil 5.18 : SBMA-9 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.....	77
Şekil 5.19 : SBMA-10 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.....	78
Şekil 5.20 : SBMA-1 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.....	79
Şekil 5.21 : SBMA-2 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.....	80
Şekil 5.22 : SBMA-3 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.....	80
Şekil 5.23 : SBMA-4 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.....	81
Şekil 5.24 : SBMA-5 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.....	81
Şekil 5.25 : SBMA-6 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.....	82
Şekil 5.26 : SBMA-7 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.....	82
Şekil 5.27 : SBMA-8 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.....	83
Şekil 5.28 : SBMA-9 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.....	83
Şekil 5.29 : SBMA-10 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.....	84
Şekil 5.30 : Geleneksel ankrajların kök bölgesinde oluşan gerilmelerin dağılımı. ...	87
Şekil 5.31 : Tek delgili çok köklü ankrajların kök bölgesinde oluşan gerilmelerin dağılımı.....	88
Şekil A.1 : Test ankrajlarının lokasyonları.....	100

GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE ÖZEL ANKRAJLAR

ÖZET

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği'nin en önemli konularından ikisi olan derin kazılar ve iksa sistemleri, günümüzde, yeraltındaki ofis, otopark, konut, metro gibi yapılaşmalara olanak sağlamaktadır. Ülkemizde, yerel tecrübe yeterliliği, düşük maliyetli olması, birçok düşey destek elemanı ile bir bütün olarak çalışabilmesi ve tüm zemin ve kaya türlerinde uygulanabilir olması nedeniyle, inşa edilen iksa sistemlerinde, en çok tercih edilen yatay destek elemanları öngermeli zemin ankrajlarıdır. Son yıllarda kullanılmaya başlayan, geleneksel öngermeli zemin ankrajları ile benzer şekilde inşa edilen ve benzer prensipte çalışan tek delgili çok köklü ankraj uygulaması, son birkaç yıl içerisinde ülkemizde de yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle düşük mühendislik parametrelerine sahip zeminlerde etkili bir çözüm yöntemi olarak kullanılabilen tek delgili çok köklü ankrajlar, proje maliyetlerini oldukça düşürmektedir ve iş programlarında iyileştirmeler sağlamaktadır. Bu çalışmada, ilk olarak, geleneksel öngermeli zemin ankrajları ile son yıllarda geliştirilmiş ve kullanımı yaygınlaşmış, bir çeşit öngermeli ankraj çeşidi olan tek delgili çok köklü ankrajların imalat yöntemleri ve çalışma prensiplerinden bahsedilmiştir. Daha sonra, tek delgili çok köklü ankraj imalatı yapılacak olan bir inceleme alanı, zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliği açısından değerlendirilmiştir. Son olarak, uygulama alanında inşa edilen test ankrajlarının test sonuçları değerlendirilmiştir ve tek delgili çok köklü ankrajlar ile geleneksel öngermeli ankrajların aynı zemin koşullarında karşılaştırması yapılmıştır. İnceleme alanında, 2 ve 3 üniteli olmak üzere iki farklı tip tek delgili çok köklü ankraj imalatı gerçekleştirilmiştir. Proje sahasının çeşitli bölgelerinde yapılan performans testleri sonucunda, söz konusu tek delgili çok köklü ankrajların, sünme kriterini de sağlayarak 600kN ila 1050kN değerleri arasında bir taşıma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Aynı inceleme alanında, eşit zemin parametreleri ile geleneksel öngermeli ankrajların taşıma kapasitesi değeri, bazı mühendislik yaklaşımları ile birlikte 280kN olarak hesaplanabilmektedir. İnceleme alanında yapılan performans testleri ve bazı yaklaşımlar sonucundan da görüldüğü üzere, geleneksel öngermeli ankrajların taşıma kapasitesi, tek delgili çok köklü ankrajların taşıma kapasitesinin yarısından daha da düşüktür. Bu karşılaştırmadan da çıkarılabileceği gibi, özellikle zayıf mühendislik parametrelerine sahip zeminlerde, tek delgili çok köklü ankrajlar geleneksel ankrajlara göre çok daha etkili çözümler üretebilmektedir.



SPECIAL GROUND ANCHORS IN GEOTECHNICAL ENGINEERING

SUMMARY

From past to present, the deep excavations have been needed in various places around the world. Due to the requirements of the infrastructures, deep excavations and shoring systems which are ones of the important subjects of the geotechnical engineering are provided the construction of the deep structures. Although, the cost of slope method is more lower than the other deep excavations method, it cannot be applicable in crowded areas due to the neighbourhood structures, infrastructures, subway lines, etc. Therefore, the construction of shoring system is inevitable in order to excavate deep foundation levels in crowded areas. The shoring systems can be designed as cantilever or horizontal supported. In Turkey, there are many types of shoring systems which are applicable, for instance, the bored pile shoring system, reinforced shear wall shoring system, shotcrete wall shoring system, diaphragm wall shoring system, sheet pile shoring system, etc. Generally, the shoring systems need horizontal supports like prestressed ground anchor, soil nail, steel strut, reinforced concrete beam and tie-back with respect to adjacent structures, soil/rock conditions and their service life. The most preferred horizontal support structures which are constructed in Turkey are prestressed ground anchors due to the low cost, more experience, and applicable for the almost all soil and rock conditions. The prestressed ground anchor can be defined as structural component placed in soil or rock that is used to transfer an prestressed load into the ground in order to support vertical structures. The basic components of the traditional prestressed ground anchor are anchorage, free (unbonded) length and bonded length. The unbonded length is that part of the prestressing steel that is free to extend elastically and transfer the prestressed load to the bonded length of the anchor. The bond length is defined as prestressing steel that is bonded to the grout and transfer the applied prestressed load to the soil/rock. An important development in ground anchor technology have taken place since 1980s, has been that single bore multiple anchor systems. The construction of single bore multiple anchors which are one type of ground anchors have been started to use in deep excavations and shoring systems. The concept of single bore multiple anchor system have allowed an important increase in anchor ultimate load capacity in soils. Especially, in soils which have poor engineering properties, the single bore multiple anchors provide more effective solutions than traditional prestressed ground anchors and contribute the project costs and schedules. The subjects of the second part of this thesis have been deep excavations and shoring systems. In that part, the types and general principals of shoring system and methods of deep excavation have been mentioned. In third section, the types and component of traditional prestressed ground anchors have been described. Then, the method of construction of ground anchors have been mentioned and acceptance criterias of testing of them have been explained. After that, soil investigation works and design principals of ground anchors have been mentioned. In fourth part of this study, the single bore multiple anchors which are one of the special ground anchors have been explained and the main similarites and differences between traditional prestressed ground anchors and single bore multiple anchors have been presented. Single bore multiple anchors have included several anchor units in same bore, each of them has its

own short bond length. The main difference between the single bore multiple anchors and traditional prestressed ground anchors is that the single bore multiple anchors have bonded length at different locations in drilled hole. Located of the unbonded length at different locations has provided that concentrated of shear stress around bonded length at different part of drilled hole. It has provided the division of the prestressing load into the each anchor bond length. Therefore, the soil have been exposed to less shear stress (divided shear stress) due to the transfer of the prestressing load to the different locations. In this way, the excessive prestressing loads can be carried by the anchor system. At fifth part of this thesis, a case history study have been analized and evaluated. Soil investigation works and soil and rock profile of the investigation area, designed shoring sytems, performance test results of single bore multiple anchors and comparison of traditional prestressed ground anchors and single bore multiple anchors have been mentioned, respectively. In order to constructed the deep foundation of the constructions in site, some soil investigation works have been performed. In the scope of the soil investigation works, 29 boreholes have been conducted in investigation area. Standard Penetration Tests have been performed during the borehole works. The disturbed and undisturbed samples which had been taken from the boreholes have been sended to the Soil and Rock Mechanics Laboratory in order to perform some laboratory tests. The result of the laboratory tests have been evaluated in accordance of the Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Principals. The components of the shoring system which are horizontal and vertical support structures have been designed in considiration of these laboratory test results. Diaphragm wall type shoring system has been selected as a vertical support structures in order to provide impermeability. These diaphragm walls had been planned to support with two rows of traditional prestressed ground anchors. However, in the investigation area, the traditional prestressed ground anchors would have carried approximately ultimate load of 280kN according to the some basic assumptions. This situation could cause the more project cost and inefficient project schedule. In order to proof the ultimate load capacity of the single bore multiple anchors, at the beginning of the project, 10 performance tests have been performed. Then, the results of these tests have indicated that the ultimate load capacity of single bore multiple anchors have been between load of 600kN and 1050kN with respect to the analysis of elastic movements, permanent movements and creep test criterias. No load loss on test anchors during the creep tests was encountered within a normal time period at maximum test load. This system have provided the avoiding the progressive debonding. According to the results and evaluations of performance tests, instead of traditional prestressed ground anchors, the construction of single bore multiple anchors has been preferred. Taking everything into account, it can be seen that the single bore multiple anchors ultimate load capacity have been more than two times of ultimate load capacity of traditional ground anchors at the same soil conditions. For the traditional ground anchors, anchor bonded length longer than 10.00m do not contribute the ultimate load capacity of anchors. However, using the single bore multiple anchor system, the bonded length of anchor system can be extended. Besides, the single bore multiple anchors have a larger factor of safety against creep than traditional ground anchors. The stress distribution during the prestressing of anchor tendons is non-uniform due to general incompatibility between elastic modulus of the anchor tendon, anchor grout and the ground. In the majority of traditional ground anchors, the bond stress is focused at the proximal end of the bonded length, while the distal end of the fixed length remains stress free. As prestressing load is increased, the bond stress at proximal end of the bonded length along either the tendon and grout interface or grout or ground interface is exceeded. Then, the bond

stress reduces to a residual value at that location and movement occurs. Using single bore multiple anchor system have permitted the transfer of prestressed load to the distal end. Finally, it can be easily seen that instead of two rows of traditional prestressed ground anchor systems, one row of single bore multiple anchor system can be constructed as a horizontal support component. So, this situation have been provided much less project cost and more efficient schedule.





1. GİRİŞ

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği'nin önemli konularından biri olan derin kazılar ve iksa sistemleri, özellikle metropollerde, yeni kullanım alanlarının açılması amacıyla sıkça uygulanmaktadır. Şevlendirme yöntemi ile derin kazı uygulaması maliyetinin, iksa sistemlerinden daha düşük olmasına karşın, kalabalık ve yoğun bölgelerde, şantiye alanı sınırlarının çevresinde komşu yapıların bulunması, altyapı hatlarının bulunması, metro hatlarının bulunması gibi nedenlerden dolayı, her zaman şevlendirme ile kazı yapılmasına müsaade etmemektedir. Bu sebeplerden dolayı, iksa sistemlerinin inşa edilmesi kaçınılmaz bir hal almaktadır.

Ülkemizde, derin kazı uygulamalarında iksa sistemleri sık sık kullanılmaktadır. Özellikle İstanbul'da, metro ve tünel inşaatları sırasında, yüksek katlı yapıların otopark ihtiyaçlarını karşılamak için yapılan bodrum kazılarında, yapılaşmanın yoğun olduğu semtlerde, derin kazı yöntemi olarak iksa sistemlerine başvurulmaktadır. İksa sistemlerinin destek elemanları, yatay ve düşey destek elemanları olmak üzere iki gruba ayrılabilirler. İksa sistemlerinde, düşey destek elemanları olarak kullanılan yapılara örnek olarak, fore kazıklar, çakma kazıklar, diyafram duvarlar, kuyu perdeler, kesişen kazıklar, aç-kapa perdeler ve palplanşlar verilebilir. Yatay destek elemanları olarak kullanılan yapılar ise, öngermeli ankrajlar, çelik boru destekler, tie-back'ler ve zemin çivileri olarak örneklendirilebilir. Ülkemizde inşa edilen iksa sistemlerinde en yaygın olarak yatay destek elemanı öngermeli zemin ankrajlarıdır.

Öngermeli ankraj çeşidi olan tek delgili çok köklü ankraj kullanımı da son yıllarda ülkemizde yaygın hale gelmeye başlamıştır. Tek delgili çok köklü ankraj imalatının geleneksel öngermeli ankrajlarla çok benzer ve kolay olması ve geleneksel öngermeli ankrajlarla kıyasla çok daha yüksek performans göstermeleri, kullanımlarını cazip hale getiren en önemli iki neden olarak gösterilebilir.

Bu çalışmada, genel olarak derin kazılar ve iksa sistemlerinden bahsedilmiş ve iksa sistemleri inşa edilmesinin nedenlerinden bahsedilmiştir. Bu çalışmanın ikinci bölümde, geleneksel öngermeli ankrajların temel tasarım prensipleri ve imalat

yöntemleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, tek delgili çok köklü ankrajların imalat yöntemlerine, öngörme uygulamalarına ve çalışma prensibine vurgu yapılmıştır. Dördüncü bölümde, tek delgili çok köklü ankraj uygulamasının yapıldığı bir projede yapılan çalışmalar özetlenerek, tek delgili çok köklü ankrajların performansı değerlendirilmiştir. Son bölümde ise bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan hareketle, geleneksel öngermeli ankrajlar ile tek delgili çok köklü ankrajlar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.



2. DERİN KAZILAR VE İKSA SİSTEMLERİ ÇEŞİTLERİ

2.1 Derin Kazılar

Günden güne, nüfusla birlikte artan konut ihtiyaçları, arsa maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Artan nüfus, konut ihtiyacının yanında, iş yeri, otopark, metro istasyonları gibi yapıların da ihtiyacını doğurmaktadır. İstanbul gibi büyük metropollerde, kullanım alanlarının azalmasıyla birlikte artış gösteren arsa maliyetleri, alternatif kullanım alanları arayışını kaçınılmaz hale getirmiştir. Bunun sonucunda ihtiyaç duyulan alternatif alanlar, derin kazılar sonucunda elde edilen ilave kullanım alanları ile karşılanabilmektedir.

Arsa maliyetlerinin yüksek ve yapılaşmanın yoğun olduğu şehirlerde, derin kazı inşaatını şevlendirme uygulaması ile tamamlamak söz konusu değildir. Dolayısıyla, söz konusu bölgelerde derin kazı uygulama yöntemlerinde iksa sistemleri kullanılmaktadır. Yapılaşmanın yoğun olduğu alanlarda, iksa sistemleri, yanal zemin basıncının dengelenmesi ve komşu yapıların stabilizasyonun sağlanması açısından büyük rol oynamaktadır.

2.2 Derin Kazı Yöntemleri ve İksa Sistemleri Çeşitleri

Günümüzde, derin kazılar inşası sırasında uygulanan iksa sistemlerinde, yatay ve düşey destek elemanları olarak birçok yöntem kullanılmaktadır.

Düşey destek elemanları olarak, iksa sisteminin servis süresi, iksa sisteminin işlevselliği, uygulama alanının zemin sınıfı, mevsim koşulları, kazı derinliğine bağlı olarak, kazıklar, diyafram duvarlar, püskürtme betonlu duvarlar, palplanşlar, kuyu perdeler kullanılabilmektedir. Derin kazılar, düşey destek elemanları olmadan, serbest şevlendirme yöntemi ile de teşkil edilebilmektedirler. Proje alanının komşu bölgelerinin elverişli olduğu yerlerde, serbest şevlendirme yöntemi, düşük maliyetli ve hızlı olması gerekçesiyle tercih edilebilmektedir.

İksa sistemleri inşaatı sırasında, oluşması muhtemel olan deplasmanlar, iksa sisteminde veya komşu yapılarda herhangi bir hasar oluşmaması için, kısıtlanmak

zorundadır (Kuntsche, 2007). Bu sebeple, düşey destek elemanları, yatay destek elemanları ile desteklenirler. Yatay destek elemanları olarak, seçilen düşey destek elemanına göre, öngermeli ankrajlar, kaya bulonları, zemin çivileri, tie-back'ler, çelik veya betonarme destek elemanları (strut'lar) kullanılabilir. Yatayda çelik borular ile desteklenen bir iksa sisteminin fotoğrafı Şekil 2.1'de verilmiştir. Kullanılacak olan yatay destek elemanının seçilmesinde, zemin formasyonu, komşu yapıların durumu ve maliyetler önemli rol oynamaktadır.



Şekil 2.1 : Çelik boru destekli iksa sistemleri.

Ülkemizde en çok kullanılan yatay destek elemanı öngermeli zemin ankrajlarıdır. Öngermeli ankraj imalatlarının, görece hızlı ve ekonomik olması, hemen her zemin koşulunda uygulanabilir olması, ülkemizde çokça tecrübe edilmiş olması, imalat sırasında kullanılan makine ve ekipmanın rahat bulunabilir olması, hem kalıcı hem de geçici iksa sistemlerinde kullanılabilir olması, en çok tercih edilme sebeplerindendir.

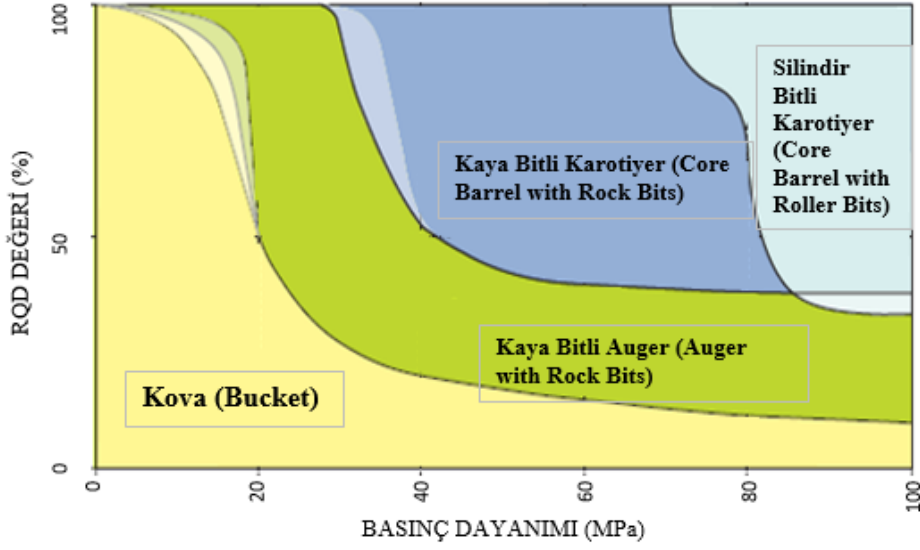
Son yıllarda geliştirilen “Tek Delgili Çok Köklü Ankrajlar (Single Bore Multiple Anchors)” geleneksel öngermeli ankrajlara göre daha hızlı ve ekonomik çözümler üretmiştir. Ülkemizde henüz yaygınlaşmayan Tek Delgili Çok Köklü Ankrajlar, geleneksel öngermeli ankrajlarla benzer şekilde uygulanmaktadırlar.

2.2.1 Kazıklı iksa sistemleri

Kazıklar, çakma kazıklar ve fore kazıklar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Çakma kazıklar, sert zeminde ve kayada tercih edilmezler. Tüm zemin ve kaya türlerinde uygulanabilir olması, ülkemizde birçok firma tarafından uygulanabilir olması, hızlı ve ekonomik bir çözüm olması, fore kazıkların, ülkemizde en çok tercih edilme sebeplerindendir. Fore kazıklar, belli ekipmanlarla, yerinde açılan forajlar içerisine, donatının yerleştirilmesinden sonra betonlanmasıyla teşkil edilirler. Foraj ekipmanları, augerler, bucket'lar ve karotiyerler olmak üzere 3'e ayrılırlar. Çeşitli zemin ve kaya sınıflarında kullanılması önerilen delgi ekipmanları Çizelge 2.1 ve Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Zeminlerde tavsiye edilen delgi ekipmanları (SOILMEC, 2016).

Zemin Tanımı					Delgi Ekipmanları	
					Kova (Bucket)	Auger
İri Daneli Zeminler	Çakıl oranı %50'den fazla olan zeminler	GW	33°-45° 0kPa	İyi derecelendirilmiş çakıllar ve kumlu çakıllar (ince dane oranları %5'ten düşük)	✓	
		GP	33°-45° 0kPa	Kötü derecelendirilmiş çakıllar ve kumlu çakıllar (ince dane oranları %5'ten düşük)	✓	
		GM	30°-40° 0kPa	Siltli ve kumlu çakıllar (ince dane oranları %12'den fazla)	✓	
		GC	30°-40° 0kPa	Killi çakıllar (ince dane oranları %12'den fazla)	✓	
	Kum oranı %50'den fazla olan zeminler	SW	30°-40° 0kPa	İyi derecelendirilmiş kumlar (ince dane oranları %5'ten düşük)	✓	
		SP	30°-40° 0kPa	Kötü derecelendirilmiş kumlar (ince dane oranları %5'ten düşük)	✓	
		SM	28°-35° 0kPa	Siltli kumlar (ince dane oranları %12'den fazla)	✓	✓
		SC	28°-35° 0kPa	Killi kumlar (ince dane oranları %12'den fazla)	✓	✓
İnce Daneli Zeminler	Likit limiti 50'den düşük olan killer ve siltler	ML	0-200kPa	Düşük plastisiteli siltler	✓	✓
		CL	0-300kPa	Düşük plastisiteli inorganik killer, siltli ve kumlu killer	✓	✓
		OL	0-200kPa	Organik siltler ve düşük plastisiteli organik siltli killer	✓	✓
	Likit limiti 50'den yüksek olan killer ve siltler	MH	0-20kPa	Yüksek plastisiteli siltler	✓	✓
		CH	0-200kPa	Yüksek plastisiteli killer	✓	✓
		OH	0-10kPa	Organik killer, organik siltler	✓	✓
	Organik Zeminler	-	0-10kPa	Diğer organik zeminler	✓	✓



Şekil 2.2 : Kayalarda kullanılması tavsiye edilen delgi ekipmanları (SOILMEC, 2016).

Fore kazıkların çapları genellikle 65 ila 200cm arasında değişiklik göstermektedir. Fore kazıklı iksa sistemleri, konsol olarak çalışabileceği gibi, yatayda teşkil edilen kuşak kirişleri aracılığıyla öngermeli ankrajlar, çelik boru destekler, zemin çivileri veya tie-back'ler gibi yatay destek elemanları ile desteklenebilirler. Konsol olarak çalışan fore kazıklar kullanılarak oluşturulan bir iksa sistemi örneği Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Konsol çalışan fore kazıklı iksa sistemi.

Kesit çapları 10 ila 40cm arasında değişen kazıklar mini kazıklar olarak adlandırılırlar. Mini kazıklar, görece daha düşük derinlikteki kazılarda tercih edilirler. Kesitleri fore kazıkların kesitlerine göre çok daha düşük olduğundan, düşük kesit tesirlerinin etkidiği iksa sistemi perdelerinde tercih edilmeleri daha hızlı ve ekonomik sonuçlar doğurabilmektedir. Mini kazıklar, fore kazıklarda olduğu gibi, yatayda elik boru destekler, ngermeli ankrajlar, zemin çivileri veya tie-back'lerle desteklenebilmektedirler.

Fore kazıklarla inşa edilen bir diğer iksa sistemi eşidir ise kesişen kazıklı iksa sistemleridir. Genellikle geçirimsiz bir iksa sistemine ihtiyaç duyulduğu zaman tercih edilirler. Kesişen kazıklı iksa sistemleri, primer (birincil) ve sekonder (ikincil) fore kazıklardan oluşmaktadır. Primer kazıklar, kazık forajı tamamlandıktan sonra, donatı olmaksızın delgilinin betonlanması şeklinde inşa edilirler. Daha sonra, sekonder kazıkların forajı, inşa edilen primer kazıklarla kesişecek şekilde tamamlanır. Foraj tamamlandıktan sonra, donatı kafesi indirilir ve sekonder kazık imalatının betonlama işlemine geçilir. Böylece geçirimsiz bir iksa sistemi oluşturulması hedeflenmektedir. Kesişen kazıklar, fore kazıklarda olduğu gibi, yatayda elik boru destekler, ngermeli ankrajlar, zemin çivileri veya tie-back'ler gibi yatay destek elemanları ile desteklenebilirler. Yatayda elik boru desteklerle desteklenen kesişen kazıklı iksa sistemine ait bir fotoğraf şekil 2.4'te gösterilmiştir.



şekil 2.4 : Kesişen kazıklı iksa sistemi.

2.2.2 Diyafram duvarlı iksa sistemleri

Diyafram duvarlar, uygulama sırasında anolar halinde imal edilen, geoteknik mühendisliği alanındaki en özel imalatlardandır. Genellikle geçirimsiz bir iksa sistemi ihtiyaç doğduğunda tercih edilirler. Anolar halinde imal edildiğinden dolayı, anolar arasındaki geçirimsizliği sağlayabilmek, sistemin geçirimsizliği açısından büyük

önem arz etmektedir. Zemin ve kaya koşullarına göre, uygulamada ön foraj sırasında kullanılan ekipmanlar da değişiklik gösterebilmektedir.

Diyafram duvar delgisi sırasında kullanılan ekipmanlar, hidrofreze ve grab olmak üzere ikiye ayrılırlar. Hidrofreze ekipmanının düşeyden sapması, grab ekipmanına göre daha düşük olmasından dolayı, düşeyden sapmanın sınırlı olduğu projelerde hidrofreze ile foraj yapımı tavsiye edilmektedir (Lubach, 2010). Genellikle, sert zeminlerde ve kayalarda hidrofreze kullanılırken, görece zayıf zeminlerde ise grab ekipmanı, düşük maliyetli ve hızlı olması sebebiyle tercih edilmektedir.

Diyafram duvarlı iksa sistemleri konsol olarak çalışabileceği gibi, öngermeli ankrajlar ve çelik boru desteklerle yatayda desteklenerek uygulanabilirler. Yatayda öngermeli ankrajlarla desteklenen diyafram duvarlı iksa sistemi örnek fotoğrafı Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

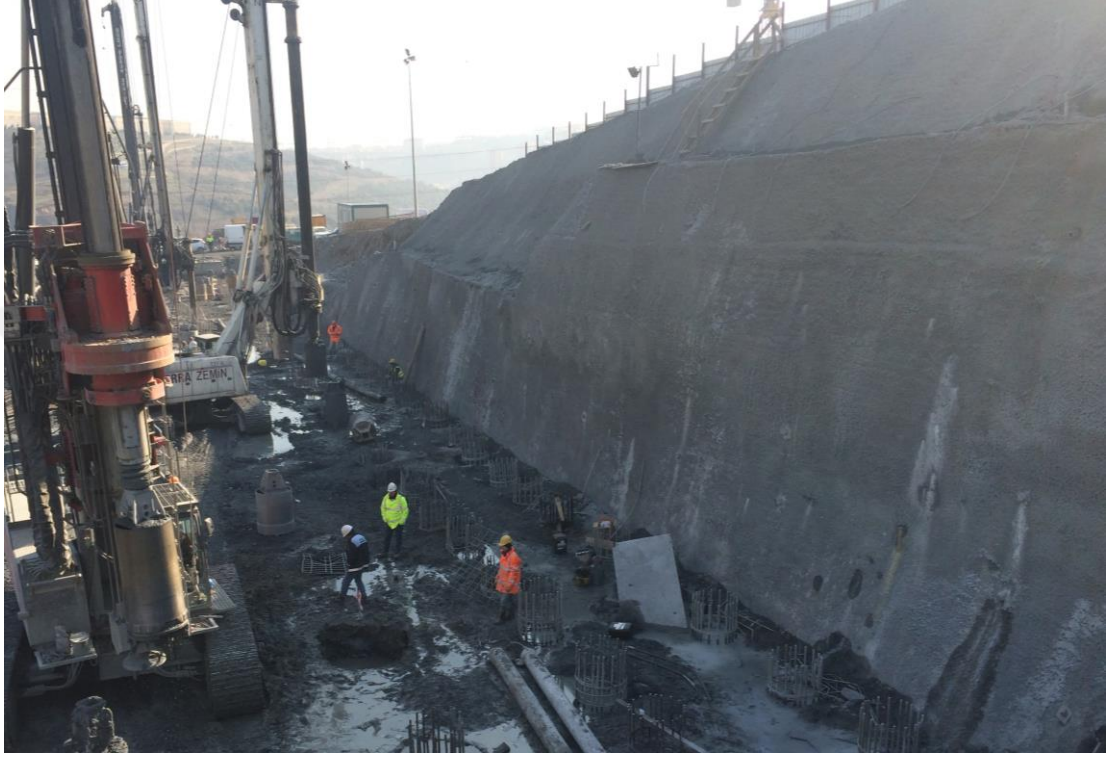


Şekil 2.5 : Diyafram duvarlı iksa sistemi.

2.2.3 Püskürtme betonlu iksa sistemleri

Püskürtme betonlu iksa sistemleri, genellikle kazı aynalarını atmosfer etkilerinden korumak için kullanılırlar. Kademeler halinde teşkil edilen sistemler, kazı aynasına uygulanan püskürtme beton ile uygulanır. Betonun çatlamaması için genellikle çift sıra hasır çelik donatılar kullanılır. Püskürtme beton kullanılarak teşkil edilmiş duvarlarda,

genellikle, yatay destek elemanları olarak zemin çivileri tercih edilmektedir. Zemin çivileri, bir delgi içerisine enjeksiyonla birlikte yerleştirilen donatılardır. Bir öngerme yükün verilmediğinden pasif ankrajlar olarak da tanımlanırlar (FHWA, 2015). Yatayda zemin çivileriyle desteklenmiş bir püskürtme beton duvarlı iksa sistemi Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Püskürtme betonlu iksa sistemi.

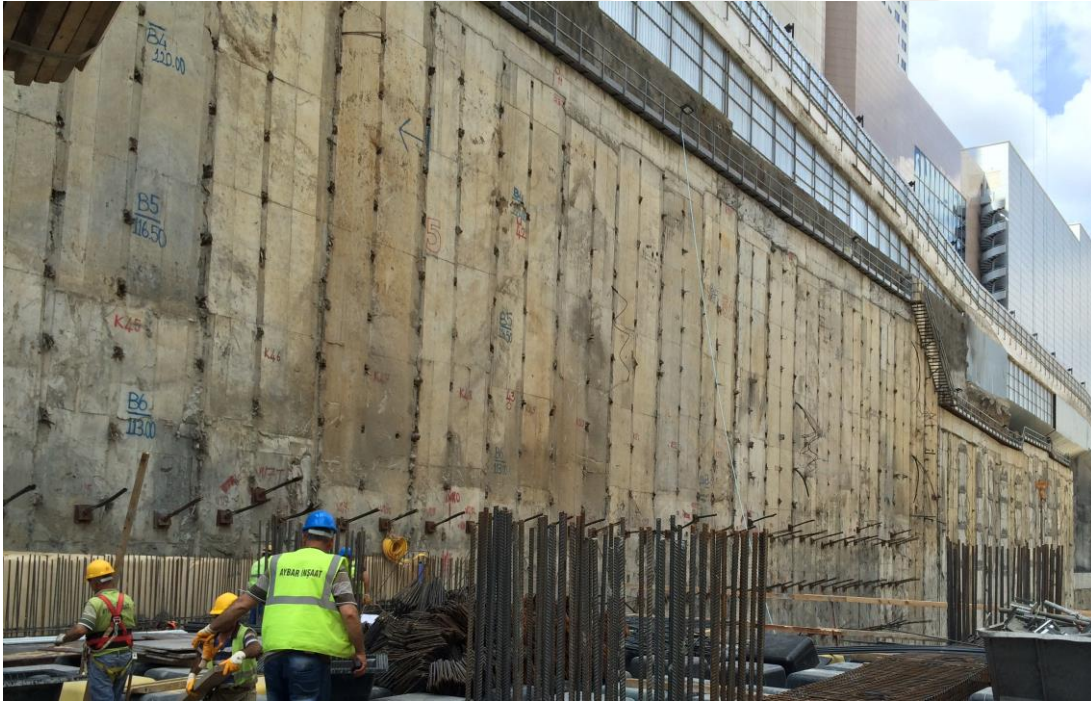
2.2.4 Palplanşlar

Palplanşlar, birbirine geçmiş çelik profillerin zemine penetre edilmesiyle imal edilirler. Her zemin koşulunda penetrasyon uygulaması mümkün olmayacağından dolayı, palplanşlar her zemin koşulunda uygulanamazlar. Diyafram duvarlar gibi, yatay destek elemanı dışında, geçirimsiz bir perdeye de ihtiyaç duyulan projelerde uygulanırlar. Geçici iksa yapılarında, palplanşlar görevini tamamladıktan sonra çıkartılarak tekrar tekrar kullanılabilirler. Bundan dolayı, koşullar el verdiğiğinde, ekonomik bir çözüm olarak uygulanabilirler.

Ankrajlı palplanş duvarlar, çeşitli mühendislik problemlerinde, servis ömürlerine göre kalıcı veya geçici olarak inşa edilebilirler. Bazı durumlarda, genellikle karayolu inşaatları sırasında, dik eğimli yamaçları desteklemek için kullanılırlar (Bilgin ve Erten, 2009).

2.2.5 Kuyu perdeli iksa sistemleri

Kuyu perdeler, uygulama alanı sınırında, yeterli çalışma payı bulunmadığında uygun bir çözüm olarak uygulanırlar. 20.00 ila 30.00m derinliğe kadar çözüm olarak uygulanabilen kuyu perdeler, genellikle 2.00m genişliğinde, insan gücüyle veya el makineleriyle kazısı yapılarak uygulanırlar. Yapılan kazı, geçici olarak ahşap iksalarla desteklenir. Kazı imalatı tamamlandıktan sonra, donatı kafesi kazı çukuruna indirilir. Daha sonra kalıp imalatlarından sonra perde beton dökme işlemine geçilir ve perde imalatı tamamlanır. Perde imalatı tamamlandıktan sonra, perdenin önündeki kazı çukuru uygun dolgu malzemesi veya düşük kaliteli beton (grobeton) ile doldurulması, iksa perdesinin ilave yüklemelere maruz kalmaması açısından önem arz etmektedir. Zeminin stabilizasyonun güvenli bir şekilde sağlanabilmesi için, belli aralıklardaki anklar halinde kazı yapılması gerekmektedir. Kuyu perdeli iksa sistemleri, konsol olarak çalışabileceği gibi, yatayda öngermeli ankrajlar, çelik boru destekler, zemin çivileri gibi yatay destek elemanları ile desteklenerek de uygulanabilirler. Örnek bir kuyu perdelerle teşkil edilmiş iksa sistemi Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Kuyu perdeli iksa sistemi.

2.2.6 Şevlendirme yöntemi

Şev, genel anlamda, yatayda ya da mevcut arazi yüzeyi ile belirli bir açı yapan zemin veya kaya kitlesi olarak tanımlanabilir (Cernica, 1995). Proje arazisinin elverdiği durumlarda kullanılabilecek en hızlı ve düşük maliyetli kazı yöntemidir. Komşu

yapıların bulunmadığı proje sahalarında tercih edilirler. Zeminin mühendislik parametrelerine göre, yatayda ve düşeyde belirli uzunluklarla serbest kazılmasıyla uygulanır. Ancak, derin kazılarda, kazılan alanların geri dolgu imalatlarının da kazı derinliğine bağlı olarak artacağından dolayı, belirli derinlikten sonra, şevli kazılar tercih edilmezler. Şevlerin stabil durumda kalmalarını etkileyen birçok neden bulunmaktadır. Şev duraylılığının kaybolmasına etki eden nedenler, jeolojik süreksizlikler, yeraltı suyu ve atmosfer koşulları, zeminin parametreleri, dinamik etkiler ve şevin geometrisi olarak sıralanabilir (Pınarlık ve diğ, 2017).

Şevlendirme yöntemi ile uygulanan derin kazı sisteminin fotoğrafı Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : Şevlendirme yöntemi ile derin kazı uygulaması.

Şekil 2.8’den de görüldüğü gibi, görece derin bir kazı, şev kademeleri teşkil edilerek gerçekleştirilmiştir. Şev eğimleri, zeminin/kayanın mühendislik özelliklerine ve komşu yapılara göre belirlenmektedir. Şekilde gösterilen şev, görece yüksek bir şev olduğundan 3 kademe teşkil edilmiştir.

Şev eğimleri, yapılacak olan hafriyat kazıları ve inşaat sonrasında yapılacak olan geri dolgu imalatları göz önünde bulundurularak olabildiğince dik yapılmalıdır. Ancak, şevler teşkil edilirken, şev stabilitesi de mutlaka sağlanmalıdır.



3. GELENEKSEL ÖNGERMELİ ANKRAJLAR

3.1 Genel

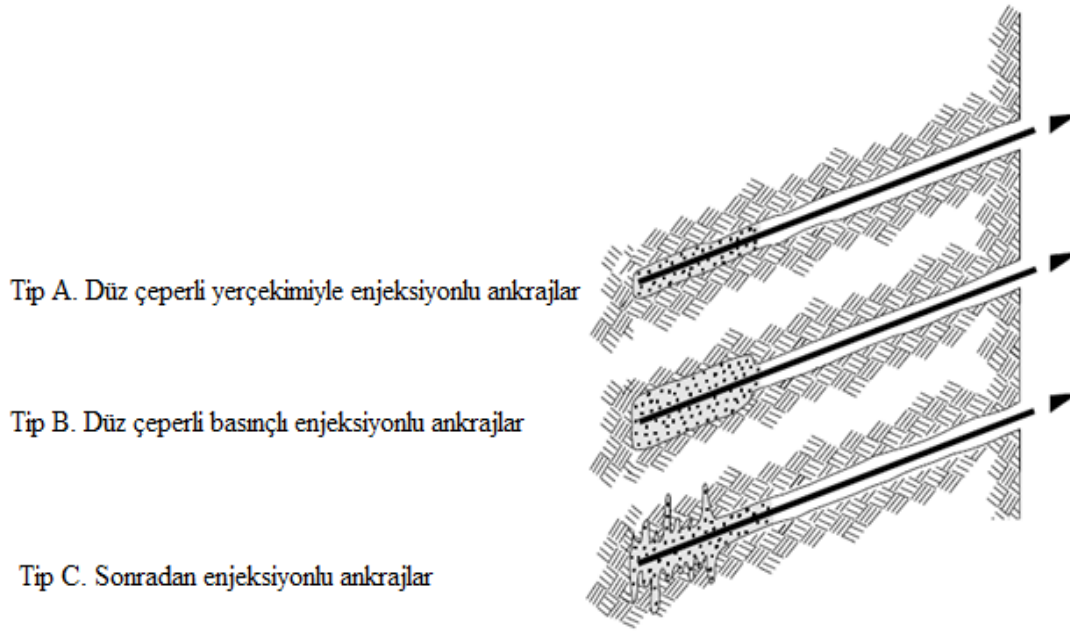
Öngermeli ankrajlar, uygulanan çekme yükünü aktif kayma kamasının arkasındaki zemine veya kayaya aktaran yapı elemanlarıdır. Zemin ankrajları, enjeksiyon dolu ankraj delgilerine teşkil edilirler. Delgi içerisindeki enjeksiyon aracılığıyla çekme yükü ankraj tendonlarından zemine veya kayaya aktarılır.

3.2 Öngermeli Ankraj Tipleri

Öngermeli zemin ankrajları, servis ömürlerine göre, geçici ve kalıcı öngermeli ankrajlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Geçici öngermeli ankrajlar, geçici süreli iksa sistemlerinde uygulanırlar. Bu ankrajların süresi, tasarım kriterlerine göre 6 ila 24 arasında değişiklik gösterebilmektedir. Kalıcı öngermeli ankrajlar, ömürlük tasarlanan iksa sistemlerinde uygulanırlar.

Kalıcı öngermeli ankrajlar ve geçici öngermeli ankrajlar büyük ölçüde aynı prensipte çalışmaktadırlar. Kalıcı ankrajlarda, geçici ankrajlardan farklı olarak, korozyon etkisini de göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Korozyon etkisinden dolayı, ankraj çelik halatlarının kesitleri küçülebileceğinden, çelik halat kesitleri ankraj yükünü taşımakta yetersiz kalabilecektir. Buna bağlı olarak, zamanla ankraj kök bölgesindeki enjeksiyonda veya ankraj çelik halatlarında oluşabilecek deplasmanlar, ankraj yükünün bir kısmının veya tamamının boşalmasına sebep olabilecektir. Boşalan ankraj yükleri, iksa sisteminin yatay desteğinin ortadan kalkmasına sebep olacağından, iksa sisteminin stabilitesini olumsuz yönde etkileyebilecek ve iksa sistemi göçme tehlikesiyle karşı karşıya kalabilecektir.

FHWA'ya (1999) göre, öngermeli zemin ankrajları enjeksiyon yöntemlerine göre, düz çeperli yerçekimiyle enjeksiyonlu ankrajlar, düz çeperli basınçlı enjeksiyonlu ankrajlar ve sonradan enjeksiyonlu ankrajlar olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadırlar. Enjeksiyonlama yöntemlerini gösteren görsel Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Enjeksiyon yöntemine göre ankraj tipleri (FHWA, 1999).

3.2.1 Düz çeperli yerçekimiyle enjeksiyonlu ankrajlar

Düz çeperli yerçekimiyle enjeksiyonlu ankrajlar genellikle kayalarda ve çok katı-sert kohezyonlu zeminlerde uygulanmaktadır. Bu tip uygulamada, öngermeli ankrajın çekme kapasitesini belirleyen faktör kaya veya çok katı-sert zemin ile enjeksiyon arasındaki yüzeyin kayma gerilmesidir.

3.2.2 Düz çeperli basınçlı enjeksiyonlu ankrajlar

Düz çeperli basınçlı enjeksiyonlu ankrajlar genellikle kaba daneli zeminlerde ve çatlaklı yapıda bulunan kayalarda uygulanmaktadır. Bu tip uygulamada, enjeksiyon delgiye 300-400kPa basınçla doldurulmaktadır. Bu uygulama, delgi çapının yüksek basınçlarda genişletilmesini ve bu genişleme sayesinde de çeperlerdeki zeminin sıkışmasını sağlamaktadır. Bunun sonucunda, zemin ile enjeksiyon arasındaki yüzeyin kayma gerilmesi artırılarak öngermeli ankraj kapasitesi de artırılır.

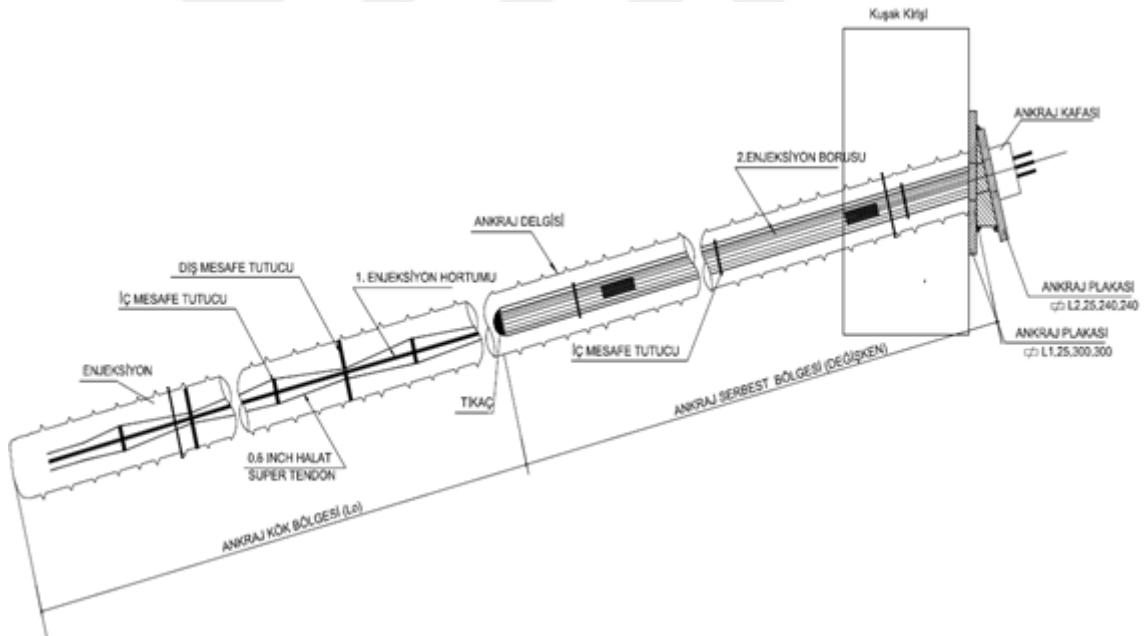
3.2.3 Sonradan enjeksiyonlu ankrajlar

Sonradan enjeksiyonlu ankrajlar, enjeksiyon gövdesinin yüzey alanının genişletilmesi amacıyla, zemine farklı zamanlarda yüksek basınçlı enjeksiyon verilmesiyle imal edilirler. Her enjeksiyon, 1-2 günlük periyotlarla yapılır. Yüksek basınçlı enjeksiyon, bir önceki enjeksiyonu kırarak zemine penetre olur ve delgi çeperlerini sıkıştırarak enjeksiyon gövdesinin genişlemesini sağlar. Enjeksiyon gövdesinin genişlemesi ve

delgi çeperlerinin sıkışmasıyla zemin ile enjeksiyon yüzeyinin kayma gerilmeleri artırılarak öngermeli ankraj kapasitesi de arttırılır.

3.3 Öngermeli Ankraj Elemanları

Öngermeli ankrajların elemanları, serbest bölge ve kök bölgesi olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Diğer elemanlar, bu iki ana bileşenin tamamlayıcısı olarak tanımlanabilirler. Serbest bölge, uygulanan öngerme yükü altında, elastik bir şekilde uzayarak yükü kök bölgesine aktaran, çelik halat, merkezleyiciler, koruyucu polietilen kılıftan oluşan bölümdür. Kök bölgesi, serbest bölgeden gelen çekme yükünü, zemine veya kayaya aktaran, enjeksiyonlu bölgedir. Kök bölgesi çelik halat, merkezleyiciler ve enjeksiyondan oluşur. Öngermeli ankraj kök bölgesi ile serbest bölgeyi ayıran tıkaç, serbest bölgenin ideal uzama davranışını sergilemesi için kullanılır. Ankraj kök bölgesi, aktif kayma kamasının arkasında olmalıdır. Öngermeli ankraj elemanları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Öngermeli ankraj elemanları.

3.3.1 Öngermeli ankraj çelik halatları

Öngermeli ankraj çelik halatları, serbest bölgede uygulanan öngerme yüküne göre uzamayı yapan, kök bölgesinde enjeksiyon ile bütünleşerek uygulanan öngerme yükünü enjeksiyon aracılığıyla zemine veya kayaya aktaran ankraj elemanlarıdır. Ankraj çelik halatları 7 adet çelik telin birleşiminden oluşurlar.

Öngermeli ankrajların halat sayıları ve kesit alanları proje yüklerine göre değişkenlik gösterebilir. Ankraj halatları, projeye göre değişken boylarda imal edilebilirler. Ankraj halatlarının boyunun belirlenmesi, aktif kayma kamasının yüzeyden uzaklığına, kök bölgesinin uzunluğuna, dolayısıyla proje yüklerine bağlıdır. Ankraj çelik halatlarının serbest bölgedeki koruma yöntemi, öngörme sırasında ankraj halatlarının serbestçe hareket etmesini sağlayacak şekilde uygulanmalıdır.

Öngermeli ankraj çelik halatları, kalıcı öngermeli ankrajlar için korozyon etkisi uyarınca tasarlanmalıdırlar. Korozyon koruması, plastik kaplama ve kılıflar, korozyon koruyucu katkılı enjeksiyon ve kalıcı ankraj halatı kaplamaları ile sağlanabilmektedir.

En yaygın kullanımlı ankraj çelik halatlarının çapları, 0.5inch (12.50mm) ve 0.6inch (15.30mm), kesit alanları ise sırasıyla 93.00 ve 140.00mm²'dir. Farklı iki kesit alanına sahip ankraj çelik halatlarının karşılaştırılmalı mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir (VSL, 2010).

Çizelge 3.1 : Farklı kesit alanlarına sahip ankraj çelik halatlarının karşılaştırılması (VSL, 2010).

	0.5" Ankraj Çelik Halatı	0.6" Ankraj Çelik Halatı
Çap (mm)	12.5	15.3
Kesit Alanı (mm ²)	93	140
Kopma Yüğü (kN)	173	260
Maksimum Tasarım Yüğü (kN)	95.2	143
Akma Mukavemeti (Mpa)	1634	1636

3.3.2 Enjeksiyon

Ankraj enjeksiyonu, su ve çimento karışımından oluşur. Daha geniş çaplı ankraj delgileri için, su ve çimento karışımının yanında, çimento kullanımını azaltmak adına kum da kullanılabilir. Enjeksiyon karışımında kullanılacak olan su, temiz, içilebilir ve karışımında kullanılacak olan çimentoya zarar verecek olan içeriklerden arınmış olmalıdır. Su ve çimento enjeksiyonunun yanında kum kullanıldığında, en çok dikkat edilmesi gereken nokta, enjeksiyonun akıcılığının olumsuz yönde etkilenmemesidir. Bazı uygulamalarda, enjeksiyon karışımına yeterli akışkanlığı sağlamak amacıyla kimyasal katkıları eklenebilmektedir. Öngermeli ankrajlar için kullanılan enjeksiyonun su/çimento oranı kütlece 0.40-0.55 aralığında olmalıdır (FHWA, 1999). Kullanılan enjeksiyonun basınç dayanımı, 100x100mm boyutlarındaki küp numuneler için, ankraj öngermesi sırasında basınç dayanımı en az

21MPa olmalıdır. Enjeksiyondan alınan 100mm küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımı en az 40MPa olmalıdır (BS8081, 2015).

3.3.3 Ankraj başlığı ve kamalar

Ankraj başlığı, halatlar gerdirildikten sonra kilitlenmesini sağlayan ankraj kamalarının yuvalarını bulunduran, aldığı yükü ankraj plakasına ileten, silindirik şeklinde, çelik yapıli ankraj elemanıdır. Ankraj halat sayısına göre konik delikler bulundurur.

Ankraj kamaları 3 parçadan oluşurlar. Ankraj halatlarının kilitlenerek kilit yükünde sabit kalmasını sağlayan ankraj elemanlarıdır. Şekilleri ankraj başlığı delikleriyle benzerdir. İç kısımlarında dişler bulunur. Ankraj halatları gerildikten sonra, kamalar halatları sıkıştırarak ankraj başlığı üzerinde bulunan deliklere yerleşirler. Böylece ankraj halatları uygulanan germe yükünde sabitlenerek kilitlenmiş olurlar. Ankraj kamalarının paslı veya kirli olması durumunda, ankraj halatları kamalardan sıyrılarak yük kaybı yaşayabilirler. Bu yüzden, kamaların mutlaka temiz ve passız olması önerilmektedir (Niermann ve Richards, 2009).

Ankraj öngermesi öncesi, ankraj başlığı, plakası ve kamalar, delgi içerisine yerleştirilmiş ankraj halatlarına dik bir şekilde yerleştirilmeli ve ankraj halatlarına göre merkezlenmelidirler. Ankraj başlığı ve plakasının, ankraj halatlarının doğrultusundan sapma açısı $\pm 3^\circ$ ile sınırlandırılmalıdır. Ankraj başlığı ve kamalara ait bir fotoğraf Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Ankraj başlığı ve kaması.

3.3.4 Ankraj plakası

Ankraj plakası, uygulanan ankraj yükünü iksa perdesine üniform bir şekilde aktaran ankraj elemanlarıdır. Genellikle kare şeklinde olurlar. Ankraj plakası, öngermeli ankraj yükünü taşıyabilecek ve zamanla deforme olmayacak nitelikte olmalıdır. Düz veya ankraj açısıyla uyumlu açıda imal edilebilirler.

3.4 Öngermeli Ankraj İmalatı

3.4.1 Öngermeli ankraj imalatı öncesi saha incelemeleri

Öngermeli zemin ankrajlarında en önemli parametre zemin veya kayadır. Bu yüzden ankraj imalatı öncesinde yapılan saha incelemeleri ve deneyler, uygulama yöntemi ve yapım yöntemini belirleme açısından önemlidir. Gerekli saha incelemelerinin yapılmaması, ilerleyen aşamalarda yüksek maliyetlere ve iş programında gecikmelere sebep olabilmektedir.

Ankraj imalatı öncesinde, komşu yapıların konumu ve temel kotları kontrol edilmelidir. Açılı teşkil edilen öngermeli ankrajlarda, komşu yapıların bodrum perdesine ve yapı temeline zarar verme riski bulunmaktadır. Benzer bir şekilde, saha sınırına yakın altyapı hatlarının lokasyonları da titizlikle belirlenmeli, öngermeli ankrajlara uygun açı verilerek, bu yapılara zarar verilmeden imalat tamamlanmalıdır. Herhangi bir açı verilerek risk bertaraf edilemezse, daha farklı mühendislik çözümlerine gidilerek sistem değiştirilmelidir.

Ankraj imalatı öncesinde, sahadaki zemin tabakalaşması ve zeminin karakteristik özellikleri dikkate alınarak kullanılacak makine ve ekipmanlar seçilmelidir. Örneğin, kohezyonsuz zeminlerde, delgi sırasında yıkılmalar görülebilir. Böyle durumlarda muhafaza borusu (casing) kullanımı söz konusu olabilmektedir.

Ankraj imalatı öncesinde yeraltı su seviyesi belirlenmelidir. Yeraltı su seviyesinden kaynaklı problemler önceden tanımlanarak gerekli önlemler alınmalıdır.

3.4.2 Öngermeli ankraj imalatı aşamaları

Öngermeli ankraj imalatının aşamaları aşağıdaki sıralamaya göre yapılır;

- Ankraj noktasının belirlenmesi
- Delgi makinesinin uygun pozisyonu alması

- Ankraj delgisi
- Ankraj elik halatı imalatı
- Ankraj n enjeksiyonun hazırlanması
- Ankraj n enjeksiyonu
- Ankraj elik halatının delgiye yerleştirilmesi
- Ankraj enjeksiyonun hazırlanması
- Ankraj delgisinin enjeksiyonlanması
- Ankraj ngermesi, testi ve kilitlenmesi

Ankraj halatının, ankraj delgisinin çeperlerine eşit mesafede yerleştirilebilmesi için belirli aralıklarla merkezleyiciler kullanılmaktadır. Bu sayede, ankraj kök bölgesinin enjeksiyonlanması sırasında, ankraj halatları düzgün bir biçimde enjeksiyonla kaplanırlar.

Ankraj serbest bölgesinin, serbest bir şekilde uzayarak, uygulanan öngirme yükünü aktif kayma kaması arkasında bulunan ankraj kök bölgesine aktarabilmesi için enjeksiyon ile herhangi bir şekilde temas etmemesi gerekir. Ankraj serbest bölgesinin enjeksiyonla temas etmemesi için, bu bölgedeki halatlar çoğu kez polietilen malzemeden yapılan kılıf boru içerisine alınarak enjeksiyonla irtibatları kesilir. Yapılan kılıf ile kök bölgesinin birleştiği yerde ise, farklı yöntemlerle uygulanan izolasyon yöntemleri ile birlikte, serbest bölgeye enjeksiyon geçişi engellemiş olur.

3.4.2.1 Ankraj noktasının belirlenmesi ve delgi için pozisyon alınması

Ankraj imalatında, ilk olarak ankraj delgi noktası belirlenir. Ankraj delgi noktasının sapması, TS EN 1537'ye (2001) göre 75mm ile sınırlandırılmıştır.

Delgi makinesinin ankraj delgisi için çalışacağı platform, delgi başlamadan önce mutlaka uygun malzeme serilerek düzeltilmelidir. Aksi takdirde, delgi makinesi platform içerisine batabilir ve delgi açısında kaymalar gözlemlenebilir. Daha sonra delgi ekipmanı ankraj noktasına uygun bir şekilde yanaşır ve ankraj açısına göre ayarlanır. Ankraj açısının sapması, TS EN 1537'de (2011) $\pm 2^\circ$ olarak belirlenmiştir. Söz konusu ankraj açısının daha fazla sapması, ankraj yükünün yatay bileşeni azatabilecek, ankraj delgisi yakınındaki olası bir altyapı elemanın hasar görmesine sebep olabilecektir.

3.4.2.2 Ankraj delgisi

Ankraj delgisi, proje boyuna ve açısına göre, uygun yöntemle delinmesidir. Ankraj delgi yöntemini belirlemede kullanılan en önemli parametre delgi yapılacak olan bölgenin zemin veya kaya olmasıdır. Her bir zemin ve kaya türüne göre farklı ekipmanlar bulunmaktadır (Xanthakos, 1991). Ankraj delgisi imalatının teşkilini sağlayan 3 ana fonksiyon vardır: dönme (rotation), darbe (percussion) ve delme beslemesi (drilling feed, rate of advance) (Irvin, 2014).

Dönme fonksiyonu, ankraj delgisinde ilerlemeyi sağlayan ana fonksiyonlardan birisidir. Darbe, tabanca denilen ekipman ile yapılır. Darbe etkisi, sert zeminlerde ve kayalarda delgi verimini artırır. Delme beslemesi, oyuklu delgi ekipmanlarının, zemine ve kayaya delemeyeceğinden daha fazla penetre olmamasını sağlar. İlerleme hızı, dakikada 1 metreyi aşmamalıdır. Bu hız, sert zeminlerde ve kayalarda daha düşüktür.

Delgi fonksiyonun yanında, delgi fonksiyonuna yardımcı olarak fişkirtma (flushing) yönteminin de kullanımı son derece önemlidir. Fişkirtma fonksiyonu, zemin türüne, delgi ekipmanına ve yapım tekniğine bağlı olarak 3 farklı şekilde yapılabilir: hava ile, su ile ve enjeksiyon ile.

Hava ile fişkirtmada, hava kullanılarak delgi içerisinde sıkışan malzemeler delgi ağzından dışarıya atılarak delgi kolaylığı sağlanır. Bu yöntem, kil zeminler için uygundur. Su ile fişkirtmada, su kullanılarak delgi içerisindeki malzemenin delgi ağzından suyla birlikte dışarı atılması sağlanır. Bu yöntem, penetrasyon değeri düşük olan sert zeminlerde ve kayalarda kullanılabilir. Enjeksiyon ile fişkirtma, eş zamanlı enjeksiyonlama yöntemidir. Kaba daneli zeminlerde ve kontrolsüz dolgularda kullanılabilir. Bu yöntemle birlikte, delgi aynı zamanda ön enjeksiyon ile de doldurulmuş olur.

Ek olarak, bu yöntemle birlikte, delgi çeperinin etrafında bulunan zemin boşlukları da enjeksiyonla doldurulduğu için, zemin için de bir iyileştirme söz konusu olabilmektedir. Ankraj kökünün yer alacağı bölgelerde yapılmış olan bu iyileştirmelerle birlikte, ankrajın kök bölgesi etrafındaki zeminin kayma direnci büyük oranda artırılmış olmaktadır. Ankraj delgisi sırasında çekilmiş bir fotoğraf Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Ankraj delgisi yapılması.

Ankraj delgisi sırasında, yeraltı su seviyesinin altında yer alan kohezyonsuz bir birimle karşılaşılması, aşırı çatlaklı-kırıklık yapıda bir kaya ile karşılaşılması ve artezyen su basıncı bulunan yer ile karşılaşılması durumunda delgi çevresinde büyük oyuklar oluşabilecektir. Delgi içerisinde büyük oyukların oluşması halinde, ankraj halatlarının delgiye yerleştirilememesi, diğer delgilere oranla daha geniş bir delgi çapı oluşması ve zeminin üst bölgelerinde oturmalar oluşması gibi problemlerle karşı karşıya kalınması muhtemel olacaktır. Bu gibi durumlarda, muhafaza borusu yardımıyla veya destekleyici bir akışkan yardımıyla delgi yapmak daha etkili sonuçlar doğurabilecektir.

Ankraj delgisi sırasında, zeminin kendi kendini tutamadığı bölgelerde, delgideki çeper stabilitesinin sağlanamadığı durumlarda bazı önlemler almak gerekebilmektedir. Bu önlemlerden en çok tercih edileni muhafaza borusuyla zemin çeperlerini desteklemektir. Muhafaza borusu, delgi çeperlerini destekleyerek, delgi sırasında herhangi bir şekilde yıkıntıya izin vermeyerek, ankraj delgi imalatının sonuna kadar ilerlemesine yardımcı olmaktadır. Muhafaza borusu yardımıyla yapılan örnek bir ankraj delgi imalatı Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

Ankraj delgisi sırasında, delgideki çeper stabilitesi sağlanamadığı durumlarda alınabilecek bir diğer önlem ise, ankraj delgisiyle paralel olarak delgiyi enjeksiyonla doldurmaktır. Ankraj delgisi sırasında, delgi içerisini enjeksiyonla doldurmak, zemin içerisindeki boşlukları da doldurarak stabilizasyonu sağlamaktadır. Aynı zamanda, ankraj delgisi içerisinde bulunan enjeksiyon, yıkıntı yapma riski bulunduran zemine ters bir yönde bir basınç oluşturarak zeminin yıkıntı yapmasını engelleyecektir. Bu yöntemle birlikte aynı zamanda, ankraj delgisi sırasında kuyunun sürekli olarak enjeksiyonla doldurulması, delgi çeperlerinin boşluklarını da tamamen enjeksiyonla doldurduğu için, ankraj kök bölgesinin daha yüksek reaksiyonları zemine aktarmasına olanak sağlamaktadır. Ankraj delgisi sırasında kullanılan destek enjeksiyonunun yoğunluğu, zemin türüne ve çeperlerin yaptığı yıkıntı miktarına göre değişiklik gösterebilmektedir.



Şekil 3.5 : Muhafaza borusu yardımıyla ankraj delgisi yapılması.

3.4.2.3 Ankraj çelik halatı imalatı

Öngermeli ankraj imalatlarında kullanılacak olan çelik halatlar, ASTM A779'da (2016) belirtilen kriterlere olmalıdır. Ankraj halatları, projede verilen kesit alanına ve halat sayısına göre imal edilmelidir. Ankraj kök bölgesinin, kuyu çeperlerine eşit mesafede konumlanması ve kök bölgesindeki çelik halatların enjeksiyon ile birleşiminin uygun bir şekilde sağlanabilmesi için, belirli aralıklar merkezleyiciler kullanılmalıdır. Ankraj serbest bölgesi, istenen uzamayı sağlaması için polietilen kılıflarla kapatılarak kök bölgesinden ayrılır ve enjeksiyonla birleşmesi engellenir.

Ankraj elik halatlarının imalatı sırasında, ankraj halatlarının arasına enjeksiyon geçişini sağlayabilecek geosentetik borular bırakılmalıdır. En az iki adet boru bırakılması, enjeksiyonlama sırasında imalat kolaylığı sağlayacaktır.

3.4.2.4 Ankraj n enjeksiyonu ve ankraj halatlarının yerleştirilmesi

Ankraj delgisi tamamlandıktan sonra, muhafaza borusu kullanılmadan tamamlanan delgiler için, ankraj delgisi içerisindeki yıkıntı malzemenin tamamıyla çıkarılması büyük önem arz etmektedir. Bunun yanında, muhafaza borusu kullanılmayan kohezyonsuz zeminlerin delgileri sonrasında, delgi içerisindeki malzemeyi aşırı temizlemek, delgi çeperlerini ilave titreşimlere maruz bırakacak, delgi içerisinde oyuklar oluşturabilecek ve ankraj delgisinin büyük çapta genişlemesine neden olacaktır. Ankraj halatları delgiye yerleştirilmeden önce, ankraj delgisinin temizliği bir ayna veya bir probe yardımı ile kontrol edilebilmektedir. Ankraj halatları, projede n görülen boya kadar, rahatlıkla ankraj delgisine yerleştirilebiliyorsa, ankraj delgisi temiz olarak kabul görebilir.

Ankraj ngermesi sırasında, ankraj delgisi sırasında veya ankraj halatlarının yerleştirilmesi sırasında, kök bölgesinde oluşmuş olan herhangi bir yıkıntı, ankrajların taşıma kapasitesini olumsuz şekilde etkilemektedir. Proje yükünü taşıyamayan ankrajlar, sistem güvenliğini tehlikeye atmamak amacıyla iptal edilerek yeniden imal edilirler. Bu durum, hem iş programı hem de maliyet açısından olumsuz bir sonuç doğurmaktadır. Ankraj delgisindeki yıkıntıyı kontrol etmek ve ankraj halatlarının yerleştirilmesi sırasından oluşabilecek olan yıkıntıları en aza indirebilmek için n enjeksiyon yöntemi her bir zeminde ve her bir ankrajda uygulanması önemli avantajlar sağlamaktadır.

Ankraj delgisi tamamlandıktan sonra, kuyunun kılavuz enjeksiyon hortumu denilen, genellikle 20.00mm çapındaki polietilen boru yardımıyla, hazırlanan enjeksiyonla doldurulması işlemine n enjeksiyonlama denir. n enjeksiyonlama yöntemi, öngermeli ankrajın, taşıma kapasitesi ve servis güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir.

Ankraj delgisi, enjeksiyonla doldurulduktan sonra, daha önce hazırlanan ankraj elik halatları delgiye yerleştirilir.

Ankraj halatları, delgiye yerleştirilirken, ankraj halatlarında bulunan, i ve dış merkezleyiciler ve ankraj serbest bölgesinin muhafazasını sağlayan PVC boru zarar

görmemelidir. İç ve dış merkezleyicilerin zarar görmesi halinde, ankraj kök bölgesi, ankraj delgisini ortalayacak şekilde yerleşmeyecektir. Bu durum, ankraj kök bölgesinin korozyon korumasını ve ankraj taşıma kapasitesini olumsuz yönde etkileyebilecektir. Ek olarak, ankraj serbest bölgesinin muhafazasını sağlayan PVC borunun zarar görmesi durumunda, ankraj serbest bölgesine enjeksiyon girmesi ile birlikte, ankraj serbest bölgesi öngerme sırasında beklenen uzamayı yapamayacak ve öngerme yükünü, aktif kayma kamasının dışına değil, aktif kayma kaması içerisindeki zemine veya kayaya aktaracaktır. Böylece ankraj tasarlandığı gibi çalışmayacak ve ankraj imalatının yenilenmesi gerekecektir. Sonuç olarak, ankraj imalatının yenilenmesi, zaman ve maliyet açısından olumsuz bir sonuç doğuracaktır.

Ankraj halatlarının yerleştirilmesi sırasında, ankraj delgisinde herhangi bir yıkıntı oluşması durumunda, ankraj delgisi tekrar temizlenmek üzere ankraj halatları çıkartılmalıdır.

3.4.2.5 Ankraj enjeksiyonun hazırlanması ve ankraj delgisinin enjeksiyonlanması

Ankraj enjeksiyonu, ankrajın kök bölgesinde bulunan çelik halatları çevreleyen, ankrajın zeminle veya kayayla aderansını sağlayan malzemedir. Ankraj taşıma kapasitesinin en önemli parametresi kök bölgesi olduğundan dolayı, ankrajların taşıma kapasiteleri büyük ölçüde enjeksiyon kalitesine bağlıdır.

Ankraj enjeksiyonu, ankraj girmesi sırasında, ankraj serbest bölgesindeki yükü, doğrudan zemine veya kayaya aktarılmasını sağlamalıdır. Ankraj girmesi sırasında, ankraj enjeksiyonun yeterli mukavemette olmaması, zemin veya kayayla aderansının istenilen ölçüde sağlayamaması, ankrajın öngörülen yükü taşıyamamasına sebep olacaktır.

Ankraj enjeksiyonu, ankraj kök bölgesinde bulunan çelik halatları, korozyon etkisinden koruyacak özelliğe sahip olmalıdır. Ankraj kök bölgesinde bulunan çelik halatlar, herhangi şekilde korozyon etkisine maruz kalırsa, ankraj servis ömrü azabilecektir. Kalıcı zemin ankrajlarında, bu parametre daha büyük bir önem arz etmektedir.

Ankraj enjeksiyonu, çelik halatlar yerleştirildikten mümkün olduğunca kısa bir süre sonra yapılmalıdır. Bu sürenin 12 saati aşmaması önerilmektedir (FHWA, 1999). Aksi takdirde, ankraj delgisinde yıkıntılar olabilecektir, ankraj kök bölgesi tamamıyla enjeksiyonlanamayacaktır ve ankraj öngörülen taşıma kapasitesine ulaşamayacaktır.

Ankraj enjeksiyonlaması sırasında kullanılan ekipman, delginin enjeksiyonlama işlemini, 1 saat içerisinde ara vermeksizin gerçekleştirebilecek nitelikte olmalıdır.

Ankraj enjeksiyonu, mutlaka delginin dibinden başlanarak yapılmalıdır. Böylelikle, yoğunluğu, delgi dibince toplanan malzemeden daha yüksek olan enjeksiyon, toplanan malzemeyi kuyuya doldukça yükseltecek ve kuyu ağzından dışarı atılmasını sağlayacaktır.

Ankraj enjeksiyonundan alınan 100mm.'lik küp numunenin 28 günlük basınç dayanımı minimum 40MPa olmalıdır. Bu değer, ankraj öngermesi sırasında, enjeksiyondan alınan 100mm.'lik küp numuneler için minimum 21MPa olmalıdır. Ankraj enjeksiyonun su/çimento oranı 0.40 ila 0.55 arasında olmalıdır (BS 8081, 2015). Kohezyonlu zeminlerde ve kayalarda bu oran olabildiğince düşük tutulmalıdır.

Ankraj servis ömürleri dikkate alındığında, enjeksiyon içerisinde bulunması muhtemel olan bileşikler de kontrol altında tutulmalıdır. Özellikle kalıcı ankrajlarda, enjeksiyon içerisinde bulunabilecek olan sülfat ve klorit, zamanla enjeksiyonda deformasyonlara neden olacak ve ankraj çelik halatının korozyona uğramasına sebebiyet verebilecektir. Bu sebeple, ankraj enjeksiyonu tasarlanmadan önce, TS EN 206 (2013) Standardı'na göre çevre sınıfı belirlenip enjeksiyon tasarımı bu doğrultuda yapılmalıdır.

Enjeksiyon Katkısı

Ankraj enjeksiyonlarında katkı maddeleri, genellikle enjeksiyonun priz hızını arttırmak için kullanılmaktadırlar. Kimyasal katkı maddeleri, ankraj enjeksiyonuna zarar verebilecek sülfat ve klorit gibi zararlı içerikler bulunmamalıdır.

3.4.2.6 Ankraj testi ve öngermesi

Öngermeli zemin ankrajlarının, diğer yapısal elemanlardan farkı, imal edilen her bir ankrajın, servise sokulmadan önce teste tabii tutulmasıdır. Ankrajların kabul veya red kriterleri, performans testleri, kanıt testleri ve genişletilmiş sünme (creep) testlerinin sonuçlarına bağlı olarak değerlendirilmektedir. Kısa süreli sünme testleri, performans ispat testlerinin bir parçası olarak uygulanmaktadır.

Kanıt testi, uygulama sahasındaki ankrajların büyük bir çoğunluğuna yapılmaktadır. Performans testleri ise, uygulama alanında ilk olarak imal edilen ankraj imalatlarına uygulandıktan sonra, ankrajın servis ömrüne ve zemin sınıfına göre ileriki safhalarda da uygulanabilmektedir.

Öngermeli ankraj testleri tamamlandıktan sonra, kayıt altına alınan sonuçlar, kabul kriterleri göz önünde bulundurularak değerlendirilir. Kabul kriterleri, en genel haliyle, ankraj serbest bölgesindeki çelik halatların, yüke bağlı olarak yaptığı uzama ile sabit yük altındaki davranışıyla alakalıdır. Öngirme uygulamasını anlatan görsel Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Öngermeli ankraj testi.

Ankraj Öngirme Ekipmanları

Tüm öngermeli ankrajlar, öngermesi tamamlanıp kilitlenmeden önce test edilmektedirler. Bu yükleme testi, ankraj serbest bölgesindeki halatların gerilerek, verilen yükle birlikte yaptıkları uzamanın ölçülmesiyle gerçekleştirilmektedir. Ankraj yükleme testlerinde genel olarak, hidrolik güç ünitesi ve krik, basınçlı bar saati ve deformasyon ölçen metreler kullanılmaktadır. Projedeki ankraj sayısına göre, bazı ankrajlara, ankrajların taşıdığı yükü ölçen, yük hücresi (Load Cell) de teşkil edilmektedir.

Ankraj öngermesi sırasında kullanılan deformasyon ölçerler minimum 0.025mm hassasiyette ölçüm yapma kapasitesine sahip olmalıdır (FHWA, 1999). Bunun yanında, deformasyonlar ölçerler, ankraj serbest bölgesinin uzunluğu ve maksimum test yüküne göre, minimum, ankrajın teorik uzaması kadar olan uzunluğu ölçme kapasitesine sahip olmalıdır.

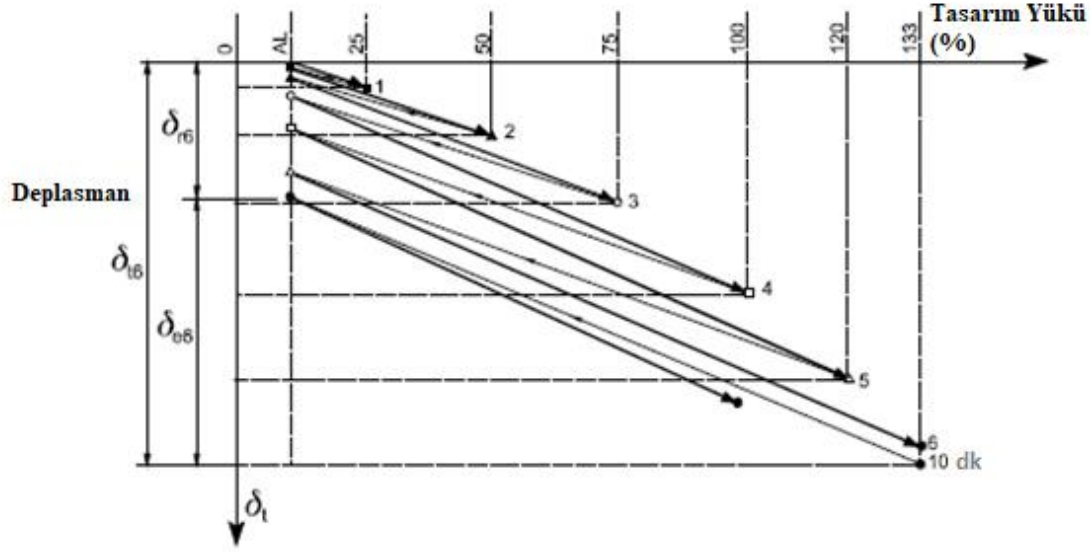
Hidrolik güç ünitesi ve kriko, ankrajın test yükünün uygulanmasında kullanılırlar. Ankraj germe krikosui belirli periyotlarla kalibrasyona tabi tutulmalıdır. Ankraj germe krikosunun boyu, ankraj serbest bölgesinin boyu ve maksimum test yüküne göre oluşacak olan deformasyondan daha büyük olmalıdır.

Performans Testleri

Performans testleri, proje kapsamında inşa edilecek olan öngermeli ankraj imalatlarına başlamadan önce, ankrajların maksimum taşıyabildikleri yük kapasitelerini, sabit yükler altındaki davranışlarını ve yük-deformasyon grafiklerini belirlemek amacıyla uygulanırlar. Performans testleri, imal edilen öngermeli ankrajlara yükleme/boşaltma döngüsü şeklinde uygulanmaktadır. Performans testleri, ankrajın yük kapasitesini belirlemek, yük-deformasyon davranışını görebilmek ve ankrajın kök bölgesinin taşıma kapasitesinin öngörülen proje yükü ile kıyaslanmasının yapılmasını sağlamak için yapılmaktadır. Bu test, ankrajın kanıt testine bir ön değerlendirme olarak da görülebilmektedir.

Performans testleri, genellikle ilk olarak imal edilen 2 veya 3 adet ankraja uygulandıktan sonra, devam eden ankraj imalatlarının minimum %2'sine uygulanması tavsiye edilmektedir (FHWA, 1999). Bu değer, sünme tehlikesi şüphesi uyandıran zeminlerle karşılaşılması durumunda arttırabilmektedir. Zemin koşullarının çeşitlilik gösterdiği uygulama sahalarında, performans testlerinin bütün zemin koşulları için uygulanması tavsiye edilmektedir. Bunun nedeni, proje kapsamındaki imalatlar başlamadan önce, projede öngörülen öngerme yükünü taşıyamayan ankrajların öngerme yükünün yeniden değerlendirilmesi veya ankraj metodunun değiştirilmesidir.

İlk olarak ankraj referans yüküne (alignment load) yüklenir. Bu referans yükü, projede belirtilen tasarım yükünün %5'ine tekabül etmektedir. Referans yükünün uygulanması sonucunda, ankraj çelik halatlarının yaptığı uzama 0 (sıfır), yani başlangıç okuması olarak kayıt altına alınır (Şekil 3.7). Daha sonra, ankraj halatları, tasarım yükünün %25'ine yüklenerek, gerçekleşen uzama kayıt altına alınır ve öngerme yükü azaltılarak referans yüküne tekrar geri gönülür. Ankraj performans testi, genel olarak, bu yükleme boşaltma döngüsünün tekrarlanmasıyla tamamlanır. Performans testinin sonunda, maksimum yüke, yani tasarım yükünün 1.20 ila 1.50 katına çıkılır. Bu değer kalıcı ankrajlar için 1.33 iken geçici ankrajlar için 1.20'dir. Sünme riski olan zemin koşullarında ise bu değer 1.50 olarak alınabilir.



Şekil 3.7 : Performans testi kayıt grafiği (FHWA, 1999).

Maksimum test yükü altında, ankraj halatları 10 dakika germe yüküne tabii tutulur. Bu süre içerisinde, ankrajın, 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 10 dakika sonundaki uzaması kayıt altına alınır. Bu uygulama ile, ankrajın sünme değerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Performans testinin bu bölümüne sünme testi denir. Eğer, 1 ila 10 dakika arasındaki sünme, 1.00mm değerini aşarsa, ilave olarak 50 dakika daha ankraj maksimum test yükünde tutulur. Eğer 6 ila 60 dakika arasındaki sünme değeri 2.00mm'yi aşarsa, ankraj imalatının sünme kriterine karşı önlem almak gerekebilmektedir.

Ankraj öngerme testleri sonucunda, belirtilen aralıklarda sonuç vermeyen ankrajlar için, önlem olarak, ankraj tasarım yükünün azaltılması, ankraj imalatı yerine farklı bir yatay destek elemanı uygulanması veya ankrajın enjeksiyonlama yönteminin değiştirilerek, kök bölgesindeki kayma gerilmesinin arttırılmasıyla ankrajın yük kapasitesinin arttırılması sayılabilir (FHWA, 1999).

Performans testleri sırasında, uygulanan yükler ve ölçümler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Maksimum test yükünde, 10 dakika boyunca beklenerek, ankraj sisteminin sünme değeri ölçülür. Ölçülen sünme değeri, ilgili standartta veya şartnamede belirlenen değerler aralığında değil ise 60 dakikalık sünme testine geçilir. 60 dakikalık sünme testi sonucunda, ankraj sisteminin sünme değeri, belirlenen aralıklarda kaldıysa, performans testi başarılı olmuş olarak değerlendirilir. Eğer, sünme değeri, belirlenen aralıkların dışına çıktıysa, ankraj imalat yöntemi değiştirilerek ya da tasarım yükü azaltılarak ankraj performans testi tekrarlanır.

Çizelge 3.2 : Performans testinin uygulama adımları (FHWA, 1999).

Adım	Yükleme	Uygulanan Yük	Ölçülen Toplam Deplasman	Ölçülen Rezidüel Deplasman	Elastik Deplasmanlar
1	Referans Yük (AL)				
2	1. Döngü	0.25DL AL	δ_{t1}	δ_{r1}	$\delta_{t1}-\delta_{r1}$
3	2. Döngü	0.25DL 0.50DL AL	δ_2 δ_{t2}	δ_{r2}	$\delta_{t2}-\delta_{r2}$
4	3. Döngü	0.25DL 0.50DL 0.75DL AL	δ_3 δ_3 δ_{t3}	δ_{r3}	$\delta_{t3}-\delta_{r3}$
5	4. Döngü	0.25DL 0.50DL 0.75DL 1.00DL AL	δ_4 δ_4 δ_4 δ_{t4}	δ_{r4}	$\delta_{t4}-\delta_{r4}$
6	5. Döngü	0.25DL 0.50DL 0.75DL 1.00DL 1.20DL AL	δ_5 δ_5 δ_5 δ_5 δ_{t5}	δ_{r5}	$\delta_{t5}-\delta_{r5}$
7	6. Döngü	0.25DL 0.50DL 0.75DL 1.00DL 1.20DL 1.33DL	δ_6 δ_6 δ_6 δ_6 δ_6 $\delta_{sıfır}$		
8	*Maksimum test yükünde 10 dakika boyunca beklenir. *Ölçülen deplasman değeri, standartlarda belirtilen deplasman değerini aşarsa, 60 dakikalık teste geçilir.				
Notlar	AL=Referans Yük, DL= Tasarım Yükü, δ_t=Toplam Deplasman, δ_r=Rezidüel Deplasman				

Performans testi sırasında, yapılan her yüklemeye, hidrolik güç ünitesi üzerindeki bar saati üzerinden kontrol edilir. Sünme testi sırasında, ankraja uygulanan yükün sabit olduğunu belirleyebilmek için yük hücresi kullanılabilir. Her yük altında ankraj

üzerinde gerçekleşen deformasyonlar ölçülerek kayıt altına alınır. Oluşan toplam deformasyon değeri, elastik deformasyonlarla rezidüel deformasyonların toplamı kadardır.

Elastik deformasyonlar, ankraj halatlarının uzaması ve ankrajın kök bölgesinin zeminle etkileşimi sırasında oluşan elastik deformasyonlardır. Rezidüel deformasyonlar ise ankraj kök bölgesinin deformasyonudur. Rezidüel deformasyonlar, verilen yükün boşaltılmasından sonra kalan kalıcı deformasyonlar olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, ankraj üzerinde oluşan geri alınamaz deformasyonlardır. Elastik deformasyonlar, performans testi sırasında, ankraja uygulanan maksimum yükteki deformasyon ile referans yükündeki deformasyonun farkıdır. Rezidüel deformasyonlar, ankraj kabul kriterleri arasında kullanılsa da ankraj kök bölgesinin zemin veya kaya ile olan etkileşiminin gerilme-uzama göstergesi olarak değerlendirmelerde kullanılabilmektedir.

Öngermeli ankrajların performans testleri sonrasında değerlendirmede kullanılan kabul kriterlerinin biri ölçülen elastik deformasyonları baz almaktadır. Elastik deformasyonlar, her yük altında ayrı ayrı kayıt altına alınmalı ve yük-uzama grafiği çizilmelidir. Çizilen yük-uzama grafiğine göre, ilgili standartlarda ve şartnamelerde, öngermeli zemin ankrajları için belirlenen minimum ve maksimum uzama kriterleri ile öngermeli ankrajın gösterdiği uzamalar dikkate alınarak, performans testinin sonucu değerlendirilmelidir.

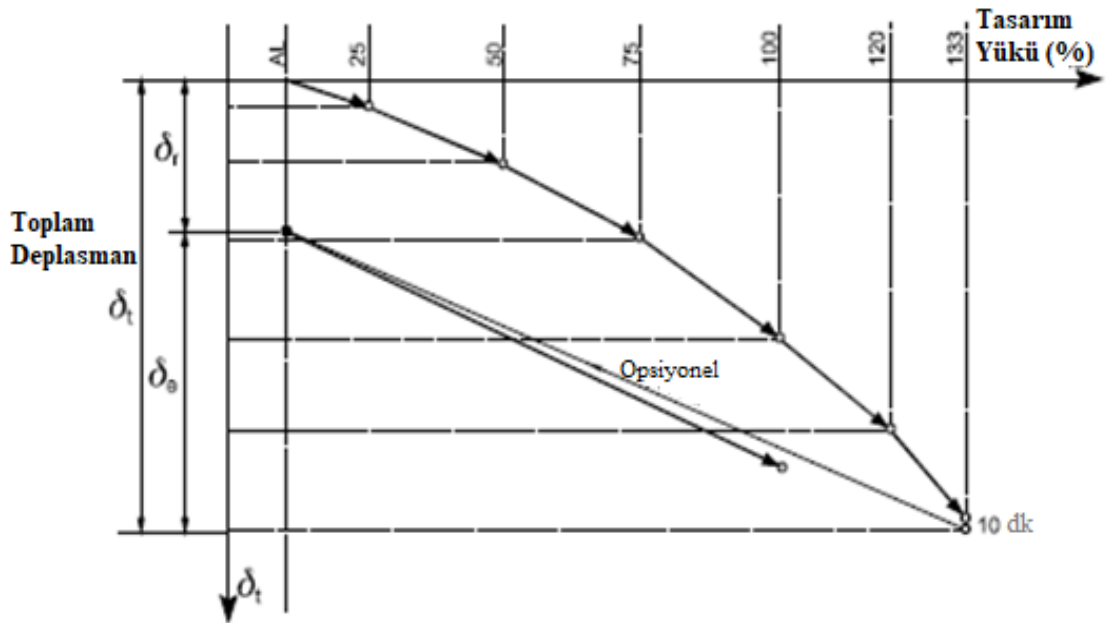
Kanıt testleri

Kanıt testleri, performans testlerinin aksine tek yükleme döngüsüyle birlikte uygulanırlar. Kanıt testleri, performans testine tabii tutulmayan ankrajların kabul kriterlerinin değerlendirilmesi için uygulanır. Eğer kanıt testi uygulanan öngermeli ankrajın deformasyon değerleri ile daha önce aynı bölgede uygulanan performans testleri arasındaki fark önemli derecede ise, ilgili bölgede, ilave performans testlerinin yapılması, ankrajların uzun dönemli performansları açısından daha uygun olabilecektir.

Öngermeli ankrajların kanıt testine, performans testindeki gibi referans yüküne çıkılarak başlanır. Daha sonra, sırasıyla, tasarım yükünün %25'i, %50'si, %75'i, %100'ü, %120'si ve %133'ü uygulanarak, ankrajın bu yükler altındaki deformasyonları kayıt altına alınır (Maksimum test yükü, geçici öngermeli ankrajlarda

tasarım yükünün %120'si olarak uygulanır). Maksimum test yükünde 10 dakika beklenerek deformasyon ölçümü yapılır. Daha sonra, ankraj kanıt yükü, kademeli olarak referans yüküne kadar boşaltılarak, ankraj sisteminin rezidüel deformasyonları da ölçülebilir. Kanıt testi sonucunda elde edilen tipik bir yük-uzama grafiği örneği Şekil 3.8'de verilmiştir.

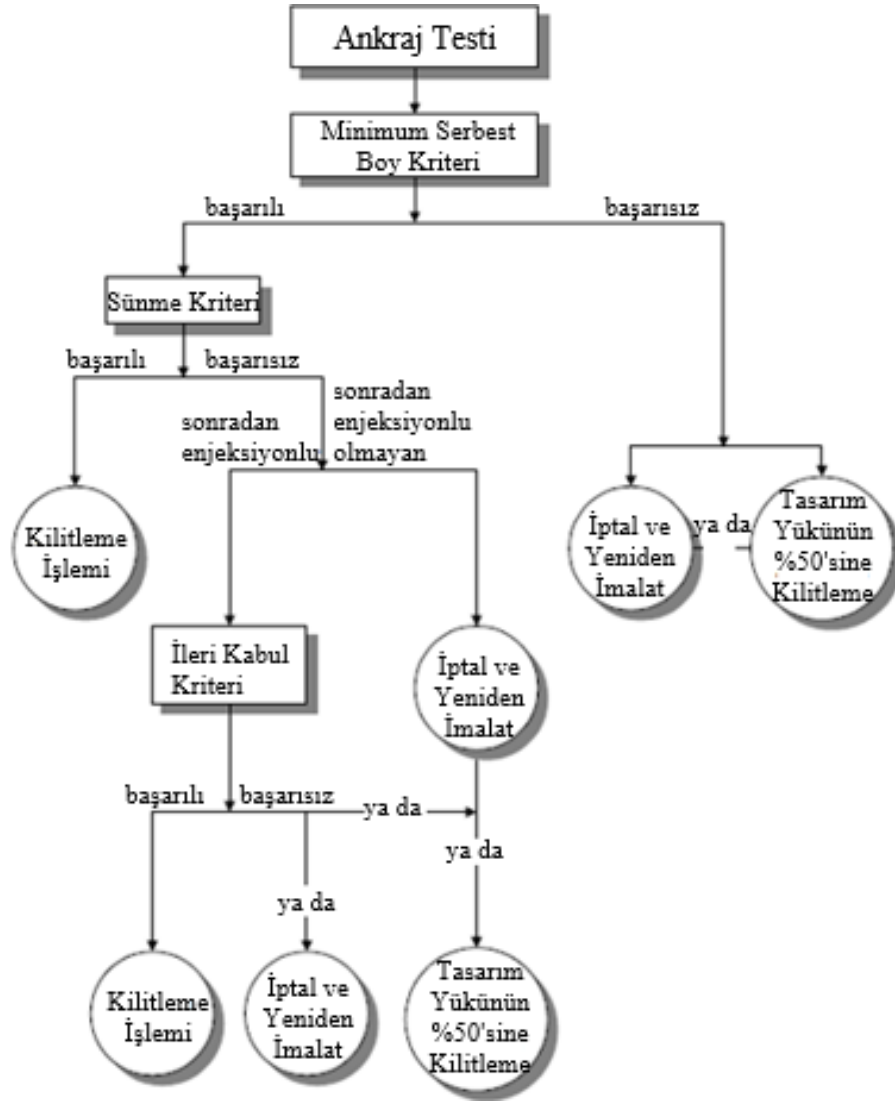
Yapılan kanıt testleri sonucunda, elde edilen değerler, kabul kriterlerine uyuyorsa ankraj kilitlenerek yatay destek elemanı olarak servise başlamak üzere kilitlenir. Öngermeli ankraj test sonucunun, belirlenen kabul kriterlerine uymaması halinde, Şekil 3.9'da verilen aşamalar izlenebilir.



Şekil 3.8 : Kanıt testi sonucu grafiği örneği (FHWA, 1999).

Şekil 3.8'deki grafikten de görüldüğü gibi, ankraj öngermesi sırasında, yüke çıkılması ve çıkılan yükte belli bir süre aralığında beklenmesinden sonra, çıkılan yükün boşaltılması sırasında, ankraj sisteminde, elastik deplasmanların yanında plastik deplasmanlar da oluşmaktadır. Diğer bir deyişle, geçici deplasmanların yanında kalıcı deplasmanlar da gözlemlenmektedir.

Ankraj kanıt testiyle birlikte ölçülen kalıcı deplasmanlar, test ankrajının maksimum test yükünde yaptığı toplam uzama ile ankraj yükünün, referans yüküne kadar kaldırılması sonrasında gözlemlenen toplam deplasmanın farkı olarak hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.9 : Ankraj kabul kriterlerinin değerlendirilmesi (FHWA, 1999).

Genişletilmiş sünme testi

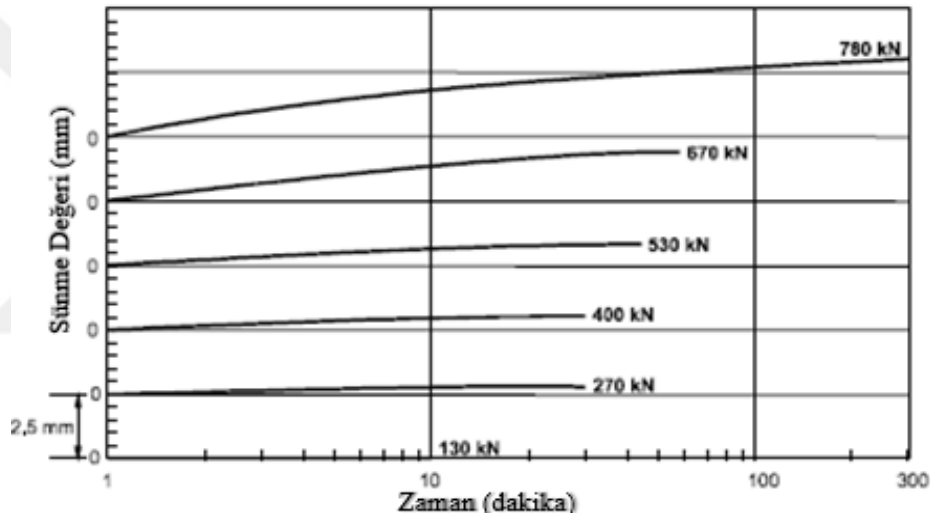
Genişletilmiş sünme testi, yaklaşık 8 saat süren, öngermeli zemin ankrajının sabit yükler altındaki sünme deformasyonlarını belirlemek amacıyla uygulanan testtir. Genişletilmiş sünme testi, plastik indeksi 20'den büyük olan veya likit limiti 50'den büyük olan kohezyonlu zeminlerde uygulanmalıdır.

Genişletilmiş sünme testi, performans testi ve kanıt testi ile benzer prensipte uygulanmaktadır. Her bir yük kademesi için, belirlenen zaman periyodunda ankrajın uzaması sabit yükler altında ölçülerek kayıt altına alınır. Uygulanan yük, bar saatindeki değişimin 350 kPa'yi geçmemesi halinde sabit olarak kabul edilir. Genişletilmiş sünme testi sırasında uygulanan yükleme şeması Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Geniştirilmiş sünme testinin yükleme şeması (TS EN 1537, 2001).

Yükleme Döngüsü	Maksimum Yük	Zaman (dakika)	Ölçüm Zamanları (dakika)
1	0.25DL	10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10
2	0.50DL	30	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30
3	0.75DL	30	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30
4	1.00DL	45	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 45
5	1.20DL	60	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60
6	1.33DL	300	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 300

Geniştirilmiş sünme testi sırasında elde edilen sonuçların örnek yükleme – zaman grafiği Şekil 3.10’da verilmiştir. Her bir kademedeki sünme değeri, toplam deformasyon ile 1. dakika sonunda ölçülen deformasyonun farkı olarak kabul edilir. Elde edilen sonuçlar, sünme için verilen kabul kriterleriyle birlikte değerlendirilir.



Şekil 3.10 : Geniştirilmiş sünme testinin örnek yükleme – zaman grafiği (FHWA, 1999).

3.5 Öngermeli Ankrajların Kabul Kriterleri

Öngermeli ankrajların kilitlenerek faaliyete geçirilmesi için belirlenen kabul kriterlerini sağlaması gerekmektedir. Bu kabul kriterleri genel olarak, sünme değeri ve elastik deformasyonlarla ilgilidir. Kabul kriterleri değerlendirilirken izlenecek yol, bölüm 3.4.2.4’te verilmiştir (Şekil 3.9)

3.5.1 Sünme kabul kriteri

Özellikle zayıf mühendislik parametrelerine sahip zeminlerde, sünme tehlikesi, öngermeli zemin ankrajlarında karşılaşılabilecek en önemli problemlerden bir tanesidir (Gurinsky, 2002). Zayıf zeminlerin, sabit yükler altında yaptıkları

deplasmanlar muhakkak dikkate alınması gereken bir konudur. Uzun dönemli servis ömürleri dikkate alındığında, sünme kriteri büyük önem arz etmektedir. Performans ve kanıt testleri sırasında, maksimum test yükü altında, ankraj halatları 10 dakika germe yüküne tabii tutulur. 1 ila 10 dakika arasındaki sünme değeri, 1.00mm değerini aşmaması gerekir. Eğer, öngermeli ankraj, belirlenen bu sünme değerini aşarsa, ilave olarak 50 dakika daha maksimum test yüküne maruz bırakılır. Bunun sonucunda, 6 ila 60 dakika arasındaki sünme değeri 2.00mm'yi aşmazsa, öngermeli ankraj imalatı sünme için belirlenen kabul kriterini sağladığı değerlendirilmesi yapılabilir (TS EN 1537).

3.5.2 Serbest bölge uzama kabul kriterleri

Öngermeli ankrajın, test sırasında yaptığı toplam elastik uzamaya göre, ankraj için çalışan serbest boy hesabı yapılır. Ankrajın çalışan serbest boyu aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$L_a = A_t * E_s * \frac{\delta_e}{P} * 10^{-9} \quad (3.1)$$

L_a = Ankrajın çalışan serbest boyu (m)

A_t = Öngermeli ankraj çelik halatının kesit alanı (mm²)

E_s = Öngermeli ankraj çelik halatının elastisite modülü (kPa)

δ_e = Öngermeli ankrajın elastik deformasyonu (mm)

P = Maksimum test yükü ile referans yükü arasındaki fark (kN)

Ankraj testleri sırasında rezidüel deformasyonlar belirlenmediyse, ankrajın çalışan serbest boyu, elastik deformasyonlar yerine toplam deformasyonlar kullanılarak hesap yapılabilir.

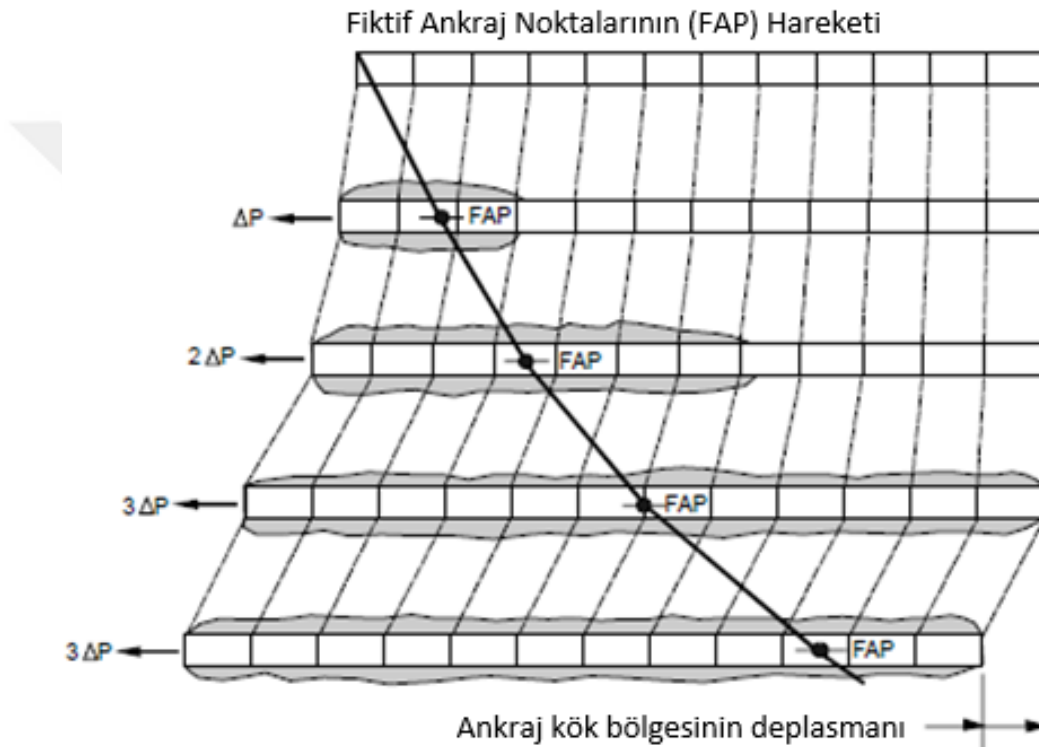
3.5.2.1 Minimum çalışan serbest boy kriteri

Çalışan ankraj serbest boyu, belirlenen minimum kriterden büyükse, ankraj serbest boyu uygun şekilde teşkil edilmiş olarak kabul edilir. Bu kriter, ankraj serbest boyuyla germe boyunun toplamının %80'ine tekabül etmektedir. Eğer çalışan ankraj boyu, belirlenen minimum kriterden daha küçükse, bu durum ankraj yükünün aktif kayma kamasının içerisindeki zemine aktarıldığı ve ankrajlı sistemin toptan göçme riskinin bulunduğu değerlendirilmesi yapılabilir. Farklı olarak, çalışan ankraj serbest boyunun

minimum uzama kriterini sağlamaması, ankraj germe pistonunun veya ankraj halatlarının hatalı yerleştirilmesiyle açıklanabilir.

3.5.2.2 Maksimum çalışan serbest boy kriteri

Öngermeli ankrajlar, öngörme sırasında, belirlenen maksimum uzamadan daha az uzama yapmalıdır. Söz konusu maksimum uzama, ankraj serbest boyu, kök boyunun yarısı ve germe boyunun toplamının yaptığı uzama şeklinde tanımlanmıştır. Ankraj öngermesi sırasında kök bölgesinde meydana gelen deplasmanların şematik gösterimi Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 : Öngörme sırasında kök bölgesinde meydana gelen deplasmanların şematik olarak gösterilmesi (FHWA, 1999).

3.5.3 Lift-off testi

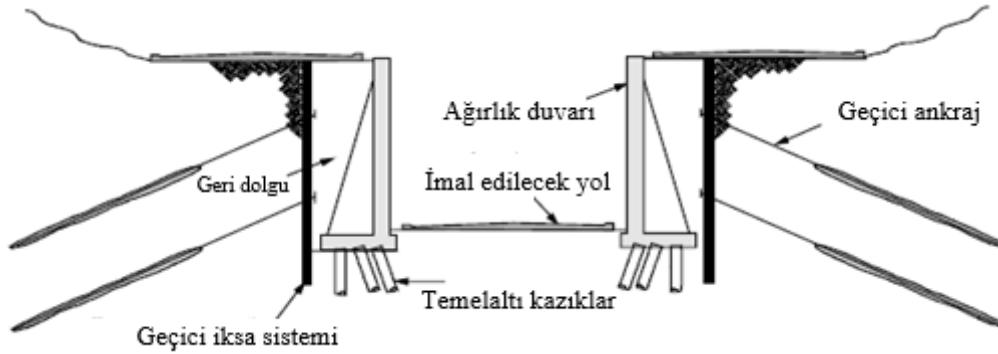
Lift-off testi, ankraj öngermesi tamamlandıktan sonra, ankraj halatlarının kilitlenmiş olduğu kilit yükünü belirlemek amacıyla uygulanır. Ankraj halatları kilitlendikten sonra, ankraj yükünü belirlemek adına ankraj kamalarını hareket ettirmeden, ankraj başlığına yük uygulanmasıyla yapılır. Hidrolik germe ünitesinin basınç bar saatindeki artışın aniden durduğu nokta, ankraj halatlarının taşıdığı yük olarak tanımlanabilmektedir.

3.6 Öngermeli Ankrajların Uygulama Alanları

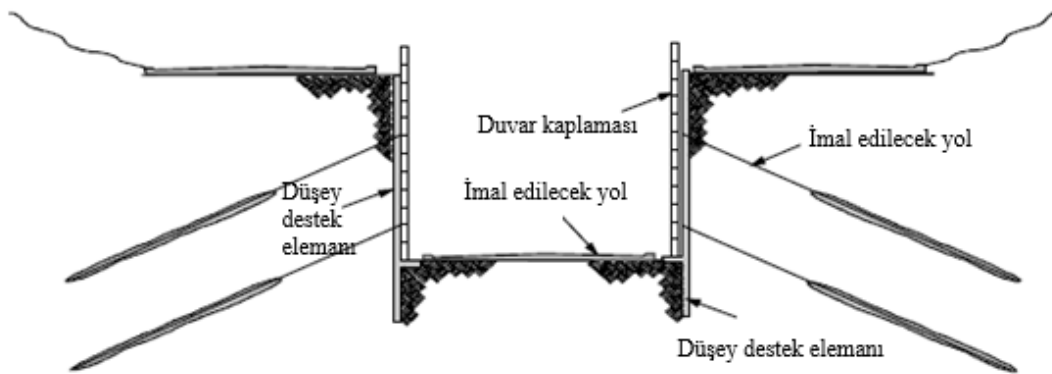
Öngermeli ankrajlar geoteknik mühendisliğinin konu aldığı birçok konuda kullanılabilmektedirler. Bu konulardan başlıcaları, karayolları istinat yapıları, şev stabilitesi ve toprak kaymalarına karşı alınan önlemler, ağır yapıların stabilizasyonlarını sağlanması olarak özetlenebilmektedir.

3.6.1 Karayolları istinat duvarları

Ankrajlı duvarlar, karayolları inşaatları için desteklenilmesi gereken şevlerin desteklenmesinde rahatlıkla kullanılabilmektedirler. Ankrajlı istinat yapıları, belli bir seviye farkından sonra, ağırlık duvarlarından daha ekonomik olmaktadır. Ekonominin yanında, ağırlık duvarları, daha büyük eksitlere sahip olduklarından dolayı, karayolu için ayrılan alanı sınırlandırabilmektedirler. Bu iki önemli sebep, karayolu inşaatları sırasında, ağırlık duvarı yerine, kalıcı ankrajlı ve daha küçük kesitli duvarların kullanılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ağırlık duvarı ve ankrajlı duvar sistemler, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.12 : Karayolları inşaatında beton ağırlık duvarı (FHWA, 1999).

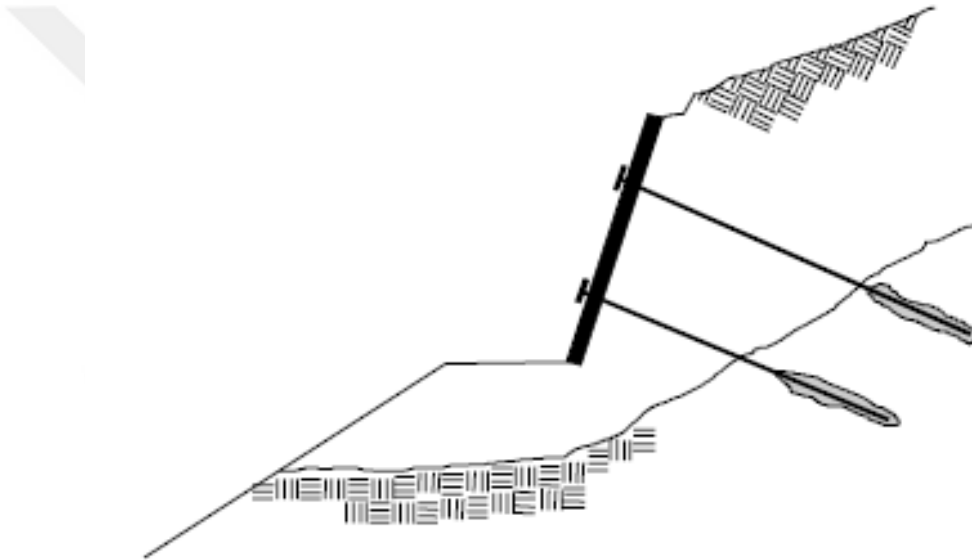


Şekil 3.13 : Karayolları inşaatında kalıcı ankrajlı duvarlar (FHWA, 1999).

Şekillerden de görüldüğü gibi, ağırlık duvarlarında ilave olarak geçici düşey elemanla birlikte bir de yatay eleman gerekmektedir. Ağırlık duvarı inşaaından sonra ise yapılması gereken uygun nitelikteki geri dolgu inşaatı, sistemin maaliyetini arttırmaktadır.

3.6.2 Şev stabilitesi ve toprak kaymaları

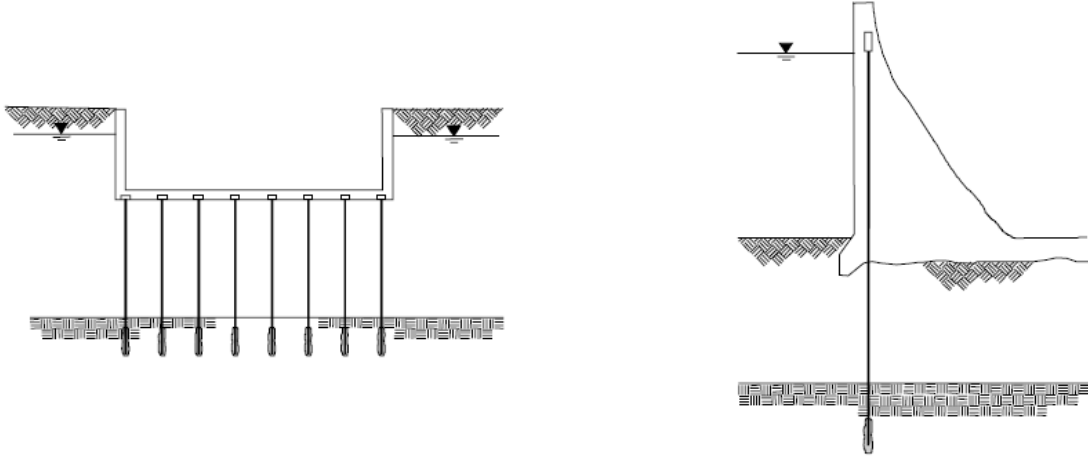
Zemin ankrajlarının inşaaı için, genellikle düşey taşıyıcı elemanlarla birlikte yatay kirişler gerekmektedir. Ankrajlar, şev stabilitesi problemlerinde, aktif kayma kamasında bulunan ağır kütleleri desteklemek için kullanılabilmektedirler (Şekil 3.14). Yatay kirişler, ankraj yükünün sisteme üniform bir şekilde yayılmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.14 : Şev stabilitesi problemlerinde zemin ankrajlarının kullanılması (FHWA, 1999).

3.6.3 Çekme problemleri ve ağır yapıların stabilizasyonu

Kalıcı öngermeli zemin ankrajları, yapı temellerinin yüzme riskini azaltmak amacıyla kullanılabilmektedirler. Bu uygulama, yapı yükünün, yapıya gelen kaldırma kuvvetinden daha küçük olduğu durumla uygulanmaktadır. Çekme problemi beklenen yapının temeli inşa edildikten sonra, kalıcı öngermeli ankraj imalatı yapılarak yapı temeline, kaldırma kuvvetine zıt yönde bir çekme yükü uygulanır. Böylece, yapı temelleri, ankraj yüküyle birlikte kaldırma kuvvetini dengelemiş olur. Çekme problemlerini ortadan kaldırmak amacıyla öngermeli ankraj kullanımı, Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15 : Çekme problemleri ve ağır yapılarının stabilizasyonun sağlanması amacıyla kullanılan kalıcı zemin ankrajları (FHWA, 1999).

3.7 Öngermeli Ankrajların Tasarım Kriterleri

Kalıcı ve geçici öngermeli ankrajların tasarım süreçleri büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Kalıcı öngermeli ankrajlarda, geçici öngermeli ankrajlara ilave olarak korozyon etkisi de dikkate alınmalıdır. Kalıcı öngermeli ankrajlar genel olarak karayolları inşaatları sırasında, kazı aynalarının yatayda desteklenmesi amacıyla kullanılırlar. Öngermeli ankrajların tasarımı sırasında izlenecek adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilirler.

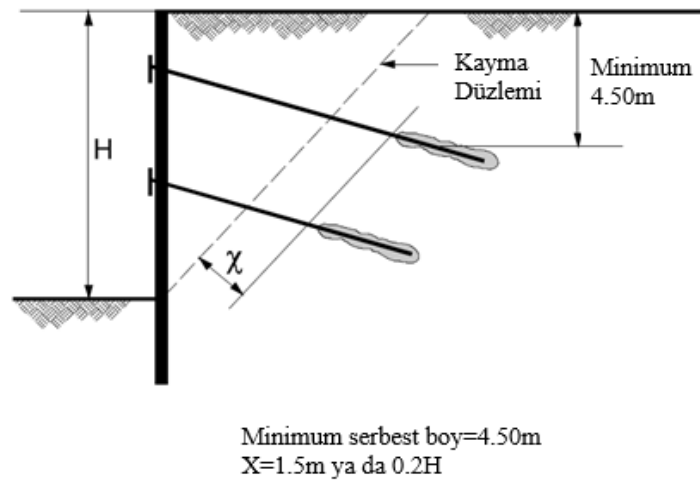
- İlk olarak, proje gereksinimleri, saha koşulları, sahaya komşu yapılar ve saha geometrisi göz önünde bulundurularak belirlenir.
- Daha sonra, inceleme alanındaki zemin/kaya profili belirlenir. Zemin veya kayanın mühendislik özellikleri değerlendirilir.
- Yapının kalıcı veya geçici olmasına göre, güvenlik katsayısı ve korozyon etkisi değerlendirilir.
- Yanal gerilme dağılımı, su basıncı, komşu yapılar ve sismik koşullar değerlendirilerek belirlenir.
- Birim genişlikte öngermeli ankrajın yükü belirlenir. Belirlenen yüke göre ankraj halatları ve ankraj kök bölgesi tasarlanır. Yanal gerilme dağılımı ve öngermeli ankrajın yüküne göre, düşeyde teşkil edilecek olan iksa perdesine etkiyecek olan kesit tesirleri hesaplanır.

- Altyapı lokasyonları, standartlarda belirlenen sınırlandırmaları ve zemin/kaya profili değerlendirilerek ankraj açısı belirlenir.
- Ankraj yatay aralıkları belirlenir.
- Ankrajlı iksa sisteminin iç ve dış stabilitesi değerlendirilir.
- Kazı sırasında gerçekleşecek olan deplasmanlar ön değerlendirilir.

Öngermeli zemin ankrajlarının yük transfer mekanizması, ankraj halatları, kök bölgesi enjeksiyonu ve zemin/kaya arasında gerçekleşir. Öncelikle, yüklenen ankraj halatları, aldıkları yükü kök bölgesindeki enjeksiyona aktarılır. Daha sonra, kök bölgesi aracılığıyla verilen yük zemine/kayaya aktarılır ve yük transferi tamamlanmış olur (Kim ve diğ, 2007). Bu yüzden, öngermeli ankraj tasarımlarında, ankraj halatları ile enjeksiyon arasındaki ve enjeksiyon ile zemin/kaya arasındaki gerilmeler, ankraj kapasitesi tasarımında önem arz etmektedir.

3.7.1 Aktif kayma kamasının belirlenmesi

Ankraj kök bölgesinin ve serbest bölgesinin tasarımı yapılmadan önce, aktif kayma kamasının lokasyonu belirlenmelidir. Ankraj kök bölgesi, aktif kayma kamasının arkasında bulunmalıdır. Aksi takdirde, ankraj yük transferi kaymaya çalışan bölgede yapacak ve ankraj sağlıklı bir şekilde çalışmayacaktır. Ankraj kök bölgesi, ankraj serbest bölgesi ile aktif kayma kamasının arkasına yerleştirilmelidir. Zeminler için aktif kayma kaması, kazı köşesinden $45^\circ + \phi/2$ şeklinde varsayılabilir (FHWA, 1999). Oluşacak aktif kayma kamasının şematik gösterimi ve ankraj kök bölgelerinin bu düzlemden olması gereken minimum uzaklığı Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 : Serbest ve kök bölgelerinin kayma kamasına göre yerleşimi (FHWA, 1999).

3.7.2 Öngermeli ankrajların serbest bölgesinin tasarımı

Öngermeli ankrajların serbest bölgesinin boyu, BS 8081 (2015) Standartına göre, minimum 5.00m olmalıdır. Bu minimum değer, ankraj öngermesinin hemen sonrasında, oturmalarından kaynaklı yük kayıplarını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Ankraj serbest bölgesinin boyunun, FHWA'da (1999) belirtilen aşağıdaki kriterleri sağlamalıdır.

- Ankraj serbest bölgesinin boyu, aktif kayma kamasının kazı aynasından minimum uzaklığından daha uzun olmalıdır.
- Projede öngörülen ankraj yükünü sağlayacak zeminin veya kayanın bulunduğu bölgeye kadar ulaşacak uzunlukta olmalıdır.
- Serbest bölge, aktif kayma kamasından en az, kazı derinliğinin 1/5'i ya da 1.50m uzakta olacak şekilde boyutlandırılmalıdır.
- Ankraj imalatı sırasında kullanılacak olan çelik halatlar, projede belirtilen yükleri taşıyacak şekilde mekanik özelliklere (kesit alanı, elastisite modülü) sahip olmalıdır.

3.7.3 Öngermeli ankrajların kök bölgesinin tasarımı

Öngermeli zemin ankrajlarında, kök bölgesinin en büyük çekme kapasitesi, zemin/kaya türüne, enjeksiyon içeriğine ve enjeksiyonlama yöntemine ve ankraj kök bölgesi çevresinde oluşan gerilme soğanına bağlıdır (Gregorio ve diğ., 2016).

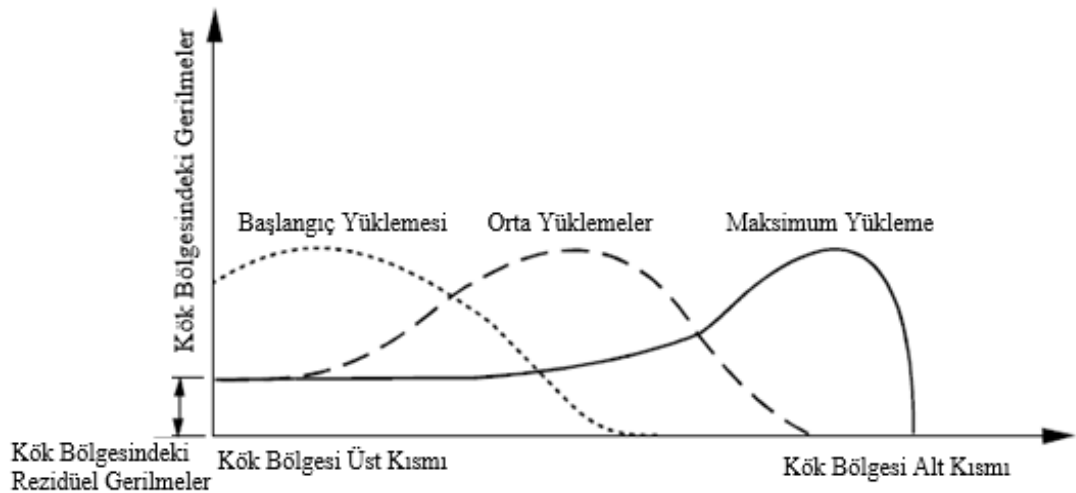
Ankraj kök bölgesinin tasarımı, genel olarak, inceleme alanında edinilen önceki tecrübelerle göre yapılmaktadır. Ankrajların kök bölgesinin kapasitesini, inceleme alanındaki zemin/kaya profilinin yanında, ankraj delgisi çapı, ankraj delgisinin yıkıntı malzemelerden veya sudan temizlenmesi, enjeksiyonlama yöntemi ve ankraj kök bölgesinin uzunluğu etkilemektedir.

Zemin ankrajlarının ön tasarımı, SPT darbe sayılarından hareketle yapılabilmektedir. SPT darbe sayılarına göre, farklı kıvam ve sıklıktaki zeminler için verilen birim taşıma gücü Çizelge 3.4'te gösterilmiştir (FHWA, 1999). Verilen çizelgeden hareketle, ön görülen kök uzunluğu ile çizelgeden hareketle elde edilen birim taşıma gücü çarpılıp $FS=2.00$ güvenlik katsayısı ile bölünerek, ankraj kök bölgesinin kapasitesi hesaplanabilmektedir.

Çizelge 3.4 : Kök bölgesi ön tasarımı için SPT darbe sayılarına göre taşıma gücü (FHWA, 1999).

Zemin Türü	Rölatif Sıklık/Kıvam	Tahmini Ankraj Kök Kapasitesi (kN/m)
Kum ve çakıl	Gevşek (4-10)	145
	Orta sıkı (11-30)	220
	Sıkı (31-50)	290
Kum	Gevşek (4-10)	100
	Orta sıkı (11-30)	145
	Sıkı (31-50)	190
Kum ve silt	Gevşek (4-10)	70
	Orta sıkı (11-30)	100
	Sıkı (31-50)	130
Düşük plastisiteli kil ve silt	Katı (10-20)	30
	Sert (21-40)	60

Öngermeli ankrajların kapasiteleri, doğrudan kök bölgesi uzunluğu ile ilişkilidir demek yanlış bir söyleyiş olabilmektedir. Belirli bir uzunluktan sonra, ankraj kök bölgesinin uzunluğunu arttırmak, ankraj kök bölgesine etkiyen gerilmeler, kök bölgesine iletilmeden önce zeminin yenileceğinden dolayı, etkili bir uygulama olmayacaktır. Öngermeli ankrajlarda önerilen en fazla uzunluk 12.00m olarak belirlenmiştir (FHWA, 1999). 12.00m'den sonra, ankraj kök bölgesinin başlangıcından sonuna yük transferi sağlanamayacağından, bu değerin aşılması efektif olmayan bir tasarım doğuracaktır. Belli bir uzunluktan sonra, ankraj kapasitesini sağlamak için, kök bölgesini uzatmak yerine, ankraj delgi çapını genişletmek daha etkili bir yöntem olacaktır (Liao ve diğ, 1996). Zemin ankrajlarının ön germesi sırasında, kök bölgesinin kayma gerilmeleri dağılımı, ilk yüklemeden son yükleme doğru Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 : Ankraj kök bölgesinin yükleme sırasında kayma gerilmeleri dağılımı

Basınçlı enjeksiyon yöntemi, kohezyonsuz zeminlerde, ankrajların kök bölgelerinde oluşan kayma gerilmelerinde artış sağlamaktadır. Ankraj kök bölgelerinin kapasitesi hesaplanırken, güvenli bölgede kalmak amacıyla, hesaplamalar sırasında imalat sırasında uygulanan delgi çapını kullanmak doğru bir yaklaşım olacaktır. Ankrajların kök kapasitesitelerinin hesaplanması için, FHWA (1999) tarafından önerilen kök ile zemin/kaya etkileşiminin önerilen kayma gerilmesi değerleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Farklı zemin ve kaya sınıfları için önerilen ankraj kök bölgesi ile zemin/kaya etkileşiminin kayma gerilmeleri değeri (FHWA, 1999).

Kayalar		Kohezyonlu Zeminler		Kohezyonsuz Zeminler	
Kaya Çeşidi	Ortalama Kök Bölgesi Gerilmesi (Mpa)	Ankraj Tipi	Ortalama Kök Bölgesi Gerilmesi (Mpa)	Ankraj Tipi	Ortalama Kök Bölgesi Gerilmesi (Mpa)
Granit ve bazalt	1.7-3.1	Yerçekimiyle enjeksiyonlu	0.03-0.07	Yerçekimiyle enjeksiyonlu	0.07-0.14
Dolomitik kireçtaşı	1.4-2.1	Basınçlı enjeksiyonlu		Basınçlı enjeksiyonlu	
Yumuşak kireçtaşı	1.0-1.4	Yumuşak siltli kil	0.03-0.07	İnce daneli kum, orta sıkı-sıkı	0.08-0.38
Arduvaz ve sert şeyl	0.8-1.4	Siltli kil	0.03-0.07	İri daneli kum, orta sıkı	0.11-0.66
Yumuşak şeyl	0.2-0.8	Katı kil, yüksek plastisiteli	0.03-0.10	İri daneli kum, sıkı-çok sıkı	0.25-0.97
Kumtaşı	0.8-1.7	Çok katı kil, yüksek plastisiteli	0.07-0.17	Siltli kum	0.17-0.41
Ayrılmış kumtaşı	0.7-0.8	Katı kil, orta plastisiteli	0.10-0.25	Sıkı buzul	0.30-0.52
Ayrılmış marn	0.15-0.25	Çok katı kil, orta plastisiteli	0.14-0.35	Kumlu çakıl, orta sıkı-sıkı	0.21-1.38
Beton	1.4-2.8	Çok katı kumlu kil, orta plastisiteli	0.28-0.38	Kumlu çakıl, sıkı-çok sıkı	0.28-1.38

Kohezyonlu zeminlerde, basınçlı enjeksiyonlama yöntemi ile kök bölgesinin teşkil edilmesini sağlamak, ankraj taşıma kapasitesinde artışa sebep olabilmektedir. Ancak, sonradan enjeksiyonlama yöntemi, kohezyonlu zeminlerde, ankraj kök bölgesinin kapasitesini arttırması açısından çok daha etkili bir yöntem olacaktır. Kohezyonlu zeminlerde, sonradan enjeksiyonlama yöntemi ile ankraj kök bölgesinin gövdesi etrafında düzensiz bir yüzey oluşturulmasıyla, ankraj kök bölgesinin, zemin veya kayayla daha fazla etkileşim sağlamasına katkı verilerek, ankraj kök bölgesinin kayma direnci değerinde ciddi artışlar sağlanabilmektedir. Ankraj kök bölgesinin kapasitesini tam olarak belirleyebilmek ancak saha yapılacak olan performans testleriyle mümkün

olabilmektedir. Fakat sonradan enjeksiyonlama yöntemi ile, kohezyonlu zeminlerde, yerçekimiyle enjeksiyonlama yöntemine göre, aynı parametrelere sahip zemin/kaya tabakaları, aynı çapta delgi olmak üzere, elde edilen kayma dirençleri %20 ila %50 oranında daha fazla olabilmektedir (PTI, 1996).

Zemin ve kayalar için, ankraj kök bölgeleri aşağıdaki denklemde verildiği gibi hesaplanabilir (FHWA, 1999).

$$T_{max} = L_{kök} \times (D_{delgi} \times \pi \times \tau_{ult}) / FS \quad (3.2)$$

T_{max} = Maksimum ankraj kapasitesi

D_{delgi} = Ankraj delgisi çapı

τ_{ult} = FHWA uyarınca önerilen zemin veya kaya/kök etkileşimi için adhezyon değeri

FS = Güvenlik katsayısı (Minimum 2.00 kullanılması önerilmektedir)

3.7.4 Öngörülen tasarım yükleri ve imalat öncesi yapılan testler

İmalat öncesi yapılan testler, ankrajların maksimum taşıma kapasitesini ve sünme davranışlarını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Öngörülen tasarım yüklerinden emin olunamadığı zamanlarda, ankrajlar için öngörülen tasarım yükünün, daha önce tecrübe edinilen yüklerden daha fazla olduğu durumlarda ve alışılmadık bir yapım yöntemi uygulandığında, imalat öncesinde birden fazla test yapmak daha uygun bir uygulama olacaktır (FHWA, 1999).

Ankrajlar, test anında yapılan öngörme sırasında yüksek yüklere maruz kalacağından ankrajda bir takım deformasyonlar meydana gelmesi kaçınılmaz bir durum olacaktır. Bu sebeple, imalat öncesinde yapılan testler sırasında imal edilen ankrajların servis sırasında kullanılmaması önerilmektedir. Eğer, test sırasında çıkılan maksimum öngerme yükü, ankraj tasarım yükünün %80'inden daha fazla ise, test ankrajı olarak imal edilen ankraja, ankraj tendonlarında gerçekleşebilecek herhangi bir kopma veya aşınmayı engellemek amacıyla, bir veya daha fazla çelik tendon eklenmesi uygun olacaktır.

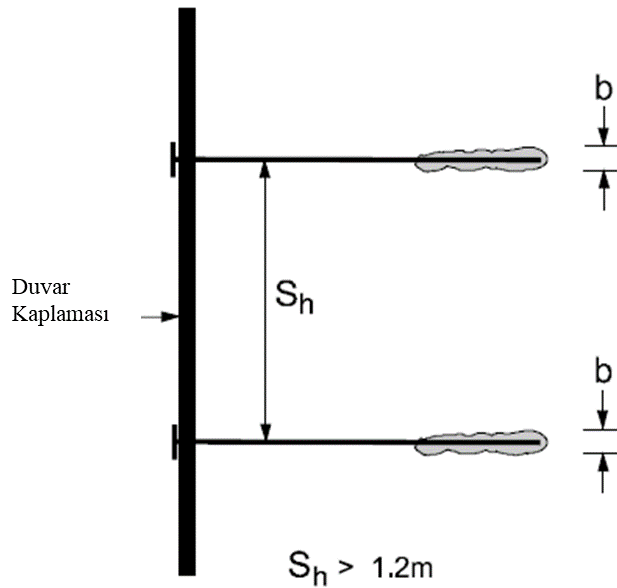
3.7.5 Önerilen minimum ankraj aralıkları

Her zemin ankrajının yatay ve düşey aralığı, ankrajın belli bir karelaja denk gelen yükü taşıdığı kabul edilerek belirlenmektedir. Ankraj halatlarının büyüklüğü ve

mukavemeti, delgi ve enjeksiyonlama yöntemi, ankraj çapı ve uzunluğu, ankrajın, bu yüklere servis ömrü boyunca maruz kalacağı kabulüyle tasarlanmaktadır. Ankrajların yatay ve düşey aralıkları, sistemde izin verilecek olan deformasyonlara, sistemin rijitliğine, mevcut altyapıların veya üstyapıların lokasyonuna, ankraj yatay açısına ve imal edilecek olan düşey taşıyıcı elemanın tipine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Öngermeli ankraj kökleri, daha önceki bölümlerde, Şekil 3.16’da da gösterildiği gibi, zemin yüzeyinden minimum 4.50m aşağıda bulunmalıdır. Bu gereklilik, enjeksiyonlama sırasında, yüzeyde oluşabilecek olası sızıntıları ve basınçlı enjeksiyonlama yöntemi sırasında, zeminde oluşabilecek olan şişmelerin engellemesini amaçlamaktadır.

Ankraj yatay aralıkları Şekil 3.18’de de gösterildiği gibi, minimum 1.20m olarak seçilmelidir (FHWA, 1999). Bu gereklilik, öngerme sırasında, birbirine komşu ankrajların kök bölgelerinde oluşacak olan gerilme soğanlarının çakışmasını, dolayısıyla, zeminin veya kayanın, kapasitesinden daha fazla yükleyerek göçmesini, başka bir deyişle taşıyabileceğinden daha az yük taşımasını ve ankrajlarda oluşabilecek olası yük kayıplarını engellemeyi amaçlamaktadır. Ankraj yatay aralıklarının 1.20m’den daha az seçilmesi durumunda, test edilip kilitlenerek servise sokulan ankrajda, komşu ankrajın kanıt testi sırasında oluşan ilave gerilmelerden dolayı yük bşalması olabilecek, test edilip servise sokulan ankraj, öngörülen yükü taşıyamamış olacaktır.



Şekil 3.18 : Ankrajlarda önerilen minimum yatay aralık (FHWA, 1999).

3.8 Saha Araştırmaları ve Deneyler

Ankrajlı sistemlerin tasarımında, zemin ve kaya araştırma çalışmaları büyük önem arz etmektedir. Ankrajlı sistemler için yapılan zemin araştırma çalışmaları genel olarak, inceleme sahasının zemin ve kaya profillerinin belirlenmesini, saha deneylerini ve laboratuvar deneylerini kapsamaktadır. Yapılan alışmalar kapsamında, inceleme alanında yer alan zemin ve kaya profillerinin mühendislik özellikleri belirlenerek değerlendirmelere tabi tutulmaktadır.

3.8.1 Zemin araştırma alışmaları

Ankrajlı sistemler için yapılan saha araştırma çalışmaları, genel olarak zemin veya kaya araştırma sondaj çalışmaları ve çalışmalar sırasında numune alımlarını kapsamaktadır. Zemin ve kaya stratigrafisi ve yeraltı su seviyesi, saha araştırma çalışmaları kapsamında elde edilmektedir. Ayrıca, zemin araştırma çalışmaları, sondaj delgisinin belirli seviyelerinden alınan örselenmiş ve/veya örselenmemiş numunelerin zemin ve kaya mekaniği laboratuvarı ortamlarında deneylere tabi tutularak değerlendirilmesini de içermektedir.

3.8.1.1 Zemin ve kaya stratigrafisi

İnceleme alanının zemin ve kaya stratigrafisi, ilgili tabakaların kalınlığını, kotlarını ve yataydaki genişliklerini kapsamaktadır. Zemin araştırma çalışmaları sırasında, zemin ve kayada gözlemlenebilecek problemlerin tanımlanması gerekmektedir. Zemin ve kayada gözlemlenebilecek olan problemler aşağıdaki maddelerde sıralanmıştır.

- Delgi veya herhangi yükleme sırasında oyuklar oluşabilecek, sıvılaşma tehlikesiyle karşı karşıya kalabilecek kohezyonsuz kumlar ve siltler,
- şev stabilitesi riski taşıyabilecek zayıf mühendislik parametrelerine sahip zeminler ve kayalar,
- Yüksek sıkışabilme özelliğine sahip, uzun dönemde yüksek oturmalara sebep olabilecek yüksek plastisiteli killer ve organik zeminler,
- Ankraj delgisi ve düşey taşıyıcı eleman imalatları sırasında karşılaşılabilecek diğer engeller, kaya blokları, çimentolaşmış zemin tabakaları,

gibi problemler, saha araştırma çalışmaları sırasında mutlaka değerlendirilmeli ve gerekli önlemler imalatlar başlanmadan önce mutlaka alınmalıdır.

Saha araştırma çalışmaları kapsamında yapılacak olan zemin araştırma sondajları, derin kazı kapsamında inşa edilecek olan iksa sistemi hattı boyunca uygulanmalıdır. Zemin araştırma sondajları için FHWA (1999) tarafından önerilen yatay aralık, zemin ankrajları için 15.00m ila 30.00m aralığında değişiklik gösterirken, bu değer, kaya ankrajları için 30.00m ila 60.00m aralığındadır. Zemin araştırma sondajlarının boyları ise inceleme alanında karşılaşılabilecek muhtemel olan zemin veya kaya tabakalarına göre belirlenebilmektedir.

Genel olarak, yüzeyden 1.50m derinlikten itibaren, her 1.50m'den numune alınmalıdır. Zeminlerde ilerlenen sondajlarda, her 1.50m'de Standart Penetrasyon Deney'leri yapılması önerilmektedir. Standart Penetrasyon Deneyi'ne ek olarak, ihtiyaç duyulduğu durumlarda, sürekli bir zemin profili elde edebilmek amacıyla Koni Penetrasyon Deneyleri de yapılabilmektedir.

Zemin araştırma sondajları sırasında, kaya ile karşılaşılabilecek durumunda, minimum 3.00m'lik numuneler alınmalıdır. Alınan kaya numuneleri üzerinden, kaya sınıfı, RQD değeri (Rock Quality Designation), mineral bileşimleri, ayrışma derecesi ve süreksizlikleri belirlenebilmektedir. RQD değerlerine göre kaya sınıflandırması Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 : RQD değerlerine göre kaya kalitesinin belirlenmesi (ASTM D6032, 2017).

RQD Değer (%)	Kaya Kalitesi
0-25	Çok Zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok İyi

Araştırma çalışmaları sırasında alınan zemin ve kaya numuneleri saha ortamında muhafaza edilerek gerekli deneyler uygulanmak üzere laboratuvara gönderilmelidir.

3.8.1.2 Yeraltı suyu araştırması

Geoteknik uygulamaların tümü, yeraltı suları ile doğrudan ilişki içerisindedir. Dolayısıyla, saha araştırma çalışmaları kapsamında, yeraltı suyunun varlığı ve konumunun belirlenmesi, geoteknik tasarım aşamalarında önemli bir yer tutmaktadır. Yeraltı suyunun varlığı, iksa sisteminin düşey elemanına etkiyen toplam basıncı, yapılara etkiyen kaldırma kuvvetini, drenaj sistemi tasarımını, geçirimsizlik

gereksinimlerini, sıvılaşma potansiyelini ve korozyon korumasını doğrudan etkileyen bir faktördür.

Yeraltı suyunun bulunduğu bölgelerde, aşağıdaki durumların göz önünde bulundurulması geoteknik tasarım aşamasında büyük öneme sahiptir.

- Ortalama en yüksek ve en düşük yeraltı suyu seviyesi
- Yeraltı suyunun agresifliğine göre zemin ankrajlarının korozyon potansiyeli
- Sızmaya bağlı olarak zemin veya kayalarda gerçekleşebilecek şev stabilitesi problemlerin
- Sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi

3.8.2 Zemin ve kaya laboratuvarı deneyleri

3.8.2.1 Sınıflandırma ve Atterberg limitleri

Zemin veya kaya araştırma sondajlarından elde edilen numuneler, ASTM D2488 (2017) ve ASTM D2487 (2017) uyarınca tanımlanabilmektedirler. Zemin parametreleri (birim hacim ağırlık, su muhtevası, dane çapı dağılımı ve Atterberg limitleri) analizler ve tasarım aşamasında kullanılırlar. Birim hacim ağırlık, temel zeminin taşıma kapasitesi hesaplamalarında ve iksa arkasında bulunan zeminin iksa sistemine uyguladığı basıncın hesabında kullanılmaktadır. Atterberg limitleri ve su muhtevası, inceleme alanındaki killi zemin tabakalarının sıkışabilirliğini, kayma dirençlerini ve kohezyonlu zeminlerde ankraj uygulamasının uygun olup olmadığını değerlendirebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Dane çapı dağılımı ise, ankraj delgisi sırasında karşılaşılabilecek zorlukları ve kullanılabilecek uygun delgi yöntemleri hakkında fikir vermektedir.

3.8.2.2 Kayma Mukavemeti

Zeminin en önemli parametrelerinden biri de kayma mukavemetidir. Zeminin veya kayanın kayma mukavemetini belirlemek amacıyla, serbest basınç deneyi, kayma kutusu deneyi ve üç eksenli basınç deneyi yapılmaktadır.

3.8.3 Saha deneyleri

En yaygın olarak kullanılan saha deneyi standart penetrasyon deneyidir. SPT darbe sayıları, iri daneli zeminlerin rölatif sıkılığını, ince daneli zeminlerin ise kıvamını

belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Standart penetrasyon deneyinin yaygın olarak kullanılmasının nedeni, deney sırasında örselenmiş zemin numunesi elde edilmesidir. Kohezyonsuz zeminlerde, SPT darbe sayısının 10'dan küçük olması, zeminin ankraj için uygun olmadığını göstermektedir. SPT darbe sayıları ile ince zeminlerin kıvam ve iri daneli zeminlerin rölatif sıklık ilişkisi Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.7 : SPT darbe sayılarına göre ince daneli zeminlerin kıvamı ve iri daneli zeminlerin rölatif sıklığı (AASHTO, 1988).

Kohezyonsuz Zeminler		Kohezyonlu Zeminler	
Rölatif Sıklık	SPT N Darbe Sayısı	Kıvam	SPT N Darbe Sayısı
Çok gevşek	0-4	Çok yumuşak	0-1
gevşek	5-10	Yumuşak	2-4
orta sıkı	11-24	Orta Katı	5-8
sıkı	25-50	Katı	9-15
çok sıkı	>51	Çok Katı	16-30
		Sert	31-60
		Çok sert	>61

Saha deneyleri olarak, standart penetrasyon deneyinin yanında, koni penetrasyon deneyi, kanatlı kesme deneyi ve dilatometre deneyleri de uygulanabilmektedir.

Yukarıdaki paragrafta söz edilen saha deneylerinin uygulanabilir olduğu zeminler ve kayalar ile birlikte sonucunda elde edilen parametreler Çizelge 3.8'de verilmiştir.

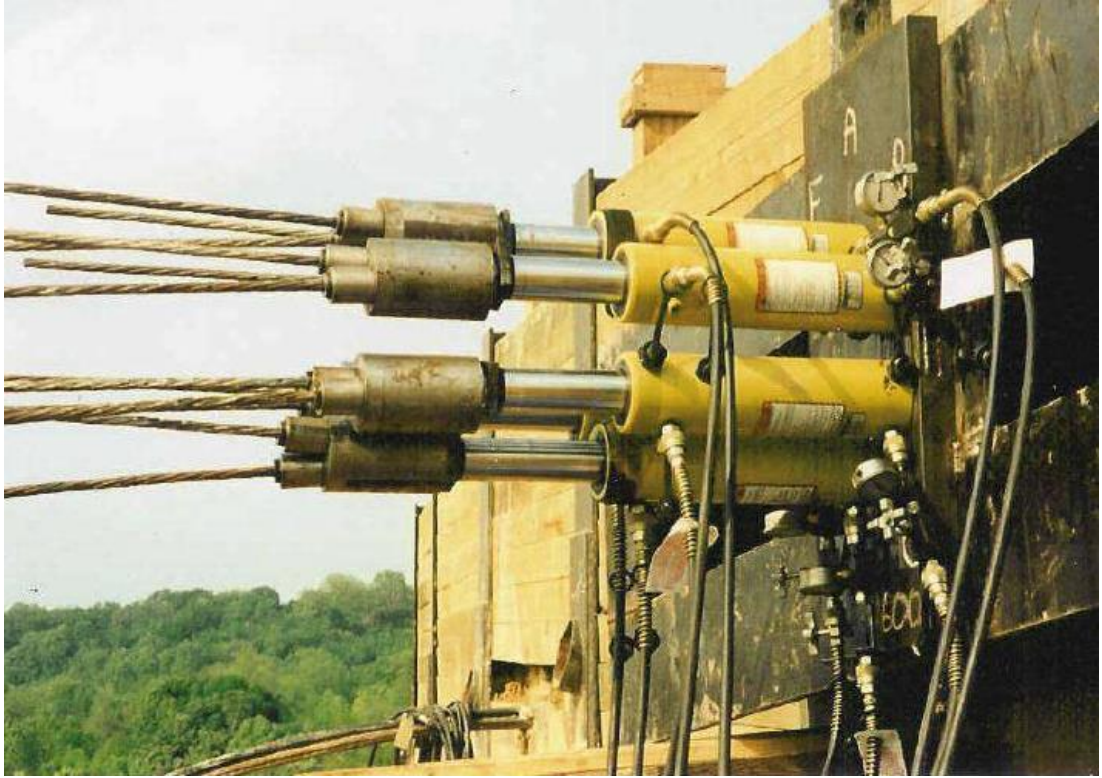
Çizelge 3.8 : Saha deneylerinin uygulanabilirliği ve saha deneylerinden elde edilebilen sonuçlar (FHWA, 1999).

Test adı	Uygun zeminler/kayalar	Uygun olmayan zeminler/kayalar	Elde edilen sonuçlar
SPT	Kum, kil, silt	Çakıl	Dayanım, rölatif sıklık, kıvam Kumların dayanımı, killerin drenajsız kayma mukavemeti, rölatif sıklık, boşluk suyu basıncı
CPT	Kum, kil, silt	Çakıl	Drenajsız kayma mukavemeti
FVT	Yumuşak-orta katı kil	Kum ve çakıl	Dayanım, aşırı konsolidasyon oranı, sıkışabilirlik, hidrolik iletkenlik, elastik kayma modülü
PMT	Yumuşak kaya, sıkı kum, çakıl	Yumuşak kil, gevşek kum	Zemin türü, aşırı konsolidasyon oranı, drenajsız kayma mukavemeti ve elastisite modülü
DMT	Kum ve kil	Çakıl	

4. TEK DELGİLİ ÇOK KÖKLÜ ANKRAJLAR

Tek delgili çok köklü ankrajlar, uygulama yükünü, aktif kayma kamasının arkasındaki zemine veya kayaya, tek delgi içerisinde teşkil edilen birden çok kök bölgesi aracılığıyla aktaran yapı elemanlarıdır. Tek delgili çok köklü ankrajlar, geleneksel öngermeli ankrajlarla aynı prensipte çalışırlar. Tek delgili çok köklü ankrajlar, tek bir ankraj delgisi içerisinde bir, iki veya üç halatlı, birden çok ankraj ünitesinin yerleştirilmesiyle uygulanırlar (Şekil 4.1). Delgi içerisinde bulunan birden çok kök, enjeksiyon aracılığıyla, zeminin veya kayanın farklı bölgelerinde gerilme soğanları oluşturarak, uygulanan çekme yükünü zemine veya kayaya aktarırlar.

Tek delgili çok köklü ankrajlar için çalışmalar 1978 yılında başlamıştır (Barley, 1997). Yapılan çalışmalar, daha kısa kök boyları ile, daha verimli çalışan kök bölgeleri teşkil edilebileceğini göstermiştir.



Şekil 4.1 : Tek delgili çok köklü ankraj üniteleri.

Geleneksel öngermeli ankrajların yerine tercih edilen tek delgili çok köklü ankrajlar, zayıf zeminlere ve kayalara teşkil edilen ankrajların kapasitesinin artmasını sağlamıştır. Tek delgili ankrajlar sayesinde, ankraj kapasitesinin artışının yanında, sünme riski de minimize edilmektedir. Dolayısıyla, uygulamada tercih edilmeleri, proje maliyetine ve iş programına önemli katkıda bulunmaktadır.

Tek delgili çok köklü ankrajlarda, farklı boylara sahip ankraj ünitelerinin kökleri, zeminin veya kayanın farklı seviyelerinde bulunurlar. Tek delgili çok köklü ankrajların tip kesiti Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Tek delgili çok köklü ankrajların tip kesiti.

Tek delgili çok köklü ankrajların delgisi, geleneksel öngermeli ankrajlarla aynı şekilde yapılmaktadır. Delgi sırasında, geleneksel öngermeli ankrajlarda da ihtiyaç duyulan hidrolik delgi makinesi, delgi ekipmanları, muhafaza borusu gibi donanımlar kullanılmaktadır.

4.1 Tek Delgili Çok Köklü Ankraj Elemanları

Tek delgili çok köklü ankraj elemanları, genel olarak, geleneksel öngermeli ankrajlar gibi, kök bölgesi ve serbest bölgeden oluşurlar. Kullanılan malzemeler ve elemanlar bakımından geleneksel öngermeli ankrajlarla benzerlik gösteren tek delgili çok köklü ankrajlar, çelik halatı, enjeksiyonlanma yöntemi ve öngerme testleriyle geleneksel ankrajlara göre farklılıklar göstermektedirler.

4.1.1 Tek delgili çok köklü ankrajların çelik halatları

Tek delgili çok köklü ankrajların çelik halatları, delgi içerisinde teşkil edilecek olan ankraj ünitesi sayısına göre değişiklik göstermektedir. Bu ankrajlar, ankraj ünitesi sayısı kadar, farklı bölgelerde olmak üzere, ankraj kökü bulundurulur. Bu kökler, projede belirtildiği şekilde, ankrajın farklı bölgelerine yerleştirilirler.

Tek delgili çok köklü ankrajların her bir ankraj ünitesinin kökünün yeterince enjeksiyonlanabilmesi amacıyla en az bir adet enjeksiyonlama hortumu bulunmalıdır. Aksi takdirde, çok köklü ankrajın herhangi bir kökü yeterince enjeksiyonlanmadığında, ankraj imalatı projede öngörülen öngerme yükünü taşıyamayabilecektir.

4.1.2 Tek delgili çok köklü ankrajların enjeksiyonlanması

Tek delgili çok köklü ankraj imalatları sırasında kullanılan enjeksiyon, geleneksel öngermeli ankrajlar için kullanılan enjeksiyonla aynı özelliklere sahip olmalıdır. Tek delgili çok köklü ankrajlar için kullanılacak olan enjeksiyon karışımı da aynı standartları sağlamak zorundadır.

Tek delgili çok köklü ankrajların enjeksiyonlanma yöntemi, delgi içerisine yerleştirilecek olan ankraj ünitesi sayısına göre değişiklik göstermektedir. Ankraj delgisi tamamlandıktan sonra, ankraj delgisi, geleneksel öngermeli ankrajlarda olduğu gibi, delgi dibinden başlanarak enjeksiyonla doldurulur. Enjeksiyonlama işlemine delgi tabanından başlanması, delgi tabanında biriken yeraltı suyunun ve göçen malzemelerin delgi ağzından dışarı atılmasını sağlar. Tek delgili çok köklü ankraj çelik halatları delgiye yerleştirildikten bir süre sonra, ankrajın birincil enjeksiyonlama işlemi uygulanarak ankraj delgisinin tamamı enjeksiyon ile doldurulur. Birincil enjeksiyonlama işleminden bir süre sonra, ankraj kök bölgelerinin tamamen enjeksiyonla dolduğundan emin olmak amacıyla uygulanan ikincil enjeksiyonlama işlemine geçilir. İkincil enjeksiyonlama uygulamasının bir diğer amacı, ankraj delgisi içerisinde yer alan kök bölgelerinin etrafında herhangi bir enjeksiyon kaçağı riskinin olması halinde, kaçak olan bölgelerin enjeksiyonla birlikte doldurulmasıdır. Böylece, her ankraj ünitesinin kök bölgesinin enjeksiyonla doldurulduğundan emin olunmaktadır. İkincil enjeksiyonlanma işlemi, tek delgili çok köklü ankrajda bulunan ünite sayısına göre, ankraj halatlarının imalatları sırasında her bir kök bölgesine yerleştirilen enjeksiyonlama hortumu aracılığıyla, ankraj kök bölgelerine uygulanarak enjeksiyonlama işlemi tamamlanır. Enjeksiyonlama işlemi tamamlandıktan sonra, enjeksiyonun priz süresi beklenerek ankraj öngerme aşamalarına geçilir.

4.1.3 Tek delgili çok köklü ankrajların testi ve öngermesi

Tek delgili çok köklü ankrajların öngerme testinin geleneksel ankrajların öngerme testinden farkı, her bir ankraj ünitesine ayrı ayrı öngerme uygulanmasıdır. Bu

kapsamda, tek delgili çok köklü ankrajların öngerme işlemi iki farklı şekilde uygulanabilmektedir.

Birinci yöntem, her bir ankraj ünitesine, ayrı bir hidrolik germe krikosu ile öngerme uygulanmasıyla gerçekleşmektedir. Bu uygulamada sırasında, ankrajlar farklı hidrolik germe krikoları ile farklı uzamalar yaptırılarak aynı yüklere yüklenir ve kilitlenirler. Farklı hidrolik germe krikoları ile öngermeleri yapılan tek delgili çok köklü ankrajlara ait fotoğraf Şekil 4.3'te gösterilmiştir (Bruce ve diğ, 2004).



Şekil 4.3 : Ayrı hidrolik krikolar ile tek delgili çok köklü ankrajların öngerme işlemi (Bruce ve diğ, 2004).

İkinci yöntem ise, aynı hidrolik germe krikosu ile ankraj ünitelerine aynı anda öngerme yükünün uygulanması ile gerçekleşmektedir. Bu yöntem sırasında, tek delgili çok köklü ankrajların öngerme testi işleminin ilk aşamasında, ankraj üniteleri, ankraj serbest boylarına göre farklı yüklerde yüklenirler. Bu yüke referans yük adı verilir. Belirlenen bu referans yükü, tüm ankraj ünitelerinin, eşit yüklemeye eşit uzama yaparak proje yüküne çıkacağı yüküdür. Başka bir deyişle, tek delgili çok köklü ankrajlar, farklı uzunlukta ankraj üniteleri bulundurulur. Farklı uzunluklardaki ankraj ünitelerinin, eşit uzamalar altında farklı yüklenmeleri beklenir. Ankraj üniteleri arasındaki yükleme farklılıklarını ortadan kaldırmak için, farklı boylardaki ankraj

ünitelerine farklı uzamalar yapacak şekilde test yükü uygulanır. Örnek olarak, 3 ankraj ünitesi bulunduran bir tek delgili çok köklü ankraj için, öngörme testi işlemi şu sıralamaya göre uygulanır;

- Uzun ankraj ünitesi, ilk olarak bir miktar uzatılarak belli bir yüke getirilir. Verilen yük karşılığında uzun ünite ankraj ünitesinde oluşan deformasyonlar kayıt altına alınır.
- Daha sonra, ortanca ankraj ünitesi ile uzun ankraj ünitesi bir miktar uzamayla birlikte belli bir yüke getirilir. Verilen yükü, ankraj üniteleri, serbest boylarıyla ters orantılı şekilde paylaşırlar. Uygulanan yük altında, uzun ünite ve ortanca ünitenin yaptığı deformasyonlar kayıt altına alınır.
- Son olarak, uzun, ortanca ve kısa ankraj ünitelerinin tümü, belli bir uzamaya tabi tutularak, tek delgili çok köklü ankraj referans yüküne getirilir. 3 ankraj ünitesinin yaptığı uzamalar kayıt altına alınır.

Bu uygulamadaki temel prensip, elastik uzama formülünden de çıkarılabileceği üzere, kısa ankraj ünitesinin, daha küçük bir deformasyonla birlikte diğer halatlarla eşit miktarda yüklenmesidir.

Referans yükünden proje yüküne kadar ankraj ünitelerinin alacağı eşit deformasyonlarla birlikte, farklı ankraj ünitelerinin eşit yüklenmesi sağlanmış olmaktadır.

Geleneksel öngermeli ankrajlar bölümünde de bahsedilen, TS EN 1537’de (2001) tanımlanan ankraj testleri kabul kriterlerinin tamamı, tek delgili çok köklü ankrajlarda uygulanan testlerde de geçerlidir.

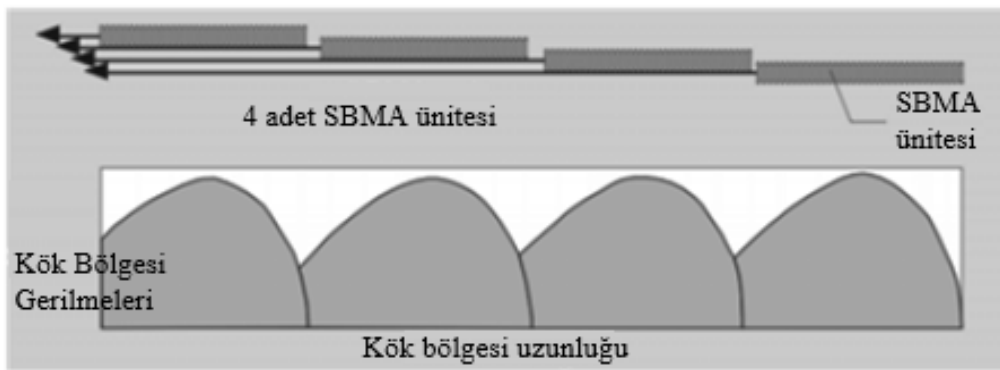
4.1.4 Tek delgili çok köklü ankrajların çalışma prensibi

Tek delgili çok köklü ankrajlar, imalat bakımından, geleneksel öngermeli ankrajlarla aynı yöntemler kullanılarak imal edilir. Yukarıdaki paragraflarda da belirtildiği gibi, tek delgili çok köklü ankrajların farkı, imalatları sırasında kullanılan çelik halatlardan, enjeksiyonlama yönteminden ve öngörme yönteminden kaynaklanmaktadır.

Geleneksel öngermeli ankrajlarda, zemin türüne bağlı olarak, kök bölgesinin uzunluğu teorik olarak en fazla 12m olarak seçilebilmektedir (FHWA, 1999). Ancak, tek delgili çok köklü ankraj imalatları, teorik olarak sonsuz uzunlukta bir kök bölgesi tasarımını mümkün kılmaktadır (Vukotic ve diğ., 2013). Böylelikle, tek delgili çok köklü

ankrajlar ile birlikte çok yüksek ankraj kapasitelerine daha uzun kök bölgeleri teşkil edilerek ulaşılabilmektedir. Bu durum, tek delgili çok köklü ankrajların, geleneksel öngermeli ankrajlara kıyasla iki kattan daha fazla yük taşımalarına olanak vermektedir (Vukotic ve diğ, 2013).

Tek delgili çok köklü ankrajların birden çok kökünün olması, uygulanan yükün farklı bölgelere aktarılmasını sağlar. Böylece, farklı bölgelerde gerilme soğanları oluşturularak, ankraj taşıma kapasitesinin önemli ölçüde artmasına neden olmaktadır. Tek delgili çok köklü ankrajların temel çalışma prensibini özetleyen görsel Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



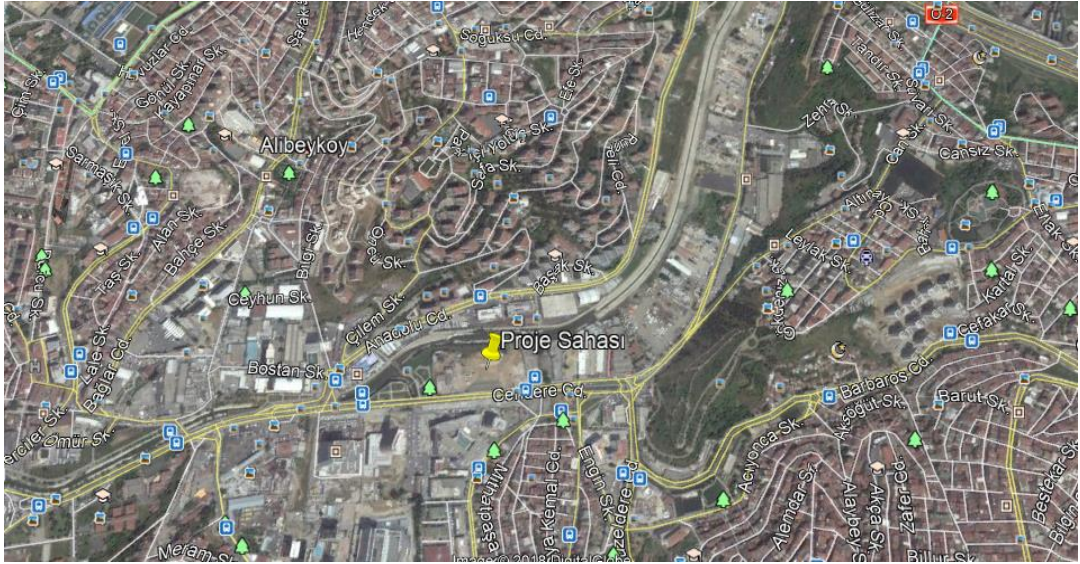
Şekil 4.4 : Tek delgili çok köklü ankrajların kök bölgelerinin gerilme dağılımları (Barley, 1997).

Şekil 4.4'te, 4 ankraj ünitesi bulunduran bir tek delgili çok köklü ankrajın kök bölgeleri boyunca, öngirme sırasında oluşan kayma gerilmeleri dağılımı grafiği gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, her bir ankraj ünitesinin çevresinde, ayrı ayrı bölgelerde gerilmeler oluşmaktadır.

5. VAKA ANALİZİ

5.1 İnceleme Alanı

Proje sahası, İstanbul İli, Kağıthane İlçesi, Hamidiye Mahallesi’nde yer almaktadır. Saha, konum itibariyle, Kağıthane Deresi’nin oluşturduğu vadi üzerinde yer almakta olup, proje sahası genel olarak düz bir topoğrafyaya sahiptir. Proje sahasının hava fotoğrafı Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Proje sahası inceleme alanının hava fotoğrafı.

5.2 İnceleme Alanı Zemin Profili

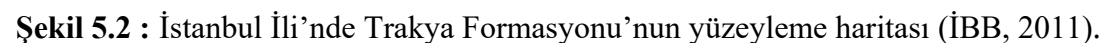
5.2.1 Genel Jeoloji

İstanbul Bölgesi ve yakın çevresinin genel jeolojik yapısında; Paleozoyik yaşlı bir “Temel Kütle” ile bunun üzerine uyumsuz (diskordans) olarak gelen Mesozoyik yaşlı oluşuklar ve bunların da üzerinde uyumsuz olarak duran, Senozoyik yaşlı “Örtü Formasyonları” yer almaktadır.

Paleozoyik Temel Kütle Ordovisiyen, Silüriyen, Devoniyen ve Karbonifer yaşlı değişik formasyonlardan ve bunların içine sokulmuş iki granitik (granodiyoritik) masiften oluşmaktadır. Paleozoyik yaşlı bu tortul seriler önce Hersiniyen Orojenez döneminde şiddetle deforme olmuşlar, kıvrılmış, kırılmış, yer yer kaymış, dilimler

İstanbul ve yakın çevresinde bulunan Senozoyik örtü çökelleri ise Eosen, Miyosen, Pliyosen ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı genç birimlerden meydana gelmişlerdir (İBB, 2011).

Başlıca kumtaşı, kıltaşı, şeyl, yer yer çakıltası türünden kırıntılı kayaların aralanmasından oluşur; alt kesimlerinde, değişen kalınlıkta kireçtaşı arakatki ve mercceklerini kapsar. Avrupa Yakası'nda, Boğaz'dan başlayarak Çekmece Gölleri'ne kadar geniş bir alana yayılır. Anadolu yakasında Kadıköy-Harem-Üsküdar arasında yaygındır. Trakya Formasyonu'nun yüzeyleme haritası Şekil 5.2'de verilmiştir (İBB, 2011).



Genellikle Formasyonun üst seviyelerinde görülen kumtaşları; zayıf, orta yer yer kalın tabakalı kahve renkli, ince-orta taneli ve üst seviyeleri orta-çok yer yer tamamen ayrılmış durumdadır. Derinlere doğru ayrışma etkisinin azalması ile dayanımı artarak sağlama yaklaşmakta, rengi ise griye dönmektedir. Kıltaşı ve silttaşı seviyeleri, laminalı-ince tabakalıdır. Birimlerin üst kısımları ayrışmalardan dolayı kahve renklidir ve dayanımları alt kısımlara kıyasla zayıftır. Kıltaşı ve silttaşlarının renkleri daha derinlere doğru gidildikçe gri olmaktadır ve dayanımları orta sağlam-sağlama ulaşmaktadır.

5.2.1.2 Alüvyon

Alüvyonlar, geç Kuvaterner'de İstanbul Yarımadası'nda mevcut olan çeşitli akarsu ortamlarında depolanmış, gevşek blok-çakıl-kum-kilden yapılmış çökellerdir. Genelde çapraz tabakalı ve devresel çökeller şeklinde olup kalınlıkları ve kendilerini oluşturan malzeme akarsuların fiziksel ve geometrik özelliklerine bağlıdır. Bu birim de Holosen yaşlıdır.

5.2.2 Zemin araştırma çalışmaları

İnceleme alanındaki zemin ve kaya koşullarını ve parametrelerini belirleyebilmek amacıyla bir takım zemin araştırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Zemin araştırma çalışmaları kapsamında, zemin profilini belirlemek amacıyla, proje sahasının boyutlarına göre, 29 adet zemin araştırma sondajı yapılmasına karar verilmiştir. Yapılan 29 adet sondajın boyları 48.00m ila 59.50m arasında değişmektedir. Gerçekleştirilen zemin araştırma sondajlarının numaraları, toplam derinlikleri ve sondajlar sırasında gözlemlenen yeraltı su seviyeleri Çizelge 5.1'de özet olarak verilmiştir. Zemin araştırma sondajları sırasında, zeminden ve kayadan örselenmiş/örselenmemiş numuneler alınmıştır. Zemin araştırma sondajları sırasında, saha deneyleri kapsamında, Standart Penetrasyon Deneyleri ve Presiyometre Deneyleri yapılmıştır. Zemin araştırma sondajları sırasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin ve kaya numuneleri üzerinde standart zemin ve kaya mekaniği laboratuvarına gönderilmiştir. Numuneler üstünde zemin ve kaya mekaniği deneyleri gerçekleştirilmiş ve deney sonuçları Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği uyarınca değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.1 : Zemin araştırma sondajlarına ait genel bilgiler.

Sondaj Numarası	Sondaj Boyu (m)	Yeraltı Su Seviyesi (m)
SK-1	50.00	9.50
SK-2	51.35	5.50
SK-3	50.00	10.00
SK-4	51.50	6.00
SK-5	50.00	6.00
SK-6	49.00	6.10
SK-7	59.50	5.30
SK-8	51.00	6.90
SK-9	50.00	6.50
SK-10	55.20	7.00
SK-11	48.00	6.40
SK-12	57.00	8.20
SK-13	53.00	5.80
SK-14	55.00	6.70
SK-15	55.50	6.40
SK-16	57.75	6.20
SK-17	49.20	6.60
SK-18	54.30	6.15
SK-19	54.00	7.00
SK-20	55.50	6.00
SK-21	55.00	6.30
SK-22	55.00	5.70
SK-23	54.00	6.50
SK-24	51.00	6.00
SK-25	50.50	6.00
SK-26	53.00	6.20
SK-27	55.00	6.40
SK-28	55.00	5.70
SK-29	51.50	5.60

5.2.3 Zemin profili

Zemin araştırma çalışmaları kapsamında proje alanında gerçekleştirilen sondajlardan elde edilen verilere göre inceleme alanındaki zemin profili saha yüzeyindeki dolgu tabakası altında karşılaşılan kalın alüvyon birim ile bu birimin altında yer alan kumtaşı-silttaşı-kiltaşı ardalanmasından oluşmaktadır.

Zemin araştırma sondajlarında, saha yüzeyinde kalınlığı 2.00m ile 6.50m arasında değişen, bloklu, killi, kumlu ve gevşek malzemelerden oluşan dolgu tabakası ile karşılaşmıştır. Dolgu tabakasının hemen altında kalınlığı yaklaşık 35.00m'ye varan alüvyon birim yer almaktadır. Alüvyon birimin üst seviyelerinde karşılaşılan güncel çökeller genel olarak çok yumuşak – yumuşak kıvamlı kil tabakaları ve gevşek yerleşimli kum tabakalarıyla temsil edilmektedir. Birimin alt seviyelerinde ise katı – çok katı kıvama sahip kil tabakası ve orta sıkı-sıkı yerleşimli kum tabakaları ile karşılaşmıştır. Kil – kum tabakaları birbirine geçişli bir yapıda olup kil birim içerisinde yer yer kum bantları bulunmaktadır.

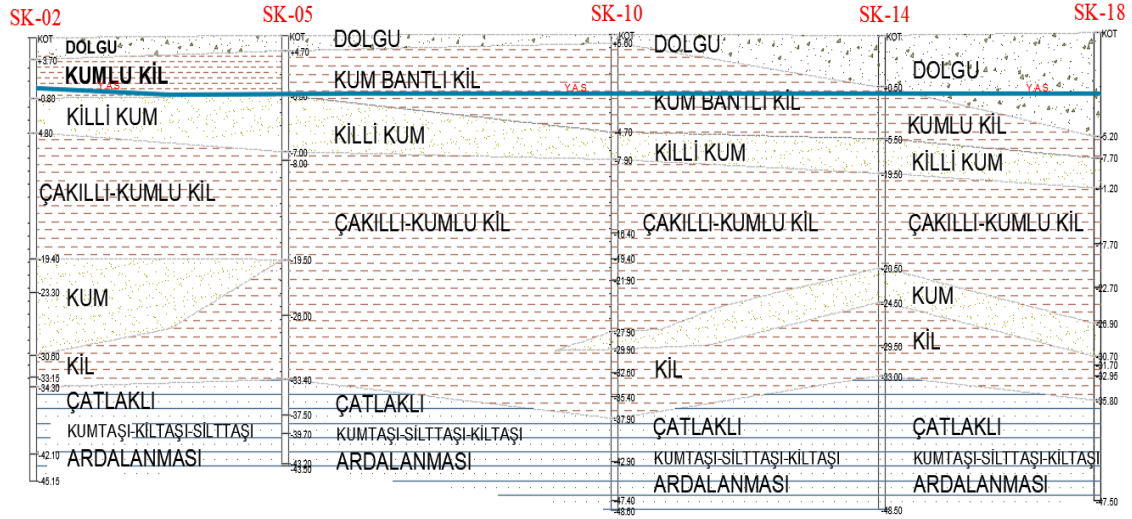
Alüvyon tabakası sonrasında, Trakya Formasyonu'na ait kilaşı-silttaşı-kumtaşı ardalanmasından oluşan kaya birimlere rastlanmıştır. Formasyonun geçirmiş olduğu tektonik deformasyonlar nedeniyle kaya birimlerin çatlaklı yapıya sahip oldukları gözlemlenmiştir.

Zemin araştırma sondajları sırasında yapılan yeraltı suyu seviyesi ölçümlerinde, yeraltı su seviyesinin yaklaşık 5.00m ile 8.00m derinde olduğu görülmektedir. İnceleme alanının Kuzey-Güney ve Doğu-Batı doğrultularındaki jeolojik kesitleri, zemin araştırma sondajlarından elde edilen veriler uyarınca hazırlanmıştır. Jeolojik kesitler Şekil 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, ve 5.8'de verilmiştir.



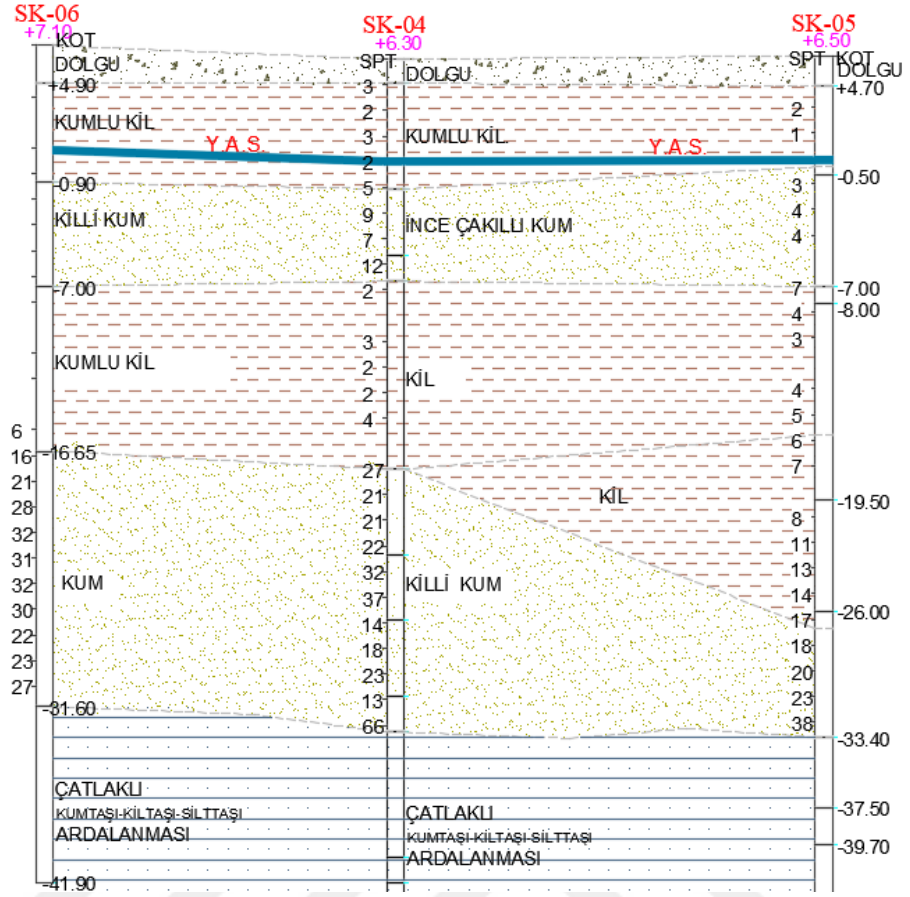
Şekil 5.3 : Jeolojik kesitlerin yönleri.

Oluşturulan zemin profilleri, yapılan zemin araştırma sondajlarından hareketle, bazı kabuller yapılarak hazırlanmıştır. Sondajlarda gözlemlenen tabakalar, sınır noktalarından birleştirilmiştir. Zemin profillerinde gözlemlenen tabaka geçişleri birebir doğruyu yansıtmayabilecektir.

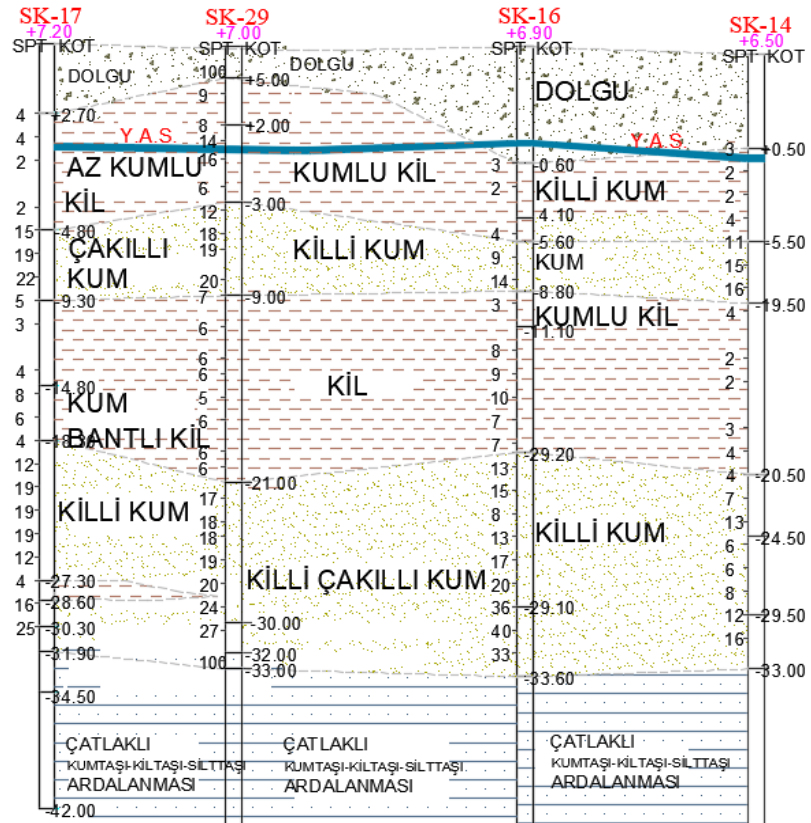


Şekil 5.4 : Doğu - Batı doğrultusu 1 nolu kesiti.

Şekil 5.4'te de görüldüğü gibi, inceleme alanın Doğu – Batı doğrultusunda uzanan zemin profilinde (Doğu – Batı doğrultusu 1 nolu kesiti), üst bölgelerde, iri bloklar da içeren dolgu tabakasının kalınlığı 1.50m ile 9.00m arasında değişmektedir. Dolgu tabakasını takiben, kalınlığı 3.00m ile 7.00m arasında değişen kil tabakasına girilmiştir. Kil tabakasında, farklı farklı derinliklerde olmak üzere, kalınlığı 0.50m ile 1.00m arasında değişen kum bantları bulunmaktadır. Bu kil bantları, kil tabakasının başlangıcından sonuna kadar, farklı kalınlıklarda olmak üzere gözlemlenmiştir. Kil tabakasından sonra, kalınlığı 3.00m ile 6.00m arasında değişen killi kum tabakasına geçilmiştir. Killi kum tabakasının ardından, kalınlığı 13.50m ile 30.00m arasında değişen, yer yer kalınlığı 0.50m ile 2.00m arasında değişen kum bantları bulunduran çakıllı-kumlu kil tabakasına girilmiştir. Çakıllı-kumlu kil tabakasından sonra Trakya Formasyonu'na ait kilttaşı-silttaşı-kumtaşı ardalınmasından oluşan kaya birimlere rastlanmıştır ve zemin araştırma sondajları bu birim içerisinde sonlandırılmıştır. İnceleme alanının Doğu – Batı doğrultusunda yapılan zemin araştırma sondajlarından hareketle oluşturulan zemin profillerinden de görüldüğü üzere, proje sahasının Doğu – Batı doğrultusunda, kalınlığı yaklaşık 43.00m'ye varan bir alüvyon birim bulunmaktadır.



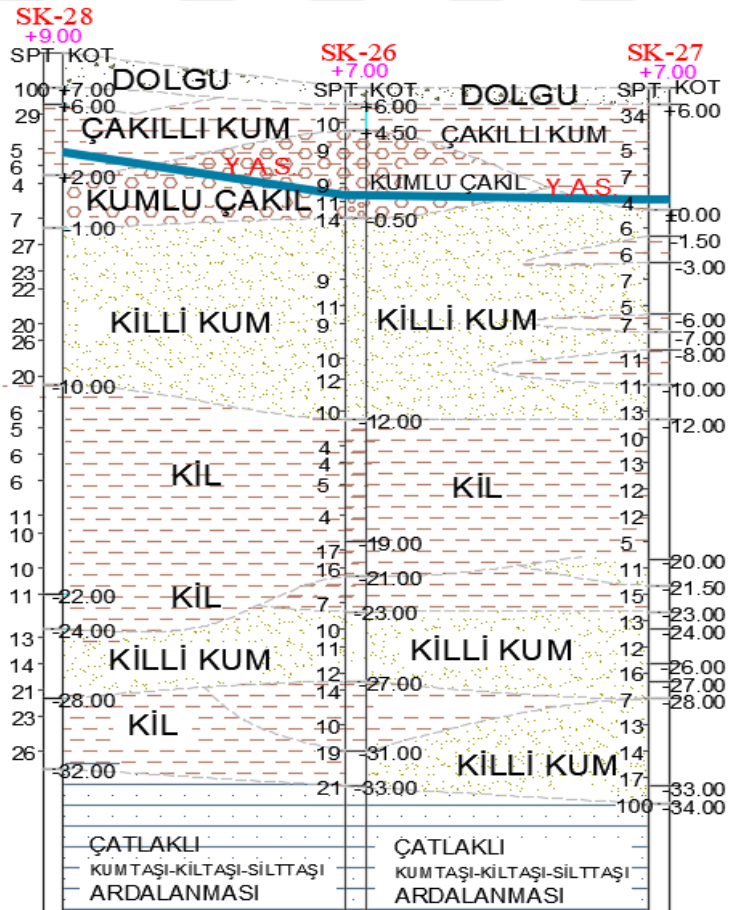
Şekil 5.5 : Kuzey-Güney doğrultusu 1 nolu kesiti.



Şekil 5.6 : Kuzey - Güney doğrultusu 1 nolu kesiti.

Şekil 5.7’de de görüldüğü gibi, inceleme alanın Doğu – Batı doğrultusunda uzanan zemin profilinde (Doğu – Batı doğrultusu 2 nolu kesiti), dolgu tabakasının kalınlığı 1.00m ile 6.50m arasında değişmektedir. Dolgu tabakasını takiben, kalınlığı 3.50m ile 8.00m arasında değişen kumlu kil tabakasına girilmiştir. Kil tabakasında, kalınlığı 0.50m ile 1.00m arasında değişen kum bantları bulunmaktadır. Kil tabakasından sonra,

kalınlığı 2.00m ile 7.00m arasında değişen killi-çakıllı kum tabakasına geçilmiştir. Killi-çakıllı kum tabakasının ardından, kalınlığı 8.00m ile 16.0m arasında değişen, yer yer kalınlığı 0.50m ile 2.00m arasında değişen kum bantları bulunduran kumlu kil tabakasına girilmiştir. Kumlu kil tabakasından sonra, kalınlığı 10.00m ile 17.00m arasında değişen killi-çakıllı kum tabakasına geçilmiştir. Kil tabakalarının içerisinde, kalınlığı değişiklik gösteren kum bantları yer almaktadır. Son olarak, Trakya Formasyonu'na ait kıltaşı-silttaşı-kumtaşı ardalannasından oluşan kaya birimlere rastlanmıştır ve zemin araştırma sondajları bu birim içerisinde sonlandırılmıştır. İnceleme alanının Doğu – Batı doğrultusunda yapılan zemin araştırma sondajlarından oluşturulan zemin profillerinden de görüldüğü üzere, proje sahasının Doğu – Batı doğrultusunda kalınlığı yaklaşık 40.50m'ye varan kalın bir alüvyon birim bulunmaktadır.



Şekil 5.8 : Kuzey - Güney doğrultusu 2 nolu kesiti.

Şekil 5.8’de de görüldüğü gibi, inceleme alanının Kuzey - Güney doğrultusunda uzanan zemin profilinde (Kuzey-Güney doğrultusu 2 nolu kesiti), dolgu tabakasının kalınlığı 1.00m ile 2.00m arasında değişmektedir. Dolgu tabakasını takiben, kalınlığı 6.0m ile

7.00m arasında değişen çakıllı-kum, kumlu-çakıl birimlere girilmiştir. akıllı kumlu birimlerden sonra, kalınlığı 9.00m ila 12.00m arasında değişen killi kum tabakasına geçilmiştir. Killi kum tabakasının ardından, kalınlığı 11.00m ila 14.00m arasında değişen kil tabakasına girilmiştir. Kil tabakasından sonra, kalınlığı 8.00m ila 11.00m arasında değişen killi kum tabakasına geçilmiştir. Kil tabakalarının içerisinde, kalınlığı değişiklik gösteren kum bantları yer almaktadır. Killi kum tabakasından sonra, Trakya Formasyonu'na ait kıltaşı-silttaşı-kumtaşı ardalanmasından oluşan kaya birimlere rastlanmıştır ve zemin araştırma sondajları bu birim içerisinde sonlandırılmıştır. İnceleme alanının Kuzey - Güney doğrultusunda yapılan zemin araştırma sondajlarından hareketle oluşturulan zemin profillerinden de görüldüğü üzere, proje sahasının Kuzey - Güney doğrultusunda kalınlığı 41.00m'ye varan bir alüvyon birim bulunmaktadır.

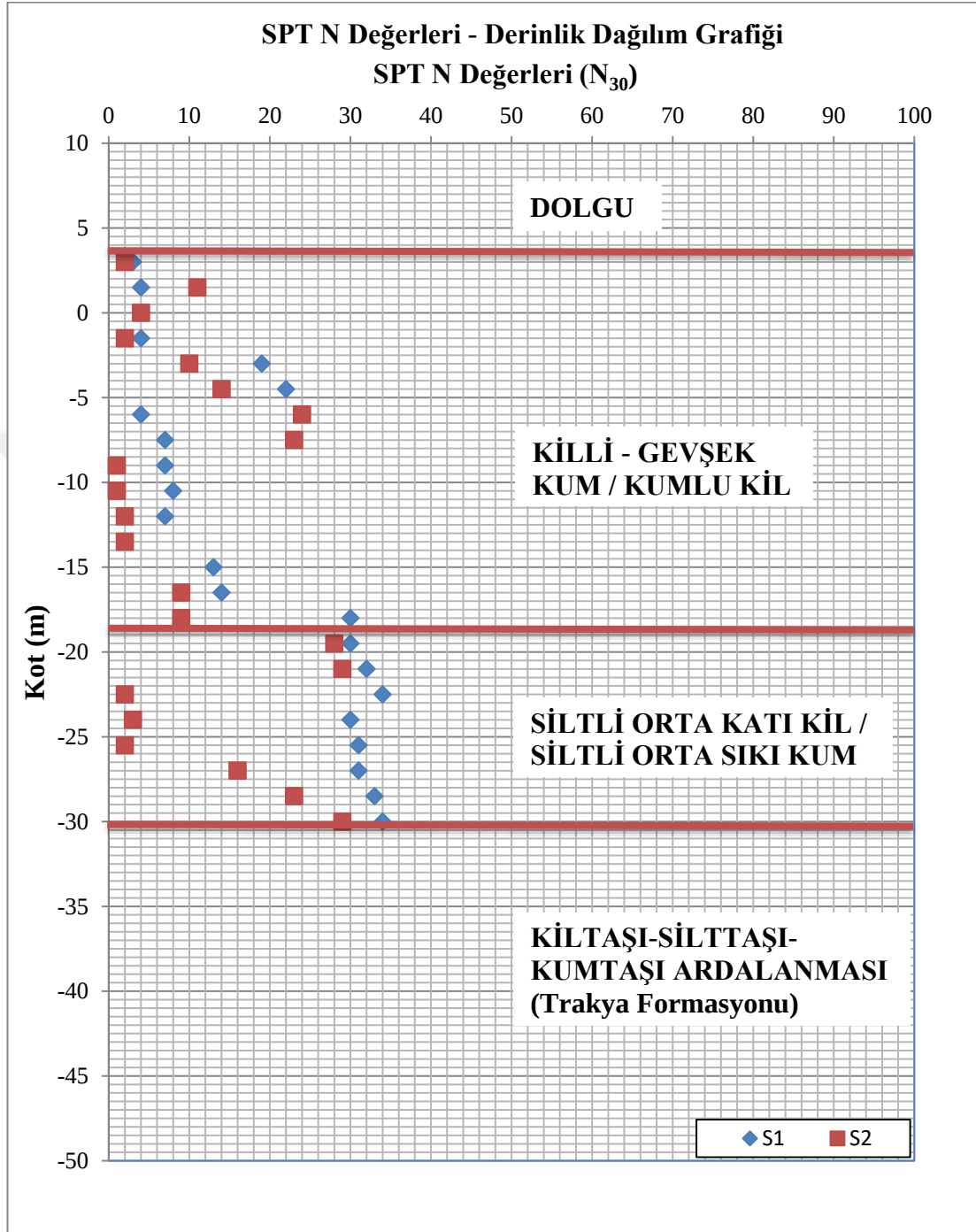
Zemin araştırma sondajları sırasında yapılan Standart Penetrasyon Deneyi sonucunda elde edilen SPT N_{30} darbe sayıları – kot grafiği şekil 5.9'da gösterilmiştir. Yapılan tanımlamada, izelge 3.7'de gösterilen rölatif sıklık ve kıvam için verilen değer aralıkları kullanılmıştır.

şekil 5.9'da görüldüğü gibi, dolgu birim altında yer alan kumlu kil – killi kum tabakasının N_{30} darbe sayısı 1 ila 12 arasında değişmektedir. Bu birimi takip eden yakşalık 12.00m kalınlığındaki siltli kil – siltli kum tabakasının darbe sayıları ise 28 ila 34 arasında değişmektedir.

SPT N_{30} darbe sayılarından görüldüğü gibi, alüvyon birimin st seviyelerinde karşılaşılan okeller genel olarak çok yumuşak – yumuşak kıvamlı kil tabakalarını temsil etmektedir. Birimin alt seviyelerinde ise katı – ok katı kıvama sahip kil tabakası ve orta sıkı – sıkı yerleşimli kum tabakaları ile karşılaşılmıştır. Kil – kum tabakaları birbirine geçişli bir yapıda olup kil bilim içerisinde bulunan yer yer kum bantları kil birimin SPT darbe sayılarını yükseltecek şekilde etkilediği değerlendirilebilmektedir.

İnceleme alanının st bölgelerinde yer alan dolgu tabakasında yapılan Standart Penetrasyon Deneyi sonucunda elde edilen SPT N_{30} darbe sayıları değerlendirilmeye alınmamıştır. Dolgu birim içerisinde yer alan iri daneli ve bloklu malzemeler yüksek darbe sayılarının elde edilmesine sebep olmaktadır. Ancak, deney sonucunda elde edilen bu yüksek SPT N_{30} darbe sayılarını, ilgili dolgu birimin kıvamını veya rölatif

sıklığını belirlemek amacıyla veya herhangi bir değerlendirmede kullanmak yanıltıcı olabilecektir.



Şekil 5.9 : SPT N30 darbe sayıları – kot grafiği.

5.2.4 Zemin ve kaya birimlerin mühendislik özellikleri

Zemin araştırma sondajları uyarınca çıkarılan jeolojik kesitlere göre zeminin ve kayanın mühendislik parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen mühendislik parametreleri, iksa sisteminin tasarımın aşamasında dikkate alınmıştır. İnceleme

alanında yer alan zemin ve kayanın mühendislik parametreleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Zeminin ve kayanın mühendislik parametreleri.

Tabaka	Çok					Silttaşı-kiltaşı- kumtaşı ardalanması
	Dolgu	yumuşak - yumuşak kil	Gevşek kum	Orta katı kil	Orta sıkı kum	
Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	18	17	17	18	19	23
Elastisite Modülü (MPa)	5	5	8	7	12.5	120
Kohezyon (kPa)	1	25	1	5	3	40
İçsel Sürtünme Açısı ($^\circ$)	30	24	30	26	32	36

5.3 Yapılacak Olan Derin Kazı Kapsamında Tasarlanan İksa Sistemi

Proje kapsamında inşa edilecek olan yapıların temel alt kotları yaklaşık olarak -0.95m olarak belirlenmiştir. Mevcut saha kotları ise +6.40m ila +9.50m arasında değişmektedir. Mevcut saha kotları, yapıların temel alt kotları ve çevre düzenlemeleri dikkate alındığında proje sahasında derinliği 8.00m ila 9.50m arasında değişen bir temel kazısı yapılması gerekmektedir. Proje sahasında gerçekleştirilecek temel kazısı ile yeraltı su seviyesinin yaklaşık 2.50m altına inilecektir.

Söz konusu temel kazısının çevre yapılara ve yollara zarar vermeden, kuru ortamda ve güvenli bir şekilde yapılması için proje sahası çevresinde geçirimsiz bir iksa sistemi tasarlanması gerekmektedir. Bu maksatla iksa sisteminin düşey destek elemanları olarak diyafram duvar tercih edilmiştir.

Tasarlanan iksa sisteminin yatay destek elemanları olarak öngermeli zemin ankrajları tercih edilmiştir. Sahada, zemin araştırma çalışmaları kapsamında yapılan zemin araştırma sondajları sırasında karşılaşılan kalın alüvyon tabakaları ile karşılaşmıştır. Alüvyon tabakasının kalınlığı dikkate alındığında, inşa edilecek olan öngermeli zemin ankrajlarının köklerinin bu düşük mühendislik parametrelerine sahip zemin içerisinde kaldığı görülmüştür. Bu durumda öngermeli ankrajların yüksek kapasitelerde imal edilebilmesi, diğer bir deyişle, yüksek servis yüklerine yüklenmesi mümkün olamayacaktır.

Başka bir deyişle, yatayda geleneksel öngermeli ankrajlar yerine, daha yüksek kapasitelerde teşkil edilebilen tek delgili çok köklü ankrajların (Single Bore Multiple Anchors) tercih edilmesi daha ekonomik ve hızlı bir alternatif olarak

değerlendirilebilmektedir. Proje kapsamında karşılan zayıf zemin koşullarının, inşa edilecek iksa sisteminin temel kazısı sırasındaki davranışını olumsuz etkilemesi beklenmektedir. Zayıf mühendislik özelliklerine sahip alüvyon tabakasının kalınlığının 40.00m'ye vardığı göz önünde bulundurulursa, imal edilecek geçirimsiz diyafram duvarların kaya tabakasına soketlenmesi ekonomik bir alternatif olarak görülmemektedir. Bu durumda, temel kazılarından sonra diyafram duvar önünde kalacak olan pasif bölgeden yeterli etkiyi alamaması nedeniyle iksa sisteminin nihai kazı kotunun altında, ötelenmelerle birlikte yüksek deplasmanlarla karşılaşılması söz konusu olmaktadır.

Söz konusu deplasmanların önlenmesi amacıyla, diyafram duvarların topuk bölgesinde yer alan bölgenin taşlaştırılması, söz konusu deplasmanların azaltılması açısından uygun bir çözüm olarak görülebilir. Bu sayede, topuk bölgesinde bulunan zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilerek diyafram duvarların pasif bölgeden yeterli etkiyi alabilmeleri öngörülmüştür.

Proje kapsamında, iksa sistemi düşey elemanları $t=60\text{cm}$ kalınlığındaki diyafram duvarlardan oluşmaktadır. Diyafram duvarların üst kotları saha genelinde $+7.00\text{m}$, alt kotları ise -12.00m olmak üzere toplam boyları 19.00m olarak belirlenmiştir. Nihai kazı kotunun -1.00m olduğu dikkate alındığında, saha genelinde yaklaşık 8.00m 'ye varan bir kazı yapılması planlanmaktadır.

Diyafram duvarların topuk bölgesinin taşlaştırma yöntemi ile iyileştirilmesi için, $D=80\text{cm}$ çapında, birbirine teğet olacak şekilde Jet Grout kolonlarının imal edilmesi uygun görülmüştür. Diyafram duvarların pasif tepki alacağı bölgelerin taşlaştırılması, sistem stabilitesi açısından olumlu yönde etki edecektir.

Düşeyde diyafram duvarlar ile desteklenen iksa sistemi, yatay destek elemanı olarak tek delgili çok köklü ankrajlarla desteklenmesi uygun görülmüştür. Tek delgili çok köklü ankrajların yatay aralığı $s=1.40\text{m}$ olarak seçilmiştir. Tek delgili çok yüklü ankrajların bulunduracağı ankraj üniteleri sayısı, projede öngörülen yüke göre belirlenecektir.

5.4 Tek Delgili Çok Köklü Ankraj İmalatları

Proje sahasında inşa edilecek olan iksa projesi kapsamında, yatayda $s=1.40\text{m}$ ara ile, tasarım yükleri $P_k=30\text{ton}$ olan tek delgili çok köklü ankrajlar imal edilmesi uygun

görülmüştür. Söz konusu tek delgili çok köklü ankrajlar imalatlarına başlanmadan önce performans testlerine tabi tutulmuştur. Proje sahasında, performans testleri uygulanması amacıyla, toplamda 10 adet test ankrajı imal edilmiştir. Performans testleri için imal edilen tek delgili çok köklü ankrajların, enjeksiyonlanma tarihi, test tarihi, delgi boyu ve ankraj ünitesi sayılarına ilişkin özet bilgiler Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 : SBMA test ankrajlarına ait özet bilgiler.

Test No	Enjeksiyon Tarihi	Test Tarihi	Delgi Boyu (m)	Kök Sayısı
SBMA-1	17.06.2016	13.07.2016	26	3
SBMA-2	16.06.2016	29.06.2016	26	3
SBMA-3	18.06.2016	12.07.2016	26	3
SBMA-4	15.06.2016	1.07.2016	26	3
SBMA-5	10.06.2016	23.06.2016	18	3
SBMA-6	10.06.2016	22.06.2016	18	3
SBMA-7	9.06.2016	21.06.2016	18	2
SBMA-8	14.06.2016	24.06.2016	26	2
SBMA-9	11.06.2016	25.06.2016	26	2
SBMA-10	13.06.2016	27.06.2016	26	2

Çizelge 5.3'te de görüldüğü gibi, tek delgili çok köklü ankrajların performans testlerinin uygulanmasından önce, enjeksiyonlama tarihinin üstünden minimum 12 gün geçmesi beklenmiştir. Bu süre zarfı, ankraj imalatları sırasında kullanılan enjeksiyonun prizini alarak, ankraj öngermesi sırasında yeterli mukavemete ulaşması için uygun bir süredir.

Tek delgili çok köklü ankrajlar üzerinde uygulanan performans testleri, “FHWA - Ground Anchors and Ground Anchor Systems ve TS EN 1537 – Özel Jeoteknik Uygulamalar – Zemin Ankrajları” uyarınca uygulanmıştır.

Proje kapsamında, imal edilen test ankrajlarında, delgi sırasında, derinliğe bağlı olarak karşılaşılan zemin profili, ankraj kök bölgelerinin teşkil edildiği zemin, ankraj performans testleri sonuçları ve ankrajların yük-uzama davranışları aşağıdaki çizelgelerde ve şekillerde gösterilmiştir (KASKTAŞ, 2016). Performans testi için imal edilen tek delgili çok köklü ankrajların plan üzerinde işaretli şekli tez ekinde verilmiştir.

SBMA-1 no.lu ankraj delgisi sırasında 26.00m ilerlenmiştir ve delgi sonlandırılmıştır. Ankraj delgileri, zeminden kaynaklı yıkıntıları engellemek amacıyla muhafaza borusu yardımıyla yapılmıştır. Şekil 5.10'dan da görüldüğü gibi, ankraj delgisinin 0.00m ile 4.00m arasında dolgu birim ile karşılaşılmıştır. Dolgu birimi takiben, orta katı siltli kil birime girilmiş ve delgi bu birimde sonlandırılmıştır. Ankraj kök bölgesi, orta katı siltli kil birimde konumlanmıştır.

Ankraj Boyu (m)	Muhafaza Boyu (m)	Delgi Süresi (dk)	Numune	Ankraj Profili	Zemin Profili	Açıklama
0.0		1				
2.0	2.0					
4.0	4.0	1				Dolgu
6.0	6.0					
8.0	8.0					
10.0	10.0	2				
12.0	12.0					
14.0	14.0	2				
16.0	16.0	1				
18.0	18.0					
20.0	20.0	3				
22.0	22.0	2				
24.0	24.0	2				
26.0	26.0	1				

Şekil 5.10 : SBMA-1 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.

SBMA-2 no.lu ankraj delgisi sırasında 26.00m ilerlenmiştir ve delgi sonlandırılmıştır. Ankraj delgileri, zeminden kaynaklı yıkıntıları engellemek amacıyla muhafaza borusu yardımıyla yapılmıştır. Şekil 5.11’den de görüldüğü gibi, ankraj delgisinin 0.00m ile 4.00m arasında dolgu birim ile karşılaşmıştır. 4.00m ile 20.00m arasında orta katı siltli kil birim içerisinde ilerlenmiştir. Son olarak kumlu kil birime girilmiş ve delgi bu birimde sonlandırılmıştır. Ankraj kök bölgesi, siltli kil ve kumlu kil birimde konumlanmıştır.

Ankraj Boyu (m)	Muhafaza Boyu (m)	Delgi Süresi (dk)	Numune	Ankraj Profili	Zemin Profili	Açıklama
0.0		1				
2.0	2.0					
4.0	4.0	1				Dolgu
6.0	6.0					
8.0	8.0					
10.0	10.0	2				
12.0	12.0					
14.0	14.0	2				
16.0	16.0	1				
18.0	18.0					
20.0	20.0	3				
22.0	22.0	2				
24.0	24.0	2				
26.0	26.0	1				

Şekil 5.11 : SBMA-2 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.

SBMA-3 no.lu ankraj delgisi sırasında 26.00m ilerlenmiştir ve delgi bu derinlikte sonlandırılmıştır. Ankraj delgileri, zeminden kaynaklı yıkıntıları engellemek amacıyla muhafaza borusu yardımıyla yapılmıştır. Şekil 5.12’den de görüldüğü gibi, ankraj delgisinin 0.00m ile 4.00m arasında dolgu birim ile karşılaşmıştır. 4.00m ile 16.00m arasında orta katı siltli kil birim içerisinde ilerlenmiştir. Son olarak kumlu kil birime girilmiş ve delgi bu birimde sonlandırılmıştır. Ankraj kök bölgesi, kumlu kil birimde konumlanmıştır.

Ankraj Boyu (m)	Muhafaza Boyu (m)	Delgi Süresi (dk)	Numune	Ankraj Profili	Zemin Profili	Açıklama
0.0		1				
2.0	2.0					
4.0	4.0	1				Dolgu
6.0	6.0					
8.0	8.0					
10.0	10.0	2				
12.0	12.0					
14.0	14.0	2				
16.0	16.0	1				
18.0	18.0					
20.0	20.0	3				
22.0	22.0	2				
24.0	24.0	2				
26.0	26.0	1				

Şekil 5.12 : SBMA-3 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.

SBMA-4 no.lu ankraj delgisi sırasında 26.00m ilerlenmiştir ve delgi sonlandırılmıştır. Ankraj delgileri, zeminden kaynaklı yıkıntıları engellemek amacıyla muhafaza borusu yardımıyla yapılmıştır. Şekil 5.13'ten de görüldüğü gibi, ankraj delgisinin 0.00m ile 4.00m arasında dolgu birim ile karşılaşmıştır. 4.00m ile 17.00m arasında orta katı siltli kil birim içerisinde ilerlenmiştir. Orta katı siltli kil birimden sonra, 17.00m ile 21.00m arasında, ince çakıllı kum birim içerisinde ilerlenmiştir. Son olarak kumlu kil birime girilmiş ve delgi bu birimde sonlandırılmıştır. Ankraj kök bölgesi, çakıllı kum ve kumlu kil birimde konumlanmıştır.

Ankraj Boyu (m)	Muhafaza Boyu (m)	Delgi Süresi (dk)	Numune	Ankraj Profili	Zemin Profili	Açıklama
0.0		1		SERBEST BÖLGE		
2.0	2.0					Dolgu
4.0	4.0	1				
6.0	6.0					Orta katı, kahverenkli siltli kil
8.0	8.0					
10.0	10.0	2				
12.0	12.0					
14.0	14.0	2				
16.0	16.0	1				
18.0	18.0			KÖK BÖLGESİ		İnce çakıllı kum
20.0	20.0	3				
22.0	22.0	2				Gri renkli kumlu kil
24.0	24.0	2				
26.0	26.0	1				

Şekil 5.13 : SBMA-4 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.

SBMA-5 no.lu ankraj delgisi sırasında 18.00m ilerlenmiştir ve delgi bu derinlikte sonlandırılmıştır. Ankraj delgileri, zeminden kaynaklı yıkıntıları engellemek amacıyla muhafaza borusu yardımıyla yapılmıştır. Şekil 5.14'ten de görüldüğü gibi, ankraj delgisinin 0.00m ile 5.00m arasında dolgu birim ile karşılaşmıştır. 5.00m ile 9.00m arasında siltli kil birim içerisinde ilerlenmiştir. Son olarak siltli kum birime girilmiş ve delgi bu birimde sonlandırılmıştır. Ankraj kök bölgesi, siltli kum birimde konumlanmıştır.

Ankraj Boyu (m)	Muhafaza Boyu (m)	Delgi Süresi (dk)	Numune	Ankraj Profili	Zemin Profili	Açıklama
0.0		1		SERBEST BÖLGE		
2.0	2.0	1				Dolgu
4.0	4.0					
6.0	6.0	2				Siltli sarı kil
8.0	8.0	1		KÖK BÖLGESİ		Yeşilimsi siltli kil
10.0	10.0					Siltli kum
12.0	12.0	5				
14.0	14.0	2				
16.0	16.0	2				
18.0	18.0	1				

Şekil 5.14 : SBMA-5 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.

SBMA-6 no.lu ankraj delgisi sırasında 18.00m ilerlenmiştir ve delgi sonlandırılmıştır. Ankraj delgileri, zeminden kaynaklı yıkıntıları engellemek amacıyla muhafaza borusu yardımıyla yapılmıştır. Şekil 5.15'ten de görüldüğü gibi, ankraj delgisinin 0.00m ila 5.00m arasında dolgu birim ile karşılaşmıştır. Dolgu birimden sonra siltli kil birime girilmiş ve delgi bu birimde sonlandırılmıştır. Ankraj kök bölgesi, siltli kil birimde konumlanmıştır.

Ankraj Boyu (m)	Muhafaza Boyu (m)	Delgi Süresi (dk)	Numune	Ankraj Profili	Zemin Profili	Açıklama
0.0		1		SERBEST BÖLGE		
2.0	2.0	1				Dolgu
4.0	4.0					
6.0	6.0	2				Siltli sarı kil
8.0	8.0	1		KÖK BÖLGESİ		Yeşilimsi siltli kil
10.0	10.0					
12.0	12.0	5				
14.0	14.0	2				
16.0	16.0	2				
18.0	18.0	1				

Şekil 5.15 : SBMA-6 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.

SBMA-7 no.lu ankraj delgisi sırasında 18.00m ilerlenmiştir ve delgi bu derinlikte sonlandırılmıştır. Ankraj delgileri, zeminden kaynaklı yıkıntıları engellemek için, delgi sırasında kolaylık sağlamak amacıyla muhafaza borusu yardımıyla yapılmıştır. Şekil 5.16'dan da görüldüğü gibi, ankraj delgisinin 0.00m ile 7.00m arasında dolgu birim ile karşılaşmıştır. 7.00m ile 9.00m arasında siltli kil birim içerisinde ilerlenmiştir. Siltli kil birimden sonra, 9.00m ile 11.00m arasında, siltli kum birim içerisinde ilerlenmiştir. Son olarak çakıllı kum birime girilmiş ve delgi bu birimde sonlandırılmıştır. Ankraj kök bölgesi, siltli kum ve çakıllı kum birimde konumlanmıştır.

Ankraj Boyu (m)	Muhafaza Boyu (m)	Delgi Süresi (dk)	Numune	Ankraj Profili	Zemin Profili	Açıklama
0.0		1		SERBEST BÖLGE		
2.0	2.0	1				Dolgu
4.0	4.0	2				
6.0	6.0	1				
8.0	8.0	1		KÖK BÖLGESİ		Siltli sarı kil
10.0	10.0	5				Siltli kum
12.0	12.0	2				Gri renkli az miktarda çakıllı kum
14.0	14.0	2				
16.0	16.0	2				
18.0	18.0	1				
		3				

Şekil 5.16 : SBMA-7 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.

SBMA-8 no.lu ankraj delgisi sırasında 26.00m ilerlenmiştir ve delgi bu derinlikte sonlandırılmıştır. Ankraj delgileri, zeminden kaynaklı yıkıntıları engellemek amacıyla muhafaza borusu yardımıyla yapılmıştır. Şekil 5.17’den de görüldüğü gibi, ankraj delgisinin 0.00m ile 7.00m arasında dolgu birim ile karşılaşmıştır. 7.00m ile 21.00m arasında orta katı siltli kil birim içerisinde ilerlenmiştir. Son olarak siltli kil birime girilmiş ve delgi bu birimde sonlandırılmıştır. Ankraj kök bölgesi, siltli kil birimde konumlanmıştır.

Ankraj Boyu (m)	Muhafaza Boyu (m)	Delgi Süresi (dk)	Numune	Ankraj Profili	Zemin Profili	Açıklama
0.0		1		SERBEST BÖLGE		
2.0	2.0					Dolgu
4.0	4.0	1				
6.0	6.0					
8.0	8.0			KÖK BÖLGESİ		Orta katı, kahverenkli siltli kil
10.0	10.0	2				
12.0	12.0					
14.0	14.0	2				
16.0	16.0	1				
18.0	18.0					
20.0	20.0	5				Gri renkli siltli kil
22.0	22.0	2				
24.0	24.0	2				
26.0	26.0	1				

Şekil 5.17 : SBMA-8 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.

SBMA-9 no.lu ankraj delgisi sırasında 26.00m ilerlenmiştir ve delgi bu derinlikte sonlandırılmıştır. Ankraj delgileri, zeminden kaynaklı yıkıntıları engellemek amacıyla muhafaza borusu yardımıyla yapılmıştır. Şekil 5.18’den de görüldüğü gibi, ankraj delgisinin 0.00m ile 5.00m arasında, zemin araştırma çaişmaları sırasında karşılaşılan dolgu birim ile karşılaşmıştır. 5.00m ile 19.00m arasında siltli kil birim içerisinde ilerlenmiştir. Son olarak orta katı siltli kil birime girilmiş ve delgi bu birim içerisinde sonlandırılmıştır. Ankrajın kök bölgesi, siltli kil birim içerisinde konumlanmıştır.

Ankraj Boyu (m)	Muhafaza Boyu (m)	Delgi Süresi (dk)	Numune	Ankraj Profili	Zemin Profili	Açıklama
0.0		1		SERBEST BÖLGE		
2.0	2.0					Dolgu
4.0	4.0	1				
6.0	6.0					Koyu gri siltli kil
8.0	8.0					
10.0	10.0	2				Orta katı, sarımsı kahverenkli siltli kil
12.0	12.0					
14.0	14.0	2				Gevşek sarımsı siltli kil
16.0	16.0	1				
18.0	18.0			KÖK BÖLGESİ		Orta katı, koyu gri siltli kil
20.0	20.0	5				
22.0	22.0	2				
24.0	24.0	2				
26.0	26.0	1				

Şekil 5.18 : SBMA-9 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.

SBMA-10 no.lu ankraj delgisi sırasında 26.00m ilerlenmiştir ve delgi sonlandırılmıştır. Ankraj delgileri, zeminden kaynaklı yıkıntıları engellemek amacıyla muhafaza borusu yardımıyla yapılmıştır. Şekil 5.19'dan da görüldüğü gibi, ankraj delgisinin 0.00m ile 7.00m arasında dolgu birim ile karşılaşılmıştır. 7.00m ile 19.00m arasında siltli kil birim içerisinde ilerlenmiştir. Son olarak killi kum birime girilmiş ve delgi bu birimde sonlandırılmıştır. Ankraj kök bölgesi, siltli kil ve killi kum birimde konumlanmıştır.

Ankraj Boyu (m)	Muhafaza Boyu (m)	Delgi Süresi (dk)	Numune	Ankraj Profili	Zemin Profili	Açıklama
0.0		1		SERBEST BÖLGE		
2.0	2.0					Dolgu
4.0	4.0	1				
6.0	6.0					
8.0	8.0			SERBEST BÖLGE		Orta katı, sarımsı kahverenkli siltli kil
10.0	10.0	2				
12.0	12.0					Gevşek gri renkli siltli kil
14.0	14.0	2				
16.0	16.0	1		KÖK BÖLGESİ		Koyu gri killi kum
18.0	18.0					
20.0	20.0	5				
22.0	22.0	2				
24.0	24.0	2		KÖK BÖLGESİ		Koyu gri killi kum
26.0	26.0	1				

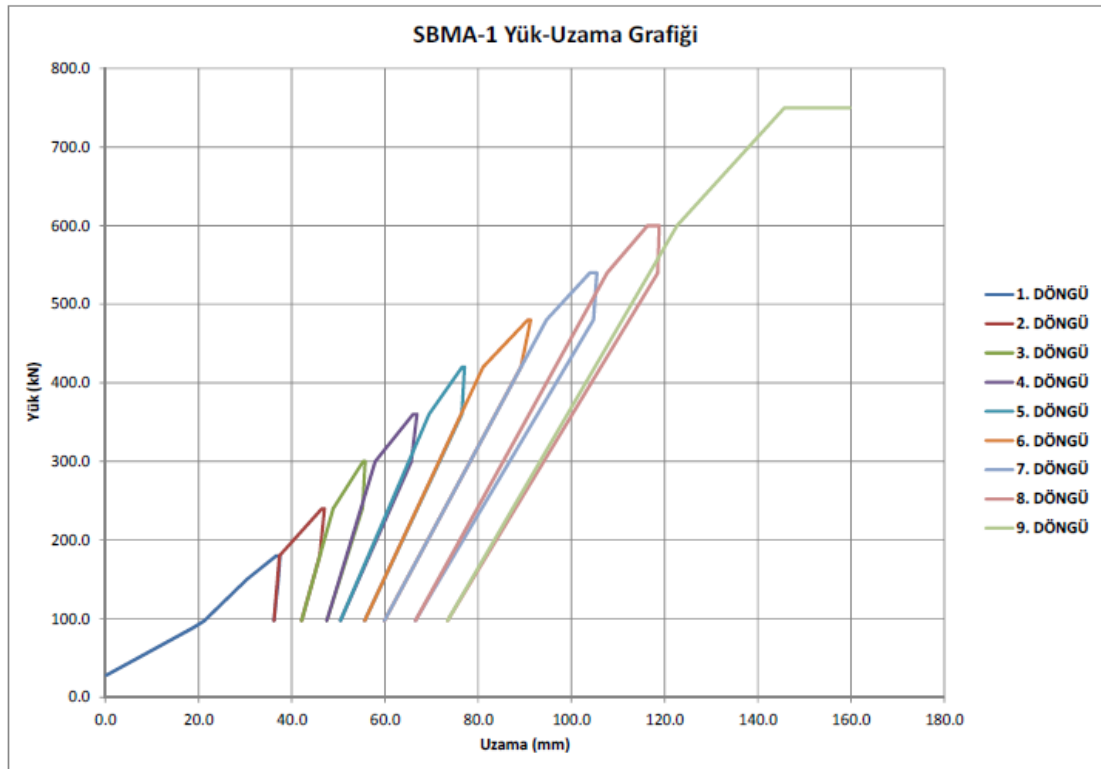
Şekil 5.19 : SBMA-10 no.lu ankraj delgisi sırasında ilerlenen zemin profili.

Performans testlerine tabi tutulmak üzere, sahanın çeşitli bölgelerinde imal edilen 10 adet tek delgili çok köklü ankrajların delgisi sırasında ilerlenen zemin profilleri ve ankraj kök bölgelerinin oluşturduğu zeminler yukarıdaki sıralı şekillerde gösterilmiştir.

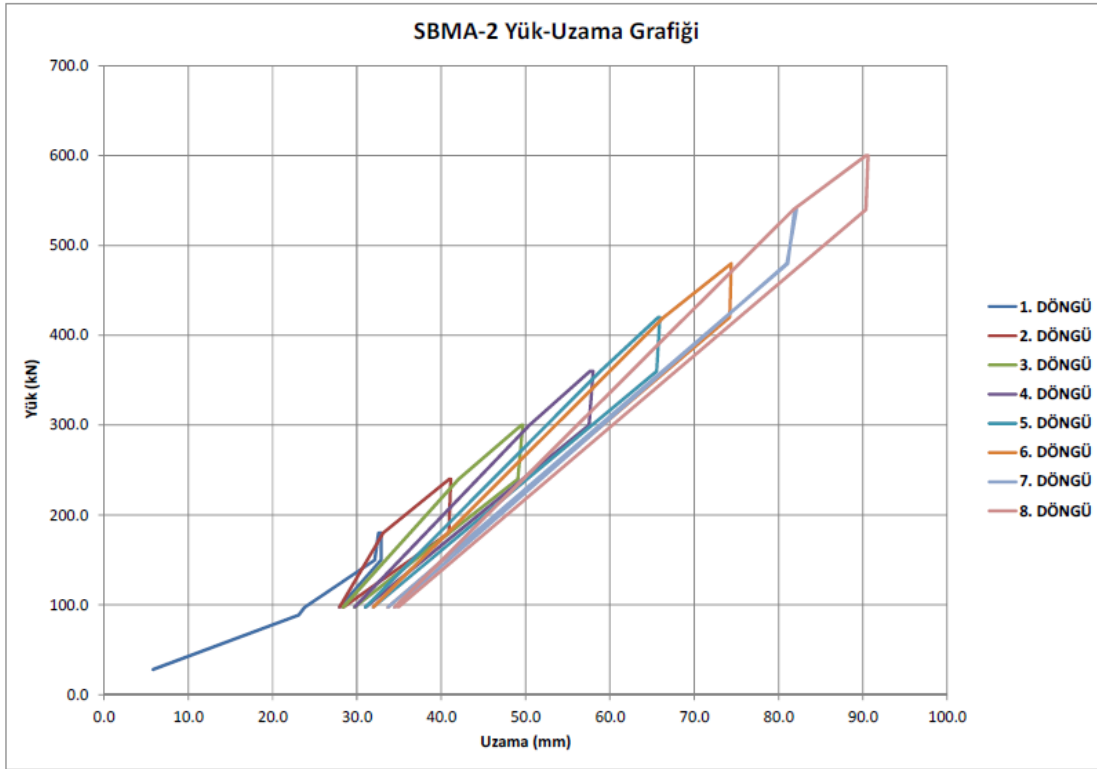
Yukarıdaki şekillerden de görüldüğü gibi, tek delgili çok köklü ankrajların kök bölgeleri, genel olarak, yumuşak – orta katı kil ve gevşek kum birimler içerisinde yer almıştır. Ankraj delgisi sırasında karşılaşılan zemin profilinin, zemin araştırma çalışmaları kapsamında yapılan zemin araştırma sondajları ve Standart Penetrasyon Deneyleri sonucunda oluşturulan idealize zemin profilini doğrular nitelikte olduğunu gözlemlenmiştir.

Yapılan performans testleri sırasında, öngerme yükünü sağlamak amacıyla 1 adet hidrolik güç ünitesi ile birlikte 1 adet hidrolik germe krikosu ve ankraj sisteminde oluşan deplasmanları ölçmek amacıyla 4 adet 1/100mm hassasiyetli deplasman ölçer kullanılmıştır.

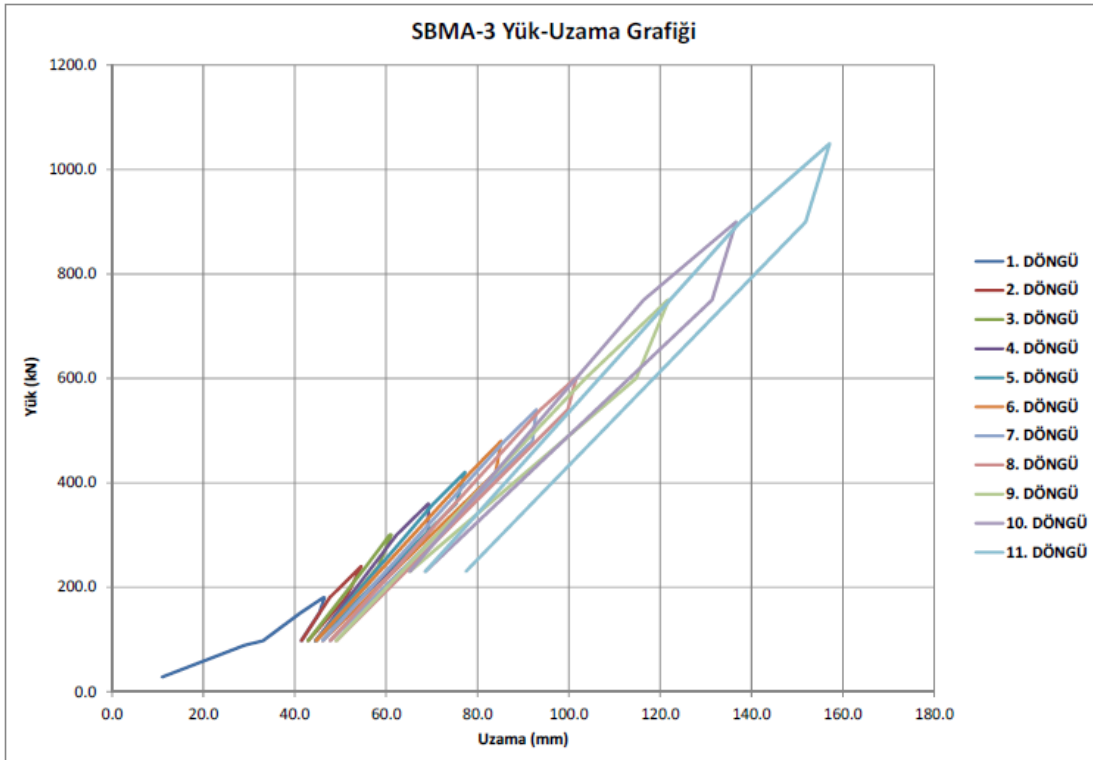
Test ankrajlarına uygulanan performans testleri sonucunda elde edilen Yük-Uzama grafikleri Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28 ve Şekil 5.29’da gösterilmiştir.



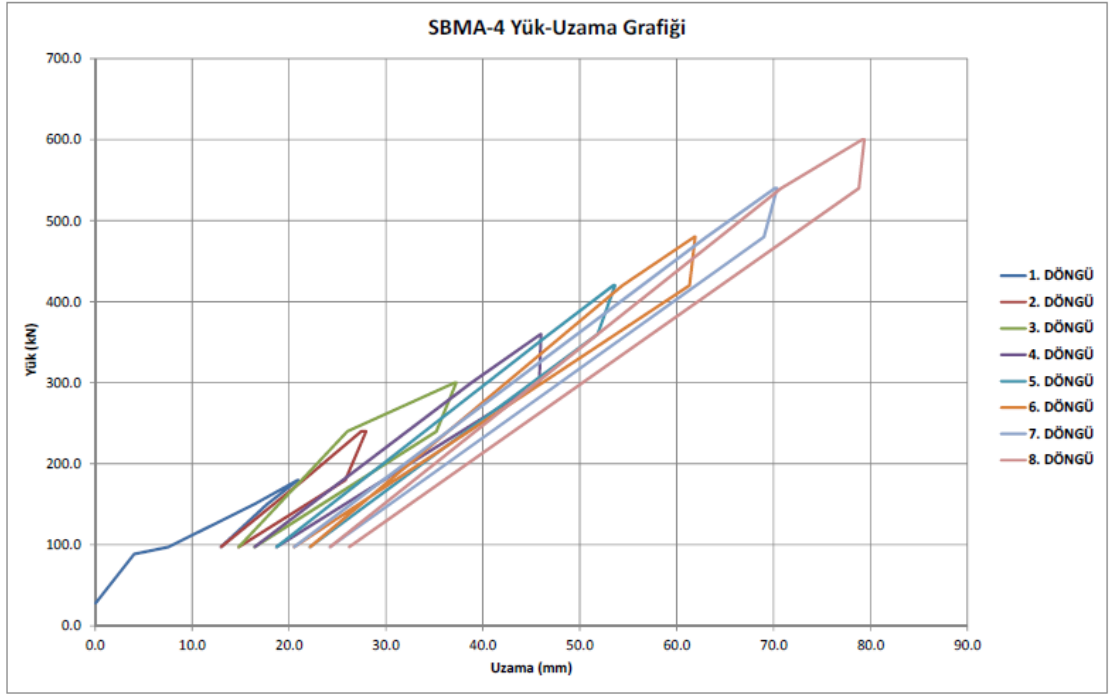
Şekil 5.20 : SBMA-1 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.



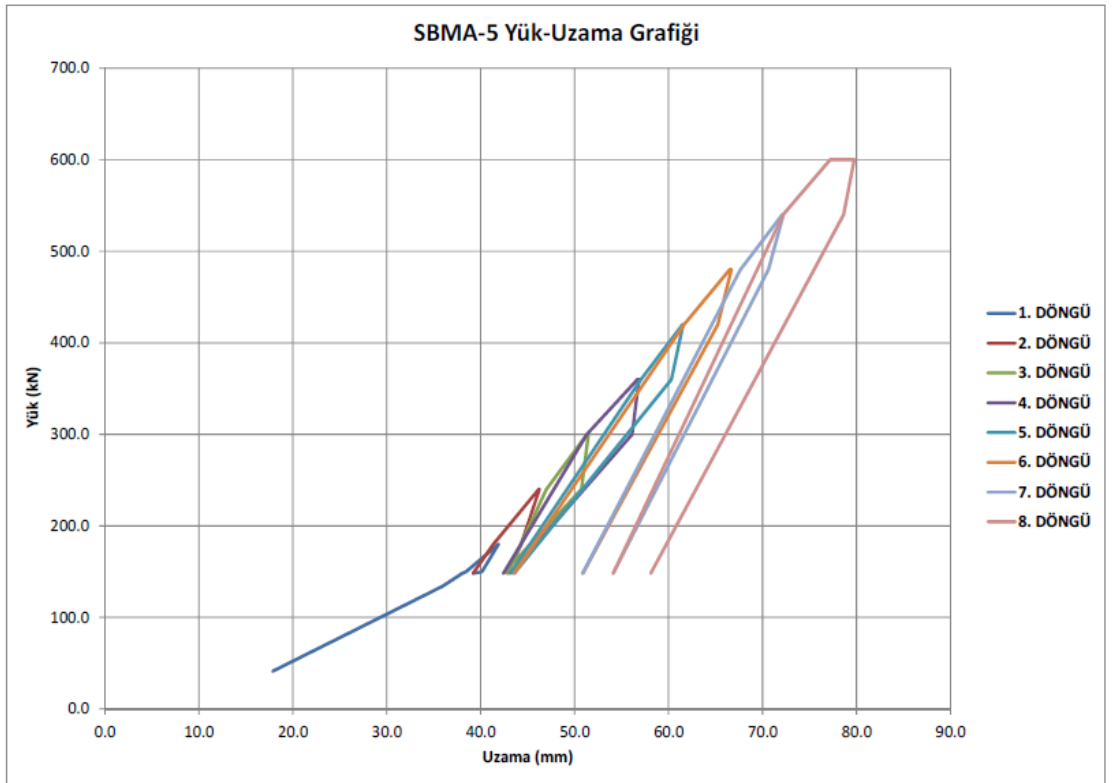
Şekil 5.21 : SBMA-2 no.lu test ankrajının yk-uzama grafiği.



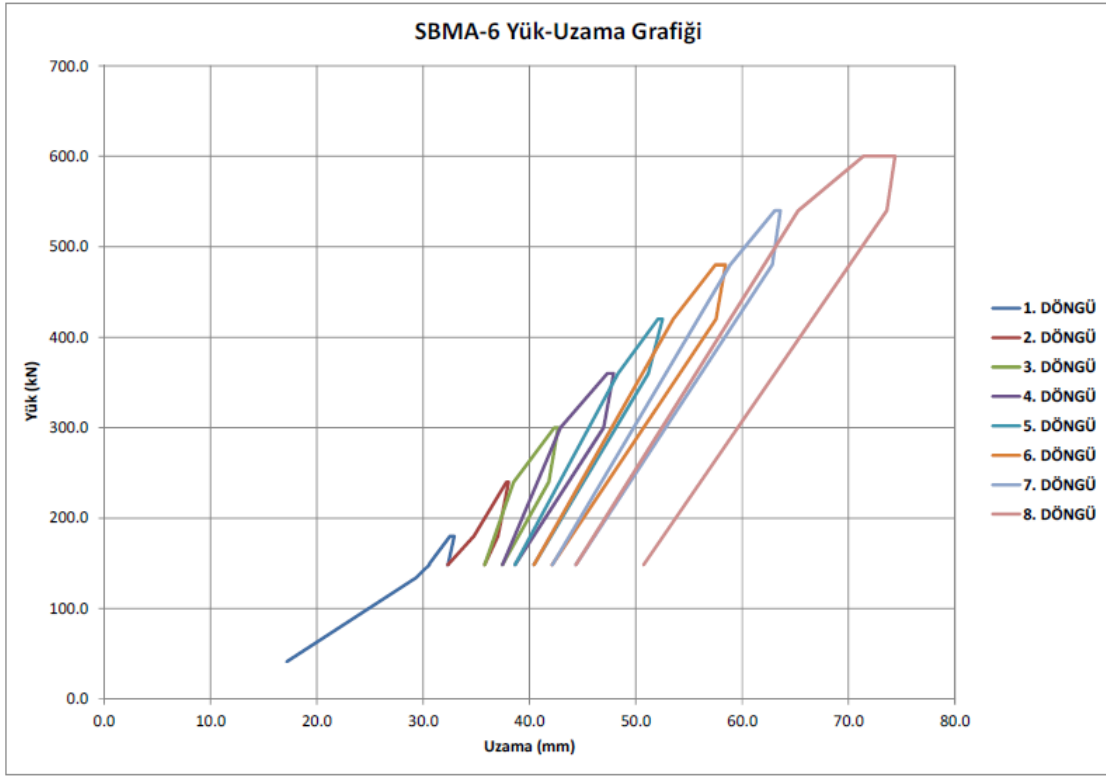
Şekil 5.22 : SBMA-3 no.lu test ankrajının yk-uzama grafiği.



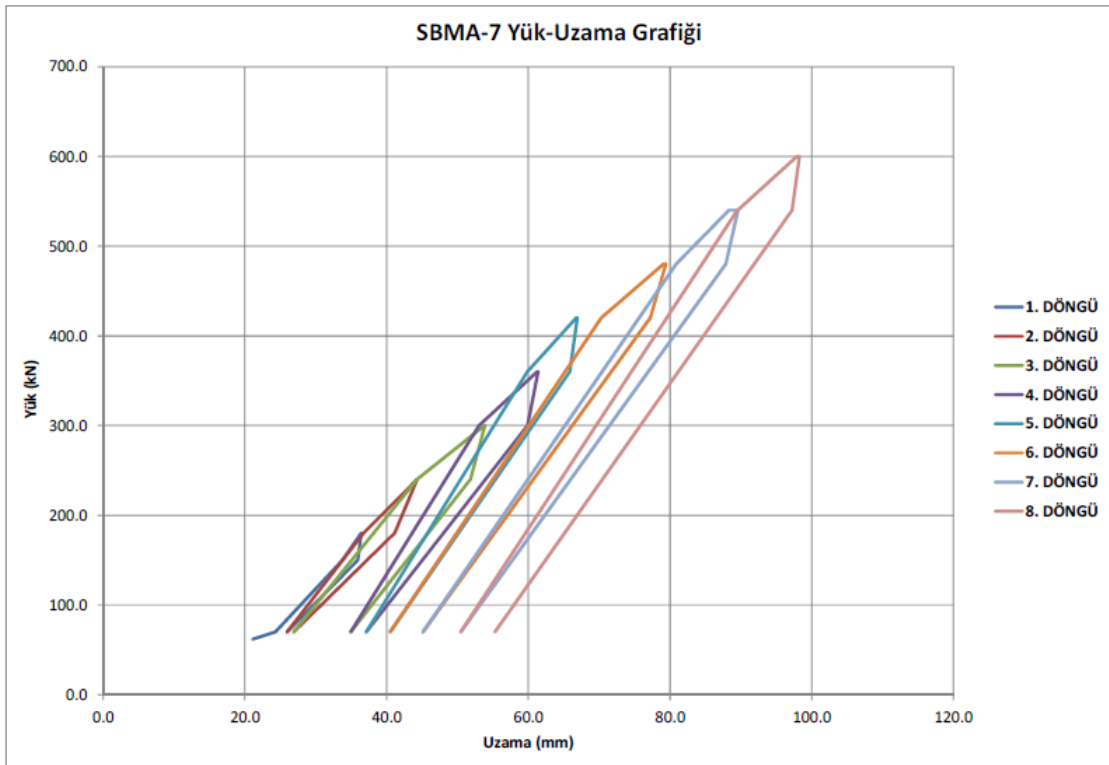
Şekil 5.23 : SBMA-4 no.lu test ankrajının yk-uzama grafiği.



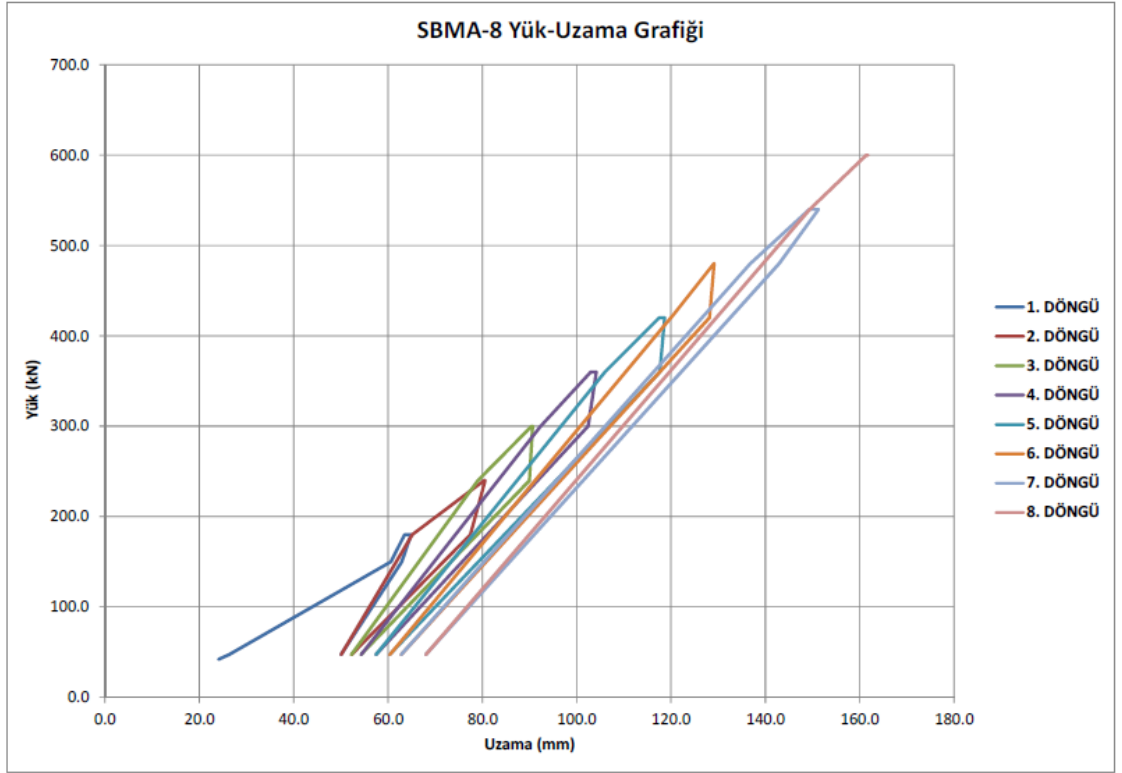
Şekil 5.24 : SBMA-5 no.lu test ankrajının yk-uzama grafiği.



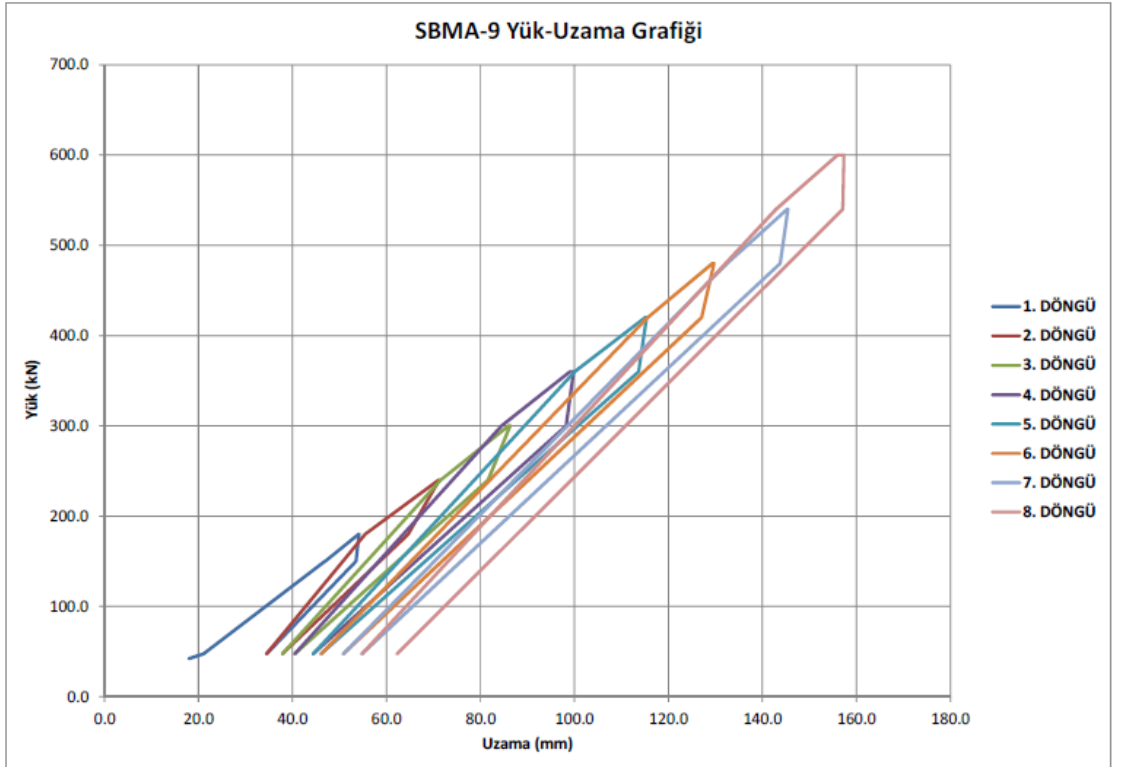
Şekil 5.25 : SBMA-6 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.



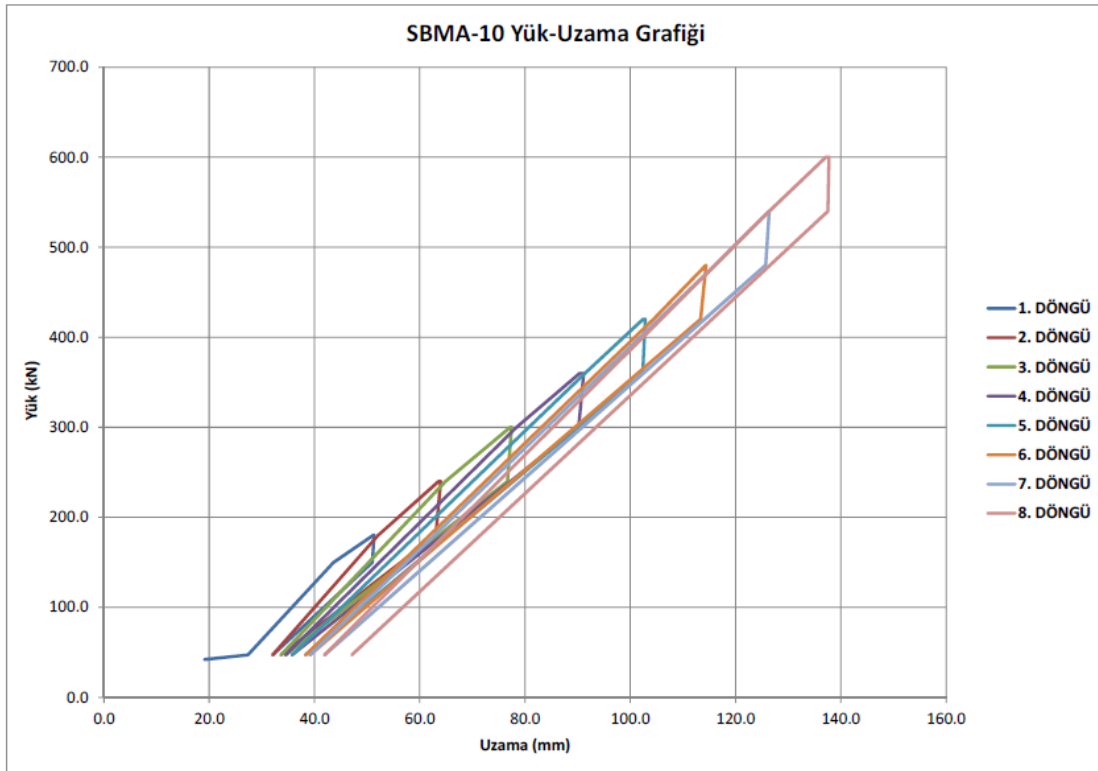
Şekil 5.26 : SBMA-7 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.



Şekil 5.27 : SBMA-8 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.



Şekil 5.28 : SBMA-9 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.



Şekil 5.29 : SBMA-10 no.lu test ankrajının yük-uzama grafiği.

Proje kapsamında, tek delgili çok köklü ankrajlar 30ton yük taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Performans testleri sırasında, belirlenen ankraj öngerme yükünün minimum 2 güvenlik sayısı ile taşıtıldığı ispatlanmıştır. Bu sebeple, performans testleri sırasında maksimum test yükü olan 60tona ulaşıldığında sonlandırılmıştır.

Performans testi için imal edilen tek delgili çok köklü ankrajların kök bölgelerinin konumlandığı zeminin SPT N_{30} darbe sayıları 2 ila 10 arasında değişmektedir. Elde edilen darbe sayılarından hareketle, karşılaşılan kum zeminin sıklılığı gevşek olarak sınıflandırılabilir. Aynı şekilde, karşılaşılan kil, orta katı olarak sınıflandırılmaktadır.

Performans testi grafiklerinden görüldüğü gibi, kök bölgesinin killi zeminde oluşturulması durumunda, ankraj sisteminde meydana gelen deplasmanlar 20 ila 30mm arasında değişiklik göstermektedir. Kök bölgesi kum zeminlerde oluşturulan ankrajlarda ise bu değer 7 ila 17mm arasında değişmektedir.

Performans deneylerinden elde edilen grafiklerden görüldüğü üzere, ankrajların kök bölgelerinde kumla karşılaşılması durumunda, oluşan rezidüel deplasmanlarda azalma gözlemlenmektedir. Kök bölgesinin kil zeminde konumlanmasıyla ise rezidüel deplasmanlarda bir artış olduğu sonucuna varılmaktadır.

5.5 Tek Delgili Çok Köklü Ankrajların Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İnceleme alanındaki test için imal edilen tek delgili çok köklü ankrajlar üzerinde uygulanan performans testleri, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 uyarınca uygulanmıştır. Performans testleri uygulanan 10 adet tek delgili çok köklü test ankrajlarına ait yük-uzama davranışlarını gösteren grafiklerden de görüldüğü üzere, SBMA-1 nolu test ankrajının performans testi sırasında maksimum test yüküne 9 kademede çıkmıştır. SBMA-3 nolu test ankrajının maksimum test yüküne 11 kademede ve diğer test ankrajlarının tamamında ise uygulanan maksimum test yüküne 8 kademeli olarak çıkmıştır. Performans testi ankrajlarının kök bölgeleri, genel olarak, görece düşük mühendislik parametrelerine sahip yumuşak - orta katı kil ve gevşek kum zemin birimi içerisinde konumlanmıştır. Tek delgili çok köklü test ankrajlarının, test sırasında taşıdıkları maksimum öngerme yükleri ve bazı özet bilgileri aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir. İki üniteli tek delgili çok köklü ankrajlar için verilen özet bilgiler Çizelge 5.4'te, üç üniteli tek delgili çok köklü ankrajlar için verilen özet bilgiler Çizelge 5.5'te yer almaktadır.

Çizelge 5.4 : İki üniteli ankrajların sonuçları ve özet bilgiler.

Test No	Delgi Boyu (m)	Ünitelerin Halat Sayısı	Ünitelerin Kök Boyu (m)	Test Yüğü (kN)
SBMA-7	18.00	2	3.00	600
SBMA-8	26.00	2	3.00	600
SBMA-9	26.00	2	3.00	600
SBMA-10	26.00	2	3.00	600

Çizelge 5.5 : Üç üniteli ankrajların sonuçları ve özet bilgiler.

Test No	Delgi Boyu (m)	Ünitelerin Halat Sayısı	Ünitelerin Kök Boyu (m)	Test Yüğü (kN)
SBMA-1	26.00	2	3.00	600
SBMA-2	26.00	2	3.00	600
SBMA-3	26.00	2	3.00	1050
SBMA-4	26.00	2	3.00	600
SBMA-5	18.00	2	3.00	600
SBMA-6	18.00	2	3.00	600

Tek delgili çok köklü ankrajlara uygulanan performans testlerinin sonuçlarına göre, yukarıda verilen çizelgelerde de özetlendiği gibi 2 ankraj ünitesine sahip test ankrajlarının sünme kriterini sağlayarak 600kN öngerme yükünü güvenle taşıdığı belirlenmiştir. 3 üniteli ankrajlar için bu değer 600kN ila 1050kN arasında değişiklik göstermektedir.

5.6 Tek Delgili Çok Köklü Ankrajlarla Geleneksel Ankrajların Karşılaştırılması

Geleneksel öngermeli ankrajlarda, kök bölgesinin ana bileşenleri olan, kök enjeksiyonu ile tendonlar arasında veya kök enjeksiyonu ile zemin/kaya arasındaki arayüzeyin yenilmesi, düşük mühendislik parametrelerine sahip zeminlerde genellikle ankraj maksimum öngerme yüküne ulaşmadan gerçekleşmektedir (Barley, 1997). Vaka analizi bölümünde incelenen zemin profilleri üzerinden de görüldüğü gibi, ankraj köklerinin teşkil edildiği bölgeler genel olarak, düşük mühendislik parametrelerine sahip, alüvyonel kökenli, yer yer kum arabantları bulunduran orta katı kilden oluşmaktadır. Ancak, tek delgili çok köklü ankrajlarda, her bir ankraj ünitesinin kök boyu kısa tutularak, ankraj kök bölgesinin etkileşimde olduğu zemin henüz yenilmeden, yükün kök bölgesinin başlangıç bölgesinden dip bölgesine iletilmesi sağlanmaktadır.

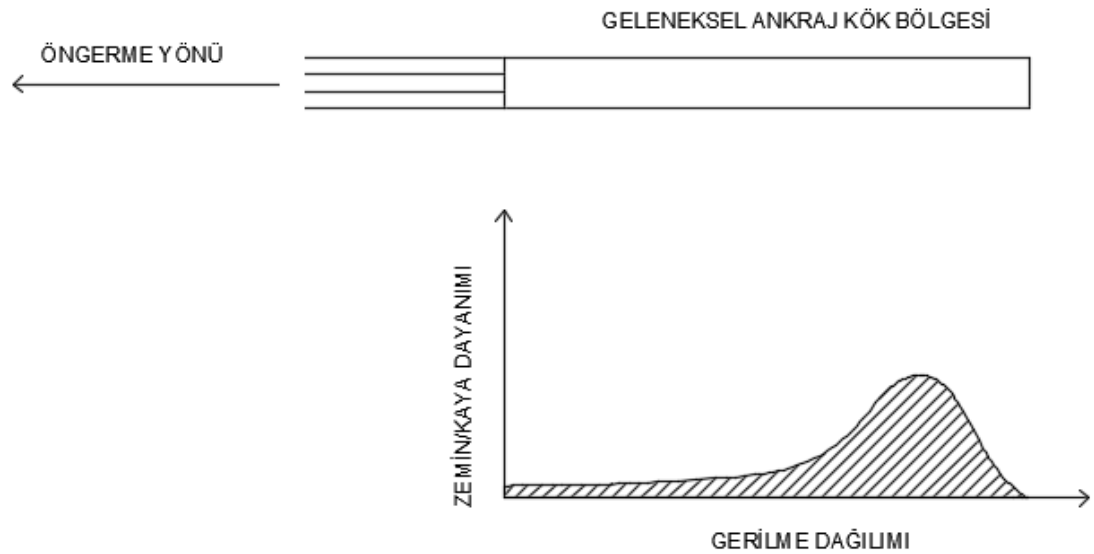
Başka bir deyişle, tek delgili çok köklü ankrajlarda, delgi içerisine yerleştirilen ankraj ünitelerinin kök boyları tam verimlilikle çalışmaktadır. Bunun nedeni, ankraj toplam kapasitesinin, her bir ankraj ünitesinin köküne ayrı ayrı aktarılmasıdır. Böylece, ankraj sisteminin maruz kaldığı öngerme yükü, ankraj köklerinin sayısına bölünmüş olmaktadır. Her bir ankraj ünitesinin kök bölgesine gelen yükün bölünerek azaltılması, ankraj kök bölgesi çevresindeki zeminin üzerinde daha düşük kayma gerilmeleri dağılımları oluşmasını sağlamaktadır. Daha düşük kayma gerilmelerinin oluşturulması, kök bölgesi çevresindeki zeminin yenilmeden, öngerme yükünün ankraj ünitelerinin köklerinin başlangıç noktasından son noktasına kadar iletilmesine katkıda bulunmaktadır.

Geleneksel öngermeli ankrajlarda, öngerme yükünden kaynaklı ankraj kök bölgesinin çevresinde oluşan kayma gerilmeleri, ankraj kök boyunun başlangıç noktasından son noktasına kadar taşınmadan kök bölgesi etrafındaki zemin yenilmekte ve zeminde deplasmanlar meydana gelmeye başlamaktadır. Oluşan deplasmanlar sonucunda, ankraj sistemine uygulanan öngerme yükü zemine sağlıklı bir biçimde

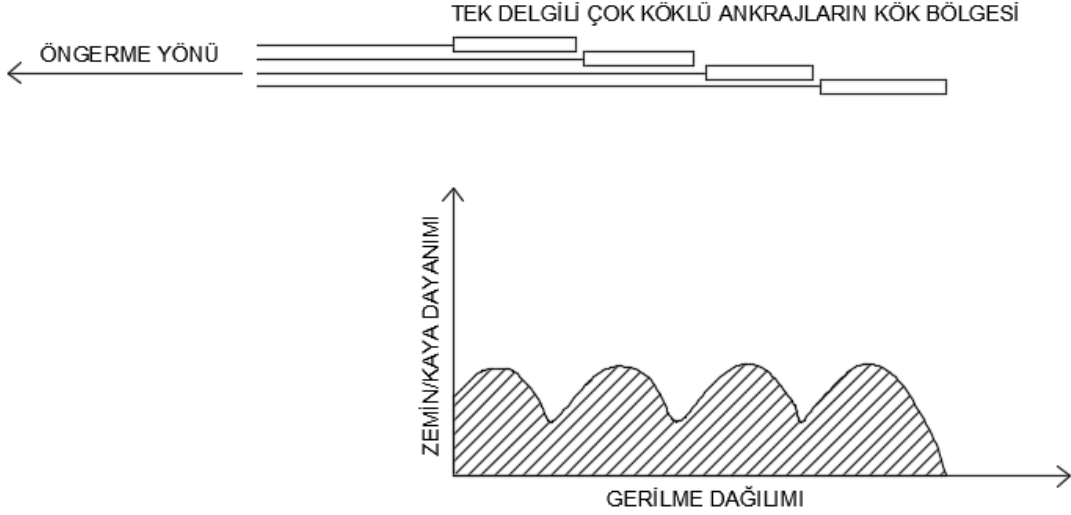
aktarılamamaktadır. Tek delgili çok köklü ankrajlarda, zemine aktarılan öngerme yükleri sonucunda oluşan kayma gerilmeleri dağılımları, öngerme yükünün her bir ankraj ünitesine bölünmesinden dolayı düşük olduğundan, zemin, oluşması muhtemel olan deplasmanlar henüz başlamadan, uygulanan öngerme yükü zemine kök boyunca rahatlıkla aktarılmaktadır.

Düşük mühendislik parametrelerine sahip zeminlerde, ankraj kök bölgesinin uzatılarak ankraj taşıma kapasitesinin arttırılamayacağı görülmüştür. Yukarıdaki paragraflarda yapılan açıklamalardan hareketle, özellikle zayıf zeminlerde, ankraj kök bölgesi taşıma kapasitesini arttırmak için, kök bölgesi uzunluğunu arttırmak yerine ankraj delgisi çapının arttırılması daha etkili bir çözüm olacaktır. Ankraj delgi çapının arttırılmasıyla, ankraj kök bölgesinin, zemin ile etkileştiği yüzey alanı da arttırılmış olacaktır. Ankraj kök bölgesinin yüzey alanının arttırılması sonucunda, ankraja uygulanan öngerme yükü, daha geniş yüzeyler aracılığıyla zemine aktarılacaktır. Böylelikle zeminde daha düşük gerilmeler oluşturularak zeminin yenilmesi geciktirilecektir.

Geleneksel öngermeli ankrajlar ile tek delgili çok köklü ankrajların uygulanan öngerme yükünü zemine aktarması sırasında oluşan kayma gerilmeleri dağılımları farklılık göstermektedir. Geleneksel öngermeli ankrajlar ile tek delgili çok köklü ankrajların kayma gerilmeleri dağılımlarını gösteren zemin/kaya dayanımı – kayma gerilmeleri dağılımını gösteren tipik grafikler sırasıyla Şekil 5.30’da ve Şekil 5.31’de gösterilmiştir.



Şekil 5.30 : Geleneksel ankrajların kök bölgesinde oluşan gerilmelerin dağılımı.



Şekil 5.31 : Tek delgili çok köklü ankrajların kök bölgesinde oluşan gerilmelerin dağılımı.

Şekil 5.30'daki ve Şekil 5.31'deki grafiklerden de görüldüğü üzere, tek delgili çok köklü ankrajlarda, kayma gerilmeleri, ankraj ünitelerinin kökleri boyunca, ankraj ünitesi sayısı adedinde farklı bölgede oluşmaktadır. Toplam gerilmelerin, tek bir delgi içerisine teşkil edilen ankraj sayısına bölünmesi, zeminin sünme riskini de oldukça azaltmaktadır. Örneklendirmek gerekirse, Şekil 5.31'de verilen grafikte, 4 ankraj ünitesi bulundurulmuş bir tek delgili çok köklü ankrajın kök bölgesindeki 4 farklı noktada oluşan kayma gerilmeleri dağılımları grafiği verilmiştir. Toplam kayma gerilmelerinin bir bölgede yoğunlaştırılması yerine 4 farklı bölgeye yayılması sağlanmaktadır.

Tek delgili çok köklü ankraj sistemlerinde, teorik olarak sınırsız uzunlukta kök bölgesi inşa edilebilmektedir. Bu durumda, kayalarda ve yüksek mühendislik parametrelerine sahip zeminlerde de çok daha yüksek taşıma kapasitelerine ulaşabilmektedirler. Fakat sınırsız uzunlukta kök bölgesi teşkil etmek uygulamada mümkün değildir. Bu yüzden, tek delgili çok köklü ankraj sistemlerinde toplam maksimum kök boyunun sınırlandırılması imalat aşamalarının uygulanabilirliğine bağlıdır. Açılan delgiye ankraj üniteleri sığacak şekilde bir delgi çapı belirlenirse ankraj üniteleri delgi içerisine yerleştirilebilir. Unutulmamalıdır ki ankraj delgisinin çapı arttıkça delgi içerisini daha fazla enjeksiyon kullanarak doldurulması gerekecektir. Böylece maliyetler de oldukça artabilir. Bu durumda ankraj ünite sayısına bağlı olarak delgi çapı belirlenirken bu tür maliyetler de göz önünde bulundurulmalıdır. Görece uzun kök boylarının teşkilinde uygulanabilirliği mümkün kılmayacak bir diğer faktör ise makine ve ekipman

kapasitesidir. Her delgi makinesinin delgi yapabileceği maksimum uzunluklar ve çaplar üretildiği yılın teknolojisine ve makine-ekipmanın kapasitesine bağlı olarak değişmektedir.

Geleneksel öngermeli ankrajlarda, kök bölgesi uzunluğu teorik olarak sınırlandırılmaktadır. Bu sınır uzunluk değeri, zemin türüne bağlı olarak değişiklik göstermele birlikte, önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, FHWA (1999) tarafından önerilen maksimum kök bölgesi uzunluğu 10.00m ile 12.00m aralığında değişmektedir. Bu uzunluktan sonra, ankraj kök bölgesine kayma gerilmeleri iletilmeyeceğinden, kök bölgesinin etkin bir biçimde görev yapmayacağı, kök bölgesinin 12.00m uzunluktan sonraki bölümlerinde kök bölgesinden zemine veya kayaya yük transferi yapmayacağı önceki bölümlerde de açıklanmıştır. Bu bilgilerden hareketle, yüksek taşıma kapasitelerine sahip ankraj uygulamaları için, geleneksel öngermeli ankrajlar yerine tek delgili çok köklü ankraj sisteminin seçilmesi uygun olacaktır.

FHWA tarafından verilen denklem uyarınca, aynı zemin profili üzerinde, aynı zemin mühendislik parametreleri kullanılarak, Çizelge 3.5'te verilen parametrelerden yola çıkılarak, ortalama kök bölgesi gerilme kapasitesi olarak $\tau_{ult} = 0.05\text{MPa}$ seçilirse, geleneksel öngermeli zemin ankrajları için kök bölgesi maksimum öngörülen taşıma kapasitesi;

$$T_{max} = 9.0\text{m} \times (0.20\text{m} \times \pi \times 50\text{kPa}) = 282\text{kN}$$

olarak elde edilmektedir. Performans testi sonuçlarından da görüldüğü gibi, tek delgili çok köklü ankrajların taşıma kapasitesi, aynı şartlarda, geleneksel öngermeli ankrajların taşıma kapasitesinin 2 katından daha yüksek bir değerdedir. Elde edilen bu sonuçlara göre, geleneksel öngermeli ankrajlarla elde edilecek yatay destek yükünün, daha az sayıda tek delgili çok köklü ankraj kullanılarak elde edilebileceği görülmektedir.

Performans testlerinden elde edilen sonuçlara ve elde edilen sonuçlar üzerinden yapılan değerlendirmelere dayanarak, daha önce geleneksel öngermeli ankrajlarla birlikte iki kademe kazısıyla teşkil edilmesi planlanan derin kazı, tek delgili çok köklü ankrajlar kullanılarak tek kazı kademesiyle inşa edilmiştir. Tek delgili çok köklü ankraj sistemi kullanılarak, zemin düşük mühendislik parametrelerine sahip olmasına rağmen, geleneksel öngermeli ankrajlara göre daha yüksek yük taşıma kapasitesine

sahip ankrajlar inşa edilebilmiştir. Böylelikle, imal edilecek olan ankraj miktarı, adet olarak neredeyse yarısına düşmüştür. Proje kapsamında, yatay destek elemanı olarak tek delgili çok köklü ankrajların tercih edilmesiyle birlikte, iş programı ve maliyetler açısından büyük bir avantaj sağlamıştır.



6. SONUÇLAR

Geoteknik Mühendisliği'nin en önemli konularından birisi olan derin kazılar ve iksa sistemleri, günümüzde yeraltındaki yapılanmalara olanak sağlamaktadır. Ülkemizde inşa edilen iksa sistemlerinde, en çok tercih edilen yatay destek elemanları öngermeli zemin ankrajlarıdır. Geçmişten günümüze, öngermeli zemin ankrajlarının birçok derin kazı inşaatı sırasında kullanılmasının en önemli sebepleri, uygulanan öngirme yükünü kazının arkasında yer alan zemin/kaya birimlere aktarması, yüksek çekme kapasitelerine sahip olması ve neredeyse her zemin/kaya koşullarında inşa edilebilir olması olarak sıralanabilir.

Son yıllarda kullanılmaya başlayan, bir öngermeli zemin ankrajı çeşidi olan tek delgili çok köklü ankrajlar da ülkemizde yatay destek elemanı olarak kullanılmaya başlamıştır. Özellikle düşük mühendislik parametrelerine sahip zeminlerde ve yüksek kök taşıma kapasitesine ihtiyaç duyulan uygulamalarda efektif çözümler doğurabilen tek delgili çok köklü ankrajlar, geleneksel öngermeli ankrajlara kıyasla proje maliyetlerini önemli ölçüde düşürmektedir ve iş programlarında iyileştirmeler sağlamaktadır.

Bu çalışmada, son yıllarda geliştirilmiş olan tek delgili çok köklü ankraj sistemi teknolojisinden bahsedilmiştir. Tek delgili çok köklü ankraj uygulaması yapılmış bir proje sahasındaki performans testi sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, aynı zemin koşulları üzerinde iki farklı metot ile inşa edilen öngermeli zemin ankrajları incelenmiştir. İncelemeler, geleneksel öngermeli ankrajlar için bazı yaklaşımlarla, tek delgili çok köklü ankrajlar için sahada uygulanan performans testleri ile yapılmıştır. Çalışmanın sonunda tek delgili çok köklü ankrajlar ile geleneksel öngermeli ankrajların karşılaştırması yapılmıştır.

Tek delgili çok köklü ankrajlar, aynı delgi içerisine birden fazla ankraj ünitesinin, farklı bölgelere yerleştirilmesiyle imal edilmektedirler. Böylelikle, hem ankraj için gereken yük kapasitesi farklı ankraj ünitelerine dağılmakta, hem de ankrajların kök bölgesinin farklı bölgelerde teşkil edilmesiyle, yük taşıma sırasında, ankrajların kök bölgesinin çevresinde oluşacak olan gerilme soğanlarının farklı bölgelerde oluşturulması sağlanmaktadır. Böylece, ankraj ünitelerinin kökleri boyunca, deplasman riskini de minimize ederek, kök bölgelerinden zemine parça parça yük aktarımı sağlanmaktadır. Bu sayede, özellikle zayıf zeminlerde, zemin yenilmeden,

ankraj ünitelerinin kök bölgesi çevresinde oluşan kayma gerilmeleri, kök bölgesi boyunca dağılabilmektedir.

- Tez kapsamında yapılan çalışmalardan, zayıf mühendislik parametrelerine sahip zeminlerde, ankraj kök kapasitesini arttırmak için, kök uzunluğunun arttırılmasının etkili bir yöntem olmadığı anlaşılmıştır. Ankraj kök uzunluğunun arttırılması yerine, ankraj delgi çapını genişleterek, ankraj kök bölgesindeki enjeksiyonun, zeminle birleşen çevresinin yüzey alanını arttırarak oluşan kayma gerilmelerini azaltmak daha etkili bir çözüm olmaktadır.
- Zeminin mühendislik özelliklerinin, saha çalışmaları başlamadan önce belirlenmesi ve imal edilecek ankrajlar üzerinde performans testlerinin uygulanması için ayrılan süre ve zaman, uzun vadede proje maliyetlerine ve iş programına çok önemli katkılar sağlamıştır.
- Düşük mühendislik parametrelerine sahip zeminlerde, geleneksel öngermeli ankrajlar kullanılması yerine tek delgili çok köklü ankrajların kullanılmasının daha uygun bir çözüm olduğu görülmüştür. Bunun yanında, zayıf zemin koşullarında, tek delgili çok köklü ankrajların sünme riskinin de geleneksel öngermeli ankrajlara göre oldukça düşük olduğu saptanmıştır.
- Performans deneylerinden elde edilen grafiklerden görüldüğü üzere, ankrajların kök bölgelerinde kumla karşılaşılması durumunda, oluşan rezidüel deplasmanlarda azalma gözlemlenmektedir. Kök bölgesinin kil zeminde konumlanmasıyla ise rezidüel deplasmanlarda bir artış olduğu sonucuna varılmaktadır.
- Tek delgili çok köklü ankraj sistemlerinin tercih edilmesi, istenilen uzunlukta kök bölgesi tasarımına izin vermektedir. Böylece, uygun kök tasarımı ile birlikte yüksek taşıma kapasitelerine ulaşılmaktadır. Ancak, geleneksel öngermeli ankraj sistemlerinde, kök bölgesi uzunluğu sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırmanın nedeni, geleneksel öngermeli ankrajlarda, 10.00m ila 12.00m uzunluktan sonraki kök uzunluklarının çalışması beklenmemektedir.
- Görece yüksek mühendislik özelliklerine sahip zeminlerde ve kayalarda, ankraj sistemine uygulanan öngerme yükünün, zemin ve kaya yenilmeden kök boyunca aktarılacağı beklendiğinden, bu koşullarda tek delgili çok köklü ankrajların kullanılması etkili bir çözüm olmayacaktır. Bu tür zemin/kaya

koşullarında, ankraj taşıma kapasitenin belirleyici faktörü, ankraj imalatı sırasında kullanılan tendonların çekme kapasiteleridir.

- Analizleri yapılan vaka analizi sonuçlarını değerlendirmek gerekirse, inceleme alanında, 2 ve 3 üniteli olmak üzere iki tip tek delgili çok köklü ankraj imalatı gerçekleştirilmiştir. İmal edilen ankrajların kök bölgesi, genel olarak yer yer kum arabantlı alüvyonel orta katı kil içerisinde kalmıştır. İmal edilen test ankrajlarının kök bölgeleri, genel olarak, düşük mühendislik özellikliklerine sahip orta katı kilden oluşmaktadır. Yapılan performans testleri sonucunda, söz konusu ankrajların, sünme kriterini sağlayarak 600kN ila 1050kN arasında yük taşıdığı belirlenmiştir. Aynı zemin parametreleri için bu değer, FHWA (1999) tarafından önerilen ankraj kök bölgesi kapasitesi hesabı yaklaşımıyla, geleneksel öngermeli ankrajlar için 282kN olarak hesaplanmıştır. İnceleme alanında yapılan performans testleri sonuçlarından ve FHWA (1999) tarafından önerilen bazı yaklaşımlardan hareketle elde edilen sonuçlardan da görüldüğü üzere, geleneksel öngermeli ankrajların kök bölgelerinin taşıma kapasitesi, tek delgili çok köklü ankrajların taşıma kapasitesinin yarısından daha da düşüktür.



KAYNAKLAR

- AASHTO.** (1988). Manual on subsurface investigations. *American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington DC, USA.
- ASTM A779** (2016). *Standard Specification for Steel Strand, Seven-Wire, Uncoated, Compacted for Prestressed Concrete*. American Society of Testing and Materials, USA.
- ASTM 2487** (2017). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. American Society of Testing and Materials, USA.
- ASTM D2488** (2017). *Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual – Manual Procedures)*. American Standards for Testing and Material, West Conshohocken. American Society of Testing and Materials, USA.
- ASTM D6032** (2017). *Standard Practice for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core*. American Standards for Testing and Material, West Conshohocken. American Society of Testing and Materials, USA.
- Bilgin, Ö. ve Erten, M. E.** (2009). Anchored sheet pile walls constructed on sloping ground. *International Foundation Congress and Equipment Expo: Contemporary Topics in Ground Modification, Problem Soils, and Geo-support*, (pp. 145-152). Florida, USA: March 15-19.
- Barley, A. D.** (1997). The single bore multiple anchor system. *Proceedings of the international conference organized by the Institution of Civil Engineers*. (pp. 65-75). London, UK: March 20-21.
- Bruce, M. E., Traylor, R. P., Barley, A. D., Bruce, D. A. ve Gomez, J.** (2004). Post grouted single bore multiple anchors at Hudenpyl Dam, Michigan. *Geosupport Conference*, Florida, US, December 29-31. doi: 10.1061/40713(2004)51
- BS 8081** (2015). *Code of Practice for Grouted Anchors*. British Standards, London.
- Cernica, J. N.** (1995). *Geotechnical Engineering: Soil Mechanics*. (pp. 295-326). Canada: Wiley.
- FHWA.** (1999). Geotechnical Engineering Circular No.4: Ground Anchors and Anchored Systems, U.S. Department of Transportation, *Federal Highway Administration*, Publication No: FHWA-IF-99-015, Washington DC, USA.
- FHWA.** (2015). Soil Nails Wall Reference Manual, U.S. Department of Transportation, *Federal Highway Administration*, Publication No: FHWA-NHI-14-007, Washington DC, USA.

- Gregorio, M. C., Papa, R., Urcioli, G., Picarelli, L., Zeni, L. ve Minardo, A.** (2016). Performance of ground anchor built in a flysch deposit. *Procedia Earth and Planetary Science*, 16, 71-80.
- Grunsky, M. A.** (2002). Long-term strength of prestressed ground anchors in creep-sensitive soils. *Deep Foundations: An International Perspective on Theory, Design, Construction, and Performance*, (pp. 37-52), Florida, USA, February 14-16.
- Irvin, C.** (2014). Self-drilling hollow bars: Ground anchor, tension pile or soil nail. *The 12th International Society for Micropiles Workshop*, Krakow, Poland.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2011). İstanbul İl Alanının Jeolojisi, *İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü*, İstanbul.
- KASKTAŞ.** (2016). Ferko Line ofis ve otel projesi – Test ankrajları değerlendirme raporu.
- Kim, N., Park, J. ve Kim, S.** (2007). Numerical simulation of ground anchors. *Computers and Geotechnics*, 34, 498-507.
- Kuntsche, K.** (2007). Deep excavations and slopes in urban areas. *Proceedings 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, (pp. 63-73), Madrid, Spain.
- Liao, H. J., Ou, C. D., ve Shu, S. C.** (1996). Anchorage behaviour of shaft anchors in alluvial soil. *Journal of Geotechnical Engineering*, 122, 526-533.
- Lubach, A.** (2010). *Bentonite cavities in diaphragm walls* (Yüksek Lisans Tezi). Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering & Geoscience, Delft.
- Niermann, J. M. ve Richards, T. D.** (2009). Tension testing of grouted strands anchorages. *International Foundation Congress and Equipment Expo: Contemporary Topics in Ground Modification, Problem Soils, and Geo-support*. (pp. 193-200). Florida, USA: March 15-19.
- Pınarlık, M., Öztürk Kardoğan, P. S. ve Kılıç Demircan, R.** (2017). Şev Stabilitesine Zemin Özelliklerinin Etkisinin Limit Denge Yöntemi ile İrdelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5 (3), 675-684. doi: 10.21923/jesd.334909
- PTI.** (1996). Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors, 3rd ed. *Post-Tensioning Institute*, Phoenix.
- SOILMEC.** (2016). Bored Piles. www.soilmec.com.au, Retrieved from March 21, 2018, from <http://soilmec.com.au/wp-content/uploads/2017/06/Technology-Bored-Piles-Soilmec-Technology.pdf>.
- TS EN 1537** (2001). *Özel Jeoteknik Uygulamalar: Zemin Ankrajları. Türk Standartları*. Ankara.
- TS EN 206** (2013). *Beton – Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standartları*, Ankara.

- VSL.** (2010). Ground Anchor Systems: Post-tensioned Ground Anchors. *www.vsl.com*. Retrieved from February 02, 2012, from http://www.vsl.com/download.php?brochure_cat=ground-anchors&getfile=vsl-ground-anchor-systems.pdf.
- Vukotic, G, Gonzalez, G. J. ve Soriano, A.** (2013). The influence of bond stress distribution on ground anchor fixed length design. Field trial results and proposal for design methodology.
- Xanthakos, P. P.** (1991). *Ground Anchors and Anchored Structures*, (pp. 33-96). John Wiley&Sons, Inc.



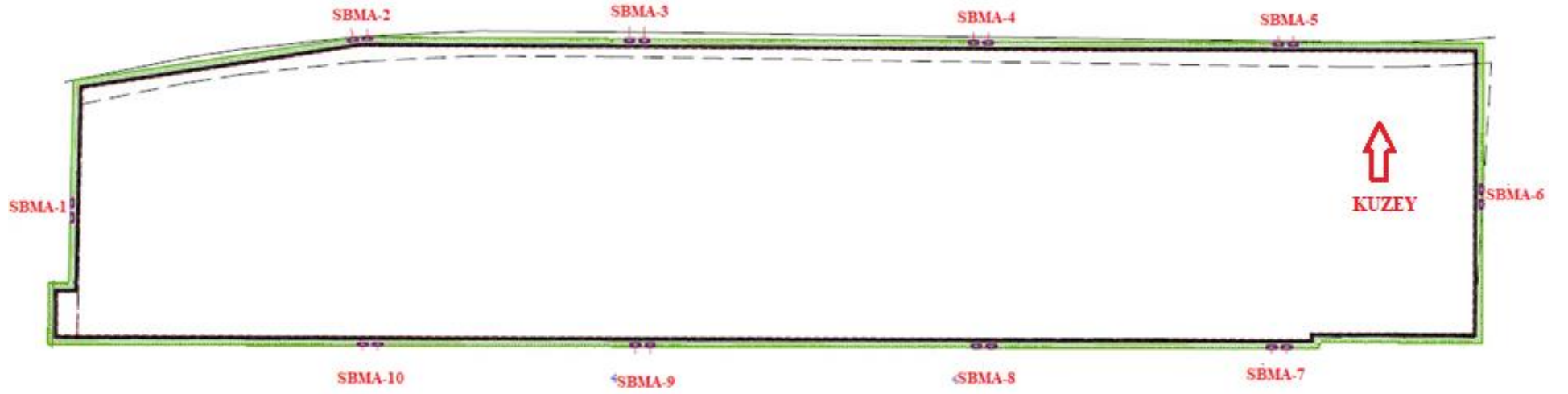


EKLER

EK A: Test Ankrajlarının Konumları



EK A



Şekil A.1: Test ankrajlarının lokasyonları

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ferit EYÜBOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 09.04.1993, Trabzon
E-posta : feriteyuboglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü