

**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAKACIK-PENDİK İSTASYONLARININ (İSTANBUL  
METROSU) MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ**

**Tezi Hazırlayan  
Ümit YALÇIN**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. İsmail DİNÇER**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**KASIM 2014  
NEVŞEHİR**



**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAKACIK-PENDİK İSTASYONLARININ (İSTANBUL  
METROSU) MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ**

**Tezi Hazırlayan  
Ümit YALÇIN**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. İsmail DİNÇER**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**KASIM 2014  
NEVŞEHİR**

Doç. Dr. İsmail DİNÇER danışmanlığında Ümit YALÇIN tarafından hazırlanan "Yakacık-Pendik İstasyonlarının (İstanbul Metrosu) Mühendislik Jeolojisi" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında (Ortak) **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

27/11/2014

### JÜRİ

Başkan : Doç. Dr. İsmail DİNÇER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayşe ORHAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ömer BİLHAN

### ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 02/12/2014 tarih ve 2014/46-09 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

02.12.2014



## TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ümit YALÇIN



## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans'a başladığım günden itibaren bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yanımda olan, sabrı ve ilgisiyle bana büyük umut ve destek veren danışman hocam Sayın Doç. Dr. İsmail DİNÇER'e ve yapmış oldukları katkılardan dolayı Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN, Yrd. Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ, Yrd. Doç. Dr. Ayşe ORHAN ve Yrd. Doç. Dr. Ömer BİLHAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında yapmış oldukları katkılardan dolayı İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı Raylı Sistem Daire Başkanı Anadolu Yakası Raylı Sistem Müdürü Sayın Turgay GÖKDEMİR 'e, Optim-Prokon Ortak Girişimi Jeoloji-Jeoteknik Kontrol Mühendisi Jeoloji Mühendisi Sayın Hande KOÇ'a ve ev arkadaşım Eyüp AYDOĞAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez yazım sürecinde emeği geçen Jeoloji Mühendisi Sayın Mesut Asil SEĞMEN'e ve tez yazım sürecinde yanımda olan tezi düzenleme aşamasında yardımları dokunan lisans ve yüksek lisans arkadaşım Jeoloji Mühendisi Sayın Sadık Erhan BAŞDEMİR'e teşekkür ederim.

En özel teşekkürlerimi ise hayatım boyunca maddi manevi desteklerini eksik etmeyen hayatımın her safhasında olduğu gibi bu safhada da beni yalnız bırakmayan aileme sunarım. Şefkatini, dualarını hiçbir zaman eksik etmeyen canım annem Saliha YALÇIN'a hayatım boyunca mükemmel bir baba olmanın yanında en iyi arkadaşım, yol göstericim sevgili babam Ahmet YALÇIN'a ve bana ağabey olmanın yanında ebeveynlik duygusunu bolca yaşatan kardeşlerim Meltem YALÇIN ve Mustafa. Emin YALÇIN' a sonsuz teşekkür ederim.

**YAKACIK-PENDİK İSTASYONLARININ (İSTANBUL METROSU)  
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Ümit YALÇIN**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KASIM 2014**

**ÖZET**

İstanbul gerek tarihi gerekse jeopolitik konumu sebebiyle çok kalabalık bir nüfusa sahiptir. Nüfusun kalabalık olması ulaşım sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bundan dolayı İstanbul'da bir çok metro projesi gerçekleştirilmektedir. Kadıköy-Pendik hattı İstanbul metro projesinin yapımı devam eden bölümlerinden biri olup, güzergah üzerinde yer alan Yakacık ve Pendik İstasyonlarının mühendislik jeolojisi bu tezin konusunu oluşturmaktadır. Çalışma alanında ve yakın civarında kaya birimleri grovaplardan ve karbonatlı şeyllerden oluşmaktadır. Çalışma alanında 20 metre derinliğe kadar ulaşan istasyon kazılarında püskürtme beton, zemin/kaya bulonu, mini kazık ve ankraj gibi iksa sistemleri kullanılmıştır. Bu kazı destek sistemlerinin saha uygulama esasları incelenmiştir.

***Anahtar Kelimeler: Metro istasyonu, Mühendislik jeolojisi, Kazı, Mini kazık, Ankraj***  
**Tez Danışman: Doç. Dr. İsmail DİNÇER**  
**Sayfa Adeti: 74**

**ENGINEERING GEOLOGY OF  
YAKACIK-PENDIK STATIONS (ISTANBUL METRO)**

**(M. Sc. Thesis)**

**ÜMİT YALÇIN**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNİVERSİTY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**November 2014**

**ABSTRACT**

Istanbul has a high population due to its historical background and its geopolitical position. This high population brings the transportation issues in its wake. Because of this reason many subway projects are constructed in İstanbul. Kadıköy-Pendik line is one of the ongoing construction sections of İstanbul Subway. Subject of this thesis is engineering geology of Yakacık and Pendik station which are located on this line. Rock units are consists of greywacke and carbonated shale. Station excavation are up to 20 meters in the study area and excavation support systems are used such as shotcrete, soil/rock bolt, piles and anchors. And also, geotechnical applications principles of these systems were evaluated in this study.

***Keywords: Subway station, Engineering geology, Excavation, Piles, Anchors***

**Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İsmail Dincer**

**Page Number: 74**



## İÇİNDEKİLER

KABÜL VE ONAY SAYFASI .....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x
RESİMLER LİSTESİ.....	xi
HARİTALAR LİSTESİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiii
1. BÖLÜM	
GİRİŞ .....	1
2. BÖLÜM	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Araştırma Konusu İle İlgili Çalışmalar .....	5
2.2. Çalışma Alanı İle İlgili Çalışmalar .....	7
3.BÖLÜM	
MATERYAL VE YÖNTEMLER .....	10
3.1. Materyal .....	10
3.1.1. Yakacık istasyonu .....	10
3.1.2. Pendik istasyonu .....	11
3.2. Yöntem.....	11
3.2.1. Literatür taraması .....	12

3.2.2. Arazi çalışmaları .....	13
3.2.3. Büro çalışmaları .....	13
4. BÖLÜM	
BULGULAR.....	15
4.1. Çalışma Alanının Genel Jeolojik Durumu .....	15
4.1.1. Aydos formasyonu (Qa).....	16
4.1.2. Gözdağ formasyonu (OSg) .....	16
4.1.3. İstinye formasyonu (SDyi).....	17
4.1.4. Kartal formasyonu (Dk) .....	18
4.1.5. Alüvyon (Qal) .....	19
4.2. Çalışma Alanının Hidrojeolojisi .....	19
4.3. Çalışma Alanının Depremselliği .....	21
4.4. Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi .....	23
4.4.1. Karbonatlı şeyl .....	23
4.4.1.1. Fiziksel ve indeks özellikler.....	26
4.4.1.2. Jeomekanik özellikleri .....	26
4.4.1.3. Kaya kütle özellikleri .....	28
4.4.1.3.1. Kaya kalite tanımı (Rock quality designation, RQD) .....	29
4.4.1.3.2. Kaya kütle değerlendirme (RMR: Rock mass rating) .....	33
4.4.1.3.3. Q-sistemi .....	34
4.4.1.3.4. GSI-sistemi.....	37
4.5. Mühendislik Yapıları .....	41
4.5.1. Yakacık istasyonu .....	41
4.5.2. Pendik istasyonu .....	44
4.6. Jeoteknik Uygulamalar.....	46

4.6.1. Sıyırma kazıları .....	46
4.6.2. Zemin çivisi/kaya bulonları.....	47
4.6.3. Çelik hasır döşeme ve püskürtme beton uygulamaları .....	49
4.6.4. Mini kazık uygulamaları .....	52
4.6.5. Kademe kazıları .....	55
4.6.6. Ankraj uygulamaları.....	58
5. BÖLÜM	
TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	63
KAYNAKLAR .....	67
ÖZGEÇMİŞ .....	74

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1.	Tünel güzergahı sondajlarında ölçülmüş yeraltı su seviyeleri.....	21
Tablo 4.2.	Karbonatlı şeylerin fiziksel ve indeks özellikleri .....	26
Tablo 4.3.	Karbonatlı şeylerin jeomekanik özellikleri .....	26
Tablo 4.4.	Sk-10 için grovak ara tabakalı karbonatlı şeyler için rnr kaya kütle değerinin belirlenmesi.....	35
Tablo 4.5.	Kartal formasyonu içerisinde sk-10 için elde edilen q değerinin belirlenmesi.....	38
Tablo 4.6.	İstasyonlara göre kullanılan kaya bulonlarının genel özellikleri.....	50
Tablo 4.7.	İstasyonlara göre kademe kazı sayıları.....	57
Tablo 4.8.	İstasyonlara göre kullanılan ankraj iksa sistemlerinin genel özellikleri.....	60

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	İstanbul raylı sistemler ağı haritası ve çalışma alanı .....	3
Şekil 3.1.	Yakacık istasyonun uydu görüntüsü ile birlikte konumu.....	11
Şekil 3.2.	Pendik istasyonun uydu görüntüsü ile birlikte konumu.....	12
Şekil 4.1.	Çalışma alanı ve yakın civarında 1900-2014 yılları arasında m>5.0 depremlerin dağılımı.....	22
Şekil 4.2.	Karbonatlı şeylerin farklı dayanım sınıflandırmalarındaki konumu.....	27
Şekil 4.3	Yakacık-pendik istasyonları jeolojik enine kesit.....	32
Şekil 4.4.	Flis türü heterojen kaya kütleleri için gsı hesabı.....	40
Şekil 4.5.	Yakacık istasyonunun batı bloğunun hali hazır ve iksa planı.....	42
Şekil 4.6.	Yakacık istasyonunun doğu bloğunun hali hazır ve iksa planı.....	43
Şekil 4.7.	Pendik istasyonunun doğu ve batı bloğunun hali hazır ve iksa planı.....	45
Şekil 4.8.	Mini kazıkların plan görünümü.....	53
Şekil 4.9.	Yakacık istasyonu doğu bloğu kesit 5-5 boyunca uygulanan ankraj iksa sistemi detayının genel görünümü.....	62

## RESİMLER LİSTESİ

Resim 4.1. İstinye formasyonun genel görünümü. ....	17
Resim 4.2. Kartal formasyonun genel görünümü .....	18
Resim 4.3. Karbonatlı şeyl seviyelerinden elde edilen karotların genel görünümü. ....	24
Resim 4.4. Çalışma alanında jeoteknik sondaj karotları genel görünümü.....	31
Resim 4.5. Sıyırma kazılarından genel görünüm .....	47
Resim 4.6. Zemin çivisi delgilerinin yapılması . ....	48
Resim 4.7. Yakacık batı blok zemin çivisi ve püskürtme beton işlemi yapılmış hali.....	48
Resim 4.8. Pendik İstasyonu batı blok çelik hasır döşemesi aşamasından görünüm ....	51
Resim 4.9. Yakacık İstasyonu batı blok püskürtme beton işlemi aşamasından görünüm .....	51
Resim 4.10. Mini kazık uygulama aşamalarından genel görünüm.....	54
Resim 4.11. Jeoteknik uygulamaların genel görünümü.....	56
Resim 4.12. Üçüncü kademe ankraj enjeksiyonu yapılmış bir kesit.....	56
Resim 4.13. Ankraj iksa sisteminin uygulama aşamalarından genel görünüm.....	58

## HARİTALAR LİSTESİ

Harita 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.....	2
Harita 4.1. Çalışma alanının ve yakın civarının jeoloji haritası .....	15
Harita 4.2. Çalışma alanı ve yakın civarının hidrojeoloji haritası .....	20
Harita 4.3. Çalışma alanı ve yakın civarın diri fay haritası.....	22
Harita 4.4. Kartal-Pendik istasyonları ve yakın civarının mühendislik jeolojisi haritası.....	25

## SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

KK	Koruyucu Kemer
TBM	Tunnel Boring Machine
PVC	Polivinil klorür
g	Deprem İvme Katsayısı
NATM	Avusturya Tünel Açma Metodu
RQD	Kaya Kütle Belirteci (Rock Quality Designation)
RMR	Jeomekanik Sınıflandırma (Rock Mass Rating)
Q	Kaya Tüneli Kalite İndisi (Rock Tunnelling Quality Index)
NGI	Norway Geotechnical Institute
CSIR	Council for Scientific and Industrial Research
GSI	Jeolojik Dayanım İndisi (Geological Strength Index)
Qa	Aydos Formasyonu
OSg	Gözdağ Formasyonu
SDyi	İstinye Formasyonu
Dk	Kartal Formasyonu
Qal	Alüvyon
Gz	Geçirimsiz
gz	Yarı geçirimsiz
MPa	Mega Pascal
GPa	Gıga Pascal
SK	Sondaj Kuyusu
UCS	Tek Eksenli Basınç Dayanımı
Jn	Süreksizlik Takım Sayısı
Jr	Eklem Pürüzlülük Sayısı
Ja	Eklem Ayrışma Durumu



Jw	Eklem Durumu İndirgeme Etmeni
SRF	Gerilim Azaltma Etmeni
GSI	Geological Strength Index
E	Elastisite Modülü
$\phi$	İçsel Sürtünme Açısı
c	Kohezyon

# 1. BÖLÜM

## GİRİŞ

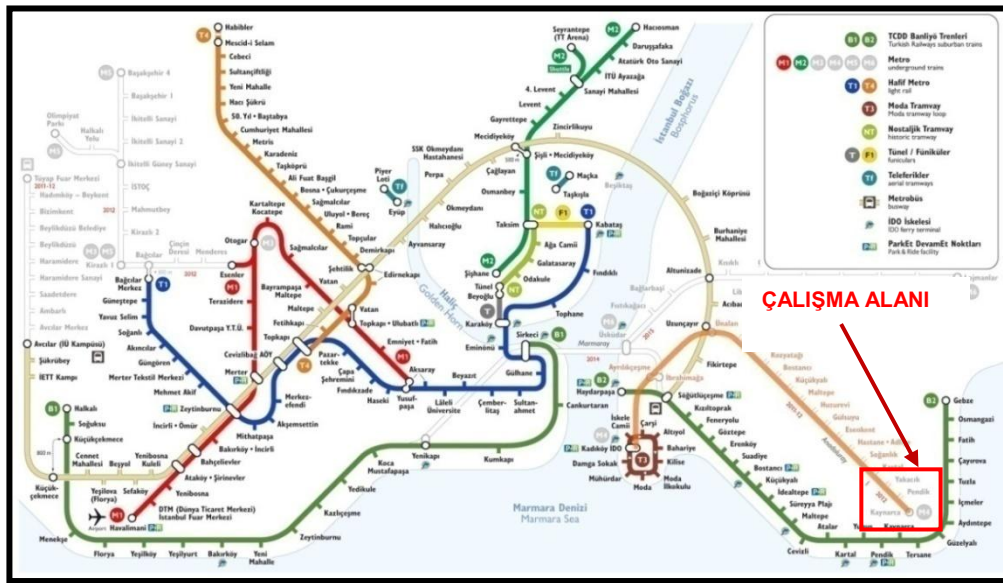
Son yıllarda büyük kentlerimizde metro projelerin artması ile birlikte mühendislik jeolojisi çalışmalarının önemi farklı bir boyuta taşınmıştır. Metro inşaatları, tünel, kazı ve zemin iyileştirme uygulamalarının yoğun olarak gerçekleştirildiği projeler olmasının yanı sıra özellikle yerleşim yerleri içerisinde yapılmasından dolayı diğer birçok mühendislik jeolojisi projesinden farklılıklar sunmaktadır. Ayrıca bu tür büyük metro projelerin problemlili zeminlerde inşa ediliyor olması çoğu zaman derin temeller ve/veya zemin iyileştirmesini yöntemlerinin uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı, büyük mühendislik projelerinin tasarım aşamasında ve uygulama aşamasında mühendislik jeolojisi uygulamaları yoğun bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

Ülkemizde bu anlamda gerçekleştirilen önemli projelerden biri olan İstanbul Metrosu'nun Yakacık–Pendik İstasyonları ve çevresinin mühendislik jeolojisi ve bu anlamda yapılan mühendislik uygulamaları bu tezin konusunu oluşturmaktadır. Söz konusu çalışma alanı Kartal-Kaynarca arasında olup, yaklaşık 4,4 km'lik hat üzerinde yer alan Yakacık ve Pendik İstasyonlarını kapsamaktadır (Harita 1.1). Yüksel ve çalışma arkadaşları yapmış oldukları çalışmada İstanbul kentinin, 1980'li yıllardan sonraki artan nüfus eğilimi ile birlikte oluşan kent içi ulaşım talebinin mevcut seçenekler ile karşılanması gün geçtikçe zorlaşmaktadır [1]. Bu durum kentte yaşayanların yaşam konforunu olumsuz yönde etkilediği gibi önemli ölçüde zaman, iş gücü ve enerji kayıplarına yol açmaktadır. Bu sorun geçmiş dönemlerde çok sayıda bilimsel ve mesleki platformlarda gündeme alınarak tartışılmış ve çözüm önerileri ortaya konmuştur [2-8].

Bu araştırmaların çoğunda kent içi ulaşımındaki ağırlaşan sorunun toplu taşımacılık ile ve daha çok raylı sistemlerle çözülebileceği üzerinde durulmaktadır. Planlama çalışmalarına yönelik olarak, kent yönetimi tarafından 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesinde "İstanbul Ulaştırma Ana Planı" hazırlattırılmış, bu plan çerçevesinde toplam 232 km uzunluğunda raylı sistem öngörülmüştür. Ana plan sonraki dönemlerde nüfus yapısındaki değişimlerin gerektirdiği ihtiyaçlara paralel olarak birkaç defa gözden geçirilmiştir. Yüksel ve çalışma arkadaşları İstanbul'da raylı sistem inşaatlarına



İstanbul Anadolu yakasında tamamlanmış olan Kadıköy-Kartal Metro su toplam 21,7 km güzergah uzunluğunda olup, 16 adet istasyonu bulunmaktadır. Güzergah Kadıköy Meydanı'ndan başlamakta ve Ayrılık Çeşmesi istasyonunun da “Marmaray Projesi “ olarak bilinen boğaz tıp geçit projesi ile kesişmektedir (Şekil 1.1). Bu istasyon aktarma istasyonu olarak işlev görecektir. Güzergah E-5 karayolu altından ilerlemektedir. Meydanlar, köprü lü kavşaklar, E-5 karayolu altında yer alması vb. kısıtlayıcı faktörler nedeniyle istasyonların peron yapıları derin tün el olarak planlanmıştır. Genel olarak istasyonların yerleri köprü lü kavşakların yakınına konumlandırılmıştır. Böylece hattın dikine yolcu transferi sağlayan diğ er sistemler (otobüs, minibüs, vb. ) ile bütünleşmesi amaçlanmıştır. İstasyonların aç-kapa yapıları mevcut trafik akışının aksatılmaması bakımından E-5 karayolunun kenarında bulunmaktadır. İstasyonun yeraltı yapısı, yolcu yoğunluğuna bağı lı olarak iki veya üç tıp tün el olarak tasarlanmış olup yaklaşık 250 m uzunluğunda kenar peronludur. Hat tünelleri güncel yangın güvenliğ i standartlarına uygun olarak “çift tıp” (ikiz tün el) şeklinde tasarlanmıştır. Yüksel ve çalışma arkadaşları Yine bu standartlara göre hat tünellerinde 200-250 m’ de bir çapraz kaçış tünelleri ile birbirine bağı lanmıştır. Sistemin ray üst kotu güzergah boyunca hemen hemen yüzey topografyasını izleyecek biçimde ortalama yüzeyden 30 m derinlikte bulunmaktadır. İşletme açısından maksimum % 4 eğim kısıtlaması nedeniyle derinlik yer yer 50-60 metrelere ulaştığ i gibi özellikle güzergahı dikine kesen dere geçişleri civarında örtü kalınlığ ının, 8-10 m’ye kadar düştüğ ü kesimleri de bulunmaktadır [1].



Şekil 1.1. İstanbul raylı sistemler aç ı haritası ve çalışma alanı

Çalışma alanının yer aldığı İstanbul aynı enlemde yer aldığı birçok bölgeye nazaran coğrafi konum ve morfolojisi itibariyle değişik iklim özellikleri gösterir. Yerküre üzerinde, ekvatorun başlayıp sırası ile ikişer kez yinelenen alçak ve yüksek basınç kuşakları içinde (41° kuzey enlemi, 29° doğu boylamı) subtropikal yüksek basınç kuşağı ile soğuk-ılık bölgenin alçak basınçlarının ya da karasal (nemsiz) alize rüzgarları ile denizel nemli ve yağışlı batı rüzgarlarının sınırındadır. Bölge tek bir iklimin etkisinde kalmayıp, Akdeniz, Karadeniz ve Karasal iklim tiplerinin geçiş halinde bulunduğu ve genelde Marmara iklim tipinin etkisindedir. Yazlar sıcak ve nispeten kurak, bahar ve kış ayları ise yağışlıdır. Yıllık ortalama yağış miktarı 680,3 mm, ortalama sıcaklık ise 13,5° C dir. İlin %60'ı ormanlık alanlarla kaplı olup, yayla ve tepeler çıplak değildir. Bitki örtüsü orman, maki, psödömaki (Karadeniz iklimine uğramış, nemli karakterli maki bitki toplulukları) ile kıyı bitkilerinden oluşmaktadır. Çalışma alanı yerleşim bakımından yoğunluk taşıdığı için doğal bitki örtüsü yok denecek kadar azdır [10].

Bu tez kapsamında çalışma alanında zemin ve kaya ortamlarda gerçekleştirilen arazi ölçüm, gözlem ve deneyleri ile laboratuvar verileri kullanılarak söz konusu istasyonların mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesi ve çalışma alanı olarak seçilen istasyonlarda yapılan jeoteknik uygulamaların incelenmesi amaçlanmıştır. Buna ek olarak, istasyon kazıları sırasında karşılaşılan zemin problemlerinin giderilmesi amacıyla gerçekleştirilen mini kazık, zemin çivisi/kaya bulunu ve ankraj gibi jeoteknik uygulama sistemleri zemin koşulları açısından ele alınacaktır.

## 2. BÖLÜM

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İstanbul ve çevresinin jeolojisi uzun yıllar merak konusu olmuş ve bölge detaylı çalışmalara konu olmuştur. Genel arazi gözlemleri, bölgenin stratigrafik, paleontolojik, tektonik özelliklerini inceleyen ve sürekli ilerleme gösteren önemli çalışmalar bulunmaktadır. Çalışma alanı olan Yakacık ve Pendik İstasyonları İstanbul Anadolu yakasında yer almaktadır. Kadıköy-Kartal Metrosu'nun devamı niteliğinde olan bu tür büyük ölçekli mühendislik projelerinde; temel jeolojik çalışmalar göz önünde bulundurulması oldukça önemlidir. Bu bölümde genel olarak çalışma alanı ve konusu ile ilgili çalışmalar yer verilmiştir.

#### 2.1. Araştırma Konusu İle İlgili Çalışmalar

Usta, tarafından yapılan çalışmada, İstanbul Metrosu Yenikapı-Unkapı arasında karşılaşılan zemin ve kaya ortamlarının arazi ve laboratuvar verileri kullanılarak güzergah mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda tünel düzeyinde geçilen ana kayanın metro tünelleri için öngörülen kazı ve sağlamlaştırma uygulamaları açısından önemli bir sorun olmadığı saptanmıştır. Ancak Güngören killeri yerel farklılıklar göstermektedir. Bundan dolayı birimin tünel mühendisliği açısından sorunlu olduğu ve sağlamlaştırmanın gerekli olduğu saptanmıştır [11].

Ocak ve Möröy, yapmış oldukları çalışmada metro tünellerinde, kazı öncesinde ve sonrasında yüzeyde oluşan ve yüzeyde bulunan yapılara zarar veren, hatta yıkılmalarına neden olan yüzey oturmalarının, müsaade edilebilir değerler arasında tutulabilmesinin çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Aksi halde, metro tüneli kendisinden beklenen vazifeleri yerine getiremeyeceği gibi metrodan beklenen kazanımlar da yok olacaktır. Bu amaçla, İstanbul Metrosu 2. Aşama kazıları Unkapı-Yenikapı bölümünde değişik Formasyonlarda yapılan tünel kazıları üzerinde çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) ve özellikle hassas bölgelerde bu metoda ek olarak yapılan koruyucu kemer (KK) yöntemi mukayese edilmiştir. Çalışma sonucunda

özellikle killi zeminlerde koruyucu kemer yöntemi ile yüzey deformasyonlarının büyük ölçüde kontrol edilebildiği görülmüştür [12].

Yüksel ve çalışma arkadaşları, yapmış olduğu çalışmada kent içi ulaşımında daha hızlı ve konforlu ulaşım işlevi olan raylı toplu taşıma sistemleri arasındaki metro sistemleri genellikle yer altı yapıları olarak tasarlandığını belirtmiş ve uzunlamasına bir güzergahta yer alan bu tür yapılar ölçek bakımından oldukça büyük yatırımlar olduğunu belirtmiştir. Bundan dolayı, yatırım hacmi, önemli ölçüde içerisinde yer alacağı kaya/zemin ortamın jeomekanik davranışları tarafından denetlendiğini savunmuştur. Dolayısıyla, gerek tasarım gerekse uygulama aşamalarındaki jeoteknik araştırmalar projenin maliyet ve başarısı açısından çok özel bir önem taşımaktadır. Çalışmada, Kadıköy-Kartal Metrosu'nda gerçekleştirilen jeoteknik araştırma çalışmaları konu edilmiştir [1].

Kuşçu, tarafından yapılmış olan çalışmada, İstanbul Metrosu ikinci aşama kazıları kapsamındaki Aksaray-Yenikapı güzergahında tünel içi ve yüzey deformasyonların kaya kütlesi, örtü kalınlığı, kazı kesiti, kazı kademesi, yüzey yükleri ve destek sistemi özellikleri ile ilgili nedenleri araştırılmıştır. Buna göre fay ve buna bağlı süreksizlik düzlemlerinin yüzey deformasyonlarını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Tünel eksenlerinde, stabilite şartlarının sağlanması amacıyla donatılı beton uygulanmış bu uygulama çalışmayı olumlu yönde etkilemiş ve deformasyonu minimuma indirmişdir [13].

Güven, İstanbul Metrosu Otogar-Kirazlı 1 arasında karşılaşılan zemin ve kaya ortamlarda gerçekleştirilen arazi ölçüm, gözlem ve deneyleri ile laboratuvar verileri kullanılarak güzergahın mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesini çalışmıştır. Yapılan çalışmada, tünel kazısının sığ kesimlerinde daha sık yerleştirilmiş olan bina ve yüzey izleme ölçümlerine göre deformasyon ve oturma miktarları bazı bölgelerde öngörülen sınır değer üzerinde gerçekleşmiş olduğu görülmüştür. Ölçülen oturma miktarlarının tünel ekseninden uzaklaştıkça azaldığı belirtilmiştir [14].

Tatar, tarafından yapılan çalışmada Marmaray projesi Sirkeci NATM tünelleri için tünel içi ve yüzey deformasyonların kaya kütlesi, örtü kalınlığı, kazı kesiti, kazı kademesi, yüzey yükleri ve destek sistemi özellikleri ile ilgili nedenleri araştırılmıştır. Buna göre,

tünelin tünel içi ve yüzey deformasyonların araştırılması, özellikle yapılaşmanın yoğun olduğu Sirkeci bölgesinde önem arz etmiştir. Elde edilen verilere göre, tünel içinde bulunan ezik zonlara ve dayk sokulumlarına bağlı olarak, tünel içi deformasyonların geliştiğini belirtmiştir [15].

Yüksel ve Bilgin yaptıkları çalışmada Kadıköy Kartal Metro Projesi'nin Kozyatağı ile Kadıköy arasındaki güzergah kesiminde çift tüp şeklinde hat tünelleri, istasyon ve makas yapıları bulunduğunu belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmada; Kadıköy Kartal Metrosu örneğinde, TBM kullanılarak yapılan tünel açma çalışmalarında kaydedilen kazı parametreleri ile yine güzergahın bu bölümünde açılmış sondajlardan elde edilen kaya dayanım parametreleri arasındaki istatistiksel ilişkiler araştırılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, kayanın jeomekanik parametreleri ile kazı performansı arasında bir, iki ve üç değişkenli regresyon analizleri yapılmış ve istatistiksel açıdan anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Bulunan ilişkiler yardımıyla benzer kaya koşulları içerisindeki TBM kazılarında jeomekanik büyüklükler kullanılarak kazı performansı önceden belli bir yaklaşıklıkla belirlenebileceğini savunmuşlardır [16].

## **2.2. Çalışma Alanı İle İlgili Çalışmalar**

Tchihatcheff tarafından gerçekleştirilen çalışma, İstanbul bölgesinde yapılan ilk çalışmalardan biridir. Araştırmacı; Gebze'nin doğusundaki doğuya eğimli beyaz, Üst Kretase yaşlı kireçtaşlarına değinmiş ve bu kireçtaşının Ereğli'deki Üst Kretase'ya benzediğini söylemiştir. Devoniyen ile Triyas dokanağının da Gebze doğusunda görülebildiğini belirtmiştir. Trakya Formasyonu'nu Trakya serisi olarak isimlendirmiş ve Devoniyen yaşını vermiştir. Volkanik alanın sınırlarının kabaca Uskumruköy' den ve Yelliköy'den geçtiğini söylemiştir. Araştırmacıya göre bölge tüfler ve çeşitli konglomeralarla bulunan dolerit ve bazaltlardan oluştuğunu belirtmiştir [17].

Erguvanlı, incelediği birimleri stratigrafik isimlerine göre ayırdımını yapmış, bu birimler içinden derlediği fosillerin tanımlamasını yaparak diğer bölgelerle korele etmiştir. Konglomera ve greler olarak incelediği birimi daha sonra taban konglomerası olarak belirtmiş ve Verfaniyen olarak tespit etmiştir. Değirmenköy kireçtaşı adını verdiği birimi; marnlı, plaketli, dolomitik kalker olarak tanımlamış, Muallimköy kireçtaşını alt ve üst üyelere ayırmış, Kazmalı kireçtaşının yaşının Ladiniyen olduğunu



saptamıştır. Sancaktepe granitoyidi olarak adlandırdığı granitin, Üst Silüriyen'in arkoz, kuvarsit serisini kestiğini, bunların az da olsa kontak metamorfizmaya neden olduğunu, yaşının Devoniyen'den daha genç olduğunu belirtmiştir [18].

Abdüselamoğlu, İstanbul'un doğu kesimlerinde önemli çalışmalar yapmış ve İçerenköy ve Küçükyalı dolaylarında Paleozoik birimlere dair önemli bazı stratigrafik ve paleontolojik yenilikler getirmiştir. Örneğin; arkoz serisinde olduğu gibi, seri tanımlamasını büyük kaya birimleri için kullanmıştır. Kuvarsit, grovak ve feldispatik kuvarsitin Silüriyen yaşlı olduğunu, Halysites'li kireçtaşlarının Silüriyen ve Devoniyen sınırında olduğunu ve bol fosil içerikli (Conodont ve Ostracod) Alt Devoniyen biriminin görüldüğünü belirtmiştir. Grovak ve şistlerle temsil edilen Trakya Formasyonu'nun Karbonifer yaşında olduğunu söylemiştir [19].

Kaya, İstanbul Boğazı'nın batı yakasındaki Trakya alanını çevreleyen çalışmasında İstanbul'un Karbonifer stratigrafisine ait ana çizgilerini ortaya koymuştur. Trakya Formasyonu'nun kalın şeyl, grovak ve litik konglomera istifinden oluştuğunu, bunun genel olarak fliş fasiyesinden meydana geldiğini belirtmiş ve birimi alttan üste doğru Acıbadem, Küçükköy ve Çamurhan olmak üzere üç üyeye ayırmıştır [20].

Önalın, Şile, Pendik ve Adalar'da ayrıntılı gözlem ve çalışmalar yapmıştır. Paleozoik yaşlı birimler arasında herhangi bir uyumsuzluğun olmadığını, bütün bu birimlerin birbiriyle uyumlu olduğunu söyleyen ilk çalışmacıdır. Birimlerin transgresif bir seri oluşturduğunu belirtmiştir. Bu verilerden hareketle Akartuna'nın belirttiğinin tersine bu bölgede Kaledoniyen Orojenezinin etkili olamayacağını ileri sürmüştür. Bölgedeki sedimanter istifi detaylı çalışmış ve bu birimlerin çökelme ortamlarını saptamıştır. Aynı araştırmacı 1987–1988 yıllarında İstanbul dolaylarında Devoniyen yaşlı çökellerin sedimanter özellikleriyle ilgili çalışmasında, İstanbul bölgesinde Ordovisiyen'den Karbonifer içlerine kadar uzanan bir Paleozoik istif içerisinde bir diskordansın bulunmadığını açıklamıştır. Önceki araştırmacılardan farklı adlandırmalar yapmıştır [21].

Akyüz, "İstanbul Boğazı Batısı'nın Jeolojisi" adlı tez çalışmasında. Sarıyer Formasyonu içinde yer alan kireçtaşı ara tabakalı tortul istif içindeki biyospartitik kireçtaşı örneğinde

bulunan Orbitoides Medius ve diğerk bazı fosiller incelenerek bu birimin yaşını Orta-Üst Maestrihtiyen olarak ifade etmiştir [22].

Önalın, İstanbul bölgesindeki Devoniyen yaşlı çökeller içerisinde yaygın yumrulu kireçtaşı oluşumlarının varlığından söz etmiştir. Bu yumrulu birimler mavi-gri renkli mikritik kireçtaşları ve marn arılanmasından gelişmişlerdir. Alt-Orta Devoniyende görülen yumrular daha irice, Üst Devoniyen çökellerinde gözlenenler ise daha incedir. Arazi ve laboratuvar bulguları yumrulu kireçtaşı oluşumlarının 5-6 cm'den ince ve 2-3 mm'den kalın olan ve kireçtaşı-marn arılanması şeklinde çökelen istiflerden oluştuğunu belirtmiştir. Yine bu bulgular yumrulanmanın erken diyajenez evresinde sıkışma, yüklenme, basınç erimesi ve kısmen de tektoniğin müşterek etkisiyle meydana geldiğini göstermiştir. İstanbul Devoniyen yumrulu kireçtaşlarının oluşumunda taşınmanın ve organizmaların önemli bir rolü görülmemiştir. Yumruların şekli, büyüklüğü ve düzeni ise tümüyle yumrulanma öncesindeki kireçtaşı ve marnlı seviye arılanmasının birbirine göre olan kalınlık oranına bağılı olduğunu belirtmiştir [23].

Meriç ve çalışma arkadaşları, İstanbul Kadıköy İlçesinde Kuşdili Çayırı mevkiinde (Kurbağalıdere) bulunan alüvyal çökeller ile ilgili yapmış olduğu paleontolojik çalışmasında, buradaki genç çökelleri içerdiği fosillere göre yaşlandırmış ve bu çökellerin (925.000 yıl) Holosen dönemine kadar çökelim gösterdiklerini saptamış ve bu çökelleri, Kuşdili Formasyonu olarak isimlendirmiştir [24].

Zarif ve çalışma arkadaşları, İstanbul'daki kireçtaşlarının agrega kalitesi yönünden değerlendirmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, kireçtaşlarının bileşim ve dokusal olarak farklılıkları üzerinde durmuşlar ve bu değişik özellikteki kireçtaşlarının agrega olarak kullanılabilirliklerini göstermişlerdir. İncelenen kireçtaşları petrografik ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, kaliteleri ve bazı değerlerin özellikleri bakımından da standartlarda belirtilen limitler içinde bulunmakta, bu limit değerlere çok yakın sonuçlar vermekte ve bu nedenle de birçok alanda kullanılabilir [25].

## 3.BÖLÜM

### MATERYAL VE YÖNTEMLER

Çalışma konusunun seçiminden çalışmanın derlenip tez haline getirilmesine kadar geçen süreçte kullanılan araç ve yöntemler sırasıyla aşağıda verilen alt başlıklar altında sunulmuştur.

#### 3.1. Materyal

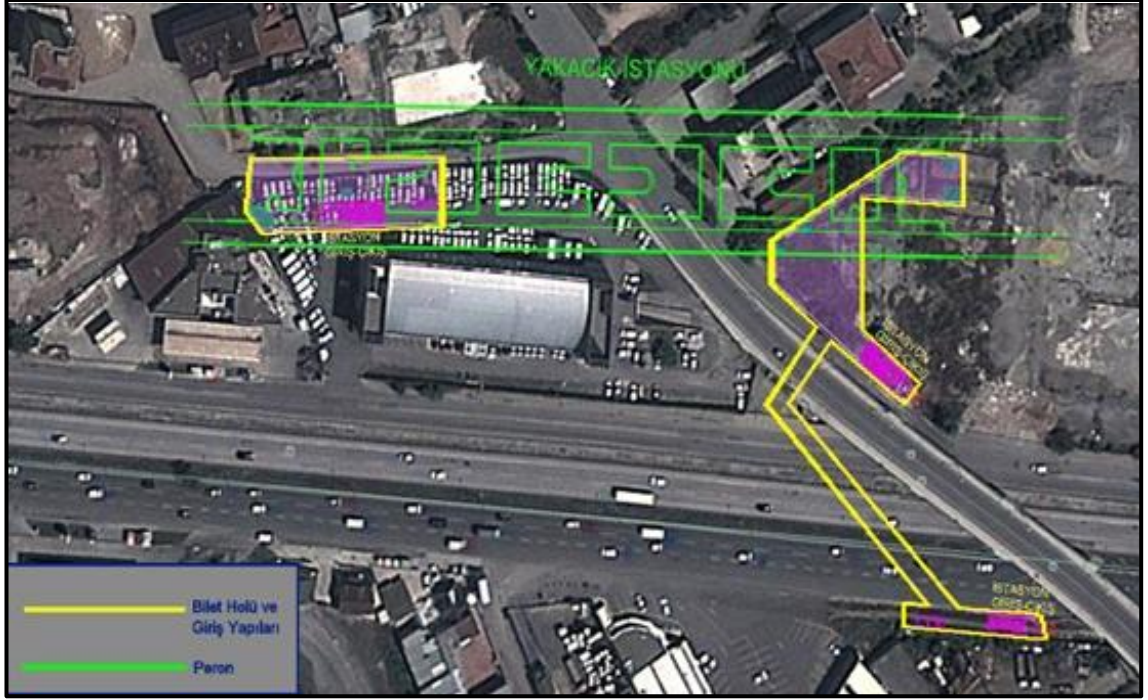
Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhının 23+400 ile 24+600 km arasında kalan Yakacık ve Pendik istasyonları ve yakın civarının mühendislik jeolojisi çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Söz konusu çalışmaların yapıldığı istasyonların içinde yer aldığı 1/25.000 ölçekli İstanbul G23-a3 topografik paftası ile 1/50.000 ölçekli Bursa G3-a Türkiye Jeoloji Haritaları paftası kullanılmıştır.

İstasyon güzergahındaki tanımlanan jeolojik birimlerin birbiri ile olan dokanak ilişkilerini ortaya koymak ve birimin mühendislik özelliklerini tanımlayabilmek amacıyla SİAL tarafından çalışma alanı güzergahında yapılan toplam 8 adet sondajın logları ve sondaj karotları temel kaya ve zemin numunelerin mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır [26].

Yüksek lisans tezinin konusu Yakacık ve Pendik İstasyonları İstanbul Anadolu Yakası Kartal-Kaynarca metro inşaatının uzantısı ilk iki istasyonu olup, istasyonların diğer özellikleri aşağıda alt başlıklar şeklinde verilmiştir.

##### 3.1.1. Yakacık istasyonu

Yakacık istasyonu projenin ilk istasyonu olup, doğu ve batı blok olmak üzere iki bloktan ve D-100 Karayolu altından geçen 1 adet yaya bağlantı tüneline sahiptir (Şekil 3.1). Yakacık istasyonu Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhının 23+100 ile 23+320 km arasında yer almakta olup, doğu blok bölgesi; Adnan Kahveci Köprüsü ve Kartal Un Fabrikası arasında kalan bölgede bulunmaktadır ve çalışmalara 29.11.2013 tarihinde başlanılırken, batı blok bölgesinde çalışmalara 16.12.2013 tarihinde başlanmıştır.



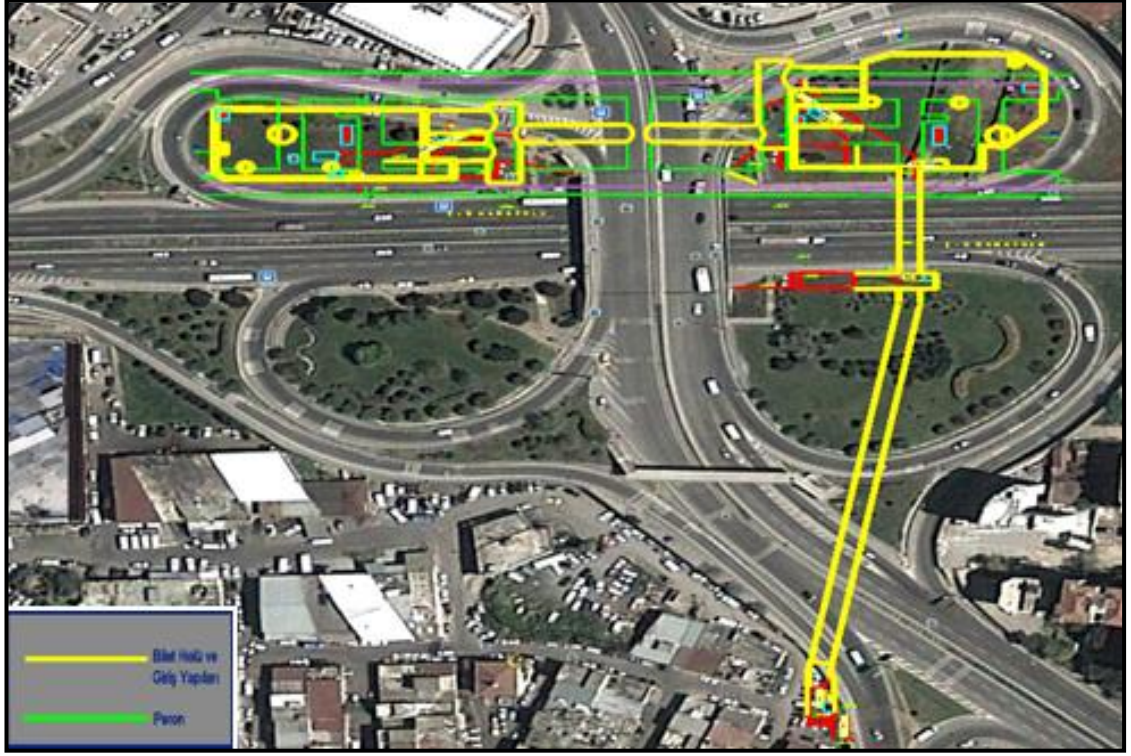
Şekil 3.1. Yakacık istasyonun uydu görüntüsü ile birlikte konumu

### 3.1.2. Pendik istasyonu

Pendik İstasyonu yakacık istasyonu ile benzer şekilde doğu ve batı blok olmak üzere iki bloktan ve D-100 altından geçen yaya bağlantı tüneline sahiptir. Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhının 24+400 ile 24+620 km arasında yer almakta olup, E-5 Karayolu Pendik Köprüsü Kavşağı kuzeyindedir (Şekil 3.2). Pendik istasyonunun doğu bloğu D-100 Karayolu köprüsü kavşağında Kartal istikametinde yer almakta olup, çalışmalara 01.12.2013 tarihinde başlanılırken, batı bloğunda çalışmalara 25.12.2013 tarihinde başlanılmıştır.

### 3.2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında genel olarak, literatür taraması, arazi çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada tamamlanmıştır.



Şekil 3.2. Pendik istasyonun uydu görüntüsü ile birlikte konumu

### 3.2.1. Literatür taraması

Araştırmanın her aşaması için önceki çalışmalar incelenmiştir. Çalışma alanı ile ilgili bölgenin jeolojisi hakkında geniş bilgi edinilmiş ve konu ile ilgili farklı ülkelerde yapılan diğer çalışmalara ait ilgili literatür taraması, ilgili kurumların kütüphaneleri ve elektronik kütüphane arşivleri incelenmiştir. Ayrıca araştırma ile ilgili tezler, bilimsel makaleler, rapor ve basılı dokümanlardan faydalanılmıştır. Özellikle Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhının jeoteknik etüt ve sondaj çalışmalarına ait raporlar [26,27] mühendislik jeolojisi çalışmalarında göz önünde bulundurulmuştur. Bu raporlarda yer alan veriler ve proje kapsamında var olan diğer verilerin bu tez kapsamında kullanılması için İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı Raylı Sistem Daire Başkanlığı Anadolu Yakası Raylı Sistem Müdürlüğünün 03.03.2014 tarih ve 92307155.604.S.14/087 no'lu yazısıyla izin alınmıştır.

### **3.2.2. Arazi çalışmaları**

Arazi çalışmaları 2014 yılının ilk aylarında başlayıp yine aynı yılın Eylül ayına kadar aralıksız olarak devam etmiştir. Arazi çalışmaları, proje kapsamında yapılan sıyırma kazısı, zemin çivisi/kaya bulonu, mini kazık, kademe kazıları ve ankraj sistemlerinin saha uygulamalarının incelenmesi, proje detaylarının sahada uygulanması sırasında yaşanan güçlükler yerinde tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, jeoteknik raporlarda ön görülen zemin koşullarının gerçek koşulları yansıtıp yansıtmadığı, ortaya çıkan beklenmedik zemin koşullarında jeoteknik uygulamaların nasıl gerçekleştirildiği yerinde tespit edilmiştir. Ayrıca kaya kütle özellikleri ile ilgili raporda belirtilen özellikler kazı esnasında ortaya çıkan kaya kütle mostralarında yeniden yapılarak bazı veriler revize edilmiştir.

### **3.2.3. Büro çalışmaları**

Büro çalışmaları tezin en önemli kısımlarından biri olup, bu aşamada önceki çalışmalar proje kapsamında yapılan jeoteknik sondaj verileri kullanılarak, kaya malzemesinin ve kütle indeks, fiziksel ve jeomekanik özellikleri ortaya konulmuştur. Ayrıca kaya kütle sınıflamaları yapılarak kaya kalitesi hakkında değerlendirmelerde bulunulmuştur. Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği yöntem ve yaklaşımlarının uygulama içerisinde yer bulmaya başladığı erken dönemde ise farklı ülkelerde birbirinden farklı sınıflandırma sistemleri ve tünelticilik yöntemleri görülmeye başlanmıştır. Bunlardan ilki olan ve geniş uygulama alanı bulan ‘Terzaghi Kaya Kütle Sınıflaması’; Amerika Birleşik Devletlerinde geliştirilmiştir. ‘Kaya yükü’ kavramını ortaya koyan ve sadece çelik destek sistemine göre hazırlanan bu sistem; önemli kısıtları olmasına karşın uzun yıllar kullanılmış ve sonrasında geliştirilen diğer sınıflama sistemleri için çıkış noktası olmuştur [28]. Özellikle jeoteknik mühendisliği uygulamalarında karşılaşılan sorunların bu sınıflamalar içerisine dâhil edilmesi adına çok verimli sınıflama sistemleri geliştirilmiştir [29]. Uluslararası mühendislik projelerinde yaygın olarak kullanılan bu sistemler bu çalışma kapsamında da kullanılmış ve kaya kütle sınıflama sistemleri aşağıda verilmiştir.

1. Kaya Kütle Belirteci (Rock Quality Designation, RQD)
2. Jeomekanik Sınıflandırma (Rock Mass Rating, RMR)
3. Kaya Tüneli Kalite İndisi (Rock Tunnelling Quality Index, Q)
4. Jeolojik Dayanım İndisi (Geological Strength Index, GSI)

Yukarıda kısaca değinilen kaya kütle sınıflama sistemleri bulgular bölümünde daha detaylı bir Şekilde elde edilen sonuçlar ile birlikte verilmiştir. Büro çalışmalarının son aşamasında, Corel Draw 15.0, Autocad, ve diğer Microsoft Office programları kullanılarak, kesitler, haritalar, Şekiller oluşturulmuş ve rapor yazım işlemleri gerçekleştirilmiştir.

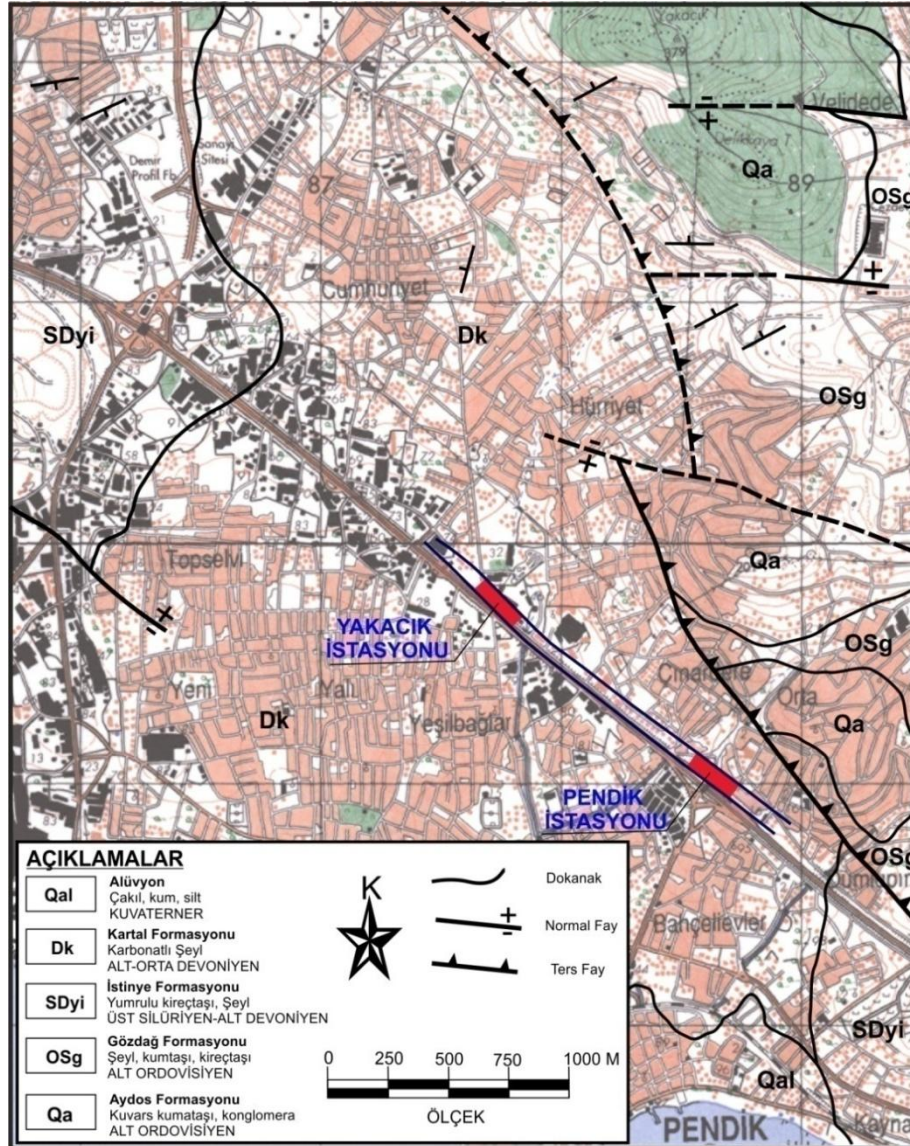


## 4. BÖLÜM

### BULGULAR

#### 4.1. Çalışma Alanının Genel Jeolojik Durumu

Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhında genel olarak Paleozoik yaşlı jeolojik birimler gözlenmekte olup, bu çalışmaya konu olan Yakacık-Pendik ve yakın civarının jeolojisi ise Aydos Formasyonu, Gözdağ Formasyonu, İstinye Formasyonu, Kartal Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluşmaktadır (Harita 4.1).



Harita 4.1. Çalışma alanının ve yakın civarının jeoloji haritası [30].



#### **4.1.1. Aydos formasyonu (Qa)**

Çalışma alanının doğusunda ve kuzeyinde gözlenen birimin ilk tanımı Kaya [31] tarafından yapılmış olup, İstanbul bölgesinde kuvarsarenit birimi olarak adlanan kuvars arenit ve kuvars konglomasından oluşan birim için Önalın tarafından Aydos Formasyonu ismi kullanılmıştır [32]. Aşınmaya karşı oldukça dayanımlı olan kuvarslı kumtaşlarından oluşan birim, İstanbul çevresindeki Çamlıca Kayış dağı Aydos dağı Alemdağ ve Göztepe gibi tepelik alanların çoğunu oluşturmaktadır. Çalışmaya konu olan Yakacık ve Pendik istasyonları civarında temel kaya konumunda birim üstte Gözdağ Formasyonu ile uyumludur. Çoğunlukla beyaz, açık gri ve yer yer kırmızı-pembe renkli kuvars arenitlerden oluşan birim az oranda silttaşı, şeyl, çört ve konglomera ara seviyelerinden oluşmaktadır. Ayrıca birim dalga izleri, kuruma çatlakları, değişik şekillerde çapraz tabakalanmalar, merceksel tabakalanma, laminasyon ve derecelenme şeklinde sedimenter yapılar göstermektedir [32]. Fosil içermeyen birimin hemen üstüne gelen Gözdağ Formasyonu'nun alt seviyelerinden Sayar; Orta Ordovisiyen yaşı veren fosiller derlemiştir [33]. Dean ve çalışma arkadaşları ise Aydos Formasyonu'nun yaşını; Erken Ordovisiyen olarak değerlendirmişlerdir [34].

#### **4.1.2. Gözdağ formasyonu (OSg)**

Çalışma alanının doğusunda ve kuzeydoğusunda kahvemsı gri renkli laminalı çamurtaşları, merceksi geometrili feldispatlı kuvars arenitler ile temsil edilen birim Önalın tarafından "Gözdağ Formasyonu" olarak adlanmıştır [32,35]. Gedik ve çalışma arkadaşları birimin genel olarak yeşilimsi gri, gri, altere olmuş kesimleri sarımsı kahverengi renkli, ince tabakalı ve laminalı silttaşı-şeyl ile koyu yeşil ve yeşilimsi gri renkli, ince-orta tabakalı kumtaşı araldanmasından oluştuğunu belirtmişlerdir [30]. Birimin üst seviyeleri mor, kahverengi ve gri renkli silttaşı-şeyl araldanması karakterindedir. Şeyllerde yer yer çok iyi laminalanma gözlenir. Birim altta Aydos, üstte Dolayoba ve İstinye Formasyonları ile geçişlidir. Birimin kalınlığı Gedik ve çalışma arkadaşları tarafından 200-500 m dolayında olduğu belirtilmiştir [30]. Fosil bakımından oldukça zengin olduğu belirtilen Gözdağ Formasyonunun yaşını Orta Ordovisiyen-Erken Silüriyen (Landoveriyen) olarak belirtilmiştir [30]. Önalın birimin lagün ortamında çökeldiği belirtmiş olmasına rağmen [32]. Sayar ise açık denizle bağlantısı olan sahile yakın ve derin bir ortamda oluşmuş olabileceğini belirtmiştir [36].

### 4.1.3. İstinye formasyonu (SDyi)

Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhının bazı kesimlerinin yer aldığı ve çalışma alanının doğusunda ve kuzey batısında gözlenen birim laminalı kireçtaşı, kalkerli şeyl ve az oranda kumtaşından oluşmaktadır (Resim 4.1). Kaya tarafından “İstinye Formasyonu” olarak adlandırılan birim altta ince laminalı kireçtaşı-şeyl ardalanmasından, orta kesimde ince-kalın tabakalı kireçtaşlarından, üstte ise iri yumrulu kireçtaşı-şeyl ardalanmasından oluşur [37]. Gedik ve çalışma arkadaşları, Altta Dolayoba ve üstte Kartal Formasyonları ile geçişli olan birimin kalınlığını 300 m olarak belirtilmiştir [30]. Birimin yaşı geç Ludloviyen-Pragiyen olarak benimsenmiş ve çökelme şelf ortamında oluşmuştur [38].



Resim 4.1. İstinye Formasyonun genel görünümü [26].

#### 4.1.4. Kartal formasyonu (Dk)

Çalışma alanında çok geniş mostralar veren ve tezin konusunu oluşturan Yakacık ve Pendik istasyonlarının içerisinde yer aldığı birim kireçtaşı ara katkılı grovak ve şeylerden oluşmaktadır. Önalın [38] tarafından Kartal Formasyonu olarak adlandırılan birim adını İstanbul'un Anadolu yakasındaki Kartal İlçesi'nden alır. Formasyon genelde yeşilimsi gri renkli, ince-orta tabakalı, kumtaşı (grovak)-şeyl ardalıanmasından oluşur. Yer yer killi kireçtaşı ara katmanları içerir. Kumtaşı yüzeyleri yoğun mikalıdır. Bazı kesimleri koyu gri-siyah renkli, killi kireçtaşı-karbonatlı şeyl ardalıanması; yer yer de yeşilimsigri-gri renkli, yongamsı-çubuğumsu ayrışmalı-kırılmalı karbonatlı şeyl karakterindedir. Birimin orta kesimi açık gri, gri, beyaz, bej ve sarımsı kahverenkli, ince-orta tabakalı ve laminalı, biyoklastik-türbiditik kireçtaşı ve kumlu kireçtaşı-şeyl ardalıanması şeklindedir (Resim 4.2).



Resim 4.2. Kartal Formasyonun genel görünümü [39].

Gedik ve çalışma arkadaşları, İstanbul için birim altta İstinye; üstte Büyükaada Formasyonları ile dereceli geçişlidir. Kalınlığı 750 m dolayında olan birimde önemli bir yanal değişim gözlenmemektedir demıştır [30]. Önalın, fosil bakımından oldukça

zengin olan birimin yaşını Alt-Orta Devoniyen olarak benimsenmiş olup, Kartal Formasyonu derince bir ramp (ramp tipi şelf) ortamında gelişmiştir demiştir [38].

#### **4.1.5. Alüvyon (Qal)**

İstanbul'un Anadolu yakasında genelde akarsu vadilerinde kötü boylanmalı kum çakıl ve kilden oluşan birim çalışma alanında genelde sahil düzlüğünde oldukça sınırlı bir alanda gözlenmektedir.

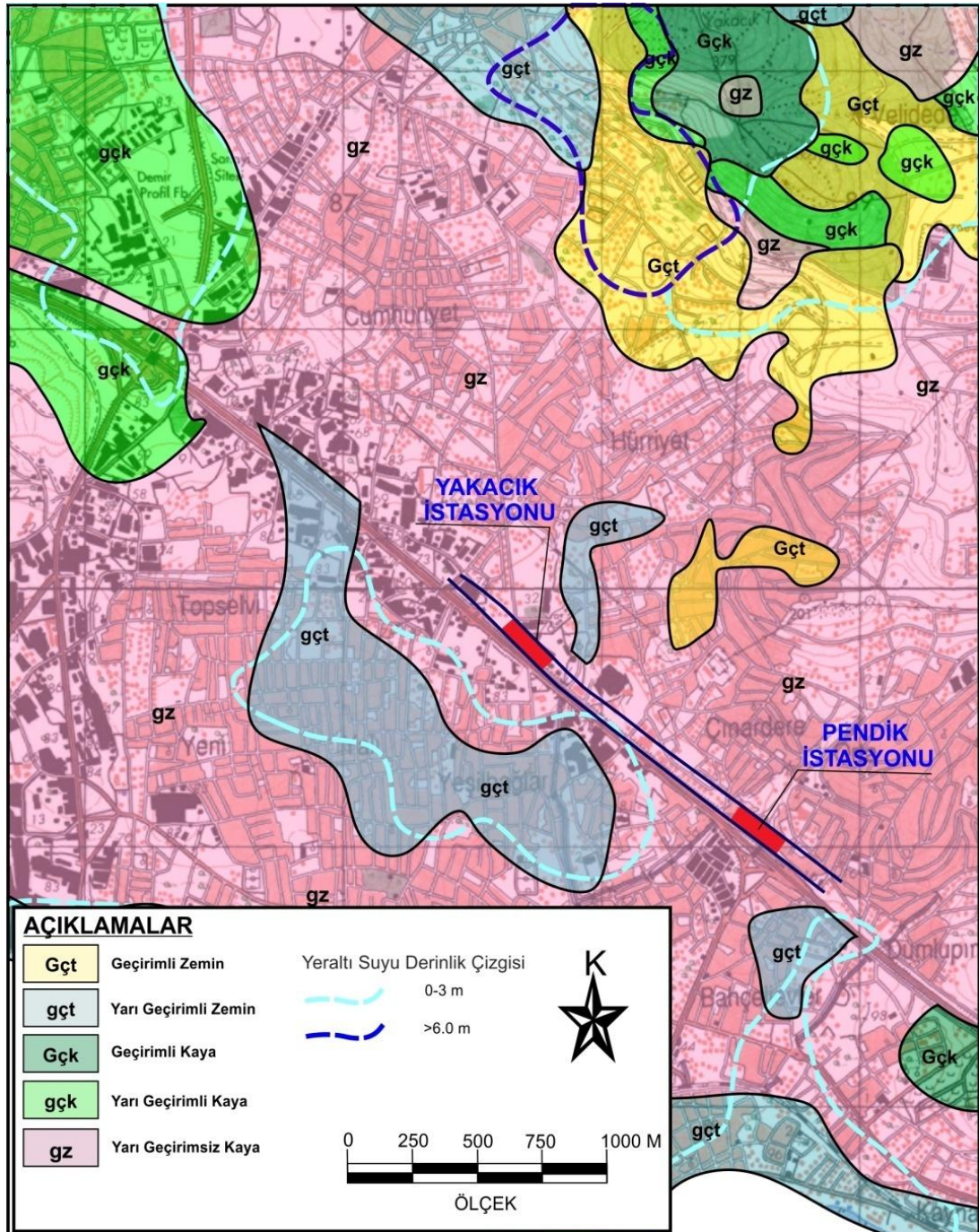
#### **4.2. Çalışma Alanının Hidrojeolojisi**

Çalışma alanı ile ilgili hidrojeolojik değerlendirmeler, proje alanında SİAL tarafından yapılan sondaj çalışmaları [26] ve OYO tarafından yapılan çalışmalar dikkate alınarak yapılmıştır. OYO tarafından yapılan çalışmada İstanbul'un Anadolu Yakası'na ait önceki çalışmaların incelenmesi ile mevcut gerekli olan jeolojik ve hidrojeolojik veriler kullanılarak hidrojeolojik harita ve kesitler hazırlanmış, bölgesel meteorolojik analizler yapılarak bölgede yapılan sondaj verileri değerlendirilmiş ve bölgenin yeraltı su düzeyi derinlik ve bölgenin geçirimsizliği proje amacına yönelik olarak irdelenip yorumlanmıştır [40]. Buna göre çalışma alanında yarı geçirimsiz, yarı geçirimli, geçirimli kaya, yarı geçirimli zemin ve geçirimli zemin olmak üzere 5 farklı ana hidrojeolojik ortam belirlenmiştir (Harita 4.2).

Yeraltı suyu depolama ortamları, bunlar yer yer “taneli” ve yer yer “kaya” niteliği göstermekte, ayrıca farklı yeraltı düzeylerinde yerel yeraltı suyu birikimleri özelliği gösteren “tünek akiferler” barındırmaktadır. Bölgedeki hidrojeolojik ortamlardan “Geçirimsiz (Gz) ve Yarı geçirimsiz (gz)” olanlar içinde yer alan ve düşük-çok düşük depolamalı potansiyeline sahip “tünek akiferler” belirlenmiştir [40]. Geçirimli Taneli Ortam ve Yarı Geçirimli Taneli Ortam içindeki su derinlikleri yıllık yağışlara paralel olarak değişken karakterde olurken, Geçirimli Kaya Ortam, Yarı Geçirimli Kaya Ortam ve Yarı Geçirimsiz Ortam içindeki su derinlikleri daha stabildir. Yarı geçirimli zeminlerin gözlendiği bölgelerde yeraltı su seviyeleri yer yer 3.00 metreye kadar çıkarken, geçirimli zemin ortamlarda ise yaklaşık 6.0 metre civarındadır. Tünel güzergahında tez konusu olan alanda 8 adet jeoteknik amaçlı araştırma sondaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyuların derinlikleri 25–63 m arasındadır. Kuyular yeraltı suyu gözlem



kuyusu olarak kullanılmak üzere PVC ile donatılmış ve kuyu başından muhafaza altına alınmış ve açılmalarını takip eden 10 gün içinde yeraltı suyu seviye ölçümü alınmıştır. Kuyuların Şubat 2009 ayında açılması, İstanbul ilinin bu dönemde bol yağış olması nedeniyle ölçülen yeraltı su seviyeleri yüzeye çok yakındır. Yeraltı su seviyesi ölçümlerine göre yeraltı suyu tablası yüzeyden 3.50 m ile 9.95 metre arasında değişmektedir (Tablo 4.1). Yüzeye yakın yeraltı su seviyelerinin diğer bir nedeni de OYO tarafından belirtilen tünek akiferlere ait olduğu düşünülmektedir [40].



Harita 4.2. Çalışma alanı ve yakın civarının hidrojeoloji haritası [40].

Tablo 4.1. Tünel güzergahı sondajlarında ölçülmüş yeraltı su seviyeleri.

Sondaj No	Yeraltı Suyu Seviyesi (m)	Yeraltı Suyu Seviyesi Kotu (m)
KPA-S9	3,50	34,41
KPA-S10	3,75	34,24
KPA-S11	4,10	34,35
KPA-S12	4,60	37,06
KPA-S13	4,70	40,81
KPA-S14	Kuyu tahrip olmuş	-
KPA-S15	9,95	38,94
KPA-S16	4,05	42,28

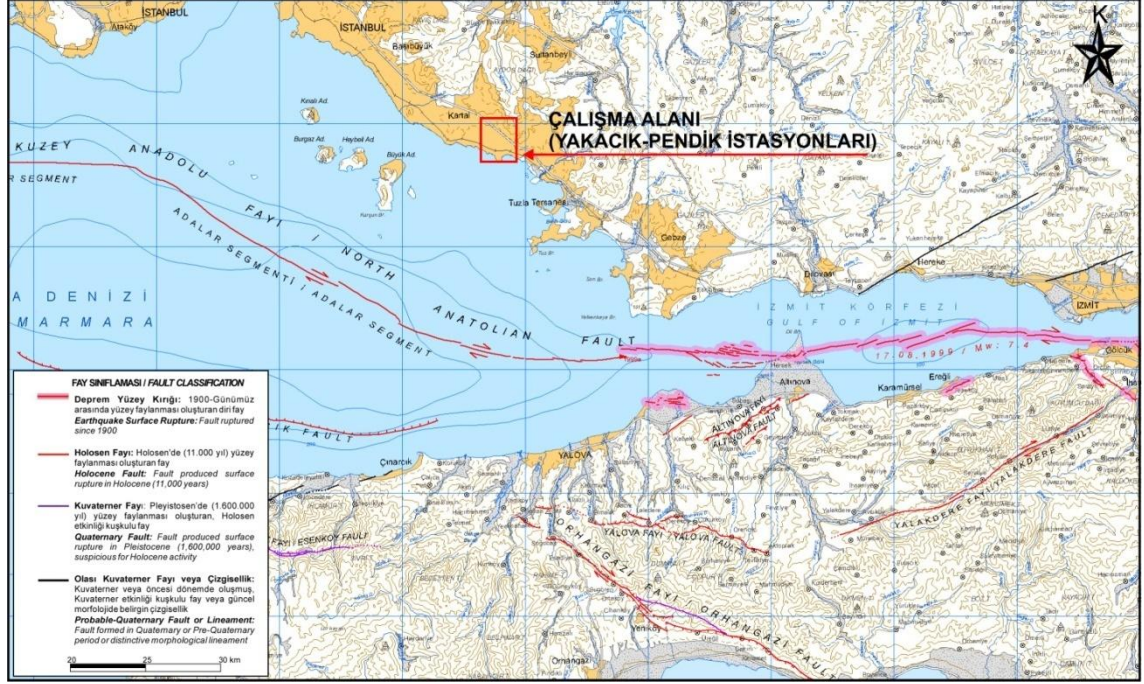
### 4.3. Çalışma Alanının Depremselliği

Çalışma alanı depremselliği Barka ile Emre ve çalışma arkadaşları tarafından hazırlanan 1/250 000 ölçekli diri fay haritası dikkate alınarak oluşturulmuştur [41,42]. Barka yapmış olduğu çalışmada, Kuzey Anadolu Fay zonunun kuzey kolu, Marmara Denizinin kuzey yarısında KD-GB doğrultulu, doğrultu atımlı faylar arasında normal faylarla açılan bir dizi basenlerden oluşan 30-40 km genişliğinde bir deformasyon zonu meydana getirdiği belirtmiş olup, çalışma alanı Kuzey Anadolu Fay kuşağı içerisinde yer almaktadır. Bu zon içerisinde yer alan fayların bazıları İstanbul'un güneyine kadar uzanmaktadır (Harita 4.3). Kuzey Anadolu fayından başka KB-GD doğrultulu Istranca Fayı, Istranca Dağları boyunca Karadeniz sahiline paralel olarak Terkos Gölü yakınlarına kadar takip edilmektedir. Bir ihtimalle bu fay, Terkos Gölü doğusunda çatallanmaktadır [41].

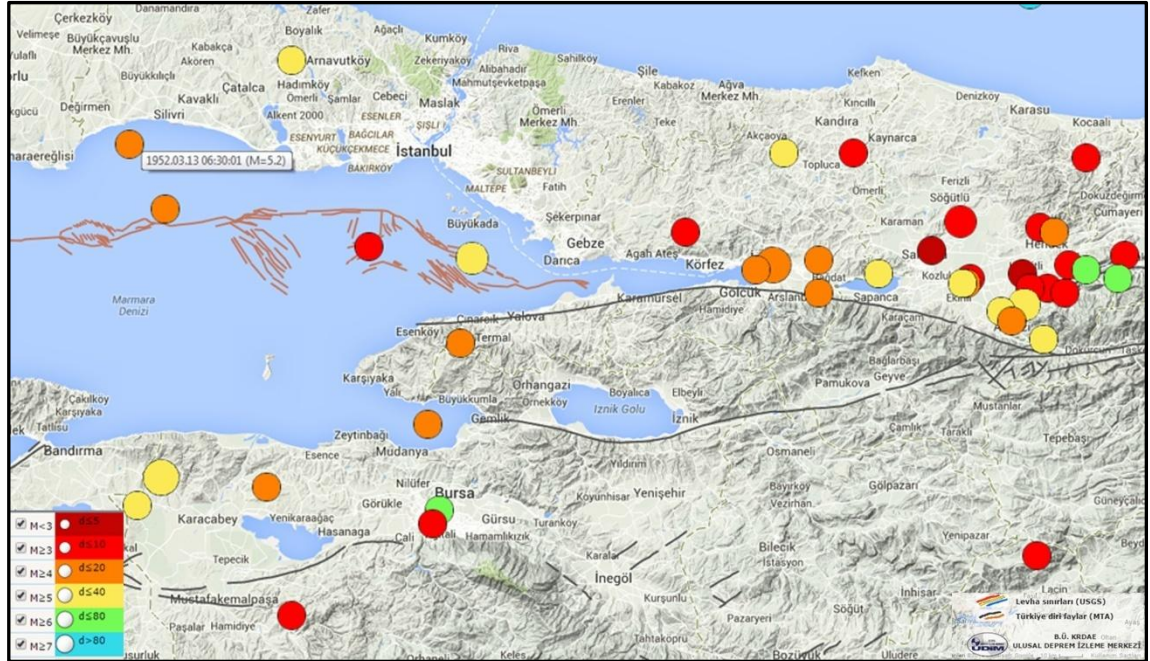
İstanbul, gerek coğrafi gerek tektonik konumu itibariyle hem tarihte, hem de yakın geçmişte büyük ve yıkıcı depremlerden önemli derecede etkilenmiş bir kenttir. Özellikle Türkiye'nin en büyük ve en aktif fayı olan Kuzey Anadolu Fayının güney bloğunun batıya doğru hareket doğrultusu üzerinde bulunuyor olması ve Kuzey Anadolu Fayının Marmara Denizi içerisinde devam eden kuzey kolunun İstanbul'un çok yakınından (10-12 km güneyinden) geçiyor olması bu etkilenmedeki en önemli iki etmendir. Çalışma alanı ve yakın civarında 1900-2014 yılları arasında  $M > 5.0$  depremlerin dağılımı, şekil 4.6.'de verilmiştir. Buna göre son 114 yıl içerisinde  $M > 5.0$  büyük depremlerin sayısı



45 olup, bunlardan en büyüğü 7.4 ile 1999 yılında meydana gelen Marmara Depremidir. Diğer önemli bir deprem olan 1964 yılında Okçular (Karacabey) Bursa'da meydana gelmiş olup, büyüklüğü 7.0 olarak belirtilmiştir (Şekil 4.1).



Harita 4.3. Çalışma alanı ve yakın civarın diri fay haritası [42].



Şekil 4.1. Çalışma alanı ve yakın civarında 1900-2014 yılları arasında M > 5.0 depremlerin dağılımı [43].

Bayındırlık Bakanlığınca yayınlanan Türkiye Deprem Bölgeleri haritasında çalışma alanı İstanbul I. Dereceden deprem bölgesinde olarak yer almaktadır. Buna göre gerçekleştirilecek olan mühendislik yapılarında deprem ivme katsayısı 0.4 g olarak alınmıştır.

#### **4.4. Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi**

Kartal Formasyonuna ait karbonatlı şeyller ve Gözdağ Formasyonuna ait kumtaşlarından oluşan litolojiler çalışma alanının mühendislik jeolojisi açısından önemli kaya birimleri olarak gözlenmektedir (Harita 4.4). Bu tezin konusunu oluşturan Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhının 23+400 ile 24+600 km arasında kalan Yakacık ve Pendik istasyonları ağırlıklı olarak Kartal Formasyonuna ait karbonatlı şeyller içerisinde yer almaktadır (Harita 4.4). Kumtaşları ise çalışma alanının doğusunda oldukça sınırlı bir alanda gözlenmektedir. Bu bölümde bölgede SİAL ve SAFİR tarafından yapılan sondaj çalışmaları ve arazi gözlemleri ışığında birimlerin mühendislik jeolojisi özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır [26,27].

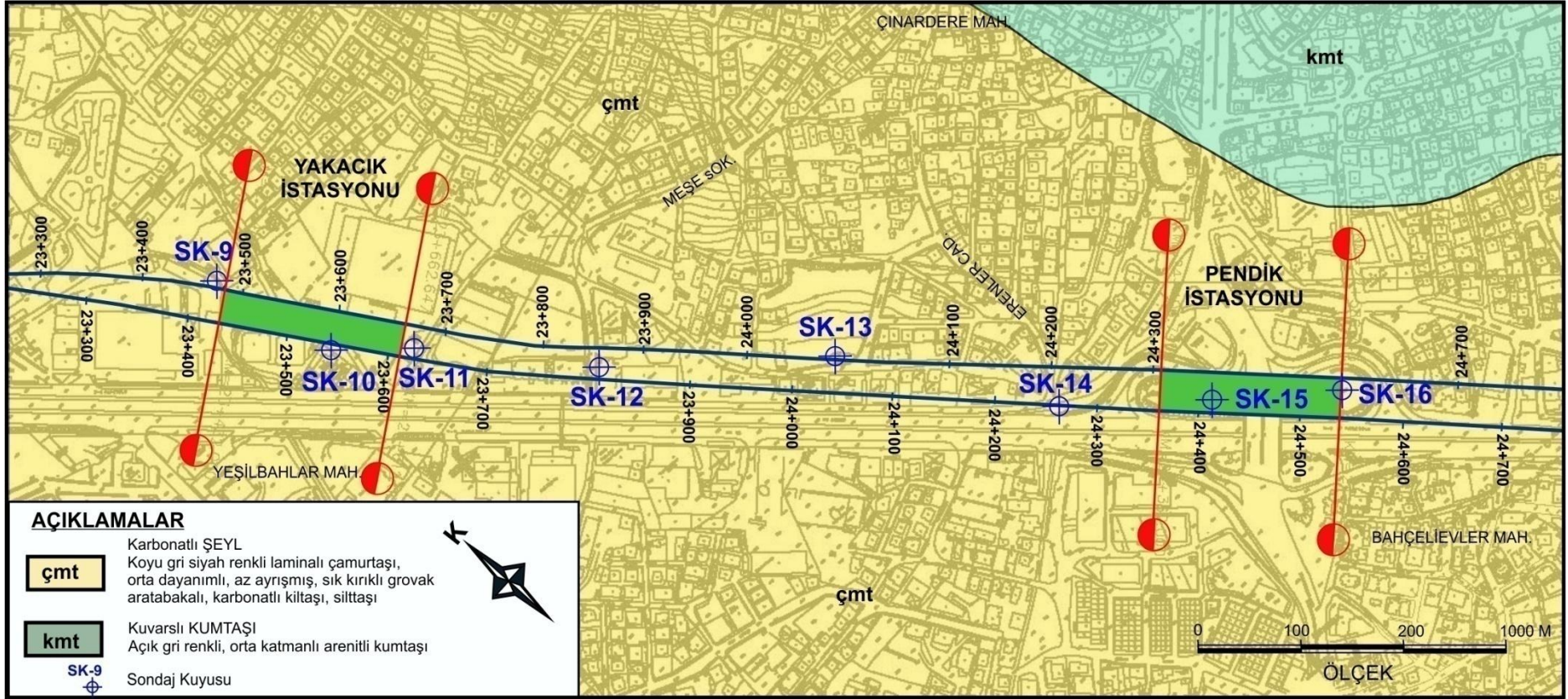
##### **4.4.1. Karbonatlı şeyl**

Çalışmanın konusunu oluşturan Yakacık ve Pendik İstasyonlarının temel birimi konumunda olan karbonatlı şeyl olarak tanımlanan kaya birim genel olarak, siyahımsı mavi renkli, genelde orta dayanımlı yer yer az dayanımlı çok sık kırıklı, grovak ara tabakalı kiltası, siltaşı ve karbonatlı mikalı şeyllerden oluşmaktadır. Belirli kesimlerinde, özellikle üst düzeylerinde kireçtaşı ara katkılıdır (Resim 4.3).





Resim 4.3. Karbonatlı şeyl seviyelerinden elde edilen karotların genel görünümü [27].



Harita 4.4. Kartal-Pendik İstasyonları ve yakın civarının mühendislik jeolojisi haritası [26].

#### 4.4.1.1. Fiziksel ve indeks özellikler

SİAL tarafından yapılan laboratuvar çalışmalarına göre elde edilen fiziksel ve indeks özellikler, Tablo 4.2’de verilmiştir. Buna göre ağırlıklı olarak grovak ara tabakalı olan karbonatlı şeylerin birim hacim ağırlıkları 2.84 ile 2.28 kN/m<sup>3</sup> arasında değişmekte olup, NGB’ye göre düşük-orta yoğunluklu kaya olarak tanımlanmıştır. Ortalama görünür porozite değeri yaklaşık % 0.1 olup, çok düşük poroziteli kaya sınıfında yer almaktadır [26].

Tablo 4.2. Karbonatlı şeylerin fiziksel ve indeks özellikleri

Özellik	Maksimum	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	2.84	2.28	2.60	0.20
Porozite (%)	0.16	0.01	0.09	0.05
Ağırlıkça Su Emme (%)	0.16	0.01	0.09	0.05
Hacimce Su Emme (%)	0.06	0.01	0.04	0.02

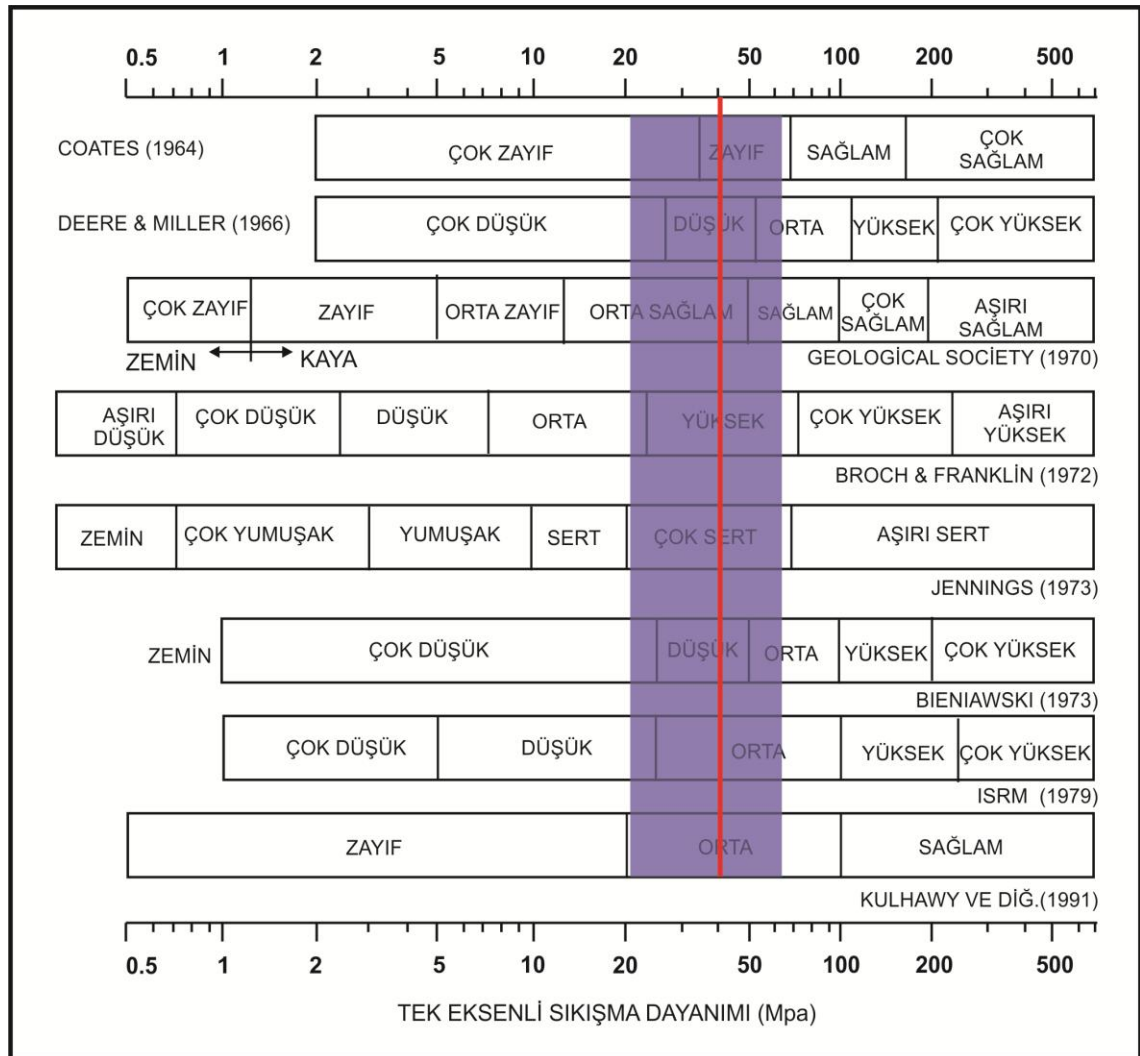
#### 4.4.1.2. Jeomekanik özellikler

SİAL tarafından yapılan laboratuvar çalışmalarına göre birimin elde edilen mekanik özellikler Tablo 4.3’de verilmiştir [26].

Tablo 4.3. Karbonatlı şeylerin jeomekanik özellikleri

Özellik	Maksimum	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	64.25	20.12	41.43	14.41
Çekme Dayanımı (MPa)	12.21	2.14	5.36	2.92
İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ )	62.69	39.96	56.52	7.22
Kohezyon (MPa)	8.71	2.15	4.63	2.01
Elastisite Modülü (GPa)	16.34	1.68	5.84	4.28
Poison Oranı	0.60	0.13	0.33	0.14

Buna göre kayacın tek eksenli basınç dayanımı ortalama 41.43 MPa olup, farklı sınıflama sistemlerine göre kayacın dayanım sınıfı aşağıda şekil 4.2’de verilmiştir. Bunlardan yaygın olan Deere ve Miller’e göre [44]. Çok düşük-orta dayanımlı kaya olarak tanımlanmıştır. Ortalama çekme dayanımı 5.36 MPa olarak hesaplanırken, ortalama elastisite modülü 5.84 GPa olarak belirlenmiştir. Kayacın kayma dayanımı parametreleri Mohr Coulomb yenilme kriterine göre belirlenmiş olup, buna göre içsel sürtünme açısı 39 ile 62 derece arasında değişmekte olup, ortalama kohezyon değeri ise 4.63 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Karbonatlı şeyllerin farklı dayanım sınıflandırmalarındaki konumu

Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhının 23+330 ile 25+015 km arasında kalan yaklaşık 1680 m'lik kesiminde gözlenen kaya birimin mekanik özellikleri oldukça geniş aralıklarda değişim göstermektedir. Kaya birimin sık sık diyabaz ve fay hatlarıyla kesilmiş olması yerel zayıflık bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Bu kesimlerde yapılacak olan jeoteknik uygulamalarda daha dikkatli davranılması gerekmektedir.

#### **4.4.1.3. Kaya kütle özellikleri**

Kayaçların mühendislik davranışları süreksizlik arasında kalan kaya malzemesi ile birlikte özellikle kaya kütle özellikleri tarafından kontrol edilmektedir. Bundan dolayı kaya kütle özelliklerinin belirlenmesi mühendislik jeolojisinin en önemli konularından biridir. Kaya kütle sınıflandırma yöntemleri oluşturulmadan önce kaya kütle özellikleri en önemli problemlerden birini oluşturmaktaydı. Kaya kütle sınıflandırma teknikleri ise bu sıkıntıların aşılması ve kaya kütle özelliklerinin sayısal ifadesinin sağlanabilmesi amacıyla ilk kez 1879 yılında oluşturulmaya başlanmıştır [45]. Gözlemsel verilerin ve mevcut deneyimlerin rakamlar ile ifade edilmeye çalışıldığı bu ilk sınıflama; yeraltı maden işletmelerinde kullanılacak destek sistemlerinin önceden tahmin edilmesi ve planlanmasına duyulan gereksinimden yola çıkılarak oluşturulmuş ve takip eden yüzyıl içerisinde yine özellikle madencilik uygulamalarında destek sistemlerinin belirlenmesi amacıyla yönelik olarak gelişmeye uğramıştır [46].

Mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği yöntem ve yaklaşımlarının uygulama içerisinde yer bulmaya başladığı erken dönemde ise farklı ülkelerde birbirinden farklı sınıflandırma sistemleri ve tünelcilik yöntemleri görülmeye başlanmıştır. Bunlardan ilki olan ve geniş uygulama alanı bulan 'Terzaghi Kaya Kütle Sınıflaması'; Amerika Birleşik Devletlerinde geliştirilmiştir. 'Kaya yükü' kavramını ortaya koyan ve sadece çelik destek sistemine göre hazırlanan Terzaghi, bu sistem; önemli kısıtları olmasına karşın uzun yıllar kullanılmış ve sonrasında geliştirilen diğer sınıflama sistemleri için çıkış noktası olmuştur [28]. Özellikle jeoteknik mühendisliği uygulamalarında karşılaşılan sorunların bu sınıflamalar içerisinde dâhil edilmesi adına çok verili sınıflama sistemleri geliştirilmiştir Özgür; bunlardan uluslararası mühendislik projelerinde yaygın olarak kullanılan ve bu çalışma kapsamında kullanılan kaya kütle sınıflama sistemleri aşağıda verilmiştir [47].



1. Kaya Kütle Belirteci (Rock Quality Designation, RQD)
2. Jeomekanik Sınıflandırma (Rock Mass Rating, RMR)
3. Kaya Tüneli Kalite İndisi (Rock Tunnelling Quality Index, Q)
4. Jeolojik Dayanım İndisi (Geological Strength Index, GSI)

Sonraki alt bölümlerde bu sistemlerin genel tanımları kısaca sunulurak çalışmanın konusunu oluşturan Yakacık ve Pendik istasyonlarının temel kayası durumunda olan grovak ara tabakalı karbonatlı Şeylerden oluşan kaya birimin kaya kütle sistemlerine göre tanımlamaları ve bu çalışmanın amacı doğrultusunda yapılan değerlendirmeler sunulmaya çalışılmıştır. Bu bölümde yapılan değerlendirmeler SIAL ve SAFİR tarafından yapılan jeoteknik sondaj logları kullanılarak yapılmıştır [26,27] (Şekil 4.3).

#### **4.4.1.3.1. Kaya kalite tanımı (Rock quality designation, RQD)**

RQD ilk kez, Deere tarafından önerilmiş ve geliştirilmiştir [47-49]. Kaya kütle kalitesinin sadece süreksizlik yoğunluğuna göre ifade edilmesini amaçlamıştır. Süreksizliklerin dayanımı, geometrik ve mekanik özellikleri dikkate alınmamış olmasına rağmen kaya kütlesinin süreksizlik yoğunluğunun bir ölçütü olarak mühendislik uygulamalarda geniş kabul görmüş, RMR ve Q gibi önemli kaya kütle sınıflamalarında etkili bir gösterge olarak yerini almıştır [46].

Yıllar boyunca süregelen tartışmalar doğrultusunda RQD değerinin kaya kütle özelliklerinin tanımlamasında yeterli olamayacağı ve hatta çeşitli nedenler ile ortaya çıkış amacını dahi karşılayamayacağı önerilmiştir. Bu konudaki güncel yayınlardan biri olan ve Grenon ve Hadjigeorgiou tarafından yapılan çalışma, örnekleme yöneliminin RQD değerini üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Buna göre; aynı kaya kütlesi içinde yapılan farklı örnekleme yönelimleri kaya kütlesi içindeki mevcut süreksizlik yönelimine göre farklı sonuçlar vermektedir [50].

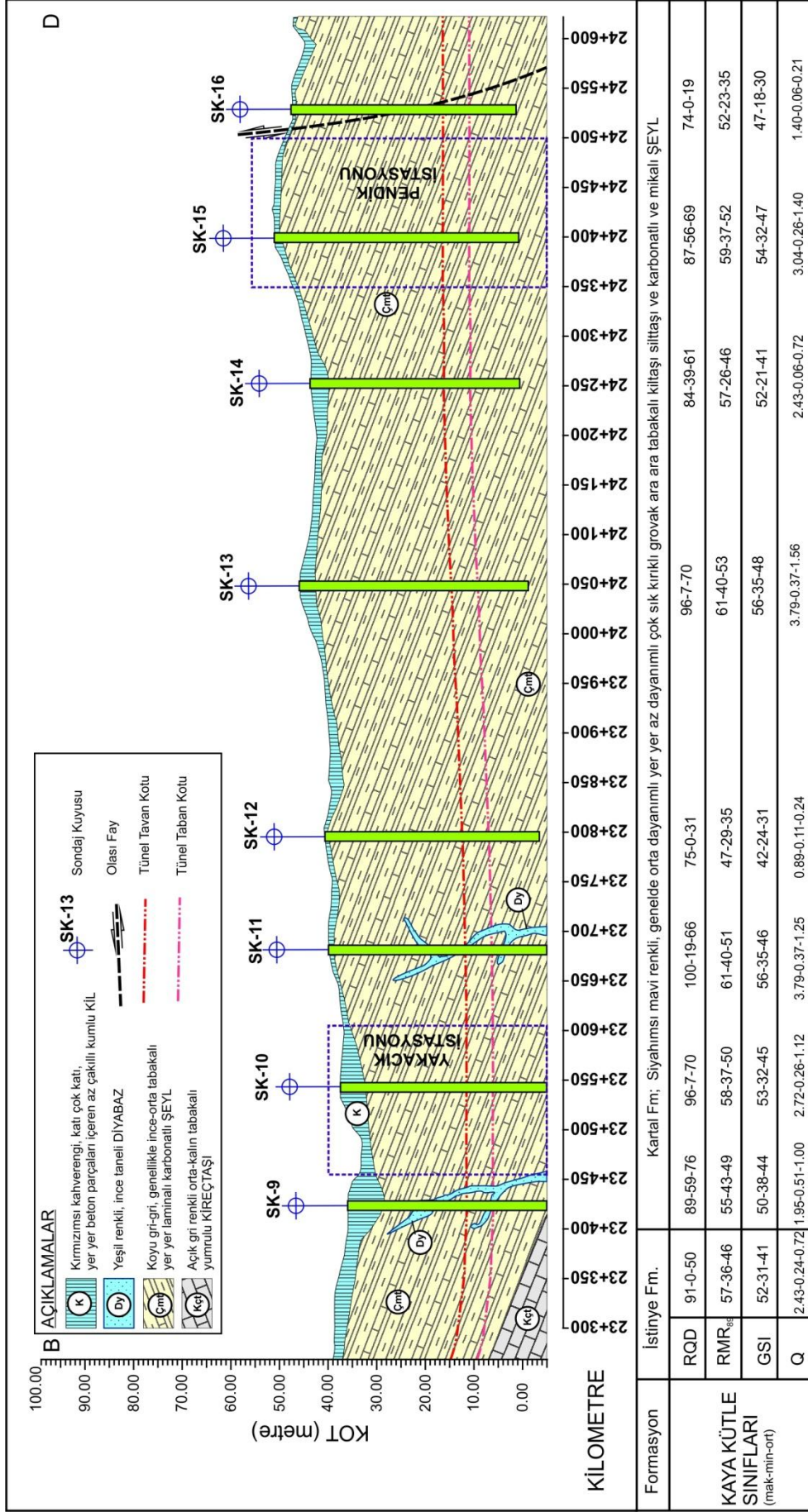
Şekil 4.3'de çalışma alanının jeolojik enine kesiti verilmiştir, bu kesitte yumrulu kireçtaşı ve ağırlıklı olarak grovak ara tabakalı karbonatlı Şeylerden oluşan kaya birimleri dikkati çekmektedir. Yumrulu kireçtaşlarının ortalama RQD değerleri % 50

olup, zaman zaman % 90 değerine ulaşabilmektedir. Çalışmanın konusunu oluşturan Yakacık ve Pendik İstasyonları bu birim içerisinde yer almadığı için bu kaya birimi detaylı bir şekilde ele alınmamıştır. Bununla birlikte temel kayası konumunda olan Kartal Formasyonuna ait kaya birimlerinin RQD değerleri oldukça geniş bir aralıktadır değişmektedir. Yakacık Metro İstasyonu civarında ortalama RQD değerleri % 66 ile 76 arasında değişmekte olup, kaya kalitesi açısından Deere'e göre "Orta Kaya" sınıfında yer almaktadır. Pendik istasyonu civarında yapılan sondajlardan elde edilen karotlara göre ortalama RQD değerleri % 19 ile 69 arasında değişmekte ve "ok Zayıf-Orta Kaya" sınıfında yer almaktadır [51].



Resim 4.4. Çalışma alanında jeoteknik sondaj karotları genel görünümü (a; yumrulu kireçtaşı, b; Yakacık İstasyonu bölgesinde gözlenen grovaklar, c-d Pendik İstasyonu grovak ara tabakalı karbonatlı şeyller)





Şekil 4.3. Yakacık-Pendik İstasyonları jeolojik enine kesit [26]

Pendik istasyonu civarında gözlenen Kartal Formasyonuna ait grovak ve karbonatlı şeyllerden oluşan kaya birimleri Yakacık İstasyonuna göre daha düşük kaya kalitesi özellikleri göstermektedir. Sondaj loglarında fay hattına bağlı olarak gelişen zayıf zonun bu durumun oluşmasına etki ettiği düşünülmektedir.

#### **4.4.1.3.2. Kaya kütle değerlendirmesi (RMR: Rock mass rating)**

Sınıflama sistemi ilk kez Bieniawski öncülüğünde, maden kazılarında kaya kütle kalitesinin belirlenmesi amacıyla South African Council for Scientific and Industrial Research (CSIR) tarafından ortaya konulmuştur. Bieniawski tarafından ayrıntıları yayınlanan ve Kaya Kütle Oranlarının (Rock Mass Rating, RMR) Jeomekanik Sınıflandırması olarak adlandırılan sistem; aşağıda sıralanan 6 farklı parametreye sayısal değerler atayarak, kaya kütle kalitesini ifade eden tek bir nümerik değere ulaşılır [52].Jeomekanik sınıflandırmada göz önünde bulundurululan başlıca parametreler;

1. Kaya tek eksenli basınç dayanımı
2. Kaya kalite belirteci (RQD)
3. Süreksizlik aralığı
4. Süreksizlik durumu
5. Su durumu
6. Süreksizlik yönelimidir.

Jeoteknik mühendisliğinde elde edilen gelişmelere ve deneyimlere bağlı olarak sistem bazı değişikliklere uğramıştır. Bunlar 1974, 1976, 1979 ve son olarak 1989 yıllarında yöntemin geliştiricisi olan Bieniawski tarafından yapılmıştır. Yapılan değişimler her defasında farklı bir mühendislik jeolojisi göstergesinin sınıflandırmaya dahil edilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bunun en önemli aşaması ise Hoek tarafından [53] ortaya konulan ve Jeolojik Dayanım İndisi olarak tanımlanan yaklaşımdır [46].

Bu yöntem çalışma alanında yapılan jeoteknik araştırmalar sonucu elde edilen veriler kullanılarak çalışmaya konu olan kaya kütle kalitelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Çalışmanın konusunu oluşturan Yakacık ve Pendik İstasyonları, Kartal Formasyonuna ait grovak ara tabakalı karbonatlı şeyller içerisinde yer almaktadır (Şekil 4.3). Jeoteknik özelliklerini ortaya koymak için açılan sondajlı araştırma verileri ve bu sondajdan elde edilen örnekler üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyleri ile birimin ayrıntılı olarak tanımlanması mümkün olmuştur. Buna göre, SK-10 kuyusunun bulunduğu ve Yakacık İstasyonunun yer aldığı bölge için ortalama RQD 70 (orta kaliteli) kabul edilebilir ve ortalama tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değeri 41.43 MPa (orta dayanımlı) olarak bulunan birim için RMR sınıflandırma sistemine göre belirlenen kaya kalite değeri RMR=50 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.4) [26]. Buna göre hâkim üç süreksizlik takımı içerir. Süreksizlikler sık, devamlı ve kil dolguludur. Yeraltı suyu içermez. SK-10'nun bulunduğu lokasyon için elde edilen RMR değerine göre kaya kütlesi sınıfı III olup, “Orta Kaya” olarak tanımlanmıştır. Buna göre kaya kütlesinin kohezyonu 200 ile 300 kPa arasında değişmekte olup, içsel sürtünme açısı 25-35 derece arasındadır.

Yakacık-Pendik İstasyonları arasında yer alan kaya birimlerin kaya kütlesi sınıfları Şekil 4.3’de verilen kesit üzerinde gösterilmiştir. Buna göre RMR değerleri 53 ile 35 arasında değişmektedir. Pendik İstasyonu’nun bulunduğu bölge kaya sınıfı “Zayıf Kaya” olurken, Yakacık İstasyonu’nun bulunduğu bölgede ise “Orta Kaya” olarak tanımlanmıştır.

#### 4.4.1.3.3. Q-sistemi (Q-sınıflandırması)

Kaya tünelleri ve yeraltı odalarında (cavern) kullanılacak destekleme sistemlerinin belirlenmesi amacıyla Norway Geotechnical Institute (NGI) bünyesinde N.Barton, ve çalışma arkadaşları tarafından yayınlanan kaya kütle sınıflama sistemidir [54]. Kaya tünel mühendisliğinde önemli bir gelişim aşaması olarak kabul edilen sistem, yaygın biçimde kullanılmıştır ve kullanılmaya devam etmektedir. Logaritmik ölçekte belirlenen Q sayısal değeri 0.001 ile 1000 arasında değişmektedir [46]. Q değeri formül 1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

Tablo 4. 4. SK-10 için grovak ara tabakalı karbonatlı şeyller için RMR kaya kütle değerinin belirlenmesi

A SINIFLANDIRMA PARAMETRELERİ VE DERECELERİ									
Parametre			Değer Aralıkları						
1	Sağlam Kayanın Dayanımı	Nokta Yük Dayanımı İndeksi	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Düşük olan bu aralık için tek eksenli sıkışma dayanımını kullan		
		Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
Derecelendirme			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Derecelendirme		20	17	13	8	3		
3	Eklem Aralığı		> 2 m	0.6 - 2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
	Derecelendirme		20	15	10	8	5		
4	Eklemlerin Durumu (E'ye bakınız)		-Çok pürüzlü -Sürekli değil -Ayrım yok -Ayrışmamış	-Az pürüzlü -Açıklık < 1mm -Az ayrılmış	-Az ayrılmış -Açıklık < 1mm -Çok ayrılmış	-Kertikli veya -Dolgu kalınlığı < 5mm veya -Açıklık 1-5 mm veya -Sürekli	-Dolgu > 5mm veya -Açıklık > 5mm -Sürekli		
	Derecelendirme		30	25	20	10	0		
5	Yeraltı Suyu	10 m'lik tünel uzunluğuna gelen su (lt/m)	Yok	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(Eklem suyu basıncı) / (Max asal gerilme $\sigma$ )	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	Genel koşullar		Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlamalı	Akıntı		
	Derecelendirme		15	10	7	4	0		
B SÜREKSİZLİK YÖNELİMİ İÇİN DERECELENDİRME DÜZELTMESİ (F'e bakınız)									
Doğrultu ve eğim			Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil		
Derecelendirme	Tünel ve Madenler		0	-2	-5	-10	-12		
	Temeller		0	-2	-7	-15	-25		
	Şevler		0	-5	-25	-50			
C TOPLAM DERECELENDİRME DEN TANIMLANAN KAYA KLASLARI									
Derecelendirme			100←-81	80←-61	60←-41	40←-21	< 21		
Klas Numarası			I	II	III	IV	V		
Tanımlama			Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya		
D KAYA KLASLARININ ANLAMI									
Klas Numarası			I	II	III	IV	V		
Ortalama açıklık zamanı			15 m açıklık için 20 yıl	10 m açıklık için 1 yıl	5 m açıklık için 1 hafta	2.5 m için 10 saat	1 m açıklık için 30 dakika		
Kaya kütleli kohezyonu (kPa)			> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100		
Kaya kütleli sürtünme açısı (derece)			> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15		
E SÜREKSİZLİK KOŞULLARININ SINIFLANDIRILMASI İÇİN TANIMLAMALAR									
Devamlılık			< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
Derecelendirme			6	4	2	1	0		
Açıklık			Yok	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
Derecelendirme			6	5	4	1	0		
Pürüzlülük			Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az pürüzlü	Düz	Kertikli		
Derecelendirme			6	5	3	1	0		
Dolgu			Yok	Sert dolgu > 5mm	Sert dolgu > 5mm	Yumuşak < 5mm	Yumuşak > 5mm		
Derecelendirme			6	4	2	2	0		
Ayrışma			Ayrışmamış	Az ayrılmış	Orta ayrılmış	Çok ayrılmış	Bozulmuş		
Derecelendirme			6	5	3	1	0		
F TÜNELLERDE SÜREKSİZLİK DOĞRULTU VE EĞİMİNİN ETKİSİ									
Tünel eksenine dik doğrultu				Tünel eksenine paralel doğrultu			Doğrultuya bakılmaksızın eğim 0°-20°		
Eğimle ilerleme		Eğime karşı ilerleme							
Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°				
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç uygun değil	Orta	Orta			

Burada;

RQD : Kaya Kalitesi Sınıflandırması

Jn: Süreksizlik takım sayısı

Jr: Eklem Pürüzlülük Sayısı

Ja: Eklem ayrışma durumu

Jw: Eklem durumu indirgeme etmeni

SRF: Gerilim azaltma etmeni

Q değerinin hesaplanmasında kullanılan denklik bileşenleri aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

RQD/Jn, Blok Boyutu; Birimsiz bu oranın kaya kütlesi içindeki blok boyutunu vermesi amaçlanmıştır. Daha önceki bölümlerde RQD değerimin kaya kütlesi süreksizlik durumunu tam olarak yansıtamayacağına dair verilen bilgiler doğrultusunda denklikteki bu bileşenin güvenilirliği, tartışma konusudur [50].

Jr/Ja, Bloklar arası kayma dayanımı; süreksizliklerin ve içindeki dolgu malzemesinin pürüzlülük ve sürtünme özelliklerinin ifadesidir. Bu bileşen ağırlıklı olarak ayrışmamış ve pürüzlü süreksizlik yüzeylerini tanımlamaktadır [55]. Sınıflandırma süreksizlik açıklığının dolgulu veya kil dolgulu olma durumunu dikkate almakla birlikte suyun kil içerikli dolgu malzemesi üzerindeki etkisini doğrudan değerlendirmemektedir. Bu durum ise Su-Süreksizlik-Kil üçlüsünün su bileşeni etkisinin genel kaya kütle kalitesine tam olarak yansıtılmaması sonucunu doğurmaktadır.

Jw/SRF, Etkili gerilmeler (Active Stresses): Gözlemsel verilere göre iki grup gerilme değiştirgesinin birbirine oranıdır. Barton tarafından yayınlanan makalede Jw değiştirgesinin yüksek su basıncı, yüksek hidrolik geçirimsizlik ve olası yüksek su boşalıklarının tünel duraylılığına olumsuz etkilerini değerlendirmeye alma amacıyla tasarlandığını belirtmiştir [56]. O halde yukarıda da belirtildiği gibi suyun killi süreksizlik dolgularında neden olduğu sürtünme kayıplarını Olson, kapsayabilecek bir



gösterge olmayıp “Su-Süreksizlik-Kil” üçlüsünün su ve kil bileşenlerinin bileşkesinin kaya kütle değeri üzerindeki etkisini gözden kaçırmaktadır. SRF ise gerilme indirgeme sayısıdır ve tayini kolay ve pratik olmayan bir göstergedir [57]. Gözlemsel verilere göre belirlenen sayının değer aralıkları, Grimstad ve Barton tarafından güncellenmiştir [58].

Çalışma alanı için tüm sondajların ayrı ayrı hesaplanan Q değerleri, şekil 4.3’de verilen jeolojik kesit üzerinde gösterilmiştir. Önceki bölümde RMR değeri SK-10 için hesaplanması gösterilmiştir, bu bölümde aynı jeoteknik girdi parametreleri kullanılarak Q değeri SK-10 için hesaplanmıştır. Bu hesaplama için jeoteknik parametreler, Tablo 4. 5’de gösterilmiştir. Burada SK-10 için hesaplanan Q değeri 1.15 olarak bulunmuştur. Çalışma alanının geneline bakılacak olursa, diğer kaya kütle sınıflandırmalarında olduğu gibi Pendik istasyonu civarında hesaplanan Q değerleri daha düşüktür. Ortalama Q değerleri 1.40 ile 0.21 arasında değişmektedir. Özellikle SK-16 kuyusunda kesilen fay zonu, değerlerin oldukça düşmesine neden olmaktadır. Bu zayıf zon bölgede yapılacak olan istasyon ve tünel kazılarını etkileyecek en önemli jeolojik unsur olarak öne çıkmaktadır.

#### **4.4.1.3.4. GSI-sistemi**

Geological Strength Index (GSI) olarak tanımlanan sistem ilk kez Hoek tarafından ortaya konulmuştur [53]. Kaya kütlelerinin tanımlanmasında ve jeoteknik değerlendirmelerinin belirlenmesinde; jeolojik koşulların birincil önemi olduğunu vurgulayan sistem gerçekçi sonuçlara ulaşılması açısından önemli bir aşama olarak kabul edilebilir. GSI sistemi esasında kaya kütleleri için önerilen Hoek-Brown Dayanım Kriteri denkliğinde kullanılacak göstergelerin belirlenmesi amacıyla üretilmiştir [45]. Bu anlamda bir kaya kütle sınıflandırma sistemi olarak ortaya çıkmamıştır. Diğer taraftan kaya kütlesi ve süreksizlik durumu dikkate alınarak yapılan değerlendirme dolaylı olarak kaya kütle kalitesini yansıtmaktadır. Üstelik Hoek-Brown Dayanım Kriteri denkliklerine veri sağlayan sistem ile kaya kütlesi dayanım göstergeleri ( $E$ ,  $\phi^\circ$  ve  $c$ ) parametreleri ile belirlenebilmektedir.

Tablo 4.5. Kartal formasyonu içerisinde SK-10 için elde edilen Q değerinin belirlenmesi

1	KAYA KALİTESİ TANIMLAMASI- RQD		Bu Çalışmada
		RQD	
A	Çok zayıf	0 - 25	i-) RQD ≤ 10 (0 dahil) ise, Q'nun hesaplanmasında 10 gibi nominal bir değer kullanılır. ii-) RQD için 100, 95, 90 vb gibi 5'in katları olan aralıklar yeterlidir.
B	Zayıf	25 - 50	
C	Orta	50 -75	
D	İyi	75 - 90	
E	Çok iyi	90 - 100	
			<b>70</b>

2	EKLEM TAKIMI SAYISI- Jn		
		Jn	
A	Masif, eklem çok az	0.5 - 1.0	i-) Ara kesitleri için (3.0xJn) kullanılır ii-) Portaller için (2.0xJn) kullanılır
B	Bir eklem takımı	2	
C	Bir eklem takımı ve	3	
D	İki eklem takımı	4	
E	İki eklem takımı ve	6	
F	Üç eklem takımı	9	
G	Üç eklem takımı ve	12	
H	Dört veya daha fazla	15	
J	Parçalanmış kaya,	20	

3	EKLEM PÜRÜZLÜLÜK KATSAYISI		
	<i>a. Süreksizlik dokanağı ve</i>	Jr	i-)Tanımlamalar sırasıyla küçük ölçek ve orta ölçek içindir. ii-) İlgili eklem takımının ortalama aralığı 3 m'den daha büyük ise 1.0 eklenir iii-) Minimum dirence göre yönelmesi koşuluyla, lineasyonlara sahip düzlemsel kertikli eklem için Jr = 0.5 kullanılır
	<i>b. 10 cm'lik kayma öncesi süreksizlik</i>		
A	Süreksiz eklem	4	
B	Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı	3	
C	Düz, dalgalı	2	
D	Kertikli, dalgalı	1.5	
E	Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	1.5	
F	Düz, düzlemsel	1.0	
G	Kertikli, düzlemsel	0.5	
	<i>c. Kayma esnasında süreksizlik dokanağı yok</i>		
H	Süreksizlik duvarlarının birbirine temasını		1.0
J	Süreksizlik duvarlarının birbirine temasını		1.0
			<b>1.5</b>

Tablo 4.5'in devamı

4 EKLEM ALTERASYON SAYISI-Ja					
<i>b. 10 cm'lik kayma öncesi süreksizlik dokanağı</i>					
F		Kum taneleri, kil	4.0	25°-30°	
G		Aşırı konsolide	6.0	16°-24°	
H		Orta veya düşük	8.0	12°-16°	
J		Şişen kil dolguları,	8.0 - 12.0	6° - 12°	<b>10</b>
R			13.0 - 20.0		

5	EKLEM SUYU İNDİRGEME FAKTÖRÜ	Jw	Yaklaşık su basıncı (kPa)		
A	Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin	1.0	<100	i-) C ve F faktörleri kaba tahminlerdir. Eğer drenaj ölçümleri yapılırsa Jw artırılır. ii-) Buzlanmadan dolayı oluşacak özel problemler göz önüne alınmamıştır.	<b>1.0</b>
B	Orta derecede su gelişi veya basınç, yer	0.66	100 - 250		
C	Dolgusuz, eklemli, dayanıklı kayada	0.5	250 - 1000		
D	Büyük miktarda su gelişi veya yüksek	0.33	250 - 1000		
E	Patlatmada son derece fazla su gelişi	0.2 - 0.1	> 1000		
F	Zamanla azalmaksızın devam eden son	0.1 - 0.05	> 1000		

6	GERİLME İNDİRGEME FAKTÖRÜ	SRF			
<i>a. Kazıyı kesen zayıf zonlar, tünel kazılırken kaya kütlelerinin gevşemesine neden olabilirler</i>					
A	Kil veya kimyasal olarak parçalanmış	10	i-) İlgili makaslama zonları kazıyı etkiliyor fakat kesmiyorsa SRF değerleri %25-50 oranında azaltılır. ii-) Oldukça anizotrop bakir bir gerilim alanı için (ölçülebilirse); $5 \leq \sigma_c/\sigma_1 \leq 10$ olduğunda $\sigma_c$ ve $\sigma_1$ , $0.8\sigma_c$ ve $0.8\sigma_1$ 'ye düşürülür. $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ olduğunda $\sigma_c$ ve $\sigma_1$ , $0.6\sigma_c$ ve $0.6\sigma_1$ 'ye düşürülür. Burada $\sigma_c$ tek eksenli sıkışma basıncını, $\sigma_1$ çekme dayanımını ve $\sigma_3$ maksimum ve minimum asal gerilmelerdir. iii-) Kazı yüksekliğinin, kazı genişliğinden az olduğu örnekler çok azdır		
B	Kil veya kimyasal olarak parçalanmış	5			
C	Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği > 50m)	2.5			
D	Kil içermeyen dayanıklı kayada birden	7.5			
E	Kil içermeyen dayanıklı kayada tek bir	5.0			
F	Kil içermeyen dayanıklı kayada tek bir	2.5			
G	Gevşek ve açık eklem, fazla eklemli	5.0			
<i>b. Dayanımlı kaya, kaya gerilimi sorunları</i>		$\sigma_c/\sigma_1$	$\sigma_1/\sigma_3$	SRF	
H	Düşük gerilim yüzeye yakın	> 200	> 13	2.5	
J	Orta derecede gerilme	200-10	13-0.66	1.0	<b>1.0</b>
K	Yüksek gerilme, çok sıkı yapı (genellikle	10-5	0.66-0.3	0.5-2.0	
L	Az kaya patlaması (masif kaya)	5-25	0.33-0.16	5-10	
M	Aşırı kaya patlaması (masif kaya)	< 25	> 0.16	10-20	
<i>c. Yüksek kaya basıncının etkisi altında dayanımsız kayanın plastik akması</i>					
N	Az sıkışan kaya basıncı	5-10			
O	Fazla sıkışan kaya basıncı	10-20			
<i>d. Suyun varlığına bağlı olarak kimyasal şişme</i>					
P	Az şişen kaya basıncı	5-10			
R	Fazla şişen kaya basıncı	10-20			



Sürekli yenilenecek geliştirilmeye çalışılan GSI sisteminde en son yapılan değişiklik ile fişel istiflerin ayrı bir kaya kütlesi olarak değerlendirmeye alınmasının daha uygun olacağı görüşü ortaya konulmuştur [59]. Şekil 4.4’de yapılan yeni tanımlamaya göre GSI sistemi; kumtaşı, miltaşı, kiltası ve şeyl tabakalarının varlığı ve hatta bunların tektonik etkiler altında uğradıkları kıvrım ve kırıklanma şekillerini dikkate alarak bir değerlendirme imkanı sağlamaktadır. Bu çalışmada mevcut kaya birimlerin Jeolojik Dayanım İndeksi, bu abak kullanılarak değerlendirilmiştir.

FİŞEL TÜRÜ HETEROJEN KAYA KÜTLELERİ İÇİN GSI (Marinos ve Hoek 2000). Kaya türü, yapı ve yüzey durumu (özellikle katmanlaşma düzlemleri) göz önünde tutularak çizelgeden ilgili kutuyu seç. Süreksizlikleri göz önünde tutarak kutu içerisindeki konumlarını belirle ve ortalama GSI değerini eşdeğer eğrilerinden bul. Çok hassas değer okumaya yeltenmeyin. 33-37 okuması 35’ten daha gerçekçidir. Unutmayınız ki Hoek-Brown ölçütü yapısal olarak denetlenen yenilemelerde kullanılmaz. Olumsuz konumlu zayıf düzlemsel süreksizliklerin olduğu yerlerde kaya kütle davranışını bunlar belirler. Bazı kaya kütlelerinin dayanımı yeraltısuyunun varlığında düşer. Bu durumda elde edilen okuma aralığı sağa doğru kaydırılarak az iyi, zayıf ve çok zayıf doğru kaydırılarak tasarım ortalama değeri elde edilir. Su basıncı GSI değerini değiştirmez. Bu durum etkin gerilme incelemeleriyle karşılanır.		SÜREKSİZLİKLERİN YÜZEY DURUMLARI (Özellikle tabaka düzlemleri)	SÜREKSİZLİKLERİN YÜZEY DURUMLARI (Özellikle tabaka düzlemleri)	İYİ - Dalgah, çok az günlenmiş yüzeyler	AZ İYİ - Düzgün, orta derecede günlenmiş ve ayrışmış yüzeyler	ZAYIF-Çok düzgün, yer yer sıkı kaplamalı veya köşeli parçacıklar içeren kayma çizikli yüzeyler	ÇOK ZAYIF-Çok düzgün kayma çizikli veya yumuşak kil kaplamalı veya dolgululu ileri derecede günlenmiş yüzeyler. Kayma çizikli
A. Kalın tabakalı, büyük bloklu kumtaşı Tabakalar üzerindeki kil kaplamalarının etkisi kaya kütlelerinin sıklığı nedeniyle en düşük düzeydedir. Sığ tünel ve yamaçlarda bu tabaka düzlemleri yapısal olarak denetlenir. Duraysızlıklara neden olabilir.		70 60		A			
B. İnce miltaşı ara katmanlı kumtaşı	C. Eşit oranda mil ara katmanlı kumtaşı	50	B	C	D	E	
D. Kumtaşı ara katmanlı miltaşı veya milli ve yapraklanmalı kiltası (şeyl)	E. Kumtaşı ara katmanlı zayıf miltaşı veya killi şeyl veya milli ve yapraklanmalı kiltası (şeyl)	40					
C, D, E ve G çizimsel gösterimlerinden biraz daha fazla kıvrımlı olup bu durum dayanımı değiştirmez. Tektonik biçim değişim, kırıklanma (faylaşma) ve sürekliliğin yitmesi bu sınıfları F ve H’ye doğru ilerletir.	F. Tektonik olarak biçim değişime uğramış, parçalanmış ve düzensiz yapı kumtaşı katmanları içeren ileri derecede kıvrılmış/kırıklanmış makaslanmalı killi şeyl.	30			F		
G. Çok ince kumtaşı katmanı içeren veya hiç içermeyen örselenmiş milli veya killi şeyl.	H. Kil cepleri içeren ve tektonik olarak biçim değişime uğratıldığından karışık yapı milli veya killi şeyl. İnce kumtaşı katmanları da kırılarak küçük kaya parçaları görünümündedir.	20				G	H
		10					

Şekil 4.4. Fişel türü heterojen kaya kütleleri için GSI hesabı [59].

Çalışma alanında temel kaya birimi konumunda olan Kartal Formasyonu grovak ara tabakalı karbonatlı şeyllerden oluşmakla birlikte yer yer diyabaz daykları ve faylar tarafından kesilmiş olup, orta derecede kıvrılmış bir kaya birimidir. Buna göre GSI sistemi uyarınca değerlendirilen birim, tektonik etki altında kırıklı, kıvrımlı ve faylı olmak üzere bozulmuş, grovak ara tabakalı ve karbonatlı şeyllerden oluşmaktadır. Bu şekliyle birim; C, D ve E grubunda yer almaktadır (Şekil 4.4). Süreksizlik yüzeyleri az pürüzlü, ayrışma derecesi orta veya kil dolguludur. Buna göre birim GSI değerinin 20 ile 40 arasında kabul edilebilir. Ancak bu değer yerel koşullar göre değişkenlik sunabilmektedir. Özellikle Pendik İstasyonu’nun bulunduğu bölgede mevcut fay varlığından dolayı GSI değeri oldukça düşebilmektedir.

#### **4.5. Mühendislik Yapıları**

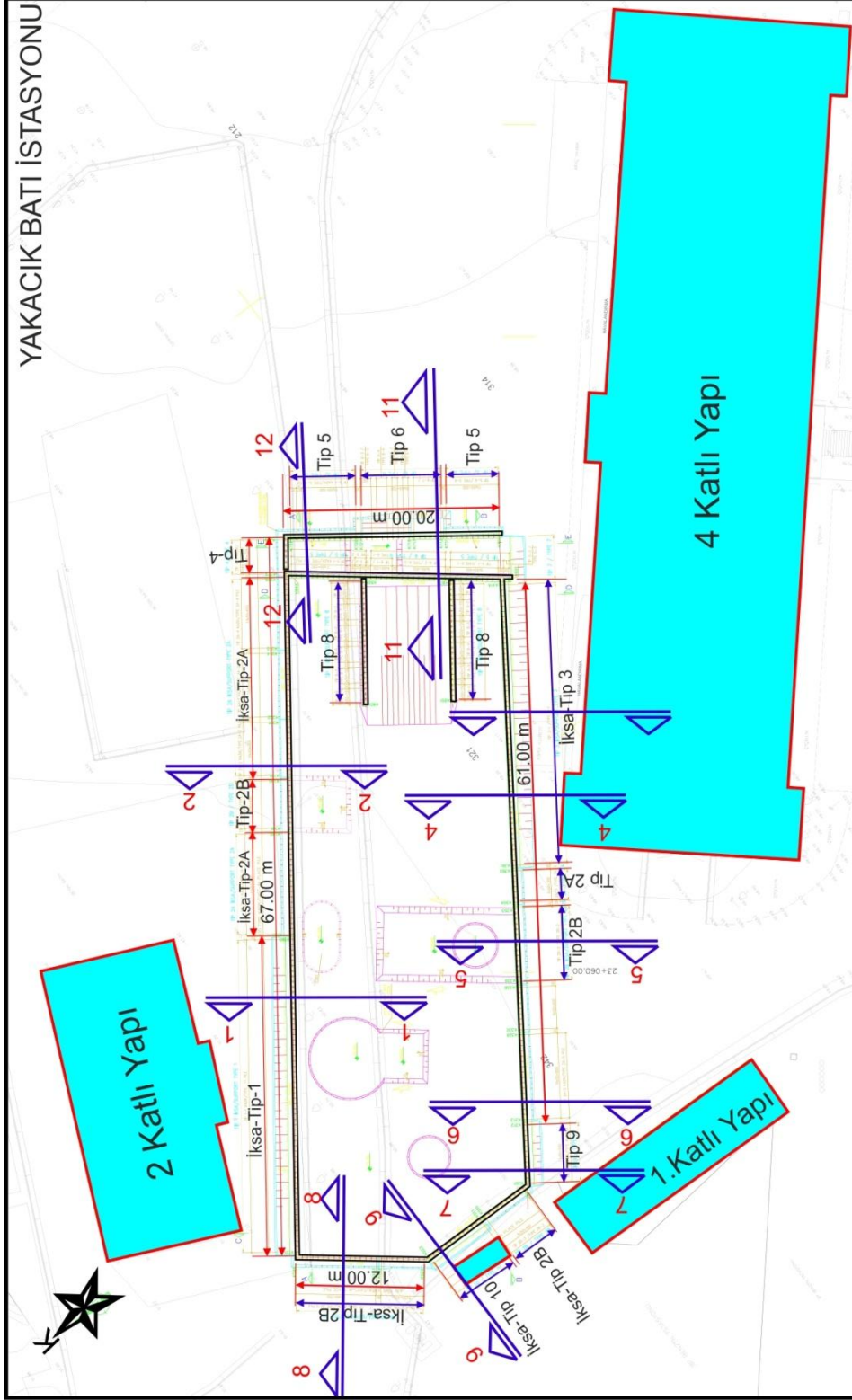
Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhı tünel, şaft ve yaya bağlantı tüneli ve istasyon kazıları gibi birçok mühendislik yapısını içermektedir. Ancak bu çalışma kapsamında Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhının 23+400 ile 24+600 km arasında kalan Yakacık ve Pendik istasyonları oluşturmaktadır.

##### **4.5.1. Yakacık istasyonu**

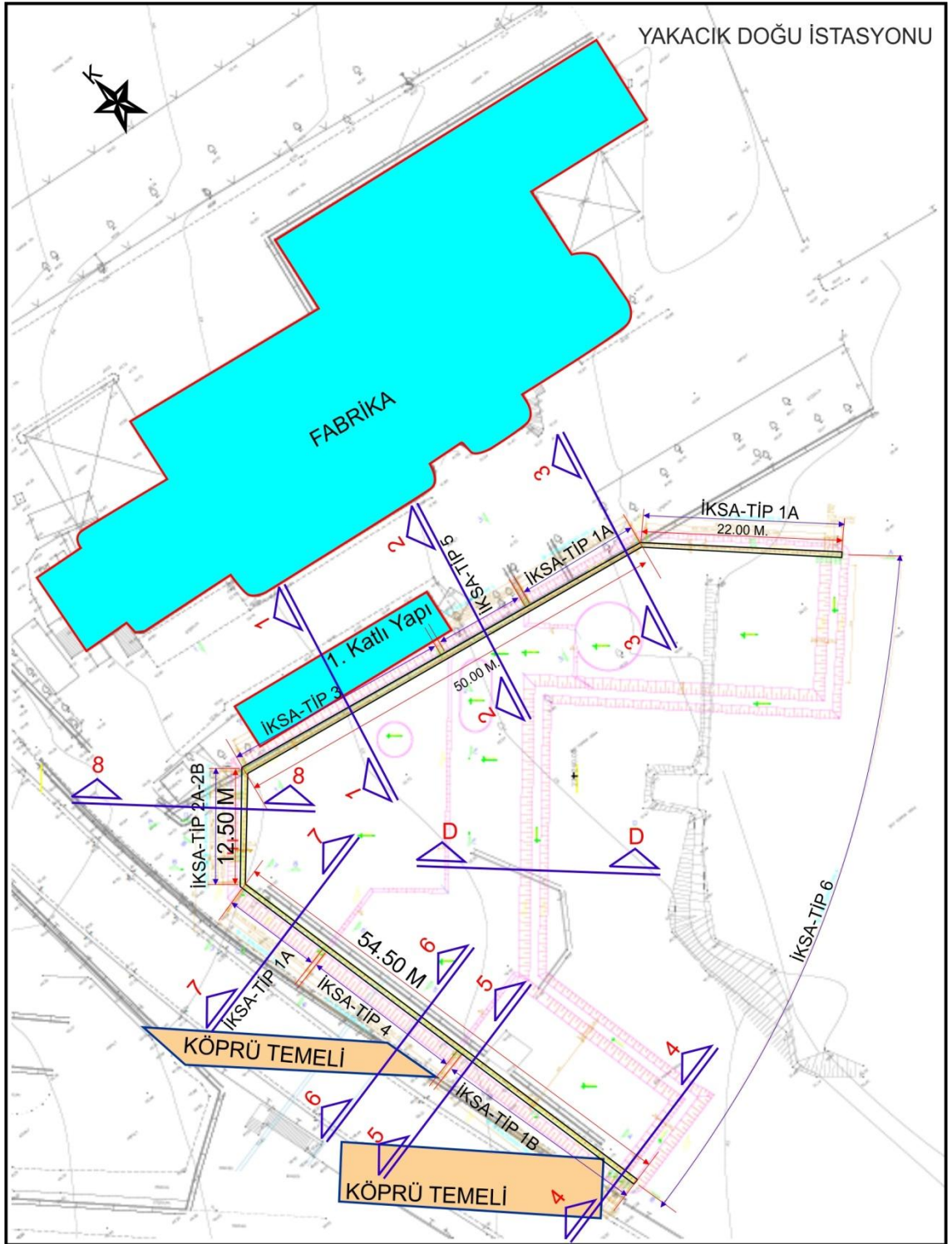
Yakacık istasyonu Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhının 23+100 ile 23+320 km arasında yer almakta olup, batı blok ve doğu blok olmak üzere 2 bloktan oluşmaktadır (Şekil 4.5. ve Şekil 4.6). Ayrıca D-100 Karayolu altından geçen bir adet yaya bağlantı tüneli bulunmaktadır. İstasyon kazısının yapıldığı bölgede Kartal Formasyonuna ait grovak ve karbonatlı şeyllerden oluşan orta dayanımlı karakterdeki kaya birimleri yer almaktadır. Birim yer yer diyabaz daykları ve küçük ölçekli fay zonları göstermekte ve daha zayıf kaya özellikleri sunmaktadır.

Yakacık Batı blokta çalışmalar 16.12.2013 tarihinde başlamıştır. Bölgede kazı derinliği tünel aynası bölgesinde yaklaşık 24.00 m'ye kadar ulaşmakta olup, yaklaşık 420 adet mini kazık yapılmıştır (Şekil 4.5). Ankrajlar 10 cm çapında ve 8.0 m kök boyuna sahip olup, serbest uzunluk mesafesi değişkenlik göstermektedir. Kaya bulonları 2.00 m ile 4.00 m arasında boya sahiptir. İksa arası mesafeler ankrajlar arası 2.50 m bulonlar arası ise 1.5m olarak öngörülmüştür.

Yakacık Doğu blokta çalışmalara 29.11.2013 tarihinde başlanmıştır. Bölgede kazı derinliği yaklaşık 20 m'ye kadar ulaşmakta olup, yaklaşık 275 adet mini kazık uygulanmıştır (Şekil 4.6). Kazı kademeleri ankrajları 2.00 m ile 2.50 m arasında değişmektedir. Kaya bulonlarında ise düşey mesafe 1.50 m olarak alınmıştır. Bütün istasyonlarda ankraj halatı 3x0.6" olarak bağlanmış ve tüm projede ankrajlar ve bulonlar 15 derecelik açıyla uygulanmıştır.



Şekil 4.5. Yakacık istasyonunun batı bölümünün hali hazır ve iksa planı



Şekil 4.6. Yakacik istasyonunun doğu bloğunun hali hazır ve iksa planı

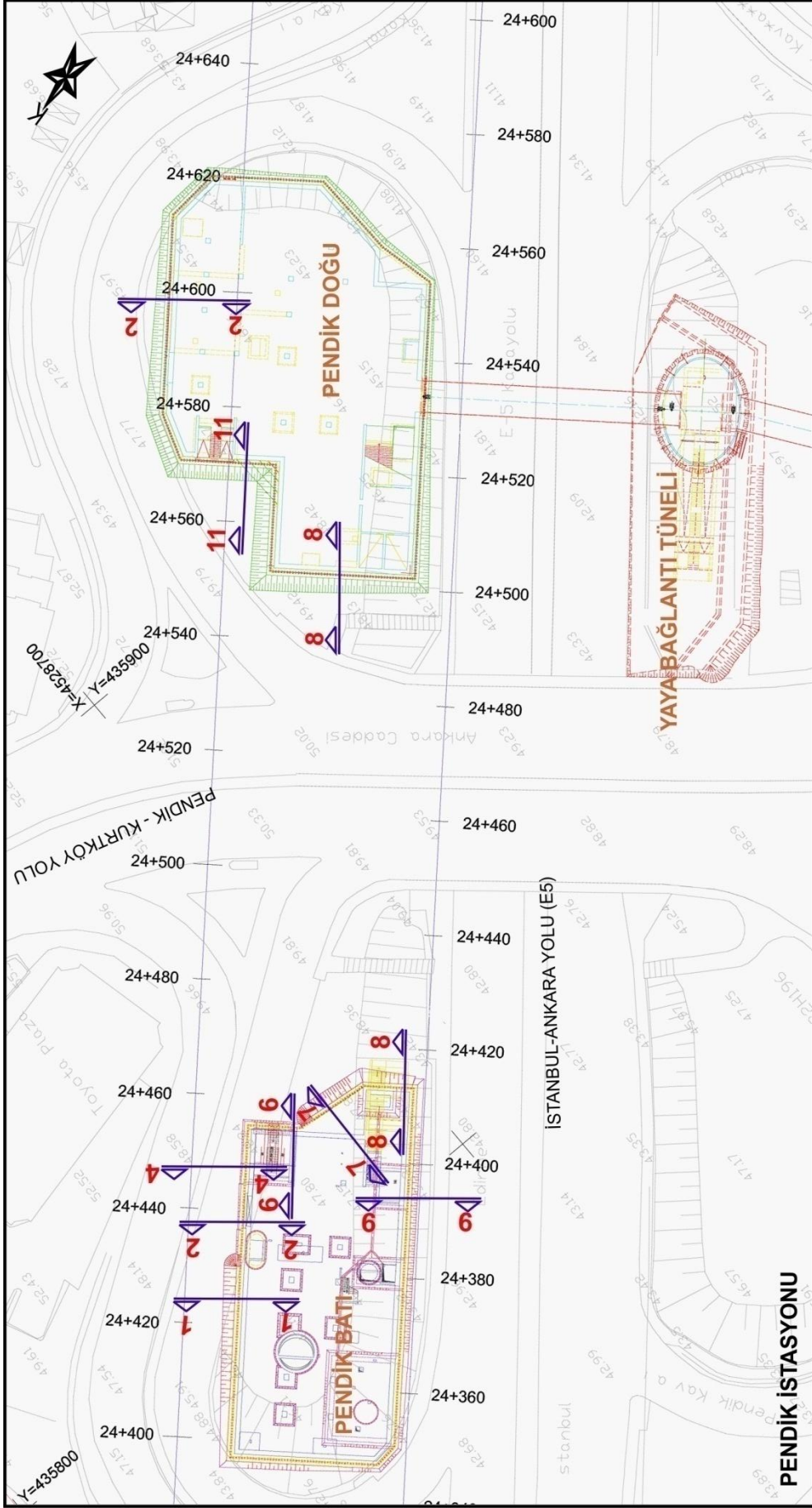
#### 4.5.2. Pendik istasyonu

Pendik İstasyonu Yakacık İstasyonu ile benzer şekilde doğu ve batı blok olmak üzere iki bloktan oluşmaktadır. Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhının 24+400 ile 24+620 km arasında yer almakta olup, E-5 Karayolu Pendik Köprülü Kavşağı kuzeyindedir (Şekil 4.7). İstasyon kazısının yapıldığı bölgede Kartal Formasyonuna ait karbonatlı şeyllerden oluşan düşük-orta dayanımlı kaya karakterindeki kaya birimleri yer almaktadır. Bölgede yapılan sondajlarda fay zonuna bağlı olarak kaya özellikleri daha zayıf karakterdedir.

Batı blok Ankara-İstanbul Karayolunun Pendik-Kurtköy kavşağının batısında yer almakta olup, bu bölgede çalışmalara 25.12.2013 tarihinde başlanılmıştır. Bölgede kazı derinliği tünel aynası bölgesinde yaklaşık 20.00 m' ye kadar ulaşmaktadır. İstasyon kazısında değişen zemin profili göz önünde bulundurularak ön germeli zemin ankrajları ile destekli, aralıklı mini kazıklar öngörülmüştür. Yaklaşık 367 adet mini kazığın yapılmasının öngörüldüğü bölgede, kazıklar yaklaşık 48 m kotundan 12 m kotuna indirilmiştir. Ortalama 5-6 kademe inilmiş ve her kademe arası ortalama 2.50 m olarak belirtilmiştir.

Doğu Blok Bölgesi; Ankara-İstanbul Karayolunun Pendik-Kurtköy kavşağının doğusunda yer almakta olup, bölgede çalışmalara 01.12.2013 tarihinde başlanılmıştır. Bölgede kazı derinliği tünel aynası bölgesinde yaklaşık 20.00 m' ye kadar ulaşmaktadır. Yaklaşık 424 adet mini kazık yapılan bölgede, kazı kotu 49 m den 32 metreye kadar yani yaklaşık 17 metre inilmiş, kademeler arası yaklaşık 2.00-2.50 m arasında değişmektedir. Ankraj kök boyu 8.00 m iken, serbest kısım da 5m ile 9 m arasında değişmektedir. Ankraj ve kaya bulonları tüm projede olduğu gibi 15 derecelik açıyla uygulanmaktadır.





Şekil 4.7. Pendik istasyonunun doğu ve batı bloğunun hali hazır ve iksa planı

## 4.6. Jeoteknik Uygulamalar

Yakacık ve Pendik istasyonlarının imalatları sırasında yapılan başlıca jeoteknik uygulamalar sıyırma kazısı, zemin çivisi/kaya bulonu uygulamaları, mini kazık uygulamaları, kademe kazıları ve ankraj uygulamaları olmak üzere 5 başlıktan oluşmaktadır. Bu bölümde söz konusu jeoteknik çalışmaların sahada uygulamaları üzerinde durulacak olup, özellikle mini kazık, zemin çivisi/kaya bulonu ve ankrajların tasarım hesaplarını içeren hesaplamalar Yüksel Proje tarafından yapılmıştır. Tezin bu bölümünde bu raporlardan faydalanılmıştır [60-63].

### 4.6.1. Sıyırma kazıları

İstasyon kazılarında yapılacak olan jeoteknik uygulamaların güvenli ve hızlı bir şekilde yapmak ve kazı alanında düz bir topoğrafya elde etmek amacıyla istasyon kazılarının ilk adımını sıyırma kazıları oluşturmaktadır (Resim 4.5). İstasyonların sıyırma kazı derinliği yapının mimarisine, zemin özelliklerine ve çevrede bulunan yapı durumuna göre değişkenlik sunmaktadır. Kazılar genelde kırıcı, paletli ve lastik tekerlekli ekskavatörler yardımıyla yapılmıştır.

Yakacık İstasyonunun batı bloğunda sıyırma kazı kotu 39.20 ile 48.10 metre arasında değişmektedir. Batı bloğunun batısında kazı derinliği yer yer 5.00 -6.00 metreye ulaşırken, doğusunda yaklaşık 1.00 civarındadır. Yakacık doğu blokta ise sıyırma kazı kotu 39.20 metre olup en derin noktasında yaklaşık 3.00-4.00 metre kazı yapılmaktadır.

Pendik istasyonunun her iki bloğunda sabit sıyırma kazısı kotu uygulanmış olup, 41.00 metre olarak seçilmiştir. Doğu bloğunda zemin kotu 49.00 ile 43.30 metre arasında değişmektedir. Doğu bloğun doğusunda kazı derinliği 2.30 metre olurken, aynı bloğun batısında ise 8.00 metreye ulaşmaktadır. Pendik İstasyonunun batı bloğunda maksimum sıyırma kazısı derinliği ise 6.10 metreye ulaşmakta olup, minimum kazı derinliği ise 2.30 metredir.



Resim 4.5. Sıyırma kazılarında genel görünüm (a ve b: Pendik İstasyonu, c: Yakacık İstasyonu)

#### 4.6.2. Zemin çivisi/kaya bulonları

Zemin çivileri, kazı yüzeylerinin tutulması veya şev stabilitesinin sağlanması amacıyla oluşturulan duvar niteliğindeki yapılarda kullanılır. Zemin çivilerine ön germe uygulanmamaktadır, dolayısıyla şev hareketi olmadığı sürece çivilere herhangi bir yük gelmemektedir. Zemin çivileri, çalışmanın konusunu oluşturan istasyonlarda genellikle sıyırma kazısı sonrası oluşan şevlerde uygulanmıştır.

Zemin çivisi işlemleri öncelikle zemin çivisi delgilerinin yapılmasıyla başlamıştır. Zemin çivileri yumuşak yüzeylerde burgu (auger) yöntemiyle sert zeminlerde ise havalı sondaj makineleri yardımıyla yapılmıştır (Resim 4.6 ve Resim 4.7).





Resim 4.6. Zemin çivisi delgilerinin yapılması [64].



Resim 4.7. Yakacık batı blok zemin çivisi ve püskürtme beton işlemi yapılmış hali

Delgi işlemleri tamamlandıktan sonra  $\phi 26$  mm bulonlar yerleştirilmiş, daha sonra çimento enjeksiyonu delik ağzından gelene kadar yapılmıştır. Prizlenme işleminin tamamlanması beklenmiş ve çelik hasır döşeme işlemine geçilmiştir.

Çalışma alanında kullanılan kaya bulonlarının uzunlukları 2.00 ile 4.00 metre arasında değişmekte olup, zemin özelliklerine göre bulon kademe sayıları değişiklik göstermektedir. Yakacık Batı bloğu üç ile sekiz kademedir oluşur. Bulonlar arası düşey mesafe 1.50 metredir. Aynı istasyonun doğu bloğunda maksimum kademe sayısı on olup kademeler arası yükseklik 1.50 ile 2.00 metre arasında değişmektedir. Pendik istasyonunun batı bloğunda bulon kademe sayısı üç ile beş arasında değişirken, doğu bloğunda iki ile dört kademe arasında değişmektedir. Bulon uzunluklarının 4.00 metre olduğu Pendik İstasyonunda ise kademeler arası mesafe 1.50 ile 2.00 metre arasında değişmektedir. Diğer özellikler Tablo 4.6'da verilmiş olup, söz konusu tabloda ifade edilen kesit numaraları Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

#### **4.6.3. Çelik hasır döşeme ve püskürtme beton uygulamaları**

Sıyırma kazısı sonucunda oluşan şevlerin duraylılığını artırmak ve oluşabilecek kaymalara engel olmak için zemin çivileri delgilerinin tamamlanmasından sonra çelik hasır döşeme ve püskürtme beton işlemine geçilir. Çelik hasır soğuk çekme yöntemiyle imal edilir. Vinç yardımıyla sıyırma kazısı sonrası oluşan şevlerin üzerine serilir. Daha sonra önceden yerleştirilen bulon ile çelik hasır birbirine vidalamak suretiyle birleştirilmiş ve püskürtme beton için hazır hale getirilmiştir (Resim 4.8).

Çelik hasır döşemesinin ardından püskürtme beton işlemine geçilir. Püskürtme beton işlemi normal betona göre daha ince taneli ve daha yüksek çimento oranı sahip özel bir beton karışımıdır. Bu karışım yüksek basınçlı pompa ile yüzeye püskürtülerek uygulanmaktadır. Çalışmaya konu olan istasyon projelerinde kuru yöntemle püskürtme işlemi uygulanmaktadır. Bu yöntemde; çimento ve agregalar kuru olarak karıştırılır. Kuru karışım sıkıştırılmış hava akımı ile boru ve hortumlardan püskürtme ucuna gelir bu sırada karışıma su püskürtülür. Bu şekilde ıslanan karışım püskürtme tabancasından uygulama yerine püskürtülür (Resim 4.9).

Tablo 4.6. İstasyonlara göre kullanılan kaya bulonlarının genel özellikleri

İstasyon Adı	Tip Kesit	Kazı Derinliği (En Derin) (Metre)	Bulon Kademe Sayısı (Adet)	Bulon Uzunluk (Metre)	Bulon Kademeleri Arası Düşey Mesafe (Metre)
YAKACIK BATI	Tip1 (Kesit1-1)	19.00	5.00	3.00	1.50
	Tip 2A (Kesit6-6)	18.00	-	-	-
	Tip 2B (Kesit 2-2)	20.00	-	-	-
	Tip 3 (Kesit 4-4)	17.00	8.00	2.00-3.00	1.50
	Tip 4 (Kesit E-E)	9.00	-	-	-
	Tip 5 (Kesit12-12)	16.7	-	-	-
	Tip 6(Kesit 11-11)	24.00	5.00	4.00	1.50
	Tip 8(Kesit D-D)	24.00	8.00	2.00-3.00	1.50
	Tip 9 (Kesit 7-7)	18.00	3.00	3.00	1.50
	Tip 10 (Kesit 9-9)	18.50	-	-	-
YAKACIK DOĞU	Tip – 1A (Kesit 3- )	17.00	-	-	-
	Tip – 1A (Kesit 7-7)	18.30	-	-	-
	Tip – 1B (Kesit 4- )	17.00	-	-	-
	Tip – 2A (Kesit 8-8)	17.00	6.00	4.00	1.50
	Tip – 2B (Kesit 8 – 8)	18.50	-	-	-
	Tip – 3 (Kesit 1 – 1)	17.00	-	-	-
	Tip – 4 (Kesit 5 – 5)	20.00	-	-	-
	Tip – 4 (Kesit 6 – 6)	20.00	-	-	-
	Tip – 5 (Kesit 2 – 2)	19.00	-	-	-
	Tip – 6 (Kesit D – D)	17.00	10.00	4.00	2.00
PENDİK BATI	Tip – 1 (Kesit 1 – 1)	14.50	3.00	4.00	2.00
	Tip – 2 (Kesit 2 – 2)	16.00	-	-	-
	Tip – 3 (Kesit 4 – 4)	21.00	-	-	-
	Tip – 4 (Kesit 6 – 6)	21.00	5.00	4.00	1.50
	Tip – 5 (Kesit 8 – 8)	16.00	-	-	-
	Tip – 6 (Kesit 9 – 9)	16.50	4.00	4.00	1.50
	Tip – 7 (Kesit 5 – 5)	13.00	2.00	4.00	2.50
PENDİK DOĞU	Tip – 1A (Kesit 8 – 8)	16.50	4.00	4.00	2.00
	Tip – 2 (Kesit 2 – 2)	14.50	3.00	4.00	2.00
	Tip – 3 (Kesit 11 – 11)	20.00	9.00	4.00	2.00





Resim 4.8. Pendik istasyonu batı blok çelik hasır döşemesi aşamasından görünüm



Resim 4.9. Yakacık istasyonu batı blok püskürtme beton işlemi aşamasından bir görünüm

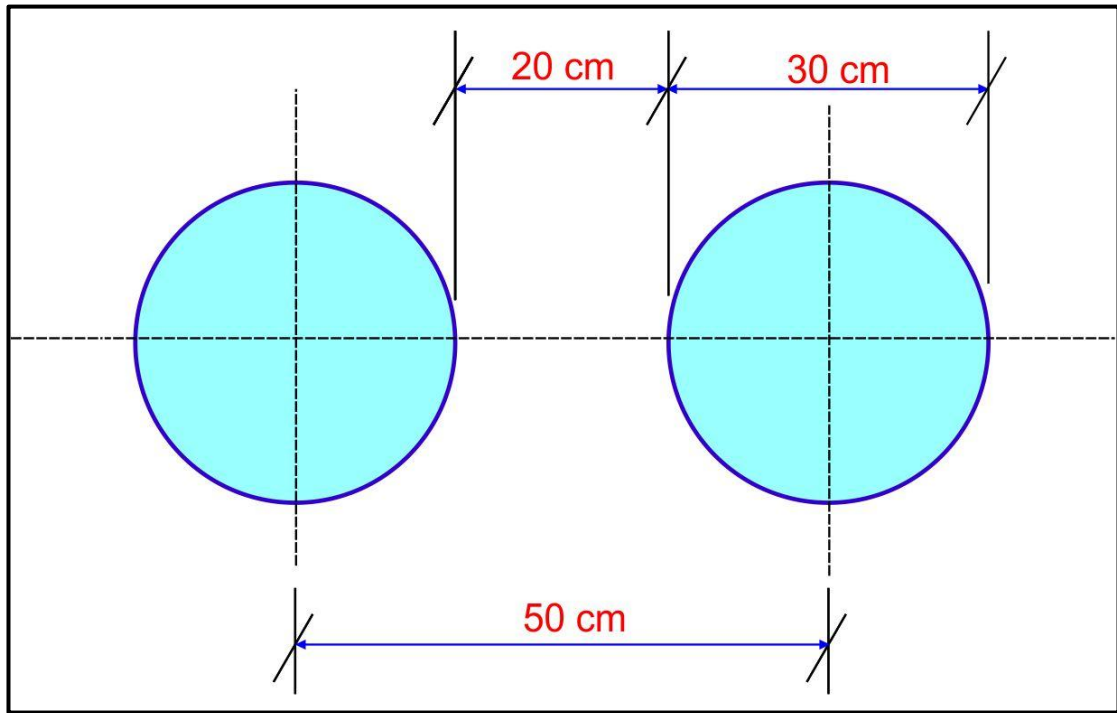
#### 4.6.4. Mini kazık uygulamaları

Plansız ve çarpık kentleşmenin neticesi olarak kent merkezlerinde derin kazıların yapılması son zamanlarda bir zorunluluk haline gelmiştir. Özellikle metro çalışmaları ve yüksek katlı bina projelerinde zorunluluk olan bu derin kazılar sırasında en çok tercih edilen zemin iyileştirme ve iksa yöntemlerinden biride mini kazık uygulamasıdır. Genel olarak 25-30 cm çaplı kazık uygulamaları literatürde mini kazık olarak adlandırılmaktadır. Mini kazık makinelerinin, kent merkezlerinde tercih edilmesinin en önemli sebebi ebatlarının fore kazık ve jet grout sistemlerine göre küçük oluşudur. Portatif kazık makineleri ile mikro ve mini kazık uygulamaları bina içlerinde dahi yapılabilmektedir. Bu çalışmaya konu olan Yakacık ve Pendik istasyonlarında olduğu gibi iksa uygulamalarında ankrajlı olarak ve temel altı zemin iyileştirme işlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

İstasyonlarda sıyırma kazısı işleminin tamamlanmasından sonra mini kazık uygulamalarına başlanmış olup, mini kazık uygulaması projede belirtildiği üzere 30 cm çaplı ve 20 cm aralıklarla yapılmıştır (Şekil 4.8). Mini kazık uygulamalarına geçilmeden önce topograflar tarafından kazık yapılacak olan bölgede noktaların belirlenmesi işlemi yapılır. Burada amaç yapılacak olan kazıkların projeye uygun bir biçimde ve düzgün bir doğrultuda olmasını sağlamaktır. Noktaların verilmesi ile mini kazık uygulamasına geçilebilir ilk olarak belli olan noktaya makine düzgün bir şekilde yerleştirilir ve makinenin delgi yapacak olan elmas ucu tam 90 derecelik açıyla oturtulur Bunun amacı kazık delgisinin dik bir şekilde yapılması ve hemen yanındaki kazıkla çakışmasını önlemektir. Kazıkların delgi işlemleri Soilmec SM-14 Mini Kazık / Ankraj makinesi ile yapılmış olup, kazık derinlikleri projede zemin ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişim sunmaktadır. Mini kazık makinesi darbeli matkap, döner başlık ve makineye bağlanan yüksek basınçta hava veren kompresörden oluşmaktadır. Kompresör yardımıyla kuyu içinde delgi sonucu oluşan malzeme dışarı atılmakta, projede istenilen delgi boyuna gelene kadar gerekli sayıda tij takımı eklenerek delgi tamamlanmaktadır (Resim 4.10a).

Öncelikle spiral etre sarma makinesi kullanılarak spiral etre sarınımları yapılır (Resim 4.10b ve c). Daha sonra demir donatı bağlama işlemine geçilir spiral yay şeklinde çekilen etreler, her boğum arası yaklaşık 10 cm olacak şekilde germe işleminin

tamamlanmasının ardından bağlanmaktadır (Resim 4.10 d). Etreler istenilen boyuta getirildikten sonra içlerine çubuk şekilli Ø10 luk demirler yerleştirilerek tel yardımıyla birbirine bağlanır böylece demir donatı bağlanma işi tamamlanmış olur. Demir donatıda kuyunun üstünde yaklaşık 20 cm-30 cm arasında demir (filiz) bırakılır bu kısma etre bağlanmaz bu kısmın bırakılma amacı daha sonra yapılacak olan başlık kirişinin bu filizlere tutunmasıdır. Bağlanan demir donatılar (etre) açılan mini kazık çukurlarına vinç veya mini kazık makinesi yardımıyla kuyulara indirilir. Burada önemli olan nokta demir donatının kuyuya indirilirken pas payı denilen aparatlarının takılmasıdır. Pas payı aparatları kuyunun yüzeye olan temasını önlemekte ve donatının beton döküldükten sonra beton dışına çıkarak paslanmasını engellemektedir. Donatının kuyuya indirilmesi işlemini takiben kuyularda su olup olmadığı kontrol edilmiştir. Kuyularda su olması durumunda su pompaları yardımıyla biriken su dışarı atılır. Proje sahasında bu durum çok karşılaşılan bir durum olmamakla birlikte zaman zaman fay hatlarına yakın bölümlerde bu tür problemler ile karşılaşılmaktadır. Betonun slump kontrolü yapıldıktan sonra beton dökme işlemine geçilmektedir. Beton dökülme işleminin tamamlanması ile betonun priz alması beklenmektedir.



Şekil 4.8. Mini kazıkların plan görünümü





Resim 4.10. Mini kazık uygulama aşamalarından genel görünüm (a: delgi işleminin yapılması, b: sarmal etre, c: etre makinesi, d: donatıların hazırlanması, e: donatının delik içerisine yerleştirilmesi, f: donatının delik içindeki konumu, g: beton dökülmüş ve tamamlanmış kazıklar)



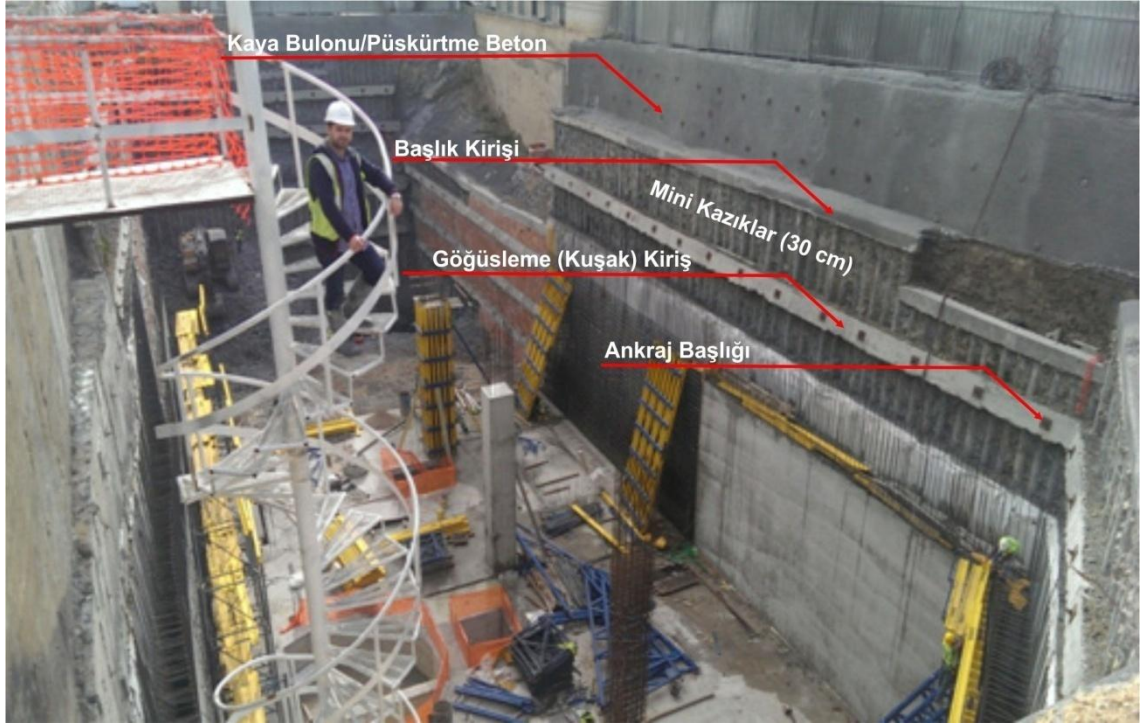
Projede mini kazık uygulamalarının 50 cm aralıklarla yapılması öngörülmüştür. Mini kazık uygulaması yapılırken 1 kuyu yapılır yapılan kuyuyu takip eden kuyu boş bırakılır ve bir sonraki kuyunun imalat aşamasına geçilir. Bu işlemin amacı kuyuya yeni dökülmüş olan betonun ve dolayısıyla kuyunun zarar görmesini engellemektir.

Çalışmanın konusunu oluşturan Yakacık ve Pendik istasyonlarında yaklaşık 1486 adet mini kazık uygulaması yapılmış olup, bunların 420 tanesi Yakacık İstasyonunun batı bloğunda, 275 tanesi doğu bloğunda uygulanmıştır. Pendik istasyonunda ise toplam 791 adet mini kazık uygulanmış olup, bunlardan 367 tanesi batı bloğunda 424 tanesi doğu bloğunda uygulanmıştır.

#### **4.6.5. Kademe kazıları**

Mini kazık uygulamaları tamamlandıktan sonra yapılan ilk uygulama başlık kirişlerinin oluşturulmasıdır (Resim 4.11 ve Resim 4.12). Başlık kirişleri oluşturulduktan sonra ankraj iksa sistemlerinin oluşturulması için kademe kazılarına başlanmıştır. Resim 4.12'de üçüncü kademe kazısı tamamlanmış ankraj enjeksiyonu yapılmış bir kesitin genel görünümü verilmiştir. Kademe kazıları sıyırma kazılarında olduğu gibi kırıcı ve ekskavatör kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yakacık istasyonunun doğu bloğunda kademe sayısı bir ile altı arasında değişmekte olup, özellikle çevrede bulunan köprü temeli ve diğer yapılara yaklaşılacak kesimlerde ankraj iksa sistemindeki artışa bağlı olarak kademe sayısı artırılmıştır. Pendik istasyonunda ise kademe kazılarının sayısı maksimum yedi olurken, en az kademe sayısı ise iki ile doğu bloğunun kuzey doğu yamacında oluşturulmuştur. Diğer özellikler Tablo 4.7'de verilmiş olup, söz konusu tabloda ifade edilen kesit numaraları Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Resim 4.11. Jeoteknik uygulamaların genel görünümü (Yakacık İstasyonu)



Resim 4.12. Üçüncü kademe ankraj enjeksiyonu yapılmış bir kesit (Yakacık İstasyonu doğu blok)

Tablo 4.7. İstasyonlara göre kademe kazı sayıları

İstasyon Adı	Tip Kesit	Kazı Derinliği (En Derin) (Metre)	Kademe Kazısı Sayısı (Adet)	Kademeler Arası Mesafe (Metre)
YAKACIK BATI	Tip1 (Kesit1-1)	19.00	4	2.50
	Tip 2A (Kesit6-6)	18.00	6	2.50
	Tip 2B (Kesit 2-2)	20.00	7	2.50
	Tip 3 (Kesit 4-4)	17.00	2	2.50
	Tip 4 (Kesit E-E)	9.00	3	2.50
	Tip 5 (Kesit12-12)	16.7	5	2.50
	Tip 6(Kesit 11-11)	24.00	6	2.50
	Tip 8(Kesit D-D)	24.00	5	2.50
	Tip 9 (Kesit 7-7)	18.00	6	2.00
	Tip 10 (Kesit 9-9)	18.50	6	2.00
YAKACIK DOĞU	Tip – 1A (Kesit 3– 3)	17.00	5	2.50
	Tip – 1A (Kesit 7-7)	18.30	5	2.50
	Tip – 1B (Kesit 4-4 )	17.00	6	2.50
	Tip – 2A (Kesit 8-8)	17.00	1	2.50
	Tip – 2B (Kesit 8 – 8)	18.50	5	2.50
	Tip – 3 (Kesit 1 – 1)	17.00	5	2.50
	Tip – 4 (Kesit 5 – 5)	20.00	5	2.50
	Tip – 4 (Kesit 6 – 6)	20.00	5	2.50
	Tip – 5 (Kesit 2 – 2)	19.00	6	2.00
	Tip – 6 (Kesit D – D)	17.00	-	-
PENDİK BATI	Tip – 1 (Kesit 1 – 1)	14.50	3	2.30
	Tip – 2 (Kesit 2 – 2)	16.00	5	2.50
	Tip – 3 (Kesit 4 – 4)	21.00	7	2.50
	Tip – 4 (Kesit 6 – 6)	21.00	4	2.50
	Tip – 5 (Kesit 8 – 8)	16.00	6	2.00
	Tip – 6 (Kesit 9 – 9)	16.50	3	2.50
	Tip – 7 (Kesit 5 – 5)	13.00	3	2.50
PENDİK DOĞU	Tip – 1A (Kesit 8 – 8)	16.50	3	2.30
	Tip – 2 (Kesit 2 – 2)	14.50	3	2.50
	Tip – 3 (Kesit 11 – 11)	20.00	2	2.00

#### 4.6.6. Ankraj uygulamaları

Tezin konusu oluşturan istasyonlarda uygulanan iksa sisteminin önemli bileşenlerinden biri olan ankraj uygulamasında ilk kademe ankraj delgilerinin tamamlanmasının ardından çelik ankraj halatları bağlanır ve mevcut ankraj deliklerine yerleştirilir ve enjeksiyon işlemine geçilir (Resim 4.13b). Ankraj halatlarının enjeksiyon işleminin tamamlanmasının ardından ortalama 3-4 gün prizlenme süresi beklenir. Bu aşamadan sonra göğüsleme kirişi oluşturulur ve daha sonra ankrajların çekme gerilme testleri yapılır. Projede uygun olan değere kadar kriko vasıtasıyla germe yapılır ve okunan değerler değerlendirilir yapılan testte başarı sağlanan ankraj noktaları projede belirtilen değerde kilitlenir ve ankraj işlemi tamamlanmış olur (Resim 4.13c ve d).



Resim 4.13. Ankraj iksa sisteminin uygulama aşamalarından genel görünüm (a: delgi işlemi, b: ankraj halatlarının yerleştirilmesi, c: göğüsleme kirişinin oluşturulması, d: çekme testleri ve kilitlenmesi)

Çalışmanın konusunu oluşturan Yakacık ve Pendik istasyonlarında kullanılan ankraj iksa sistemlerinin tamamında kök boyları 8.00 metre olarak uygulanırken, serbest boy uzunluğu zemin koşullarına ve diğer çevresel faktörlere bağlı olarak değişkenlik sunmaktadır. Yakacık istasyonu doğu bloğunda maksimum serbest boy uzunluğu 9.00 metre olurken, en kısa serbest boy uzunluğu 5.00 metre olarak uygulanmıştır. Pendik istasyonu batı bloğunda serbest boy uzunlukları 5.00 ile 12.00 metre arasında değişirken, doğu bloğunda 5.00 ile 9.00 metre arasında değişmektedir (Tablo 4.8).



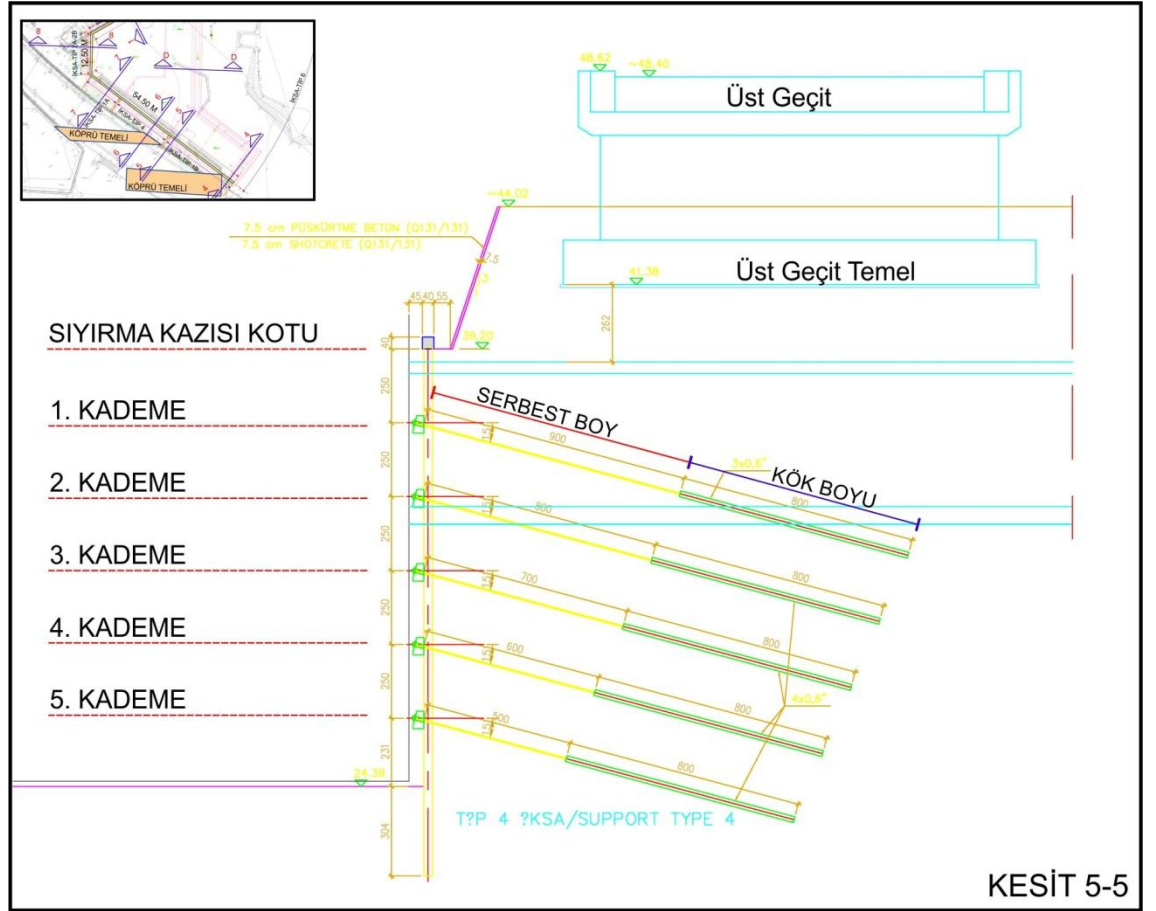
Tablo 4.8. İstasyonlara göre kullanılan ankraj iksa sistemlerinin genel özellikleri

İstasyon Adı	Tip Kesit	Kazı Derinliği (Metre)	Kademe Sayısı (Adet)	Düşey Mesafe (Metre)	Yatay Mesafe (Metre)	Kök Uzunluğu (Metre)	Serbest Kısım Uzunluğu (Metre)	3x0.6" Çelik Halat Yüku (Ton)	4x0.6" Çelik Halat Yüku (Ton)
YAKACIK BATI	Tip1 (Kesit1-1)	19.00	4	2.50	2.00	8.00	8m-5m	35	50
	Tip 2A (Kesit6-6)	18.00	6	2.50	2.00	8.00	10m-5m	35	50
	Tip 2B (Kesit 2-2)	20.00	7	2.50	2.00	8.00	11m-5m	35	50
	Tip 3 (Kesit 4-4)	17.00	2	2.50	2.00	8.00	9m-8m	-	50
	Tip 4 (Kesit E-E)	9.00	3	2.50	2.00	8.00	6m-4m	35	-
	Tip 5 (Kesit12-12)	16.7	5	2.50	2.00	8.00	10m-5m	35	50
	Tip 6(Kesit 11-11)	24.00	6	2.50	2.00	8.00	9m-14m	35	50
	Tip 8(Kesit D-D)	24.00	5	2.50	2.00	8.00	6m-9m	-	50
	Tip 9 (Kesit 7-7)	18.00	6	2.00	2.00	8.00	5m-10m	35	50
	Tip 10 (Kesit 9-9)	18.50	6	2.00	2.00	8.00	5m-10m	35	50
YAKACIK DOĞU	Tip – 1A (Kesit 3-3)	17.00	5	2.50	2.00	8.00	8.00-5.00	35	50
	Tip – 1A (Kesit 7-7)	18.30	5	2.50	2.00	8.00	8.00-5.00	35	50
	Tip – 1B (Kesit 4- )	17.00	6	2.50	2.00	8.00	9.00-5.00	35	50
	Tip – 2A (Kesit 8-8)	17.00	1	2.50	2.00	8.00	11.00	35	-
	Tip – 2B (Kesit 8 – 8)	18.50	5	2.50	2.00	8.00	8.00-5.00	35	50
	Tip – 3 (Kesit 1 – 1)	17.00	5	2.50	2.00	8.00	8.00-5.00	35	50
	Tip – 4 (Kesit 5 – 5)	20.00	5	2.50	2.00	8.00	9.00-5.00	35	50
	Tip – 4 (Kesit 6 – 6)	20.00	5	2.50	2.00	8.00	9.00-5.00	35	50
	Tip – 5 (Kesit 2 – 2)	19.00	6	2.00	2.00	8.00	9.00-5.00	35	50
	Tip – 6 (Kesit D – D)	17.00	-	-	-	-	-	-	-

<b>PENDIK BATI</b>	Tip – 1 (Kesit 1 – 1)	14.50	3	2.30	2.00	8.00	7.00-5.00	35	50
	Tip – 2 (Kesit 2 – 2)	16.00	5	2.50	2.00	8.00	9.00-5.00	35	50
	Tip – 3 (Kesit 4 – 4)	21.00	7	2.50	2.00	8.00	12.00-9.00	35	50
	Tip – 4 (Kesit 6 – 6)	21.00	4	2.50	2.00	8.00	11.00	35	50
	Tip – 5 (Kesit 8 – 8)	16.00	6	2.00	2.00	8.00	10.00-5.00	35	50
	Tip – 6 (Kesit 9 – 9)	16.50	3	2.50	2.00	8.00	7.00-5.00	35	50
	Tip – 7 (Kesit 5 – 5)	13.00	3	2.50	2.00	8.00	7.00-5.00	35	50
	Tip-1A (Kesit 8 – 8)	16.50	3	2.30	2.00	8.00	7.00-5.00	35	50
	Tip – 2 (Kesit 2 – 2)	14.50	3	2.50	2.00	8.00	7.00-5.00	35	50
	Tip-3 (Kesit 11 – 11)	20.00	2	2.00	2.00	8.00	9.00-8.00	35	50
	<b>PENDIK DOĞU</b>								



Diğer özellikler Tablo 4.8’de verilmiş olup, söz konusu tabloda ifade edilen kesit numaraları Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Tablo 4.8’de ifadelerin ne anlama geldiğini daha açık bir şekilde belirtmek amacıyla Yakacık istasyonu doğu bloğu kesit 5-5 boyunca uygulanan ankraj sisteminin detayı örnek olarak Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, kök boyu 8.00 metre iken serbest boy 9.00 ile 5.00 metre arasında değişmektedir. Kazı derinliği arttıkça serbest boy uzunluğu azalmaktadır. Toplam 5 kademeden oluşan sistem projenin tamamında olduğu gibi 15 derecelik açıyla oluşturulmuştur. Kademeler arası düşey mesafeler 2.50 metre olup, bölgede yapılan sıyırma kazısı derinliği 4.82 metre olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca bölgede püskürtme beton kalınlığı 7.5 cm olarak seçilmiştir. Bunun yanı sıra lokasyonun hemen yakınında yer alan üst geçit, kullanılan iksa yoğunluğunu arttırmıştır.



Şekil 4.9. Yakacık istasyonu doğu bloğu kesit 5-5 boyunca uygulanan ankraj iksa sistemi detayının genel görünümü

## 5. BÖLÜM

### TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhı üzerinde yer alan Yakacık ve Pendik istasyonlarının ve yakın civarının mühendislik jeolojisi ve proje kapsamında yapılan derin kazılarda kullanılan püskürtme beton, zemin/kaya çivisi, mini kazık ve ankraj gibi iksa destek sistemleri uygulamaları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Kadıköy- Kartal-Pendik Metro güzergâhı genel olarak Paleozoik yaşlı jeolojik birimler gözlenmekte olup, bu çalışmaya konu olan Yakacık-Pendik ve yakın civarının jeolojisi ise açık gri ve yer yer kırmızı-pembe renkli kuvars arenitlerden oluşan Aydos Formasyonu, yeşilimsigri, gri, altere olmuş kesimleri sarımsı kahverengi renkli, ince tabakalı ve laminalı silttaşı-şeyl ile koyu yeşil ve yeşilimsi gri renkli, ince-orta tabakalı kumtaşı araldanmasından oluşan Gözdağ Formasyonu, laminalı kireçtaşı, kalkerli şeyl ve az oranda kumtaşından oluşan İstinye Formasyonu, grovak ara tabakalı ve karbonatlı şeyllerden oluşan Kartal Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluşmaktadır.

Çalışma alanında yarı geçirimsiz, yarı geçirimli, geçirimli kaya, yarı geçirimli zemin ve geçirimli zemin olmak üzere 5 farklı ana hidrojeolojik ortam belirlenmiştir. Zemin-kaya birimlerinin oluşturduğu depolama ortamları yeraltı suyu açısından zengin olmamakla birlikte yerel yeraltı suyu birikimleri özelliği gösteren “tünük akiferler” barındırmaktadır. Çalışma alanının bu yapısından dolayı jeoteknik uygulamalar sırasında yeraltı suyu çalışmaları zorlaştırıcı herhangi bir etkisi olmamıştır.

Yakacık ve Pendik istasyonlarının yer aldığı bölge Bayındırlık Bakanlığınca yayınlanan Türkiye Deprem Bölgeleri haritasında I. Derece deprem bölgesinde olarak yer almaktadır. Buna göre gerçekleştirilen mühendislik yapılarında deprem ivme katsayısı 0.4 g olarak alınmıştır.

Bu tezin konusunu oluşturan Kadıköy-Kartal-Pendik Metro güzergâhının 23+400 ile 24+600 km arasında kalan Yakacık ve Pendik istasyonları ağırlıklı olarak Kartal Formasyonuna ait grovak ve karbonatlı şeyler içerisinde yer almaktadır. Birim genel olarak, siyahımsı mavi renkli, genelde orta dayanımlı yer yer az dayanımlı çok sık kırıklı Grovak ara tabakalı kiltası, silttaşı ve karbonatlı ve mikalı şeylerden oluşmaktadır. Belirli kesimlerinde, özellikle üst düzeylerinde kireçtaşı ara katkılıdır. Grovak ara tabakalı olan karbonatlı şeylerin birim hacim ağırlıkları 2.28 ile 2.84 kN/m<sup>3</sup> arasında değişmekte olup, NGB'ye göre düşük-orta yoğunluklu kaya olarak tanımlanmıştır. Ortalama görünür porozite değeri yaklaşık % 0.1 olup, çok düşük poroziteli kaya sınıfında yer almaktadır [65]. Kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı ortalama 41.43 MPa olup, Deere ve Miller'a göre çok düşük-orta dayanımlı kaya olarak tanımlanmıştır [44]. Ortalama çekme dayanımı 5.36 MPa olarak hesaplanırken, ortalama elastisite modülü 5.84 GPa olarak belirlenmiştir. Kayacın kayma dayanımı parametreleri Mohr Coulomb yenilme kriterine göre belirlenmiş olup, buna göre içsel sürtünme açısı 39 ile 62 derece arasında değişmekte olup, ortalama kohezyon değeri ise 4.63 MPa olarak belirlenmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere kaya kütlelerinin hem indeks hemde jeomekanik özellikleri oldukça geniş aralıkta değişim göstermektedir. Bu durum kaya kütlelerinin oldukça heterojen ve anizotrop karakterde olduğunun bir göstergesidir.

Yakacık ve Pendik İstasyonları için temel kayası konumunda olan Kartal Formasyonuna ait kaya birimlerinin RQD değerleri oldukça geniş bir aralıkta değişmektedir. Yakacık Metro İstasyonu civarında ortalama RQD değerleri % 66 ile 76 arasında değişmekte olup, kaya kalitesi açısından Deere'e göre "Orta Kaya" sınıfında yer almaktadır. Pendik istasyonu civarında yapılan sondajlardan elde edilen karotlara göre ortalama RQD değerleri % 19 ile 69 arasında değişmektedir ve "Çok Zayıf-Orta Kaya" sınıfında yer almaktadır. RMR değerleri ise 35 ile 53 arasında değişmektedir. Pendik İstasyonu'nun bulunduğu bölge kaya sınıfı "Zayıf Kaya" olurken, Yakacık İstasyonu'nun bulunduğu bölgede ise "Orta Kaya" olarak tanımlanmıştır. Pendik istasyonu civarında hesaplanan Q değerleri Yakacık istasyonuna göre daha düşüktür. Ortalama Q değerleri 0.21 ile 1.40 arasında değişmektedir. Kaya kalite göstergelerinin değişken olması özellikle bu litoloji içerisinde yapılacak yeraltı kazılarını önemli derecede etkileyecek karakterdedir.

Kartal Formasyonu grovak ara tabakalı karbonatlı şeyllerden oluşmakla birlikte yer yer diyabaz daykları ve faylar tarafından kesilmiş olup, orta derecede kıvrımlanmış bir kaya birimidir. Buna göre; GSI sistemi uyarınca değerlendirilen birim, tektonik etki altında kırıklı, kıvrımlı ve faylı olmak üzere bozulmuş ve grovak ara tabakalı ve karbonatlı şeyllerden oluşmaktadır. Süreksizlik yüzeyleri az pürüzlü, ayrışma derecesi orta veya kil dolguludur. Buna göre birim GSI değerinin 20 ile 40 arasında kabul edilebilir. Yakacık istasyonunda kazı derinliği tünel aynası bölgesinde yaklaşık 24.00 m'ye kadar ulaşırken, Pendik istasyonunda kazı derinliği tünel aynası bölgesinde yaklaşık 20.00 metre civarındadır. Sıyırma kazısı Yakacık İstasyonunda 3.00-6.00 metre arasında değişmektedir. Pendik istasyonunda ise 2.30 ile 8.00 metre arasında değişmektedir.

Çalışma alanında kullanılan zemin çivisi/kaya bulonlarının uzunlukları 2.00 ile 4.00 metre arasında değişmekte olup, kademe sayısı ise 2 ile 10 arasında değişmektedir. Kademeler arası mesafe ise 1.50 2.00 metre arasında değişmektedir.

Yakacık ve Pendik istasyonlarında toplam 1486 adet mini kazık uygulaması yapılmış olup, bunların 420 adeti Yakacık İstasyonun batı bloğunda, 275 tanesi doğu bloğunda uygulanmıştır. Pendik istasyonunda ise toplam 791 adet mini kazık uygulanmış olup, bunlardan 367 tanesi batı bloğunda 424 tanesi doğu bloğunda uygulanmıştır. Mini kazık uygulaması 30 cm çaplı ve 20 cm aralıklarla yapılmıştır.

Yakacık istasyonunun doğu bloğunda maksimum kademe sayısı 6 olurken, özellikle çevrede bulunan köprü temeli ve diğer yapılara yaklaşılacak kesimlerde ankraj iksa sistemindeki artışa bağlı olarak kademe sayısı artırılmıştır. Pendik istasyonunda ise kademe kazılarının sayısı maksimum 7 olurken, en az kademe sayısı ise 2 ile doğu bloğunun kuzey doğu yamacında oluşturulmuştur.

Ankraj iksa sistemlerinin tamamında kök boyları 8.00 metre olarak uygulanırken, serbest boy uzunluğu zemin koşullarına ve diğer çevresel faktörlere bağlı olarak değişiklik sunmaktadır. Yakacık doğu bloğunda maksimum serbest boy uzunluğu 9.00 metre olurken, en kısa serbest boy uzunluğu 5.00 metre olarak uygulanmıştır. Pendik batı bloğunda serbest boy uzunlukları 5.00 ile 12.00 metre arasında değişirken, doğu bloğunda 5.00 ile 9.00 metre arasında değişmektedir. Projenin tamamında ankraj uygulamaları 15 derecelik açıyla yapılmıştır.

Çalışma alanı genel olarak değerlendirildiğinde, kaya kütle özellikleri fay ve diyabaz dayklarının bulunduğu bölümlerde kaya kalitesini olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu faktörler Pendik istasyonun bulunduğu bölümde daha etkili olmaktadır. Bu durum istasyon ve tünel kazılarını etkileyecek en önemli jeolojik unsur olarak öne çıkmaktadır.

## KAYNAKLAR

1. Yüksel, A., Yeşilçimen, Ö., “Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesindeki Jeolojik ve Jeoteknik Araştırma Çalışmaları”, KAYAMEK’2006-7. *Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu* s. 157-158, İstanbul, 2006.
2. Evren, G., “Kentsel Ulaşımında Raylı Sistemler”, *1. Toplutaşım kongresi*, s. 271-300, Ankara, 1978.
3. Türkkkan, R., “Kentsel Ulaşım Sorununun Nedenleri ve Çözümleri Öncelikle Kentsel Ölçeğin Üstünde Aranmalıdır”, *1. Toplutaşım kongresi*, s. 39-54, Ankara, 1978.
4. Gerçek, H., “Kentsel Ulaşımında Raylı Sistemler; Uygulamalar, Sorunlar ve Gelişmeler”, *2. Toplutaşım Kongresi*, Ankara, s. 533-552, Ankara, 1978.
5. Yayla, N., Gerçek, H., “Kentsel Raylı Sistemler ve Uygulaması“, *Ulaşımında Raylı Taşıt Sempozyumu*, Sakarya Mühendislik Fakültesi, 9-10 Mart, Sapanca Adapazarı, 1989.
6. Çelikkan, S., “Yerleşme Strüktür, Ulaşım Politika Planlaması”, *3. Ulaştırma Kongresi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 1995.
7. Öncü, E., “Ulaşımında Uzun Dönemde Beklenen Gelişmeler ve Eğilimler”, *3. Ulaştırma Kongresi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 1995.
8. Gerçek, H., “Sürdürülebilirlik Açısından İstanbul’da Ulaştırmanın Bugünü ve Geleceği”, *6. Ulaştırma Kongresi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 2005.
9. Yüksel, A., Sözak, N., Gülle, G.,”Kadıköy Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Mühendislik Jeolojisi Raporu”, *Rapor No KK-GE-TR-GN-004*, *Yüksel-Doğuş-Yenigün İnşaat Ortak Girişimi*, İstanbul, 2005.
10. Polat, F.,”İstanbul Yerleşim Alanı İçerisinde Kuvaterner Çökellerin Sıvılaşma Potansiyeli,” *İTÜ, Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2002.

11. Usta, E., "İstanbul Metrosu Yenikapı-Unkapanı Arasının Mühendislik Jeolojisi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, s. 118, 2005.
12. Ocak, İ., Möröy, K., "İstanbul Metrosu 2. Aşama Kazılarında Yüzeysel Oturmalarının Koruyucu Kemer Yöntemi İle Kontrolü", *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, ISSN-1302-3055, s. 79, 2006.
13. Kuşçu, İ., "İstanbul Metrosu Aksaray-Yenikapı Güzergâhının Mühendislik Jeolojisi İncelemesi", *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, 155s. İstanbul 2006.
14. Güven, G., "İstanbul Metrosu Otogar-Kirazlı 1 Arasının Mühendislik Jeolojisi ve Tünel Kazılarına Bağlı Oluşan Deformasyonların Değerlendirilmesi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, 229 s, İstanbul 2009.
15. Tatar, C., "Marmaray Projesi Sirkeci İstasyonunun ve Çevresinin Mühendislik Jeolojisi", *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, 115s, İstanbul 2011.
16. Yüksel, A., Bilgin, B., "Kayanın Jeomekanik Özelliklerinin Metro Tünellerinde Kullanılan Tünel Açma Makinelerinin Performansına Etkisi", *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni Yerbilimleri*, 35 (1), s, 17, 2013.
17. Tchihatcheff, P., "Le Bosphore at Constantinople por P. De Tchihatcheff", Th.Morgand, Paris 1867.
18. Erguvanlı, K., "İmralı Adasının Jeolojisi", *Türkiye Jeo. Kurultayı Bülteni*, 2, 1, s. 118-121, 1949.
19. Abdüsselamoğlu, S., "İstanbul Boğazı Doğusunda Mostra Veren Paleozoik Arazide Stratigrafik ve Paleontolojik Yeni Müşahadeler", *MTA Dergisi*, No.60, s.1-7, 1963.



20. Kaya, O., "İstanbul'un Karbonifer Stratigrafisi", *Türkiye Jeo. Bülteni*, No.16, s.143, 199, 1971.
21. Önalın, M., "Pendik Bölgesi ile Adaların Jeolojisi ve Sedimanter Özellikleri", *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi Jeoloji Bölümü Doçentlik Tezi*, 156s, İstanbul, 1982.
22. Akyüz, H.S., "İstanbul Boğazı Batısının Jeolojisi", *İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi*, 90s, İstanbul, 1987.
23. Önalın, M., "İstanbul Devonyen İstifindeki Yumrulu Kireçtaşlarının Oluşumu", *MTA Dergisi* s. 37, 1990.
24. Meriç, E., Oktay, F., Y., Sakınç, M., Gülen, D., Ediger, V. S., Meriç, N., Özdoğan, M., Kuşdili (Kadıköy-İstanbul) Kuvaterner'inin Sedimanter Jeolojisi ve Paleokolojisi, *Cumhuriyet Üniv. Mühendislik Fak. Dergisi*, C 8, s. 1, 1991.
25. Zarif, İ.H., Tuğrul, A., Dursun, G., "İstanbul'daki Kireçtaşlarının Agrega Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi", *İstanbul Üniv. Mühendislik Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C.16, s.61-70, 2003.
26. Eriş, İ., Şennazlı, N., Orhan,Ş., Biberoglu, S., "Kartal-Kaynarca Metro İnşaat ve Elektromekanik Sistemler Temin, Montaj ve İşletmeye Alma İşleri Jeolojik ve Jeoteknik Araştırma Raporu" *SİAL (yayımlanmamış)*, İstanbul, 2009.
27. Safir, "İstanbul İli, Kartal-Kaynarca Metro İnşaat ve Elektromekanik Sistemler Temin, Montaj ve İşletmeye Alma İşlerine Ait Ek Sondaj ve Laboratuvar Çalışması" *SAFİR (yayımlanmamış)İstanbul*, 2013.
28. Terzaghi, K., "Introduction to Tunnel Geology.", *Rock tunneling with steel supports*. Proctor and White, p.5-153, 1946.
29. Yılmaz, Ö., "Karabük Kısıklı Tünelli Geçişinin Jeotekniği", *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, s. 52-53, ve s. 10-16, Adana, 2009.

30. Gedik, İ., Pehlivan, Ş., Timur, E., Duru, M., Altun, İ., Akbaş, B., Özcan, İ., Alan, İ., “Kocaeli Yarımadasının Jeolojisi.”, *MTA Raporu No: 10774 Ankara (yayımlanmamış)*, 2005.
31. Kaya, O., “İstanbul Ordovisiyen ve Silüriyen”, *H.Ü. Yerbilimleri Dergisi, C.4, no: 1-2*, 1978.
32. Önalın, M., “İstanbul Ordovisiyen ve Silüriyen İstifinin Çökelleme Ortamları”, *İ.Ü. Yerbilimleri dergisi 2*, s 161-167, 1981.
33. Sayar, C., “Boğaziçi Arazisinde Ordovisiyen Conulariaları”, *TJK Bül., C.XII. s.1-2*, 1969.
34. Dean, W.T., Martin, F., Monod, O., Demir, O., Rickards, R.B., Bultynck, P., and Bozdoğan, N., “Lower Paleozoic Stratigraphy, Karadere-Zirve Area, Central Pontides, Northern Turkey (Early Paleozoic Evolution in NW Gondwana)”, *IGSP Project No.351, Third International Meeting, November Geologist, Special Publication No: 3*, s 32-38, Ankara, 1997.
35. Abdüselamoğlu, M.S., “Almacık Dolayı ile Mudurnu ve Göynük Civarının Jeolojisi”, *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri (Tabii İlimler Kısmı)*, C. 14, 94s. 1959.
36. Sayar, C., “İstanbul Çevresinden Ordovisiyen Brakiyopodları”, *T.J.K. Bülteni C. 27*, s 2, 99-109, 1984.
37. Kaya, O., “The Devonian and Lower Carboniferous Stratigraphy of the İstinye, Bostancı and Büyükkada Subareas Paleozoik of İstanbul”, *Ege Üniv. Fen Fakültesi Yayını*, No:40, s.1-36, 1973.
38. Önalın, M., “İstanbul Devoniyen Çökellerinin Sedimanter Özellikleri”, *İst. Üniv. Yerbilimleri Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, C.6, s.1-2, s.93-108, İstanbul, 1987/1988.
39. Özgül, N., “İstanbul İl Alanının Jeolojisi”, İ.B.B. Deprem Risk Yönetimi Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, İstanbul Kent Jeolojisi Projesi, İstanbul, 2011.

40. OYO, “Anadolu Yakası Mikro Bölgeleme Rapor ve Haritaların Yapılması”, *İstanbul (yayımlanmamış)*, 2009.
41. Barka, A.A., “İstanbul’un Depremselliğini Oluşturan Tektonik Yapılar ve İstanbul için Mikrobölgeleme denemesi”, *İstanbul ve Deprem Sempozyumu*, İMO İstanbul Şubesi, s 35-56, 1991.
42. Emre, Ö., Doğan, A., Duman, T. Y., Özalp, S., Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, “1:250 000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Bursa (NK 35-12) Paftası”, Seri No: 9, Ankara-Türkiye, 2011.
43. İnternet <http://www.koeri.boun.edu.tr>), 2014.
44. Deere, D.U., Miller, R.P., Air Force Weapons Laboratory Technical Report “Engineering classification and index properties for intact rock”, volume I-II, Leonard Hill, 270p, 1966.
45. Hoek, E., Brown, E.T., 1980a, “Underground excavations in rock”,. *Institution of Mining and Metallurgy, Stephen Austin and Sons*, London, 527s. 1980b. Rock Mass Classification. Hoek’s Corner., Alıntı: Aralık 2007. [www.rocscience.com](http://www.rocscience.com)
46. Yılmaz, Ö., “Karabük Kısıklı Tüneli Geçişinin Jeotekniği”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, s. 52-53, ve s. 10-16, Adana, 2009.
47. Deere, D.U., “Technical description of rock cores for engineering purposes”, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, p. 1, 17-22, 1964.
48. Deere, D.U., Deere, D.W., “The Rock Quality (RQD) index in practice, In rock classification system for engineering purposes”, *L.Kirkaldie (ed.)*, ASTM, Spl Publ, 984, p. 91-101, Philadelphia, 1988.
49. Deere, D U., “Rock quality designation (RQD) after twenty years”, *U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1*, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS (67), 1989.

50. Grenon, M., and Hadjigeorgiou, J., "Evaluating discontinuity network characterization tools through mining case studies", *Soil Rock America Boston*, Vol:1 s.137-142, 2003.
51. Deere, D., "Geological Considerations Rock Mechanics in Engineering Practice", *ed. R.G. Stage and D.C. Zienkiewicz, Wiley. Newyork*, p. 1-20, 1968.
52. Bieniawski, Z. T., "Engineering classification of rock masses", *Trans. South African Inst. Civil Engineering*, 15, p. 335-344, 1973.
53. Hoek, E., "Strength of rock and rock masses", *ISRM News Journal*, 2(2), 4-16 1994.
54. Barton, N.Lien and R.Lunde, "Engineering Classification of rock masses , for the desing of tunnel, support Rock Mechanics", 6(4), s. 183-236, 1974.
55. Hoek, E., "A Brief History the Development of the Hoek-Brown Failure Criterion", Discussion Paper 7, [http://www.roscience.com/Hoek's Corner](http://www.roscience.com/Hoek's%20Corner), p. 9 p, last date accessed June, 2004.
56. Barton, N., "Some New Q-Value Correlations to Assist In Site Characterizations and Tunnel Design", *International Journal of rock Mechanics ve Mining. Vol:39, s.185-216*, 2002.
57. Olson, R.E., "Shearing strengths of kaolinite, illite and montmorillonite", *Proc. A.S.C.E., Jl, Geotec. Engn. Div., 100p, No. 10947*, p, 1215-1229, 1974.
58. Grimstad, E., Barton, N., "Updating of the Q-system for NMT", *International symposium on sprayed concrete,. Proceedings*, s. 46-66, 1993.
59. Marinos, P., and Hoek, E.," Estimating the geotechnical properties of heterogenous rock massessuch as flysch",. *Bulletin of the Engineering Geology ve the Environment /IAEG) Vol:60, s.85-92*, 2001.

60. Yüksel Proje Uluslar Arası A.Ş, “Pendik İstasyonu Batı Blok Kazı İksa Hesap Raporu (a)”, *YÜKSEL*, *SOA-S02-CT0-CE-35-101-C0*, (*Yayımlanmamış*), İstanbul, 2013.
61. Yüksel Proje Uluslar Arası A.Ş, “Pendik İstasyonu Doğu Blok Kazı İksa Hesap Raporu (b)”, *YÜKSEL*, *SOA-S02-CT0-CE-35-201-C0*, (*Yayımlanmamış*), İstanbul, 2013.
62. Yüksel Proje Uluslar Arası A.Ş, “Yakacık İstasyonu Batı Blok Kazı İksa Hesap Raporu (c)”, *YÜKSEL*, *SOA-S01-CT0-CE-35-101-C1*, (*Yayımlanmamış*), İstanbul, 2013.
63. Yüksel Proje Uluslar Arası A.Ş, “Yakacık İstasyonu Doğu Blok Kazı İksa Hesap Raporu(d)”, *YÜKSEL*, *SOA-S01-CT0-CE-35-201-C1*, (*Yayımlanmamış*), İstanbul, 2013.
64. İnternet (<http://www.fermanoglu.com.tr>), 2014.
65. NGB (Norwegian Group for Rock Mechanics), “Engineering Geology and Rock Engineering,” Handbook No 2, 249 p 1985.

## ÖZGEÇMİŞ

Ümit YALÇIN 1987 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2004 yılında Sağmalcılar Lisesinden mezun oldu. 2005'te kazandığı Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2011 yılında mezun oldu. 2012 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamış olup, halen çalışmalara devam etmektedir.



