

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR MİKROTÜNEL MAKİNESİNİN FARKLI JEOLJİK ORTAMLARDA
KAZI PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ
Ahmet Barış AKKAYA

Anabilim Dalı : Maden Mühendisliği

Programı : Maden Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR MİKROTÜNEL MAKİNESİNİN FARKLI JEOLJİK ORTAMLARDA
KAZI PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ
Ahmet Barış AKKAYA
(505002200)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Haziran 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hanifi ÇOPUR (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nuh BİLGİN (İTÜ)
Prof. Dr. Ali KAHRİMAN (Okan Ü)
Prof. Dr. Mustafa ERDOĞAN (İTÜ)
Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN (İÜ)

HAZİRAN 2011

Anneme, eşime ve çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Madencilik uygulamalarının yanı sıra, giderek artan yeraltı yapı ihtiyacı tünel kazı teknolojilerinin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Değişik koşullarda başarı ile uygulanan mekanize sistemlerin geliştirilmesi zorunluluğu doğmuştur. Mikrotünelcilik bu gereksinimlerin bir sonucudur.

Bu çalışmada İstanbul'da değişik formasyonlarda ve farklı koşullarda açılan mikrotünel projelerinin kazı performans etütleri yapılarak ileride yapılacak projelere ışık tutarak daha etkin ve verimli kazı yapılmasını sağlayacak bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Çalışmalarım sırasında danışmanlığımı yapan, yardımları ve yönlendirmeleriyle ufku açan danışmanım Doç.Dr.Hanifi ÇOPUR'a özellikle teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitesi üyeleri Prof.Dr.Nuh BİLGİN, Prof.Dr.Ali KAHRİMAN'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca fikirleri ve yardımlarıyla tezime yön veren Prof.Dr. Mustafa ERDOĞAN, Prof.Dr. Nuri AKÇİN ve Prof.Dr.Ataç BAŞÇETİN'e minnetlerimi sunarım.

Tez aşamasında hertürlü bilgiyi sağlayan CET İnşaat Ltd. Şirketi'ne ve doktora öğrenimim sürecinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen İnşaat Yük.Müh. Ahmet Tuncer AKTAN'a, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İSKİ)'ne İnşaat Müh. Hakan Murat YÜCEL'e, İnşaat Müh. Nadir OMAÇ'a, jeolojik/jeoteknik konularda bilgilerini paylaşan İ.B.B. Coğrafi Bilgi Sistemi Müdürü Sayın Hamdi ÇİNAL'e, İ.B.B. Deprem ve Zemin İnceleme Müdürü Mahmut BAŞ'a ve Ayşe ZEREN'e, ayrıca bana ağabeylik yapan Maden Müh. Muammer ÇINAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Modelleme yaparken değerli katkılarını paylaştan Yrd.Doç.Dr. Kenan MELEMEZ'e, Endüstri Müh. İsmail YARDIMCI'ya, Metalurji Yük.Müh. Yılmaz KAÇAR'a ve Elektronik Mühendisi Haluk AVCIOĞLU'na teşekkür ederim.

Bu tezin tamamlanmasında manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim fedakar eşim Şule'ye, hem annelik hem babalık yapan anneme, ağabeyim Mehmet Savaş'a, İstanbul'da yaptığım çalışmalara maddi-manevi destek veren Eser TAŞPINAR'a, çalışmalarımda manevi desteklerini hissettiğim amirlerim ve mesai arkadaşlarım Maden Yük.Müh. Yavuz DAĞABAK'a, Maden Müh. Tayfun KOSTAK'a teşekkürleri bir borç bilirim.

Haziran 2011

Ahmet Barış AKKAYA

Maden Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET.....	xxvii
SUMMARY	xxix
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Yöntem ve Kapsam	5
2. LİTERATÜR TARAMASI	7
2.1 Mikrotünel Yöntemi	7
2.1.1 Tanım, tarihsel gelişim, uygulama esasları, avantaj-dezavantajları.....	7
2.1.2 Mikrotünelciliğin unsurları	12
2.1.2.1 Kazı kısmı.....	12
2.1.2.2 Boru hattı.....	12
İtme boruları ve özellikleri.....	12
Ara itme istasyonları.....	13
2.1.2.3 İtme kuyusu.....	13
İtme ekipmanı.....	13
İtme duvarı.....	14
2.1.2.4 Yerüstü unsurları.....	14
2.1.3 Mikrotünel yöntemlerinin sınıflandırılması	14
2.1.3.1 Kazısız yöntemler.....	14
2.1.3.2 Kazılı yöntemler.....	14
Çamur basınçlı (Slurry) MTBM'ler.....	14
Pasa basınçlı (EPB) MTBM'ler.....	15
2.1.4 Mikrotünel makinelerinde pasa nakliye sistemleri	15
2.1.4.1 Burgulu sistemler (Auger).....	15
2.1.4.2 Çamurlu su sistemi (Slurry).....	16
2.1.5 Mikrotünel yöntemi seçimi	16
2.1.5.1 Jeoteknik koşullar.....	16
Yeryüzü çökme potansiyeli.....	16
Doğal zorluklar.....	17
Kazılan malzeme ve yeraltı suyu.....	17
2.1.5.2 Boru malzemeleri ve ölçüleri.....	17
2.1.5.3 İtme uzunluğu ve derinlik.....	18
2.1.5.4 Yönlendirilebilme kapasitesi ve yönlendirme sistemleri.....	18
2.1.5.5 Saha sınırlamaları.....	18
2.2 Kazı Makinelerinin Performans Tahmini.....	18

2.2.1 Performans terminolojisi	20
2.2.1.1 Net kazı hızı	20
2.2.1.2 İlerleme hızı	21
2.2.1.3 Makine kullanım oranı	21
2.2.1.4 Makinenin kullanılabilirlik oranı	21
2.2.1.5 Makinenin güvenilirlik oranı	21
2.2.1.6 Keski tüketim hızı	21
2.2.2 Mikrotünel kazılarında performansı etkileyen faktörler	21
2.2.2.1 Jeolojik ve jeoteknik faktörler	21
2.2.2.2 Mekanik (Makine ile ilgili faktörler)	21
Makine tipi	21
Kesici kafa özellikleri	22
Keskiler ve özellikleri	22
Makine teknik özellikleri	23
2.2.2.3 İşletme/Çalışma (Operational) faktörleri	24
Sürüş uzunluğu	24
Ara itme istasyonu kullanımı	24
Boru uzunluğu	24
Boru malzemesi	24
Hattın doğrultusu	25
Hattın derinliği	25
Yeraltı suyu koşulları	25
Yağlama (sürtünme azaltıcı, kayganlaştırıcı) sistemler	25
Ayrıştırma ünitesi	27
Operatör deneyimi	27
Çamur akış hızı	27
Su jetleri kullanımı	27
Kuyu tasarımı	27
Teknik destek	27
2.2.3 Kaya ve zemin ortamlar için kazı hızı tahmin yöntemleri	28
2.2.3.1 Kazı deneyleri	28
Tam boyutlu kesme deneyi	28
Küçük boyutlu kesme deneyi	28
İndeks deneyler	29
2.2.3.2 Zemin deneyleri	31
Standart penetrasyon testi (SPT)	31
Zeminlerde likit limit, plastik limit ölçümü ve plastisite indisinin bulunması	31
Elek analizi	32
2.2.3.3 Ampirik yöntemler	33
2.2.3.4 Kazı makinelerinin laboratuarda denenmesi	33
2.2.3.5 Kazı makinelerinin arazide denenmesi	33
2.3 Mikrotünel itme kuvvetleri	33
2.3.1 İtme kuvvetlerine etki eden faktörler	34
2.3.1.1 Zemin tipi	34
2.3.1.2 Yeraltı suyu	35
2.3.1.3 Aşırı kazı	35
2.3.1.4 Yağlama (kayganlaştırıcı)	35
2.3.1.5 Doğrultu sapmaları	36
2.3.1.6 Duraklamalar	36

2.3.1.7 Boru kaplamaları.....	37
2.3.1.8 Membranlar.....	37
2.3.1.9 Ara itme istasyonları.....	37
2.3.2 Kaya ve zemin ortamlar için itme ve sürtünme kuvvetleri tahmin yöntemleri	37
2.3.2.1 Teorik yöntemler.....	38
2.3.2.2 Ampirik yöntemler.....	41
2.4 Mikrotünel Maliyetleri	42
2.4.1 Mikrotünel maliyetlerine etki eden faktörler ve maliyet türlerinin sınıflandırılması	43
2.4.1.1 Birincil (Doğrudan) maliyetler.....	46
2.4.1.2 İkincil (Dolaylı, Sosyal) maliyetler.....	46
2.4.1.3 Risk maliyetleri.....	48
2.4.2 Mikrotünel maliyet belirleme yöntemleri	50
2.4.2.1 Proje maliyet planı.....	50
2.4.2.2 Fiyat teklifi veya fiyat müzakeresi.....	50
2.4.2.3 Verim maliyeti.....	50
2.4.2.4 Efektif maliyet.....	50
2.4.2.5 Maliyet tahmin yöntemleri.....	51
3. PROJELER, JEOLJİ VE EKİPMAN TANITIMI.....	57
3.1 Gözlem Yapılan Projelerin Genel Tanıtımı	57
3.1.1 Kurbağalıdere projesi tanıtımı	58
3.1.2 Bostancı projesi tanıtımı	59
3.1.3 Küçükköy projesi tanıtımı.....	60
3.1.4 Çırpıcı projesi tanıtımı	60
3.1.5 Nakkaşdere projesi tanıtımı	60
3.1.6 Diğer projelerin tanıtımı.....	60
3.2 Güzergahların Tanıtımı ve Jeolojisi, Sondaj Verileri, Jeoteknik / Mekanik Özellikleri.....	63
3.2.1 Kurbağalıdere yatay geçiş inşaat jeolojisi ve mühendislik özellikleri.....	64
3.2.1.1 Ş-387 sondajı.....	65
3.2.1.2 Ş-388 sondajı.....	65
3.2.1.3 Ş-389 sondajı.....	66
3.2.1.4 Ş-400 sondajı.....	67
3.2.1.5 Ş-401 sondajı.....	67
3.2.1.6 Ş-K5A sondajı.....	67
3.2.1.7 Güzergahın mühendislik değerlendirilmesi.....	68
3.2.2 Bostancı yatay geçiş inşaat jeolojisi ve mühendislik özellikleri.....	68
3.2.2.1 S3 sondajı.....	72
3.2.2.2 M-14-2 sondajı.....	72
3.2.2.3 M-15-1 sondajı.....	72
3.2.2.4 M-15-6 sondajı.....	73
3.2.2.5 M-15-7 sondajı.....	73
3.2.2.6 Güzergahın mühendislik değerlendirilmesi.....	73
3.2.3 Alibeyköy – Küçükköy yatay geçiş inşaat jeolojisi	75
3.2.3.1 Küçükköy kumtaşı üyesi.....	76
3.2.3.2 Çamurluhan şeyl üyesi.....	77
3.2.4 Merter - Çırpıcı yatay geçiş inşaat jeolojisi	77
3.2.5 Diğer bölgelerin jeolojisi	78
3.2.6 Güzergah, jeoloji ve sondaj verilerinin özeti	78

3.3 Kullanılan Ekipman ve Özellikleri.....	84
3.3.1 Mikrotünel makinesi	84
3.3.1.1 Kesici kafa.....	87
3.3.1.2 Yönlendirme borusu.....	87
3.3.1.3 Kalkan.....	87
3.3.1.4 Kuyruk borusu.....	88
3.3.2 Kuyu ekipmanı	88
3.3.2.1 İtme ekipmanı.....	89
3.3.2.2 Lazer yönlendirme cihazı.....	90
3.3.3 Yüzey ekipmanı.....	91
3.3.3.1 Kontrol konteyneri.....	92
3.3.3.2 Çamur ayırma sistemi.....	92
3.3.3.3 Pompalar.....	93
3.3.3.4 Yağlama ünitesi.....	93
3.3.4 Kuyular.....	93
3.3.5 Borular.....	95
4. PERFORMANS ANALİZİ VE NET KAZI HIZI TAHMİN MODELİ GELİŞTİRİLMESİ	99
4.1 Genel.....	99
4.2 Arazi Gözlemleri, Vardiya Raporları ve Makine Kayıtlarına Göre Performans Belirlenmesi.....	100
4.3 Gerçekleşen Performansların Özeti.....	104
4.3.1 Kurbağalıdere Bölgesi Performans Özeti.....	104
4.3.2 Bostancı Bölgesi Performans Özeti.....	106
4.3.3 Küçükköy Bölgesi Performans Özeti.....	107
4.3.4 Çırpıcı Bölgesi Performans Özeti	108
4.3.5 Nakkaşdere Bölgesi Performans Özeti.....	109
4.3.6 Avcılar bölgesi performans özeti	113
4.3.7 Dudullu bölgesi performans özeti	114
4.3.8 Küçüksu Bölgesi Performans Özeti	115
4.3.9 Genel performans (net kazı hızı) veri özeti.....	116
4.4 Bölge ve Formasyonlara Göre Performans Karşılaştırması	116
4.4.1 Günlük ilerleme hızlarının analizi.....	116
4.4.2 Net kazı hızlarının analizi	128
4.4.3 Makine kullanım oranlarının analizi	134
4.4.4 Makinenin kullanılabilirlik oranı	139
4.4.5 Makinenin güvenilirlik oranı.....	139
4.5 Keski Tüketimleri.....	140
4.6 Mikrotünel Kazı Çalışmalarında Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Uygulamaları	140
4.6.1 Kesici kafanın bloke olması	141
4.6.2 Siklonun aşınması	141
4.6.3 Elektrik arızası.....	141
4.6.4 Dolgu malzemesinde demir parçasına rastlanması	142
4.6.5 Disk keskinin aşınması.....	142
4.6.6 Çamur pompasındaki arızalar.....	143
4.6.7 Dirsek aşınmaları.....	143
4.7 Net Kazı Hızı Tahmini İçin Ampirik Bir Modelin Geliştirilmesi	143
5. SÜRTÜNME KUVVETLERİ ANALİZİ VE TAHMİN MODELİ GELİŞTİRİLMESİ	147

5.1 Genel	147
5.2 Gerçekleşen Sürtünme Kuvvetleri Özeti ve Analizi	147
5.3 Sürtünme Kuvveti Tahmini için Ampirik Bir Modelin Geliştirilmesi	166
5.4 Geliştirilen Modelin Literatür İle Kıyaslanması ve Tartışma	169
6. MİKROTÜNEL MALİYET ANALİZİ	171
7. SONUÇLAR	179
KAYNAKLAR	183
EKLER.....	189
ÖZGEÇMİŞ.....	341

KISALTMALAR

ASTM	: Amerikan Society for Testing Materials
ELS	: Mikrotünel Makinesi Lazarli Kılavuz Sistemi (Elektronik Laser System)
EPB	: Pasa Basınçlı (Earth Pressure Balance)
GTS	: Jiroskop Yönlendirme Sistemi (Gyro Tunnelling System)
HDD	: Yatay Yönlendirilebilir Sondaj (Horizontal Directional Drilling)
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
ICR	: Net Kazı Hızı
MFO	: Makineden Faydalanma Oranı
MTBM	: Mikrotünel Açma Makinesi (Microtunnel Boring Machine)
RMR	: Kayaç Kütle İndeksi
RQD	: Kayaç Kalite İndeksi
SE	: Spesifik Enerji
SPSS	: Sosyal Bilimler için İstatistik Paketi (Statistical Packages for the Social Sciences)
SPT	: Standard Penetrasyon Deneyi
S.S.	: Standart Sapma
TBM	: Tam Cepheli Tünel/Galeri Açma Makinesi (Tunnel Boring Machine)
TCR	: Toplam Karot Randımanı
BSK	: Birim Sürtünme Kuvveti
BSM	: Birim Sürtünme Modeli
NKH	: Net Kazı Hızı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Küçük çaplı tünel açma sistemleri.....	19
Çizelge 2.2 : Çeşitli durumlar için ELS teknik verileri.....	20
Çizelge 2.3 : Performans Tahmin Modelleri.....	28
Çizelge 2.4 : Cerchar aşınma indeksine göre kayaç aşındırıcılıkları.....	31
Çizelge 2.5 : Sürtünme katsayıları (f).....	40
Çizelge 2.6 : Mikrotünel ve aç-kapa yöntemlerinde sosyal maliyet hesaplamaları.....	48
Çizelge 2.7 : Mikrotünel projeleri için genel kontrol listesi.....	52
Çizelge 2.8 : Mikrotünel ve aç-kapa için hesaplanan maliyet aralıkları ve olasılıklar.....	54
Çizelge 3.1 : Bölgelere göre mikrotünel uzunlukları.....	57
Çizelge 3.2 : Projede çalışan personel dağılımı (2005 Yılı).....	58
Çizelge 3.3 : Kurbağalıdere projesi itişler ve uzunlukları	59
Çizelge 3.4 : Bostancı projesi itişler ve uzunlukları	59
Çizelge 3.5 : Küçükköy projesi itişler ve uzunlukları	60
Çizelge 3.6 : Çırpıcı projesi itişler ve uzunlukları	61
Çizelge 3.7 : Nakkaşdere projesi itişler ve uzunlukları	62
Çizelge 3.8 : Diğer projelerdeki itişler ve uzunlukları	62
Çizelge 3.9 : Bölgeleri temsil eden numunelerin sondaj verileri ve laboratuvar sonuçları	82
Çizelge 3.10 : Makine elemanları ile ilgili teknik veriler	86
Çizelge 3.11 : Kuyruk borusu teknik özellikleri	89
Çizelge 3.12 : Yatay ve düşey yer değiştirmeler için menziller ve doğruluktan sapmalar	91
Çizelge 3.13 : Düzenleme ve bakım ile ilgili bilgiler	91
Çizelge 3.14 : Lazer hedef aleti ile ilgili teknik veriler	91
Çizelge 3.15 : İtme ve çıkış kuyularının duvar kalınlıkları	94
Çizelge 3.16 : İncelenen projelerdeki itme ve çıkış kuyusu ölçüleri	96
Çizelge 3.17 : Projelerde kullanılan boru ölçüleri	97
Çizelge 4.1 : Anlık olarak her 20 cm ilerlemede kaydedilen veriler	101
Çizelge 4.2 : Anlık olarak kaydedilen verilerin açıklamaları	102
Çizelge 4.3 : Analizlerde hesaplanan veri listesi	103
Çizelge 4.4 : Kurbağalıdere bölgesi süre-ilerleme ilişkisi	105
Çizelge 4.5 : Kurbağalıdere bölgesi zemin- kazı hızı ilişkisi	105
Çizelge 4.6 : Bostancı bölgesi süre-ilerleme ilişkisi.....	106
Çizelge 4.7 : Bostancı bölgesi zemin- kazı hızı ilişkisi	107
Çizelge 4.8 : Küçükköy bölgesi süre-ilerleme ilişkisi	107
Çizelge 4.9 : Çırpıcı bölgesi süre-ilerleme ilişkisi.....	110
Çizelge 4.10 : Çırpıcı bölgesi zemin- kazı hızı ilişkisi	111
Çizelge 4.11 : Nakkaşdere bölgesi süre-ilerleme ilişkisi.....	112

Çizelge 4.12 : Nakkaşdere bölgesi zemin- kazı hızı ilişkisi	112
Çizelge 4.13 : Avcılar bölgesi süre-ilerleme ilişkisi	113
Çizelge 4.14 : Avcılar bölgesi zemin- kazı hızı ilişkisi	114
Çizelge 4.15 : Dudullu bölgesi süre-ilerleme ilişkisi	115
Çizelge 4.16 : Dudullu bölgesi zemin- kazı hızı ilişkisi	115
Çizelge 4.17 : Kullanılan proje, sondaj ve laboratuvar verileri özeti.	117
Çizelge 4.18 : Kurbağalıdere bölgesi ortalama ve en iyi günlük ilerleme hızları. ..	118
Çizelge 4.19 : Bostancı bölgesi ortalama ve en iyi günlük ilerleme hızları.	118
Çizelge 4.20 : Küçükköy bölgesi ortalama ve en iyi günlük ilerleme hızları.....	118
Çizelge 4.21 : Çırpıcı bölgesi ortalama ve en iyi günlük ilerleme hızları.	119
Çizelge 4.22 : Nakkaşdere bölgesi ortalama ve en iyi günlük ilerleme hızları.	119
Çizelge 4.23 : Diğer bölgeler ortalama ve en iyi günlük ilerleme hızları.....	119
Çizelge 4.24 : Formasyonlara göre sürüş uzunlukları ve ilerleme hızları.	120
Çizelge 4.25 : Kurbağalıdere bölgesi net kazı hızları.	130
Çizelge 4.26 : Bostancı bölgesi net kazı hızları.	130
Çizelge 4.27 : Küçükköy bölgesi net kazı hızları.	130
Çizelge 4.28 : Nakkaşdere bölgesi net kazı hızları.	131
Çizelge 4.29 : Çırpıcı bölgesi net kazı hızları.....	131
Çizelge 4.30 : Diğer bölgelerin net kazı hızları.	131
Çizelge 4.31 : Bölgelerin ortalama net kazı hızları.	132
Çizelge 4.32 : Bölgelerin ortalama makine kullanım oranı.	135
Çizelge 4.33 : Projelerin program mesai saatleri.	138
Çizelge 4.34 : Bölgelerin ortalama makine kullanılabilirlik oranı.	139
Çizelge 4.35 : Bölgelerin ortalama makine güvenilirlik oranı.	140
Çizelge 4.36 : Net kazı hızı tahmin modelinde kullanılan proje, sondaj ve laboratuvar verileri.	146
Çizelge 5.1 : Proje bazında itme kuvvetleri karşılaştırması.....	150
Çizelge 5.2 : Tüm formasyonlara göre ortalama birim sürtünme kuvvetleri.....	153
Çizelge 5.3 : Bölgelere göre tüm formasyonların ortalama birim sürtünme kuvvetleri ve TCR (%) değerleri.	155
Çizelge 5.4 : Formasyonlara göre kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.	157
Çizelge 5.5 : Bölgelere göre kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri ve TCR (%) değerleri.	159
Çizelge 5.6 : Formasyonlara göre bentonit kullanılmayan kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.	160
Çizelge 5.7 : Bölgelere göre bentonit kullanılmayan kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri ve TCR (%) değerleri.	162
Çizelge 5.8 : Formasyonlara göre bentonit kullanılan kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.....	162
Çizelge 5.9 : Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerdeki itme kuvvetleri ile derinlikler.	166
Çizelge 5.10 : Ortalama birim sürtünme kuvvet modelinde kullanılan proje, sondaj ve laboratuvar verileri.	168
Çizelge 5.11 : Birim sürtünme kuvvetlerinin fiili, hesaplanan ve diğer modellerle karşılaştırılması.	170
Çizelge 6.1 : 1 metre boru itme (kazı) maliyeti	172
Çizelge 6.2 : Boru imal maliyeti	173

Çizelge 6.3 : 1.800-2.200 mm çaplı boru için dikdörtgen kuyu imal maliyeti[79].	174
Çizelge 6.4 : 250 – 2.200 mm iç çaplı borularla hipotetik 500 m mikrotünel uygulaması için toplam maliyet	178
Çizelge G.1 : Kurbağalıdere 402 numaralı kuyudan 401 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	281
Çizelge G.2 : Kurbağalıdere 400 numaralı kuyudan 389 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	281
Çizelge G.3 : Kurbağalıdere 389 numaralı kuyudan 388 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	281
Çizelge G.4 : Kurbağalıdere 388 numaralı kuyudan 387 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	282
Çizelge G.5 : Bostancı M14-2 numaralı kuyudan M15 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	282
Çizelge G.6 : Bostancı M15 numaralı kuyudan M15-1 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	282
Çizelge G.7 : Bostancı M15-1 numaralı kuyudan M15-2 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	283
Çizelge G.8 : Bostancı M29A numaralı kuyudan M29B numaralı kuyuya net kazı hızları.....	283
Çizelge G.9 : Küçükköy M1 numaralı kuyudan M2 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	284
Çizelge G.10 : Küçükköy M3 numaralı kuyudan M4 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	284
Çizelge G.11 : Küçükköy M7 numaralı kuyudan M6 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	285
Çizelge G.12 : Küçükköy M5 numaralı kuyudan M6 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	285
Çizelge G.13 : Küçükköy M5 numaralı kuyudan M4 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	286
Çizelge G.14 : Küçükköy N3 numaralı kuyudan N4 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	286
Çizelge G.15 : Küçükköy N5 numaralı kuyudan N4 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	287
Çizelge G.16 : Küçükköy N2 numaralı kuyudan N3 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	287
Çizelge G.17 : Nakkaşdere N16 numaralı kuyudan N16A numaralı kuyuya net kazı hızları.....	288
Çizelge G.18 : Çırpıcı MPJ3 numaralı kuyudan MPJ4 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	288
Çizelge G.19 : Çırpıcı MPJ2 numaralı kuyudan MPJ3 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	289
Çizelge G.20 : Çırpıcı MPJ2 numaralı kuyudan MPJ1 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	289
Çizelge G.21 : Çırpıcı MPJ18 numaralı kuyudan MPJ9 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	289
Çizelge G.22 : Çırpıcı MPJ8 numaralı kuyudan MPJ9 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	290
Çizelge G.23 : Çırpıcı MPJ5 numaralı kuyudan MPJ6 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	290

Çizelge G.24 : Çırpıcı MPJ18 numaralı kuyudan MPJ17 numaralı kuyuya net kazı hızları.....	291
Çizelge G.25 : Avcılar net kazı hızları.....	291
Çizelge G.26 : Dudullu net kazı hızları.....	292
Çizelge H.1 : Kurbağalıdere kullanım oranları.....	295
Çizelge H.2 : Bostancı kullanım oranları.....	295
Çizelge H.3 : Küçükköy kullanım oranı.....	296
Çizelge H.4 : Çırpıcı kullanım oranları.....	296
Çizelge H5 : Nakkaşdere kullanım oranları.....	297
Çizelge H6 : Avcılar-Dudullu kullanım oranları.....	297
Çizelge I1 : Kurbağalıdere kullanılabilirlik oranları.....	299
Çizelge I2 : Bostancı kullanılabilirlik oranları.....	299
Çizelge I3 : Küçükköy kullanılabilirlik oranları.....	300
Çizelge I4 : Çırpıcı kullanılabilirlik oranları.....	300
Çizelge I5 : Nakkaşdere kullanılabilirlik oranları.....	301
Çizelge I6 : Avcılar-Dudullu kullanılabilirlik oranları.....	301
Çizelge J1 : Kurbağalıdere güvenirlilik oranları.....	303
Çizelge J2 : Bostancı güvenirlilik oranları.....	303
Çizelge J3 : Küçükköy güvenirlilik oranları.....	304
Çizelge J4 : Nakkaşdere güvenirlilik oranları.....	304
Çizelge J5 : Çırpıcı güvenirlilik oranları.....	305
Çizelge J6 : Avcılar-Dudullu güvenirlilik oranları.....	305
Çizelge K1 : Mikrotünel açma faaliyetleri.....	307
Çizelge K2 : H-1 mikrotünel açma faaliyetleri.....	307
Çizelge K3 : H-2 mikrotünel açma faaliyetleri.....	307
Çizelge K4 : H-3 mikrotünel açma faaliyetleri.....	308
Çizelge K5 : H-4 mikrotünel açma faaliyetleri.....	308
Çizelge K6 : H-5 mikrotünel açma faaliyetleri.....	309
Çizelge K7 : H-6 mikrotünel açma faaliyetleri.....	309
Çizelge K8 : H-7 mikrotünel açma faaliyetleri.....	309
Çizelge K9 : H-8 mikrotünel açma faaliyetleri.....	309
Çizelge K10 : H-9 mikrotünel açma faaliyetleri.....	310
Çizelge K11 : H-11 mikrotünel açma faaliyetleri.....	310
Çizelge K12 : Bos-3 mikrotünel açma faaliyetleri.....	311
Çizelge K13 : H-10 mikrotünel açma faaliyetleri.....	312
Çizelge K14 : H-12 mikrotünel açma faaliyetleri.....	312
Çizelge K15 : H-13 mikrotünel açma faaliyetleri.....	313
Çizelge K16 : H-14 mikrotünel açma faaliyetleri.....	313
Çizelge K17 : H-15 mikrotünel açma faaliyetleri.....	313
Çizelge K18 : H-16 mikrotünel açma faaliyetleri.....	314
Çizelge K19 : H-20 mikrotünel açma faaliyetleri.....	315
Çizelge K20 : H-21 mikrotünel açma faaliyetleri.....	316
Çizelge K21 : H-22 mikrotünel açma faaliyetleri.....	317
Çizelge K22 : H-23 mikrotünel açma faaliyetleri.....	317
Çizelge K23 : H-33 mikrotünel açma faaliyetleri.....	317
Çizelge K24 : H-34 mikrotünel açma faaliyetleri.....	318
Çizelge K25 : H-24 mikrotünel açma faaliyetleri.....	319
Çizelge K26 : H-25 mikrotünel açma faaliyetleri.....	320
Çizelge K27 : H-26 mikrotünel açma faaliyetleri.....	320
Çizelge K28 : H-27 mikrotünel açma faaliyetleri.....	320

Çizelge K29 :	H-28 mikrotünel açma faaliyetleri	321
Çizelge K30 :	H-29 mikrotünel açma faaliyetleri	321
Çizelge K31 :	H-30 mikrotünel açma faaliyetleri	322
Çizelge K32 :	H-31 mikrotünel açma faaliyetleri	323
Çizelge K33 :	H-32 mikrotünel açma faaliyetleri	324
Çizelge K34 :	H-19 mikrotünel açma faaliyetleri	325

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Mikrotünel/ Boru itme çalışma alanı planı	7
Şekil 2.2 : Kazısız teknolojinin avantajı	10
Şekil 2.3 : Tünel açma maliyetleri	11
Şekil 2.4 : Kazısız tünel açma ile açık kazının derinliğe göre maliyet mukayesesi ..	12
Şekil 2.5 : Başarılı bir mikrotünel uygulaması	12
Şekil 2.6 : Başarılı bir boru itme uygulaması	17
Şekil 2.7 : Yönlendirme Sistemi-1.....	19
Şekil 2.8 : Yönlendirme Sistemi-2.....	20
Şekil 2.9 : Mikrotünel açma makinesinin önünde bulunan merkezleyici keski.	22
Şekil 2.10 : Sert ve orta-sert malzeme kesimini yapan disk keski.....	23
Şekil 2.11 : Aynadaki kazı alanını genişleten kazma keski.....	23
Şekil 2.12 : Mikrotünel makine elemanlarının kesit görünümü	24
Şekil 2.13 : Kayganlaştırıcı kullanmanın itme kuvvetleri üzerindeki etkisi	36
Şekil 2.14 : Değişik zeminlerde kayganlaştırıcı kullanmanın etkileri	36
Şekil 2.15 : Risk / veri kazanç dengesi	43
Şekil 2.16 : Bir inşa projesinin toplam maliyetlerini hesaplamak için akış şeması...	44
Şekil 2.17 : İnşa faaliyetlerinin potansiyel etkisi ve sosyal maliyet göstergelerindeki düşüşler	45
Şekil 2.18 : Arazi inceleme seviyesinin proje maliyetlerine etkisi	49
Şekil 2.19 : Mikrotünel ve aç-kapa maliyet olasılık dağılımı-Çizelge 2.8'deki verilere göre	54
Şekil 2.20 : Tünel Maliyetleri	55
Şekil 3.1 : Bölgelere göre boru döşeme işi	58
Şekil 3.2 : Bölgesel Jeoloji Haritası. Kahve renkli alanlar Paleozoyik, sarı – turuncu renkler Senozoyik birimlere karşılık gelmektedir	63
Şekil 3.3 : İstanbul paleozoyik istifinin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti	64
Şekil 3.4 : Kurbağalıdere formasyonunda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktaları	66
Şekil 3.5 : Bostancı Formasyonu'nda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktası	69
Şekil 3.6 : Kurbağalıdere sahil yolu geçiş ikmal inşaatı jeolojik kesiti	70
Şekil 3.7 : Bostancı sahil yolu geçiş ikmal inşaatı jeolojisi kesiti	71
Şekil 3.8 : Çırpıcı Formasyonu'nda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktaları	79
Şekil 3.9 : Küçükusu Formasyonu'nda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktası	80
Şekil 3.10 : Avcılar Formasyonu'nda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktası	80
Şekil 3.11 : Nakkaşdere Formasyonu'nda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktaları	81

Şekil 3.12 : Dudullu Formasyonu'nda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktası	84
Şekil 3.13 : Boru itme faaliyeti	85
Şekil 3.14 : Mikrotünel makinesinin ilk kurulumu.....	85
Şekil 3.15 : Temizleme ve bakım işleri bittikten sonra kuyuya indirilecek mikrotünel makinesi.	87
Şekil 3.16 : Kesici kafanın teknik resmi	88
Şekil 3.17 : Kuyruk borusunun teknik resmi	89
Şekil 3.18 : Mesnet platformu.....	90
Şekil 3.19 : Kontrol konteyneri.....	92
Şekil 3.20 : Kazılan malzemenin ince ve iri boyutlara ayrıldığı separatör.	93
Şekil 3.21 : Örnek kuyu	94
Şekil 3.22 : Çıkış kuyusuna MTBM'nin ulaşması için delik açılması.	95
Şekil 3.23 : İmal edilen boruların stoklanması.	97
Şekil 4.1 : Kurbağalıdere bölgesi mikrotünel ilerleme karşılaştırmaları.	105
Şekil 4.2 : Bostancı bölgesi mikrotünel ilerleme karşılaştırmaları.	106
Şekil 4.3 : Küçükköy bölgesi mikrotünel ilerleme karşılaştırmaları.	108
Şekil 4.4 : Çırpıcı bölgesi mikrotünel ilerleme karşılaştırmaları.	109
Şekil 4.5 : Nakkaşdere bölgesi mikrotünel ilerleme karşılaştırmaları.	111
Şekil 4.6 : Avcılar bölgesi mikrotünel ilerlemesi.	113
Şekil 4.7 : Dudullu bölgesi mikrotünel ilerlemesi.	114
Şekil 4.8 : Küçüksu bölgesi mikrotünel ilerlemesi.	115
Şekil 4.9 : Bölgelere göre ortalama ve en iyi günlük ilerlemelerin karşılaştırılması.	116
Şekil 4.10 : Bölgelere göre ortalama günlük ilerlemeler.	120
Şekil 4.11 : Formasyonlara göre ortalama ve en iyi günlük ilerlemelerin karşılaştırılması.	121
Şekil 4.12 : Bölgesel formasyonlara göre ortalama ve en iyi günlük ilerlemelerin karşılaştırılması.	122
Şekil 4.13 : Bölgesel formasyonlara göre ortalama günlük ilerlemeler.	123
Şekil 4.14 : Mikrotünel projeleri bazında ortalama günlük ilerlemeler.....	124
Şekil 4.15 : Mikrotünel projeleri bazında en iyi günlük ilerlemeler.....	125
Şekil 4.16 : En iyi günlük ilerleme ve ortalama günlük ilerleme değerlerinin düşük olduğu formasyonlar.	126
Şekil 4.17 : En iyi günlük ilerleme ve ortalama günlük ilerleme değerlerinin yüksek olduğu formasyonlar.	127
Şekil 4.18 : Bölgelere göre elek analizi ortalamaları.	128
Şekil 4.19 : Formasyonlara göre elek analizi ortalamaları.	129
Şekil 4.20 : Formasyonlara göre net kazı hızlarının karşılaştırılması.....	132
Şekil 4.21 : İtiş bazında ortalama net kazı hızları ve günlük ortalama ilerleme hızları.	133
Şekil 4.22 : İtiş bazında makineden faydalanma oranları.	134
Şekil 4.23 : Bölge bazında çalışma saatleri ve makineden faydalanma oranı (MFO).	136
Şekil 4.24 : Formasyonlara göre makineden faydalanma oranlarının karşılaştırılması.	136
Şekil 4.25 : Bölge ve itiş bazında çalışma-duraklama saatleri ve makineden faydalanma oranları.	137
Şekil 4.26 : Net kazı hızı ile SPT arasındaki ilişki (SPT<15).....	145

Şekil 4.27 : Net kazı hızı ile SPT arasındaki ilişki (SPT>15).	145
Şekil 4.28 : Net kazı hızı tahmin modelinin geçerlilik grafiği.	145
Şekil 5.1 : Birim sürtünme, ayna basıncı ve toplam itme kuvvetleri.....	148
Şekil 5.2 : Mikrotünel projeleri bazında ortalama birim sürtünme kuvvetleri.	151
Şekil 5.3 : Tüm formasyonlara göre ortalama birim sürtünme kuvvetleri.	152
Şekil 5.4 : Bölgelere göre tüm formasyonların ortalama birim sürtünme kuvvetleri.	154
Şekil 5.5 : Formasyonlara göre kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.	156
Şekil 5.6 : Bölgelere göre kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.	158
Şekil 5.7 : Formasyonlara göre bentonit kullanılmayan kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.....	160
Şekil 5.8 : Bölgelere göre bentonit kullanılmayan kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.....	161
Şekil 5.9 : Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerdeki maksimum itme kuvveti ve ortalama birim sürtünme kuvvetleri arasındaki ilişki.	163
Şekil 5.10 : Maksimum itme kuvveti ve ortalama birim sürtünme kuvvetleri arasındaki ilişki (Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerin hepsi).....	163
Şekil 5.11 : Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerdeki ortalama birim sürtünme kuvvetleri ile derinlik arasındaki ilişki.	164
Şekil 5.12 : Ortalama birim sürtünme kuvvetleri ile derinlik arasındaki ilişki (Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerin hepsi).	164
Şekil 5.13 : Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerdeki maksimum itme kuvvetleri ile derinlik arasındaki ilişki.	165
Şekil 5.14 : Maksimum itme kuvvetleri ile derinlik arasındaki ilişki (Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerin hepsi).	165
Şekil 5.15 : Ortalama birim sürtünme kuvveti ile TCR arasındaki ilişki (bentonit kullanılmayan sürüşler).	167
Şekil 5.16 : Ortalama birim sürtünme kuvveti ile TCR arasındaki ilişki (bentonit kullanılan sürüşler).	167
Şekil 5.17 : Sürtünme kuvveti tahmin modelinin geçerlilik grafikleri.	169
Şekil 6.1 : Bir metre boru itme (kazı) maliyet dağılımı.	172
Şekil 6.2 : Boru imal maliyet dağılımı.	173
Şekil 6.3 : Kuyu imal maliyet dağılımı.	174
Şekil 6.4 : 500 m’lik hipotetik mikrotünel projesi ortalama maliyet yüzde dağılımı.	175
Şekil 6.5 : Değişik çaplarda açılan mikrotünellerin 1 metre ilerleme maliyet analizleri (karsız ve boru maliyeti dahil değil).	175
Şekil 6.6 : Değişik çaplarda açılan mikrotünellerin 1 metre ilerleme maliyet analizleri (karsız ve boru maliyeti dahil)	176
Şekil 6.7 : Değişik çaptaki betonarme boruların maliyet mukayesesi	176
Şekil 6.8 : Değişik çaptaki kuyuların maliyet mukayesesi	177
Şekil 6.9 : Değişik çaplarda açılan mikrotünellerin maliyet mukayesesi.	177
Şekil A.1 : Mikrotünel makinesinin kazıyı tamamlama aşamaları.....	191
Şekil A.2 : Bostancı şantiye yerleşkesi.	191
Şekil A.3 : Makine ve diğer ekipmanların ilk konuşlandırıldığı yer.	192
Şekil A.4 : Makinenin kesme yönünde kuyuda açılan ilerleme çemberi.	192

Şekil A.5 : Boru sürme işlemi yapıldıktan sonra bağlantıların yapılıp, kuyunun kapatılması.	193
Şekil A.6 : Operatör konteynerindeki kumanda ve bilgisayar sistemleri.	193
Şekil A.7 : Çalışma yapılan kuyunun genel görünüşü.	193
Şekil A.8 : Kuyuda yeni boru ekleneceği zaman pistonların geri çekilmesi.	194
Şekil A.9 : İtme şaftına indirilen platformun yerleştirilmesi.	194
Şekil A.10 : Açılan kuyuda makinenin ilerleyeceği yönü belirleyen kalıp.	194
Şekil A.11 : Mapaları bağlanmış olan makine ve kesici kafanın indirilmesi.	195
Şekil A.12 : Kuyuda iş bitimi ve kapatılması.	195
Şekil A.13 : Boruların kuyuya indirilmesi.	196
Şekil A.14 : Klasik metodla boru itme işlemi.	196
Şekil B.1 : Alibeyköy (Küçükköy) mikrotünel güzergahı.	198
Şekil B.2 : Avcılar mikrotünel güzergahı.	199
Şekil B.3 : Bostancı mikrotünel güzergahı.	200
Şekil B.4 : Bostancı bölgesi.	200
Şekil B.5 : Dudullu mikrotünel güzergahı.	201
Şekil B.6 : Merter-Çırpıcı bölgesi.	202
Şekil B.7 : Kurbağalıdere mikrotünel güzergahı.	203
Şekil B.8 : Kadıköy-Kurbağalıdere bölgesi.	204
Şekil B.9 : Küçüksu mikrotünel güzergahı.	204
Şekil C.1 : Kurbağalıdere jeoloji paftası-1.	206
Şekil C.2 : Kurbağalıdere jeoloji paftası-2.	207
Şekil C.3 : Kurbağalıdere jeoloji paftası-3.	208
Şekil C.4 : Bostancı jeoloji paftası.	209
Şekil C.5 : Çırpıcı jeoloji paftası-1.	210
Şekil C.6 : Çırpıcı jeoloji paftası-2.	211
Şekil C.7 : Nakkaşdere jeoloji paftası-1.	212
Şekil C.8 : Nakkaşdere jeoloji paftası-2.	213
Şekil C.9 : Nakkaşdere jeoloji paftası-3.	214
Şekil C.10 : Avcılar jeoloji paftası-1.	215
Şekil C.11 : Dudullu jeoloji paftası.	216
Şekil C.12 : Küçüksu jeoloji paftası.	217
Şekil D.1 : Kurbağalıdere sondaj raporu-1.	219
Şekil D.2 : Kurbağalıdere sondaj raporu-2.	220
Şekil D.3 : Bostancı sondaj raporu.	221
Şekil D.4 : Çırpıcı sondaj raporu-1.	222
Şekil D.5 : Çırpıcı sondaj raporu-2.	223
Şekil D.6 : Nakkaşdere sondaj raporu-1.	224
Şekil D.7 : Nakkaşdere sondaj raporu-2.	225
Şekil D.8 : Avcılar sondaj raporu.	226
Şekil D.9 : Dudullu sondaj raporu.	227
Şekil D.10 : Küçüksu sondaj raporu.	228
Şekil E.1 : Kurbağalıdere 0870360S-1 sondajı deney raporları.	230
Şekil E.2 : Kurbağalıdere 0870360S-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.	231
Şekil E.3 : Kurbağalıdere 0870360S-1 sondajı dane çapı dağılımı deney raporu.	232
Şekil E.4 : Kurbağalıdere 0890362N-1 sondajı deney raporları.	233
Şekil E.5 : Kurbağalıdere 0890362N-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.	234
Şekil E.6 : Kurbağalıdere 0890362N-1 sondajı elek analizi deney raporu.	235
Şekil E.7 : Bostancı 720380N-1 sondajı deney raporları.	236
Şekil E.8 : Bostancı 720380N-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.	237

Şekil E.9 : Bostancı 720380N-1 sondajı elek analizi deney raporu.	238
Şekil E.10 : Çırpıcı N 970309 sondajı deney raporları.	239
Şekil E.11 : Çırpıcı N 970309 sondajı kıvam limitleri deney raporu.....	240
Şekil E.12 : Çırpıcı N 970309 sondajı elek analizi deney raporu.	241
Şekil E.13 : Çırpıcı S 1000308-2 sondajı deney raporları.	242
Şekil E.14 : Çırpıcı S 1000308-2 sondajı kıvam limitleri deney raporu.	243
Şekil E.15 : Çırpıcı S 1000308-2 sondajı elek analizi deney raporu.....	244
Şekil E.16 : Nakkaşdere S-1000270-1 sondajı deney raporları.....	245
Şekil E.17 : Nakkaşdere S-1000270-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.	246
Şekil E.18 : Nakkaşdere S-1000270-1 sondajı elek analizi deney raporu.....	247
Şekil E.19 : Nakkaşdere S-1060270-2 sondajı deney raporları.....	248
Şekil E.20 : Nakkaşdere S-1060270-2 sondajı kıvam limitleri deney raporu.	249
Şekil E.21 : Nakkaşdere S-1060270-2 sondajı elek analizi deney raporu.....	250
Şekil E.22 : Avcılar S-850264-1 sondajı deney raporları.	251
Şekil E.23 : Avcılar S-850264-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.	252
Şekil E.24 : Avcılar S-850264-1 sondajı elek analizi deney raporu.	253
Şekil E.25 : Dudullu 0910400N-1 sondajı deney raporları.	254
Şekil E.26 : Dudullu 0910400N-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.....	255
Şekil E.27 : Dudullu 0910400N-1 sondajı dane çapı dağılımı deney raporu.	256
Şekil E.28 : Küçüksu 1260372S-1 sondajı deney raporları.....	257
Şekil E.29 : Küçüksu 1260372S-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.	258
Şekil E.30 : Küçüksu 1260372S-1 sondajı elek analizi deney raporu.....	259
Şekil F.1 : Kurbağalıdere (K5A-402) mikrotüneli ilerleme hızları.	261
Şekil F.2 : Kurbağalıdere (402-401) mikrotüneli ilerleme hızları.....	261
Şekil F.3 : Kurbağalıdere (400-389) mikrotüneli ilerleme hızları.....	262
Şekil F.4 : Kurbağalıdere (389-388) mikrotüneli ilerleme hızları.....	262
Şekil F.5 : Kurbağalıdere (388-387) mikrotüneli ilerleme hızları.....	263
Şekil F.6 : Kurbağalıdere (387-386) mikrotüneli ilerleme hızları.....	263
Şekil F.7 : Kurbağalıdere (386-385) mikrotüneli ilerleme hızları.....	264
Şekil F.8 : Bostancı (M15-3, M15-4) mikrotüneli ilerleme hızları.	264
Şekil F.9 : Bostancı (M15-4, M15-2) mikrotüneli ilerleme hızları.	265
Şekil F.10 : Bostancı (M15-2, M15-3) mikrotüneli ilerleme hızları.	265
Şekil F.11 : Bostancı (M14-2, M15) mikrotüneli ilerleme hızları.	266
Şekil F.12 : Bostancı (M15, M15-1) mikrotüneli ilerleme hızları.	266
Şekil F.13 : Bostancı (M15-1, M15-2) mikrotüneli ilerleme hızları.	267
Şekil F.14 : Bostancı (M29A-M29B) mikrotüneli ilerleme hızları.	267
Şekil F.15 : Küçükköy (M1-M2) mikrotüneli ilerleme hızları.....	268
Şekil F.16 : Küçükköy (M3-M4) mikrotüneli ilerleme hızları.....	268
Şekil F.17 : Küçükköy (M7-M6) mikrotüneli ilerleme hızları.....	269
Şekil F.18 : Küçükköy (M5-M6) mikrotüneli ilerleme hızları.....	269
Şekil F.19 : Küçükköy (M5-M4) mikrotüneli ilerleme hızları.....	270
Şekil F.20 : Çırpıcı (MPJ3-MPJ4) mikrotüneli ilerleme hızları.....	270
Şekil F.21 : Çırpıcı (MPJ2-MPJ3) mikrotüneli ilerleme hızları.....	271
Şekil F.22 : Çırpıcı (MPJ2-MPJ1) mikrotüneli ilerleme hızları.....	271
Şekil F.23 : Çırpıcı (MPJ18-MPJ19) mikrotüneli ilerleme hızları.....	272
Şekil F.24 : Çırpıcı (MPJ8-MPJ9) mikrotüneli ilerleme hızları.....	272
Şekil F.25 : Çırpıcı (MPJ5-MPJ6) mikrotüneli ilerleme hızları.....	273
Şekil F.26 : Çırpıcı (MPJ18-MPJ17) mikrotüneli ilerleme hızları.....	273
Şekil F.27 : Çırpıcı (MPJ19-MPJ1) mikrotüneli ilerleme hızları.....	274
Şekil F.28 : Çırpıcı (MPJ4-MPJ5) mikrotüneli ilerleme hızları.....	274

Şekil F.29 : Nakkaşdere (N3-N4) mikrotüneli ilerleme hızları.	275
Şekil F.30 : Nakkaşdere (N5-N4) mikrotüneli ilerleme hızları.	275
Şekil F.31 : Nakkaşdere (N2-N3) mikrotüneli ilerleme hızları.	276
Şekil F.32 : Nakkaşdere (N16-N16A) mikrotüneli ilerleme hızları.	276
Şekil F.33 : Nakkaşdere (N20-N16A) mikrotüneli ilerleme hızları.	277
Şekil F.34 : Nakkaşdere (N14-N16) mikrotüneli ilerleme hızları.	277
Şekil F.35 : Küçüksu mikrotüneli ilerleme hızları.	278
Şekil F.36 : Avcılar mikrotüneli ilerleme hızları.	278
Şekil F.37 : Dudullu mikrotüneli ilerleme hızları.	279
Şekil L.1 : Kurbağalıdere (402-401) mikrotüneli itme kuvvetleri.	328
Şekil L.2 : Kurbağalıdere (400-389) mikrotüneli itme kuvvetleri.	328
Şekil L.3 : Kurbağalıdere (389-388) mikrotüneli itme kuvvetleri.	329
Şekil L.4 : Kurbağalıdere (388-387) mikrotüneli itme kuvvetleri.	329
Şekil L.5 : Bostancı (M15-1-M15-2) mikrotüneli itme kuvvetleri.	330
Şekil L.6 : Bostancı (M15 M15-1) mikrotüneli itme kuvvetleri.	330
Şekil L.7 : Bostancı (M14-2-M15) mikrotüneli itme kuvvetleri.	331
Şekil L.8 : Bostancı (M29A-M29B) mikrotüneli itme kuvvetleri.	331
Şekil L.9 : Küçükköy (M1-M2) mikrotüneli itme kuvvetleri.	332
Şekil L.10 : Küçükköy (M3-M4) mikrotüneli itme kuvvetleri.	332
Şekil L.11 : Küçükköy (M7-M6) mikrotüneli itme kuvvetleri.	333
Şekil L.12 : Küçükköy (M5-M6) mikrotüneli itme kuvvetleri.	333
Şekil L.13 : Küçükköy (M5-M4) mikrotüneli itme kuvvetleri.	334
Şekil L.14 : Avcılar mikrotüneli itme kuvvetleri.	334
Şekil L.15 : Dudullu mikrotüneli itme kuvvetleri.	335
Şekil L.16 : Nakkaşdere (N3-N4) mikrotüneli itme kuvvetleri.	335
Şekil L.17 : Nakkaşdere (N5-N4) mikrotüneli itme kuvvetleri.	336
Şekil L.18 : Nakkaşdere (N2-N3) mikrotüneli itme kuvvetleri.	336
Şekil L.19 : Nakkaşdere (N16-N16A) mikrotüneli itme kuvvetleri.	337
Şekil L.20 : Çırpıcı (MPJ3-MPJ4) mikrotüneli itme kuvvetleri.	337
Şekil L.21 : Çırpıcı (MPJ2-MPJ3) mikrotüneli itme kuvvetleri.	338
Şekil L.22 : Çırpıcı (MPJ2-MPJ1) mikrotüneli itme kuvvetleri.	338
Şekil L.23 : Çırpıcı (MPJ18-MPJ19) mikrotüneli itme kuvvetleri.	339
Şekil L.24 : Çırpıcı (MPJ8-MPJ9) mikrotüneli itme kuvvetleri.	339
Şekil L.25 : Çırpıcı (MPJ5-MPJ6) mikrotüneli itme kuvvetleri.	340
Şekil L.26 : Çırpıcı (MPJ18-MPJ17) mikrotüneli itme kuvvetleri.	340

BİR MİKROTÜNEL MAKİNESİNİN FARKLI JEOLojİK ORTAMLARDA KAZI PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

ÖZET

İstanbul Boğazı'na direk deşarj edilen atık suların kirliliğe neden olmaması için toplanarak arıtma tesislerine aktarılması projesi İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'nce hayata geçirilmiştir. Bu tez çalışması İstanbul'da 2002 ile 2005 yılları arasında CET İnşaat Ltd. Şti. tarafından kullanılan Herrenknecht AVN1800C mikrotünel makinesi ile açılan projeleri kapsamaktadır. Kurbağalıdere, Bostancı, Küçüksu, Küçükköy, Avcılar, Dudulu, Nakkaşdere, Çırpıcı bölgelerinde mikrotünel makinesinin günlük ilerlemeleri, net kazı hızları, makine kullanım oranları ve itme kuvvetleri; günlük vardiya raporları, makine kayıtları ve saha gözlemleri ile incelenmiş, sondaj raporları, proje dokümanları incelenerek zemin türleri ve özellikleri belirlenmiştir.

İnceleme yapılan tüm bölgelerde zemin litolojisinin ağırlıklı olarak kil olduğu belirlenmiştir. Toplam 3.740 metre mikrotünel açılmış, bunun 3.647 metrelik (% 98) kısmı mikrotünel makinesi ile açılmıştır. Mikrotünel makinesi ile ortalama 8,4 m/gün ilerleme sağlanmış, ekskavatör ve delme-patlatma ile açılan yerlerde ortalama 1,03 m/gün ilerleme sağlanmıştır. Rekor günlük ilerleme 27,07 m olmuştur.

Mikrotünel makinesi ile net kazı hızı ortalama 1,48 m/saat olmuş, bölgelere göre en yüksek 4,24 m/saat ortalama ile Kurbağalıdere olmuş, diğer bölgeler ortalama 1,12 m/saat ile 1,48 m/saat arasında kalmıştır. En yüksek ortalama net kazı hızı 5,46 m/saat ile killi kumlu zeminde gerçekleşmiş, en düşük ise 0,96 m/saat ile kil-silt ağırlıklı yer yer çakıl ortamında elde edilmiştir.

En yüksek makineden faydalanma oranı Nakkaşdere'de kil, kum, organik madde içerikli zeminde % 54, en düşük makineden faydalanma oranı Bostancı'da çakıl-şeyl ortamda % 26 olmuş, projelerin toplam ortalama makineden faydalanma oranı ise % 41 olarak gerçekleşmiştir.

Tüm bölgelerde ortalama birim sürtünme kuvveti 3,44 tonf/m, en yüksek birim sürtünme kuvvetleri formasyon bazında da en yüksek Ceylan Formasyonu'nda kil zeminde (Nakkaşdere N3-N4 sürüşü 6,13 tonf/m) ve en düşük Güngören Formasyonu'nda kil zeminde (Çırpıcı MPJ18-MPJ17 sürüşü 0,47 tonf/m) elde edilmiştir. Ayna basınç kuvvetleri 32 ile 93 tonf arasında değişmiştir ve genel ortalama 62±11 tonf olarak bulunmuştur.

Boru itme maliyeti, boru ve kuyu imal maliyetleri ve nihayetinde proje maliyetleri hesaplanmış ve bir maliyet analizi yapılarak maliyet unsurlarının yüzdesel dağılımı ortaya konulmuştur. 500 metrelik varsayımsal bir mikrotünel projesinin maliyet dağılımları içinde boru maliyetinin oranı %17, boru itme maliyeti %61 ve kuyu maliyeti %22 olarak hesaplanmıştır.

Bazı değişkenlerin (doğal nem içeriği, likit limit, plastik limit, plastisite indeksi, SPT-standard penetrasayon testi değeri ve TCR-toplam karot kazanım oranı) net kazı hızı üzerinde etkisinin belirlenmesi amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizleri yapılmıştır. Parametreler arasında en iyi ilişkiyi SPT değerinin 15'in altında olduğu durum vermiştir. SPT değeri arttıķa net kazı hızı azalmaktadır. Net kazı hızının tahmini için 2,5 m çap ve $SPT < 15$ için killi zeminlerde geçerli olan bu modelin doğruluğunu test etmek amacıyla literatürde çamur basınçlı mikrotünel makineleri için verilen net kazı hızı ve SPT değerleri araştırılmıştır, fakat bulunamamıştır.

Bazı değişkenlerinin (doğal nem içeriği, likit limit, plastik limit, plastisite indeksi, SPT ve TCR) birim sürtünme kuvveti üzerinde etkisinin belirlenmesi amacıyla regresyon analizleri yapılmıştır. Parametreler arasında en iyi ilişkiyi TCR değeri vermiştir. Bentonit kullanılan sürüş örneklerinin fazla olmaması ve düşük ilişki göstermesinden dolayı bentonit kullanılmayan sürüşler için geçerli olan bir model oluşturulmuştur. Bu modelde TCR arttıķa birim sürtünme kuvveti de artmaktadır. Modelin geçerliliğini sınamak için literatürde bulunan sürtünme kuvvetleri tahmin modelleri ile bu tezde geliştirilen tahmin modelinin sonuçları kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilen modelin güvenilirliğinin yüksek olduğu görölmüştür. Ancak belirtmelidir ki, bu tez kapsamında geliştirilen model 2,5 m çaplı çamur basınçlı mikrotünel açma makineleri için geçerlidir.

INVESTIGATION INTO EXCAVATION PERFORMANCE OF A MICROTUNNELING MACHINE FOR DIFFERENT GEOLOGICAL FORMATIONS

SUMMARY

Istanbul Waste Water Authority (ISKI) started an important waste water collection and treatment project to obstacle sea water pollution in Bosphorus. This thesis study includes microtunneling projects constructed in Istanbul between 2002 and 2005 by CET İnşaat Ltd. Sti. using Herrenknecht AVN1800C microtunneling machine. Daily advance rates, net cutting rates, machine utilization ratios and jacking forces are investigated based on daily shift records, machine data logging records and visual in situ observations in the project sites of Kurbağalıdere, Bostancı, Küçüksu, Küçükköy, Avcılar, Dudulu, Nakkaşdere, and Çırpıcı. Soil types and their properties are defined by analysing the borehole reports and project documents.

It is identified that the dominant soil lithology is clay in all project sites investigated. Total driving length of the projects investigated is 3740 m of which 3647 m is excavated by microtunneling and the rest by open trenching. Average daily advance rate is 8,40 m/day for microtunneling and 1,03 for open trenching. The best daily advance rate is 27,05 m/day with microtunneling.

Averages of the net excavation rate in all project sites is obtained as 1,48 m/h. The highest average net excavation rate is achieved as 4.24 m/h in Kurbağalıdere site and it varies between 1,12 and 1,48 m/h in the other sites. The highest net excavation rate is achieved as 5,46 m/h in sandy clay Lithology, and the lowest net excavation rates are achieved as 0,96 m/h in silty clay lithology including some pebbles.

The highest average machine utilization rate is obtained as 54% in Nakkaşdere site in a soil including clay, sand and organig soil. The lowest average machine utilization rate is obtained as 26% in Bostancı site in a soil including pebbles and shale. Overall average of machine utilization time is achieved as 41%.

Average unit frictional jacking force in all Project sites is 3,44 tonf/m. The highest unit frictional jacking force is obtained as 6,13 tonf/m in Nakkaşdere site (between N3 and N4 shafts) in clays of Ceylan Formation. The lowest unit frictional jacking force is obtained as 0,47 tonf/m in Çırpıcı site (between MPJ18 and MPJ17 shafts) in clays of Güngören Formation. Face pressure resistance values vary between 32 and 93 tonf with an average value of 62 ± 11 tonf.

The costs of pipe jacking, pipe, and manhole/shaft construction are analysed and the distribution of the cost parameters are found out. Distribution of costs for a 500 m of hypothetical microtunnel includes 17% for pipe, 61% for pipe jacking and 22% for shaft construction.

Multiple linear regression analysis are performed to investigate the effects of some soil related parameters (natural water content, plastic limits, liquid limits, plasticity index, SPT-standard penetration values, and TCR-total core recovery) on net excavation rates. The best relationship is obtained with SPT values being lower than 15. Net excavation rate decreases with increasing SPT value. No data can be found in literature to validate the model, which is valid for slurry microtunnel boring machines with 2,5 m of diameter and SPT values lower than 15.

Multiple linear regression analysis are performed to investigate the effects of some soil related parameters (natural water content, plastic limits, liquid limits, plasticity index, SPT, and TCR) on unit frictional jacking forces. The best relationship is obtained with TCR values. Unit frictional jacking force increases with increasing TCR value. To validate the model, the results of the model found in literature are compared to the results of the model developed in this study. As a result, it seen that the model developed in this study is highly reliable. However, it should be noted that the model is valid for only microtunneling machines with 2,5 m diameter.

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Madencilik uygulamalarının yanı sıra, giderek artan yeraltı yapı ihtiyacı tünel kazı teknolojilerinin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Açık kazıda (aç-kapa, hendek / kanal kazısı) hendekler kazılarak hat döşemesi yapılmakta, diğer yönden hendezsiz yöntemler olarak bilinen mikrotünelcilikte kanal kazısına gerek kalmadan boruların döşenmesi, değiştirilmesi, tamir ve bakımı yapılmaktadır. Bugün çok değişken fiziksel koşullar altında dahi başarı ile uygulanan mekanize sistemler geliştirilmiştir.

Boru itme veya mikrotünelciliğin en önemli uygulama alanı kanalizasyon, atıksu tünelleri, gaz veya içmesuyu veya petrol hattı, elektrik, telekomünikasyon kablo tesisatları gibi alanlardır. Özel uygulama alanı olarak yaya yolu, trenyolu alt geçitlerinde, köprü ayakları altından geçerken açılan mikrotüneller sayılabilir.

Mikrotünel açma teknolojileri genel olarak 4 amaç için kullanılır; yeni boru hattı ve kanal döşenmesi, eski boruların tamamen değiştirilmesi, borulardaki arızaların belirlenmesi ve hattın tamir edilmesidir.

Kazı mekanizasyonu belirli kaya-zemin şartlarına göre tasarlanmaktadır. Bir mikrotünel projesinde alınabilecek en büyük risk doğru makine seçimidir. Seçilmiş olan bir tünel makinesinin başarısı büyük ölçüde makine tasarımının karşılaşılabilecek jeolojik koşullara uygun olması ile mümkündür. Tünel makinesi zemin koşullarına göre dizayn edilmeli ve karşılaşılabileceği değişik durumların üstesinden gelebilmelidir.

Performans için tünel açma makinesi ile ilerlemede neyin yanlış gidebileceği ile öngörülere odaklanılmalı ve en önemli faktörün jeoloji ve duraklamalar olduğu unutulmamalıdır. Kaya (jeolojik) özellikleri, mekanik (makine ile ilgili özellikler) ve işletme özellikleri kazı performansını etkileyen temel parametrelerdir. Önemli olan tünel açma makinesinin kazıyı nasıl en hızlı şekilde tamamlayacağıdır.

Baston Harbor Project Outfall Tüneli'nden toplanan veriler duraklama ve sebeplerini incelemek ve toplam sertliğini analiz etmek için kullanılmıştır [1].

Tünel açma makinelerinin mekanik system, pasa uzaklaştırma system ve tahkimat yerleştirme sistemi olmak üzere 3 ana parçadan oluştuğunu ve bunlardan birisinde meydana gelebilecek bir problemin tüm sistemi çökerteceği bilinmelidir. Kayaçların RQD değerlerinin performansı nasıl etkilediği incelenmiş, kazıda kaya ile ilgili karşılaşılabilecek problemlere deterministic yaklaşımdan ziyade olasılık yaklaşımlarla çözülmesi gerektiği önerilmiştir. Analizlerde kullanılan lineer, logaritmik ve poisson regresyonları açıklanmıştır [1].

Sürekli tünel açma makinelerinin (CTBM) performans tahmini ve dizaynı için SIMSUPER bilgisayar yazılım programı ilerleme tahmin modellemesinde kullanılmıştır. Kullanılan tünellerin kazı çapı 3,6 ve 12 metredir. Tünel tahkimatı için ABAQUS isimli sonlu elemanlar prensipli yazılım kullanılmıştır. CTBM ile ilerleme hızının klasik tünel açma makinelerine göre 2 kat olduğu ortaya konulmuştur [2].

25 yıllık süreçte Colorado School of Mines Earth Mechanics Institute tarafından geliştirilen TBM performans tahmin modeli (CSM model) ilerleme hızı ve keski ömrünü tahmin etmek için kullanılmaktadır. Önce kayaç ve jeolojik veriler modele girilir, eğer tahminler belirli bir makine için yapılacaksa; kesici tipi, makine modeli, itme, tork, makine gücü de modele girilir. Eğer tahmin yeni bir makine için yapılacaksa, model kesici kafa keski dizilimlerini optimum kaya ve jeolojik koşullara göre oluşturacaktır. Kesici kafadaki keski üzerine gelen yükleri ve net kazı hızını hesaplamaktadır. Ayrıca Cerchar aşındırıcılık indeksini ve tahmin edilen ilerleme oranını kullanarak keski ömrü ve keski maliyetlerini tahmin edebilmektedir [3].

Başarılı bir tünel açma işleminde proje süresi ve maliyetini sağlıklı saptayabilmek için kazı hızının en doğru şekilde tahmin edilmesi gerekliliği üzerine vurgu yapılmış ve veriler çatlaklı sert kayaçta açılan 16 km uzunluğundaki Queens su tünelinden toplanmıştır. Colorado School Of Mines (CSM)'nin geliştirmiş olduğu yarı teorik model; çatlaksız sert kayaç şartlarına göre, yani tek eksenli basınç ve çekme dayanımını temel almaktadır. TBM performans tahminini özellikle çatlaklı kayaç ortamlarda daha doğru hale getirebilmek için kayaç kırılgenliğini da işin içine eklemek gerekliliği belirtilmiştir. Çeşitli kayaç özelliklerinin ve kırılgenliklerinin TBM performansına etkisini incelemek için analizler yapılmıştır. Model girdilerinde kullanmak üzere jeoteknik ve mekanik araştırmaların sonuçları ortaya konulmuştur.

TBM saha çalışma verilerinden ortalama ilerleme hızı, toplam itme kuvveti, kesici kafa gücü, kesici kafa torku ve keskilere gelen kuvvetler hesaplanmıştır. Modifiye edilen model; makine parametreleri ile kayaç parametrelerinin birleştirilmesiyle Microsoft excelde oluşturulmuştur.

İlerleme hızı, TBM itme kuvveti, tork, ilerleme için gerekli olan güç, spesifik enerji, ortalama keski maliyeti tahminleri yapılarak liste ekranına aktarılabilmektedir [4].

Chapman ile Ichioka [5] büyük ve geniş veri tabanı kullanarak çamur basınçlı, pasa basınçlı ve push-in (yatay delgi) mikrotünel uygulamalarındaki itme kuvvetlerini tahmin etme metotları geliştirmişlerdir. İtme kuvveti tahmin metotlarında zeminin cinsi dikkate alınmıştır, fakat zeminin dayanıklılığı ve kurulum derinliği bu tahmin metotlarına dahil edilmemiştir. İtme dirençlerini etkileyen faktörlerin başlıcaları; zemin direnci, kazı alanı direnci, fazla kazı miktarı, boru hattı boyundaki zemin koşullarının farklılıkları, boruların eksenlerinden sapması, yağlayıcı maddenin boş yere akması, ara-itme istasyonlarının kullanılması, geceleri, haftasonları, tatillerdeki duraklamalar esnasında kil ve balçığın boru üzerine çökmesi, mikrotünel makinesinin oluşturduğu titreşimlerle olası zemin karakteristik değişiklikleridir.

Chapman ile Ichioka [5] itme kuvvetlerini tahmin etme metodu, kapsamlı itme kuvvetinin belirlenmesi için, ayna basıncını yenebilecek itme kuvveti ve boru yüzeyi ile zemin arasındaki arayüzey sürtünme kuvvetinin toplamı şeklinde empirik bir yaklaşımdır. 398 projeden (236 tanesi çamur basınçlı, 113 tanesi pasa basınçlı ve 49 tanesi yatay delgi makine tipidir) istifade edilerek killi, kumlu ve çakıllı zeminler için sürtünme direnci hesaplanmıştır. İtme kuvvetinin, itme işlemi başladığı ilk aşamada, yağlama işlemi başlamadan önce, ani ve keskin arttığı gözlemlenmiştir. Buna ek olarak, duraklamalardan sonra, mesela haftasonu tatilinden sonra, yüksek artışlar olduğu görülmüştür. İtme kuvvetleriyle ilgili bazı istatistiksel formüller geliştirilmiştir. Denklemler, güvenli itme mesafesini bulmak için oluşturulacak tabloların geliştirilmesinde kullanılabilir [5]. Model 1,22 m çap ve 15 m tünel tavan derinliğine kadar geçerlidir.

Chapman [6], boru itme uygulamalarının zemin hareketleri meydana getirebileceğini belirterek, bunu arazi gözlemleri, laboratuvar simülasyonları, teorik ve ampirik modeller ile göstermektedir.

Barla vd. [7], 760 mm boru çapı ile kireçtaşı formasyonunda açılan mikrotünelde makine performansının tahmin edilenle karşılaştırması ve itme kuvvetlerindeki beklenmeyen artışların daha iyi anlaşılabilmesi için sayısal analizler kullanmıştır. Karşılaşılabilecek problemlerin önceden doğru ve sağlıklı tahmin edilebilmesi için kaya ile ilgili jeoteknik araştırmaların ne kadar önemli olduğuna işaret etmişlerdir.

Özbek [8], itme kuvvetleri için ilerleme esnasında ayna basıncı ve yüzey sürtünme dağılımını gösteren kavramsal model geliştirmiştir. Kum ve killi zeminlerde kayganlaştırıcı kullanılan ve kullanılmayan ortamlar için ayrı ayrı itme kuvveti hesabı yapılmıştır. İşletme faktörlerinin itme kuvvetleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Hesaplanan ve fiili itme kuvvetlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Zemin çökmelerinin sebepleri ve engelleme yolları irdelenmiştir.

Yapılan literatür taraması göstermiştir ki kayaç ortamlar için hazırlanmış performans tahmin metotları veya modellerinin olduğu fakat zemin ortamlarda açılan mikrotüneller için net kazı hızı tahmini ve itme kuvveti tahmini yapan modellere ihtiyaç vardır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, İstanbul'un çeşitli bölgelerinde değişik formasyonlarda kullanılan bir mikrotünel makinesinin kazı performansını karşılaştırmalı olarak incelemek; kazı makinesi verimi ve itme kuvvetleri üzerinde etkili faktörleri ortaya koymak, kazı maliyetini analiz etmek, bu veriler neticesinde benzer nitelikteki mikrotünel kazı çalışmaları için model oluşturmaktır, ayrıca bu modelleme vasıtasıyla makine seçimine yardımcı olmaktır.

Mikrotünelcilik çevreye uyumlu bir yöntemdir, aynı zamanda iş hayatı ve trafiği aksatmaz. Bu aksaklıkların maliyeti, başlı başına kazı maliyeti ile eşit olabilmektedir. Maliyete etki eden bütün faktörlerin detaylı incelenip, etkisinin göz önünde bulundurulması gerekir. Tez kapsamında oluşturulan modelleme bu ihtiyacı gidermeye yönelik oluşturulmuştur.

1.3 Yöntem ve Kapsam

İstanbul'da; Kurbağalıdere, Bostancı, Küçüksu, Küçükköy, Avcılar, Dudullu, Nakkaşdere, Çırpıcı bölgelerinde değişik formasyonlarda kullanılan Herrenknecht AVN1800C mikrotünel makinesinin kazı verileri toplanmış, günlük vardiya raporları, ihale sözleşmesi, gözlemler ve formasyonların jeolojik / jeoteknik bilgileri ile beraber analizleri yapılmıştır.

Mikrotünel makinesinin kaydettiği kazı verileri, günlük vardiya raporları ve gözlemler neticesinde projelerdeki günlük ilerleme hızları, net kazı hızları, makine kullanım oranları hesaplanmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Net kazı hızı üzerinde etkili olan faktörleri tespit etmek için jeolojik / jeoteknik verilerden istifade edilmiştir. Bu veriler İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin "Mikrobölgeleme Projesi" kapsamında yaptığı (tez çalışma alanlarını temsil eden) deneylerden, sondajlardan ve jeoloji haritalarından ve makine çalışma parametrelerinden elde edilmiştir.

İtme kuvvetlerine etki eden faktörleri belirleyebilmek için itme mesafesine bağlı olarak itme kuvvetlerindeki değişimler incelenmiş, formasyonları temsil eden sondaj verileri, deneyler ve makine performans kayıtları kullanılmıştır.

Boru itme maliyeti, boru ve kuyu imal maliyetleri ve nihayetinde proje maliyetleri hesaplanmış, ve bir maliyet analizi yapılmıştır.

Net kazı hızı ve sürtünme kuvveti üzerinde etkili faktörlerin belirlenmesi amacıyla basit doğrusal regresyon analizi yapılarak 2 model oluşturulmuştur. Bu modellemeyi yapabilmek için veri bankası hazırlanmıştır. Bütün bunların neticesinde performans eksenli bir modelleme geliştirilmiştir. Modellerin geçerlilikleri, diğer modellerle kıyaslanarak incelenmiştir.

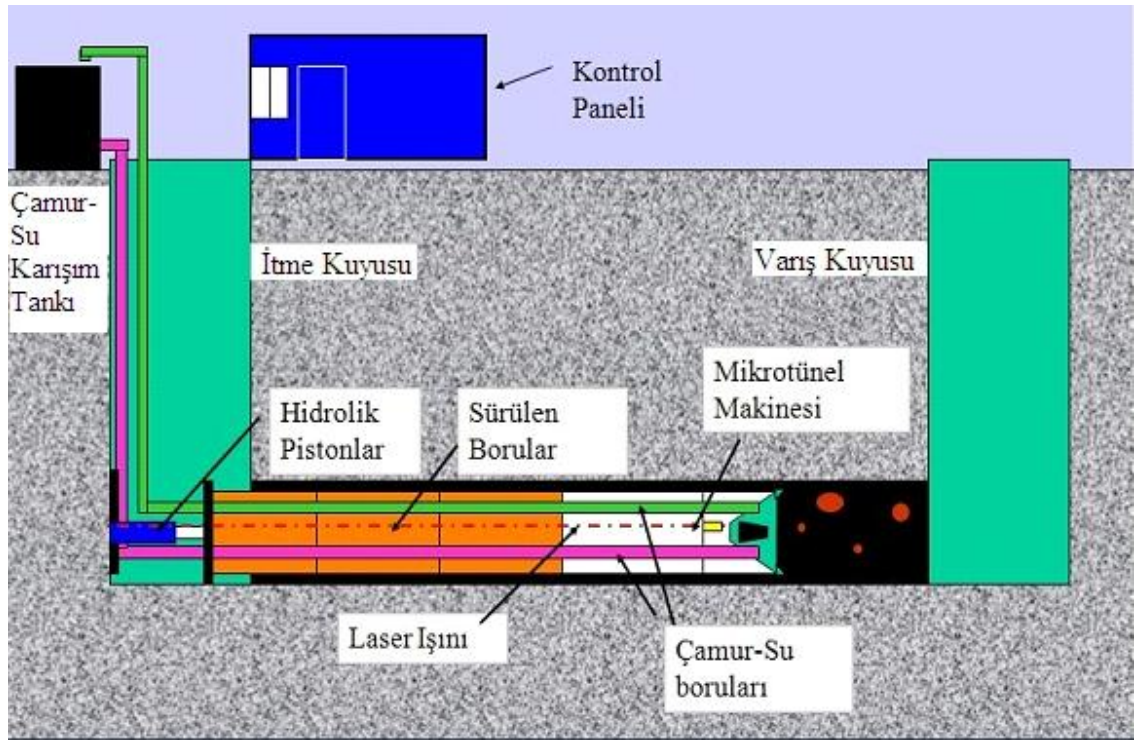
Son olarak, mikrotünel faaliyetlerinin daha etkin bir şekilde yapılabilmesi için öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Mikrotünel Yöntemi

2.1.1 Tanım, tarihsel gelişim, uygulama esasları, avantaj-dezavantajları

Boru itme veya mikrotünelcilik, tam donanımlı otomatik mekanize tünel makinesi ile başlangıç kuyusundan, çıkış kuyusuna kadar boru hattı inşası işine denir. Kalkan, hidrolik silindirlerle başlangıç kuyusundan itilir. Pasa; makinenin içinden kuru nakliye veya hidrolik nakliye sistemiyle uzaklaştırılır. Çıkış kuyusuna doğru boru itme işlemi yapılır. Kesici kafa ilerledikçe arkasına birer birer boru eklenir, ve bu sıra bütün halinde ileri itilir. Kesici kafa çıkış kuyusuna ulaştığı zaman, yukarı çıkarılır ve boru hattı tamamlanmış olur (Şekil 2.1). Bütün bu işlemler sosyal hayatı rahatsız etmeden yapılır ve insanlar genellikle farkına bile varmazlar. Sadece başlangıç ve bitiş kuyusunun kazılmasını fark ederler [9]. Ek A.1’de mikrotünel faaliyet resimleri verilmiştir.



Şekil 2.1 : Mikrotünel/ Boru itme çalışma alanı planı.

Boru itme ilk olarak 1900'lü yılların başında demiryolu altından kanal geçişleri için dökme demir boruların döşenmesinde kullanılmıştır. 1920'li yıllarda dökme demir boruların yerine çelik borular daha sonraları da beton borular kullanılmaya başlanmıştır. Kazısız teknoloji 1970'li yıllarda Japonlar tarafından kentsel alanlardaki yüzeydeki kanalizasyon hattını yeraltına indirmek için kullanılmıştır ve 1974 yılında Komatsu Firması; Ironmole isimli ilk mikrotünel makinesini geliştirmiş ve kullanmıştır. 1976 yılından itibaren Iseki Firması mikrotünel makineleri imal etmeye başlamıştır [9].

Amerika'da mikrotünelcilik ilk olarak 1984 yılında güney Florida'da Iseki Firması'ndan alınan makine ile başlamıştır [9].

Almanya'da ilk kez 1981-1984 yılları arasında Hamburg Kanalizasyon Projesinde Iseki Firmasından alınan mikrotünel makinesi kullanılarak başlanmış ve bu projeden sonra Almanlar dünyanın en önemli mikrotünel makine üreticisi ve kullanıcılarından biri konumuna gelmişlerdir [9].

Mikrotünel açma yöntemi , klasik tünel açma yöntemlerine alternatif olarak 20. yüzyılın son yarısında şehirleşmenin artması ile geliştirilmiştir. Bu yöntem;

- Kentsel alanda günde bir kaç bin araç etkileniyorsa,
- Akıcı kum, yumuşak kil veya karışık zemin gibi zor zemin koşullarında,
- Zemin oturmalarının tehlike arz edebileceği durumlarda,
- Drenajın zor, pahalı ve çevre yapılarına zarar vermesi durumunda,
- 15 Feet (~5m)'in altında yani hendeksiz yöntemin daha kazançlı olduğu derinliklerde,
- İşyerleri veya hayvanat bahçesi gibi toz ve gürültünün önemli olduğu yerlerde,
- Kazı yapılacak yerde başka yeraltı yapıları varsa düşünülmelidir.

Mikrotünel makinası ile boru sürme yönteminin avantajları;

- Yüksek derecede güvenirlilik ve optimum maliyetli projelendirme,
- Yeryüzünde ulaşımın aksamaması,
- Kompleks jeolojik koşullarda yüksek tünelcilik performansı,

- İnşaat işlerinin hava koşullarından bağımsız olması,
- Yer hareketlerinin minimuma indirilmesi,
- Bu yöntemde yapılan kazıda üst yapının bozulmaması. İş bittikten sonra üst yapı üniformluğunu kaybetmemesi ve istenmeyen göçüklerin olmaması,
- Çok az (açık kazının %5' i kadar) kazının yeterli olması. Kazı miktarının, pasa oranının ve dekapajın az olması. Drenaja gerek duyulmaması,
- Özellikle yeraltı suyu altında açık kazı ile boru döşeme işlerinde (zeminin suyunu kaybettiğinden) çökmeler ve bunun sonucu kot hataları olmaktadır. Oysa mikrotünel tekniği ile yapılması halinde, makinanın önde zemine uyguladığı basınç sayesinde zemin suyunun dengede tutulması ve böylece ± 2 cm mertebesinde hassasiyet sağlanması,
- Açık kazıda, zeminle tam olarak birleşmeyen boru çevresi zamanla bir yeraltı deresi halini almakta ve akış nedeniyle boruda ve üst yapıda sürekli oturmalar olmaktadır. Mikrotünel tekniğinde ise, boru sürerken zemin bozulmadığından zamanla borulanma ve oturmalar olmamaktadır. Bu teknoloji ile sürülen borularda (contalar boru birleşim yerlerini çok iyi kavradığından) sızdırmazlığın sağlanması,
- Borular zemine tam olarak oturduğundan mesnetleme, açık kazıda olduğu gibi noktasal değil mütemadi olmaktadır. Böylece boru sisteminin hareketli yüklere ve özellikle deprem yüklerine mukavemetinin artması,
- Çevre aksaklıklarının ve sosyal hayata etkisinin çok az olması, gürültü ve toz kirliliğini azaltması,
- İşçi yaralanma ve zarar görme olasılığını azaltması. İşçi güvenliğini arttırması, güvenilir çalışma alanı sağlaması,
- Servis süresini uzatması ve kuruluş için değerli bir yatırım haline getirmesi,

- Yenileme maliyetlerini düşürmesi, kentsel alanlarda sosyal maliyetleri azaltması,
- Sulu koşullarda/ deniz geçişlerinde genellikle alternatifsiz olması,
- Geleneksel yöntemle göre hızlı ilerleme sağlaması,
- Uygun boru standardı kullanıldığı takdirde ömürleri 100 yıldan fazla olmasıdır [10].

Otoyollar, demiryolu, nehir, kanal, bina, havaalanı gibi yerlerin altlarından geçerken, mikrotünel yöntemlerini kullanmak kaçınılmazdır (Şekil 2.2).

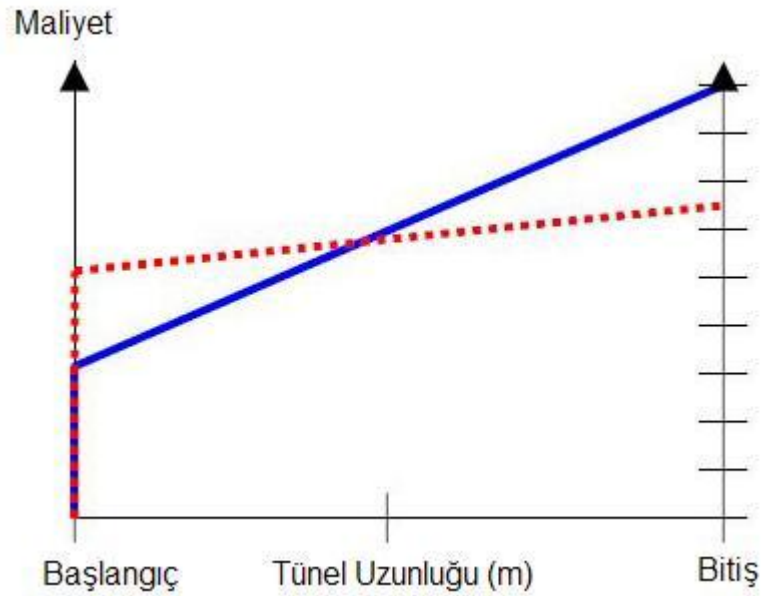


Şekil 2.2 : Kazısız teknolojinin avantajı [3] .

Sulu veya kuru ortamlarda, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde sorunların üstesinden gelme konusunda bu yöntem başarılıdır. Ayrıca kazı tekniği; kayada ve karışık zemin koşullarında boru itmeye uygundur.

Hendezsiz boru itme teknolojisinin açık kazı ile karşılaştırılması:

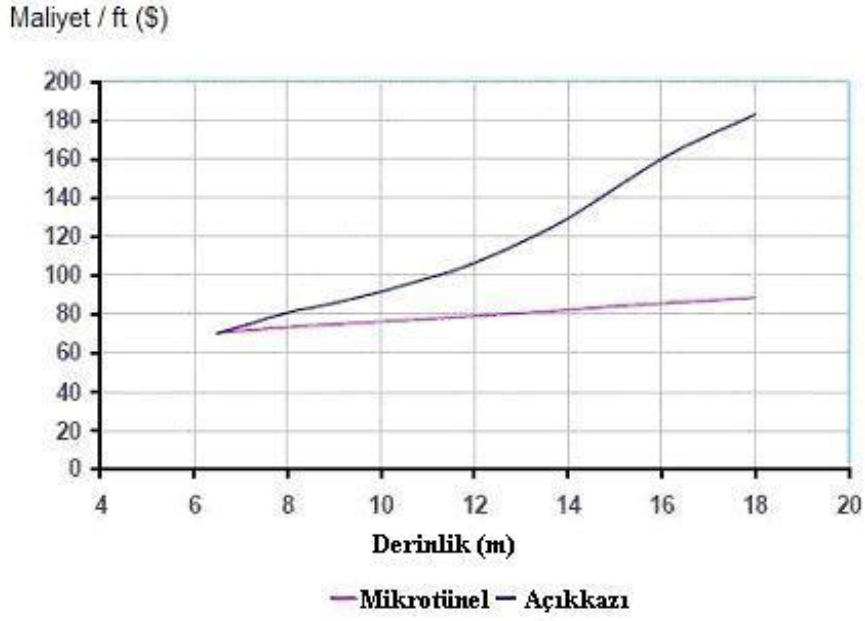
- Hendezsiz boru itme teknolojisinin maliyetleri açık kazıya göre ilk yatırım maliyeti daha fazladır, fakat daha sonraki bütün aşamalarda açık kazı maliyeti daha yüksektir. Eğer bu tür projelerde hendezsiz boru itme teknolojisi yerine açık kazı seçilmiş olsaydı minimum %25 daha pahalıya mal olurdu (Şekil 2.3, Şekil 2.4).
- İtme borularının dayanımı, açık kazı borularından daha yüksektir ve bu yöntemle yapılan projelerin ömrü diğer yöntemlere göre %70 daha fazladır [10].



Şekil 2.3 : Tünel açma maliyetleri [11] .

Şekil 2.3'te düz çizgi, düşük ilk yatırım maliyeti, fakat belirli bir kazı mesafesinden sonra yüksek işletme maliyeti olan delme-patlatma yöntemini; kesikli çizgi mekanize kazıyı göstermektedir.

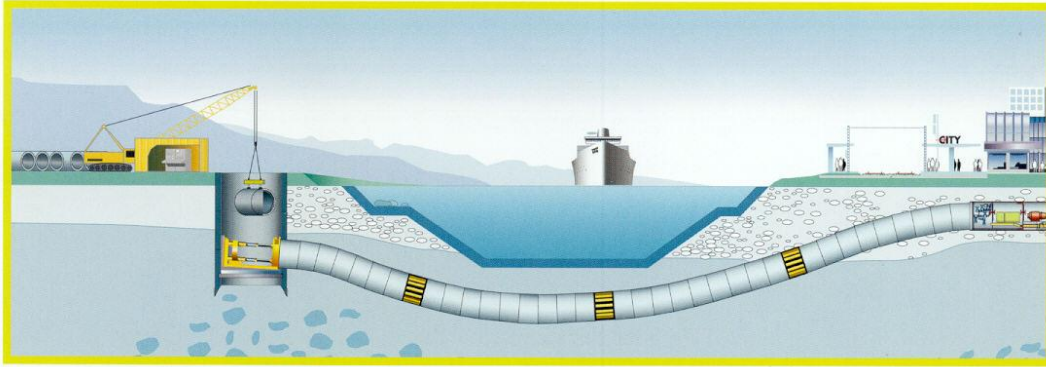
Mikrotünel açma yönteminde derinlik arttıkça maliyetler fazla değişkenlik göstermemektedir, fakat açık kazı yönteminde derinlik arttıkça maliyetler katlanarak artmakta ve kazı süresi de uzamaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Kazısız tünel açma ile açık kazının derinliğe göre maliyet mukayesesi [12] .

2.1.2 Mikrotünelciliğin unsurları

Mikrotünelcilik 4 kısımdan oluşur: Kazı, boru hattı, kuyular ve yerüstü birimleri (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Başarılı bir mikrotünel uygulaması [13].

2.1.2.1 Kazı kısmı

Kesici kafa ve şilt kısmı içeren ön kısım; güvenli bir kazı yapma, ilerleme ve kazılan malzemenin taşıma sistemine aktarımı işlerini içermektedir.

2.1.2.2 Boru hattı

İtme boruları ve özellikleri

Beton, plastik, demir ve çelik borular kullanılmaktadır. İtme borularında üretim ve kalite kontrol standartları yüksektir. İtme yükleri çoğu zaman boru itme

uygulamalarında kritik faktördür. İtme yükü ve dikey yüklere göre projede kullanılacak borular tespit edilir. Bu seçimde tecrübenin de önemli etkisi vardır.

Borular dizayn edilirken:

- Zeminin kalıcı yüklenmesi,
- Boru hattının içindeki ve dışındaki sıvı basıncı,
- İtme ekipmanının basıncı dikkate alınmalıdır.

Ara itme istasyonları

Ara itme istasyonları tünel itme gücünün kazı yapmaya yetmeyeceğinin anlaşıldığı zamanlarda kullanılır [14,15,16].

Hidrolik itme silindirleriyle donatılmış olan ara itme istasyonları, arkasındaki borulara dayanarak oluşan tepki kuvvetiyle öndeki boruları itmektedir.

Daha uzun mesafelerde boru itme işlemi yapılabilmesi için(>120 metre) ara itme pistonları kullanılması uygundur. Bu özel pistonlar gerekli mesafede borular arasında yerleştirilerek itme mesafesi uzatılabilir, ancak bu pistonların basınç kontrolü, tüm pistonların toplam basıncını gösteren bir gösterge sistemine bağlı olmalıdır ki operatör borulara uygulanan toplam basıncı takip edebilsin.

Borunun boyutu ve bağlantı yerleri, maliyet, itme mesafesi, itme yön ve doğrusalığı ara itme istasyonunu kurarken dikkate alınmalıdır.

Boru itmede uygulanacak toplam basınç, mühendislerin boru dönüş açısı ve birleşim bölgesi özelliklerine bağlı bazı özel hesaplamaları sonucu belirlenir.

2.1.2.3 İtme kuyusu

İtme kuyusundan borular sisteme dahil edilir ve kazılan malzeme buradan dışarıya alınır.

İtme ekipmanı

İtme sistemi; tünel makinesinden bağımsız olarak itme işlemindeki tüm elemanları kapsar. Pistonlardan gelen kuvvet, itme çerçevesi sayesinde borulara aktarılmaktadır

Akıcı zemin koşullarında denge basıncı gerektiğinden, dengenin hidrostatik basınç ortamı sağlayacak akıcı malzeme ile sağlanması gerekmektedir.

İtme duvarı

Ana itme pistonları, borular zeminde ilerledikçe doğrultuları bozulmamalarını sağlar. İtme pistonları yatay yükleri itme duvarına aktarır. İtme duvarının çeşidi ve boyutu, proje hakkındaki jeoteknik bilgi, sürtünme kayıpları ve tecrübe ile belirlenir [17].

2.1.2.4 Yerüstü unsurları

Elektrik, pnomatik ve hidrolik güç üniteleri, kontrol kabini, enjeksiyon ünitesi, bentonit çamuru mikseri, bentonit kazanı, ayrıştırma tesisi, pasa depolama alanı ve makine parkı bulunmaktadır.

2.1.3 Mikrotünel yöntemlerinin sınıflandırılması

Mikrotünel Makinesi ile boru sürmede kullanılan yöntemler ana hatlarıyla iki grupta toplanır. Kazılı ve kazısız yöntemlerdir, hendeksiz kazı da denilen bu yöntemlerin temel özelliği küçük çaplı mirotüneller olması, uzaktan kumanda edilebilir kesici kafalarının olması ve insansız kazı yapabilmeleridir.

2.1.3.1 Kazısız yöntemler

Kazısız teknoloji çeşitleri; boruyu çakarak ilerleme, vurma etkisi ile ilerleme ve dikey kazı yöntemleridir [18]. Toprağı sıkıştırıp yer değiştirerek, boruyu yatay darbe ile çakarak ilerleme sağlanır.

2.1.3.2 Kazılı yöntemler

Önde kazıcı-kesici kafa ile boru sürme yöntemleridir. Akıcı zemin koşulları denge basıncı gerektirdiğinden, dengenin; hidrostatik basınç ortamı sağlayacak akıcı malzeme ile sağlanması gerekmektedir. Günümüz teknolojisinde kullanılan denge basınç sistemleri aşağıda verilmiştir.

Çamur basınçlı (Slurry) MTBM'ler

Ayna basıncı uygun kıvamda çamur ile sağlanmaktadır. Bu çamur aynı zamanda hafriyatın kazı alanından uzaklaştırılmasında da kullanılmaktadır. Günümüzde 10 atm'e kadar basınçlar uygulanmakta olup, çamur kıvamının ayarlanmasında bentonit kullanılmaktadır.

Bu tip kalkanlar, arazinin çok akıcı olduğu veya tünel güzergahı boyunca böyle akıcı formasyonlara da rastlanabileceği durumlar için yapılmışlardır. Makine, değişken devirli tam cephe kesme kafasına sahip, itmek suretiyle kuvvet oluşturan tam bir kalkan tasarımındadır. Genel olarak kalem uçlu keskililer kullanılmakla birlikte bazen disk keskililerle de kombinasyon yapılabilir.

Diskler kalem keskilere nazaran biraz daha  ne çıkmış vaziyette olurlar. Böylece, büyük bloklara rastlandığında disklerin onları parçalaması ve dolayısıyla kalem uçlu keskililerin kırılması  nlenmiş olmaktadır. Akıcı  amur (genellikle bentonit), ayna ile kesme kafası arasındaki boşluğa pompalanmaktadır. Bu sıvı, aynadan sıyrılarak kazılıp çıkarılan malzeme ile karışmakta ve bu karışım bir çamur pompası ile geri tarafa alınıp yeryüzüne pompalanmaktadır. Yeryüzünde s z l p temizlenen sıvı, yeniden devreye sokularak kullanılmaktadır.

Çalışma esnasında dikkat edilecek başlıca hususlar:

- Aynaya gereğinden fazla basınç vermemek (bu durumda yeryüzünde kabarma oluşabilir).
- Yeryüzüne ulaşacak şekilde baca oluşmasını önlemek için kazılan malzeme miktarını dikkatle ölçmek.

Pasa basınçlı (EPB) MTBM'ler

Bu sistemler; ayna kazı h creti içerisinde kazılan malzemenin köpük ile karıştırılması ve hücre dışına helezonlu bir boru alınırken boşaltma hızının ayarlanması ile basınç sağlayan sistemlerdir. Dışarı alma azaldıkça basınç artarken, alış hızının arttırılmasıyla da basınç düşürülebilir.

EPB makinesi çok sert kayalar (diskli)  ok yumuşak olanlarına (kalem uçlu keskili) kadar, değişik kayaç ve zemin formasyonlarında kullanılmak üzere tasarlanabilirler.

2.1.4 Mikrotünel makinelerinde pasa nakliye sistemleri

Mikrotünel makineleri pasa nakliye metodlarına göre genel olarak iki gruba ayrılır.

2.1.4.1 Burgulu sistemler (Auger)

Kesici kafadan gelen pasanın spiral burgu vasıtasıyla nakliyesidir. Tam cepheli kesici kafalar, makinelerin basınçla dengeleme kabiliyeti sağlar. Zemin suyunun da belirli

bir seviyeye kadar kontrol altında tutulması da mümkündür.

2.1.4.2 Çamurlu su sistemi (Slurry)

Pasa çamura dönüştürülerek boru vasıtasıyla hidrolik olarak ayrışma tanklarına nakledilir. Sistemdeki basınç; kesici kafadaki yüksek zemin suyunu dengelemede kullanılabilir.

Bu tip makinelerde, kazılan malzemeyi çıkarmak için, hidrolik sistem kullanılmaktadır.

Kullanılan hidrolik nakliye sistemi, geniş kazı alanı ve bütün formasyon çeşitlerinde tünelciliği mümkün kılmaktadır. Yüzeyde, kazılan malzeme ayrılarak, su tekrar sisteme beslenir.

Jeolojik koşullar önceden belirlenir, fakat performansı optimize etmek için tünel ekipmanı ortama adapte edilmelidir.

2.1.5 Mikrotünel yöntemi seçimi

Boru itme yöntemi aç-kapa yöntemine göre daha ekonomik ve çevreye daha az zarar verir ve bağımsız hareket alanı vardır. Boru itme metodu bir kuyudan diğerine kesintisiz kazı yapabilen bir yöntemdir (Şekil 2.6).

Boru itme sistemini seçerken birçok faktörü göz önünde bulundurmak gerekir. Borunun cinsi ve boyutları, jeolojik / jeoteknik koşullar, itme mesafesi, saha koşulları, sınırlı çalışma alanı, açılma amacı ve proje maliyeti yöntem seçimini belirleyen faktörlerdir.

2.1.5.1 Jeoteknik koşullar

Boru hattı güzergahının jeolojik / jeoteknik durumu yöntem ve ekipman seçimi için en önemli kriterlerdendir.

Yeryüzü çökme potansiyeli

Yeraltı su seviyesi, mikrotünel derinliği, zeminin fiziksel özellikleri yüzeyde çökmelere sebep olmaktadır. Kohezyonsuz zeminlerde bu risk daha fazladır.



Şekil 2.6 : Başarılı bir boru itme uygulaması [19] .

Doğal zorluklar

Kazı hattı önceden çok iyi tahlil edilmeli, sondajlar yapılmalı, çıkabilecek problemler öngörülmeğe çalışılmalıdır. Yöntem seçimi ve kesici kafa dizaynı; çıkabilecek kaya kütleleri, iklimden kaynaklanan donma vs., dikkate alınarak yapılmalıdır.

Kazılan malzeme ve yeraltı suyu

Kazılan malzeme miktarı açık kazıya göre çok daha azdır (açık kazının %5' i kadar). Projeye göre burgulu, çamurlu su sistemi vs ile pasa nakil yöntemi seçilmelidir. Ayrıca her mikrotünel ekipmanı sulu ortamlarda çalışmaya göre dizayn edilmemiştir, makine seçiminde bu durum dikkate alınmalıdır.

Boru itmede uygulanacak metot seçilirken buna hafriyat sistemi de dahil edilmelidir. Bütün yerleşim, uygulama ve demobilizasyon aşamaları için bu hafriyat sistemi hem kazılmış zemini deşarj edecek, hem de yeraltı suyu basıncını dengeleyecek kapasitede olmalıdır. Yeraltı suyu basıncı dengelenmesi, zeminde göçük ihtimalini ortadan kaldırması açısından önemlidir. Kırıcı kafa itme gücüne dayanacak şekilde desteklenmiş olmalıdır.

2.1.5.2 Boru malzemeleri ve ölçüleri

Projenin amacı, zemin koşulları boru seçiminde en önemli etkindir. Beton, demir, çelik, fiberglas ve kil malzemeden yapılan borular kullanılmaktadır. İstenilen boru ölçülerine göre mikrotünel tekniği seçilir (Çizelge 2.1).

2.1.5.3 İtme uzunluğu ve derinlik

Çamur basınçlı makinelerin kullanıldığı projelerde bir sürüşte 100 metre üzerinde ilerleme yapılabilir.

Örtü miktarı, yeraltından geçen tesisat kabloları, yeraltı yapıları; derinliğin tayininde önemli etkenlerdir. Örtü kalınlığının boru çapına oranı ortalama 3:1 olarak alınabilir.

2.1.5.4 Yönlendirilebilme kapasitesi ve yönlendirme sistemleri

İlerleme esnasındaki en önemli ve dikkatle yapılması gereken işlem, tünel makinesinin doğrultusunu bozmadan seviyesinde kazı yapmasını takip etmektir. Bu da bağımsız bir lazer sistemiyle mümkün olmaktadır. İtme sisteminden ayrı olarak yerleştirilmiş bir sehpa üzerinde çalışan lazer ve operatör kabine gelen hedefteki görüntüsü mükemmel bir kontrol sağlar. İlerleme esnasında hata payını sıfıra indirmek için lazer periyodik olarak kontrol edilir.

Yönlendirme pistonları borular ilerledikçe istikametlerinden sapmamaları için laserle kontrol edilir. Standart sapma toleransı 10 mm' dir.

Yönlendirme sistemi, herhangi bir zaman diliminde ve konumda tünel makinesinin en düzgün pozisyonunu tespit eder. Makine operatörüne; gerekli kontrol hareketlerini yapması için düzenli olarak makine konumunu iletir. Yönlendirme sistemi, ayrıca teodolit, ELS aktif lazer hedef ve prizmadan oluşmaktadır ve tünelin ön cephesine yerleştirilmiştir (Şekil 2.7, Şekil 2.8). Modern tünel hesaplama sisteminde, makinenin doğruluğu sensörler vasıtasıyla hesaplanır. Tünel ve ölçüm ile ilgili tüm veriler, isteğe göre bilgisayarda kaydedilebilir.

2.1.5.5 Saha sınırlamaları

İtme kuyusu, boru depolama yeri, çamur ayırıştırma ünitesi, konteyner ve araç parkı için şantiye sahasında uygun alan oluşturulması gereklidir.

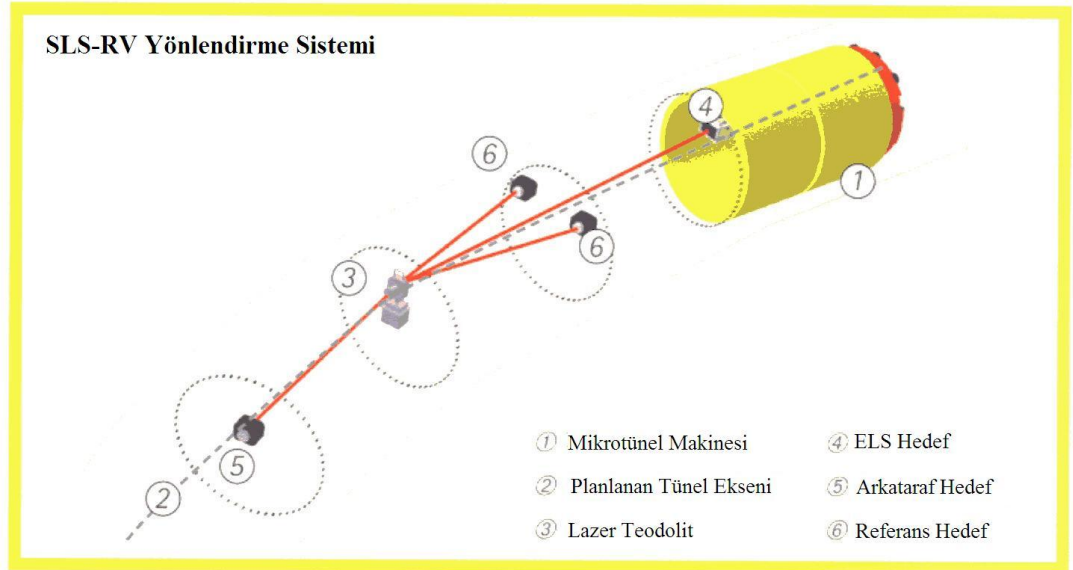
2.2 Kazı Makinelerinin Performans Tahmini

Bir projeye başlamadan önce maliyet analizi yapılmalıdır. Maliyet faktörü; mikrotünel faaliyetinin performansı ile ters orantılıdır. Tünelcilikte en büyük risk, doğru makine seçimidir. Doğru makine seçiminin en önemli önşartı güzergâhın jeolojik koşullarını iyi bilmektir. Performans tahmin yöntemleri, seçilecek

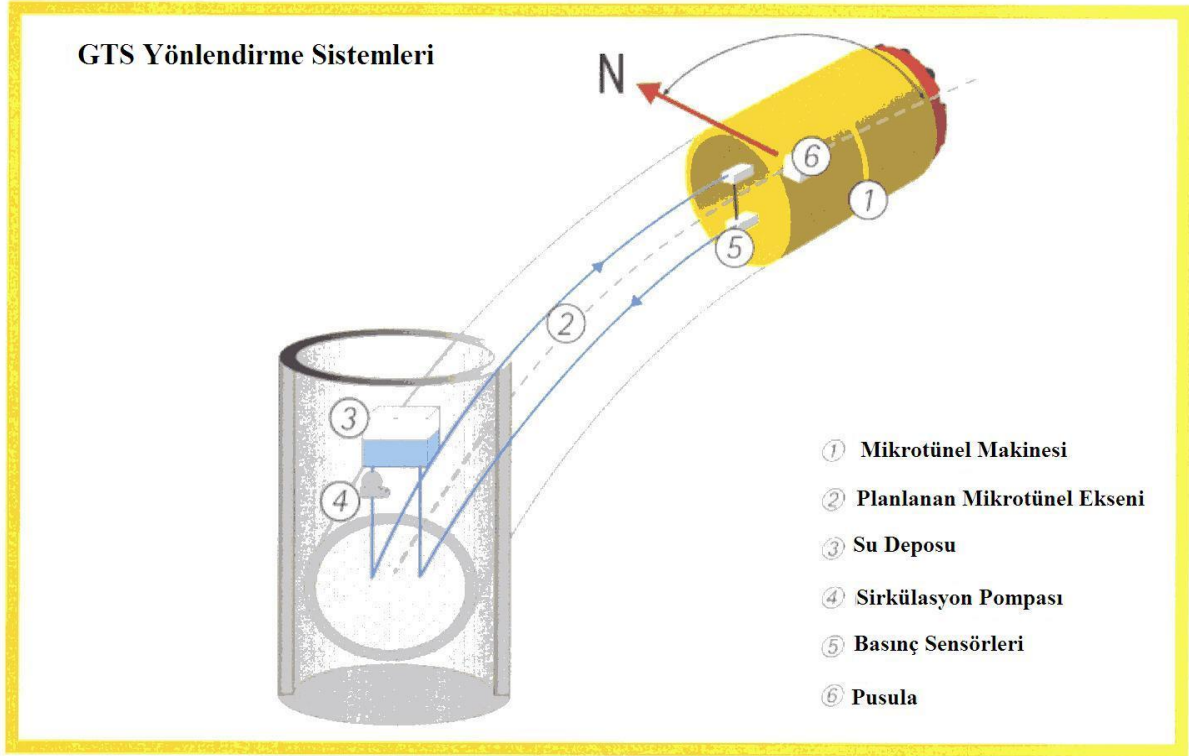
makinenin, mikrotünel açılacak formasyondaki verimi ile maliyeti hakkında fikir verir. Makine performansına jeolojik- jeoteknik parametreler, makine parametreleri ve operasyonel parametreler etki etmektedir.

Çizelge 2.1 : Küçük çaplı tünel açma sistemleri [18].

Teknik	Uygulama Alanları	Boru Malzemesi	Kurulum Uzunluğu (m)	Dış Çap (mm)
Burgulu	Geçişler, kanalizasyon, akarsu/deniz geçişlerinde	Çelik	130	600 - 1500
Boru çakma	Geçişler, kanalizasyon, akarsu/deniz geçişlerinde	Çelik	130	50-1500
Boru İtme	Geçişler, kanalizasyon, akarsu/deniz geçişlerinde	Beton,Çelik, Fiberglas, Kil	1000	900'ün üstü
Mikrotünel	Geçişler, kanalizasyon, akarsu/deniz geçişlerinde	Beton,Çelik, Fiberglas, Kil	460	450-1500
Yatay Kazı	Geçişler, akarsu/deniz geçişlerinde	Polietilen, Çelik	1600	100 -1350



Şekil 2.7 : Yönlendirme Sistemi-1 [20] .



Şekil 2.8 : Yönlendirme Sistemi-2 [20].

Çizelge 2.2 : Çeşitli durumlar için ELS teknik verileri [20].

Boyutları (kurma aleti haricinde)	330 x 166 x 109mm
Madde	Sert alüminyum alaşım
Ağırlık	8.7kg
Kullanma Sıcaklığı	- 10 ile + 50°C arası
Lazer Gücü	1 – 3 mW arası
Dalga Boyu	- 635 nm (diyet lazer) - 633 nm (Helyum-Neon Lazer)
Lazere Uzaklık	Lazere ve çevreye (toza) bağlıdır
Kurma Aleti	3 – yönlü kafa ile kurulur
Saklama Sıcaklığı	- 30 ile + 70°C arası

2.2.1 Performans terminolojisi

Performans belirlenmesinde bazı teorik ve ampirik hesaplamalardan istifade edilir. Bu hesaplamalarda en önemli verilerden birisi süredir. Performans belirleme unsurlarından bazıları şunlardır:

2.2.1.1 Net kazı hızı

Makinenin kazı yaptığı süredeki (fili çalışma) ilerleme miktarıdır ve m/saat veya

m^3 /saat olarak ifade edilir [21].

2.2.1.2 İlerleme hızı

Belirli bir süredeki (mesai, vardiya) ilerleme miktarıdır. Genellikle m/gün, m/hafta, m/ay olarak ifade edilir [21].

2.2.1.3 Makine kullanım oranı

Makinenin fiilen kazı yaptığı sürenin, toplam zamana (mesai saati) oranıdır (%) [21,22,23].

2.2.1.4 Makinenin kullanılabilirlik oranı

Makinenin kazı yaptığı süre ile makineden kaynaklanmayan duraklama süresinin toplamının, mesai saatine (vardiya süresine) oranıdır (%) [22,23].

2.2.1.5 Makinenin güvenilirlik oranı

Makineden kaynaklanan duraklama süresinin, mesai saatine (vardiya süresine) oranıdır (%) [22,23].

2.2.1.6 Keski tüketim hızı

Birim hacim miktarın kazısı için tüketilen keski miktarıdır ve adet/ m^3 olarak ifade edilir [21].

2.2.2 Mikrotünel kazılarında performansı etkileyen faktörler

Mikrotünel açılacak formasyonun jeolojik-jeoteknik özellikleri, kullanılacak mikrotünel makinesi ve işletme şartları kazı performansına etki eder.

2.2.2.1 Jeolojik ve jeoteknik faktörler

Formasyon özellikleri yüksek verim için bilinmesi gereken parametrelerdir. Ortamının ayrıntılı bilinmesi mikrotünel açma performansı açısından ve sağlıklı makine seçimi yapılabilmesi için çok önemlidir.

2.2.2.2 Mekanik (Makine ile ilgili faktörler)

Makine tipi

Zeminin özelliğine, mikrotünel açma yöntemine ve açılma amacına göre makine seçilmelidir. Mikrotünel makineleri, pasa basınçlı ve çamur basınçlı olmak üzere

genel olarak iki tiptir. Çamur basınçlı makineler karmaşık bir sisteme sahiptirler, fakat gerek su seviyesinin altında kullanılabilmeleri gerekse çoğu zemin tipinde kullanılabilmeleri nedeniyle daha çok tercih edilirler.

Kesici kafa özellikleri

Mikrotünel açılacak ortama göre kesici kafa dizayn edilmesi kazı performansını önemli ölçüde etkileyecektir. Keski sayısı, keski dizilimi göz önüne alınması gereken en önemli kriterlerdir.

Keskiler ve özellikleri

Kesici kafanın özelliğine göre disk yada kazıyıcı özelliğe sahip kama tipli keskiler kullanılmaktadır.

Merkezleyici keski (Front/central cutter): Tünel makinesinden yaklaşık 10 cm önde ilk kesme işini yapan elemandır. Merkezleyici keski, makinenin sağa – sola yalpalanmasını önlemek ve yönünü tayin etmesine yönelik olarak tasarlanmıştır. Aynada açtığı konik boşlukla beraber ilk kesme işini yapar (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : Mikrotünel açma makinesinin önünde bulunan merkezleyici keski.

Disk keskiler (Disc cutters): Disk keskiler aynada küçükten büyüğe doğru giden daire şeklinde yörüngede kesme yaparlar. Bu kesme işini keskilerin en uç kısmındaki 2 cm'lik özel alaşımlı bir bölge yapar (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : Sert ve orta-sert malzeme kesimini yapan disk keski.

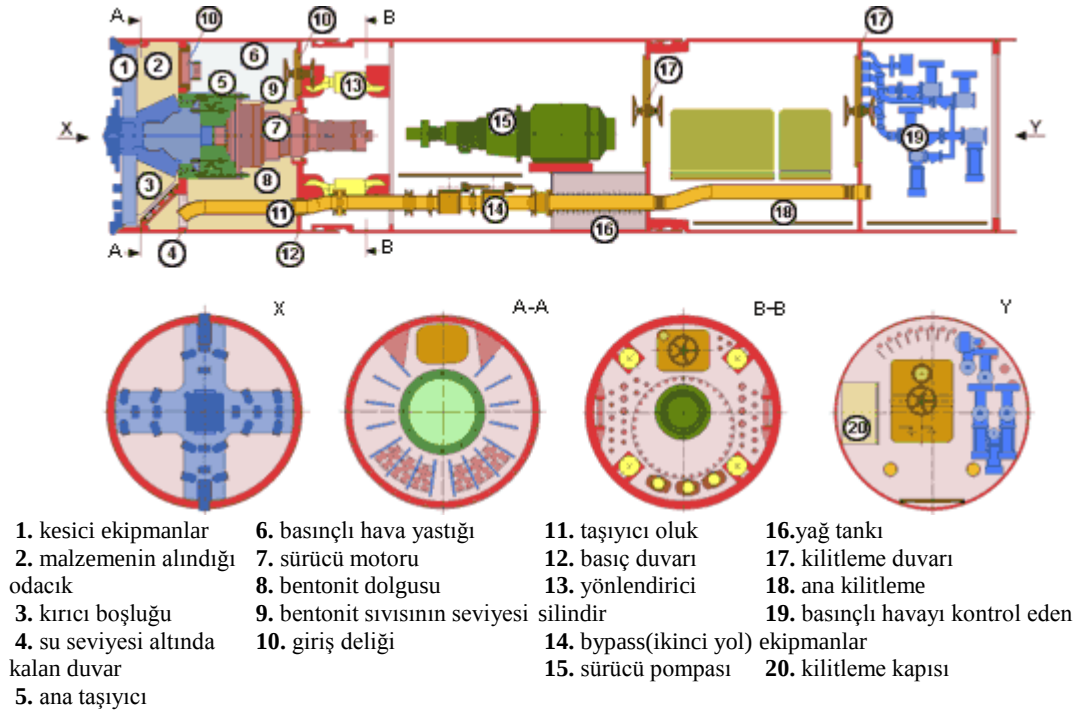
Kama tipi (sıyrıcı) keskiler (Chisel picks): Disk keskilerin açtığı boşlukların sağ veya sol uçlarına yaptığı basınçla kesme alanını genişletir. Disk keskinin açtığı her boşluğun kenarlarına en az bir tane sıyrıcı keskinin denk gelmesiyle, açılan boşluk genişletilmiş ve aynadaki ilerleme miktarı artırılmış olur (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : Aynadaki kazı alanını genişleten kazma keskiler.

Makine teknik özellikleri

İlerleme esnasında makinenin mekanik sorunlarla karşılaşmaması, ilerlemenin aksamaması ve beklenmeyen durumların ve risklerin minize edilmesi için makinenin bilinçli seçilmesi ve özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir (Şekil 2.12) .



Şekil 2.12 : Mikrotünel makine elemanlarının kesit görünümü [19] .

2.2.2.3 İşletme/Çalışma (Operational) faktörleri

Sürüş uzunluğu

Makinenin özelliklerine, boru çapına göre değişim arz eder. İtme kuvvetinin sürtünme direncini yenmesi ile bu mesafe artar.

Ara itme istasyonu kullanımı

Sürülebilecek boru mesafesini arttırmak için ara itme istasyonları kullanılır. Bu şekilde kuyu sayısı azaltılarak hem zaman hem maliyet tasarrufu sağlanmış olmaktadır. Ara itme silindiri kullanabilmek için hem boru iç çapının en az 900 mm olması hem de ara itme silindirlerinin sürtünme direncini yenecek itme kuvveti oluşturmaları gerekmektedir.

Boru uzunluğu

Seçilecek borunun özellikleri direk maliyetlere etki yapar. Uzun boru seçilecek ise kuyu boyutunun ona göre büyük olması ve itme aksamında ona göre seçilmesi gerekliliği doğmaktadır. Bunlar maliyeti arttıran faktörlerdir, fakat diğer yandan boru ekleme süresi azalacaktır.

Boru malzemesi

Mikrotünel açılım amacına göre boru seçilmelidir. Boru malzemesi seçilirken, dayanıklılığı arttırıcı olması ve sürtünmeyi azaltıcı özelliği olup olmadığına dikkat

edilmelidir. Mikrotünelcilikte kullanılan borularda birleşme yerlerinde conta sayesinde servis ömürleri uzun olur.

Hattın doğrultusu

Sapma $\pm 25\text{mm}$ ' yi aşmamalıdır. Açısal sapma bağlantı yerlerinde normalde 0.25° yi geçmemelidir, ortalama açı 0° ile 0.3 derece arasında olmalıdır, farklı bir durum olsa da kesinlikle 0.5° den büyük olmamalıdır.

Boruların, çizgisel doğrultuda sağa-sola $\pm 75\text{ mm}$ ve $\pm 50\text{ mm}$ arasında sapmaları kabul edilebilir sınırlardır. Kaydırıcı konulan yerlerde sapma açısının daha düşük seviyelerde kaldığı gözlemlenmiştir [24].

Atıksu/ kanalizasyon borularında seviye, doğrultudan daha önemlidir ve çizgisel doğrultuda aşağı-yukarı $\pm 150\text{ mm}$ ve $\pm 22\text{ mm}$ arasında seviye hizası tolerans sınırlarıdır.

Yönlendirme düzenlemeleri derece derece olmalı ve her bağlantı yerinde 0.1° 'yi geçmeyecek şekilde yapılmalıdır [24].

Hattın derinliği

Boru hattının amacı ve mevcut güzergahtaki önceden döşenen alt yapı birimleri derinliğin seçimini etkiler. Derinlik arttıkça, kuyu inşa süresi ve maliyetler artar ve boru üzerine gelen yüklerde artacağı için sürtünmenin de artmasına etki eder.

Yeraltı suyu koşulları

Kazı ortamının tamamen kuru veya tamamen sulu ortam olması en idealidir. Yeraltı suyu seviyesi kazının derinliğine etki eder.

Yağlama (sürtünme azaltıcı, kayganlaştırıcı) sistemler

Uygun kaydırıcılar, zemin iyileştirici katkıları kullanılırsa, mikrotünel makinesinin performansı artacaktır [25]. Zemin iyileştirme yöntemleri, uzun mikrotünelde ve zor zemin şartlarında kullanılır.

Montmorillonit kil mineralini çok miktarda içeren iç yapısı ve partikül boyutlarının inceliği nedeni ile suda oldukça kolloidal bir yapı sergileyen bentonit, bugün yüzün üstünde endüstri dalında kullanılmaktadır. Kil-su ile karıştırıldığında konsantrasyonuna göre :

- Kolloidal süspansiyon,
- Jöle,

- Çamur kıvamında olabilir.

Suya %1-2 oranında katıldığında kolloidal görünümde olan bentonit, konsantrasyon arttırıldığında jöle, daha da arttırıldığında çamur görünümündedir.

Bentonitik kil tanecikleri ne kadar küçük olurlarsa yüzey alanlarının etkileri o denli çok olur, böylece tanecikler arası etkileşim büyük boyutlara ulaşabilir. Taneciklerin dağılma, kümeleşme, dayanıklılık gibi özelliklerini bu etkileşimler yönlendirirler [26,27].

Sıvı ve kolloidal partiküller arasındaki etkileşimler ve fiziksel özellikler çok değişkendir. Sistem kolloidal süspansiyon, jöle veya bir çamur yapı gösterebilir. Ayrıca sistemin yapısı zamanla, sıcaklıkla ve akış hızı ile değişebilir.

Sistemin tanımlanabilmesi için reolojik(akıcılık) özellikleri; kontrol edilebilen bir akış hızı ile, akış hızının fonksiyonu olarak tayin edilmelidir. Bir sistemin viskozitesine; katı malzemenin konsantrasyonu, partiküllerinin büyüklüğü, şekli, dağılımı, dispersiyon derecesi, pH, sıcaklık gibi birçok faktör etki eder [28].

Bentonitin, mikrotünel aynasındaki görevi, keskiler ile ayna arasındaki sürtünmeyi azaltmaktır. Sürtünmenin azalması keski aşınmalarını ve kesici kafanın tork gereksinimini azaltır.

Bentonitin, kesme noktasına mümkün olan en kısa zamanda enjeksiyonu yapılmalıdır ki; zeminle yeterince karışabilsin.

Bentonitin, mikrotünel makinesi kafasındaki görevi, çamur akışını arttırır, sürtünme ve aşınmaları azaltır ve mikrotünel açmadaki görevi, açılan kısmın tahkimatına destek olur ayrıca kayganlaştırıcı vazifesini görür [25].

Bentonitin yanısıra Penetrol Xtra kullanımı da mümkündür, özellikle elmaslı sondaj için geliştirilmiş bitki bazlı çözülebilir bir yağdır. Mükemmel yağlayıcı özelliği ile ilerleme hızını ve keski ömrünü artırır. Penetrol Xtra, su emülsiyonu içerisinde köpüklü beyaz bir yağ oluşturur ve tatlı sudan çok tuzlu suya, sert sudan asidik suya kadar pek çok ortamda etkili olduğu ispatlanmıştır. Ekonomiktir; az bir miktarı keski ömrünü uzatmaya ve ilerleme hızını arttırmaya yeterlidir. 1000 litre (1 ton) suya 2,5 – 5 litre (aşırı sert ve aşındırıcı formasyonlarda 1000 litre (1 ton) suya 7,5 – 10 litre) konulmalıdır [29].

Ayrıştırma ünitesi

Kazılmış malzemeyi çamurdan ayırmak ve sulu çamuru tekrar kullanmak için elek ve siklonlardan oluşan bir sistemdir. Makinenin kazı kapasitesiyle uyumlu olarak, ve siklonlar vasıtasıyla su ayrıştırılarak geri beslenir.

Ayrıştırma ünitesi, kazılan malzemenin uzaklaştırılma hızına etki eder, bu yüzden zemin koşullarına uygun olan tercih edilmelidir.

Operatör deneyimi

Operatörün tecrübeli olması, karşısına çıkabilecek beklenmedik durumlarda doğru hareket etmesini, anlık karar vermesi gerektiği zaman yanlış bir şey yapmamasını sağlar. Operatör ne kadar tecrübeli olursa, o kadar kazı verimi artar, duraklamalar azalır, arızalara müdahale süresi düşer.

Çamur akış hızı

Kazı yüzeyinde çökme olmaması için dengeleyici bir görev üstlenmeli ve çökmelerden kaynaklanabilecek tıkanmaları önleyebilecek şekilde hızı ayarlanmalıdır.

Su jetleri kullanımı

Su jetleri kazıyı kolaylaştırarak kazı verimine yardımcı olur. Kazı esnasında, malzemenin kesici kafaya yapışmasını önleyerek kazı hızına yardımcı olur.

Kuyu tasarımı

Genellikle, daire veya dikdörtgen şeklinde inşa edilmektedir. Kuyu tasarımında, seçilen makine özellikleri ve boyutu, boru ölçüleri ve itme ekipmanı seçimi etkili olmaktadır.

Teknik destek

Yeni bir projede kullanılacak bir mikrotünel makinesi için firmanın eğitim alması gereklidir. Makine ilk kullanılacaksa üretici firma kendi operatörünü gönderir, ve bir yandan makinenin ilk kazılarını kendi deneyimli operatörüne yaptırırken, diğer yanda da onun diğer operatörleri eğitmesini sağlamış olurlar. İmalatçı firmanın periyodik bakımlar yapması, arızalarda yardımcı olması ve yedek parça desteği mikrotünelcilik verimini artırır.

2.2.3 Kaya ve zemin ortamlar için kazı hızı tahmin yöntemleri

Deneysel modeller; ampirik modellere göre pahalı, gerçek makine ile yapılacak testlere göre kolay uygulanabilirliğe ve daha düşük maliyete sahiptirler (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 : Performans Tahmin Modelleri [21].

Performans Tahmin Modelleri	
1	Ampirik modeller
2	Deneysel modeller: -Tam boyutlu kazı seti -Küçük boyutlu kazı seti -İndeks deneyler
3	Yarı teorik modeller: Bilgisayar modellemeleri
4	Gerçek makine ile yapılan arazi testleri
5	Gerçek makine ile yapılan laboratuvar testleri

2.2.3.1 Kazı deneyleri

Tam boyutlu kesme deneyi

Tam boyutlu doğrusal kazı seti; kaya ortamından alınan büyük boyutlu numune üzerinde laboratuvar ortamında gerçek boyuttaki kesmelerle yapılmaktadır. Kesme derinlikleri ve kesmeler arası mesafeler değiştirilerek, normal kuvvetler, kesme kuvvetleri ve spesifik enerji değerleri belirlenmektedir. Kuvvetler ölçülerek, makine ve keski seçimi yapılabilir, performans ve maliyet tahmininde bulunulabilir. Farklı kesme derinliği ve kesmeler arası mesafeler için spesifik enerji değerleri bulunur ve net kazı hızı hesaplanır (2.1) [30].

$$ICR = k_e \cdot \frac{P}{SE_{opt}} \quad (2.1)$$

ICR: Net kazı hızı (m³/h)

P: Kesici kafa gücü (kW)

SE_{opt}: Optimum spesifik enerji (kWh/m³)

k_e: Enerji transfer oranı

Büyük blok numunesi almada zorlanıldığı durumlarda küçük boyutlu kazı seti ile performans tahmini yapılabilir.

Küçük boyutlu kesme deneyi

Küçük boyutlu deney seti karot numuneler veya 10 x 10 x 20 cm boyutlarına kadar

olan kayaç blokları üzerinde kesilebilirlik deneyleri yapmak için geliştirilmiştir. Bir dinamometre ve bilgisayar destekli veri toplama sistemi standart bir keski üzerine gelen üç eksenindeki kuvvetlerin kaydedilmesi için kullanılmaktadır. Kesme kuvvetlerinin birim mesafede kesilen pasa hacmine bölünmesi ile spesifik enerji bulunur [30].

İndeks deneyler

- Nokta yük dayanım indeks deneyi; kaya malzemesinin basınç ve çekme dayanımı gibi özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Düzgün kesilmiş veya az düzeltilmiş kaya blokları ve karotlarla yapılan bu deneylerin hazırlanması basittir ayrıca taşınabilir olması sayesinde hem laboratuvar hem de arazide kullanılabilir. Kullanılan örnek çapı 30-85 mm arasındadır (ideali 50 mm) [31] .

60° tepe açısına ve 5 mm eğrilik çapına sahip konik yükleme başlıkları arasına sıkıştırılan numunenin bir kriko yardımıyla hidrolik kuvvet üretilmesi sonucunda numunenin yenildiği basıncın, göstergeden okunması esasına dayanır (2.2). Aynı kayaçtan alınan en az 10 örnek kullanılmalıdır.

$$I_s = \frac{F}{d_e^2} \quad (2.2)$$

I_s : Nokta yük dayanım indeksi (MPa)

d_e : Eşdeğer karot çapı (mm)

F : Kırılma yükü (N)

- Dolaylı çekme dayanım deneyi (Brazilian); kalınlık-çap oranı 0,2-0,75 olan disk şeklindeki numunenin basınç uygulanarak merkezde oluşan yatay çekme gerilmesi nedeniyle kırılması ile elde edilen kırılma yükü değerinin (2.3.) denkleminde konulmasıyla çekme dayanımının bulunması esasına dayanır [32].

$$\sigma_t = \frac{2F}{\pi \cdot d \cdot l} \quad (2.3)$$

σ_t : Çekme dayanımı (kgf/cm²)

F: Kırılma yükü (kgf)

d: Numune çapı (cm)

l: Numune uzunluğu (cm)

- Doğrudan çekme dayanımı deneyi; düzenli bir geometriye sahip (silindirik karot örneği) sahip kayaç örneklerine doğrudan uygulanan eksenel çekilme dayanımlarının tayini amacı ile yapılır. Çekme dayanımı genellikle zedelenmemiş sağlam kayanın karakteristiği, sınıflaması ve tanımı için yapılmakla birlikte bu değer bazı tasarım problemlerinde de girdi olarak kullanılır. Bu yöntem, deney sırasında özellikle kayaç örneği ile eksenel yükleme başlıkları arasındaki bağlantının sağlanabilmesi ile ilgili güçlükler ve örneğin yenilmesinden önce bu bağlantı yüzeyleri boyunca örneğin ayrılması nedeni ile Brazilian (Dolaylı çekme dayanımı) deney yöntemine göre daha az tercih edilir [33].
- Basınç dayanım deneyi; numunenin basınç dayanımının ve gerilme deformasyon ilişkisinin belirlenmesidir. Malzemenin yük-şekil değiştirme ilişkisi tespit edilmek istendiğinde yükleme sırasında mekanik veya dijital deformasyon ölçerler kullanılır [33].
- Schimazek aşındırıcılık indeks deneyi; Schimazek ve Knatz tarafından geliştirilmiştir. St 50 çeliğinden imal edilmiş, uçları 90 derece konik ve 3 mm'ye kadar köreltilmiş keskiler kullanılır. Özel bir makinada numeneler, 45 N'luk kesme kuvvetiyle 16 metre Archimed Spirali çizilir. Uçlarda meydana gelen ağırlık farkı, aşınma indeksinin fonksiyonu olarak kabul edilir [33].
- Cerchar aşındırıcılık indeks deneyi; çekme dayanımı 160 kgf/mm^2 olan 90° tepe açılı konik bir uç 7 kgf bastırma kuvveti ile numune üzerinde yaklaşık 1 saniyede 1 cm çekilmekte ve uçta oluşan aşınma yüzeyinin çapı veya uzunluğu kayaç numunesinin aşındırıcılığını vermektedir (Çizelge 2.4) [33].

Bir Cerchar aşınma indeksi 1/10 mm'lik aşınmayı ifade eder.

Çizelge 2.4 : Cerchar aşınma indeksine göre kayaç aşındırıcılıkları [33].

Sınıflandırma	Cerchar İndeksi	Kayaç Tipi
Çok aşındırıcı	> 4,5	Hornblend, gnays, pegmatit, granit
Oldukça aşındırıcı	4,25-4,5	Amfibol, granit
Aşındırıcı	4,0-4,25	Granit, gnays, şist, kumtaşı, silttaşı
Orta aşındırıcı	3,5-4,0	Dolorit
Biraz aşındırıcı	2,5-3,5	Kumtaşı, silttaşı
Az aşındırıcı	1,25-2,5	Porland kumtaşı
Çok az aşındırıcı	<1,2	Kireçtaşı

Çok sert ve aşındırıcı formasyonlarda keski sarfiyatı kazı maliyetini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenle mikrotünel fizibilite çalışmaları sırasında, keski sarfiyatını önceden belirlemek önemli olmaktadır. Bu iş için ise kayaçların Cerchar veya Schimazek aşındırıcılık indekslerine bakılmalıdır.

2.2.3.2 Zemin deneyleri

Literatürde zeminler için (kil, kum, silt vs) geliştirilen net kazı hızı tahmin modeli yoktur.

Standart penetrasyon testi (SPT) [34]

Zemin mukavemet ve yoğunluğunu değerlendirmek ve örselenmiş örnek almak amacıyla sondaj kuyusu içinde (in situ) yapılan bir dinamik kesme deneyidir. Deneyde standart bir sempler zemine sokulmaya çalışılarak zeminin bu sokulmaya karşı gösterdiği direnç bazı hesaplamalarla saptanabilmektedir.

Kohezyonsuz zeminlerden standart ve klasik numune alıcılarla örselenmemiş örnek almak hemen hemen olanaksız olduğu için bu tip zeminlerin mühendislik özellikleri laboratuvar deneyleri ile belirlenememekte, bu yüzden bu tür zeminlerde SPT gibi arazi deneyleri tercih edilmektedir. Deney öncelikle kohezyonsuz zeminlerin izafi yoğunluklarını belirlemek için geliştirilmiş olup daha sonraları yumuşak killerde de uygulanmaya başlanmıştır.

Zeminlerde likit limit, plastik limit ölçümü ve plastisite indisinin bulunması [35]

Atterberg Limitleri; likit limit, plastik limit ve büzülme limit değerleri ortak olarak ilk kez İsveçli zemin bilimci Albert Atterberg tarafından tanımlandığı için Atterberg limitleri diye adlandırılırlar. Bu limit değerleri özellikle ince daneli zeminlerin kıvam durumlarının sınırlarını belirler.

Likit limit (LL); zeminin plastik halden likit hale geçtiği likit limit deney sonucunda elde edilen su içeriği değeridir. Plastik Limit (PL); zeminin plastik halden katı hale geçtiği plastik limit deney sonucunda elde edilen su içeriği değeridir. Plastisite İndisi (PI); zeminin plastik davranış gösterdiği su içeriği alanıdır. Rakamsal olarak Likit limit değeri ile plastik limit değeri arasındaki farktır.

Elek analizi [36]

Zeminler farklı geometri ve boyutlardaki danelerin bir araya gelmesi ile oluşurlar. Zeminleri oluşturan bu danelerin zemin içerisindeki dağılımları zeminlerin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle zeminleri sınıflandırırken zemini oluşturan danelerin dağılımı da etken olmaktadır. Elek Analizi deneyi ile zeminleri oluşturan danelerin zemin içerisindeki dağılımı tespit edilir.

Bu deney ile zemin içerisindeki ince kum boyutunda ve daha iri tanelerin dane çapı dağılımları elde edilir. Ayrıca zemin içerisindeki kil ve siltin toplam miktarı da bu deney sonunda elde edilebilir. Deneyde ASTM elek seti, terazisi, tepsi, kürek, fırça ve 1500 gr zemin numunesi kullanılmıştır.

Granülometri deneyi veya elek analizi birbirini izleyen şu üç işlem sonucu yapılır:

- Numunenin Alınması

Deney tamamen kuru numuneler üzerinde yapılır. Agregaya rutubetli ise etüvde kurutulduktan sonra deneye tabi tutulur. Kum ve çakıl yığınının etek ve tepe kısmından numune alınmamasına dikkat edilmelidir. Yığının orta seviyesinden alınan numune en iyi şekilde agregayı temsil eder.

- Eleme İşlemi

Gerekli koşulları yerine getiren numune, boyutu en büyük olan elek üstüne konur ve elemeye başlanır. Elekten geçenler boyutu en büyük olan elek üstünde toplanır ve bu elekten elenir. Genel olarak eleme işi özel eleme makineleri ile yapılmaktadır. Bu amaçla bir seri elek en küçük boyuttan başlayarak sıra ile üst üste geçirilir. En üste bulunan en büyük boyutlu elek üzerine numune konulduktan sonra elek takımı makineye yerleştirilir. Makinenin meydana getirdiği sarsıntı ve sarsma hareketleri sonunda 10-15 dakika içinde eleme işi sona erer.

- Tartma İşi

Eleme işlemi sonunda her elek üstünde bir miktar malzeme kalmış bulunmaktadış. En büyük boyutlu elek üstünde kalan agrega tartılır. Bu elekten hemen sonra gelen daha küçük boyuttaki elek üstünde kalan bir üst elek üstünde kalana elenerek tartılır ve bu işe sonuna kadar aynı şekilde devam edilir. Bu maksatla 0,1 gr. duyarlılıklı bir terazi kullanılması yeterlidir.

2.2.3.3 Ampirik yöntemler

Performans tahmininde kullanılan ampirik modeller; kazı makinesinin arazi performansı ile zemin veya kaya özellikleri arasındaki istatistiksel ilişkidenden elde edilirler ve düşük maliyetlere sahiptirler [21].

2.2.3.4 Kazı makinelerinin laboratuarda denenmesi

Kazı makinesinin kullanıldığı laboratuvar testlerinin maliyetleri çok yüksek olmasına rağmen doğru sonuçlar vermektedir [21].

2.2.3.5 Kazı makinelerinin arazide denenmesi

Kazı makinesinin kullanıldığı arazi testleri en doğru sonuçları verilebilir fakat maliyetleri çok yüksek olduğu için çok büyük projelerde tercih edilir [21].

2.3 Mikrotünel itme kuvvetleri

İtme kuvvetlerini önceden tahmin edebilmek makine seçiminde boru ve kuyu tasarımında ve planlamada önemli rol oynar.

Müteahhit kazıya başlamadan önce maksimum itme kuvveti tahminini içeren değerleri gösteren hesaplamalar yapmalıdır. Bu çalışmalar, arın destek hesaplarını, borunun sürtünme direncini ve bu direncin azaltılması hesaplamalarını içermelidir.

Boru iterken gerekli olan itme kuvvetlerini; kalkanı iterken oluşan yüzey yükler, boruların kendi ağırlığı, boru iterken bekleme yapmak veya boruların istikametlerinden sapması ve boru ile zemin arası sürtünme kuvveti tayin eder.

İtme kuvvetlerini etkileyen faktörler:

- Kafanın delme ve yönlendirildiğindeki ayna basıncı,
- Aynada basınçlı hava veya akışkan destek basıncı,

- Kesici kafa temas basıncı,
- Makinenin dış yüzey direnci,
- Zemin ve kalkan arasındaki sürtünme,
- Kalkan üzerine yapışan malzeme direnci,
- Boru hattının sürtünme direnci (sürtünme ve yapışma etkisi),
- Sürtünme direncini azaltmak için fazla kazı,
- Kaydırıcı kullanılması,
- Makinenin geçtiği zemin cinsi,
- Boru hattı ile yeryüzü arasındaki mesafe,
- İlerlemenin itme oranı,
- İtme mesafesi,
- Borunun dış yüzeyi ve özellikleri,
- Tahmin edilemeyen engellemeler ve yönlendirme sorunları yüzünden boru itmenin aksaması.

Zemin şartlarına bağlı olarak, borunun dış yüzeyindeki sürtünme kuvveti 0,5 ile 2,5 ton/m² arasında olmaktadır.

Beklemeler, duraklamalar itme kuvvetinin normalden daha yüksek olmasına sebep olur. Bu kısa duraklamalar için (1 saatten az) %25, 24 saat için ise %75 daha yüksek olması demektir [37,38,39].

2.3.1 İtme kuvvetlerine etki eden faktörler

Zemin tipi, yeraltı suyu, aşırı kazı miktarı, yağlama, duraklamalar, doğrultu sapmaları, boru kaplamaları, membranlar ve ara itme istasyonları itme kuvvetlerini etkileyen faktörlerdendir.

2.3.1.1 Zemin tipi

Zeminin türü, kohezyonu ile içsel sürtünme açısı etki eder. Zemindeki boşluklar, boru malzemesinin zemin ile uyumu itme kuvvetlerinin değişim göstermesine sebep olur. Zemin yapısı:

- Kohezyonsuz Zeminler: Daneleri gevşek veya sıkı bağlarla bir araya gelir
- Kohezyonlu Zeminler: Zemin içinde karmaşık kuvvet sistemleri (çekme ve itme) ortaya koyan kil minerallerinden oluşur. Böylece dağınık veya topaklanmış yapıların meydana gelmesinde rol oynarlar.

2.3.1.2 Yeraltı suyu

Stabilite açısından su seviyesi çok önemlidir. Kohezyonlu zeminlerin su tutma özelliği olduğundan şişme ve yapışma olur. Zeminin kendini tutma özelliği sürtünme direncini etkiler. Kohezyonsuz zeminler suyu tutmazlar ve çökme olur.

2.3.1.3 Aşırı kazı

Kazı ile boru dış yüzeyi arasında kalan boşluktur. Aşırı kazı oranı arttıkça etki eden kuvvetler azalmaktadır. Sürtünmeyi düşürebilmek için kazı çapının boru çapından minimum 10 mm büyük olması gerekmektedir [40]. Aşırı kazı oranı (2.4):

$$R = \frac{D_e - D_p}{D_p} \quad (2.4)$$

R : Aşırı kazı oranı

D_e : Kazı çapı

D_p : Boru dış çapı olarak ifade edilir [9].

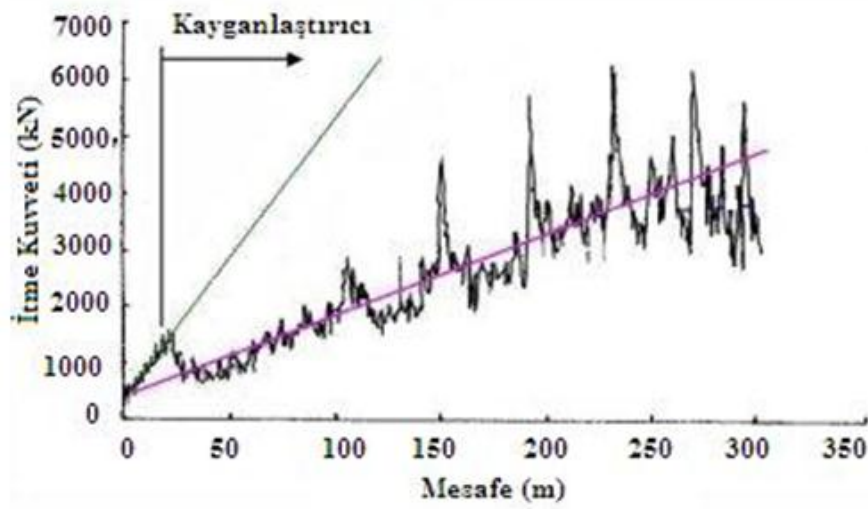
2.3.1.4 Yağlama (kayganlaştırıcı)

Kayganlaştırıcı olarak kullanılan bentonit enjeksiyonun, boru ile zemin arasındaki sürtünmeyi efektif bir şekilde azalttığı kanıtlanmıştır. Sonuçta, her zemin tipinde itme kuvvetinde önemli azalmalar mümkün olmaktadır (Şekil 2.13, Şekil 2.14).

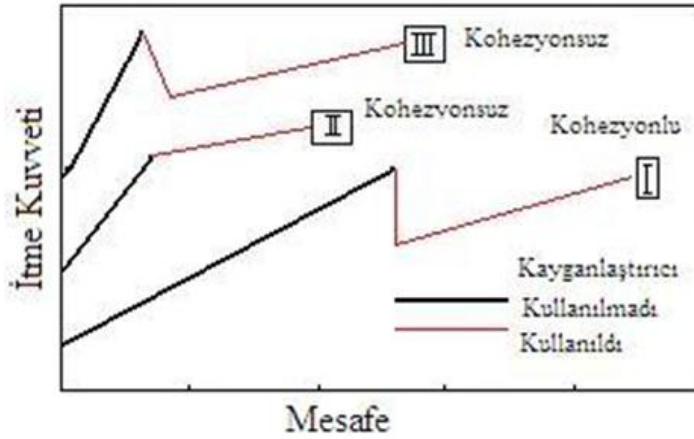
Bentonit pompalanarak hem zaman hem işçilikten tasarruf edilir hemde verim arttırılır.

Sürtünme yükünü hafifletme için özel bir kaydırıcı sıvı, bentonit-su (gerekliyse polimer) karışımı kullanılır. Daha önce tespit edilmiş karışım oranlarında hazırlanan bentonit; özel bir pompa ile borularda hazırlanmış deliklerden boru dış yüzeyi ile tünel kazı yüzeyi arasındaki boşluğa basılır.

Bentonit; kumlu çamurlu, çakıllı zeminlerde tavsiye edilir. Fakat killi zeminlerde su emmesiyle beraber şişmeye neden olabilir [26,27].



Şekil 2.13 : Kayganlaştırıcı kullanmanın itme kuvvetleri üzerindeki etkisi [41].



Şekil 2.14 : Değişik zeminlerde kayganlaştırıcı kullanmanın etkileri [9].

2.3.1.5 Doğrultu sapmaları

Güzergahtan sapmalar borular üzerindeki radyal kuvvetleri arttırmakta ve bu da itme kuvvetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Düşey sapmalar, yatay sapmalara göre daha fazla itme kuvvetini arttırır [40].

2.3.1.6 Duraklamalar

Sistem durduktan sonra tekrar çalışmaya başladığı zaman itme kuvveti gereksinimi artar. Özellikle durduktan sonra (arıza, öğlen tatili, boru eklenmesi, vs) boruları tekrar harekete geçirmek için gerekli olan itme kuvveti değerleri yüksek olur [41].

2.3.1.7 Boru kaplamaları

Boru dış yüzeyi, sürtünme direncini arttıracak için itme kuvveti gereksinimini artırır. Boru cidarına kaplama uygulamak, sürtünmeyi azaltır.

2.3.1.8 Membranlar

Zemin ile boru arasını yapay bir tabaka (membran) ile ayırmak sürtünmeyi düşürür. Membran ile boru arasına yağlayıcı enjekte edilmesi sürtünmeyi büyük oranda azaltacaktır [40].

2.3.1.9 Ara itme istasyonları

Ara itme istasyonları itme mesafesini arttırmak ve ana pistonlar üzerindeki yükü azaltmak için kullanılırlar. Sürtünme kuvvetinin yüksek olduğu ve kayganlaştırıcının yeterli olmamasından dolayı itme kuvvetleri gereksinimi karşılanamıyorsa ara itme istasyonları kullanılır. Ara itme istasyonları önündeki kısmı diğer bölümlerden ayrı olarak iter. Böylece borular üzerindeki kuvvetlerde azalma olur, bu şekilde boru kırılmaları da engellenmiş olur.

Kazı uzunluğunu; zemin sürtünme direnci, eksenel sıkışmadaki boru dayanımı ve hidrolik silindirlerin itme kapasiteleri belirler. Kazı uzunluğunu arttırmanın en önemli yolu, ara itme istasyonları kullanmaktır [40].

2.3.2 Kaya ve zemin ortamlar için itme ve sürtünme kuvvetleri tahmin yöntemleri

İtme kuvvetlerinin sağlıklı bir şekilde tahmin edilmesi; ekipman seçimi, itme duvarı tasarımı, kayganlaştırıcı kullanılıp kullanılmayacağı, ara itme istasyon sayısı ve kuyular arası mesafesinin belirlenmesi açısından çok önemlidir. Başarılı bir mikrotünelticilik için gerekli olan itme kuvveti (2.5)' deki denklemle bulunabilir [33].

$$F_t = F_p + \sum F_r \quad (2.5)$$

F_t : Toplam itme kuvveti (ton)

F_p : Penetrasyon direnci (ton)

F_r : Boru ile zemin arasındaki sürtünme direnci (ton)

Penetrasyon direnci (kazı ayna direnci); makinenin ilerlemesine karşı bir direnç olup, zemin tipine, yeraltı su seviyesine, makine hareketine ve makine yönlendirilmesine bağlıdır. Sürtünme direnci; makine gövdesi ve boruların dış yüzeyi zemin ile temas ettiğinde oluşur. İtme işlemi esnasında borulara uygulanan basınç; makine ağırlığı, boru ağırlığı, zemin basıncı gibi özelliklerin yanında boruların zemin içindeki yüzey sürtünmelerine bağlıdır.

İtme kuvvetlerinin tahmini; teorik ve ampirik yöntemler ile yapılır. İtme kuvvetlerinin tahmininde en önemli konu sürtünme kuvvetleridir.

2.3.2.1 Teorik yöntemler

Sürtünme kuvvetlerinin tahmini (2.6), itme kuvvetlerinin belirlenmesinin en önemli kısımlarındandır [42].

$$F_r = f \cdot N \quad (2.6)$$

F_r : Sürtünme kuvveti

f : Boru ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı

N : Boru hattına gelen normal kuvvet

Boru hattı üzerine etki eden zeminden kaynaklanan kuvvetlerin hesaplanmasında genelde Karl Terzaghi'nin Teorisi (1943) uygulanmaktadır. Kohezyonun sıfıra eşit olduğu ve yüzey kuvvetlerinin etkin olmadığı ideal bir kum için; düşey kuvvetin derinlikten bağımsız olduğu (2.7), eşitliğini bulmuştur. Bir çok araştırmada boru itme esnasında boru üzerine etki eden normal kuvvetin hesaplanmasında Terzaghi'nin bu modeli kullanılmıştır [42].

$$\sigma_v = \frac{\gamma \cdot B}{K \cdot \tan \varphi} \quad (2.7)$$

σ_v : Etkiyen düşey arazi basıncı (kN/m²)

γ : Zeminin birim ağırlığı (kN/m³)

K : Arazi basıncı katsayısı

φ : İçsel sürtünme açısı (°)

B : Etkilediği varsayılan zemin genişliğinin yarı uzunluğu (m)

Auld ise, Terzaghi'nin bu modelini temel alarak normal kuvvetlerin hesaplanması için bir model oluşturmuştur **(2.8)**. Kohezyonsuz zeminin boruyu tamamen saracak şekilde çökmesinden dolayı boru hattı etrafına çevresel bir kuvvet uygulandığı varsayımına dayanır [42].

$$\sigma_v = \frac{\gamma \cdot B}{K \cdot \tan \varphi} \left(1 - e^{-K \cdot \tan \varphi (h/B)} \right) \quad (2.8)$$

σ_v : Etkiyen düşey arazi basıncı (kN/m²)

γ : Zeminin birim ağırlığı (kN/m³)

K : Arazi basıncı katsayısı

φ : İçsel sürtünme açısı (°)

B : Etkilediği varsayılan zemin genişliğinin yarı uzunluğu (m)

h : Boru üzerindeki zeminin yüksekliği (m)

Boru üzerine gelen normal kuvvetlerin hesaplanmasında Alman boru dizayn standardı olan ATVA 161'den istifade edinilebilmektedir.

ATVA 161 standardına göre boru üzerine etki eden düşey gerilmenin bulunabilmesi için **(2.9)**' dan elde edilen "b" değeri **(2.10)**' da kullanılmaktadır.

$$b = \sqrt{3} \cdot D_p \quad (2.9)$$

$$\sigma_v = \frac{b \cdot \left(\gamma - \frac{2 \cdot c}{b} \right)}{(2 \cdot K \cdot \tan \delta)} \left(1 - e^{-2K \cdot \tan \delta \cdot (h/b)} \right) \quad (2.10)$$

D_p : Boru dış çapı (m)

b : Boru üzerindeki yük prizmasının ideal genişliği (m)

h : Örtü tabakası kalınlığı (m)

K : Arazi basıncı katsayısı

δ : Sürtünme açısı (°)

c : Kohezyon

Tüm zemin türlerinde açılan mikrotünellerde penetrasyon kuvvetinin tahmininde (2.11) eşitliği ve sürtünme kuvvetinin tahmininde (2.12) eşitliği kullanılabilmektedir [42].

$$F_p = \pi \cdot \left(\frac{D_s}{2}\right)^2 \cdot \sigma_h \quad (2.11)$$

$$F_r = \pi \cdot D_p \cdot L \cdot f \cdot \left(\frac{\sigma_h + \sigma_v}{2}\right) \quad (2.12)$$

F_r : Sürtünme kuvveti (kN)

F_p : Penetrasyon kuvveti (kN)

σ_h : Yatay arazi basıncı (kN/m²)

σ_v : Düşey arazi basıncı (kN/m²)

D_p : Boru dış çapı (m)

D_s : Mikrotünel makinesi kalkan çapı (m)

L : İtme mesafesi (m)

f : Sürtünme katsayısı

Bazı zemin türlerine göre sürtünme katsayıları (f) Çizelge 2.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 : Sürtünme katsayıları (f) [9].

Zemin türü	Boru yüzeyi	
	Metal	Beton
Çakıl	0,55	0,88
Kum	0,45	0,65
Marn	0,35	0,4
Alüvyal kil	0,3	0,35
Kil	0,2	0,25

Sağlam zemin ve kaya içerisindeki mikrotüneller için sürtünme kuvvetinin tahmininde boru hattının ağırlığı esas alınır [9]. Bu ortamlarda göçme olmadığı için sürtünme kuvveti düşük olmaktadır (2.13)

$$F_r = \frac{W_p \cdot \tan \delta}{\cos \zeta} \quad (2.13)$$

F_r : Sürtünme kuvveti (kN)

W_p : Boru hattının ağırlığı (kN)

δ : Boru ile zemin-kaya arasındaki sürtünme açısı (°)

ζ : Boru ile zemin-kaya etkileşiminin olduğu noktanın düşeyle yaptığı açı (°)

(DeneySEL veri yoksa δ ve ζ değerleri 30° ile 40° arasında varsayılabilir)

2.3.2.2 Ampirik yöntemler

Japonya’da gerçekleştirilen çok sayıdaki mikrotünel çalışmalarından elde edilen verilerin incelenmesi sonucuna göre oluşturulan Chapman-Ichioka modeline göre itme kuvveti hesabı (2.14), (2.15) ve (2.16)’daki bağıntılar kullanılarak hesaplanabilir [5,43].

$$F_t = F_p + \Pi \cdot D_p \cdot P_r \cdot L \quad (2.14)$$

$$F_p = \Pi \cdot \left(\frac{D_e}{2}\right)^2 \cdot P_p \quad (2.15)$$

$$P_r = a + 0,38 \cdot D_p \quad (2.16)$$

F_t : Toplam itme kuvveti (tonf)

F_p : Penetrasyon kuvveti (tonf)

D_p : İtme borusunun dış çapı (m)

D_e : Kazı çapı (m)

L : İtme mesafesi (m)

a : Ampirik katsayı

P_p : Ayna basıncı (tonf/m²)

P_r : Sürtünme basıncı (tonf/m²)

Amerika’da 4 farklı zemin türünde açılan mikrotünellerin saha test verilerini Bennett-Cording (1999) analiz ederek model oluşturmuşlardır (2.17) [44].

$$Fr = C_a \cdot \gamma \cdot D_p \cdot \tan(C_f \cdot \varphi) \cdot A_p \cdot L \quad (2.17)$$

F_r : Sürtünme kuvveti (kN)

γ : Zeminin birim ağırlığı (kN/m³)

D_p : Boru dış çapı (m)

φ : Zeminin içsel sürtünme açısı (°)

A_p : Boru çevresi (m)

L : İtme uzunluğu (m)

C_a : Zeminin birim ağırlığının indirgeme faktörü

C_f : Zeminin sürtünme açısının indirgeme faktörü

2.4 Mikrotünel Maliyetleri

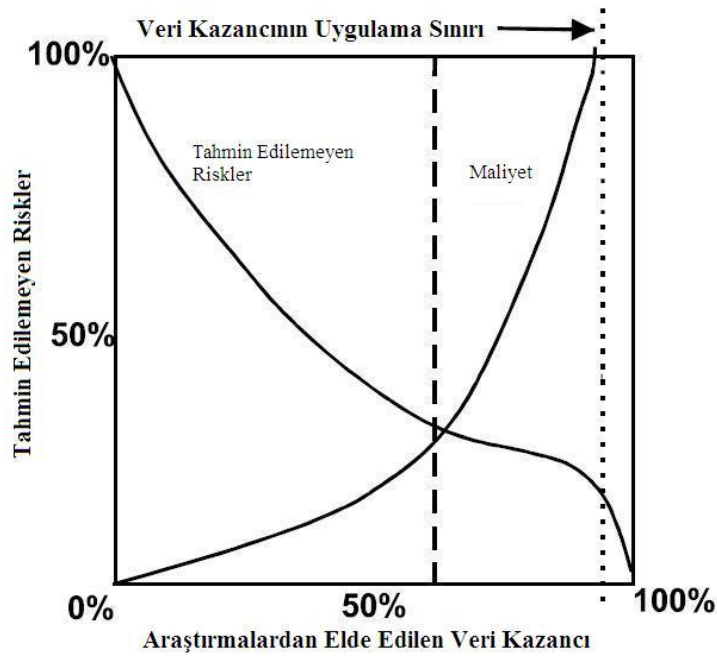
Altyapı projelerinde maliyet hesaplamaları, ihale bedelinin ve bütçenin belirlenmesi bakımından projenin ekonomik geleceğini oldukça önemli oranda etkilemektedir. Maliyet hesap sonuçları genellikle belirsiz ve dalgalanmalıdır. Bunun başlıca sebebi, herkesçe kabul edilmiş belirli bir hesap yönteminin ve kaliteli bir maliyet veri tabanının bulunmamasıdır.

Maliyet analizlerinin temel hedefi bir işi yapmak için önerilen birden fazla alternatifin ekonomik olarak kıyaslanmasıdır. Örneğin, bir boru hattı inşa projesi için mikrotünel yöntemi ile aç-kapa kazı yönteminin kıyaslanması veya çeşitli mikrotünel açma alternatiflerinin kıyaslanması gibi. Ancak, özellikle yeraltı yapıları projeleri için belirlenen maliyetler bazen gerçekleşen maliyetler ile uyuşmamaktadır, maliyetler genellikle beklenen üzerinde çıkmaktadır. Geniş çaplı ve karmaşık tünel projelerinde bu fark çok daha büyük olabilmektedir [16,45]. Dolayısı ile ihale bedelleri ile gerçekleşen maliyetler arasında farklar çıkmaktadır.

Bir yeraltı inşa projesinin nihai maliyeti birçok parametreye, yapılan kabullere ve koşullara bağlıdır ve parametrelerin tümü kontrol edilebilir değildir. Bunun yanında, maliyet hesap yöntemleri tam olarak kullanılmamaktadır ve bazen teknik ve politik

risk maliyetleri de göz önüne alınmamaktadır.

Tünel açma metodunu etkileyen faktörlerden başlıcaları jeolojik şartlar, çevresel faktörler, maliyet analizi ve riskdir. Tünelin boyutu, amacı, konumu, zemin özellikleri ve önceki bilgilerin boyutu arazi araştırmalarının ne kadar detaylı yapılması gerektiğini belirler. Veri kazanımı ne kadar fazla olursa, ileride tahmin edilemeyen risklerde o oranda minimize edilir. Araştırma düzeyi, risk seviyesi ve maliyet arasındaki ilişki Şekil 2.15’da gösterilmiştir.



Şekil 2.15 : Risk / veri kazanç dengesi [46,47,48].

Eğer yeterince araştırma yapılmadan projeye başlanırsa, tahmin edilemeyen risklerden dolayı oluşan maliyet, araştırma maliyetlerinden kat kat fazla olur.

2.4.1 Mikrotünel maliyetlerine etki eden faktörler ve maliyet türlerinin sınıflandırılması

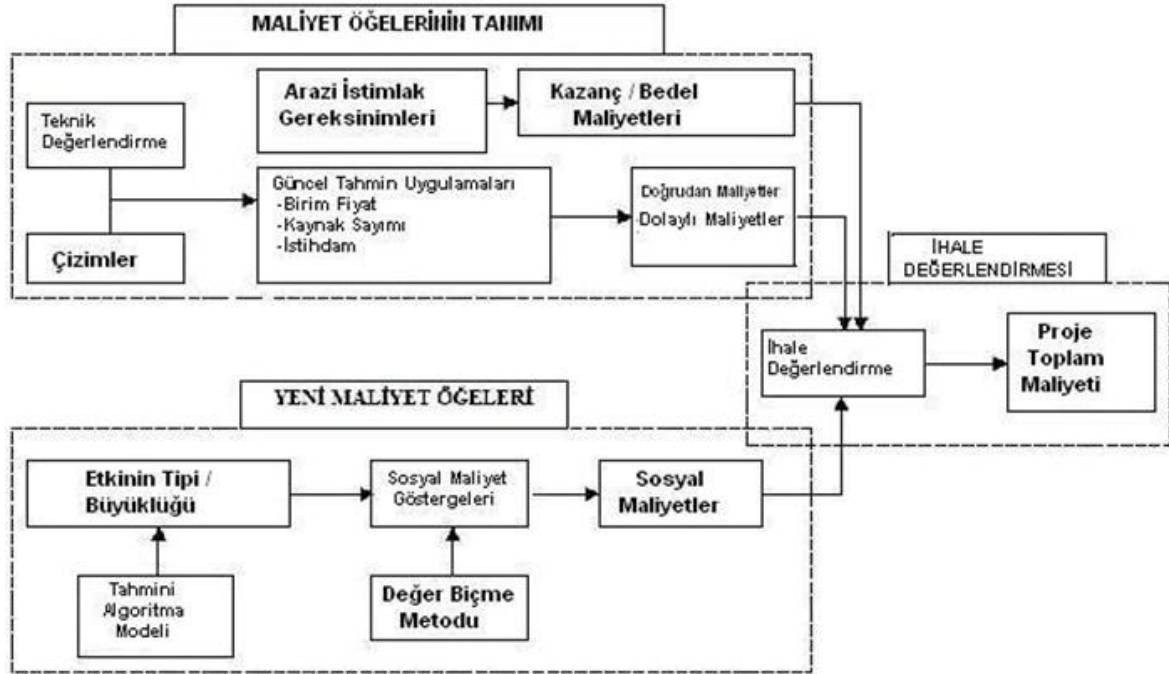
Yeraltı kazı maliyetlerini etkileyen çeşitli faktörler vardır:

- Zemin ve yeraltı suyu durumu (yumuşak zemin/kaya, zeminin homojenliği, yeraltı suyunun seviyesi ve akış şiddeti)
- Topoğrafya (dağlar, nehirler, üstesinden gelinmesi gereken güç durumlar)
- Yerüstü durumu (binalar, yollar, yeşil alanlar)

- Yeraltı konumları (derin temelli binalar, diğer taşıma sistemleri, varolan kanalizasyon hatları, kablolar, borular).

Bir altyapı projesinde maliyetleri etkileyen çok sayıda parametre vardır ve bu parametreler projeden projeye, aynı proje içersinde, ülkeden ülkeye ve hatta şehirden şehre değişkenlik gösterebilmektedir. Ayrıca, arazi incelemesi yapılsa dahi yeraltındaki jeolojik ve jeoteknik koşulların tam anlamıyla bilinmemesi, yeraltında ağaç parçaları - bina temelleri - iri bloklar gibi engellerle karşılaşılması, mikrotünel makinesi gibi önemli bazı donanımların birden bire bozulması gibi nedenlerle işlerin durmasına veya yavaşlamasına neden olan ve maliyet oluşturan riskler söz konusudur.

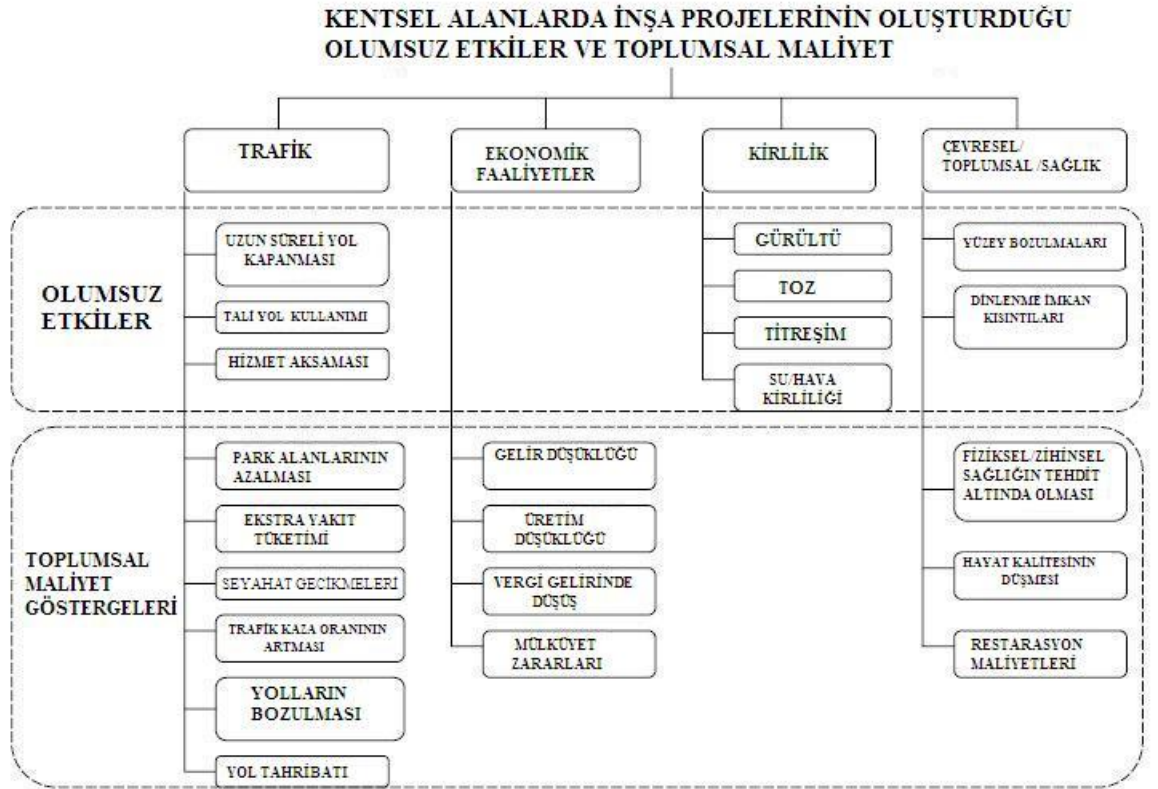
Tüm inşa maliyetleri aynı zamanda saha hazırlama, işletme, proje ve planlamayı ve inşa yönetimini de içerir (Şekil 2.16). MTBM ve ekipmanlarının nakliye maliyeti, montaj ve demontaj ve makinenin mikrotünelden çıkartılması ile ilgili işleri kapsar. MTBM ve ekipmanların amortismanı, tamiri, bakımı ve enerji tüketimi, ayna arkasındaki faaliyetler; çamur nakliyesi, havalandırma, elektrik tesisatı, ve su temini tüm inşa maliyetlerine dahildir.



Şekil 2.16 : Bir inşa projesinin toplam maliyetlerini hesaplamak için akış şeması [49].

İnşa faaliyetlerinin sosyal hayata olumsuz etkileri ve sosyal maliyet göstergelerindeki düşüşler olacaktır (Şekil 2.17), fakat bu geçici bir durumdur, ayrıca inşa faaliyetlerinin neticesindeki faydalar bunları nötralize etmektedir, kaldı ki mikrotünel teknolojisinde sosyal maliyetler de düşük olur, çünkü daha az trafik aksamaları ve yol kapatmaları olur, iş kazası daha az olur, çevresel şikayetler ve insanların şikayetleri daha az olur.

Genel olarak; boru çapı arttıkça kazı maliyeti de artar. Acil durum tamir-bakım masrafları normal bakım masraflarının ortalama 3 katıdır [49,50,51,52].



Şekil 2.17 : İnşa faaliyetlerinin potansiyel etkisi ve sosyal maliyet göstergelerindeki düşüşler [49].

Ekonomik bir değerlendirme yapabilmek için bir altyapı projesinde oluşan çeşitli maliyet türlerini iyi anlamak gerekmektedir. Harbuck, maliyet türlerini genel olarak birincil, ikincil ve risk maliyetleri şeklinde üç gruba ayırmaktadır [53]. Farklı kaynaklarda birincil maliyetler “doğrudan inşa maliyetleri (direct costs)” ve ikincil maliyetler “dolaylı inşa veya sosyal maliyetler (indirect costs, social costs)” olarak da adlandırılmaktadır [54,55]. Bottero ve Peila risk maliyetlerini göz önüne almadan maliyetleri genel olarak dört gruba ayırmışlardır: doğrudan inşa, dolaylı inşa, sosyal ve çevresel (ekolojik) maliyetler [54]. Craig, tünel projelerinde maliyetleri sabit ve zamana bağlı değişken olarak iki gruba ayırmıştır [56]. Aşağıda Harbuck’un maliyet sınıflaması açıklanacaktır [53].

2.4.1.1 Birincil (Doğrudan) maliyetler

Planlama, mühendislik ve yönetim maliyetleri: Bu maliyetler, mikrotünel projelerinde toplam inşa maliyetlerinin %15-20’si civarındadır. Aç-kapa yönteminde biraz daha düşük (% 5-15) olabilir.

Kalıcı ve geçici geçiş hakları maliyetleri: Bu maliyetler, inşa esnasında geçici veya kalıcı olarak temin edilmesi gereken özel arazilerin satın alınmasını kapsar.

Boru hattı inşası için kalıcı ve geçici işlerin inşa ve işletme maliyetleri: İnşa maliyetleri, tüm geçici ve kalıcı iş gruplarının donanım, işçilik ve malzeme maliyetlerini kapsar. Projenin temel maliyetlerini oluşturur.

Servis süresince oluşan maliyetler (işveren isterse): Bu maliyetler genellikle işveren idare istemedikçe hesaplara ilave edilmez. Genellikle farklı inşa malzemelerinin kıyaslanmasında kullanılır. İlk yatırım maliyetleri, faydalı ömür ve bakım-onarım maliyetleri göz önüne alınır.

Doğrudan maliyetler, bir projenin temel maliyetlerini oluşturur. Diğer bir değişle, her şey yolunda gittiğinde projenin inşa maliyeti yaklaşık olarak doğrudan maliyetler ile işletme-yönetim maliyetleri ve kar oranlarının toplamına yakın olmaktadır.

2.4.1.2 İkincil (Dolaylı, Sosyal) maliyetler

Dolaylı maliyetleri hesaplamak daha zor ve karmaşıktır [49,55]. Buna rağmen ekonomik değerlendirmelerde göz önüne alınmalıdır ve gün geçtikçe bu maliyet daha fazla önem arz etmektedir. Trafik yolunun yön değiştirmesi sonucu seyahat süresi, yakıt tüketimi, taşıt yıpranması, sürücülerin zaman kayıpları, trafik yoğunluğu,

kazalar, yaya zaman kayıpları artmaktadır. İşyerlerinin engellenmesi sonucu satış ve vergi gelirleri azalmakta ve müşteri kayıpları olmaktadır. Gürültü nedeniyle verim düşüşü olmaktadır. Toz kirliliği nedeniyle temizlik giderleri artmaktadır. Yeniden yol yapımı maliyetleri arttırmaktadır. Bu maliyetler, sosyal veya dolaylı maliyetleri oluşturur. Günümüzde sosyal maliyetlerin yüksek olduğu aç-kapa kazıları ile boru hattı inşa işleri bir alternatif olmaktan çıkmakta, sosyal maliyetlerin uzun vadede minimum olduğu mikrotünel yöntemi tercih edilmektedir.

Geçiş hakkının olmadığı yerlerde özel araziye veya mülke zarar verilmesi durumunda ödenen tazminatlar: Bu maliyetler bazen geçiş hakları maliyeti olarak hesaba katılır, fakat ayrıca hesap edilmesinde fayda vardır. Arazi veya mülke zarar konusuna kısa ve uzun vadede bakılmalıdır. Kısa vadede bahçe duvarlarının onarımı, yol onarımı ve bahçe onarımı gibi maliyetler söz konusudur. Uzun vadede yeryüzü oturumları sonucu oluşan bina hasarlarının maliyeti söz konusudur.

Gelir kayıplarına karşılık işyerlerine ödemeler / tazminat: Gelir kayıplarına karşılık işyerlerine ödemeler ve tazminatlar, özellikle aç-kapa yönteminin uygulandığı yerlerde giderek artmaktadır.

Gürültü, toz, titreşim veya trafik nedeniyle işyeri ve evlere verilen zararlar ve emniyet maliyetleri: Birçok belediye günümüzde gürültü seviyesini ve zamanını, inşaat esnasında oluşan toz ve trafik engellemelerini kısıtlayıcı kararlar almışlardır. Dolayısı ile bu sınırlar aşıldığında bir maliyet söz konusudur.

Ekolojik olarak hassas olan yerlerde oluşan problemlerin maliyeti: Giderek artan önem arz eden bir konudur. Su havzaları, doğal yaşam alanları, tarihi veya arkeolojik alanlarla ilgili maliyetler bu sınıfa girmektedir. Bu maliyetler genel olarak, inşa işinin potansiyel etkilerini yok etmek veya üstesinden gelmek için işveren idarelerin yaptığı harcamaları kapsamaktadır.

Mikrotünel projelerinde sosyal maliyetler, aç-kapa yöntemine kıyasla ihmal edilebilecek düzeyde düşüktür. Örneğin, Boyce ve Bried; Ohio'da aynı güzergah üzerinde 228 cm çaplı sele karşı drenaj boru hattı inşası kapsamında aç-kapa ve mikrotünel projeleri için sosyal maliyetleri hesaplamıştır ve hesap sonuçları Çizelge 2.6'da verilmektedir. Buna göre, mikrotünel yönteminde sosyal maliyetlerin aç-kapa yöntemine göre oldukça düşük olduğu görülmektedir (%10'undan daha az). Eğer sosyal maliyetlerin hesaplanmasında insanların zaman kayıplarına karşılık gelen 8,40

\$/saat değeri 9,60 \$/saat değerine yükseltirirse, mikrotünel yönteminin daha ekonomik olduğu hesaplanmaktadır. Dolayısı ile bu hesaplamalar, sosyal maliyetlerin hesaplanmasındaki kabullere karşı çok hassastır. Ayrıca bazı hesaplamaları yapabilecek verileri bulmak oldukça zordur [49].

Çizelge 2.6 : Mikrotünel ve aç-kapa yöntemlerinde sosyal maliyet hesaplamaları [55].

Maliyet Türü	Aç-Kapa Yöntemi (\$)	Mikrotünel Yöntemi (\$)
DOĞRUDAN	1.073.000	1.665.000
DOLAYLI		
İşçi Yaralanmaları	52.934	37.936
Taşıt Engellenmesi	404.162	0
Yaya Engellenmesi	24.696	0
İşyeri Engellenmesi	+	0
Gürültü(Verim Kaybı)	+	0
Toz ve Kir Kontrolü	5.460	0
Yol Yapımı	110.760	11.076
ARA TOPLAM	598.012	49.012
TOPLAM	1.671.012	1.714.012

2.4.1.3 Risk maliyetleri

Beklenmeyen yeraltı koşullarından dolayı oluşan maliyetler (jeoteknik): İnşa esnasında, tasarım aşamasında yapılan arazi incelemeleri ve laboratuvar çalışmaları sonucu belirlenen arazi koşullarından farklı koşullarla karşılaşılabilir, (beklenenden farklı formasyon ve/veya dayanımı beklenenden daha yüksek formasyon).

Beklenmeyen teknik engellerin maliyetleri (engeller): Ağaç parçaları, bina temelleri, iri ve sık bloklar, eski altyapılar ve karstik boşluklar gibi öngörülemeyen engellerden dolayı oluşan maliyetler.

Kirlenmiş zemin veya yeraltı suyunun atılması ve/veya temizlenmesinden kaynaklanan maliyetler: bu maliyetlerin önemi gün geçtikçe artmaktadır.

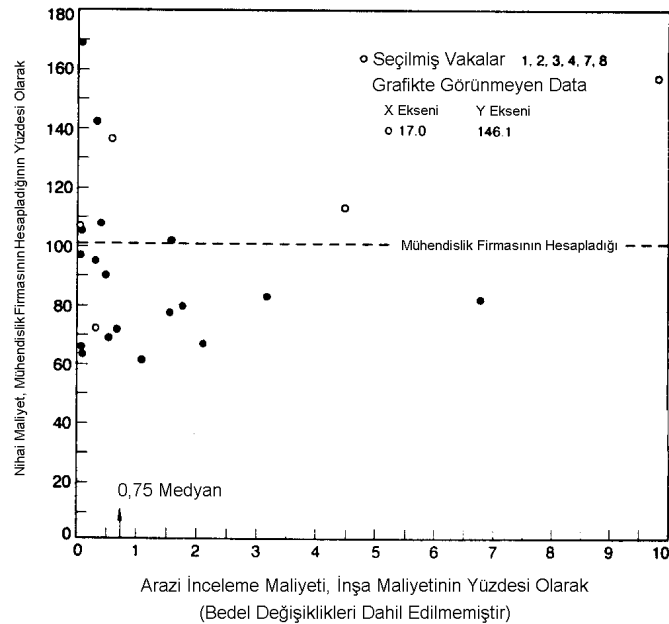
İşletme riskleri: Beklenmeyen makine arızaları, lojistik destek problemleri ve benzeri risklerin maliyetleri

Politik ve idari riskler: Politik iradenin değişmesi sonucu ortaya çıkan maliyetler [53,57].

Ekonomik değerlendirmelerde genellikle risk maliyetleri göz önüne alınmamaktadır veya bazen riskler eksik olarak göz önüne alınmaktadır. Bu nedenle bazen proje maliyetleri beklenenden yüksek olmaktadır ve proje ekonomikliğini kaybedebilmektedir [16,45].

Tasarım/planlama aşamasında, ihale aşamasında ve inşa aşamasında çeşitli riskler söz konusudur. Risk maliyetlerinin belirlenmesinde tecrübe, pratik ve teorik bilgi gerekmektedir. Tasarım aşamasında yapılan arazi incelemeleri sonucu belirlenen arazi koşullarından çok farklı koşullarla karşılaşılması, beklenenden daha dayanımlı veya belirlenemeyen yeni formasyonlarla karşılaşılması, iri ve sık bloklar - ağaç parçaları - bina temelleri - karstik boşluklar ile karşılaşılması inşa esnasında karşılaşılabilecek risklere örnektir.

Bir tünel projesi öncesinde yapılan arazi inceleme maliyetlerinin / seviyesinin proje maliyetlerine etkisi Şekil 2.18’de verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, projelendirme aşamasında mühendislik firmasının daha doğru maliyet hesabı yapabilmesi için proje maliyetinin en az % 3’ü kadar arazi incelemelerine harcama yapılmalıdır. Arazi incelemelerinin yetersiz olması durumunda, proje maliyetleri %70’e kadar hatta bunun üzerinde artabilmektedir.



2.4.2 Mikrotünel maliyet belirleme yöntemleri

Bir projenin ihale safhasında elde sadece kısıtlı proje bilgileri mevcuttur. Toplam tünel uzunluğu ile birim maliyet çarpılarak hesaplama yapılır. Buradan bulunacak sonuç $\pm$ %20 olur ve projeye bu şekilde devam edilip edilmeyeceğine karar verilmesinde etkilidir [59].

2.4.2.1 Proje maliyet planı

Maliyet tahmininin 2. aşamasıdır. Proje ilerledikçe, mühendislik tasarımında değişiklik oldukça güncellenir.

Maliyet planındaki nihai güncelleme, fiyat teklif dökümanlarına göre yapılır. Sözleşme dökümanları müşteri ve müteahhit tarafından alınan riskleri saptamalıdır. Fakat maliyet planı, ek olasılıklara izin vermeli veya %5-10 oranında olacağını varsaymalıdır [59].

Maliyet planı çok komplike olmamalıdır ve gerçekçi bir program üzerine temellendirilmelidir.

2.4.2.2 Fiyat teklifi veya fiyat müzakeresi

Başarılı teklifçi, ihale dökümanlarını iyi analiz etmeli, risk değerlendirmesini yapıp, rekabetçi koşullara göre fiyat teklifi vermelidir.

Fiyat teklifi, maliyet plan fiyatından düşük olmalıdır. Eğer fiyat teklifi, maliyet plan fiyatından düşük değilse; projenin uygulanabilirliği bir daha gözden geçirilmelidir ve eğer devam edilecekse, maliyet planı için yeniden değer biçilmeli ve güncellenmelidir [59].

2.4.2.3 Verim maliyeti

Sözleşme içinde onaylanmış hertürlü talep müzakerelerini, değişikliklerin ve miktarların nihai hesaplanmış faturalarını kapsar. İşlerin bitiminde muhasebeciler maliyet mukayesesinde, fiyat teklifini baz alırlar, fakat aslında gerçek karşılaştırma maliyet planı ile yapılan karşılaştırmadır.

2.4.2.4 Efektif maliyet

Mikrotünel teknolojisi özellikle derinliğin 2,5 ile 4 metre arasında olduğu yerlerde diğer teknolojilere alternatiftir. Tünel derinliği 6 metreyi geçince mikrotünelcilik

diğer yöntemlere göre daha ekonomik olmaktadır. Bu metod zor zemin koşullarında ve yeraltı su seviyesinin altında çalışıldığı durumlarda efektif maliyet sağlar.

Bu koşullar geleneksel tünel açma yöntemlerinde yüzey oturmaları riskini artırır. Ayrıca bu şartlar kazalara ve işçi yaralanmalarına karşı sorumluluk derecesini artırır. Mikrotünelcilik bu koşullarla karşılaşıldığında en güvenilir seçenektir, çünkü işçiler ve çevre halkı hiçbir zaman tehlikeli durumla direk karşılaşmazlar.

Mikrotünel teknolojisinin avantajları ele alınırken maliyet faktörlerinden de bahsedilmelidir.

Mikrotünel teknolojisine ek maliyet olarak:

- Karmaşık ekipman maliyeti,
- Yetenekli operatör maliyeti,
- Klasik tünelciliğe göre hayli yüksek malzeme maliyeti ilave edilmektedir.

Mikrotünel teknolojisi ne kadar derin de olsa maliyet sığ yerlerdekinden daha fazla olmayacaktır, (fakat klasik yöntemde derinlik arttıkça maliyet de artar), bu teknoloji, klasik yöntemin yollara, binalara vereceği tahribat maliyetinden tasarruf sağlar, güvenlik maliyetlerini azaltır, fazla pasa nakli maliyetinden tasarruf eder, dolgu malzemesi maliyetinden tasarruf eder.

2.4.2.5 Maliyet tahmin yöntemleri

Mikrotünel projelerinde toplam maliyeti hesaplamak için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler genel olarak deterministik veya probabilistik olarak iki gruba ayrılabilir.

Deterministik yöntemlerde maliyetler tek bir rakam olarak göz önüne alınırken, probabilistik yöntemlerde maliyet ve zaman parametrelerinin değişkenliği nedeniyle olasılık eğrisi olarak göz önünde bulundurulur [51,60].

Harbuck, genel olarak doğrudan maliyetlerin (donanım, malzeme, işçilik, vs) hesaplanmasını ve buna belirli oranlarda işletme giderleri ve kar ilave edilmesini önermektedir. Tasarım aşaması için beklenmeyen giderler de duruma göre ilave edilebilir. Ortalama bir risk durumu için maliyet hesaplanır. Bu deterministik bir yaklaşımdır [53]. Doğrudan maliyetlerin belirlenmesi için mikrotünel işlerini Çizelge 2.7'deki gibi dört ana gruba ayırmıştır. Böylece doğrudan maliyetlerin hesabı ve işin

kapsamını görebilmek için bir şablon oluşturmuştur. Böyle bir şablonun kapsamı ve detayı arttırılabilir.

Mikrotünel projeleri için basit bir probabilistik yöntem geliştirilmiştir [51]. Bu yöntemde maliyetler türlerine göre ana gruplara ayrılır. Her ana grup için maliyet aralıkları (alt ve üst limitler) belirlenir ve maliyet grubunun her bir aralıkta olma olasılığı belirlenir. Bu olasılıklar, hesaplama yapanların tecrübelerine bağlı olarak belirlenir. Bir maliyet türünün çeşitli maliyet aralıklarında olma olasılıklarının toplamı 1 olmaktadır. Mikrotünel (auger boring) ve aç-kapa yöntemlerini kıyaslamak için yapılan (hipotetik bir proje) böyle bir hesaplamanın verileri Çizelge 2.8’de verilmektedir.

Çizelge 2.7 : Mikrotünel projeleri için genel kontrol listesi [53].

Makine	Zemin tipi, makine tipi, boyutlar, itme sistemi, pasa atımı, pasa işleme, yönlendirme sistemi, ilerleme hızı, beklenmeyen engeller
Boru Hattı	Boru boyutu, malzemesi, bağlantı şekli, itme kuvveti, hat uzunluğu, ara istasyonlar, yardımcı donanımlar
Kuyular	Kuyu yerleri, boyutları, zemin iyileştirme gereksinimi, itme kapasitesi, inşa sonrası kullanım durumu
Yeryüzü	Giriş, yerleşim düzeni, depolama, malzeme temini, emniyet, trafik kontrol

Proje alternatiflerinin beklenen parasal değeri, her bir maliyet türünün her bir maliyet aralığındaki olasılığı ile o maliyet aralığının orta değeri (örneğin 0 ile 10.000 Sterlin aralığında ise 5.000 Sterlin) çarpılarak ve bu çarpımlar toplanarak hesap edilmektedir. Buna göre Mikrotünel alternatifi için beklenen parasal değer 94.250 Sterlin ve aç-kapa için 99.000 Sterlin olmaktadır. Ancak bunun yanında bu maliyetin olasılık dağılımı da önemlidir. Maliyet aralığının orta değeri alınarak hesaplanan

olası maksimum ve minimum değerler dağılımının sınırlarını göstermek bakımından önemlidir. Mikrotünel alternatifi için olasılığı olan minimum ve maksimum değerler 55.000 ve 305.000 Sterlin olmaktadır. Aç-kapa alternatifi için olasılığı olan minimum ve maksimum değerler 65.000 ve 175.000 Sterlin olmaktadır. Ancak bu uç durumların olasılıkları oldukça düşüktür. Örneğin, mikrotünel projesinin maliyetinin

305.000 Sterlin olma olasılığı 1×10^{-14} ve 55.000 Sterlin olma olasılığı %4 olmaktadır. Uç değerler arasında bir maliyet oluşması için her bir maliyet grubunun her bir maliyet aralığı için (I^v) kombinasyonu söz konusudur. Burada I maliyet aralığı sayısı ve v maliyet türü sayısıdır. Bu kombinasyonların tamamının hesabı ancak bir bilgisayarlar yardımıyla mümkündür. Bilgisayar ile hesaplanan olasılık dağılım eğrileri Şekil 2.19’da verilmektedir.

Şekil 2.19’da görüldüğü gibi, dağılımların her ikisi de düşük maliyet değerlerine doğru eğilimlidir. Bu bir anlamda yüksek maliyet olasılığının daha zayıf olduğunu göstermektedir. Aç-kapa dağılım eğrisinde maliyet aralığı daha dardır. Bu beklenmeyen olayların / risklerin aç-kapa yönteminde daha kolay üstesinden gelinebileceğini ifade etmektedir. Ancak, aç-kapa yönteminde beklenen ortalama maliyet daha yüksek olmaktadır. Bu iki yöntemden birinin seçimi karar vericinin risk olayına bakış açısına göre değişebilir.

Bazı durumlarda maliyet bileşenleri arasında bir bağımlılık söz konusudur. Diğer bir deyişle, bir maliyetin yükselmesi diğer bazı maliyetleri de yükseltebilir. Böyle durumlarda olasılık ağaçları (probability trees) ve maliyet olasılık tabloları birlikte kullanılabilir [51].

International Tunnelling Association (ITA) üye ülkelere gönderdiği anketlere göre bir maliyet veri tabanı oluşturmuştur [61]. Bu veri tabanı, çapı 2 m’den büyük (1989-1999) yılları arasında kaya içinde açılmış tünelleri içermektedir. Bu çalışmada toplam maliyet hesabı için genel kabul gören bir analitik model belirtmiştir. Buna göre maliyet Eşitlik 2.18’deki gibi hesaplanabilir.

$$C = a + bL + cT \quad (2.18)$$

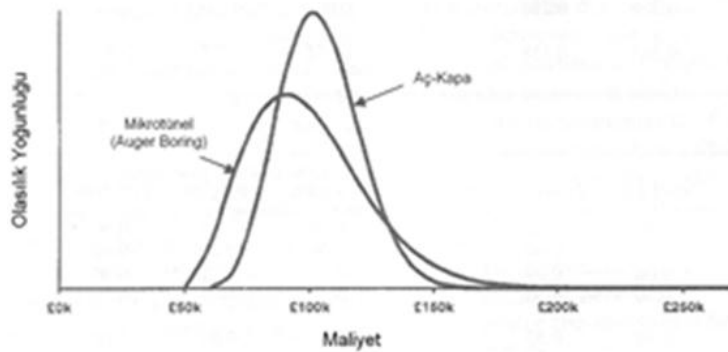
Burada,

C = tünelin toplam maliyeti,

a = kazı başlamadan oluşan başlangıç maliyeti (initial cost), (bu maliyetler makine ve şantiye sahasının maliyetleridir)

Çizelge 2.8 : Mikrotünel ve aç-kapa için hesaplanan maliyet aralıkları ve olasılıklar [51].

Maliyet Aralığı (x10 ³ Sterlin)	Mikrotünel (Auger Boring) Maliyet Türleri				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
0-10	0,510	0,000	0,535	0,379	0,585
10-20	0,376	0,000	0,211	0,286	0,158
20-30	0,069	0,000	0,144	0,195	0,146
30-40	0,044	0,659	0,033	0,084	0,085
40-50	0,001	0,332	0,043	0,055	0,020
50-60	0,000	0,009	0,021	0,001	0,004
60-70	0,000	0,000	0,012	0,000	0,001
70-80	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
(1) Planlama, Arazi İncelemeleri vs. (2) Doğrudan Maliyetler (3) Sosyal Maliyetler (4) Risk maliyetleri (5) Susuzlandırma için İlave Maliyetler					
Maliyet Aralığı (x10 ³ Sterlin)	Aç-Kapa Maliyet Türleri				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
0-10	0,800	0,000	0,000	0,300	0,300
10-20	0,200	0,000	0,000	0,500	0,500
20-30	0,000	0,500	0,500	0,150	0,150
30-40	0,000	0,400	0,300	0,050	0,050
40-50	0,000	0,100	0,200	0,000	0,000
50-60	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
60-70	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
70-80	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
(1) Planlama, Arazi İncelemeleri vs. (2) Doğrudan Maliyetler (3) Sosyal Maliyetler (4) Risk maliyetleri (5) Susuzlandırma için İlave Maliyetler					



Şekil 2.19 : Mikrotünel ve aç-kapa maliyet olasılık dağılımı-Çizelge 2.8’deki verilere göre [51].

b = birim uzunluk için kazı ve kaplama / tahkimat maliyeti,

L = tünelin toplam uzunluğu,

c = birim zaman için tünelcilik faaliyetleri maliyeti, (bu maliyetler maaşlar, pompa, kiralama bedelleri vb maliyetlerdir)

T = tünelin kazılması için gereken toplam zaman,

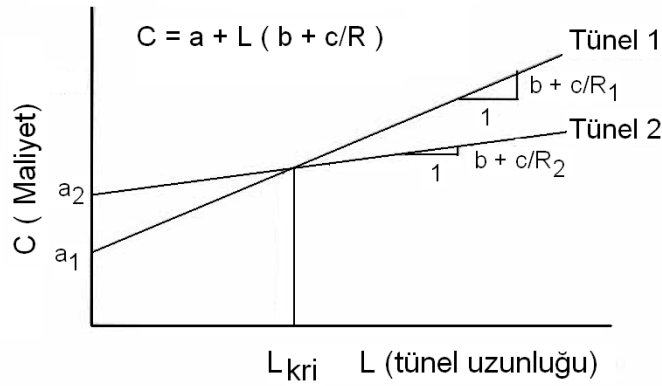
olarak tarif edilir. Ortalama ilerleme hızı (R) Eşitlik 2.19'daki gibi verilebilir:

$$R = L / T \quad (2.19)$$

Bu durumda, Eşitlik 2.18 yeniden düzenlenirse Eşitlik 2.20 elde edilir:

$$C = a + L (b + c / R) \quad (2.20)$$

Bu da doğrusal bir ilişkinin modelidir (Şekil 2.20). Birim maliyet b tünel çapına bağlıdır. Ortalama ilerleme hızı (R) ise uygulanan tünel inşa yöntemine bağlıdır. Şekil 2.20'de görülen Tünel 2'nin ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen ortalama ilerleme hızının yüksek oluşu bu tünel açma alternatifinin diğerine göre kritik bir uzunluktan sonra daha düşük maliyetli olduğunu göstermektedir. Tünel ilerleme / kazı hızının güvenilir doğrulukta tahmini projenin ekonomik analizleri açısından çok önemlidir.



Şekil 2.20 : Tünel Maliyetleri [61].

Büyük tünel projelerinde olduğu gibi, maliyet aralık sayısının ve maliyet türlerinin fazla olduğu durumlarda simulasyon yöntemleri de toplam maliyet hesabı için kullanılabilir [60,62,63]. Simulasyon yöntemlerinde maliyetler genellikle deterministik ve probabilistik maliyetlerin karışımı olarak hesaplanır. Irshad ve Bottero ve Peila analitik hiyerarşi metodunu önermişlerdir [54,64].

3. PROJELER, JEOLJİ VE EKİPMAN TANITIMI

3.1 Gözlem Yapılan Projelerin Genel Tanıtımı

İSKİ, doğrudan İstanbul Boğazı'na deşarj edilen ve kirliliğe neden olan atıksuları toplama, arıtma ve uzaklaştırma projeleri geliştirmiştir. Tez kapsamında incelenen bölgelerin projelerini (Çizelge 3.1) CET İnşaat Ltd. Şti. firması üstlenmiştir. Bu projeler kapsamında Herrenknecht AG firmasından AVN 1800C model çamur basınçlı mikrotünel makinesi satın alınarak iç çapı 2000 mm olan boru döşeme işi yapılması planlanmıştır.

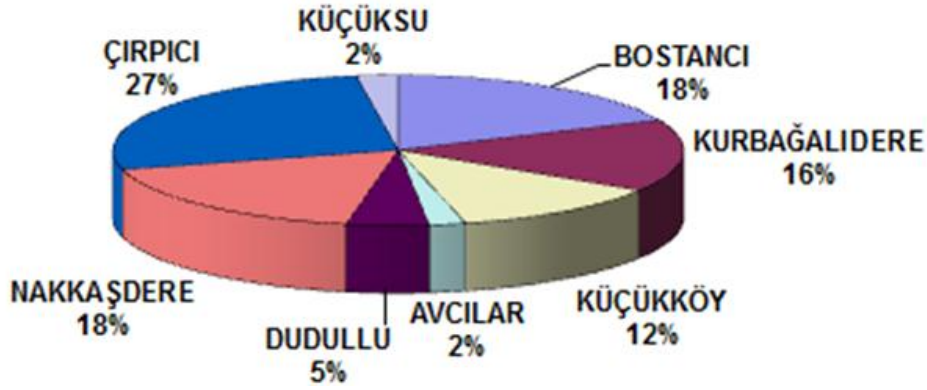
Farklı formasyon ve bölgelerdeki mikrotünel açma faaliyetlerinin en fazla gerçekleştiği yerler; Çırpıcı %27, Nakkaşdere %18, Bostancı %18 ve Kurbağalıdere %16 'dır. Projeler kapsamında açılan toplam mikrotünel uzunluğu ise 3,740 metredir (Şekil 3.1).

Toplam kazının % 98' i mikrotünel makinesi ile gerçekleştirilmiş, makinenin kazamayacağı düşünülen kaya ağırlıklı zeminlerde ise delme-patlatma ve klasik boru döşeme işi yapılmıştır (Çizelge 3.1). Ek A-1'de mikrotünellere ait faaliyet resimleri, Ek A-2'de mikrotünel güzergahları verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Bölgelere göre mikrotünel uzunlukları [65].

Bölge	Mikrotünel makinesi ile kazı (m)	Klasik yöntem ile boru döşeme (m)	Toplam (m)
Kurbağalıdere	567,35	17,8	585,15
Bostancı	613,3	75,5	688,80
Küçükköy	454,15	-	454,15
Çırpıcı	1003,89	-	1003,89
Nakkaşdere	669,01	-	669,01
Küçüksu	88,50	-	88,50
Avcılar	77,40	-	77,40
Dudullu	173,40	-	173,40
TOPLAM	3647,0	93,3	3740,30

Projelerde 2005 yılında istihdam edilen personel ve görevleri Çizelge 3.2’ de verilmiştir. İstihdam edilen personel sayısı; 2002 yılında 78, 2003 yılında 77, 2004 yılında 72, 2005 yılında 41 kişidir. Bu rakam projenin uzunluğu, aynı anda birkaç şantiyede birden çalışılması gibi nedenlerden dolayı farklılık arz etmiştir.



Şekil 3.1 : Bölgelere göre boru döşeme işi.

Çizelge 3.2 : Projede çalışan personel dağılımı (2005 Yılı) [65].

ŞANTIYE	Mühendis/ Teknisyen	Formen	Ölçme/ Elektrik	İdari İşler	Ambar/ Bekçi/ Mutfak	Operatör/ Şöför	Tamirci/ Kaynakçı/ Demirci	Kalıp Beton	Düz İşçi	Toplam
İdari / Hizmet Personeli	2	-	3	1	2	-	-	-	-	8
Atölye	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
Mikrotünel Makinesi	-	-	1	-	1	1	1	1	4	9
Destek Ekibi	-	-	-	-	-	1	2	-	1	4
Depo	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2
Boru Üretim Ekibi	-	1	-	-	1	-	2	1	2	7
Kuyu	-	1	-	-	-	-	-	1	3	5
Nakliye	-	-	-	-	-	5	-	-	-	5
TOPLAM	2	2	4	1	6	7	6	3	10	41

3.1.1 Kurbağalıdere projesi tanıtımı

Kadıköy Kurbağalıdere bölgesinde, genelde toprak-dolgu formasyonu, yer yer kum ve kil karışımı olan zemin türünde makine ile 7 farklı itiş ile mikrotünel açılarak toplam 567,35 metre ilerleme sağlanmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 : Kurbağalıdere projesi itişler ve uzunlukları [65,66].

Kuyu Aralığı	Uzunluk (m)	Litoloji Tanımlama
K5A - 402	99	İleri derecede altere olmuş şeyl; yeşilimsi, kahverengi
402 - 401	89,9	
400 - 389	81,4	Kil; Yeşil,koyu yeşil,yer yer kumlu,bol fosil kavrılı, çok yumuşak kıvamlı
389 - 388	80,8	Kil-Kum; Yeşil,çakıllı,çakıllar kumtaşı ve kuvars kökenli, yarı yuvarlanmış, siltli, bol fosil kavrılı, maks. çakıl boyu 1 cm
388 - 387	77,6	Kil; Siyah, gri, siltli, organik madde içerikli
387 - 386	80	
386 - 385	58,65	
TOPLAM	567,35	

Ayrıca 17,8 metre klasik boru döşeme yöntemi ile açılmıştır.

3.1.2 Bostancı projesi tanıtımı

Bostancı bölgesinde, genelde kil formasyonu, yer yer dolgu, bazı yerlerde kum-kaya karışımı olan zemin türünde makine ile 7 farklı itiş ile mikrotünel açılarak toplam 613,3 metre ilerleme sağlanmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 : Bostancı projesi itişler ve uzunlukları [65,66].

Kuyu Aralığı	Uzunluk (m)	Litoloji Tanımlama
M15-3 , M15-4	69	Kil-Silt; yer yer sık süreksizlikli şeyl, gri, bazen açık yeşil, az kireç çimentolu, seyrek fosil kırıntılı.
M15-4 , M15-2	102	
M15-2 , M15-3	78,7	
M14-2 , M15	57,4	
M15 , M15-1	97,8	
M15-1, M15-2	83	
M29A , M29B	125,4	
TOPLAM	613,3	

Ayrıca 75,5 metre klasik boru döşeme yöntemi ile açılmıştır.

3.1.3 Küçükköy projesi tanıtımı

Küçükköy bölgesinde, genelde kaya, yer yer dolgu olan zemin türünde makine ile 5 itiş yapılarak toplam 454,15 metre ilerleme sağlanmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 : Küçükköy projesi itişler ve uzunlukları [65,66].

Kuyu Aralığı	Uzunluk (m)	Litoloji Tanımlama
M1 - M2	92,2	Grovaklar koyu yeşilimsi gri,
M3 - M4	93,6	zeytini yeşil, gri, sarımsı gri,
M7 - M6	89,2	ayırışma renkli ve düşük
M5 – M6	68,9	dokusal olgunluktadır.
M5 - M4	110,25	Kumtaşının üste doğru kum oranı azalır
TOPLAM	454,15	

3.1.4 Çırpıcı projesi tanıtımı

Merter Çırpıcı bölgesinde, genelde kil, yer yer dolgu bazı yerler kum-kil karışımı olan zemin türünde makine ile 9 itişte toplam 1.003,89 metre ilerleme sağlanmıştır (Çizelge 3.6).

3.1.5 Nakkaşdere projesi tanıtımı

Nakkaşdere bölgesinde, genelde çamur-kil-kum, yer yer dolgu olan zemin türünde makine ile 6 farklı itiş ile mikrotünel açılarak toplam 669,01 metre ilerleme sağlanmıştır. Yer yer kil dolgulu kireçtaşı olsa da yapılan sondajlarda zemin özelliği gösterdiği sonucu çıkmıştır (Çizelge 3.7).

3.1.6 Diğer projelerin tanıtımı

Küçüksu bölgesinde, kumlu olan zemin türünde, Avcılar bölgesinde killi zeminde ve Dudullu bölgesinde kumtaşı kökenli çakıl, parçalı zayıf çimentolu; çok nadir dolgu-kum olan zeminde ilerleme yapılmıştır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.6 : Çırpıcı projesi itişler ve uzunlukları [65,66].

Kuyu Aralığı	Uzunluk (m)	Litoloji Tanımlama
MPJ3 – MPJ4	47,94	Kil, kahverengi, okside, nadiren karbonat çakıllı, yer yer organik madde içerikli (9.00-9.25 m arası kum bandı)
	71,56	Kil; koyu yeşil- koyu gri renkli, yer yer ince daneli, karbonat çakıllı, organik madde içerikli
MPJ2 - MPJ3	128,6	Kil, koyu yeşil renkli, yağlı, organik madde içerikli, nadiren karbonatlı, 14.5-14.7m arası organik maddece zengin)
MPJ2 – MPJ1	131,15	Kil; açık yeşil- açık kahverenkli, kumlu, yer yer organik madde içerikli, kireçtaşı. Çakıllı, yer yer denizel fosil kavrık, yer yer konsolide, 5,80-6,00 m, 11,75-12,00 m arası marn seviyeli, 6,25-6,50 m arası kum seviyeli
MPJ18 - MPJ19	66	Kum- kil- çakıl; kahverenkli, ince-orta daneli, yer yer oksitli, yer yer ince- orta daneli çakıl içerikli, 9,00-10,00 m arası kil bandı
MPJ8 – MPJ9	105,2	Kil; koyu yeşil, mavimsi, yer yer kum arabandlı, yer yer organik madde içerikli, yer yer siltli
MPJ5 - MPJ6	95,8	Kil; yeşil renkte, plastik, yeryer kumlu, yer yer karbonat kongresyonlu, konsolide, yer yer siltli, yeryer oksitli
MPJ18 - MPJ17	50,4	Kil; yeşil renkli, plastik, yer yer kumlu, yer yer karbonat çakıllı
	149,8	Kil; kireçtaşı parçalı, çok az kumlu, kil
MPJ19 – MPJ1	79,27	Kil; açık yeşil- açık kahverenkli, kumlu, yer yer organik madde içerikli, kireçtaşı. Çakıllı, yer yer denizel fosil kavrık
MPJ4 - MPJ5	78,17	Kil; kireçtaşı parçalı, çok az kumlu, kil
TOPLAM	1.003,89	

Çizelge 3.7 : Nakkaşdere projesi itişler ve uzunlukları [65,66].

Kuyu Aralığı	Uzunluk (m)	Litoloji Tanımlama
N3 – N4	24,3	Kil, kahverenkli, kumlu, yer yer çakıllı, yer yer denizel kavkı içerikli
	21,7	Sık süreksizlikli eklem araları kil dolgulu kireçtaşı; kirli beyaz-bej renkli, yer yer fosilli
	86	Dolgu kum gri renkli çakıllı killi tuğla ve kiremit parçalı bitki köklü kavkı kalıntılı kumlar ince-orta taneli
N5 - N4	101,7	Kil; koyu gri-siyah renkli, yumuşak kıvamlı, kumlu, organik madde içerikli, denizel kavkı içerikli
N2 - N3	60,2	Kil; koyu gri siyah renkli yeryer denizel fosilli yeryer ince çakıllı yüksek plastik özellikli
N16 - N16A	113,6	Kil; koyu gri siyah renkli yeryer denizel fosilli yeryer ince çakıllı yüksek plastik özellikli
N20 - N16A	160,21	
N14 - N16	101,3	
TOPLAM	669,01	

Çizelge 3.8 : Diğer projelerdeki itişler ve uzunlukları [65,66].

Bölge	Uzunluk (m)	Litoloji Tanımlama
Küçüksu	88,5	Kil; Gri, yüksek plastisiteli, kumlu, siltli. (13-13.5m arası ince çakıllı, yer yer fosil kırıntılı ve organik madde içerikli)
Avcılar	77,4	Kum; açık gri renkli, ince-orta daneli, muskovit pullu, killi
Dudullu	173,4	Arkozik kumtaşı; mor-eflatun, açık kahverengi, sarımsı iri taneli, çok parçalı zayıf çimentolu
TOPLAM	339,3	

YAS	GRUP	FORMASYON	Simge	KAYA TÜRÜ ve AÇIKLAMALAR
PALEOZOYİK	Neojen	Belgrad	plq	Gevşek-çimentolanmamış, bloklu, çakıl-kum-kil (örgülü akarsu)
	KARBONİFER	TRAKYA	k2	Kırıntılı-masif Kireçtaşı (Kalsitürbidit)
		Baltalımanlı	k1	Kırıntılı Kçt aradüzeyle, Kumtaşı-Çamurtaşı ardışımı
		TUZLA	d4	Fosfat yumrulu radyolaritli ÇÖRT (lidi) (açık-derin deniz)
	DEVONİYEN	KARTAL	d 2-3	Yumrulu Kçt., (kireçtaşı-çamurtaşı ardışımı) (Şelf)
		DOLAYORA	Sd1	Fosilli çamurtaşı, ve masif/kırıntılı kçt.,-çamurtaşı ardışımı
		GÖZDAĞ	Os1	Fosilli - masif/tabakalı Kireçtaşı (resif ve as ortamları)
	ORDOVİŞİYEN	AYDOS	O2	Kuvars arenit mercekli, laminalı çamurtaşı (lagün - sığ deniz)
		KURTKÖY	O1	Kuvars Arenit ve Kuvars konglomerası (kıyı - plaj)
				Çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı ardalanması (karasal) / Bazik derinlik magmatikler

Şekil 3.3 : İstanbul paleozoyik istifinin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti [68,69].

3.2.1 Kurbağalıdere yatay geçiş inşaat jeolojisi ve mühendislik özellikleri

14.50 ve 12.00 m derinliklerde, 6 adet ve toplam 79.50 m karotlu araştırma sondajı yapılmıştır. Bu sondajlar kuyu lokasyonlarında yapılmıştır. 386 ve 387 nolu kuyuları içeren kısımlar sonradan projeye dahil olmuş ve formasyonun devamı niteliğinde olduğu için bu kısımlarda sondaj yapılmamıştır ve jeolojik kesite dahil değildir [69].

Kurbağalıdere vadisi üzerinde, Marmara Denizi'ne doğru kalınlığı göreceli olarak artan ve 30,00 metrelere ulaşan, Haliç Çökelleri olarak tanımlanabilecek kil-silt egemen alüvyon oluşuklar söz konusudur. Bu oluşukların altında ise Paleozoik yaşlı temel kaya birimler bulunmaktadır.

Vadi içini dolduran Güncel yaştaki haliç çökelleri (Alüvyon) üzerinde ise çok değişken kalınlıklarda Yapay dolgu ve altındaki Bitkisel Toprak örtü bulunmaktadır.

Paleo Faylı olan Kurbağalıdere vadisi tabanında ve dolgu alanda Tuzla Formasyonu, (Üst Devoniyen yaşı, masif-yumrulu kireçtaşları), batı alanda ise Trakya Formasyonu, (Alt Karbonifer yaşı, kumtaşı-çamurtaşı ardalanması) bulunmaktadır.

Vadi orta kesimlerine denk gelen güzergah üzerinde yapılan araştırma sondajlarında Paleozoyik yaşı kaya oluşuklara rastlanmamış ve delgiler Haliç çökelleri (Alüvyon) içinde kalmıştır.

Araştırma sondajı verileri, yüzeyde yapay dolgu ve altında bazen korunamamış bitkisel toprak örtü altında, yanal düşey yönde oldukça sık fasiyes değişimi gösteren, suya doymuş silt egemen, dirençsiz ve akıcı zemin karakterli, yer-yer yoğun korunmuş-parçalanmış denizel kavkı-fosil düzeyli, Haliç Çökellerinin varlığını ortaya koymuştur (Şekil 3.4, Şekil 3.5) [66,69].

Aşağıdaki sondajlar, belirlenen güzergahlar için yapıldığı için kuyu isimleri ile adlandırılmıştır. 402 numaralı kuyu Ş-K5A ile Ş-401 sondajları arasındadır. 386 ve 385 numaralı kuyular güzergaha sonradan eklenmiştir (Şekil 3.4).

3.2.1.1 Ş-387 sondajı

1,50 m derinliklere kadar yapay dolgu ve altında 5,00 m derinliklere kadar kahveremsi sarı renkli kil-kumdan oluşan bitkisel toprak örtü belirlenmiştir.

5,00 m’den sonra karşılaşılan Haliç Çökelleri (Alüvyon), siyahımsı gri renkli, ince kum-kil-silt oluşuklardan ve yaygın-yoğun denizel kavkı+fosil bileşenlerden oluşmaktadır. Haliç çökellerinin 10,00 m altında çok yumuşak-gevrek özellikte oldukları belirlenmiştir.

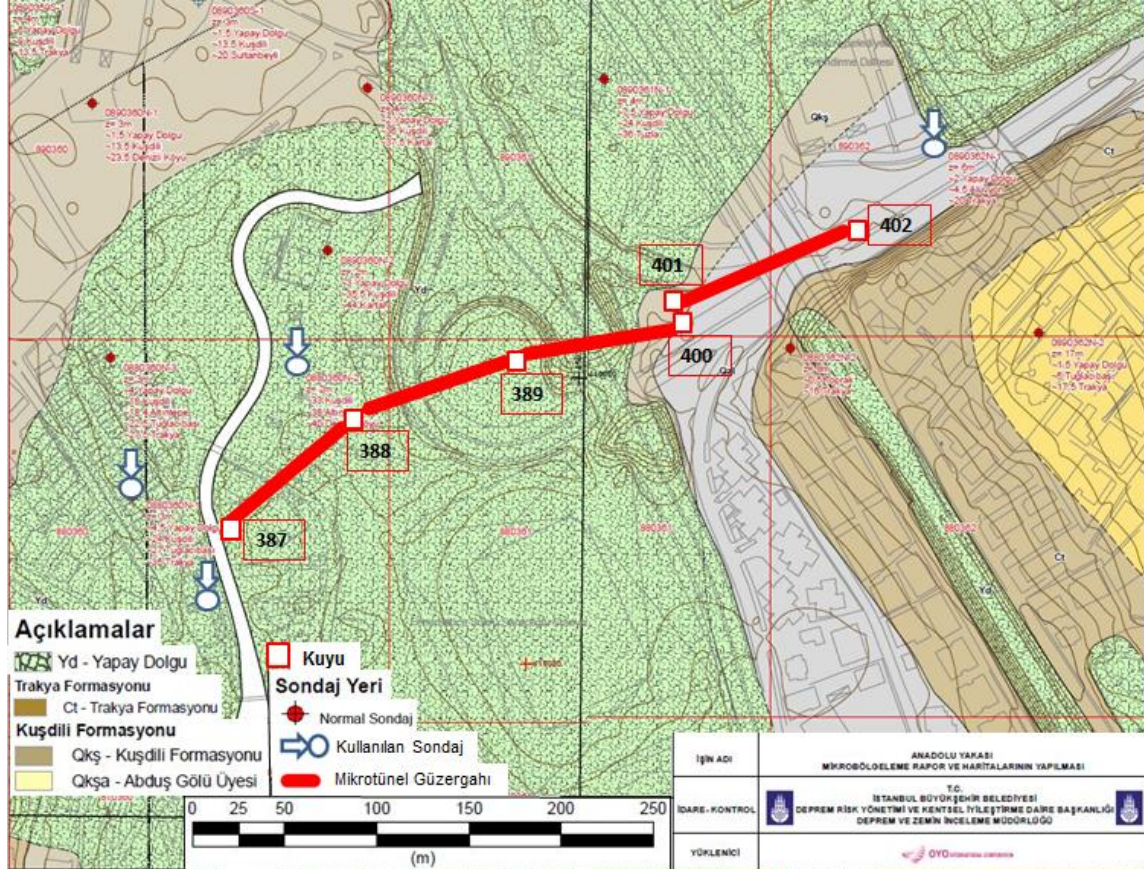
Yeraltı suyu, yeryüzeyinin 2,50 m altında olarak saptanmıştır ve 5,00 – 10,00 m’ler arasında yüksek bünye suyu içeren oluşukların akıcı zemin olarak tanımlanması uygundur.

3.2.1.2 Ş-388 sondajı

2,50 m derinliklere kadar yapay dolgu ve altında, 4,50 m derinliklere kadar kahveremsi sarı renkli kil-kumdan oluşan bitkisel toprak örtü belirlenmiştir.

4,50 m'den sonra karşılaşılan Haliç Çökelleri (Alüvyon), siyahımsı gri renkli, çakıllı, ince kum-kil-silt oluşuklardan ve yaygın –yoğun denizel kavkı+fosil bileşenlerden oluşmaktadır.

Yeraltı suyu, yeryüzeyinin 2,10 m altında olarak saptanmıştır ve 6,00 – 10,00 metreler arasında yüksek bünye suyu içeren oluşukların akıcı zemin olarak tanımlanması uygundur.



Şekil 3.4 : Kurbağalıdere formasyonunda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktaları [66].

3.2.1.3 Ş-389 sondajı

0,50 m kalınlığında yapay dolgu ve altında, 3,00 m derinliklere kadar kahvemsı sarı renkli kil-kumdan oluşan bitkisel toprak örtü belirlenmiştir.

3,00 m'den sonra karşılaşılan Haliç çökelleri (Alüvyon), siyahımsı gri renkli, seyrek çakıllı, ince kum-kil-silt oluşuklarından ve yaygın – yoğun denizel kavkı + fosil bileşenlerden oluşmaktadır. 9,00 – 10,50 m'ler arasında karşılaşılan kum egemen arayüzeyin, olasılıkla çakıl bileşenler olduğu ve akıcı zemin karakterli olmadıkları saptanmıştır.

Yeraltı suyu, yeryüzeyinin 2,15 m altında olarak saptanmıştır ve 3,00 – 9,00 m’ler arasında yüksek bünye suyu içeren oluşukların akıcı zemin olarak tanımlanması uygundur.

3.2.1.4 Ş-400 sondajı

4,00 m kalınlığında yapay dolgu belirlenmiştir. Bu alanda 0,50 m kalınlığında korunabilmiş bitkisel toprak örtü görülmektedir.

4,00 m’den sonra karşılaşılan Haliç Çökelleri (Alüvyon), siyahımsı gri renkli, seyrek çakıllı, ince kum – killi silt egemen oluşuklardan ve yaygın-yoğun denizel kavkı+fosil bileşenlerden oluşmaktadır. 15,00 m’lere kadar çok dirençsiz (çok yumuşak –gevşek) akıcı zemin koşullarının varlığı söz konusudur.

Yeraltı suyu, yeryüzeyinin 1,50 m altında olarak saptanmıştır ve 5,00 – 12,00 m’ler arasında yüksek bünye suyu içeren oluşukların akıcı zemin olarak tanımlanması uygundur.

3.2.1.5 Ş-401 sondajı

1,50 m kalınlığında yapay dolgu belirlenmiştir. Bu alanda 0,50 m kalınlığında korunabilmiş bitkisel toprak örtü görülmektedir.

2,00 m’den sonra karşılaşılan Haliç Çökelleri (Alüvyon), siyahımsı gri renkli, seyrek çakıllı, ince kum ve killi, silt egemen oluşuklardan ve yaygın-yoğun denizel kavkı+fosil bileşenlerden oluşmaktadır.

15,00 m’ lere kadar çok dirençsiz (çok yumuşak –gevşek) akıcı zemin koşullarının varlığı söz konusudur.

Yeraltı suyu, yeryüzeyinin 1,50 m altında olarak saptanmıştır ve 5,00 – 12,00 m’ler arasında yüksek bünye suyu içeren oluşukların akıcı zemin olarak tanımlanması uygundur.

3.2.1.6 Ş-K5A sondajı

6,00 m kalınlığında yapay dolgu belirlenmiştir. Bu alanda bitkisel toprak örtü görülmemiş ve doğrudan Haliç çökelleri ile karşılaştırılmıştır.

6,00 m'den sonra karşılaşılan Haliç Çökelleri (Alüvyon), siyahımsı gri renkli, seyrek çakıllı, ince kum ve killi, silt egemen oluşuklardan ve yaygın – yoğun denizel kavkı+fosil bileşenlerden oluşmaktadır. 15,00 m'lere kadar çok dirençsiz (çok yumuşak-gevşek) akıcı zemin koşullarının varlığı sözkonusudur.

Yeraltı suyu, yeryüzeyinin 1,50 m altında olarak saptanmıştır ve 6,00 – 12,50 m'ler arasında yüksek bünye suyu içeren oluşukların akıcı zemin olarak tanımlanması uygundur.

3.2.1.7 Güzergahın mühendislik değerlendirilmesi

Arazi çalışmaları ve laboratuvar verilerine dayalı olarak, yüzeye çok yakın ve kazısı yapılacak olan malzeme; mevcut Kurbağalıdere yakınına kadar bitkisel toprak örtü ve onun altındaki Haliç Çökelleri olacaktır. Yaklaşık güzergahın diğer yarısında ve Ş-400 den sonra ise kısmen korunmuş bitkisel toprak örtü, ancak çoğu kere yapay dolgu ve altındaki Haliç çökelleri olacaktır.

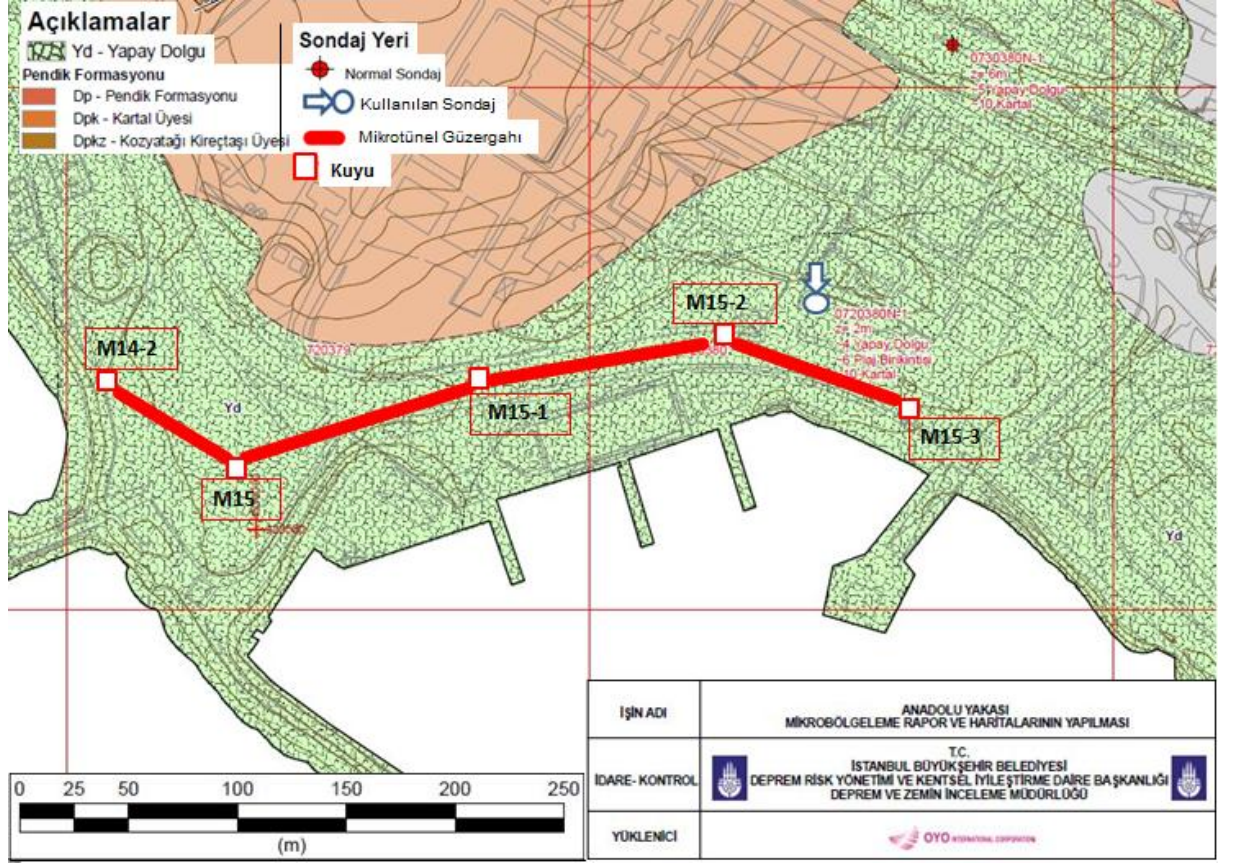
Tünel kotu en fazla 1,00 m altına doğru, genelde çok dirençsiz çok yumuşak- çok gevşek akıcı zemin oluşuklar söz konusudur. Hemen tünel alt kotundan itibaren özellikle Haliç çökellerinin yüksek bünye suyu içerdikleri bilinmelidir.

3.2.2 Bostancı yatay geçiş inşaat jeolojisi ve mühendislik özellikleri

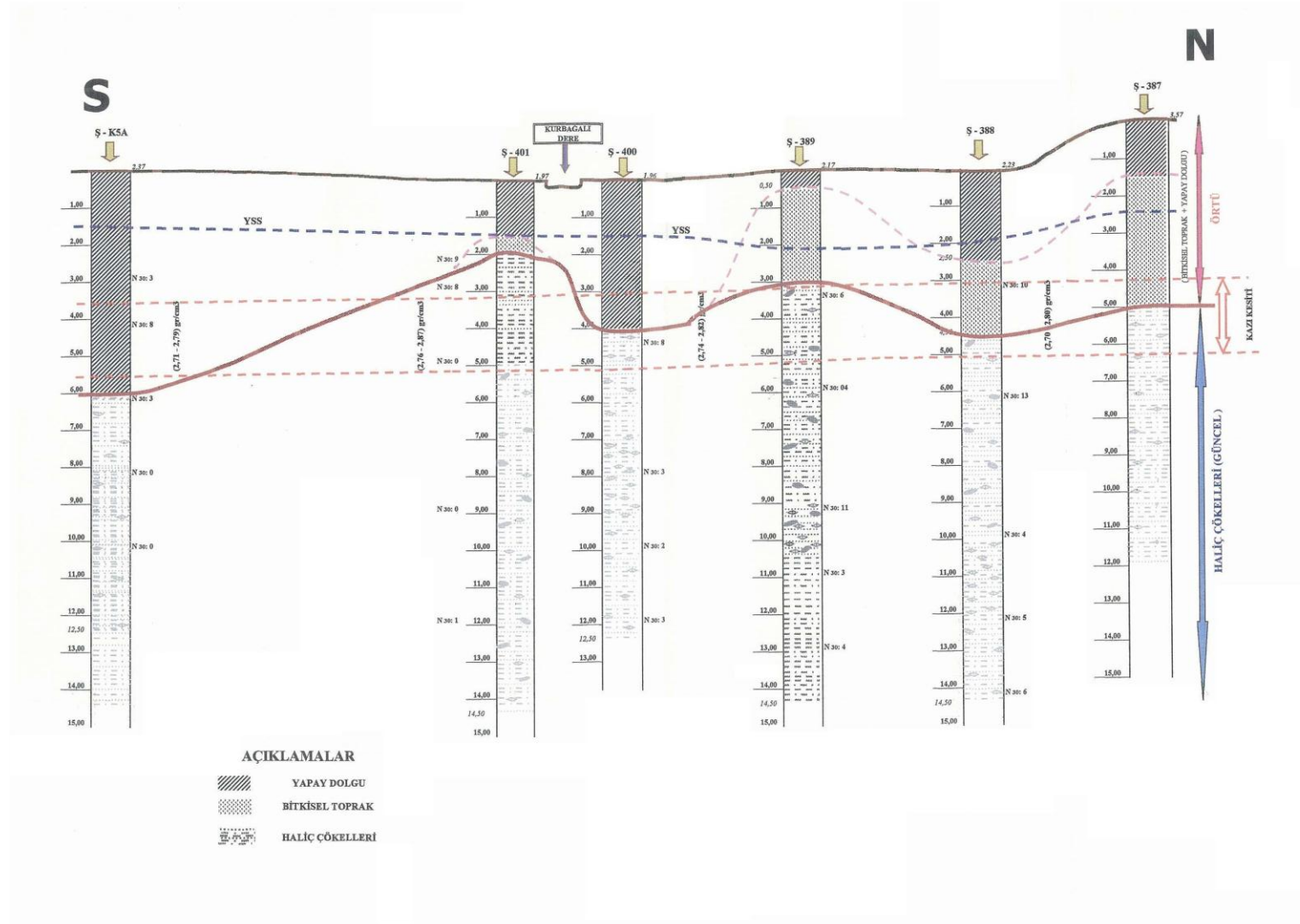
Bostancı sahil kesiminde son yirmi sene içinde dolgu yapılarak sahil yolu inşa edildiği bilinmektedir. Bu alanda doğu-batı ve karadan denize doğru, doğrudan ilksel taban topografyasına bağlı olarak farklı kalınlıklarda yapay dolgu olduğu bilinmektedir. Yapılan araştırma sondajları bu durumun varlığını da göstermektedir. Yapılan karotlu araştırma sondajlarından farklı kalınlıklardaki yapay dolgu altında; 1,00 – 2,50 m değişen kalınlıklarda gri renkli kum egemen oluşuklar şeklinde güncel yaştaki, plaj- kıyı çökelleri bunların altında 1,00 - > 3,00 m kalınlıktaki, Oligomiyosen yaşı, kahvemsiz kırmızı renkli kil egemen Belgrad Formasyonu ya da doğrudan ana kaya birim olan, Orta Devoniyen yaşı, kireçtaşı – çamurtaşı aralanmasında kurulu Kartal Formasyonlarının varlığı belirlenmiştir.

8 adet shaftın 5 tanesine denk gelen kesimlerde, 12,00 m derinliklerde karotlu araştırma sondajları yapılmıştır (Şekil 3.6, Şekil 3.7) [66,69]. M29A ve M29B numaralı kuyular güzergaha sonradan eklenmiştir.

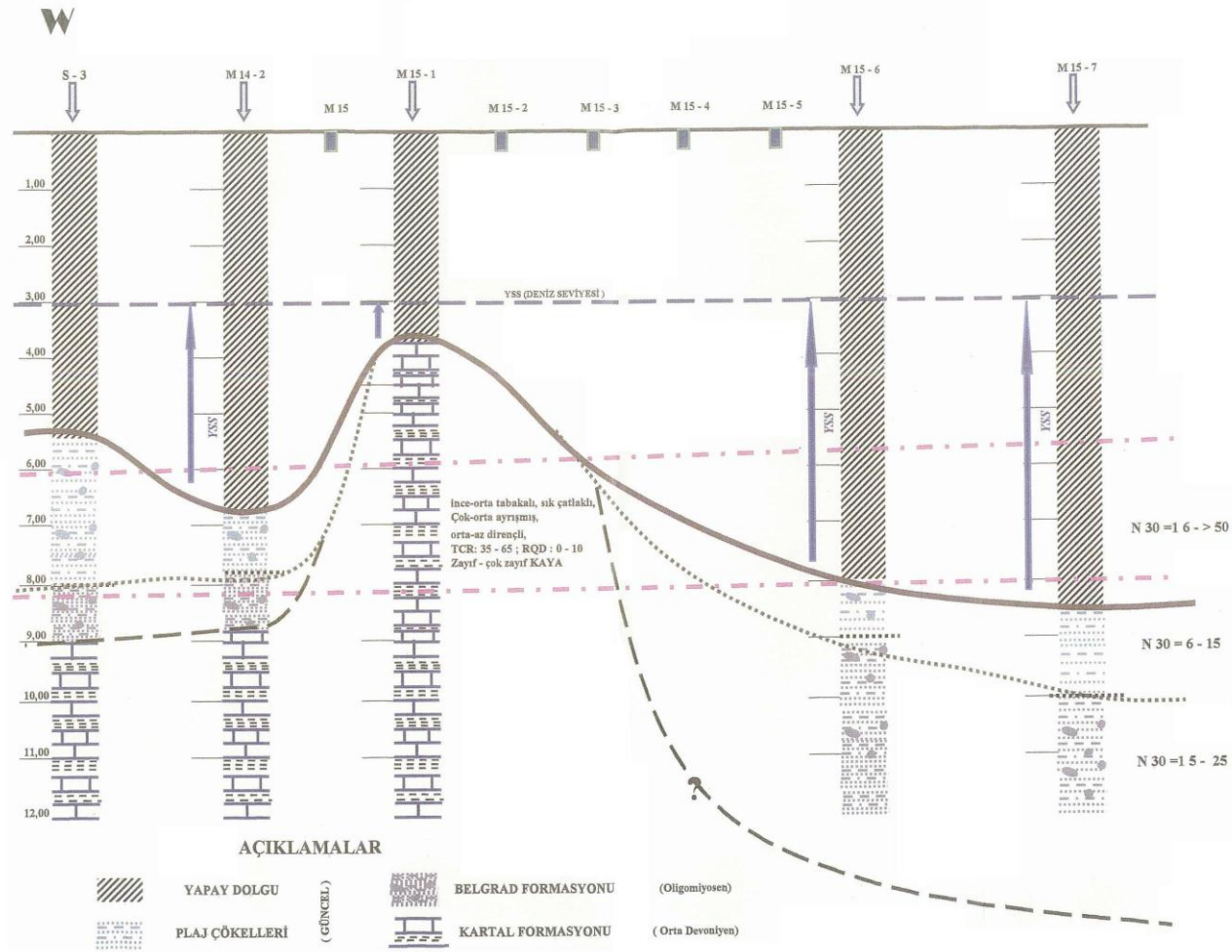
Şekil 3.7’da belirtilen sondaj verilerinden uygun laboratuvar deneyleri yapılmadığı için modelleme için gereken veriler temin edilememiştir. Şekil 3.5’deki sondaj verilerinden sadece birisinin laboratuvar sonuçları kabul edilebilir çıktığı için modellemede o değerler baz alınmıştır.



Şekil 3.5 : Bostancı Formasyonu’nda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktası [66].



Şekil 3.6 : Kurbagalıdere sahil yolu geçiş ikmal inşaatı jeolojik kesiti [69].



Şekil 3.7 : Bostancı sahil yolu geçiş ikmal inşaatı jeolojisi kesiti [69]

3.2.2.1 S3 sondajı

Güzergahın en batı ucuna denk gelen ancak proje değişikliği ile güzergahın bu alandan geçmeyeceği şaft alanında yapılan sondajda; 5,50 m kalınlığında yapay dolgu belirlenmiştir.

5,50 – 8,00 m’ler arasında; siyahımsı gri renkli, kil – çakıl içeren siltli kumlardan kurulu güncel yaştaki kıyı – plaj çökelleri bulunmaktadır.

8,00 – 9,00 m’ler arasında; kahvemsı – kirli sarı renkli, az çakıllı, siltli kumlu kilden kurulu Oligomiyosen yaşı Belgrad Formasyonu bulunmaktadır.

9,00 m’den sonra ise bu bölgede ana kaya niteliğindeki, orta – ince tabakalı kireçtaşı – çamurtaşı ardalanmasından oluşan Orta Ordovisiyen yaşı Tuzla Formasyonu varlığı belirlenmiştir.

Yeraltı suyu yaklaşık deniz seviyesi olan, 2,60 m olarak saptanmıştır.

3.2.2.2 M-14-2 sondajı

6,80 m kalınlığında yapay dolgu belirlenmiştir.

Görelî olarak bünye suyu az ve Örtü olarak tanımlanabilecek bu oluşuklarda bulunmuştur.

6,80 – 7,80 m’ler arasında; gri renkli, kil – çakıl içeren siltli kumlardan kurulu , güncel yaştaki kıyı- plaj çökelleri bulunmaktadır.

7,80 – 8,80 m’ler arasında; kırmızımsı kahve renkli, az çakıl – silt – kumlu kilden kurulu Oligomiyosen yaşı Belgrad Formasyonu bulunmaktadır.

8,80 m’den sonra ise bu bölgede ana kaya niteliğindeki, orta – ince tabakalı kireçtaşı – çamurtaşı ardalanmasından oluşan Orta Ordovisiyen yaşı Tuzla Formasyonu varlığı belirlenmiştir.

Yeraltı suyu; yaklaşık deniz seviyesi olan 3,00 m’ dedir.

3.2.2.3 M-15-1 sondajı

Bu sondajda; 3,70 m kalınlığında yapay dolgu belirlenmiştir.

Yaygın bloklu yapay dolgu altında doğrudan bölgede ana kaya birim olarak tanımlanan, kireçtaşı – çamurtaşı ardalanmasından kurulu Kartal Formasyonu’na 3,70 m’de girilmiştir. İleri derecede kırıklı, çok ayrıışmış ancak derinlik arttıkça

ayrışmanın azaldığı (orta ayrışmış) özellikteki bu oluşuklar, orta – ince tabakalı, sık ve kalsit dolgulu çatlaklı, zayıf – çok zayıf kaya özellikleridir. Özellikle en fazla 40,00 cm’e varabilen kireçtaşı tabakaları orta dirençli özellikleri ile güç kırılır- kolay sökülür yapıdadır.

Yeraltı suyu 2,60 m yani yaklaşık deniz seviyesidir.

3.2.2.4 M-15-6 sondajı

8,00 m kalınlığında yapay dolgu belirlenmiştir.

8,00 – 9,00 m’ler arasında; gri renkli, kil – çakıl içeren siltli kumlardan kurulu, güncel yaştaki kıyı – plaj çökelleri bulunmaktadır.

9,00 – 12,00 m’ler arasında (olasılıkla en fazla 3,00 m derine kadar); kırmızımsı kahve renkli, az çakıl – silt – kumlu kilden kurulu Oligomiyosen yaşlı Belgrad Formasyonu bulunmaktadır.

Yeraltı suyu 2,50 m olarak sabitlenmiştir (yaklaşık deniz seviyesi).

3.2.2.5 M-15-7 sondajı

8,50 m kalınlığında yapay dolgu belirlenmiştir.

8,50 – 10,00 m’ler arasında; gri renkli, kil – çakıl içeren siltli kumlardan kurulu, güncel yaştaki kıyı plaj çökelleri bulunmaktadır.

10,00 – 12,00 m’ler arasında (olasılıkla en fazla 3,00 m derine kadar); kırmızımsı kahve renkli, az çakıl – silt – kumlu kilden kurulu Oligomiyosen yaşlı Belgrad Formasyonu bulunmaktadır.

Yeraltı suyu, yaklaşık deniz seviyesi olan 3,00 m’de sabitlenmiştir.

3.2.2.6 Güzergahın mühendislik değerlendirilmesi

Arazi gözlemleri, karotlu araştırma sondajları ve kısmen önceki çalışmalardan yararlanılan verilere dayalı olarak aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır [69]:

Tünel güzergahı boyunca birbirinden çok farklı özellik ve karakterdeki oluşuklar ile karşılaşılacaktır. Bu oluşuklar batıdan itibaren M15'e kadar, gri renkli, suya doymuş, kumlardan kurulu, güncel yaştaki kıyı – plaj çökelleri ve bunların altında, “sert – katı” kıvamda, görece “dirençli ve “stabil”, bünye suyu az olan, kızılımsı kahve renkli kil egemen, Oligomiyosen yaşlı Belgrad Formasyonu ve en üstte ise genelde yaygın bloklu – kil egemen, bünye suyu az, kısmen geçirimsiz yapay dolgu (örtü) içinden geçilecektir. Bu kesimde yeraltı suyu etkisi ve kazı yüzeyi için “stabilite” sorunları beklenmelidir.

Tünel güzergahının M15 – M15-3 arasında genelde bölge için ana kaya niteliğindeki, Orta Devoniyen yaşlı, kireçtaşı – çamurtaşı ardalanmasında kurulu, Kartal Formasyonu ve yer yer onun üstünde bulunan yaygın bloklu – kil egemen, bünye suyu az, kısmen geçirimsiz yapay dolgu (örtü) içinden geçilecektir. Güzergahın bu kesiminde yeraltı suyu problemi olmayacaktır. Orta – çok ayrılmış ve kumtaşı kireçtaşı ardalanmasından kurulu Kartal Formasyonu orta- ince tabakalı, kalsit dolgulu sık çatlaklı yapısı ile, zayıf – çok zayıf kaya özellikleridir.

Güzergahın M 15-3 doğusuna doğru kalınlığı artan ancak kazı kesiti altına doğru dalan, gri renkli, suya doymuş, kumlardan kurulu, güncel yaştaki kıyı – plaj çökelleri ve bunların altında, “sert – katı” kıvamında, görece “dirençli” ve “stabil”, bünye suyu az olan, kızılımsı kahve renkli kil egemen, Oligomiyosen yaşlı Belgrad Formasyonu söz konusudur. Ancak M 15-5 doğusunda kazı kesiti tümü ile yaygın bloklu, kil egemen yapay dolgu içinde kalmaktadır. Tümü ile yapay dolgu içinde kalacak tünel kesitlerinde stabilite ve ani – yüksek su baskını şeklinde yeraltı suyu beklenmemelidir.

“Bostancı Sahil Yolu Yatay Geçiş İkmal İnşaatı” güzergahı üzerinde, farklı kalınlıklardaki (3,50 – 8,50 m) yapay dolgu altında; 1,00 – 2,50 m değişen kalınlıklarda gri renkli kum egemen oluşuklar şeklinde güncel yaştaki, plaj – kıyı çökelleri, bunların altında 1,00 -> 3,00 m kalınlıktaki, Oligomiyosen yaşlı, kahvemsiz kızıl renkli Kil egemen Belgrad Formasyonu ya da doğrudan ana kaya birim olan, Orta Devoniyen yaşlı, kireçtaşı – çamurtaşı ardalanmasında kurulu Kartal Formasyonu varlığı belirlenmiştir.

Tünel güzergahı boyunca biri birinden çok farklı özellik ve karakterdeki oluşuklar ile karşılaşılacaktır. Bu oluşuklar batıdan itibaren, 3 farklı grup altında değerlendirilebilir. Özellikle güzergah boyunca bölüm – bölüm karşılaşılabilecek olan, güncel yaştaki plaj – kıyı çökelleri şeklindeki, gri renkli kum egemen kesimlerde, yeraltı suyu ve stabilite problemleri beklenmelidir.

3.2.3 Alibeyköy – Küçükköy yatay geçiş inşaat jeolojisi

Alibeyköy – Küçükköy bölgesinin jeolojisi aşağıdaki iki oluşum arasında geçiş özelliğindedir:

a) İstanbul Yarımadasında Büyükçekmece-Hadımköy-Küçükçekmece arasındaki alanda karasal koşullarda gelişmiş, kırıntılı ve acısu karbonatlarından yapılmış bir istif izlenir. Gürpınar Formasyonu olarak tanımlanan bu birim genellikle killerden, volkanik materyalden, kömürlü seviyelerden oluşur. Gürpınar Formasyonu üzerine ise Çamurluhan Formasyonu gelir. Bu birim; genellikle çakıl taşı, kumtaşı ve sarı, kahverengi kumtaşı ara tabakalarını içeren, yeşil renkli kil ve marn ardışımından oluşur. Örgülü akarsu ürünü olan Çukurçeşme, gevşek tutturulmuş, blok, çakıl, kum ve siltten meydana gelir.

b) Üst Miyosen döneminde gelişen geçici göllerde kil çökelimleri olmuştur. Hakim olarak yeşil renkli, ince lamine, plastik killerden meydana gelen birim Güngören Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Bu formasyon ayrıca kireçtaşı ara katkılı olup tedrici olarak, Bakırköy Formasyonuna geçer.

b) Üst Miyosen döneminde gelişen geçici göllerde kil çökelimleri olmuştur. Hakim olarak yeşil renkli, ince lamine, plastik killerden meydana gelen birim Güngören Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Bu formasyon ayrıca kireçtaşı ara katkılı olup tedrici olarak, Bakırköy Formasyonuna geçer.

Trakya Formasyonu, büyük kısmıyla şeyl ve az olarakta polijenik konglomera, kalkerli şeyl, kireçtaşı, kuvars konglomera ve kuvarslı kumtaşından oluşmuştur. Formasyonun büyük kısmını oluşturan şeyller genellikle koyu gri ve yeşilimsi gri, sarımsı gri, yersel olarak soluk kırmızı pembe ayrışma renklidir. Şeyller içinde çok ince lamine silttaşından çok kaba konglomeralara kadar türbidit oluşukları bulunur.

Birim içinde orta-iyi arası boylanmış ve çok kötü boylanmış iki grovak çeşidi yer alır. En çok görülen birinci tip grovaklar; yeşilimsi gri, sıkı, yarı yuvarlaklaşmış kuvars, koyu renkli çört, taş kırıntıları, mika ve feldspattan yapılıdır. Taneler ikincil büyüme, silis çimento ve kil hamuru ile bağlanmıştır. Ayırışmış örnekleri grimsi sarı ile soluk kahve arasında gözenekli, demirle boyanmış, bol mikalı ve dirençsizdir.

Grovaklar bitevil devamlı dereceli ve laminalı tabakalanma gösterirler. Şeyl ile nöbetleşmelerindeki grovaklar yatay ve düşey tane derecelenmesi, keskin alt sınır, taban yapıları, oluşuk arası şeyl parçaları, tane yönelimi, buruşma yapısı, yarıılma lineasyonu, küçük ölçekte çapraz stratigrafikasyon gibi özellikleriyle türbidit akıntı çökelleridir. Alttan üste doğru laminalı tabaklanma gösteren grovaklar, akıntı içyapılar bakımından fakirdir. Çok kötü boylanmış, grovaklar koyu yeşilimsi gri, zeytini yeşil, gri, sarımsı gri, ayrışma renkli ve düşük dokusal olgunluktadır. Bileşen taneler çoğunlukla kaya parçası, kuvars, mika, feldspat kırıntısıdır. Bu tip kayaçlar, genellikle masif iç yapısız, 16-64 cm tabaka kalınlığı sınırları içinde ince şeyllerle ara katkılı olabilir. Litik grovaklar ve bunlarla ardışıklı şeyller iyi korunmuş bitki kalıntıları ve bitkisel yığılımları kapsarlar.

Konglomeralar kısmen kılavuz seviye özelliğindedir. Bunlar genellikle açık yeşilimsi, gri ve grimsi sarı ile soluk kahverengi arasında ayrışma renkli, polijenik çok kötü ile orta arası boylanmalıdır.

Bileşen taneler çok ince çakılcıkla ufak blok arasında yarı yuvarlanmış, beyaz kuvarslı damarlar, koyu renkli çörtler, lidit, iyi yuvarlaklaşmış mikaşist, oluşuk arası şeyl, grovak ve kireçtaşıdır. Türbiditler morfolojik olarak kumtaşı, kesitlerinin altında ve içinde merceksel, kalın şeyl kesitlerinde çizgisel kanal dolgusu oluşuklar, bolluk ve kalınlıkları üste doğru azalıp kaba kumtaşı, laminalı kumtaşı ve silttaşı yoluyla şöyle geçer [68].

Tez aşamasında Büyükşehir Belediyesi'nin Mikrobölgeleme Projesi çerçevesinde yaptığı sondaj çalışmaları Küçükköy'ü kapsamadığı için modellemede kullanılmamıştır. Ancak, performans değerlendirmeleri yapılmıştır.

Trakya Formasyonu'yla ilgili üyeler aşağıda anlatılmaktadır [68].

3.2.3.1 Küçükköy kumtaşı üyesi

Trakya Formasyonu'nun büyük bir kesimini meydana getiren şeyl, grovak, kumtaşı

ardalanmasından oluşur.

Küçükköy kumtaşı üyesi, İstanbul boğazı batısında; Bebek sırtlarında, Levent, Etiler, Mecidiyeköy, Zincirlikuyu, Şişli, Beşiktaş, Beyoğlu, Kasımpaşa, Okmeydanı, Çağlayan, Alibeyköy, Ayazağa kuzeyi, Kemerburgaz, Bahçeköy, Bentler, Cebeciköy, Habibler-Mahmutbey, arası, Şamlar-Arnavutköy arasında, Eyüp ve Gaziosmanpaşa civarında yer alır.

Bu üye için Küçükköy ve Alibeyköy yöreleri birimin tipik yüzleklerinin olduğu yerlerdir. Trakya Formasyonu içinde Küçükköy kumtaşı artan kum oranıyla kolayca ayırtlanır. Üste doğru kum oranı azalır ve dereceli olarak Çamurluhan şeyl üyesine geçer.

3.2.3.2 Çamurluhan şeyl üyesi

Killi, kalkerli, şeyl, çakıllı şeyl, küçük ölçekte olmak üzere grovak, grovak-şeyl nöbetleşmesi, kuvars aglomera, kuvarsça zengin kumtaşları, merceksel kireçtaşı ara katkıları kapsar.

Birimin ana kısmını meydana getiren şeyller homojen olup koyu gri renklidir. Yeşilimsi gri, açık zeytini gri, grimsi sarı ve yersel olarak ta beyaz morumsu ve kırmızımsı renklerde ayrışır. Kesitin üstüne doğru şeyller kalkerli ve fosillidir. Merceksel özellikteki kuvars konglomera ve kuvars kumtaşları Çamurluhan şeyl üyesinin en üst 25 m'lik kesitinde Cebeciköy batısında ayırt edilebilir. 2 m kalınlığa varan kuvars konglomera silis ve çok az kil ara madde ile bağlanmış, orta ile iyi boylanma gösteren beyaz kuvars ve az miktarda koyu gri çört çakılcıklarından yapılıdır.

3.2.4 Merter - Çırpıcı yatay geçiş inşaat jeolojisi

Beyaz, kirli beyaz renkli, katman araları yeşil renkli ince katmanlı kil ara seviyeli, alt seviyesi kil-kireçtaşlarından oluşur.

Bakırköy Formasyonu, tabaka araları yeşil killi, genelde değişik kalınlıkta beyaz ve kirli beyaz renkli kireçtaşlarından oluşur.

Formasyon tabanda kil ve seyrek kirli beyaz killi kireçtaşı ardalanımı ile başlayan tatlı su fasiyesli; düzensiz tabakalanmalı, beyaz mikritik bir kireçtaşıdır. Aralarda yer yer yeşil ve mavi renkli killi ve marnlı düzeyler bulunur. Bakırköy kuzeyindeki

Çırpıcı çayırındaki taş ocaklarında en gelişmiş şekliyle 40-50 m'lik bir kesit sunar. Kireçtaşları genel olarak 30-50 cm maksimum ise 110 cm tabaka kalınlıklıdır (Şekil 3.8).

İnceden kalına doğru değişen tabakalı boşluklu ve bol kırıklıdır. Bol bol fosil iç kalıplıdır.

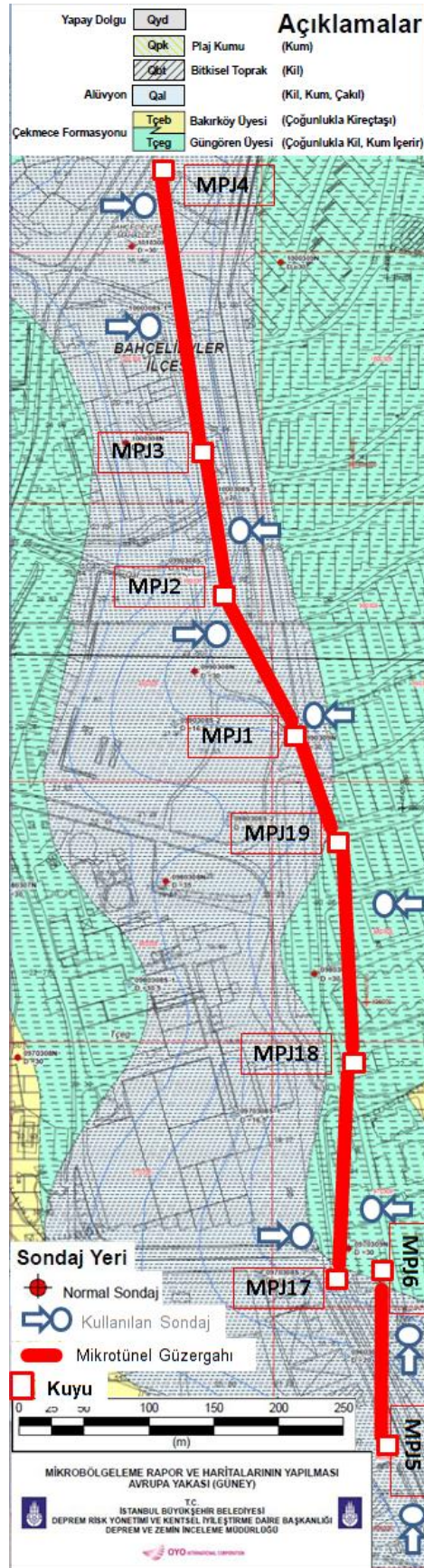
Bakırköy Formasyonu alttaki Güngören Formasyonu ile uyumludur. Üstten ise, Kuvaterner birimleriyle uyumsuz olarak örtülür [68].

3.2.5 Diğer bölgelerin jeolojisi

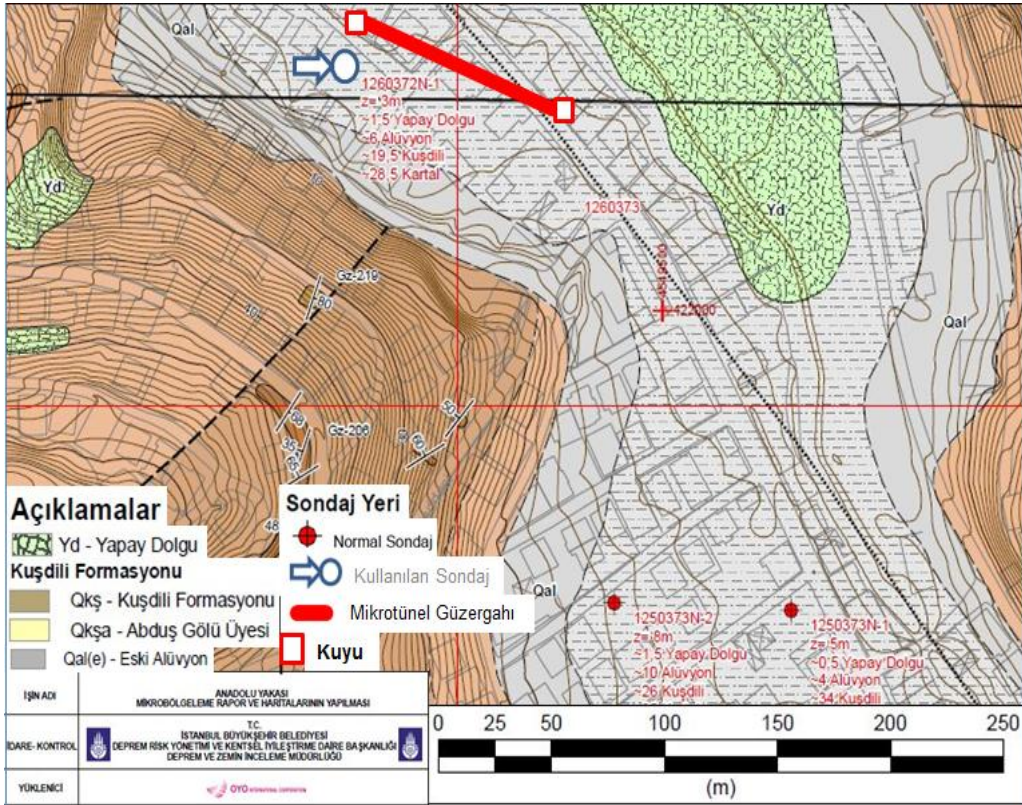
Küçüksu, Nakkaşdere, Avcılar ve Dudullu'da güzergâhı temsil eden sondaj verilerinden laboratuvar sonuçları uygun olanlar modellemede kullanılmıştır (Şekil 3.9, 3.10, 3.11, 3.12).

3.2.6 Güzergah, jeoloji ve sondaj verilerinin özeti

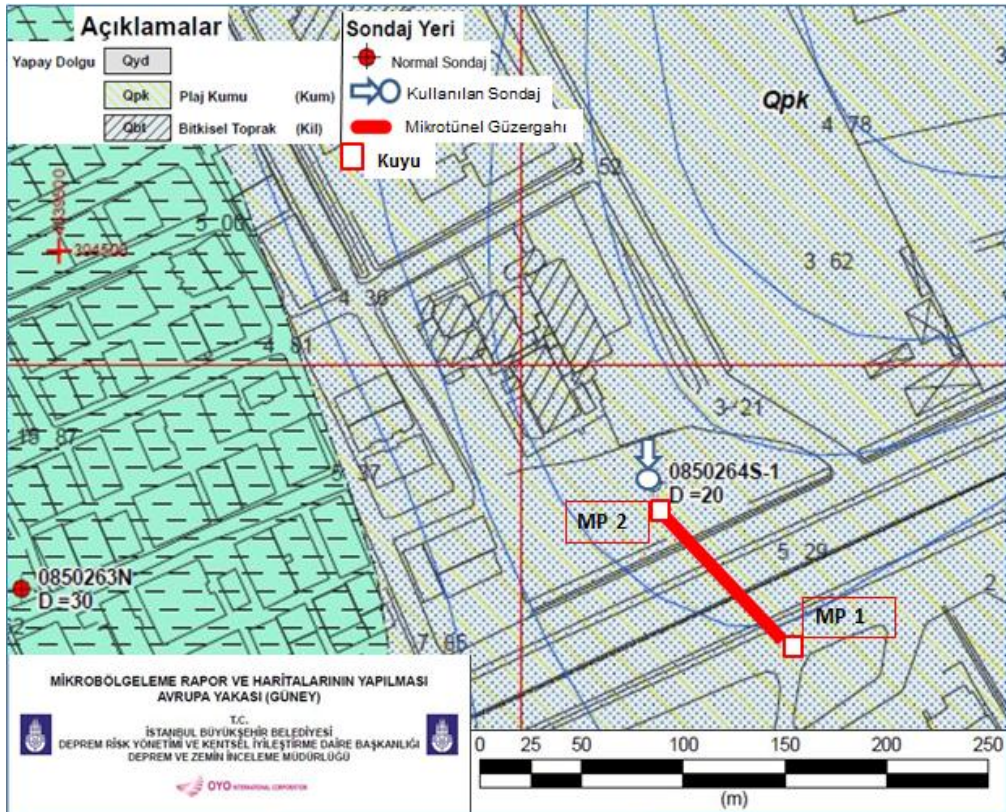
Çizelge 3.9'de modelleme kapsamında kullanılan sondaj ve laboratuvar sonuçları gösterilmiştir. SPT değeri 50'den büyük çıkan veriler 50 kabul edilmiştir. Çizelgedeki veriler mikrotünel güzergahlarını temsil eden sondajlar seçilerek elde edilmiştir. Ek A.3'de İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden tez kapsamında satın alınan jeolojik paftalar; Ek A.4'de sondaj raporları; Ek A.5'de SPT, kıvam limitleri ve elek analizleri yer almaktadır.



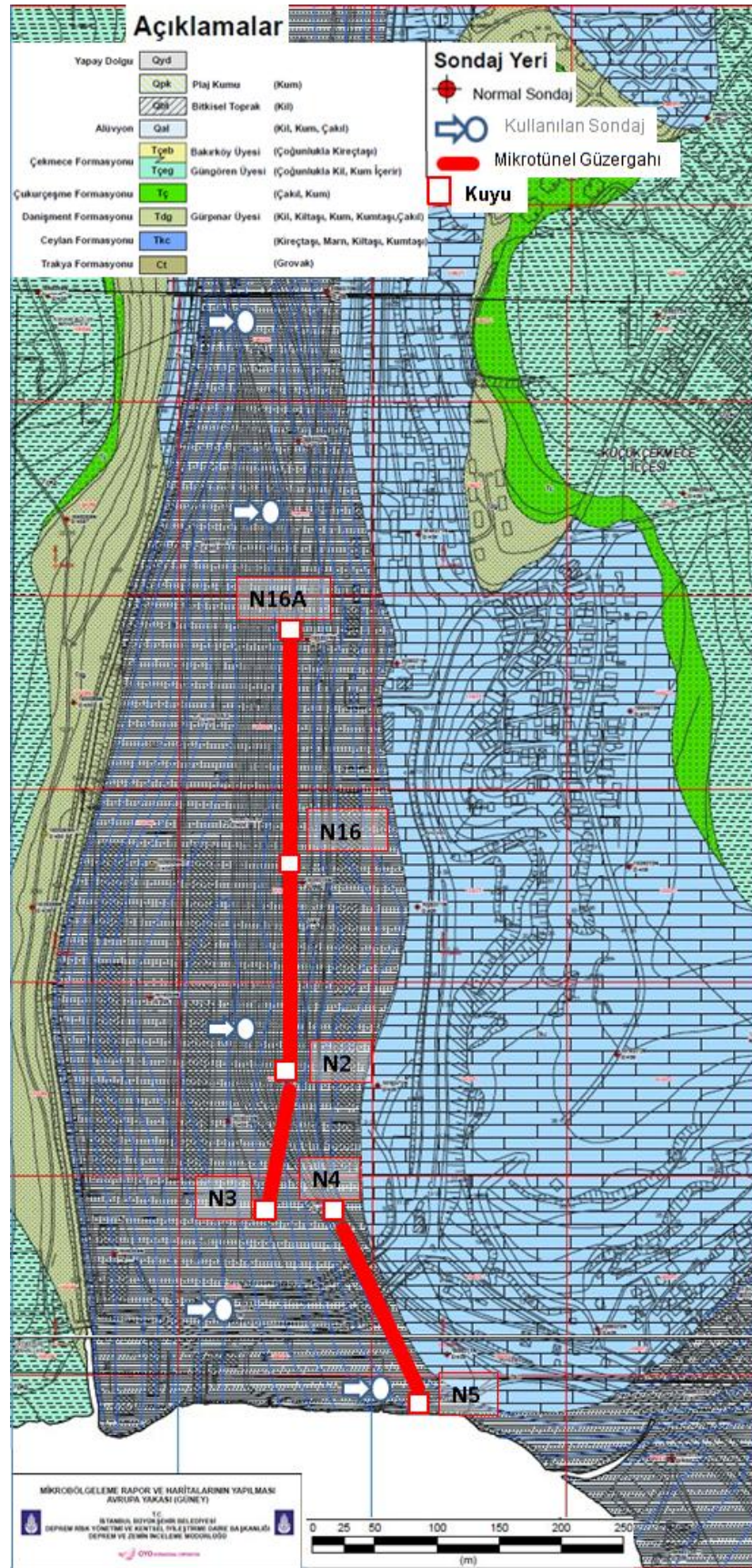
Şekil 3.8 : Çırpıcı Formasyonu'nda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktaları [66].



Şekil 3.9 : Küçüksu Formasyonu’nda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktası [66].



Şekil 3.10 : Avcılar Formasyonu’nda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktası [66].

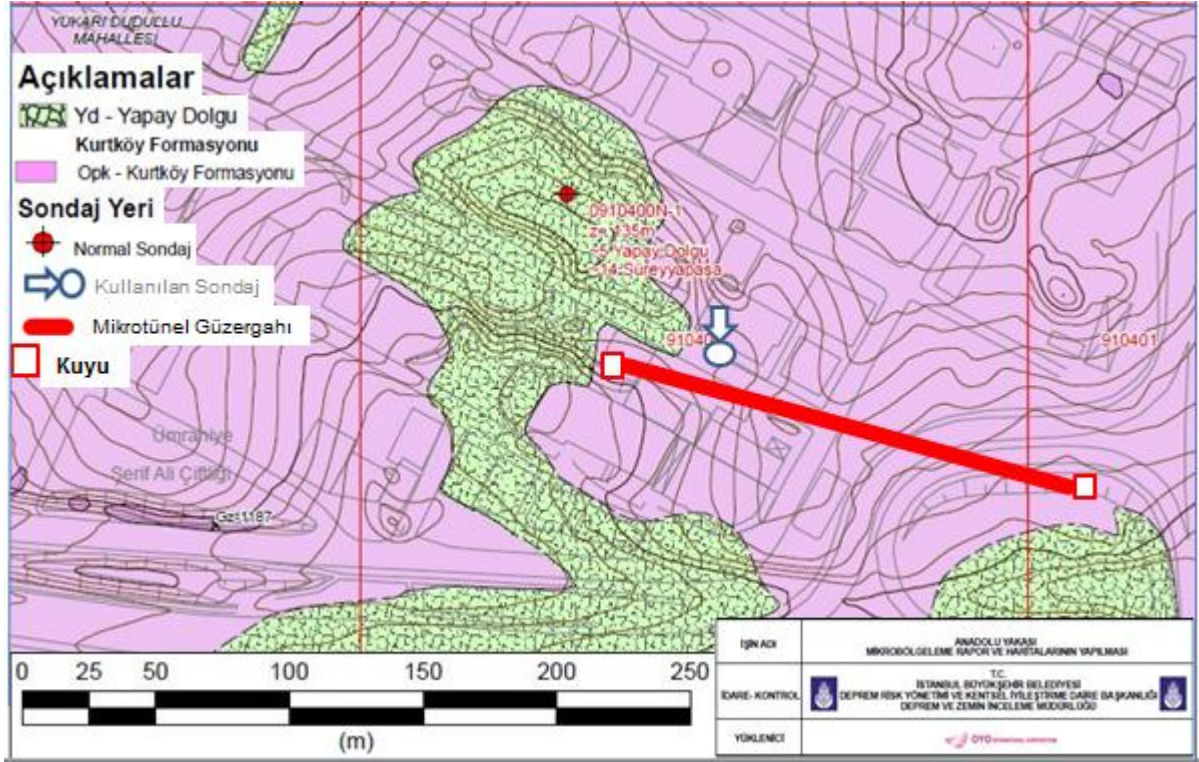


Şekil 3.11 : Nakkaşdere Formasyonu'nda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktaları [66].

Çizelge 3.9 : Bölgeleri temsil eden numunelerin sondaj verileri ve laboratuvar sonuçları [66]

BÖLGE	SONDAJ NO	SONDAJ VERİLERİ			LAB VERİLERİ						
		SPT	TCR	Formasyon	Doğal Su Muhtevası	Kıvam Limitleri			Elek Analizi		
		N30/SK									
			%		Wn	LL	PL	PI	Kil-Silt	Kum	Çakıl
					%	%	%	%	%	%	%
KURBAĞALIDERE	0870360S-1	2	33	Kuşdili (Kil)	35	24,5	16,2	8,3	38,02	57,77	4,21
	0890362N-1	50	88	Trakya (Şeyl)	30,3	44,4	18,9	25,5	89,06	10,94	0
	0880360N-1	2	75	Kuşdili (Kil-Kum)	39,1	36,3	15,6	20,7	58,3	37,72	3,98
	0880360N-2	2	56	Kuşdili (Kil)	38,5	32,8	15,5	17,3	76,26	21,08	2,66
BOSTANCI	0720380N-1	50	62	Pendik (Şeyl)	12,4	24	16,7	7,3	59,82	34,01	6,17
NAKKAŞDERE	S1060270-2	13	38	Alüvyon (Kil)	19	21,6	14,6	7	47,13	52,87	0
	1050270	10	17	Ceylan (Kil)	29,2	43,1	12	31,1	79,03	15,35	5,62
	S1000270-1	6	100	Alüvyon (Kil)	49,1	44,8	17,8	27	98,68	1,32	0
	990272	6	76	Yapay dolgu	49,5	59,5	12,3	47,2	77,67	21,4	0,93
	1010270	3	100	Alüvyon (Kil)	61,5	54	21,3	32,7	99,41	0,59	0
KÜÇÜKSU	1260372S-1	2	70	Kuşdili (Kil)	24,5	30,2	15,1	15,1	80,52	19,48	0
DUDULLU	0910400N-1	26	87	Kurtköy (Arkozik Kumtaşı)	18,3	29,3	12,5	16,8	37,01	25,36	37,6
AVCILAR	S0850264-1	32	100	Kumul (Kum)	22,5	33,6	9,5	24,1	72,48	27,52	0

SONDAJ VERİLERİ					LAB VERİLERİ						
BÖLGE	SONDAJ NO	SPT	TCR	Formasyon	Doğal Su Muhtevası	Kıvam Limitleri			Elek Analizi		
		N30/SK									
		%	%		%	%	%	%	%	%	
ÇİRPİCİ	N0970309	10	63	Güngören (Kil)	48,1	81,7	18,6	63,1	98,47	1,53	0
	S1000308-2	18	65	Güngören (Kil)	35,2	80,2	15	65,2	98,85	1,15	0
	1010308	26	50	Güngören (Kil)	25,4	61,1	16	45,1	95,53	4,47	0
	990308	5	60	Güngören (Kil)	17,1	40,4	8,7	31,7	89,87	10,13	0
	S990308-2	20	60	Alüvyon (Kum-Kil)	24,4	21,3	12,4	8,9	43,52	54,71	1,77
	980309	42	60	Güngören (Kil)	28,7	40,2	12,2	28	76,05	23,95	0
	S970308-2	23	68	Alüvyon (Kil)	27,1	47,5	11,6	35,9	45,69	35,38	18,9
	S960309-1	10	68	Alüvyon (Kil)	23,5	32,7	10,2	22,5	68,99	31,01	0
	960309	7	50	Alüvyon (Kil)	24,9	32,7	10,7	22	73,81	26,19	0
	S1000308-1	47	50	Güngören (Kil)	22,6	61,6	11,6	50	98,71	1,29	0



Şekil 3.12 : Dudullu Formasyonu’nda mikrotünel güzergahı jeolojik haritası ve sondaj noktası [66].

3.3 Kullanılan Ekipman ve Özellikleri

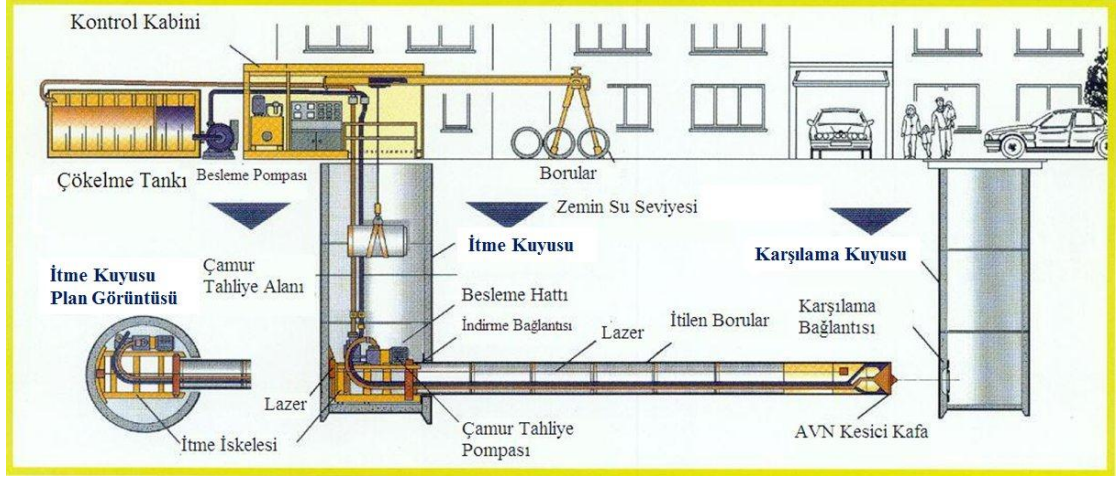
Bu bölümde CET İnşaat’ın kullandığı AVN 1800 MTBM makinesinin özellikleri, kuyu ekipmanı, yüzey ekipmanı, kuyular ve borular anlatılacaktır (Şekil 3.13).

3.3.1 Mikrotünel makinesi

Herrenknecht insansız boru itme için birbiriyle uyumlu, su altında olsa bile güvenli ve verimli tüneller için kendi sistemini geliştirilmiştir [13].

AVN 1800 mikrotünel makinesi aşağıdaki kısımlardan oluşur:

- Kesici kafa, kalkan ve makine kabini
- Makine kabininin ikinci kısmı veya kuyruk kısmı
- Hava kilidi (seçime bağlı)
- Teleskopik istasyon (seçime bağlı) kısımlarından oluşur.



Şekil 3.13 : Boru itme faaliyeti [19] .

Yönlendirici silindirlere uygulanan maksimum basınç 500 Bar ve bypass silindirlerine uygulanan maksimum basınç 150 Bar'dır. Mikrotünel makinesinin teknik özellikleri Çizelge 3.10'da verilmiştir. Mikrotünel makinesinin resimleri Şekil 3.14 ve 3.15'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14 : Mikrotünel makinesinin ilk kurulumu.

Tünel ekipmanları; tünel makinesi, itme istasyonu ve ara itme istasyonları (seçime bağlı), nakliye sistemi, ara itme istasyonları güç üniteleri (seçime bağlı), kontrol odası kısımlarından oluşur.

Çizelge 3.10 : Makine elemanları ile ilgili teknik veriler [14].

Marka	AVN 1800C (Çamur Basınçlı)
Üretici	Herrenknecht AG
Yapım Yılı	2002
Parçaları	- Tünel Makinesi - Tünel Makinesi'ni takip eden kısım - Kontrol Konteyneri - İtici Pistonlar
275 Bar' da uygulanan tork (sağ/sol)	245545 Nm
Dönme hızı (sağ/sol)	0 -3,4 rpm
İtme motoru sayısı	1
Yönlendirici silindir sayısı	4
Yönlendirici silindir çapı(piston/çubuk)	180/120 mm
500 Bar' da silindirlerin yönlendirme Kapasitesi (ileri itme/geri çekme)	1250/ 706 kN
Yönlendirme Açısı	- (aşağı/yukarı) = 4,7° - (köşeden köşeye) = 3,3° - (sağ/sol) = 4,7°
Hidrolik bypass	- Emme/Basma borularının çapları = 125 mm - Bypass çapı = 125 mm - Bypass silindirlerinin sayısı = 5 - Bypass silindirlerine uygulanan maksimum basınç = 150 Bar
Yönlendirici silindirlere uygulanan maksimum basınç	500 Bar
Kesici Kafa Gücü	255 kW
Kesici Kafa Haricindeki Uzunluk	3264 mm
Ağırlık	19940 kg
Kesici Kafa(Karışık Zemin İçin)	Çap: 2465 mm Uzunluk: 9,08 m
Kesme Çapı (Kazı Çapı)	2496 mm
Kesici Kafanın Kesici Elemanlar Harici Ağırlığı	6379 kg
Kesici Elemanlarla Birlikte Ağırlık	7893 kg
Kesici Elemanların Ağırlığı	1010 kg
Tünel Makinesi'ni takip eden kısım	Çap: 2450 mm Uzunluk: 3,00 m Ağırlık: 7460 kg
İtici Pistonlar için Kuyu Boyutları	6m × 5m
Tünel Ekseni ile Kuyu tabanının minimum yüksekliği	1500 mm
Maksimum Boru Uzunluğu	3000 mm
Maksimum Dış Çap (Boru)	2450 mm
İtici Silindir Sayısı (İtme Ekipmanı)	2
Kaldırma Noktalarının Sayısı	4
Silindir boyutları(piston/çubuk)	330/260 mm
Maksimum Silindir Stroğu	1690 mm
İkinci Silindir Stroğu	1830 mm
Toplam Silindir Stroğu	3520 mm
Silindir Başına Maksimum Basınç (ileri itme / geri çekme)	500 / 400 Bar
Silindir Başına İtme Kuvveti (ileri itme / geri çekme)	4274 / 1300 kN
Toplam İtme Kuvveti (ileri itme / geri çekme)	8548 / 2600kN

3.3.1.1 Kesici kafa

Makinenin sağı – sola yalpalamasını önlemek ve yönünü tayin etmesine yönelik olarak tasarlanmış olan ve tünel makinesinden yaklaşık 10 cm önde ilk kesme işini yapan merkezleyici keskidenden (2 numaralı) bir adet, aynada küçükten büyüğe doğru giden daire şeklinde bir alan kesen disk keskidenden (100 numaralı) 6 adet, sıyrıcı (kama tipi) kesicilerden (102 numaralı) 16 adet ve overbore cutter (köşe kesme yapan) disk keskidenden (101 numaralı) 1 adet vardır (Şekil 3.16).



Şekil 3.15 : Temizleme ve bakım işleri bittikten sonra kuyuya indirilecek mikrotünel makinesi.

3.3.1.2 Yönlendirme borusu

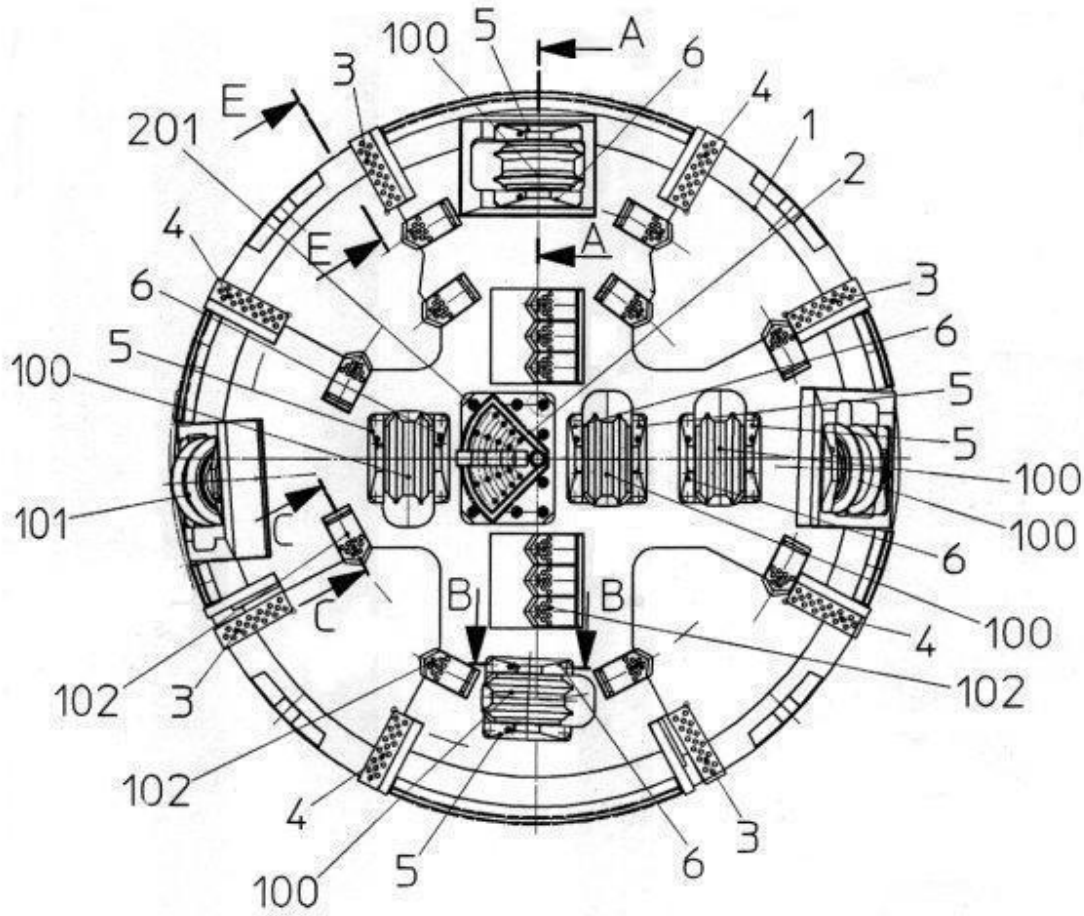
Makineye hidrolik yönlendirme silindirleri ile bağlıdır. Kesici kafanın yönlendirilmesini sağlar.

3.3.1.3 Kalkan

Kalkan, zayıf ve yumuşak zeminlerdeki tünelcilik çalışmalarında kullanılan bir korumadır. Kalkan ile tünel inşaatının avantajları şunlardır:

- Tünelin tam kesitinde açılmış olması,
- İlerleyen tünel kesitinin devamlı olarak fakat, sabit bir tahkimat gereğine ihtiyaç duyulması,
- Geçici tahkimat yerine, anında nihai kaplamanın yapılmış olması,

- Tünel kazısının sürekli olması, tünel basınçlarının artmasını engellemiş olmaktadır.



Şekil 3.16 : Kesici kafanın teknik resmi [14].

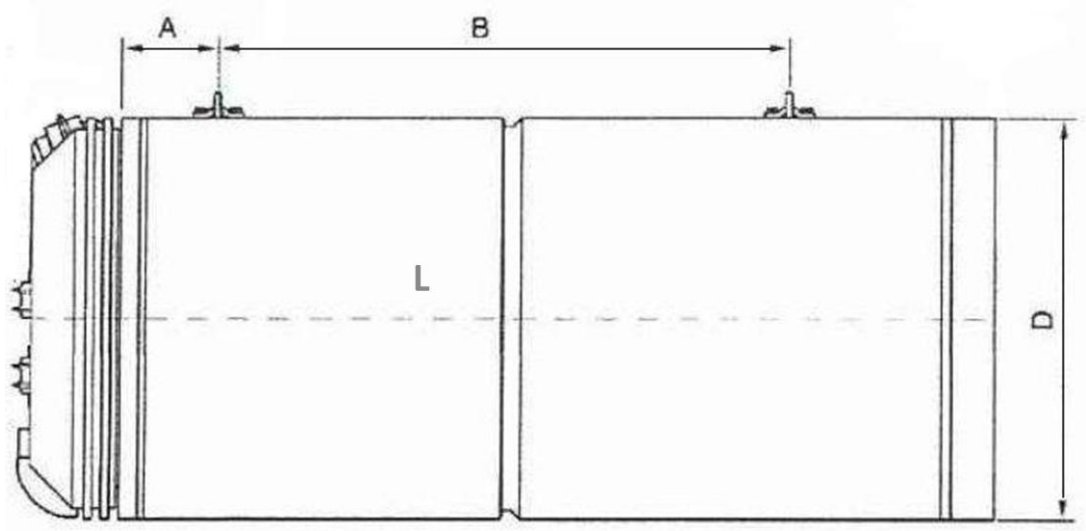
Bentonitli mekanik tünel kalkanı kompleksi bulunan mikrotünel makinesinin iki kısmı vardır, birisi zemin altında tünel açıcı makine kısmı ile diğeri zemin yüzeyinde akıcı zeminlerin iksasını gerçekleştiren bentonit çamurunu hazırlayan ve devrede kullanıldıktan sonra arıtma için gerekli ekipmanları ihtiva eden tesistir.

3.3.1.4 Kuyruk borusu

Kesici kafanın ön kısmının dönerek ilerlemesi sonucunda makinenin de dönmesini engellemek için ardına takılan metal borudur (Şekil 3.17, Çizelge 3.11).

3.3.2 Kuyu ekipmanı

İtme ekipmanı, lazer cihazı ve boru uzantılarından oluşmaktadır. Kuyulardan ekipman nakli vinç vasıtasıyla olmaktadır.



Şekil 3.17 : Kuyruk borusunun teknik resmi [14].

Çizelge 3.11 : Kuyruk borusu teknik özellikleri [14].

Boyut		Birim	
Çap	D	2415	mm
Uzunluk	L	3264	mm
Mesafe	A	378	mm
Mesafe	B	1997	mm
Ağırlık	G	19940	kg

3.3.2.1 İtme ekipmanı

2 adet silindirden oluşan itme sisteminin kapsamaktadır. Boru itme yöntemiyle günümüzde en fazla 1 – 1.5 km tünel açılabilmektedir. İtme işlemi, seçilen metot ve makine tipine göre sayısı değişebilen pistonlar ile yapılır. Belirli sayıdaki pistonlardan gelecek itme yükünü (en fazla 1200 ton) dairesel boru çevresine homojen olarak dağıtmak için itme çemberi kullanılır (Şekil 3.18), Çizelge 3.10) [14].



Şekil 3.18 : Mesnet platformu.

3.3.2.2 Lazer yönlendirme cihazı

Yönlendirme sistemi, uzun mesafelerde ve kavisli bölgelerde düzenli kazı yapılmasını sağlar [15, 16].

Mikrotünel Açma Makinesinin (MTBM), pozisyonunun belirlenmesi amacıyla idare edilmesi, uygun duyarlılıkta bir aleti gerektirir. Bu sistem, optik duyarlılığa sahip bir diziyi, lazer demeti ile birleştirmek için kullanılır.

Bunun için elektronik lazer sistemi (ELS–mikrotünel makinesi kılavuz sistemi) inklinometreden aldığı yatay ve dikey ölçümlerle, dönme ve eğim açılarını ve ayrıca sapma açısını da hesaplar.

Hedef ELS, sert bir metal koruma içine yerleştirilmiştir. Cihaz, su geçirmez ve yüksek basınçta nemi önleyen bir ışık oluşturan inert gaz içerir. ELS, MTBM'in kenarına bindirilerek lazer demetine çarpılması sağlanır. Cihaz kablo üzerinden kaynağa ve haberleşme hattına bağlanır.

Veriler özel bir ara yüz olan ELS – PCA tarafından alınarak, kontrol istasyonundaki bilgisayara gönderilir. Bilgisayardaki yazılım, TurboPascal ile çalışan bir ünedir.

Bu ünite, ELS'den aldığı ham bilgileri işleyerek kullanıcı programına uygun veriler haline getirir (Çizelge 3.12, 3.13 ve 3.14).

ELS sistemi ELS – PCA alıcısı, TurboPascal için ELS – TPU ünitesi ve Lazer hedef aleti şeklinde üç bileşenden oluşur [20].

Çizelge 3.12 : Yatay ve düşey yer değiştirmeler için menziller ve doğruluktan sapmalar [14].

	Yatay Yer Değiştirme	Düşey Yer Değiştirme
Menzil	146mm	88 mm
Doğruluktan Sapma	1mm	1mm

Çizelge 3.13 : Düzenleme ve bakım ile ilgili bilgiler [14].

Düzenleme	Üretici tarafından veriler devamlı olarak ELS'nin içinde saklanır
Üretici tarafından yapılan bakım	3000 çalışma saati sonunda yapılması önerilir
Çalışma zamanı	Otomatik olarak ELS birimine kaydedilir
Lazerin Ulaşma Süresi	Her 500 ms'de

Çizelge 3.14 : Lazer hedef aleti ile ilgili teknik veriler [14].

Cinsi	Lazer VL 50
Lazer Tipi	-He – Ne sürekli dalga gönderen, -632.8 nm dalga boyunda, -Görünür kırmızı renkte yayımlıdır.
Işın Yayılmı	Düzgün doğrusal
Güç Kaynağı	12 V = 15Ω / 0.8A
Düşük Voltaj Koruması	Var
Düşük Voltaj Belirteci	Sarı diot lamba
Kendiliğinden Düzeltme Aralığı	+14% / - 9%, 2 düzlemde
Doğrusal Yerleştirme Aralığı	± 5% (10 m' den 100m'ye kadar)
Eğimli Yerleştirme Aralığı (Ana yayılım)	+29% ile -22% arası
Eğimli Yerleştirme Aralığı	1% ile 373% aralığı(75°)
En Küçük Okunan Sapma	0.01% ile yaklaşık 0.005 %'e kadar
Su Geçirmezlik	0.35 Bar'a kadar
Boyutları	140 mm × 345 mm
Lazer hedef aletinin ölçüleri	146 x 88 mm
Makinenin arkasındaki boruya uzaklık	1552 mm

3.3.3 Yüzey ekipmanı

Yüzey ekipmanı olarak kontrol konteyneri, çamur ayrıştırma tesisi, pompalar ve bentonit tankı (yağlama ünitesi) yer alır.

3.3.3.1 Kontrol konteyneri

İtme kuyusu yanına konulur. Mikrotünel makinesi, itme ekipmanı, pompalar ve motorların kontrolü buradan sağlanır (Şekil 3.19).

Kesici kafa dönüş yönü ve hızı, yönlendirme silindirlerinin kontrolü, itme silindirlerinin ileri-geri çekilmesi, vanalar ve pompaların açılıp-kapanması ve lazer sisteminin kontrolü bu kabinden sağlanır.



Şekil 3.19 : Kontrol konteyneri.

3.3.3.2 Çamur ayırma sistemi

Kazılmış malzemeden çamuru ayırmak amaçtır. Elek ve siklonlar yardımıyla taneler ayrıştırılır (Şekil 3.20). Malzeme, pasa alanına gönderilir ve çamurlu su tekrar kullanılmak üzere depolanır.



Şekil 3.20 : Kazılan malzemenin ince ve iri boyutlara ayrıldığı separatör.

3.3.3.3 Pompalar

Çamur pompası; kazılan malzemeyi su ile ayırma sistemine taşır. Besleme pompası; suyun tanktan alınarak tekrar sisteme verilmesini sağlar. Bentonit pompası; kuyruk borusu üzerindeki deliklerden bentonitin boru hattına enjekte edilmesini sağlar.

3.3.3.4 Yağlama ünitesi

Bentonit kaya-zemin ile beton boru arasındaki sürtünmeyi önlediği için işin başından sonuna kadar sürekli pompalanır ve azalmaması için geride kalan deliklerden tekrar beslenir. Bu akıcı bentonitin itme kuyusundan geri gelmesini önlemek için contalı özel bir kasnak (keçe) bulunur. Kuyudan içeri itilen tüm borular bu kasnağın içinden geçer.

Kuyunun üstünde bir bentonit karıştırıcısı ve pompası ile 10 cm boru içinden pompalanan bentonit kuyuya inerken esnek boru içinden diğer yerlerde ise çelik boru içinden geçirilir. Tünel kazısı ilerledikçe bentonitin ön borulara ulaşmadan arka borularda bitmemesi için bentonit verme işinin disipline edilmesi ve her boruya ulaşmasının sağlanması gerekmektedir. Bentonit disipliniinde esas, çok bentonit basmak değil, her noktaya düzenli bentonit ulaştırabilmektir. Her jeolojik formasyon için optimum yağlama, otomatik bentonit enjeksiyon sistemi ile sağlanır [28].

3.3.4 Kuyular

Kuyuların boyutları tasarlanırken gerekli minimum ölçüler göz önüne alınır. İtme işlerine dayanacak olan platform maksimum itme basıncı göz önüne alınarak inşa edilir. İtme platformunun normali tünel aksına paralel olmalıdır. Eğer itme platformu bu dikliği sağlayamıyorsa ya da yapı dairesel bir shaft ise destek sac plakalarının arkası bu dikliği oluşturacak şekilde mutlaka enjeksiyon ile doldurulmalıdır.

İtme Bloğu, itme yüklerini zemine aktarır. İtme bloğu, boru hizasına dik konumda olmalıdır. İtme bloğu, ana itme sisteminin oluşturduğu maksimum itme basıncını destekleyecek şekilde dizayn edilmelidir.

Çalışma alanındaki su, tünel makinesinin elektrik ve elektronik sistemlerine zararlıdır. Bu sebeple kuyuların imalatı yapılırken gerekli izolasyon sağlanır. AVN 1800 MTBM ve 8548 kN itme kapasitesi için kuyu duvar kalınlıkları ve kuyu ölçüleri Çizelge 3.15 ve 3.16’ da, örnek kuyu resimleri Şekil 3.21 ve 3.22’de verilmiştir.

Çizelge 3.15 : İtme ve çıkış kuyularının duvar kalınlıkları.

Kuyu	Yan duvar kalınlığı (m)	İtme duvarı kalınlığı (m)	Taban kalınlığı (m)
İtme	0,4-0,5	0,7	0,4-0,5
Çıkış	0,4	0,4	0,4



Şekil 3.21 : Örnek kuyu .

İtme kuyusunun boyutları çıkış kuyusuna göre daha fazladır, çünkü hem itme ekipmanının hem de boruların yerleştirilmesi gerekmektedir (Çizelge 3.15).



Şekil 3.22 : Çıkış kuyusuna MTBM'nin ulaşması için delik açılması.

3.3.5 Borular

Bu tez kapsamındaki projelerde betonarme borular kullanılmıştır. Borunun iç ve dış cephesi 14'lük demirlerle kafes biçiminde donatı ile örülür. Bu dikdörtgen kafesler silindirlere geçirilerek yuvarlak bir hale getirilir ve birleşme yerlerinden kaynak yapılır. Boruların birleşme yerlerinde bulunan sac demir de; borunun çevresine göre dikdörtgen bir şekilde kesilir, daha sonra yuvarlak bir şekle getirilerek kaynak yapılır. Aralarında 21 cm' lik et kalınlığı kalacak şekilde birbirlerine tutturulan iç ve dış demirler betonun döküleceği ve kalıba gireceği platforma indirilir. Platforma indirilen borunun kafes donatısı onu çevreleyen bir demir kalıba geçirilir. Demir kalıba dökülen C40 standardında betonun kuruması için kalıp buhar çadırına alınır. Platformun (3m x 10m) altında 4 adet buhar çıkışı bulunmaktadır. Aynı anda 2 tane boru buhar çıkışından gelen buhar ile ısıtılır. Geri kalan 2 tane buhar çıkışının üzerine ise kalıptan çıkan borular koyulur. Kür süresi boyunca demir kalıbın çevresi bir çadır ile kaplanır ve buharın dışarı çıkması önlenir. Yalnızca çadırın en üst kısmında bir hava boşluğu bırakılır ve çözülmesini önlemek için de demir tel ile çadırın uçları bağlanır. Bu şekilde demir kalıp çadırın içinde yazın (sıcak günlerde) 3 saat, kışın (soğuk günlerde) 5 saat kalarak tamamen betonun kuruması ve kalıba oturması sağlanır. Boru kalıptan çıktıktan sonra borunun ön ve arka birleşme yerlerine yuvarlatılmış sac demir çakılarak işlem tamamlanmış olur.

Bu tez kapsamındaki projelerde kullanılan boruların özellikleri; uzunluk 3.000 mm (200 mm kuyruk sacı), delik sayısı 3 adet (bentonit enjeksiyonu için); 2 adet (mapa bağlantıları için), dökülen betonun cinsi C40 standardında imal edilir (Çizelge 3.17 ve Şekil 3.23).

Çizelge 3.16 : İncelenen projelerdeki itme ve çıkış kuyusu ölçüleri.

Bölge	Kuyu	Boyut (m)	En	Uzunluk	Yükseklik
Kurbagalıdere	İtme kuyusu	İç boyutları	5	6,5	5,5
		Dış boyutları	6	7,7	6,5
	Çıkış kuyusu	İç boyutları	4	5	5
		Dış boyutları	4,8	5,8	5,8
Bostancı	İtme kuyusu	İç boyutları	5	6,5	5,5
		Dış boyutları	6	7,7	6,5
	Çıkış kuyusu	İç boyutları	4	5	6
		Dış boyutları	4,8	5,8	6,8
Küçükköy	İtme kuyusu	İç boyutları	4,5	6	7,2
		Dış boyutları	5,3	7,1	8
	Çıkış kuyusu	İç boyutları	4	5	7,85
		Dış boyutları	4,8	5,8	8,65
Nakkaşdere	İtme kuyusu	İç boyutları	5	6,5	6
		Dış boyutları	6	7	7
	Çıkış kuyusu	İç boyutları	4	5	5,5
		Dış boyutları	5	6	6,3
Çırpıcı	İtme kuyusu	İç boyutları	5	6,5	6
		Dış boyutları	6	7	7
	Çıkış kuyusu	İç boyutları	4	5	5,5
		Dış boyutları	5	6	6
Avcılar	İtme kuyusu	İç boyutları	5	6,5	6
		Dış boyutları	6	7	6,8
	Çıkış kuyusu	İç boyutları	4	5	5,5
		Dış boyutları	5	6	6,3

Çizelge 3.17 : Projelerde kullanılan boru ölçüleri.

Boyut		Birim
Boru iç çap	2.000	mm
Boru et kalınlığı	200-210	mm
Boru dış çap	2.400-2.420	mm
Betonarme boru birim ağırlığı	2,55	t/m ³
Boru ağırlığı	3,52-3,72	t/m
Boru uzunluğu	3.000	mm



Şekil 3.23 : İmal edilen boruların stoklanması.

4. PERFORMANS ANALİZİ VE NET KAZI HIZI TAHMİN MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

4.1 Genel

İstanbul' un 8 değişik bölgesinde açılan mikrotünellerde yapılan gözlemler; incelemeler, vardiya raporları ve makine kayıtları ile beraber irdelenmiş ve performans analizleri yapılmıştır.

Jeolojik durumlar sondajlardan ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden elde edilmiştir. Bilgisayar kayıtları analiz edilerek, jeolojik veriler incelenmiş ve arazi gözlemleri yapılarak fotoğraflar çekilmiştir.

Her bölge için ayrı ayrı performans analizleri yapılmış ve daha sonra birbirleriyle mukayese edilmiştir. Performansa etki eden faktörler belirlenmeye çalışılmıştır.

Makine ile kazı sırasında karşılaşılan problemler, duraklamalar ve nedenleri belirlenmiş, çözüm önerileri sunulmuştur. Keski tüketimlerinden kısaca sözedilmiştir.

Mikrotünel kazı çalışmaları ile ilgili regresyon modeli kurulmuştur. Bu amaçla öncelikle bağımsız değişkenler ve bağımlı değişkenler belirlenmiştir. Bağımlı değişken olarak verimi en iyi şekilde yansıtacağı düşünülen net kazı hızı alınmıştır. Net kazı hızı herbir itiş aralığı için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Daha sonra değişkenler arasında karşılıklı ilişkinin ortaya konulması amacıyla SPSS istatistik paket programı kullanılarak korelasyon analizi yapılmıştır [70]. Aralarında yüksek korelasyon olan değişkenler ve özellikle net kazı hızı ile yüksek korelasyon gösteren değişkenler belirlenmiştir.

Daha sonra bağımlı değişken olarak alınan net kazı hızı üzerinde en önemli değişkenlerin belirlenmesi amacıyla regresyon analizi yapılmıştır. Son olarak doğrusal regresyon analizi ile net kazı hızı tahmin modeli oluşturulmuştur.

Elde edilen model ile; benzer makine ve arazi özelliklerinde yapılacak projelerle

ilgili önceden net kazı hızı, proje süresi, maliyeti gibi tahminler yapılabilir. Bu model boru iç çapı 2000-2100 mm olan ve çamur basınçlı MTBM ile açılan mikrotüneller için geçerlidir.

4.2 Arazi Gözlemleri, Vardiya Raporları ve Makine Kayıtlarına Göre Performans Belirlenmesi

Performans analizleri öncelikle bölgesel bazda yapılmış, daha sonra tüm bölgelerin performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Kurbağalıdere’de 7 mikrotünel açılmasına rağmen 4 tanesinin detaylı kaydı tutulabilmiştir, Bostancı’da da aynı durum söz konusudur, Çırpıcı’da 9 mikrotünel açılmasına rağmen 7 tanesinin detaylı kaydı tutulabilmiştir, Küçüksu’da detaylı kayıt tutulamadığı için bu mikrotüneller için bazı kazı performans etütleri yapılamamıştır (ilerlemeler hesaplanabilmesine karşın, net kazı hızı, makineden faydalanma oranı vs. hesaplanamamıştır).

Elektrik ve mekanik bileşenlerinden elde edilip, kaydedilen veriler, MTBM’nin işlevini doğru yapabilmesi ve düzenli bakımlarının planlanması ve böylelikle MTBM’nin kullanılabilirliğini maksimize etmesi açısından önemlidir. Anlık olarak kaydedilen veri aralığı her 20 cm, her 5 saniye, her 10 saniye veya her 1 dakika olabilir [71]. Tez kapsamında her 20 cm de bir tutulan kayıtlar kullanılmıştır (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2) [72]. İtme işlemi süresince birçok teknik veriyi içeren bir kayıt tutulur. Bu kayıtlar her vardiyadan sonra mühendis tarafından incelenir ve değerlendirilir. Kayıtlarda borulara uygulanan itme basınçları, lazerin hedefteki konumu, makinenin istikametten şaşma miktarları, sıcaklık, makine kesici kafasının ilettiği tork, uygulanan ayna dengeleme basıncı, ilerleme hızı, ilerleme süreleri gibi veriler bulunur ve bunlar sürekli incelenerek verim arttırma, problem tespiti gibi konularda sonuç aranır. Tez kapsamında, Çizelge 4.1’ deki kayıtların 1,2,3 ve 12. sütunlarındaki veriler günlük şantiye raporları ile beraber analiz edilmiştir.

Uzaktan kontrollü mikrotünel makineleri yüzeye kurulan kontrol kabininden yönlendirilir. Operatörün kontrol ettiği temel parametreler:

- Makinenin istikameti,
- Kesici kafa dönme yönü,
- Kesici kafa basıncı,

- Kesici kafa torku,
- Çamurlu su basıncı,
- Çamurlu su akış hacmi,
- İtme basıncıdır.

Çizelge 4.1 : Anlık olarak her 20 cm ilerlemede kaydedilen veriler[72].

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
14.07.2002	9:29:25	0,6	-9	-1	-24	-13	-4,6	-3,6	-0,1	64	37	2	1	1	1	35	829	41
14.07.2002	9:32:13	0,8	-9	0	-7	-12	-4,9	-3,5	-0,1	110	60	2	9	10	1	35	842	41
14.07.2002	9:35:55	1	-8	0	-6	-10	-5	-3,4	-0,1	129	86	1	9	10	1	35	807	39
14.07.2002	9:39:43	1,2	-8	-1	-8	-15	-5,6	-4,7	-0,1	129	87	1	9	10	1	35	806	38
14.07.2002	9:49:52	1,4	-8	-3	-10	-22	-6,4	-6,2	0	97	50	1	9	10	1	36	819	37
14.07.2002	9:51:32	1,6	-8	-3	-9	-26	-5,9	-7,3	0	107	66	1	9	10	1	36	826	38
14.07.2002	9:52:55	1,8	-9	-5	-7	-30	-5,3	-7,9	0	121	101	1	9	10	1	36	807	37
14.07.2002	9:55:20	2	-9	-5	-7	-32	-5,3	-8,6	0	115	110	1	9	10	1	36	791	36
14.07.2002	9:58:40	2,2	-9	-7	-6	-34	-5	-0,7	-0,1	112	114	1	9	10	1	36	785	36
14.07.2002	10:06:47	2,4	-8	-8	-6	-37	-5	-9,3	-0,1	104	89	1	9	10	1	36	761	38
14.07.2002	10:08:28	2,6	-8	-9	-5	-41	-4,7	-10	-0,1	107	95	1	9	10	1	36	754	39
14.07.2002	10:09:58	2,8	-7	-10	-4	-40	-4,2	-10,9	-0,1	103	87	1	5	10	1	36	745	40
14.07.2002	13:13:09	3,3	-5	-19	-3	-28	-3	-5,6	0	87	90	0	3	10	1	28	789	35
14.07.2002	13:19:28	3,5	-5	-20	0	-29	-2	-5,7	0	91	113	0	2	10	1	29	782	35
14.07.2002	13:20:46	3,7	-5	-21	0	-30	-2	-5,8	0	90	105	0	2	10	1	30	778	37
14.07.2002	13:22:10	3,9	-5	-22	0	-32	-1,9	-6	0	92	95	0	3	10	1	30	758	37
14.07.2002	13:23:26	4,1	-5	-23	0	-33	-1,8	-5,9	-0,1	85	90	0	2	10	1	31	745	37
14.07.2002	13:24:37	4,3	-4	-24	-2	-30	-1,7	-6,6	-0,1	87	92	0	1	10	5	31	761	37
14.07.2002	13:30:58	4,5	-3	-25	-3	-31	-1,7	-6,7	-0,1	77	78	0	1	10	5	32	768	38
14.07.2002	13:32:28	4,7	-3	-25	-2	-32	-1,6	-6,6	-0,1	80	70	0	1	10	5	32	764	37
14.07.2002	13:33:42	4,9	-2	-26	0	-32	-1,6	-6,5	-0,1	82	81	0	1	10	5	33	754	37
14.07.2002	13:34:55	5,1	-1	-27	-1	-32	-0,9	-6,5	-0,1	81	85	1	1	10	8	33	773	38
14.07.2002	13:36:18	5,3	0	-28	-1	-29	-0,9	-6,3	-0,1	95	80	1	1	10	9	33	756	37
14.07.2002	13:37:36	5,5	0	-29	-1	-29	-0,9	-6	0	93	80	1	1	10	9	33	744	37
14.07.2002	13:38:53	5,7	0	-30	-1	-30	-0,8	-5,9	0	93	80	1	1	10	9	33	759	34
14.07.2002	13:40:07	5,9	1	-30	0	-29	-0,6	-5,6	0	93	86	1	1	10	9	34	789	37
14.07.2002	13:41:19	6,1	1	-31	0	-29	-0,5	-5,4	-0,1	93	87	1	1	10	9	34	784	37
14.07.2002	14:44:13	6,3	21	-32	-1	-28	-1,4	-1,8	0	63	63	1	1	11	9	30	892	35
14.07.2002	14:45:24	6,5	3	-33	0	-29	-1,2	-4,8	-0,1	77	85	1	1	11	9	31	880	34
14.07.2002	14:46:29	6,7	4	-34	0	-27	-0,8	-4,9	-0,1	79	96	1	1	12	12	31	868	36
14.07.2002	14:47:30	6,9	5	-34	2	-25	-0,8	-4,8	-0,1	80	107	1	1	13	12	31	859	36
14.07.2002	14:48:30	7,1	5	-34	2	-25	-0,8	-4,8	-0,1	81	110	1	1	13	12	32	709	29
14.07.2002	14:49:24	7,3	6	-34	4	-23	-0,6	-4,4	-0,1	77	111	1	1	13	12	32	866	37
14.07.2002	14:55:15	7,5	7	-35	4	-20	-0,8	-4	-0,1	77	101	1	1	14	14	33	858	37
14.07.2002	14:56:35	7,7	8	-35	5	-19	-0,7	-3,8	-0,1	83	75	1	1	14	14	34	873	38
14.07.2002	14:57:37	7,9	8	-35	5	-18	-0,6	-3,3	-0,1	86	87	1	1	14	14	34	859	38
14.07.2002	14:58:36	8,1	10	-35	5	-17	-0,5	-3	-0,1	84	91	1	1	14	14	34	813	38
14.07.2002	14:59:31	8,3	10	-35	8	-17	-0,3	-3	-0,1	87	96	1	1	14	14	35	826	39
14.07.2002	15:00:23	8,5	11	-35	9	-16	-0,3	-2,9	-0,1	88	103	1	1	14	14	35	812	38

Torku (dönme momenti) etkileyen parametreler; kesici kafanın çapı (kesici kafa ne kadar büyükse tork ihtiyacı da o kadar artar) ve kesici kafanın hızıdır (kesici kafa hızı arttıkça aynı ilerleme hızında kesme derinliği azalacağından tork düşer). İhtiyaç duyulan tork, kesmeye karşı zemin direncinin üstesinden gelebilecek yeterlilikte olmalıdır (sürtünme direnci + mekanik direnç). Mevcut tork, ihtiyaç duyulan torkdan büyük olmalıdır. Bununla beraber izin

verilen maksimum işletme torku, MTBM maksimum tork kapasitesinin %75'ini geçmemelidir [73].

Çizelge 4.2 : Anlık olarak kaydedilen verilerin açıklamaları.

Satır	Açıklama	Birim
1	Gün	
2	Zaman	
3	Tünel Boyu	(m)
4	Lazerin dikey konumu	(mm)
5	Lazerin yatay konumu	(mm)
6	Kesici kafanın dikey hareketi	(mm)
7	Kesici kafanın yatay hareketi	(mm)
8	İstikametten yukarı - aşağı hareket	(mm/m)
9	İstikametten sağa - sola hareket	(mm/m)
10	Yuvarlanma açısı	(derece ⁰)
11	Tork	(bar)
12	Kuvvet	(tonf)
13	Sağ üst silindir pozisyonu	(mm)
14	Sağ alt silindir pozisyonu	(mm)
15	Sol alt silindir pozisyonu	(mm)
16	Sol üst silindir pozisyonu	(mm)
17	Sıcaklık	(°C)
18	Lazer Genişliği	(%)
19	Lazer Çapı	(mm)

Hesaba katılması gereken en önemli etkenlerden birisi ilerleme hızıdır. İlerleme hızı, MTBM tipi, jeoloji ile uyumu, tünel çapı, tünel derinlik ve uzunluğu ve boru yerleştirmek için gerekli zaman gibi etkenlerin fonksiyonudur.

İlerleme hızını arttırmak için verimli pasa uzaklaştırma işlemi önemlidir. Ayrıca MTBM arızalarının kısa zamanda giderilmesi gerekmektedir.

Kazı hızını etkileyen operatör tecrübesi incelenen tüm bölgeler için aynı kabul edilmiştir, çünkü mikrotünel makinesi imal ettirilip ilk bu projelerde kullanılacağı için yurtdışından profesyonel operatörler gelmiştir (farklı zaman aralıklarında 3 operatör makineyi kullanmıştır, daha sonra da onların yanında tecrübe kazanan firmanın kendi operatörü kullanmıştır).

Her bir mikrotünel kazı çalışmasına ait Çizelge 4.3'deki veriler toplanmış ve hesaplanmıştır. Ayrıca Ek A.6'da bütün mikrotünellerin günlük ilerleme hız grafikleri, Ek A.7'de mikrotünellerin net kazı hızları, Ek A.8'de makine kullanım oranları, Ek A.9'da makine

kullanılabilirlik oranları, Ek A.10'da makine güvenilirlik oranları, Ek A.11'de mikrotünellere ait ayrıntılı faaliyet raporları verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Analizlerde hesaplanan veri listesi.

Veri	Birim
Ortalama Günlük İlerleme	(m/gün)
En iyi Günlük İlerleme	(m/gün)
Net Kazı hızı	(m/saat)
Ortalama Günlük Çalışma saati	(saat/gün)
Ortalama Günlük Duraklama Saati	(saat/gün)
Ortalama Mesai Saati	(saat/gün)
Makineden Faydalanma Oranı	%
Makine Kullanabilirlik Oranı	%
Makineden Güvenirlik Oranı	%
İtme Kuvveti	tonf

Ortalama ve en iyi günlük ilerleme vardiya raporlarından ve makinanın tuttuğu kayıtlardan hesaplanmıştır. Diğerleri makine kayıtları detaylı incelenerek elde edilmiştir, eşitlikler (4.1-4.5).

$$\text{İlerleme hızı (m/gün)} = \text{Toplam sürüş uzunluğu (m)} / \text{Toplam gün sayısı (gün)} \quad (4.1)$$

$$\text{Makine kullanım oranı (\%)} = (\text{Kazı süresi (saat)} / \text{Vardiya süresi (saat)}) \times 100 \quad (4.2)$$

$$\text{Net kazı hızı (m/saat)} = \text{Toplam ilerleme mesafesi (m)} / \text{Toplam net çalışma süresi (saat)} \quad (4.3)$$

$$\text{Makine güvenilirlik oranı (\%)} = (\text{Makineden kaynaklanan duraklama süresi (saat)} / \text{Vardiya süresi (saat)}) \times 100 \quad (4.4)$$

$$\text{Makine kullanılabilirlik oranı (\%)} = [(\text{Makineden kaynaklanmayan toplam duraklama süresi (saat)} + \text{Toplam kazı süresi (saat)}) / \text{Toplam vardiya süresi (saat)}] \times 100 \quad (4.5)$$

4.3 Gerçekleşen Performansların Özeti

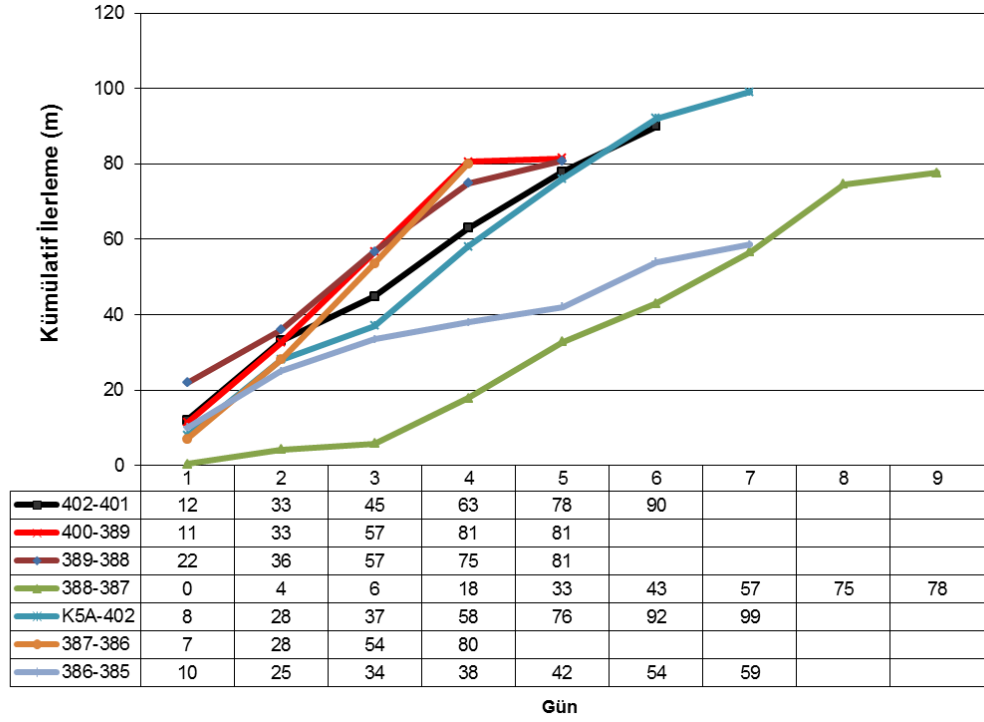
Araştırma yapılan 8 bölgenin her birinde açılan mikrotünellere ait performans analizleri aşağıda sırasıyla anlatılmaktadır.

4.3.1 Kurbağalıdere Bölgesi Performans Özeti

Mikrotünel makinesi ilk Kurbağalıdere’de kullanılmıştır. Genelde kil-silt, yer yer kum olan zemin türünde ortalama 80 metre ilerleme sağlanmış; (Şekil 4.1) ortalama ilerleme 13,19 m/gün, makineden faydalanma oranı % 31,12 olmuştur. Diğerlerinden farklı olarak 388-387 mikrotünelinde ilerlemenin yavaş olmasının en önemli sebebi, makinenin önüne giren demir parçalarının temizlenmesi için geçen sürede makinenin duraklamasıdır ve bu nedenle operatörün makineyi yavaşlatmasıdır (Çizelge 4.4).

En yüksek net kazı değerleri ve en iyi günlük ilerleme değerleri bu bölgede elde edilmiştir. Geneline kil-silt hakim olan bölgede kum oranı arttıkça genel olarak net kazı hızı artmaktadır (Çizelge 4.4, Çizelge 4.5).

Kurbağalıdere’deki 7 sürüşün dördünün detaylı ilerleme ve zemin verileri olduğu için, daha sonra anlatılacak olan net kazı hızı tahmin modelinde sadece Çizelge 4.5’deki 4 adet veri kullanılmıştır. 402-401 sürüşü şeyl görünmesine rağmen,elek analizlerine göre kil-siltli zemin olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.1 : Kurbağalıdere bölgesi mikrotünel ilerleme karşılaştırmaları.

Çizelge 4.4 : Kurbağalıdere bölgesi süre-ilerleme ilişkisi.

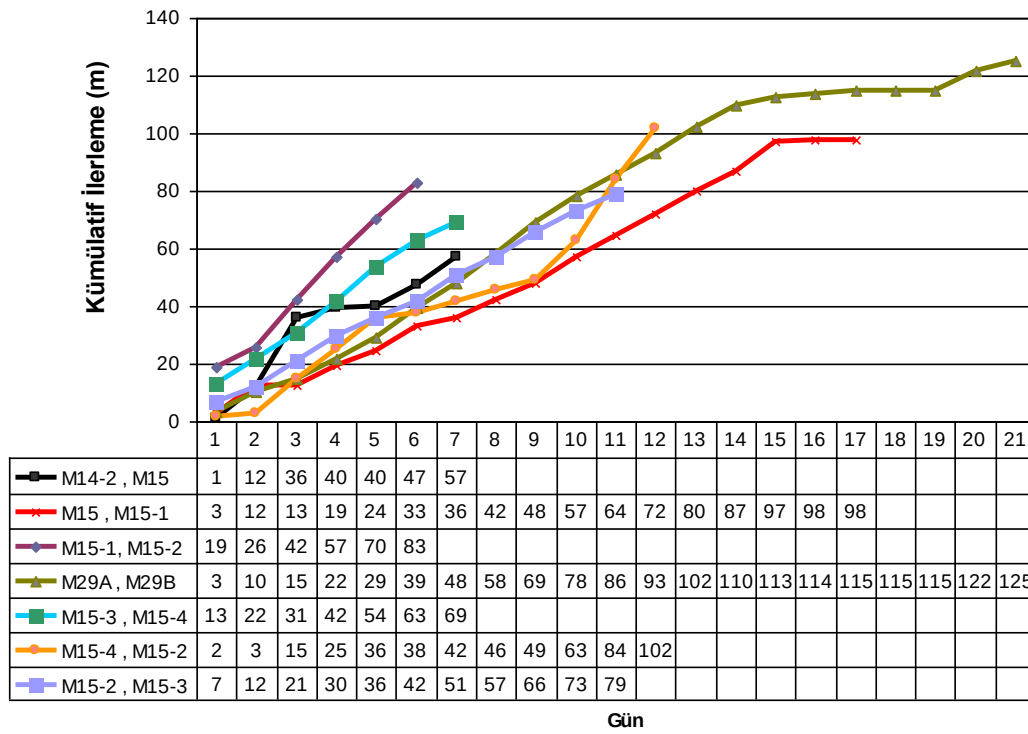
Kuyu Aralığı	Kazı yapılan gün sayısı	İtme Mesafesi (m)	MFO %	Ortalama İlerleme (m/gün)	Net Kazı Hızı (m/saat)	Litoloji
402 - 401	6	89,9	32,57	14,98	4,08	İleri derecede altere olmuş şeyl
400 - 389	5	81,4	35,52	16,28	4,89	Kil; yer yer kumlu
389 - 388	5	80,8	28,43	16,16	5,46	Kil-Kum; çakıllı
388 - 387	9	77,6	29,14	8,62	3,20	Kum, yer yer kil- siltli
TOPLAM	25	329,7	31,12	13,19	4,24	

Çizelge 4.5 : Kurbağalıdere bölgesi zemin- kazı hızı ilişkisi [66].

Kuyu Aralığı	SPT	TCR	Doğal Su	Kıvam			Elek Analizi		
			Muhtevası	Limitleri					
		Wn	LL	PL	PI	Kil-Silt	Kum	Çakıl	
		%	%	%	%	%	%	%	
402 - 401	50	88	30,30	44,40	18,90	25,50	89,06	10,94	0
400 - 389	2	56	38,50	32,80	15,50	17,30	76,26	21,08	2,66
389 - 388	2	75	39,10	36,30	15,60	20,70	58,30	37,72	3,98
388 - 387	2	33	35,00	24,50	16,20	8,30	38,02	57,77	4,21

4.3.2 Bostancı Bölgesi Performans Özeti

Bostancı bölgesinde (Şekil 4.2) genelde kil formasyonu, yer yer dolgu, bazı yerlerde kum olan zemin türünde ortalama 7,48 metre günlük ilerleme olmuştur. M15-1 ile M15-2 kuyuları arasındaki mikrotünel dolgu-kil karışımında, M29A ile M29B kuyuları arasındaki mikrotünel kil formasyonda açılmıştır, mikrotünel uzunluğu 125,40 metre olduğu için ara itme istasyonu kullanılmıştır. Bostancı bölgesinde makineden faydalanma oranı ortalama % 45'e yaklaşmıştır [74] (Çizelge 4.6, Çizelge 4.7).



Şekil 4.2 : Bostancı bölgesi mikrotünel ilerleme karşılaştırmaları.

Çizelge 4.6 : Bostancı bölgesi süre-ilerleme ilişkisi.

Kuyu Aralığı	Kazı yapılan gün sayısı	İtme Mesafesi (m)	MFO %	Ortalama İlerleme (m/gün)	Net Kazı Hızı (m/saat)	Litoloji
M15-1, M15-2	6	83	49,94	13,83	1,43	Kil-Silt, yer yer seyrek fosil kırıntılı şeyl
M15 , M15-1	17	97,8	45,04	5,75	1,04	
M14-2 , M15	7	57,4	25,68	8,20	3,42	
M29A , M29B	21	125,4	47,96	5,97	1,15	
TOPLAM	51	363,6	44,99	7,13	1,31	

M15-1 M15-2 ve M29A - M29B mikrotünelleri daha sonra anlatılacak olan net kazı hızı tahmin modelinde kullanılmıştır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 : Bostancı bölgesi zemin- kazı hızı ilişkisi [66].

Kuyu Aralığı	SPT	TCR	Doğal Su	Kıvam			Elekt Analizi		
			Muhtevası	Limitleri			Kil-Silt	Kum	Çakıl
			W _n	LL	PL	PI			
		%	%	%	%	%	%	%	%
M15-1 M15-2	50	62	12,40	24,00	16,70	7,30	59,82	34,01	6,17
M29A - M29B	50	62	12,40	24,00	16,70	7,30	59,82	34,01	6,17

Benzer kil-silt oranlarında ve kıvam limitlerinde Kurbağaldere'deki net kazı hızları Bostancı'dan daha yüksek olmuştur. Bunun nedeni SPT değerleridir, Bostancı'da SPT değerleri daha yüksektir. Kurulan modelde SPT, net kazı hızı tahmin parametresidir.

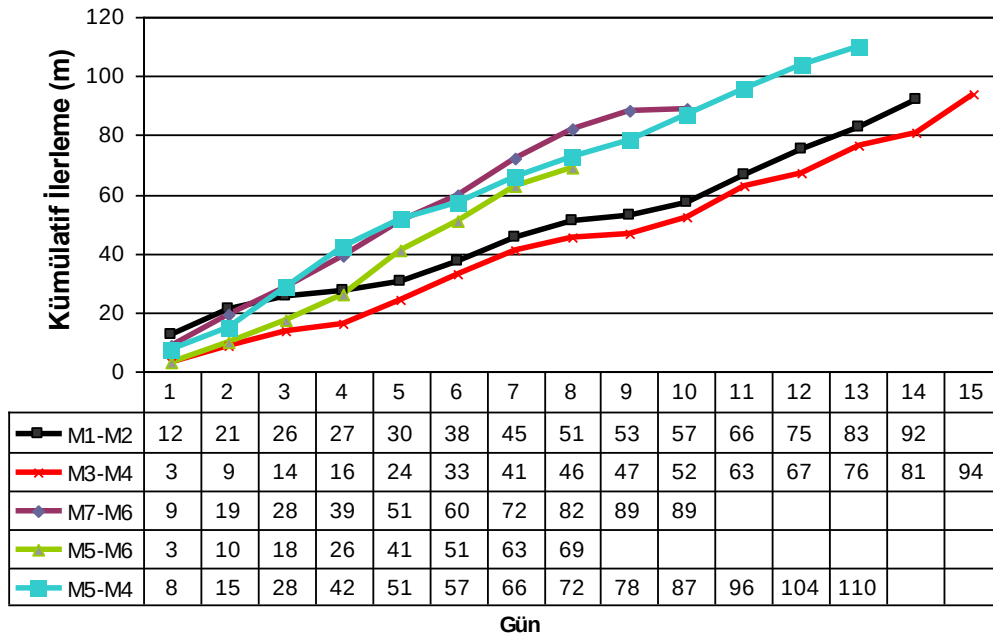
4.3.3 Küçükköy Bölgesi Performans Özeti

Küçükköy bölgesinde (Şekil 4.3) genelde kumtaşı zeminde ilerleme yapılmıştır, M1-M2 mikrotüneli başlamadan kesici kafa diskleri değiştirilmiştir, bu mikrotünelde bentonit kullanılmış, fakat tıkanmalardan dolayı oluşan aksaklıklar ilerleme hızının daha fazla olmasına mani olmuştur. M3-M4 mikrotüneline de benzer sorunlar yaşanmış ve daha sert zeminde net kazı hızı ortalama 1,53 m/saat olmuştur. Küçükköy bölgesinde makineden faydalanma oranı % 42,76 olmuştur (Çizelge 4.8).

Genel olarak grovakın hakim olduğu yer yer kayaya rastlanan bu bölge net kazı hızı ve itme kuvvetleri tahmin modellerine katılmamıştır.

Çizelge 4.8 : Küçükköy bölgesi süre-ilerleme ilişkisi.

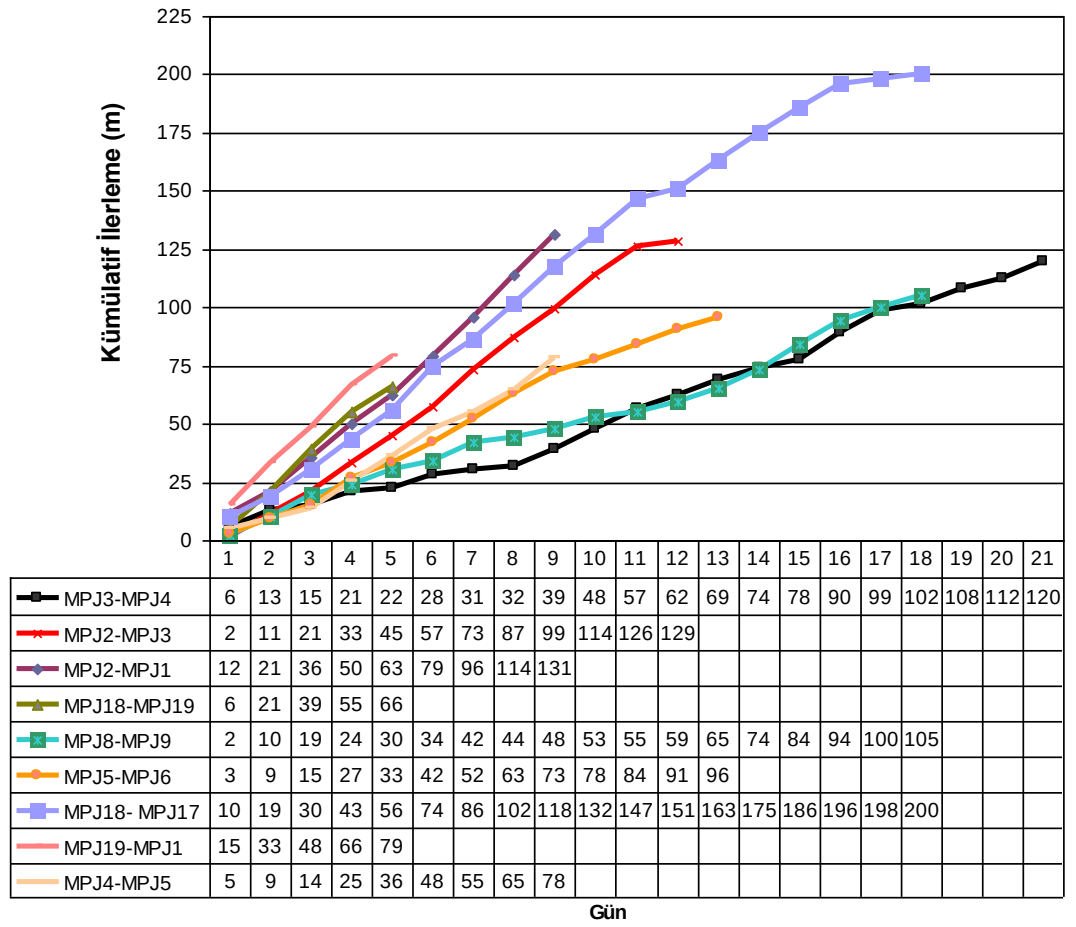
Kuyu Aralığı	Kazı yapılan gün sayısı	İtme Mesafesi	MFO	Ortalama İlerleme	Net Kazı Hızı	Litoloji
		(m)				
M1 - M2	14	92,2	36,43	6,59	1,49	Grovaklar, üste doğru kum oranı azalır
M3 - M4	15	93,6	44,41	6,24	1,54	
M7 - M6	10	89,2	44,02	8,92	1,89	
M5 - M6	8	68,9	48,97	8,61	0,96	
M5 - M4	13	110,25	41,51	8,48	1,70	
TOPLAM	60	454,15	42,76	7,57	1,48	



Şekil 4.3 : Küçükköy bölgesi mikrotünel ilerleme karşılaştırmaları.

4.3.4 Çırpıcı Bölgesi Performans Özeti

Çırpıcı bölgesi (Şekil 4.4) genelde kil, yer yer dolgu bazı yerler kum-kil karışımı olan zemin türünde, sıkışmalar çok olmaktadır. Bu formasyonda ortalama makineden faydalanma oran % 44,42 olmuştur. MPJ-18 MPJ-19 mikrotünelinde, formasyon bazı yerlerde kum-kil karışımı olmaktadır. Bu tür zeminde kile göre ilerleme daha hızlı gerçekleşmiştir. MPJ-5 MPJ6 mikrotünelinde zemin dolgu-kil karışımı, bu formasyonda ilerleme; kum-kil karışımı zeminden az olmakla beraber killi zemindekine göre fazladır. Bu projede yer yer çakıl oranı artış göstermesine rağmen kil tıkanıklıklara sebep olmaktadır. Yer yer bentonit kullanılmıştır (Çizelge 4.9, Çizelge 4.10).



Şekil 4.4 : Çırpıcı bölgesi mikrotünel ilerleme karşılaştırmaları.

9 adet mikrotünelin 7 tanesinin detaylı verileri mevcut olup, 7 mikrotüneli temsilen 9 farklı sondaj verisi performans modelinde kullanılmıştır (Çizelge 4.10).

4.3.5 Nakkaşdere Bölgesi Performans Özeti

Nakkaşdere bölgesinde (Şekil 4.5) zemin çamur-kil-kum, yer yer dolgu olan zemin türünde. N3-N4 mikrotüneli diğerlerinden daha düşük ilerleme değerlerine sahip olmasının nedenleri; basınç ayar valfinin kırık olup iki kere değiştirilmesi, makinenin ilerlediği zeminde karstik boşlukta kalması ve kazı yapamaması (ilk kez karşılaşılan böyle bir problem, boşluk etrafının dolgu yapılması ile aşılmıştır). Nakkaşdere bölgesinde ortalama makineden faydalanma oranı % 44,42 olmuştur (Çizelge 4.11, Çizelge 4.12).

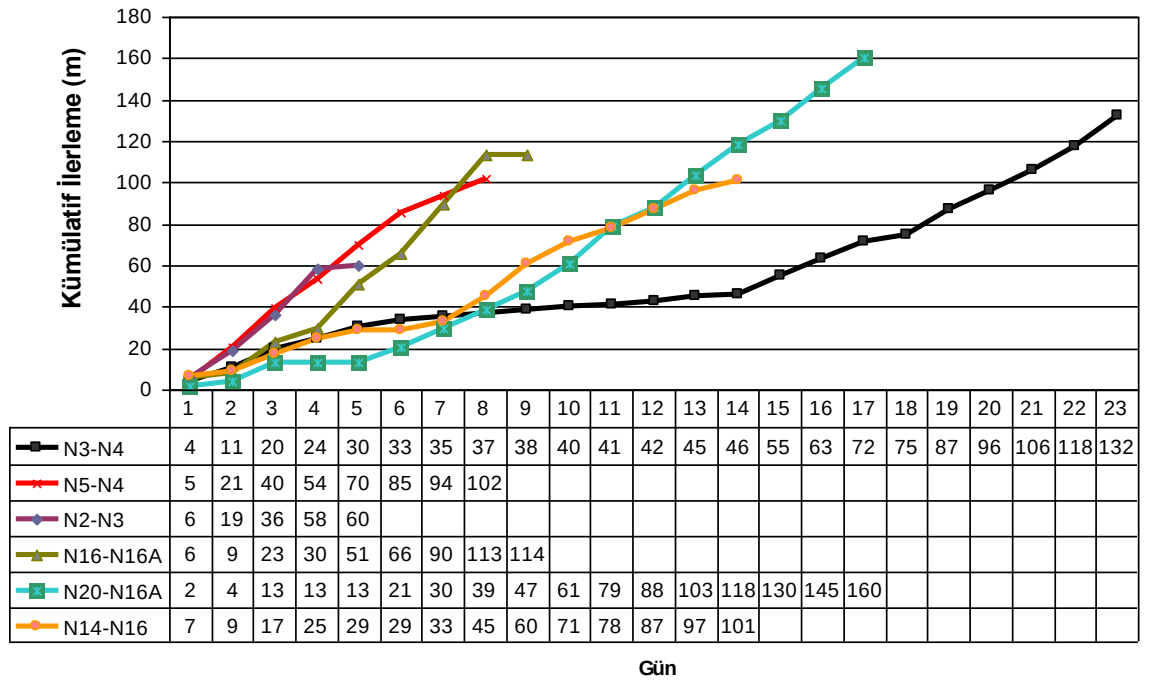
Çizelge 4.9 : Çırpıcı bölgesi süre-ilerleme ilişkisi.

Kuyu Aralığı	Kazı yapılan gün sayısı	İtme Mesafesi (m)	MFO %	Ortalama İlerleme (m/gün)	Net Kazı Hızı (m/saat)	Litoloji
MPJ3 – MPJ4	21	119,5	41,35	5,69	0,99	Kil, nadiren karbonat çakıllı, yer yer organik madde içerikli
MPJ2 - MPJ3	12	128,6	47,49	10,72	1,20	Kil, nadiren karbonatlı, 14.5-14.7 m. arası organik maddece zengin
MPJ2 – MPJ1	9	131,15	46,20	14,57	1,65	Kil; kumlu, yer yer organik madde içerikli, çakıllı
MPJ18 - MPJ19	5	66	49,89	13,20	2,07	Kum- kil- çakıl; kahverenkli, yer yer ince- orta daneli çakıl içerikli
MPJ8 – MPJ9	18	105,2	41,21	5,84	1,09	Kil; yer yer kum arabandlı, yer yer organik madde içerikli, yer yer siltli
MPJ5 - MPJ6	13	95,8	43,70	7,37	1,34	Kil; yeryer kumlu, yer yer karbonat kongresyonlu, yer yer siltli
MPJ18 - MPJ17	18	200,2	46,43	11,12	2,03	Kil; yer yer kumlu, yer yer karbonat çakıllı
TOPLAM	96	846,45	44,42	8,82	1,40	

6 mikrotünel açılan bu bölgede 4 sürüşün verileri elde edilebildiği için performans modelinde kullanılabilmiştir. 132 m uzunluğundaki N3-N4 mikrotüneli 3 farklı zeminden geçtiği gözönüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.10 : Çırpıcı bölgesi zemin- kazı hızı ilişkisi [66].

Kuyu Aralığı	SPT	TCR	Doğal Su	Kıvam				Elek Analizi		
			Muhtevası	Limitleri				Kil-Silt	Kum	Çakıl
			Wn	LL	PL	PI				
		%	%	%	%	%	%	%	%	%
MPJ3 – MPJ4	7	50	24,90	32,70	10,70	22,00	73,81	26,19	0	
	10	68	23,50	32,70	10,20	22,50	68,99	31,01	0	
MPJ2 - MPJ3	10	63	48,10	81,70	18,60	63,10	98,47	1,53	0	
MPJ2 – MPJ1	42	60	28,70	40,20	12,20	28,00	76,05	23,95	0	
MPJ18 - MPJ19	20	60	24,40	21,30	12,40	8,90	43,52	54,71	1,77	
MPJ8 – MPJ9	5	60	17,10	40,40	8,70	31,70	89,87	10,13	0	
MPJ5 - MPJ6	18	65	35,20	80,20	15,00	65,20	98,85	1,15	0	
MPJ18 - MPJ17	47	50	22,60	61,60	11,60	50,00	98,71	1,29	0	
	26	50	25,40	61,10	16,00	45,10	95,53	4,47	0	



Şekil 4.5 : Nakkaşdere bölgesi mikrotünel ilerleme karşılaştırmaları.

Çizelge 4.11 : Nakkaşdere bölgesi süre-ilerleme ilişkisi.

Kuyu Aralığı	Kazı yapılan gün sayısı	İtme Mesafesi (m)	MFO %	Ortalama İlerleme (m/gün)	Net Kazı Hızı (m/saat)	Litoloji
N3 – N4	23	132	38,45	5,74	1,06	Kil, kumlu, yer yer çakıllı, yer yer fosilli, yer yer denizel kavkı içerikli
N5 - N4	8	101,7	53,64	12,71	1,14	Kil; kumlu, organik madde içerikli, denizel kavkı içerikli
N2 - N3	5	60,2	46,50	12,04	1,82	Kil; yeryer denizel fosilli yeryer ince çakıllı
N16 - N16A	9	113,6	35,88	12,62	1,99	Kil; yeryer denizel fosilli yeryer ince çakıllı
TOPLAM	45	407,5	42,17	9,06	1,34	

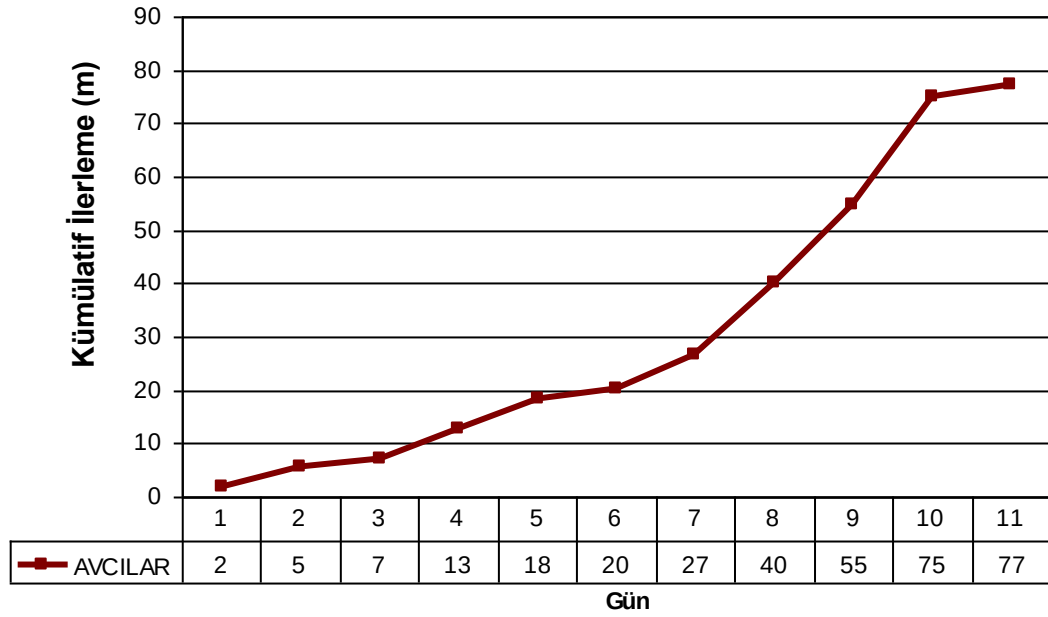
Çizelge 4.12 : Nakkaşdere bölgesi zemin- kazı hızı ilişkisi [66].

Kuyu Aralığı	SPT	TCR	Doğal Su Muhtevası	Kıvam Limitleri			Elek Analizi		
			W _n	LL	PL	PI	Kil- Silt	Kum	Çakıl
			%	%	%	%	%	%	%
N3 – N4	13	38	19,00	21,60	14,60	7,00	47,13	52,87	0
	10	17	29,20	43,10	12,00	31,10	79,03	15,35	5,62
	6	76	49,50	59,50	12,30	47,20	77,67	21,40	0,93
N5 - N4	6	100	49,10	44,80	17,80	27,00	98,68	1,32	0
N2 - N3	3	100	61,50	54,00	21,30	32,70	99,41	0,59	0
N16 - N16A	3	100	61,50	54,00	21,30	32,70	99,41	0,59	0

N3-N4 sürüşünün yaklaşık 22 metresi kil dolgulu sık süreksizlikli yer yer fosilli kireçtaşı içinden geçmektedir, fakat yapılan zemin deneyleri sonucu zemin olarak kabul edilmiştir (Çizelge 4.12).

4.3.6 Avcılar bölgesi performans özeti

Avcılar bölgesi (Şekil 4.6) zemin kil ve ilerlemenin zor yapıldığı bir projedir. Kayganlaştırıcı olarak bentonit yerine killerin yapışma eğilimlerini engellediği için penetrol tercih edilmiştir. Tam gün çalışılan bu projede ilerlemesi yavaş (net kazı hızı 1,12 m/saat), makineden faydalanma oranı % 42,82 olmuştur (Çizelge 4.13, 4.14).



Şekil 4.6 : Avcılar bölgesi mikrotünel ilerlemesi.

Yoğun kil olan ve kıvamı SPT değerine göre sert olan bu bölgenin verileri performans modelinde kullanılmamıştır (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.13 : Avcılar bölgesi süre-ilerleme ilişkisi.

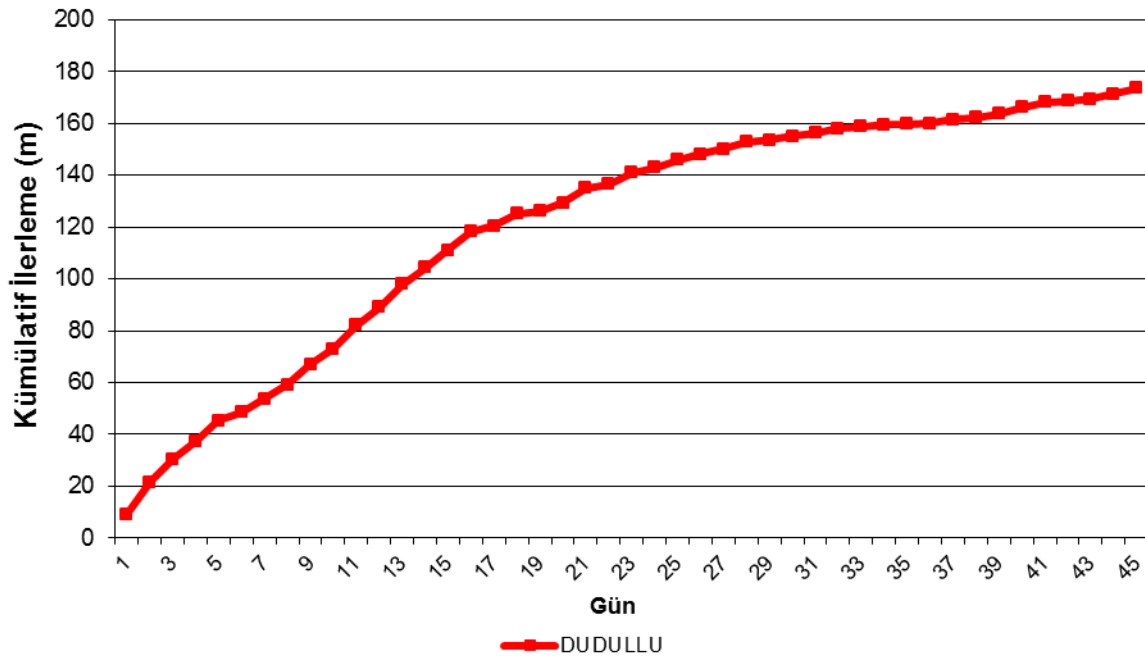
Kuyu Aralığı	Kazı yapılan gün sayısı	İtme Mesafesi (m)	MFO %	Ortalama İlerleme (m/gün)	Net Kazı Hızı (m/saat)	Litoloji
Avcılar	11	77,4	42,82	7,04	1,12	Killi; muskovit pullu,yer yer kum

Çizelge 4.14 : Avcılar bölgesi zemin- kazı hızı ilişkisi [66].

Kuyu Aralığı	SPT	TCR	Doğal Su	Kıvam			Elek Analizi		
			Muhtevası	LL	PL	PI	Kil-Silt	Kum	Çakıl
			Wn						
		%	%	%	%	%	%	%	%
Avcılar	32	100	22,50	33,60	9,50	24,10	72,48	27,52	0

4.3.7 Dudullu bölgesi performans özeti

Dudullu bölgesi (Şekil 4.7) kumtaşı kökenli çakıl ağırlıklı zeminde 173 metre uzunlukta mikrotünel açıldı, hem ara itme istasyonu hem de bentonit uygulandı. Yer yer dolgu kum malzemesine rast gelinmesi ilerlemeyi olumsuz etkilemektedir. Disklerin aşınmış olması kesmeyi olumsuz etkilemiş ve tüm disk kesimleri değiştirilmiştir (18-20 Ekim 2003). Bu aksamalar ve duraklamalar sonucunda makineden faydalanma oranı % 27,87’de kalmıştır (Çizelge 4.15, 4.16).



Şekil 4.7 : Dudullu bölgesi mikrotünel ilerlemesi.

Çakıl oranı yüksek olan, bentonit ve ara itme istasyonu kullanılan aynı zamanda en uzun sürüşlerden birisi olan bu projeden performans modellemesinde istifade edilmiştir fakat modele dahil edilmemiştir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.15 : Dudullu bölgesi süre-ilerleme ilişkisi.

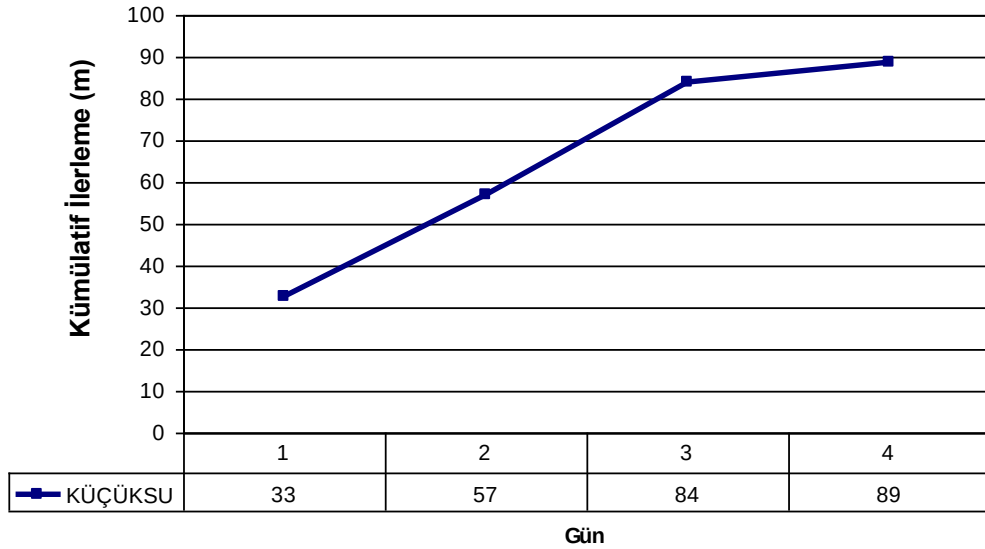
Kuyu Aralığı	Kazı yapılan gün sayısı	İtme Mesafesi (m)	MFO %	Ortalama İlerleme (m/gün)	Net Kazı Hızı (m/saat)	Litoloji
Dudullu	45	173,4	27,87	3,85	1,14	Arkozik kumtaşı kökenli çakıl; çok parçalı zayıf çimentolu

Çizelge 4.16 : Dudullu bölgesi zemin- kazı hızı ilişkisi [66].

Kuyu Aralığı	SPT	TCR	Doğal Su	Kıvam			Elekt Analizi		
			Muhtevası	Limitleri			Kil- Silt	Kum	Çakıl
			Wn	LL	PL	PI			
		%	%	%	%	%	%	%	%
Dudullu	26	87	18,30	29,30	12,50	16,80	37,01	25,36	37,6

4.3.8 Küçüksu Bölgesi Performans Özeti

Küçüksu bölgesinde zemin killi yer yer kumlu, bentonit kullanıldı, ortalama 17,70 m/gün ilerleme kaydedildi (Şekil 4.8).

**Şekil 4.8 : Küçüksu bölgesi mikrotünel ilerlemesi.**

SPT değeri 2 yani kıvamı yumuşak zemin ve kil oranı yüksek olan bu bölgenin detaylı kazı verileri olmadığı için performans modeline dahil edilmemiştir.

4.3.9 Genel performans (net kazı hızı) veri özeti

Performans ve itme modelleri oluşturulurken kullanılan proje, sondaj ve laboratuvar verileri özeti çizelge 4.17’de verilmiştir

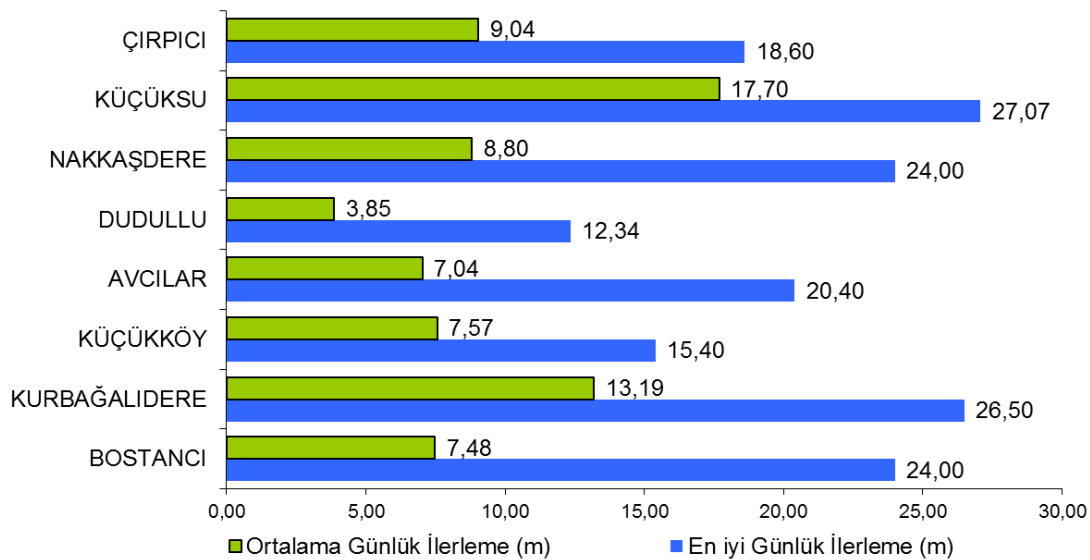
4.4 Bölge ve Formasyonlara Göre Performans Karşılaştırması

Mikrotünellerin bölge ve formasyon bazında ilerleme hızları, net kazı hızları, makine kullanım, kullanılabilirlik ve güvenilirlik oranları analiz edilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.18 - 4.35 ve Şekil 4.9 - 4.24, Ek A6, A7, A8, A9, A10).

4.4.1 Günlük ilerleme hızlarının analizi

Tüm açılan mikrotünellerin ortalama ve en iyi günlük ilerlemeleri bölge ve formasyon bazında detaylandırılmıştır (Ek A6, Çizelge 4.18 - 4.24 ve Şekil 4.9 - 4.17). En iyi günlük ilerleme (27,07 m) kumlu zeminde Küçüksu bölgesinde gerçekleşmiştir, daha sonra Kurbağalıdere bölgesinde (26,50 m) toprak-dolgu zeminde gerçekleşmiştir. Dudullu Bölgesinde sert kumtaşının itişe olumsuz etkisi, disk keskinliklerinin aşınmış olup değiştirilmeleri ve duraklamalar neticesinde en iyi günlük ilerleme 12,34 metre olup, diğer bölgelere göre en düşüktür [75] (Şekil 4.9).

En yüksek ortalama günlük ilerleme (17,70 m) Küçüksu’da elde edilmiştir, en düşük ise Dudullu bölgesinde (3,85 m) olmuş, bölgelerin genel ortalaması 8,42 m/gün olmuştur (Şekil 4.10) [76] .



Şekil 4.9 : Bölgelere göre ortalama ve en iyi günlük ilerlemelerin karşılaştırılması.

Çizelge 4.17 : Kullanılan proje, sondaj ve laboratuvar verileri özeti.

Hat	Kuyular	Sürüş uzunluğu	Formasyon	Litoloji	SPT	TCR	Wn	LL	PL	PI	Kil- Silt	Kum	Çakıl	Ayna Basınç Kuvveti	Maksimum İtme Kuvveti	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti	Net Kazı Hızı	Derinlik	Bentonit Evet 1 Hayır 0	Interjack Evet 1 Hayır 0
		(m)			%	%	%	%	%	%	%	%	%	tonf	tonf	tonf/m	(m/saat)	(m)	0	0
KURBAĞA LİDERE	402-401	89,90	Trakya	Şeyl	50	88	30,3	44,4	18,9	25,5	89,06	10,94	0,00	86,06	325	1,77	4,08	7,4	1	0
	400-389	81,40	Kuşdili	Kil	2	56	38,5	32,8	15,5	17,3	76,26	21,08	2,66	93,31	334	1,36	4,89	7,0	0	0
	389-388	80,80	Kuşdili	Kil-Kum	2	75	39,1	36,3	15,6	20,7	58,30	37,72	3,98	51,49	402	2,73	5,46	10,0	0	0
	388-387	77,60	Kuşdili	Kil	2	33	35,0	24,5	16,2	8,3	38,02	57,77	4,21	52,45	580	4,04	3,20	11,0	0	0
BOSTANCI	M14-2 M15	57,40	Pendik	Şeyl	50	62	12,4	24,0	16,7	7,3	59,82	34,01	6,17	60,00	645	9,28	3,42	6,5	0	0
	M15 , M15-1	97,80	Pendik	Şeyl	50	62	12,4	24,0	16,7	7,3	59,82	34,01	6,17	79,15	829	5,50	1,04	6,1	0	0
	M15-1-M15-2	83,00	Pendik	Şeyl	50	62	12,4	24,0	16,7	7,3	59,82	34,01	6,17	40,07	434	4,43	1,43	6,1	0	0
	M29A-M29B	125,40	Pendik	Şeyl	50	62	12,4	24,0	16,7	7,3	59,82	34,01	6,17	58,52	525	3,55	1,15	6,1	0	0
NAKKAŞDERE	N3-N4 (0-24,3 m)	24,3	Alüvyon	Kil	13	38	19,0	21,6	14,6	7,0	47,13	52,87	0,00	69,50	305	6,13	0,76	6,5	0	0
	N3-N4 (24,3-46 m)	21,7	Ceylan	Kil	10	17	29,2	43,1	12,0	31,1	79,03	15,35	5,62	69,50	523	6,13	0,93	6,5	0	0
	N3-N4 (46-132 m)	86	Yapay Dolgu	Dolgu	6	76	49,5	59,5	12,3	47,2	77,67	21,40	0,93	69,50	528	1,46	1,24	6,5	1	1
	N5-N4	101,70	Alüvyon	Kil	6	100	49,1	44,8	17,8	27,0	98,68	1,32	0,00	89,73	387	1,65	1,14	9,5	0	0
	N2-N3	60,20	Alüvyon	Kil	3	100	61,5	54,0	21,3	32,7	99,41	0,59	0,00	87,09	315	3,68	1,82	10,0	0	0
	N16-N16A	113,60	Alüvyon	Kil	3	100	61,5	54,0	21,3	32,7	99,41	0,59	0,00	61,86	252	0,69	1,99	8,5	0	0
ÇİRPİCİ	MPJ3-MPJ4 (0-47,94 m)	47,94	Alüvyon	Kil	7	50	24,9	32,7	10,7	22,0	73,81	26,19	0,00	48,22	222	2,75	0,88	13,5	0	0
	MPJ3-MPJ4 (47,94- 119,5 m)	71,56	Alüvyon	Kil	10	68	23,5	32,7	10,2	22,5	68,99	31,01	0,00	48,22	700	2,75	1,08	13,5	0	0
	MPJ2-MPJ3	128,60	Güngören	Kil	10	63	48,1	81,7	18,6	63,1	98,47	1,53	0,00	63,09	485	2,86	1,20	12,5	0	0
	MPJ-2 MPJ-1 (0-49,55 m)	49,55	Güngören	Kil	42	60	28,7	40,2	12,2	28,0	76,05	23,95	0,00	59,24	311	4,29	1,44	10,0	0	0
	MPJ-2 MPJ-1 (49,55-131,2 m)	81,60	Güngören	Kil	42	60	28,7	40,2	12,2	28,0	76,05	23,95	0,00	59,24	402	0,58	1,82	10,0	1	0
	MPJ18-MPJ19	66,00	Alüvyon	Kil	20	60	24,4	21,3	12,4	8,9	43,52	54,71	1,77	73,85	225	1,88	2,07	10,5	0	0
	MPJ8-MPJ9	105,20	Güngören	Kil	5	60	17,1	40,4	8,7	31,7	89,87	10,13	0,00	65,39	570	3,57	1,09	13,0	1	0
	MPJ5-MPJ6	95,80	Güngören	Kil	18	65	35,2	80,2	15,0	65,2	98,85	1,15	0,00	35,37	366	2,50	1,34	9,5	0	0
	MPJ18- MPJ17 (0-50,4 m)	50,4	Güngören	Kil	47	50	22,6	61,6	11,6	50,0	98,71	1,29	0,00	39,91	534	0,47	2,08	9,0	1	0
	MPJ18- MPJ17 (50,4- 200,2 m)	149,8	Güngören	Kil	26	50	25,4	61,1	16,0	45,1	95,53	4,47	0,00	39,91	777	5,18	1,97	9,0	0	0
	DUDULLU	173,40	Kurtköy	Arkozik Kumtaşı	26	87	18,3	29,3	12,5	16,8	37,01	25,36	37,63	81,87	842	3,96	1,14	8,0	1	0
	AVCILAR	77,40	Kumul	Kumul	32	100	22,5	33,6	9,5	24,1	72,48	27,52	0,00	57,15	300	5,71	1,12	15,5	1	0

Çizelge 4.18 : Kurbağalıdere bölgesi ortalama ve en iyi günlük ilerleme hızları.

Kuyu Aralığı	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Uzunluk (m)	Ortalama İlerleme (m/gün)	En iyi İlerleme (m/gün)
K5A - 402	01.07.2002	07.07.2002	99	14,14	21,00
402 - 401	14.07.2002	19.07.2002	89,9	14,98	21,00
400 - 389	24.07.2002	28.07.2002	81,4	16,28	24,00
389 - 388	07.08.2002	11.08.2002	80,8	16,16	22,00
388 - 387	19.08.2002	27.08.2002	77,6	8,62	18,00
387 - 386	01.09.2002	04.09.2002	80	20,00	26,50
386 - 385	11.09.2002	17.09.2002	58,65	8,38	15,00
TOPLAM			567,35	13,19	26,50

Çizelge 4.19 : Bostancı bölgesi ortalama ve en iyi günlük ilerleme hızları.

Kuyu Aralığı	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Uzunluk (m)	Ortalama İlerleme (m/gün)	En iyi İlerleme (m/gün)
M15-3 , M15-4	02.10.2002	09.10.2002	69	8,63	12,00
M15-4 , M15-2	14.10.2002	27.10.2002	102	8,50	21,00
M15-2 , M15-3	20.11.2002	30.11.2002	78,7	7,15	9,00
M14-2 , M15	29.01.2003	04.02.2003	57,4	8,20	24,00
M15 , M15-1	20.12.2002	21.01.2003	97,8	5,75	10,60
M15-1, M15-2	11.12.2002	16.12.2002	83	13,83	18,80
M29A , M29B	28.06.2003	18.07.2003	125,4	5,97	10,80
TOPLAM			613,3	7,48	24,00

Çizelge 4.20 : Küçükköy bölgesi ortalama ve en iyi günlük ilerleme hızları.

Kuyu Aralığı	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Uzunluk (m)	Ortalama İlerleme (m/gün)	En iyi İlerleme (m/gün)
M1 - M2	10.03.2003	23.03.2003	92,2	6,59	12,20
M3 - M4	07.04.2003	21.04.2003	93,6	6,24	12,60
M7 - M6	29.04.2003	08.05.2003	89,2	8,92	12,20
M5 - M6	14.05.2003	21.05.2003	68,9	8,61	15,40
M5 - M4	26.05.2003	07.06.2003	110,25	8,48	13,60
TOPLAM			454,15	7,57	15,40

Çizelge 4.21 : Çırpıcı bölgesi ortalama ve en iyi günlük ilerleme hızları.

Kuyu Aralığı	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Uzunluk (m)	Ortalama İlerleme (m/gün)	En iyi İlerleme (m/gün)
MPJ3 – MPJ4	29.01.2004	20.02.2004	119,5	5,69	11,76
MPJ2 - MPJ3	24.02.2004	06.03.2004	128,6	10,72	16,00
MPJ2 – MPJ1	10.03.2004	18.03.2004	131,15	14,57	17,40
MPJ18 - MPJ19	03.04.2004	07.04.2004	66	13,20	18,00
MPJ8 – MPJ9	12.04.2004	29.04.2004	105,2	5,84	10,60
MPJ5 - MPJ6	04.05.2004	16.05.2004	95,8	7,37	11,40
MPJ18 - MPJ17	08.06.2004	26.06.2004	200,2	11,12	18,60
MPJ19 – MPJ1	25.03.2004	30.03.2004	79,27	13,21	18,11
MPJ4 - MPJ5	20.05.2004	28.05.2004	78,17	8,69	13,38
TOPLAM			1003,9	9,04	18,60

Çizelge 4.22 : Nakkaşdere bölgesi ortalama ve en iyi günlük ilerleme hızları.

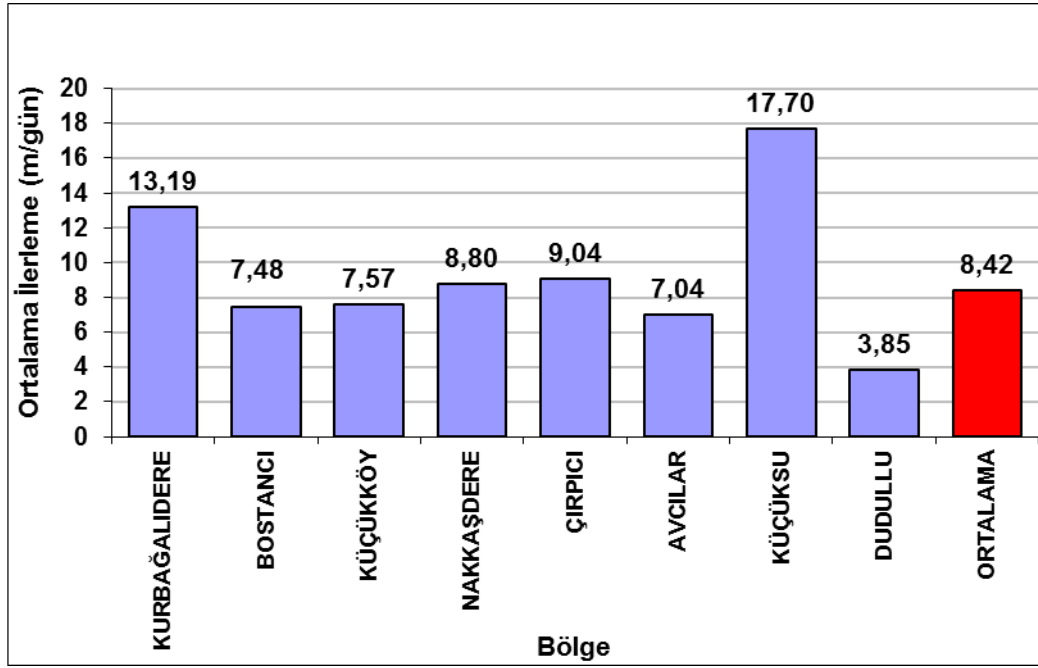
Kuyu Aralığı	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Uzunluk (m)	Ortalama İlerleme (m/gün)	En iyi İlerleme (m/gün)
N3 – N4	19.11.2003	13.12.2003	132	5,74	14,20
N5 - N4	19.12.2003	26.12.2003	101,7	12,71	19,00
N2 - N3	31.12.2003	04.01.2004	60,2	12,04	22,40
N16 - N16A	12.01.2004	20.01.2004	113,6	12,62	24,00
N20 - N16A	15.12.2004	31.12.2004	160,21	9,42	18,03
N14 - N16	18.01.2005	05.02.2005	101,3	7,24	15,18
TOPLAM			669,01	8,80	24,00

Çizelge 4.23 : Diğer bölgeler ortalama ve en iyi günlük ilerleme hızları.

Bölge	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Uzunluk (m)	Ortalama İlerleme (m/gün)	En iyi İlerleme (m/gün)
Küçüksu	05.11.2002	09.11.2002	88,50	17,70	27,07
Avcılar	16.08.2003	26.08.2003	77,40	7,04	20,40
Dudullu	09.09.2003	30.10.2003	173,40	3,85	12,34

Formasyon türüne göre ortalama ve eniyi günlük ilerlemeler Çizelge 4.24 ve Şekil 4.11’de verilmiştir. Buna göre en yüksek (14,98 m) ortalama günlük ilerleme Trakya

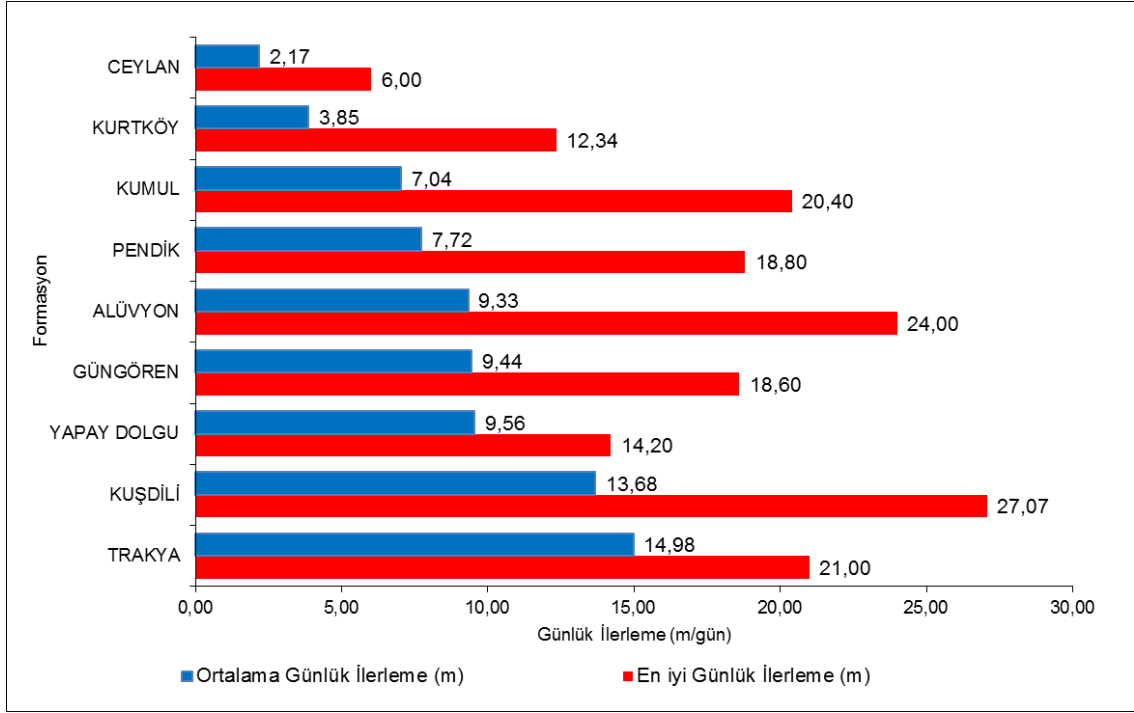
formasyonundan, en düşük ise (2,17 m) Ceylan formasyonundan elde edilmiştir.



Şekil 4.10 : Bölgelere göre ortalama günlük ilerlemeler.

Çizelge 4.24 : Formasyonlara göre sürüş uzunlukları ve ilerleme hızları.

Formasyon	Toplam sürüş uzunluğu (m)	Toplam kazı yapılan gün sayısı	Ortalama ilerleme (m/gün)	En iyi ilerleme (m/gün)
TRAKYA	89,90	6	14,98	21,00
KUŞDİLİ	328,30	24	13,68	27,07
YAPAY DOLGU	86,00	9	9,56	14,20
GÜNGÖREN	660,95	70	9,44	18,60
ALÜVYON	485,30	52	9,33	24,00
PENDİK	208,40	27	7,72	18,80
KUMUL	77,40	11	7,04	20,40
KURTKÖY	173,40	45	3,85	12,34
CEYLAN	21,70	10	2,17	6,00
ORTALAMA	2.131,35	254	8,39	

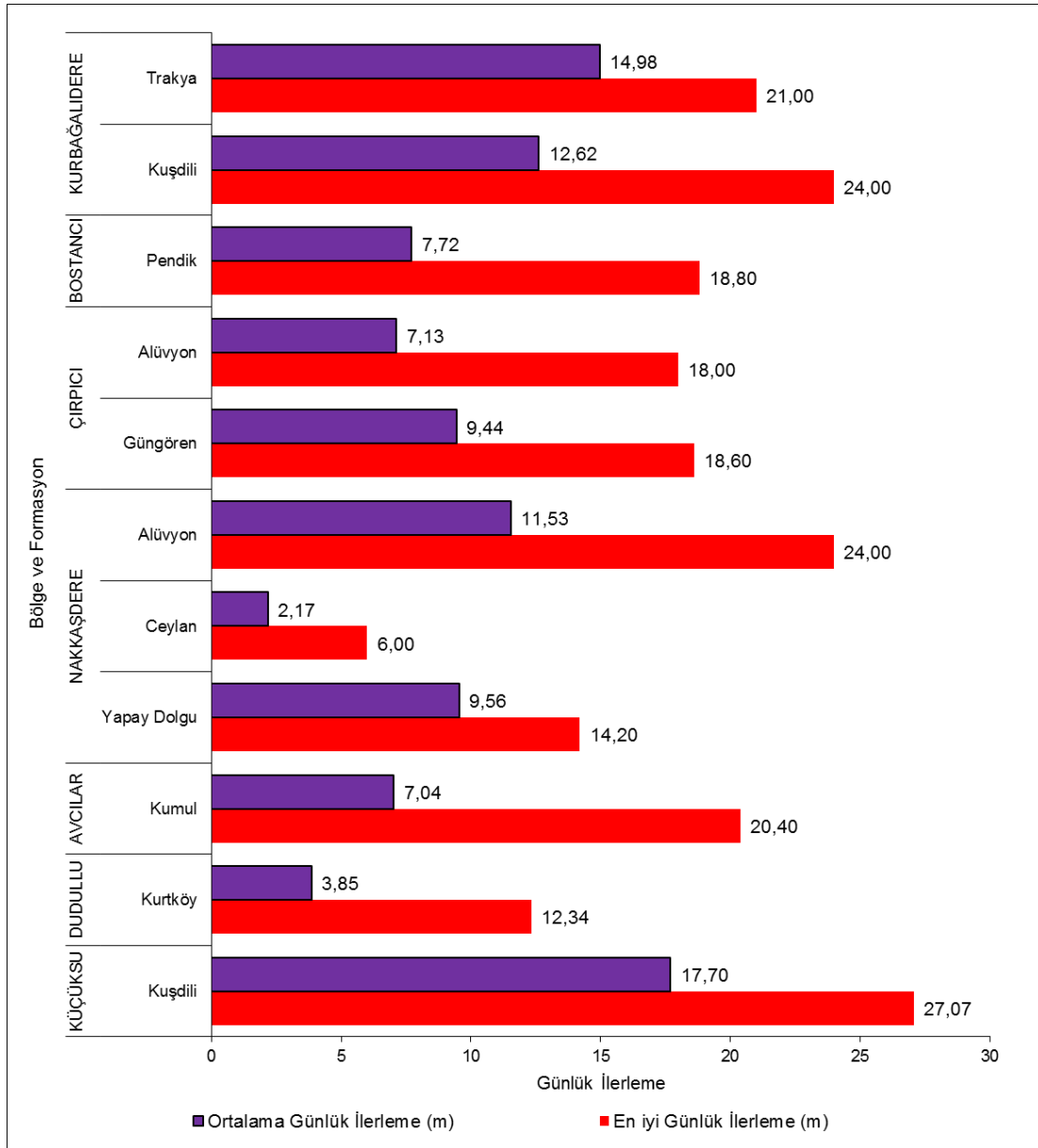


Şekil 4.11 : Formasyonlara göre ortalama ve en iyi günlük ilerlemelerin karşılaştırılması.

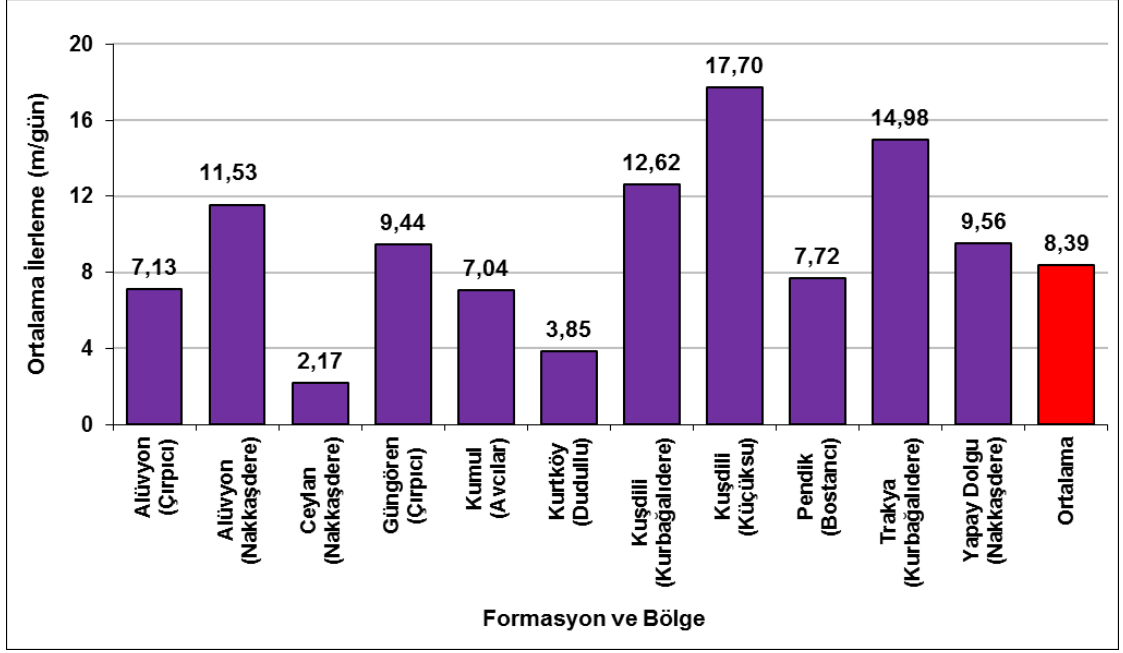
Formasyon ve proje bölgelerine göre yapılan sınıflandırma sonucunda elde edilen ortalama ve en iyi günlük ilerleme değerleri Şekil 4.12 ve 4.13’de verilmiştir.

En iyi ortalama günlük ilerleme Kuşdili Formasyonu’nda Küçükusu’da elde edilmiştir (17,70 m/gün), bir başka Kuşdili Formasyonu’nda Kurbağalıdere’de yine yüksek ortalama günlük ilerleme elde edilmiştir (12,62 m/gün). Sürüş bazında en yüksek ortalama ilerleme 20 m/gün ile Kuşdili Formasyonu’nda kil–siltli zeminde Kurbağalıdere 387-386 kuyuları arasında gerçekleşmiştir. Trakya Formasyonu’nda da ortalama günlük ilerleme diğer bölgelere göre yüksek olmuştur (14,98 m/gün) (Şekil 4.12).

En iyi günlük ilerlemeler de Kuşdili Formasyonu’nda elde edilmiştir (27,07 ve 24 m/gün), alüvyonlu zeminde de en iyi günlük ilerleme 24 m olmuştur (Şekil 4.13).



Şekil 4.12 : Bölgesel formasyonlara göre ortalama ve en iyi günlük ilerlemelerin karşılaştırılması.



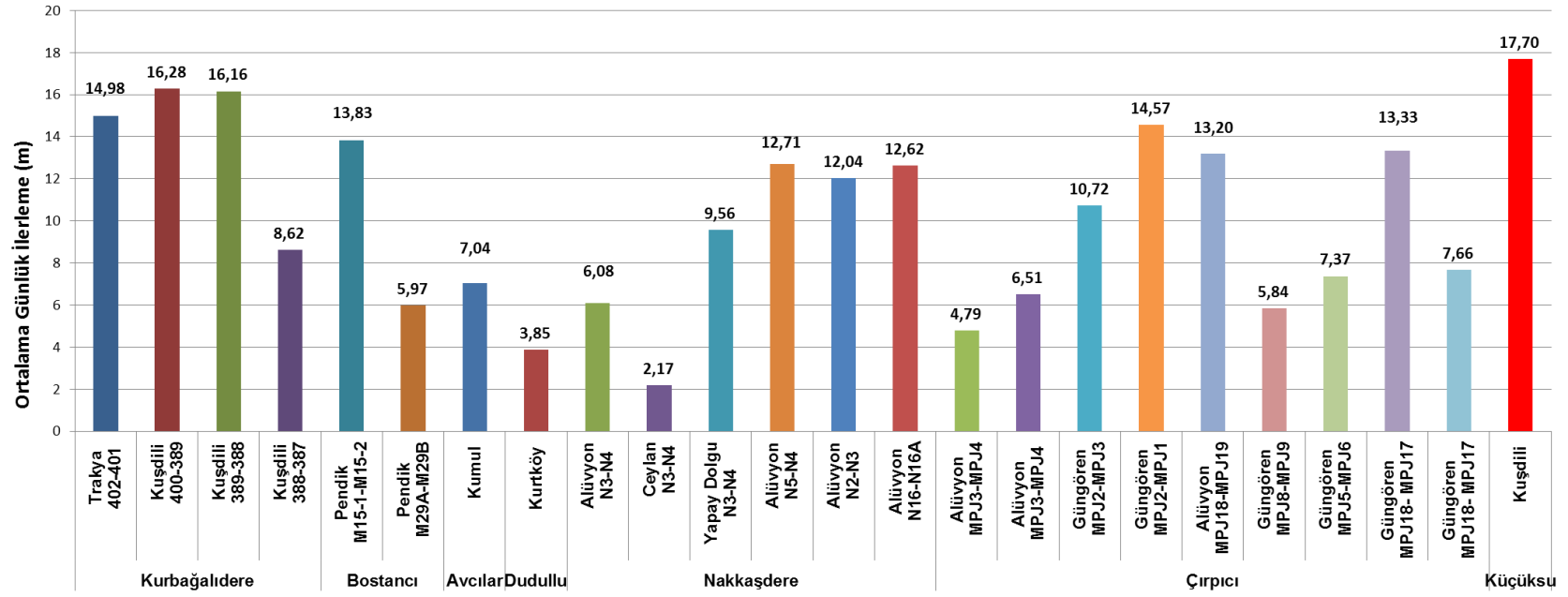
Şekil 4.13 : Bölgesel formasyonlara göre ortalama günlük ilerlemeler.

Sürüş bazında baktığımız zaman en düşük günlük ilerlemeler Nakkaşdere’de Ceylan Formasyonu’nda (2,17 m/gün) ve Dudullu’da Kurtköy Formasyonu’nda (3,85 m/gün) elde edilmiştir (Şekil 4.14).

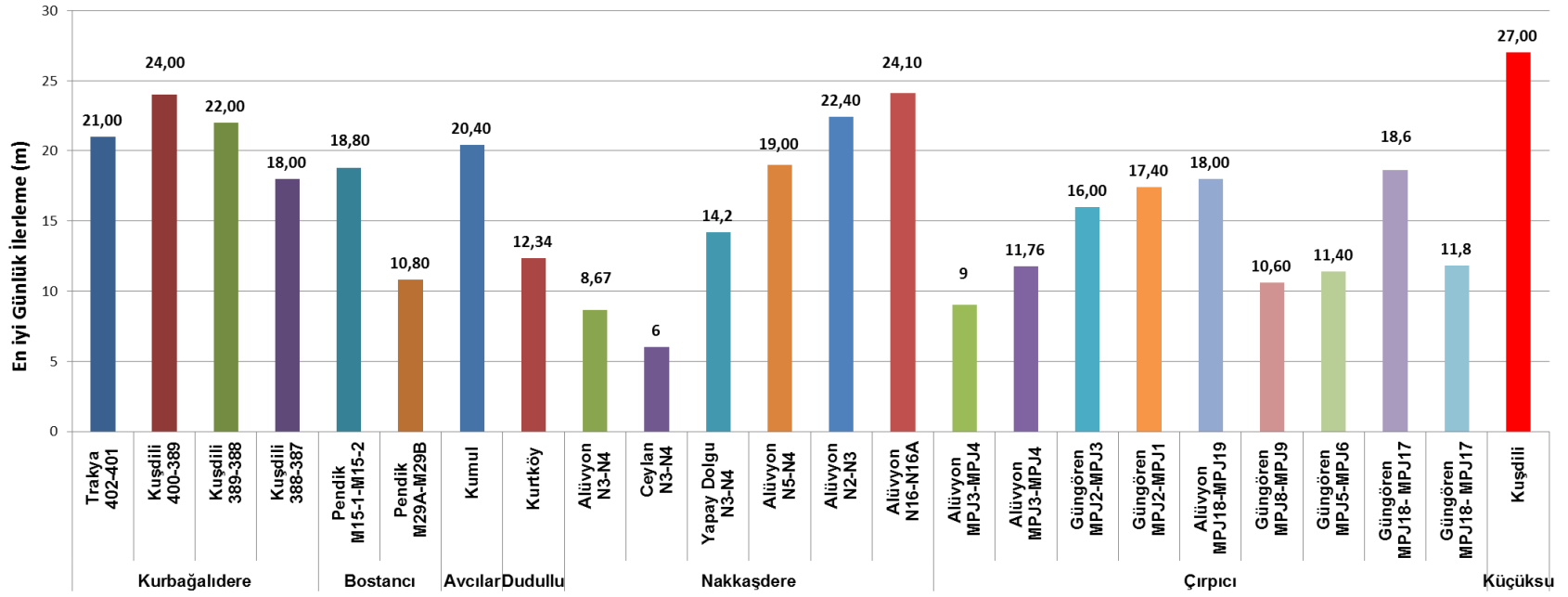
Ceylan Formasyonu geçilirken silt ağırlıklı zeminde makine zorlanmış, akabinde itme sisteminde arıza oluşmuş ve Herrenchnecht firmasından uzman getirilmiştir. Kurtköy Formasyonu’nda zemin sert ve arkozik kumtaşı kökenli çakıl olması neticesinde makine zorlanmış; bentonit ve ara itme istasyonu devreye alınmasına rağmen ilerleme yavaş olmuştur (Şekil 4.14, Ek A 11).

En iyi günlük ilerlemeler genellikle Kuşdili Formasyonu’nda elde edilmiştir, Güngören Formasyonu’nda da en iyi günlük ilerleme ortalaması 10 metrenin üzerinde olmuştur. Trakya Formasyonu’nda ilerlemede sıkıntı çıkmamış, bunun yanı sıra bentonit kullanılmıştır, Avcılar’da Kumul Formasyon olmasına rağmen kil oranı yüksek olmasından kaynaklanan tank suyunun sürekli değiştirilmesi gerekmiş, fakat ilerleme yine de yüksek olmuştur (Şekil 4.15, Ek A 11).

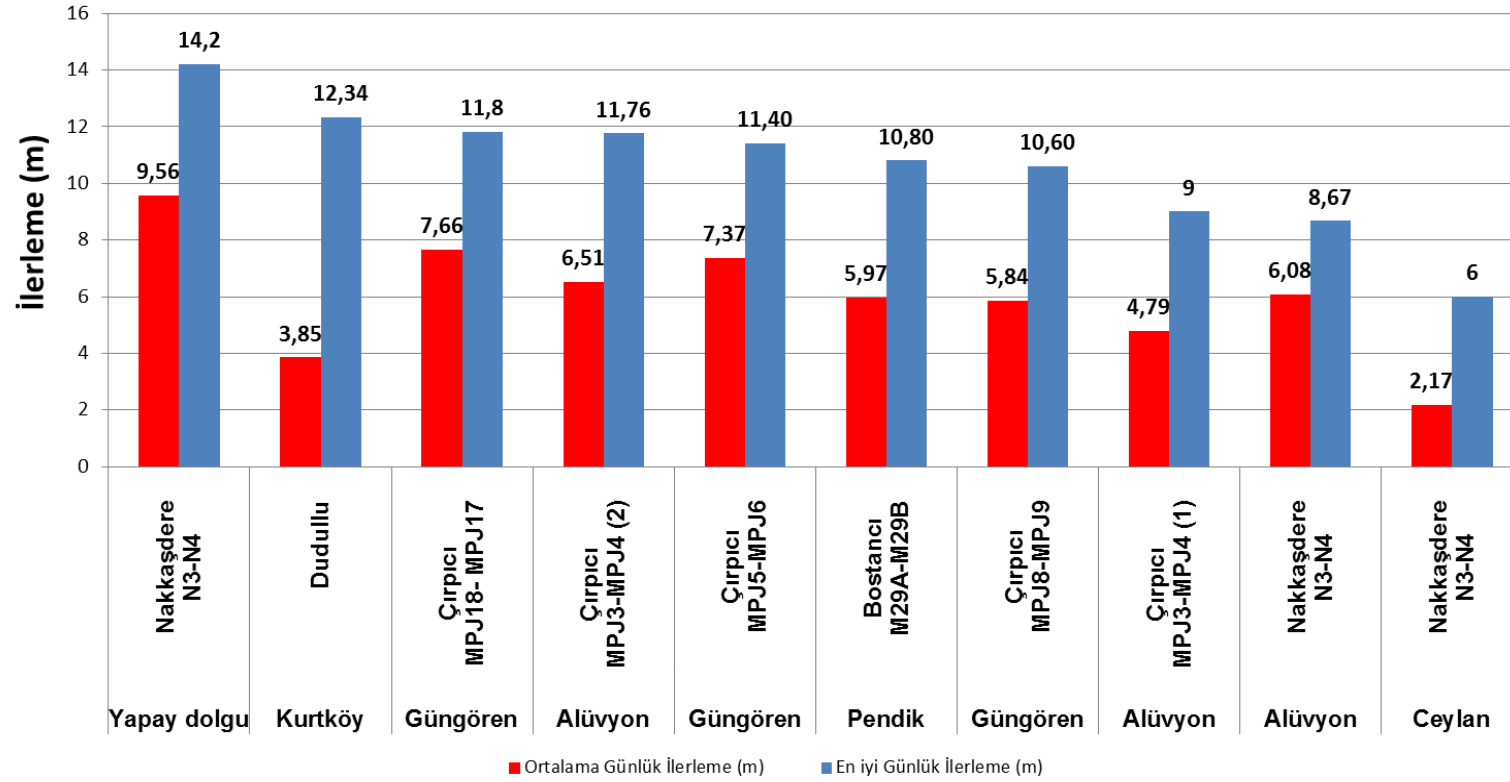
Alüvyon ve Güngören Formasyonları’nda ilerlemeler yüksek; bazı sürüşlerde diğerlerine oranla daha düşük çıkmıştır, mesela Çırpıcı’da alüvyonda yüksek kil içeren zeminlerde malzeme emişinin zor olmasından dolayı ilerleme düşük olmuş (MPJ3-MPJ4), kum-zemin karışımı zeminlerde ilerleme daha yüksek olmuştur (MPJ18-MPJ19) (Şekil 4.14-4.17).



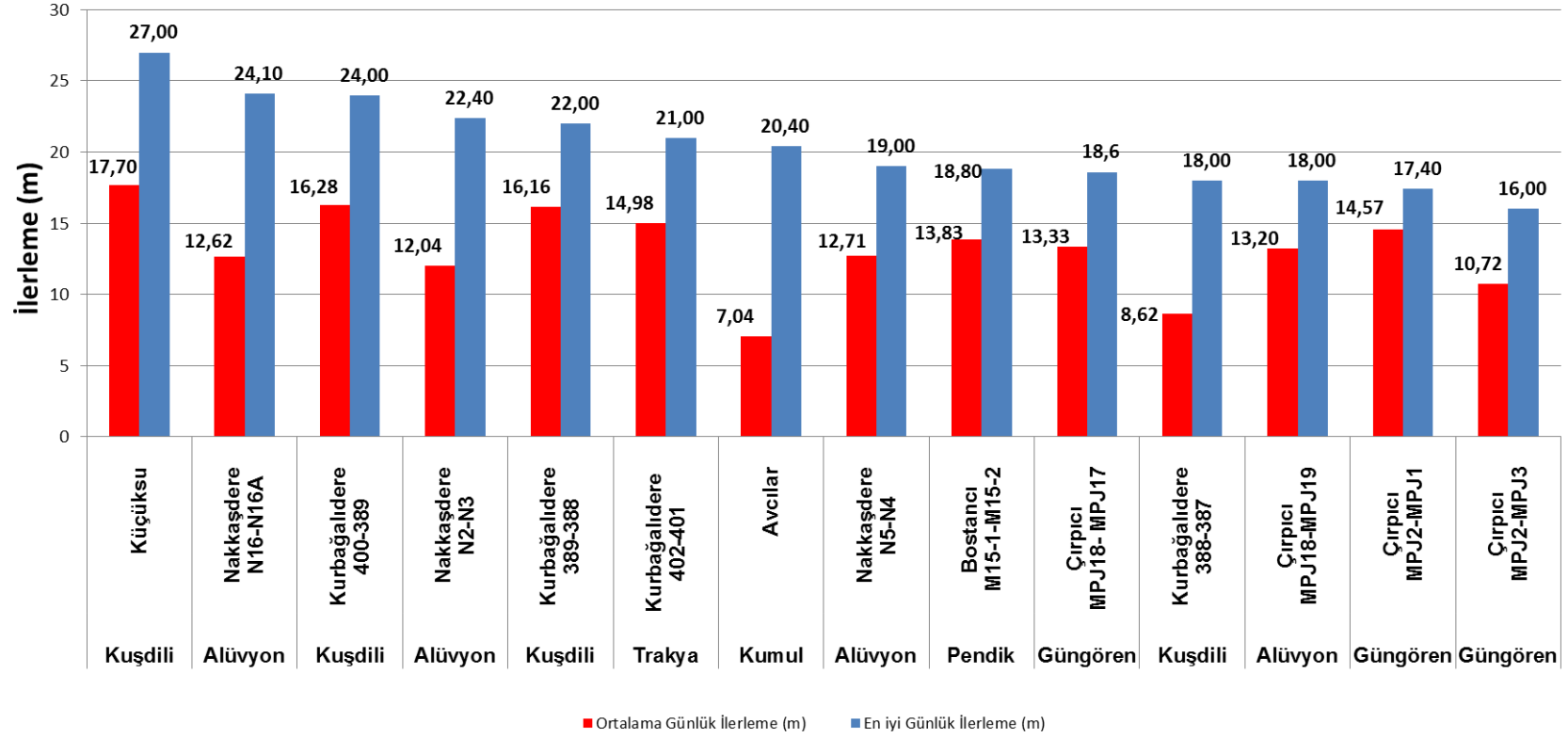
Şekil 4.14 : Mikrotünel projeleri bazında ortalama günlük ilerlemeler.



Şekil 4.15 : Mikrotünel projeleri bazında en iyi günlük ilerlemeler.



Şekil 4.16 : En iyi günlük ilerleme ve ortalama günlük ilerleme değerlerinin düşük olduğu formasyonlar.



Şekil 4.17 : En iyi günlük ilerleme ve ortalama günlük ilerleme değerlerinin yüksek olduğu formasyonlar.

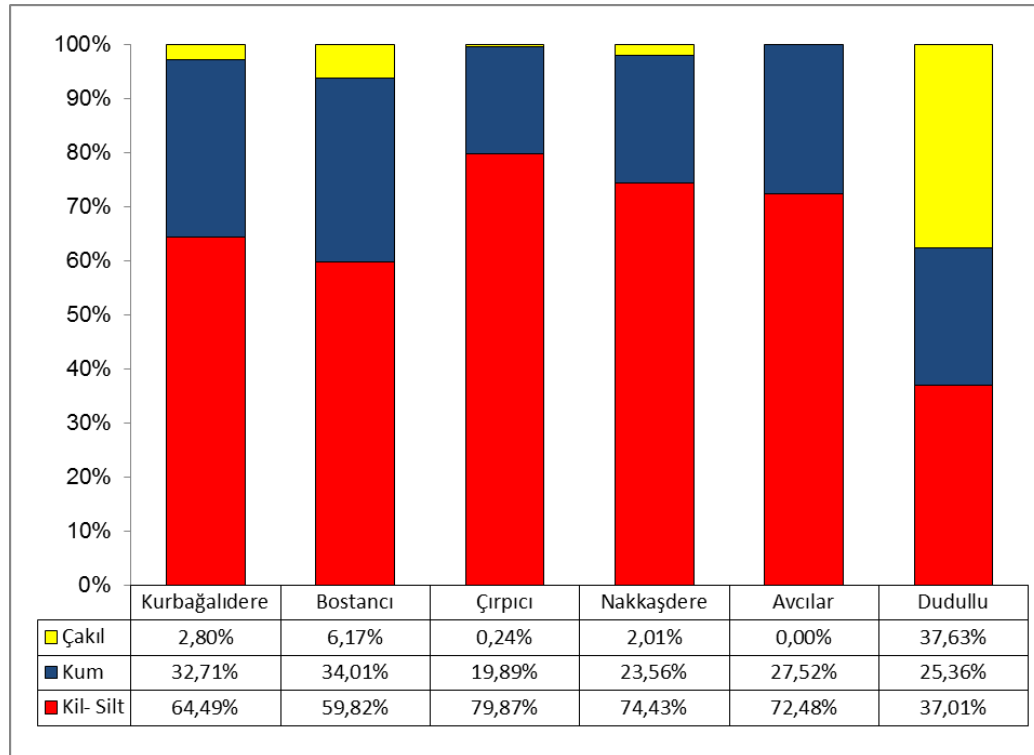
4.4.2 Net kazı hızlarının analizi

Sürüşlerin geçtikleri bölgelere göre zemin içerikli formasyonların ortalama elek analizleri Şekil 4.18’de ve formasyon türüne göre ortalama ise Şekil 4.19’da verilmiştir. Çakıl oranı en yüksek olan bölge Dudullu diğer tüm bölgelerde çakıl eser miktardadır. Diğer tüm bölgeler kil hakim litolojidir ve en yüksek kil içeren zemin ortalaması ise Çırpıcı’da bulunmaktadır.

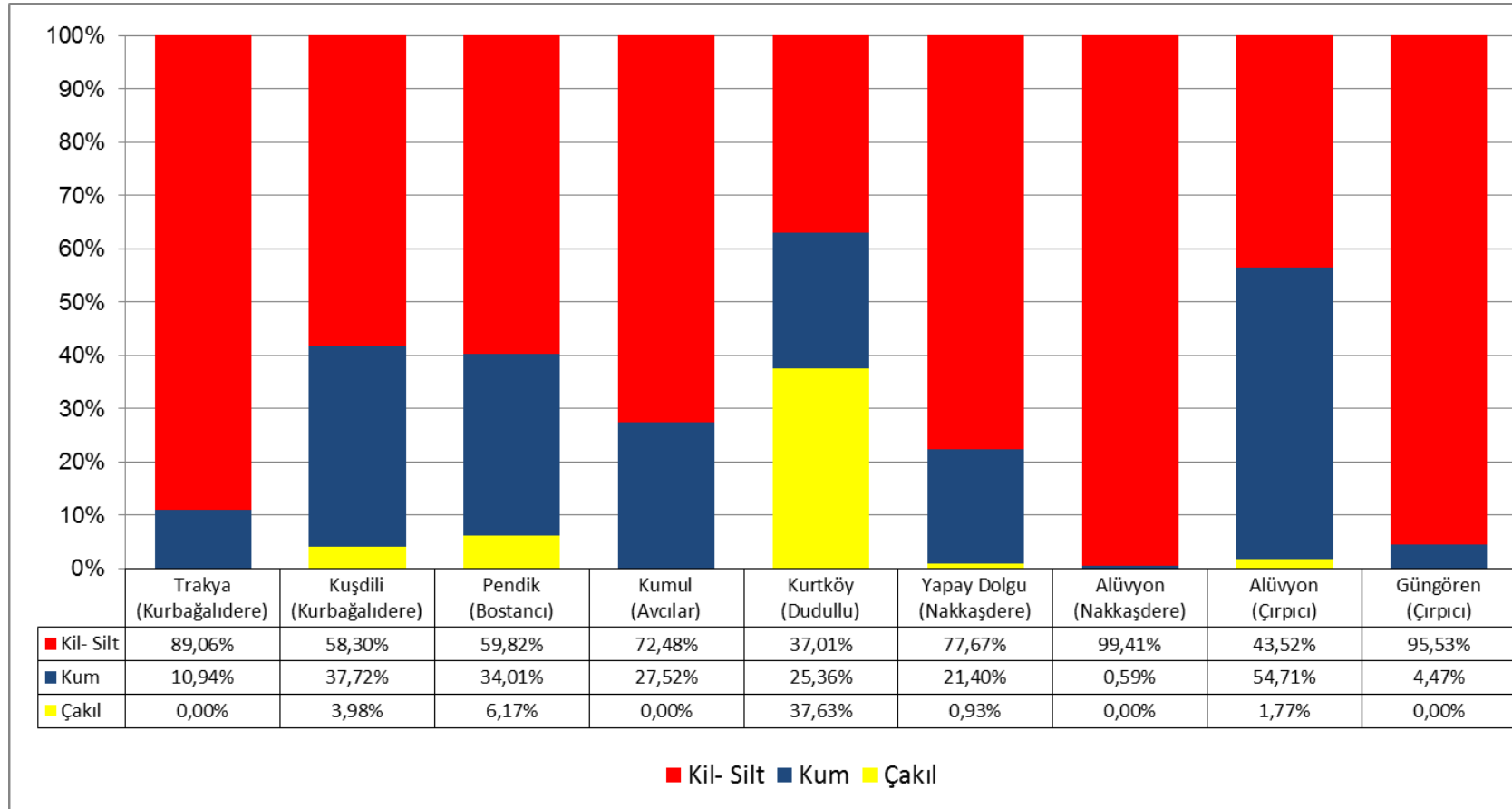
Ek A.7’de gün, iş ve bölge bazında net kazı hızları verilmiştir. Kurbağalıdere’de diğer bölgelere göre çok yüksek ortalama net kazı hızı elde edilmiştir (4,24 m/saat). Bunun sebebi formasyonun SPT değerinin çok küçük (genelde 2 civarında) olmasıdır (formasyon genelde balçık niteliğindedir).

Ortalama net kazı hızı en düşük Avcılar (1,12 m/saat) ve Dudulu (1,14 m/saat) bölgelerinde elde edilmiştir. Bölgelere göre incelendiğinde ortalama net kazı hızları, Kurbağalıdere bölgesi hariç, 1,12 ile 1,48 m/saat arasında değişmiştir (Çizelge 4.25 - 4.31).

Kuşdili Formasyonu’nda kil-kum zeminde net kazı hızı 5,46 m/saat’e saat kadar çıkmıştır. Diğer formasyonlarda genellikle 2 m/saat’in altında olmuştur (Çizelge 3.9, 4.17).



Şekil 4.18 : Bölgelere göre elek analizi ortalamaları.



Şekil 4.19 : Formasyonlara göre elek analizi ortalamaları.

Çizelge 4.25 - 4.30'da bölge ve itiş bazında net kazı hızları özetlenmiştir. Kurbağalıdere'de 7 itiş olmasına rağmen 4 tanesinin net kazı hızı hesaplanabilmiştir, Bostancı'da da 7 itiş olmasına rağmen 4 tanesinin, Küçükköy'deki 5 itişin tamamının, Nakkaşdere'deki 6 itişin 4 tanesinin, Çırpıcı'daki 9 itişin 7 tanesinin, Avcılar ve Dudullu'daki birer itişin net kazı hızı hesaplanabilmiştir. Küçüksu ve diğer mikrotünellerin sadece günlük ilerleme verileri elde edilebilmiştir, net kazı hızları elde edilememiştir.

Çizelge 4.25 : Kurbağalıdere bölgesi net kazı hızları.

Kuyular	İtme mesafesi (m)	Net çalışma süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
402-401	89,90	22,06	4,08
400-389	81,40	16,64	4,89
389-388	80,80	14,81	5,46
388-387	77,60	24,22	3,20
Toplam	329,70	77,73	4,24

Çizelge 4.26 : Bostancı bölgesi net kazı hızları.

Kuyular	İtme mesafesi (m)	Net çalışma süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
M14-2 M15	57,40	16,77	3,42
M15 M15-1	97,80	94,26	1,04
M15-1 M15-2	83,00	58,01	1,43
M29A-M29B	125,40	109,49	1,15
Toplam	363,60	278,53	1,31

Çizelge 4.27 : Küçükköy bölgesi net kazı hızları.

Kuyular	İtme mesafesi (m)	Net çalışma süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
M1-M2	92,20	61,87	1,49
M3-M4	93,60	60,86	1,54
M7-M6	89,20	47,20	1,89
M5-M6	68,90	71,75	0,96
M5-M4	110,25	64,83	1,70
Toplam	454,15	306,51	1,48

Çizelge 4.28 : Nakkaşdere bölgesi net kazı hızları.

Kuyular	İtme mesafesi (m)	Net çalışma süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
N3-N4	132,00	124,68	1,06
N5-N4	101,70	89,03	1,14
N2-N3	60,20	33,15	1,82
N16-N16A	113,60	57,15	1,99
Toplam	407,50	304,01	1,34

Çizelge 4.29 : Çırpıcı bölgesi net kazı hızları.

Kuyular	İtme mesafesi (m)	Net çalışma süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
MPJ-3 MPJ-4	119,50	120,25	0,99
MPJ-2 MPJ-3	128,60	106,80	1,20
MPJ-2 MPJ-1	131,15	79,30	1,65
MPJ-18 MPJ-19	66,00	31,84	2,07
MPJ-8 MPJ-9	105,20	96,63	1,09
MPJ-5 MPJ6	95,80	71,27	1,34
MPJ-18 MPJ-17	200,20	98,45	2,03
Toplam	846,45	604,54	1,40

Çizelge 4.30 : Diğer bölgelerin net kazı hızları.

Hat	İtme mesafesi (m)	Net çalışma süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
AVCILAR	77,40	69,34	1,12
DUDULLU	173,40	151,61	1,14

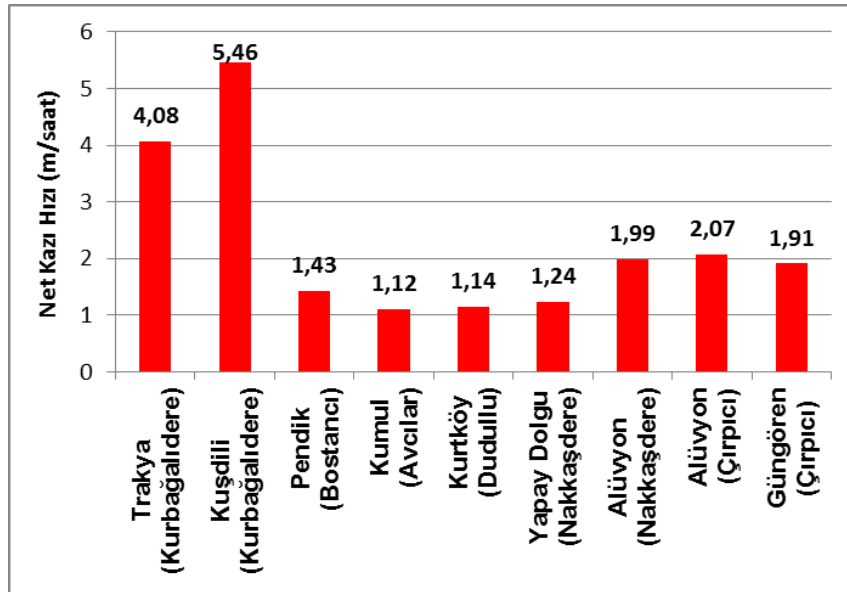
Şekil 4.21’de, itiş bazında ortalama net kazı hızı ve günlük ilerleme hızları birarada verilmektedir. İlerleme Kurbağalıdere, Nakkaşdere ve Çırpıcı’daki sürüşlerde genellikle 10 m/gün’ün üzerine çıkmıştır. Formasyon bazında incelendiğinde (Şekil 4.20) net kazı hızları en yüksek Kurbağalıdere’de Kuşdili Formasyonu’nda elde edilmiştir (5,46 m/saat), diğer formasyonlarda 1,12 – 4,08 m/saat arasında olmuştur. En düşük net kazı hızı kil yoğunluklu kumulda (Avcılar’da 1,12 m/saat) ve Kurtköy Formasyonu’nda (Dudullu’da 1,14 m/saat) elde edilmiştir.

Bölgesel (proje) bazda genel net kazı hızı ortalamaları Çizelge 4.31’de özetlenmiştir.

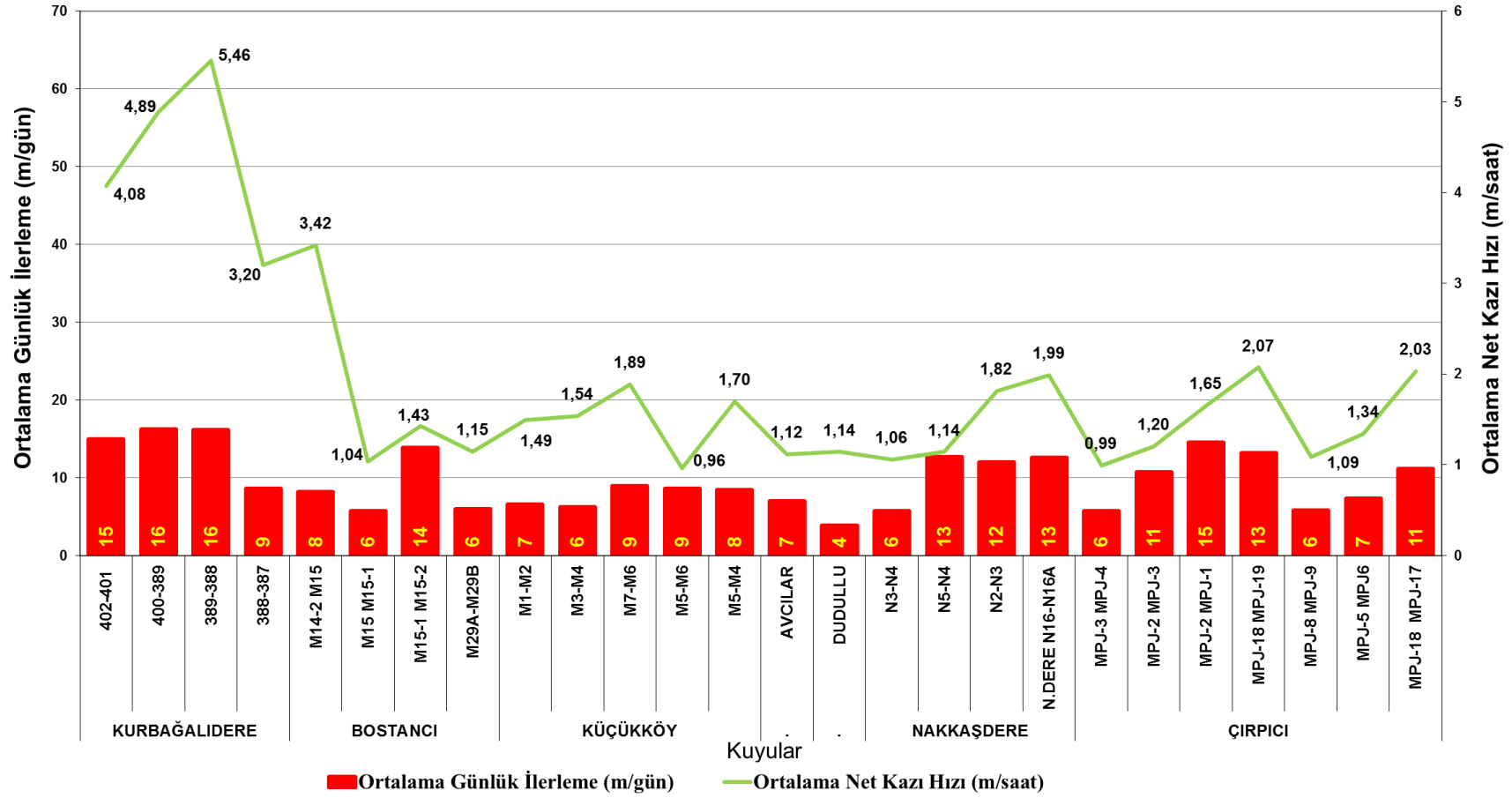
Bölgelere göre ortalama net kazı hızları Kurbağalıdere hariç 1,12 ile 1,48 m/saat arasında değişmiştir.

Çizelge 4.31 : Bölgelerin ortalama net kazı hızları.

Hat	Toplam ilerleme mesafesi (m)	Toplam net çalışma süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
KURBAĞALIDERE	329,70	77,73	4,24
BOSTANCI	363,60	278,53	1,31
KÜÇÜKKÖY	454,15	306,50	1,48
NAKKAŞDERE	407,50	304,01	1,34
ÇIRPICI	846,45	604,54	1,40
AVCILAR	77,40	69,34	1,12
DUDULLU	173,40	151,61	1,14
Toplam	2.652,20	1.792,26	1,48



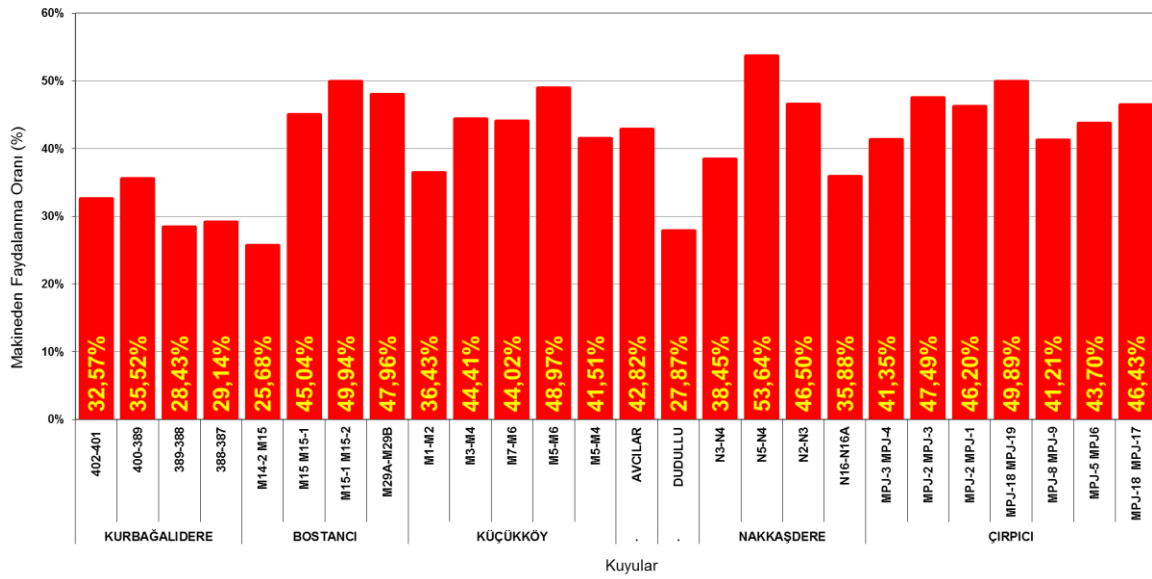
Şekil 4.20 : Formasyonlara göre net kazı hızlarının karşılaştırılması.



Şekil 4.21 : İtiş bazında ortalama net kazı hızları ve günlük ortalama ilerleme hızları.

4.4.3 Makine kullanım oranlarının analizi

Makine kullanım oranı çoğu bölgede birbirine yakın değerlerdir (Ek A.8). Ortalama %40 oranında çıkmış, itiş bazında en yüksek makineden faydalanma oranı alüvyon zeminde Nakkaşdere’de N5-N4 sürüşünde %53,64 olarak elde edilmiştir, bölge bazında Bostancı’da (%44,99) ve Çırpıcı’da (%44,42) elde edilmiştir. Çamur pompa arızası, zeminin arkozit kumtaşı olması sebebiyle disk keskinin hepsinin aşınması ve tamamının değiştirilmesi gibi sebeplerden dolayı en düşük kullanım oranı Dudullu’da elde edilmiştir (Şekil 4.22, Çizelge 4.32).



Şekil 4.22 : İtiş bazında makineden faydalanma oranları.

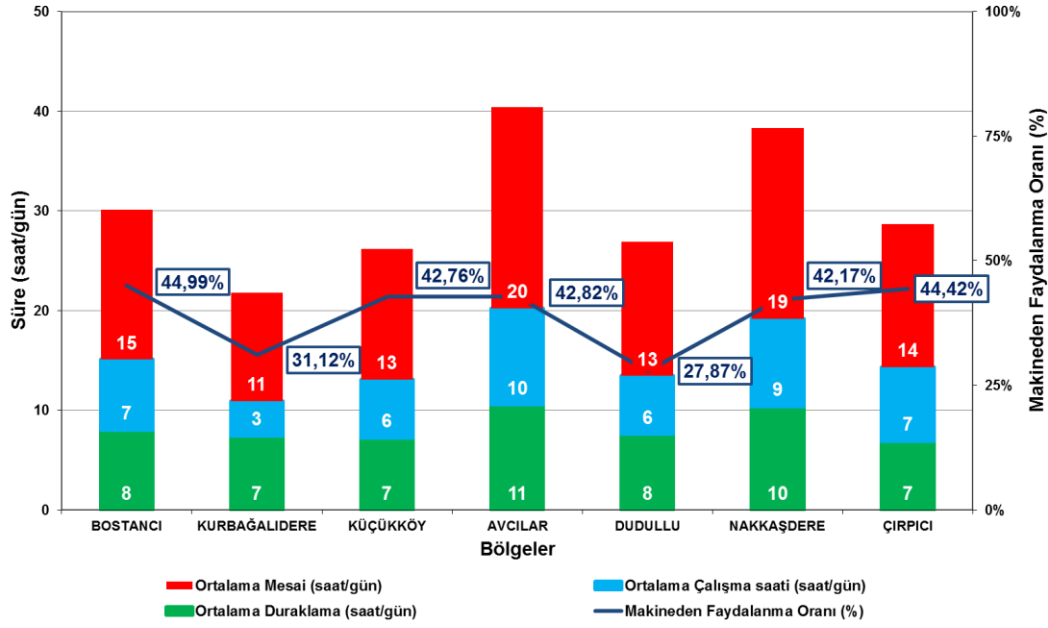
İtiş bazında mesai saatleri Çizelge 4.33’de verilmiş ve Şekil 4.23’de ortalama mesai, çalışma ve duraklama saatlerinin değişimine göre makineden faydalanma oranları bölge bazında, Şekil 4.24’de formasyon bazında ve Şekil 4.25’de de itiş bazında verilmiştir.

Çizelge 4.32 : Bölgelerin ortalama makine kullanım oranı.

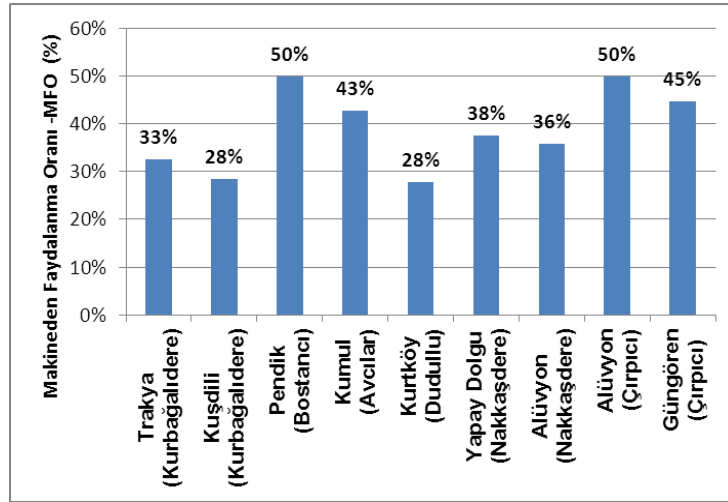
Hat	Toplam sürüş uzunluğu (m)	Kazı süresi (saat)	Toplam vardiye süresi (saat)	Makine kullanım oranı (%)
KURBAĞALIDERE	329,70	77,73	249,78	31,12%
BOSTANCI	363,60	278,53	619,08	44,99%
KÜÇÜKKÖY	454,15	306,50	716,78	42,76%
NAKKAŞDERE	407,50	304,01	720,83	42,17%
ÇIRPICI	846,45	604,54	1.360,85	44,42%
AVCILAR	77,40	69,34	161,93	42,82%
DUDULLU	173,40	151,61	543,94	27,87%
Toplam	2.652,20	1.792,26	4.373,19	40,98%

Her formasyonda duraklama süresi yaklaşık aynı olmuştur (ortalama 8 saat), fakat en çok çalışma Avcılar (ortalama günlük 20 saat) ve Nakkaşdere’de (ortalama günlük 19 saat) olmuştur. Bunun nedeni diğer projelerde farklı çalışma saatleri uygulanırken; Avcılar ve Nakkaşdere’de 3 vardiya şeklinde tüm gün çalışma yapılmasıdır (Şekil 4.23).

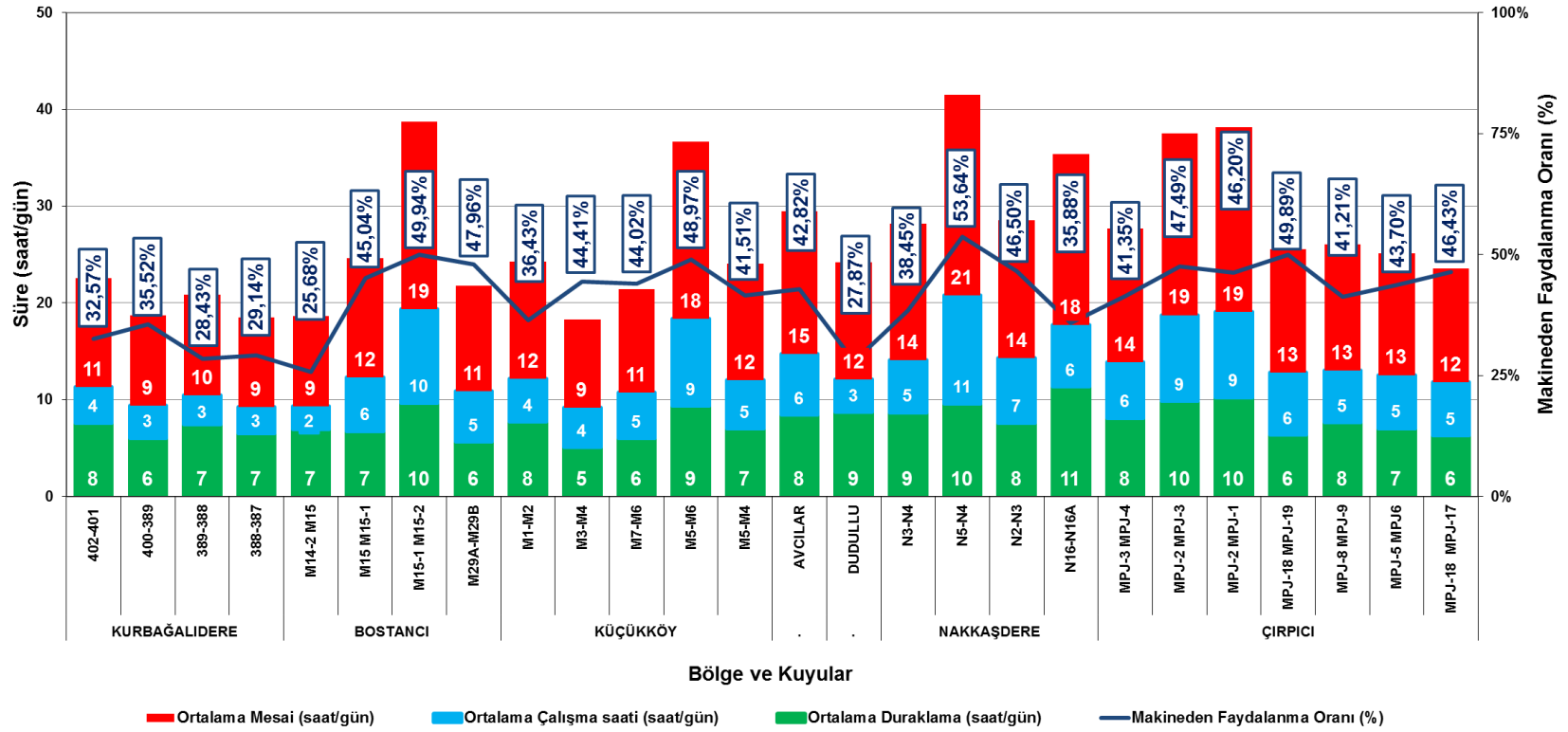
En yüksek makine kullanım oranları Çırpıcı’da Alüvyon Formasyonu’nda ve Bostancı’da Pendik Formasyonu’nda %50 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.24).



Şekil 4.23 : Bölge bazında çalışma saatleri ve makineden faydalanma oranı (MFO).



Şekil 4.24 : Formasyonlara göre makineden faydalanma oranlarının karşılaştırılması.



Şekil 4.25 : Bölge ve itiş bazında çalışma-duraklama saatleri ve makineden faydalanma oranları.

Çizelge 4.33 : Projelerin program mesai saatleri.

Bölge	Kuyu Aralığı	Mesai (saat/gün)
Kurbagalıdere	402-401	12
	400-389 (KU-3)	12
	389-388	12
	388-387	12
Bostancı	M14-2 M15	16
	M15 M15-1	16
	M15-1 M15-2	24
	M29A-M29B	12
Küçükköy	M1-M2	12
	M3-M4	12
	M7-M6	12
	M5-M6	24
	M5-M4	12
Nakkaşdere	N3-N4	16
	N5-N4	24
	N2-N3	24
	N.DERE N16-N16A	24
Çırpıcı	MPJ-3 MPJ-4	16
	MPJ-2 MPJ-3	24
	MPJ-2 MPJ-1	12
	MPJ-18 MPJ-19	12
	MPJ-8 MPJ-9	16
	MPJ-5 MPJ6	16
	MPJ-18 MPJ-17	16
Diğer	Avcılar	24
	Dudullu	16

4.4.4 Makinenin kullanılabilirlik oranı

İncelenen tüm proje bölgelerindeki itiş bazında makine kullanılabilirlik oranları Ek A.9'da verilmiştir. İtiş bazında en yüksek %88,06 Küçükköy M5-M6; en düşük %62,13 Kurbağalıdere 400-389 sürüşünde elde edilmiştir. Bölge bazında incelendiğinde (Çizelge 4.34) en yüksek oran Bostancı ve Küçükköy bölgelerinde %82-83 civarında elde edilmiştir. Bölge bazında makine kullanılabilirlik oranı %72 ile %83 arasında değişmiştir.

Çizelge 4.34 : Bölgelerin ortalama makine kullanılabilirlik oranı.

Hat	Toplam sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanmayan toplam duraklama süresi (saat)	Toplam kazı süresi (saat)	Toplam vardiye süresi (saat)	Makine kullanılabilirlik oranı (%)
KURBAĞALIDERE	329,70	107,70	77,73	249,78	74,24%
BOSTANCI	363,60	226,32	278,53	619,08	81,55%
KÜÇÜKKÖY	454,15	290,88	306,50	716,78	83,34%
NAKKAŞDERE	407,50	244,99	304,01	720,83	76,16%
ÇIRPICI	846,45	469,83	604,54	1.360,85	78,95%
AVCILAR	77,40	50,27	69,34	161,93	73,87%
DUDULLU	173,40	240,28	151,61	543,94	72,05%
Toplam	2.652,20	1.630,27	1.792,26	4.373,19	78,26%

4.4.5 Makinenin güvenilirlik oranı

Güvenirlik oranları genelde tüm bölgeler ve itişler için aynı seyirde olmuştur (Ek A.10). İtiş bazında en yüksek %37,87 Kurbağalıdere 400-389 sürüşünde; en düşük %11,94 Küçükköy M5-M6 sürüşünde elde edilmiştir. Bölge bazında incelendiğinde (Çizelge 4.35) en yüksek oran Kurbağalıdere ve Dudulu bölgelerinde; en düşük Küçükköy bölgesinde elde edilmiştir. Bölge bazında makine güvenilirlik oranları %17 ile %28 arasında değişmiştir.

4.5 Keski Tüketimleri

Keski tüketimi, hem maliyeti arttırır hem de kazı performansına etki eder. Aşınmış keskiler kazı hızını olumsuz yönde etkiler ve diğer keskilerin de daha hızlı aşınmasına sebep olur. Keskiler sürekli kontrol edilip, bakımları yapılmalı veya değiştirilmelidir. Aşınan keskilerin yüksek maliyet nedeniyle değiştirilmesinden ziyade elmas kaynak (astarlama) yapılarak tekrar kullanılması nedeniyle tüketilen keski sayısı bu çalışmada belirlenememiştir.

Çizelge 4.35 : Bölgelerin ortalama makine güvenilirlik oranı.

Hat	Toplam sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanan toplam duraklama süresi (saat)	Toplam vardiye süresi (saat)	Makine güvenilirlik oranı (%)
KURBAĞALIDERE	329,70	64,35	249,78	25,76%
BOSTANCI	363,60	114,23	619,08	18,45%
KÜÇÜKKÖY	454,15	119,40	716,78	16,66%
NAKKAŞDERE	407,50	171,84	720,83	23,84%
ÇIRPICI	846,45	286,48	1.360,85	21,05%
AVCILAR	77,40	42,32	161,93	26,13%
DUDULLU	173,40	152,05	543,94	27,95%
Toplam	2.652,20	950,66	4.373,19	21,74%

4.6 Mikrotünel Kazı Çalışmalarında Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Uygulamaları

Ek A.11’de verilen ayrıntılı faaliyet raporları incelendiğinde, mikrotünel kazı çalışmalarının daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için alınması gerekli önlemler aşağıdaki bölümlerde özetlenmiştir.

4.6.1 Kesici kafanın bloke olması

Kesici kafa hızı sıfırı gösterir, kesici kafa basıncı maksimumda iken kesici disk durur, bu durumda itici silindirler serbest bırakılır, boru sürme işlemi durdurulur ve kesici kafa dönüş yönünün tersi istikamette döndürülür. Eğer hala kesici kafa serbest değilse; itme silindirleri durdurulur, bypass kontrolü için su hattı açılır, yönlendirme silindirleri maksimum darbe için genişletilir, yönlendirme silindirleri tamamen geri çekilir, kesici kafa bir yöne ve tersi istikametine çevirilerek gevşetilir.

4.6.2 Siklonun aşınması

Siklonun içini örten 1 cm kalınlığında özel lastik kaplama zamanla aşınmaktadır.

Siklonun içinde suya hız verilerek oluşturulan spiral dönüş sayesinde ince ve ağır malzeme ayrılmış olur. İnce-ağır(kumlu) malzeme, siklonun dönmesiyle oluşan merkezkaç kuvvetiyle çeperlerde toplanır. Çamurlu su ise ortada oluşan helezonik hareketle kumlu malzemenin ters yönünden çöktürme tankına geri beslenir. Girişteki suyun hızıyla çıkıştaki hız aynı olmadığı için en fazla aşınma boğaz bölgesinde oluşur. Siklonun ucu giderek daraldığı için en fazla sürtünmenin olduğu bölge de en uç kısım olmaktadır.

Çözüm olarak, aşınmaya dayanıklı kauçuktan yapılmış malzeme temin edilene kadar oluşan aşınmalar sacdan bükülerek gövdeye yapılan yama sayesinde ilerlemeye devam edilir. Lastik yerine sac kullanılırsa aşınma daha fazla olur ve suya yeterli hız verilemez.

4.6.3 Elektrik arızası

Valflerin, yönlendirici silindirlerin ve direksiyonun çalışması elektrik akışını sağlayan röleler sayesinde olur. Kontrol kabininden valf açılır. Valf açıldığı halde ekranda bir değişiklik olmuyorsa, röle yanmış demektir. Rölenin yandığı ekrandan anlaşılmayabilir ama valfin, silindirlerin veya direksiyonun hareket etmemesinden anlaşılabılır.

Her pistonun da ayrıca 2 selenoidi vardır. Birisi açma işini yaparken diğeri kapama işini yapar. Rölelerden gelen sinyal sayesinde selenoitler açılıp kapanır. Röleler yandığı zaman düğmeden selenoide sinyal gitmez.

Sürekli açma – kapamadan dolayı belli bir süre sonra (malzemenin yorgunluğundan) sargı teller, üst kaplamayı aşındırır ve birbirlerine temastan dolayı yanar. Çözüm olarak, yönlendirici kafadaki ve kumanda merkezindeki röleler yenileri ile değiştirilerek arıza giderilmiş olur.

4.6.4 Dolgu malzemesinde demir parçasına rastlanması

Küçük veya büyük parça demir; pompanın veya boruların içinden geçerken borunun veya pompanın akış yönüne paralel akmazsa (dik gelecek şekilde ağzı tıkarsa), ardından gelen malzeme birikir ve tıkanma olur.

Çözüm olarak, pompanın veya boruların içi açılarak demir parçasının yeri tespit edilir, çıkarılarak yola devam edilir.

4.6.5 Disk keskinin aşınması

Öndeki disk kesiciler aşınmadan dolayı, kesme işini düzgün olarak yapamadığı için itme kuvveti artar ve makine ilerlemede zorlanır. Köşe keskinler aşındığı zaman makine sıkışır, yönlendirme rahat yapılamaz.

Köşe keskinler ile makinenin dış çapı arasındaki mesafe 2 cm'dir. Köşe keskinlerin 2 cm'lik boşluk açması makinenin rahatça ilerlemesini sağlar. Bu 2 cm'lik boşluk 0,5 – 1 cm'e düşerse kesici kafa ile kuyruk, kuyruk ile boru arasındaki seviye farkı kayb olduğu için makine sıkışmaya başlar, sürtünmeler artar ve itme kuvveti yükselir. Sağa ve sola yönlendirme gerçekleşmez ve makine kendi doğrultusu boyunca gitmeye başlar.

Disk keskinin uç kısmında (2-3 mm genişliğindeki ve 2cm uzunluğundaki kısım) bulunan ve asıl kesme işini gerçekleştiren özel alaşımlı kısım aşındığı zaman geçici önlem olarak; disk keskinin uç kısmı Castolin 8811 marka elektrodla kaynak yapılır. Bu elektrodun içerdiği ince elmaslar sayesinde uzunca bir süre kesicilerin iş görmesi sağlanır.

Merkez keskinin uç kısmı Castolin 8888 marka elektrodla kaynak yapılır. Bu kesici ayna ile ilk karşılaşan yer olduğu için daha iri elmaslar içeren bu elektrodla kaynak yapılır.

4.6.6 Çamur pompasındaki arızalar

Çok fazla akım geçmesinden dolayı oluşan ısıdan fişler birleşme yerlerinden yanabilmektedir. Çamur pompasının kablosu 125 mm'lik 5'li girişten oluşuyor. Her 50-70m'de ara kablo ile tünel uzaklığı arttıkça birbirine ekleme yapılıyor. Kablo uzunluğu arttıkça daha fazla elektrik geçer ve akım artar. Birleşme yeri fazlaştıkça da yanma ihtimali artar. Çözüm olarak, kablonun kafasındaki 5'li giriş ve çıkış fişleri yenileri ile değiştirilerek arıza giderilmiş olur.

Diğer bir sorun ise; pompanın boğaz kısmına takılan taş veya demir parçaları tıkanmaya yol açmasıdır. Pompanın ağız kısmına 125 mm'lik boru ile gelen malzeme 101,6 mm'lik boru ile daralarak boğaz kısmından çıkış yapar. Bir taş veya demir parçasının deliğin akış yönüne ters istikamette durması sonucu, arkadan gelen malzeme birikir ve tıkanma yapar. Çözüm olarak, pompanın boğaz kısmı sökülerek çıkarılır ve temizlendikten sonra boru sürme işine devam edilir.

4.6.7 Dirsek aşınmaları

Elek, konteyner ve çamur pompası dirseklerinde dönüş kısmında bütün yükü sırt bölgesi alır ve zamanla dirsekte aşınma olur. Gelen malzemenin ve suyun ilk vurma yeri olduğu için düz boruya nispeten sırt bölgesi, sürtünmenin en fazla olduğu yerdir. Dirsek aşınmasına belirti olarak; dış boyasının zamanla dökülmeye başlaması ve sırt kısmına vurulduğunda incelme belirtisi göstermesi (teneke gibi ses çıkarması) gösterilebilir. Çözüm olarak, standart boyutlarda kesilen dirsek ve düz borularla yapılan kaynakla eskisinin yerine yenisi takılır.

4.7 Net Kazı Hızı Tahmini İçin Ampirik Bir Modelin Geliştirilmesi

Net kazı hızı bağımlı değişkeni üzerinde bağımsız değişkenlerin (doğal nem içeriği, plastisite indeksi, likit limit, plastik limit, SPT ve TCR) etkisinin belirlenmesi amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon analizlerinde maksimum bağımsız değişken sayısının veri sayısının %10-20'si arasında olmasına özen gösterilmiştir. Çizelge 4.17'deki veriler kullanılarak yapılan analizlerde, seçilen parametrelerin model(ler) üzerine etkisinin, fiziksel olarak beklenenin tersine olduğu görülmüştür. Bu nedenle parametre sayısı 1'e düşürülmüştür ve bu parametreler arasında en iyi ilişkiyi SPT değerinin 15'in altında olduğu durum vermiştir (Şekil 4.26). SPT değerinin 15'in üzerinde olduğu

durumlarda, veri saçılım göstermektedir ve genel olarak 1,4 ile 2,1 m/saat arasında değişmektedir (Şekil 4.27). SPT parametresinin su içeriği ve kıvam limitleri veya plastisite indeksini de içerdiği (yansıttığı) düşünülebilir. Ancak, SPT değerinin 15'in üzerinde olduğu durumlarda net kazı hızının saçılım göstermesi su içeriği ve kıvam limitlerinin yüksek SPT değerlerinde (>15) etkilerinin farklı olabileceğini göstermiştir. Yüksek SPT değerleri su içeriği düşük olan formasyonların daha sert, su içeriği yüksek olanların ise yüksek plastisiteli olduğunu gösterir.

SPT'nin 15'in altında olduğu veriler Çizelge 4.36'da verilmiştir. Buna göre elde edilen SPT ve net kazı hızı ilişkisi Şekil 4.26'da görüldüğü gibi SPT değerleri 15'e doğru arttıkça net kazı hızı azalmaktadır. Buda fiziksel olarak beklenen bir durumdur.

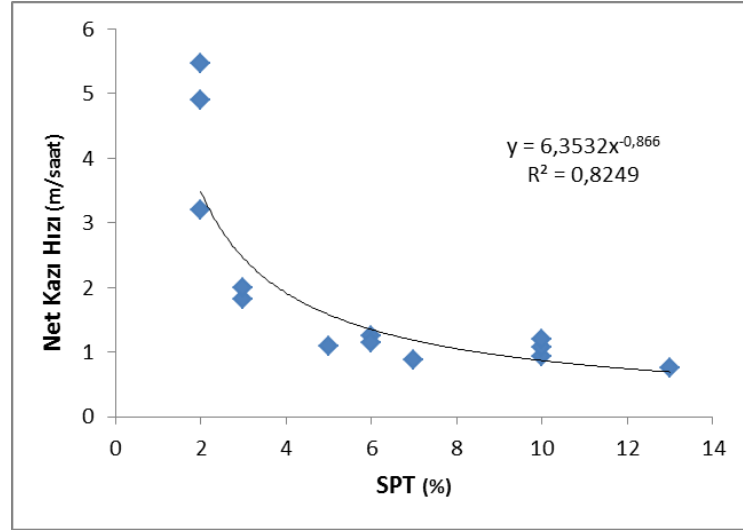
Buna göre;

$$NKH_{(m / saat)} = \frac{6,3532}{SPT(\%)^{0,866}} \quad (4.1)$$

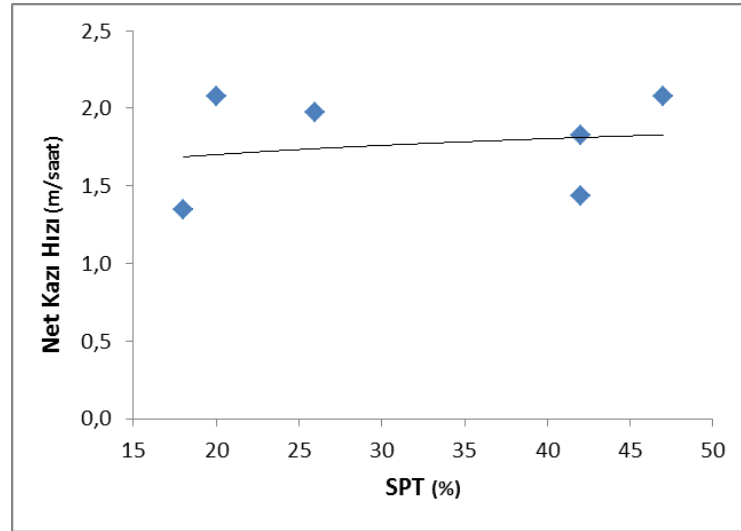
eşitliği bulunmuştur. Model sadece verilen çap (2,5 m) için ve SPT<15 için killi zeminlerde geçerlidir.

Net kazı hızı tahmin modeli geliştirilirken kullanılan veriler ve modele göre bulunan net kazı değerleri Çizelge 4.36'da verilmiştir; Şekil 4.28'deki geçerlilik grafiği elde edilmiştir.

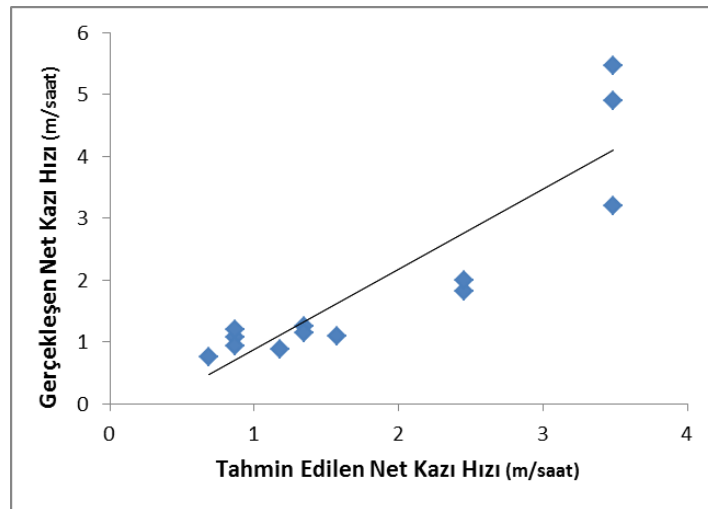
Bu modelin doğruluğunu test etmek amacıyla literatürde slurry (çamur basınçlı) mikrotünel makineleri için verilen net kazı hızı ve SPT değerleri araştırılmıştır, fakat bulunamamıştır.



Şekil 4.26 : Net kazı hızı ile SPT arasındaki ilişki (SPT<15).



Şekil 4.27 : Net kazı hızı ile SPT arasındaki ilişki (SPT>15).



Şekil 4.28 : Net kazı hızı tahmin modelinin geçerlilik grafiği.

Çizelge 4.36 : Net kazı hızı tahmin modelinde kullanılan proje, sondaj ve laboratuvar verileri.

Hat	Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Formasyon	Litoloji	SPT %	TCR %	W _n %	LL %	PL %	PI %	Kil- Silt %	Kum %	Çakıl %	Net Kazı Hızı (m/saat)		Model Hesap / Fiili
KURBAĞA LIDERE	400-389	81,40	Kuşdili	Kil	2	56	38,5	32,8	15,5	17,3	76,26	21,08	2,66	4,89	3,49	0,71
	389-388	80,80	Kuşdili	Kil-Kum	2	75	39,1	36,3	15,6	20,7	58,30	37,72	3,98	5,46	3,49	0,64
	388-387	77,60	Kuşdili	Kil	2	33	35,0	24,5	16,2	8,3	38,02	57,77	4,21	3,20	3,49	1,09
ÇIRPICI	MPJ3-MPJ4 (0-47,94 m)	47,94	Alüvyon	Kil	7	50	24,9	32,7	10,7	22,0	73,81	26,19	0,00	0,88	1,18	1,34
	MPJ3-MPJ4 (47,94- 119,5 m)	71,56	Alüvyon	Kil	10	68	23,5	32,7	10,2	22,5	68,99	31,01	0,00	1,08	0,86	0,80
	MPJ2-MPJ3	128,60	Güngören	Kil	10	63	48,1	81,7	18,6	63,1	98,47	1,53	0,00	1,20	0,86	0,72
	MPJ8-MPJ9	105,20	Güngören	Kil	5	60	17,1	40,4	8,7	31,7	89,87	10,13	0,00	1,09	1,58	1,45
NAKKAŞDERE	N3-N4 (46-132 m)	86	Yapay Dolgu	Dolgu	6	76	49,5	59,5	12,3	47,2	77,67	21,40	0,93	1,24	1,35	1,09
	N3-N4 (24,3-46 m)	21,7	Ceylan	Kil	10	17	29,2	43,1	12,0	31,1	79,03	15,35	5,62	0,93	0,86	0,93
	N3-N4 (0-24,3 m)	24,3	Alüvyon	Kil	13	38	19,0	21,6	14,6	7,0	47,13	52,87	0,00	0,76	0,69	0,91
	N5-N4	101,70	Alüvyon	Kil	6	100	49,1	44,8	17,8	27,0	98,68	1,32	0,00	1,14	1,35	1,18
	N2-N3	60,20	Alüvyon	Kil	3	100	61,5	54,0	21,3	32,7	99,41	0,59	0,00	1,82	2,45	1,35
	N16-N16A	113,60	Alüvyon	Kil	3	100	61,5	54,0	21,3	32,7	99,41	0,59	0,00	1,99	2,45	1,23

5. SÜRTÜNME KUVVETLERİ ANALİZİ VE TAHMİN MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

5.1 Genel

İlerleme sağlanabilmesi için gerekli olan itme kuvvetinin belirlenebilmesi, boru ile zemin arasındaki temastan oluşan sürtünmeye, borunun ağırlığına ve ayna basıncına bağlıdır. Boru ağırlığından dolayı oluşan kuvvet, sürtünmeden dolayı oluşan kuvvetin büyüklüğünün % 3-4'ü kadardır [77]. Bunun yanı sıra kesici kafa basıncından dolayı oluşan basınç, mikrotünel operatörü tarafından kontrol edilebilmektedir. Zemin tipi, fazla kazı miktarı, bentonit kullanılması ve borunun pozisyonu, itme kuvvetini etkileyen faktörlerdir [77].

Mikrotünel uygulamasında kullanılacak borunun yapısal tasarımı, açık kazıda kullanılan boruya göre daha çok önem arz etmektedir. Açık kazıda çukur genişliği ve yük faktörlerine dikkat etmek gerekmektedir. Mikrotünelcilikte, itme kuvveti ve kazı derinliğinin sağlıklı hesaplanması gerekmektedir.

Bu bölümde proje ve formasyon bazında ortalama ve maksimum itme kuvvet değerleri gösterilmiş birbirleriyle mukayesesi yapılmıştır ve empirik bir itme kuvveti tahmin modeli geliştirilmiştir. Ek A.12' de makine ilerledikçe itme kuvvetindeki artış, bentonit kullanıldığı zamanki düşüş ve ara itme istasyonları kullanıldığı zaman itme kuvvetinin borulara aktarımı grafiksel olarak verilmektedir.

5.2 Gerçekleşen Sürtünme Kuvvetleri Özeti ve Analizi

Çizelge 5.1'deki proje (bölge) ve itiş bazında gerçekleşen birim sürtünme kuvvetleri ve ayna basınçları özetlenmiştir. Mikrobölgeleme çalışması Küçükköy'de bu çalışma yapılırken başlamamış olduğu için litoloji, formasyon ve yeraltı su seviyesi değerleri elde edilememiştir.

Ayna basınç kuvvetleri 32 ile 93 tonf arasında değişmiştir. Genel ortalama 62 ± 11 tonf olarak bulunmuştur. Yapılan istatistik analizlerde ayna basınç kuvveti ile zemin özellikleri arasında önemli bir ilişkinin olmadığı görülmüştür.

Birim sürtünme ve ayna basıncı kuvvetlerini bulmak için (5.1) doğrusal eşitliği kullanılmıştır (Şekil 5.1).

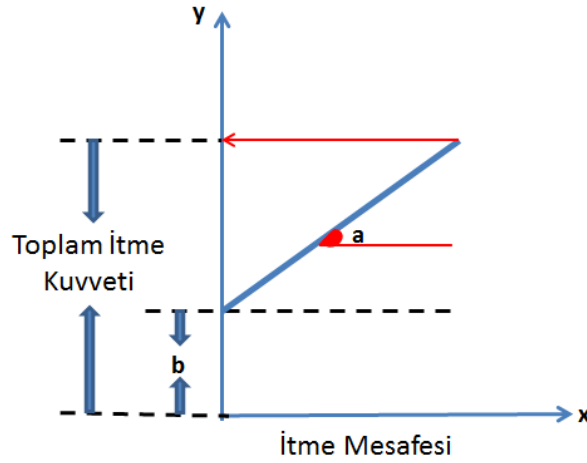
$$y = a \cdot x + b \quad (5.1)$$

y= Toplam itme kuvveti (tonf)

a= Ortalama birim sürtünme kuvveti (tonf/m)

x= İtme mesafesi (m)

b= Ayna basıncı kuvveti (tonf)



Şekil 5.1 : Birim sürtünme, ayna basıncı ve toplam itme kuvvetleri

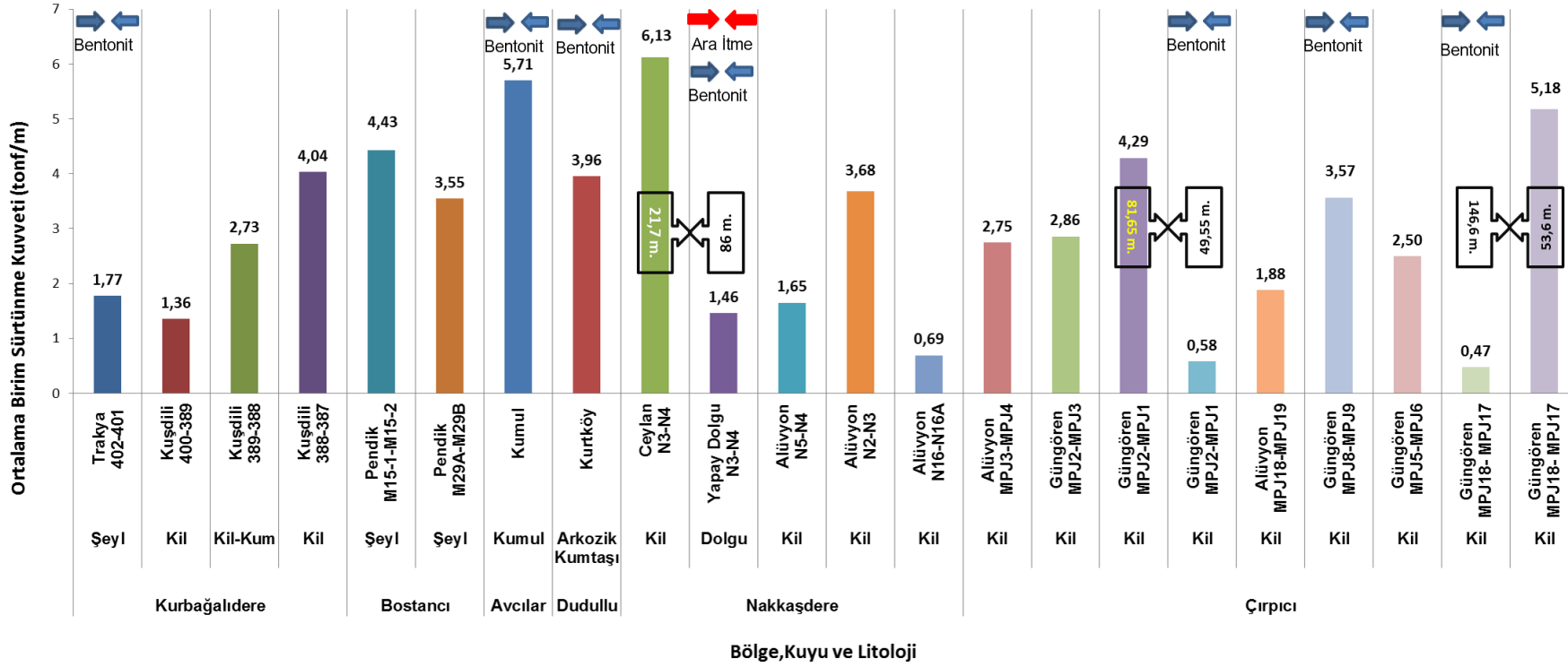
Bentonit kullanılmayan zeminlerde en yüksek ortalama birim sürtünme kuvveti Nakkaşdere'de Ceylan ve Alüvyon Formasyon'lar'da killi zeminde 6,13 tonf/m; en düşük Alüvyon Formasyon'da killi zeminde 0,69 tonf/m olarak elde edilmiştir (Çizelge 5.1 ve Şekil 5.2).

Bentonit kullanılan zeminlerde en yüksek ortalama birim sürtünme kuvveti Çırpıcı'da Güngören Formasyonu'nda killi zeminde 3,57 tonf/m; en düşük yine aynı formasyon ve zeminde 0,47 tonf/m olarak elde edilmiştir (Çizelge 5.1 ve Şekil 5.2). Aynı formasyonda bu kadar büyük fark olması kayıtlarda bir hata olabileceğini veya bentonit uygulanmasındaki farklardan olabileceğini göstermektedir.

Kaya ortamda en yüksek ortalama birim sürtünme kuvveti Bostancı'da Pendik Formasyonu'nda Őeylde 9,28 tonf/m; en düşük bentonit kullanılan Trakya Formasyonu'nda Őeylde 1,77 tonf/m ve bentonit kullanılmayan Pendik Formasyonu'nda Őeylde 3,55 tonf/m olarak elde edilmiştir (Çizelge 5.1 ve Şekil 5.2). Kaya ortamda 9,28 tonf/m gibi yüksek birim sürtünme elde edilmesi, kayanın aşırı altere olmuş, kırıklı çatlaklı olabileceğini ve keskilere aşırı yük verildiğini göstermektedir.

Çizelge 5.1 : Proje bazında itme kuvvetleri karşılaştırması.

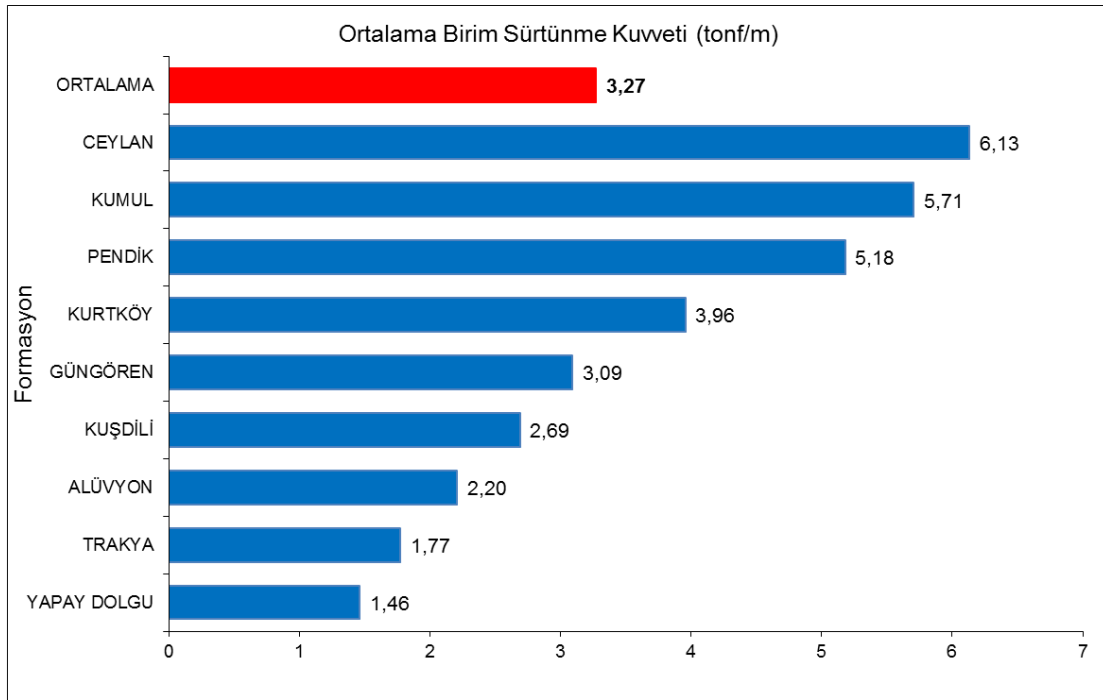
SÜRÜŞ		Boru İtme Uzunluğu	Tünel Tavan Derinliği	Yeraltı Su Seviyesi Derinliği	Maksimum İtme Kuvveti	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti	Ayna Basınç Kuvveti	Bentonit	Interjack
		m	m	m	tonf	tonf/m	tonf	Evet 1 Hayır 0	
KURBAĞALIDERE	402-401	89,9	7,4	3,95	325	1,77	86	1	0
	400-389	81,4	7,0	3,50	334	1,36	93	0	0
	389-388	80,8	10,0	0,00	402	2,73	51	0	0
	388-387	77,6	11,0	0,00	580	4,04	52	0	0
BOSTANCI	M15-1 M15-2	83,0	6,1	2,30	434	4,43	40	0	0
	M15 , M15-1	97,8	6,1	2,30	829	5,50	79	0	0
	M14-2 M15	57,4	6,5	2,30	645	9,28	60	0	0
	M29A-M29B	125,4	6,1	2,30	525	3,55	59	0	0
KÜÇÜKKÖY	M1-M2	92,2	4,0		271	1,97	54	1	0
	M3-M4	93,6	4,3		388	3,31	62	1	0
	M7-M6	89,2	6,5		612	4,57	53	0	0
	M5-M6	68,9	6,1		425	4,26	69	0	0
	M5-M4	110,2	6,5		532	3,69	32	0	0
NAKAŞDERE	N3-N4 (0-24,3 m)	24,3	6,5	1,70	305	6,13	70	0	0
	N3-N4 (24,3-46 m)	21,7	6,5	1,70	523	6,13	70	0	0
	N3-N4 (46-132 m)	107,7	6,5	1,70	528	1,46	70	1	1
	N5-N4	101,7	9,5	4,00	387	1,65	90	0	0
	N2-N3	60,2	10,0	4,00	315	3,68	87	0	0
	N16-N16A	113,6	8,5	4,00	252	0,69	62	0	0
ÇIRPICI	MPJ3-MPJ4 (0-47,94 m)	47,9	13,5	6,50	222	2,75	48	0	0
	MPJ3-MPJ4 (47,94- 119,5 m)	71,6	13,5	6,50	700	2,75	48	0	0
	MPJ-2 MPJ-3	128,6	12,5	6,70	485	2,86	63	0	0
	MPJ-2 MPJ-1 (0-49,55 m)	49,6	10,0	5,50	311	4,29	59	0	0
	MPJ-2 MPJ-1 (49,55-131,2 m)	81,6	10,0	5,50	402	0,58	59	1	0
	MPJ-18 MPJ-19	66,0	10,5	5,50	225	1,88	74	0	0
	MPJ-8 MPJ-9	105,2	13,0	6,50	570	3,57	65	1	0
	MPJ-5 MPJ6	95,8	9,5	0,00	366	2,50	35	0	0
	MPJ18- MPJ17 (0-50,4 m)	50,4	9,0	0,00	534	0,47	40	1	0
	MPJ18- MPJ17 (50,4- 200,2 m)	149,8	9,0	0,00	777	5,18	40	0	0
DUDULLU		173,4	8,0	4,30	842	3,96	82	1	0
AVCILAR		77,4	15,5	3,30	300	5,71	57	1	0



Şekil 5.2 : Mikrotünel projeleri bazında ortalama birim sürtünme kuvvetleri.

Kurbağalıdere ve Nakkaşdere’de 1 projede , Küçükköy’de 2 projede, ve Çırpıcı’da 3 projede kayganlaştırıcı kullanılmıştır, Avcılar’da ve Dudullu’da da kayganlaştırıcı kullanılmıştır, itme kuvvetinin yüksekliğinden ve itiş uzunluğundan dolayı Nakkaşdere’de 1 projede (132 metre uzunluğundaki N3-N4 sürüşü) ara itme istasyonu kullanılmıştır. Dudullu’da ve Çırpıcı’da 1 projede (200,2 metre uzunluğundaki MPJ18 – MPJ17 sürüşü) ara itme istasyonu yerleştirilmiş, ancak kullanılmamıştır.

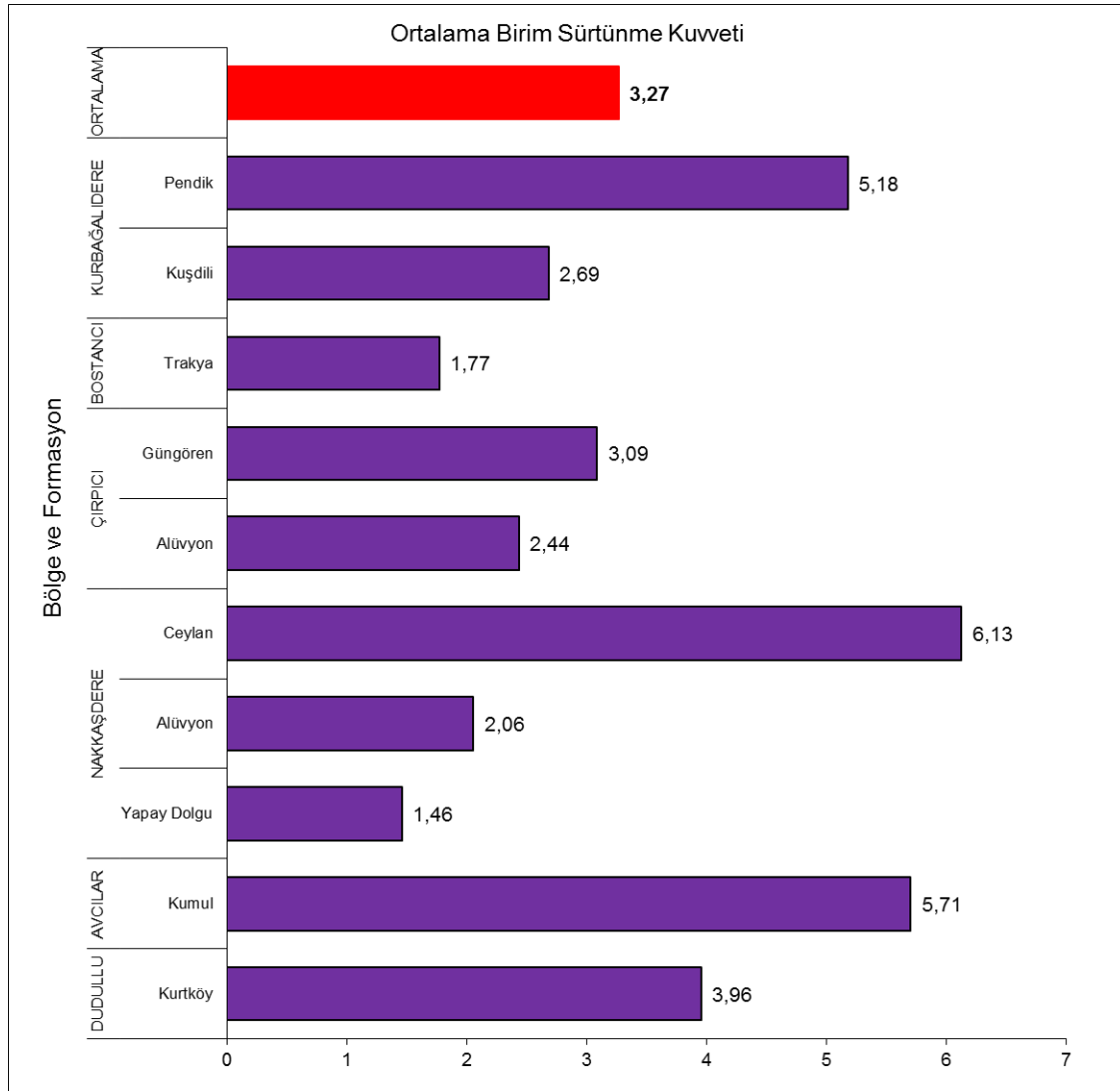
Şekil 5.3’de tüm formasyonların ortalama birim sürtünme kuvvetleri büyükten küçüğe doğru verilmiştir ve Çizelge 5.2’de sürüş, litoloji bazında detaylandırılmıştır. Şekil 5.4’de bölgeler bazında ve Çizelge 5.3’de bölgeler ve TCR değerleri ile beraber detaylandırılmıştır. Tüm formasyonların ortalama birim sürtünme kuvvetleri 3,27 tonf/m olarak hesaplanmıştır, bu hesaplamalarda ağırlıklı ortalama kullanılmıştır ve hem bentonit yağlayıcı hem de yağlayıcısız uygulamalar beraber ortalamaya katılmıştır.



Şekil 5.3 : Tüm formasyonlara göre ortalama birim sürtünme kuvvetleri.

Çizelge 5.2 : Tüm formasyonlara göre ortalama birim sürtünme kuvvetleri.

Formasyon	Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Litoloji	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti tonf/m	Bentonit Evet 1 Hayır 0
Trakya	402-401 (KURBAĞALIDERE)	89,9	Şeyl	1,77	1
	400-389 (KURBAĞALIDERE)	81,4	Kil	1,36	0
	389-388 (KURBAĞALIDERE)	80,8	Kil-Kum	2,73	0
Kuşdili	388-387 (KURBAĞALIDERE)	77,6	Kil	4,04	0
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,69	
Pendik	M15-1-M15-2 (BOSTANCI)	83,0	Şeyl	4,43	0
	M29A-M29B (BOSTANCI)	125,4	Şeyl	3,55	0
	M14-2 M15 (BOSTANCI)	57,4	Kil	9,28	0
	M15 , M15-1 (BOSTANCI)	97,8	Kil	5,50	0
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			5,18	
Ceylan	N3-N5 (NAKKAŞDERE)	21,7	Kil	6,13	1
Yapay dolgu	N3-N4 (NAKKAŞDERE)	86,0	Dolgu	1,46	1
	N3-N4 (NAKKAŞDERE)	24,3	Kil	6,13	1
	N5-N4 (NAKKAŞDERE)	101,7	Kil	1,65	0
	N2-N3 (NAKKAŞDERE)	60,2	Kil	3,68	0
Alüvyon	N16-N16A (NAKKAŞDERE)	113,6	Kil	0,69	0
	MPJ3-MPJ4 (ÇIRPICI)	119,5	Kil	2,75	0
	MPJ18-MPJ19 (ÇIRPICI)	66,0	Kil	1,88	0
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,20	
	MPJ2-MPJ3 (ÇIRPICI)	128,6	Kil	2,86	0
	MPJ2-MPJ1 (ÇIRPICI)	49,6	Kil	4,29	0
	MPJ2-MPJ1 (ÇIRPICI)	81,7	Kil	0,58	1
	MPJ8-MPJ9 (ÇIRPICI)	105,2	Kil	3,57	1
Güngören	MPJ5-MPJ6 (ÇIRPICI)	95,8	Kil	2,50	0
	MPJ18-MPJ17 (ÇIRPICI)	50,4	Kil	0,47	1
	MPJ18-MPJ17 (ÇIRPICI)	149,8	Kil	5,18	0
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			3,09	
Kurtköy	DUDULLU	173,4	Arkozik Kumtaşı	3,96	1
Kumul	AVCILAR	77,4	Kumul	5,71	1
Sürüş uzunluğu ve Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti		2.198,1		3,27	

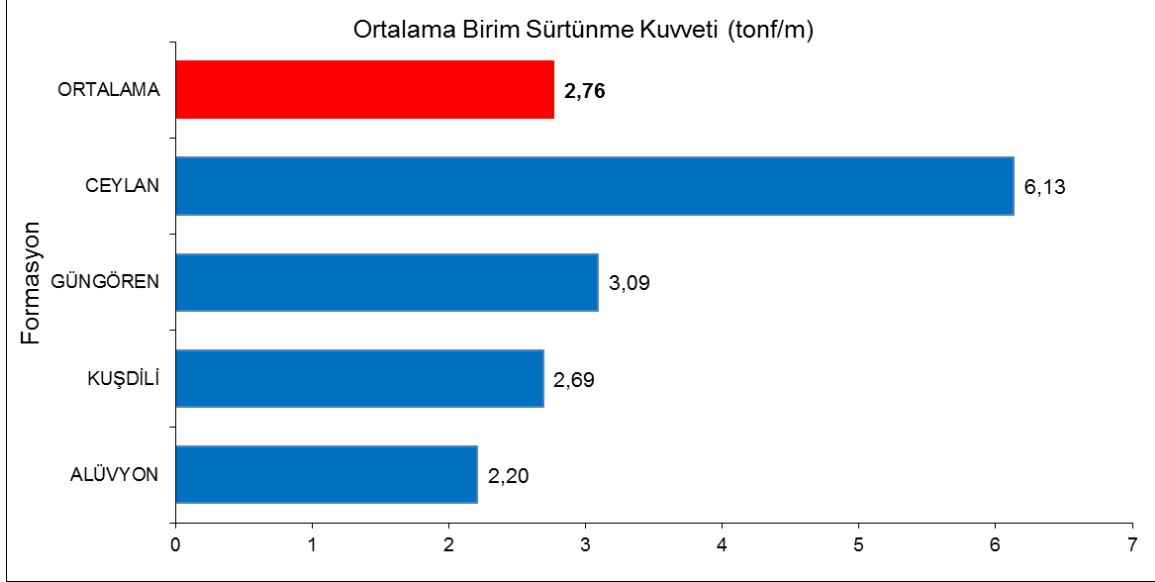


Şekil 5.4 : Bölgelere göre tüm formasyonların ortalama birim sürtünme kuvvetleri.

Çizelge 5.3 : Bölgelere göre tüm formasyonların ortalama birim sürtünme kuvvetleri ve TCR (%) değerleri.

Hat	Kuyular	Formasyon	Litoloji	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti	TCR
				tonf/m	%
KURBAĞA LİDERE	402-401	Trakya	Şeyl	1,77	88
	400-389	Kuşdili	Kil	1,36	56
	389-388	Kuşdili	Kil-Kum	2,73	75
	388-387	Kuşdili	Kil	4,04	33
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,44	
BOSTANCI	M14-2 M15	Pendik	Şeyl	9,28	62
	M15 , M15-1	Pendik	Şeyl	5,50	62
	M15-1-M15-2	Pendik	Şeyl	4,43	62
	M29A-M29B	Pendik	Şeyl	3,55	62
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			5,18	
NAKKAŞDERE	N3-N4	Alüvyon	Kil	6,13	38
	N3-N4	Ceylan	Kil	6,13	17
	N3-N4	Yapay Dolgu	Dolgu	1,46	76
	N5-N4	Alüvyon	Kil	1,65	100
	N2-N3	Alüvyon	Kil	3,68	100
	N16-N16A	Alüvyon	Kil	0,69	100
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,15	
ÇİRPİCI	MPJ3-MPJ4	Alüvyon	Kil	2,75	50
	MPJ3-MPJ4	Alüvyon	Kil	2,75	68
	MPJ2-MPJ3	Güngören	Kil	2,86	63
	MPJ-2 MPJ-1 (0-49,55 m)	Güngören	Kil	4,29	60
	MPJ-2 MPJ-1 (49,55-131,2 m)	Güngören	Kil	0,58	60
	MPJ18-MPJ19	Alüvyon	Kil	1,88	60
	MPJ8-MPJ9	Güngören	Kil	3,57	60
	MPJ5-MPJ6	Güngören	Kil	2,50	65
	MPJ18- MPJ17 (0-50,4 m)	Güngören	Kil	0,47	50
	MPJ18- MPJ17 (50,4- 200,2 m)	Güngören	Kil	5,18	50
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,95	
DUDULLU		Kurtköy	Arkozik Kumtaşı	3,96	87
AVCILAR		Kumul	Kumul	5,71	100
Sürüş uzunluğu ve Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti				3,27	

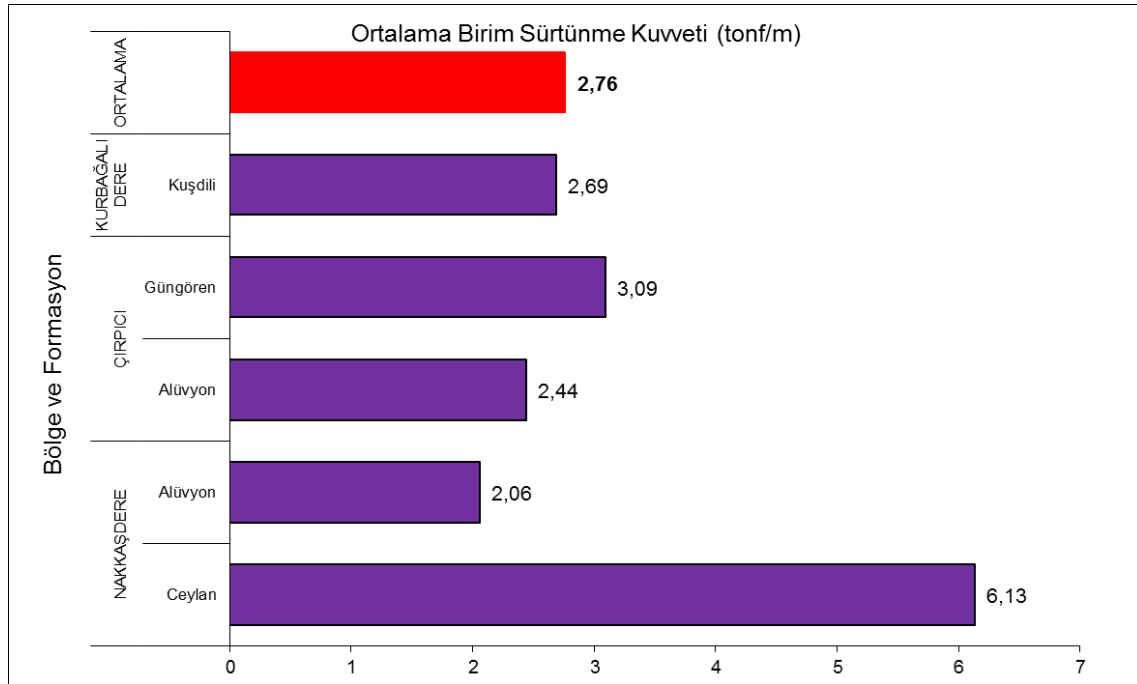
Şekil 5.5’de kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri büyükten küçüğe doğru verilmiştir ve Çizelge 5.4’de sürüş, litoloji bazında detaylandırılmıştır. Şekil 5.6 ve Çizelge 5.5’de bölgeler bazında TCR değerleri ile beraber detaylandırılmıştır. Killi zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri 2,76 tonf/m olarak hesaplanmıştır (hesaplamalarda ağırlıklı ortalama kullanılmıştır).



Şekil 5.5 : Formasyonlara göre kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.

Çizelge 5.4 : Formasyonlara göre kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.

Formasyon	Kuyular	Litoloji	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti tonf/m	Bentonit Evet 1 Hayır 0
Kuşdili	400-389 (KURBAĞALIDERE)	Kil	1,36	0
	389-388 (KURBAĞALIDERE)	Kil-Kum	2,73	0
	388-387 (KURBAĞALIDERE)	Kil	4,04	0
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti		2,69	
Ceylan	N3-N5 (NAKKAŞDERE)	Kil	6,13	0
	N3-N4 (NAKKAŞDERE)	Kil	6,13	0
	N5-N4 (NAKKAŞDERE)	Kil	1,65	0
	N2-N3 (NAKKAŞDERE)	Kil	3,68	0
	N16-N16A (NAKKAŞDERE)	Kil	0,69	0
	MPJ3-MPJ4 (ÇIRPICI)	Kil	2,75	0
	MPJ18-MPJ19 (ÇIRPICI)	Kil	1,88	0
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti		2,20	
Güngören	MPJ2-MPJ3 (ÇIRPICI)	Kil	2,86	0
	MPJ2-MPJ1 (ÇIRPICI)	Kil	4,29	0
	MPJ2-MPJ1 (ÇIRPICI)	Kil	0,58	1
	MPJ8-MPJ9 (ÇIRPICI)	Kil	3,57	1
	MPJ5-MPJ6 (ÇIRPICI)	Kil	2,50	0
	MPJ18-MPJ17 (ÇIRPICI)	Kil	0,47	1
	MPJ18-MPJ17 (ÇIRPICI)	Kil	5,18	0
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti		3,09	
Sürüş uzunluğu ve Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,76	

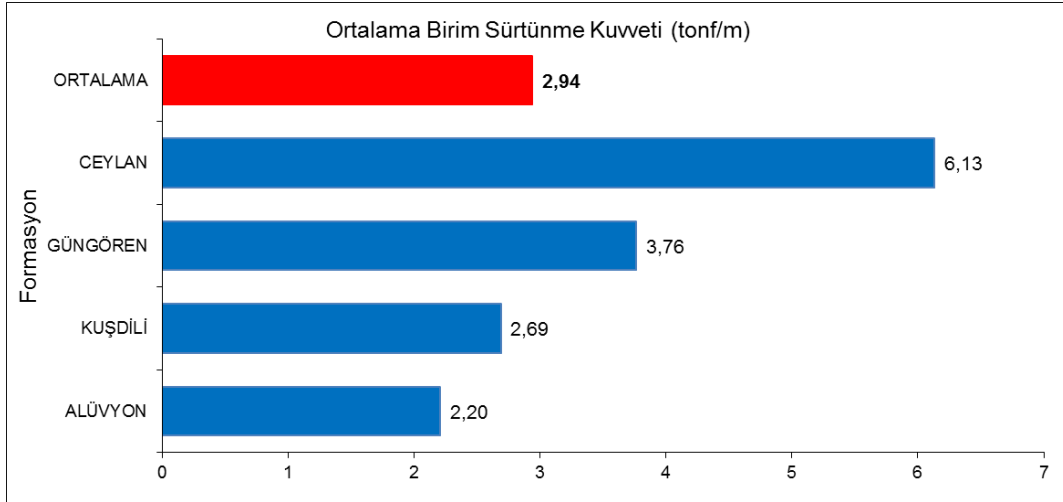


Şekil 5.6 : Bölgelere göre kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.

Çizelge 5.5 : Bölgelere göre kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri ve TCR (%) değerleri.

Hat	Kuyular	Formasyon	Litoloji	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti tonf/m	TCR %	Bentonit Evet 1 Hayır 0
KURBAĞALI DERE	400-389	Kuşdili	Kil	1,36	56	0
	389-388	Kuşdili	Kil-Kum	2,73	75	0
	388-387	Kuşdili	Kil	4,04	33	0
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,69		
NAKKAŞDERE	N3-N4 (0-24,3 m)	Alüvyon	Kil	6,13	38	0
	N3-N4 (24,3-46 m)	Ceylan	Kil	6,13	17	0
	N5-N4	Alüvyon	Kil	1,65	100	0
	N2-N3	Alüvyon	Kil	3,68	100	0
	N16-N16A	Alüvyon	Kil	0,69	100	0
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,33		
ÇIRPICI	MPJ3-MPJ4 (0-47,94 m)	Alüvyon	Kil	2,75	50	0
	MPJ3-MPJ4 (47,94- 119,5 m)	Alüvyon	Kil	2,75	68	0
	MPJ2-MPJ3	Güngören	Kil	2,86	63	0
	MPJ-2 MPJ-1 (0-49,55 m)	Güngören	Kil	4,29	60	0
	MPJ-2 MPJ-1 (49,55-131,2 m)	Güngören	Kil	0,58	60	1
	MPJ18-MPJ19	Alüvyon	Kil	1,88	60	0
	MPJ8-MPJ9	Güngören	Kil	3,57	60	1
	MPJ5-MPJ6	Güngören	Kil	2,50	65	0
	MPJ18- MPJ17 (0-50,4 m)	Güngören	Kil	0,47	50	1
	MPJ18- MPJ17 (50,4- 200,2 m)	Güngören	Kil	5,18	50	0
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,95		
Sürüş uzunluğu ve Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,76			

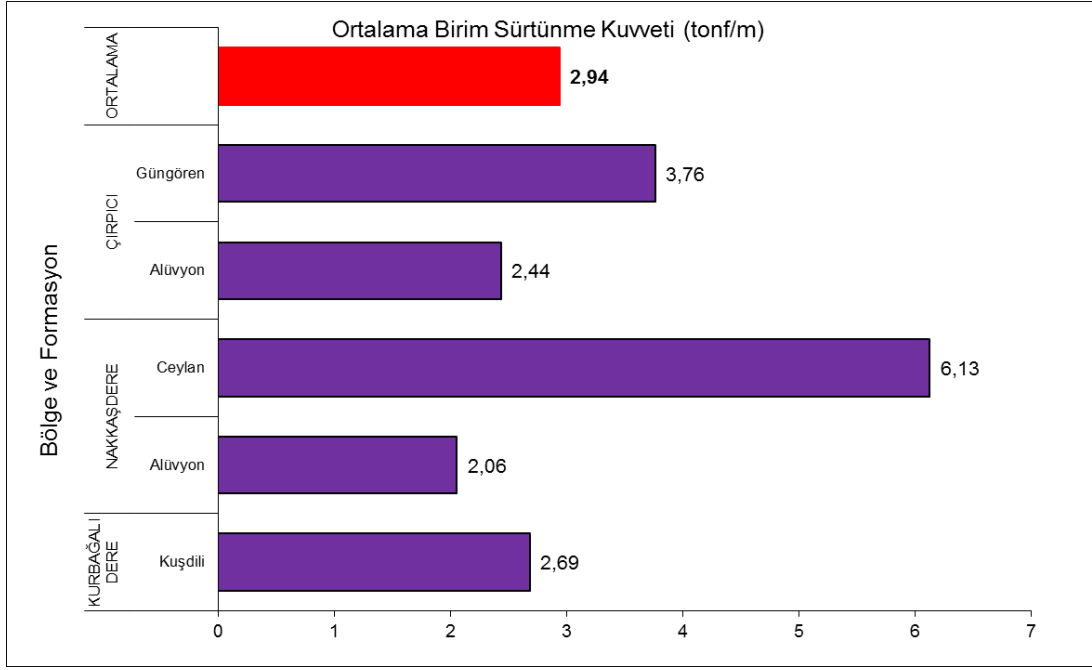
Şekil 5.7’de bentonit kullanılmayan kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri büyükten küçüğe doğru verilmiştir ve Çizelge 5.6’da sürüş, formasyon bazında detaylandırılmıştır. Şekil 5.8 ve Çizelge 5.7’de bölgeler bazında TCR değerleri ile beraber detaylandırılmıştır. Bentonit kullanılmayan killi zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri 2,94 tonf/m olarak hesaplanmıştır (hesaplamalarda ağırlıklı ortalama kullanılmıştır).



Şekil 5.7 : Formasyonlara göre bentonit kullanılmayan kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.

Çizelge 5.6 : Formasyonlara göre bentonit kullanılmayan kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.

Formasyon	Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Litoloji	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti tonf/m
Kuşdili	400-389 (KURBAĞALIDERE)	81,4	Kil	1,36
	389-388 (KURBAĞALIDERE)	80,8	Kil-Kum	2,73
	388-387 (KURBAĞALIDERE)	77,6	Kil	4,04
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,69
Ceylan	N3-N5 (NAKKAŞDERE)	21,7	Kil	6,13
	N3-N4 (NAKKAŞDERE)	24,3	Kil	6,13
	N5-N4 (NAKKAŞDERE)	101,7	Kil	1,65
	N2-N3 (NAKKAŞDERE)	60,2	Kil	3,68
	N16-N16A (NAKKAŞDERE)	113,6	Kil	0,69
	MPJ3-MPJ4 (ÇIRPICI)	119,5	Kil	2,75
	MPJ18-MPJ19 (ÇIRPICI)	66,0	Kil	1,88
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,20
Güngören	MPJ2-MPJ3 (ÇIRPICI)	128,6	Kil	2,86
	MPJ2-MPJ1 (ÇIRPICI)	49,6	Kil	4,29
	MPJ5-MPJ6 (ÇIRPICI)	95,8	Kil	2,50
	MPJ18-MPJ17 (ÇIRPICI)	149,8	Kil	5,18
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			3,76
Sürüş uzunluğu ve Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti		1.170,6		2,94



Şekil 5.8 : Bölgelere göre bentonit kullanılmayan kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.

Çizelge 5.8’de bentonit kullanılan kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri verilmiştir. Güngören Formasyonu’nda bentonit kullanılan killi zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri 1,88 tonf/m olarak hesaplanmıştır (hesaplamalarda ağırlıklı ortalama kullanılmıştır). Çırpıcı’daki MPJ8-MPJ9 sürüşünde, aynı bölgede ve aynı formasyon ve litolojide diğerlerine göre daha yüksek (3,57 tonf/m) birim sürtünme değeri olması, kayıtlarda bentonit kullanımı ile ilgili bir hata olabileceğini veya bentonit uygulamasındaki yetersizliği göstermektedir.

Çizelge 5.7 : Bölgelere göre bentonit kullanılmayan kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri ve TCR (%) değerleri.

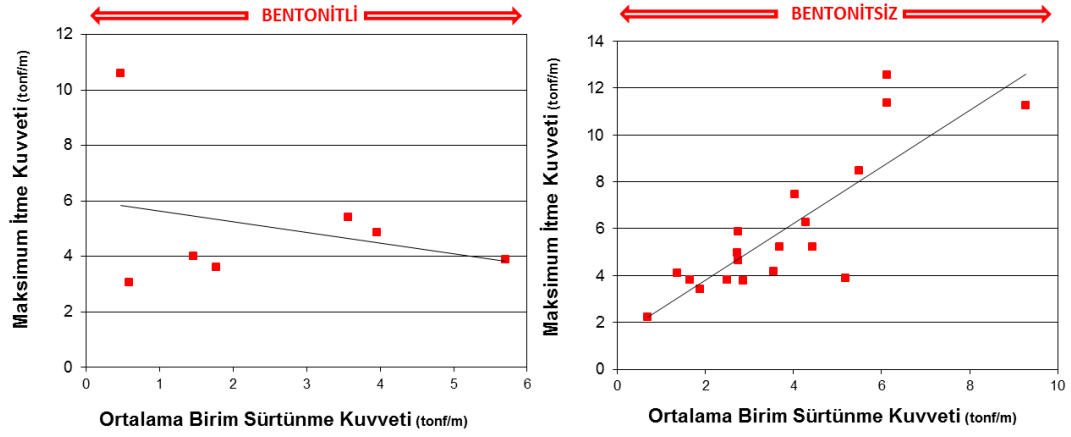
Hat	Kuyular	Formasyon	Litoloji	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti tonf/m	TCR %
KURBAĞALI DERE	400-389	Kuşdili	Kil	1,36	56
	389-388	Kuşdili	Kil-Kum	2,73	75
	388-387	Kuşdili	Kil	4,04	33
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,69	
NAKKAŞDERE	N3-N4 (0-24,3 m)	Alüvyon	Kil	6,13	38
	N3-N4 (24,3-46 m)	Ceylan	Kil	6,13	17
	N5-N4	Alüvyon	Kil	1,65	100
	N2-N3	Alüvyon	Kil	3,68	100
	N16-N16A	Alüvyon	Kil	0,69	100
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			2,33	
ÇIRPICI	MPJ3-MPJ4 (0-47,94 m)	Alüvyon	Kil	2,75	50
	MPJ3-MPJ4 (47,94- 119,5 m)	Alüvyon	Kil	2,75	68
	MPJ2-MPJ3	Güngören	Kil	2,86	63
	MPJ-2 MPJ-1 (0-49,55 m)	Güngören	Kil	4,29	60
	MPJ18-MPJ19	Alüvyon	Kil	1,88	60
	MPJ5-MPJ6	Güngören	Kil	2,50	65
	MPJ18- MPJ17 (50,4- 200,2 m)	Güngören	Kil	5,18	50
	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti			3,36	
Sürüş uzunluğu ve Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti				2,94	

Çizelge 5.8 : Formasyonlara göre bentonit kullanılan kil zeminlerin ortalama birim sürtünme kuvvetleri.

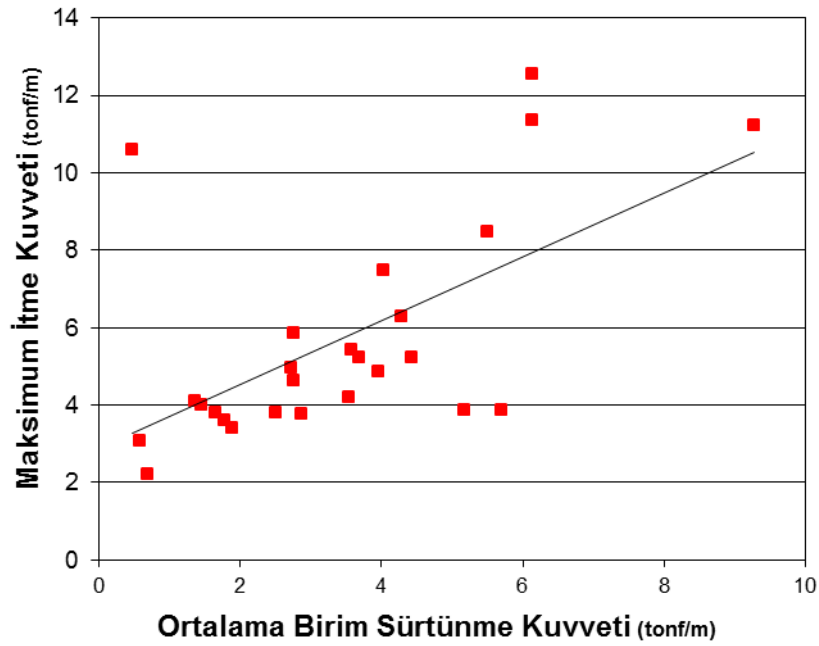
Formasyon	Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Litoloji	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti tonf/m
Güngören	MPJ2-MPJ1 (ÇIRPICI)	81,7	Kil	0,58
	MPJ8-MPJ9 (ÇIRPICI)	105,2	Kil	3,57
	MPJ18-MPJ17 (ÇIRPICI)	50,4	Kil	0,47
Sürüş uzunluğu ve Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti		237,2		1,88

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da maksimum itme kuvvetlerinin (Çizelge 5.1) bentonit kullanılan, kullanılmayan ve genel durumlar için ortalama birim sürtünme kuvveti ile ilişkisi verilmiştir.

Maksimum itme kuvveti, ortalama birim sürtünme kuvveti ve derinlik verileri Çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

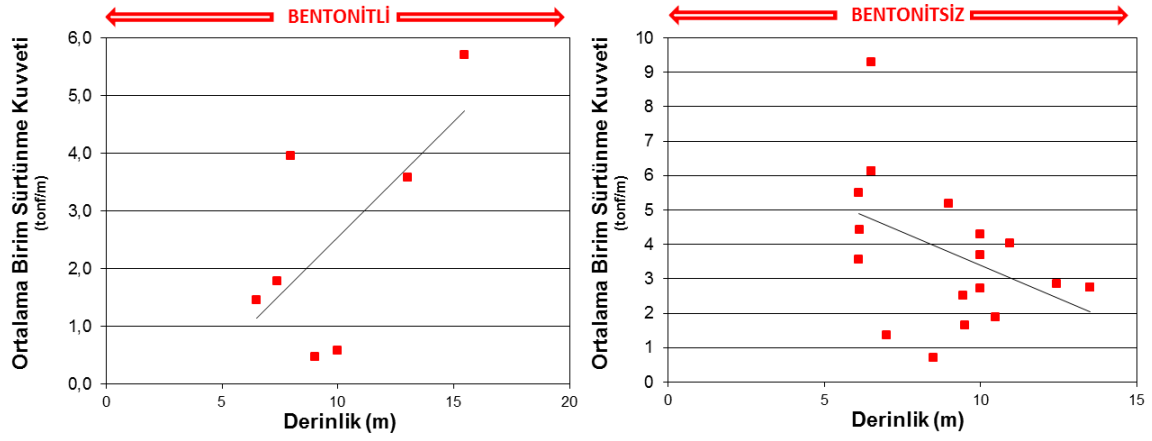


şekil 5.9 : Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerdeki maksimum itme kuvveti ve ortalama birim sürtünme kuvvetleri arasındaki ilişki.

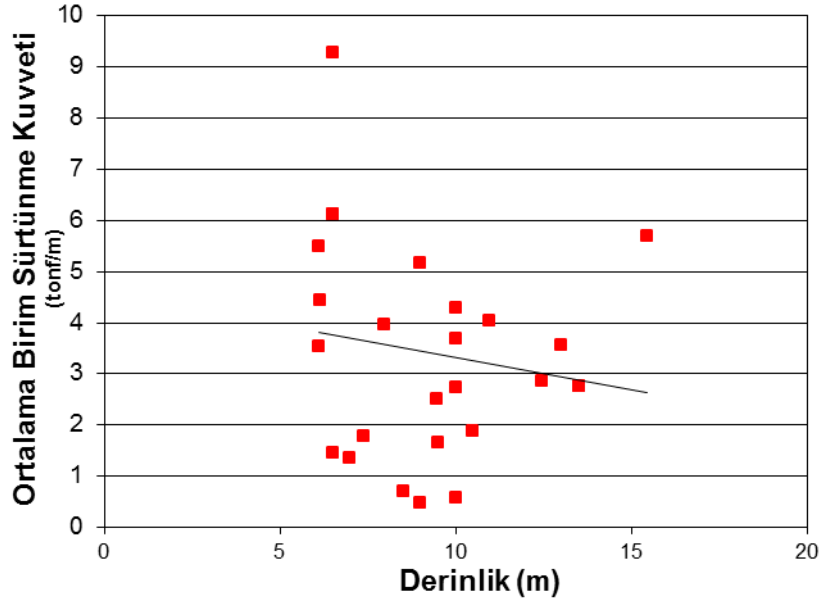


şekil 5.10 : Maksimum itme kuvveti ve ortalama birim sürtünme kuvvetleri arasındaki ilişki (Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerin hepsi).

şekil 5.11 ve şekil 5.12’de ortalama birim sürtünme kuvvetlerinin bentonit kullanılan, kullanılmayan ve genel durumlar için mikrotünel derinliği ile ilişkisi verilmiştir. Derinlik arttıķa ortalama birim sürtünme kuvveti genel olarak azalmaktadır, ancak ilişki düşük seviyededir.

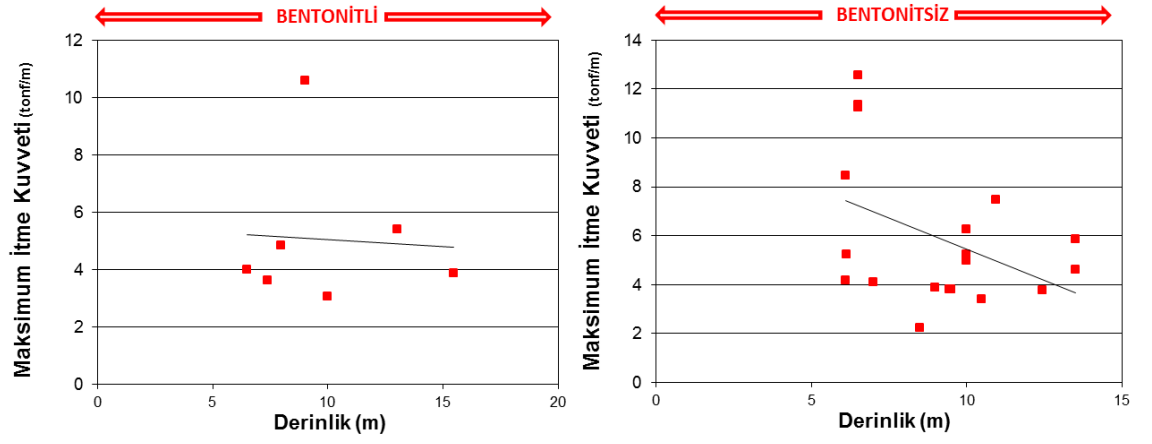


Şekil 5.11 : Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerdeki ortalama birim sürtünme kuvvetleri ile derinlik arasındaki ilişki.

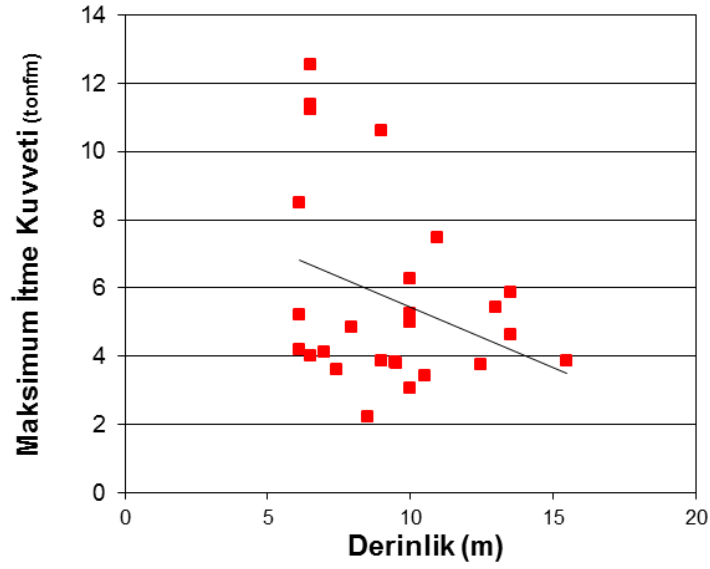


Şekil 5.12 : Ortalama birim sürtünme kuvvetleri ile derinlik arasındaki ilişki (Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerin hepsi).

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de maksimum sürtünme kuvvetlerinin bentonit kullanılan, kullanılmayan ve genel durumlar için mikrotünel derinliği ile ilişkisi verilmiştir. Derinlik ile maksimum itme kuvvetleri arasındaki ilişki çok düşük seviyededir.



Şekil 5.13 : Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerdeki maksimum itme kuvvetleri ile derinlik arasındaki ilişki.



Şekil 5.14 : Maksimum itme kuvvetleri ile derinlik arasındaki ilişki (Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerin hepsi).

Çizelge 5.9 : Bentonit kullanılan ve kullanılmayan zeminlerdeki itme kuvvetleri ile derinlikler.

	Kuyular	Kuyular	Formasyon	Litoloji	Maksimum İtme Kuvveti	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti	Tünel Tavan Derinliği	Yeraltı Su Seviyesi Derinliği
					tonf	tonf/m	(m)	(m)
BENTONİT KULLANILAN	KURBAĞALIDERE-1	402-401	Trakya	Şeyl	325	1,77	7,4	4,0
	NAKKAŞDERE-1	N3-N4 (46-132 m)	Yapay Dolgu	Dolgu	528	1,46	6,5	1,7
	DUDULLU	DUDULLU	Kurtköy	Arkozik Kumtaşı	842	3,96	8,0	4,3
	AVCILAR	AVCILAR	Kumul	Kumul	300	5,71	15,5	3,3
	ÇİRPICI-3	MPJ-2 MPJ-1 (49,55-131,2 m)	Güngören	Kil	402	0,58	10,0	5,5
	ÇİRPICI-7	MPJ18- MPJ17 (0-50,4 m)	Güngören	Kil	534	0,47	9,0	0,0
	ÇİRPICI-5	MPJ8-MPJ9	Güngören	Kil	570	3,57	13,0	6,5
	NAKKAŞDERE-2	N5-N4	Alüvyon	Kil	387	1,65	9,5	4,0
	NAKKAŞDERE-3	N2-N3	Alüvyon	Kil	315	3,68	10,0	4,0
	NAKKAŞDERE-4	N16-N16A	Alüvyon	Kil	252	0,69	8,5	4,0
BENTONİT KULLANILMAYAN	ÇİRPICI-1	MPJ3-MPJ4 (0-47,94 m)	Alüvyon	Kil	222	2,75	13,5	6,5
	ÇİRPICI-1	MPJ3-MPJ4 (47,94- 119,5 m)	Alüvyon	Kil	700	2,75	13,5	6,5
	ÇİRPICI-2	MPJ2-MPJ3	Güngören	Kil	485	2,86	12,5	6,7
	ÇİRPICI-3	MPJ-2 MPJ-1 (0-49,55 m)	Güngören	Kil	311	4,29	10,0	5,5
	ÇİRPICI-4	MPJ18-MPJ19	Alüvyon	Kil	225	1,88	10,5	5,5
	ÇİRPICI-6	MPJ5-MPJ6	Güngören	Kil	366	2,50	9,5	0,0
	ÇİRPICI-7	MPJ18- MPJ17 (50,4- 200,2 m)	Güngören	Kil	777	5,18	9,0	0,0
	KURBAĞALIDERE-2	400-389	Kuşdili	Kil	334	1,36	7,0	3,5
	KURBAĞALIDERE-3	389-388	Kuşdili	Kil- Kum	402	2,73	10,0	0,0
	KURBAĞALIDERE-4	388-387	Kuşdili	Kil	580	4,04	11,0	0,0
	BOSTANCI-1	M14-2 M15	Pendik	Şeyl	645	9,28	6,5	2,3
	BOSTANCI-2	M15 , M15-1	Pendik	Şeyl	829	5,50	6,1	2,3
	BOSTANCI-3	M15-1-M15-2	Pendik	Şeyl	434	4,43	6,1	2,3
	BOSTANCI-4	M29A-M29B	Pendik	Şeyl	525	3,55	6,1	2,3
	NAKKAŞDERE-1	N3-N4 (0-24,3 m)	Alüvyon	Kil	305	6,13	6,5	1,7
	NAKKAŞDERE-1	N3-N4 (24,3-46 m)	Ceylan	Kil	523	6,13	6,5	1,7

5.3 Sürtünme Kuvveti Tahmini için Ampirik Bir Modelin Geliştirilmesi

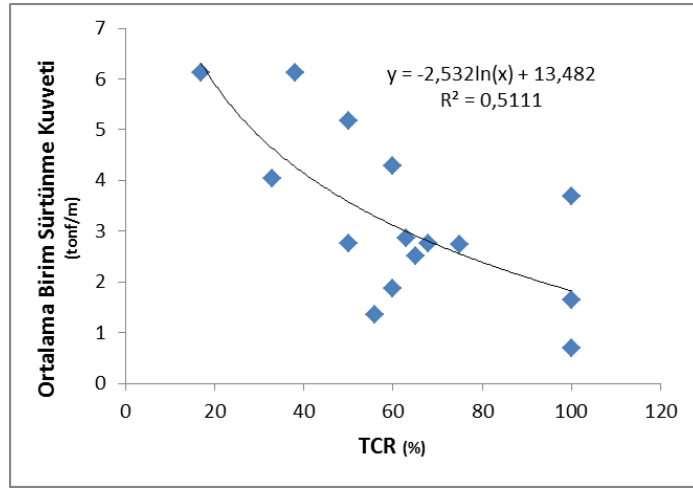
Birim sürtünme kuvveti bağımlı değişkeni üzerinde bağımsız değişkenlerinin (doğal nem içeriği, plastisite indeksi, likit limit, plastik limit, SPT ve TCR) etkisinin belirlenmesi amacıyla regresyon analizi yapılmıştır.

Çizelge 4.17'deki veriler kullanılarak yapılan analizlerde en iyi ilişkiyi TCR değeri vermiştir (Şekil 5.15). Bentonit kullanılan sürüş örneklerinin fazla olmaması ve düşük ilişki

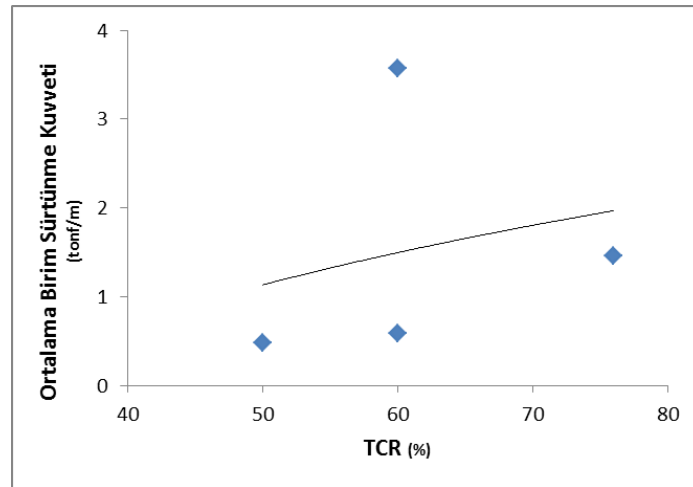
göstermesinden dolayı (Şekil 5.16) bentonit kullanılmayan sürüşler için aşağıdaki logaritmik ilişki bulunmuştur:

$$\text{Birim sürtünme kuvveti (tonf/m)} = -2,532 \times \ln(\text{TCR} (\%)) + 13,482 \quad (5.1)$$

Sürtünme kuvveti tahmin modeli geliştirilirken kullanılan veriler ve modele göre bulunan birim sürtünme kuvveti değerleri Çizelge 5.10'da verilmiştir; Şekil 5.17'deki geçerlilik grafiği elde edilmiştir.



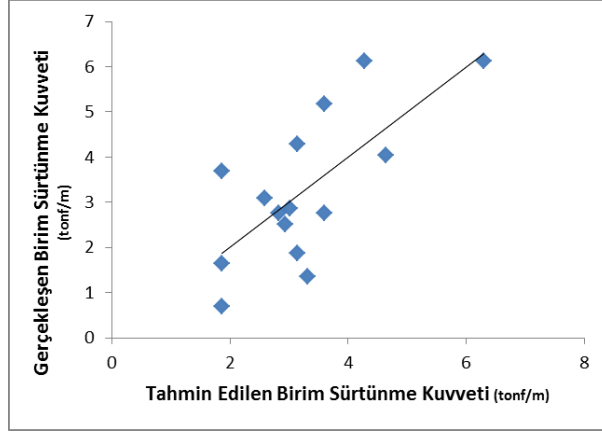
Şekil 5.15 : Ortalama birim sürtünme kuvveti ile TCR arasındaki ilişki (bentonit kullanılmayan sürüşler).



Şekil 5.16 : Ortalama birim sürtünme kuvveti ile TCR arasındaki ilişki (bentonit kullanılan sürüşler).

Çizelge 5.10 : Ortalama birim sürtünme kuvvet modelinde kullanılan proje, sondaj ve laboratuvar verileri.

Hat	Kuyular	Sürüş uzunluğu	Formasyon	Litoloji	SPT	TCR	Wn	LL	PL	PI	Kil- Silt	Kum	Çakıl	Ayna Basınç Kuvveti	Maksimum İtme Kuvveti	Ortalama Birim Sürtünme Kuvveti (tonf/m)	
		(m)			%	%	%	%	%	%	%	%	%	tonf	tonf	Fili	Hesap
KURBAĞA LİDERE	400-389	81,40	Kuşdili	Kil	2	56	38,5	32,8	15,5	17,3	76,26	21,08	2,66	93,31	334	1,36	3,29
	389-388	80,80	Kuşdili	Kil-Kum	2	75	39,1	36,3	15,6	20,7	58,30	37,72	3,98	51,49	402	2,73	2,55
	388-387	77,60	Kuşdili	Kil	2	33	35,0	24,5	16,2	8,3	38,02	57,77	4,21	52,45	580	4,04	4,63
NAKKAŞDERE	N3-N4 (0-24,3 m)	24,3	Alüvyon	Kil	13	38	19,0	21,6	14,6	7,0	47,13	52,87	0,00	69,50	305	6,13	4,27
	N3-N4 (24,3-46 m)	21,7	Ceylan	Kil	10	17	29,2	43,1	12,0	31,1	79,03	15,35	5,62	69,50	305	6,13	6,31
	N5-N4	101,70	Alüvyon	Kil	6	100	49,1	44,8	17,8	27,0	98,68	1,32	0,00	89,73	387	1,65	1,82
	N2-N3	60,20	Alüvyon	Kil	3	100	61,5	54,0	21,3	32,7	99,41	0,59	0,00	87,09	315	3,68	1,82
	N16-N16A	113,60	Alüvyon	Kil	3	100	61,5	54,0	21,3	32,7	99,41	0,59	0,00	61,86	252	0,69	1,82
ÇİRPİCI	MPJ3-MPJ4 (0-47,94 m)	47,94	Alüvyon	Kil	7	50	24,9	32,7	10,7	22,0	73,81	26,19	0,00	48,22	173	2,75	3,58
	MPJ3-MPJ4 (47,94- 119,5 m)	71,56	Alüvyon	Kil	10	68	23,5	32,7	10,2	22,5	68,99	31,01	0,00	48,22	222	2,75	2,80
	MPJ2-MPJ3	128,60	Güngören	Kil	10	63	48,1	81,7	18,6	63,1	98,47	1,53	0,00	63,09	485	2,86	2,99
	MPJ-2 MPJ-1 (0-49,55 m)	49,55	Güngören	Kil	42	60	28,7	40,2	12,2	28,0	76,05	23,95	0,00	59,24	311	4,29	3,12
	MPJ18-MPJ19	66,00	Alüvyon	Kil	20	60	24,4	21,3	12,4	8,9	43,52	54,71	1,77	73,85	225	1,88	3,12
	MPJ5-MPJ6	95,80	Güngören	Kil	18	65	35,2	80,2	15,0	65,2	98,85	1,15	0,00	35,37	366	2,50	2,91
	MPJ18- MPJ17 (50,4- 200,2 m)	149,8	Güngören	Kil	26	50	25,4	61,1	16,0	45,1	95,53	4,47	0,00	39,91	777	5,18	3,58



Şekil 5.17 : Sürtünme kuvveti tahmin modelinin geçerlilik grafikleri.

5.4 Geliştirilen Modelin Literatür İle Kıyaslanması ve Tartışma

Literatürde bulunan sürtünme kuvvetleri tahmin modelleri ile bu tezde geliştirilen tahmin modelinin sonuçları kıyaslanmıştır. Chapman ile Ichioka'nın [5] **(2.14-2.16)** ve Bennett ile Cording'in geliştirdiği [44] **(2.17)** bağıntılar kullanılmış hesaplamalar yapılmış ve modelden elde edilen sonuçlarla mukayese edilmiştir (Çizelge 5.11).

Sürtünme kuvvetlerinin saha değerleri, hesaplanan ve literatür ile karşılaştırılmaları Çizelge 5.10'da gösterilmiştir. Model ile fiili değer oranlarının ortalaması 1,23; eğer 2 ekstrem durum ihmal edilirse (2,4 ve 2,6) ortalama 1,03 olmaktadır, buna karşın Bennett ile Cording'in geliştirdiği model ile fiili değer oranlarının ortalaması 3,49; eğer 2 ekstrem durum ihmal edilirse (5,9 ve 11,5) ortalama 2,69, bunun yanısıra Chapman ile Ichioka'nın geliştirdiği model ile fiili değer oranlarının ortalaması 3,65; eğer 2 ekstrem durum ihmal edilirse (6,1 ve 12,1) ortalama 2,81 olmaktadır.

Fiili rakamlara en yakın değerleri tez kapsamında geliştirilen model, daha sonra sırasıyla Bennett ile Cording'in modeli ve Chapman ile Ichioka'nın modeli vermektedir. Ancak, belirtilmelidirki, Chapman ve Ichioka [5] modeli maksimum 1,22 m çaplı çamur basınçlı mikrotünel makineleri için geçerlidir. Oysaki bu tez kapsamında geliştirilen model 2,5 m çaplı bir makine için geliştirilmiştir.

Çizelge 5.11 : Birim sürtünme kuvvetlerinin fiili, hesaplanan ve diğer modellerle karşılaştırılması.

Hat	Kuyular	Sürtüş uzunluğu (m)	Formasyon	Litoloji	Toplam Sürtünme Kuvveti (tonf)					Model Hesap / Fiili	Bennett ve Cording / Fiili	Chapman ve Ichioka / Fiili
					Maksimum	Fiili	Hesap	Bennett - Cording	Chapman - Ichioka			
KURBAĞA LIDERE	400-389	81,40	Kuşdili	Kil	241	111	268	650	679	2,4	5,9	6,1
	389-388	80,80	Kuşdili	Kil-Kum	351	221	206	645	674	0,9	2,9	3,1
	388-387	77,60	Kuşdili	Kil	528	313	359	619	647	1,1	2,0	2,1
NAKKAŞDERE	N3-N4 (0-24,3 m)	24,3	Alüvyon	Kil	236	149	104	194	203	0,7	1,3	1,4
	N3-N4 (24,3-46 m)	21,70	Ceylan	Kil	454	133	137	173	181	1,0	1,3	1,4
	N5-N4	101,70	Alüvyon	Kil	297	168	185	812	849	1,1	4,8	5,1
	N2-N3	60,20	Alüvyon	Kil	228	222	110	480	502	0,5	2,2	2,3
	N16-N16A	113,60	Alüvyon	Kil	190	79	207	907	948	2,6	11,5	12,1
ÇİRPİCİ	MPJ3-MPJ4 (0-47,94 m)	47,94	Alüvyon	Kil	174	132	171	383	400	1,3	2,9	3,0
	MPJ3-MPJ4 (47,94- 119,5 m)	71,56	Alüvyon	Kil	652	197	200	571	597	1,0	2,9	3,0
	MPJ-2 MPJ-3	128,60	Güngören	Kil	422	368	385	1.026	1.073	1,0	2,8	2,9
	MPJ3-MPJ4 (47,94- 119,5 m)	71,56	Güngören	Kil	652	197	223	571	597	1,1	2,9	3,0
	MPJ-18 MPJ-19	66,00	Alüvyon	Kil-Kum	151	124	206	527	551	1,7	4,2	4,4
	MPJ-5 MPJ6	95,80	Güngören	Kil	331	240	279	765	799	1,2	3,2	3,3
	MPJ18- MPJ17 (50,4- 200,2 m)	149,8	Güngören	Kil	737	775	536	1.195	1.250	0,7	1,5	1,6

6. MİKROTÜNEL MALİYET ANALİZİ

Doğrudan maliyetlerin hesabı için bir örnek oluşturabilmek amacıyla maliyet türleri ana gruplara ayrılmıştır: Mikrotünel makinesi ile kazı, beton boru ve kuyu maliyetleri. Bu üç grup için birim maliyetler deterministik olarak hesaplanacaktır. 2000 mm iç çapındaki boru imalat maliyeti, 2496 mm kazı çapındaki slurry tip bir mikrotünel makinesi ile 1 m kazı maliyeti ve dikdörtgen kuyu maliyeti belirlenecektir. İhale bedeli ise, bu maliyetlerin toplamına bekleme giderleri (risk), kar ve genel işletme giderleri için belirli oranlar eklenerek bulunabilir. Hesaplamalar için gereken birim fiyatlar İller Bankası (2004) web sitesinden temin edilmiştir [78].

Maliyet hesaplamaları için makine, işçilik, malzeme ve nakliye maliyet hesaplamaları yapılmıştır [79].

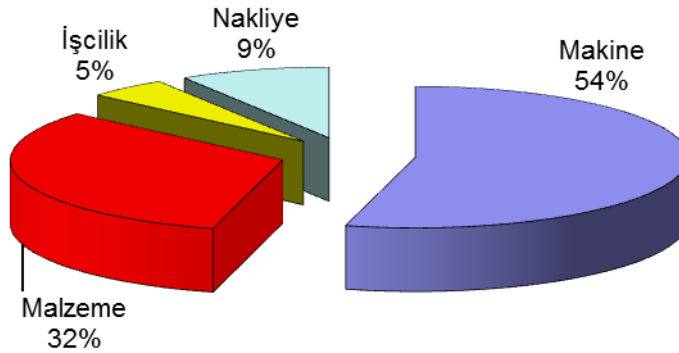
2000 mm iç çapında ve et kalınlığı 210 mm olan donatılı betonarme boru itme yöntemi ile mikrotünel açma maliyet analizi yapılmıştır. Mikrotünel makinesinin fiyatı, amortismanı, yedek parça, tamir bakım, sigorta, nakil, montaj, demontajını kapsayan hesaplamalar ve boru fabrikasının aynı faktörler için yapılan hesaplamaları kullanılmıştır [79,80].

Betonarme boru itme fiyat analizinde; mikrotünel makinesi, jeneratör, vinç, kompresör, elektrik motoru, enjeksiyon pompası birim fiyatları, makinenin satış fiyatı üzerinden amortisman, yedek parça, tamir-bakım, sigorta, nakil, montaj ve demontaj maliyetleri göz önüne alınarak yıllık 2000 saat çalışma ve amortisman süresi 6 yıl kabulü ile hesaplamalara etki etmiştir. Malzeme faktörü içinde; bentonit, su, mazot maliyetleri kullanılmıştır. İşçilik hesaplarında mikrotünel operatörü, operatör yardımcısı, makine işçileri, vinç makinisti, formen, topograf vs. saatlik çalışma süreleri kullanılmıştır. Nakliye hesaplarında, toprak nakli ve betonarme boru nakli kullanılmıştır (Çizelge 6.1, Şekil 6.1) [56,79,80,81,82].

Çizelge 6.1 : 1 metre boru itme (kazı) maliyeti [79].

YAPILAN İŞİN CİNSİ	MİKTAR (Saat)	BİRİM FİYATI (TL/Saat)	TUTAR (TL)
Φ 2000 (MTBM) Mikrotünel Makinesi	1,75	527,98	923,97
Jeneratör (600 KW)	2,10	11,26	23,65
Vinç (476HP, 80ton)	0,88	84,52	73,96
Elektrik Motoru	0,35	0,80	0,28
Kompresör (Vantilasyon)	0,18	3,37	0,59
Enjeksiyon Pompası	0,88	2,68	2,35
MAKİNE		Toplam:	1.024,78
MALZEME			611,01
İŞÇİLİK			89,47
NAKLİYE			168,75
1 METRE KAZI (BORU İTME) MALİYETİ			1.894,03

Buna göre, mikrotünel makinesi ile 1 m kazı / boru itme maliyeti 1894,03 TL olmaktadır (Çizelge 6.1). Maliyet içinde makine oranı % 54, malzeme oranı % 32, işçilik oranı % 5 ve nakliye oranı % 9 civarındadır (Şekil 6.1).



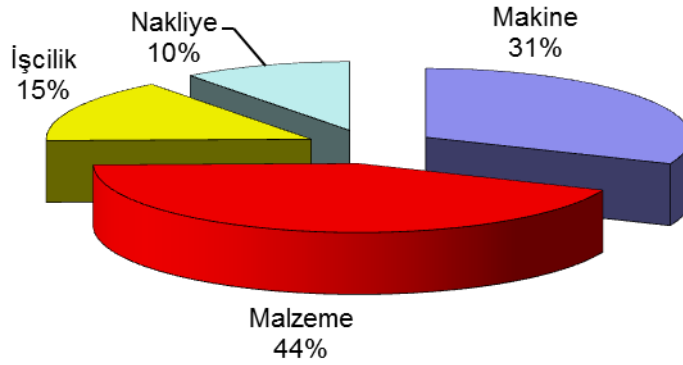
Şekil 6.1 : Bir metre boru itme (kazı) maliyet dağılımı.

Betonarme boru maliyetini hesaplariken, kullanılma miktarlarına göre çakıl, kum, çimento, su, donatı, vs. gibi malzemeler ve bunların nakliyesi ayrıca elektrik enerjisi, işçilik (operatör, formen, düz işçi, usta işçi) baz alındı (Çizelge 6.2) [79,80,82].

Çizelge 6.2 : Boru imal maliyeti [79].

YAPILAN İŞİN CİNSİ	MİKTAR (Saat)	BİRİM FİYATI (TL/Saat)	TUTAR (TL)
Φ1800-Φ2000 mm Boru Fabrikası	0,75	216,29	162,22
MAKİNE			162,22
MALZEME			224,57
İŞÇİLİK			77,81
NAKLİYELER			53,31
1 METRE BORU MALİYETİ			517,91

Buna göre, 2004 yılı fiyatlarıyla 1 m borunun üretim maliyeti 517,91 TL'dir. Maliyet içinde makine oranı % 31, malzeme oranı % 44, işçilik oranı % 15 ve nakliye oranı % 10 civarındadır (Şekil 6.2).



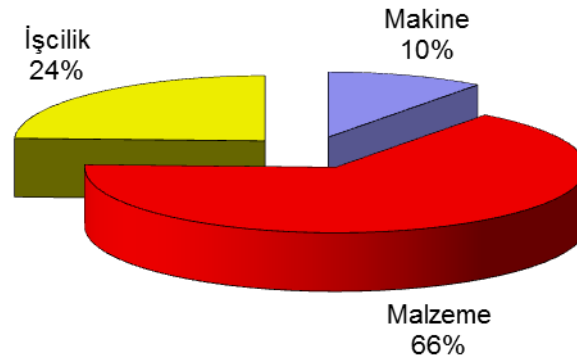
Şekil 6.2 : Boru imal maliyet dağılımı.

2000 mm iç çapındaki boruların döşenmesi esnasında kullanılan 4,5 m eninde, 6 m boyunda ve 11 m kazı yüksekliğinde (net inşaat yüksekliği 8,5 m) bir dikdörtgen kuyu (menhol) inşa maliyetleri hesaplanır. Kısa duvar kalınlığı 80 cm, uzun duvar kalınlığı 50 cm ve taban döşeme kalınlığı 50 cm'dir. Kuyu çift kapaklıdır. Analizde asfaltın kesilmesi, kazı yapılması, kazı malzeme nakli, demir ihtivasi, kaplama gibi faktörler ile makine, malzeme ile işçilik göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılmıştır (Çizelge 6.3) [79,80].

Buna göre, dikdörtgen kuyu maliyeti 55.674,62 TL olmaktadır (Çizelge 6.3, Şekil 6.3). Maliyet içinde makine oranı %10, işçilik oranı %24 ve malzeme oranı %66 civarındadır.

Çizelge 6.3 : 1.800-2.200 mm çaplı boru için dikdörtgen kuyu imal maliyeti[79].

YAPILAN İŞİN CİNSİ	MİKTARI	BİRİMİ	BİRİM FİYATI (TL)	TUTARI (TL)
Menhol Kazısı yapılması (Geri Dolgulu kazı)	632,502	m ³	7,25	4.585
Menhol Kazısı yapılması (Nakliyeli kazı)	461,89	m ³	6,96	3.217
Kazı Malzemesi Nakli	923,78	ton	6,98	6.451
C 25 Betonu	162,86	m ³	76,47	12.455
Nervürlü demir	13,029	ton	989,41	12.891
Nervürlü demir nakliyesi	13,68	ton	79,91	1.093
Diğer				12.874
MENHOL YAPILMASI			Toplam:	53.565
Asfalt kesilmesi	32,44	m	3,46	112
Asfalt altı betonu (=üst kazı alanı*0,15)	28,436	m ³	70,23	1.997
ÜSTYAPI TAMİRİ			Toplam:	2.109
TOPLAM TUTARI			Toplam:	55.675



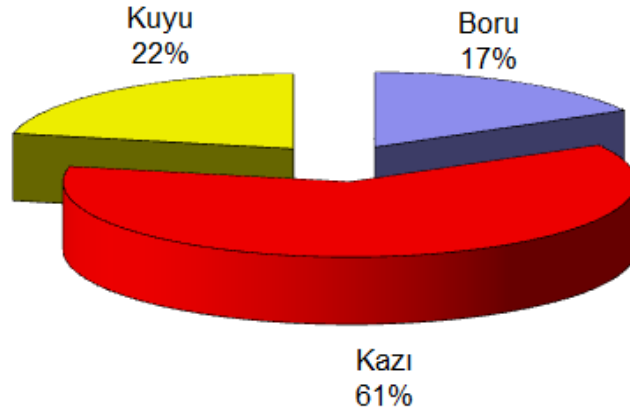
Şekil 6.3 : Kuyu imal maliyet dağılımı.

Mikrotünel makinesi ile boru itme, boru imalat maliyeti, kuyu maliyeti ve bunların bileşkesi olan proje maliyeti gerçekleşen verilerin korelasyonu ile bulunmuştur.

Birim fiyatlar tez kapsamında olan mikrotünellerin maliyetlerinden bulunmuş, bu birim fiyatlar üzerinden kazı performans tahminine göre (net kazı hızı ve MFO) oluşabilecek proje maliyetleri hesaplanmıştır.

Boru üretim, makineli kazı ve kuyu maliyetleri ortalama 500 m'lik hipotetik bir boru itme projesi için, 100 m kuyular arası mesafe (toplam 6 kuyu) kabulü ile toplam maliyet $1,54 \times 10^6$ TL olmaktadır. Bu maliyet içinde boru maliyetinin oranı %17, boru itme maliyeti %61 ve kuyu maliyeti %22 civarındadır (Şekil 6.4). Bu temel maliyet

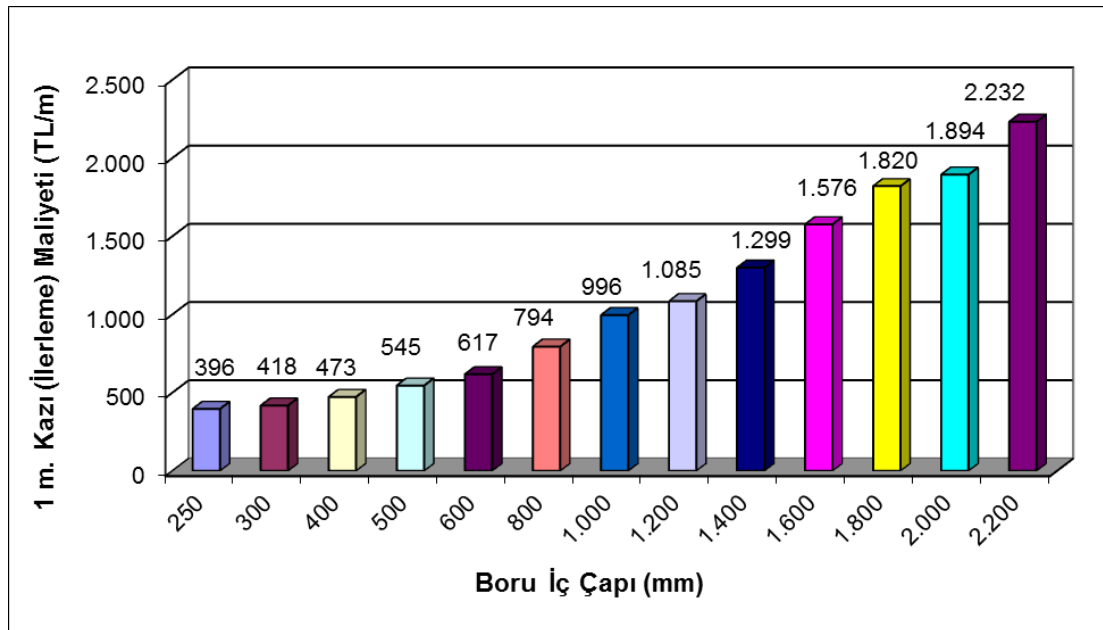
üzerine risk, işletme giderleri ve kar oranları da eklenerek boru sürme ile ilgili ihale birim fiyatı belirlenebilir.



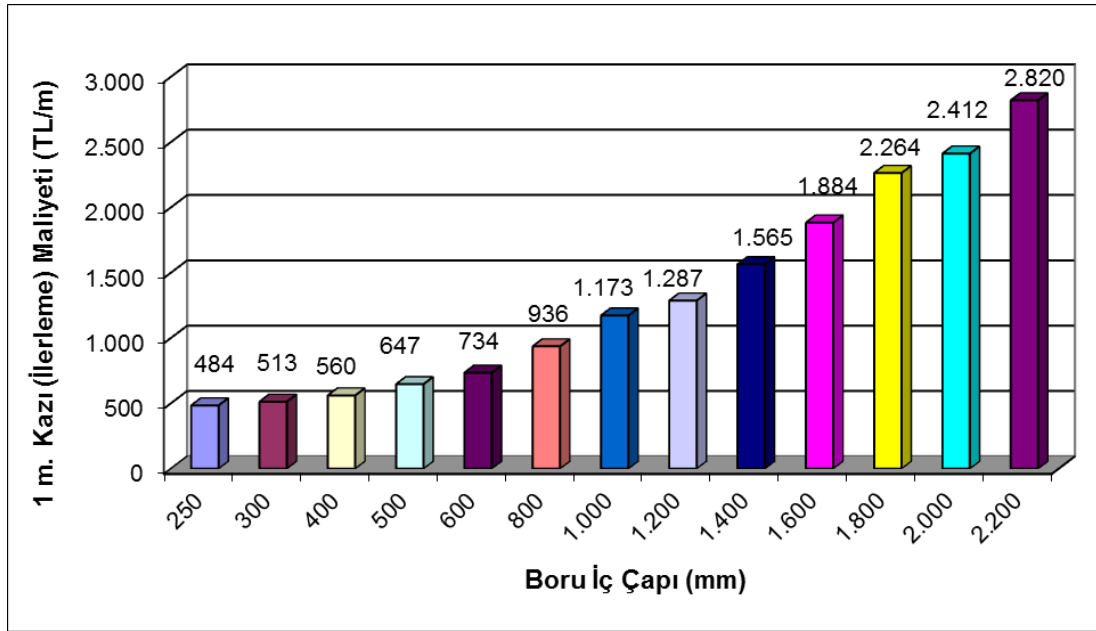
Şekil 6.4 : 500 m’lik hipotetik mikrotünel projesi ortalama maliyet yüzde dağılımı.

Değişik çaplardaki mikrotünellerin maliyet analizleri yapılmıştır; çapı 250 mm’den 2200 mm’ ye kadar olan mikrotünellerin birim ilerleme maliyetleri (Şekil 6.5- Şekil 6.6), boru imalat maliyeti (Şekil 6.7) ve kuyu birim maliyetleri (Şekil 6.8) birbirleriyle mukayese edilmiştir [79].

Değişik çaptaki mikrotünel açma makinelerinin birim ilerleme maliyet analizine göre boru çapı bir üst çapa geçtiğinde, ilerleme maliyetleri de ortalama %16 oranında artmaktadır (Şekil 6.5- Şekil 6.6).

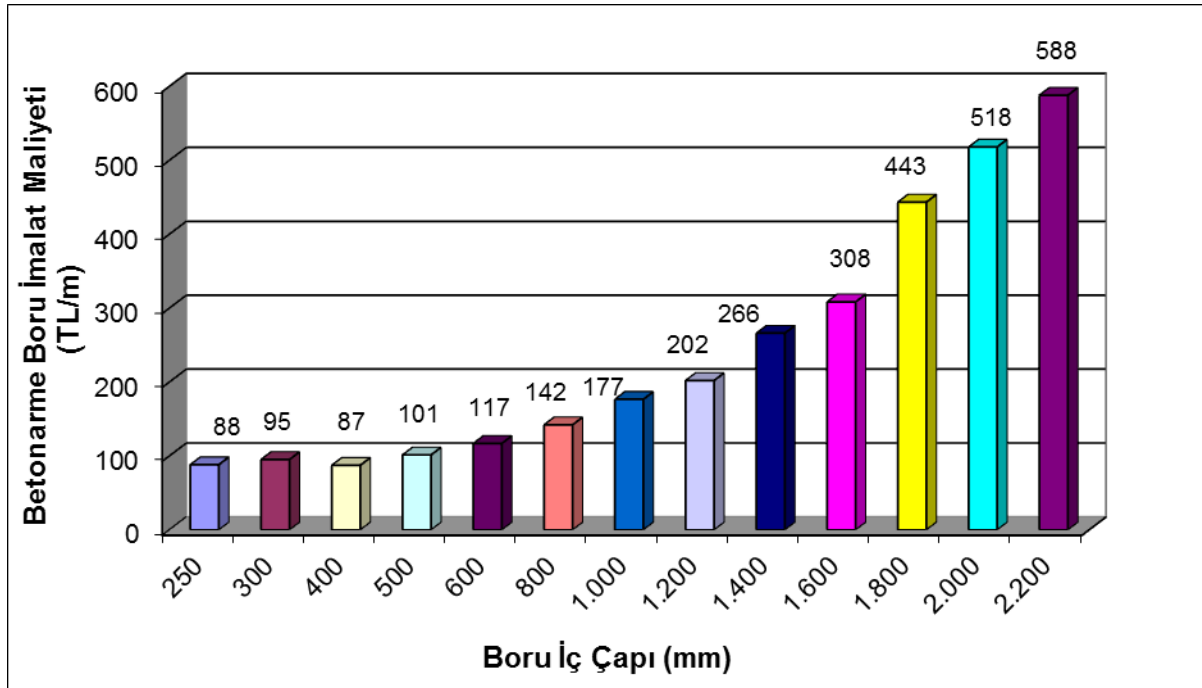


Şekil 6.5 : Değişik çaplarda açılan mikrotünellerin 1 metre ilerleme maliyet analizleri (karsız ve boru maliyeti dahil değil) [79].



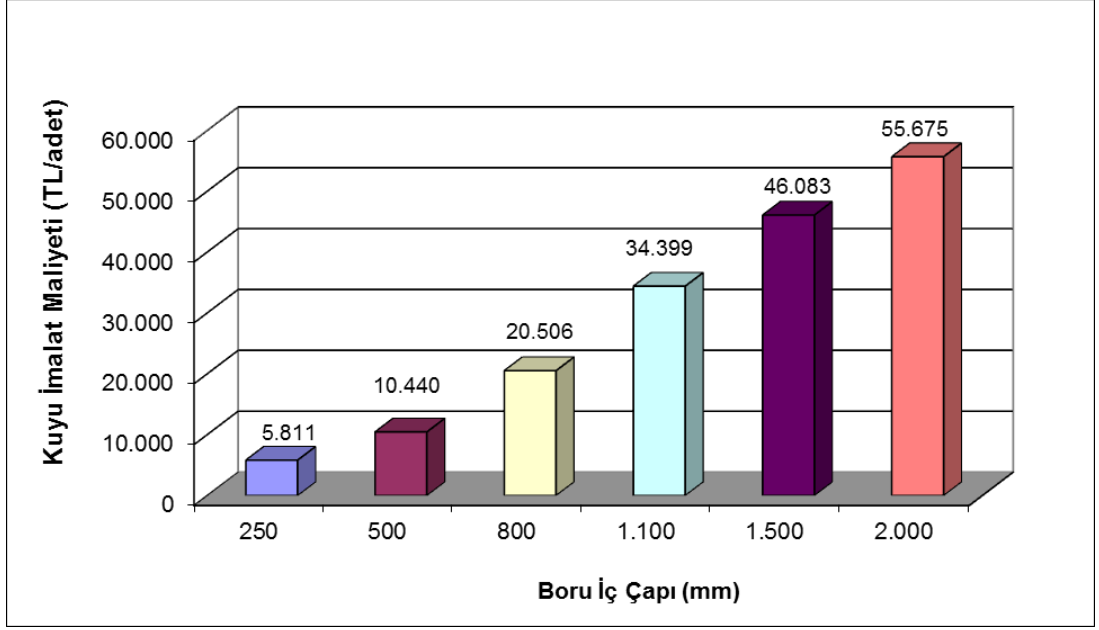
Şekil 6.6 : Değişik çaplarda açılan mikrotünellerin 1 metre ilerleme maliyet analizleri (karsız ve boru maliyeti dahil) [79].

Değişik çaplardaki boruların maliyet analizine göre boru çapı bir üst çapa geçtiğinde, boru üretim maliyetleri de ortalama %18 oranında artmaktadır (Şekil 6.7).



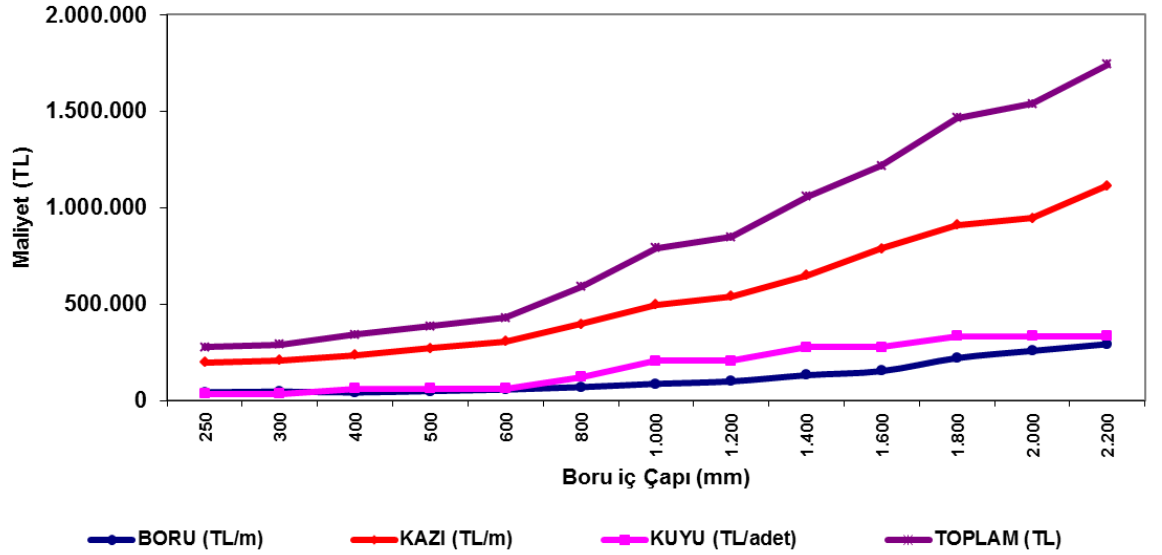
Şekil 6.7 : Değişik çaptaki betonarme boruların maliyet mukayesesi [79].

Değişik çaplarda boru sürme için açılacak kuyuların maliyet analizine göre kuyu boyutu arttıkça maliyet ortalama %25 artmaktadır (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 : Değişik çaptaki kuyuların maliyet mukayesesi [79].

Çap arttıkça maliyetler artmaktadır. Birim ilerleme maliyetleri, boru maliyetleri; 1,400 mm. boru çapına kadar orantılı, daha sonra ortalamanın üstüne çıkmaktadır, fakat kuyu maliyetlerindeki artış ortalamanın altında kalmaktadır. Hesaplamalar hipotetik 500 m mikrotünel ve her 100 metrede bir kuyu açılacak şekilde varsayılarak hesaplanmıştır (Şekil 6.9, Çizelge 6.4) [79].



Şekil 6.9 : Değişik çaplarda açılan mikrotünellerin maliyet mukayesesi.

Çizelge 6.4 : 250 – 2.200 mm iç çaplı borularla hipotetik 500 m mikrotünel uygulaması için toplam maliyet [79].

Boru İç Çapı mm	Kuyu x bin TL	Boru x bin TL	Kazı x bin TL	Proje Maliyeti x bin TL
250	35	44	198	277
300	35	48	209	291
400	63	44	236	343
500	63	51	273	386
600	63	58	309	430
800	123	71	397	591
1.000	206	88	498	793
1.200	206	101	542	850
1.400	276	133	649	1.059
1.600	276	154	788	1.219
1.800	334	222	910	1.466
2.000	334	259	947	1.540
2.200	334	294	1.116	1.744

7. SONUÇLAR

İstanbul’da 8 farklı bölgede, 10 farklı formasyonda açılan toplam uzunluğu 3,740 metre olan 37 adet itişe ait kazı verileri (günlük vardiya raporları, makine logları) incelenmiş; günlük ilerlemeler, net kazı hızları, makineden faydalanma oranları, itme kuvvetleri, maliyet verileri analiz edilmiş ve mikrotünel güzergahlarını temsil eden sondaj verileri kullanılarak net kazı hızı (NKH) ve birim sürtünme kuvveti (BSK) tahmin modelleri geliştirilmiştir. Yapılan analizlerin neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- En iyi ortalama ilerleme 20 m/gün (rekor değer 26,5 m/gün) ile Kuşdili Formasyonu’nda, kil–siltli zeminde Kurbağalıdere 387-386 kuyuları arasında gerçekleşmiştir. En düşük ortalama ilerleme Nakkaşdere’de Ceylan Formasyonu’nda 2,17 m/gün ve Dudullu’da 3,85 m/gün Kurtköy Formasyonu’nda kil-silt ve çakılın hakim olduğu zeminde elde edilmiştir.
- Ortalama NKH Kurbağalıdere bölgesinde yüksek çıkmış (4,24 m/saat); diğer bölgelerin ortalama NKH değerleri 1,12 m/saat ile 1,48 m/saat arasında değişmiştir.
- Makineden faydalanma oranı (MFO) en yüksek Nakkaşdere N5-N4 kuyuları arasında %54 olarak elde edilmiştir. Tamaına yakını kil-silt olup alüvyonlu zeminde elde edilmiştir. Tüm bölgeler gözönüne alındığında ortalama MFO %28 ile %45 arasında değişmiştir. En düşük MFO, Bostancı bölgesinde M14-2 M15 itişinde %26 olarak gerçekleşmiştir.
- Birim sürtünme kuvveti bölge ortalamalarına göre en yüksek Çırpıcı’da (6,13 tonf/m) Ceylan Formasyonu’nda elde edilmiştir. Sırasıyla en yüksek diğer değerler Avcılar’da Kumul Formasyon’da 5,71 tonf/m ve Kurbağalıdere’de Pendik Formasyonu’nda 5,18 tonf/m olmuştur. İtme kuvvetleri en yüksek Dudullu’da (maksimum 842 ton; birim sürtünme kuvveti 3,96 tonf/m) Kurtköy Formasyonu’nda kil-silt ve çakılın hakim olduğu zeminde elde edilmiştir. Sırasıyla en yüksek diğer değerler Güngören Formasyonu’nda

maksimum itme kuvveti 777 ton; birim sürtünme kuvveti 5,18 tonf/m (Çırpıcı MPJ18-MPJ17) ve yine Çırpıcı'da MPJ3-MPJ4 mikrotünelinin Alüvyon'da killi formasyonda maksimum 700 ton; birim sürtünme kuvveti 2,75 tonf/m olarak elde edilmiştir.

- Nakkaşdere'de kazı performansının içinde ilerlediği alüvyonlu kil-silt oranına göre değiştiği gözlemlenmiştir. Kum oranı yükseldikçe kazı performansı artmıştır.
- Çırpıcı'daki Güngören Formasyonu ile Avcılar'daki Güngören Formasyonu bileşim açısından farklıdır. Avcılar civarındaki Güngören Formasyonu kil içeriği yönünden daha zengindir. Çırpıcı'daki Güngören Formasyonu içindeki karbonatlı kumlu ve çakıllı düzeylerin artışı kazı performansını olumlu yönde etkilemiş; kil içeriği yükseldikçe kazı performansı düşmüştür. Avcılar ve çevresinde Güngören Formasyonu içindeki kazı performansı kil artışına paralel olarak düşmüştür; karbonatlı, kumlu ve çakıllı seviyelerde kazı performansı artmıştır.
- Trakya formasyonunda taşıma direncinin yüksek, Kuşdili Formasyonu'nda ise düşük olmasına rağmen; çakıllı, kumlu, killi-silt özelliğindeki Kuşdili Formasyonu ile kumlu killi-silt bileşimli Trakya Formasyonu'nda kazı performansının değişmediği görülmüştür.
- Kuşdili ve Alüvyon Formasyonları'nda ilerleme hızı tane bileşimine bağlı olarak farklılıklar göstermiştir. Kum oranı arttıkça kazı performansı artmıştır.
- Dudullu'da çakıl boyutlu malzeme içeriği yüksek olan ayrıışmış feldspatlı arkozik kumtaşıda çakıl oranının (%38) artışına bağlı olarak NKH, MFO ve ortalama günlük ilerlemenin düştüğü tespit edilmiştir.
- Projelerin bazıları tam gün vardiyalı olarak tamamlanmıştır, fakat bir kısmı yarım gün çalışarak gerçekleştirilmiştir, neticede görülmüştür ki duraklamalar; ara tatiller itme kuvvetini arttırmakta, boru itme verimini düşürmektedir. Ancak bu tez çalışmasında duraklamaların itme kuvvetlerine etkisi incelenmemiştir.

- Mikrotünel maliyet analizlerinde önce betonarme boru itme maliyetleri, boru imalat maliyetleri ile beraber kuyu açma maliyetleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Maliyet kalemlerinin oranları belirlenmiştir. Böylece planlanan bir mikrotünel projesinin uzunluğuna göre yaklaşık maliyetler hesaplarına ışık tutacaktır. Nihayetinde 500 metrelik bir hipotetik projenin ortalama maliyeti de hesaplanmıştır.

Bütün veriler analiz edilip, mikrotünel kazı çalışmaları ile ilgili regresyon modeli oluşturulmuştur. Net kazı hızı ve birim sürtünme kuvveti bağımlı değişkenleri üzerinde,

bağımsız değişkenlerinin etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan regresyon analizleri akabinde, NKH ile SPT değeri arasında üssel ve BSK ile TCR (toplam karot yüzdesi) arasında logaritmik ilişkiler elde edilmiştir. NKH için geliştirilen model SPT değerlerinin 15'in altında olduğu killi zeminler için geçerlidir.

NKH için geliştirilen modelin literatür ile kıyaslaması yapılamamıştır, çünkü veri bulunamamıştır. BSK için geliştirilen modelin ise literatürde verilen modellere göre daha doğru sonuç verdiği görülmüştür.

Geliştirilen NKH modeli 2,5 m çaplı bir çamur basınçlı mikrotünel makinesi için ve SPT değerinin 15'in altında olduğu küllü zeminler için geçerlidir. Model değer çaplar ve zeminler için geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Khokhlovich, E.** 1997. TBM Performance Study: Influence of the Rock Properties on the Failure Occurrence. MSc Thesis, *Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering*.
- [2] **Gupta, A.** 1993. Performance Prediction and Conceptual Design of a Continuous Tunnel Boring Machine. MSc Thesis, *Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering*.
- [3] **Özdemir, L.** 2009. CSM computer model for TBM performance prediction, *Colorado School Of Mines*, November, 13 pages.
- [4] **Yağız, S.** 2006. A model for the prediction of tunnel boring machine performance, *International Association for Engineering Geology and the Environment*, page 383.
- [5] **Chapman, D. N., and Ichioka, Y.** 1999. Prediction of jacking forces for microtunnelling operations. *Trenchless Technology. Res.*, Volume **14**, page 31-41
- [6] **Chapman, D. N.** 1996. Ground movements associated with pipejacking operations, *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*, Balkema, Rotterdam, pp: 665-670
- [7] **Barla, M., Camusso, M., Aiassa S.** 2006. Analysis of Jacking Forces During Microtunnelling in Limestone, *Tunnelling and Underground Space Technology*, page 668-683
- [8] **Özbek, A.** 2004. Tünel Kazı Deformasyonlarının Modellenmesi. *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Doktora Tezi
- [9] **Thomson, J. C.** 1993. Pipe Jacking and Microtunnelling, *Blackie Academic& Professional*, London, page 273.
- [10] **Tarkoy, P.T.** 1995. Comparing TBMs with drill+blast excavation. *Tunnels & Tunnelling*, October
- [11] **Nyqvist, L.** 2004. Tunnelling Options in Long Drives, *Master's Thesis*, Lulea Universtiy of Technology
- [12] **Atalah, P. E.** 2003. Pipe Jacking & Microtunneling Operations, *Detroit Rehab Road Show*, May
- [13] **Herrenknecht, M.** 2003. Microtunneling with Herrenknecht MicroMachines, *Colorado School of Mines*, Katalog
- [14] **Herrenknecht** 2002. M-725M AVN1800C / M-726C Operating Manual Document

- [15] **O'Rourke, T. D.** 1984. Guidelines for Tunnel Lining Design, ASCE
- [16] **Tarkoy, P. J.** 1999. Microtunneling in Spite of Inherent Risks, *Tunnel Business Magazine*, December, pp. 23-24.
- [17] **Wilkinson, D.** 1999. Successful Microtunnelling: Matters which must be considered, *Trenchless Technol. Res.* Vol. **14**, No. 2. P. 47-61
- [18] **Boyce, G. M.** 1993. Microtunneling Design Guidelines, Ph.D., Senior Professional Associate, Hong Kong
- [19] **Herrenknecht** 2002. *The Ground Requires Specific Solutions*, Katalog
- [20] **Adams, E.** 2002. Microtunnelling Innovations, *Herrenknecht*, Katalog
- [21] **Çopur, H., Tunçdemir, H., Bilgin, N. and Dinçer, T.** 2001. Spesific Energy as a Criterion for The Use of Rapid Excavation Systems in Turkish Mines, *Transactions of The Institution of Mining and Metallurgy*, Vol **110**, pp. A149-A157
- [22] **Özdemir, L.** 1992. Mechanical Excavation Techniques in Underground Construction, *Short Course Notebook, Technical University of İstanbul*, November 25-27
- [23] **Bilgin, N., and Balci, C.** 2005. Performance Prediction of Mechanical Excavators in Tunnels. *ITA/AITES-Training Course Tunnel Engineering*, İstanbul
- [24] **Milligan, G., and Norris, P.** 1994. Pipe Jacking Research Results and Recommendations, *Pipe Jacking Association*, London
- [25] **Milligan, G.** 2000. Lubrication and Soil Conditioning in Tunnelling, Pipe Jacking and Microtunnelling, *A state-of-the-art-review*, August
- [26] **Güngör, N.,** 1994. Türk Bentonitlerinin Kullanım Alanlarının Değerlendirilmesi, Ağustos
- [27] **Akbulut, A.** 1996. Bentonit, *MTA Eğitim Serisi No:32*, Ankara
- [28] **Psomas, S.** 2001. Properties of Foam/Sand Mixtures for Tunnelling Applications, *A Msc thesis, St Hugh's College*, Michaelmas
- [29] **Url-2** < <http://www.barkomltd.com> >, alındığı tarih 12.05.2009.
- [30] **Eskikaya, Ş., Bilgin, N.** 2000. NATO Tu-Excavation Project Development of Rapid Excavation Technologies for the The Turkish Mining and Tunnelling Industries, Final Report, *ITU Mining Engineering Department*, İstanbul, Turkey.
- [31] **ASTM D 5751-02.** 1995. Standart Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock.
- [32] **ASTM D 3967-95a.** 1995. Standart Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens.
- [33] **Bilgin, N.** 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul, s.192
- [34] **ASTM D 1586-11.** 2008. Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils.

- [35] **ASTM D 4318-10.** 2009. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- [36] **ASTM D 6913-04.** 2009. Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis.
- [37] **Rodenhuis, S., and Talmon A.M.** 2007. Maximum Jacking Forces of EPB Shield Tunnelling Machine in Soft Soil, *ITA Sydney*, 2-8 March 2002.
- [38] **Url-1** <<http://www.istt.com>>, alındığı tarih 15.02.2008
- [39] **Url-3** <<http://www.pj.com>>, Pipe Jacking Association, alındığı tarih 15.03.2004.
- [40] **Marshall, M.** 1998. Pipe-Jacked Tunnelling: Jacking Loads and Ground Movements, *PhD Thesis*, The University of Oxford, UK, p.247
- [41] **Milligan, G., and Marshall, M.** 1998. "The Functions and Effects of Lubrication in Pipe Jacking". *Tunnels and Metropolises*, ed. by Arsenio Negro and Argimiro Alvarez Ferreira, *Proc. of the World Tunnel Congress, Sao Paulo, Brazil*, Vol. 2, 739-744. Published by Balkema, Rotterdam.
- [42] **Staheli, K.** 2006. Jacking Force Prediction: An Interface Friction Approach Based On Pipe Surface Roughness, *PhD Thesis*, Georgia Institute of Technology, p.350
- [43] **Royal, A.C.D., Hunt, D.V.L., Rogers, C.D.F., Chapman D.N., and Polak M.A.** 2007. Modelling of HDD pipeline frictional resistance, and extruded microtunnelling linings for long-distance 'cable pipe' installations, *International Society for Trenchless Technology*, No-Dig 2007, September 10-12, Rome pp: 416-427
- [44] **Bennett, R. D., and Cording, E.J.** 1999. Jacking Loads Associated with Microtunneling, *Geo-Engineering for Underground Facilities*, Proceedings of the Third National Conference of the Geo-Institute, *Geotechnical Special Publication No. 90*, Fernandez, G. and Bauer, R.A.,eds.
- [45] **Reilly, J.J.** 2005. Cost estimating and risk – management for underground projects. World Tunnel Congress and 31st ITA General Assembly, ITA-AITES 2005: *Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future*. Editors: Erdem and Solak, Publisher: Taylor and Francis Group-London, pp. 533-538
- [46] **Bringiotti, M.** 2003. Guida al tunnelling, *Ed. PEI Publication*, pp. 761
- [47] **EFNARC** 2001. Specification and Guidelines for the use of specialist products for Soft Ground Tunnelling, November
- [48] **EFNARC** 2005. Specification and Guidelines for the use of specialist products for Mechanised Tunnelling (TBM) in Soft Ground and Hard Ground, England, April
- [49] **Gilchrist, A., and Allouche, E. N.** 2004. Quantification of social costs associated with construction projects: state-of-the-art review. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 20, Issue 1, January 2005, Pages 89-104

- [50] **Zhao, J. Q., and Rajani, B.** 2002. Construction and Rehabilitation Costs for Buried Pipe with a Focus on Trenchless Technologies, *Institute for Research in Construction, National Research Council Canada*, June, 37 pages
- [51] **O'Reilly, M., and Stovin, V.** 1996. Trenchless construction: risk assessment and management, *Virginia Stovin Trenchless Technology. Res.*, Vol 11, No.1 pp. 25-35
- [52] **Bruland, A.** 1998. Hard Rock Tunnel Boring, Doctoral theses, *Norwegian University of Science and Technology Department of Building and Construction Engineering*, 49 Pages
- [53] **Harbuck, R. H.** 2000. Economic evaluation of trenchless technology. *AACE International Transactions, 44th annual meeting of AACE International*, ISBN 1885517254, 590 pages, Part 12, pp. 12.1-12.7
- [54] **Bottero, M., Peila, D.** 2005. The use of the analytical hierarchy process for the comparison between microtunnelling and trench excavation. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20, pp. 501-513.
- [55] **Boyce, G. M., and Bried, E. M.** 1994. Benefit-cost analysis of microtunnelling in an urban area. *Proc. No-Dig 94, Dallas*, 23 pages.
- [56] **Craig, R.** 1999. Cost modeling for long tunnels and consideration of risk. *3rd UN/ITA Workshop: Costing of TBM-Built Tunnels*. 24 pages.
- [57] **Babendererde, L.** 2001. High Speed Hard Rock Tunnelling- Preconditions for a successful BOT Project, *Proceedings, AITES-ITA 2001 World Tunnel Congress in Mailand, Italy*
- [58] **Bickel, J.O., Kuesel, T.R., and King, E.H.** 1996. Tunnel Engineering Handbook. 2nd Edition. *Chapman& Hall*, 544 pages.
- [59] **Reilly, J.** 2003. Towards reliable cost estimates, *John Reilly, T&T North America*, September
- [60] **Isaksson, T., Stille, H.** 2005. Model for estimation of cost for tunnel projects based on risk evaluation. *Rock Mech. Rock Engng.* 38 (5) 373-398
- [61] **Eisenstein, Z.D.** 1999. Survey and analysis of cost database. *3rd UN/ITA Workshop: Costing of TBM-Built Tunnels*. 26 pages.
- [62] **Ioannou, P.G., and Martinez, J.C.** 1995. Evaluation of alternative construction processes using simulation. *Proc. Construction Congress 95, ASCE, San Diego, California, Oct. 22-26*, pp. 440-447.
- [63] **Nido, A.A., Knies, C.J., and Abraham, D.M.** 1999. Role of operation simulation in the analysis and improvement of microtunnelling projects. *Trenchless Technology Research*, Vol. 14, No. 1, pp. 1-19
- [64] **Irshad, M.** 1999. A hierarchical approach for developing a cost model for the Gibraltar Strait Rail Tunnel crossing. *3rd UN/ITA Workshop: Costing of TBM-Built Tunnels*. 11 pages.
- [65] **CET İnşaat Ltd.Şti.** 2002-2005. Şantiye Raporları
- [66] **Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü** 2010. Sondaj Verileri ve Paftalar, İstanbul Büyükşehir Belediyesi

- [67] **Ketin, İ.** 1993. Genel Jeoloji Yerbilimlerine Giriş, ISBN 9757463094, İTÜ Vakfı
- [68] **Eren, R. H., ve Oktay, F. Y.** 1994. İstanbul Megapol Alanının Jeolojisi. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Daire Başkanlığı, Şehir Planlama Müdürlüğü, 32s.
- [69] **Biberoğlu, S.** 2002. Arı Madencilik Sondaj Sonuçları
- [70] **SPSS** 2004. Statistical Package for the Social Sciences, istatistik programı
- [71] **O'Carroll, J. B.** 2005. A Guide to planning, Constructing and Supervising. Earth Pressure Balance TBM Tunneling. *Professional Associate Parsons Brinckerhoff* April
- [72] **CET İnşaat Ltd.Şti.** 2002-2005 *Bilgisayar Kayıtları*, Mikrotünel makinesi
- [73] **Lamb, E., Lys R., and Garret T. M.** 1993. Specifying Microtunneling Jobs, *Trenchless Technology: An Advanced Technical Seminar*, Mississippi January 26-30
- [74] **Akkaya, A. B., Çopur H., Omac N., Yücel H. M.** 2005. Slurry Shield Driven Microtunnel Applications in Istanbul, *World Tunnel Congress*, İstanbul, Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future – Erdem & Solak, Taylor & Francis Group, London, page 827-831
- [75] **Akkaya, A. B.** 2008. Microtunnel Boring Machine Performance Comparison at Different Formations, *Proceedings of the World Tunnel Congress by V K Kanjlia; T Ramamurthy; P P Wahi and A C Gupta* - September 22-24 2008, Agra, India, page 1641-1654
- [76] **Çopur, H., Akkaya, A. B.** 2009. Performance of a Microtunnel Boring Machine at the Similar and Different Formations, *World Tunnel Congress - May 23-28*, Budapest, Hungary, 10 pages
- [77] **Ripley, K.J.** 1989. The Performance of Jacked Pipes, PhD Thesis, *University of Oxford, Magdalen College*.
- [78] **Url-4** <[http:// www.birimfiyat.net](http://www.birimfiyat.net)>, İller Bankası, 2004
- [79] **Aktan A. T.** 2004. Mikrotünel Yöntemiyle Boru Sürme İşleri 2004 Yılı Fiyat Analizleri Notları, Cet İnşaat Ltd.Şti.
- [80] **İSKİ** 2004. İstihkak Raporu, Atıksu Daire Başkanlığı
- [81] **Schmid, F.J.** 1999. Application of Trenchless Technology at Army Installations, *Public Works Technical Bulletin*, 28 February
- [82] **Çopur H., Akkaya A. B., Aktan A. T., Erciyes H. J.** 2007. Mikrotünel Açma Maliyet Analizleri, *Ulaşımada Yeraltı Kazıları*, İstanbul, Türkiye, Sayfa 139-148

EKLER

- EK A :** Mikrotünel Faaliyet Resimleri
- EK B :** Mikrotünel Güzergahları
- EK C :** Bölgelerin Jeoloji Paftaları
- EK D :** Bölgelerin Sondaj Raporları
- EK E :** SPT, Kıvam Limitleri ve Elek Analizleri Deney Raporları
- EK F :** Makine Kayıtlarından ve Vardiya Raporlarından Çıkarılan Günlük İlerleme Hız Grafikleri
- EK G :** Makine Kayıtlarından Çıkarılan Net Kazı Hızı Tabloları
- EK H :** Makinenin Kullanım Oranı
- EK I :** Makinenin Kullanılabilirlik Oranı
- EK J :** Makinenin Güvenirlik Oranı
- EK K :** Mikrotünellere Ait Ayrıntılı Faaliyet Raporları
- EK L :** İtme Mesafesine Bağlı Olarak İtme Kuvvetindeki Değişim

EK A





Şekil A.1 : Mikrotünel makinesinin kazıyı tamamlama aşamaları.



Şekil A.2 : Bostancı şantiye yerleşkesi.



Şekil A.3 : Makine ve diğer ekipmanların ilk konuşlandırıldığı yer.



Şekil A.4 : Makinenin kesme yönünde kuyuda açılan ilerleme çemberi.



Şekil A.5 : Boru sürme işlemi yapıldıktan sonra bağlantıların yapılıp, kuyunun kapatılması.



Şekil A.6 : Operatör konteynerindeki kumanda ve bilgisayar sistemleri.



Şekil A.7 : Çalışma yapılan kuyunun genel görünüşü.



Şekil A.8 : Kuyuda yeni boru ekleneceği zaman pistonların geri çekilmesi.



Şekil A.9 : İtme şaftına indirilen platformun yerleştirilmesi.



Şekil A.10 : Açılan kuyuda makinenin ilerleyeceği yönü belirleyen kalıp.



Şekil A.11 : Mapaları bağlanmış olan makine ve kesici kafanın indirilmesi.



Şekil A.12 : Kuyuda iş bitimi ve kapatılması.

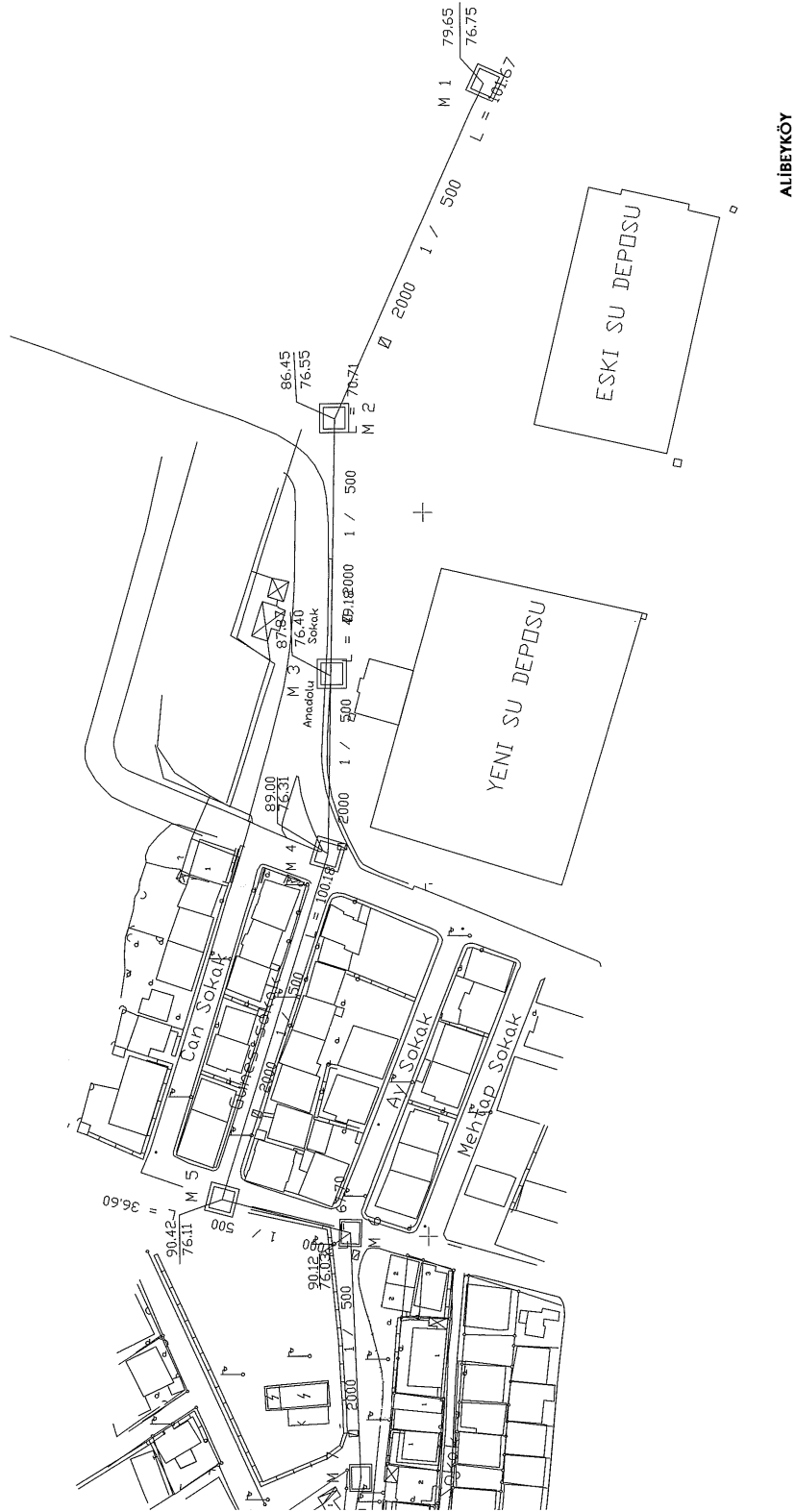


Şekil A.13 : Boruların kuyuya indirilmesi.

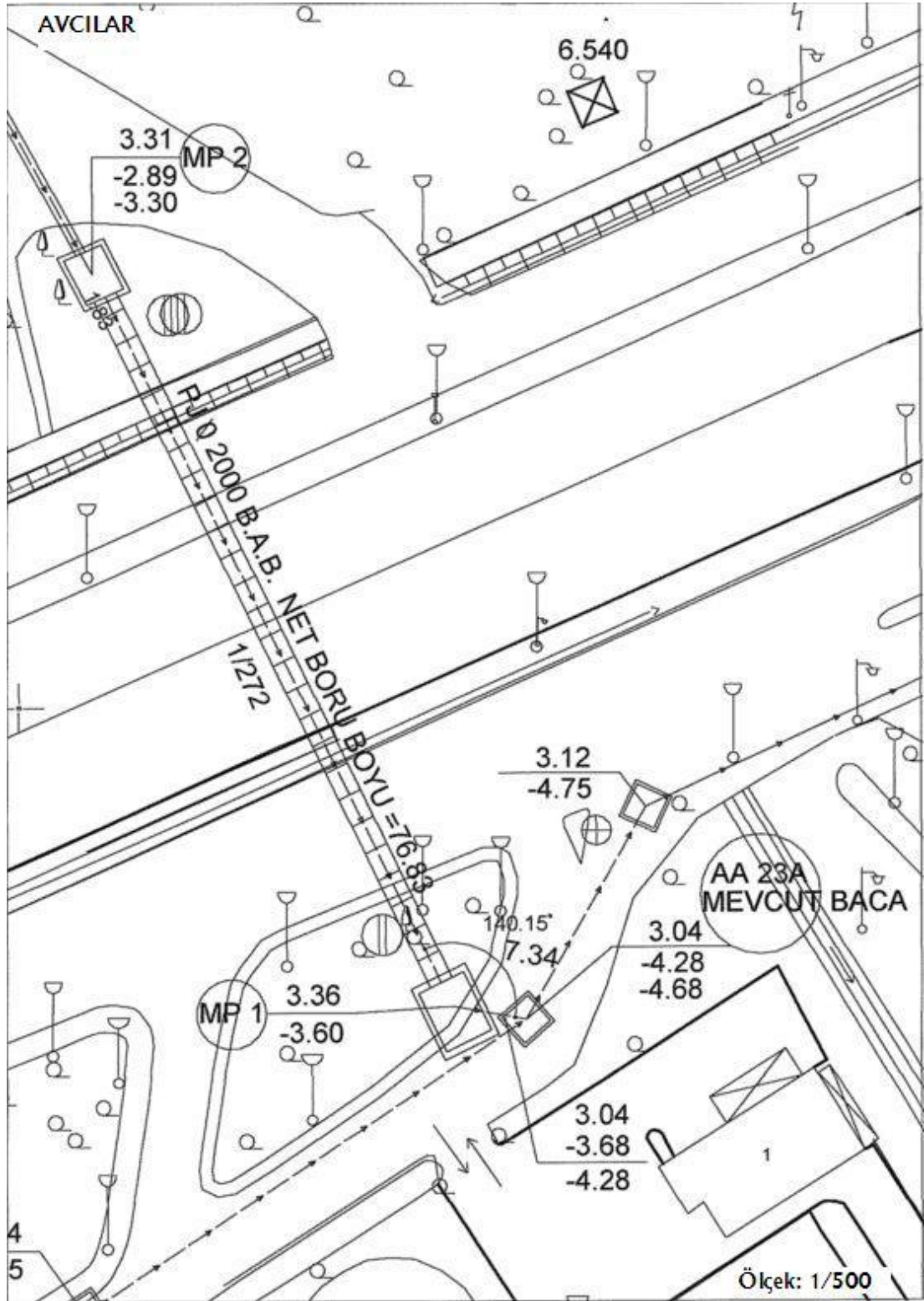


Şekil A.14 : Klasik metodla boru itme işlemi.

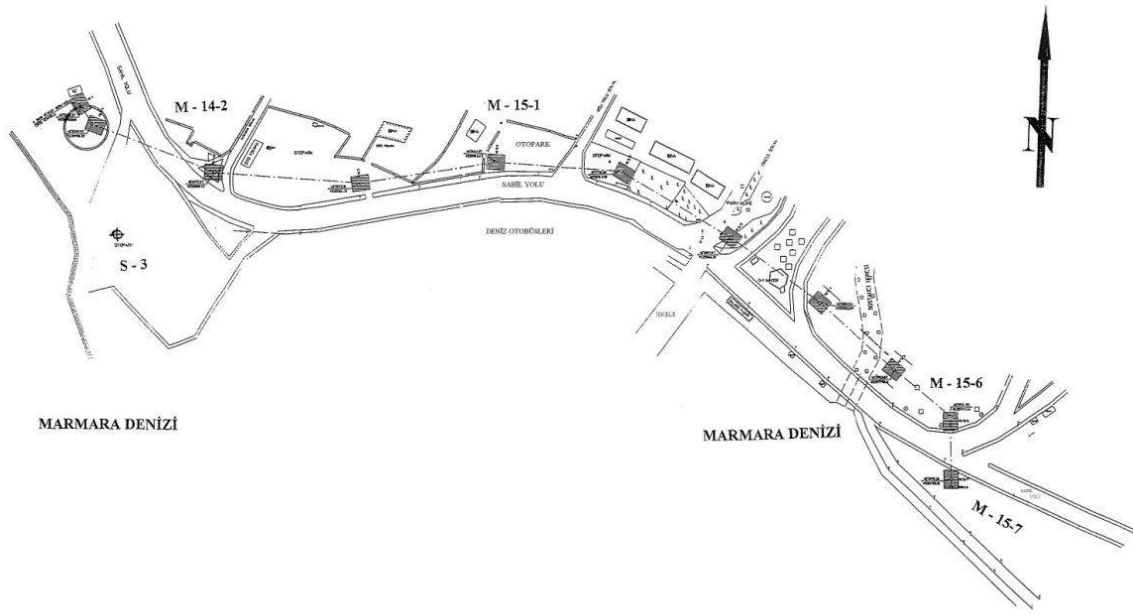
EK B : Mikrotünel Güzergahları



Şekil B.1 : Alibeyköy (Küçükköy) mikrotünel güzergahı.



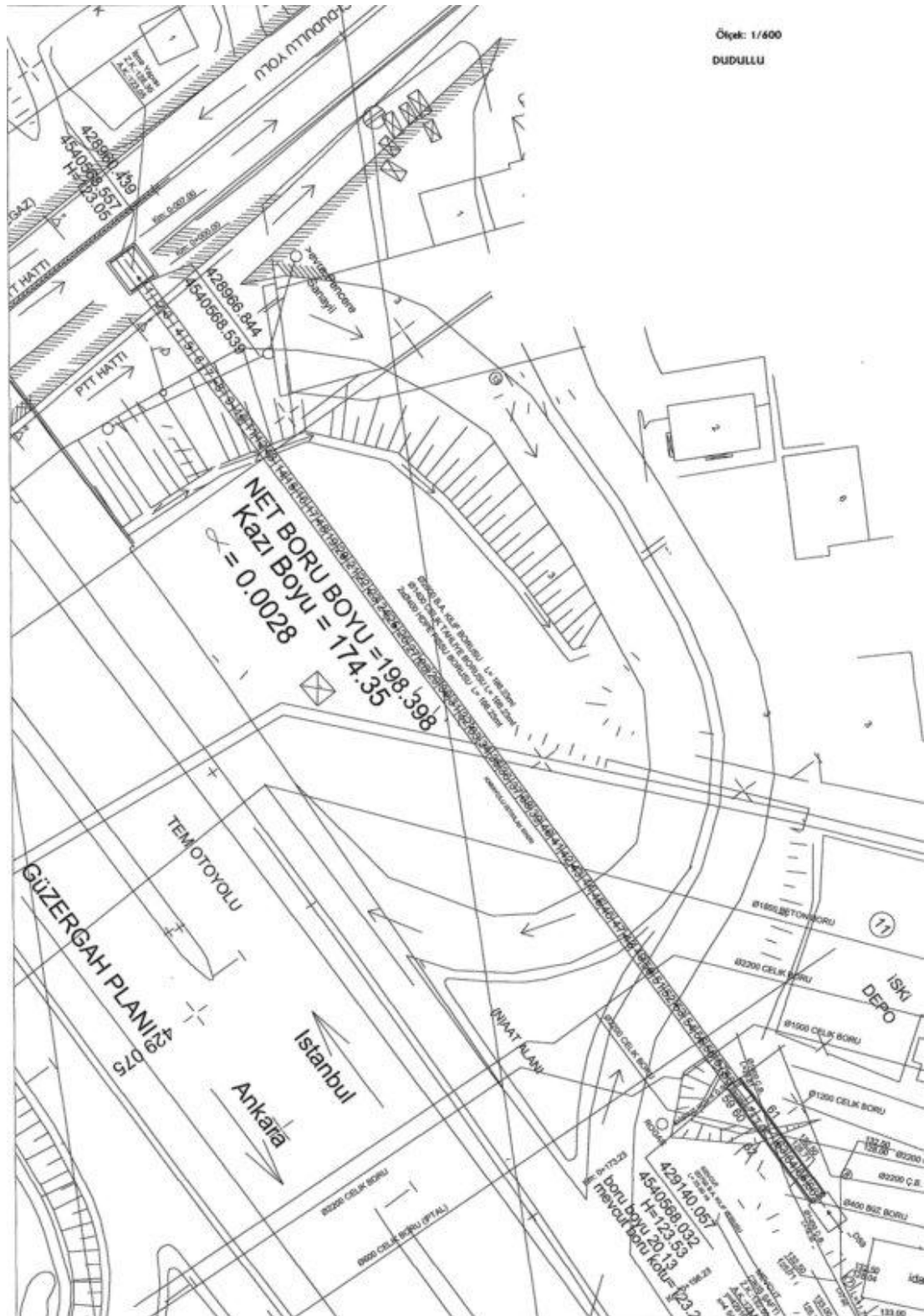
Şekil B.2 : Avcılar mikrotünel güzergahı.

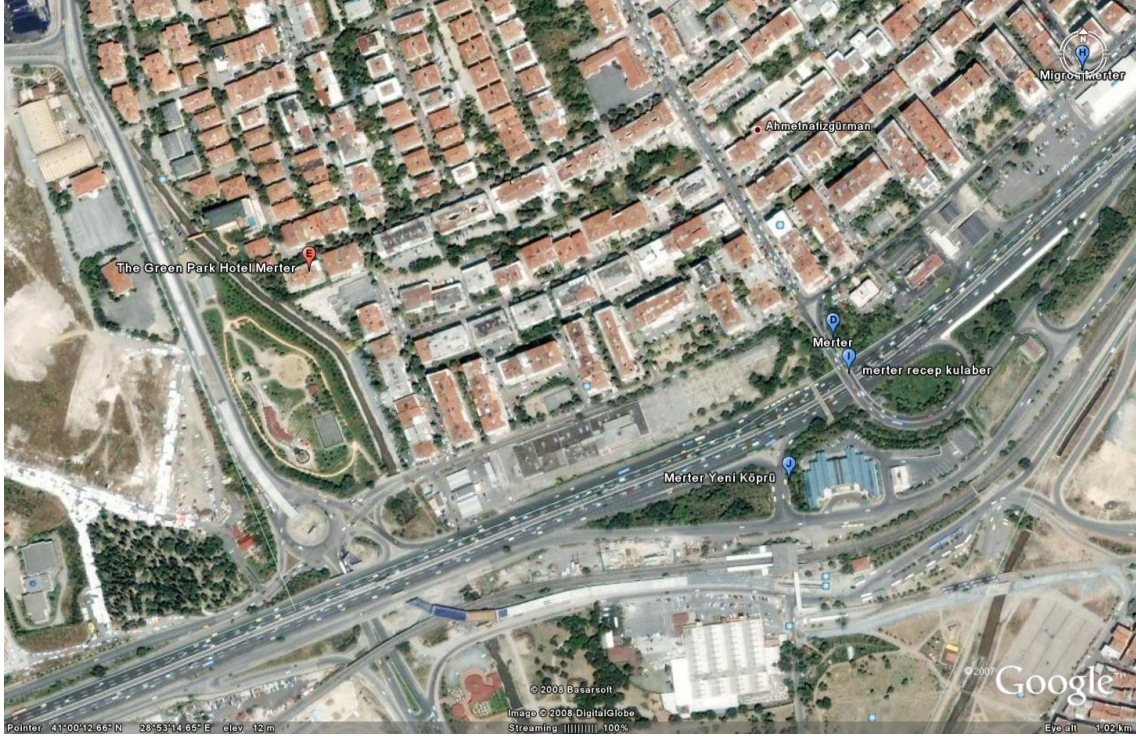


Şekil B.3 : Bostancı mikrotünel güzergahı.

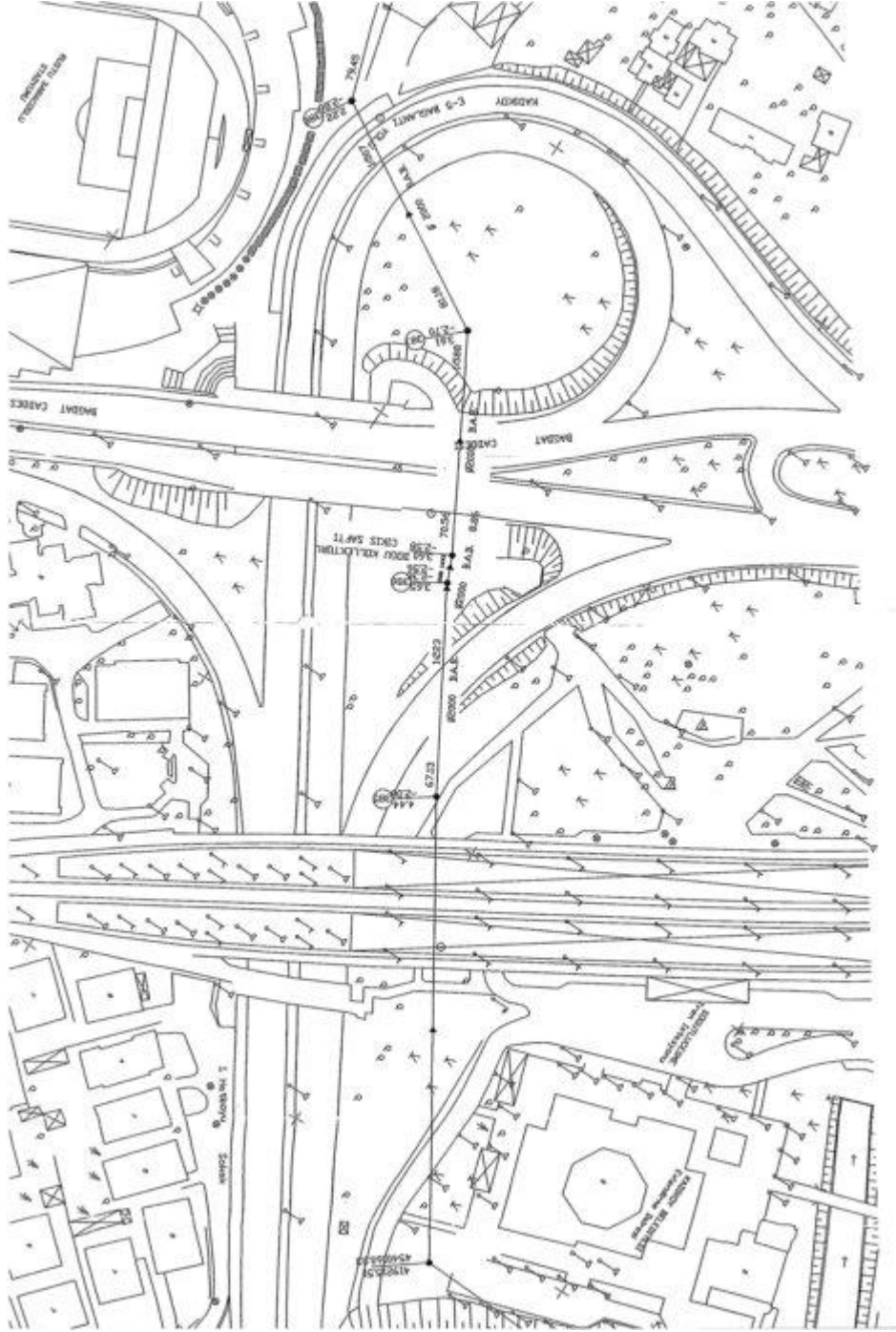


Şekil B.4 : Bostancı bölgesi.





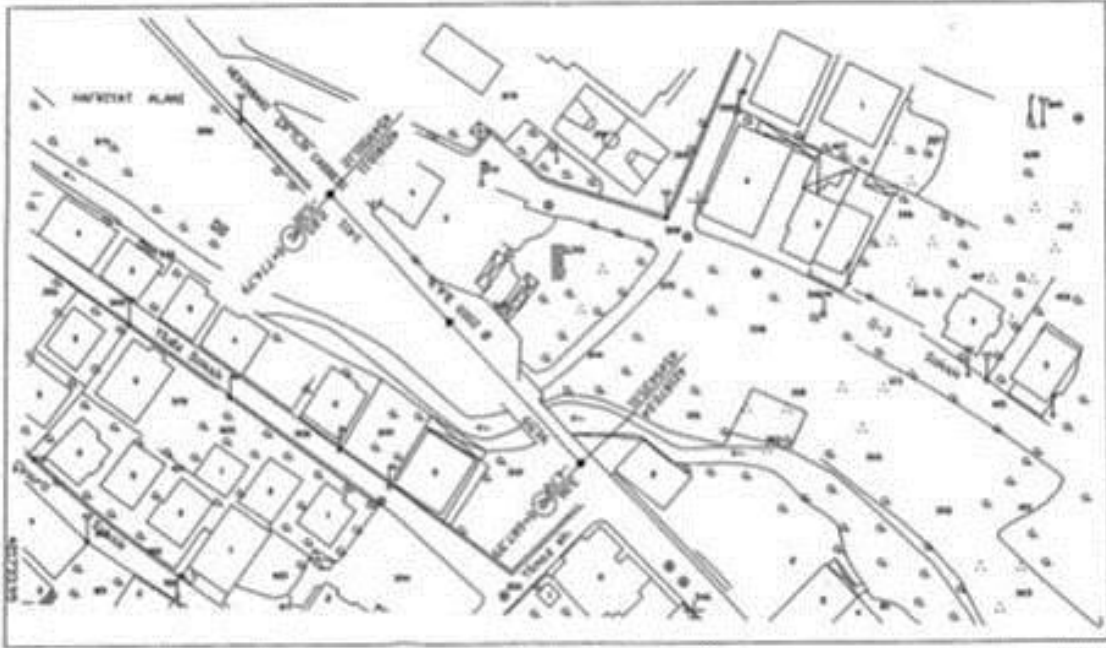
Şekil B.6 : Merter-Çırpıcı bölgesi.



Şekil B.7 : Kurbağalıdere mikrotünel güzergahı.



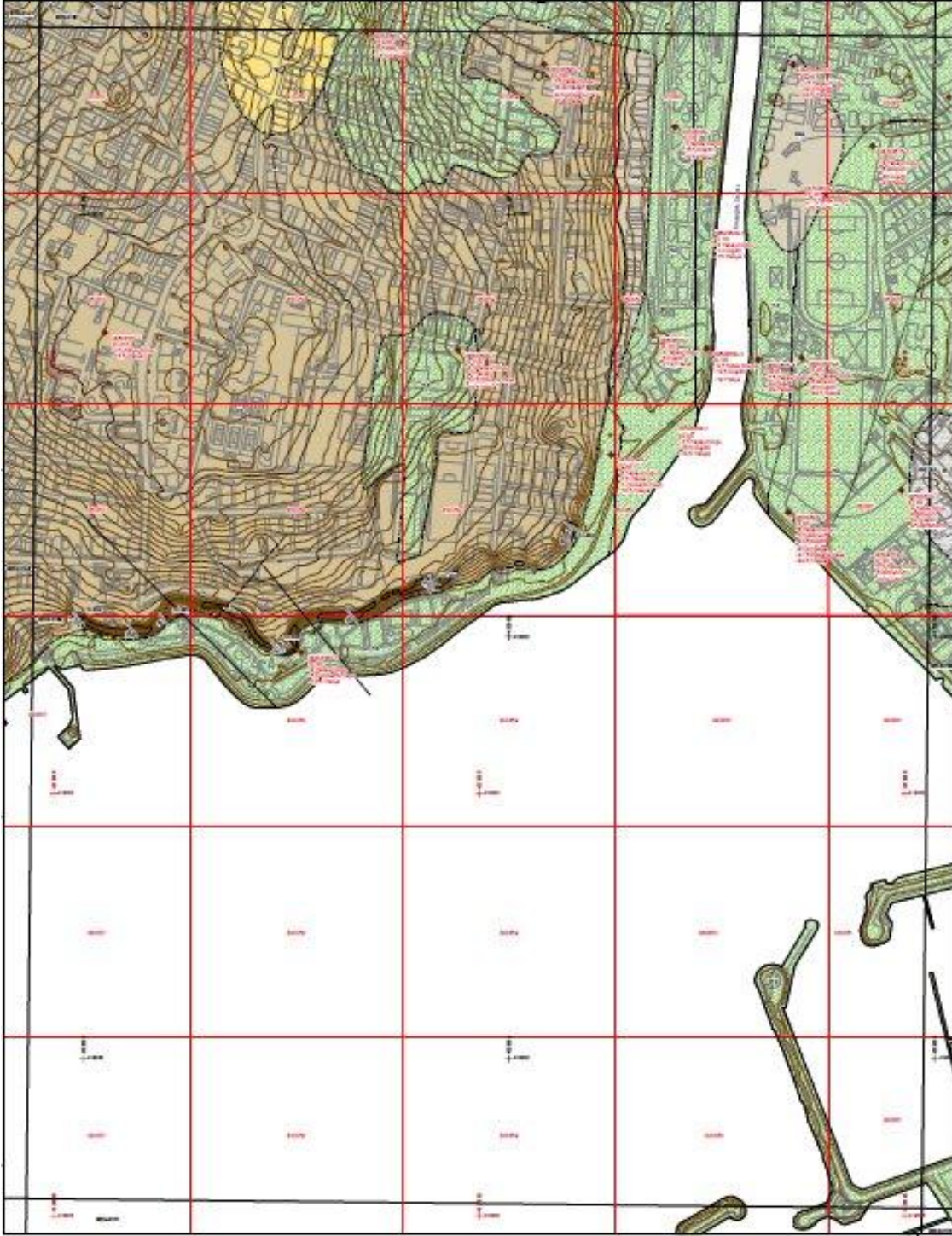
Şekil B.8 : Kadıköy-Kurbağalıdere bölgesi.



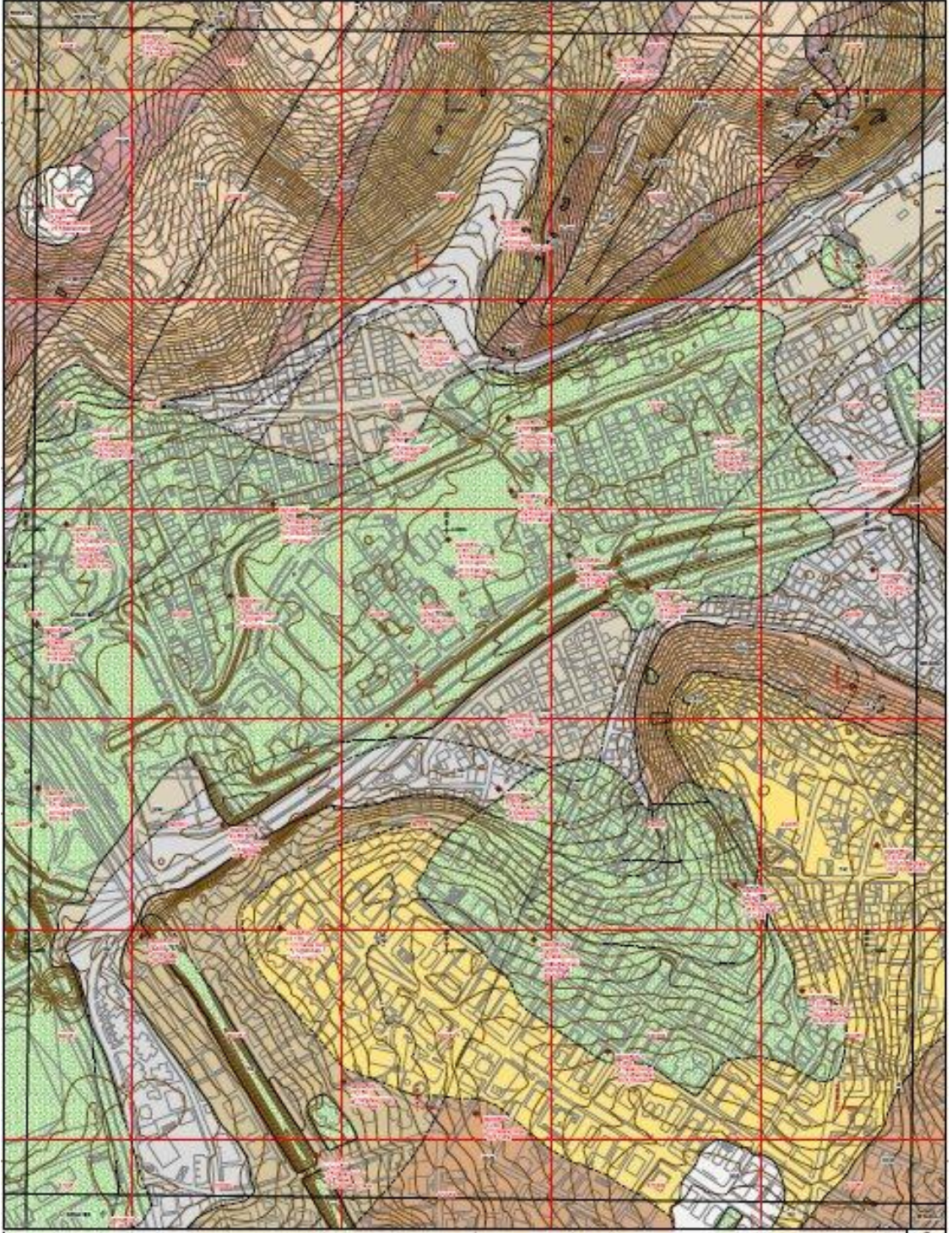
Şekil B.9 : Küçüksu mikrotünel güzergahı.

EK C : Bölgelerin Jeoloji Paftaları

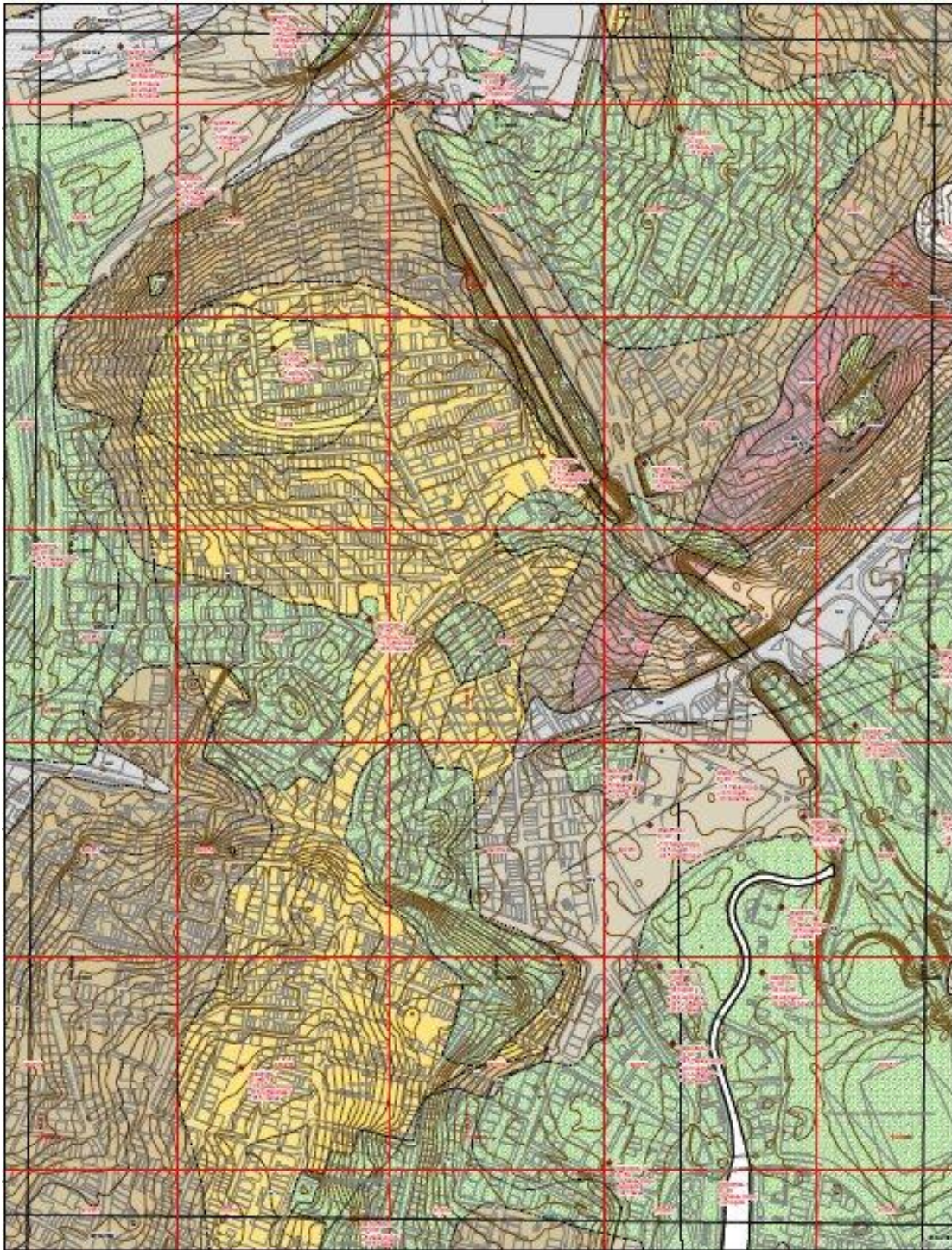
EK C



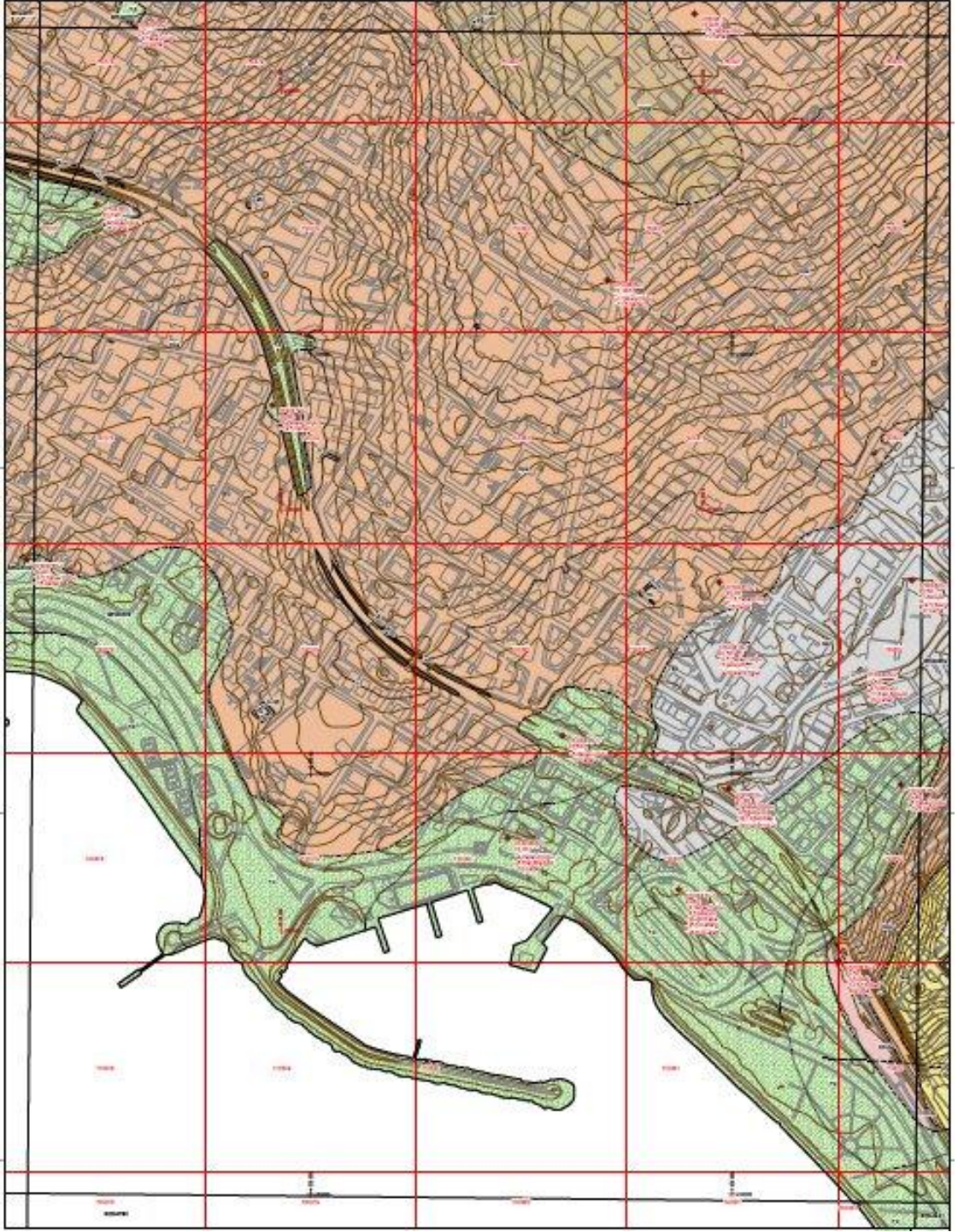
Şekil C.1 : Kurbağalıdere jeoloji paftası-1.



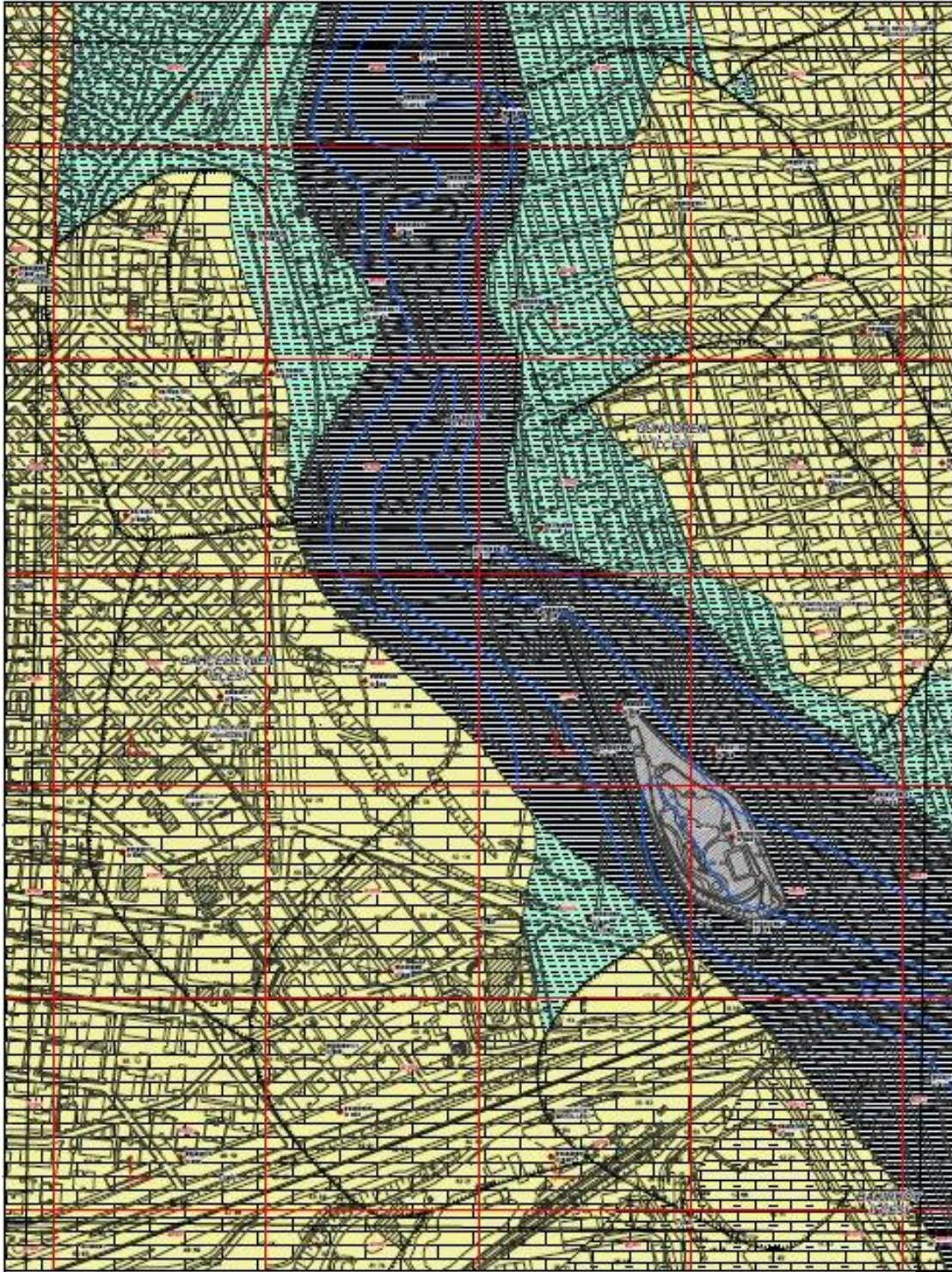
Şekil C.2 : Kurbağalıdere jeoloji paftası-2.



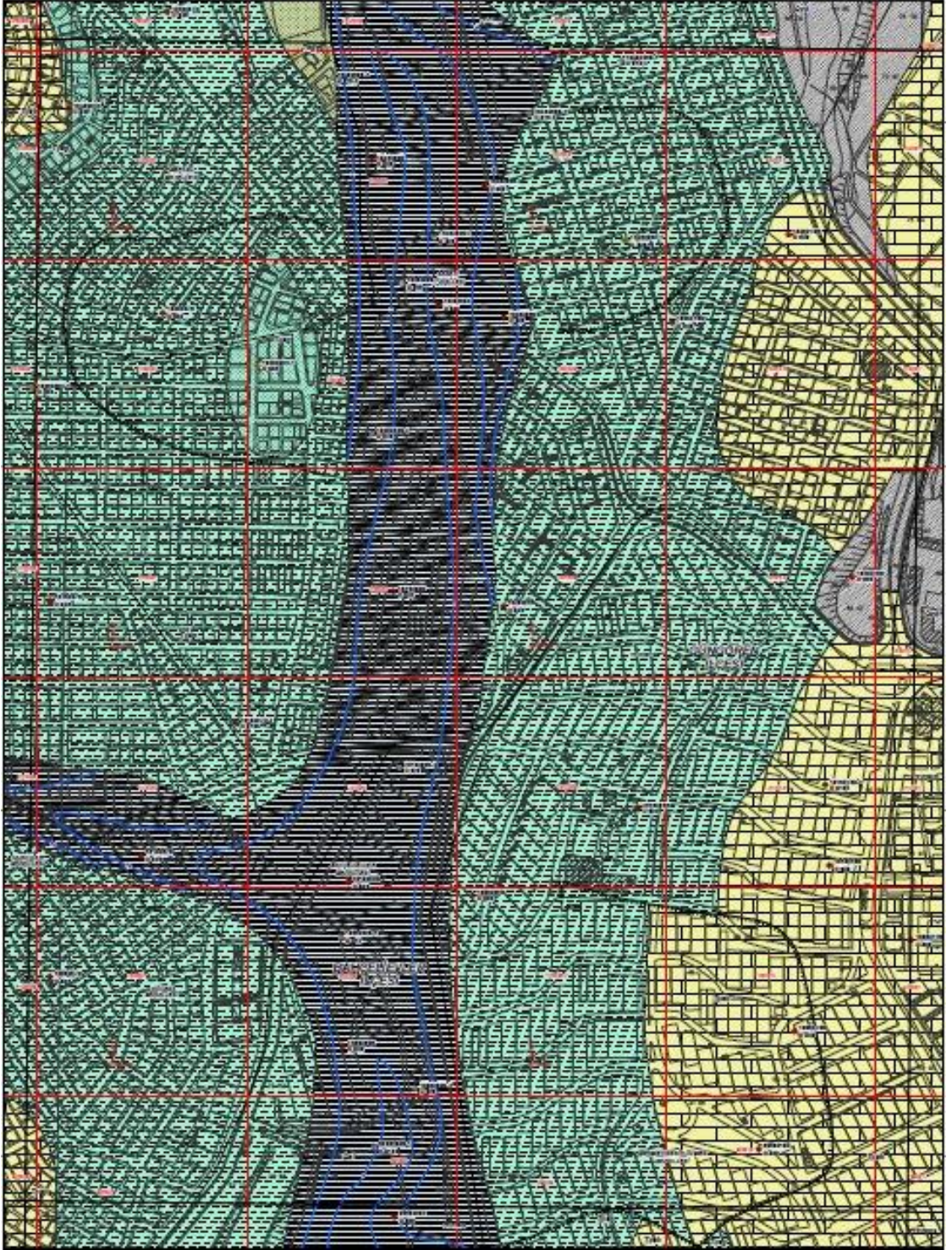
Şekil C.3 : Kurbağalıdere jeoloji paftası-3.



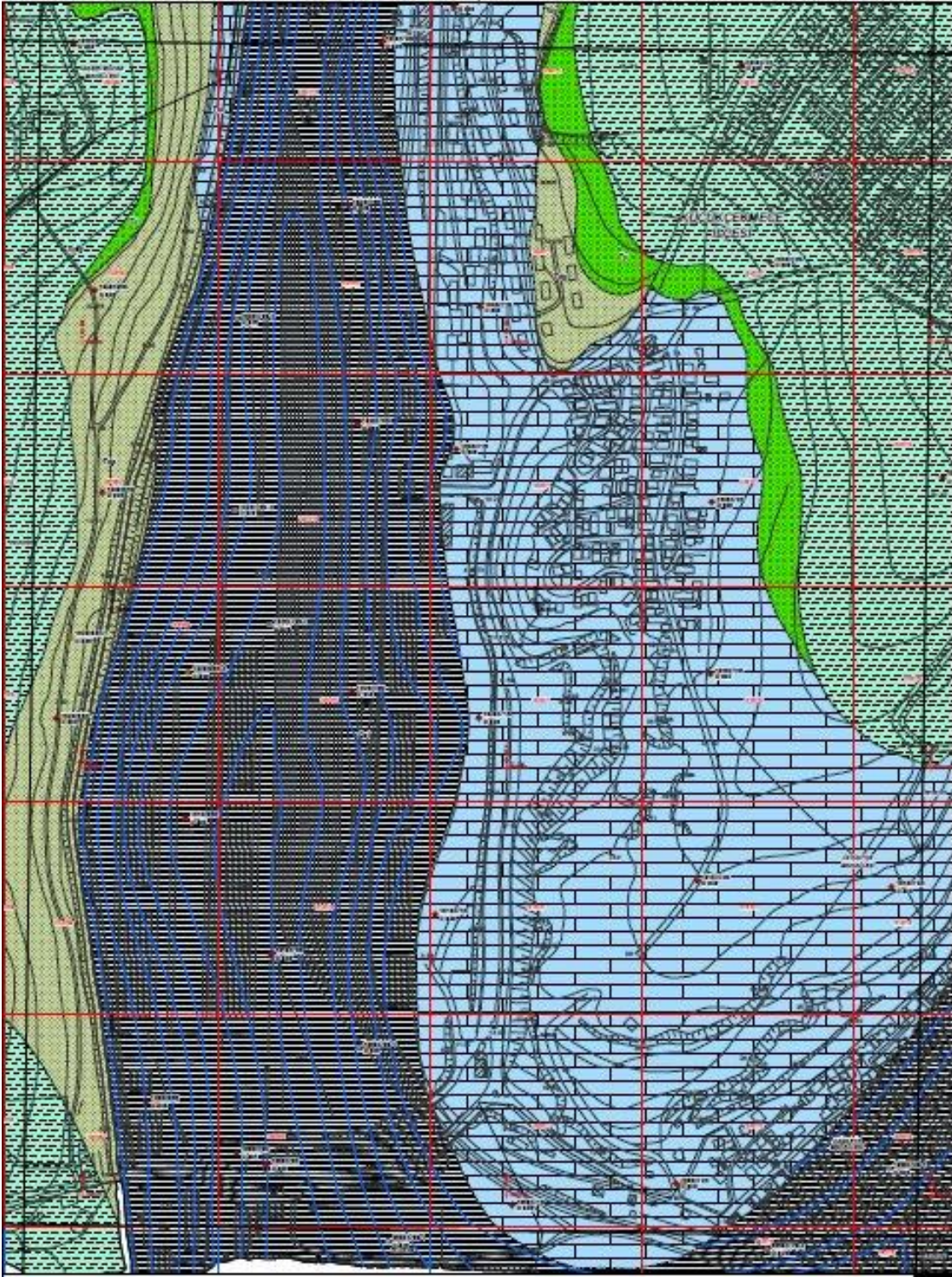
Şekil C.4 : Bostancı jeoloji paftası.



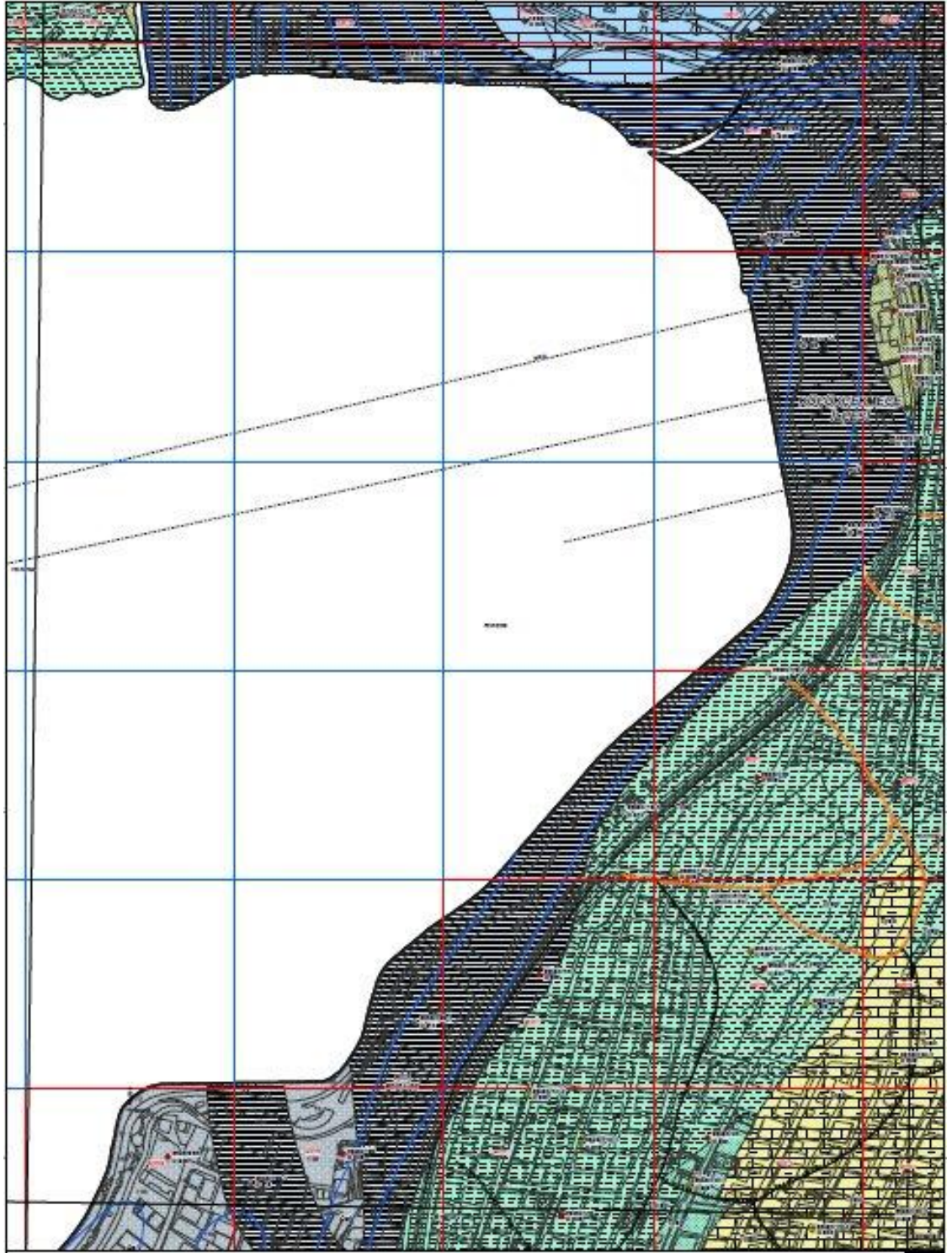
Şekil C.5 : Çırpıcı jeoloji paftası-1.



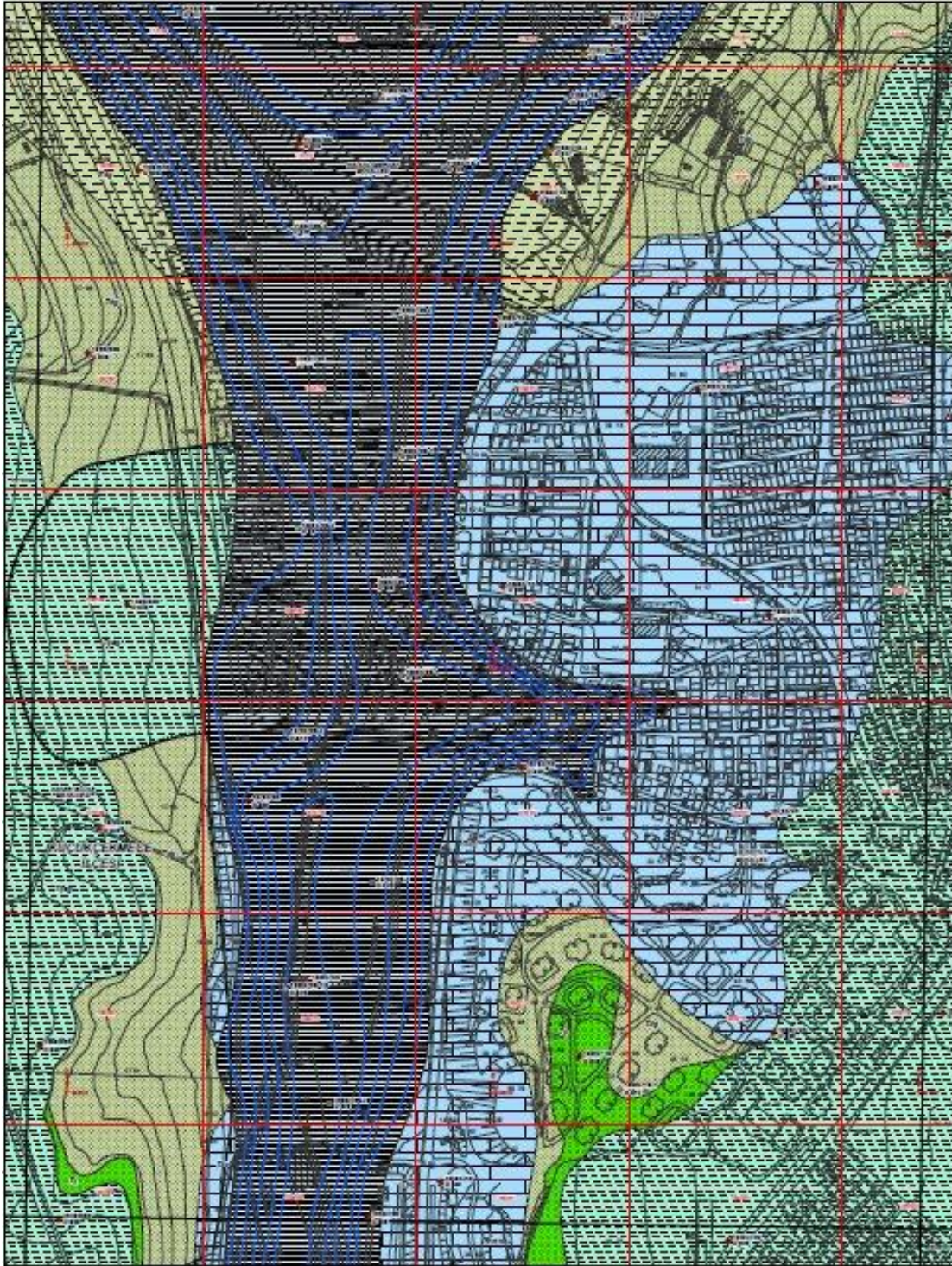
Şekil C.6 : Çirpıcı jeoloji paftası-2.



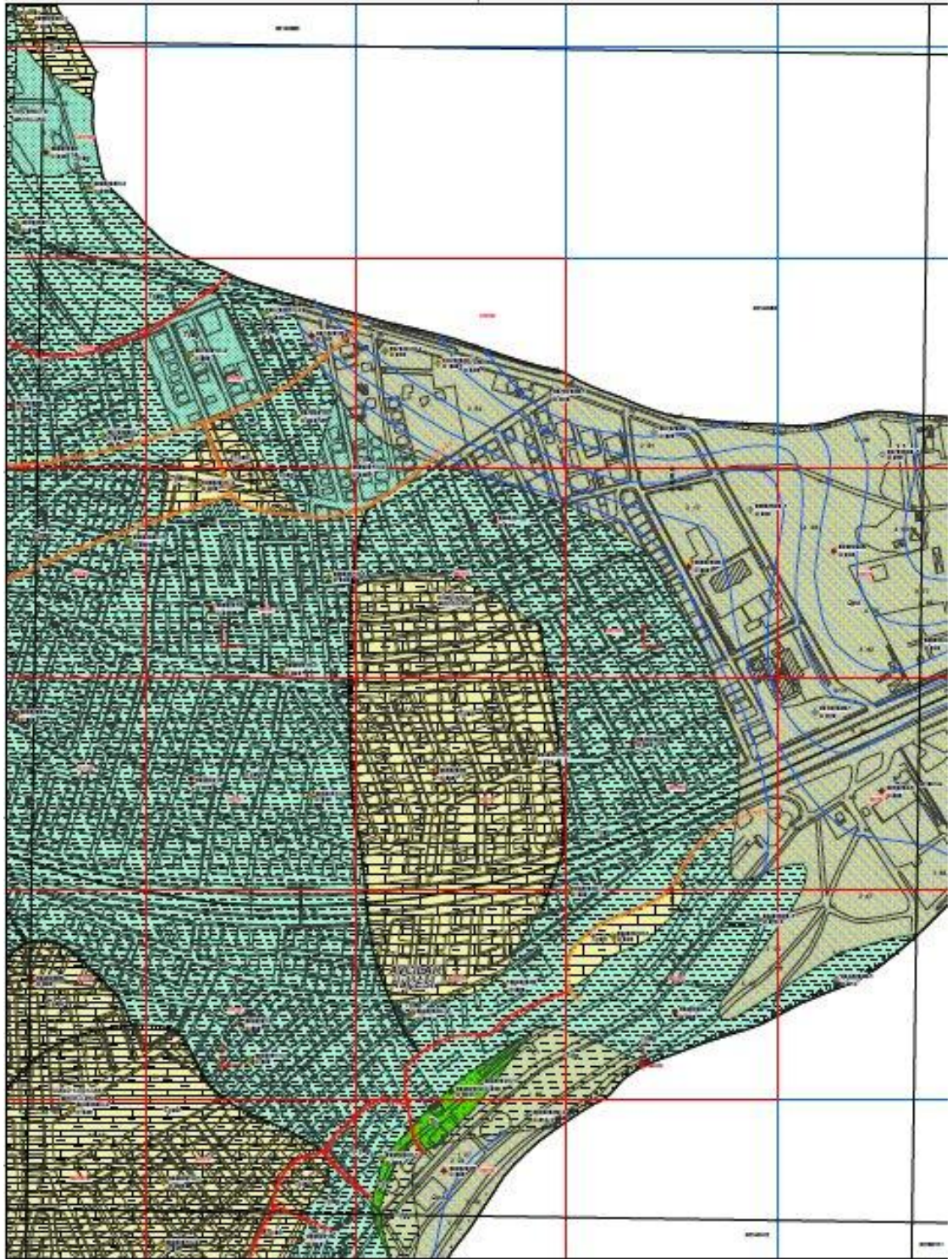
Şekil C.7 : Nakkaşdere jeoloji paftası-1.



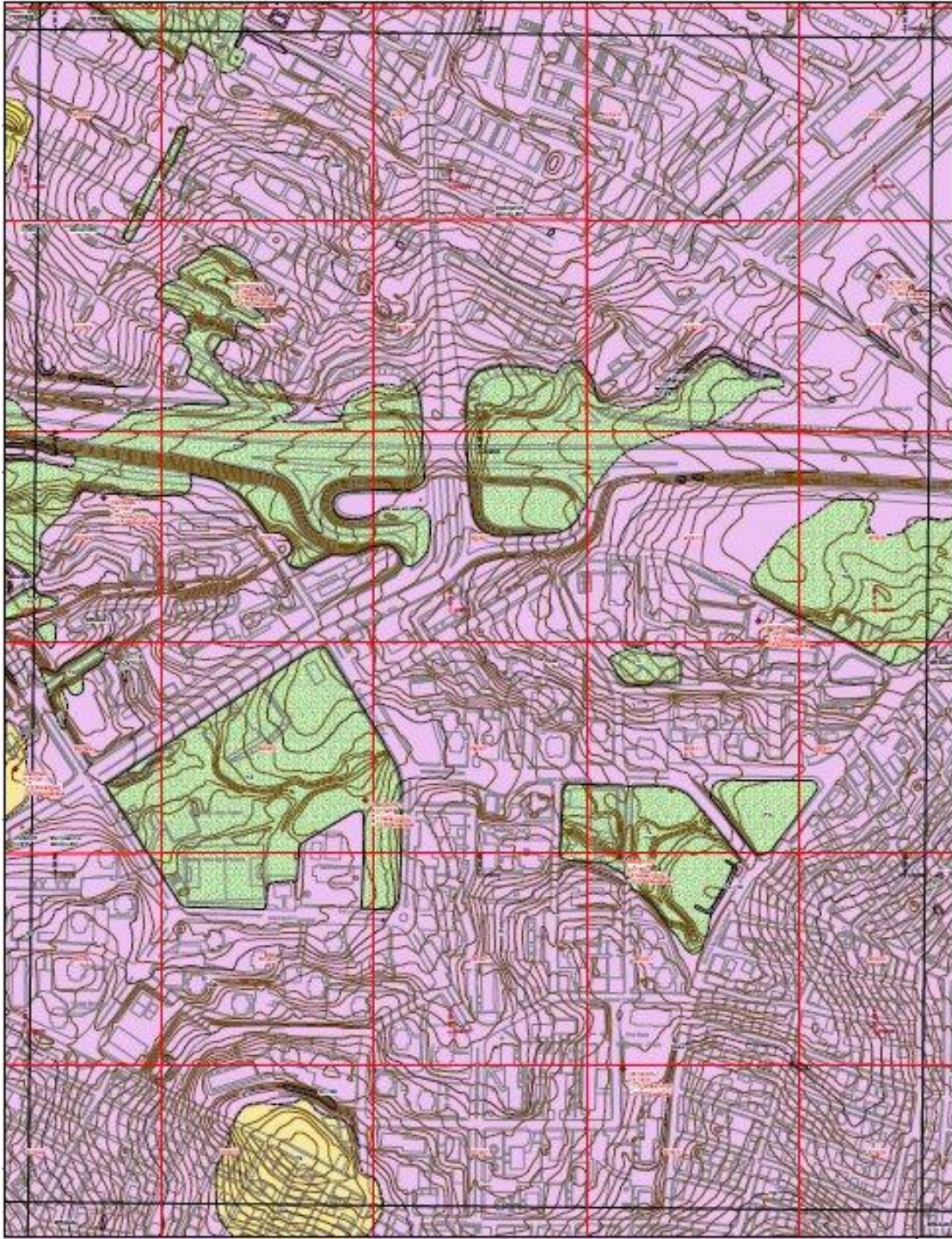
Şekil C.8 : Nakkaşdere jeoloji paftası-2.



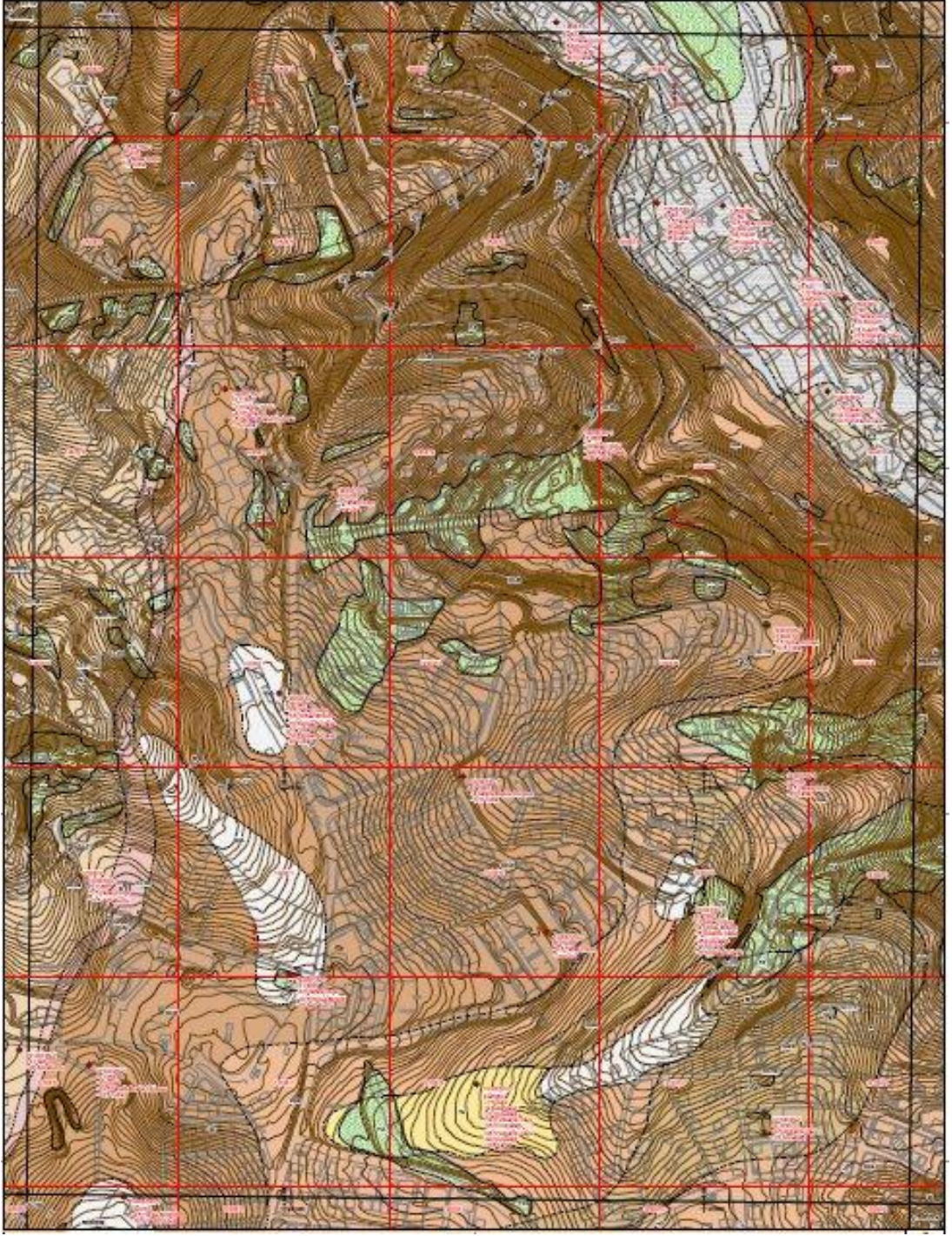
Şekil C.9 : Nakkaşdere jeoloji paftası-3.



Şekil C.10 : Avcılar jeoloji paftası-1.



Şekil C.11 : Dudullu jeoloji paftası.



Şekil C.12 : Küçüksu jeoloji paftası.

EK D : Bölgelerin Sondaj Raporları

Not: Tünel tavan kotları sondaj loglarında yatay-kahverengi- kesikli çizgi ile gösterilmiştir.

EK D

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		1 / 2									
OYO International Corporation				Kuyu No:	0870360S-1										
				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem										
		Sondör:	İSMAİL ÇAĞLAR												
İşveren İdare:		İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı - Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı - Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü													
Projenin adı:		Anadolu Yakası Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması													
Sondaj Başlama Tarihi:		15.10.2008		Sondaj Kuyusunun Yeri:		KADIKÖY YOĞURTÇU PARKI MANÇO OTOBÜS DURAĞI ARKASI									
Sondaj Bitiş Tarihi:		17.10.2008		İçesi:		KADIKÖY									
Sondaj Çapı (mm):		76,00		Koordinat X (E-W) (m):		418.752									
Sondaj Derinliği (m):		20,00		Koordinat Y (N-S) (m):		4.539.764									
Yer Altı Suyu (m):		0,00		ED50		2,0									
Derinlik (m)	İt- Denei Derinliği	Örnek	Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Grafik	TCR %	SCR %	RQD %	Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim	
			Adı	Var/Yok	Darbe Sayısı										N ₆₀ /SK
			0-15	15-30	30-45		10	20	30	40	50				
0,0															
1,0	1,50	1,51	SPT1	Y	50	/1									
2,0	2,50	3,00	UD	Y											
3,0	3,00	3,45	SPT2	V	1	1	1	2							
4,0	4,00	4,50	UD	Y											
5,0	4,50	4,95	SPT3	V	1	1	1	2							
6,0	5,50	6,00	UD	Y											
7,0	6,00	6,45	SPT4	V	1	1	1	2							
8,0	7,00	7,50	UD	Y											
9,0	7,50	7,95	SPT5	V	1	1	1	2							
10,0	8,50	9,00	UD	Y											
11,0	9,00	9,45	SPT6	V	1	1	1	2							
12,0	10,00	10,50	UD	Y											
13,0	10,50	10,95	SPT7	V	1	1	1	2							
14,0	12,00	12,45	SPT8	V	1	1	1	2							
15,0	13,50	13,95	SPT9	V	1	1	1	2							
SPT: Standard Penetrasyon Deneyi UD: Örselenmemiş Numune SK: Sert kaya olduğu için SPT yapılmadı TCR: Toplam karot % SCR: Çapı korunmuş karot % RQD: Çapı korunmuş 10 cm'den uzun karot % B76: Tekli Karot Tüpü (76mm) T76: İkili Karot Tüpü (76mm) Kahverengi kesik çizgi: MTBM Güzergahı VU: Vidye Kron EU: Elmas Kron SS: Sulu sondaj SZ: Susuz sondaj															
Yüklenici Adına Sondajdan Sorumlu Mühendis / Mühendisler Tarih: 17.10.2008 Ad-Soyad / İmza ERTUĞRUL ŞİMŞEK															
İdare Adına Sondajı Kontrol Eden Mühendis / Mühendisler Tarih: 17.10.2008 Ad-Soyad / İmza CELALETTİN ÖZBEK															
"Mekanik Sondaj Teslim Tutanağının Ödemeye Esas Ekidir."															

Şekil D.1 : Kurbağalıdere sondaj raporu-1.

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		1 / 2						
OYO International Corporation				Kuyu No:		0890362N-1						
				Sondaj Tipi:		Rotary Sulu Sistem						
				Sondör:		HAYATİ KONUK						
İşveren İdare:		İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı - Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı - Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü										
Projenin adı:		Anadolu Yakası Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması										
Sondaj Başlama Tarihi:		17.04.2008		Sondaj Kuyusunun Yeri:		KIZILTOPRAK SÖĞÜTLÜ ÇEŞME TREN İSTASYONU ZİVERBEY YOLU ÜZERİ						
Sondaj Bitiş Tarihi:		18.04.2008		İlçesi:		KADIKÖY						
Sondaj Çapı (mm):		76,00		Kordinat X (E-W) (m):		419.234						
Sondaj Derinliği (m):		20,00		Kordinat Y (N-S) (m):		4.540.149						
Yer Altı Suyu (m):		3,95		Kuyu Başı Yükseltisi Z (m):		6,0						
Derinlik (m)	İ- Deney Derinliği	Örnek Adı	Var/Yok	Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Grafik	Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim
				Darbe Sayısı								
				0-15	15-30	30-45	N ₃₀ /SK					
0,0												
1,0												
2,0	1,50	1,53	SPT1	Y	50	/3	> 50				Dolgu; Killi, kumlu, çakıllı.	Yapay Dolgu
3,0	2,50		UD	Y							Kil;	Alüvyon
4,0	3,00	3,45	SPT2	V	5	8	9	17			çakıllı, çakıllar kuvarsit-şeyl kumtaşı kökenli yer yer ince kumlu.	
5,0	4,00		UD	Y								
6,0	4,50	4,95	SPT3	V	10	14	19	33			Şeyl; Yeşilimsi, kahverengi, ileri derecede altere olmuş.	
7,0	5,50		UD	Y								
8,0	6,00	6,20	SPT4	V	25	50	/5	> 50			7,50 m	
9,0	7,00	7,40	UD1	V								
10,0	7,50	7,60	SPT5	V	50	/10	> 50				Şeyl; Gri, parçalı kırıklı	
11,0			SPT6	Y				SK				
12,0			SPT7	Y				SK			Miltaşı; Açık kahverengi- açıkboz, muskovitli, ayrışma rengi, kahverengi, yer yer laminalı	
13,0			SPT8	Y				SK				
14,0			SPT9	Y				SK			14,00 m	
15,0											Kumtaşı; Yeşilimsi-gri ince orta taneli, muskovitli.	
SPT: Standard Penetrasyon Deneyi UD: Örselememiş Numune SK: Sert kaya olduğu için SPT yapılmadı TCR: Toplam karot % SCR: Çapı korunmuş karot % RQD: Çapı korunmuş 10 cm'den uzun karot % B76: Tekli Karot Tüpü (76mm) T76: İkili Karot Tüpü (76mm) Kahverengi kesik çizgi: MTBM Güzergahı VU: Vidy Kron EU: Elmas Kron SS: Sulu sondaj SZ: Susuz sondaj				Yüklenici Adına Sondajdan Sorumlu Mühendis / Mühendisler Tarih: 18.04.2008 Ad-Soyad / İmza OSMAN NURİ ALBAYRAK				İdare Adına Sondajı Kontrol Eden Mühendis / Mühendisler Tarih: 18.04.2008 Ad-Soyad / İmza TARIK TALAY				
"Mekanik Sondaj Teslim Tutanağının Ödemeye Esas Ekidir."												

Şekil D.2 : Kurbağalıdere sondaj raporu-2.

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		1 / 1														
OYO International Corporation				Kuyu No:		0720380N-1														
				Sondaj Tipi:		Rotary Sulu Sistem														
				Sondör:		ŞABAN KAYA														
İşveren İdare:		İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı - Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı - Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü																		
Projenin adı:		Anadolu Yakası Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması																		
Sondaj Başlama Tarihi:		21.09.2007		Sondaj Kuyusunun Yeri:		İSKELE CAD. KOY YOLU SOK.NO:6 ÖNÜNDEKİ PARK (SAHİLDE)														
Sondaj Bitiş Tarihi:		22.09.2007		İlçesi:		BOSTANCI														
Sondaj Çapı (mm):		76,00		Koordinat X (E-W) (m):		423.734														
Sondaj Derinliği (m):		10,00		Koordinat Y (N-S) (m):		4.535.923														
Yer Altı Suyu (m):		2,30		ED50		Kuyu Başı Yükseltisi Z (m):														
				ED50		2,0														
Derinlik (m)	İr- Deney Derinliği	Örnek Adı	Var/Yok	Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Grafik	TCR %	SCR %	ROD %	Grafik	TCR %	SCR %	ROD %	Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Yük	Formasyon
				Darbe Sayısı																
				0-15	15-30	30-45	N ₆₀ /SK	10	20	30	40	50								
0,0																				
1,0																				
2,0	1,50	1,51	SPT1	Y	50	/1														
3,0																				
4,0	3,00	3,01	SPT2	Y	50	/1														
5,0	4,00	4,50	UD1	Y																
6,0	4,50	4,95	SPT3	V	1	3	3	6												
7,0	6,00	6,13	SPT4	V	50	/13														
8,0	7,50	7,51	SPT5	Y	50	/1														
9,0			SPT6	Y				SK												
10,0																				
11,0			SPT7																	
12,0			SPT8																	
13,0																				
14,0			SPT9																	
15,0																				
SPT: Standard Penetrasyon Deneyi				Yüklenici Adına				İdare Adına												
UD: Örselenmemiş Numune				Sondajdan Sorumlu				Sondajı Kontrol Eden												
SK: Sert kaya olduğu için SPT yapılmadı				Mühendis / Mühendisler				Mühendis / Mühendisler												
TCR: Toplam karot %				Tarih:				Tarih:												
SCR: Çapı korunmuş karot %				22.09.2007				22.09.2007												
ROD: Çapı korunmuş 10 cm'den uzun karot %				Ad-Soyad / İmza				Ad-Soyad / İmza												
B76: Tekli Karot Tüpü (76mm)				OSMAN KAAN YAZICI				AHMET TARIH												
T76: İkili Karot Tüpü (76mm)																				
Kahverengi kesik çizgi: MTBM güzergahı																				
VU: Vidy Kron																				
EU: Elmas Kron																				
SS: Sulu sondaj																				
SZ: Susuz sondaj																				
"Mekanik Sondaj Teslim Tutanağının Ödemeye Esas Eklidir."																				

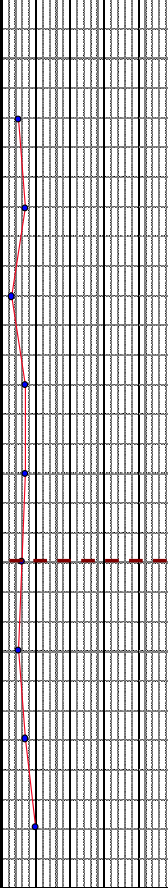
Şekil D.3 : Bostancı sondaj raporu.

YÜKLENİCİ FİRMA:		Sondaj Logu		SONDAJ KUYU NO:		N0970309															
				SONDAJ TİPİ:		ROTARY SULU SİSTEM															
				SONDÖRÜ:		AZİZ AKKUŞ															
İŞVEREN İDARE:		İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYE BAŞKANLIĞI - PLANLAMA ve İMAR DAİRE BAŞKANLIĞI - ZEMİN ve DEPREM İNCELEME MÜDÜRLÜĞÜ																			
PROJENİN ADI:		MİKROBOLGELEME RAPOR ve HARİTALARININ YAPILMASI- AVRUPA YAKASI (GÜNEY) İŞİ																			
SONDAJ KUYUSUNUN YERİ:		A.NAFİZ GÜRMAN MAH. TURUNCU SOK. ÜRÜN APT. OTOYOL İÇİ																			
İLÇESİ:		GÜNGÖREN		SONDAJ BAŞLAMA TARİHİ:		11.12.06															
YER ALTI SUYU:		6,7		SONDAJ BİTİŞ TARİHİ:		13.12.06															
SONDAJ KOTU (Zemin üst):		18,00		KOORDİNAT (y) (N-S):		4542076,88															
SONDAJ TOPLAM DERİNLİĞİ:		30		KOORDİNAT (x) (E-W):		405948,16															
KAÇ SAHİFE / BU KAÇINCI SAHİFE:		2 / 1		SONDAJ ÇAPİ (mm):		76															
DERİNLİK (m)	h= Deney Derinliği	NUMUNE TİPİ	STANDARD PENETRASYON DENEYİ (SPT)										AYRIŞMA	DAYANIMLILIK	TCR % si	SCR % si	RQD %	Litoloji	JEOTEKNİK TANIMLAMA	FORMASYON	Y S S
			DARBE SAYISI					GRAFİK													
0			0-15	15-30	30-45	N ₃₀	10	20	30	40	50										
0,50																					
1,00																					
1,50																					
2,00	1,53	SPT1	50/3																		
2,50																					
3,00	3,00																				
3,50	3,09	SPT2	50/9																		
4,00																					
4,50	4,50	UD1																			
5,00	4,95	SPT3	3	6	7	13															
5,50																					
6,00	6,00																				
6,50	6,45	SPT4	7	9	10	19															
7,00																					
7,50	7,50																				
8,00	7,95	SPT5	7	7	12	19															
8,50	8,50																				
9,00	9,00	UD2																			
9,50	9,45	SPT6	6	7	9	16															
10,00																					
10,50	10,50																				
11,00	10,95	SPT7	3	3	5	8															
11,50																					
12,00	12,00																				
12,50	12,45	SPT8	4	5	5	10															
13,00																					
13,50	13,50																				
14,00	13,95	SPT9	9	11	13	24															
14,50																					
15,00																					
SPT= Standard Penetrasyon Deneyi. D= Örselenmiş Numune U D= Örselenmemiş Numune TCR = Toplam Karot % si			K= Karot Numunesi Kahverengi kesik çizgi: MTBM Güzergahı SCR= Çapını Koruyan Karot % si			YÜKLENİCİ ADINA		İDARE ADINA													
						SONDAJDAN SORUMLU MÜHENDİS / MÜHENDİSLER		SONDAJİ KONTROL EDEN MÜHENDİS / MÜHENDİSLER													
						TARİH: 13.12.2006		TARİH: 13.12.2006													
						AD-SOYAD / İMZA		AD-SOYAD / İMZA													
			ADEM TIRPANCİ			AHMET TARİH															
"MEKANİK SONDAJ TESLİM TUTANAĞININ ÖDEMeye ESAS EKİDİR."																					

Şekil D.4 : Çırpıcı sondaj raporu-1.

YÜKLENİCİ FİRMA:		Sondaj Logu		SONDAJ KUYU NO:		S1000308-2															
				SONDAJ TİPİ:		ROTARY SULU SİSTEM															
				SONDÖRÜ:		ŞABAN YAHŞI															
İŞVEREN İDARE:		İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYE BAŞKANLIĞI - PLANLAMA ve İMAR DAİRE BAŞKANLIĞI - ZEMİN ve DEPREM İNCELEME MÜDÜRLÜĞÜ																			
PROJENİN ADI:		MİKROBOLGELEME RAPOR ve HARİTALARININ YAPILMASI- AVRUPA YAKASI (GÜNEY) İŞİ																			
SONDAJ KUYUSUNUN YERİ:		ASTAŞTUĞLA FAB. ARKA BAHÇESİ																			
İLÇESİ:		GÜNGÖREN		SONDAJ BAŞLAMA TARİHİ:		09.04.2007															
YER ALTI SUYU:				SONDAJ BİTİŞ TARİHİ:		10.04.2007															
SONDAJ KOTU (Zemin üst):		20,00		KOORDİNAT (y) (N-S):		4542785,02															
SONDAJ TOPLAM DERİNLİĞİ:		20		KOORDİNAT (x) (E-W):		405825,30															
KAÇ SAHİFE / BU KAÇINCI SAHİFE:		2 / 1		SONDAJ ÇAPI (mm):		76															
DERİNLİK (M)	h= Deney Derinliği	NUMUNE TİPİ	STANDARD PENETRASYON DENEYİ (SPT)										AYRIŞMA	DAYANIMLILIK	TCR % si	SCR % si	RQD %	Litoloji	JEOTEKNİK TANIMLAMA	FORMASYON	Y S S
			DARBE SAYISI				GRAFİK														
			0-15	15-30	30-45	N ₃₀	10	20	30	40	50										
0																					
0,50																					
1,00																					
1,50																					
2,00	1,50	SPT1	2	4	6	10															
2,50	1,95																				
3,00																					
3,50	3,00	SPT2	2	3	5	8															
4,00	3,45																				
4,50	4,00	UD1																			
5,00	4,50																				
5,50	4,95	SPT3	2	3	5	8															
6,00																					
6,50	6,00	SPT4	3	4	6	10															
7,00	6,45																				
7,50	7,00																				
8,00	7,50	UD2																			
8,50	7,95	SPT5	2	2	3	5															
9,00																					
9,50	9,00	SPT6	8	9	9	18															
10,00	9,45																				
10,50																					
11,00	10,50	SPT7	7	10	12	22															
11,50	10,95																				
12,00																					
12,50	12,00	SPT8	8	12	15	27															
13,00	12,45																				
13,50																					
14,00	13,50	SPT9	6	7	10	17															
14,50	13,95																				
15,00																					
			SPT= Standard Penetrasyon Deneyi. D= Örstenmiş Numune U D= Örstenmemiş Numune TCR = Toplam Karot % si K= Karot Numunesi Kahverengi kesik çizgi: MTBM Güzergahı SCR= Çapını Koruyan Karot % si										YÜKLENİCİ ADINA		İDARE ADINA						
													SONDAJCI SORUMLU MÜHENDİS / MÜHENDİSLER		SONDAJCI KONTROL EDEN MÜHENDİS / MÜHENDİSLER						
													TARİH: 10.04.2007		TARİH: 10.04.2007						
													AD-SOYAD / İMZA		AD-SOYAD / İMZA						
													ADEM TIRPANCİ		AHMET TARİH						
"MEKANİK SONDAJ TESLİM TUTANAĞININ ÖDEMEYE ESAS EKİDİR."																					

Şekil D.5 : Çırpıcı sondaj raporu-2.

YÜKLENİCİ FİRMA:		Sondaj Logu		SONDAJ KUYU NO:		S1000270-1															
				SONDAJ TİPİ:		ROTARY SULU SİSTEM															
				SONDÖRÜ:		ÇETİN ŞALLI															
İŞVEREN İDARE:		İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYE BAŞKANLIĞI - PLANLAMA ve İMAR DAİRE BAŞKANLIĞI- ZEMİN ve DEPREM İNCELEME MÜDÜRLÜĞÜ																			
PROJENİN ADI:		MİKROBOLGELEME RAPOR ve HARİTALARININ YAPILMASI- AVRUPA YAKASI (GÜNEY) işi																			
SONDAJ KUYUSUNUN YERİ:		HALKALI GÜMRÜK TIR OTOPARKI KENARI DEMİRLİKLER YANI																			
İLÇESİ:		HALKALI / K.ÇEKMECE		SONDAJ BAŞLAMA TARİHİ:		11.02.2007															
YER ALTI SUYU:		4,0		SONDAJ BİTİŞ TARİHİ:		13.02.2007															
SONDAJ KOTU (Zemin üst):		8,50		KOORDİNAT (y) (N-S):		4542985,63															
SONDAJ TOPLAM DERİNLİĞİ:		20		KOORDİNAT (x) (E-W):		396291,14															
KAÇ SAHİFE / BU KAÇINCI SAHİFE:		2 / 1		SONDAJ ÇAPI (mm):		76															
DERİNLİK (M)	h= Deney Derinliği	NUMUNE TİPİ	STANDARD PENETRASYON DENEYİ (SPT)										AYRIŞMA	DAYANIMLILIK	TCR % si	SCR % si	RQD %	Litoloji	JEOTEKNİK TANIMLAMA	FORMASYON	Y S S
			DARBE SAYISI				GRAFİK														
0			0-15	15-30	30-45	N ₃₀	10	20	30	40	50										
0,50																					
1,00																					
1,50																					
2,00	1,50	SPT1	2	3	2	5															
2,50	1,95																				
3,00																					
3,50	3,00	SPT2	3	4	3	7															
4,00	3,45																				
4,50																					
5,00	4,50	SPT3	1	1	2	3															
5,50	4,95																				
6,00																					
6,50	6,00	SPT4	2	4	3	7															
7,00	6,45																				
7,50																					
8,00	7,50	SPT5	3	3	4	7															
8,50	7,95																				
9,00																					
9,50	9,00	SPT6	2	3	3	6															
10,00	9,45																				
10,50																					
11,00	10,50	SPT7	3	2	3	5															
11,50	10,95																				
12,00																					
12,50	12,00	SPT8	3	3	4	7															
13,00	12,45																				
13,50																					
14,00	13,50	SPT9	3	5	5	10															
14,50	13,95																				
15,00																					
SPT= Standard Penetrasyon Deneyi. D= Örselenmiş Numune U D= Örselenmemiş Numune TCR = Toplam Karot % si													YÜKLENİCİ ADINA		İDARE ADINA						
													SONDAJDAN SORUMLU MÜHENDİS / MÜHENDİSLER		SONDAJİ KONTROL EDEN MÜHENDİS / MÜHENDİSLER						
													TARİH: 13.02.2007		TARİH: 13.02.2007						
													AD-SOYAD / İMZA		AD-SOYAD / İMZA						
													ADEM TIRPANCİ		AHMET TARİH						
"MEKANİK SONDAJ TESLİM TUTANAĞININ ÖDEMEYE ESAS EKİDİR."																					

Şekil D.6 : Nakkaşdere sondaj raporu-1.

YÜKLENİCİ FİRMA:		Sondaj Logu		SONDAJ KUYU NO:		S1060270-2															
				SONDAJ TİPİ:		ROTARY SULU SİSTEM															
				SONDÖRÜ:		YUNUS ALAN															
İŞVEREN İDARE:		İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYE BAŞKANLIĞI - PLANLAMA ve İMAR DAİRE BAŞKANLIĞI - ZEMİN ve DEPREM İNCELEME MÜDÜRLÜĞÜ																			
PROJENİN ADI:		MİKROBOLGELEME RAPOR ve HARİTALARININ YAPILMASI- AVRUPA YAKASI (GÜNEY) İŞİ																			
SONDAJ KUYUSUNUN YERİ:		ARAZ LPG DOLUM İSTASYONU' NUN İÇİ																			
İLÇESİ:		HALKALI		SONDAJ BAŞLAMA TARİHİ:		03.02.2007															
YER ALTI SUYU:		1,7		SONDAJ BİTİŞ TARİHİ:		06.02.2007															
SONDAJ KOTU (Zemin üst):		4,00		KOORDİNAT (y) (N-S):		4544300,11															
SONDAJ TOPLAM DERİNLİĞİ:		20		KOORDİNAT (x) (E-W):		396273,03															
KAÇ SAHİFE / BU KAÇINCI SAHİFE:		2 / 1		SONDAJ ÇAPİ (mm):		76															
DERİNLİK (M)	h= Deney Derinliği	NUMUNE TİPİ	STANDARD PENETRASYON DENEYİ (SPT)										AYRIŞMA	DAYANIMLILIK	TCR % si	SCR % si	RQD %	Litoloji	JEOTEKNİK TANIMLAMA	FORMASYON	YSS
			DARBE SAYISI				GRAFİK														
			0-15	15-30	30-45	N ₃₀	10	20	30	40	50										
0																					
0,50																					
1,00																					
1,50																					
2,00	1,50	SPT1	10	12	11	23															
2,50	1,95																				
3,00																					
3,50	3,00	SPT2	4	5	6	11															
4,00	3,45																				
4,50																					
5,00	4,50	SPT3	6	6	8	14															
5,50	4,95																				
6,00																					
6,50	6,00	SPT4	5	6	7	13															
7,00	6,45																				
7,50																					
8,00	7,50	SPT5	6	8	10	18															
8,50	7,95																				
9,00																					
9,50	9,00	SPT6	6	7	8	15															
10,00	9,45																				
10,50																					
11,00	10,50	SPT7	7	8	8	16															
11,50	10,95																				
12,00																					
12,50	12,00	SPT8	2	5	3	8															
13,00	12,45																				
13,50																					
14,00	13,50	SPT9	2	1	5	6															
14,50	13,95																				
15,00																					
			SPT= Standard Penetrasyon Deneyi. D= Örstenmiş Numune U D= Örstenmemiş Numune TCR = Toplam Karot % si										YÜKLENİCİ ADINA		İDARE ADINA						
			K= Karot Numunesi Kahverengi kesik çizgi: MTBM Güzergahı SCR= Çapını Koruyan Karot % si										SONDAJCI SORUMLU MÜHENDİS / MÜHENDİSLER		SONDAJCI KONTROL EDEN MÜHENDİS / MÜHENDİSLER						
													TARİH: 06.02.2007		TARİH: 06.02.2007						
													AD-SOYAD / İMZA		AD-SOYAD / İMZA						
													OSMAN NURİ ALBAYRAK		AHMET TARİH						
"MEKANİK SONDAJ TESLİM TUTANAĞININ ÖDEMEYE ESAS EKİDİR."																					

Şekil D.7 : Nakkaşdere sondaj raporu-2.

YÜKLENİCİ FIRMA:		Sondaj Logu		SONDAJ KUYU NO:		S0850264-1															
				SONDAJ TİPİ:		ROTARY SULU SİSTEM															
				SONDÖRÜ:		ABDULCELİL YILMAZ															
İŞVEREN İDARE:		İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYE BAŞKANLIĞI-PLANLAMA ve İMAR DAİRE BAŞKANLIĞI- ZEMİN ve DEPREM İNCELEME MÜDÜRLÜĞÜ																			
PROJENİN ADI:		MİKROBOLGELEME RAPOR ve HARİTALARININ YAPILMASI- AVRUPA YAKASI (GÜNEY) işi																			
KAÇ SAHİFE / BU KAÇINCI SAHİFE:		2 / 2																			
DERİNLİK (M)	h= Denei Derinliği	NUMUNE TİPİ	STANDARD PENETRASYON DENEYİ (SPT)										AYRIŞMA	DAYANIMLILIK	TCR % si	SCR % si	RQD %	Litoloji	JEOTEKNİK TANIMLAMA	FORMASYON	Y S S
			DARBE SAYISI				GRAFİK														
			0-15	15-30	30-45	N ₃₀	10	20	30	40	50										
15,00																					
15,50	15,00																				
16,00	15,45	SPT10	8	15	17	32															
16,50																					
17,00	16,50	SPT11	17	21	24	45															
17,50	16,95																				
18,00																					
18,50	18,00	SPT12	11	17	23	40															
19,00	18,45																				
19,50																					
20,00																					
20,50	20,00	SPT13	13	18	19	37															
21,00	20,45																				
21,50																					
22,00																					
22,50																					
23,00																					
23,50																					
24,00																					
24,50																					
25,00																					
25,50																					
26,00																					
26,50																					
27,00																					
27,50																					
28,00																					
28,50																					
29,00																					
29,50																					
30,00																					
30,50																					
31,00																					
31,50																					
32,00																					
32,50																					
33,00																					
33,50																					
34,00																					
34,50																					
35,00																					
SPT= Standard Penetrasyon Deneyi.			K= Karot Numunesi										YÜKLENİCİ ADINA		İDARE ADINA						
D= Örselenmiş Numune			Kahverengi kesik çizgi: MTBM Güzergahı										SONDAJCI SORUMLU MÜHENDİS / MÜHENDİSLER		SONDAJCI KONTROL EDEN MÜHENDİS / MÜHENDİSLER						
U D= Örselenmemiş Numune			SCR= Çapını Koruyan Karot % si										TARİH: 06.02.2007		TARİH: 06.02.2007						
TCR = Toplam Karot % si													AD-SOYAD / İMZA		AD-SOYAD / İMZA						
													ADEM TIRPANCİ		AHMET TARİH						
"MEKANİK SONDAJ TESLİM TUTANAĞININ ÖDEMeye ESAS EKİDİR."																					

Şekil D.8 : Avcılar sondaj raporu.

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		1 / 1						
OYO International Corporation				Kuyu No:		0910400N-1						
				Sondaj Tipi:		Rotary Sulu Sistem						
				Sondör:		ŞABAN KAYA						
İşveren İdare:		İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı - Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı - Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü										
Projenin adı:		Anadolu Yakası Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması										
Sondaj Başlama Tarihi:		03.07.2008		Sondaj Kuyusunun Yeri:		YUKARI DUDULLU MAHALLESİ DİVAN SOKAK PARK ALANI YANI BOŞ ARSA İÇİ.						
Sondaj Bitiş Tarihi:		05.07.2008		İlçesi:		ÜMRANİYE						
Sondaj Çapı (mm):		76,00		Koordinat X (E-W) (m):		428.702						
Sondaj Derinliği (m):		14,00		Koordinat Y (N-S) (m):		4.540.704						
Yer Altı Suyu (m):		4,30		ED50		135,0						
Yer Altı Suyu (m):		4,30		ITRF96		135,0						
Derinlik (m)	İr- Deney Derinliği	Örnek	Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Grafik	Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim	
			Adı	Var/Yok	Darbe Sayısı							Grafik
			0-15	15-30	30-45	N ₆₀ /SK	10	20	30	40	50	
0,0												
1,0												
2,0												
3,0												
4,0												
5,0	4,50	4,51	SPT3	Y	50	/1						
6,0	6,00	6,45	SPT4	V	7	10	15	25				
7,0												
8,0	7,50	7,95	SPT5	V	8	11	15	26				
9,0	9,00	9,02	SPT6	Y	50	/2						
10,0												
11,0			SPT7	Y				SK				
12,0			SPT8	Y				SK				
13,0												
14,0			SPT9	Y				SK				
15,0												
SPT: Standard Penetrasyon Deneyi			Yüklenici Adına			İdare Adına						
UD: Örselenmemiş Numune			Sondajdan Sorumlu			Sondajı Kontrol Eden						
SK: Sert kaya olduğu için SPT yapılmadı			Mühendis / Mühendisler			Mühendis / Mühendisler						
TCR: Toplam karot %			Tarih:			Tarih:						
SCR: Çapı korunmuş karot %			05.07.2008			05.07.2008						
RQD: Çapı korunmuş 10 cm'den uzun karot %			Ad-Soyad / İmza			Ad-Soyad / İmza						
B76: Tekli Karot Tüpü (76mm)			OSMAN KAAN YAZICI			İSRA ÖZDEMİR						
T76: İkili Karot Tüpü (76mm)												
Kahverengi kesik çizgi: MTBM Güzergahı			"Mekanik Sondaj Teslim Tutanağının Ödemeye Esas Eklidir."									
VU: Vidye Kron												
EU: Elmas Kron												
SS: Sulu sondaj												
SZ: Susuz sondaj												

Şekil D.9 : Dudullu sondaj raporu.

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		1 / 2														
OYO International Corporation				Kuyu No:		1260372S-1														
				Sondaj Tipi:		Rotary Sulu Sistem														
				Sondör:		MUSTAFA KABAKÇI														
İşveren İdare:		İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı - Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı - Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü																		
Projenin adı:		Anadolu Yakası Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması																		
Sondaj Başlama Tarihi:		12.09.2008		Sondaj Kuyusunun Yeri:		YENİ MAHHALLE HEKİMBAŞI ÇİFTLİK CAD. BEYKOZ ANADOLU HİSARI														
Sondaj Bitiş Tarihi:		13.09.2008		İlçesi:		ÜSKÜDAR														
Sondaj Çapı (mm):		76,00		Kordinat X (E-W) (m):		421.757														
Sondaj Derinliği (m):		20,00		Kordinat Y (N-S) (m):		4.549.492														
Yer Altı Suyu (m):		1,24		Kuyu Başı Yükseltisi Z (m):		3,0														
Derinlik (m)	İ- Deney Derinliği	Örnek Adı	Var/Yok	Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Karat Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanıklılık	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik	Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim
				Darbe Sayısı																
				0-15	15-30	30-45	N ₃₀ /SK	10	20	30	40	50								
0,5																				
1,5	1,50	1,95	SPT1	V	3	3	2	5											Dolgu; Killi, çakıllı, az kumlu.	
2,5																			2,00 m	
3,5	3,00	3,45	SPT2	V	2	6	7	13											Killi Kum; Yeşilimsi kahverengi, siltli, ince orta taneli, ince çakıllı, (4,00-4,50m arası bol ince çakıllı, çakıllar kuvarsit - kumtaşı kökenli)	
4,5																			5,00 m	
5,5	4,50	4,95	SPT3	V	3	4	5	9												
6,5	6,00	6,45	SPT4	V	1	2	3	5											Killi Kum; Yeşilimsi, gri, orta kaba taneli, siltli, bol ince-ufak çakıllı.	
7,5	7,00	7,50	UD1	V																
8,5	7,50	7,95	SPT5	V	2	4	5	9												
9,5	9,00	9,45	SPT6	V	3	5	7	12											9,00 m	
10,5	10,00	10,50	UD2	V																
11,5	10,50	10,95	SPT7	V	1	1	1	2											Kil; Gri, yüksek plastisiteli, kumlu, siltli. (13,00-13,50m arası ince çakıllı, yer yer fasil kırıntılı ve organik madde içerikli)	
12,5	12,00	12,45	SPT8	V	2	4	3	7												
13,5																				
14,5	13,50	13,95	SPT9	V	1	1	1	2												
15,5																				
SPT: Standard Penetrasyon Deneyi UD: Örselememiş Numune SK: Sert kaya olduğu için SPT yapılmadı TCR: Toplam karot % SCR: Çapı korunmuş karot % RQD: Çapı korunmuş 10 cm'den uzun karot % B76: Tekli Karot Tüpü (76mm) T76: İkili Karot Tüpü (76mm) Kahverengi kesik çizgi: MTBM Güzergahı VU: Vidy Kron EU: Elmas Kron SS: Sulu sondaj SZ: Susuz sondaj				Yüklenici Adına Sondajdan Sorumlu Mühendis / Mühendisler Tarih: 13.09.2008 Ad-Soyad / İmza ERCAN GÜZEL				İdare Adına Sondajı Kontrol Eden Mühendis / Mühendisler Tarih: 13.09.2008 Ad-Soyad / İmza CELALETTİN ÖZBEK												
"Mekanik Sondaj Teslim Tutanağının Ödemeye Esas Ekidir."																				

Şekil D.10 : Küçüksu sondaj raporu.

EK E : SPT, Kıvam Limitleri ve Elek Analizleri Deney Raporları

EK E

DENEY RAPORLARI

Toplu sonuçlar

[illegible]

Şekil E.1 : Kurbağalıdere 0870360S-1 sondajı deney raporları.

KIVAM LİMİTLERİ (LİKİT & PLASTİK) DENEY RAPORU

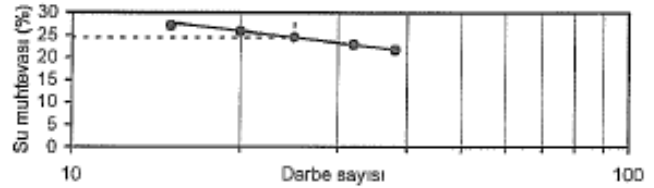
Firma Adı	OYO International Corporation			
Proje Adı	Mikrobölgelendirme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Anadolu Yakası			
Sondaj No.	0870360S-1	Numune Kabul Tarihi	24,10,2008	
Numune	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	28,10,2008	
Derinlik	10,50-10,95 m	Rapor Tarihi ve No.su	19,11,2008	06-2506att5

LİKİT LİMİT	Darbe Sayısı (ortalama)	38	32	25	20	15
	Kap No.	461	167	1279	195	344
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	39,71	37,95	39,36	39,90	38,13
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	35,80	34,30	34,81	35,39	33,82
	Boş kap Ağırlığı (g)	16,69	18,35	16,27	17,93	17,90
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	18,91	15,95	18,54	17,46	15,92
	Su Ağırlığı (g)	4,11	3,65	4,55	4,51	4,31
	Su Muhtevası (%)	21,7	22,9	24,5	25,8	27,1

PLASTİK LİMİT	Kap No.	1241	1277		
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	21,46	21,30		
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	20,79	20,73		
	Boş kap Ağırlığı (g)	16,65	17,20		
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	4,14	3,53		
	Su Ağırlığı (g)	0,67	0,57		
	Su Muhtevası (%)	16,2	16,1		

DENEY SONUÇLARI

Likit Limit (LL) %	24,5
Plastik Limit (PL) %	16,2
Plastisite İndisi (PI) %	8,3

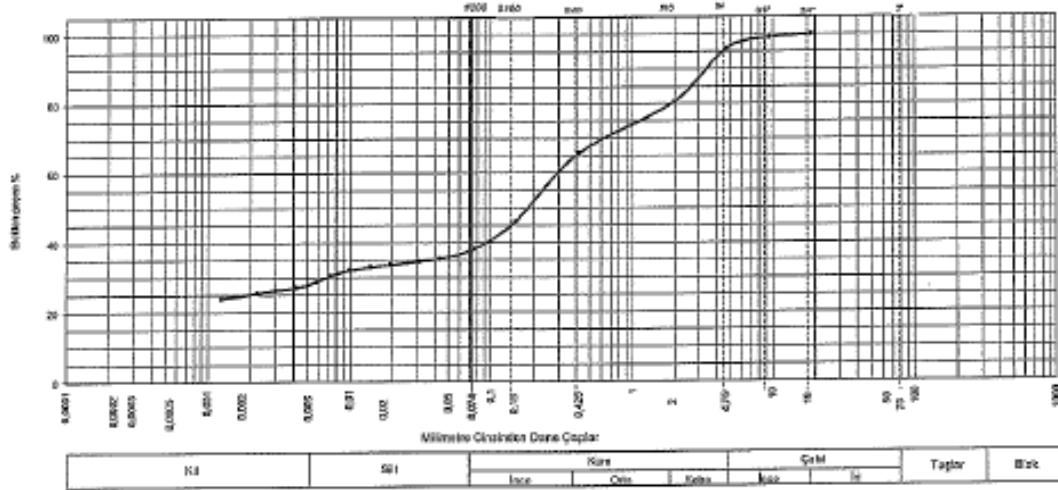


Şekil E.2 : Kurbağalıdere 0870360S-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.

DANE ÇAPI DAĞILIMI DENEY RAPORU
(HİDROMETRE-ELEK ANALİZİ)

Firma Adı	DYD International Corporation		
Proje Adı	Mühobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Anadolu Yakası		
Bordaj No	0870360S-1	Namune Kabul Tarihi	24.10.2008
Namune	SPT	Deneğin Yapıldığı Tarih	28.10.2008
Derinliği	10.50-10.85 m	Rapor Tarihi ve No.su	19.11.2008 08-2509ndt

HİDROMETRİK YÖNTEM										ELEK YÖNTEMİ					
Hidrometro No	151 H	De 200 elekten geçen		38.02		g				Kuru ağırlık (g) : 100.00					
Yapılma yeri	Na Pöt			Ortalama d		2.52									
Hidro	Alıştı														
İstenilen Dönüşüm	0.0085														
Geçen Zaman (Yıl)	Asıl Hidrometrik Ölçüm	Merkezi Dönüşüm Uygulanmış Hid Ölçümü	Sızma C*	Asaplıca Müdahale-Sızma Dönüşümü	Dönüşüm Uygulanmış Hid Ölçümü	Ortalama Dönüşüm	K	Tam Geçen Dönem	Toplam Geçen g/g	Elek no	Elekte Kalan g	Kalan %	Toplam Geçen %		
0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	3 in	75mm	0.00	0.00	100.00	
1	1.0280	1.0219	21	0.0043	1.0216	9.80	0.01382	0.0433	35.35	3/4 in	19mm	0.00	0.00	100.00	
2	1.0255	1.0234	21	0.0043	1.0211	9.84	0.01382	0.0409	34.64	1/2 in	12.5mm	0.00	0.00	100.00	
5	1.0250	1.0249	21	0.0043	1.0206	10.08	0.01382	0.0386	33.72	3/8 in	9.5mm	0.00	0.00	100.00	
10	1.0245	1.0244	21	0.0043	1.0201	10.22	0.01382	0.0360	32.90	1/4 in	6.3mm	0.00	0.00	100.00	
20	1.0240	1.0239	21	0.0043	1.0196	10.35	0.01382	0.0339	32.08	No 4	4.75mm	3.38	4.21	99.07	
40	1.0230	1.0229	21	0.0043	1.0188	10.63	0.01382	0.0311	30.45	No 10	2.00mm	15.38	19.47	95.79	
60	1.0230	1.0219	21	0.0043	1.0175	10.80	0.01382	0.0269	28.81	No 40	0.425mm	14.81	34.28	80.53	
120	1.0210	1.0209	21	0.0043	1.0166	11.18	0.01382	0.0242	27.17	No 60	0.250mm	0.00	34.28	65.72	
240	1.0205	1.0204	21	0.0043	1.0161	11.32	0.01382	0.0230	25.35	No 100	0.150mm	19.54	53.82	65.72	
435	1.0200	1.0199	21	0.0043	1.0156	11.45	0.01382	0.0222	25.54	No 200	0.075mm	8.95	57.89	46.18	
1440	1.0190	1.0189	21	0.0043	1.0146	11.73	0.01382	0.0212	23.90	Fin		38.02	100.00	38.02	



- * Numunelerin alındığı yere ait bilgiler mümkün beyandır.
 * Bu deney raporu, laboratuvarımızın yazılı izni olmadıkça kısmen veya tamamen çoğaltılamaz.
 * Bu deney ASTM D 422-63 / 2001 standardına göre yapılmıştır.
 * Laboratuvarımız, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığının 14/02/2006 tarih, 70 sayılı " Laboratuvar İzin Belgesi " ne sahiptir.

DENEYİ YAPAN

CNAV

Nigar KORLU
Jeoloji Mühendisi

Esen YALIMER
Laboratuvar Müdürü
Deneyçi Mühendis Belge No:3076

Şekil E.3 : Kurbağalıdere 0870360S-1 sondajı dane çapı dağılımı deney raporu.

DENEY RAPORLARI

[illegible]

Şekil E.4 : Kurbağalıdere 0890362N-1 sondajı deney raporları.

KIVAM LİMİTLERİ (LİKİT & PLASTİK) DENEY RAPORU

Firma Adı	OYO International Corporation		
Proje Adı	Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Anadolu Yakası		
Sondaj No.	0890362N-1	Numune Kabul Tarihi	18,04,2008
Numune	UD	Deneyin Yapıldığı Tarih	24,04,2008
Derinlik	7,00-7,40 m	Rapor Tarihi ve No.su	16,05,2008 08-879att4

LİKİT LİMİT	Darbe Sayısı (ortalama)	39	31	25	19	14
	Kap No.	327	42	272	614	551
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	45,69	43,59	49,11	46,10	45,71
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	37,58	35,88	39,29	36,94	36,13
	Boş kap Ağırlığı (g)	17,81	17,80	17,18	17,23	16,25
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	19,77	18,08	22,11	19,71	19,88
	Su Ağırlığı (g)	8,11	7,71	9,82	9,16	9,58
	Su Muhtevası (%)	41,0	42,6	44,4	46,5	48,2

PLASTİK LİMİT	Kap No.	1098	55		
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	22,46	22,40		
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	21,63	21,65		
	Boş kap Ağırlığı (g)	17,26	17,67		
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	4,37	3,98		
	Su Ağırlığı (g)	0,83	0,75		
	Su Muhtevası (%)	19,0	18,8		

DENEY SONUÇLARI

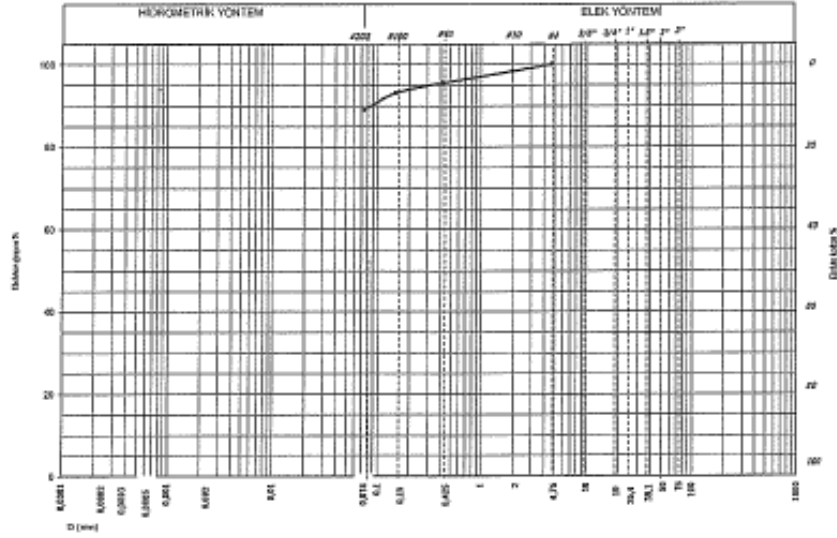
Likit Limit (LL) %	44,4
Plastik Limit (PL) %	18,9
Plastisite İndisi (PI) %	25,5



Şekil E.5 : Kurbağalıdere 0890362N-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Firma Adı	OYO International Corporation		
Proje Adı	Mühürleşme Raporu ve Haritalanma Yapılması - Anadolu Yakası		
Sondaj No.	0890362N-1	Numune Kabul Tarihi	10.04.2008
Matruze	UD	Deneyin Yapıldığı Tarih	24.04.2008
Derinlik	7.00-7.40 m	Rapor Tarihi ve No.su	16.05.2008 08-07954



Mikron Çizelgesi Dene Çapları

Kil (Plastik)	Sil (Plastik Olmayan)	Kum		Çakıl		Taşlar
		İnce	Orta	Kaba	İnce	İn

Kuru numune ağırlığı : 50				
Elek no	Elekten Geçen (g)	Kalan %	Kalan %	Toplam Geçen %
3 in. (75 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2 in. (63 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
2 in. (50 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2 in. (37.5 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
1 in. (25.4 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 in. (19 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2 in. (12.5 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8 in. (9.5 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4 in. (6.3 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
No 4 (4.75 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
No 10 (2.00 mm)	0.00	1.72	1.72	100.00
No 40 (0.425 mm)	1.41	2.82	4.54	95.28
No 60 (0.250 mm)	0.00	0.00	4.54	95.49
No 100 (0.150 mm)	1.22	2.44	6.98	95.49
No 200 (0.075 mm)	1.00	3.98	10.94	93.02
Pan	44.53	89.02	100.00	89.02

* Numunelerin alındığı yer ve alt bilgiler müşteri beyanıdır.
 * Bu deney raporu, laboratuvarımızın yazılı izni olmaksızın kopya veya tamamının çoğaltılması.
 * Bu deney ASTM D 422-83 / 1990 standartlarına göre yapılmıştır.
 * Laboratuvarımız, TC Sayışılık ve İktisat Bakanlığı'nın 14/02/2000 tarih, 70 sayılı "Laboratuvar İzin Belgesi" ile sahifiedir.

DENEYİ YAPAN

ONAY

Nigar KORLU
 Jeoloji Mühendisi

Esen YALIMER
 Laboratuvar Müdürü
 Denetçi Mühendis Belge No:3076

Şekil E.6 : Kurbağalıdere 0890362N-1 sondajı elek analizi deney raporu.

Toplu sonuçlar

Şekil E.7 : Bostancı 720380N-1 sondajı deney raporları.

KIVAM LİMİTLERİ (LİKİT & PLASTİK) DENEY RAPORU

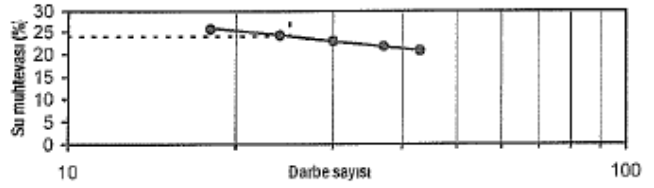
Firma Adı	OYO International Corporation			
Proje Adı	Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Anadolu Yakası			
Sondaj No.	0720380N-1	Numune Kabul Tarihi	25,09,2007	
Numune	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	28,09,2007	
Derinlik	6,00-6,13 m	Rapor Tarihi ve No.su	01,10,2007	07-1995att2

LİKİT LİMİT	Darbe Sayısı (ortalama)	43	37	30	24	18
	Kap No.	71	83	218	293	1101
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	40,26	39,66	41,15	38,56	37,41
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	36,45	35,18	36,78	34,38	33,24
	Boş kap Ağırlığı (g)	18,12	14,55	17,69	17,14	16,97
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	18,33	20,63	19,09	17,24	16,27
	Su Ağırlığı (g)	3,81	4,48	4,37	4,18	4,17
	Su Muhtevası (%)	20,8	21,7	22,9	24,2	25,6

PLASTİK LİMİT	Kap No.	1170	765			
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	21,48	19,14			
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	20,82	18,71			
	Boş kap Ağırlığı (g)	16,88	16,12			
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	3,94	2,59			
	Su Ağırlığı (g)	0,66	0,43			
	Su Muhtevası (%)	16,8	16,6			

DENEY SONUÇLARI

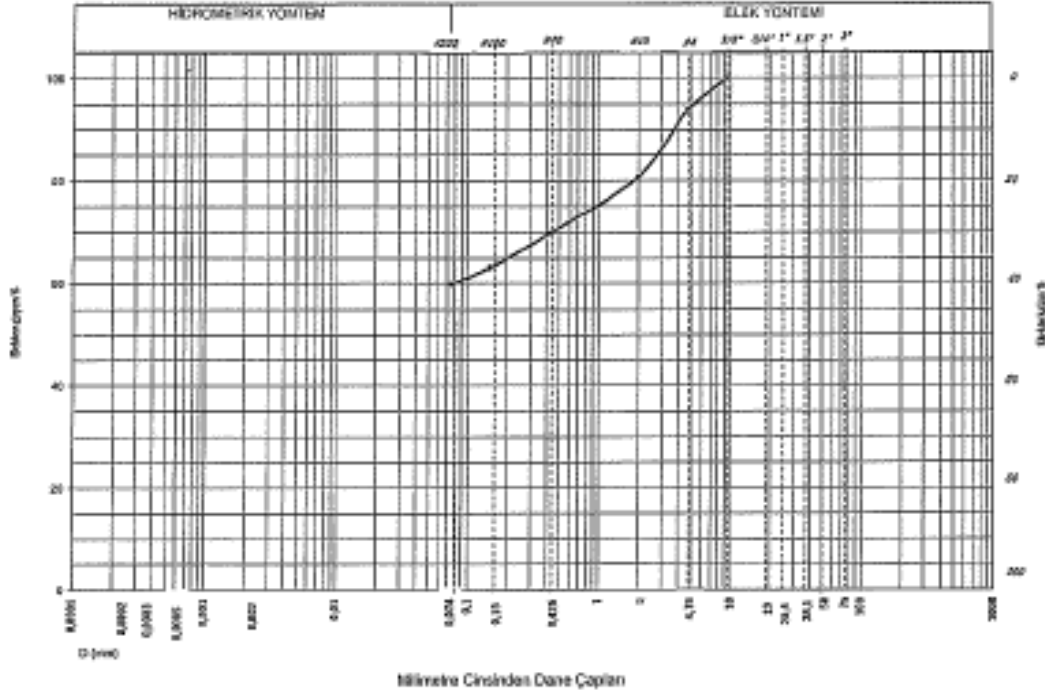
Likit Limit (LL)	%	24,0
Plastik Limit (PL)	%	16,7
Plastisite İndisi (PI)	%	7,3



Şekil E.8 : Bostancı 720380N-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Firma Adı	JOYO International Corporation		
Proje Adı	Mühürbelgeme Raporu ve Haritaların Yapılması - Anadolu Yakası		
Sondaj No	0720380N-1	Numune Kabul Tarihi	25.09.2007
Numune	SFT	Deneyin Yapıldığı Tarih	26.09.2007
Derinlik	6,00-6,13 m	Rapor Tarihi ve No.su	01.10.2007 07-1995ee2



Kil (Plastik)	Sil (Plastik Olmayan)	Kum			Çakıl		Toprak
		İnce	Orta	Kaba	İnce	İli	

Numune ağırlığı : 45,83				
Elek no	Elek	Kalan gr.	Kalan %	Toplam Geçen %
3 in. (75 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2 in. (63 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
2 in. (50 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2 in. (37,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1 in. (25,4 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 in. (19 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2 in. (12,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 in. (9,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1/4 in. (6,3 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
No 4 (4,75 mm)	2,83	6,17	6,17	100,00
No 10 (2,00 mm)	5,90	13,93	13,93	93,83
No 40 (0,425 mm)	6,08	11,97	11,97	80,00
No 60 (0,250 mm)	0,00	0,00	0,00	69,73
No 100 (0,150 mm)	3,07	6,80	6,80	69,73
No 200 (0,075 mm)	1,46	3,23	3,23	63,04
Pan	27,45	59,82	100,00	59,82

* Numunelerin alındığı yere ait bilgiler müşteri beyanıdır.

* Bu deney raporu, laboratuvarımızın vazari olarak kullanılması için hazırlanmıştır ve tamamen çalışmamızdır.

* Bu deney ASTM D 422-63 / 1960 standartlarına göre yapılmıştır.

* Laboratuvarımız, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın 14/03/2006 tarih, 79 sayılı "Laboratuvar İzni Belgesi" ile sahiptir.

DENEYİ YAPAN

ONAY

Nigar KORLU
Jeoloji Mühendisi

Esen YALIMER
Laboratuvar Müdürü
Denetçi Mühendis Belge No:3076

Şekil E.9 : Bostancı 720380N-1 sondajı elek analizi deney raporu.

Toplu sonuçlar

Şekil E.10 : Çırpıcı N 970309 sondajı deney raporları.

KIVAM LİMİTLERİ (LİKİT & PLASTİK) DENEY RAPORU

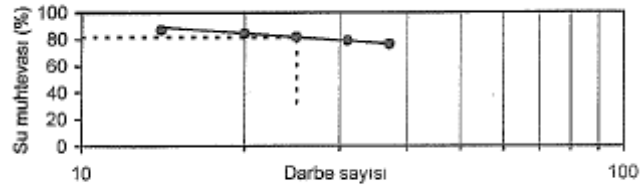
Firma Adı	OYO International Corporation				
Proje Adı	Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Avrupa (Güney)				
Sondaj No.	N 970309	Numune Kabul Tarihi	14,12,2006		
Numune	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	20,12,2006		
Derinlik	12,00-12,45 m	Rapor Tarihi ve No.su	08,01,2007	07-23alt7	

LİKİT LİMİT	Darbe Sayısı (ortalama)	37	31	25	20	14
	Kap No.	722	520	1393	428	199
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	45,25	44,44	42,43	41,46	42,88
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı(g)	33,55	32,07	30,96	30,12	31,29
	Boş kap Ağırlığı (g)	18,26	16,42	16,92	16,71	17,98
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	15,29	15,65	14,04	13,41	13,31
	Su Ağırlığı (g)	11,70	12,37	11,47	11,34	11,59
	Su Muhtevası (%)	76,5	79,0	81,7	84,6	87,1

PLASTİK LİMİT	Kap No.	1388	275			
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	20,99	20,43			
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	20,55	19,97			
	Boş kap Ağırlığı (g)	18,19	17,49			
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	2,36	2,48			
	Su Ağırlığı (g)	0,44	0,46			
	Su Muhtevası (%)	18,6	18,5			

DENEY SONUÇLARI

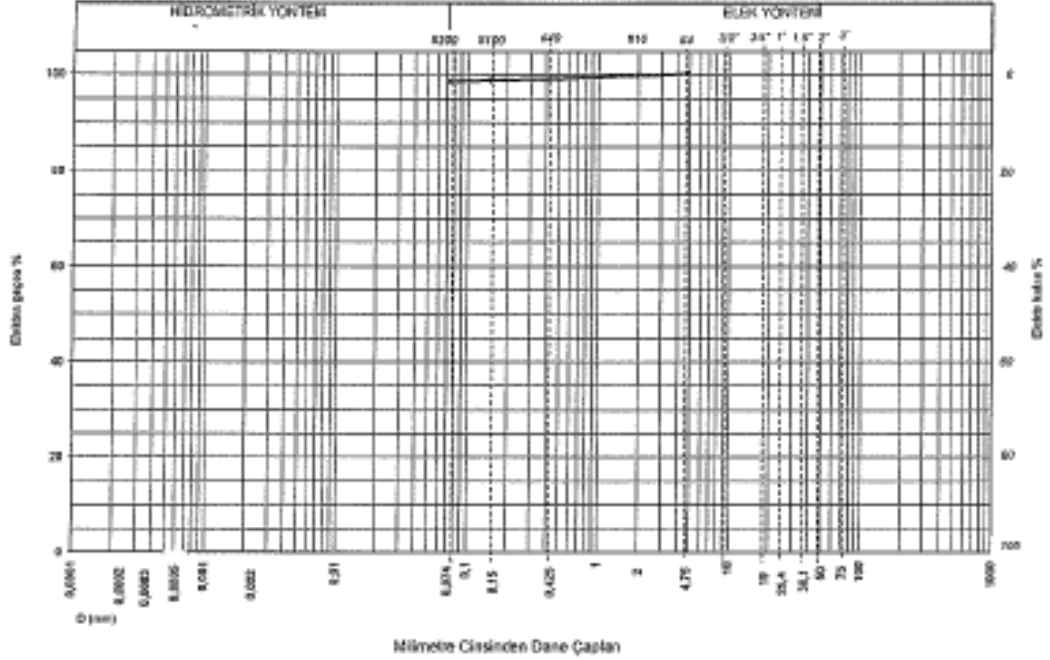
Likit Limit (LL) %	81,7
Plastik Limit (PL) %	18,6
Plastisite İndisi (PI) %	63,1



Şekil E.11 : Çırpıcı N 970309 sondajı kıvam limitleri deney raporu

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Firma Adı	OYD International Corporation		
Proje Adı	Mikrobiyolojik Rapor ve Haritaların Yapılması - Amara (Ölmez)		
Sondaj No.	N 970309	Numune Kabul Tarihi	14.12.2006
Numune	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	20.12.2006
Derinlik	12.00-12.45 m	Rapor Tarihi ve No.su	06.01.2007 107-25ea7



İli (Plastik)	Sli (Plastik Olmayan)	Kum			Çakıl		Tağlar
		İnce	Orta	Kaba	İnce	İli	

Kuru numune ağırlığı (g) :				
41.85				
Elekt. no	Elekt. Kalan gr.	Kalan %	Kalan %	Toplam Geçen %
3 in. (75 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2 in. (63 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
2 in. (50 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2 in. (37.5 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
1 in. (25.4 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 in. (19 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
5/8 in. (15.8 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8 in. (9.5 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4 in. (6.2 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
No 4 (4.75 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
No 8 (2.36 mm)	0.06	0.14	0.14	100.00
No 40 (0.425 mm)	0.34	0.81	0.86	99.99
No 60 (0.250 mm)	0.00	0.00	0.00	99.99
No 100 (0.150 mm)	0.14	0.33	1.29	99.04
No 200 (0.075 mm)	0.10	0.24	1.53	98.71
Plan	41.21	98.47	100.00	98.47

- * Numunelerin alındığı yere ait bilgiler mülgleri beyan eder
 * Bu deney raporu, laboratuvarımızın yazılı izni olmadan başka kimse veya tamamen çoğaltılamaz.
 * Bu deney ASTM D 422-63 / 1990 standartlarına göre yapılmıştır.
 * Laboratuvarımız, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'na 14/03/2006 tarih, 70 sayılı "Laboratuvar İzin Belgesi" ne sahiptir.

DENEYİ YAPAN

ONAY

Sitem ALDOĞAN
 Jeoloji Mühendisi

Esen YALIMER
 Laboratuvar Müdürü
 Denetçi Mühendis Belge No:3076

Şekil E.12 : Çırpıcı N 970309 sondajı elek analizi deney raporu.

Toplu sonuçlar

[illegible]

Şekil E.13 : Çırpıcı S 1000308-2 sondajı deney raporları.

KIVAM LİMİTLERİ (LİKİT & PLASTİK) DENEY RAPORU

Firma Adı	OYO International Corporation		
Proje Adı	Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Avrupa (Güney)		
Sondaj No.	S 1000308-2	Numune Kabul Tarihi	13,04,2007
Numune	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	23,04,2007
Derinlik	9,00-9,45 m	Rapor Tarihi ve No.su	08,05,2007 07-1445att6

Darbe Sayısı (ortalama)	37	31	26	20	15
Kap No.	68	962	1311	164	214
[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	41,17	45,86	45,83	44,76	43,42
[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı(g)	31,19	33,22	33,14	32,46	31,70
Boş kap Ağırlığı (g)	17,88	16,95	17,27	17,62	17,98
Kuru Numune Ağırlığı (g)	13,31	16,27	15,87	14,84	13,72
Su Ağırlığı (g)	9,98	12,64	12,69	12,30	11,72
Su Muhtevası (%)	75,0	77,7	80,0	82,9	85,4

Kap No.	377	1369		
[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	20,12	19,69		
[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	19,78	19,27		
Boş kap Ağırlığı (g)	17,54	16,49		
Kuru Numune Ağırlığı (g)	2,24	2,78		
Su Ağırlığı (g)	0,33	0,42		
Su Muhtevası (%)	15,0	15,1		

DENEY SONUÇLARI

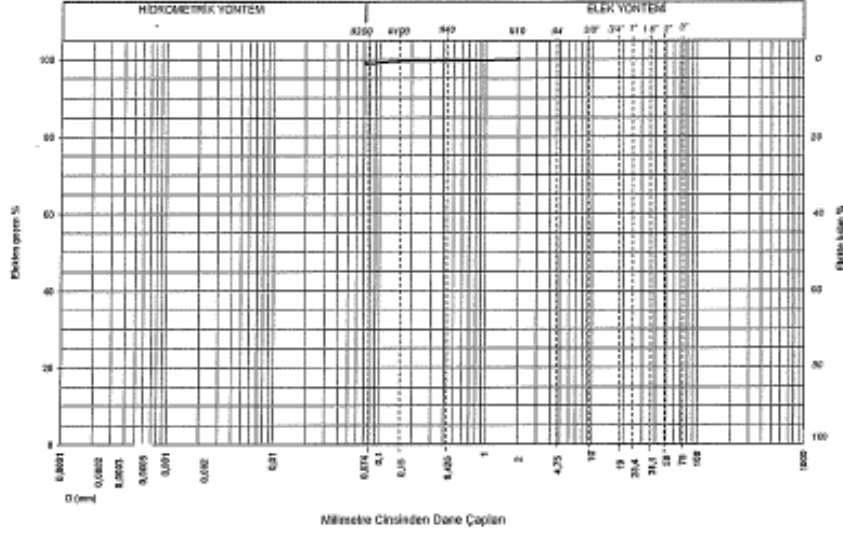
Likit Limit (LL) %	80,2
Plastik Limit (PL) %	15,0
Plastisite İndisi (PI) %	65,2



Şekil E.14 : Çırpıcı S 1000308-2 sondajı kıvam limitleri deney raporu.

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Firma Adı	OYO International Corporation		
Proje Adı	Müşahade Rapor ve Haritalama Yapılması - Avrupa (Güney)		
Sondaj No	S 1000308-2	Numune Kabul Tarihi	13.04.2007
Numune	SPT	Deneğin Yapıldığı Tarih	23.04.2007
Derinlik	9.03-9.45 m	Rapor Tarihi ve No.su	08.05.2007 07-1445aa6



Mikrometre Cinsinden Dene Çıpları

Kü (Plastik) - Sil (Plastik Olmayan)	Rum			Çıkış		Toplam
	İnce	Orta	Kaba	İnce	İli	

Elek.no	Elekten Kalan gr	Kütle numune ağırlığı :		Toplam Geçen %
		Kalan %	Kalan %	
3 in. (75 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2 in. (63 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
2 in. (50 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2 in. (37.5 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
1 in. (25.4 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 in. (19 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2 in. (12.5 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8 in. (9.5 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4 in. (6.3 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
No 4 (4.75 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
No 10 (2.00 mm)	0.00	0.00	0.00	100.00
No 40 (0.425 mm)	0.11	0.26	0.26	100.00
No 60 (0.250 mm)	0.00	0.00	0.26	99.74
No 100 (0.150 mm)	0.06	0.14	0.41	99.74
No 200 (0.074 mm)	0.31	0.76	1.15	99.50
Pun	41.11	96.85	100.00	99.85

* Numunelerin alındığı yere ilişkin bilgiler endişeleri boyanmıştır.

* Bu deney raporu, laboratuvarımız tarafından yazılan ve imzalandığı süresince geçerli ve değiştirilmez.

* Bu deney ASTM D 422-63 / 1990 standartlarına göre yapılmıştır.

* Laboratuvarımız, TC Beyneldünya ve İktisat Bakanlığının 14/02/2006 tarih, 70 sayılı "Laboratuvar İzin Belgesi" ne sahiptir.

DENEYİ YAPAN

OMAY

Yaşar GÜLŞEN
Jeoloji Mühendisi

Esen YALIMER
Laboratuvar Müdürü
Denetçi Mühendis Belge No:3076

Şekil E.15 : Çırpıcı S 1000308-2 sondajı elek analizi deney raporu.

Toplu sonuçlar

Şekil E.16 : Nakkaşdere S-1000270-1 sondajı deney raporları.

KIVAM LİMİTLERİ (LİKİT & PLASTİK) DENEY RAPORU

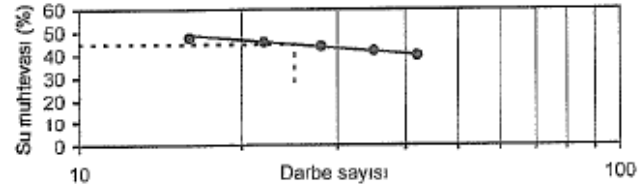
Firma Adı	OYO International Corporation		
Proje Adı	Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Avrupa (Güney)		
Sondaj No.	S 1000270-1	Numune Kabul Tarihi	16,02,2007
Numune	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	27,02,2007
Derinlik	9,00-9,45 m	Rapor Tarihi ve No.su	08,03,2007 07-704att6

Darbe Sayısı (ortalama)	42	35	28	22	16
Kap No.	517	491	502	684	442
[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	45,66	45,89	44,57	48,22	45,32
[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	37,20	36,96	35,88	40,69	36,17
Boş kap Ağırlığı (g)	15,98	15,66	16,09	24,24	16,95
Kuru Numune Ağırlığı (g)	21,22	21,30	19,79	16,45	19,22
Su Ağırlığı (g)	8,46	8,93	8,69	7,53	9,15
Su Muhtevası (%)	39,9	41,9	43,9	45,8	47,6

Kap No.	915	1442		
[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	19,83	20,13		
[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	19,50	19,77		
Boş kap Ağırlığı (g)	17,64	17,76		
Kuru Numune Ağırlığı (g)	1,86	2,01		
Su Ağırlığı (g)	0,33	0,36		
Su Muhtevası (%)	17,7	17,9		

DENEY SONUÇLARI

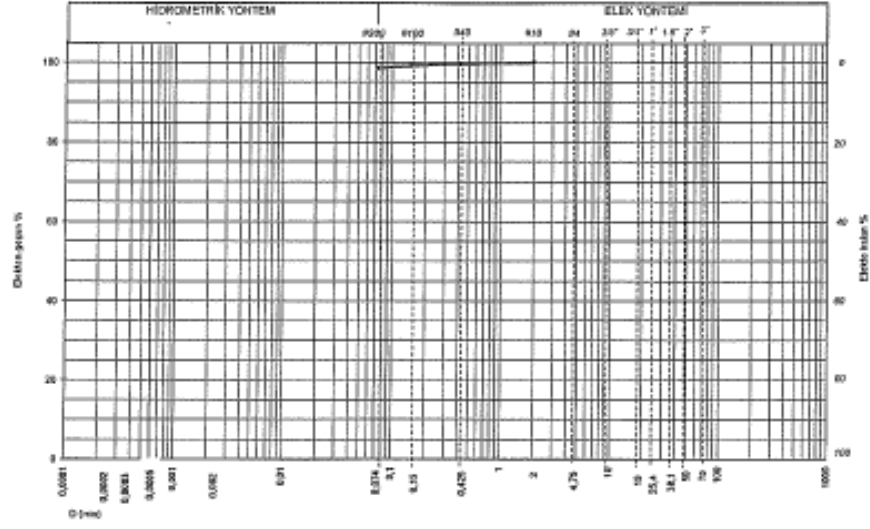
Likit Limit (LL) %	44,8
Plastik Limit (PL) %	17,8
Plastisite İndisi (PI) %	27,0



Şekil E.17 : Nakkaşdere S-1000270-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Firma Adı	OYO International Corporation		
Proje Adı	Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Arapgir (Gözetim)		
Sondaj No	S-1000270-1	Nümunun Kabul Tarihi	16.02.2007
Nümunun	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	27.02.2007
Derinlik	8.00-9.45 m	Rapor Tarihi ve No.su	08.03.2007 107-704aa6



Kil (Plastik)	Silt (Plastik Olmayan)	Kum			Çakıl		Taşlar
		İnce	Orta	Kaba	İnce	İli	

Kuru numune ağırlığı : 37,00				
Elek no	Elekten Kalan	Kalan %	Geçen %	Toplam Geçen %
3 in. (75 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2 in. (63 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
2 in. (50 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2 in. (37,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1 in. (25,4 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 in. (19 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2 in. (12,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 in. (9,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1/4 in. (6,3 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
No 4 (4,75 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
No 10 (2,00 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
No 40 (0,425 mm)	0,11	0,30	0,30	100,00
No 60 (0,250 mm)	0,00	0,00	0,00	99,70
No 100 (0,150 mm)	0,16	0,43	0,73	99,70
No 200 (0,074 mm)	0,22	0,59	1,32	99,27
Top	39,00	99,99	100,00	99,99

* Numunelerin alındığı yere ait bilgiler müşteri beyanındır.

* Bu deney raporu, laboratuvarımızın yazılı izni olmadıkça kimsenin veya kurumun çoğaltılamaz.

* Bu deney ASTM D 422-63 / 1990 standardına göre yapılmıştır.

* Laboratuvarımız, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığının 14/02/2006 tarih, 70 sayılı "Laboratuvar İzin Belgesi" ne sahiptir.

DENEYİ YAPAN

OWAY

Yaşar GÜLŞEN
Jeoloji Mühendisi

Esen YALIMER
Laboratuvar Müdürü
Denetçi Mühendis Belge No:3076

Şekil E.18 : Nakkaşdere S-1000270-1 sondajı elek analizi deney raporu.

Toplu sonuçlar

Şekil E.19 : Nakkaşdere S-1060270-2 sondajı deney raporları.

KIVAM LİMİTLERİ (LİKİT & PLASTİK) DENEY RAPORU

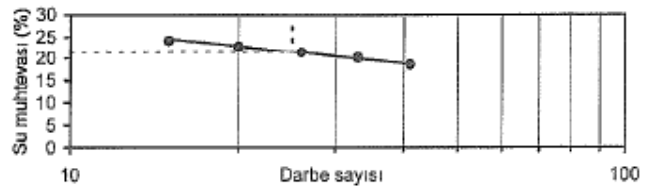
Firma Adı	OYO International Corporation		
Proje Adı	Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Avrupa (Güney)		
Sondaj No.	S 1060270-2	Numune Kabul Tarihi	10,02,2007
Numune	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	19,02,2007
Derinlik	6,00-6,45 m	Rapor Tarihi ve No.su	28,02,2007 07-590att4

LİKİT LİMİT	Darbe Sayısı (ortalama)	41	33	26	20	15
	Kap No.	527	434	262	416	609
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	43,62	40,58	44,00	42,75	44,45
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı(g)	39,34	36,42	39,45	37,87	39,10
	Boş kap Ağırlığı (g)	16,24	15,72	18,26	16,45	16,96
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	23,10	20,70	21,19	21,42	22,14
	Su Ağırlığı (g)	4,28	4,16	4,54	4,88	5,35
	Su Muhtevası (%)	18,5	20,1	21,4	22,8	24,2

PLASTİK LİMİT	Kap No.	576	442		
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	19,69	19,54		
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	19,35	19,21		
	Boş kap Ağırlığı (g)	17,02	16,95		
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	2,33	2,26		
	Su Ağırlığı (g)	0,34	0,33		
	Su Muhtevası (%)	14,6	14,6		

DENEY SONUÇLARI

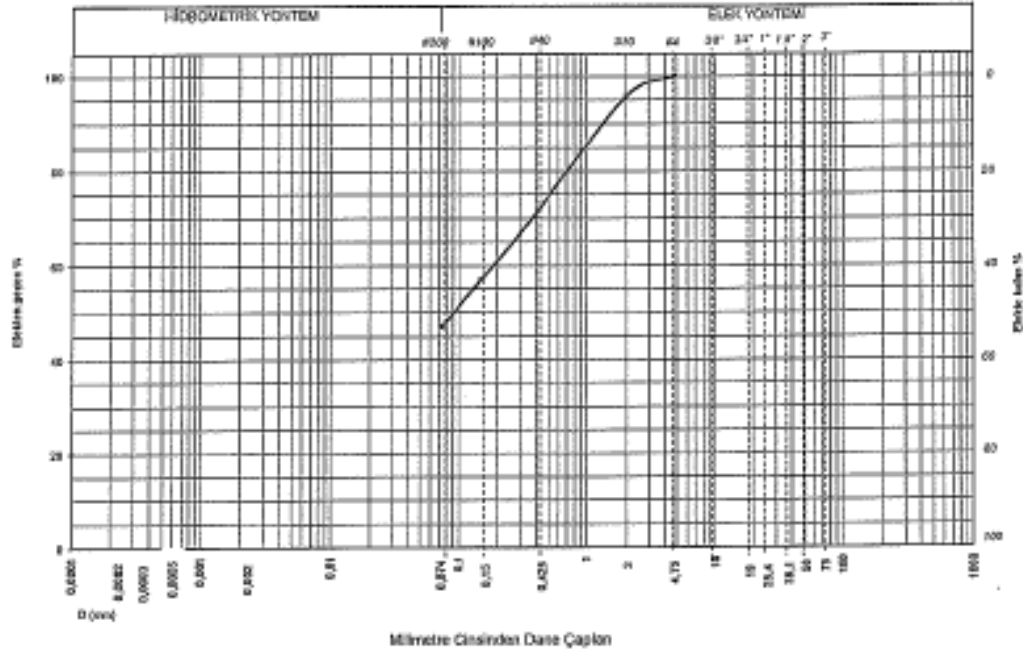
Likit Limit (LL) %	21,6
Plastik Limit (PL) %	14,6
Plastisite İndisi (PI) %	7,0



Şekil E.20 : Nakkaşdere S-1060270-2 sondajı kıvam limitleri deney raporu.

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Firma Adı	OYD International Corporation		
Proje Adı	Mikrodeğerleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Amuğu (Ülney)		
Sondaj No	S 1060270-2	Namune Kabul Tarihi	10.02.2007
Namune	SPT	Deneğin Yapıldığı Tarih	16.02.2007
Derinlik	6.00-6.45 m	Rapor Tarihi ve No.su	28.02.2007 107-550004



Kil (Plastik)	Sil (Plastik Olmayan)	Kum			Çakıl		Taşlar
		İnce	Orta	Kaba	İnce	İli	

Kuru numune ağırlığı (g) : 103,52				
Elek no	Elekte Kalan gr	Kalan %	Kalan %	Toplam Geçen %
3 in. (75 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2 in. (63 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
2 in. (50 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2 in. (37,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1 in. (25,4 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 in. (19 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2 in. (12,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 in. (9,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1/4 in. (6,3 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
No 4 (4,75 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
No 10 (2,00 mm)	4,52	4,37	4,37	100,00
No 40 (0,425 mm)	24,78	23,94	23,94	95,63
No 60 (0,250 mm)	0,00	0,00	23,94	71,70
No 100 (0,150 mm)	15,31	14,78	43,09	71,70
No 200 (0,074 mm)	10,12	9,78	52,87	56,91
Pan	48,79	47,13	100,00	47,13

* Numunelerin alındığı yere ait bilgiler müşteri beyanıdır.

* Bu deney raporu, laboratuvarımızın yazılı izni olmadıkça kimsen veya kurumun çoğaltılamaz.

* Bu deney ASTM D 422-83 / 1990 standardına göre yapılmıştır.

* Laboratuvarımız, TC Sayındırlık ve İktisat Bakanlığı'nın 14/02/2005 tarih, 70 sayılı "Laboratuvar İzni Belgesi" ne sahiptir.

DENEYİ YAPAN

ONAY

Yaşar GÜLŞEN
Jeoloji Mühendisi

Esen YALIMER
Laboratuvar Müdürü
Denetçi Mühendis Belge No:3076

Şekil E.21 : Nakkaşdere S-1060270-2 sondajı elek analizi deney raporu.

Toplu sonuçlar

Şekil E.22 : Avcılar S-850264-1 sondajı deney raporları.

KIVAM LİMİTLERİ (LİKİT & PLASTİK) DENEY RAPORU

Firma Adı	OYO International Corporation		
Proje Adı	Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Avrupa (Güney)		
Sondaj No.	S 850264-1	Numune Kabul Tarihi	07,02,2007
Numune	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	15,02,2007
Derinlik	15,00-15,45 m	Rapor Tarihi ve No.su	26,02,2007 07-530att10

LİKİT LİMİT	Darbe Sayısı (ortalama)	41	34	26	20	15
	Kap No.	117	340	267	1406	185
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	37,50	37,25	37,30	39,07	38,44
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı(g)	33,05	32,46	32,32	33,21	32,91
	Boş kap Ağırlığı (g)	17,92	17,10	17,42	16,62	17,92
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	15,13	15,36	14,90	16,59	14,99
	Su Ağırlığı (g)	4,45	4,79	4,98	5,86	5,53
	Su Muhtevası (%)	29,4	31,2	33,4	35,3	36,9

PLASTİK LİMİT	Kap No.	537	1518		
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	20,61	20,70		
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	20,21	20,36		
	Boş kap Ağırlığı (g)	16,08	16,72		
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	4,13	3,64		
	Su Ağırlığı (g)	0,40	0,34		
	Su Muhtevası (%)	9,7	9,3		

DENEY SONUÇLARI

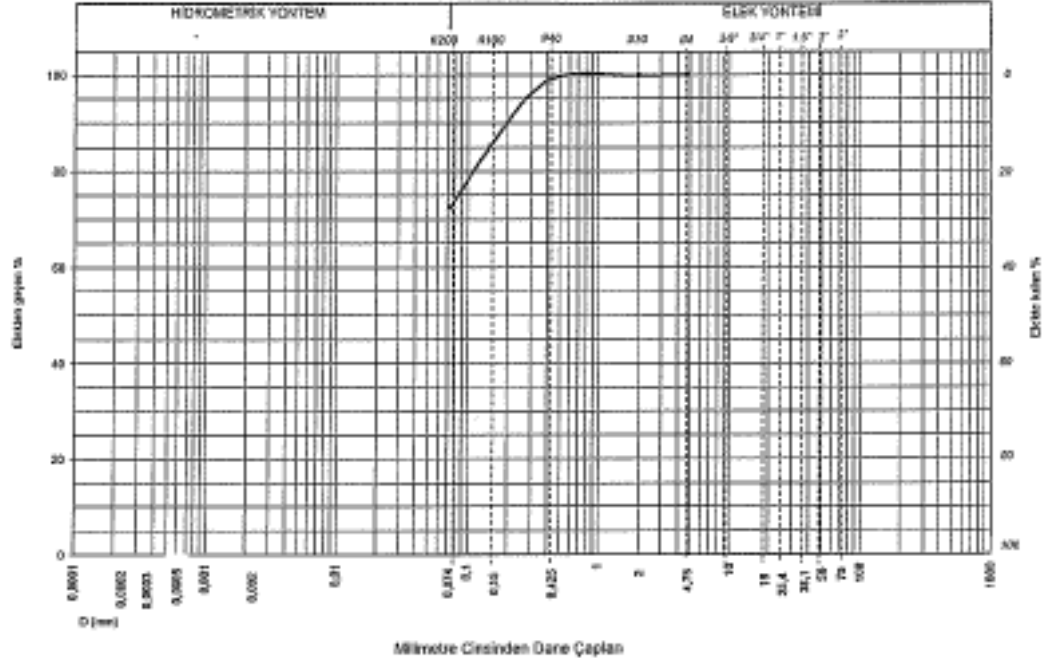
Liküt Limit (LL) %	33,6
Plastik Limit (PL) %	9,5
Plastisite İndisi (PI) %	24,1



Şekil E.23 : Avcılar S-850264-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Firma Adı	OYO International Corporation		
Proje Adı	Mikroİspatleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Avrupa (Güney)		
Sondaj No	S 850264-1	Namune İktisadi Tarihi	07.02.2007
Namune	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	15.02.2007
Derinlik	15,00-15,45 m	Rapor Tarihi ve No.su	26.02.2007 107-630ea10



İç (Plastik)	Silt (Plastik Olmayan)	Kum			Çakıl		Tajlar
		İnce	Orta	Kaba	İnce	İli	

Kuru numune ağırlığı (g):				39,21
Elekt. no	Elekt. Kalan gr.	Kalan %	Kalan %	Toplam Geçen %
3 in. (75 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2 in. (63 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
2 in. (50 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2 in. (37,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1 in. (25,4 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 in. (19 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2 in. (12,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 in. (9,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
5/16 in. (7,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
No 4 (4,75 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
No 10 (2,00 mm)	0,00	0,13	0,13	100,00
No 40 (0,425 mm)	0,31	0,79	0,92	99,87
No 60 (0,250 mm)	0,00	0,00	0,92	99,87
No 100 (0,150 mm)	5,45	13,90	14,82	99,06
No 200 (0,075 mm)	4,08	12,70	27,52	85,18
Pan	29,42	72,48	100,00	72,48

* Numunenin alındığı yere ait bilgiler mümkünse belirtilmelidir.

* Bu deney raporu, laboratuvarımızın yazılı izni olmaksızın kullanıma veya teminatsız olarak dağıtılamaz.

* Bu deney ASTM D 422-63 / 1990 standartlarına göre yapılmıştır.

* Laboratuvarımız, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın 14/02/2006 tarih, 70 sayılı "Laboratuvar İzni Belgesi" ne sahiptir.

DENEYİ YAPAN

OMAY

Yaşar GÜLŞEN
Jeoloji Mühendisi

Esen YALIMER
Laboratuvar Müdürü
Deneyçi Mühendis Belge No:3076

Şekil E.24 : Avcılar S-850264-1 sondajı elek analizi deney raporu.

Toplu sonuçlar

[illegible]

Şekil E.25 : Dudullu 0910400N-1 sondajı deney raporları.

KIVAM LİMİTLERİ (LİKİT & PLASTİK) DENEY RAPORU

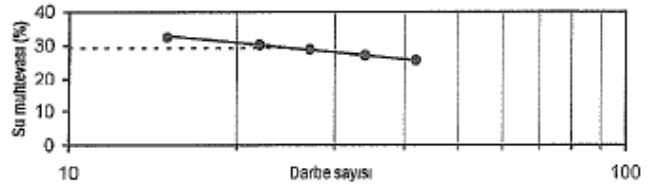
Firma Adı	OYO International Corporation		
Proje Adı	Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Anadolu Yakası		
Sondaj No.	0910400N-1	Numune Kabul Tarihi	09,07,2008
Numune	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	16,07,2008
Derinlik	7,50-7,95 m	Rapor Tarihi ve No.su	29,08,2008 08-1652att2

Darbe Sayısı (ortalama)	42	34	27	22	15
Kap No.	286	422	1264	375	304
[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	40,54	41,41	38,47	40,91	39,22
[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı(g)	35,92	36,30	33,54	35,50	34,00
Boş kap Ağırlığı (g)	17,94	17,44	16,44	17,58	17,93
Kuru Numune Ağırlığı (g)	17,98	18,86	17,10	17,92	16,07
Su Ağırlığı (g)	4,62	5,11	4,93	5,41	5,22
Su Muhtevası (%)	25,7	27,1	28,8	30,2	32,5

Kap No.	835	66		
[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	23,91	27,34		
[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	23,18	26,42		
Boş kap Ağırlığı (g)	17,37	18,99		
Kuru Numune Ağırlığı (g)	5,81	7,43		
Su Ağırlığı (g)	0,73	0,92		
Su Muhtevası (%)	12,6	12,4		

DENEY SONUÇLARI

LİKİT LİMİT (LL) %	29,3
Plastik LİMİT (PL) %	12,5
Plastisite İndisi (PI) %	16,8

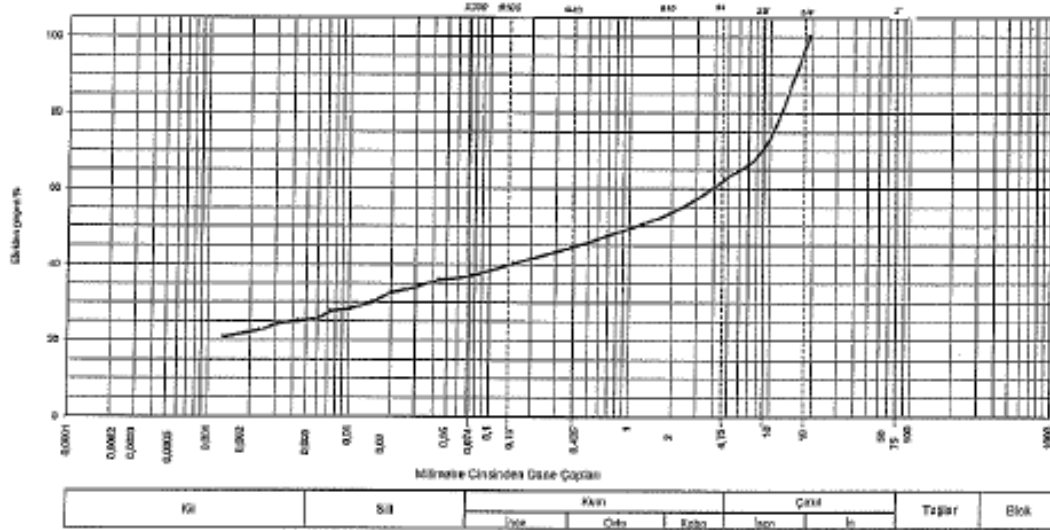


Şekil E.26 : Dudullu 0910400N-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.

DANE ÇAPI DAĞILIMI DENEY RAPORU
(HİDROMETRE&ELEK ANALİZİ)

Firma Adı	OYO International Corporation		
Proje Adı	Müsköğüzleme Rıper ve Hantaların Yapılması - Anadolu Yakası		
Sondaj No.	0910400N-1	Namune Kolul Taahh	09.07.2006
Namune	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	16.07.2006
Derinlik	7,50-7,95 m	Rapor Tarihi ve No su	29.08.2006 08-1002HD1

HİDROMETRİK YÖNTEM										ELEK YÖNTEMİ			
Hidrometre No	151 H	No 200 elekten geçen	37,91 gr							Kuru numune ağırlığı (g) :			
Açınıklama not.	Yatışma	Geçerlik	2,01							Elekten	Elekte	Kalan	Toplam
Malzeme	AGRT									g	g	%	%
Malzeme boyutu	0,075												
Geçen Zaman (s)	Anıl Hidrometre Okuması	Menekşe Dönüştürme Uygulanmış Hid Okuması	Sevki C	Açıklama Malzeme İçeriği	Dönüştürme Uygulanmış Hid Okuması	Elekt Denizi Uzunlu	R	Tane Çapı (mm)	Toplam Geçen (g)	2 in	75mm	0,075	0,00
0	1,0260	1,0259	21	0,0043	1,0216	9,80	0,01409	0,0461	35,80	2,12 in	83mm	0,00	0,00
1	1,0250	1,0249	21	0,0043	1,0206	19,08	0,01409	0,0376	34,24	2 in	50mm	0,00	0,00
5	1,0240	1,0239	21	0,0043	1,0196	19,35	0,01409	0,0203	32,58	1,12 in	37,5mm	0,00	0,00
10	1,0225	1,0224	21	0,0043	1,0181	10,77	0,01409	0,0148	30,36	1 in	25,4mm	0,00	0,00
20	1,0215	1,0214	21	0,0043	1,0171	11,04	0,01409	0,0105	28,42	3/4 in	19mm	0,00	0,00
40	1,0210	1,0209	21	0,0043	1,0165	11,18	0,01409	0,0075	27,52	1/2 in	12,5mm	0,00	0,00
60	1,0200	1,0199	21	0,0043	1,0155	11,45	0,01409	0,0052	25,93	3/8 in	9,5mm	28,02	28,02
120	1,0195	1,0194	21	0,0043	1,0151	11,59	0,01409	0,0044	25,90	1/4 in	6,3mm	0,00	28,02
240	1,0180	1,0179	21	0,0043	1,0145	11,73	0,01409	0,0031	24,27	No 4	4,75mm	9,61	37,63
435	1,0160	1,0159	21	0,0043	1,0138	12,09	0,01409	0,0023	22,61	No 10	2,00mm	8,82	66,45
1440	1,0170	1,0169	21	0,0043	1,0126	12,28	0,01409	0,0013	20,54	No 40	0,425mm	8,61	58,05
										No 80	0,250mm	0,00	58,05
										No 100	0,150mm	4,78	59,84
										No 200	0,074mm	3,15	62,99
										Pass		37,01	100,00



- * Numunelerin alındığı yere ait bilgiler mümkünse boyanmıştır.
 * Bu deney raporu, laboratuvarımızın yazılı izni olmadıkça kısmen veya tamamen çoğaltılamaz.
 * Bu deney ASTM D 422-63 / 2001 standardına göre yapılmıştır.
 * Laboratuvarımız, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığının 14/02/2005 tarih, 70 sayılı "Laboratuvar İzin Belgesi" ne sahiptir.

DENEYİ YAPAN

ONAY

Nigar KORLU
Jeoloji Mühendisi

Esen YALIMER
Laboratuvar Müdürü
Denetçi Mühendis Belge No:3076

Şekil E.27 : Dudullu 0910400N-1 sondajı dane çapı dağılımı deney raporu.

Toplu sonuçlar

Şekil E.28 : Küçüksu 1260372S-1 sondajı deney raporları.

KIVAM LİMİTLERİ (LİKİT & PLASTİK) DENEY RAPORU

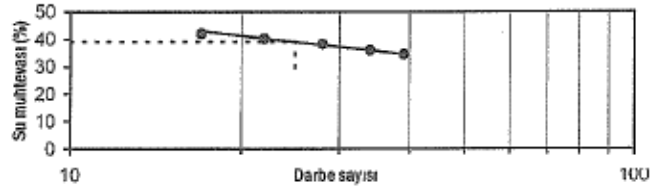
Firma Adı	OYO International Corporation		
Proje Adı	Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Anadolu Yakası		
Sondaj No.	1260372S-1	Numune Kabul Tarihi	16,09,2008
Numune	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	07,10,2008
Derinlik	15,00-15,45 m	Rapor Tarihi ve No.su	06,11,2008 08-2362att5

LİKİT LİMİT	Darbe Sayısı (ortalama)	39	34	28	22	17
	Kap No.	301	34	934	277	459
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	39,73	36,12	38,55	37,58	38,58
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı(g)	34,13	31,11	32,58	31,71	32,10
	Boş kap Ağırlığı (g)	17,88	17,22	16,97	17,13	16,74
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	16,25	13,89	15,61	14,58	15,36
	Su Ağırlığı (g)	5,60	5,01	5,97	5,87	6,48
	Su Muhtevası (%)	34,5	36,1	38,2	40,3	42,2

PLASTİK LİMİT	Kap No.	349	446		
	[Kap+Yaş Numune] Ağırlığı (g)	21,86	21,21		
	[Kap+Kuru Numune] Ağırlığı (g)	21,05	20,30		
	Boş kap Ağırlığı (g)	16,55	15,28		
	Kuru Numune Ağırlığı (g)	4,50	5,02		
	Su Ağırlığı (g)	0,81	0,91		
	Su Muhtevası (%)	18,0	18,1		

DENEY SONUÇLARI

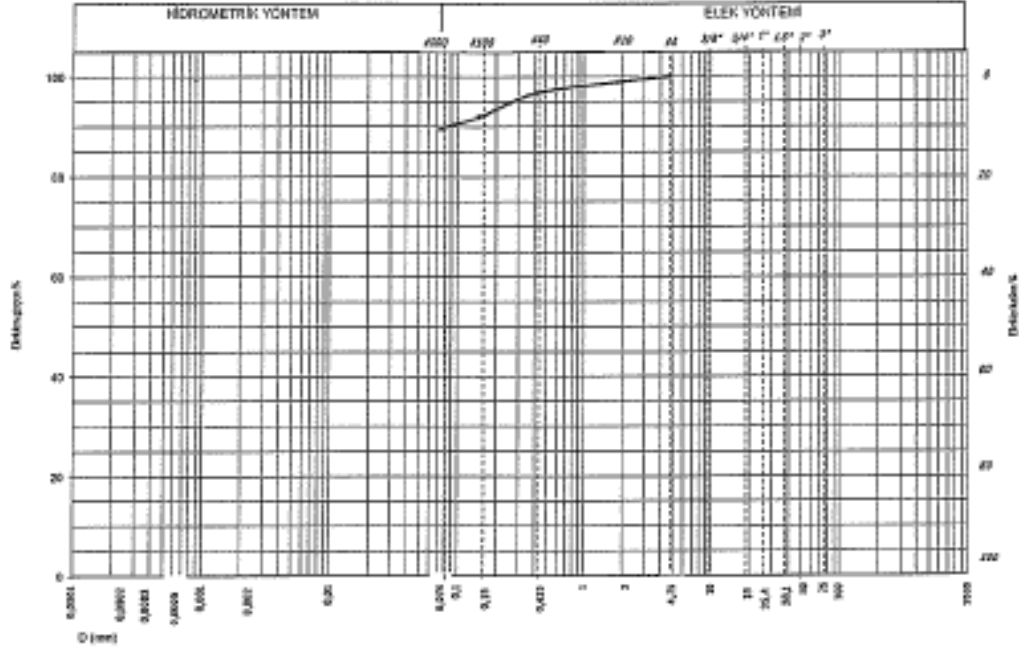
Likit Limit (LL) %	39,1
Plastik Limit (PL) %	18,1
Plastisite İndisi (PI) %	21,0



Şekil E.29 : Küçüksu 1260372S-1 sondajı kıvam limitleri deney raporu.

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Firma Adı	OYO International Corporation		
Proje Adı	Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması - Arıcılık Yakaarı		
Sondaj No	1260372S-1	Numune Kabul Tarihi	16.09.2008
Numane	SPT	Deneyin Yapıldığı Tarih	07.10.2008
Derinlik	15,00-15,45 m	Rapor Tarihi ve No.su	06.11.2008 DB-2362a00



Milimetre Cinsinden Dene Çapları

Kil (Plastik)	Silt (Plastik Olmayan)	Kum			Çakıl		Taşlar
		İnce	Orta	Kaba	İnce	İli	

		Kuru numune ağırlığı (g) :		50	
Elek no	Eleklik Kalan gr.	Kalan %	Kalan %	Toplam Geçen %	
3 in. (76 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00	
2 1/2 in. (63 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00	
2 in. (50 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00	
1 1/2 in. (37,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00	
1 in. (25,4 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4 in. (19 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2 in. (12,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8 in. (9,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/4 in. (6,3 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00	
No 4 (4,75 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00	
No 10 (2,00 mm)	0,64	1,08	1,08	100,00	
No 40 (0,425 mm)	1,16	2,32	3,40	98,92	
No 60 (0,250 mm)	0,00	0,00	3,40	95,00	
No 100 (0,150 mm)	2,33	4,66	8,06	95,00	
No 200 (0,075 mm)	1,20	2,40	10,46	91,94	
Pan	44,77	88,54	100,00	89,54	

* Numunelerin alındığı yere ek bilgiler mühteri beyan eder

* Bu deney raporu, laboratuvarımızın yazılı izni olmaksızın kısmen veya tamamen çoğaltılamaz.

* Bu deney ASTM D 422-63 / 1990 standartlarına göre yapılmıştır.

* Laboratuvarımız, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığının 1402/2006 tarih, 79 sayılı "Laboratuvar İzin Belgesi" ne sahiptir.

DENEYİ YAPAN

ONAY

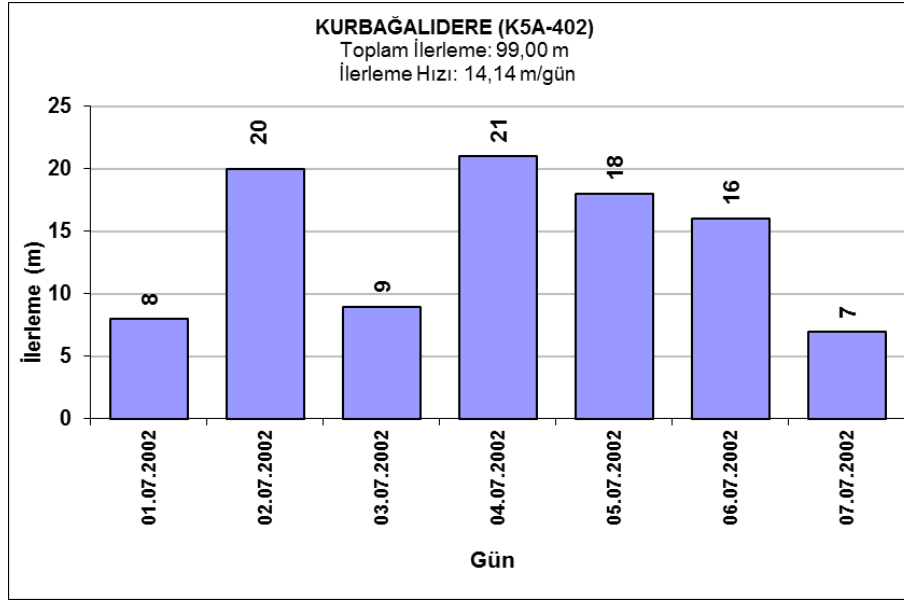
Nigar KORLU
Jeoloji Mühendisi

Esen YALINER
Laboratuvar Müdürü
Denetçi Mühendis Belge No:3076

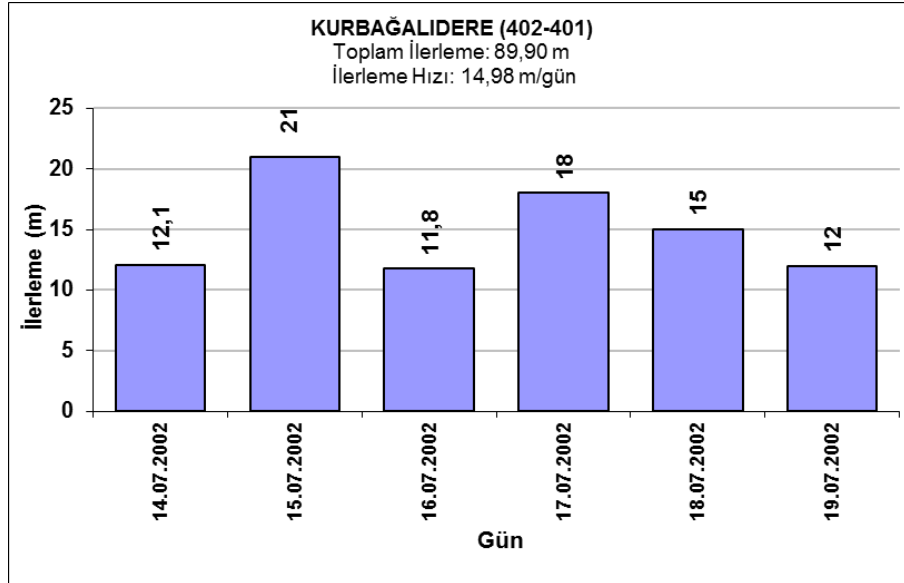
Şekil E.30 : Küçüksu 1260372S-1 sondajı elek analizi deney raporu.

EK F : Makine Kayıtlarından ve Vardiya Raporlarından Çıkartılan Günlük İlerleme Hız Grafikleri

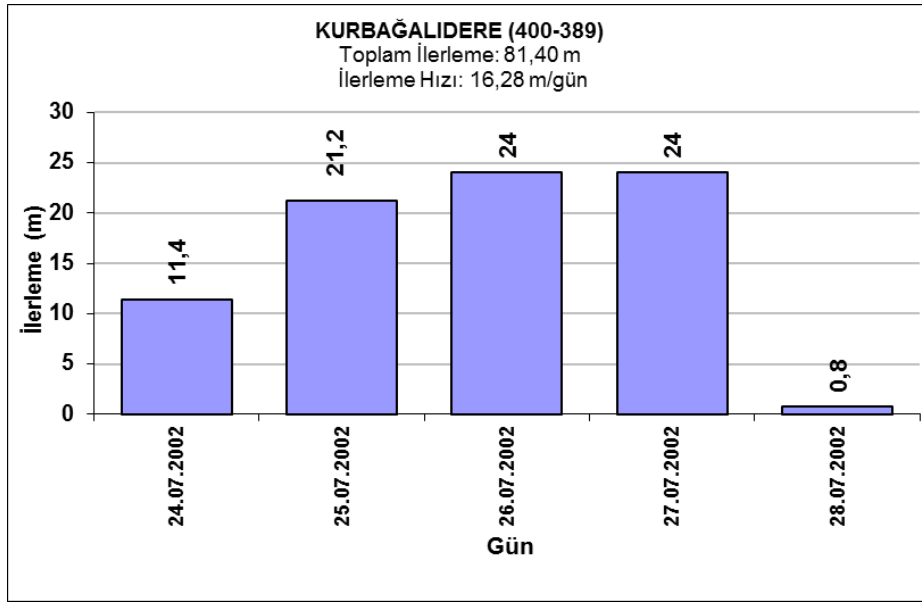
EK F



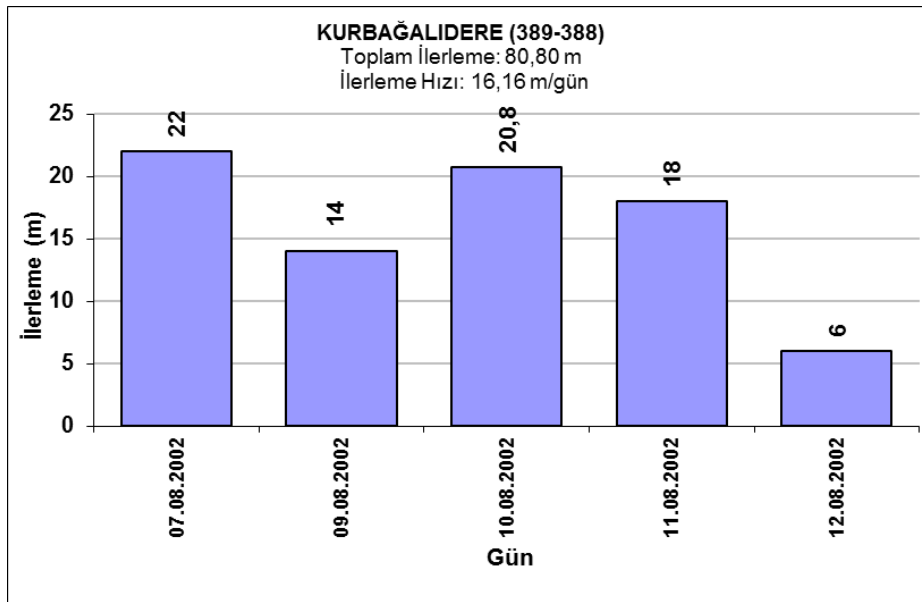
Şekil F.1 : Kurbağalıdere (K5A-402) mikrotüneli ilerleme hızları.



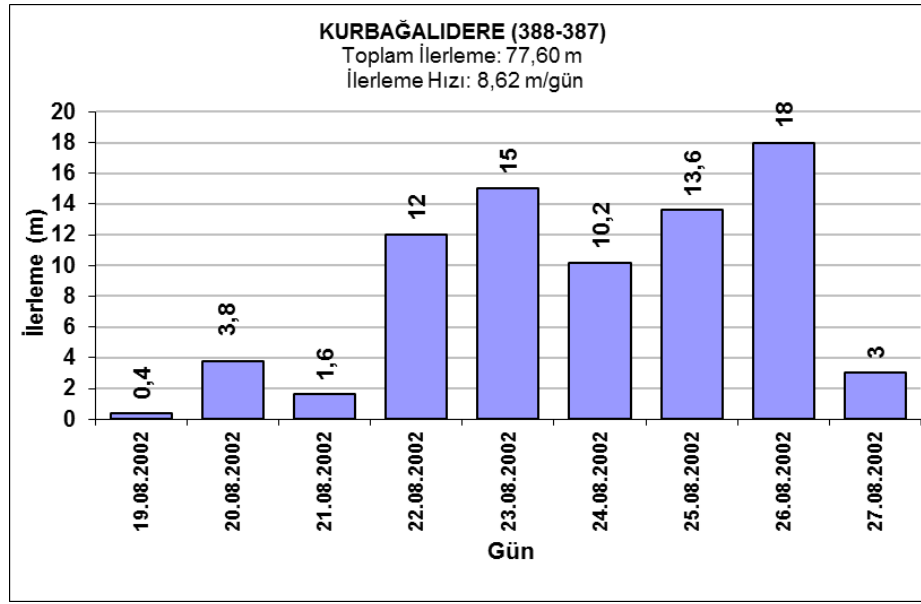
Şekil F.2 : Kurbağalıdere (402-401) mikrotüneli ilerleme hızları.



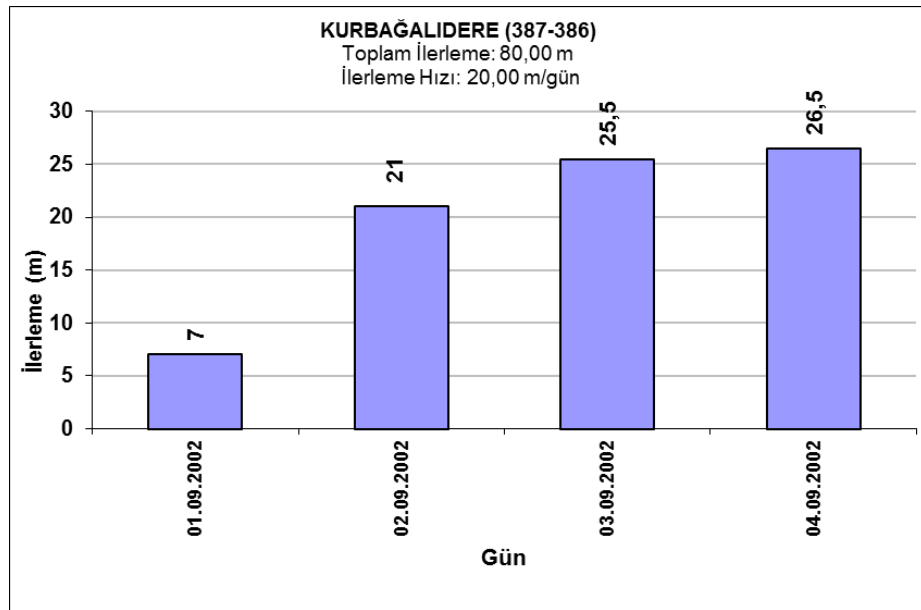
Şekil F.3 : Kurbağalıdere (400-389) mikrotüneli ilerleme hızları.



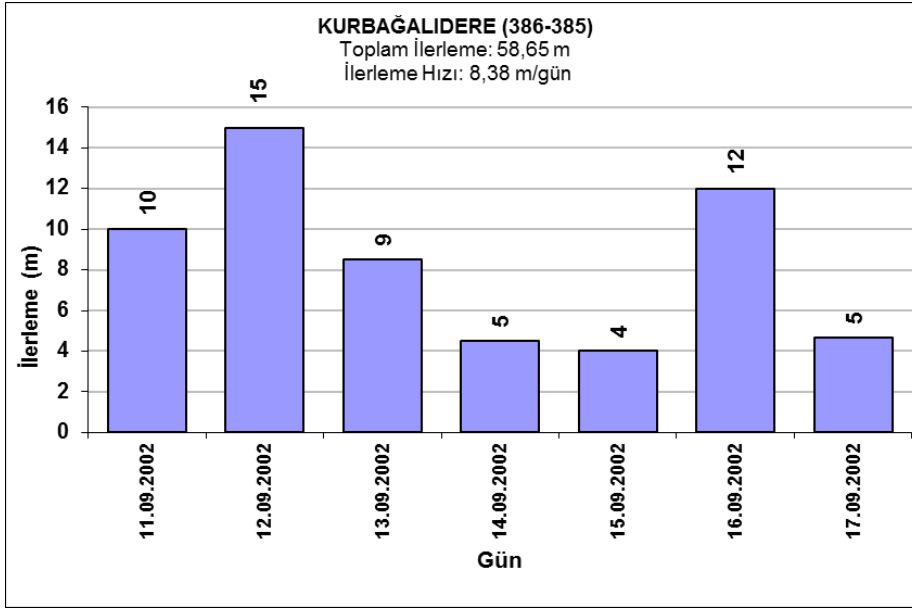
Şekil F.4 : Kurbağalıdere (389-388) mikrotüneli ilerleme hızları.



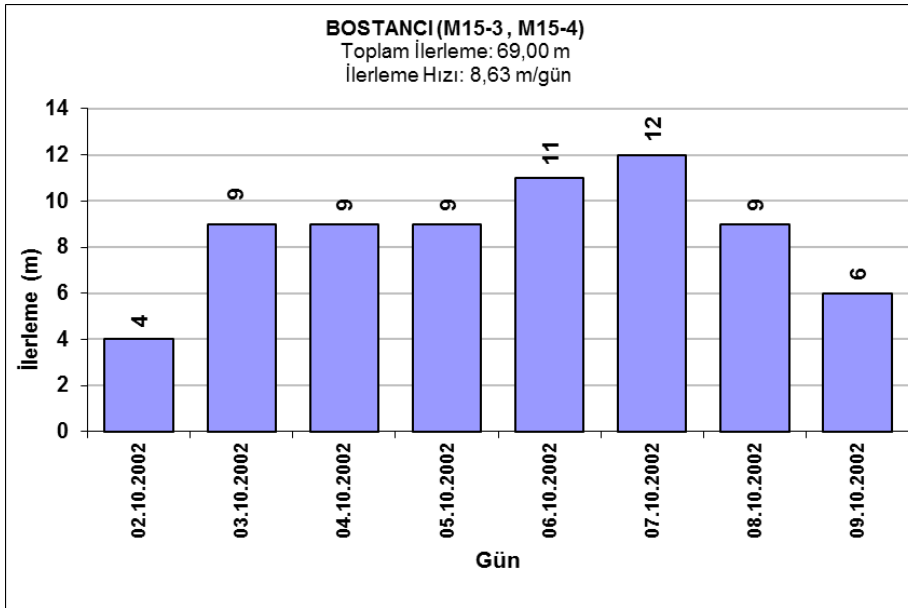
Şekil F.5 : Kurbağalıdere (388-387) mikrotüneli ilerleme hızları.



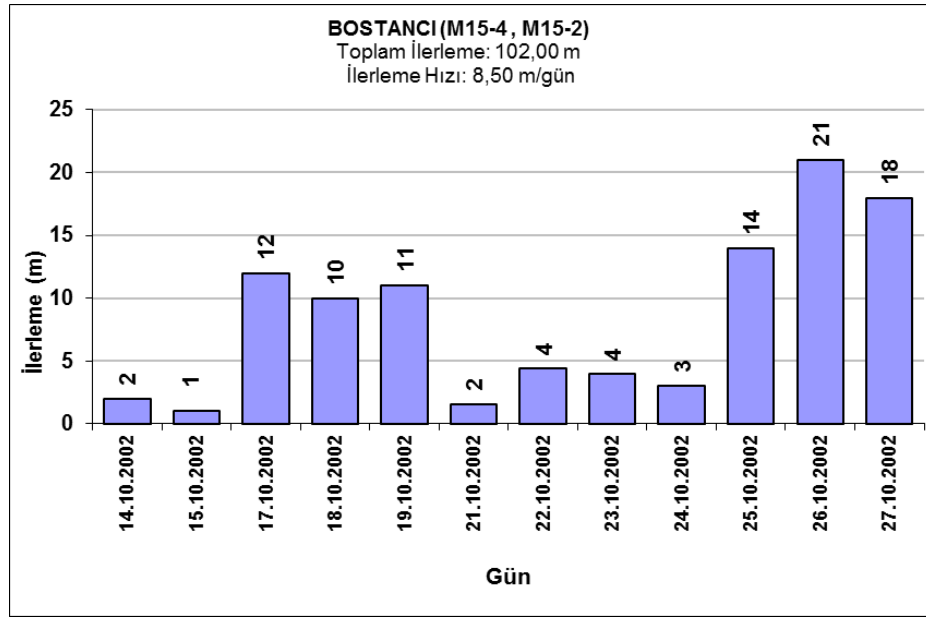
Şekil F.6 : Kurbağalıdere (387-386) mikrotüneli ilerleme hızları.



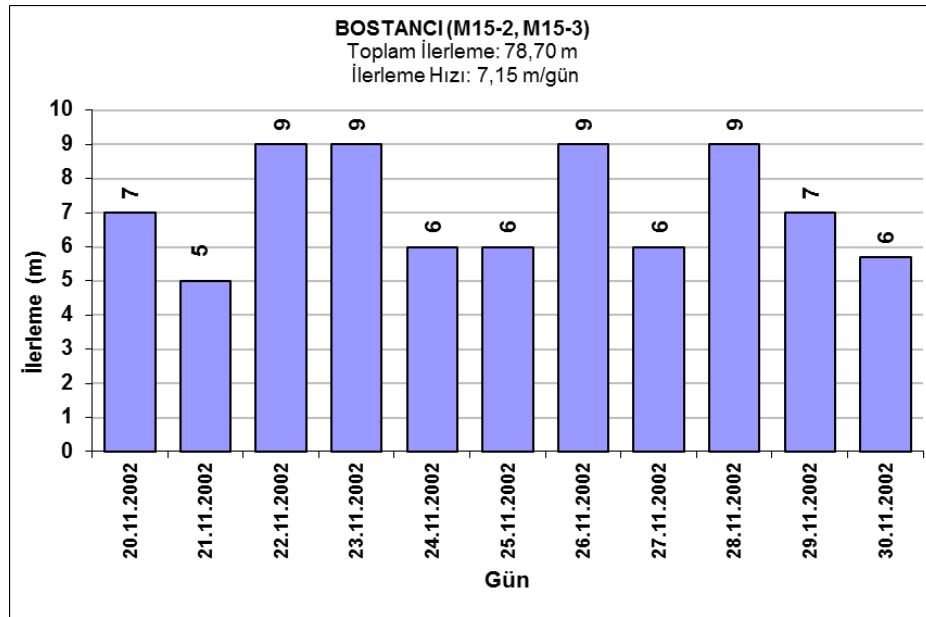
Şekil F.7 : Kurbağalıdere (386-385) mikrotüneli ilerleme hızları.



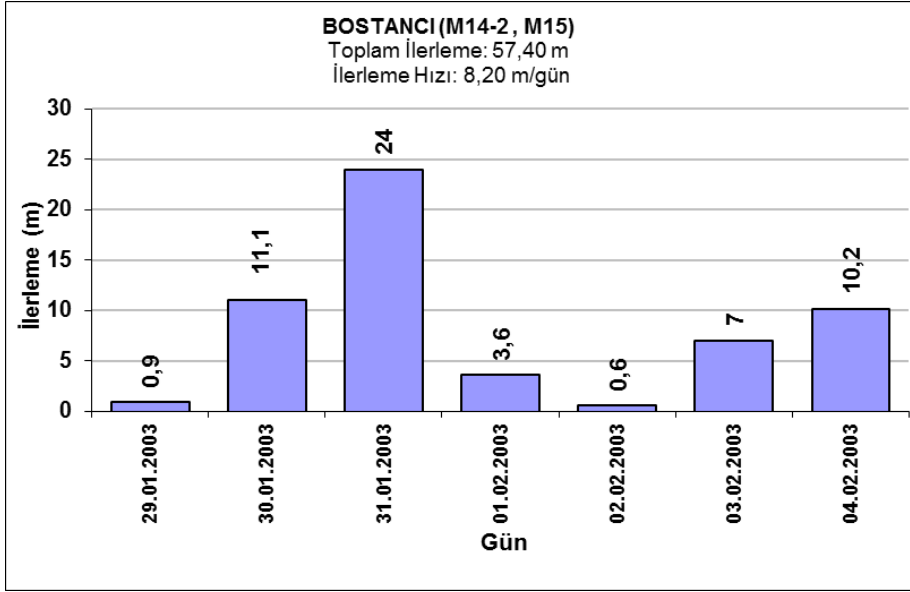
Şekil F.8 : Bostancı (M15-3, M15-4) mikrotüneli ilerleme hızları.



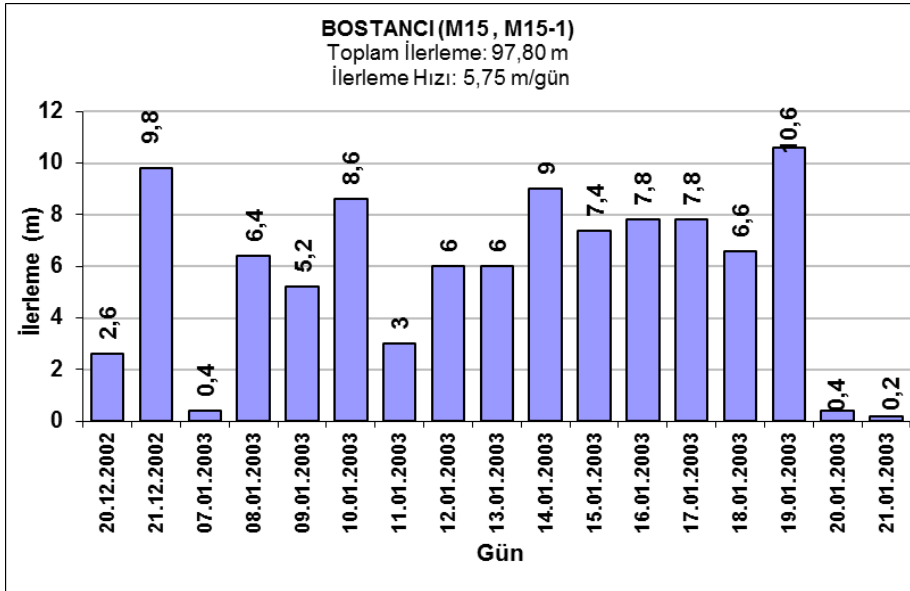
Şekil F.9 : Bostancı (M15-4, M15-2) mikrotüneli ilerleme hızları.



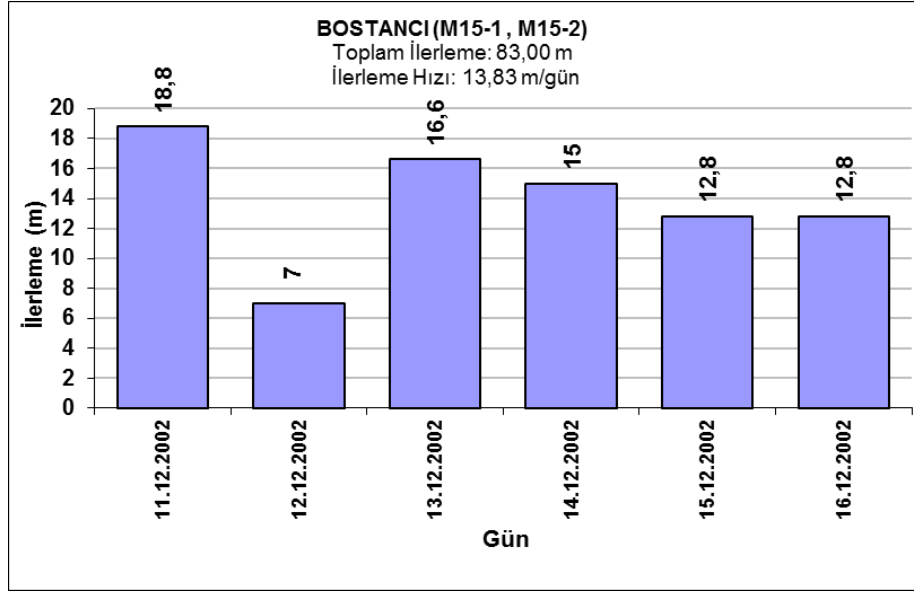
Şekil F.10 : Bostancı (M15-2, M15-3) mikrotüneli ilerleme hızları.



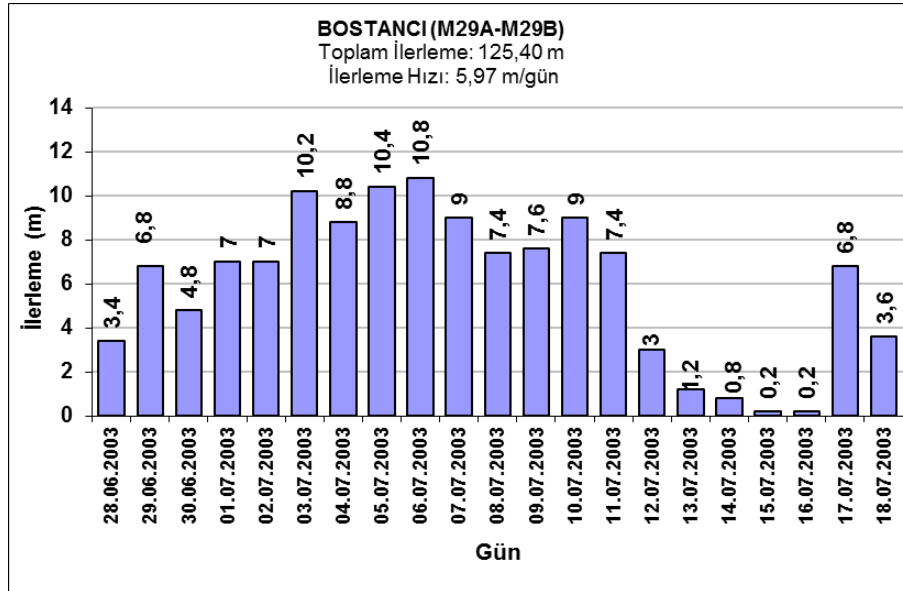
Şekil F.11 : Bostancı (M14-2, M15) mikrotüneli ilerleme hızları.



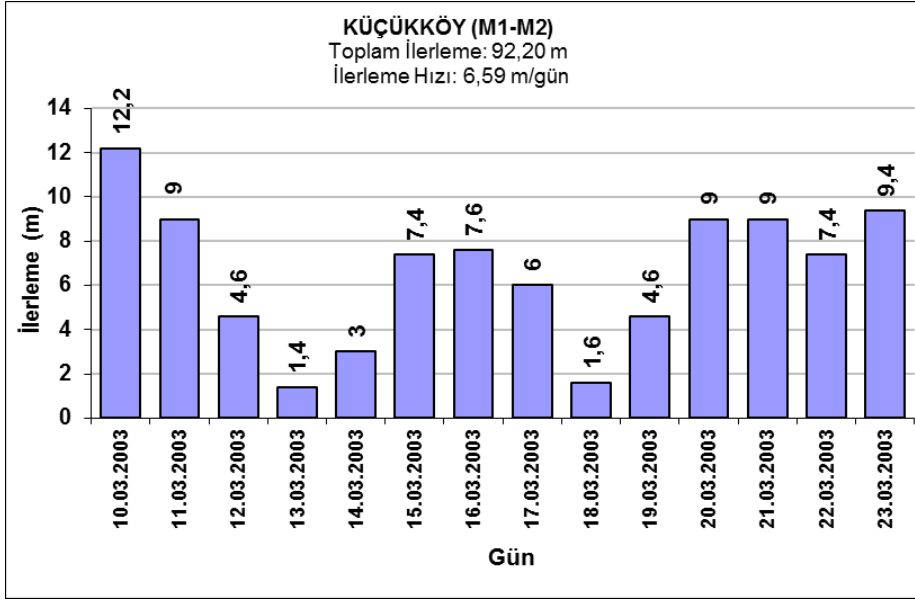
Şekil F.12 : Bostancı (M15, M15-1) mikrotüneli ilerleme hızları.



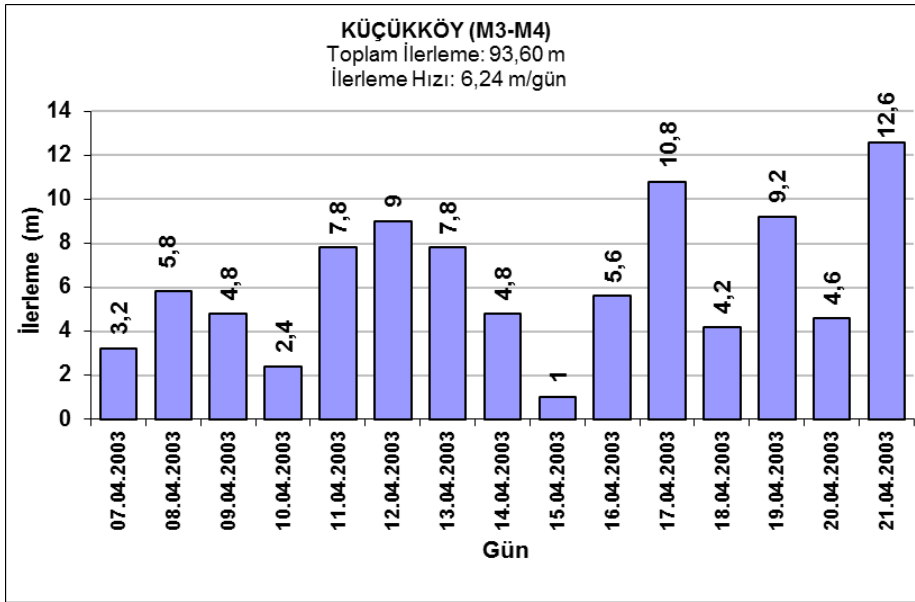
Şekil F.13 : Bostancı (M15-1, M15-2) mikrotüneli ilerleme hızları.



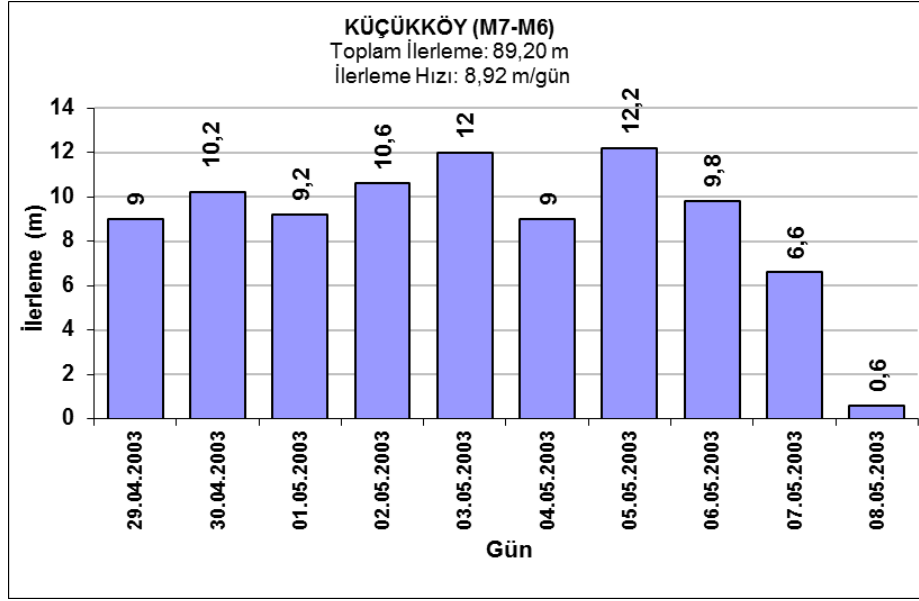
Şekil F.14 : Bostancı (M29A-M29B) mikrotüneli ilerleme hızları.



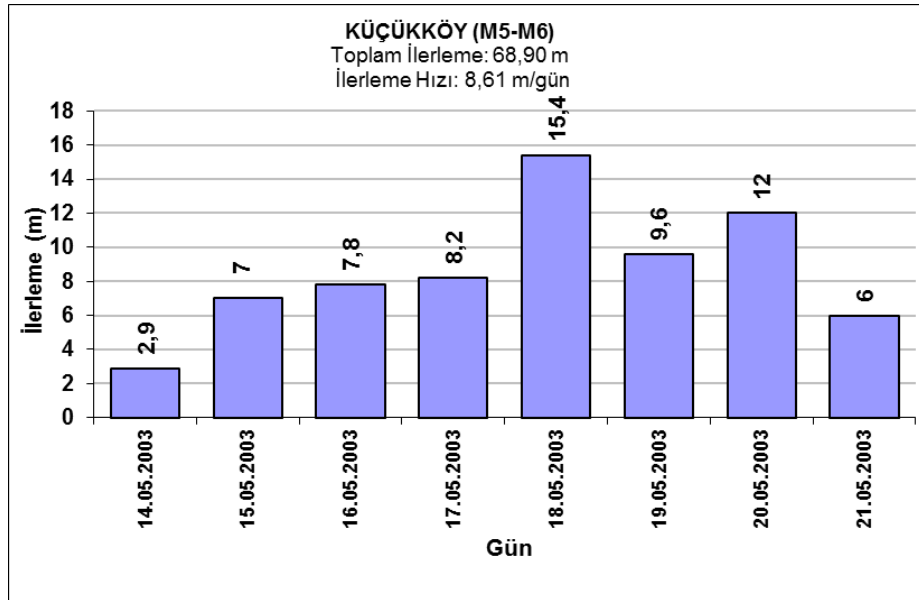
Şekil F.15 : Küçükköy (M1-M2) mikrotüneli ilerleme hızları.



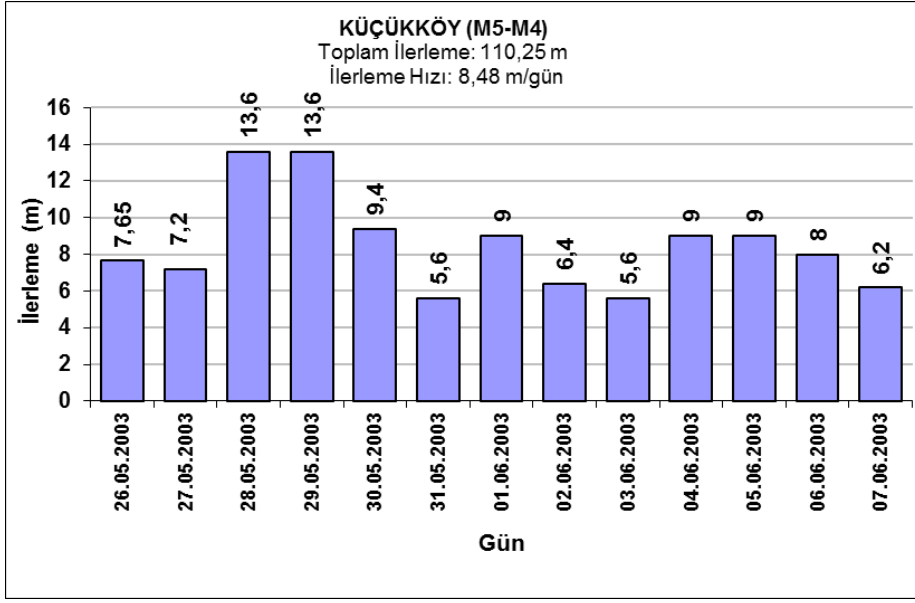
Şekil F.16 : Küçükköy (M3-M4) mikrotüneli ilerleme hızları.



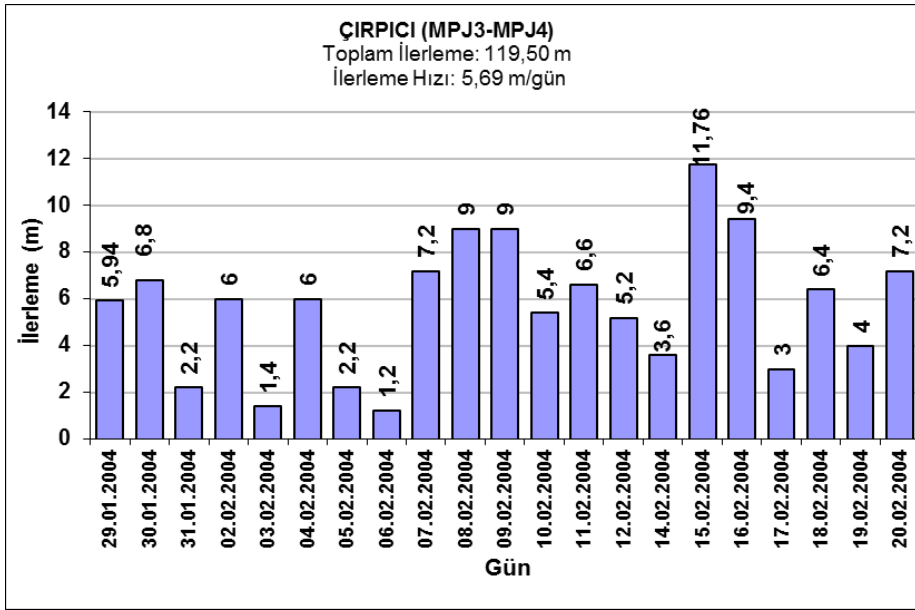
Şekil F.17 : Küçükköy (M7-M6) mikrotüneli ilerleme hızları.



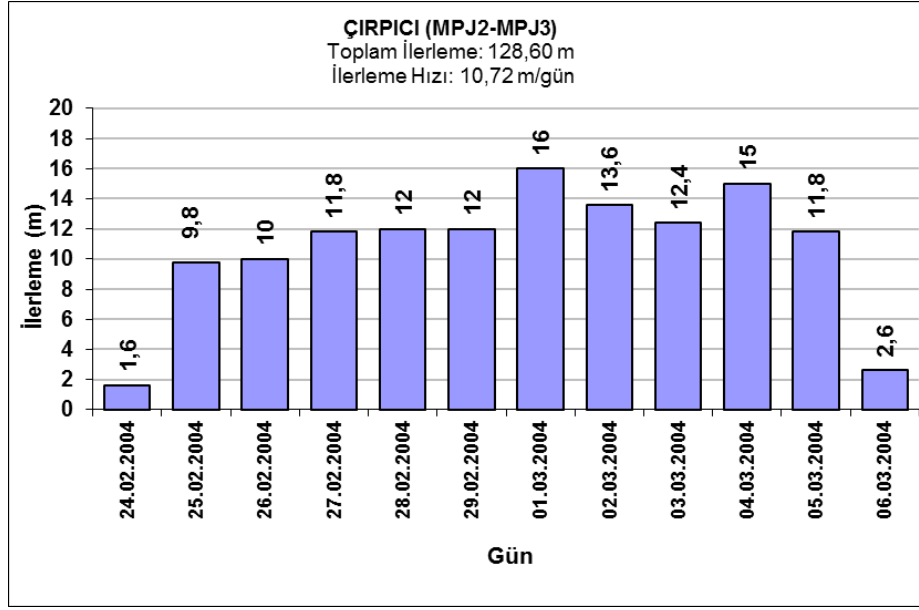
Şekil F.18 : Küçükköy (M5-M6) mikrotüneli ilerleme hızları.



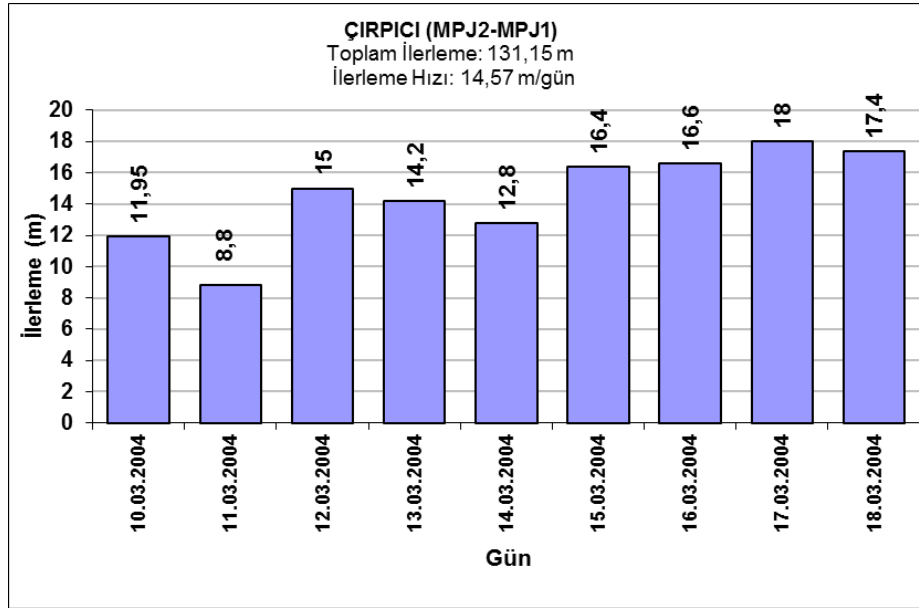
Şekil F.19 : Küçükköy (M5-M4) mikrotüneli ilerleme hızları.



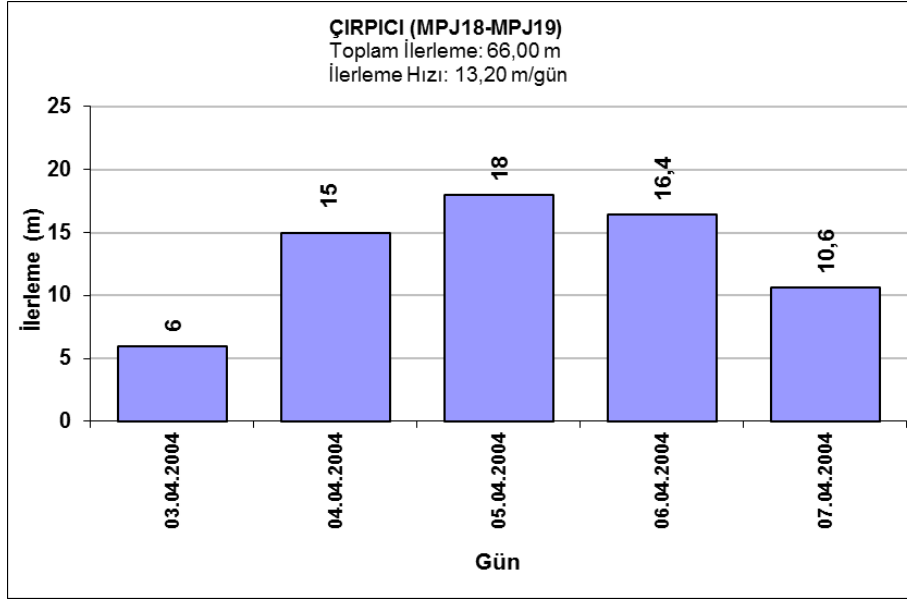
Şekil F.20 : Çırpıcı (MPJ3-MPJ4) mikrotüneli ilerleme hızları.



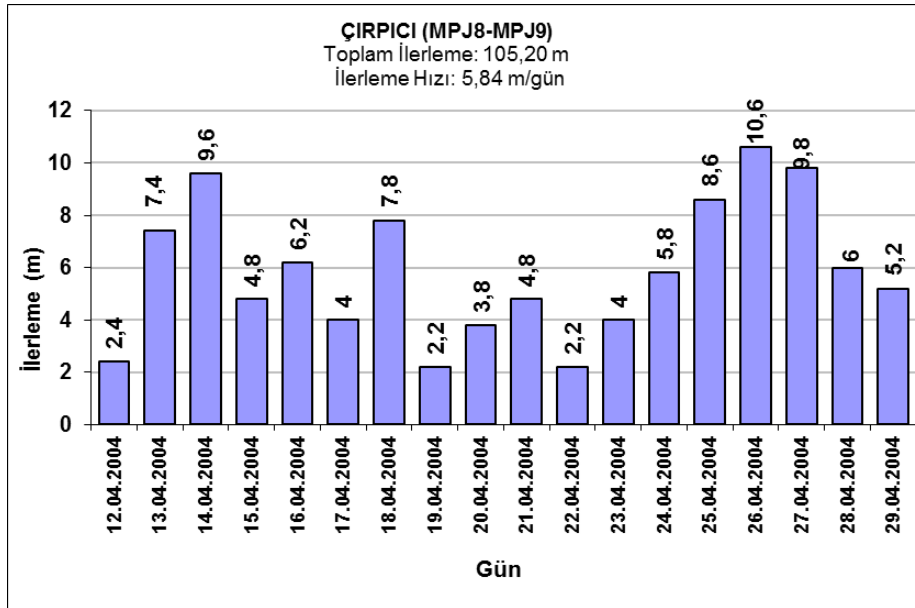
Şekil F.21 : Çirpıcı (MPJ2-MPJ3) mikrotüneli ilerleme hızları.



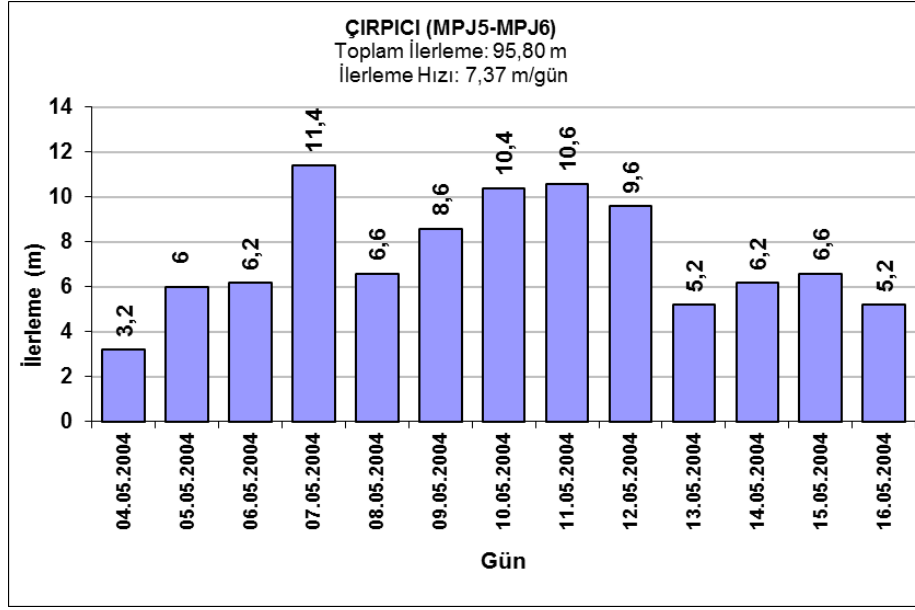
Şekil F.22 : Çirpıcı (MPJ2-MPJ1) mikrotüneli ilerleme hızları.



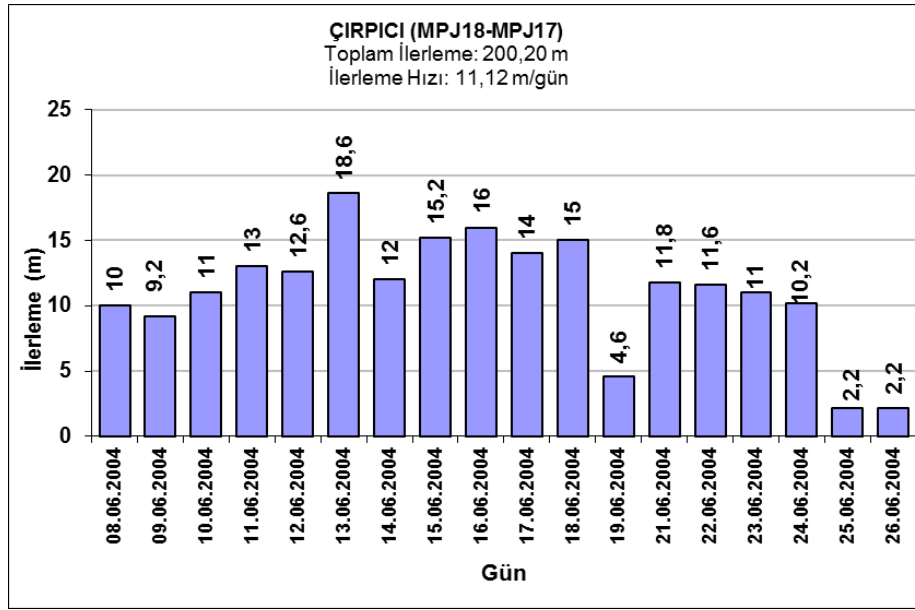
Şekil F.23 : Çirpıcı (MPJ18-MPJ19) mikrotüneli ilerleme hızları.



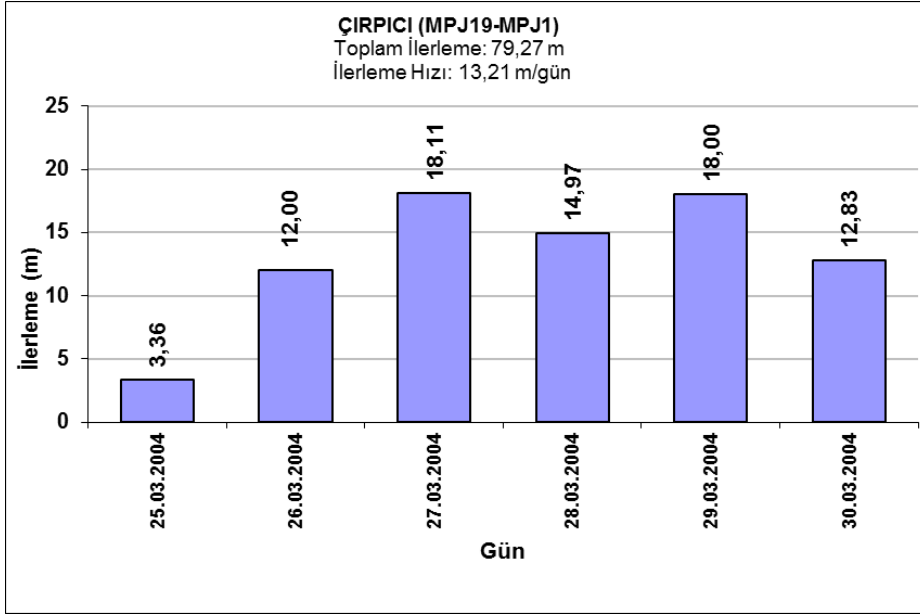
Şekil F.24 : Çirpıcı (MPJ8-MPJ9) mikrotüneli ilerleme hızları.



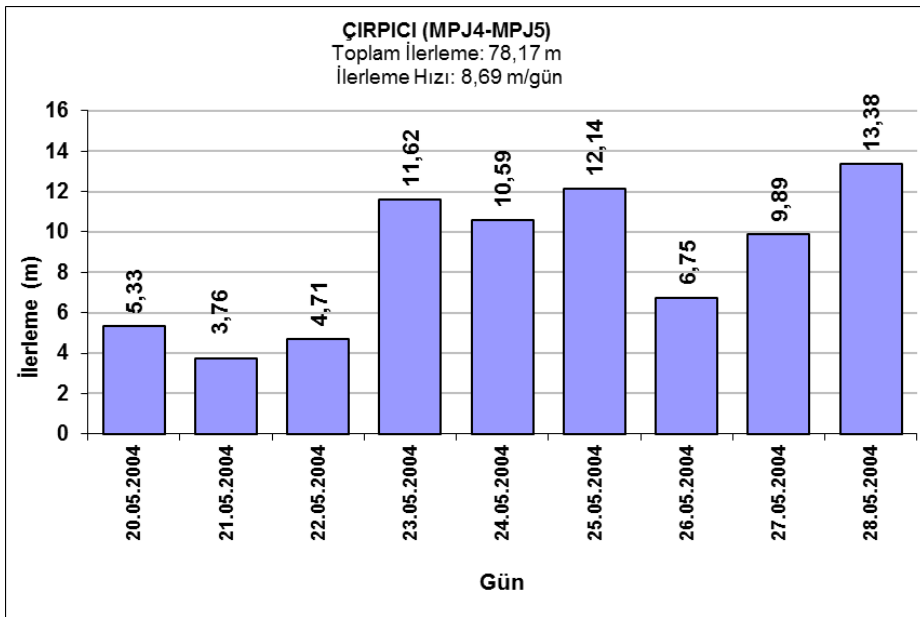
Şekil F.25 : Çirpıcı (MPJ5-MPJ6) mikrotüneli ilerleme hızları.



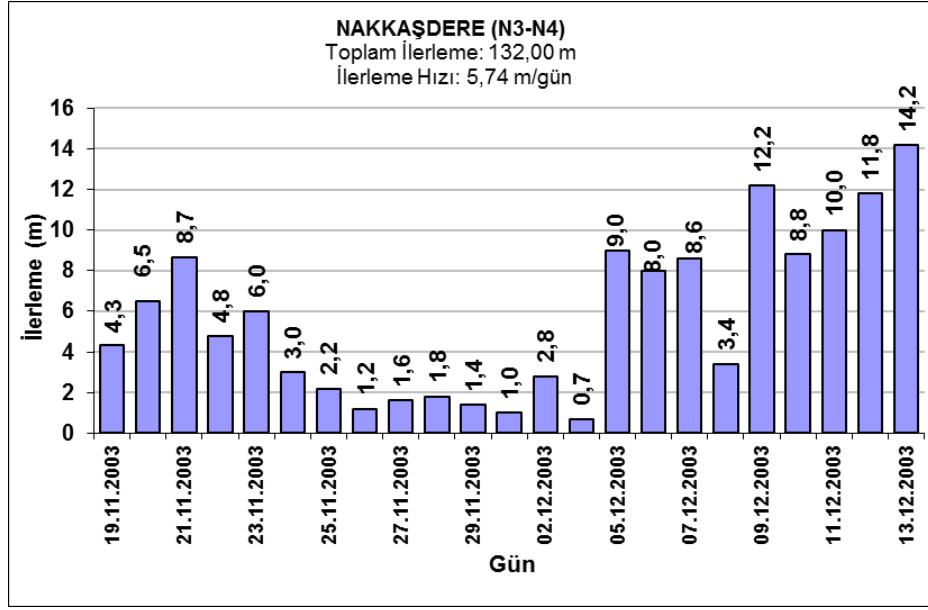
Şekil F.26 : Çirpıcı (MPJ18-MPJ17) mikrotüneli ilerleme hızları.



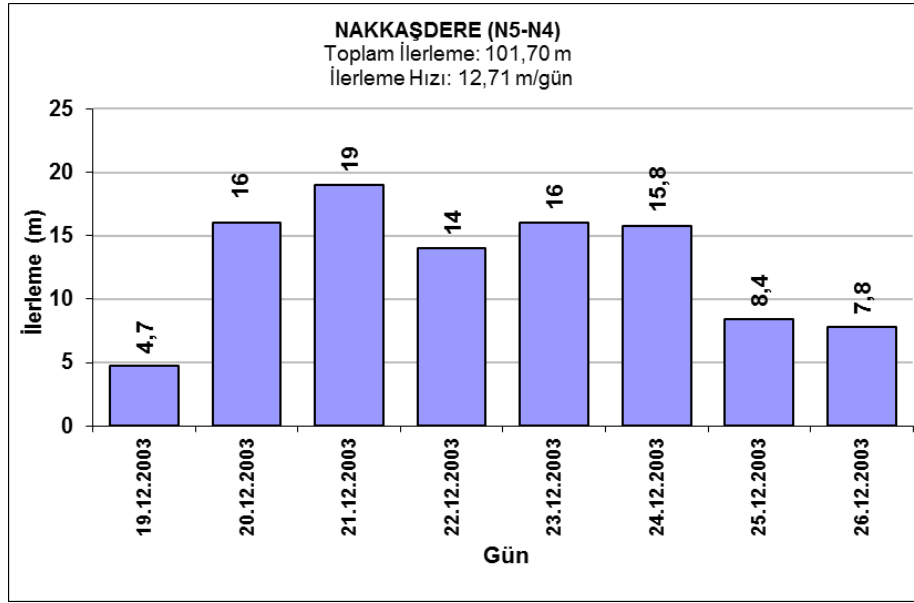
Şekil F.27 : Çirpici (MPJ19-MPJ1) mikrotüneli ilerleme hızları.



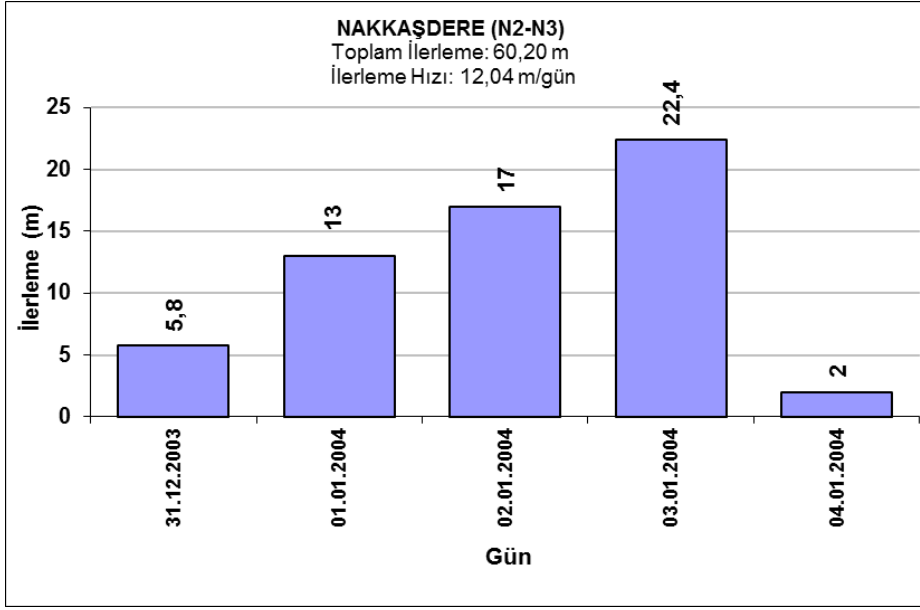
Şekil F.28 : Çirpici (MPJ4-MPJ5) mikrotüneli ilerleme hızları.



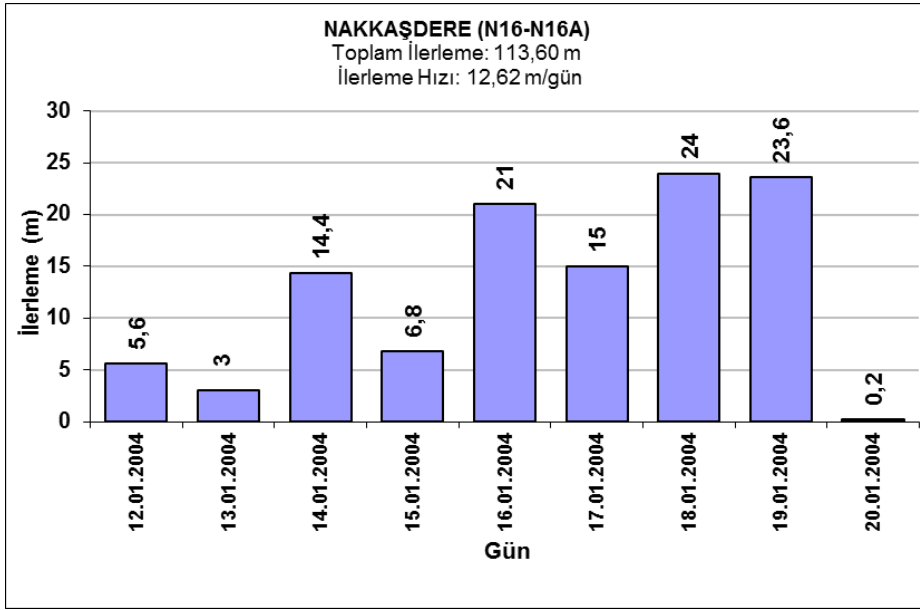
Şekil F.29 : Nakkaşdere (N3-N4) mikrotüneli ilerleme hızları.



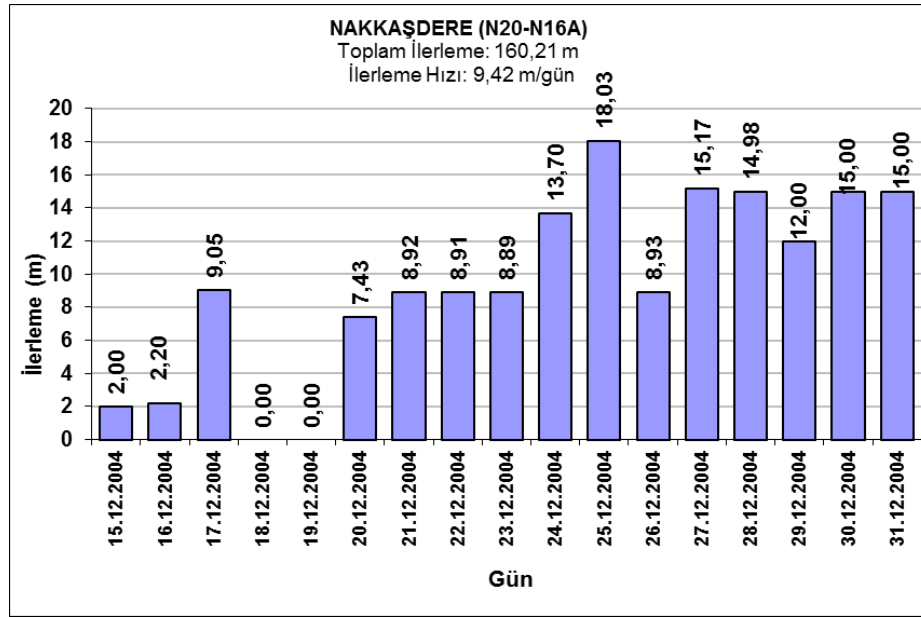
Şekil F.30 : Nakkaşdere (N5-N4) mikrotüneli ilerleme hızları.



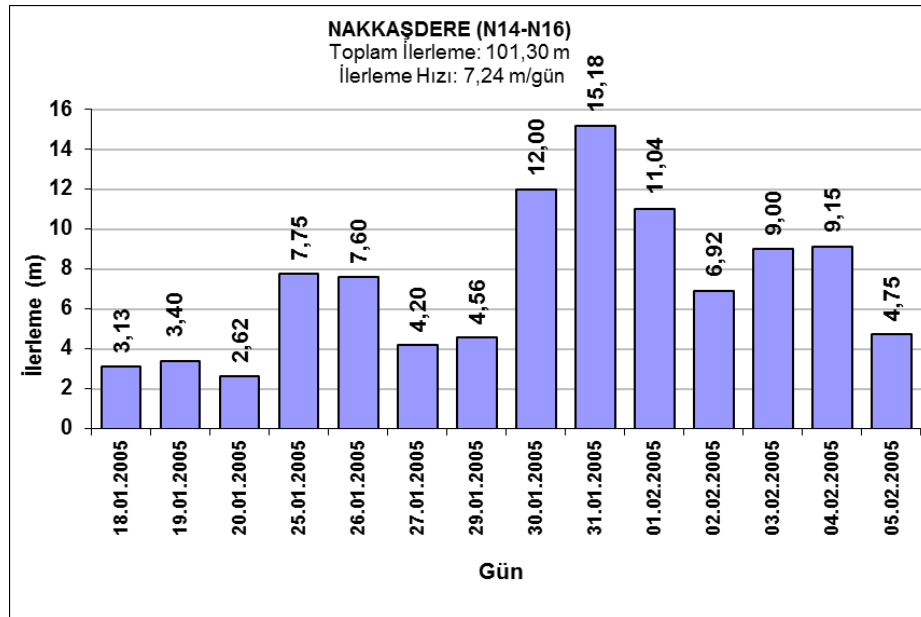
Şekil F.31 : Nakkaşdere (N2-N3) mikrotüneli ilerleme hızları.



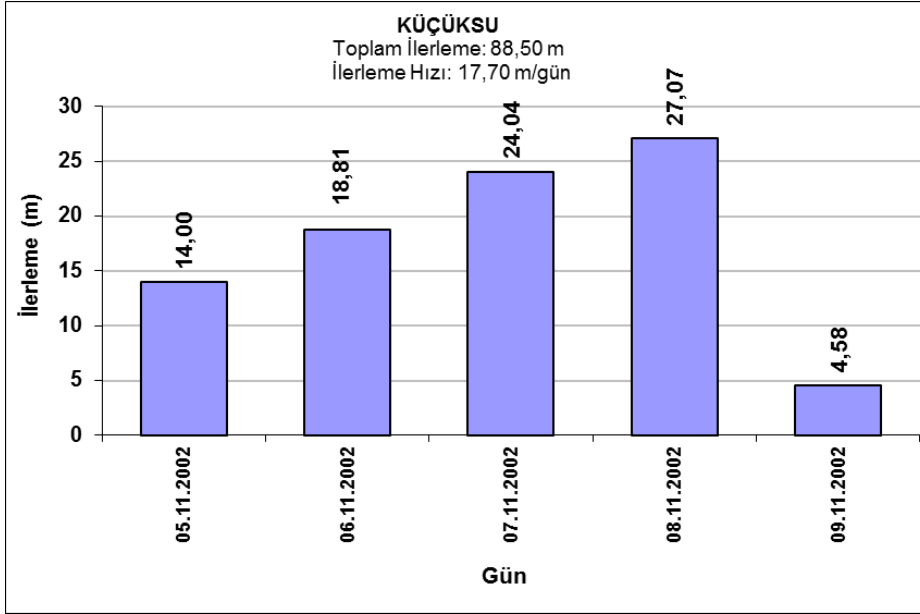
Şekil F.32 : Nakkaşdere (N16-N16A) mikrotüneli ilerleme hızları.



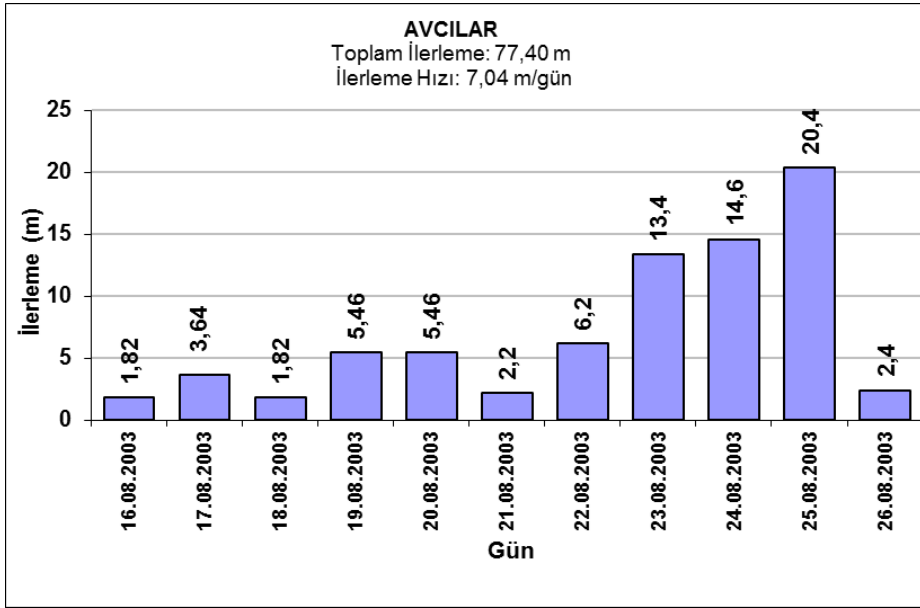
Şekil F.33 : Nakkaşdere (N20-N16A) mikrotüneli ilerleme hızları.



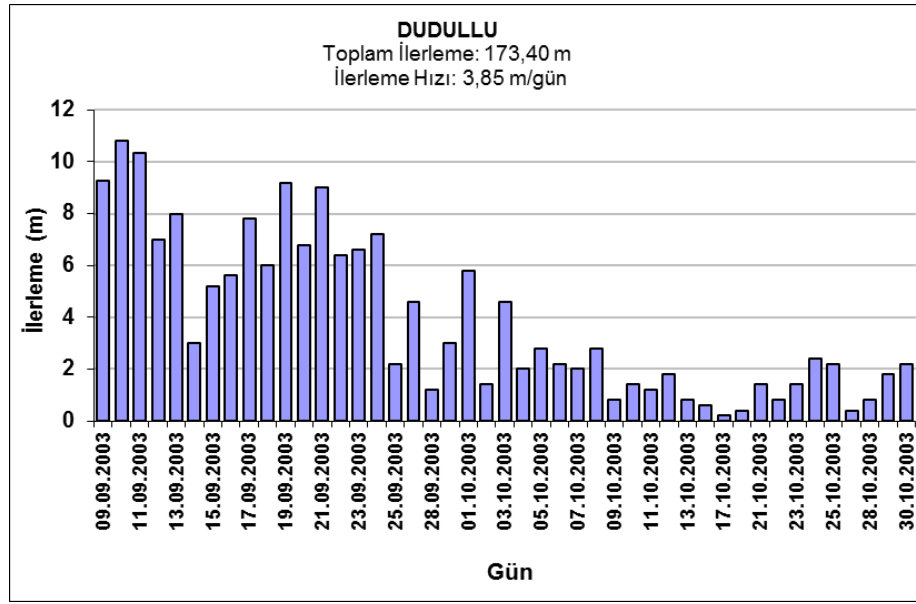
Şekil F.34 : Nakkaşdere (N14-N16) mikrotüneli ilerleme hızları.



Şekil F.35 : Küçüksu mikrotüneli ilerleme hızları.



Şekil F.36 : Avcılar mikrotüneli ilerleme hızları.



Şekil F.37 : Dudullu mikrotüneli ilerleme hızları.

EK G : Makine Kayıtlarından Çıkarılan Net Kazı Hızı Tabloları

EK G**Çizelge G.1 :** Kurbağalıdere 402 numaralı kuyudan 401 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
14.07.2002	12,10	2,56	4,72
15.07.2002	21,00	4,26	4,94
16.07.2002	11,80	2,71	4,36
17.07.2002	18,00	3,89	4,63
18.07.2002	15,00	5,39	2,78
19.07.2002	12,00	3,25	3,69
Toplam	89,90	22,06	4,08

Çizelge G.2 : Kurbağalıdere 400 numaralı kuyudan 389 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
24.07.2002	11,40	2,51	4,55
25.07.2002	21,20	3,95	5,37
26.07.2002	24,00	4,27	5,62
27.07.2002	24,00	5,69	4,22
28.07.2002	0,80	0,23	3,43
Toplam	81,40	16,64	4,89

Çizelge G.3 : Kurbağalıdere 389 numaralı kuyudan 388 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
07.08.2002	22,00	3,25	6,77
09.08.2002	14,00	2,57	5,45
10.08.2002	20,80	4,19	4,96
11.08.2002	18,00	3,62	4,97
12.08.2002	6,00	1,18	5,08
Toplam	80,80	14,81	5,46

Çizelge G.4 : Kurbağalıdere 388 numaralı kuyudan 387 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
19.08.2002	0,40	0,17	2,40
20.08.2002	3,80	1,19	3,20
21.08.2002	1,60	0,71	2,25
22.08.2002	12,00	3,04	3,94
23.08.2002	15,00	4,21	3,56
24.08.2002	10,20	5,02	2,03
25.08.2002	13,60	3,53	3,85
26.08.2002	18,00	5,39	3,34
27.08.2002	3,00	0,97	3,10
Toplam	77,60	24,22	3,20

Çizelge G.5 : Bostancı M14-2 numaralı kuyudan M15 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
29.01.2003	0,90	0,42	2,16
30.01.2003	11,10	2,95	3,76
31.01.2003	24,00	4,92	4,88
01.02.2003	3,60	0,90	4,00
02.02.2003	0,60	0,36	1,69
03.02.2003	7,00	3,47	2,02
04.02.2003	10,20	3,76	2,71
Toplam	57,40	16,77	3,42

Çizelge G.6 : Bostancı M15 numaralı kuyudan M15-1 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
20.12.2002	2,60	3,14	0,83
21.12.2002	9,80	7,19	1,36
07.01.2003	0,40	0,58	0,69

08.01.2003	6,40	4,19	1,53
09.01.2003	5,20	3,42	1,52
10.01.2003	8,60	8,64	1,00
11.01.2003	3,00	4,22	0,71
12.01.2003	6,00	9,01	0,67
13.01.2003	6,00	7,20	0,83
14.01.2003	9,00	8,60	1,05
15.01.2003	7,40	7,15	1,03
16.01.2003	7,80	8,97	0,87
17.01.2003	7,80	8,35	0,93
18.01.2003	6,60	7,38	0,89
19.01.2003	10,60	5,81	1,82
20.01.2003	0,40	0,25	1,60
21.01.2003	0,20	0,17	1,20
Toplam	97,80	94,26	1,04

Çizelge G.7 : Bostancı M15-1 numaralı kuyudan M15-2 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
11.12.2002	18,80	5,81	3,23
12.12.2002	7,00	4,92	1,42
13.12.2002	16,60	12,80	1,30
14.12.2002	15,00	14,23	1,05
15.12.2002	12,80	12,93	0,99
16.12.2002	12,80	7,32	1,75
Toplam	83,00	58,01	1,43

Çizelge G.8 : Bostancı M29A numaralı kuyudan M29B numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
28.06.2003	3,40	1,60	2,12
29.06.2003	6,80	7,44	0,91
30.06.2003	4,80	3,30	1,46
01.07.2003	7,00	8,12	0,86
02.07.2003	7,00	7,43	0,94
03.07.2003	10,20	7,67	1,33
04.07.2003	8,80	8,75	1,01
05.07.2003	10,40	7,70	1,35
06.07.2003	10,80	9,18	1,18

07.07.2003	9,00	7,97	1,13
08.07.2003	7,40	6,87	1,08
09.07.2003	7,60	7,23	1,05
10.07.2003	9,00	8,90	1,01
11.07.2003	7,40	6,62	1,12
12.07.2003	3,00	2,84	1,06
13.07.2003	1,20	0,99	1,21
14.07.2003	0,80	0,64	1,26
15.07.2003	0,20	0,33	0,60
16.07.2003	0,20	0,33	0,60
17.07.2003	6,80	3,91	1,74
18.07.2003	3,60	1,68	2,14
Toplam	125,40	109,49	1,15

Çizelge G.9 : Küçükköy M1 numaralı kuyudan M2 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
10.03.2003	12,20	6,71	1,82
11.03.2003	9,00	6,12	1,47
12.03.2003	4,60	3,02	1,52
13.03.2003	1,40	0,98	1,43
14.03.2003	3,00	3,37	0,89
15.03.2003	7,40	5,85	1,27
16.03.2003	7,60	6,22	1,22
17.03.2003	6,00	4,51	1,33
18.03.2003	1,60	0,95	1,69
19.03.2003	4,60	4,97	0,93
20.03.2003	9,00	6,05	1,49
21.03.2003	9,00	5,19	1,74
22.03.2003	7,40	5,03	1,47
23.03.2003	9,40	2,91	3,23
Toplam	92,20	61,87	1,49

Çizelge G.10 : Küçükköy M3 numaralı kuyudan M4 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
07.04.2003	3,20	1,94	1,65
08.04.2003	5,80	3,72	1,56
09.04.2003	4,80	3,49	1,38

10.04.2003	2,40	2,69	0,89
11.04.2003	7,80	6,47	1,21
12.04.2003	9,00	6,04	1,49
13.04.2003	7,80	5,28	1,48
14.04.2003	4,80	3,21	1,49
15.04.2003	1,00	0,67	1,50
16.04.2003	5,60	3,42	1,64
17.04.2003	10,80	7,32	1,48
18.04.2003	4,20	2,63	1,60
19.04.2003	9,20	6,67	1,38
20.04.2003	4,60	2,63	1,75
21.04.2003	12,60	4,69	2,69
Toplam	93,60	60,86	1,54

Çizelge G.11 : Küçükköy M7 numaralı kuyudan M6 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
29.04.2003	9,00	5,33	1,69
30.04.2003	10,20	7,05	1,45
01.05.2003	9,20	5,30	1,74
02.05.2003	10,60	4,87	2,18
03.05.2003	12,00	6,67	1,80
04.05.2003	9,00	5,28	1,70
05.05.2003	12,20	5,52	2,21
06.05.2003	9,80	5,00	1,96
07.05.2003	6,60	1,95	3,38
08.05.2003	0,60	0,23	2,57
Toplam	89,20	47,20	1,89

Çizelge G.12 : Küçükköy M5 numaralı kuyudan M6 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
14.05.2003	2,90	3,33	0,87
15.05.2003	7,00	8,54	0,82
16.05.2003	7,80	10,78	0,72
17.05.2003	8,20	11,68	0,70
18.05.2003	15,40	9,60	1,60
19.05.2003	9,60	10,50	0,91
20.05.2003	12,00	11,55	1,04

21.05.2003	6,00	5,79	1,04
Toplam	68,90	71,75	0,96

Çizelge G.13 : Küçükköy M5 numaralı kuyudan M4 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
26.05.2003	7,65	5,76	1,33
27.05.2003	7,20	4,81	1,50
28.05.2003	13,60	6,61	2,06
29.05.2003	13,60	7,46	1,82
30.05.2003	9,40	5,68	1,66
31.05.2003	5,60	3,75	1,49
01.06.2003	9,00	5,92	1,52
02.06.2003	6,40	4,18	1,53
03.06.2003	5,60	3,17	1,76
04.06.2003	9,00	5,62	1,60
05.06.2003	9,00	5,20	1,73
06.06.2003	8,00	4,41	1,81
07.06.2003	6,20	2,26	2,75
Toplam	110,25	64,83	1,70

Çizelge G.14 : Küçükköy N3 numaralı kuyudan N4 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
19.11.2003	4,33	5,49	0,79
20.11.2003	6,50	8,19	0,79
21.11.2003	8,67	10,89	0,80
22.11.2003	4,80	7,53	0,64
23.11.2003	6,00	8,52	0,70
24.11.2003	3,00	3,09	0,97
25.11.2003	2,20	2,52	0,87
26.11.2003	1,20	1,07	1,12
27.11.2003	1,60	1,92	0,83
28.11.2003	1,80	1,04	1,73
29.11.2003	1,40	1,15	1,22
01.12.2003	1,00	0,42	2,40
02.12.2003	2,80	3,08	0,91
03.12.2003	0,70	0,41	1,71
05.12.2003	9,00	3,86	2,33

06.12.2003	8,00	9,24	0,87
07.12.2003	8,60	7,87	1,09
08.12.2003	3,40	1,95	1,75
09.12.2003	12,20	12,76	0,96
10.12.2003	8,80	6,36	1,38
11.12.2003	10,00	8,99	1,11
12.12.2003	11,80	9,81	1,20
13.12.2003	14,20	8,53	1,66
Toplam	132,00	124,68	1,06

Çizelge G.15 : Küçükköy N5 numaralı kuyudan N4 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
19.12.2003	4,70	5,42	0,87
20.12.2003	16,00	16,28	0,98
21.12.2003	19,00	10,81	1,76
22.12.2003	14,00	14,20	0,99
23.12.2003	16,00	16,34	0,98
24.12.2003	15,80	12,11	1,30
25.12.2003	8,40	8,54	0,98
26.12.2003	7,80	5,32	1,47
Toplam	101,70	89,03	1,14

Çizelge G.16 : Küçükköy N2 numaralı kuyudan N3 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
31.12.2003	5,80	2,07	2,80
01.01.2004	13,00	8,04	1,62
02.01.2004	17,00	9,65	1,76
03.01.2004	22,40	12,59	1,78
04.01.2004	2,00	0,81	2,48
Toplam	60,20	33,15	1,82

Çizelge G.17 : Nakkaşdere N16 numaralı kuyudan N16A numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
12.01.2004	5,60	2,36	2,37
13.01.2004	3,00	1,59	1,89
14.01.2004	14,40	8,37	1,72
15.01.2004	6,80	3,91	1,74
16.01.2004	21,00	9,19	2,29
17.01.2004	15,00	6,87	2,18
18.01.2004	24,00	11,73	2,05
19.01.2004	23,60	12,97	1,82
20.01.2004	0,20	0,17	1,20
Toplam	113,60	57,15	1,99

Çizelge G.18 : Çırpıcı MPJ3 numaralı kuyudan MPJ4 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
29.01.2004	5,94	6,22	0,96
30.01.2004	6,80	7,79	0,87
31.01.2004	2,20	2,39	0,92
02.02.2004	6,00	8,37	0,72
03.02.2004	1,40	1,34	1,04
04.02.2004	6,00	7,29	0,82
05.02.2004	2,20	1,34	1,64
06.02.2004	1,20	1,48	0,81
07.02.2004	7,20	8,26	0,87
08.02.2004	9,00	9,79	0,92
09.02.2004	9,00	7,80	1,15
10.02.2004	5,40	3,36	1,61
11.02.2004	6,60	5,62	1,17
12.02.2004	5,20	4,83	1,08
14.02.2004	3,60	4,30	0,84
15.02.2004	11,76	11,70	1,00
16.02.2004	9,40	10,68	0,88
17.02.2004	3,00	2,88	1,04
18.02.2004	6,40	7,40	0,86
19.02.2004	4,00	3,76	1,07
20.02.2004	7,20	3,65	1,97
Toplam	119,50	120,25	0,99

Çizelge G.19 : Çırpıcı MPJ2 numaralı kuyudan MPJ3 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
24.02.2004	1,60	1,20	1,33
25.02.2004	9,80	8,65	1,13
26.02.2004	10,00	8,98	1,11
27.02.2004	11,80	7,85	1,50
28.02.2004	12,00	9,29	1,29
29.02.2004	12,00	9,31	1,29
01.03.2004	16,00	15,25	1,05
02.03.2004	13,60	12,11	1,12
03.03.2004	12,40	9,22	1,35
04.03.2004	15,00	13,13	1,14
05.03.2004	11,80	10,17	1,16
06.03.2004	2,60	1,63	1,59
Toplam	128,60	106,80	1,20

Çizelge G.20 : Çırpıcı MPJ2 numaralı kuyudan MPJ1 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
10.03.2004	11,95	9,01	1,33
11.03.2004	8,80	7,04	1,25
12.03.2004	15,00	9,47	1,58
13.03.2004	14,20	9,23	1,54
14.03.2004	12,80	7,08	1,81
15.03.2004	16,40	9,71	1,69
16.03.2004	16,60	8,70	1,91
17.03.2004	18,00	10,66	1,69
18.03.2004	17,40	8,41	2,07
Toplam	131,15	79,30	1,65

Çizelge G.21 : Çırpıcı MPJ18 numaralı kuyudan MPJ9 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
03.04.2004	6,00	4,08	1,47
04.04.2004	15,00	8,07	1,86
05.04.2004	18,00	7,29	2,47

06.04.2004	16,40	7,39	2,22
07.04.2004	10,60	5,01	2,12
Toplam	66,00	31,84	2,07

Çizelge G.22 : Çırpıcı MPJ8 numaralı kuyudan MPJ9 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
12.04.2004	2,40	1,53	1,57
13.04.2004	7,40	5,26	1,41
14.04.2004	9,60	7,85	1,22
15.04.2004	4,80	4,57	1,05
16.04.2004	6,20	6,09	1,02
17.04.2004	4,00	3,80	1,05
18.04.2004	7,80	8,23	0,95
19.04.2004	2,20	2,48	0,89
20.04.2004	3,80	2,82	1,35
21.04.2004	4,80	4,98	0,96
22.04.2004	2,20	1,88	1,17
23.04.2004	4,00	4,53	0,88
24.04.2004	5,80	5,89	0,98
25.04.2004	8,60	9,02	0,95
26.04.2004	10,60	9,00	1,18
27.04.2004	9,80	8,51	1,15
28.04.2004	6,00	6,52	0,92
29.04.2004	5,20	3,68	1,41
Toplam	105,20	96,63	1,09

Çizelge G.23 : Çırpıcı MPJ5 numaralı kuyudan MPJ6 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
04.05.2004	3,20	1,99	1,60
05.05.2004	6,00	4,41	1,36
06.05.2004	6,20	5,44	1,14
07.05.2004	11,40	9,64	1,18
08.05.2004	6,60	4,91	1,35
09.05.2004	8,60	6,72	1,28
10.05.2004	10,40	6,22	1,67
11.05.2004	10,60	7,80	1,36
12.05.2004	9,60	6,54	1,47

13.05.2004	5,20	2,71	1,92
14.05.2004	6,20	4,92	1,26
15.05.2004	6,60	6,13	1,08
16.05.2004	5,20	3,82	1,36
Toplam	95,80	71,27	1,34

Çizelge G.24 : Çırpıcı MPJ18 numaralı kuyudan MPJ17 numaralı kuyuya net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
08.06.2004	10,00	6,18	1,62
09.06.2004	9,20	4,57	2,01
10.06.2004	11,00	5,02	2,19
11.06.2004	13,00	6,84	1,90
12.06.2004	12,60	6,83	1,84
13.06.2004	18,60	8,05	2,31
14.06.2004	12,00	4,66	2,57
15.06.2004	15,20	7,63	1,99
16.06.2004	16,00	6,35	2,52
17.06.2004	14,00	7,19	1,95
18.06.2004	15,00	7,10	2,11
19.06.2004	4,60	2,55	1,80
21.06.2004	11,80	6,28	1,88
22.06.2004	11,60	6,13	1,89
23.06.2004	11,00	6,88	1,60
24.06.2004	10,20	3,85	2,65
25.06.2004	2,20	1,37	1,60
26.06.2004	2,20	0,98	2,26
Toplam	200,20	98,45	2,03

Çizelge G.25 : Avcılar net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
16.08.2003	1,82	2,07	0,88
17.08.2003	3,64	4,05	0,90
18.08.2003	1,82	2,07	0,88
19.08.2003	5,46	6,03	0,91
20.08.2003	5,46	6,03	0,91
21.08.2003	2,20	2,50	0,88
22.08.2003	6,20	6,60	0,94
23.08.2003	13,40	14,05	0,95

24.08.2003	14,60	12,59	1,16
25.08.2003	20,40	11,57	1,76
26.08.2003	2,40	1,79	1,34
Toplam	77,40	69,35	1,12

Çizelge G.26 : Dudullu net kazı hızları.

Gün	İlerleme (m)	İtme süresi (saat)	Net kazı hızı (m/saat)
09.09.2003	9,26	6,64	1,40
10.09.2003	12,34	13,19	0,94
11.09.2003	8,80	8,45	1,04
12.09.2003	7,00	6,04	1,16
13.09.2003	8,00	7,86	1,02
14.09.2003	3,00	3,49	0,86
15.09.2003	5,20	6,60	0,79
16.09.2003	5,60	6,42	0,87
17.09.2003	7,80	5,99	1,30
18.09.2003	6,00	5,70	1,05
19.09.2003	9,20	8,08	1,14
20.09.2003	6,80	6,78	1,00
21.09.2003	9,00	6,80	1,32
22.09.2003	6,40	5,25	1,22
23.09.2003	6,60	7,12	0,93
24.09.2003	7,20	7,49	0,96
25.09.2003	2,20	2,06	1,07
27.09.2003	4,60	4,18	1,10
28.09.2003	1,20	0,76	1,59
29.09.2003	3,00	2,57	1,17
01.10.2003	5,80	6,42	0,90
02.10.2003	1,40	2,01	0,70
03.10.2003	4,60	6,55	0,70
04.10.2003	2,00	1,38	1,45
05.10.2003	2,80	1,50	1,86
06.10.2003	2,20	0,97	2,27
07.10.2003	2,00	1,05	1,90
08.10.2003	2,80	1,17	2,40
09.10.2003	0,80	0,33	2,40
10.10.2003	1,40	0,58	2,40
11.10.2003	1,20	0,50	2,40
12.10.2003	1,80	0,69	2,60
13.10.2003	0,80	0,33	2,40
16.10.2003	0,60	0,25	2,40
17.10.2003	0,20	0,25	0,80

20.10.2003	0,40	0,25	1,60
21.10.2003	1,40	0,74	1,89
22.10.2003	0,80	0,33	2,40
23.10.2003	1,40	0,54	2,60
24.10.2003	2,40	1,06	2,26
25.10.2003	2,20	0,80	2,76
26.10.2003	0,40	0,25	1,60
28.10.2003	0,80	0,33	2,40
29.10.2003	1,80	0,61	2,95
30.10.2003	2,20	1,24	1,77
Toplam	173,40	151,61	1,14

EK H : Makinenin Kullanım Oranı

EK H**Çizelge H.1 : Kurbağalıdere kullanım oranları.**

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Kazı süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine kullanım oranı (%)
402-401	89,90	22,06	67,72	32,57%
400-389	81,40	16,64	46,85	35,52%
389-388	80,80	14,81	52,09	28,43%
388-387	77,60	24,22	83,12	29,14%
Toplam	329,70	77,73	249,78	31,12%

Çizelge H.2 : Bostancı kullanım oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Kazı süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine kullanım oranı (%)
M14-2 M15	57,40	16,77	65,32	25,68%
M15 M15-1	97,80	94,26	209,27	45,04%
M15-1 M15-2	83,00	58,01	116,16	49,94%
M29A-M29B	125,40	109,49	228,32	47,96%
Toplam	363,60	278,53	619,08	44,99%

Çizelge H.3 : Küçükköy kullanım oranı.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Kazı süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine kullanım oranı (%)
M1-M2	92,20	61,87	169,80	36,43%
M3-M4	93,60	60,86	137,06	44,41%
M7-M6	89,20	47,20	107,22	44,02%
M5-M6	68,90	71,75	146,53	48,97%
M5-M4	110,25	64,83	156,17	41,51%
Toplam	454,15	306,50	716,78	42,76%

Çizelge H.4 : Çırpıcı kullanım oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Kazı süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine kullanım oranı (%)
MPJ-3 MPJ-4	119,50	120,25	290,85	41,35%
MPJ-2 MPJ-3	128,60	106,80	224,89	47,49%
MPJ-2 MPJ-1	131,15	79,30	171,67	46,20%
MPJ-18 MPJ-19	66,00	31,84	63,81	49,89%
MPJ-8 MPJ-9	105,20	96,63	234,49	41,21%
MPJ-5 MPJ-6	95,80	71,27	163,08	43,70%
MPJ-18 MPJ-17	200,20	98,45	212,05	46,43%
Toplam	846,45	604,54	1.360,85	44,42%

Çizelge H5 : Nakkaşdere kullanım oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Kazı süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine kullanım oranı (%)
N3-N4	132,00	124,68	324,29	38,45%
N5-N4	101,70	89,03	165,97	53,64%
N2-N3	60,20	33,15	71,29	46,50%
N16-N16A	113,60	57,15	159,28	35,88%
Toplam	407,50	304,01	720,83	42,17%

Çizelge H6 : Avcılar-Dudullu kullanım oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Kazı süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine kullanım oranı (%)
AVCILAR	77,40	69,34	161,93	42,82%
DUDULLU	173,40	151,61	543,94	27,87%

EK I : Makinenin Kullanılabilirlik Oranı

EK I

Çizelge I1 : Kurbağalıdere kullanılabilirlik oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanmayan duraklama süresi (saat)	Kazı süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine kullanılabilirlik oranı (%)
402-401	89,90	28,22	22,06	67,72	74,24%
400-389	81,40	12,47	16,64	46,85	62,13%
389-388	80,80	21,65	14,81	52,09	69,99%
388-387	77,60	45,37	24,22	83,12	83,72%
Toplam	329,70	107,70	77,73	249,78	74,24%

Çizelge I2 : Bostancı kullanılabilirlik oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanmayan duraklama süresi (saat)	Kazı süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine kullanılabilirlik oranı (%)
M14-2 M15	57,40	29,84	16,77	65,32	71,35%
M15 M15-1	97,80	80,37	94,26	209,27	83,44%
M15-1 M15-2	83,00	33,27	58,01	116,16	78,58%
M29A-M29B	125,40	82,84	109,49	228,32	84,24%
Toplam	363,60	226,32	278,53	619,08	81,55%

Çizelge I3 : Küçükköy kullanılabilirlik oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanmayan duraklama süresi (saat)	Kazı süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine kullanılabilirlik oranı (%)
M1-M2	92,20	82,97	61,87	169,80	85,30%
M3-M4	93,60	44,32	60,86	137,06	76,74%
M7-M6	89,20	37,62	47,20	107,22	79,11%
M5-M6	68,90	57,29	71,75	146,53	88,06%
M5-M4	110,25	68,68	64,83	156,17	85,49%
Toplam	454,15	290,88	306,50	716,78	83,34%

Çizelge I4 : Çırpıcı kullanılabilirlik oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanmayan duraklama süresi (saat)	Kazı süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine kullanılabilirlik oranı (%)
MPJ-3 MPJ-4	119,50	117,90	120,25	290,85	81,88%
MPJ-2 MPJ-3	128,60	79,11	106,80	224,89	82,67%
MPJ-2 MPJ-1	131,15	60,63	79,30	171,67	81,51%
MPJ-18 MPJ-19	66,00	17,45	31,84	63,81	77,23%
MPJ-8 MPJ-9	105,20	83,98	96,63	234,49	77,02%
MPJ-5 MPJ6	95,80	47,93	71,27	163,08	73,09%
MPJ-18 MPJ-17	200,20	62,84	98,45	212,05	76,06%
Toplam	846,45	469,83	604,54	1.360,85	78,95%

Çizelge I5 : Nakkaşdere kullanılabilirlik oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanmayan duraklama süresi (saat)	Kazı süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine kullanılabilirlik oranı (%)
N3-N4	132,00	107,70	124,68	324,29	71,66%
N5-N4	101,70	40,80	89,03	165,97	78,22%
N2-N3	60,20	17,93	33,15	71,29	71,65%
N16-N16A	113,60	78,56	57,15	159,28	85,20%
Toplam	407,50	244,99	304,01	720,83	76,16%

Çizelge I6 : Avcılar-Dudullu kullanılabilirlik oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanmayan duraklama süresi (saat)	Kazı süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine kullanılabilirlik oranı (%)
AVCILAR	77,40	50,27	69,34	161,93	73,87%
DUDULLU	173,40	240,28	151,61	543,94	72,05%

EK J : Makinenin Güvenirlik Oranı

Çizelge J1 : Kurbağalıdere güvenirlilik oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanan duraklama süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine güvenirlilik oranı (%)
402-401	89,90	17,44	67,72	25,76%
400-389	81,40	17,74	46,85	37,87%
389-388	80,80	15,63	52,09	30,01%
388-387	77,60	13,53	83,12	16,28%
Toplam	329,70	64,35	249,78	25,76%

Çizelge J2 : Bostancı güvenirlilik oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanan duraklama süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine güvenirlilik oranı (%)
M14-2 M15	57,40	18,72	65,32	28,65%
M15 M15-1	97,80	34,65	209,27	16,56%
M15-1 M15-2	83,00	24,88	116,16	21,42%
M29A-M29B	125,40	35,99	228,32	15,76%
Toplam	363,60	114,23	619,08	18,45%

Çizelge J3 : Küçükköy güvenirlilik oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanan duraklama süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine güvenirlilik oranı (%)
M1-M2	92,20	24,96	169,80	14,70%
M3-M4	93,60	31,87	137,06	23,26%
M7-M6	89,20	22,40	107,22	20,89%
M5-M6	68,90	17,49	146,53	11,94%
M5-M4	110,25	22,67	156,17	14,51%
Toplam	454,15	119,40	716,78	16,66%

Çizelge J4 : Nakkaşdere güvenirlilik oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanan duraklama süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine güvenirlilik oranı (%)
N3-N4	132,00	91,91	324,29	28,34%
N5-N4	101,70	36,14	165,97	21,78%
N2-N3	60,20	20,21	71,29	28,35%
N16-N16A	113,60	23,58	159,28	14,80%
Toplam	407,50	171,84	720,83	23,84%

Çizelge J5 : Çırpıcı güvenirlilik oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanan duraklama süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine güvenirlilik oranı (%)
MPJ-3 MPJ-4	119,50	52,70	290,85	18,12%
MPJ-2 MPJ-3	128,60	38,98	224,89	17,33%
MPJ-2 MPJ-1	131,15	31,74	171,67	18,49%
MPJ-18 MPJ-19	66,00	14,53	63,81	22,77%
MPJ-8 MPJ-9	105,20	53,88	234,49	22,98%
MPJ-5 MPJ-6	95,80	43,89	163,08	26,91%
MPJ-18 MPJ-17	200,20	50,76	212,05	23,94%
Toplam	846,45	286,48	1.360,85	21,05%

Çizelge J6 : Avcılar-Dudullu güvenirlilik oranları.

Kuyular	Sürüş uzunluğu (m)	Makineden kaynaklanan duraklama süresi (saat)	Vardiye süresi (saat)	Makine güvenirlilik oranı (%)
AVCILAR	77,40	42,32	161,93	26,13%
DUDULLU	173,40	152,05	543,94	27,95%

EK K : Mikrotünellere Ait Ayrıntılı Faaliyet Raporları

EK K

Çizelge K1 : Mikrotünel açma faaliyetleri.

Tarih	Faaliyet
12.05.2002	Şantiye işleri başladı.
16.05.2002	Makine Yurtdışından Geldi

K.1: Kurbağalıdere H-1 (K5A-402) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Çizelge K2 : H-1 mikrotünel açma faaliyetleri.

Tarih	Faaliyet
22.05-01.06.2002	İdari işler halledildi
30.06.2002	Yeni operatör Stefani göreve başladı. İlk gelen operatör Manny gitti. Tünel makinası montajı yapıp, indirildi
01.07.2002	Tünel makinası bağlantıları yapıp boru sürüldü
02.07.2002	Bentonit hattı boru giriş kısımları kontrol edildi
06.07.2002	Makine çıkış şaftına ulaştı
07.07.2002	Makine ve kuyruk çıkartıldı, tüm borular sürüldü

K.2: Kurbağalıdere H-2 (402-401) Mikrotünel Faaliyet Raporu

H-2 projesinde, 10 günlük ön faaliyetler ve 5 günlük idari işlerin ardından 45 günlük zemin iyileştirme faaliyetlerinden sonra kazı başlamıştır. 6 gün süren 90 metrelik kazı işleminde yer yer bentonit enjeksiyonu yapılmıştır. Günlük ortalama 11 saat mesai yapılmış (makinanın fiili çalışması 4 saat/gün), ortalama ilerleme 14,98 m/gün olmuş, en iyi ilerleme 21 m olmuştur. Net kazı hızı 4,08 m/saat, makineden faydalanma oranı %32,57' dir.

Çizelge K3 : H-2 mikrotünel açma faaliyetleri.

Tarih	Faaliyet
16.05.2002	Ön faaliyetler başladı
25.05-01.06.2002	İdari işler halledildi
28.06.2002	İtme tarafına 5,00 (8 adet), çıkış tarafına 3,5 mt(5 adet) jet grout yapıldı
14.07.2002	Makina temizlenip ve yağlanıp, indirilip boru sürmeye başlandı
15.07.2002	3, 6, 9. Boruya bentonit enjeksiyonu yapıldı
19.07.2002	Boru itme işi bitirildi, makine çıkarıldı.

K.3: Kurbağalıdere H-3 (400-389) Mikrotünel Faaliyet Raporu

5 gün süren ve günde ortalama 9 saat mesai yapılan, buna karşılık makinenin ortalama fiili çalışma süresi 3 saat/gün olmasına karşın kazı ortalama ilerlemesi 16,28 m/gün olarak gerçekleşmiştir. Makineden faydalanma oranı %35,52' dir.

Çizelge K4 : H-3 mikrotünel açma faaliyetleri.

Tarih	Faaliyet
07-12.07.2002	Jet Grout yapıldı
21.07.2002	İtme platformu ve lazer kolonu montajı yapıldı
23.07.2002	Montaj bitirildi ve makine indirildi
24.07.2002	Kazıya başlandı

K.4: Kurbağalıdere H-4 (389-388) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Makine ilerlemeye başladıktan bir gün sonra sel sularının içinde kaldı, bir günlük duraklama ile beraber 6 günlük ortalama 10 saat/günlük mesai ve 3 m/saat'lik fiili makine çalışması neticesinde ortalama günlük ilerleme 16,16 m/gün (en iyi günlük ilerleme 22 m) olmuştur. Net kazı hızı 5.46 m/saat ile makineden faydalanma oranı % 28,43 olmuştur.

Çizelge K5 : H-4 mikrotünel açma faaliyetleri.

12-14.07.2002	Jet Grout yapıldı
31.07.2002	İtme mesnedi montajı ve arkası betonu yapıldı
02.08.2002	İtme mesnedi montajı yapıldı
06.08.2002	Makina indirildi
08.08.2002	Makine selin içinde kaldı
09.08.2002	Makina temizlendi ve itmeye başlandı
11-12.08.2002	Makina ve kuyruk çıkarıldı ve boru sürme tamamlandı

K.5: Kurbağalıdere H-5 (388-387) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Bu zeminde karşılaşılan en büyük problem makinenin ilerleme istikametinde demir parçalarına rast gelinmesi ve temizlemesi için ara verilmesi gerekmesidir. 9 gündür faaliyet sonucunda ortalama 8,62 m/gün (en iyi ilerleme 18 m/gün) olmuştur. Günlük ortalama mesai 9 saat (makinenin ortalama fiili çalışması 3 saat/gün), net kazı hızı 3,20 m/saat buna karşın ilerleme oranı 0,93 m/saat, makineden faydalanma oranı % 29,14 olmuştur.

Çizelge K6 : H-5 mikrotünel açma faaliyetleri.

12.08.2002	Elek ve sedimentasyon tankları taşınmaya başlandı
17.08.2002	İtme platformu yerleştirilecek arka betonu döküldü
23.08.2002	Makina önünden giren demir parçaları nedeniyle zaman zaman ara verildi ve temizlik yapıldı
28.08.2002	Demontaj ve nakliye yapıldı

K.6: Kurbağalıdere H-6 (387-386) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Çizelge K7 : H-6 mikrotünel açma faaliyetleri.

01.09.2002	Arızalar ve su kaybı nedeniyle ancak 7 m sürüldü
03.09.2002	Boru sürmeye devam edildi, itme kuvveti sınıra yaklaştığından aralıksız olarak sabah kadar çalışıldı
04.09.2002	Boru sürme bitirildi. Makine çıkarıldı
05-08.09.2002	Demontaj çalışmaları yapıldı. Tanklar temizlendi

K.7: Kurbağalıdere H-7 (386-385) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Çizelge K8 : H-7 mikrotünel açma faaliyetleri.

11.09.2002	Boru itme işi başladı
13.09.2002	Boru itmeye devam edildi. 30 m'den sonra sert kumtaşı ve kilaşına girildi. Hız 12 mm/dakika'ya düştü
17.09.2002	Boru itme işlemi tamamlandı

K.8: Bostancı H-8 (M15-3 , M15-4) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Çizelge K9 : H-8 mikrotünel açma faaliyetleri.

01.10.2002	Bağlantılar yapıldı. Platform stabil hale getirildi
02.10.2002	Hidrolik ve su bağlantıları yapıldı. Tünel makinası indirildi itmeye başlandı
03-06.10.2002	Kazı ve boru sürme devam ediyor. Zemin kil+kum. Hız:20-40 mm/m.
10.10.2002	Taşınma işlemi başlayacak. Tanklar boşaltıldı. Temizlik çalışmaları için hazırlandı
11.10.2002	Tüm malzemeler M 15- 4 e taşındı

K.9: Bostancı H-9 (M15-4 , M15-2) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Çizelge K10 : H-9 mikrotünel açma faaliyetleri.

14.10.2002	Tünel makinası kazıya başladı ilk girişte contadan su attı çevresi silikonlu betonla dolduruldu
15.10.2002	Tünel makinası kazıya başladı, bentonitle çalışmaya devam edilecek. Makine kum zemine oturduğundan itme yapılamadı
17.10.2002	Makine + kuyruk 3 adet boru itildi. Bentonit hattı çekilmeye başlandı. Tıkanmalar oluyor
18.10.2002	4. borunun yarısında itme işlemi durduruldu. Bentonit tanklarının değiştirilmesine başlandı
21.10.2002	Tünel makinası 37+55 mt de makine blok yaptı 200 bar basılmasına rağmen makine ilerlemedi. Gece boyunca makinaya bentonit basılmaya devam edildi
22.10.2002	Makine'nin hidromotor basıncı 200 Bar'a yükseltildi. Tünel makinası Bostancı deresi altında muhtemelen döşenen Riprap taşlardan dolayı aksamalı bir şekilde devam ediyor
23.10.2002	Tünel makinası kazıya devam etti. Pompalarda oluşan tıkanmalar devam etti. Yeni bentonit mixeri geldi kurulumu yapıldı
25.10.2002	Bentonit cinsi değiştirildi ve yeni su tankı geldi tıkanma sayısı azaldı
26.10.2002	Boru basmaya devam edildi, tanklardaki bentonit takviyesi yapıldı lazer kontrol edildi

K.10: Bostancı H-11(M15-2 , M15-3) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Çizelge K11 : H-11 mikrotünel açma faaliyetleri.

19.11.2002	Makine aşağı indirildi basılmaya hazır hale getirildi, makine kafasının kesici disklerinin bakımı yapıldı
20.11.2002	Boru sürmeye başlandı. Zemin killi, makine yavaş ilerliyor. İtme basıncı yaklaşık 60 bar
21.11.2002	Su borularından inşaat demiri çıktı
22.11.2002	Kırılan elek plakası tamir edildi
24.11.2002	Boru itmeye devam edildi, zemindeki kil miktarı yükseldi makine hızı düştü
26 - 29.11.2002	Tüm tanklardaki sular değiştirildi
30.11.2002	Makine çıkış yaptı tünel makinesi yukarıya alındı M15-1 e gönderildi

K.11: Bostancı-3 (M15-1, M15-2) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Çizelge K12 : Bos-3 mikrotünel açma faaliyetleri.

03.12.2002	Tünel makinası tamiraty yapılyor.
09.12.2002	Boru basmaya devam edildi, yarım boru basıldı, jeneratörde problem çıktı tünel makinası kontrol bilgisayarı işletim sistemi arızalandı,
10.12.2002	Bilgisayardaki arıza nedeniyle boru itme yapılmadı jeneratörün bakımı yapıldı filtreleri değiştirildi
16.12.2002	Tünel makinası çıkarıldı vinç gece söküldü ve nakledildi
20.12.2002	Kazı başladı
21.12.2002	2 adet boru itilerek 06-01-2003 tarihine kadar ara verildi

Mikrotünel makinesindeki arızalardan dolayı kazı bir haftalık gecikmeyle başladı, 6 günlük faaliyet boyunca 83 metreyi 13,83 m/gün' lük ortalama ilerlemeyle açılmıştır (en iyi günlük ilerleme 13,83 m/gün). Ortalama 20 saat/gün' lük mesai süresinin yarısında makine fiili olarak kazı yapmıştır, bunun neticesinde makineden faydalanma oranı % 49,94 olmuştur.

K.12: Bostancı-2 (M15 , M15-1) Mikrotünel Faaliyet Raporu

17 günlük fiili kazı süresinde (ortalama mesai süresi 12 saat/gün, fiili makinenin çalışma süresi 6 saat/gün) 1,04 m/saat net kazı hızı ve ortalama 5,75 m/gün ilerleme ile % 45,04' lük makineden faydalanma oranı elde edilmiştir.

K.13: Bostancı-1 (M14-2 , M15) Mikrotünel Faaliyet Raporu

7 günlük fiili kazı süresinde (ortalama mesai süresi 9 saat/gün, fiili makinenin çalışma süresi 2 saat/gün) 3,42 m/saat net kazı hızı ve ortalama 8,2 m/gün ilerleme ile % 25,68' lik makineden faydalanma oranı elde edilmiştir.

K.14: Bostancı H-17 (M29A , M29B) Mikrotünel Faaliyet Raporu

En uzun mikrotünellerden birisi (125,40 m) olan bu proje 21 günde 5,97 m/gün ortalama ilerleme ile (en iyi günlük ilerleme 10.80 m) tamamlanmıştır. 11 saatlik ortalama günlük mesainin 5 saati fiili kazı yapılmış, 1,15 m/saat net kazı hızı ve % 47,96 makineden faydalanma oranı elde edilmiştir.

K.15: Küçüksu H-10 Mikrotünel Faaliyet Raporu

Çizelge K13 : H-10 mikrotünel açma faaliyetleri.

05.11.2002	Boru itmeye başlandı makine +kuyruk = 2 boru itildi, kumlu zemin söz konusu, dökümler dere kenarında yapılıyor. Elekten sürekli sulu malzeme gelmekte tanklara sürekli bentonit basılmaya başlandı.
06.11.2002	Bir kez borularda tıkanma oldu inşaat demiri çıktı.
09.11.2002	Tanklardaki bentonit değiştirildi Tünel makinası çıkarıldı

K.16: Küçükköy H-12 (M1-M2) Mikrotünel Faaliyet Raporu

12 saatlik mesainin 4 saati fiili makine çalışması neticesinde 92,20 metrelik proje 14 günde 6,59 m/gün ortalama ilerleme ile tamamlanmıştır. 1,49 m/saat'lik net kazı hızı ile kazılan mikrotünelde makineden faydalanma oranı % 36,43 olmuştur.

Çizelge K14 : H-12 mikrotünel açma faaliyetleri.

26.01.2003	Ön kazısı yapıldı, zemin tamamen grovak
01.02.2003	Kuyu kazısına başlandı
02.03.2003	Tanklar ve seperatörler yerleştirildi
03.03.2003	İtme platformu yerleştirildi, seperatör montajı tamamlandı
05.03.2003	Montaj işlemleri tamamlandı
08.03.2003	Kesici kafa diskleri Almanya'dan geldi, montajı tamamlandı, tünel makinesi kuyuya indirildi
09-12.03.2003	İtme yapıldı, bentonit kullanıldı
13.03.2003	Bentonit ve tıkanmalar dolayısıyla boru itme yapılamadı. Bostancı'dan 3. sedimantasyon tankı getirildi, dolduruldu
14- 23.03.2003	Boru itme tamamlandı tünel makinesi çıkarıldı, M3 kuyusuna nakledildi
24.03.2003	Tank temizlikleri, boru hatlarının demontaj işleri yapıldı
12.04.2003	Kuyu kapatıldı, üst dolgusu yapıldı, trafiğe açıldı.

K.17: Küçükköy H-13 (M3-M4) Mikrotünel Faaliyet Raporu

93,60 metre uzunluğu olan proje 14 günde sert formasyonda 6.24 m/gün ortalama ilerleme ile (en iyi günlük ilerleme 12,60 m). 9 saatlik ortalama mesainin 4 saatinde makine fiili olarak çalışmıştır ve 1,54 m/saat net kazı hızı yaparak makineden faydalanma oranı % 44,41 olmuştur.

Çizelge K15 : H-13 mikrotünel açma faaliyetleri.

28.01.2003	Ön kazısı yapıldı
07.04.2003	Mikrotünel makinesi kuyuya indirildi ve itildi
09.04.2003	Çok sert kaya olduğundan tıkanıklıklar oldu, bentonit takviyesi yapıldı
09.04.2003	Makinede bulunan tıkanıklıklar giderildi. Saat 18.00 da boru itilmeye başlandı
11-21.04.2003	Boru itme tamamlandı. Makine çıkartıldı M7 ye nakledildi
23.04.2003	Platform, kumanda konteyneri, jeneratör, 1 adet tank, pano M7 ye nakledildi
24.04.2003	Tanklar ve seperatörler taşındı.

K.18: Küçükköy H-14 (M7-M6) Mikrotünel Faaliyet Raporu

10 günde 89,20 metrelik proje 8,92 m/gün ortalama ilerlemesi yapmıştır (en iyi ilerleme 12,20 m/gün). 11 saat günlük ortalama mesainin 5 saatinde makine fiili çalışma yapmış ve makineden faydalanma oranı % 44,02; net kesme hızı 1,89 m/saat).

Çizelge K16 : H-14 mikrotünel açma faaliyetleri.

31.01.2003	M7 kuyu ön kazısı tamamlandı.M1 kuyu kazısı için kepçe nakledildi.
28.04.2003	Tüm montajlar yapıldı tünel makinesi indirildi
29.04-08.05.2003	Boru itme yapılarak tamamlandı
09.05.2003	Platform söküldü M5 kuyusuna nakledildi, demontaj ve mikrotünel makinesi temizliği tamamlandı.

K.19: Küçükköy H-15 (M5-M6) Mikrotünel Faaliyet Raporu

8 günde ortalama 8,61 m/gün' lük ilerleme (en iyi günlük ilerleme 15,40 m) ile 68,90 metrelik proje tamamlanmıştır. Net kazı hızı 0,96 m/saat olarak düşük olmasına rağmen, günlük ortalama 18 saat mesainin 9 saatinde makine fiili olarak çalışmış ve makineden faydalanma oranı % 48,97 olmuştur.

Çizelge K17 : H-15 mikrotünel açma faaliyetleri.

14.05.2003	Tünel makinesi şafta indirildi, itme yapıldı
15-21.05.2003	Boru sürme tamamlandı, tünel makinesi ve kuyruk M7 kuyusuna nakledildi,
23.05.2003	Tünel makinesi, tank ve seperatör temizlikleri tamamlandı
24.05.2003	Seperatör temizliği ve montajı tamamlandı.

K.20: Küçükköy H-16 (M5-M4) Mikrotünel Faaliyet Raporu

110,25 metrelik mikrotünel 13 günde 8,48 m/gün ortalama ilerleme ile % 41,51'lik makineden faydalanma oranı ile tamamlanmıştır. 12 saatlik mesai süresinin ortalama 5 saatinde makine kazı yapmış ve 1,7 m/saat net kazı hızı m/saat ve en iyi günlük ilerleme 13,60 m elde edilmiştir.

Çizelge K18 : H-16 mikrotünel açma faaliyetleri.

25.05.2003	M4 yönüne tünel makinesi indirildi, tank temizliği, elek montajı yapıldı.
26.05.2003	Boru itme başladı.
06.06.2003	Boru itme tamamlanıp, ertesi gün makine M7 kuyusuna nakledildi.

K.21: Nakkaşdere H-20 (N3-N4) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Makinenin bir projeden bir sonraki projeye nakli-kurulumu-kazıya başlaması önceleri haftaları bulurken tecrübe-işin öğrenilmesi- pratiklik kazanılması neticesinde bu süreç 3 günlere inmiştir.

132 metre uzunluğundaki bu projede zemin siltli, killi, kum formatında, ilerleme yavaş olmaktadır. Projenin sonlarına doğru 24 saatlik vardiya düzenine geçilmiştir (ortalama günlük 14 saat mesai yapılmış ve bunun 5 saati fiili kazı yapılmıştır). 70. metrede ara itme istasyonu devreye sokuldu. Bu formasyonda da bentonit kullanımına gereksinim duyulmuştur. Ortalama ilerleme 5,74 m/gün (en iyi ilerleme 14,20 m/gün), 1,06 m/saat net kazı hızı ve % 38,45 makineden faydalanma oranı ile proje tamamlanmıştır.

Çizelge K19 : H-20 mikrotünel açma faaliyetleri.

16.11.2003	N3 kuyusuna Dudullu'dan tünel makinesi nakledildi,
18.11.2003	Mikrotünel makinesine ait ekipman ve koyternerler yetiştirdi.
19.11.2003	Kazıya saat 10:00' da başladı. İlk metrelerde yavaş ilerleyerek minimum su kaybıyla siltli, killi, kum formatındaki malzeme kazılmaya devam etti,
20.11.2003	Siltli, kumlu zeminde kazıya devam etti,
22.11.2003	Mikrotünel makinesi siltli kayada kazılıyor, itme kuvvetleri yükseliyor, piston itme sistem basıncı kontrol edilmektedir,
24-27.11.2003	Kazı devam etti, itme tonajı arttı, itme sistem basınçları kontrol edildi,
28.11.2003	Kazı devam etti, itme kuvvetleri 650 ton, itme basıncı 360 Bar'ı geçemiyor. Interjack ile ilgili aksesuarlar ve itme pistonları, güç üniteleri, interjack beton borusu N3 kuyusuna nakledildi,
29.11.2003	Kazı devam etti. İtme kuvvetlerini arttırmak için 75 ton kapasiteli ilave piston grubu bağlandı, interjack içindeki onarım çalışmaları devam etti, beton borusunda onarım yapıldı,
30.11.2003	Herrenknecht Uzmanı geldi, mikrotünel makinesinin genel temizliği yapıldı, itme pompasının onarımı için beklendi,
01.12.2003	Mikrotünel makinesinin itme sistemi problemi için, basınç ayar valfinin ayar pullarından birinin kırık olduğu görüldü, piyasadan tedarik edildi, basınç 500 Bar'a ulaştı. Tekrar arıza yaptı, bu sefer basınç valfi komple yenisi ile değiştirildi. 21,15'e kadar iterek kazıya devam edildi,
02.12.2003	İtme basınçları 300-350 ton, ilerleme hızı 6-12 mm/min, ortalama 8 mm/min hızla, 110-135 Bar basınçla devam etti, 12.borudan sonra interjack indirildi, şafttaki slurry pompanın fanı değiştirildi,
03.12.2003	Mikrotünel makinesi kazıya devam ederken malzeme alınmadan itme yapınca, ön kapak açılıp inceleme yapıldı, makine yaklaşık 1.5 m dışarı çıkmış şekilde altı ve etrafı boşluklarla dolu olduğu görüldü, zemin incelemesi yapılp; ilerleme yapabilmek için doldurma işlemi yapılmasına karar verildi,
04.12.2003	N3-N4 kuyuları arasında itmeye devam edebilmek için, makine etrafındaki boşluklar doldurulup makine tabanına yastık betonu gibi bir yapı hazırlamak üzere çalışmalara devam edildi,
05.12.2003	Kazıya saat 10.00'da tekrar başlandı. İtme basıncı düşük, su kaybıyla kazı sürdü. Gelen hafriyat miktarı çok az, kontrollü kazı sürdü,
06.12.2003	Tünel ekibi vardiyalı çalışmaya başladı,
07.12.2003	Kazı devam etti, itme basıncı yüksek, su kaybı, ve az pasa alımıyla kazıya devam edildi, interjack devreye sokuldu, interjack borusunun arkasındaki 2 boruda kırık oluştu, Saat 04:30'da kazı durduruldu, kırılmaya sebep olan kısmın onarımı başladı,
08.12.2003	Interjack arkasındaki kırılan 2 borunun sıkışma sebebi olan kaya parçasını ekipler kırıcı ile kırmak sureti ile temizleyip kazıya tekrar saat 18:00' de başlandı. Gece vardiyası ilerlemeye devam etti,

09.12.2003	Kazı vardiyalı devam etmekte, itme basıncı yüksek, bentonit basılmakta, slurry ve feed pompalarda sıkışmalar olmakta, ince malzemeler sık sık hortumları tıkamaktadır,
10.12.2003	Gece vardiyasında, interjack arkasındaki 9 numaralı boru üstten kırıldı, kazı durduruldu, daha sonra tekrar itmeye başlandı,
11.12.2003	Kazı kontrollü devam etmektedir,
12.12.2003	Hızlı ilerlemeden dolayı boru yetişmedi, 1 saat kayıp oldu, daha sonra kazıya tekrar başlandı,
13.12.2003	Makine şafta öğleden sonra vardı,
14.12.2003	Kesici kafa dışarı alınarak onarımına ve temizliğine başlandı,
15.12.2003	Tünel makinesine ait ekipmanların taşınması devam etti,

K.22: Nakkaşdere H-21(N5-N4) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Zemin silt formatında, hızlı ilerleme sağlanabilmekte, 101,7 metre ortalama 12,71 m/gün ilerleme (en iyi ilerleme 19 m/gün) ile 8 günde tamamlanmıştır. 21 saatlik ortalama günlük mesainin 11 saatinde makine fiili olarak çalışmış ve % 53,64 makineden faydalanma oranı, 1,14 m/saat net kazı hızı elde edilmiştir.

Çizelge K20 : H-21 mikrotünel açma faaliyetleri

18.12.2003	N5 kuyusunda mikrotünel makinesinin kafa kaynakları ile giriş şaftı flanşı bağlantıları tamamlandı,
19.12.2003	Kazı saat 15:30' da başladı. Zemin silt, kazı normal hızıyla devam ediyor,
20.12.2003	Zemin uygun olmasından ötürü kazı hızlı devam etti,
22.12.2003	Kazı normal hızında devam etti, Kumanda kabinindeki PC'de problem oluştu, giderildi,
23.12.2003	Kazı normal hızında devam etti, zemin silt, kumlu kaya , ilerleme hızlı,
25.12.2003	1.5 metre itme sonrası kazı sonlandı,
26.12.2003	N4 kuyusundan kesici kafa çıkarıldı,
28.12.2003	N5' ten N2 kuyusuna ekipman nakliyesi devam etti,
30.12.2003	Kesici kafanın nakliyesi gece tamamlandı.

K.23: Nakkaşdere H-22 (N2-N3) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Zemin dolgu formatında ve yumuşak, 12,04 m/gün ortalama ilerleme (en iyi ilerleme 22,40 m/gün toplam uzunluk 60,2 m) olmuştur. 14 saatlik mesainin yarısı fiili kazı ile geçmiştir. 1,82 m/saat net kazı hızı ile makineden faydalanma oranı % 46,50 elde edilmiştir.

Çizelge K21 : H-22 mikrotünel açma faaliyetleri

31.12.2003	Mikrotünel makinesi eksikleri tamamlanarak öğleden sonra kazıya başladı. Zemin dolgu formatında ve yumuşak. Kumanda kabinindeki direksiyon pistonları ve hızlı itme sisteminde elektrik arızası oldu, tamir edildi, arıza tekrar etti, elle kumanda edilerek kazı devam etti,
01.01.04	Boru itme devam etmektedir, direksiyon silindirleri ve hızlı itme sisteminin elektronik arızası giderildi,
02.01.04	Makine kazıya gecikmeli devam etti, itme kuvvetleri 200-210 ton, ilerleme 30-40 mm/min.,
03.01.04	Gündüz kazısı sırasında zaman zaman slurry pompada sıkışma oldu, temizlenerek devam edildi,
06.01.04	N3 kuyusunda makine ekipmanının bakım ve demontajı yapıldı,
08.01.04	N2 kuyusunda tünel makinesinin kafa kaynakları ve bakımı yapıldı,
09.01.04	N2 kuyusundan N16 kuyusuna mikrotünel makinesinin ekipmanlarının nakliyesine başlandı.

K.24: Nakkaşdere H-23 (N16-N16A) Mikrotünel Faaliyet Raporu

113,60 metre uzunluğundaki mikrotünel 9 günde ortalama 12,62 m/gün ilerleme hızı ile (en iyi ilerleme hızı 24 m/gün) tamamlanmıştır. 18 saat ortalama günlük mesainin 6 saati makine fiili çalışmış ve makineden faydalanma oranı % 35,88 olmuştur, 1,99 m/saat net kazı hızı elde edilmiştir.

Çizelge K22 : H-23 mikrotünel açma faaliyetleri

11.01.04	N16 kuyusunda tüm montaj işleri tamamlandı,
12.01.04	N16 kuyusunda boru itme saat 13:00'de başladı,
13.01.04	Elekten su gelince, durduruldu, elek temizlendi,
17.01.04	Valf arızası oldu, sistem hatası giderildi,
21.01.04	Makine ve kuyruk gece dışarı çıkarıldı,
22.01.04	Makinenin demontajına devam edildi, N16 kuyusunda temizlenen tanklar yüklenip Merter'e nakledildi,
23.01.04	Hava muhalefeti yüzünden şantiyelerde faaliyet olmadı.

K.25: Nakkaşdere H-33 (N20-N16A) Mikrotünel Faaliyet Raporu**Çizelge K23 : H-33 mikrotünel açma faaliyetleri**

14.12.2004	Bağlantılar tamamlandı, boru itmeye saat 16.30'da başlandı,
15.-16.12.2004	Kazı devam etti,
17-18.12.2004	Ana hidrolik pompada arıza oldu, basınç düştü, makine durduruldu,
19.12.2004	Hidrolik pompanın yenisi alındı, yerine bağlanmadan önce hidrolik tank ve hatlar komple temizlendi,

20.12.2004	Kazı normal hızda devam etmektedir, itme tonajı 60-70 ton civarındadır, ilerleme hızları ortalama 22 mm/dk.'dır,
21.12.2004	İtme tonajı 85 ton civarındadır, ilerleme hızları ortalama 24 mm/dk.'dır,
22.12.2004	Interjack indirilip itildi, itme tonajı 110 ton civarındadır, ilerleme hızları ortalama 22 mm/dk. Zemin kireçtaşı-kil karışımı,
23.12.2004	İtme tonajı 130 ton civarındadır, ilerleme hızları ortalama 24 mm/dk.,
24.12.2004	İtme tonajı 120-130 ton civarındadır, ilerleme hızları ortalama 37 mm/dk.,
25.12.2004	İtme tonajı 130 ton (80 bar) civarındadır, ilerleme hızları ortalama 40 mm/dk.,
26.12.2004	İtme tonajı 140 ton civarındadır, ilerleme hızları ortalama 32 mm/dk.,
27.12.2004	İtme tonajı 180 ton civarındadır, ilerleme hızları ortalama 37 mm/dk.,
28.12.2004	İtme tonajı 200 ton civarındadır, ilerleme hızları ortalama 41 mm/dk.,
29.12.2004	İtme tonajı 230 ton civarındadır, ilerleme hızları ortalama 39 mm/dk.,
30.12.2004	İtme tonajı 250 ton civarındadır, ilerleme hızları ortalama 45 mm/dk.,
31.12.2004	İtme tonajı 280 ton civarındadır, ilerleme hızları ortalama 48 mm/dk.,
01.01.2005	Mikrotünel makinesi kazıyı bitirdi, itme tonajı 200 ton.,
03.01.2005	Kesici kafa, kuyruk ve interjack dışarı çıkartıldı,
04.01.2005	Makine ve ekipman temizlik işlerine devam edildi,
09.01.2005	Makine ve ekipmanın nakliyesi için hazırlık yapıldı.

K.26: Nakkaşdere H-34 (N14-N16) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Çizelge K24 : H-34 mikrotünel açma faaliyetleri

18.01.2005	Makine bağlantıları tamamlanarak çalışma başladı,
19.01.2005	Makine kazıya kontrollü devam etti, yüksek basınç pompası bağlanmadığı için emin yapısından dolayı emiş ağızları sık sık tıkanı, sular aşırı kirlendi, durup temizlik yapıldı, pompa bağlandı,
19.01.2005	Lazer kontrol ünitesi phoenix arızalandı,
20.01.2005	Lazer kontrol ünitesi arızası sebebiyle kazıya ara verildi, parça beklendi,
22.01.2005	Arıza giderildi, bayram için ara verildi,
25.01.2005	2 günlük bayram tatilinden sonra makine normal kazısına başladı, makine normal kazısına başladı, zemin kil oranı yüzünden emiş zor oluyor, sular sık kirlendi, itme tonajı ortalama 90 ton.,
26.01.2005	Kapak açılıp, emiş delikleri temizlendi. Ertesi gün tekrar temizlendi. Kil oranı hala yüksek,
26.01.2005	Aşırı yağmur makine ve şaftı suyla doldurdu. Su çekilip kurutma yapıldı,
29.01.2005	Kurutma tamamlanarak 17.30 da kazı başladı,

31.01.2005	İtme tonajı 100-110 ton, ilerleme hızı ortalama 30-36 mm/dk.
02.02.2005	Killi malzemeden dolayı 2 kez kapak açılıp temizlik açıldı,
03.02.2005	Kazıya devam edilmektedir, itme tonajı 160 ton, ilerleme hızı ortalama 33 mm/dk.,
04.02.2005	İtme tonajı 160 ton, ilerleme hızı ortalama 27 mm/dk.,
05.02.2005	Makine kazıyı tamamladı, ilerleme hızı ortalama 31 mm/dk.

K.27: Çırpıcı H-24 (MPJ-3 MPJ-4) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Malzeme kil, makinenin ilerlemesi çok yavaş olmaktadır. 21 günlük kazının ilk 15 günü tek vardiya daha sonra çift vardiya çalışıldı (ortalama 14 saat/gün mesainin 6 saat/günü makine fiili ilerleme yapabilmıştır). 5,69 m/gün ortalama ilerleme (en iyi günlük ilerleme 11,76 m/gün), 0,99 m/saat net kazı hızı ile makineden faydalanma oranı % 41,35 olmuştur.

Çizelge K25 : H-24 mikrotünel açma faaliyetleri

27.01.04	MPJ-3 kuyusunda mikrotünel makinesi ekipman montajı devam etti,
28.01.04	Montaj ve temizlik bakım işleri devam etti.
29.01.04	Kazı saat 11:00' de başladı, malzeme kil, makinenin ilerlemesi çok yavaş,
30.01.04	Mikrotünel makinesi killi zeminde zor ilerliyor, itme basıncı yüksek, suyun tahliyesinde de zorluk var,
31.01.04	Mikrotünel makinesi kazıya devam etti, kilden çok sıkışık gidilmektedir,
01.02.2004	Çalışma olmadı,
02.02.2004	Mikrotünel makinesi tek vardiya ile kazıya tekrar başladı, kilde kazı yavaş ilerledi,
03.02.2004	Kazıya tankların temizliği için ara verildi, suları değiştirildi,
07.02.2004	Kilde ilerleme hızı 6-16 mm/min. arası,
12.02.2004	Kazı zeminden dolayı yavaş ilerlemektedir,
13.02.2004	Mikrotünel makinesi kar yağışı ve don yüzünden kazıya devam edememektedir,
14.02.2004	Kar yağışı ve don yüzünden kazı öğleden sonra başladı,
15.02.2004	Makine çift vardiya kazıya devam edildi, gece itme tonajı 200 tonu geçti,
16.02.2004	Kilden dolayı malzeme emişi zor oluyor, sıkışıklık temizlenerek giderildi,
19.02.2004	Mikrotünel makinesi MPJ-4 şaftına gece vardı, makine kafası ve kuyruk kısmı çıkartıldı,
21.02.2004	Mikrotünel makinesinin temizliği, boru içi besleme hatları demontajı, tank ve elek temizliği tamamlandı.

K.28: Çırpıcı H-25 (MPJ-2 MPJ-3) Mikrotünel Faaliyet Raporu

12 günde 128,6 metrelik mikrotünel 10,72 m/gün ortalama ilerleme ile açılmıştır (en iyi günlük ilerleme 16 m). 19 saatlik ortalama günlük mesainin 9 saati fiili kazı ile geçmiş ve makineden faydalanma oranı % 47,49 elde edilmiştir. Net kazı hızı 1,20 m/saat olmuştur.

Çizelge K26 : H-25 mikrotünel açma faaliyetleri

23.02.2004	MPJ-2 menholünde platform itme pistonlarının istikametlerinde deformasyon tespit edildi,
24.02.2004	Makine kazıya akşam başladı, slurry hattında sıkışmalar oldu,
29.02.2004	Kazı devam etmektedir,
06.03.2004	Makine çıkarıldı, bakımı yapılacak, platform çıkarıldı.

K.29: Çırpıcı H-26 (MPJ-2 MPJ-1) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Zemin, kum ve kil karışımı, makine ilerlemesi hızlı seyretmektedir, ortalama ilerleme 14,57 m/gün en iyi ilerleme 18 m/gün elde edilerek 131,15 metrelik mikrotünel 5 günde açılmıştır. 19 saatlik ortalama günlük mesainin 9 saati fiili kazı ile geçmiş ve makineden faydalanma oranı % 46,20 elde edilmiştir. Net kazı hızı 1,65 m/saat olmuştur.

Çizelge K27 : H-26 mikrotünel açma faaliyetleri

09.03.2004	Mikrotünel makinesinin bakımı yapılarak şafta indirildi,
10.03.2004	Kazı sabah 08.00' de başladı, Piston kontrol valflerinde arıza oluştu, giderildi,
11.03.2004	Makine kazı yaparken sürgülü vanalar arıza yaptı, arıza giderildi,
12.03.2004	Kazı devam etmekte, itme tonajı 160 ton civarında, zemin; kum ve kil karışımı,
13-17.03.2004	İtme tonajı 240-270 ton civarında, zemin; kum ve kil karışımı.
18.03.2004	Saat 15:00' te kesici kafa şafttan çıktı,
19.03.2004	Kesici kafa bakımına ve hidrolik tankın yağ kaçaklarının onarımına başlandı,
20-21.03.2004.	Tankların temizliği ve makine bakımı devam etti,
22.03.2004.	Son boru itilerek kazı bitti.

K.30: Çırpıcı H-27 (MPJ-19 MPJ-1) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Çizelge K28 : H-27 mikrotünel açma faaliyetleri

22.03.2004	Mikrotünel makinesinin parçalarının nakliyesine devam edildi,
23.03.2004	Mikrotünel makinesinin kurulma işlemleri devam etti,

24.03.2004	Kesici kafa nakledildi, disk kesicilere kaynakla dolgu yapıldı,
25.03.2004	Mikrotünel makinesinin siklon değişikliği ve kafa kaynak işlemleri bitirildikten sonra aşağıya indirilip, kazıya akşamüstü başlandı. Zemin formatı kil-kum karışımı,
30.03.2004	Mikrotünel makinesi kazıyı akşamüstü tamamladı.

K.31: Çırpıcı H-28 (MPJ-18 MPJ-19) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Zemin kil ve kum karışımı, arızalar dışında ilerleme hızlı olmuştur. 66 metrelik mikrotünel ortalama 13,20 m/gün ilerleme ile (en iyi günlük ilerleme 18 m/gün) 5 günde tamamlanmıştır. 13 saat günlük mesainin 6 saatinde etkin kazı yapılarak % 49,89 makineden faydalanma oranı elde edilmiştir. Net kazı hızı 2,07 m/saat olmuştur.

Çizelge K29 : H-28 mikrotünel açma faaliyetleri

02.04.2004	MPJ-19 menholünde kesici kafanın kesicilerin elektrotla dolgusu yapıldı,
03.04.2004	Makine kazıya sabahtan başladı. Zemin kil, kum karışımı, Boru itme sistemindeki hidrolik arıza sebebiyle saat 10.00' a kadar itme yapamadı, valfin sökölüp temizlenmesi ile arıza giderildi. Zemin kum-kil karışımı, itme tonajı 85 ton, ilerleme hızları 20-70 mm/dk. ,
04.04.2004	Kazı devam etmektedir, zemin kum-kil karışımı, itme tonajı ortalama 95-120 ton, ilerleme ortalama 40-45 mm/dk. mertebesinde,
05-06.04.2004	Mikrotünel makinesi, MPJ-18 menholüne öğlen ulaştı,
07.04.2004	Mikrotünel makinesi ve ekipmanları MPJ-19 menholünden MPJ-8 menholüne nakli devam etti.

K.32: Çırpıcı H-29 (MPJ-8 MPJ-9) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Zemin dolgu, ilerledikçe killi yapı, örtü kalınlığı az, ilerleme yavaş ve kontrollü yapılıyor. Yer yer bentonit kullanılmıştır. 105,2 metrelik mikrotünel ortalama 5,84 m/gün ilerleme ile (en iyi ilerleme 10,6 m/gün) 18 günde tamamlanmıştır. Ortalama 13 saatlik günlük mesainin 5 saati etkin kazı ile geçmiş, 1,09 m/saat net kazı hızı ile makineden faydalanma oranı % 41,21 olmuştur.

Çizelge K30 : H-29 mikrotünel açma faaliyetleri

11.04.2004	Mikrotünel makinesinin hazırlıkları ve bağlantıları tamamlanarak sabah başlayacak şekilde çalışmalar bitirildi,
12.04.2004	Sabah kazı tekrar başladı, örtü kalınlığının azlığı ve dolgu zemin

	yüzünden ilerleme yavaş ve kontrollü yapılıyor. Dolgu zemin, emiş ağızlarını sık sık tıkanması yüzünden durarak ilerleme sağlanmaktadır. Gece slurry pompa bozuldu, parça değiştirilerek hazır hale getirildi, elek üstündeki dirseklerden biri delindi ve değiştirildi, makine kazıya saat 15:30' da yeniden başladı,
14.04.2004	Öğleden sonraki çalışma sırasında 2 kez şafttaki slurry pompanın O-ringi patladı, onarıldı,
15.04.2004	Öğleden sonra kazı sırasında makine emiş yapamadığı için ön kapak açılarak emiş delikleri temizlendi,
19.04.2004	Mikrotünel makinası kazıya emiş deliklerinin sık tıkanması sebebiyle yavaş devam etti, öğleden sonra hiç malzeme ememediği için yüksek basınçlı su kullanılarak ve kapak açılarak deliklerin temizlenmesine çalışıldı,
20.04.2004	Kazı kontrollü devam ederken öğleden sonra kumanda kabini içinde slurry hattındaki aşınmadan dolayı deformasyon tespit edildi, yenisi imal edilerek yerine bağlandı,
21.04.2004	Sabah feed pompanın arızasını gidererek kazı başlandı, Zemindeki kil yapısı yüzünden, makinenin emiş delikleri çok sık tıkanacağı için kapağın açılıp deliklerin temizlenmesi zaman kaybettirmektedir,
22.04.2004	Öğlen seperatörün büyük elek telinin yırtılması sonucu çalışmalar durdu, onarımı yapıldı, makine saat 20:00'de hazır hale getirildi,
23.04.2004	Elek arızası giderildi,
24.04.2004	Kesici kafanın emiş delikleri yine tıkanmış, temizlenerek çalışmalara devam edildi,
27.04.2004	Malzeme kil ağırlıklı oldu,
28.04.2004	Kazı sırasında terk edilen bir beton boruyu kesici kafa kesince, parçalar emiş pompalarını tıkadı, sık sık sıkışma meydana geldi, temizlenerek devam edildi, itme tonajları 500 tona yaklaşınca daha sık bentonit kullanıldı,
29.04.2004	Kafa şafta çıkartıldı, slurry pompanın fişi yandı, tamir edildi,
01.05.2004	Ekipmanların bakım ve demontaj faaliyetlerine devam edildi,
02.05.2004	Temizlenen malzemeler MPJ-5 menholüne nakledildi.

K.33: Çırpıcı H-30 (MPJ-5 MPJ6) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Malzeme, dolgu ve kil karışımı, ilerleme yapıldıkça çakıl oranı artış göstermekte yer yer kil oranı artmakta, tıkanmalardan dolayı duraklamalar sık olmakta, temizlik yapılarak devam edilmektedir. 95,80 metrelik proje ortalama 7,37 m/günlük ilerleme ile (en iyi günlük ilerleme 11,40 m) 13 günde tamamlanmıştır. Ortalama 13 saatlik günlük mesainin 5 saatinde makine kazı yapmış, 1,34 m/saat net kazı hızı ile makineden faydalanma oranı % 43,70 olmuştur.

Çizelge K31 : H-30 mikrotünel açma faaliyetleri

04.05.2004	Ekipmanların nakliyesi ve montajı bitirilerek kazıya akşam başlandı,
05.05.2004	Kazı kontrollü devam etti,

06.05.2004	Kazıya normal hızıyla devam ediliyor, dolgudaki kil yüzünden zaman zaman kapak açılıp temizlik yapıldı, emiş ağızları yoğun kille tıkanıyor, itme tonajları ortalama 70 ton, ilerleme ortalama 25 mm/dk.,
07.05.2004	Kazıya normal hızla devam edildi, malzeme; dolgu ve kil karışımı, itme tonajları ortalama 90 ton, ilerleme ortalama 25 mm/dk. ,
08.05.2004	Kazıya normal hızla devam edildi, malzeme; dolgu ve kil karışımı, itme tonajları ortalama 100 ton, ilerleme ortalama 22 mm/dk.,
09.05.2004	Kilin yoğunluğu emişte hala problem oluşturmaktadır, kapak açıp temizlemek suretiyle kazıya devam edilmektedir, slurry pompa o-ringi patladı, onarıldı,
10.05.2004	Emilen malzemede çakıl oranı arttı, şafttaki slurry pompa o-ringi patladı, onarıldı,
11.05.2004	Emilen malzemede çakıl azaldı, kil arttı, slurry pompanın o-ringi sıkışmadan dolayı patladı, değiştirildi,
12.05.2004	Kazı devam ediyor. slurry pompanın o-ring değişimi yine yapıldı, Kazı devam ediyor. Malzemedeki kil oranı ve demir parçaları sık sık slurry hattını tıkıyor, kapak açılıp temizlik yapılarak devam edilebildi,
13.05.2004	Kazı devam ediyor. Ön kapak açılıp sık sık temizlik yapılarak kazıya devam edilmektedir,
14.05.2004	Kazı devam ediyor. Emişte yine zaman zaman sıkıntı var, temizlenip kazı sürdürüldü,
15.05.2004	Öğleden sonra MPJ-6 şaft duvarına varıp, dışarı çıktı, kesici kafa dışarı alınıp MPJ-4 şaftına nakledildi.

K.34: Çırpıcı H-31(MPJ-4 MPJ-5) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Çizelge K32 : H-31 mikrotünel açma faaliyetleri

18.05.2004	Elek ve tanklar yerine kondu,
19.05.2004	MPJ-4 şaftına makine ekipman naklieleri tamamlandı,
20.05.2004	Ekipmanların bağlantıları tamamlanarak kazıya öğleden sonra başlandı, emiş hattından yine metal parçaları çıktı,
21.05.2004	İtme hızı ortalama 15 mm/dk., tonaj 75 ton. Slurry hattı üzerindeki valf arıza yaptı, onarılmaya çalışıldı,
22.05.2004	Valf arızasını giderdikten sonra saat 11:50'de başlayabildi, itme tonajı ortalama 70 ton, hız 22 mm/dk.,
23-25.05.2004	Malzeme kil formatında, itme tonajı 130-145 ton, ilerleme hızı 25-27 mm/dk.,
26.05.2004	Makine kazıya öğleden sonraya kadar normal devam etti, yüksek basınç pompası, piston sıkışmasından arızalandı ve söküldü,
27.05.2004	Kazıya öğleden sonra yüksek basınç pompası arızasıyla ara verildi,
28.05.2004	Kazıya yüksek basınç su pompası olmadan kontrollü devam etti,
29.05.2004	Makine kazıyı tamamladı, ekipman MPJ-4 şaftına geri nakledildi,
30.05.2004	Ekipmanın söküm ve bakım işlerine devam edildi,
01.06.2004	Makinenin nakil ve bakım işlerine devam edildi.

K.35: Çırpıcı H-32 (MPJ-18 MPJ-17) Mikrotünel Faaliyet Raporu

Toplam mikrotünel uzunluğu 200,2 metre (proje kapsamında açılan en uzun mikrotünel). Zemin formatı kum ağırlıklı kil. Bentonit kullanıldı. Kum oranı arttıkça tanklardaki su sık sık değiştirilmesi gerekmektedir. 11,2 m/gün ortalama ilerleme ile (en iyi günlük ilerleme 18,6 m) 18 günde tamamlanmıştır. Ortalama 12 saatlik günlük mesainin 5 saatinde makine kazı yapmış, 2,03 m/saat net kazı ile makineden faydalanma oranı % 46,43 olmuştur.

Çizelge K33 : H-32 mikrotünel açma faaliyetleri

05-07.06.2004	Lazer kontrol sisteminde arıza oluştu,
08.06.2004	Lazer sistemindeki arıza için Almanya'dan elektrikçi geldi, arızalı kısım değiştirilerek saat 10:00'da makine çalışmaya hazır duruma getirildi ve kazı başladı,
09.06.2004	Kazı normal devam ederken slurry geri dönüş hattının kabin içindeki borusu aşınmadan dolayı delindi. Kazı durdu, onarıma başlandı. İtme tonajı 36-40 ton arası, kazı malzemesinde kum oranı arttı,
10.06.2004	Kabin içindeki slurry geri dönüş hattının borusu yeniden imal edildi, kazıya başlandı, kazı malzemesindeki kum oranı yüksek, bentonit kullanıldı,
11.06.2004	Kazı normal devam ediyor. Zemin formatı kum ağırlıklı kil,
12.06.2004	Kum ağırlıklı kil, zemin yapısı devam etti, itme tonajı 50-65 ton arasında, zeminde kum oranı yükseldi, bentonit kullanıldı,
13.06.2004	İtme ortalama 65-70 ton civarında, tankların suları sık sık değiştirilince hız artıyor, tonaj düşüyor,
14.06.2004	İtme ortalama 70-80 ton civarında, tankların suları değiştirildi,
15.06.2004	İtme ortalama 190-200 ton civarında, kum oranı aynen devam etti,
16.06.2004	İtme ortalama 2500-270 ton civarında, kum oranı aynen devam etti,
17.06.2004	İtme ortalama 270-290 ton civarında, kum oranı aynen devam etti,
18.06.2004	İtme ortalama 320-330 ton civarında, kum oranı aynen devam etti,
19.06.2004	Kazı, gündüz ÖSS sınavı için durdu,
20-23.06.2004	Kazı normal devam etti,
24.06.2004	Kesici kafa bloke oldu, kapak açıldı, çamur ve sudan başka bir şey görülemedi, steeringler oynatılarak kafanın hareket etmesi sağlanmaya çalışıldı, şafttan da yandan bir delik açıp kesici kafanın ön tarafını kontrol etmek hedeflendi,
25.06.2004	Steering sistemi kullanılarak bloke konumdan kurtarılarak öğlen MPJ-17 menholüne ulaştı, kesici kafa dışarı çıkartıldı,

26.06.2004	Nakliye için hazırlıklar yapıldı,
27.-30.06.2004	Tankların ve eleğin temizliği yapıldı,

K.36: Avcılar H-33 Mikrotünel Faaliyet Raporu

Formasyonun kil yoğunluklu olması nedeniyle kazmakta güçlük çekilmiş, kil çözücü malzemelerin kullanılması kaçınılmaz olmuş, kilden dolayı tanklardaki suyun sürekli değiştirilmesi kaçınılmaz olmuştur. Mikrotünel kazısı yapılan 11 günün ilk 7 günü zor koşullarda geçmiş, 77,40 metrelik proje ortalama 7,04 m/günlük ilerleme ile (en iyi günlük ilerleme proje bitmesine yakın 20,40 m olmuştur). Günde ortalama 15 saat mesai yapılmış, bunun 6 saati kazı ile geçmiştir (makineden faydalanma oranı % 42,82). Net kazı hızı 1,12 m/saat olmuştur.

K.37: Dudullu H-34 Mikrotünel Faaliyet Raporu

Bu projede en uzun projelerden olup (173,40 m) ara itme istasyonu (interjack) eklenmiş fakat uygulanmamıştır. Zemin sert, arkozik kumtaşı kökenli çakıl. Borulara gece ve gündüz bentonit basılmıştır. İtme kuvveti 720 tonu geçince ara itme istasyonu (interjack) devreye sokulmuştur (projenin 105. metresinde). Yer yer dolgu kum malzemesiyle karşılaşılması kazıyı olumsuz etkilemektedir.

İtme shaftında ilave pistonlar eklenmesi ve tüm disk keskiler aşınmasından dolayı hepsinin değiştirilmeleri ve daha önce tecrübe edilmemiş arızaların üstesinden gelinmesi bu projeyi diğerlerinden farklı kılmaktadır.

1,5 ay süren projenin (ortalama ilerleme 3,85 m/gün, en iyi ilerleme ilk günlerde 12,34 m/gün). Net kazı 1,14 m/saat ve makineden faydalanma oranı % 27,87 (12 saatlik ortalama günlük mesainin ancak 3 saatinde fiili kazı yapılabildiği).

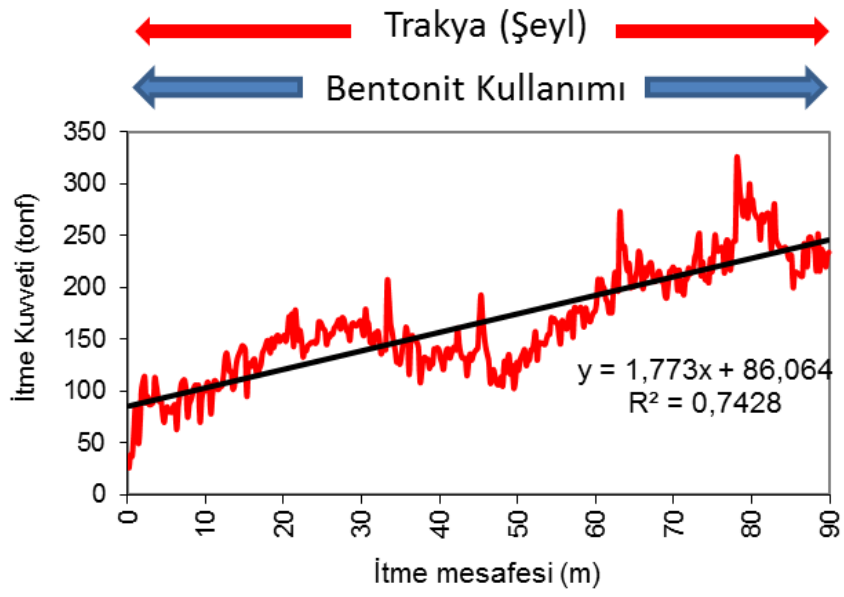
Çizelge K34 : H-19 mikrotünel açma faaliyetleri

20.09.2003	Bentonit basmaya devam edildi, feed pompada kaçak var,
21.09.2003	Bentonit basmaya devam edildi, feed pompadaki kaçak için, gövde kaynağı yapıldı,
22.09.2003	Bentonit basmaya devam edildi, sabah ilk harakette kafa sıkıştı. Emiş ağzı delikleri elle temizlenerek açıldı. Malzeme sert kumtaşı formatındadır,
23.09.2003	Malzeme sert kumtaşı formatında.
24.09.2003	İtme basıncı hala yüksek, bentonit basma işlemi devamlı yapılmaktadır, Kazı aynasından doğal formatına uymayan dolgu kum malzemenin aşırı emilmesi sebebiyle mevcut beton borunun emniyeti açısından kazı durduruldu,
26-28.09.2003	Kazı devam etmektedir,
30.09.2003	Boru itilecek, slurry pompanın arızası devam etmektedir,

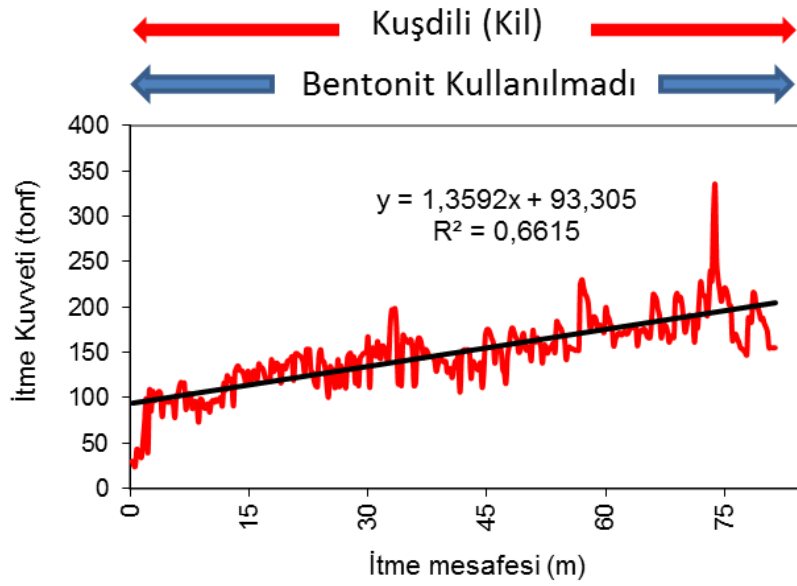
03.10.2003	Herrenknecht'in hidrolik uzmanı testlere devam etti,
06.10.2003	İtme basıncında problem çıktı, valf selenoidi değiştirildi, kazıya devam edildi, itme şaftına ilave piston getirildi, montajı yapıldı,
07.10.2003	İtme şaftında ilave pistonların taşıyıcısı hazırlandı,
08-09.10.2003	İtme şaftında ilave pistonlar indirilip, denendi, strok için ilave yapıldı,
10.10.2003	İtme şaftında ilave pistonlar tekrar düzenlendi. Bentonit kazanı arızalandı, onarıldı, İtme interjack yardımıyla devam etti,
16.10.2003	İtme hazırlıkları tamamlandı, makine kazıya saat 12:00'de başladı. İtme kuvvetleri çok yüksek, zemin arkoz (kumtaşı) ilave itme kuvveti için 6'lı ya da 8'li piston seti hazırlığına başlandı,
17.10.2003	Hiç hafriyat alınmayınca kazı durdurulup ön kapaktan kesiciler kontrol edildi, tüm disk keskiler aşınmış, kazıya ara verip değiştirilmeleri için gerekli hazırlıklara başlandı,
18-19.10.2003	Disk keskilerin sökümüne ve değiştirilmesine devam edildi,
20.10.2003	Disk keskilerin tamamı değiştirildi. Makine çalışmaya başladı,
21.10.2003	Kazı devam etmektedir, interjackta itme tonajı 900 ton oldu,
22.10.2003	Kazı devam etmektedir, şafta 200x4 tonluk ilave itme grubu monte edildi,
25.10.2003	İtme kuvvetleri hala yüksek, merkez kesicinin aşınması yüzünden makine biraz yükseliyor,
26-27.10.2003	Makine sıkışık çalışıyor,
29.10.2003	Çıkış için hazırlıklara başlandı,
30.10.2003	İtme pistonları ve platform söküldü,
01.11.2003	Tünel içindeki malzemelerin toplanması ve temizliği devam etti.

EK L : İtme Mesafesine Bağlı Olarak İtme Kuvvetindeki Değişim

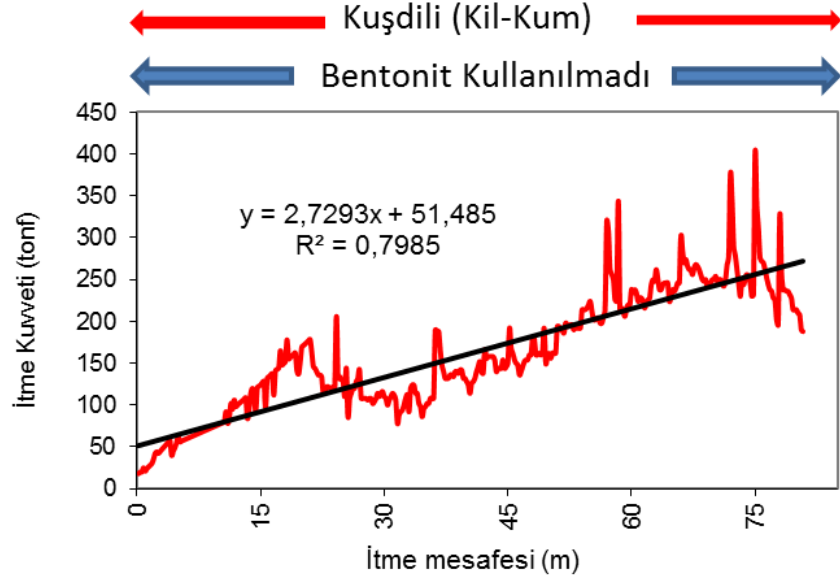
EK L



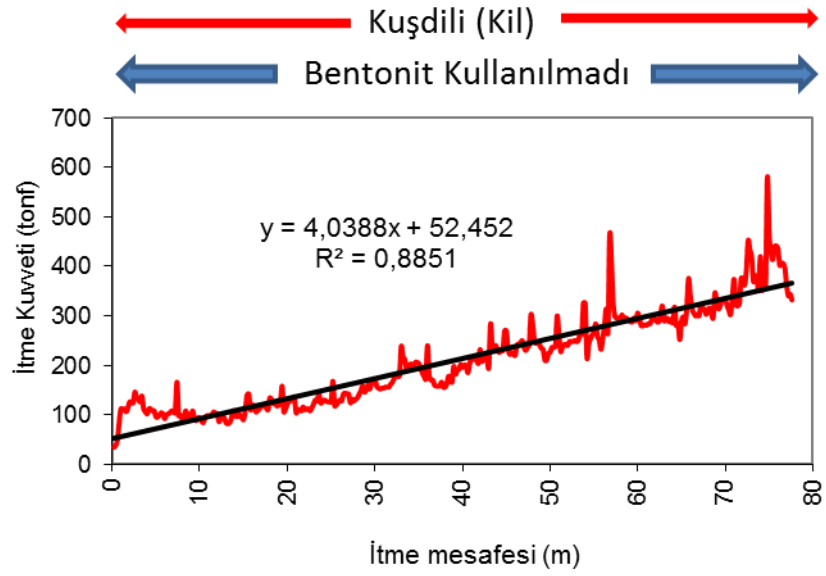
Şekil L.1 : Kurbağalıdere (402-401) mikrotüneli itme kuvvetleri.



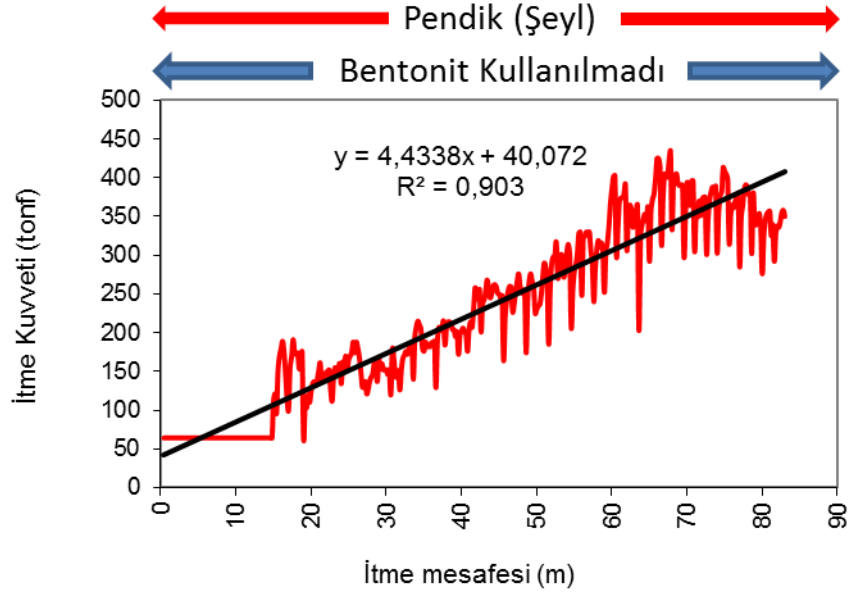
Şekil L.2 : Kurbağalıdere (400-389) mikrotüneli itme kuvvetleri.



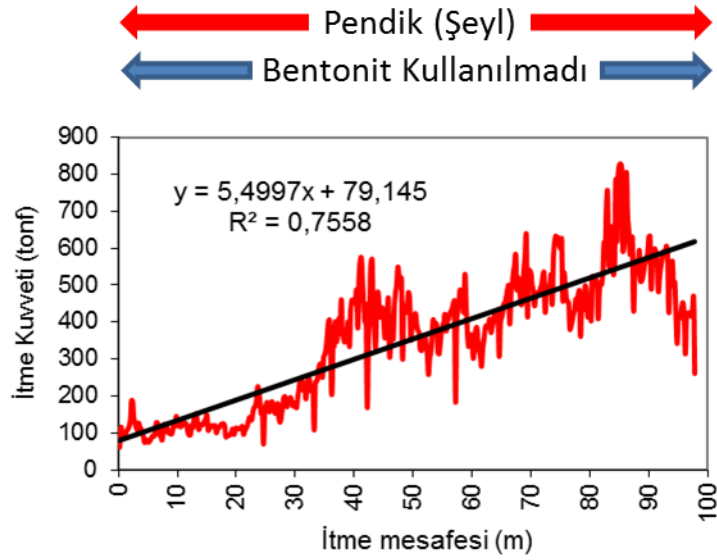
Şekil L.3 : Kurbağalıdere (389-388) mikrotüneli itme kuvvetleri.



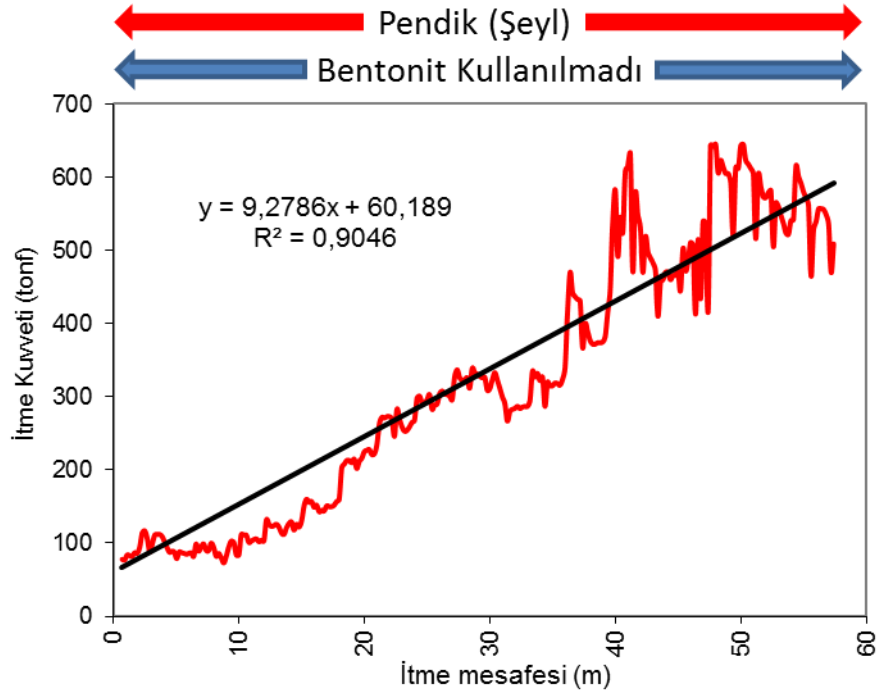
Şekil L.4 : Kurbağalıdere (388-387) mikrotüneli itme kuvvetleri.



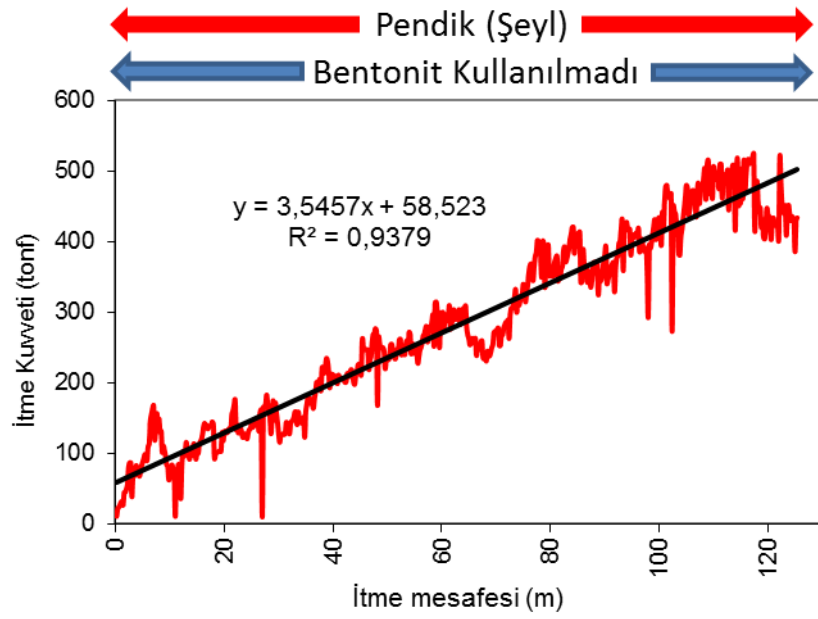
Şekil L.5 : Bostancı (M15-1-M15-2) mikrotüneli itme kuvvetleri.



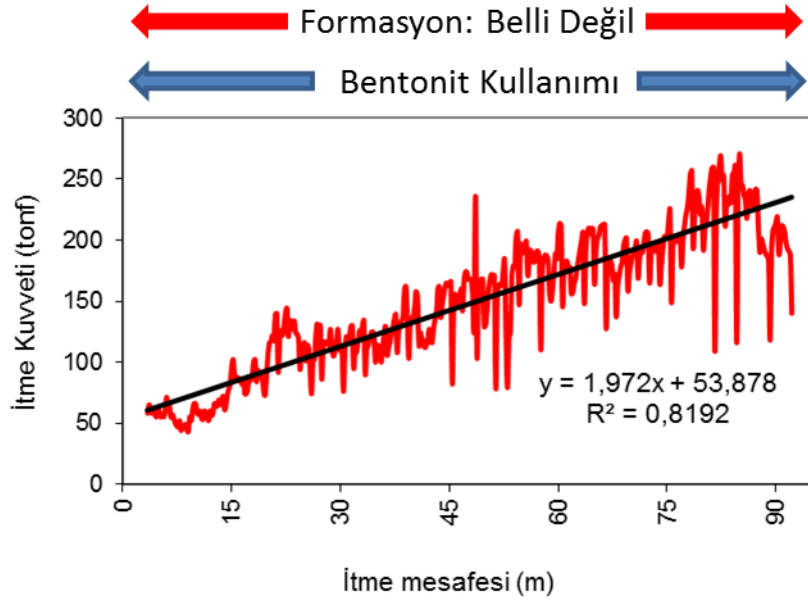
Şekil L.6 : Bostancı (M15 M15-1) mikrotüneli itme kuvvetleri.



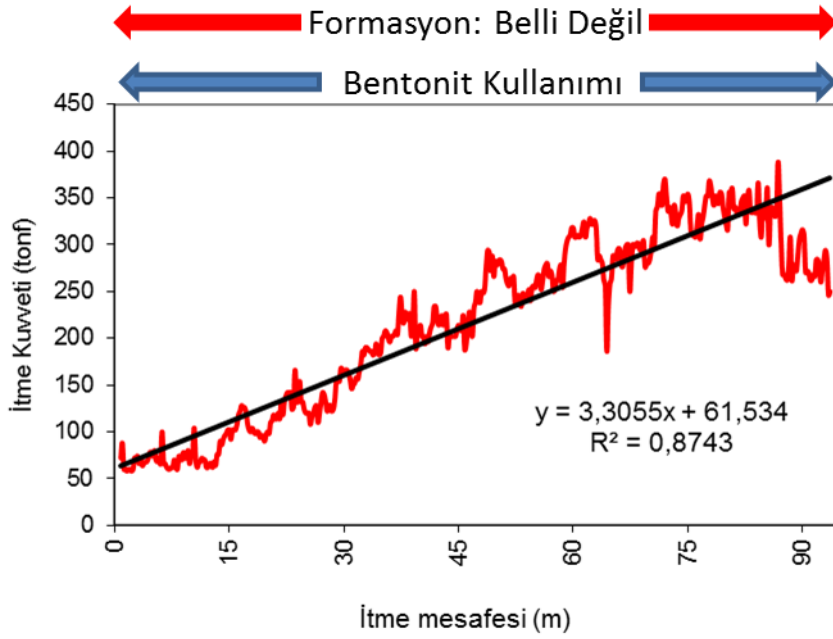
Şekil L.7 : Bostancı (M14-2-M15) mikrotüneli itme kuvvetleri.



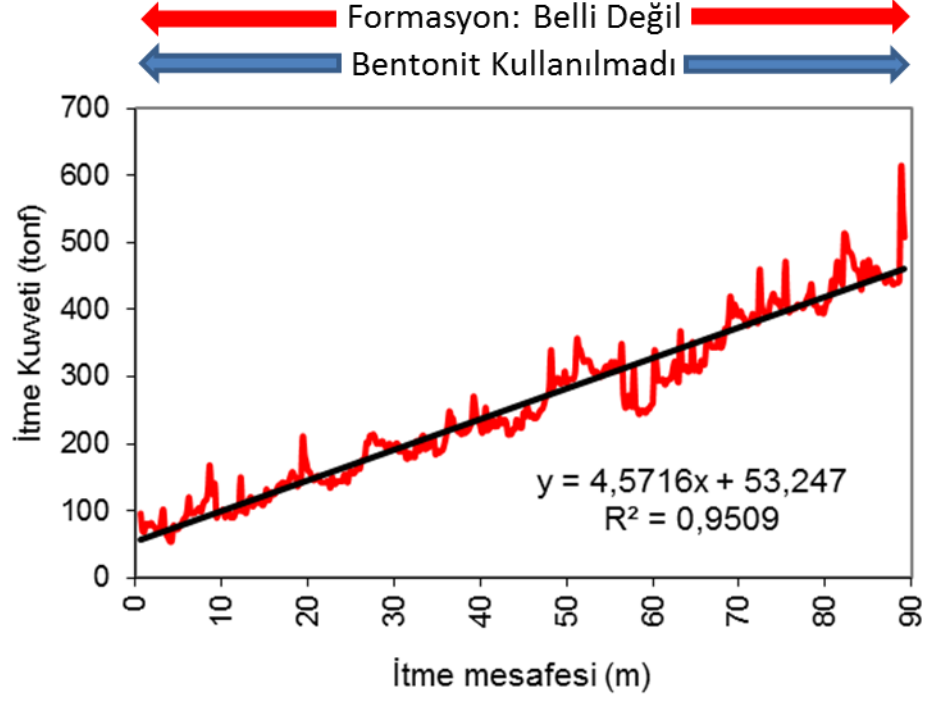
Şekil L.8 : Bostancı (M29A-M29B) mikrotüneli itme kuvvetleri.



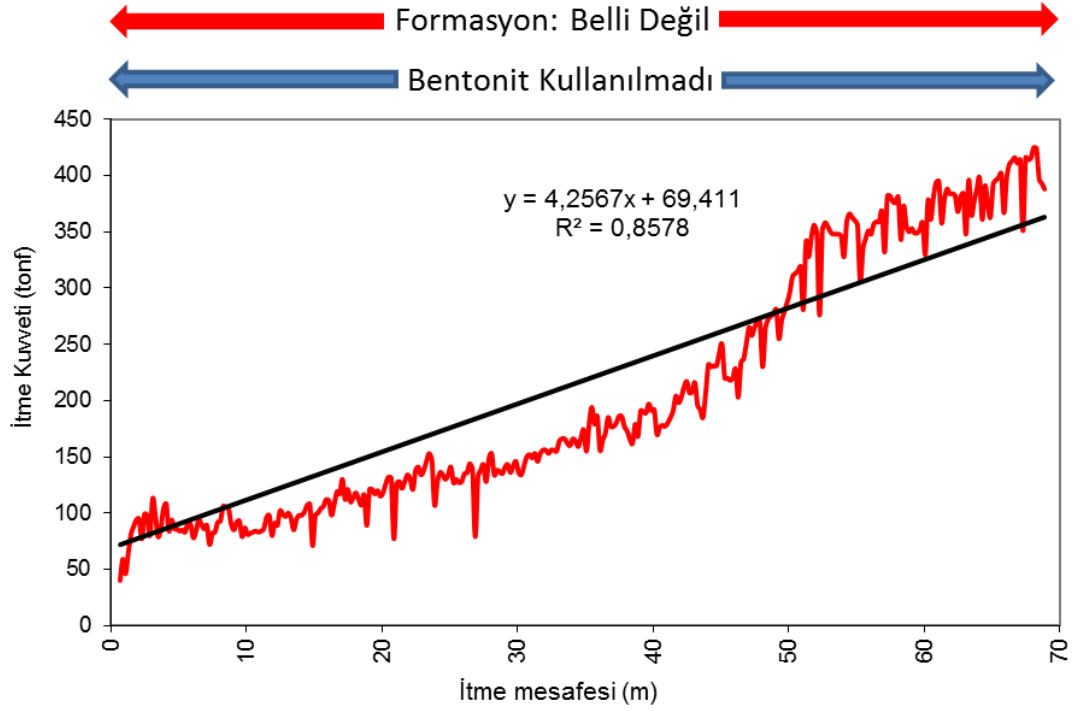
Şekil L.9 : Küçükköy (M1-M2) mikrotüneli itme kuvvetleri.



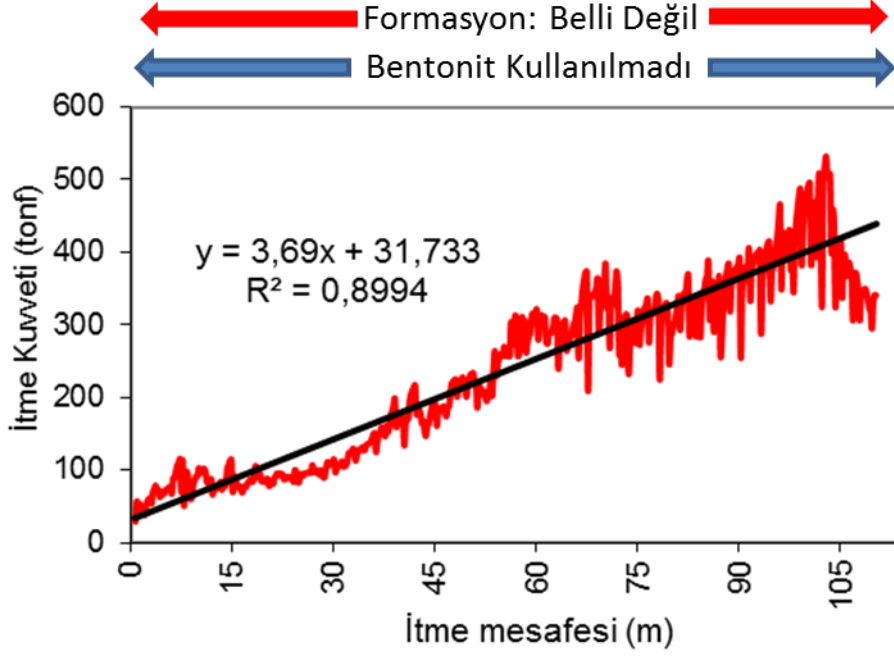
Şekil L.10 : Küçükköy (M3-M4) mikrotüneli itme kuvvetleri.



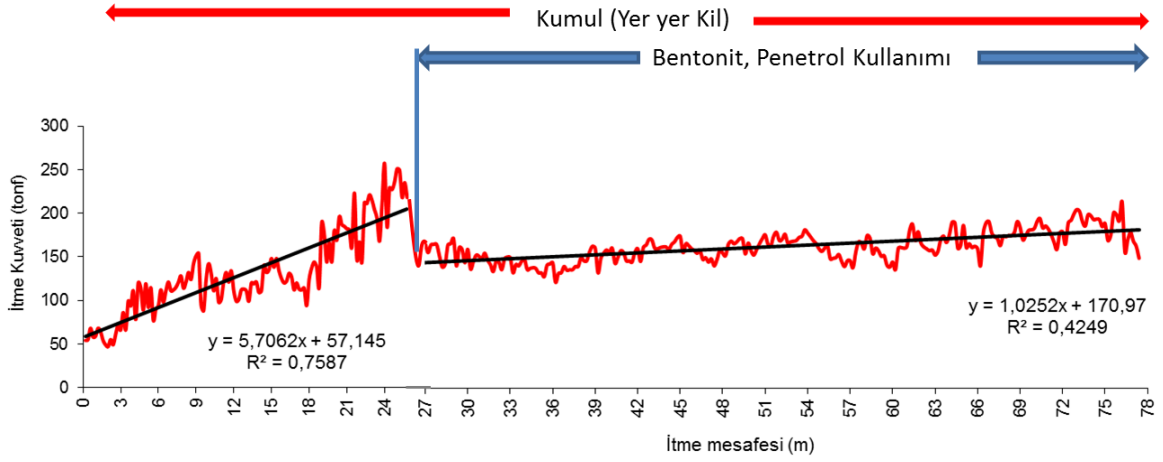
Şekil L.11 : Küçükköy (M7-M6) mikrotüneli itme kuvvetleri.



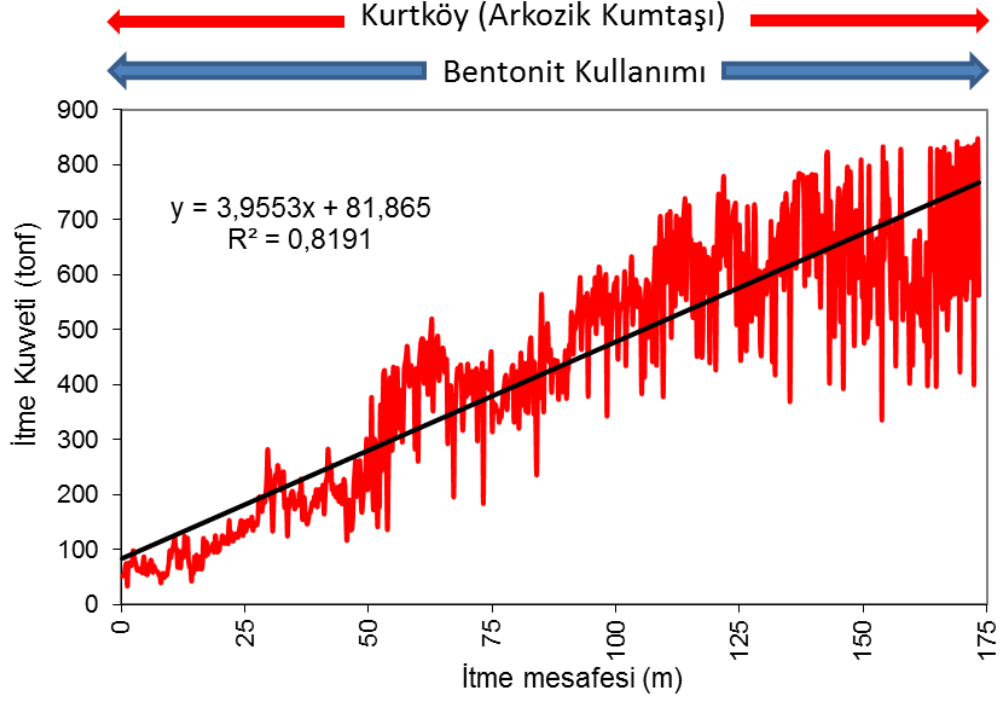
Şekil L.12 : Küçükköy (M5-M6) mikrotüneli itme kuvvetleri.



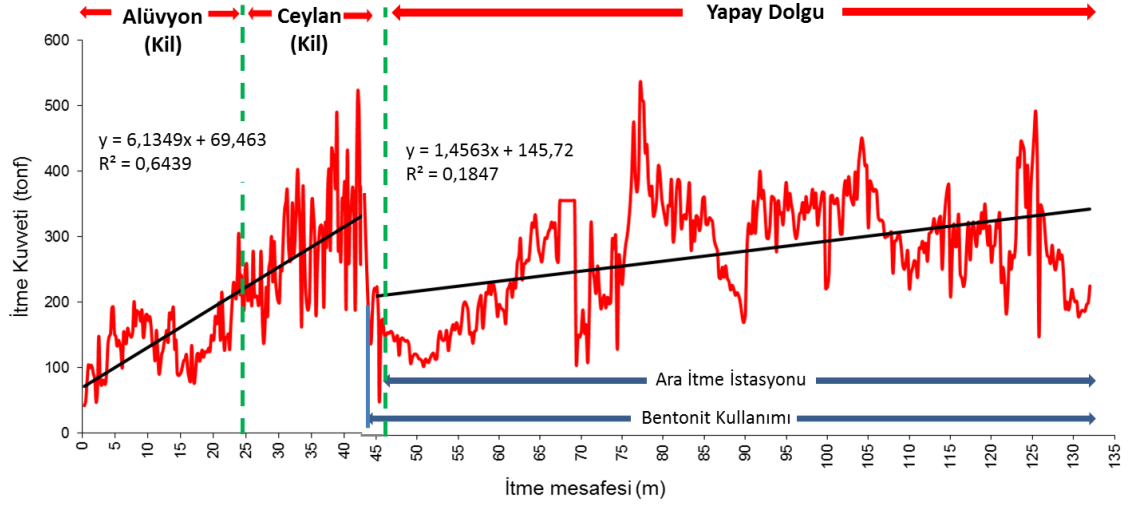
Şekil L.13 : Küçükköy (M5-M4) mikrotüneli itme kuvvetleri.



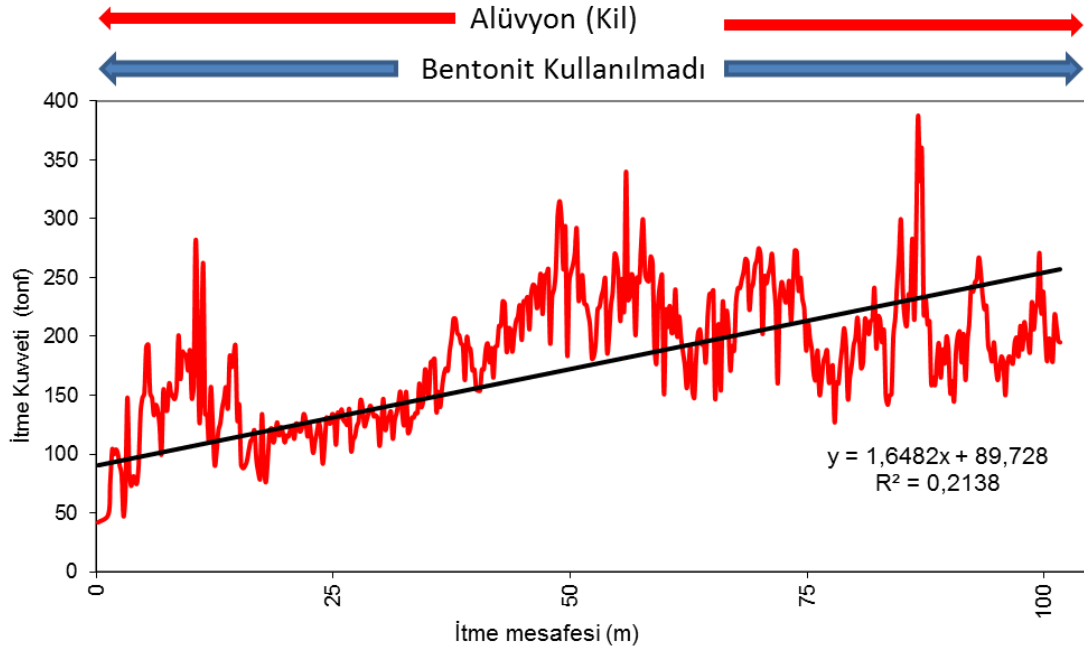
Şekil L.14 : Avcılar mikrotüneli itme kuvvetleri.



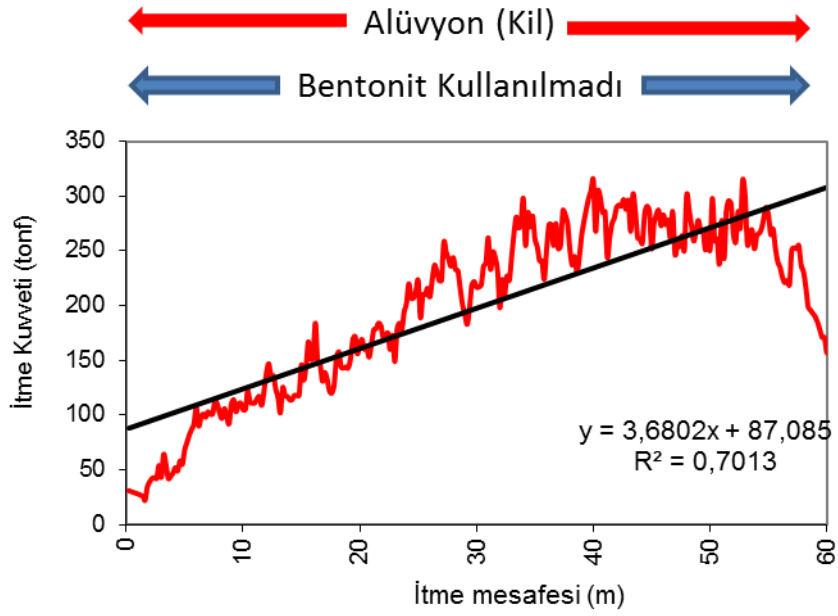
Şekil L.15 : Dudullu mikrotüneli itme kuvvetleri.



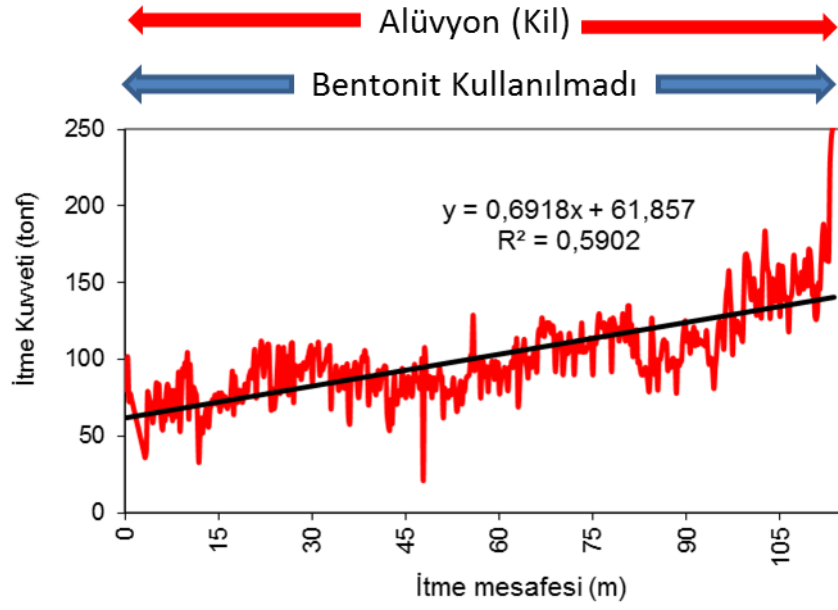
Şekil L.16 : Nakkaşdere (N3-N4) mikrotüneli itme kuvvetleri.



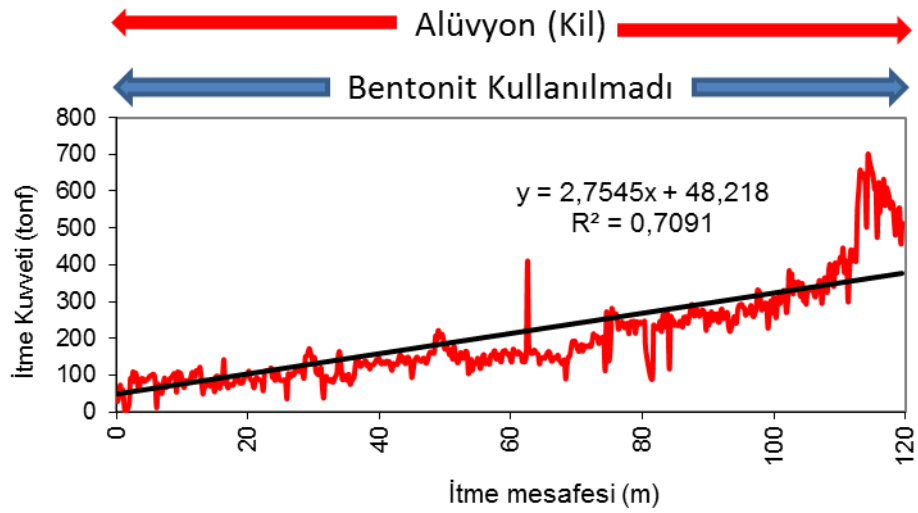
Şekil L.17 : Nakkaşdere (N5-N4) mikrotüneli itme kuvvetleri.



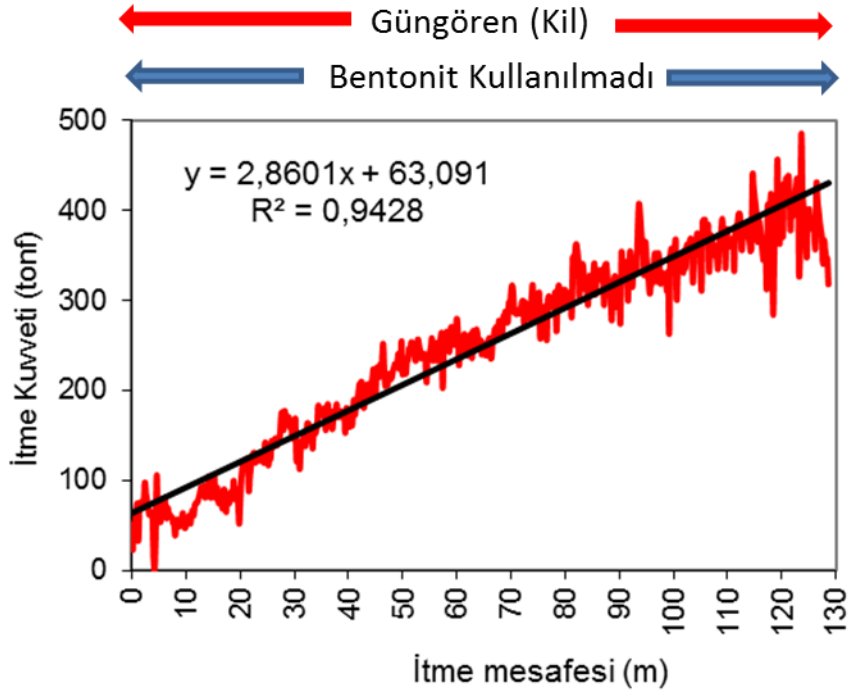
Şekil L.18 : Nakkaşdere (N2-N3) mikrotüneli itme kuvvetleri.



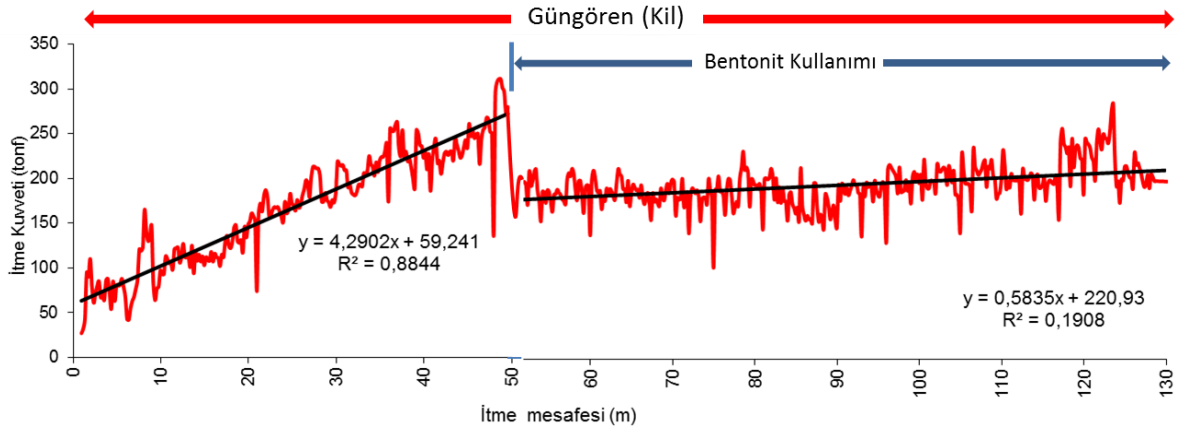
Şekil L.19 : Nakkaşdere (N16-N16A) mikrotüneli itme kuvvetleri.



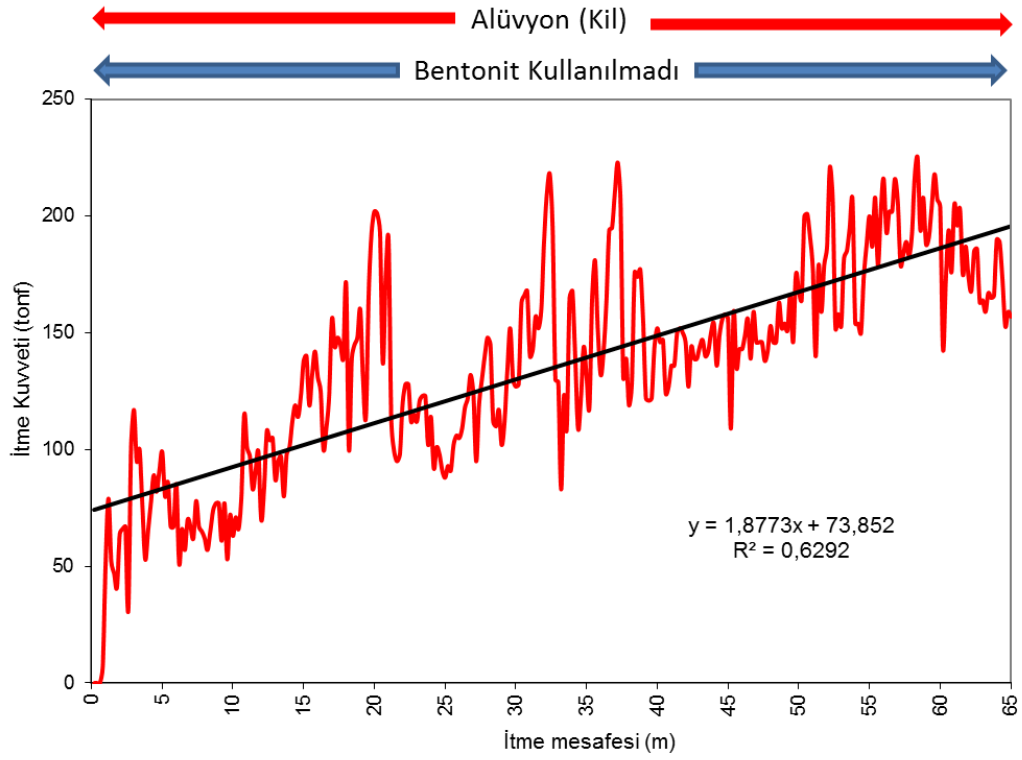
Şekil L.20 : Çırpıcı (MPJ3-MPJ4) mikrotüneli itme kuvvetleri.



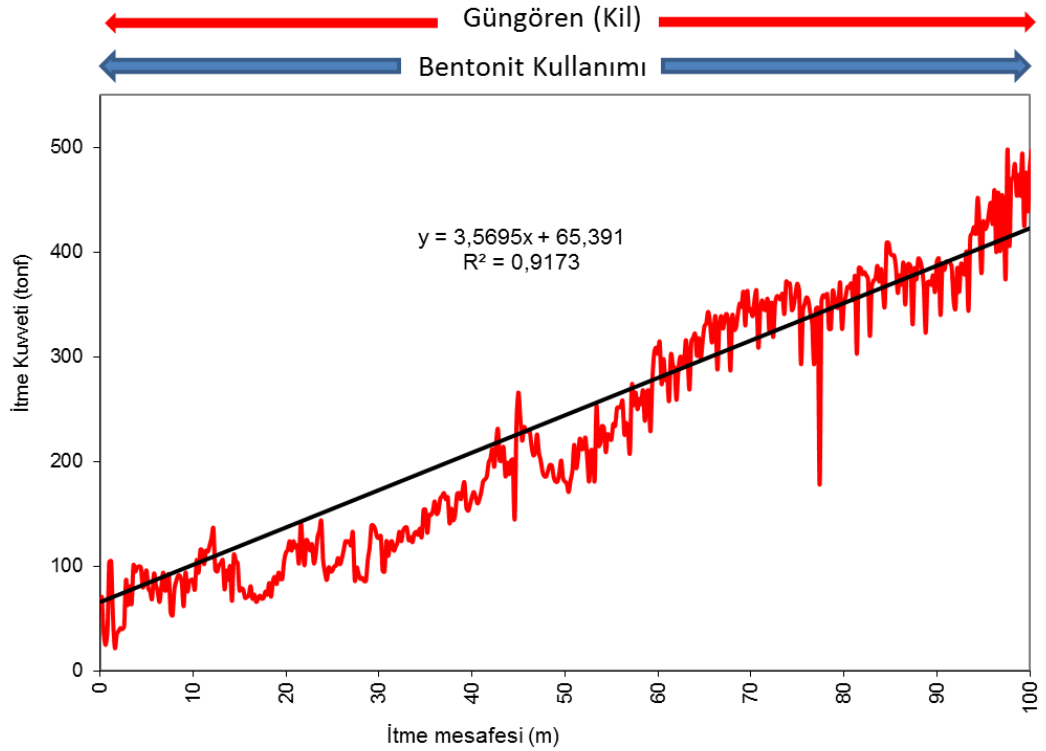
Şekil L.21 : Çırpıcı (MPJ2-MPJ3) mikrotüneli itme kuvvetleri.



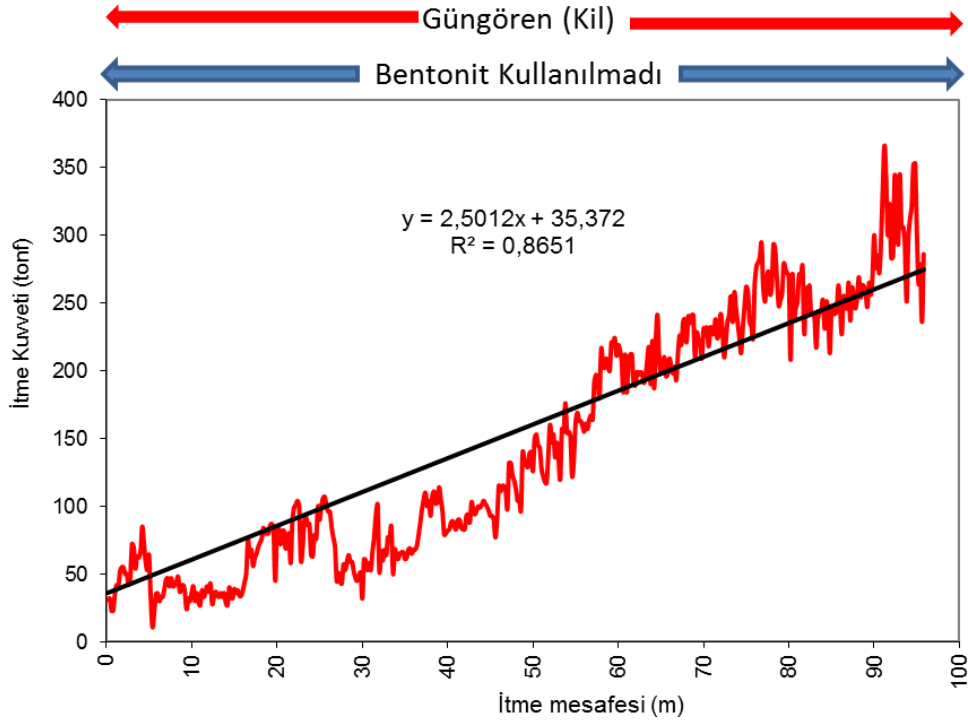
Şekil L.22 : Çırpıcı (MPJ2-MPJ1) mikrotüneli itme kuvvetleri.



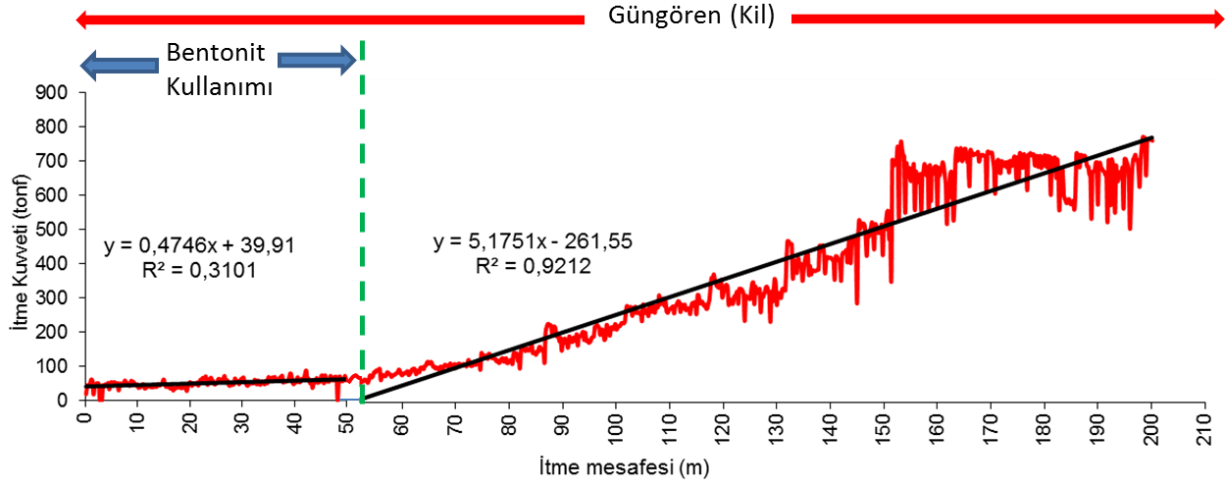
Şekil L.23 : Çırpıcı (MPJ18-MPJ19) mikrotüneli itme kuvvetleri.



Şekil L.24 : Çırpıcı (MPJ8-MPJ9) mikrotüneli itme kuvvetleri.



Şekil L.25 : Çırpıcı (MPJ5-MPJ6) mikrotüneli itme kuvvetleri.



Şekil L.26 : Çırpıcı (MPJ18-MPJ17) mikrotüneli itme kuvvetleri.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ahmet Barış Akkaya

Doğum Yeri ve Tarihi: Erzurum, 1975

Adres: Erdemir Büyük Ofis. 408 numaralı oda. Kdz. Ereğli/
Zonguldak

Lisans Üniversitesi: İ.T.Ü.

Yayın Listesi:

- **Akkaya A.B.**, Çınar M. 2003: Jet-Grouting Uygulama Tekniği, *Ulaşımında Yeraltı Kazıları* - 2003, İstanbul, Türkiye
- **Akkaya A.B.**, Çopur H., Omac N., Yücel H.M. 2005: Slurry Shield Driven Microtunnel Applications in Istanbul, *World Tunnel Congress* - 2005, İstanbul, Türkiye
- Çopur H., **Akkaya A.B.**, Aktan A.T., Erciyes H. 2007: Mikrotünel Açma Maliyet Analizleri, 2. *Ulaşımında Yeraltı Kazıları* - 2007, İstanbul, Türkiye
- **Akkaya A.B.** 2008: Microtunnel Boring Machine Performance Comparison at Different Formations, *World Tunnel Congress* - September 19-25, 2008, Agra, India
- Çopur H., **Akkaya A.B.** 2009: Performance of a Microtunnel Boring Machine at the Similar and Different Formations, *World Tunnel Congress* - May 23-28, 2009, Budapest, Hungary

