

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KİLLİ ZEMİNLERDE NATM İLE AÇILAN TÜNELLERİN DEFORMASYON
TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet AKIN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendislik Programı

EKİM 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KİLLİ ZEMİNLERDE NATM İLE AÇILAN TÜNELLERİN DEFORMASYON
TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet AKIN
501121311**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Recep İYİSAN

EKİM 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121311 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mehmet AKIN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KİLLİ ZEMİNLERDE NATM İLE AÇILAN TÜNELLERİN DEFORMASYON TAHMİNİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Recep İYİSAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa HATİPOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 17 Eylül 2019
Savunma Tarihi : 10 Ekim 2019





Eşime ve kızıma,



ÖNSÖZ

Ulaştırma amaçlı tünelcilik sektörü, büyük şehirlerin artan nüfusu ile birlikte teknolojiye ki son gelişmeler sayesinde giderek önem kazanmıştır. Ülkemizde de son yıllarda ivmeli bir şekilde hızlanan tünelcilik sektörü, dünya standartlarını yakalamış ve birçok konuda sektöre yön verir hale gelmiştir.

20. Yüzyılın ikinci yarısında şekillenen ve hala günümüzde geliştirilmeye devam edilen Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi(NATM), eski yöntemlere nazaran destek sistemlerinin daha ekonomik ve yeterli şekilde kullanılmasını sağlayan ve Türkiye’de de TBM (Tunnel Boring Machine) ile birlikte en çok kullanılan tünel açma yapım yöntemidir. Geniş anlamda incelendiğinde; tünelin kendisini, etrafını çevreleyen kayaca taşıtmayı öngören bir felsefedir. Bu kayacın etrafında taşıyıcı bir zon oluşması ile sağlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında belli kısımları Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi esasları uygulanarak yapılan “Üsküdar- Ümraniye-Çekmeköy Metro İnşaatı” kapsamında yapılan farklı tünel kesitlerinin üzerinde oluşan yüzey oturmaları incelenerek tünel inşaatının sebep olduğu yüzey deformasyonun tahmini için bağıntılar oluşturulmaya çalışılacaktır.

Lisans eğitimim boyunca, bana her konuda yardımcı olan, bilgilerini esirgemeyen ve “geoteknik” bilimini bana sevdiren meslek olarak seçmeme neden olan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul ORDU’ a, yüksek lisans eğitimim boyunca, bana her konuda yardımcı olan İTÜ GEOTEKNİK Ana Bilim Dalı hocalarıma, İTÜ Maden Fakültesinde görev yapan, tünel imalatları hakkında kendisinden çok şey öğrendiğim Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMİR’ e, tez çalışmama beraber başladığımız fakat çalışmalarımızı kendisinin vefatı nedeniyle tamamlayamadığımız Sayın Doç. Dr. A. Oğuz TAN’ a, son olarak bu tezin hazırlanması esnasında bana her konuda yardımcı olan, bilgilerini ve tecrübelerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Recep İYİSAN’ a teşekkürü bir borç bilirim.

Beni bugünlere getiren ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Mustafa AKIN’a, annem Binnur AKIN’a, kardeşim Ece AKIN’a, eşim Şennur Uzun AKIN’a, tezimi tamamlamamda bana en büyük motivasyon kaynağı olan kızım Defne Liya AKIN’a ve tüm aileme minnettarım.

Ayrıca; YÜKSEL PROJE Uluslararası A.Ş. yöneticilerine ve çalışanlarına, Doğu İnşaat yönetici ve çalışanlarına, İBB Raylı Sistemler Daire Başkanlığı yönetici ve çalışanlarına ve ismini burada sayamadığım çalışmamda emeği geçen dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019

Mehmet AKIN
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç.....	2
1.2 Kapsam	2
2. TÜNELLER.....	5
2.1 Tünellerde Kullanılan Terimler.....	7
2.2 Tünellerin Sınıflandırılması	9
2.2.1 Enkesit şekillerine göre tüneller.....	9
2.2.2 Kullanım amaçlarına göre tüneller.....	11
2.2.3 Yapım şekillerine göre tüneller	14
3. TUNEL PROJELENDİRME ARAŞTIRMALARI	17
3.1 Ön Araştırmalar.....	18
3.2 Ana Saha (Zemin ve Kaya) Araştırmaları	19
3.2.1 Sondaj.....	22
3.2.2 Arazi deneyleri	25
3.2.2.1 Standart penetrasyon deneyi (SPT).....	25
3.2.2.2 Koni penetrasyon testi (CPT).....	26
3.2.2.3 PMT	27
3.2.2.4 Arazi Veyn Deneyi.....	28
3.2.2.5 Plaka yükleme deneyi	30
3.2.3 Laboratuvar deneyleri	34
3.2.3.1 Birim hacim ağırlığı belirlenmesi	34
3.2.3.2 Su muhtevasının belirlenmesi	35
3.2.3.3 Dane Çapı Dağılımı	35
3.2.3.4 Atterberg limitleri	36
3.2.3.5 Kompaksiyon deneyi.....	36
3.2.3.6 Geçirimsizlik deneyleri	38
3.2.3.7 Konsolidasyon.....	39
3.2.3.8 Islanma-kuruma deneyi.....	41
3.2.3.9 Donma-çözülme deneyi.....	41
3.2.3.10 Nokta yükü dayanım indeksi deneyi	41
3.2.3.11 Doğrudan çekme deneyi ile çekilme dayanımının tayini	41
3.2.3.12 Sonik hız deneyi	41
3.2.3.13 Tek eksenli basınç deneyi (Serbest basınç deneyi)	42

3.2.3.14 Üç eksenli basınç deneyi	42
3.3 Kontrol Araştırmaları	43
4. KAYA VE ZEMİN SINIFLANDIRMASI	45
4.1 Kaya Kütle Sınıflandırması	45
4.1.1 Terzaghi (1946) kaya yükü sınıflama sistemi	47
4.1.2 Lauffer (1958) sınıflaması.....	49
4.1.3 Yeni Avusturya kaya sınıflama sistemi (pacher ve rabciwicz sınıflaması).....	50
4.1.4 Kaya kalite göstergesi (RQD) sınıflama sistemi	50
4.1.5 Kaya yapı sınıflaması (RSR).....	50
4.1.6 Kaya kütle sınıflaması (RMR)	50
4.1.7 Q sınıflama sistemi (1974)	54
4.1.8 GSI sınıflama sistemi (1997).....	56
4.2 Zeminlerin Sınıflandırması.....	59
4.2.1 Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi (USCS).....	59
4.2.2 Amerikan karayolları sınıflandırma sistemi (AASHTO).....	60
5. TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ	61
5.1 TBM ile Tünel Açma.....	61
5.2 NATM ile Tünel Açma	62
5.2.1 Yeni Avusturya Yönteminde Önorm B 2203/1994'e Göre Kaya Sınıfları.....	64
5.2.2 Tünel Destek Elemanları.....	66
5.2.2.1 Püskürtme beton.....	66
5.2.2.2 Çelik hasır	68
5.2.2.3 Kaya bulonu ve zemin çivileri	68
5.2.2.4 Çelik iksa.....	69
5.2.2.5 Ön süren ve umbrella-arch	69
5.3 Aç-Kapa ile Tünel Açma.....	70
5.4 Del-Patlat ile Tünel Açma	71
5.5 Çalışma Kapsamında İncelenen Tünellerin Geçici Tahkimat Projeleri	71
6. TÜNEL İLERLEMESİNE BAĞLI DEFORMASYONLARIN AMPİRİK YÖNTEMLERLE TAHMİNİ.....	75
6.1 Ampirik Yöntemler	76
6.1.1 Peck yöntemi	76
6.1.2 Sagaseta yöntemi.....	77
6.1.3 Gonzales ve Sagaseta yöntemi	78
6.1.4 Verruijt ve Booker yöntemi.....	79
6.1.5 Loganathan ve Poulos yöntemi	79
6.2 Ampirik Yöntemlerde Kullanılan Ortak Parametreler	80
6.2.1 Deformasyon mesafesi parametresi (i).....	80
6.2.2 Hacim kaybı parametresi (V_s)	81
7. KİLLİ ZEMİNLERDE NATM İLE AÇILAN TÜNELLERİN NEDEN OLDUĞU YÜZEY DEPLASMANLARININ İNCELENMESİ	83
7.1 Proje ile İlgili Genel Bilgiler	84
7.2 Jeoloji ve Yerel Zemin Koşulları	85
7.3 Deformasyon Değerlendirmesi.....	89
7.3.1 P1 Peron Tünellerinin deformasyon değerlendirme.....	92
7.3.1.1 Hat-1 Peron Tünelinin deformasyon değerlendirme	92
7.3.1.2 Hat-2 P1 Peron Tüneli deformasyon değerlendirme	95
7.3.2. T3 Makas Tünellerinin deformasyon değerlendirme	99

7.3.2.1 Hat-1 T3 Tüneli Üsküdar yönü deformasyon değerlendirmesi.....	99
7.3.2.2 Hat-2 T3 Tüneli Üsküdar yönü deformasyon değerlendirmesi.....	102
7.3.2.3 Hat-1 T3 Tüneli Çekmeköy yönü deformasyon değerlendirmesi....	105
7.3.2.4 Hat-2 T3 Tüneli Çekmeköy yönü deformasyon değerlendirmesi....	108
7.3.3 T2 Makas Tüneli deformasyon değerlendirmesi	111
7.3.4 A2 Hat Tünelleri deformasyon değerlendirmesi.....	115
7.3.4.1 Hat-1 A2 Tüneli deformasyon değerlendirmesi.....	115
7.3.4.2 Hat-2 A2 Tüneli deformasyon değerlendirmesi.....	118
7.3.5 A Tünelleri deformasyon değerlendirmesi	122
7.3.5.1 A Hat-1 Üsküdar Yönü Tüneli deformasyon değerlendirmesi	122
7.3.5.2 Hat-2 A Tüneli Üsküdar yönü deformasyon değerlendirmesi	125
7.3.5.3 Hat-1 A Tüneli Çekmeköy yönü deformasyon değerlendirmesi	128
7.4 Ampirik Yöntemlerin Hesaplanması.....	131
7.4.1 Peck yöntemi.....	131
7.4.2 Sagaseta yöntemi.....	133
7.4.3 Gonzales ve Sagaseta yöntemi	133
7.4.4 Verruijt ve Booker yöntemi	135
7.4.5 Loganathan ve Poulos yöntemi	137
7.5 Ampirik Yöntem Sonuçlarının Deformasyon Değerleri ile Karşılaştırılması.	140
7.6. Yeni Bir Yöntem Önerisi	146
8. SONUÇLAR	155
KAYNAKLAR	159
EKLER.....	161
ÖZGEÇMİŞ.....	233



KISALTMALAR

GSI	: Geological Strength Index
NATM	: New Austrian Tunneling Method
RMR	: Rock Mass Rating
RQD	: Rock Quality Designation
RSR	: Rock Structure Rating
TBM	: Tunnel Boring Machine
ÜÜÇM	: Üsküdar –Ümraniye –Çekmeköy Metrosu



SEMBOLLER

A_s	: Kazı kesit alanı
c	: Kohezyon
E	: Elastisite modülü
g	: Kısa süreli durumda zemin boşluk parametresi
G_p	: Kısa süreli durumda zemin ve kaplama arasındaki boşluk
H	: Tünel derinliği
i	: Deformasyon mesafesi parametresi
J_a	: Çatlak ayrışma sayısı
J_n	: Çatlak takımı sayısı
J_r	: Çatlak pürüzlülük sayısı
J_w	: Çatlak suyu indirgeme faktörü
N	: Stabilite sayısı
S_{max}	: Maksimum düşey deformasyon
S_v	: Düşey deformasyon
u	: Deplasman
U_{3D}	: Tünel yüzündeki eşdeğer 3 boyut elasto-plastik deformasyon
V_s	: Hacim kaybı parametresi
ν	: Poisson oranı
γ	: Birim hacim ağırlığı
σ_c	: Tek eksenli basınç dayanımı
Φ	: İçsel sürtünme açısı
α	: Plastik bölgedeki yer değiştirmelerin azaldığı düşünülen mesafe üssü
δ	: Ovallik

ε	: Radyal büzülme
P_T	: Tünel destek basıncı
σ_v	: Toplam düşey gerilme



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Tüneller ve üst yapı inşaatı projeleri arasında karşılaştırma.	6
Çizelge 2.2: Tipik tünel enkesit alanları.	11
Çizelge 2.3: Sinha (1989) göre tünellerin sınıflandırılması.	16
Çizelge 3.1: Tünel tasarımına yardımcı olması için gerekli saha araştırmalarından bulunan olası parametreler.	20
Çizelge 3.2: Örnek niteliği.	22
Çizelge 3.3: RQD sınıflaması.	23
Çizelge 3.4: Bazı formasyonlarda dalga hızları.	32
Çizelge 3.5: Bazı zeminlerde elektriksel direnç değerleri.	33
Çizelge 4.1: Günümüzde kullanılan başlıca kaya kütlesi sınıflama sistemleri.	47
Çizelge 4.2: Terzaghi'nin kaya yükü sınıflaması.	48
Çizelge 4.3: RMR puanı ve kaya sınıfları.	52
Çizelge 4.4: RMR sınıflandırma parametreleri ve puanları.	53
Çizelge 4.5: Jn (eklem takım sayısı) değerleri.	54
Çizelge 4.6: Jr (eklem pürüzlülük puanı) değerleri.	55
Çizelge 4.7: Jw (su azaltma faktörü veya su durumu) değerleri.	55
Çizelge 4.8: Ja (eklem alterasyon puanı) değerleri.	56
Çizelge 4.9: Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sisteminde kullanılan semboller.	60
Çizelge 5.1: "F Sınıf" tahkimat destek elemanları.	72
Çizelge 6.1: Deformasyon mesafesi parametresi ile ilgili çalışmalar.	81
Çizelge 7.1: Sondaj verileri.	87
Çizelge 7.2: Hat-1 P1 peron tüneli deformasyon değerleri.	92
Çizelge 7.3: Hat-2 P1 peron tüneli deformasyon değerleri.	95
Çizelge 7.4: Hat-1 T3 tüneli Üsküdar yönü deformasyon değerlendirmesi.	99
Çizelge 7.5: Hat-2 T3 tüneli Üsküdar yönü deformasyon değerlendirmesi.	102
Çizelge 7.6: Hat-1 T3 tüneli Çekmeköy yönü deformasyon analizi.	105
Çizelge 7.7: Hat-2 T3 tüneli Çekmeköy yönü deformasyon analizi.	108
Çizelge 7.8: T2 tüneli deformasyon değerlendirmesi.	111

Çizelge 7.9: Hat-1 A2 tüneli deformasyon değerlendirmesi.	115
Çizelge 7.10: Hat-2 A2 tüneli deformasyon değerlendirmesi.	118
Çizelge 7.11: Hat-1 A tüneli Üsküdar yönü deformasyon analizi.	122
Çizelge 7.12: Hat-2 A tüneli Üsküdar yönü deformasyon analizi.	125
Çizelge 7.13: Hat-1 A tüneli Çekmeköy yönü deformasyon değerlendirmesi.	128
Çizelge 7.14: Peck yöntemi sonuçları.....	131
Çizelge 7.15: Sagaseta yöntemi sonuçları.	133
Çizelge 7.16: Gonzales ve Sagaseta yöntemi sonuçları.....	135
Çizelge 7.17: Verruijt ve Booker yöntemi sonuçları.	137
Çizelge 7.18: Loganathan ve Poulos yöntemi sonuçları.....	137
Çizelge 7.19: Yüzey bulonlarının seçimi için değer aralığı.....	146
Çizelge 7.20: Seçilen yüzey bulonlarının değerleri.	147
Çizelge 7.21: Bu çalışmada önerilen yöntemin sonuçları.....	150
Çizelge 7.22: Bu çalışmada önerilen yöntemin diğer ampirik yöntemlerle karşılaştırılması.	153

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Çeşitli meslek gruplarında tünel tanımları (1) Mimari açıdan tünel, (2) İnşaat mühendisliği açısından tünel, (3) Maden mühendisliği açısından tünel, (4) Geoteknik mühendisliği açısından tünel.	7
Şekil 2.2: Bir tünelin başlıca kısımları.	8
Şekil 2.3: NATM P Tipi bir tünelin en kesiti ve çeşitli kısımlara verilen isimler.	8
Şekil 2.4: Tünel enkesit örnekleri. (a) Dairesel kemer ve iki yan düşey duvardan oluşan kesit, (b) Tam daire kesit, (c) Nal tipi kesit, (d) Yumurta kesit.	9
Şekil 2.5: Tünel tip kesit oluşturma örneği.	10
Şekil 2.6: Barınak (a) ve tapınak (b) tünelleri.	12
Şekil 2.7: Karayolu (a) ve demiryolu (b) tünelleri.	12
Şekil 2.8: Su iletim tünellerine ilişkin enkesit örnekleri. a) basınçlı, b) basınçsız. ...	13
Şekil 2.9: Mühimmat için (a), taşıtlar için (b) örnek stokaj tünelleri.	13
Şekil 2.10: Kaya ortamlarda tünel açmak için kullanılan araçlar: (a) Hidrolik kırıcı, (b) Jumbo, (c) TBM, (d) Eskavatör ve (e) Roadheader.	15
Şekil 2.11: Umbrella-arch (şemsiyeleme) destek sistemi.	15
Şekil 3.1: Tünel projelendirme basamakları.	17
Şekil 3.2: Ana saha araştırmaları.	19
Şekil 3.3: Karot sandığı.	23
Şekil 3.4: RQD hesaplanması.	24
Şekil 3.5: RQD, TCR ve SCR hesaplanması (15m ~16m arası için).	24
Şekil 3.6: SPT'nin yapılışı.	26
Şekil 3.7: CPT'nin ekipman ve uygulanması.	27
Şekil 3.8: PMT deney sistemi.	28
Şekil 3.9: Arazi Veyn deneyinin genel yapılış prosedürü ve deney ekipmanları.	29
Şekil 3.10: PLT düzeneği.	30
Şekil 3.11: a)Yüzey kırılma b)Yüzey yansıma.	31
Şekil 3.12: Yüzey kırılma yönteminde 3 tabakalı sistemde dalga yayılımı örneği.	32
Şekil 3.13: Elektriksel direnç yöntemi şeması.	34
Şekil 3.14: Karşıt kuyu yöntemi.	35

Şekil 3.15: Kohezyonlu zeminlerin kuruma sırasındaki hacim değişimi ve kıvam sınırları.	37
Şekil 3.16: Sıkıştırılmış bir zeminde γ_k - ω ilişkisi.....	38
Şekil 3.17: Zeminlerin permeabilitesini belirlemede kullanılan deney yöntemleri: a) Düşen seviyeli b) Sabit seviyeli geçirimsizlik deneyi.	39
Şekil 3.18: Konsolidasyon deney aleti.....	40
Şekil 3.19: Üç eksenli basınç deneyi düzeneği.....	42
Şekil 3.20: Kontrol araştırmalarında kullanılan ölçüm yöntemleri.	43
Şekil 4.1: Terzaghi'nin kaya yükü kavramı.....	48
Şekil 4.2: Lauffer'e göre aktif iksasız her hangi bir kazı boşluğunun ayakta kalma süresi.....	49
Şekil 4.3: Rabcewicz-Pacher (1974)'e göre tünel açmada kaya sınıflaması.	51
Şekil 4.4: (Hoek-Brown 1997)'e göre GSI değerleri.....	57
Şekil 4.5: Ulusay-Sönmez (2002)'e göre GSI değerleri.	58
Şekil 5.1: TBM Şeması.....	62
Şekil 5.2: Kuru karışım (a) ve Yaş karışım (b) püskürtme beton uygulama gösterimi.....	67
Şekil 5.3: Zemin çivisi tork kontrolü	68
Şekil 5.4: Çelik iksa kurulumu	69
Şekil 5.5: Umbrella-arch delgi imalatı.....	70
Şekil 5.6: Aç-kapa yöntemi genel görüntüsü.....	71
Şekil 5.7: A Tüneli "F Sınıf" tahkimat projesi.	73
Şekil 6.1: Tünel kaynaklı deformasyonun yerleşim geometrisi.	76
Şekil 6.2: Enine yönde deformasyon mesafesi ve hacim kaybının Gauss olasılık eğrisi ile gösterimi.....	77
Şekil 6.3: Tünel deformasyon bileşenleri.	78
Şekil 6.4: Deformasyon mesafesi parametresi ve tünel derinliği arasındaki ilişki....	80
Şekil 6.5: Stabilité sayısı N ile hacim kaybı V_s arasındaki farklı bağıntılar.....	82
Şekil 7.1: Dudullu makaslar bölgesi genel görünüm.	85
Şekil 7.2: Sondaj yerleşim planı	87
Şekil 7.3: Çalışma bölgesinin jeolojik kesiti.	88
Şekil 7.4: Yüzey deformasyon bulonlarının gösterimi.	89
Şekil 7.5: Yüzey deformasyon bulonlarının deformasyon grafiği.....	90
Şekil 7.6: Peron tüneli üzerinde yer alan yüzey deformasyon bulonlarının deformasyon grafiği.	91
Şekil 7.7: Hat-1 P1 Tüneli üzerinde yer alan bulonların deformasyon grafiği.....	93

Şekil 7.8: Hat-1 P1 Tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.....	94
Şekil 7.9: Hat-2 P1 Tüneli üzerinde yer alan bulonların deformasyon grafiği.....	96
Şekil 7.10: Hat-2 P1 Tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.....	97
Şekil 7.11: T3 Makas tüneli üzerinde yer alan yüzey deformasyon bulonlarının deformasyon grafiği.	98
Şekil 7.12: T3 Hat-1 Üsküdar yönü tüneli yüzey deformasyonları.	100
Şekil 7.13: T3 Hat-1 Üsküdar yönü tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.	101
Şekil 7.14: T3 Hat-2 Üsküdar yönü tüneli yüzey deformasyonları.	103
Şekil 7.15: T3 Hat-2 Üsküdar yönü tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.	104
Şekil 7.16: T3 Hat-1 Çekmeköy yönü tüneli yüzey deformasyonları.	106
Şekil 7.17: T3 Hat-1 tüneli Çekmeköy yönü yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.	107
Şekil 7.18: T3 Hat-1 Çekmeköy yönü tüneli yüzey deformasyonları.	109
Şekil 7.19: T3 Hat-2 tüneli Çekmeköy yönü yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.	110
Şekil 7.20: T2 tüneli yüzey deformasyonları.....	112
Şekil 7.21: T2 tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.....	113
Şekil 7.22: A2 hat tünelleri üzerinde yer alan yüzey deformasyon bulonlarının deformasyon grafiği	114
Şekil 7.23: A2 Hat-1 tüneli yüzey deformasyonları.	116
Şekil 7.24: A2 Hat-1 tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.....	117
Şekil 7.25: A2 Hat-2 tüneli yüzey deformasyonları.	119
Şekil 7.26: A2 Hat-2 tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.....	120
Şekil 7.27: A tünelleri üzerinde yer alan yüzey deformasyon bulonlarının deformasyon grafiği.	121
Şekil 7.28: A Hat-1 Üsküdar Yönü Tüneli yüzey deformasyonları.	123
Şekil 7.29: A Hat-1 tüneli Üsküdar yönü yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.	124
Şekil 7.30: A Hat-2 Üsküdar yönü tüneli yüzey deformasyonları.....	126
Şekil 7.31: A Hat-2 tüneli Üsküdar yönü yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.	127
Şekil 7.32: A Hat-1 Çekmeköy yönü tüneli yüzey deformasyonları.....	129

Şekil 7.33: A Hat-1 tüneli Çekmeköy yönü yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.	130
Şekil 7.34: Peck yöntemi sonuçlarının gösterimi.	132
Şekil 7.35: Sagasetta yöntemi sonuçlarının gösterimi.	134
Şekil 7.36: Gonzales ve Sagasetta yöntemi sonuçlarının gösterimi.	136
Şekil 7.37: Verruijt ve Booker yöntemi sonuçlarının gösterimi.	138
Şekil 7.38: Loganathan ve Poulos yöntemi sonuçlarının gösterimi.	139
Şekil 7.39: Tünel eksenini üzerindeki noktalarda ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.	141
Şekil 7.40: Tünel eksenini üzerinde olmayan noktalarda ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.	142
Şekil 7.41: A Tüneli için ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.	143
Şekil 7.42: A2 tüneli için ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.	144
Şekil 7.43: A Tüneli için ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.	144
Şekil 7.44: T2 Tüneli için ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.	145
Şekil 7.45: T3 Tüneli için ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.	145
Şekil 7.46: Ortalama deformasyon değerlerinin gösterimi ve yeni bir bağıntı önerisi.	148
Şekil 7.47: Yeni yöntem önerisi için şematik gösterim.	149
Şekil 7.48: A tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.	150
Şekil 7.49: A2 Tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.	151
Şekil 7.50: P1 Tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.	151
Şekil 7.51: T2 Tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.	152
Şekil 7.52: T3 Tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.	152

KİLLİ ZEMİNLERDE NATM İLE AÇILAN TÜNELLERİN YÜZEY DEFORMASYONLARININ TAHMİNİ

ÖZET

Günümüzde; nüfus artışının neden olduğu şehir içi alanlarının daralması ve yeni yerleşim yerlerinin hız kesmeden inşa edilmesi, yer üstünün olduğu kadar yeraltında kullanımını kaçınılmaz kılmaktadır. Teknolojide meydana gelen hızlı gelişmeler, inşaat sektöründe uygulanan yöntemlerin ve çözüm yollarının da gelişmesini sağlamıştır. Bu gelişmelerin en etkili olduğu alanlardan birisi de yeraltı yapıları ve tünelcilik çözümleri olmaktadır. Ulaşım sektöründe karayolu ve demiryolu güzergâhlarının bir kısmının, metro projelerinin ise büyük bir bölümünün tüneller ile yeraltından geçirilmesi bu çözümler içerisinde yer almaktadır. Kaya mekaniğinde ve zemin mekaniğinde yapılan araştırmalar klasik tünelcilik anlayışını değiştirmiş, yaklaşık yetmiş yıldır birçok projede başarılı bir şekilde uygulanmış olan Yeni Avusturya Tünel Açma Yönteminin (NATM) doğmasını ve sürekli gelişmesini sağlamıştır. Eski sistemlere göre daha uygulanabilir ve denetlenebilir olan bu sistemlerin modellenmesinde ve çözümlenmesinde çeşitli bilgisayar programlarından yararlanılmakta, böylelikle sonuçlara daha hızlı ve doğru şekilde ulaşılmaktadır.

Bu çalışmada, İstanbul'da Çekmeköy ile Üsküdar arasında yapımı tamamlanan tünel güzergahı üzerinde, kil zeminde Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi - NATM ile inşa edilen makas ve peron tünelleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, öncelikle tünel güzergahının ilgili kesimleri jeolojik ve geoteknik açıdan değerlendirilmiştir. Yapılan sondajlar ve laboratuvar deneyleri sonuçlarına göre makas ve peron tüneli yerleşim alanında yer alan jeolojik birimler tanımlanmış, bu birimlere ait yerinde zeminlerin geoteknik parametreleri belirlenmiştir. NATM esasları gözetilerek inşa edilen bu tünellerin yapımı sırasında geoteknik ölçümlerle yapılmış, tünel içinde ve zemin yüzeyinde oluşan hareketler incelenmiştir. Analizler sonucunda, tünelin yapımı sırasında yüzeyde meydana gelebilecek oturmaların pratik amaçlar doğrultusunda tahmini için bir bağıntı elde edilmiş, önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Kontrol ölçümlerinden yola çıkarak yüzeyde meydana gelebilecek oturmaların tahmini için yeni bağıntılar oluşturulmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tünel, Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM), kaya kalite ve zemin sınıflamaları, geoteknik ölçümler



ESTIMATION OF SURFACE DEFORMATIONS OF TUNNELS OPENED WITH NATM IN CLAY SOILS

SUMMARY

Today; The contraction of urban areas caused by population growth and the construction of new settlements without slowing down makes it inevitable to use underground as well as above ground. The rapid developments in technology have led to the development of methods and solutions applied in the construction sector. One of the most effective areas of these developments is underground structures and tunneling solutions. In the transportation sector, tunneling of some of the highway and railway routes and most of the underground projects through tunnels are among these solutions. Research in rock mechanics and soil mechanics has changed the understanding of classical tunneling and has led to the emergence and continuous development of the New Austrian Tunneling Method (NATM), which has been successfully applied in many projects for nearly seventy years. In the modelling and analysis of new methods of construction the use of computer aided design methods enabled to reach rapid and accurate solutions which made these new technologies more easily applicable and monitorable.

One of the major problems in developing and developed cities in the world and in our country is transportation problems in those cities. The construction of metro lines, which is one of the most effective solutions to these problems, has been continuing in recent years with an increasing acceleration in our country even though it is late. With the introduction of Taksim - 4.Levent metro in late 2000, the importance of the metro in public transportation was understood and in the following years, tram lines, which are referred to as light rail subway systems, were put into service.

After the construction of the subway, the Kadıköy-Kartal Metro, Başakşehir-Olympic-Kirazlı Metro, the extension of the existing subway lines and the tender process have been completed and the new subway lines have been rapidly growing. Construction of metro lines in Istanbul, especially in areas where construction is frequent, requires detailed and qualified research, examination and measurement. During urban tunnel excavations, the behavior of the ground and its effects on the superstructures are the most important issues to be considered in terms of metro constructions. In these studies, these two important issues were emphasized. Generally, Mining and Geological Engineers published studies on soil and rock behavior during tunnel excavations, while Civil Engineers worked on the behavior of superstructures during tunnel excavations. The aim of this study is to prepare two different sources and information that can be used for the next subway and tunnel projects by examining the two important subjects of Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro Construction and Electromechanical Works. The surface displacement values obtained as a result of the geotechnical measurements were compared with the results of the important people who have done studies on this subject, the differences between them were investigated, the factors that caused these differences were

investigated and finally, a new surface deformation proposal was proposed as a result of the displacement values obtained.

The aim of the study is to establish analytical and empirical methods for the estimation of surface deformations caused by different types of tunnel sections constructed within the scope of Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro Construction and Electromechanical Works project. As a result of the geotechnical studies, the determination of the engineering properties of the soils is blended with the physical position of the tunnel and to form a correlation as a result of the geotechnical measurements made during the construction.

Within the scope of ÜÇÇ Subway constructions, deformation measurements of T2, T3, P1 A and A2 type subway tunnels to be opened by NATM between S14 Dudullu and S15 Necip Fazıl Stations were examined and analytical and empirical correlations were formed depending on the physical location of the tunnel and the engineering properties of the ground. In the second part of the study, general information about tunnels, terms of tunnels and how to classify tunnels are mentioned. In the third part of the thesis, field and laboratory researches for the construction of tunnel projects are mentioned. In the fourth part of the thesis, rock quality and support classifications and soil classification methods which help in the design of tunnel constructions are summarized. In the classification of rocks, starting from the Terzaghi Rock Classification according to their historical order, the classifications frequently mentioned in the literature are mentioned. RQD, RMR, RSR, Q-Barton, GSI are the most commonly used classifications in Turkey. Information about the Unified Soil Classification System (USCS) and Highways Soil Classification System (AASHTO) is given. In the fifth section, tunneling with TBM and tunneling with NATM are mentioned. TBM and New Austrian Tunneling Method (NATM) are described. Stress conditions occurring in underground rock structures, history of NATM, principles of NATM, determination of NATM classification and support, consolidation and improvement methods in tunnels are explained. In the sixth part of the thesis, the empirical and analytical methods and the development of the geotechnical and mining experts that will be used to calculate the deformations will be mentioned. In the seventh section, surface displacements caused by tunnels opened with NATM on clay soils are mentioned. In this study, general information about Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro construction is given and the geotechnical measurement results are explained. These results are compared with the empirical methods described in the previous section and a new empirical deformation estimation method will be formed in accordance with these results. This method will be compared with the old methods and the differences between them will be examined. In the last chapter, the results are evaluated and discussed in accordance with the information obtained in the seventh chapter.

In this study, switch and platform tunnels constructed with New Austrian Tunneling Method - NATM on clay ground were examined on the tunnel route completed between Çekmeköy and Üsküdar in Istanbul. Within the scope of the study, firstly the relevant sections of the tunnel route were evaluated in terms of geological and geotechnical aspects. According to the results of the boring and laboratory tests, geological units in switch and platform tunnel settlement area were defined and geotechnical parameters of the soils were determined. During the construction of these tunnels, which were built according to NATM principles, geotechnical

measurements were carried out and the movements in the tunnel and on the ground surface were examined. As a result of the analysis, a correlation was obtained for the estimation of the settlements that may occur on the surface during the construction of the tunnel for practical purposes and compared with the previous studies. Based on the control measurements, new correlations were tried to be formed for the estimation of possible settlements on the surface.

Key Word: Tunnels, New Austrian Tunnelling Method (NATM), Rock and Soil Classification System, geotechnical measurements.





1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde, gelişmekte olan veya gelişmiş kentlerdeki başlıca sorunlardan biride o şehirlerdeki ulaşım problemleridir. Bu problemlerin en etkin çözüm yollarından biri olan metro hatlarının yapımına ülkemizde geç kalınmış olsa da son yıllarda artan bir ivmeyle devam edilmektedir. İstanbul'da, 2000 yılının sonuna doğru Taksim - 4.Levent metrosunun hizmete girmesiyle toplu taşımada metronun önemi anlaşılmış, sonraki yıllarda öncelikle hafif raylı metro sistemleri olarak tabir edilen tramvay hatları hizmete girmiştir. Metro inşaatları, 2010 yılından sonrada Kadıköy- Kartal Metrosu, Başakşehir - Olimpiyat- Kirazlı Metrosunun hizmete girmesi, var olan diğer metro hatların uzatılmasıyla ve ihale süreci tamamlanmış olup yapımına başlanılan yeni metro hatlarıyla hızlı bir şekilde büyümektedir. İstanbul'da metro hatlarının yapımı, özellikle yapılaşmanın sık olduğu bölgelerde detaylı ve nitelikli bir araştırma, inceleme ve ölçüm gerekmektedir. Şehir içi tünel kazıları sırasında zeminin davranışı ve üstyapılara etkileri metro inşaatları açısından dikkat edilmesi gereken en önemli konulardır. Yapılan çalışmalarda bu iki önemli konular üstünde durulmuş, genellikle Maden ve Jeoloji Mühendisleri tünel kazıları sırasında zemin ve kaya davranışları hakkında çalışmalar yayınlamış, İnşaat Mühendisleri ise tünel kazıları sırasında üst yapıların davranışları hakkında çalışmışlardır. Bu çalışmanın amacı da önemi belirtilen iki konunun, İstanbul'da yapımı tamamlanan Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro İnşaatı ve Elektromekanik İşleri kapsamında incelenerek sonraki metro ve tünel projelerine yardımcı olabilecek farklı kaynaklar ve bilgiler hazırlayabilmektir. Yapılan geoteknik ölçümler sonucunda elde edilen yüzey deplasman değerleri, daha önce bu konu hakkında çalışmalar yapmış önemli kişilerin sonuçlarıyla karşılaştırılmış, aralarındaki farklar irdelenmiş, bu farkların hangi etkenlerden kaynaklandığı araştırılmış ve son olarak elde edilen deplasman değerleri sonucunda yeni bir yüzey deformasyon önerisi getirilmiştir.

1.1 Amaç

Çalışmanın amacı, İstanbul'da hizmete açılan Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro İnşaatı ve Elektromekanik İşleri projesi kapsamında inşa edilen farklı tip tünel kesitlerinin sebep olduğu yüzey deformasyonlarının analitik ve ampirik yöntemlerle tahmini için bağıntılar oluşturmaktır. Yapılan geoteknik çalışmalar sonucunda zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi tünelin fiziki konumu ile harmanlanarak inşa sırasında okuması yapılan geoteknik ölçümlerin sonucunda bir bağıntı oluşturmaktır.

1.2 Kapsam

ÜÜÇ Metrosu inşaatları kapsamında S14 Dudullu ve S15 Necip Fazıl İstasyonları arasında NATM ile açılacak T2, T3, P1 A ve A2 tipi metro tünellerinin deformasyon ölçümleri incelenerek tünel fiziki konumuna ve zeminin mühendislik özelliklerine bağlı analitik ve ampirik bağıntılar oluşturulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde tünellerle ilgili genel bilgilere, tünel terimlerine ve tünellerin nasıl sınıflandırılması gerektiğine değinilmiş olup geoteknik ve madencilik konusunda uzman kişilere göre sınıflandırmalara örnek verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde tünel projelerinin oluşturulması için yapılan saha ve laboratuvar araştırmalarına değinilmiş, yapımı tamamlanan ÜÜÇ Metro İnşaatının arazi araştırmaları ve zemin profilinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar kısaca açıklanmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde tünel inşaatlarının projelendirilmesinde yardımcı olan kaya kalite ve destek sınıflamaları ile zemin sınıflandırma yöntemleri özetlenmiştir. Kayaçların sınıflandırılmasında, tarihsel sıralamasına göre Terzaghi Kaya Sınıflamasından başlamak üzere literatürde üzerinde sıkça durulan sınıflamalara değinilmiştir. RQD, RMR, RSR, Q-Barton, GSI gibi ülkemizde gerçekleştirilen uygulamalarda en çok kullanılan sınıflamalar ayrıntılı olarak işlenmiştir. Zemin sınıflandırma sistemlerinden Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) ve Karayolları Zemin Sınıflandırma Sistemi (AASHTO) hakkında bilgiler verilmiştir.

Beşinci bölümde tünel açma yöntemlerinden tüm dünyada yaygın olarak tercih edilen iki farklı metot TBM ile tünel açılması ve NATM ile tünel açılmasından

bahsedilmiştir. TBM ve Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) ile tünel açılması tariflenmiştir. Yeraltı kaya yapılarında meydana gelen gerilme durumları, NATM'ın tarihçesi, NATM'ın ilkeleri, NATM sınıflandırmasının belirlenmesi ve tünellerde destekleme, sağlamlaştırma ve iyileştirme yöntemleri açıklanmıştır.

Tez çalışmasının altıncı bölümünde deformasyonların hesaplanması için kullanılacak geoteknik ve madencilik konusunda uzman kişilerin çalışmaları sonucu ortaya çıkan ampirik ve analitik yöntemlerden ve bunların gelişimlerinden bahsedilecektir.

Yedinci bölümde ise killi zeminlerde NATM ile açılan tünellerin neden olduğu yüzey deplasmanlarından bahsedilmiş. Bu çalışmada kullanılan verilerin alındığı Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro inşaatı hakkında genel bilgiler verilerek, geoteknik ölçüm sonuçları açıklanmıştır. Bu sonuçlar bir önceki bölümde tariflenen ampirik yöntemlerle karşılaştırılmış ve bu sonuçlar doğrultusunda yeni bir ampirik deformasyon tahmin yöntemi oluşturulacaktır. Ortaya konan bu yöntem eski yöntemlerle karşılaştırılarak aralarındaki farklar incelenecektir.

Son bölümde ise yedinci bölümde elde edilen bilgiler doğrultusunda sonuçlar değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.



2. TÜNELLER

Tünel, yer altında yapılacak kazı ile istenilen kesitte boşluk oluşturulması ve desteklenmesi ile inşa edilen yapay yeraltı yapıları olarak tanımlanırlar. Ulaştırma amacıyla yapılan ve her iki ucu zemin yüzeyine açılan, dışarıyla bağlantılı olan hafredilmiş yapay yeraltı geçitleri olarak da tanımlanabilirler. Ulaştırma amacıyla yapılan tünel tanımında sadece karayolu tüneli, metro tüneli gibi trafik ulaşımı düşünülmemelidir ayrıca baraj derivasyonu, kanalizasyon gibi su ve malzeme iletimini yer altından daha kısa veya amaca uygun olarak istenilen bir yolla sağlanması da anlaşılmalıdır. Tüneller, insan veya malzemenin zaman, emniyet ve ekonomik açıdan yararlı şekilde en kısa yoldan iletiminin sağlanması için inşa edilirler (Yıldırım ve Gökaşan, 2013).

Tüneller diğer inşaat mühendisliği yapılarına benzemezler. Binalarda ve köprülerde, yapı malzemelerinin özellikleri tanımlanıp test edilebilir. Oysa bir tünel yapısında, genellikle püskürtme beton ve çelikten oluşan destek sistemlerine ihtiyaç duymasına rağmen hem yük hem de destek rolünü üstlendiği için bu yapının en önemli parçası zemindir. Başarılı bir yapı inşaatı için malzemenin dayanım ve stabilite karakterlerini iyi bilmek gerekmektedir. Zemin, tünel inşaatında ki en önemli malzeme olduğu için dayanım ve stabilite karakterlerini belirlemek için üzerinde yaptığımız saha araştırmaları ve laboratuvar deneyleri için alınan sondaj örnekleri, zeminin bütününe göre çok küçük bir parçasında uygulandığından maalesef sonuçları yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, yapılan testlere göre ilgili zemin koşulları ve ilişkili özelliklerini belirlemek geoteknik mühendislerine kalmıştır. Malzemenin küçük bir kısmının test edip az bilgiyle yorumlamak ve değerlendirmek tecrübe istemektedir. Çizelge 2.1 üst yapı inşaat projelerine göre tünel tasarımı ile ilgili bazı sorunları göstermektedir (Chapman ve diğ, 2010).

Mimari açıdan tünel, boyut ve biçimi ile kullanım ve görsel nitelikleri amaca göre tanımlanmış, içinden geçilebilen oyulmuş bir mekândır. Bu yaklaşımda çevre kayaçları, ortam koşulları ve değişkenleri dikkate alınmamakta, çoğu kez taşıyıcı sistemler ve diğer teknik öğeler ile de doğrudan ilgilenilmemektedir.

Maden mühendisliği açısından tünel, içi boşaltılması (kazılması) gereken bir yeraltı açıklığıdır. Tünel, bu kazı işlemleri sırasındaki desteklemenin (tahkimat), üretim ve imalat için gereken nakliye, havalandırma ve su atımı gibi çalışmaların yapıldığı bir yeraltı geçiştir.

Çizelge 2.1: Tüneller ve üst yapı inşaatı projeleri arasında karşılaştırma.

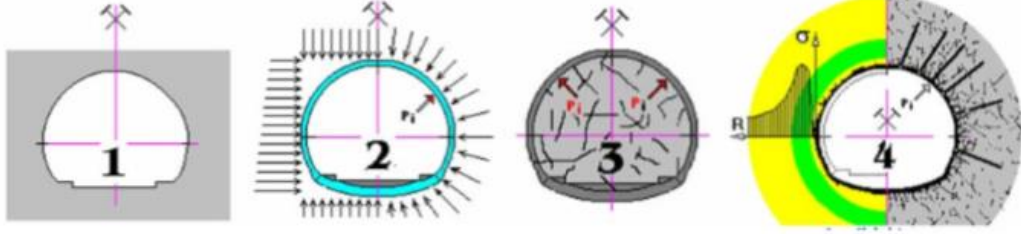
	<i>Üst Yapı</i>	<i>Tünel</i>
<i>Yapı Malzemesi</i>	İnşaat malzemelerinin özellikleri kontrol testleriyle üretim aşamasında kalite kontrol prosedürleri tarafından onaylanmaktadır.	Zemin, yapı malzemesi olarak belirsiz ve genel olarak yetersiz özelliklere sahiptir. (Zemin iyileştirme çalışmalarına rağmen)
<i>Yükler</i>	Yapısal analiz gerçekleştirildiği için yükler çoğunlukla bilinmektedir.	Sadece tahminler yaparak yükleri belirlemek mümkün değildir. Bunun anlamı yükler varsayıma dayanmaktadır ve net değildir.
<i>Güvenlik</i>	Yapı malzemesinin, özellikleri ve yükleri belirli olduğu için inşaat güvenliği ile ilgili bir nicel faktör hesaplanabilir.	Yükler ve malzeme özelliklerine ilişkin belirsizliklerin sayısı nedeniyle tünel inşaatı güvenliği ile ilgili bir nicel faktörü hesaplamak mümkün değildir.

Madencilikte çevre kayaçları ve koşullarıyla ilgilenilmekle birlikte, temel hedef kazı-üretim verimliliği ve ilerleme hızı olduğundan, genelde yer değiştirmelerin küçük tutulması, konforun ve kalıcı stabilitenin sağlanması gibi beklentilerden uzaklaşmaktadır.

İnşaat mühendisliği açısından tünel, tanımlanmış olan yüklenme koşullarını karşılayan ve projesine uygun olarak dayanıklı ve nitelikli şekilde oluşturulması gereken bir taşıyıcı sistemdir. Bu yaklaşım tünellerin, içi boşaltılmış bir geçişin taşıyıcı iç ve dış kaplamaları olarak anlaşılmasına ve statik hesapların doğru olması koşulunun tünelin yapımına yetebileceği anlayışına kadar varabilmektedir.

Geoteknik mühendisliği açısından tünel, çevre zemin ve kayaçlarıyla birlikte çalışan, kalıcı nitelikteki bütünleşik bir sistem, yer içi geçiş ve aktarma yapısıdır. Tam

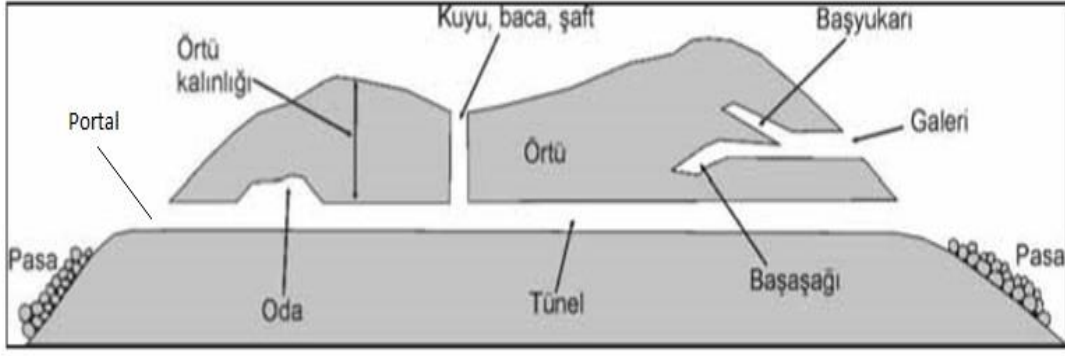
anlamıyla kullanım amacına uygun olarak hafredilirken oluşması beklenen deformasyonları karşılayabilecek yer altı yapılarıdır. Şekil 2.1’ de meslek gruplarına göre tünel şekilleri gösterilmiştir (Vardar, 2013).



Şekil 2.1: Çeşitli meslek gruplarında tünel tanımları (1) Mimari açıdan tünel, (2) İnşaat mühendisliği açısından tünel, (3) Maden mühendisliği açısından tünel, (4) Geoteknik mühendisliği açısından tünel (Vardar, 2013).

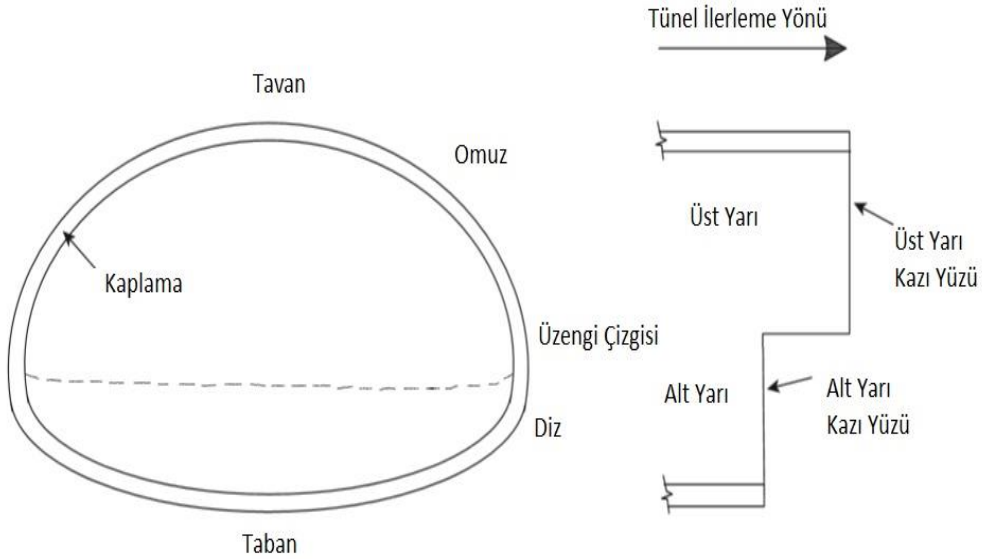
2.1 Tünellerde Kullanılan Terimler

Bir tünelde, tünel tavanından yeryüzüne kadar olan kısma örtü, kalınlığa örtü kalınlığı, tek tarafı açık kazıları ise galeri (adit) ismi verilir. Düşey olarak yapılan kazılara şaft, baca ya da kuyu, yukarı doğru eğimli yapılan kazılara başyukarı, aşağıya eğimli olanlarına baş aşağı, aynı tünel ya da galeride normal genişlik ve yükseklikten fazla kazılmış kısımlar oda olarak isimlendirilir. Kazılarda kazı sonunda çıkan artık malzemeye pasa, yol güzergâhında bulunan tünellerin giriş ve çıkış yüzlerine portal denir. Tünele paralel veya dik olarak kazılmış araştırma ve yardım amaçlı galeriler ve şaftlar, inşaat sırasında ve sonrasındaki araştırma, ana tünelin değişik kısımlarına kısa zaman ve mesafeden ulaşma, emniyet bakım ve tahliye işlemleri ile malzeme veya havalandırma ihtiyaçları için kullanılırlar (Şekil 2.2). Tünel ya da galerinin en kesiti göz önüne alındığında kazı boşluğunun alt kısmı taban (invert), üst kısmın tavan (kemer) olarak adlandırılır. Yan kısımlarda tavan kısmına yakın olan bölüme omuz (sırt), taban kısmına yakın olan bölüme diz denir. Omuz ile diz bölgesinin birleştiği kısma üzengi, üzengileri birleştiren çizgiye üzengi çizgisi, üzengi düzeyi ile tavan arasında kalan kısma üst yarı, üzengi düzeyi ile taban arasındaki kısma alt yarı denir.



Şekil 2.2: Bir tünelin başlıca kısımları (Ertunç, 2003).

Tünel çalışması sırasında bir kerede açılan tünel uzunluğuna ise ano denmektedir (Şekil 2.3). Ano, geniş kapsamda; istinat duvarları, galeri veya kuyularda beton, betonarme, taş duvar veya kemer inşaatlarında meydana gelebilecek deformasyonların tüm tahkimatı etkilemesini önlemek ve deforme olan kısımların kolay tamir edilebilmesini sağlamak için söz konusu tahkimatın bloklar hâlinde inşa edilen kısımları olarak tanımlanmaktadır. Ano, kazı yapılan kayacın özelliğine, uygulanan kazı yöntemine bağlı olarak değişkenlik gösterir (Yıldırım ve Gökaşan, 2013).



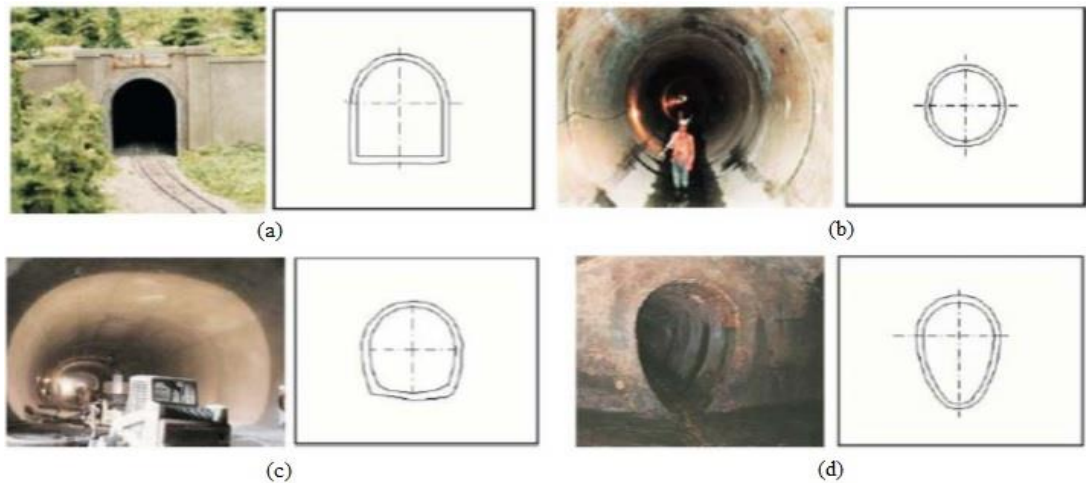
Şekil 2.3: NATM P Tipi bir tünelin en kesiti ve çeşitli kısımlara verilen isimler (Chapman ve diğ, 2010).

2.2 Tünellerin Sınıflandırılması

Günümüzde ileri teknoloji sayesinde geoteknik konularında gerçekleştirilen ilerlemeler, yeni tünelcilik yöntemlerinin, tünel şekillerinin hatta değişen ihtiyaçlara göre farklı kullanım amaçlarına hizmet eden tünellerin gelişmesine yardımcı olmuştur. Bu sayede artan tünel çeşitliliğini sınıflandırma gereği duyulmuş ve yaşanabilecek yanlış anlaşılmalara önüne geçilmiştir. Tünelleri enkesit şekillerine, yapım yöntemlerine ve yapım amaçlarına göre sınıflamak mümkündür (Öztürk ve Durmuş, 2008). Aşağıda bu sınıflandırmalarla ilgili genel bilgiler yer almaktadır.

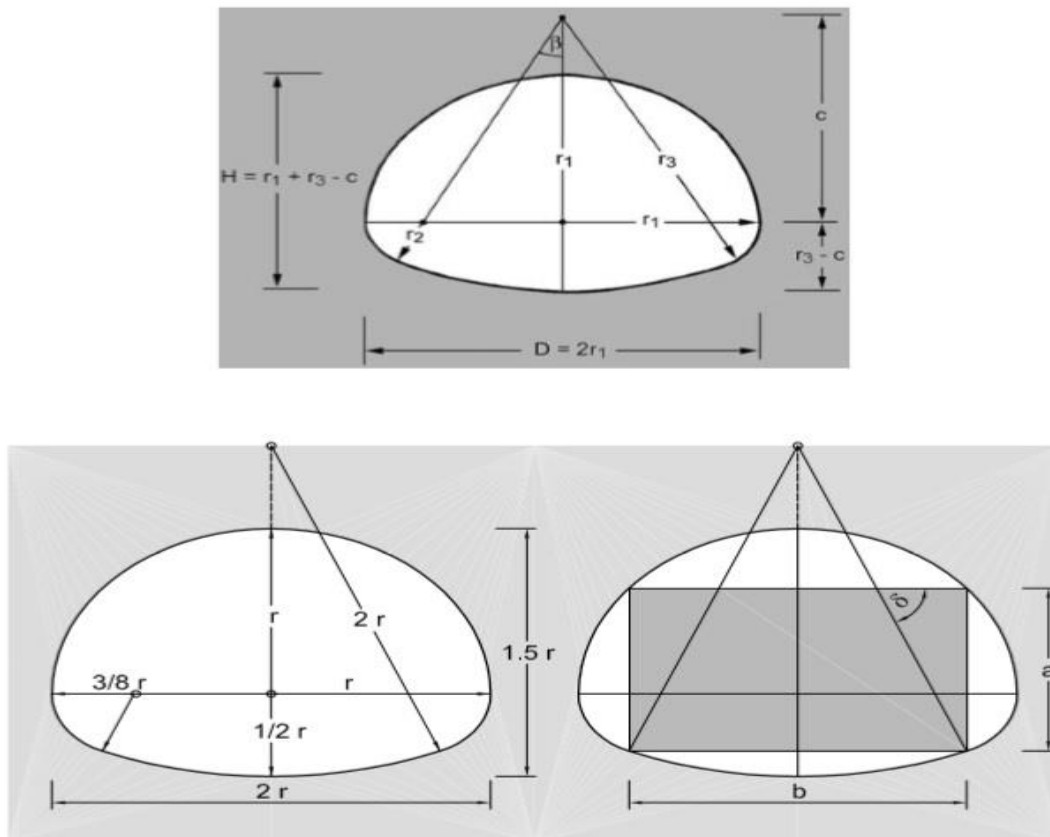
2.2.1 Enkesit şekillerine göre tüneller

Tünellere ilişkin enkesit tipleri bunların üzerinde bulundukları ulaşım yolunun cinsine ve bu yol zemininden gelecek etkilere göre değişmektedir. Bunlar kaya ortamlarda genellikle enkesitleri dairesel kemer ve iki düşey yan duvardan oluşacak şekilde inşa edilmektedir (Şekil 2.4 a). Yumuşak zeminlerde açılan tünellerin ise yatay basınçları karşılayacak en kesitlere sahip olması gerekmektedir. Bu tür zeminlerde açılan tünel enkesitlerinin tam daire veya nal şeklinde olması tercih edilmektedir (Şekil 2.4 b, c). Dairesel enkesitli tüneller teorik olarak iç ve dış kuvvetleri en iyi karşılayan tünellerdir. Diğer taraftan bunlar en küçük çevreyle en büyük enkesite de sahip olmaktadır. Ancak bu üstünlükleri yanında bazı sakıncaları da mevcuttur.



Şekil 2.4: Tünel enkesit örnekleri. (a) Dairesel kemer ve iki yan düşey duvardan oluşan kesit, (b) Tam daire kesit, (c) Nal tipi kesit, (d) Yumurta kesit (Öztürk ve Durmuş, 2008).

Tünellerin geometrileri genelde bir merkezden geçen daireler olabildiği gibi, birden fazla yayların bir araya gelmesinden de kesit oluşturulabilmektedir. Şekil 2.5’de bir tünel kesitine ait örnek boyutlandırma gösterilmiştir (Kolymbas, 2005).



10

Yeni bir tünel en kesiti oluştururken dikkat edilmesi gereken bazı kurallar vardır. Minimum yarıçap 1.5m den az olmamalıdır ($r_2 > 1.5m$). Bitişik eğrilik yarıçapı oranı 5'i aşmamalıdır yani ($r_1/r_2 < 5$) olmalıdır. İlk olarak r_1 , r_2 , r_3 değerleri kullanım amacına göre belirlenir. Uygulamada genellikle tünel yüksekliği ile genişliği arasında 3/4 oranı esas alınır (Kolymbas, 2005).

Uygulama amaçlarına göre tünel kesit alanları aşağıdaki gibi olmaktadır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2: Tipik tünel enkesit alanları (Kolymbas, 2005).

Tünel Tipi	Kesit Alanı (m ²)	Kesit Tipi
Kanalizasyon	10	Tam Daire, Yumurta
Hidroelektrik tünelleri	10 – 30	Yuvarlak, Dikdörtgen
Tek şerit karayolu	75	Nal, Dairesel kemer ve düşey yan duvar
Demiryolu (tek hat)	50	Nal, Dairesel kemer ve düşey yan duvar
Metro (tek hat)	35	Nal, Tam Daire
Hızlı tren (tek hat)	50	Nal, Tam Daire
Hızlı tren (çift hat)	80 - 100	Nal, Tam Daire

2.2.2 Kullanım amaçlarına göre tüneller

İnsanlık tarihinin ilk dönemlerinden günümüze kadar yapılan tünellerin birbirinden farklı amaçları olduğu gibi ortak özellikleri de olmuştur. İlk çağlarda insanlar tünelleri barınma, tapınma, ani baskınlardan kaçma yolları gibi o zaman ki yaşam şartlarına göre kullanmışlardır. Günümüzde ise özellikle ulaşım amaçlı olarak metrolarda, hızlı tren hatlarında, karayolu inşaatlarında. Ulaştırma amaçlı olarak yine başlıca karayolları inşaatlarında, su iletim tünelleri amacıyla herhangi bir kaynaktan alınan suyun büyük şehirlere ulaştırılması için, inşa edilmektedir. Hidroelektrik santrallerdeki cebri borular ve derivasyon tünelleri de bu sınıfa girmektedir. Bu tip tünellerde sular basınçlı ya da basınçsız olarak iletilmektedir. Aynı zamanda diğer enerji kaynaklarının (doğalgaz, elektrik vb.) iletilmesinde de kullanıldığı aşikârdır. Bunların dışında maden işletmeciliğinde maden cevherini yeryüzüne çıkarmakta, zararlı atıklar vb. ürünlerin depolanmasında, otoparklarda, korunma ve savunma

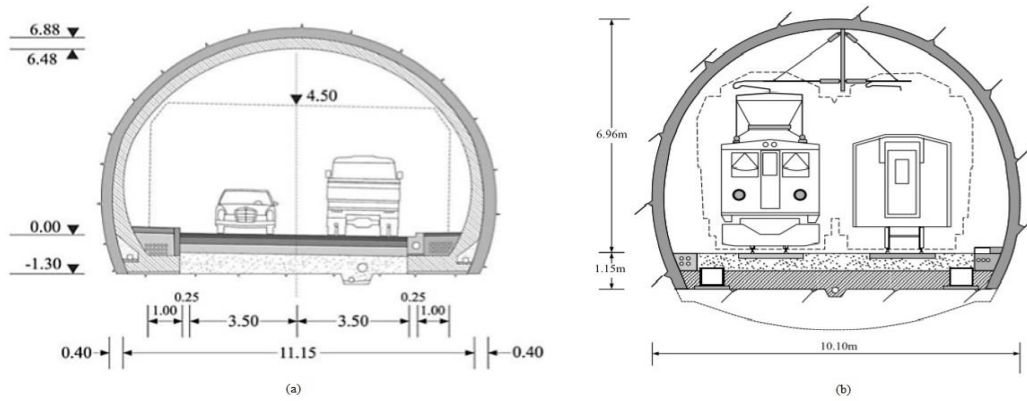
amacıyla yapılan sığınaklar içinde tünellerin kullanıldığı görülmektedir. Kullanım amaçlarına göre tünelleri sınıflandıracak olursak eğer;

- Barınak ve tapınak tünelleri (Şekil 2.6)
- Karayolu, demiryolu, metro ve su yolu gibi ulaşım tünelleri (Şekil 2.7)
- Maden galerileri
- Su iletim tünelleri (Şekil 2.8)
- Kanalizasyon ve kamu hizmet tünelleri
- Stokaj tünelleri (Şekil 2.9)
- Korunma ve savunma amaçlı tüneller (Şekil 2.10)
- Özel tüneller



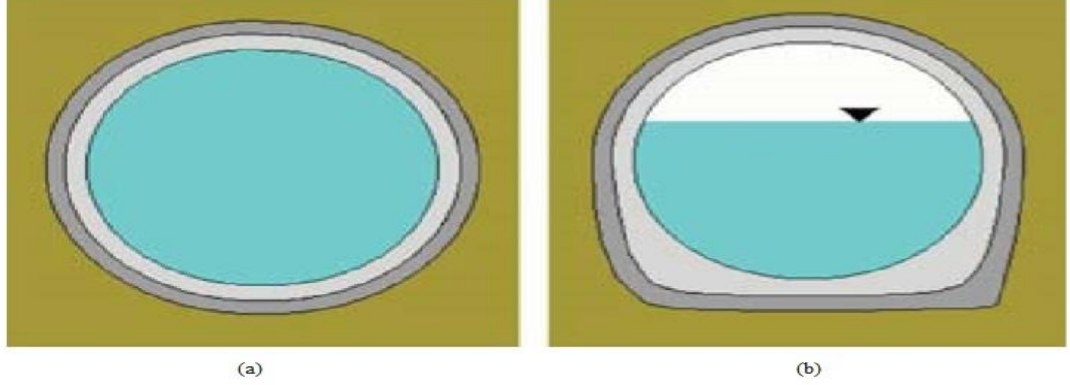
Şekil 2.6: Barınak (a) ve tapınak (b) tünelleri (Öztürk ve Durmuş, 2008).

Bu nedenle bu tür tünel kaplamalarının, etkiyen diğer yüklere ilaveten, iç basınçları da karşılaması gerekmektedir. Kanalizasyon ve kamu hizmet tünelleri, kanalizasyon tünelleri su iletim tünellerine benzemekle birlikte bunlarda genellikle cazibeli akış



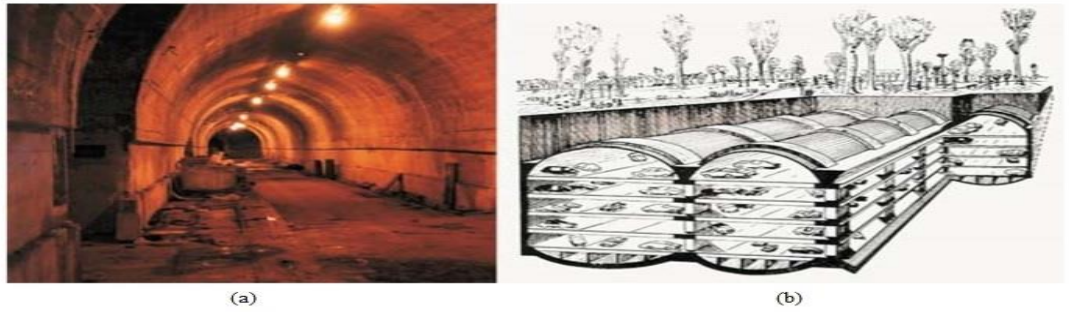
Şekil 2.7: Karayolu (a) ve demiryolu (b) tünelleri.

söz konusudur. Kaplamalarının tasarımı buna göre yapılmakta ancak dayanıklılıkları için kanalizasyon sularının tahrip edici etkilerine karşı gereken önlemlerin alınması gerekmektedir.



Şekil 2.8: Su iletim tünellerine ilişkin enkesit örnekleri. a) basınçlı, b) basınçsız (Öztürk ve Durmuş, 2008).

Elektrik, gaz, telefon ve diğer iletim borularını barındıran, herhangi bir arıza çıkması durumunda arızaya ulaşmayı kolaylaştırmak için inşa edilen tüneller hizmet tünelleri adıyla anılmaktadır. Stokaj tünelleri, yeraltı yapıları çeşitli malzemelerin, atıkların, radyoaktif maddelerin stok edilmesi için de kullanılmaktadır. Burada en önemli konu stok maddesinin özelliklerine göre gerekli önlemlerin alınmasıdır. Şekil 2.9’da tünel tipi bir mühimmat deposu ve otopark görülmektedir.



Şekil 2.9: Mühimmat için (a), taşıtlar için (b) örnek stokaj tünelleri (Öztürk ve Durmuş, 2008).

Korunma amaçlı tüneller, savaş tehlikesine karşı sivil halkı korumak için yapılan sığınaklar olarak kullanılmakla birlikte bu tip tünellerden önemli askeri üslerin korunması için de yararlanılmaktadır. Günümüz koşullarında ülkemizi daha iyi savunabilmek için bu tür tünellerin yeterli sayıda açılmasını belirtmekte katiyetle duraksamaya gerek bulunmamaktadır. Özel tüneller yukarıda belirtilen amaçlar

dışında yeraltı fabrikaları, istasyonları, santralleri gibi yapılar olarak inşa edilen tüneller özel tüneller adıyla anılmaktadır (Öztürk ve Durmuş, 2008).

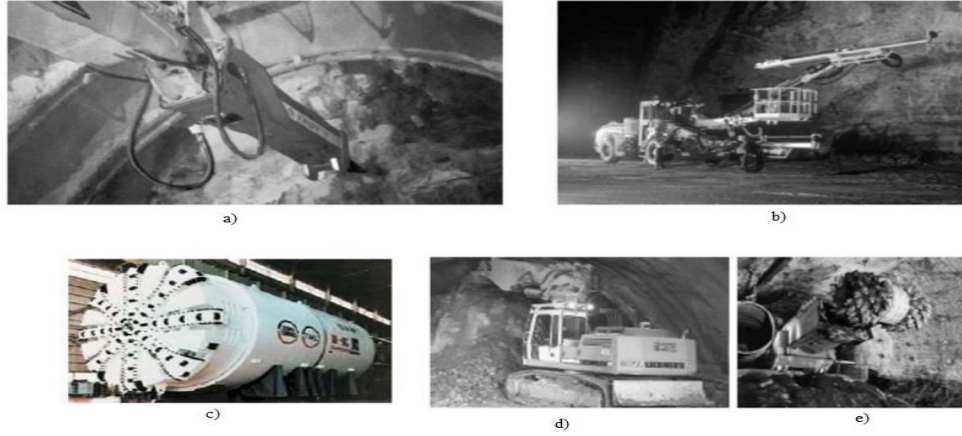
2.2.3 Yapım şekillerine göre tüneller

Tünellerin yapım yöntemleri açıldıkları ortamın durumuna göre sınıflandırılır. Yapım şekillerine göre tünelleri;

- Kaya ortamlarda açılan tüneller
- Zeminde açılan tüneller
- Su altında açılan tüneller

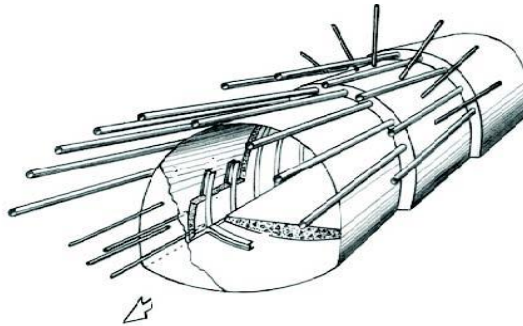
olarak 3'e ayırabiliriz.

Kaya ortamlarda inşa edilen tünellerde genellikle delme-patlatma yöntemi ya da değişik tipteki delgi aygıtları kullanılmaktadır. Kayanın kendini taşıyabilir özelliğe olması nedeniyle bu tip zeminlerde inşa edilen tünellerde, genellikle stabilite sorunlarıyla karşılaşmamaktadır. Klasik yöntem adıyla anılmakta olan delme-patlatmayla tünel inşası yüz yılı aşkın süredir önemli bir değişiklik yapılmadan hemen her türlü kayaç koşullarında kullanılmaktadır. Bu yöntemle tünel inşasında kararlaştırılmış bir plana göre önceden aynada patlayıcıların yerleştirileceği lağım delikleri açılmaktadır. Açılan deliklere daha önceden hesaplanmış miktarda patlayıcılar yerleştirilmektedir. Deliklerde bulunan patlayıcılar ateşlenmekte ve patlatmadan meydana gelen gazların giderilmesi için havalandırma yapılmaktadır. Düşme ihtimali olan kayaç parçaları düşürülmekte, gerekli durumlarda yeni açılan kısma iksa yapıldıktan sonra çıkan kazı malzemesi taşınmaktadır. Burada emniyetli ve verimli ilerlemenin sağlanması için patlayıcı maddenin cinsinin ve miktarının, lağım deliklerinin düzen ve derinliklerinin önemli olduğu belirtilmelidir. Diğer taraftan malzeme ve teçhizatın ucuzluğu, her türlü kayaç koşullarında kullanılabilirliği gibi üstünlükleri yanında ilerlemenin yavaş olması, aşırı sökülmenin önüne geçilememesi dolayısıyla da tünel en kesitinin aynen açılmasının mümkün olmaması, çevredeki kayaçları yumuşatması gibi sakıncalar bulunmaktadır. Tünel açma aygıtlarının geliştirilmesiyle tünel açımında yeni bir devir başlamış, bu aygıtlar sayesinde kazı hızı geleneksel yöntemlere göre artmıştır. Bu özel delgi aygıtlarıyla tünel açımını tam kesitte ve parçalı kesitte açım olmak üzere iki kısımda açabilirler. TBM tam kesitte tünel açabilirken; hidrolik kırıcılar, roadheaderlar parçalı kesitte çalışırlar (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Kaya ortamlarda tüneller için kullanılan araçlar: (a) Hidrolik kırıcı, (b) Jumbo, (c) TBM, (d) Eskavatör ve (e) Roadheader (Öztürk ve Durmuş, 2008).

Zemin içerisinde inşa edilecek olan tünellerde ise koşulların kaya ortamlara göre çok daha zor olduğu açıktır. Bu nedenle bu tür zeminler iyileştirme yöntemlerinden biriyle iyileştirilse bile bunlar tünellerin kazısının daha dikkatlice yapılmasını gerektirmektedir. Durum böyle olunca bu tünellerin inşasında kalkan, boru sürme, şemsiyeleme (Şekil 2.11) ve aç-kapa gibi yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Diğer taraftan yumuşak zeminlerde inşa edilecek tünellerin enkesit şekillerinin olabildiğince dairesel forma yakın seçilmesi kaplamalara gelecek çekme gerilmelerini asgari düzeye inmesini sağlamaktadır. Su altı tünelleri ise şantiyede üretilen tünellerin suya batırılıp tabana oturtulduktan sonra üzerleri örtülmek suretiyle ya da suda tabana oturtulmadan yüzer şekilde inşa edilmektedirler (Aktaş, 2009). Tünellerin sınıflandırılmasını genel olarak enkesit şekilleri, yapım



Şekil 2.11: Umbrella-arch (şemsiyeleme) destek sistemi.

yöntemleri ve yapım amaçlarına göre 3 başlık altında inceledik. Fakat daha birçok şekilde tünelleri sınıflamak mümkündür. Çizelge 2.3’de (Sinha, 1989) tünelleri kapsamlı bir şekilde sınıflandırmıştır.

Çizelge 2.3: Sinha (1989) göre tünellerin sınıflandırılması.

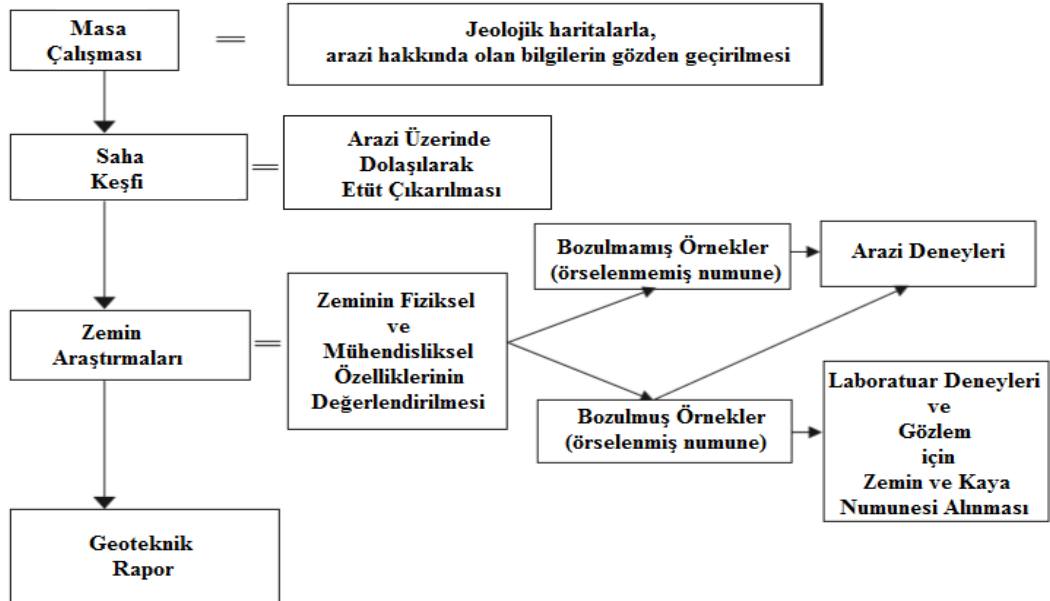
Sınıflandırma Türü	Tünel Tipleri			Sınıflandırma Türü	Tünel Tipleri
A. Derinlik	Sığ			D. Yapım Yöntemi	Klasik Yöntemler
	Derin				Del-Patlat
B. Kullanım Alanı					Köstebek
B.1 Ulaştırma	Yaya				Roadheader
	Karayolu				Aç-kapa
	Demiryolu				Batırma Tüp
	Metro			Dökme Beton kaplama	
B.2 Taşıma	Su Temini			E. İç Kaplama	Prekast Kaplama
	Kanalizasyon				Püskürtme Beton Kaplama
	Su Tahliye				Çelik Kaplama
	Su Alma Ağızları				Desteksiz
B.3 İletim	İletim Hatları			F. Dış Kaplama	Püskürtme Beton
	a.Telefon				Kaya Bulonu
	b.Kablo				Çelik İksa
	c.Elektrik Hatları			G. Akış Durumu	Serbest Akım
	d.Boru Hatları				Basınçlı Akım
B.4 Rekreasyon	Yüzme Havuzları			H. Uzunluk	Uzun
	Oyun Merkezleri				Orta Uzunlukta
	Yeraltı Kültür Merkezleri				Kısa
	Spor Salonları			I. Eğim	Düz
B.5 Madencilik	Ulaşma				Dik
	Taşıma				Az-Eğimli
B.6 Savunma	Sığınaklar			K. Güzergah	Düz
	Komuta Merkezleri				Kurpta
C. Zemin Durumu	Sert	Yumuşak		Karışık	

3. TÜNEL PROJELENDİRME ARAŞTIRMALARI

Yeraltı, içinde birçok beklenmeyen sürprizler saklayabilen çok büyük bir bilinmeyendir. Bu nedenle tünel projelerinin inşaat çalışmalarına başlanılmadan bir takım çalışmaların yapılması sadece gereklilik değil ayrıca yaşanabilecek sorunların da önlenmesi açısından son derece önemlidir (Kolymbas, 2005). Yapılacak olan bütün araştırmalar birbiriyle bağlantılı olup sadece bir tanesinden çıkan sonuca göre hareket edilmemelidir. Bütün çalışmalar konu hakkında uzman mühendisler danışmanlığında değerlendirilmeli ve bir sonuç çıkartılmalıdır. Bu bölümde tünel tasarımı ve yapımında kullanmak üzere yapılacak çalışmalar incelenecektir. Bu çalışmaları 3 ana başlık altında toplayacak olursak;

1. Ön Araştırma
2. Ana Saha (Zemin ve Kaya) Araştırmaları
3. Yapım aşamasında ve sonrasında kontrol araştırmaları

Yapılan tüm araştırmalar bir biri ardına bağlantılıdır bu yüzden çok iyi belgelenmelidir. Tünel projelendirme aşamaları Şekil 3.1’de gösterildiği gibi bir takım basamaklardan oluşmaktadır (Chapman ve diğ, 2010).



Şekil 3.1: Tünel projelendirme basamakları.

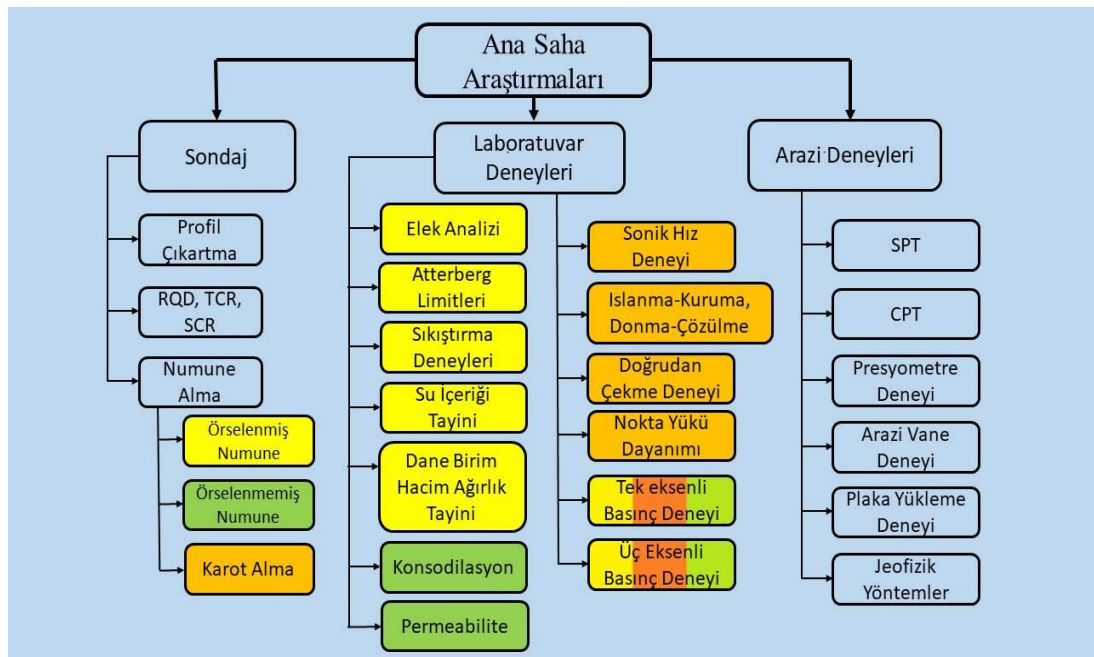
Tünel inşaatı yer altı özelliklerine bağlıdır. Bu yüzden saha araştırmaları, zemin karakterini ve geoteknik parametreleri belirlemek için hayati önem taşımaktadır. Zemin koşullarının bilinmesi, yapım tekniği ve tünel projesinin başarısında kilit bir rol oynar. Saha araştırmalarının, maliyet ve zamanlama açısından projenin sonuçlarına etkisinin farkına varmak önemlidir. Arazi araştırmaları, projenin zorlu aşamalarında daha kolay ve erken kararlar vermede önemli bir role sahiptir. Norveçli uzmanlara göre saha çalışmalarının yaklaşık maliyetinin yapı maliyetine oranı, basit tünellerde %1, depolama çukurları, tüneller, yeraltı yapılarında %3-4, özel projelerde ise %5-6'dır (Kolymbas, 2005).

3.1 Ön Araştırmalar

Masa başı çalışmalar ve saha keşif çalışmaları ön hazırlık araştırmaları olarak nitelendirilir. Ön hazırlık araştırmalarında odak noktası, projeye uygun arazi belirlemek ve üçüncü şahıslar da dikkate alınarak alternatif güzergâhlar oluşturup bu güzergâhları karşılaştırmaktır. Masa başı çalışmaları iyi yapılması, saha araştırmaları için çok önemlidir. Bu çalışmalarda, saha bütün yönleriyle incelenmelidir. Şu anda ki jeolojik durum, güzergâh üstünde ki yapılar, geçmiş dönemlerde ki jeolojik durum hepsi birden ele alınmalıdır. Saha araştırmaları ve proje yapımı sırasında karşılaşılabilecek tüm sorunların vurgulanması masa başı çalışmaları için atlanılmaması gereken konudur. Ayrıca bu çalışmalar, saha araştırmalarının bir sonraki adımlarında tünel tasarımına destek olacak lokasyon ve derinlik gibi mümkün olduğu kadar çok bilgi sağlamalıdır. Saha keşifleri, arazinin dolaşarak bilgi edinilmesi olarak da tanımlanabilir, tüm güzergâhın yürünerek dolaşılmasıdır. Bu sayede ileride yapılacak zemin araştırmaları planlamaları için mükemmel saha bilgisi detayları ortaya çıkabilir. Keşif çalışmaları; arazide bulunan altyapıları, proje çalışmalarından dolayı etkilenebilecek tarihi ve diğer yapıları, jeolojik durumu, güzergâh üstünde bulunan yapıların durumlarını, yeni başlayan ve mevcut haritalarda bilgisi olmayan çalışmaları ve beklenilmeyen tehlikelerin ortaya çıkarılmasını mutlaka içermelidir. Saha keşifleri çok yararlı bilgiler edinilmesini sağlar. İleri ki çalışmalar da yapılacak sondaj yerleri, arazi deneylerinin uygulanacağı bölgeler bu çalışmada alınan kararlar doğrultusunda seçilir. Keşiflerde her bilgi ve detay fotoğraflarla, eskizlerle, notlarla kayıt altına alınmalıdır (Chapman ve diğ, 2010).

3.2 Ana Saha (Zemin ve Kaya) Araştırmaları

Ana saha araştırmalarında ki amaç ise tünel tasarımı için gerekli parametrelerin inşaat metotlarıyla birlikte sağlanmasıdır. Tünel, çevresindeki zemin/kayaç ve tünel kaplamasından oluşan tamamen karma bir yapıdır. Etrafındaki zemin veya kayaç sadece yük değil aynı zamanda tünel kesiti sayesinde destek görevi de görmektedir. Zeminin destek görevi olmasaydı ekonomik tünel inşaatı mümkün olamazdı bu yüzden de tünel yapısının bütünleyici bir yapısıdır. Tünel yapısının stabilizesi hakkında karar verebilmek için hem tünel kaplaması malzemesi hem de tünel ortamını oluşturan zemin özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Zeminde ki faylanmalardan ve homojen bir yapıda olmaması sebebiyle, davranışı hakkında kesin bir yorum yapılamamaktadır. Geoteknik tasarım parametrelerinin belirlenmesi bu yüzden zor olsa da, laboratuvar ve arazi deneyleri sayesinde sınırlı da olsa bir takım fikirler elde edilebilmektedir. Çizelge 3.1’de (Chapman ve diğ, 2010) tünel tasarımına yardımcı olması için gerekli saha araştırmalarından bulunan olası parametreler verilmiştir. Sondaj çalışmaları, arazi deneyleri ve laboratuvar deneyleri bu aşamanın içeriğini oluşturmaktadır. Bu çalışmalar tek başlarına kesinlikle bir sonuç veremezler ve ortak değerlendirilmeleri gerekmektedir. Ana saha çalışmalarının genel gösterimi Şekil 3.2 de gösterilmiştir. Bu çalışmalara ek çalışmalarda yapılabilir.



Şekil 3.2: Ana saha araştırmaları.

Çizelge 3.1: Tünel tasarımına yardımcı olması için gerekli saha araştırmalarından bulunan olası parametreler.

Geoteknik tasarım parametreleri	Sembol	Birim	Tünel tasarımında ve yapımında kullanımı
Darbeli sondaj ile zemin tayini			Zemin cinsi tanımlaması
Karotlu sondaj ile kaya ve/veya zemin tayini			Zemin cinsi tanımlaması
Kaya kalite sınıfı			Zemin destek sınıflaması
Karot verimi ve karot formları (toplam karot verimi, sağlam karot verimi ve kaya kalite göstergesi)	TCR, SCR, RQD		Kayanın Zayıf veya sert olarak sınıflaması
Birim Ağırlık	γ	kN/m ³	Toprak basıncı
Kaba daneli zeminlerin rölatif sıkılığı	D_r		
Su muhtevası	ω		Zemin profili
Özgül Ağırlık	G_s	kN/m ³	Zemin cinsi
Plastiklik ve Likitlik İndisleri (likit limit, plastik limit, plastiklik indisi, likitlik indisi, kıvam indisi)	w_L, w_P, I_P, I_L, I_C	%	Zemin cinsi ve kohezyonlu zeminlerin dayanımı
Dane boyut dağılımı			Zemin sınıflandırması
Serbest Basınç Dayanımı	q_u	MN/m ²	Zemin ve kaya dayanımı
Nokta Yükleme dayanım indeksi	I_S	MN/m ²	Kaya dayanımı

Çizelge 3.1: Devamı.

Geoteknik tasarım parametreleri	Sembol	Birim	Tünel tasarımında ve yapımında kullanımı
Drenajsız kesme dayanımı	c_u, s_u	kPa	Kohezyonlu zeminlerin “drenajsız” kesme dayanımı
Efektif kesme dayanımı	c'	kPa	Kohezyonlu zeminlerin “drenajlı” kesme dayanımı
İçsel sürtünme açısı	ϕ'	°	Kohezyonlu zeminlerin “drenajlı” ve kohezyonsuz zeminlerin kesme dayanımı
Uç basınç	σ_u	Mpa	Kaya ve zemin karakterleri
Uç gerilme	ε_u		Kaya ve zemin karakterleri
Elastisite Modülü	E	Mpa	Dayanım
Drenajlı deformasyon Modülü	E'	Mpa	Sertlik
Poisson oranı	μ		
Yanal toprak basıncı kat sayıları (sükûnet, aktif ve pasif değerleri)	K_0, K_a, K_p		Yatay ve düşey gerilmeler
Permeabilite katsayısı	k	m/s	Su geçirimsizlik
Sülfat, pH, klorit içeriği	pH, SO_3 , Cl		Beton ve çelik duyarlılığı

3.2.1 Sondaj

Sondaj çalışmaları konusu çok derin bir konu olup günümüzde hemen hemen her mühendislik sektöründe kullanılmaktadır. Petrol sondajları, su sondajları, zemin etüt sondajları, enjeksiyon sondajları ve maden sondajları bu sektörler arasındadır. Saha araştırmaları kapsamında sondajlar zemin profillerinin çıkartılmasında, kaya kütle sınıflamalarında kullanılan RQD, TCR, SCR değerlerinin bulunmasında ve karot numunelerin alınmasında kullanılırlar. Aynı zamanda sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş örneklerden laboratuvar deneyleri yapılabilmektedir. Zeminden örnek alma tekniği örnekten istenilen niteliğe ve örneğin alınışı sırasında zemin cinsine bağlı olarak olabilecek örselenme derecesine bağlıdır. Örnek alma konusunda unutulmaması gerekli önemli bir konu zemin kitlesinde davranışın zayıf zonlar ve süreksizliklerce belirlenebileceği, bu nedenle de kitleyi örnekeleyecek zemin örneklerinin alınmasının asıl amaç olduğudur. Elde edilecek örnekteki nitelik, örneğin daha sonra kullanılacağı laboratuvar deneyine uygunluğuna bağlı olup Alman sınıflandırmasına göre (Idel ve diğ, 1969) Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi 5 sınıf nitelikten söz edilebilir.

Çizelge 3.2: Örnek niteliği.

Nitelik	Güvenilir Biçimde Saptanabilecek Özellik
1. Sınıf	Sınıflandırma, su kapsamı, yoğunluk, dayanım, deformasyon ve konsolidasyon karakteristikleri
2. Sınıf	Sınıflandırma, su kapsamı, yoğunluk
3. Sınıf	Sınıflandırma, su kapsamı
4. Sınıf	Sınıflandırma
5. Sınıf	Tabaka sıralanışı

Bazı durumlarda örnek alma tekniği ne olursa olsun en çok 2. sınıf örnek alınabilir. Böyle durumlarda dayanım ve deformasyon için elde edilen parametrelerin yorumunda özen gösterilmelidir. Yukarıda ki sınıflamada 1 ve 2. sınıflar örselenmemiş, 3, 4 ve 5. sınıflar ise örselenmiş numuneler olarak adlandırılır. Gerçekte tam örselenmemiş numune almak olanaksız olup örselenmeye ve yoğrulmaya karşı bazı önlemler alınarak elde edilmiş örnekler örselenmemiş diye

nitelendirilir (Yıldırım, 2008). Şekil 3.3’de sondaj numunelerinin karot sandıklarında, kaya kalite sınıflandırmasında yardımcı olacak RQD, TCR ve SCR değerlerinin hesaplanması için istiflenmişlerdir.

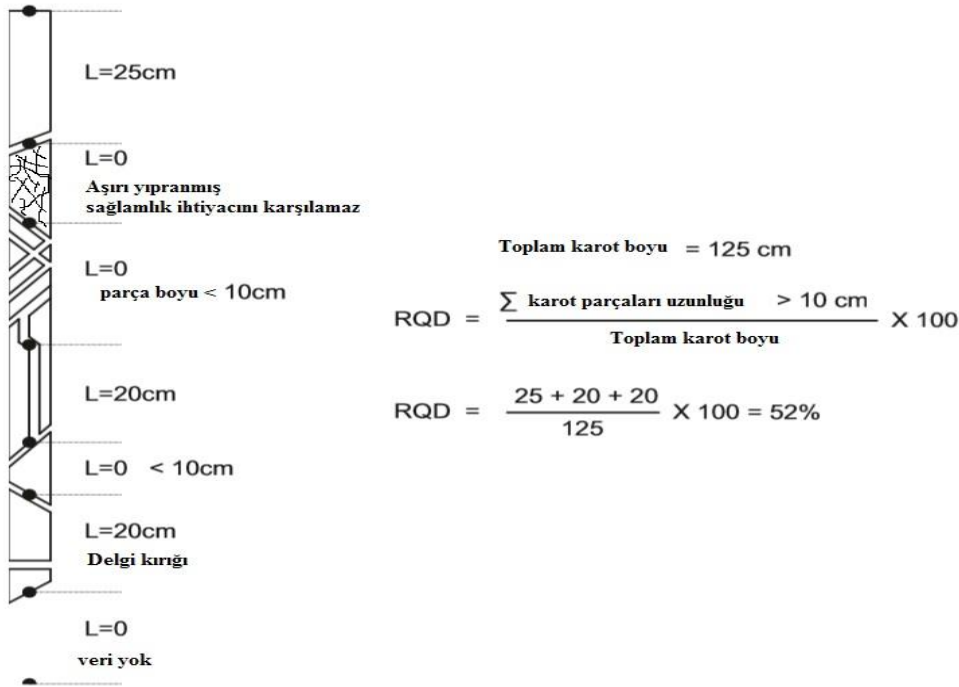


Şekil 3.3: Karot sandığı.

TCR (toplam karot verimi), bir ilerleme aralığında ki karot parçalarının toplam uzunluğunun ilerleme aralığının uzunluğuna oranının yüzde olarak ifadesidir. SCR (sağlam karot verimi), bir ilerleme aralığında silindirik şeklini (tam çapını) koruyarak alınmış karot parçalarının toplam uzunluğunun ilerleme aralığına oranının yüzdesel olarak ifadesidir. RQD (kaya kalite göstergesi), bir ilerleme aralığında doğal süreksizliklerle ayrılmış boyu 10 cm ve daha büyük olan silindirik şeklini koruyan kaya türü karot parçalarının toplam uzunluğunun ilerleme aralığının uzunluğuna oranının yüzdesel ifadesidir. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de bu değerlerin nasıl hesaplandığı gösterilmiştir. RQD değerlerinin değişim aralıkları esas alınarak, Deere (1964) tarafından kaya kalitesi tanımlamaları yapılmıştır (Çizelge 3.3) (Ulusay ve Sönmez, 2007).

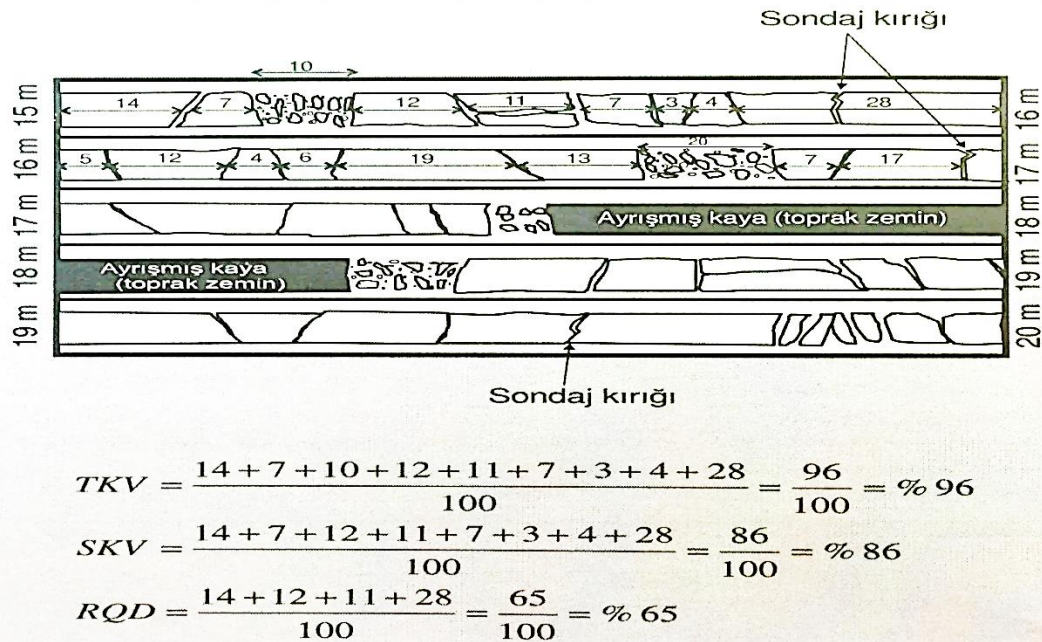
Çizelge 3.3: RQD sınıflaması (Deere, 1964).

RQD	Kaya Kalite Göstergesi
0-25	A. Çok Zayıf
25-50	B. Zayıf
50-75	C. Orta
75-90	D. İyi
90-100	E. Çok iyi (mükemmel)



Şekil 3.4: RQD hesaplanması (Ulusay ve Sönmez, 2007).

RQD hesaplanırken dikkat edilmesi gereken hususlardan bir tanesi de; Şekil 3.4’ de gösterilen ilk 20cm uzunluğunda ki ikiye ayrılmış parça gibi örneklerin hesaba katılmasıdır.



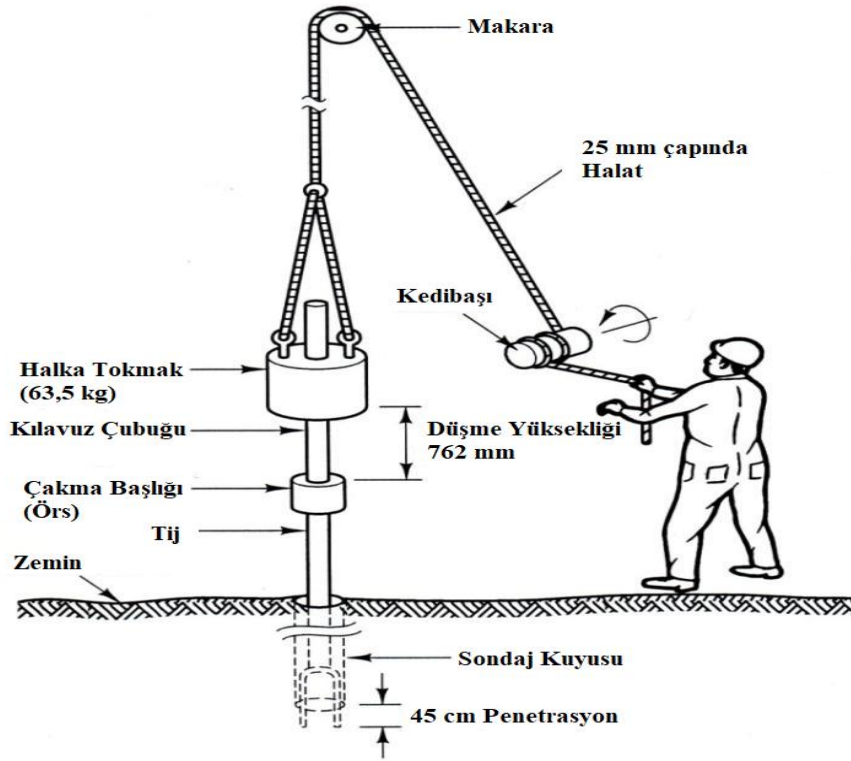
Şekil 3.5: RQD, TCR ve SCR hesaplanması (15m ~16m arası için) (Ulusay ve Sönmez, 2007).

3.2.2 Arazi deneyleri

Geoteknik problemlerde herhangi bir yapı nedeniyle olacak değişikliklerin önceden bilinmesindeki doğruluk, geoteknik özelliklerin doğru saptanmasına bağlıdır. Geoteknik mühendisliğinde, araziden çeşitli yöntemlerle numuneler alınmaktadır. Killi zeminlerde numune alma işlemi, daha kolay bir şekilde yapılabilmeyle birlikte, numune alma yöntemi ne kadar gelişmiş olursa olsun, alınan numunenin gerilme durumundaki değişme yüzünden tam örselenmemiş sayılamayacağı bilinmektedir. Ayrıca numune alma işlemi sırasında, çeşitli fiziksel etkiler nedeniyle az veya çok örselenme meydana gelmektedir. Örselenme etkisi ihmal edilse bile laboratuvarında üzerinde deney yapılan numunelerin, alındıkları tabakanın çok küçük bir parçasını temsil etmeleri nedeniyle, bu numuneler için bulunan özellikler, tüm tabakayı temsil etmeyebilir. Bundan dolayı mühendisler son yıllarda; yerinde deney tekniklerini, alışıla gelmiş laboratuvar deney tekniklerine göre daha fazla geliştirme çabası içerisinde. İlerleyen bölümlerde önemli arazi deneylerinden bahsedilecektir.

3.2.2.1 Standart penetrasyon deneyi (SPT)

Standart penetrasyon deneyi, arazi deneylerinin en eskisi ve ülkemizde en yaygın olarak kullanılan deneyidir. Kum zeminler için geliştirilmiş olan deney diğer zeminlerde yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Bu sebeple sadece fikir edinmek amacıyla sonuçlar toplanmalıdır. Terzaghi tarafından deneye standart sözcüğü eklenmiştir. Fakat deneyin bir çok dış etkeni olması sebebiyle standartlıktan uzaktır. Standart boyutta bir kaşığa standart enerji uygulaması (63,5 kg tokmağın 76,2 cm'den düşüşü) ve kaşığın zeminin içine 30 cm girmesini sağlayacak vuruş sayısı "N" sayılması ile yapılır. Bu SPT-N değeridir. Deney sondaj sırasında her 150 cm'de bir yapılır. Deneyin en olumlu yanı, çakma sırasında zeminin penetrasyon kaşığının içine dolarak o derinlik için örselenmiş numune sağlamasıdır. Deneyin yapılması için kuyunun dibi temizlendikten sonra kaşık indirilerek ilk 15 cm çakılmayı sağlayacak vuruş sayısı sayılır, ancak SPT-N değeri bunu izleyen 15+15 cm penetrasyonu veren ham değer olarak kabul edilir. Deney 30 m derinliğe kadar sürdürülebilir. SPT-N değerinin 50'den fazla olması ret olarak değerlendirilir. Deney çakıllı ve kayaç ortamda yapılmaz. ucu sertleştirilmiş çelikten kaşığı zemine 30 cm çakmak için gereken vuruşların (N) sayılmasıdır (Şekil 3.6).



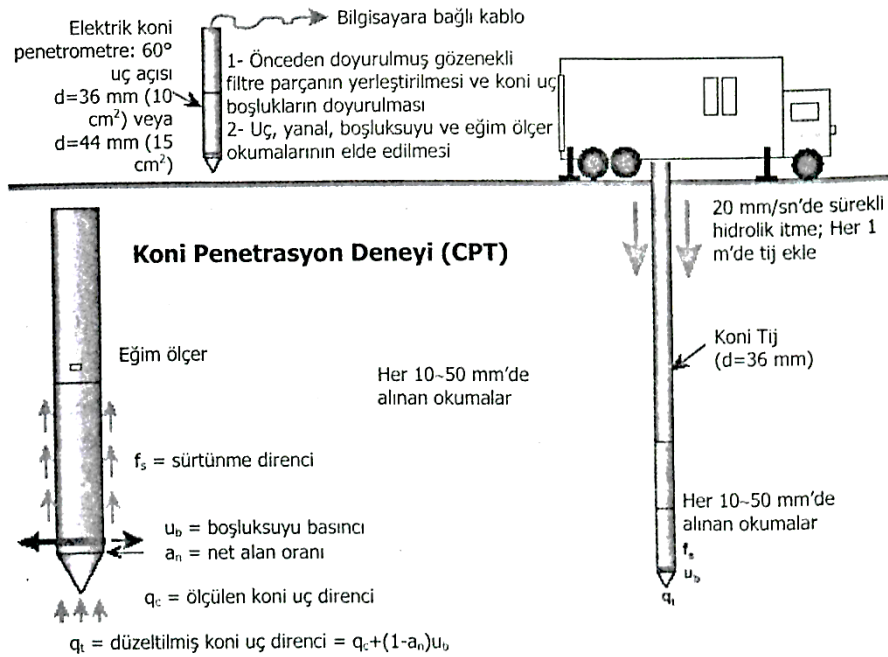
Şekil 3.6: SPT'nin yapılışı (Coduto D. P., Foundation Design).

Ham SPT-N değerinin şahmerdan tipi-verimi, kuyunun çapı, kaşık özelliği çubuk uzunluğu gibi özellikler için düzeltmesi ve standart enerjinin %60'ına indirgenerek normalleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca kumlarda ve siltlerde örtü yükü düzeltmesi yapılması gerekmektedir. Bu zeminlerde derinlikle beraber SPT-N değerlerinin çok yükseldiği görülmektedir. Bu yüzden okumaların bu örtü derinliği etkisinden arındırılması gerekir (Önalp, A.).

3.2.2.2 Koni penetrasyon testi (CPT)

Aslen Hollandalı koni penetrasyon testi olarak bilinen koni penetrasyon testi (CPT), bir toprak profilindeki malzemeleri belirlemek ve mühendislik özelliklerini tahmin etmek için kullanılabilecek çok yönlü bir sondaj yöntemidir. Test ayrıca statik penetrasyon testi olarak da adlandırılır ve bunu gerçekleştirmek için sondaj deliği gerekmez. Orijinal versiyonda, taban alanı 10 cm^2 olan bir koni yere yaklaşık 20 mm/s sabit bir hızda itilmiş ve penetrasyon direnci (uç direnci olarak adlandırılmıştır) ölçülmüştür (Şekil 3.7). Koni penetrometrelerce genellikle iki değer ölçülür. Uç direnci olarak adlandırılan (q_c), konik ucun batırılması için uygulanan düşey kuvvetin, uygulandığı bölgenin düşey izdüşümü alanına oranıdır. Çevre sürtünmesi (f_c) ise koniyi çevreleyen zeminin oluşturduğu sürtünme

direncinin koninin üzerinde yer alan özel bir kılıf sayesinde okunmasıyla bulunur. Sürtünme direnci, kılıfa uygulanan düşey kuvvetin, kılıfın yüzey alanına oranıdır. Bunlarla beraber boşluk suyu basıncı ile kayma dalgası hızı ölçümleri kullanılan CPT ekipmanına göre ölçümlenebilir. Bir çok zemin sınıfında uygulanabilir olan CPT, sıkı kumda da yumuşak kilde de uygulanabilir. Yalnız dane boyu büyük olan çakıllarda ve kayaç içeren zeminlerde kullanılması önerilmez. SPT' ye göre daha modern bir teknik olan CPT, sondaj kuyusu gerektirmemesi, hızlı ve sürekli ölçüm alınabilmesi, tekrarlanabilir olması, operatör etkisinin olmaması gibi bir takım avantajlara sahiptir. Fakat zemin numunesinin alınamaması, kalifiye elemana ihtiyaç duyulması dezavantajlarından sayılabilir. CPT'ler; Mekanik CPT, Elektronik CPT, daha gelişmiş olan piyezokon CPTu ve en gelişmiş olan sismik SCPTu olmak üzere dört tiptir. CPT'de; boşluk suyu, tabakalaşma, jeolojik gerilme düzeltmeleri yapılmaktadır (Brahja, D.).

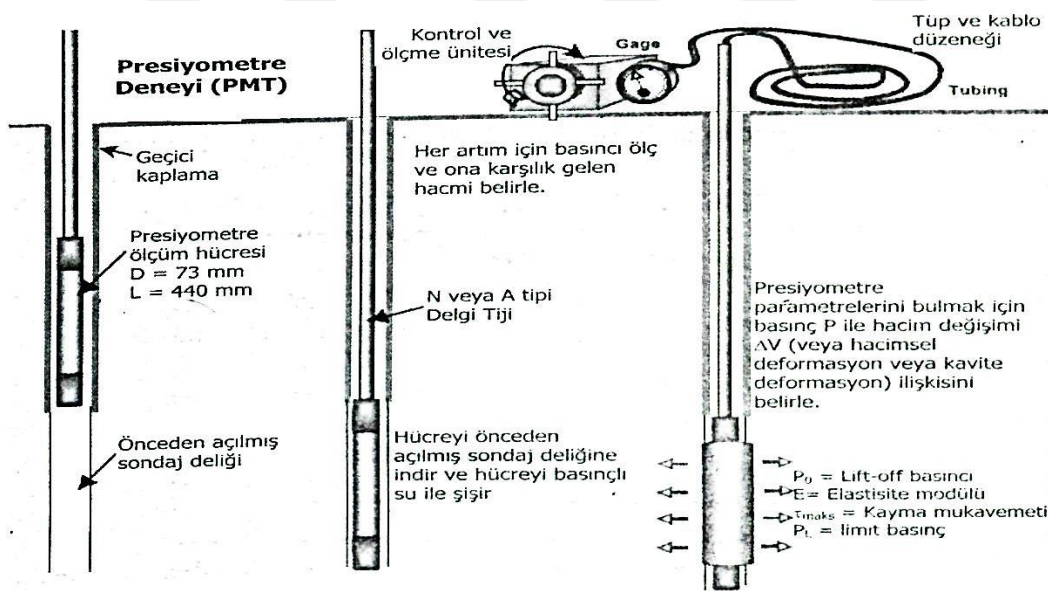


Şekil 3.7: CPT'nin ekipman ve uygulanması.

3.2.2.3 PMT

Presiyometre Deneyi (PMT) bir sondaj deliğinde gerçekleştirilen arazi testidir. Başlangıçta Menard (1956) tarafından toprağın gücünü ve deforme olup olmadığını ölçmek için geliştirilmiştir. Ayrıca ASTM tarafından 4719 sayılı Test Atama olarak kabul edilmiştir. Menard tipi PMT esasen üç hücreli bir sondadan oluşur. Üst ve alt

olanlar koruma hücreleridir ve orta olan, Şekil 3.8'de şematik olarak gösterildiği gibi ölçüm hücresidir. Test, probun nominal çapının 1.03 ila 1.2 katı olan bir çapa sahip önceden açılmış bir delik içinde gerçekleştirilir. En sık kullanılan prob, 58 mm çapa ve 420 mm uzunluğa sahiptir. Prob hücreleri sıvı veya gazla genişletilebilir. Koruma hücreleri, 535 cm^3 'lük bir hacme (V_0) sahip olan ölçüm hücresi üzerindeki son koşul etkisini azaltmak için genişletilir. Bir test yapmak için, ölçüm hücresi hacmi ölçülür ve sonda sondaj deliğine yerleştirilir. Artımlarla basınç uygulanır ve hücrenin yeni hacmi ölçülür. İşlem, zemin yenilinceye veya cihazın basınç sınırına ulaşılan kadar devam eder. Genişlemiş boşluğun (V) toplam hacminin orijinal boşluğun hacminin yaklaşık iki katı olduğu zaman, zeminin yenildiği düşünülmektedir. Testin tamamlanmasından sonra, prob söndürülür ve başka bir derinlikte test için ilerletilir (Brahja, D.).

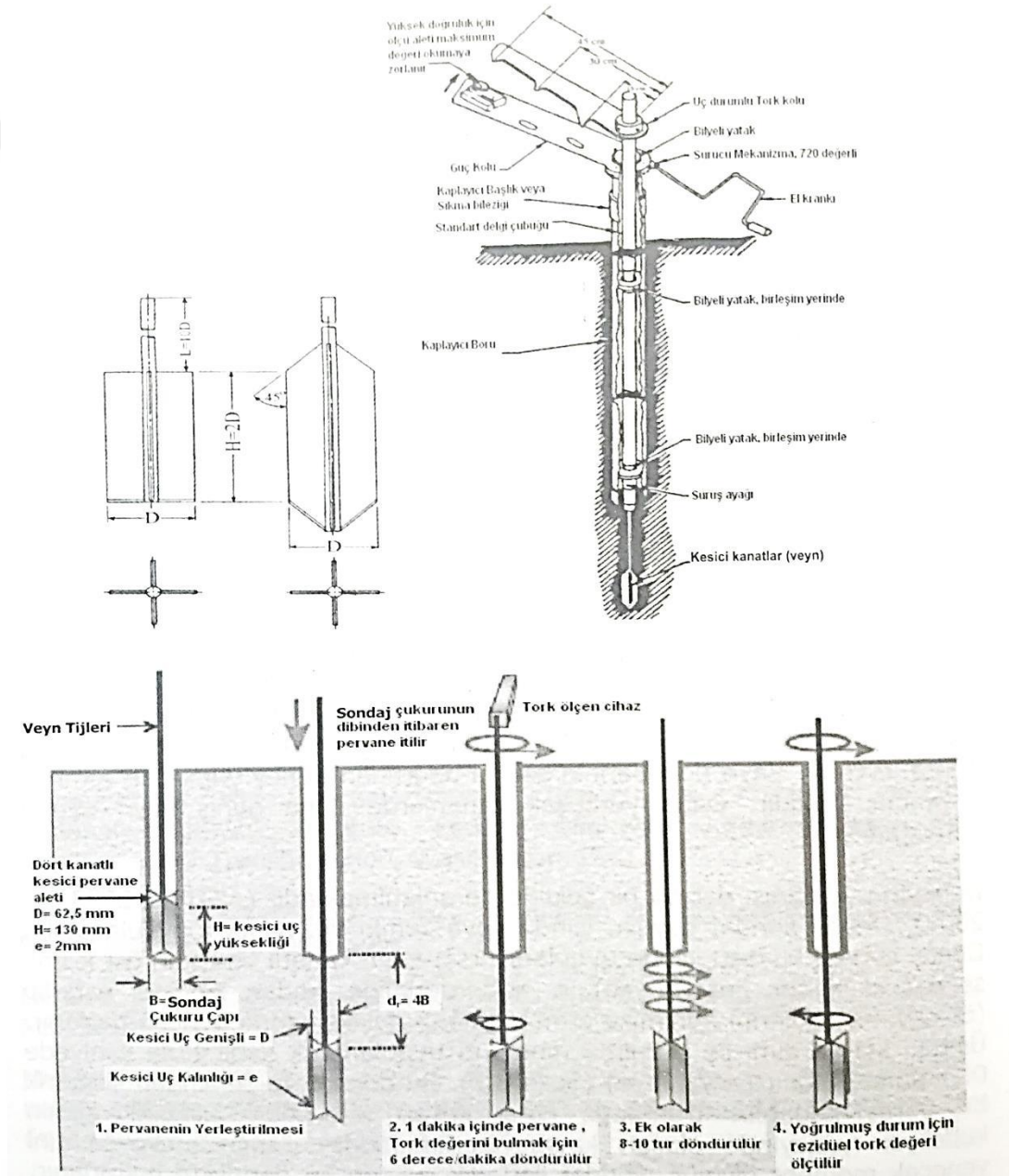


Şekil 3.8: PMT deney sistemi.

3.2.2.4 Arazi Veyn Deneyi

Kanatlı kesici olarak da bilinen FVT, zeminlerin drenajsız kayma mukavemetini doğrudan belirlemek için düzenli olarak 1 m aralıklarla uygulanan bir arazi deneyidir. Özellikle yumuşak killer için uygun olmakla birlikte katı kil ve siltlerde de kullanılmaktadır. Veyn aleti kesiti (+) şeklinde olan 4 kanatlı kesici bir uç, uzatma tij çubuğu ve döndürme kolundan oluşmaktadır. Kanatlı kesicinin yüksekliği (H), çapın (D) iki katıdır. Kanatlı kısım dikdörtgen şeklinde veya 45° 'lik açı ile sivriltilmiş biçimde olabilmektedir. Deneyin prensibi, zemin içine sokulan metal bir kanatlı

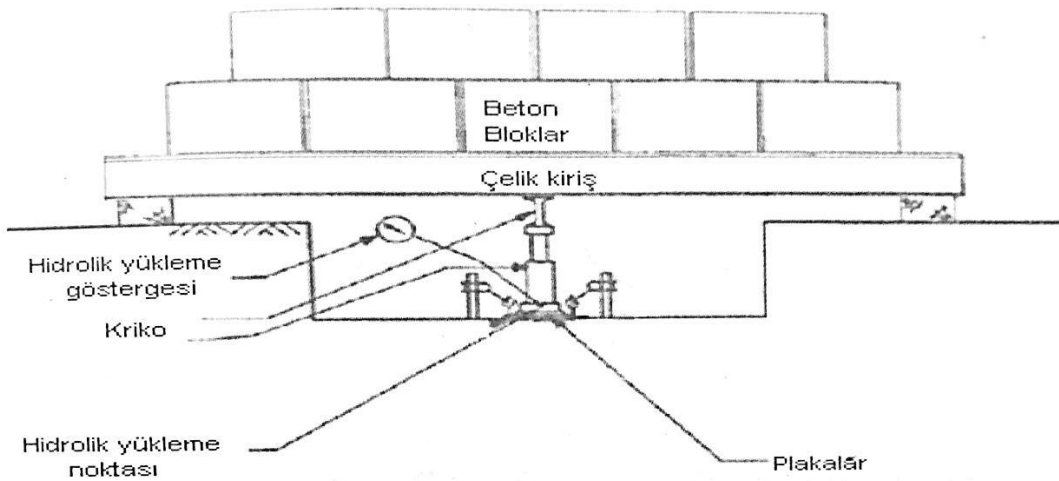
kesicinin döndürülmesine karşı zeminin gösterdiği dirençten kayma mukavemetinin belirlenmesidir. Deneyin yapılışı ve ekipmanları Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Standart Veyn'de $D=65$ mm, $H=130$ mm ve kesici kanat kalınlığı (t) = 2 mm boyutlara sahiptir. Bununla birlikte $D=38-92$ mm, $H=76-184$ mm, $t=1.6-3.2$ mm arasında değişmektedir. Veyn boyutlarının seçimi doğrudan deney yapılacak zeminin kıvamına bağlıdır. Daha yumuşak zeminlerde daha geniş veyn uygun olmaktadır. Arazi incelemelerinde hızlı ve ekonomiktir. Yumuşak ve orta katı killerde iyi, hassas killerin özelliklerini belirlemede mükemmel sonuç verir.



Şekil 3.9: Arazi Veyn deneyinin genel yapılış prosedürü ve deney ekipmanları.

3.2.2.5 Plaka yükleme deneyi

Plaka Yükleme Deneyi (PLT), bina temel ortamlarının özelliğini değerlendirmede kullanılan en eskideneylerden biri olup özellikle başarılı numune alımının zor olduğu yumuşak veya ayrıışmış kayalar, iri daneli zeminler ve mühendislik dolgularında uygulanır. Ancak yapılmasının sanıldığından daha zor olmasına rağmen taşıma gücünü doğrudan yansıtmaya özelliği nedeniyle mühendislerin rağbet ettiği bir deneydir (Şekil 3.10). Temellerin son güvenli taşıma gücünü bulma yanında, drenajsız kayma direnci ve deformasyon modülünün de ölçülebildiği plaka yükleme deneyi gerçek temelin geleceği çukur ya da kuyu dibinde standart boyutlu plakanın önceden belirlenmiş hız veya aralıklarla artan yüklere tabi tutulmasıyla gerçekleşir. Bu sırada plakanın oturması en az 0,01mm duyarlılıkla ölçülür. Deneyin yapılacağı çukur plaka çapının 4 katı genişlikte olmalıdır. Plaka çapı zeminin maksimum dane çapının altı katından az olmamalıdır. PLT iki şekilde yapılabilir. Birinci klasik yöntem, eşit aralıklı yük artışı yöntemi (ML) olup yaklaşık 10 adet eşit gerilme artışlarının zeminin türüne bağlı olarak aynı zaman aralıklarında yapılmasıdır. İkinci yöntem sabit penetrasyon hızlı deneydir (CRP). Killi zeminlerde drenajsız kayma direncinin bulunması amacıyla yapılır. Yükleme hızı ortamın geçirimsizlik katsayısı ve plakanın çapına göre ayarlanır. PLT sonucunda taşıma gücü, oturma, yatak katsayısı, elastisite modülü ve drenajsız kayma mukavemeti tahmin edilebilmektedir (Brahja, D.).



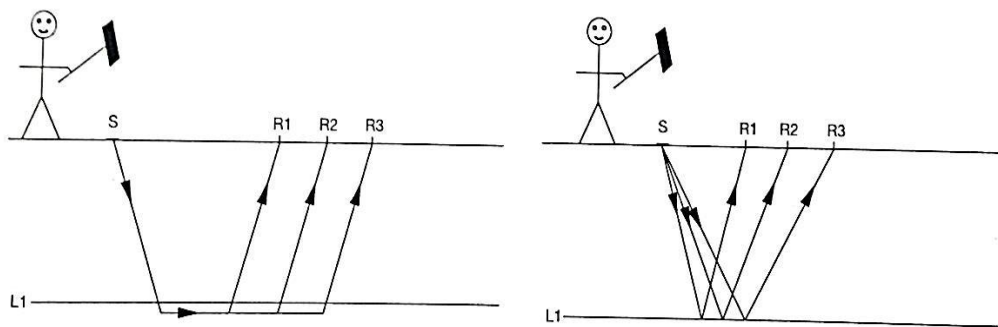
Şekil 3.10: PLT düzeneği.

3.2.2.6 Jeofizik Yöntemler

Jeofizik yöntemler geoteknik mühendisliği dışında özel bir uzmanlık işi olup alışılmış araştırma yöntemlerine göre daha kısa sürede ve ekonomik olarak jeolojik gözlemlerin yorumunda geniş alanları taramak için kullanılmaktadır. Yorumlamada yeterli sondaj verilerine göre değerlendirme gerekmektedir. Jeofizik yöntemleri, birçoğu iki tarafında fiziksel özelliklerin farklı olduğu kesimleri ortaya çıkarmaktadır. İki tabakanın sınırı, fay, yer altı yapısı, bir boşluk bu farklılığın ortaya çıkmasına neden olabilir. Fark belirgi değilse jeofizik yöntemin başarı şansı azalmaktadır. Bu yöntemler bazen zemin veya kayacın parametrelerini bulmakta kullanılırsalar da sonuçlar bu parametreler için doğrudan ölçümlerle karşılaştırılmalıdır. Elektriksel geçirgenliğin (rezistivite), yoğunluğun (gravite), ve şok dalga hızların (sismik) değişkenliğinin saptanmasına dayalı yöntemler geliştirilmiştir. Geçiş zonlarında belirsizlik başarıyı azaltmakta olup basit jeolojik yapılarda daha iyi sonuç alınmaktadır (Yıldırım, 2008).

a) Yüzey kırılma ve yansıma

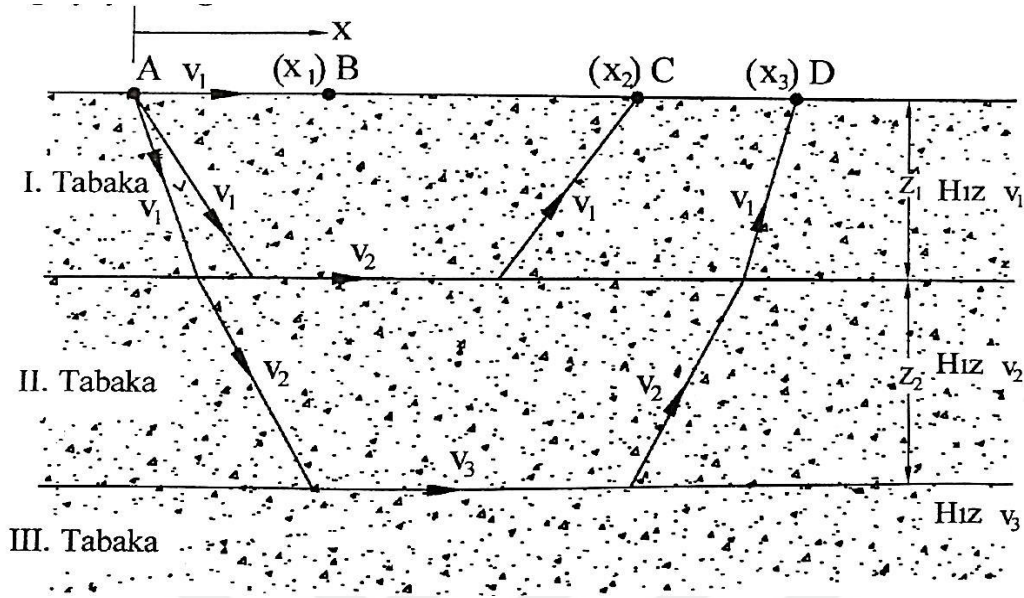
Zemin yüzeyinde elastik veya sismik dalgaların kaynaktan değişik uzaklıktaki alıcılar yardımıyla kayıt edilmesi temeline dayanır. Dalgalar 20 m derinlikte ki çalışmalara kadar çekiç yardımıyla oluşturulabilir. Daha derin araştırmalar için patlayıcılar kullanılabilir. Geofonlar genel olarak alıcı olarak kullanılır. Sismik dalgalar için iki yol mümkündür. İlki, dalga iki farklı zemin veya kayaç türü arasında kırılıp yol alabilir veya yansıyabilir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: a)Yüzey kırılma b)Yüzey yansıma

Kaynakla alıcılar arasında ki mesafenin ve dalga ulaşım süresinin bilinmesi ile dalga hızı bulunabilir bununla birlikte kırılma ve yansıma derinlikleri belirlenebilir

(Chapman ve diğ, 2010). Şekil 3.12’de yüzey kırılma yönteminde 3 tabakalı sistemde dalga yayılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.12: Yüzey kırılma yönteminde 3 tabakalı sistemde dalga yayılımı örneği (Yıldırım, 2008).

Değişik tabakalarda hızların saptanması zemin ya da kayaç cinsleri hakkında bilgi verebilmektedir (Çizelge 3.4) (Yıldırım, 2008).

Çizelge 3.4: Bazı formasyonlarda dalga hızları (Yıldırım, 2008).

Formasyon	Hız V(m/s)
Kum, kuru silt, ince daneli bitkisel zemin	200-1.000
Alüvyon	500-2.000
Sıkıştırılmış kil, killi çakıl, sıkı killi kum	1.000-2.500
Lös	250-750
Sleyt, şeyl	2.500-5.000
Kumtaşı	1500-5000
Granit	4.000-6.000
Sağlam kireçtaşı	5.000-10.000

b) Elektriksel direnç yöntemi

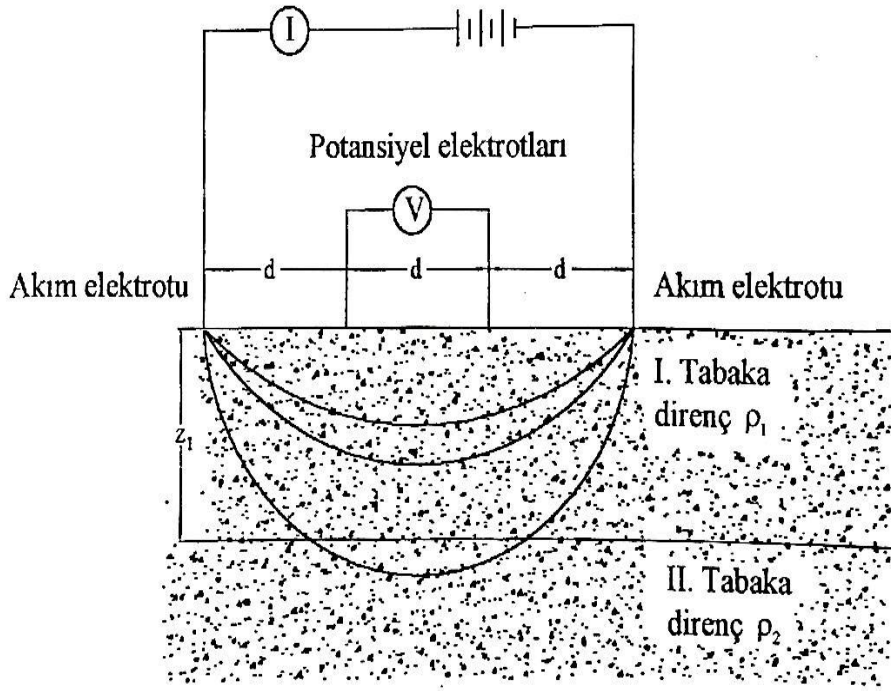
Bir kayaç veya zeminin elektriksel direnci, içerdikleri su kapsamı ve tuzluluğu ile değişmektedir. Boşluklar, süreksizlikler arttıkça elektriksel direnç azalmaktadır. Zemine girmiş iki akım elektroduna uygulanan 50-100 miliamper mertebesinde akım nedeniyle akım elektrodlarının içinde yer alan potansiyel elektrotlarında potansiyel fark ölçülür (Şekil 3.13).

Çizelge 3.5: Bazı zeminlerde elektriksel direnç değerleri (Yıldırım, 2008).

Zemin	Direnç (Ohm – m)
Kil - doygun silt	0-100
Killi kum	200-500
Kum	500-1.500
Çakıl	1.500-4.000
Ayrışmış kayaç	1.500-2.500
Marn	10
Islak kireçtaşı	10-100
Kuru kireçtaşı	10^5 - 10^7
Kumtaşı	500 - 10^5
Kuarsit	10^6 - 10^8
Alüvyon	10-800
Granit	10^3 - 10^6

c) Karşıt kuyu yöntemi

Karşıt kuyu yönteminde, bir kaynaktan çıkan cisim dalgalarının yatay olarak aynı seviyedeki bir veya daha fazla alıcıya ulaşması için gereken zaman ölçülmektedir. Şekil 3.14’de görüldüğü üzere bu yöntemde kaynak ve alıcı ayrı kuyularda aynı derinlikte yer almaktadır (Yıldırım, 2008).



Şekil 3.13: Elektriksel direnç yöntemi şeması (Yıldırım, 2008).

d) Aşağı kuyu yöntemi

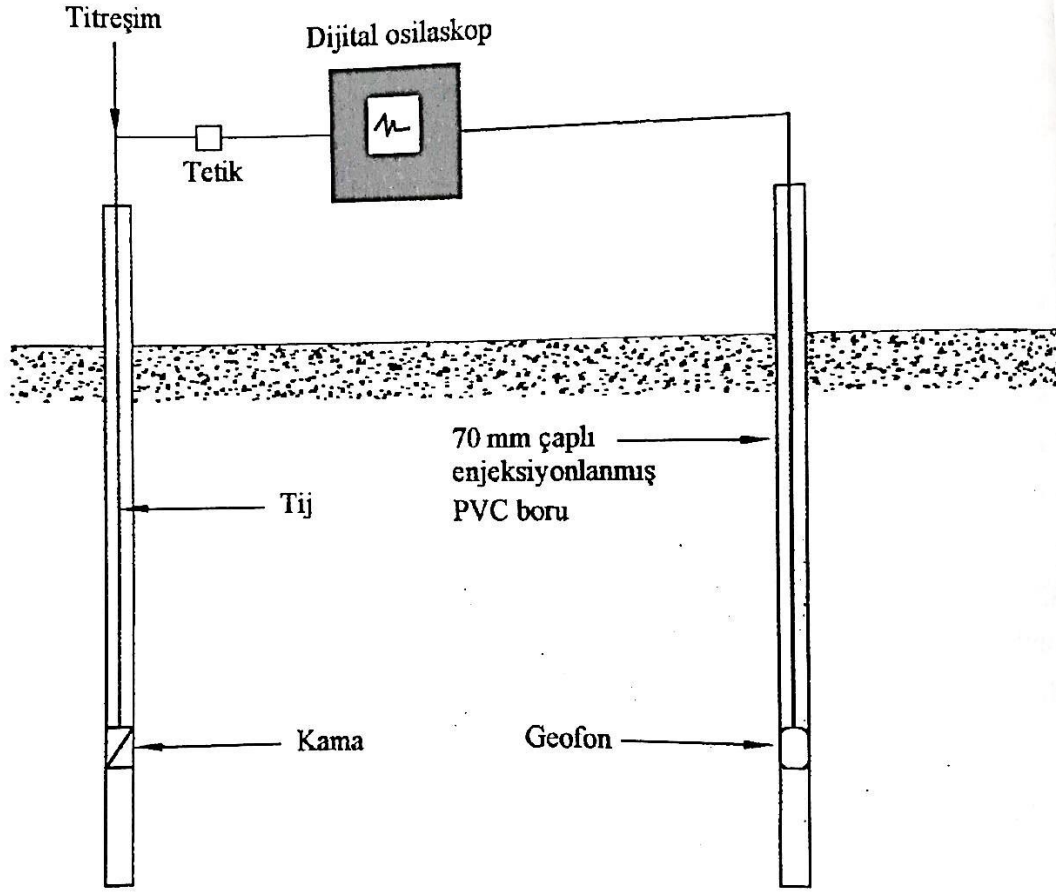
Aşağı kuyu yönteminde ise zemin yüzeyinde yer alan bir kaynaktan açığa çıkarılan sismik dalgaların, kuyu içinde bilinen bir derinlikteki alıcı veya alıcılara dikeye yakın olarak ulaşması için gereken zaman ölçülmektedir (Yıldırım, 2008).

3.2.3 Laboratuvar deneyleri

3.2.3.1 Birim hacim ağırlığı belirlenmesi

Zeminlere ait belirlenmesi gereken ilk ve önemli indeks özellik, zemine ait birim hacim ağırlık değeridir. Zeminler taneli bir yapıya sahip olup, taneler arası boşluklar; kısmen su ve hava ile dolu olabildiği gibi, suya doymun zeminlerde tamamen su, kuru zeminlerde ise tamamen hava ile doludurlar.

Birim hacim ağırlık; zeminin yer aldığı koşula bağlı olarak doğal, kuru, doymun, tane, batık(su altında) gibi değişik türlerden hesaplanabilirler. Genel bir tanımlama ile, zeminin ağırlığının hacmine oranına zeminin birim ağırlığı denir. Yaş zeminin kurutulduktan sonraki ağırlığının tüm hacmine oranına kuru birim hacim ağırlık, tane ağırlığının tane hacmine oranına tane birim hacim ağırlık denir (Yılmaz ve diğ, 2009).



Şekil 3.14: Karşıt kuyu yöntemi (Yıldırım, 2008).

3.2.3.2 Su muhtevasının belirlenmesi

Su muhtevası(ω), zeminin taneleri arası boşluklarında içerdiği su durumunu yansıtan bir terim olup, su ağırlığının kuru ağırlığa oranı olarak ifade edilir (Yılmaz ve diğ., 2009).

3.2.3.3 Dane Çapı Dağılımı

Zemin malzemelerin tane boyu dağılımı, iyi derecelenmiş ve iyi derecelenmemiş olarak tanımlanır. Mühendislikte iyi derecelenmiş bir malzeme heterojendir ve her tane boyundan az çok eşit oranda içermektedir. Zeminlerin tane boyutlarının saptanması, zeminlerin sınıflandırılmasında, üniformluk ve derecelenme katsayılarının belirlenmesinde, barajlarda çekirdek ve filtre malzemelerinin seçilmesinde vb. önemlidir. Ayrıca, bir zemindeki tanelerin yüzde miktarlarının belirlenmesi; zeminin diğer mühendislik özellikleri hakkında da önemli bilgiler

edinilmesini sağlamaktadır. Bu özellikler porozite, hidrolik iletkenlik, su tutma özellikleri, direnç dayanım özellikleri, vb. Herhangi bir zemin malzemesinin tane boylarının ve bu değişik boydaki tanelerin ağırlık oranlarını saptamak için yapılan çözümlemelere elek analizi denir. İri elek ve ince elek analizi olarak iki evrede yapılır Ayrıca kil ve silt boyu tanelerinin saptanması için de yaş çözümleme (hidrometre analizi) yapılır. Elek ve hidrometre analizi sonucunda malzemeyi oluşturan değişik boylardaki tanelerin ağırlık olarak yüzde miktarları belirlenir ve yarı logaritmik kağıdın, logaritmik ekseninde “tane boyu”, aritmetik eksen de ise “yüzde elek altı ağırlıkları” kullanılarak “Tane boyu dağılım eğrisi” çizilir (Yılmaz ve diğ, 2009).

3.2.3.4 Atterberg limitleri

Zeminin su içeriğine bağlı olarak değişik davranışlar göstermesi, 1911’de Atterberg tarafından deneysel olarak tarif edilmiştir. Atterberg tarafından tanımlanan, sınır su içerikleri Atterberg sınırları veya kıvam sınırları olarak adlandırılırlar. Kıvam sınırlarının grafiksel olarak gösterilişi Şekil 3.15’de gösterilmiştir. Zemine ait kıvam sınırları, kohezyonlu zeminlerin belirli fiziksel hallerde bulunduğu su içerikleri ile tarif edilir ve iyi değerlendirilirse, zeminin birçok özelliği hakkında bilgi sahibi olunabilir. Ancak, kıvam sınırları deneylerinde, yoğrularak örselenmiş olan bir zeminin de zemine ait tüm mekanik özellikleri tam olarak yansıtması beklenilmemelidir. Atterberg sınırları başlıca 3 tane olup aşağıdaki gibidir.

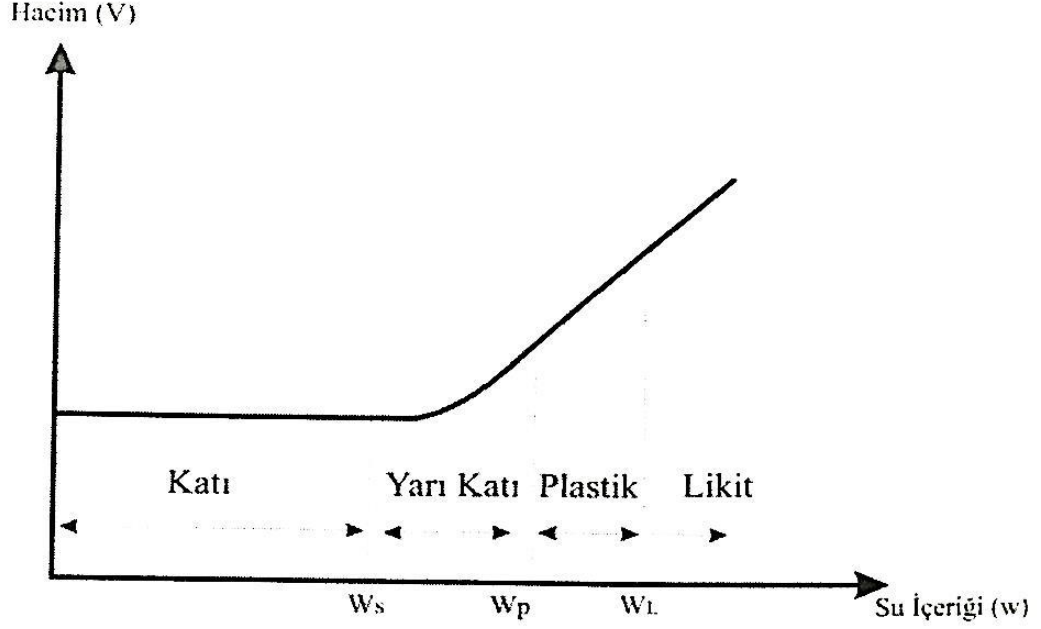
1. Likit Limit (Zeminin kendi ağırlığı altında akabilmesi için gerekli olan su muhtevasıdır.)
2. Plastik Limit (Zeminin plastik kıvamda bulunduğu en düşük su muhtevasıdır.)
3. Rötire Limiti (Zeminin daha fazla su kaybının daha fazla hacim azalmasına neden olmadığı andaki su muhtevasıdır.)

Zeminin su içeriğindeki azalmalara bağlı olarak Şekil 3.15’de tarif edilen hal değiştirmeleri meydana gelmektedir (Yılmaz ve diğ, 2009).

3.2.3.5 Kompaksiyon deneyi

Zeminlerin taşıma gücünü arttırmak, sabit, hareketli ve dinamik yükler altında meydana gelecek oturmaları azaltmak ve zeminin geçirimsizliğini azaltarak zeminlerin

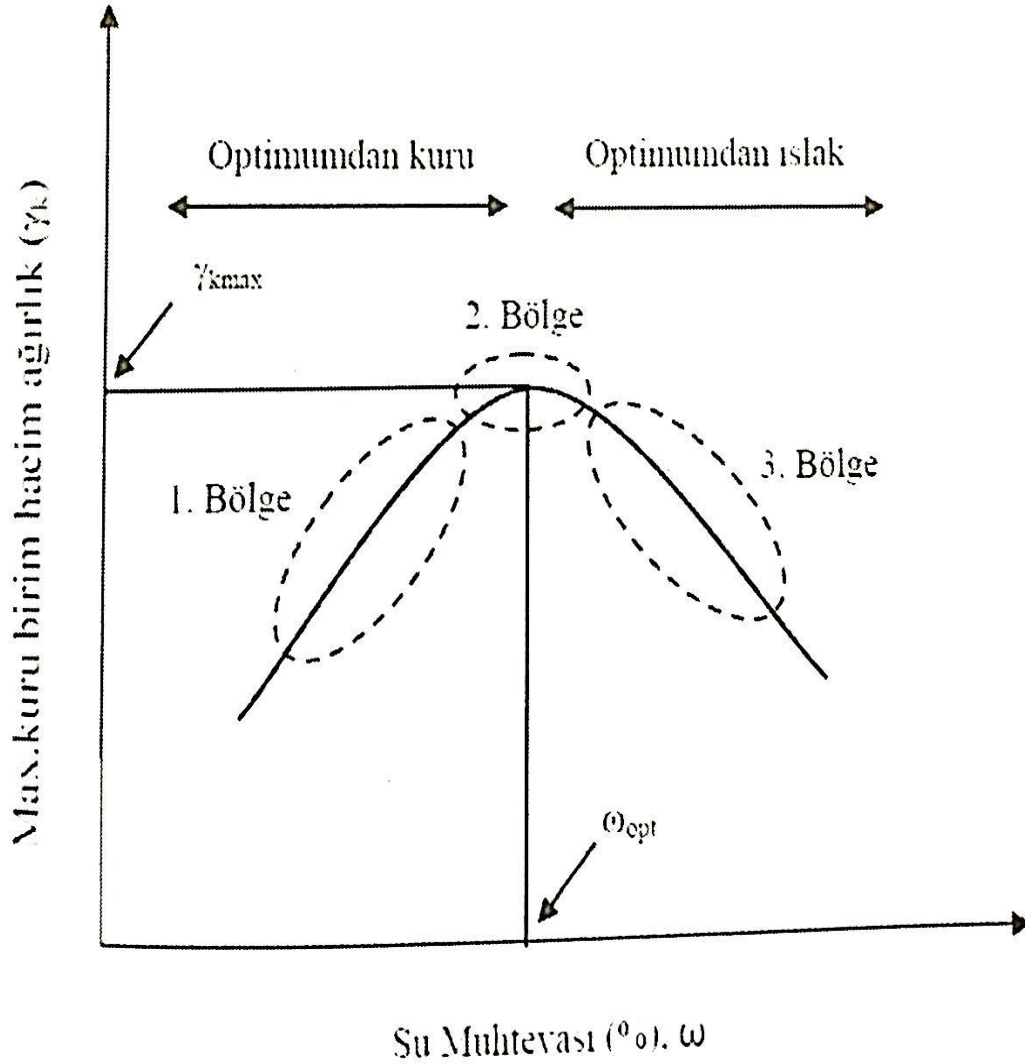
daha fazla su alıp hacimsel değişikliklerin oluşmasını önlemek maksadı ile zeminlerin tabakalar halinde serilerek mekanik araçlar vasıtası ile su ve tane hacmi sabit iken havanın dışarı atılıp zemin tanelerinin sıkıştırılması olayına kompaksiyon denir.



Şekil 3.15: Kohezyonlu zeminlerin kuruma sırasındaki hacim değişimi ve kıvam sınırları (Yılmaz ve diğ, 2009).

Sıkıştırılmış bir zeminde, kompaksiyon derecesi o zemine ait kuru birim hacim ağırlığıdır. Kuru birim hacim ağırlığı ne kadar büyükse, zemin o kadar iyi sıkıştırılmış demektir. Proctor (1933), sıkıştırılmış bir zeminde, su muhtevası ile kuru birim hacim ağırlığı arasında Şekil 3.16’da gösterilen ilişkiyi ortaya koymuştur. Bir zemin sabit kompaksiyon enerjisi ile değişik su içeriğlerinde sıkıştırıldığında Şekil 3.16’da görüldüğü gibi, artan su içeriğine bağlı olarak kuru birim hacim ağırlığı artmakta, maksimum bir değere ulaşmakta ve daha sonra da azalmaktadır. Bu ilişki şöyle açıklanabilir; 1. Bölgede, zeminde yeterli su bulunmadığı için, tanelerin daha az boşluklu yerleşmek üzere hareket etmeleri, taneler arası sürtünme kuvvetinden dolayı zordur. Su taneler arasında bir tür yağlanma etkisi yapmaktadır. 3. Bölgede, zeminde fazla su bulunduğundan ve suyun pratikte sıkışmaz olduğundan dolayı, yine zeminin boşluk hacmi fazla sıkıştırılmamaktadır. 2. Bölgede ise sıkışma en yüksek düzeyde oluşmakta ve kuru birim hacim ağırlık maksimum değere ulaşmaktadır. Kuru birim hacim ağırlığının maksimum olduğu seviyede ki su muhtevasına optimum su muhtevası denir. En iyi sıkıştırma işlemi optimum su içeriğinde elde edildiği için,

arazideki sıkıştırma; sıkıştırılacak zeminin optimum su muhtevasına sahip olması sağlanarak yapılmalıdır. Bir zeminin optimum su muhtevası, laboratuvarında yapılan kompaksiyon deneyleri ile belirlenebilir (Yılmaz ve diğ, 2009).



Şekil 3.16: Sıkıştırılmış bir zeminde γ_k - ω ilişkisi (Yılmaz ve diğ, 2009).

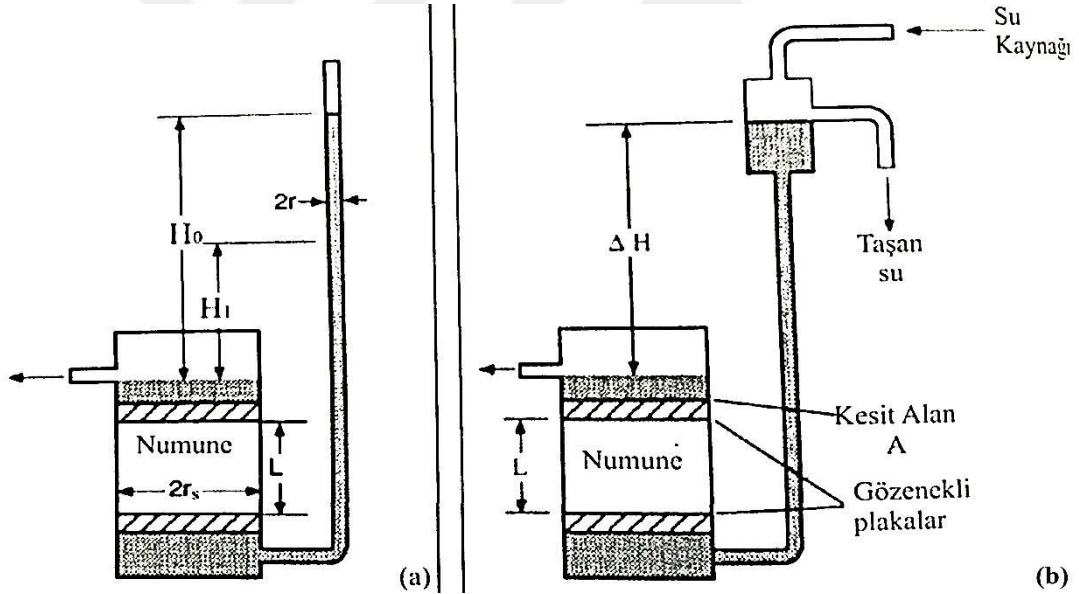
3.2.3.6 Geçirimsizlik deneyleri

Zemini oluşturan tanecikler ne kadar ideal dizilse de taneler arasında boşluklar vardır. Bu boşluklar genellikle birbiri ile bağlantılı olup, su bu boşluklardan kolayca akabilir. Zeminlerin geçirimsizlik katsayıları laboratuvarında permeametrelerle ölçülür.

Zeminlerin geçirirnililiğine etki eden pek çok faktör vardır.

- Tane boyu dağılımı
- Taneciklerin yüzeyi ve doku
- Minerolojik yapı
- Boşluk oranı
- Doygunluk derecesi
- Akış tipi
- Sıcaklık
- Zeminde akan suyun viskozitesi

Laboratuvarıda gerçekleştirilen geçirirnililik deneyleri, zeminin tane boyuna göre değişiklik göstermektedir. İnce taneli zeminlerin permeabilitesi “Düşen seviyeli geçirirnililik deneyi”, iri taneli zeminlerin permeabilitesi ise “Sabit seviyeli geçirirnililik deneyi” ile belirlenmektedir (Şekil 3.17) (Yılmaz ve diğ, 2009).



Şekil 3.17: Zeminlerin permeabilitesini belirlemede kullanılan deney yöntemleri: a) Düşen seviyeli b) Sabit seviyeli geçirirnililik deneyi (Yılmaz ve diğ, 2009).

3.2.3.7 Konsolidasyon

Oturma, genel anlamda uygulanan yüklerden dolayı, taneler arası boşlukların azalması sonucu, kısa veya uzun sürede gerçekleşebilen bir hacim azalması, sıkışması olayıdır. Bu söz konusu konsolidasyon oturması kumlu zeminler uygulamada sıkışamaz çökeller olarak kabul edildiğinden dolayı killi zeminlerde

gerçekleşir. Killi zeminlerin sabit gerilmeler altında, zamana bağlı olarak, bünyelerindeki suyu atarak sıkışmaları olayına konsolidasyon denir. Bir zaman dilimi içerisinde, kil tabakasında yavaş yavaş oluşan efektif gerilme artışı oturmaya neden olacaktır, bu olay konsolidasyon olarak ifade edilir. Bu süreç toplam gerilmedeki bir artışın neden olduğu aşırı gözenek suyu basıncı tamamen dağılıncaya kadar devam eder. En basit konsolidasyon durumu, sıfır yanıl deformasyon koşulunda gerçekleşen tek yönlü konsolidasyondur. Konsolidasyonun tersi olan şişme süreci ise, negatif aşırı gözenek suyu basıncı altında bir zeminin hacminde yavaş bir biçimde meydana gelen artıştır. Bir zeminin tek yönlü konsolidasyon sırasındaki davranışını belirleyen özellikleri, laboratuvarıada “ödometre” testi olarak adlandırılan konsolidasyon deneyi ile belirlenir. Örselenmemiş doygun kil örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri, farklı artan yüklerin neden olduğu konsolidasyon oturmasının belirlenmesi için yürütülür. Bu deney, yanıl deformasyonu önlenmiş olan suya doygun disk biçiminde örselenmemiş bir zemin numunesinin, alt ve üst yüzeyinden drenaj sağlanarak, düşey ve yatay eksenel bir basınç altında konsolidasyon miktarı ve hızının ölçümü ile ilgili bir deneydir. Deney sonunda, zeminin sıkışma miktarının basınca ve zamana bağlı olarak tanımlanmasına imkan veren iki parametre bulunur (Yılmaz ve diğ, 2009).

1. Hacimsel sıkışma katsayısı (m_v)
2. Konsolidasyon katsayısı (c_v)



Şekil 3.18: Konsolidasyon deney aleti (URL-1).

3.2.3.8 Islanma-kuruma deneyi

Bu deney, ıslanma-kuruma çevrimi koşullarında, aşınmaya karşı kayaçların duraylılığının belirlenmesi amacıyla yapılan bir indeks deneyidir. İstenirse, ıslanma-kuruma etkisiyle örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelebilecek değişimler de saptanabilir (Ulusay ve diğ, 2005).

3.2.3.9 Donma-çözeltme deneyi

Bu deney, donma-çözeltme çevrimi koşullarında, aşınmaya karşı kayaçların duraylılığının belirlenmesi amacıyla yapılan bir indeks deneyidir. İstenirse, donma-çözeltme etkisiyle örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelebilecek değişimler de saptanabilir (Ulusay ve diğ, 2005).

3.2.3.10 Nokta yükü dayanım indeksi deneyi

Kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta-yükü dayanım indeksinin tayini amacıyla yapılır. Nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılır (Ulusay ve diğ, 2005).

3.2.3.11 Doğrudan çekme deneyi ile çekilme dayanımının tayini

Düzenli bir geometriye sahip kayaç örneklerine doğrudan uygulanan eksenel çekilme gerilimleri altında çekilme dayanımlarının tayini amacıyla yapılır. Kayaçların çekilme dayanımları, sıkışma dayanımlarına göre daha büyük sapma gösterir. Bunun nedeni, eksenel çekilme yükünün tam olarak örneğin çekilme eksenine paralel uygulanmaması ve kısmen de yenilmenin tabakalanma yüzeyi, yeniden çimentolanmış eklem yüzeyi vb. gibi zayıflık düzlemleri boyunca gelişebilmesidir (Ulusay ve diğ, 2005).

3.2.3.12 Sonik hız deneyi

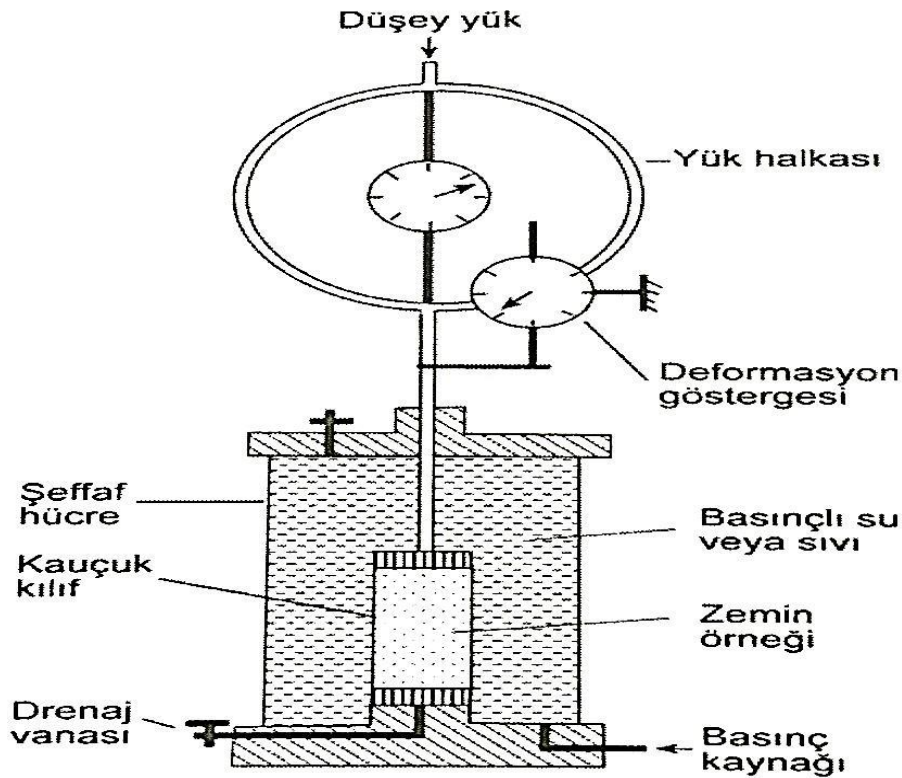
Kayaç örnekleri içerisinden geçirilen sıkışma (P) ve makaslama (S) dalgalarının yayılma hızlarından yararlanılarak, kayaç malzemesinin dinamik Young modülü ile dinamik Poisson oranının tayini amacıyla yapılır. Yöntem, homojen ve izotrop veya çok az derecede anizotropiye sahip kayaçlarda uygulanabilir (Ulusay ve diğ, 2005).

3.2.3.13 Tek eksenli basınç deneyi (Serbest basınç deneyi)

Genellikle suya doygun killi zeminlerde kayma direncinin ve kayaçlarda dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında oldukça çabuk sonuç vermesinden dolayı yaygın bir şekilde kullanılır. Kayaçlarda deney sırasında eksenel deformasyonda ölçülerek, kayaç malzemesinin deformasyon ve yenilme karakteristikleri de değerlendirilebilir (Yılmaz ve diğ, 2009).

3.2.3.14 Üç eksenli basınç deneyi

Arazide zemin üç eksenli gerilme etkisi altında bulunduğu için gerçeğe en yakın kayma dayanımı parametreleri arazi deneylerinden elde edilir. Bu nedenle, kayma dayanımını belirlemek için en yaygın kullanılan deney yöntemi üç eksenli basınç dayanımı deneyidir. Bu deney silindirik numunelerin üç eksenli yükleme ile dayanımlarının tayinine ilişkin bir deney olup boşluk suyu basıncı dikkate alınmadan zeminlerin değişik yanal basınçlarda makaslama dayanımları, içsel sürtünme açısı, kohezyon değeri, deformasyon modülü gibi elastik özellikleri ve dayanımlarının saptanması için gerekli verilerin bulunmasını kapsar. Deney düzeneği Şekil 3.18’de gösterilmiştir (Yılmaz ve diğ, 2009).

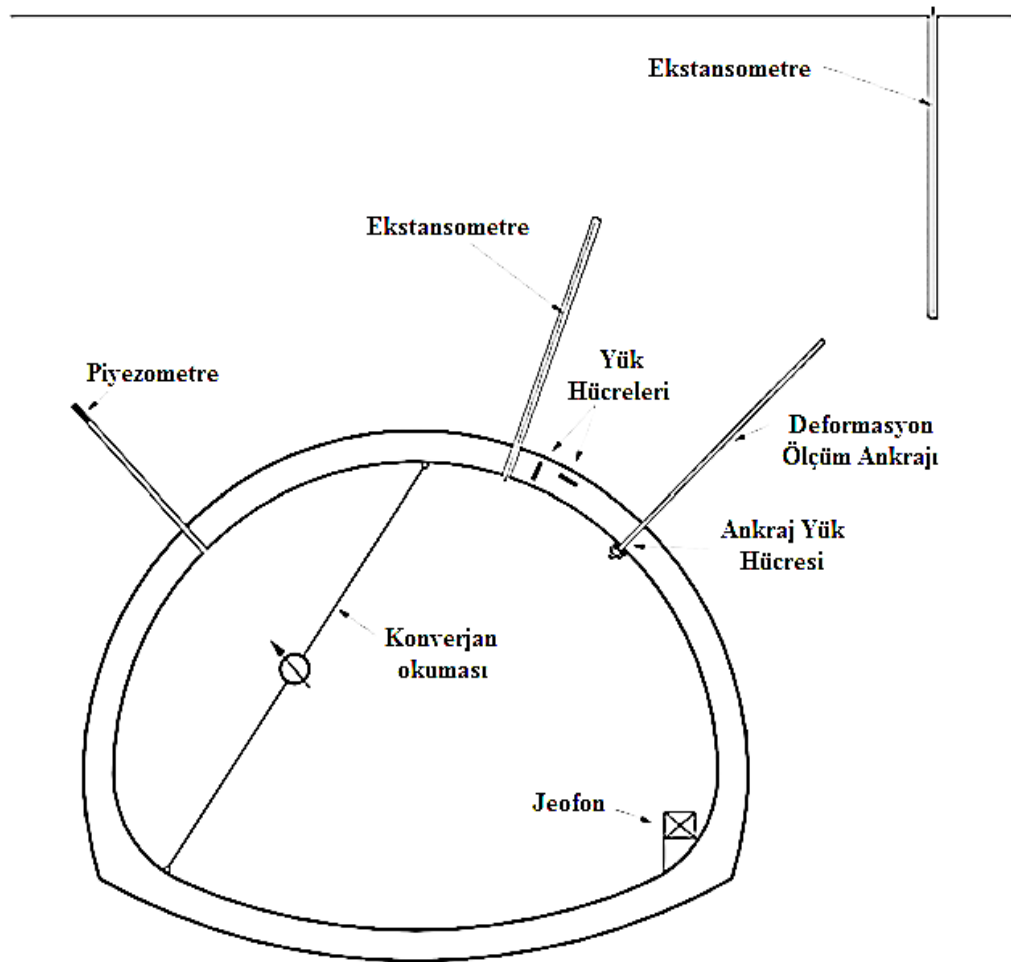


Şekil 3.19: Üç eksenli basınç deneyi düzeneği.

3.3 Kontrol Araştırmaları

Zemin araştırmaları sırasında hangi tekniklerin kullanılacağı dikkatlice düşünölmelidir. Çünkü araştırmaların hedeflerini belirlemek zaman ve para kaybını önlemektedir.

Zemin ile ilgili bütün bilgileri önceden elde etmek, tabakaların davranışlarını tahmin etmek imkânsızdır bu yüzden inşaat sırasında kontrol araştırmaları yapılmalıdır. Bu sayede hem yaptığımız tahminlerin geçerliliğini hem de var olan bilgilerin güncelliğini korumuş oluruz. Deformasyonların, yüzey oturmalarının, tünel duvarlarına gelen basınçların ve yeraltı suyunun ölçölmesi gibi çalışmalar bu aşamada yapılmalıdır. şekil 3.21’de bu kontrollerin yapılacağı yöntemler gösterilmiştir.



şekil 3.20: Kontrol araştırmalarında kullanılan ölçüm yöntemleri.

Tünel inşaatlarında genel olarak, yüzey deformasyon ölçümleri, tünel içi deformasyon ve konverjans bulonlarının ölçümleri, ekstensometre ölçümleri, inklinometre ölçümleri, tünel içi loadcell(yük hücreleri) ölçümlerinin yapılmasıyla beraber tünel aynasının jeolejik kesitinin çıkartılmasında son derece önemlidir.

Bu ölçümlerde kullanılan ölçüm cihazları; uzama ve çatlak ölçerler, yüzey deformasyon bulonları, bina deformasyon bulonları, basınç ölçerler, diskli yük hücreleri, konverjans bulonları, eğilme ve gerilme ölçerlerdir.



4. KAYA VE ZEMİN SINIFLANDIRMASI

Sözcük anlamı olarak sınıflama, nesnelerin ortak özelliklerine göre gruplandırılması şeklinde tanımlanır. Kaya ve zemin mekaniği alanında da kaya ve zemin kütlelerinin sınıflandırılmasına gereksinim duyulmuş ve bu amaçla çeşitli sınıflama sistemleri önerilmiştir. Bu sistemler, geoteknik mühendisliğinde tasarımın ayrılmaz bir parçası olmakla birlikte, uzun yıllar süren gözlemlere bağlı deneyimler ve istatistiksel değerlendirmeler esas alınarak önerilmiş görgül yöntemlerdir. Kaya ve zemin kütlesi sınıflama sistemlerinin bu çerçevede algılanması ve doğru kullanılması halinde, günümüzde birçok mühendislik projesinin tamamlanmasında başarı ile kullanıldıkları bilinmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Sadece metro tünelticiliği değil aynı zamanda madencilik alanında da uzun yıllardır tünellerin açılması sebebiyle kaya sınıflandırma sistemleri zemin sınıflandırma sistemlerine göre sayıca daha fazla ve daha kapsamlı olması olağandır. Geoteknik mühendisliğinde zemin sınıflandırmasının en çok kullanıldığı alanlar karayolları projeleri ve yapı temel projeleri olmasıda ayrıca sınıflandırma sistemlerinin daha az olmasının başka bir nedenidir. Özellikle metro tünelticiliğinde zeminlerin tamamı için tek bir geçici tahkimat sisteminin oluşturuluyor olması, tünelticilik anlamında zeminlerin yeterince kapsamlı sınıflandırılmamasından kaynaklanmaktadır. Halbuki killi bir zeminde açılacak tünellin yapım yöntemi ile kumlu zeminde açılacak tünellin yapım yöntemi birbirinden çok farklıdır.

4.1 Kaya Kütle Sınıflandırması

Eklemli ve ayrışmış kaya kütlelerinin davranışını tamamen eksiksiz tanımlayabilen matematiksel bir modelin oluşturulamamış olması nedeniyle geçmiş yıllarda mühendisler, pratik olarak ilerlemeye ve kolayca gözlemlenebilen bazı özelliklere dayanan bir kaya kütleleri sınıflandırması geliştirmeye çalışmıştır. Bieniawski (1988), kaya kütlesi sınıflama sistemlerinin başlıca amaçlarını aşağıdaki şekilde belirtmektedir (Kolymbas, 2005).

- Kaya kütlesinin davranışını etkileyen önemli parametreleri tayin etmek,
- Kaya kütlesini kendi içerisinde benzer özellikler gösteren bölgelere ayırarak değişik kalitedeki kaya kütlesi sınıflarını belirlemek,
- Her kaya kütlesi sınıfının özelliklerinin anlaşılması amacıyla esaslar oluşturmak,
- Herhangi bir sahadaki kaya kütlesi koşullarıyla ilgili olarak kazanılan deneyimleri diğer sahalarda karşılaşılan koşullarla karşılaştırılıp ilişki kurmak,
- Mühendislik tasarımı için sayısal veri tabanı ve bir klavuz oluşturmak,
- Mühendisler arasında ortak temele dayalı teknik iletişimi sağlamak.

Herhangi bir kaya kütlesi sınıflama sisteminden elde edilen sonuçlar, doğrudan o sistem tarafından kullanılan girdi parametreleriyle ilgilidir. Dolayısıyla, girdi parametrelerinin tayin edilebilir ve kaya kütlesinin özelliklerini yansıtabilir nitelikte olması önemli bir husustur. Bieniawski (1988) tarafından vurgulandığı gibi, kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında özellikle aşağıda belirtilen girdi parametrelerinin dikkate alınmasında yarar vardır (Aktaş, 2009).

- Kaya malzemesinin dayanımı: Bu parametre, kaya kütlesinin dayanımının en üst sınırının belirlenmesinde açısından önemlidir. Ayrıca kaya mekaniğinde sıkıştırıcı gerilme alanlarının önemi dikkate alındığında, tek eksenli sıkışma dayanımının sınıflama açısından gerekli bir parametre olduğu açıktır.
- RQD: Bu parametre, kaya karotlarının kalitesinin bir göstergesi olmakla birlikte, süreksizlik yöneliminin etkisini yansıtmaz. Bununla birlikte, tünel projelerinde yaygın olarak kullanılan ve farklı tünel koşullarında kaya davranışının karşılaştırılmasına olanak sağlayan sayısal bir indeks olması açısından önemlidir.
- Jeolojik parametreler: Süreksizliklerin aralığı, yönelimi ve yüzey koşulları (pürüzlülük, açıklık, bozunma, dolgu, devamlılık)
- Yeraltı suyu koşulları
- (e) Gerilme alanı
- (f) Başlıca faylar ve kıvrımlar

1946'dan bu yana değişik araştırmacılar tarafından çok sayıda kaya kütlesi sınıflama sistemi geliştirilmiştir. Başlıca sınıflama sistemleri; sistemleri geliştirenler,

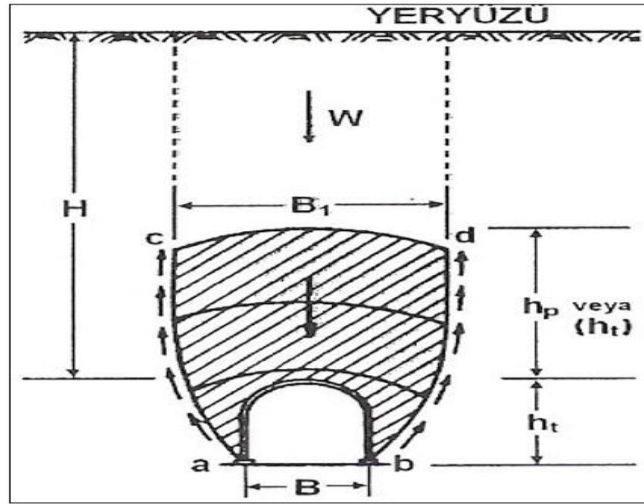
sistemlerin hangi ülkelerde ve tarihlerde geliştirdikleri ve uygulama alanları gözetilerek Çizelge 4.1’de verilmiştir (Aktaş, 2009).

Çizelge 4.1: Günümüzde kullanılan başlıca kaya kütlesi sınıflama sistemleri.

Sınıflama Sistemin Adı	Geliştiren(ler)	Geliştirildiği Ülke	Uygulama Alanları
Kaya Yüğü	Terzaghi, 1946	A.B.D	Çelik destekli tüneller
Desteksiz Durma Süresi	Lauffer, 1958	Avustralya	Tünelcilik
NATM	Rabcewicz, 1963	Avusturya	Tünelcilik
RQD	Deere vd., 1967	A.B.D	Karot loglama, tünelcilik
RSR	Wickham vd., 1972	A.B.D	Tünelcilik
RMR	Bieniawski, 1973	G. Afrika	Tüneller, madenler
Q	Barton vd., 1974	Norveç	Tüneller, madenler
GSI	Hoek ve Brown,1997 Sönmez ve Ulusay, 2002	Kanada	Tüneller, madenler

4.1.1 Terzaghi (1946) kaya yüğü sınıflama sistemi

Terzaghi’nin kaya sınıflama sistemi 1946’da ortaya atılmış ve kayaçları; sağlam, tabakalı, orta derece eklemli, bloklu veya kenetli, parçalı ve sıkışan kaya olarak gruplara ayırmıştır. Bu sınıflamada, sayısal olarak ifade edilebilecek bir girdi olmamakla beraber modern kaya sınıflama sistemlerinin temeli atılmıştır (Satıcı ve Topal, 2015). Terzaghi’nin kaya yüğü kavramını açıklayan basitleştirilmiş bir model, Şekil 4.1’de verilmektedir. Bu şekile göre, tünel kazısı sırasında açıklığın yanlarında ve üzerinde gevşemiş bir kaya kütlesi oluşacaktır. ‘abcd’ alanı içinde yer alan bu gevşeyen kaya tünel açıklığına doğru hareket etmek isteyecektir. ‘ac’ ve ‘bd’ sınırları boyunca oluşan sürtünme kuvvetleri bu hareketi engellemeye çalışacaktır. Aynı zamanda, bu sürtünme kuvvetleri, ‘W’ arazi yükünün büyük bir bölümünü tünelin her iki yanındaki kaya kütlesi üzerine aktaracaktır. Tünel tavanının ve yanlarının ancak geriye kalan kaya yükünü (hp) taşıması gerekecektir.



Şekil 4.1: Terzaghi'nin kaya yükü kavramı (Terzaghi, 1946).

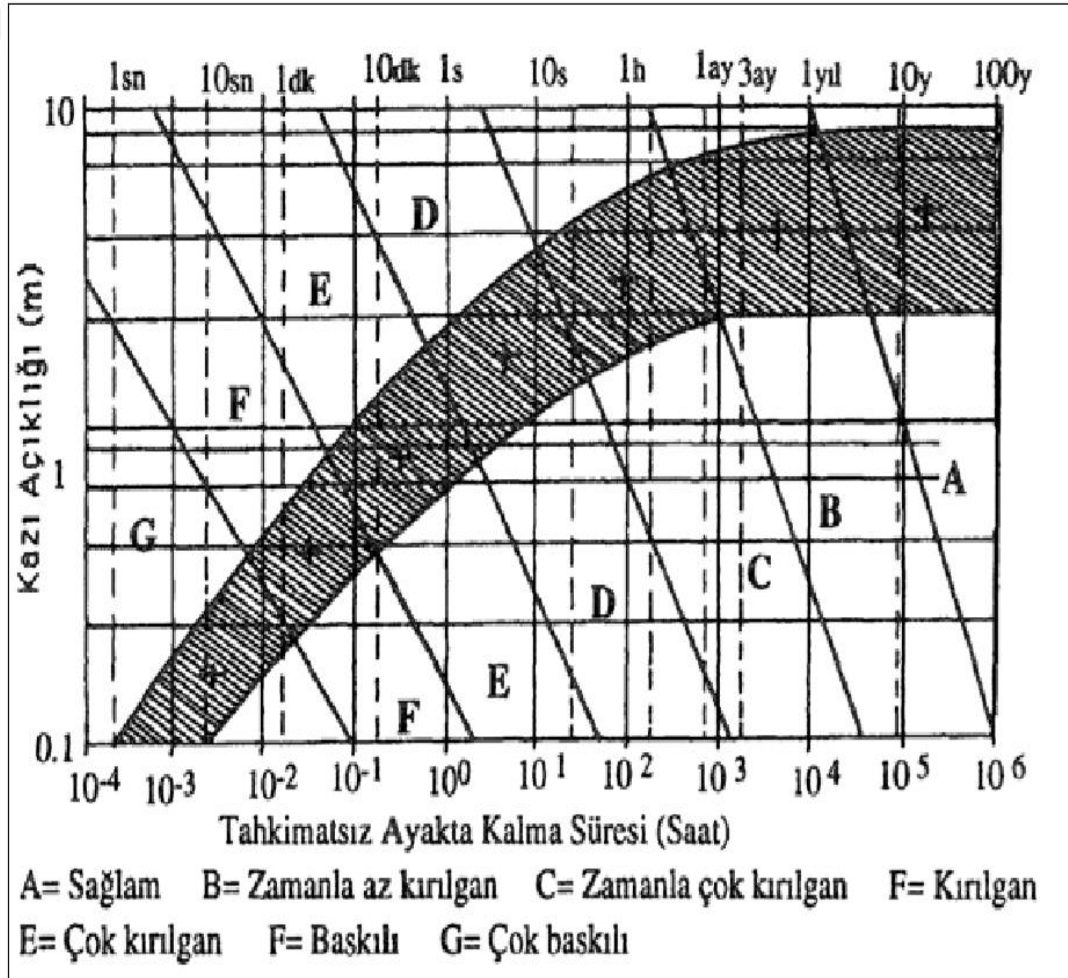
İçinde hareketin olduğu kaya bölgesinin B_1 genişliği, kaya kütlesinin özelliklerine ve tünelin genişliği (B) ile yüksekliğine (h_t) bağlıdır. Terzaghi'nin kaya yükü sınıflaması Çizelge 4.2'de gösterilmiştir (Aktaş, 2009).

Çizelge 4.2: Terzaghi'nin kaya yükü sınıflaması.

Grup	Kayacın Özellikleri	Metre Cinsinden Dağ Basıncı	Açıklamalar
1	Sağlam	-	Ufak tefek kavlaklanmalar görülüyorsa tünel içinde kaplama gerekli
2	Katı, tabakalı	0-0,5b	Hafif kaplama, basınç yer yer değişiklik gösterebilir
3	Masif, az çatlaklı	0-0,25b	Hafif kaplama
4	Az bloklu ve geniş	0,25-0,35(b+h)	Yanal basınç yok
5	Çokça parçalanmış fakat ayrışmamış	(0,35-1,1)(b+h)	Hiç veya pek az yanal basınç
6	Bütünüyle parçalanmış fakat ayrışmamış	(1,1(b+h)	Önemli yan basınçlar, sızan suların yumuşatıcı etkisi tabanda önemli yapı gerektirir.
7	Baskılı (yüzeye yakın tünel)	(1,1-2,1)(b+h)	Büyük yan basınç, taban bağı zorunlu, dairesel kesit önerilir
8	Baskılı (derindeki tünel)	(2,1-4,5)(b+h)	Büyük yan basınç, taban bağı zorunlu, dairesel kesit önerilir
9	Kabarma basınçlı ortam	(b+h) değeri göz önüne alınmaksızın 80m'ye kadar gerekli	Dairesel kesit gerekli, uygun olmayan şartlar altında kayıcı bağlar kullanılmalı
10	Sıkışmış kum	(0,62-1,38)(b+h)	-
11	Gevşek kum	(1,08-1,38)(b+h)	-

4.1.2 Lauffer (1958) sınıflaması

Lauffer (1958) tarafından yapılan kaya sınıflamasının esası Stini (1950)'nin çalışmalarına dayanmaktadır. Stini kaya kütlelerinin içerisinde bulunan yapısal kusurların önemini vurgulamaktadır (Aktaş, 2009). Lauffer desteksiz açıklığın (son destek ile ayna arasında kalan desteksiz tavan açıklığı) ayakta kalma süresi arasında bir ilişki tanımlamıştır. Bu yöntem göreceli olarak sayısal veriler içerse de, kaya kütlelerini sınıflamaktan oldukça uzaktır ve birçok kez değişikliğe uğramıştır (Satıcı ve Topal, 2015). Şekil 4.2'de Lauffer'e göre aktif iksasız her hangi bir kazı boşluğunun ayakta kalma süresinin bulunması için hazırlanmış bir abak gösterilmiştir (Aktaş, 2009).



Şekil 4.2: Lauffer'e göre aktif iksasız her hangi bir kazı boşluğunun ayakta kalma süresi.

4.1.3 Yeni Avusturya kaya sınıflama sistemi (pacher ve rabcewicz sınıflaması)

Bu sistemde; kaya kütlesinin arazide ölçülen ve gözlenen özellikleri ile laboratuvar deneyleriyle tayin edilen dayanım parametreleri esas alınarak, kaya kütlesinin muhtemel davranışı ve destekle ilgili hususlar ana hatlarıyla belirlenir (Nergis, 2005). Kazı sonrasında beklenen gerilme ve deformasyonları, gerekli sağlamlaştırma önlemlerini ve önlemlerin uygulanma zamanını göstermektedir. Şekil4.3'de Rabcewicz-Pacher'e göre tünel açmada kaya sınıflamasını belirlemek için kullanılan tablo verilmiştir (Aktaş, 2009).

4.1.4 Kaya kalite göstergesi (RQD) sınıflama sistemi

Bölüm 3.2.1 Sondajlar başlığı altında da değinilen RQD kavramı, günümüzde birçok uygulamada sıklıkla kullanılan ve aynı zamanda diğer sınıflama sistemlerinin girdisi de olan ve Deere tarafından önerilmiş olan RQD (Rock Quality Designation – Kaya Kalite Göstergesi) sistemi, NW büyüklüğündeki (54,7 mm) sağlam karot numunelerinden boyu 10 cm ve büyük olanlarının toplam manevra boyuna oranını ifade eder (Deere, 1963). Bu yöntem oldukça sayısal ve objektif bir tanımlama yöntemi olmakla beraber sadece kayanın sürekliliği ve masifliği hakkında bilgi verir ve doğru konumlandırılmamış yetersiz sondaj yapılması durumunda anizotropik koşulları göz ardı eder. RQD sonuçlarının doğru değerlendirilebilmesi için, en azından birbirine yeterli mesafede konumlandırılmış aynı eksen üzerinde ve tünel eksenine ve tabakalanmalara çeşitli yönlerde dik doğrultuda 3 adet sondaj yapmak gereklidir (Saticı ve Topal, 2015).

4.1.5 Kaya yapı sınıflaması (RSR)

Wickham RSR (Rock Structure Rating – Kaya Yapı Sınıflaması) sistemini önermiştir (Wickham ve diğ, 1979). Bu sistemde RSR puanını jeolojik yapı, geometri ve yeraltısuyu koşullarına ait değerlendirmeden elde edilen puanların toplamı oluşturur. Oldukça başarılı, sayısal olarak ifade edilebilen ve objektif bir yöntem olmasına rağmen, kaya ortamını aydınlatmaya yetecek kadar detaylı bir sistem değildir. Ancak modern kaya kütle sınıflama sistemlerinin temelini atmıştır (Saticı ve Topal, 2015).

4.1.6 Kaya kütle sınıflaması (RMR)

Bieniawski ilk kez 1976 yılında önerdiği sistemde; kayanın tek eksenli basınç dayanımı,

	I SAĞLAM ZAMANLA AZ KIRILGAN	II KIRILGAN ZAMANLA ÇOK KIRILGAN	III GEVREK ÇOK GEVREK	IV BASKILI	V	
					a ÇOK BASKILI	b AKICI
DOKUSU	Yoğun belirsiz süreksizlik işleri	Tabakalanma ve çatlaklanma nedeniyle belirgin süreksizlikler, yer yer killi çatlak dolguları ve şistli ara katmanlar	Yapraklanma ve çatlakların etkisiyle her yönde yaygın ve etkin parçalanma, killi ezilme ve millonitleşme bölgeleri	Gelişmiş ötelenme izleri, kıvrımlanmış ve yapraklı yapı kazanmış, bozunma zonu, iyi sıkışmış kohezyonlu ayrık zemin karakterinde	Tümüyle ufalanmış, hamurlaşmış ve milonitleşmiş kayaç gevşemiş dokuda az kohezyonlu ayrık zemin karakterinde	Ayrık, akıcı daneli zemin
DAVRANIŞI	Kayanın tek eksenli basınç direnci (σ_B kaya) boşluk duvarına etkileyen teğetsel gerilmelerden (σ_B) daha büyük		Boşluk duvarındaki teğetsel gerilmeler kaya direncinin üstünde. Açık veya kapalı bir taşıyıcı halkanın oluşturulması gerekli	Teğetsel gerilmelerin kayanın taşıma direncinin üstünde olması nedeniyle kaya plastik davranarak		V a'daki gibi
	$\sigma_{B\text{ kaya}} > \sigma_B$			az ve yavaş	etkin ve hızlı	
	Sürekli duray (stabil) yersel koruyucu önlemler (kaya patlamalarına dikkat !)	Kalotun sağlamlaştırıldığı durumlarda sürekli duraylık (stabilite)		olarak boşluğa doğru deforme olmaktadır. Yanal basınçlar ve taban kabarması görülmür. Bu hareketler ancak kapalı ve sağlam bir taşıyıcı halkanın oluşturulması ile durdurulabilir.		
TOPRAK İŞİ	Yok	Önemsiz	Çatlak dolgu malzemesi üzerinde oldukça fazla	Belirgin	Bazı koşullarda çok fazla (Yumuşatıcı)	
KAZI	Tam kesit (yekpare) (atmalı)	Tam kesit (atmalı)	Kalot ve stros	Parçalı kazı (1-4)	Parçalı kazı	
KAZI ŞEKLİ SAĞLAMLAŞTIRMA ve GÜVENLİK ÖNLEMLERİ						Çok parçalı kazı (1-5) Kalot, sağ üst gövde, sol üst gövde, sağ alt gövde, sol alt gövde, taban. Arında ve tavanda özel destekleme. V b'de V a'daki gibi ancak özel koşulları dikkate alan bir şema dahilinde.
SAĞLAMLAŞTIRMA	Gereksiz	Tavanda sistematik ankraj	Tavanda ve yanlarda gevşek hafif taşıyıcı halka	Kapalı halka oluşturulması	Kapalı halka oluşturulması	
ÖNLEMLERİN UYGULANMASI VE ZAMANI	Yersel zayıf kısımların tutulması ve gerektiğinde kaya patlamalarına karşı önlemler.	Kalotta daha yaygın bir sağlamlaştırma, gerektiğinde yan duvarların (ayakların) sağlamlaştırılması	Kavaklanmalara karşı yüzeyin sağlamlaştırılması ve korunması kaya içinde taşıyıcı bir sistem oluşturur.	Önlemler, inşaat çalışmalarının her bölümünü teker teker güvenlik altına almayı, deformasyonları durdurmayı, kapalı bir taşıyıcı halka oluşturmayı kayayı kendi kendine taşıtmayı amaçlar. Kazı yüzeylerini hemen güvenlik altına almak ve sağlamlaştırma işlemlerini öngörülen süre içinde tamamlanmış olmak gerekir.		
	Sınırlı değildir ve çoğu zaman büyük bir engel oluşturmaz.					

Şekil 4.3: Rabcewicz-Pacher (1974)'e göre tünel açmada kaya sınıflaması.

RQD değeri, süreksizliklerin açıklığı, süreksizliklerin durumu, yeraltı suyu koşulları ve süreksizliklerin konumuna bağlı olarak bir puanlama yaparak kaya kütlelerini 5 sınıfa ayırmış ve buna bağlı olarak da kazı ve destek sistemleri önermiştir.

Tünelcilik uygulamalarında süreksizlikler ile ilgili parametreler dışında kazı öncesinde diğer parametreler hakkında oldukça objektif fikir sahibi olunabilen bu sistemde, süreksizliklerin durumu ile ilgili değerlendirmeler yapılırken mostra veren kesimler değerlendirmeye alınabilmekte ancak, süreksizliklerin devamlılığı ve yüzey koşullarının derinlerdeki durumu tünel kazısı başlamadan önce sağlıklı bir şekilde değerlendirilememektedir (Bieniawski, 1989; Satıcı ve Topal, 2015).

Çizelge 4.3: RMR puanı ve kaya sınıfları.

Kaya sınıfı	(RMR Puanı)	Tanımlama
I	100-81	Çok iyi kaya
II	80-61	İyi kaya
III	60-41	Orta kaya
IV	40-21	Zayıf kaya
V	< 20	Çok zayıf kaya

Çizelge 4.3’de verilen puan değerleri 5 ayrı kritere verilmiş puanların toplanması ve sonrasında yapılacak düzeltmeden elde edilen nihai puandır. Bu kriterler sırasıyla;

- Sağlam kayanın mukavemeti
- RQD değeri
- Eklemlerin sıklığı
- Eklemlerin durumu
- Yeraltı suyu
- Eklemlerin yönelimi (Düzeltilme olarak puanlanır)

Çizelge 4.4’de bu puanların değerleri gösterilmiştir. Puanlar her bir kritere göre belirlendikten sonra toplanır, düzeltme puanına eklendikten sonra RMR puanı hesaplanır.

Çizelge 4.4: RMR sınıflandırma parametreleri ve puanları.

1	Sağlam kayanın mukavemeti	Uç-yük mukavemet indeksi	> 8 MPa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Tek eksenli basınç dayanımı deneyine göre		
		Tek eksenli basınç dayanımı	> 200 MPa	100-200 Mpa	50-100 MPa	25-50 MPa	10-25 M Pa	3-10 M Pa	1-3 M Pa
	Derecelendirme		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		%90-100	%75-90	%50-75	%25-50	<%25		
	Derecelendirme		20	17	13	8	3		
3	Eklem sıklığı		>3m	1-3m	0,3-1m	50-300mm	<50mm		
	Derecelendirme		30	25	20	10	5		
4	Eklem durumu		Çok kaba yüzey, sürekli değil ayrılm a yok ekleml i sert kaya	Az kaba yüzey ler <1mm açıklı klı Eklem li sert kaya	Az kaba yüzeyler <1mm açıklıklı Eklemli yumuşak kaya	Sürtünme izli yüzey, fay kili <5mm veya 1-5mm açık eklemler sürekli eklemler	Yumuşak fay kili >5mm kalın veya açık eklemler >5mm sürekli eklemler		
	Derecelendirme		25	20	12	6	0		
5	Yer-altı Suyu	Tünelin 10m'lik kısmından gelen su		Yok		<25 litre/dak.	25-125 litre/dak.	>125 litre/dak.	
		Oran	Eklemdeki su basıncı	0	0-0.2	0.2-0.5	>0.5		
			Ana asal gerilme						
		Genel Koşullar		Tamamen kuru		Yalnızca nemli (kırıklard aki su)	Orta basınç altında su	Önemli su problemleri	
	Derecelendirme		10		7	4	0		
6	Eklemlerin Doğrultu ve Eğim Yönleri		Çok Uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç Uygun Değil		
	Dereceleme	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12		
		Temeller	0	-2	-7	-15	-25		
		Şevler	0	-5	-25	-50	-60		

4.1.7 Q sınıflama sistemi (1974)

Barton ve arkadaşları tarafından öne sürülen Q sistemi;

- RQD, Jn (eklem takım sayısı)
- Jr (eklem pürüzlülük puanı), Ja (eklem alterasyon puanı),
- Jw (su azaltma faktörü veya su durumu) ve SRF (gerilim azaltma faktörü)

punlarının birbirlerine oranlarının çarpımından (4.1) elde edilen bir puan ve buna bağlı olarak destekleme önerilerinde bulunmuştur.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (4.1)$$

Kağıt üzerinde oldukça sayısal görünen bu sistemin arazide tüneller açısından, özellikle eklemle ilgili değerlendirmelerin yapılabilmesi için çeşitli kısıtları bulunmaktadır. Bu sistemin en büyük kısıtlarından biri RMR’de olduğu gibi süreksizliklerin derinlere indikçe yüzey koşullarının durumu ile devamlılıkları hakkında net değerlendirme yapma güçlüğü ve SRF ile ilgili puanlama yapılırken, uygulamada yerinde ölçümler yapılmamasından ötürü bu değerinin tahmine dayalı ve hatalı belirlenmesidir. SRF değerinin yüksek seçilmesi Q puanını önemli ölçüde düşürmektedir (Barton, 2002; Satıcı ve Topal, 2015). Bu parametrelerin diğerleri Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.5: Jn (eklem takım sayısı) değerleri.

Çatlak (Eklem) Takımı Sayısı		Jn
A.	Masif birkaç çatlak takımı veya hiç çatlak yok	0,5-1,0
B.	Bir çatlak takımı	2
C.	Bir çatlak takımı + düzensiz çatlaklar	3
D.	İki çatlak takımı	4
E.	İki çatlak takımı + düzensiz çatlaklar	6
F.	Üç çatlak takımı	9
G.	Üç çatlak takımı + düzensiz çatlaklar	12
H.	Dört veya daha fazla çatlak takımı, düzensiz veya çok çatlaklı küp şeker görünümlü	15
J.	Tamamen ufalanmış kaya, toprak görünümlü	20
i.	Tünel kesişme kesitlerinde (3xJn)	
ii.	Tünel girişlerinde (2xJn) değerleri alınmalıdır.	

Çizelge 4.6: Jr (eklem pürüzlülük puanı) değerleri.

Çatlak Pürüzlülük Durumu		Jr
a. Çatlak yüzeyleri temasta veya $b=10 \text{ cm}^2$ 'den az kayma hareketiyle temasta		
A	Süreksiz çatlaklar	4
B.	Dalgalı-pürüzlü	3
C.	Dalgalı-düz	2
D	Dalgalı cilalı	1,5
E.	Düzlemsel-pürüzlü	1,5
F.	Düzlemsel-düz	1
G	Düzlemsel-cilalı	
i. Dalgalı, düzlemsel gibi tanımlamalar çatlakların en az 2m'lik uzunluğu boyunca olan genel karakterini, pürüzlü, düz, cilalı tanımlamaları ise çatlak yüzeyinin küçük ölçekteki özelliklerini tanımlar		0,5
b. Makaslama ile çatlak yüzeylerinin teması sağlanmadığında		
H	Çatlak yüzeylerinin temasını önleyecek kadar kalın kil dolgusu	1
I.	Çatlak yüzeylerinin temasını önleyecek kalınlıkta kum, çakıl ve breş dolgusu	
ii. Ortalama çatlak aralığı 3m'den fazla ise değerlere eklenmelidir.		
iii. Makaslama hareketi izleri taşıyan ve bu izleri taşıyan ve n-bu izlerin olumlu yönde bulunduğu düzlemsel-cilalı çatlaklar için $Jr=0,5$ değeri alınabilir.		1

Çizelge 4.7: Jw (su azaltma faktörü veya su durumu) değerleri.

Çatlak Suyu İndirgeme Faktörü		Su Basıncı kg/cm^2	Jw
A	Kuru kazılar veya yer yer az su geliri, lokal olarak 5lt/dak	< 1	1
B	Orta miktarda su geliri, veya su basıncı, dolgu yer yer su ile yıkanıp akarak boşalabilir.	1-2,5	0,66
C	Kendi kendini tutabilen kayalarda dolgusuz çatlardan çok miktarda su geliri veya basıncı	2,5-10	0,5
D	Çok miktarda su geliri veya basıncı, dolgu tümüyle yıkanarak akmış	2,5-10	0,33
E.	Patlama ile ortaya çıkıp zamanla azalan çok aşırı su geliri veya basıncı	>10	0,2-0,1
F.	Zamanla azalmayan çok aşırı su geliri veya su basıncı	>10	0,1-0,05
i. C ve F'deki faktörler gözlemle kabaca tahmin edilir. Drenaj sağlanırsa Jw artırılmalıdır.			
ii. Suyun donması, buz oluşumu gibi özel problemler dikkate alınmamıştır.			

Çizelge 4.8: Ja (eklem alterasyon puanı) değerleri.

Çatlak Ayırışma Durumu		ϕ	Ja
a. Çatlak yüzeyleri temasta (Mineral dolgu-kil kaplaması yok)			
A.	Sıkıca kaynaşmış sert yumuşamayan geçirimsiz dolgu	25°-30°	0,75
B.	Ayrışmamış çatlak yüzeyleri, sadece lekeli yüzey	25°-30°	1
C.	Az ayrışmamış eklem yüzeyleri, yumuşamayan yüzey mineralleri ile kaplanmış, kum tanecikleri, kil içermeyen parçalı kaya	25°-30°	2
D.	Siltli, veya kumlu killi kaplama, yumuşak olmayan kil parçaları	20°-25°	3
E.	Yumuşayan, düşük sürtmeli kil mineralleriyle kaplı, az miktarda akıcı kil. Örnek örneğin kaolinit veya mika, klorit, talk, jips, grafit ve az miktarda akıcı kil	8°-16°	4
b. 10 cm'den az bir kayma hareketiyle çatlak yüzeylerinin teması sağlanabildiğinde			
F.	Kum tanecikleri, kil içermeyen parçalanmış kaya	25°-30°	4
G.	Aşırı derecede konsolide olmuş, yumuşayan kil dolgulu (<5 mm'den az kalınlıkta ve sürekli)	16°-24°	6
H.	Orta derecede veya az miktarda konsolide olmuş, yumuşayan kil dolgulu (<5 mm'den az kalınlıkta ve sürekli)	12°-16°	8
J.	Şişen kil dolgusu, montmorillonit vb. (sürekli, kalınlığı 5 mm'den az Ja değerleri şişme özelliği olan kil boyutundaki parçaların %'sine bağlıdır.)	6°-12°	8-12
c. Çatlak yüzeylerinde kayma durumunda temas yok (ince mineral dolgu)			
K - L - M	Ufalanmış veya parçalanmış kaya ve kil bantları veya zonları (Kil özelliklerinin tanımı için G, H, J koşullarına bkz.)	6°-24°	6-8, 8-12
N.	Silt veya kum boyutunda killerden oluşan bantlar veya zonlar, kil içeriği az (yumuşamayan)		5
O - P - R	Kalın sürekli kil bantları veya zonları (Kil özelliklerinin tanımı için G, H, J koşullarına bkz.)		10-13

4.1.8 GSI sınıflama sistemi (1997)

Hoek tarafından ortaya atılmış olan GSI sistemi ise tüm bunlardan daha sübjektif ve neredeyse tamamen görsel değerlendirmeye dayanan bir sistemdir (Hoek ve Brown, 1997). Sönmez ve Ulusay ise bir miktar daha bu sistemi sayısal hale getirmişlerdir. Özellikle tünel kazı aynasının puanlanması açısından uygulama kolaylığı sağlayan pratik bir sistemdir. Bu sistem daha çok görsel ölçüm ve değerlendirmeye dayalı olduğu için, tünel proje tasarımında özellikle tünel kazısı öncesi uygulanması, tünel

4.2 Zeminlerin Sınıflandırması

Zeminlerin sınıflandırılmasındaki amaç tüm dünyada kullanılabilecek ortak bir dil geliştirmek, zeminlerin mühendislik özelliklerini hızlı bir şekilde tanımlayabilmektir. Örneğin zeminleri kohezyonlu ve kohezyonsuz yada kaba daneli ve ince daneli olarak sınıfladığımız da o zeminlerin özellikleri ile ilgili hızlı bir yargıya varabiliriz. Tünelcilik anlamında herhangi bir zemin sınıflandırma sistemi olmaması tünelcilik olarak büyük bir eksikliklerdir. Aslında bu durumun en büyük sebebi zemin içerisinde açılmak istenilen tünelin genel olarak tüm dünyada NATM değil, aç-kapa yöntemi veya TBM ile açılmasından kaynaklanmaktadır. Zemin içerisinde NATM ile açılması planlanan bir tünelin maliyeti, bahsetmiş olduğumuz diğer iki yöntemle göre çok daha fazladır. Fakat bazı durumlarda; tünel geometrisinin TBM için uygun olmayışı veya üst yapıların konumu ve öneminden dolayı aç-kapa yöntemine uygun olmayışı gibi, bu iki yöntemi kullanamayız. Bundan dolayı NATM için zemin koşullarını daha ayrıntılı sınıflamak zorundayız.

İnşaat mühendisleri için sınıflandırma; tabii zeminin bazı genel özellikleri ile kısaca tanımı, karayolu mühendisleri için inşaat, yol, dolgu malzemesi olarak değerlendirilmesi amacını taşır. İnşaat mühendisliğinde uluslararası alanda, yaygın olarak kullanılan iki sınıflandırma sistemi vardır. Bunlar Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (Unified Soil Classification System USCS) ve Amerikan karayolları sınıflandırma sistemidir (American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO) (Tan, 2013).

4.2.1 Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi (USCS)

Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine, farklı inşaat grupları tarafından kullanılan sınıflandırma sistemlerinin birleştirilmesi ile ulaşılmıştır. Bu sınıflandırma sisteminde zeminler önce iri daneli ve ince daneli olarak iki ana gruba ayrılır.

Esas olarak, iri daneli zeminler dane çapı ve dağılım özelliklerine, ince daneli zeminler ise plastisite özelliklerine göre sınıflandırılır.

Çizelge 4.9: Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sisteminde kullanılan semboller.

Zemin	Birinci Sembol	İkinci Sembol
İri Daneli Zemin	G: Çakıl	W: İyi derecelenmiş M:Siltli
	S: Kum	P: Kötü derecelenmiş C:Killi
İnce Daneli Zemin	M: Silt	L: Düşük plastisiteli
	C: Kil	H: Yüksek plastisiteli
	O: Organik	

Sınıflandırma sonucunda zemin sınıfı, iki harf karakteri ile ifade edilen “Zemin Grubu” olarak belirlenir. Kullanılan semboller Çizelge 4.3’de verilmektedir (Tan, 2013).

4.2.2 Amerikan karayolları sınıflandırma sistemi (AASHTO)

Karayolları Sınıflandırma Sistemi, zeminlerin karayolu dolgu malzemesi olarak değerlendirilmesini esas alır. Bu sistemde sınıflandırmada, sol sütundan sağa doğru şartları sağlayan ilk sütun zemin sınıfı olarak belirlenir (Tan, 2013).

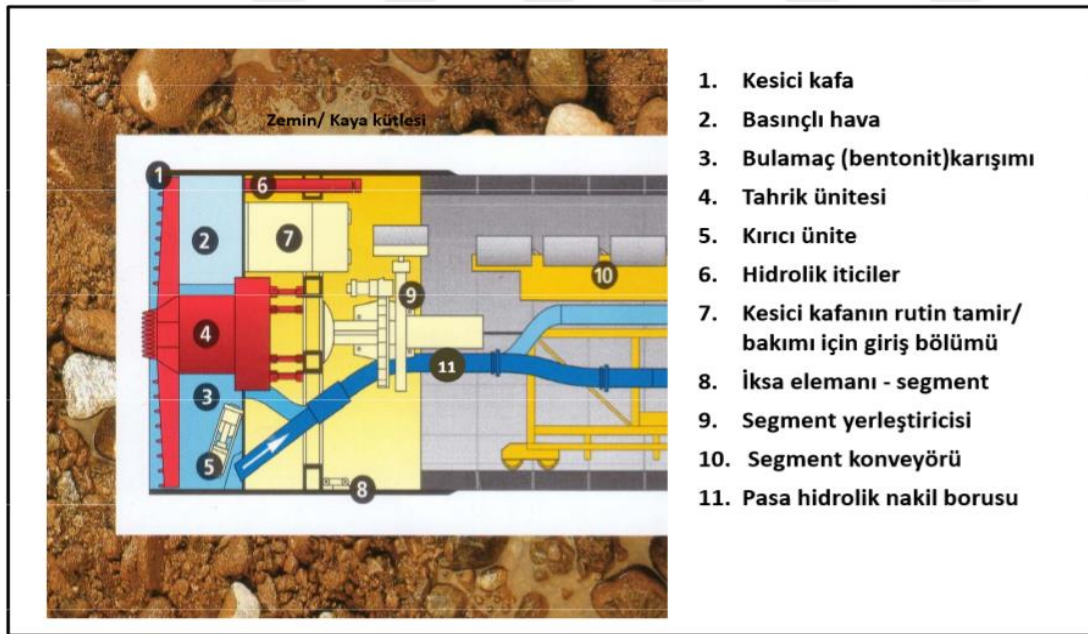
5. TUNEL AÇMA YÖNTEMLERİ

Tüneller; geometrilerine göre, açılacağı zemin veya kaya ortamına göre, uzunluğuna göre ayrıca kullanım amaçlarına göre farklı şekilde inşa edilebilirler. Günümüzde en fazla tercih edilen yöntemler TBM, NATM ve Aç-Kapa Yöntemi olarak sıralanabilir. Bir diğer yöntem olan Del-Patlat metodu genellikle yerleşim yerlerinden uzakta ve masif kaya ortamlarında tercih edilir. TBM yöntemi ile açılan tünellerin, kazı sonrasında kalıcı desteklerin hemen yapılması ve tam daire kesitli uzun tünellerin imalat hızının proje başında bilinmesi çok büyük bir avantajdır. NATM tünellerinde ise kesit alanı büyük fakat nispeten kısa uzunluktaki ve zayıf kaya ortamlarında tünellerin imalatlarının yapılması daha kolaydır. Zemin ortamlarda açılan tünellerin ise hızlı, ekonomik ve yüzeyde oluşabilecek deformasyonların önüne geçebilmek adına Aç-Kapa yöntemleri tercih edilebilir. Ayrıca bu yöntemle beraber yapımı tamamlanan tünelin üstü farklı şekillerde değerlendirilebilir.

5.1 TBM ile Tünel Açma

Tünel delme makinesi veya TBM olarak bilinir. TBM'ler, 1 m'den küçük çaplı mikro tünel sondaj makinelerinden çapları 15 m'den büyük olan büyük tünellerin makinelerine (en büyük TBM'ler şimdi 19 m'den fazla) değişen makinelere kadar birçok farklı çapta mevcuttur. TBM'ler birçok farklı jeolojik koşul için kullanılabilir. Bu, örneğin, ihtiyaç duyulan tünel yüzey desteğinin tipi ve kazı prosedürünün yanı sıra çok sayıda başka teknik gereklilikleri birçok farklı şekilde çözebileceği anlamına gelir. Her tünel farklıdır ve bu nedenle bu alanda sık sık teknik gelişmeler vardır. Aşağıdaki bölümlerde TBM'lerin temel özellikleri hakkında genel bilgi verilmektedir. Bununla birlikte, hemen hemen her zaman istisnalar ve özel durumlar olduğu için, aşağıdaki bilgilerin neredeyse hiç birinin genel geçerliliğe sahip olduğu varsayılabilir. Her ne kadar TBM'ler genellikle belirli projeler için, yani belirli bir çapta ve belirli zemin koşullarıyla başa çıkmak için tasarlanmış olsalar da, bu günlerde yenilenmiş makineler daha yaygın hale geliyor ve projeler aslında mevcut makineler etrafında tasarlanıyor. Bunun bir örneği, yeni projenin çapının eski makineye uyacak şekilde seçilmesi ve sadece kesici kafanın beklenen zemin

koşulları için yeniden tasarlanmasıdır. Bir TBM kullanımı için genel gereksinimlerden biri, tünel yolu boyunca tutarlı bir jeolojidir çünkü farklı kesici aletler yalnızca malzeme özelliklerinde küçük bir değişiklik için uygundur. Her türlü zemin ve toprak koşulları için evrensel bir makine mevcut değildir (Mixshields gibi çoklu çalışma modlarına sahip TBM'ler geliştirilmesine rağmen. Kesici kafadaki farklı kesici takımların kombinasyonu, makinelerin daha geniş bir zemin koşullarında uygulanmasını artırabilir. TBM'ler zeminde hareket etmek için farklı mekanizmalara sahip olsalar da, çoğunun dışarıdan başlaması ve dolayısıyla kazıya başlamak için bir itme halkasına ihtiyacı vardır. Ek olarak, tünel desteği için betonarme segment kalıcı kaplaması kullanan tüm TBM'lerin arka ucunda bir kuyruk contasına sahip olmaları gerekir. Tünel segmentleri tünel kalkanının içine yerleştirildiğinden, segment taşlarıyla kazılan toprak arasında bir boşluk vardır. Zemin ile tünel kaplaması arasında bir bağlantı elde etmek ve zeminin deformasyonunu engellemek için boşluğa çimento enjeksiyonu enjekte edilir. Yeraltı suyunu, zemini ve çimento enjeksiyonunu TBM kalkanından uzak tutmak için bu, kuyruk contaları kullanılır.



Şekil 5.1: TBM Şeması (Attewell, 1986).

5.2 NATM ile Tünel Açma

Yeni Avusturya Tünel Metodu (NATM) 1950'lerde Avusturyalı Ladislaus von Rabcewicz, Leopold Müller ve Franz Pacher tarafından geliştirilmiştir. Adı, 1962'de

(Rabcewicz, 1963), bugün Belçika, Alman ve İngiliz Tünel yöntemleri ile birlikte eski bir kereste yöntemi olan “Eski Avusturya Tünel Yöntemi” olarak adlandırılan “Avusturya Tünel Metodu” ndan ayırt etmek amacıyla konulmuştur. Her ne kadar Rabcewicz, Müller ve Pacher zaten iyi bilinen teknik ve bilgiyi kullanmış olsalar da, bu teknikler ilk kez yeni ve neredeyse devrimsel bir tünel açma yönteminde bir araya getirildi. Jeolojik yüke bağlı olarak kalın tünel destekleri oluşturmanın gereksiz olduğunun farkına vardılar. Sonuç olarak tünel destek kaplamasını 20cm’e kadar düşürdüler hem de o güne kadar kullanılan tuğla destek yerine püskürtme beton kullanarak.

Rabcewicz, Müller ve Pacher, kazı sırası ve destek miktarı açısından esnek bir yaklaşım kullandılar. Tünel ilerlemesi sonucunda zemin hareketlerini gözlemlediler ve bu bilgiyi gerekli destek ve yapım sırasını belirlemek için kullandılar. O sırada mevcut olan hesaplama teknikleri, bu ince kaplamanın stabilitesini doğrulayamadı. Bu nedenle, desteklerinin etkinliğini kanıtlamak için yer değiştirmeleri ve deformasyonların takibini yaptılar. Müller ve Fecker (1978), NATM'yi tam olarak tanımlamak için 22 ilke yayınladı. Ana ilkeler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Zemin kazılan tünele ana destek sunar. Püskürtülen beton yalnızca ikincil bir destekleme işlevine sahiptir (İlke 1)
- Zeminin orijinal gücü korunmalıdır. Zeminin gevşetilmesi gücünü azaltır (İlkeler 2 ve 3).
- Destek çok erken veya çok geç monte edilmemelidir. Çok sert veya çok zayıf olmamalıdır (İlke 6).
- Destek ile zemin arasındaki kuvvet aktarma ilişkisi ve desteğin doğru zamanda kurulması esastır (İlke 7 ve 9).
- Destek ve yapım sırası seçimi, yer değiştirme izlemesi temelinde yapılır (İlkeler 8 ve 12).
- Yöntem, ince püskürtülmüş bir beton kaplama kullanır (İlke 10).
- Desteğin artırılması daha kalın bir kaplama ile değil, kirişlerin, çelik takviyelerin ve ankrajların kullanılmasıyla sağlanır (İlke 11).
- Mümkün olduğunda tam yüz kazı kullanılmalıdır (İlke 16)
- Kazı sırası genel stabilite için önemlidir (ilke 17).

Bir yeraltı boşluğunu kazarken, zeminin mevcut (birincil) denge koşulu, gerilmenin yeniden dağıtılmasının meydana geldiği bir dizi aşamadan dönüştürülür ve yeni, kararlı (ikincil) bir denge koşulu ortaya çıkar. NATM, bu süreçleri yönlendirmeyi ve ekonomik ve teknik olarak güvenli bir şekilde gerçekleştirmelerini sağlamak amacıyla. Zeminin kuvvetinde bir azalmayı önlemek için, aşırı kazıdan kaçınmak önemlidir. Zemin ve destek önlemlerinin sürekli izlenmesi yöntemin ayrılmaz bir parçasıdır. Yeni Avusturya Tünel Metodu (NATM), boşluğu çevreleyen zemini (kaya veya toprak), zemini destekleyen bir kemerin aktivasyonu ile destekleyici bir yapı elemanı yapan bir konsepti takip eder. Rokahr (1995), Rabcewicz, Müller ve Pacher'in orijinal niyetini özetleyen ve NATM'i diğer tünel açma yöntemlerinden ayırt etmeyi kolaylaştıran bir tanım vermiştir: "NATM, tünel çevresini püskürtme beton, ankraj, diğer desteklerle kaplayan ve deformasyonların sürekli kontrol edilmesini öngören destek biçimidir." (Chapman ve diğ, 2010).

Bu tanıma göre NATM şunları içerir:

- Püskürtme beton ile destek,
- Gerekirse ankraj ile destek,
- Desteğin etkinliğini kontrol etmek için ölçümler kullanmak,
- Jeolojik koşullara göre desteği artırmak veya azaltmak.

5.2.1 Yeni Avusturya Yönteminde Önorm B 2203/1994'e Göre Kaya Sınıfları

NATM'de kaya sınıfları kayanın davranışına bağlı olarak üç ana grupta toplanmıştır. Her bir kaya grubunun kendi içindeki alt gruplarını ayırt edici özellikler tanımlanmıştır.

- 1) **A** "Sağlam"-“zamanla kırılğan” davranışlı kayaçlar: Bu ortamlarda genelde kazı sırasındaki zorlamalar nedeniyle kırılmalar olmaz.
 - a) **A1 Sağlam Kayaçlar:** Çok kısa sürede sonlanan çok az deformasyon olur. Belirgin süreksizlik olmayan masif kaya görünümündedir.
 - b) **A2 Zamanla Kırılğan Davranış Gösteren Kayaçlar:** Tünel tavanında ve yan duvarların üst kısımlarında süreksizliklerin konumu nedeniyle sığ sökülme ve kamasal kopmalar olma eğilimi vardır.
- 2) **B** "Kırılğan" Davranışlı Kayaçlar: Bu kayaç sınıfı süreksizliklere bağlı doku dayanımının ve/veya gerilme kemerlenmesinin yetersizliği nedeniyle gevşemeye yatkın ortamları kapsar.

- a) **B1** Kırılğan Kayaçlar: Çok kısa sürede sonlanan düşük deformasyonlar, süreksizliklere bağlı dayanım azalması vardır. Deformasyonlar 2-3 cm civarındadır ve hızlı azalır ve tamamlanırlar. B1.1 ve B1.2 olmak üzere iki alt grubu vardır.
- b) **B2** Çok Kırılğan Kayaçlar: Çok kısa sürede sonlanan düşük deformasyonlar, süreksizliklere bağlı dayanım azalması, düşük kemerlenme, yüksek doku hareketliliği belirgindir. Bozunmuş kayada su akışı ile birlikte sınırlı yenilme bölgeleri oluşur. Desteklemenin zamanında yapılması durumunda deformasyonlar 3-5 cm civarında kalır. B2.1 ve B2.2 olmak üzere iki alt grubu vardır.
- c) **B3** Döküntülü Kayaçlar: Küçük parçalı kazı kesitlerinin kazılmasında bile kayaç parçaları içeriye dökülür. Stabilitate yetersizliğinin nedeni, kohezyonun ve kayaç dokusundaki kenetlenmenin azlığı ve su etkisidir. Deformasyonlar 10 cm' ye kadar çıkabilir.
- 3) **C** “Plastik” Davranış Gösteren Kayaçlar: Bu kayaç sınıfı kayaç dayanımının önemli ölçüde aşıldığı ortamları kapsar. Kaya patlaması ve belirgin şişme - kabarma davranışının görüldüğü kayaçlar da bu sınıfa girer.
- a) **C1** Kaya Patlamalı Kayaçlar: Primer (doğal) gerilmeler genelde yoğun, sert ve kırılğan kayaçlarda elastik enerji olarak depolanır. Kazı sırasında bu enerji birdenbire boşalır ve kayaç parçalarının koparak fırlamasına neden olur.
- b) **C2** Plastik Davranış Gösteren Kayaçlar: Uzun süreli, çok yavaş sonlanan deformasyonlar belirgindir. Plastik ve yüksek kohezyonlu kayaçlarda yenilme mekanizmaları ve plastikleşme bölgeleri gelişir. Bu tip kayalarda, kaya kütleğinde oluşan aşırı gerilmeler nedeniyle kayanın kayma dayanımı aşılr. C2.1 ve C2.2 olmak üzere 2 gruba ayrılır.
- c) **C3** Aşırı Plastik Davranış Gösteren Kayaçlar: Başlangıçta yüksek deformasyon hızları gösteren, uzun sürede ve çok yavaş sonlanan büyük deformasyonlar görülür. Bu sırada derine ulaşan yenilme mekanizmaları ve plastikleşme bölgeleri oluşur ve gelişir. Tünelin desteksiz olarak ayakta durabileceği süre 2 saat ile 5 saat arasındadır.
- d) **C4** Yumuşak Kayaçlar: Çok küçük kazı kesitlerinde bile kısa sürede tünel içine akar. Tünelin desteksiz olarak ayakta durabileceği süresi 2 saatten daha azdır.

- e) **C5 Şişen-Kabaran Kayaçlar:** Üzerinden yükün kalkmasıyla su alarak şişen ve/veya kabaran killi, anhidritli ve tuzlu mineraller içeren ortamlardır.

NATM’de kazı sırasındaki araştırma çalışmaları ve geoteknik ölçümlerden elde edilen veriler projede göz önüne alınan tünelin bulunduğu ortamın jeolojik yapısı, uygulanan kazı yöntemi, destekleme sırası ve aralıkları, deformasyon toleransları ile birlikte değerlendirilmelidir (Aktaş, 2009).

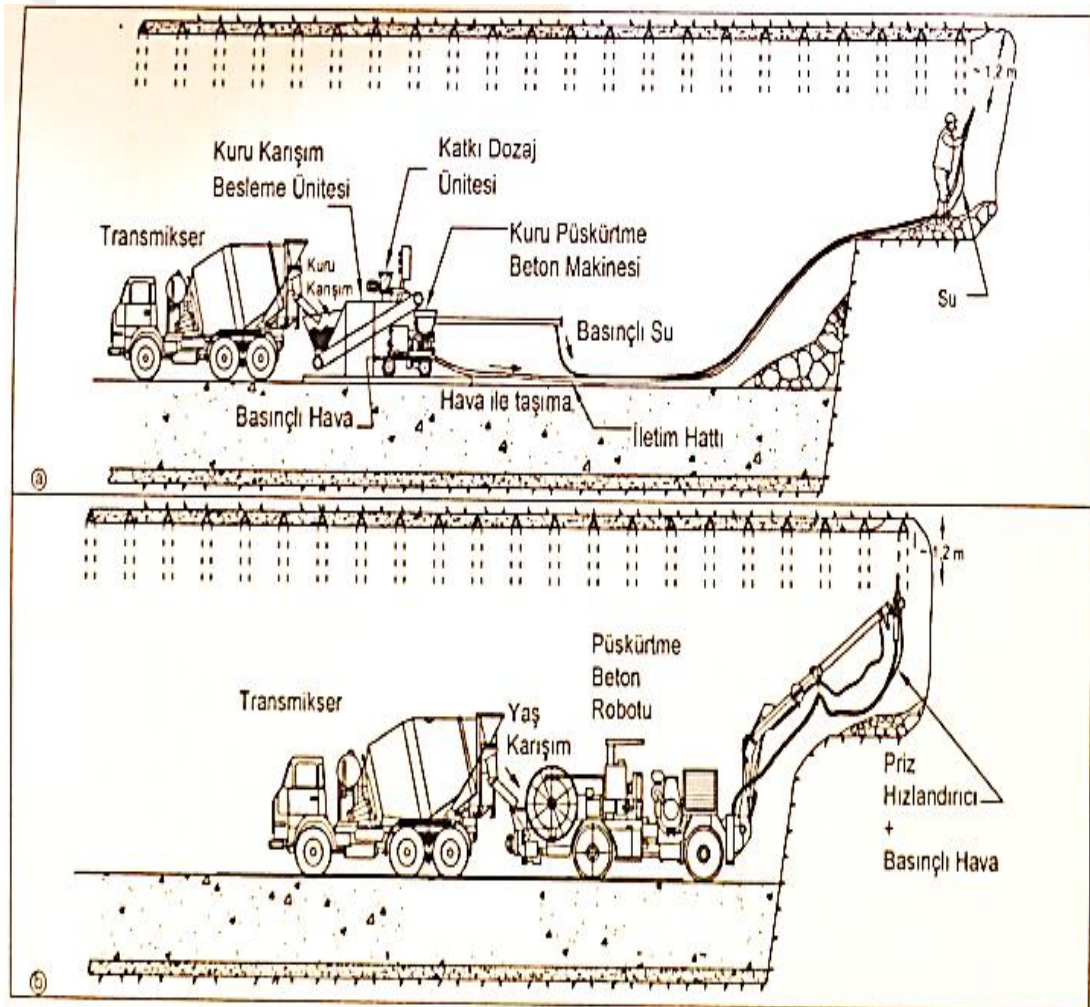
5.2.2 Tünel Destek Elemanları

NATM’e göre, tünellerde yapılan kazı sonrası zemin veya kayaç ortamların hemen desteklenmemesi, ortamın yeni oluşan ikincil gerilmelere karşı bir müddet beklenerek rijit ağır bir destek yerine daha hafif desteklerle tahimat yapılarak yüzeyde ve tünel çevresinde düşük deformasyonlara izin verilebilir. Fakat bu deformasyonlar zamanında sonlandırılmazsa tünel güvenliği tehlikeye atılmış olunur. Bu sebeble destek elemanlarını zamanında ve gerektiği kadar kullanmak hem emniyet açısından hem de ekonomik açıdan çok önemlidir. Püskürtme beton, çelik kafes iksa, ön süren, umbrella- arch, zemin çivileri ve kaya bulonları vb. diğer destek elemanları genellikle ön ve geçici destek elemanları olarak kullanılmaktadır. Betonarme destek elemanları ise kalıcı kaplama olarak genellikle tünellerde kullanılmaktadır. Son yıllarda artan teknolojik ilerlemelerle beraber lifli püskürtme betonlarda kalıcı kaplama olarak yurt dışı projelerinde kullanılmaktadır.

5.2.2.1 Püskürtme beton

Püskürtme beton; agreg, çimento, su ve priz hızlandırıcı katkı karışımının boru hattı içerisinde basınçlı hava ile taşınıp, püskürtülerek yerleştirilen beton olarak tanımlanmaktadır (Şekil 5.2). Geleneksel betona göre kalıp gerektirmeden yerleştirilmesi, ve özel katkıları yardımıyla hemen dayanım kazanmaya başlayarak taşıyıcılığını yerine getirmeye başlaması gibi özellikleri nedeniyle yeraltı mühendislik yapılarında, maden mühendisliği uygulamalarında yaygın kullanım alanı bulunmaktadır. Püskürtme beton yukarıda sıralananların dışında baraj yapıları, şevler, hasarlı binaların onarımı ve güçlendirilmesi vb. alanlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Püskürtme beton kaplaması yeraltı yapılarında başlıca şu işlevleri yerine getirmektedir.

- Püskürtülen taze beton, kırık ve çatlakların arasına girerek kayacın yerindeki kayma dayanımını artırır.
- Köşelerin ve boşlukların püskürtme betonla doldurulmasıyla elde edilen düzgün yüzey, köşe nktalarda oluşan gerilme konsantrasyonunu azaltır.
- Püskürtme betonun sağladığı adezyon ve kayma direnci ile kırık ve çatlaklarla sınırlanmış kaya bloklarının oluşturduğu yük, civar kaya kütlelerine aktarılarak kayanın kendi kendine taşınması sağlanmış olur.
- Kaya elemanları arasındaki bağlantı düşükse; yüzeye uygulanan püskürtme beton kaplaması statik bakımdan bir kabuk gibi çalışarak taşıyıcılık sağlar.
- Çöken, gevşeyen arazi tabakalarına karşı erken direnç göstererek iyi bir kemerleşme sağlar ve dayanımının zamanla artmasıyla gevşemeleri önler ve deformasyonları minimize eder.



Şekil 5.2: Kuru karışım (a) ve Yaş karışım (b) püskürtme beton uygulama gösterimi (Arıoğlu ve diğ., 2008).

- Karşım özellikleri ve katkı miktarları istenildiği şekilde düzenlenerek dayanım gelişimi değiştirilebilir. Böylece kesit dışına taşan sökülme, kaya/zemin boşalma ve göçük olaylarının kontrol edilmesinde oldukça faydalı sonuç vermektedir.
- Uygun kalınlıkta yapılmış püskürtme beton kaplaması arazi yüklerinin taşınmasında asli veya tamamlayıcı destekleme elemanı olarak işlev görebilir.
- Püskürtme beton kaplaması, kazılan yüzeylerin hava ve su ile temasını keserek yüzeybozunmasını ve gevşemeleri önler (Arioğlu ve diğ, 2008).

5.2.2.2 Çelik hasır

Çelik hasırlar püskürtme betonla birlikte kullanılırlar. Betonarme yapı malzemesi gibi çalışırlar. Hasır çelik kullanımının amacı çok çatlaklı kayalarda veya zeminlerde imalatı yapılan bulon ve çivilerin arasında kalan kütlenin desteklenmesidir.

5.2.2.3 Kaya bulonu ve zemin çivileri

Bulonların ve çivilerin çalışma prensipleri aynıdır. Sadece delgi çapı olarak aralarında fark vardır. Zeminde ve kayada oluşan çekme gerilelerini plastik deformasyon zonunun ötesine taşımak ve dayanımlarını arttırmak amacıyla sistematik amaçla kullanılırlar. Ayrıca sürtünme yüzeyi de yaratarak ekstra stabilite sağlamaktadırlar. Şekil 5.3’de görüldüğü gibi ayrıca torklanarak tünel geçici kaplamasına yardımcı olarak yükte taşırlar.



Şekil 5.3: Zemin çivisi tork kontrolü

5.2.2.4 Çelik iksa

Çelik iksa, kazı yapılan tünel kesitinde püskürtme beton dayanımını kazanıncaya kadar geçen sürede yapım güvenliğini sağlamak ve püskürtme betonda yük dağılımına yardımcı olmak amacıyla kullanılırlar (Şekil 5.4).



Şekil 5.4: Çelik iksa kurulumu

5.2.2.5 Ön süren ve umbrella-arch

Akıcı zeminlerde ve çatlaklı kayalarda yapılacak tünel kazısına başlanılmadan önce kazı alanının tepe bölgesini korumaya almak, göçük yaşanmasının önüne geçmek ve yüzey deformasyonlarının artmasına engel olmak amacıyla uygulanırlar (Şekil 5.5). Süren ve Umbrella arasında yapım yöntemi olarak delgi sistemi haricinde bir fark yoktur. Sadece umbrella borularının malzeme çapı ve et kalınlığı süren borularına göre daha büyüktür.



Şekil 5.5: Umbrella-arch delgi imalatı

5.3 Aç-Kapa ile Tünel Açma

Aç-Kapa yöntemi genellikle zemin ortamlarda yüzeye yakın açılacak tünellerde tercih edilir. NATM'e göre yapım maliyetleri daha azdır. Ayrıca zemin ortamlarda NATM ile açılan tünellere göre çok daha az deformasyonlara sebep olurlar. Deformasyonların artması gözlemlenirse alınabilecek önlemlerin NATM'e göre daha fazla ve kolay bir şekilde uygulanabilmesi yöntemin avantajlarıdır. Tünel üstü kapatılmasından sonrada zemin ile tünel üst seviyesinde kalan bölgenin istsyon yapısı, depo, otopark, teknik hacim odaları vb. sebeplerle kullanılabilir olmasıda bu yöntemin yerleşim bölgelerinde sıkça tercih edilmesinin sebeplerindendir. Bu yöntemin tek dezavantajı, imalatın yapılabilmesi için en az tünel uzunluğu ve genişliğince bir alanın bulunması ve uzun bir süre kullanılamamasıdır (Şekil 5.6). İstanbul gibi yoğun yapılaşmanın olduğu metropollerde bu yöntem uygun alan bulunması ve uzun süreliğine kullanılamaması maalesef zor bir ihtimaldir.



Şekil 5.6: Aç-kapa yöntemi genel görüntüsü

5.4 Del-Patlat ile Tünel Açma

Masif kaya veya az bloklu kaya ortamlarında açılacak tünellerin hızlı ve ekonomik olarak yapılabilmesi amacıyla daha çok yerleşim bölgeleri dışında açılan karayolu tünellerinde tercih edilirler. Büyük miktarda ilk yatırım maliyeti gerektirmez. Malzemelerin piyasadan temin edilmesi hızlı ve kolaydır. Makine ile kazıdaki gibi enerji ve güç teminine ihtiyaç yoktur. Duraklamalı ilerleme, iş güvenliği emniyeti açısından riskli olması ve tünel içerisinde önemli kırık ve çatlaklı kaya ortamına sebep oldukları için iyi bir tahkimat gerektirmesi bu yöntemin dezavantajlarıdır.

5.5 Çalışma Kapsamında İncelenen Tünellerin Geçici Tahkimat Projeleri

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metrosu Projesi kapsamında bu çalışma içerisinde araştırma yapılacak olan Dudullu Makas ve Peron tünelleri bölgesinde uygulanan tahkimat sınıfı tüm kesitler için “F Sınıf” tahkimattır. Şekil 5.6’da A Tüneli “F Sınıf” tahkimat projesi gösterilmiştir. Destek, tünel inşası boyunca çalışması amacıyla tasarlanmıştır. Çizelge 5.1’de tünel kesitlerinde kullanılan tahkimat elemanları listelenmiştir.

Çizelge 5.1: “F Sınıf” tahkimat destek elemanları.

	Destek Elemanı	A TÜNELİ	A2 TÜNELİ	P1 TÜNELİ	T2 TÜNELİ	T3 TÜNELİ
TÜNEL ÇEVRESİ	Püskürtme Beton	300 mm	300 mm	300 mm	400 mm	400 mm
	Hasır Çelik	2 sıra Q335/335	2 sıra Q335/335	2 sıra Q335/335	2 sıra Q335/335	2 sıra Q335/335
	Kafes Kiriş	H=174mm @0,8m	H=174mm @0,8m	H=174mm @0,8m	H=250mm @0,6m	H=250mm @0,6m
	Umbrella	L=9,0m @0,3m φ 114,3mm	L=9,0m @0,3m φ 114,3mm	L=9,0m @0,25m φ 114,3mm	L=9,0m @0,25m φ 114,3mm	L=9,0m @0,25m φ 114,3mm
	Zemin Çivisi	L=6m 3/2 @0,8m φ26 mm	L=6m 3/2 @0,8m φ26 mm	L=4m 10/9 @0,8m φ14 mm	L=6m 10+10 @0,6m φ26 mm	L=6m 10+10 @0,6m φ26 mm
TÜNEL AYNASI	Püskürtme Beton	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm
	Hasır Çelik	1 sıra Q221/221	1 sıra Q221/221	1 sıra Q221/221	1 sıra Q221/221	1 sıra Q221/221
	Zemin Çivisi	Min16ad L=9-12m φ14 mm	Min16ad L=9-12m φ14 mm	Min13ad L=9-12m φ14 mm	Min30ad L=9-12m φ14 mm	Min30ad L=9-12m φ14 mm
GEÇİCİ İNVERT		150mm püs.bet.+ 2sıra Q221/221	150mm püs.bet.+ 2sıra Q221/221	150mm püs.bet.+ 2sıra Q221/221	150mm püs.bet.+ 2sıra Q221/221	150mm püs.bet.+ 2sıra Q221/221
ALTYARI		Kafes kiriş gerektiğinde	Kafes kiriş gerektiğinde	Gerekli	Gerekli	Gerekli

Technical drawing of a tunnel cross-section showing structural details and reinforcement. The drawing includes the following elements:

- PIPE UMBRELLA / BORU ŞEMSIYE**: PIPE / BORU Ø 114,3 mm (6,3 mm THICKNESS / KALINLIK) 150 mm DRILLING DIAMETER / DELGİ ÇAPı L=9 m @0,30 m 9°
- MINIMUM LATTICE GIRDER SECTION / MINIMUM KAFES KİRİŞ KESİTİ**: DETAIL A / DETAY A
- MAXIMUM LATTICE GIRDER SECTION / MAKSİMUM KAFES KİRİŞ KESİTİ**
- SHOTCRETE + 2 LAYERS OF Q335/335 WIRE MESH**: d=300 mm (fck, cube= 21 MPa) / PÜSKÜRTME BETON + 2 SIRA ÇELİK HASIR Q335/335 d=300 mm (fck, cube= 21 MPa)
- SOIL NAILS**: Ø26mm L= 6 m 3/2 @ 0,8 m pattern / ZEMİN ÇİVİSİ Ø26mm L= 6 m 3/2 @ 0,8 m aralıklı
- 3/3 SOIL NAILS**: Ø26mm @0,4m (5 SOIL NAILS / m2) (PILLAR REINFORCEMENT see note 9) / 3/3 ZEMİN ÇİVİSİ Ø26mm @0,4m (5 BULON / m2) (SÜTÜN GÜÇLENDİRMESİ Bkz. Not 9)
- 1+1 SOIL NAIL**: Ø26mm L= 6 m @ 0,8 m / 1+1 ZEMİN ÇİVİSİ Ø26mm L= 6 m @ 0,8 m
- PROVISIONAL INVERT**: 150mm OF SHOTCRETE + 2 LAYERS OF Q221/221 WIRE MESH (IF NECESSARY) / GEÇİCİ İNVERT: 150mm PÜSKÜRTME BETON + 2 SIRA ÇELİK HASIR Q221/221 (GEREKİĞİNDE) 300
- MIN. 15 FACE SOIL NAILS**: L= 9-12 m Ø14 mm / MIN. 15 AYNA ZEMİN ÇİVİSİ L= 9-12 m Ø14 mm
- TUNNEL AXIS / TUNEL EYİSİ**
- TOP HEADING / ÜST YARI BENZİNGİ / ALT YARI**
- Dimensions and Radii**: R=2600, R=5000, R=2000, R=2400(2350+C), R=2400(2200+C), R=2350(2300+C), R=2300(2200+C), R=2200(2100+C), R=2100(2000+C), R=2000(1900+C), R=1900(1800+C), R=1800(1700+C), R=1700(1600+C), R=1600(1500+C), R=1500(1400+C), R=1400(1300+C), R=1300(1200+C), R=1200(1100+C), R=1100(1000+C), R=1000(900+C), R=900(800+C), R=800(700+C), R=700(600+C), R=600(500+C), R=500(400+C), R=400(300+C), R=300(200+C), R=200(100+C), R=100(0+C)

73

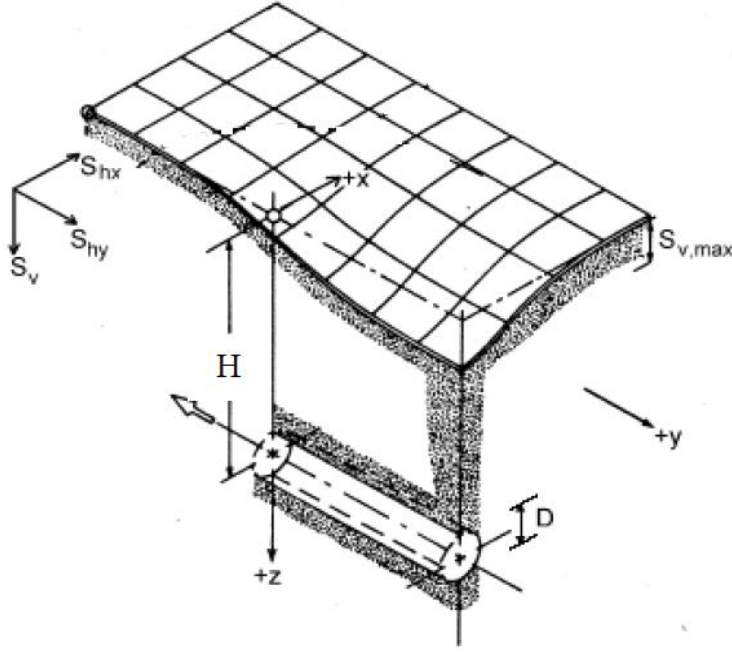


6. TÜNEL İLERLEMESİNE BAĞLI DEFORMASYONLARIN AMPİRİK YÖNTEMLERLE TAHMİNİ

Bilgisayar teknolojilerinin ve yazılımların son yıllardaki muazzam gelişimi, tünel ilerlemesi ve inşaat aşamalarının 3B modellenmesine izin veren ticari yazılımlar günümüz mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmasında çok büyük katkı yaratmıştır. Bu nedenle ampirik çözümlere olan talep, sayısal modelleme programlarındaki gelişmeler nedeniyle, önemli ölçüde azaltılmıştır. Bununla birlikte, Sagaseta'nın (1998) işaret ettiği gibi, ampirik çözümler aşağıdaki nedenlerden dolayı hala önemli bir rol oynayabilir:

- Sayısal analiz sonuçları için referanstırlar.
- Hassasiyet analizi ve problem değişkenlerini tanımlamak için kullanılabilirler.
- Uygun şekilde dzeltilirlerse basit ve kullanışlı sonuçlar sağlayabilirler.

Aslında, ampirik yöntemlerin kullanımı, bir dizi parametreye ihtiyaç duydukları için zordur. Bu parametrelerin tahmini kolay bir iş değildir ve genellikle biraz tecrübe gerektirir. Aynı girdi parametreleri kümesi kullanılsa bile, mevcut yöntemlerin Maynar ve Rodriguez (2005) tarafından tartiřıldĐı gibi oldukça farklı sonuçlar verebilir. Bu yöntemlerin uygulanması sadece dairesel kesitler için sınırlıdır ve kazı dizisinin olası etkilerini yansıtmamaktadır. Benzer şekilde, yeraltı su tablasındaki değişim ve drenajlı durumda kil davranışđı da bu yöntemlerle dikkate alınmamaktadır. Ancak, varsayım ve eksikliklerinin uygun şekilde bilinmesi ve düzeltilmesi durumunda başarılı bir şekilde kullanılabilirler. Yüzey oturmalarının tahmini için mevcut yöntemler aşağıdaki bölümlerde incelenecektir. Mevcut ampirik yöntemleri için ortak parametreler, deformasyon mesafesi parametresi (i) ile hacim kayıp parametresidir (Vs). Bu bölümde kullanılan gösterimler ve tünel yerleşiminin şematik görünümü şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Tünel kaynaklı deformasyonun yerleşim geometrisi (Attewell, 1986).

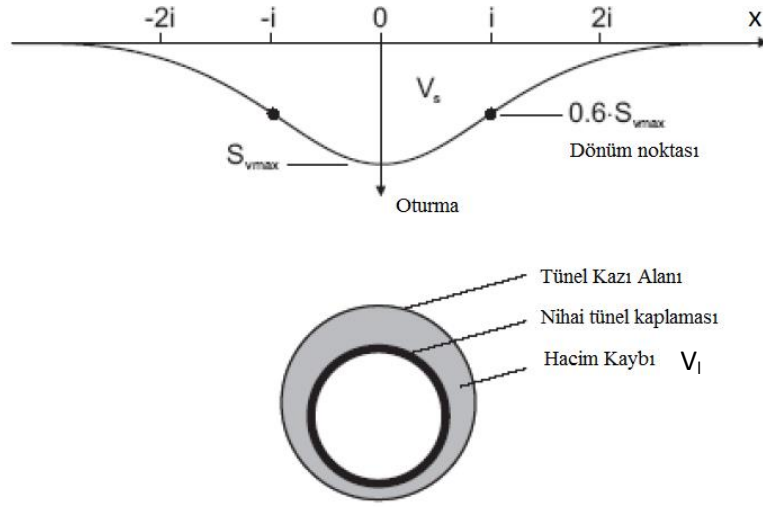
6.1 Ampirik Yöntemler

Tünel ilerlemesine bağlı yüzey deformasyonların tahmini için kullanılan 5 yöntem hakkında bilgiler verilmiştir. Önceki bölümde değinildiği gibi bu yöntemlerin ortak iki parametresi vardır ve bu parametreler üzerine yapılan gözlemlere bu bağıntılar oluşturulmuştur.

6.1.1 Peck yöntemi

Peck (1969), tek bir tünel boyunca deformasyonun enine yönde, Şekil 6.2’de gösterildiği gibi Gauss olasılık eğrisi ile temsil edilebileceğini önermiştir. Yöntemin teorik bir temeli olmamasına rağmen, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. Peck’in metodu, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde açık yüzlü tünel açma yöntemleriyle kazılan 18 tünelden elde edilen yerleşim verilerine dayanarak geliştirilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi, Peck’in (1969) çalışmasına bağlı olarak, enine deformasyon, Gaussian olasılık fonksiyonu ile aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$Sv(x) = Sv, \max e^{\frac{-x^2}{i^2}} \quad (6.1)$$



Şekil 6.2: Enine yönde deformasyon mesafesi ve hacim kaybının Gauss olasılık eğrisi ile gösterimi.

Hacim kaybı parametresi (V_s) ise Denklem 2.1 'in integrali alınarak bulunur:

$$\int S_v(x) \cdot dx = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot S_{v,max} \quad (6.2)$$

Denklem (6.2)'den:

$$S_{v,max} = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi} \cdot i} \quad (6.3)$$

Denklem 6.1 ila 6.3'den enine yüzey oturmaları şu şekilde formüle edilir.

$$S_v(x) = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi} \cdot i} \cdot e^{-\frac{x^2}{2i^2}} \quad (6.4)$$

Deformasyon mesafesi parametresi (i) için Clough ve Schmidt (1981) tarafından önerilen değerler bölüm 6.2.1'de detaylı olarak sunulmuştur.

6.1.2 Sagaseta yöntemi

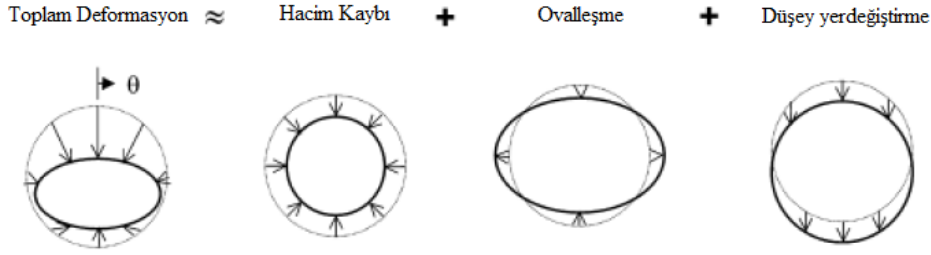
Sagaseta (1987) çalışmasının başlangıç noktası, elastik bir sonsuz ortamdaki kanal çözümünden kaynaklanmaktadır. Sagaseta'nın çözümünün temeli, sıkıştırılamaz toprak tabakası varsayımdır ve yalnızca drenajsız yükleme analizleri için uygulanabilir. Enine ve boyuna yöndeki yüzey yerleşimler sırasıyla 6.5 ve 6.6 denklemlerinde verilmiştir.

$$S_v(x) = \frac{V_s}{\pi} \frac{H}{x^2 + H^2} \quad (6.5)$$

$$S_v(y) = \frac{V_s}{2\pi H} \left(1 + \frac{y}{\sqrt{y^2 + H^2}} \right) \quad (6.6)$$

6.1.3 Gonzales ve Sagaseta yöntemi

Gonzales ve Sagaseta (2001), Sagaseta (1987) yönteminin genişletilmiş bir versiyonunu önerdi. Tahmini oturmalar Sagaseta (1987) metodunda, toplam deformasyonun hesaplanması için yalnızca zemin kaybı terimini dikkate almaktadır. Gonzales ve Sagaseta (2001) çalışmasında, toplam tünel deformasyonu, Şekil 6.3'de gösterildiği gibi birkaç temel modun toplamı olarak ifade edilmiştir.



Şekil 6.3: Tünel deformasyon bileşenleri.

Zemin sıkışabilirliği veya plastik gerilmeler nedeniyle Denklem 6.7'de verilen toplam oturmaya elde etmek için hacim kaybı, ovalleşme ve düşey hareket toplanır.

$$S_v(x) = \varepsilon D \left(\frac{D}{2H} \right)^{2\delta-1} \frac{1}{(1+x'^2)^{\alpha_v}} \left(1 + \rho \frac{1-x'^2}{1+x'^2} \right) \quad (6.7)$$

Zemin kaybı çözümü, elastik ve sıkıştırılmaz ortam varsayımlarına dayanmaktadır. Ovalleşme için Kirsch (1898)'in önerisi, üçüncü derecedeki terimler, sıkıştırılmaz zemin tabakası varsayımı ile göz ardı edilerek bulunur. Plastik gerilmeler, Plastik bölgedeki yer değiştirmelerin azaldığı düşünülen mesafenin (α_v) üssü olarak bulunur. Denklem 6.7'de verilen 4 değer ε , δ , ρ , ve α_v , zemin koşulları ve kazı işlemlerine bağlı olarak belirlenir. Bu değerleri seçilmesi için Sagaseta'nın önerileri;

- Killi zeminlerde drenajsız durum için α_v 1 alınabilir.
- Daneli zeminlerde tünel derinliğine bağlı olarak α_v değerleri 2 ($H < 2D$) ile 1 ($H > 4D$) arasındadır.
- ρ değeri genellikle 0 ile 1 arasındadır.

Ovalleşme ve sıkıştırılabilirlik ihmal edildiğinde ($\rho=1$, $\delta = 1$) Denklem 6.7 Denklem 6.5'e eşit olur.

6.1.4 Verruijt ve Booker yöntemi

Verruijt ve Booker (1996) yöntemi, Sagaseta (1987) çözümünün bir uzantısıdır. Bu durumda, önerilen çözüm yalnızca sıkıştırılamaz zemin ortamı için değil, aynı zamanda Poisson'un oranının farklı değerleri için de geçerlidir. Bu özelliğin yanı sıra, Sagaseta'nın zemin kaybı çözümüne ek olarak, Verruijt ve Booker, ovalleşmenin çözüme etkisini Denklem 6.8'de şu şekilde dâhil etmiştir.

$$S_v(x) = \varepsilon D^2 (1 - \nu) \frac{H}{x^2 + H^2} - \frac{\delta D^2}{2} \frac{H(x^2 + H^2)}{(x^2 + H^2)^2} \quad (6.8)$$

Sıkıştırılamaz durum için ($\rho = 0$ ve $\nu = 0$); Denklem 6.8, Denklem 6.5'e eşittir.

6.1.5 Loganathan ve Poulos yöntemi

Loganathan ve Poulos (1998) boşluk parametresine göre geleneksel hacim kaybı parametresini yeniden tanımlamış ve Verruijt ve Booker (1996), Denklem 6.8'den elde edilen kapalı form çözümüne dâhil etmiştir. Loganathan ve Poulos'un (1998) çözümü Denklem 6.9'da sunulmuştur.

$$S_v(x) = (1 - \nu) \frac{H}{x^2 + H^2} (2gD + g^2) e^{-\left(\frac{1.38x^2}{(H+0.5D)^2}\right)} \quad (6.9)$$

Denklem 6.9'da, drenajsız boşluk parametresi “g”, tünel yüzeyindeki 3 boyutlu elasto-plastik zemin deformasyonunun birleşik etkileri nedeniyle tünel çevresinde oluşan 2 boyutlu boşluğun eşdeğer büyüklüğü olarak tanımlanır. Drenajsız boşluk parametresi parametresi Lee ve diğ. (1992) tarafından Denklem 6.10'da gösterildiği gibi teorik olarak tahmin edilmektedir.

$$g = G_p + U_{3D} + W \quad (6.10)$$

G_p , TBM veya tüm çeper korumalı tünel kazısı kalkanı (Shield) dış yüzeyi ile tahkimat yüzeyi arasındaki geometrik boşluğu temsil eden fiziksel boşluktur. U_{3D} ,

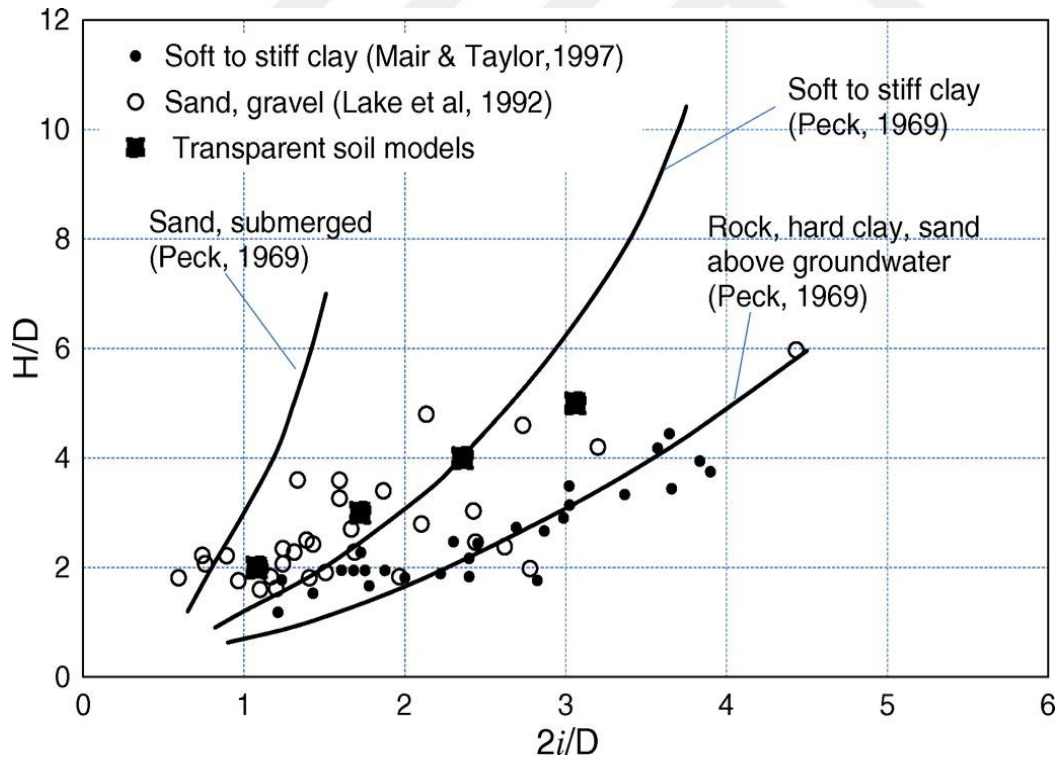
tünel yüzündeki eşdeğer 3 boyut elasto-plastik deformasyondur. W , işçilik kalitesini dikkate alan parametredir. Tünel yüzeyindeki 3D deformasyonlar ve iyi işçilik varsayımıyla drenajsız boşluk parametresi (g) G_p 'ye eşit olur.

6.2 Ampirik Yöntemlerde Kullanılan Ortak Parametreler

Yüzey deformasyonlarının ampirik yöntemlerle tahmini için genellikle iki parametre gerekir. Bunlar deformasyon mesafesi parametresi (i) ve hacim kaybı parametresi (V_s)'dir.

6.2.1 Deformasyon mesafesi parametresi (i)

Deformasyon mesafesi olan i , Şekil 6.2'de gösterildiği gibi tünel ekseninden bükülme noktasına kadar olan mesafeyi belirler. Açık yüzlü tünel açma yöntemleri kullanılarak yapışkan ve granül topraklarda kazılan 18 tünelden elde edilen verilere bağlı olarak, Peck (1969), Deformasyon mesafesini belirlemek için bir grafik çözümü önermiştir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4: Deformasyon mesafesi parametresi ve tünel derinliği arasındaki ilişki (Peck, 1969).

Bazı araştırmacıların Deformasyon mesafesi parametresi ile ilgili yaptığı çalışmaların sonucu Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Deformasyon mesafesi parametresi ile ilgili çalışmalar

Araştırmacı	Önerilen İfade	Zemin Sınıfı
Attawell (1977) Rankin (1987)	$i=0.5H$	Killer
O'Reilly & New (1982)	$i=0.25H$ veya $i=0.28H-1$ $i=0.5H$ veya $i=0.43H+1$	Granüler Zeminler Killi Zeminler
Chapeau (1991)	$i=0.45H$ $i=0.2H$	Killer Kumlar

6.2.2 Hacim kaybı parametresi (V_s)

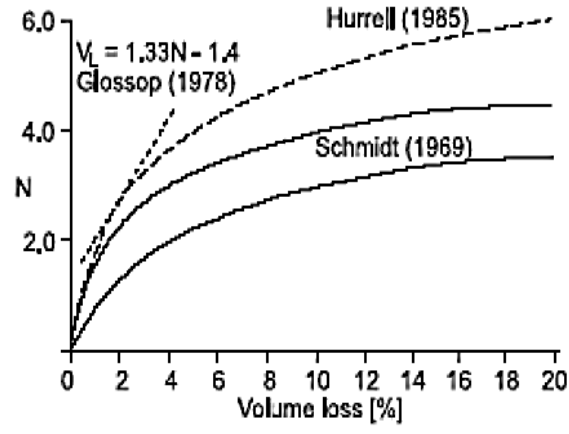
Hacim kaybı, bazen toprak kaybı olarak adlandırılır. Hacim kaybı, kazılan tünel hacminin, son tünel kaplaması ile tamamlanan tünelin arasındaki hacim farkıdır (Şekil 6.2). Drenajsız durum için killerin deformasyonu, Şekil 6.2'de gösterildiği gibi, enine deformasyon hacmi, sıkıştırılmaz zemin varsayımının bir sonucu olarak hacim kaybına eşittir. Hacim kaybı, zemin tipi, tünel ilerleme hızı, tünel ilerleme uzunluğu, kazı adımlarının sırasına ve tünel boyutu gibi birçok faktöre bağlıdır. Hacim kaybı parametresi Broms ve Bennermark (1967) tarafından tanımlanan stabilite numarası (N) belirlenir. Stabilite numarası (N) aşağıdaki bağıntı ile belirlenir:

$$N = \frac{\sigma_v - \sigma_t}{c_u} \quad (6.11)$$

Lake ve diğ. (1992) stabilite sayısı (N) ile hacim kaybı (V_s) arasındaki mevcut ilişkileri özetlemiş ve aşağıdaki sonuçları belirtmiştir.

- N , 2'den küçükse, ortam elastiktir ve tünel aynası sabittir.
- N 2 ile 4 arasındaysa, tünelin çevresinde yerel plastik bölgeler gelişir.
- N 4 ile 6 arasında ise, plastik yenilme zonları oluşması sebebiyle büyük deformasyonlar oluşur.
- N , 6'den büyükse, ortam elastiktir ve tünel aynasında da kararsızlık oluşur.

Lake ve diğ. (1992), Şekil 6.5'te görüldüğü üzere, bazı yazarlar tarafından önerilen hacim kaybı ve stabilite sayısı arasındaki ilişkileri sunmuşlardır.



Şekil 6.5: Stabillite sayısı N ile hacim kaybı V_s arasındaki farklı bağıntılar.

7. KİLLİ ZEMİNLERDE NATM İLE AÇILAN TÜNELLERİN NEDEN OLDUĞU YÜZEY DEPLASMANLARININ İNCELENMESİ

Günümüzde; nüfus artışının neden olduğu şehir içi alanlarının daralması ve yeni yerleşim yerlerinin hız kesmeden inşa edilmesi, yer üstünün olduğu kadar yeraltında kullanımını kaçınılmaz kılmaktadır. Teknolojide meydana gelen hızlı gelişmeler, inşaat sektöründe uygulanan yöntemlerin ve çözüm yollarının da gelişmesini sağlamıştır. Bu gelişmelerin en etkili olduğu alanlardan birisi de yeraltı yapıları ve tünelcilik çözümleri olmaktadır. Ulaşım sektöründe karayolu ve demiryolu güzergâhlarının bir kısmının, metro projelerinin ise büyük bir bölümünün tüneller ile yeraltından geçirilmesi bu çözümler içerisinde yer almaktadır. Kaya mekaniğinde ve zemin mekaniğinde yapılan araştırmalar klasik tünelcilik anlayışını değiştirmiş, yaklaşık yetmiş yıldır birçok projede başarılı bir şekilde uygulanmış olan Yeni Avusturya Tünel Açma Yönteminin (NATM) doğmasını ve sürekli gelişmesini sağlamıştır.

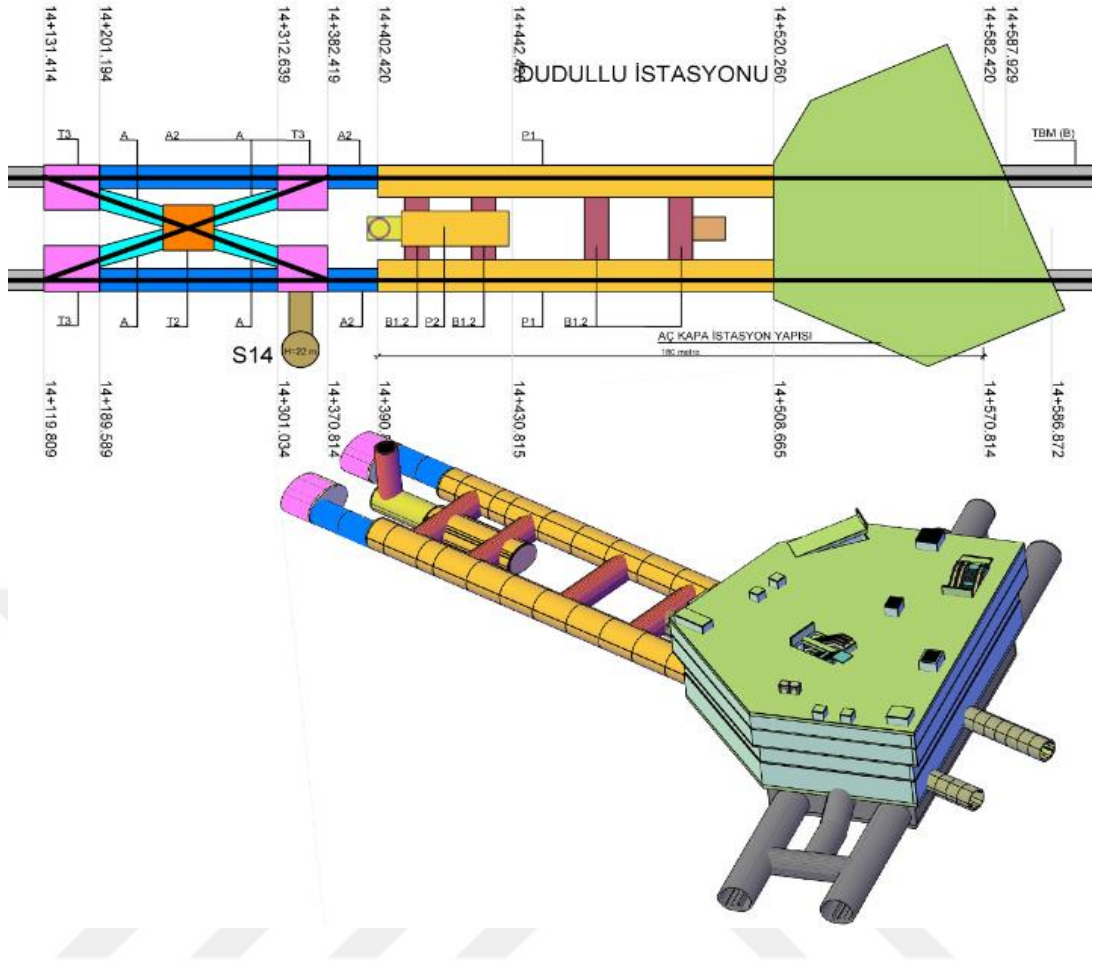
Şehir merkezlerinde yoğun yapılaşma sebebiyle, metro projelerinin hayata geçirilmesi için gerekli olan şantiye alanları özellikle İstanbul'da çok az ve alan olarak küçüktür. Bu yüzden genellikle metro istasyonları kamu mülkiyet ve arazilerinin üzerinde konumlandırılmıştır. Metro güzergahları belirlenirken, istasyon ve tünellerin yapılacağı inşaat alanlarının konumları ve boyutları çok önemli bir seçim parametresidir. Hatta bazı projelerde maalesef öncelikli seçim kriteridir. Bu sebeplerden dolayı istasyona bağlı olan tünellerin imalatları yerleşim yerlerinde maliyet veya zemin koşullarından bağımsız olarak yapım yöntemini belirlemektedir. Aç-Kapa yöntemi zemin ortamlarında en çok tercih edilen ve yapımı en kolay yöntemdir. Bununla beraber neden olduğu yüzey deformasyonları NATM'e göre daha azdır. Aktif bir deformasyon oluşması durumunda müdahale yöntemlerinin hızlı ve basit bir şekilde uygulanması NATM'e göre daha kolaydır. Fakat bu çalışmada incelenen bölge gibi şehir içinde birçok bölge olması ve Aç- Kapa yönteminin olmazsa olmazı olan büyük inşaat alanlarının yerleşim yerlerinde var olmaması nedeniyle zorunlu olarak NATM tercih edilmektedir. Zemin ortamında açılacak NATM tüneli imalatlarında maliyetin büyük bölümünü kazı hafriyatının tünelden

çıkarılması ve umbrella-arch yöntemi oluşturmaktadır. Bu iki imalat kaleminin maliyeti yaklaşık olarak toplam tünel maliyetinin yarısından biraz fazladır. Üstelik umbrella-arch imalatının uygulanma prosedürüne göre kazı miktarı dahada artmakta ve yer altında açılan tünel kesit alanı genişlemektedir. Bunun sonucunda ise yüzeyde deformasyonlar artmaktadır.

Bu çalışmada killi zeminlerde NATM ile açılan tünellerin neden olduğu yüzey deplasmanları incelenmiştir. Açılan tünel kesitlerinin üzerine yerleştirilmiş olan yüzey bulonlarının deformasyon okuma değerleri tünel kesit alanlarına, tünel derinliğine, tünel ekseninden olan mesafesine göre sınıflandırılmış, yapılan tünellerin imalat tarihlerine göre efektif deformasyon değerleri bulunmuştur. Efektif deformasyon değerleri önceki bölümlerde açıklanan ampirik yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan ampirik yöntemlerden hangisinin, hangi tünel kesitlerinde daha sağlıklı sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur. Ayrıca bu yöntemlerden bağımsız efektif deformasyon miktarlarına bağlı olarak yeni bir bağıntı oluşturulmuştur.

7.1 Proje ile İlgili Genel Bilgiler

ÜÜÇ Metrosu İnşaatı, İBB Anadolu Yakası Raylı Sistemler Daire Başkanlığı tarafınca Doğuş İnşaat ve Tic. A.Ş.'ne ihale edilmiş olup, yapımına Mart 2012 tarihinde başlanılmıştır. Toplam 16 istasyondan oluşan projede, yaklaşık 37,5 km tünel imalatı (aç-kapa istasyonların peron uzunlukları da dahil edilmiştir) yapılmıştır. Üsküdar'dan başlayan proje bu istasyonda Marmaray ile komşudur. Ümraniye Çarşı İstasyonunda ise yapımına 2017 tarihinde başlanılan Ümraniye-Göztepe metro hattıyla kesişecektir. Dudullu İstasyonu ise ileride aktarma merkezi olmak üzere planlanmış olup, yapımına devam edilen Dudullu-Bostancı Metro hattı ile beraber çalışacaktır. Çekmeköy İstasyonunda sona eren proje, yapımına devam edilen Sancaktepe-Sultanbeyli Metrosunun başlangıç noktası olarak belirlenmiştir. 4 raylı sistemin birbirine entegre olmasını sağlayan proje İstanbul'un Anadolu yakasındaki ulaşımın adeta can damarını oluşturmaktadır. Yapımı 2018 tarihinde tamamlanan proje, şu anda aktif olarak işletilmektedir. Çalışmanın kapsamını içeren Dudullu Makaslar Bölgesi, yaklaşık 388 m uzunluğunda birbirine bağlanmış farklı tip tünellerin kesişiminden oluşmaktadır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1: Dudullu makaslar bölgesi genel görünüm.

Bu çalışmada Şekil 7.1’de de görüldüğü üzere 2 adet Peron tüneli (P1 kesit), 4 adet çapraz hat tüneli (A kesit), 2 adet hat tüneli (A2 kesit), 4 adet makas tüneli (T3 kesit) ve 1 adet orta makas tüneli (T2 kesit) incelenmiştir.

7.2 Jeoloji ve Yerel Zemin Koşulları

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi Dudullu Makas bölgesi arazi işleri kapsamında, SPT deneyleri, presiyometre deneyi ve laboratuvar deneyleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Arazi çalışmaları toplam 295,23 metre derinlikte 9 adet sondaj kuyusu açılması (Şekil 7.2), 12 adet SK-DUD-1 numaralı sondaj kuyusunda ve 2 adet SK-DUD-2 numaralı sondaj kuyusunda olmak üzere toplam 14 adet presiyometre deneyini kapsamaktadır. Jeolojik kesit oluşturulurken SK-DUD-1 ve SK-DUD-2 numaralı sondaj kuyuları tünel güzergahının tam üstünde yer alması nedeniyle seçilmiştir. Çizelge 7.1’de yapılan sondajlarla ilgili genel bilgilere yer verilmiştir.

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi güzergâhının Dudullu İstasyonu alanında, üst kesimlerde Miyosen-Pliyosen yaşlı Sultanbeyli Formasyonu'nun Dudullu Üyesi, alt kesimde ise "İstanbul Grubu" Paleozoyik yaşlı istiflenmenin, Pelitli Formasyonu'nun litolojik seviyeleri bulunmaktadır.

Dudullu İstasyonu alanında SK-DUD-1 numaralı sondaj kuyusunda ve 25.50 metreden itibaren kuyu sonu olan 35.00 metreye kadar izlenmiştir. Birim Özgül N. (2005) tarafından Pelitli Formasyonu'nun ayırtman kılavuz düzeyi olarak tanımlanmış ve Dolayoba Kireçtaşı Üyesi olarak ayırt edilmiştir.

Açıklı koyulu pembemsi morumsu renkli bol mercan ve makro fosilli resifal kireçtaşlarını kapsayışıyla belirgin olan bu karbonat istifini, Paeckelmann (1938) "Halysites'li Kireçtaşı" ve Baykal (1943) "Mercanlı kalker" olarak tanımlamıştır. Kaya (1978) bu kireçtaşlarını, Yayalar Formasyonu'nun üst düzeyini oluşturan şeylleri de kapsayacak şekilde, "Dolayoba Kireçtaşı", Önalın (1982) ise aynı istifi Dolayoba Kireçtaşı adıyla formasyon aşamasında incelemiştir. Bol mercan, fosilli, pembe, gri-mavimsi gri renkli resifal kireçtaşı egemen kaya türünü oluşturur. Yer yer ince katmanlı, kırmızımsı kahverengi kumlu kıltaşı ara katkılıdır. Genellikle ince taneli, az ayrıışmış-ayrıışmamıştır. Orta derecede, yer yer sık eklemlidir. İnce kalsit damarlı olup, eklem ve çatlak gibi süreksizlik yüzeyleri düzlemsel-pürüzlü ve genellikle dolgusuzdur. Orta-düşük dayanımlıdır.

Dudullu İstasyon alanında SK-DUD-1 kuyusunda 0.00-25.50 metreler arasında, SK-DUD-2 numaralı sondaj kuyusunda ise 35.00 metrelik kuyunun tamamı boyunca bu birim izlenmiştir. Özgül (2005) bu birimi Ömerli Formasyonu'na ait bir üye olarak değerlendirmekle birlikte Formasyon olarak da ayrılabilceğini belirtmiştir.

Dudullu, Samandıra ve Çekmeköy civarında yaygınca gözlenen killi-kumlu seviyeleri ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü'nce yaptırılmış olan Anadolu Yakası Mikro Bölgeleme Çalışması kapsamında Sultanbeyli Formasyonu-Dudullu Üyesi (MiyosenPliyosen) olarak ayırtlanmıştır.

Değişken renklerde kum-çakıl-kil-silt litolojilerinden oluşur. Açık kahverengi-sarımsı kahverengibej-krem renkli siltli ince-orta kum ve sarımsı yeşil, yer yer koyu yeşil renkli, ince CO₃ çakıllı, az siltli kil seviyeleri egemen litolojileri oluşturmaktadır.

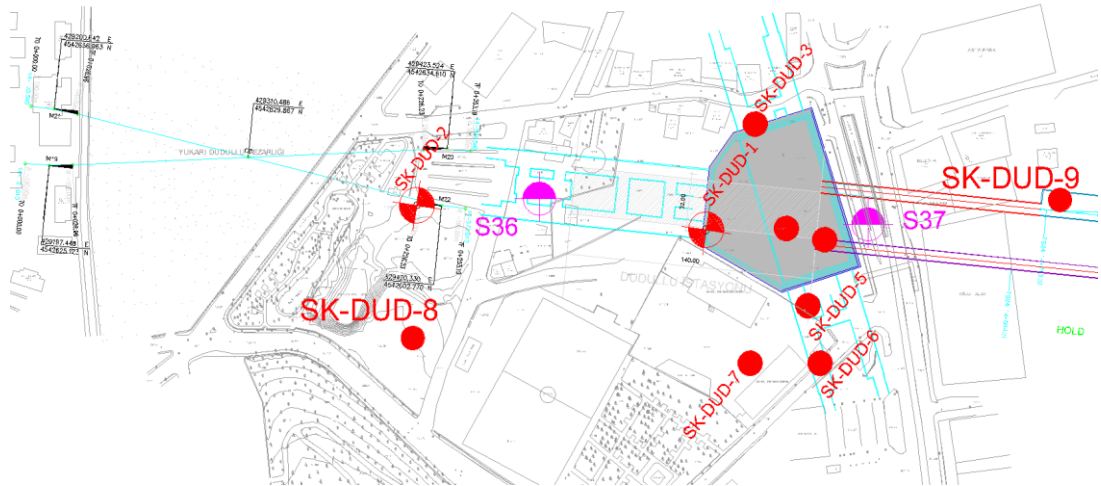
Yer yer siltli kum-kumlu silt ve gevşek-sıkı tutturulmuş kum seviyeleri birbirleri ile geçişli olarak gözlenmiştir.

Kil seviyeleri SPT deney verilerinden hareketle genellikle sert kıvamlıdır. Kum seviyeleri ise yine SPT deney verileri dikkate alındığında orta sıkı-çok sıkı aralığındadır.

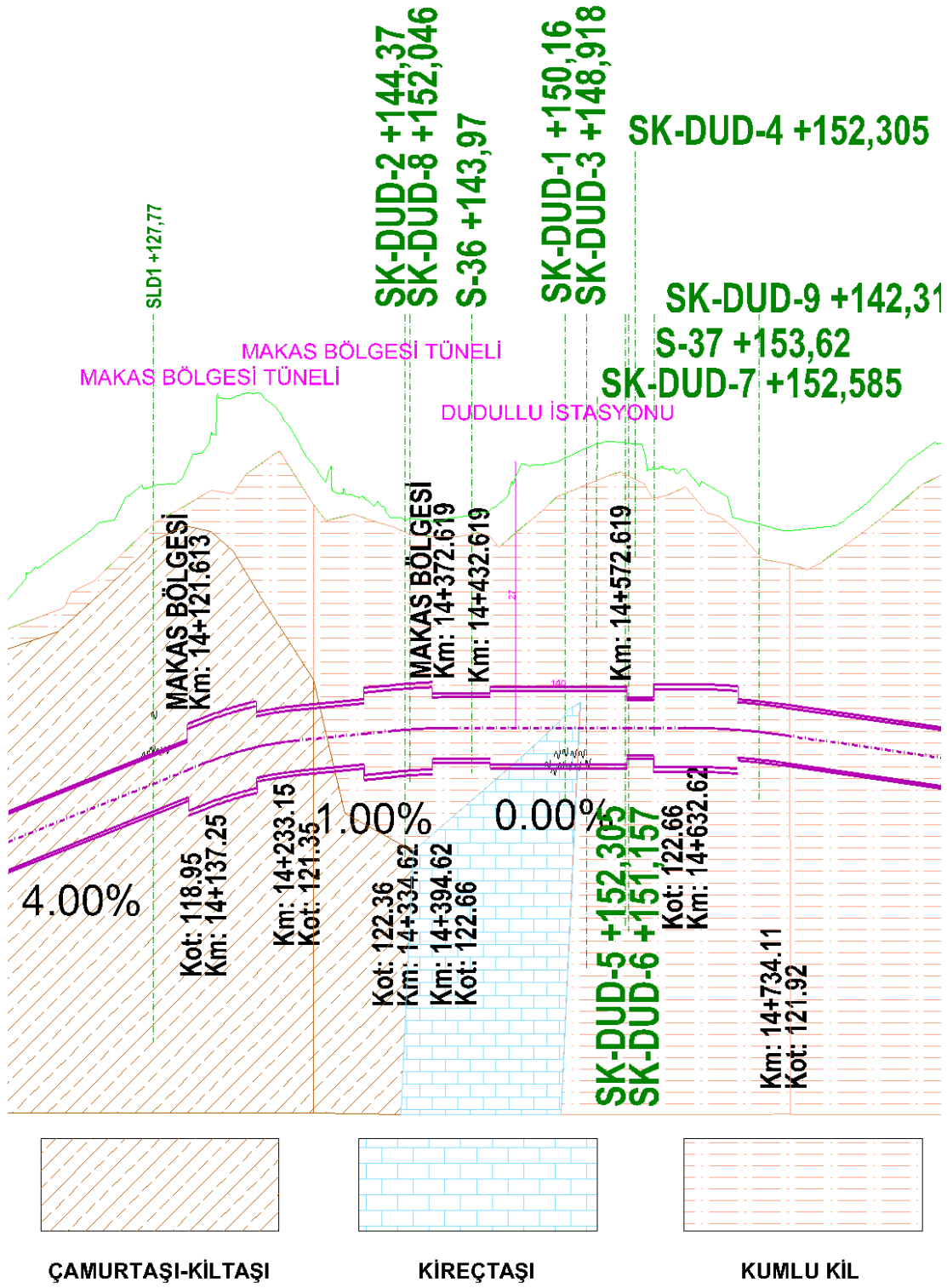
Çizelge 7.1: Sondaj verileri.

Sondaj Logu	Kot (m)	Derinlik (m)	YASS (m)	E (kg/cm ²)	ν	ϕ (°)	c (kPa)	q _u (kPa)	γ_n (kN/m ²)
SK-DUD-1	150,16	35,00	18,20	236,87		-	-	-	
SK-DUD-2	144,37	35,00	3,80	291,27					
SK-DUD-3	148,92	51,00	18,00	-		15,75	95,69	-	
SK-DUD-4	149,65	48,00	13,50	-		4,21	30,88	-	
SK-DUD-5	152,31	50,00	7,00	-	0,33	21,32	30,41	60,83	22,00
SK-DUD-6	151,16	19,63	-	-		-	-	-	
SK-DUD-7	125,59	19,60	-	-		-	-	-	
SK-DUD-8	152,05	35,00	-	-		-	-	-	
SK-DUD-9	142,32	35,00	6,50	-		-	-	-	

Şekil 7.2 ve 7.3’de Dudullu makas bölgesinde yapılan Sondaj çalışmalarının yerleşimini ve arazi üzerindeki dağılımlarını görebiliriz.



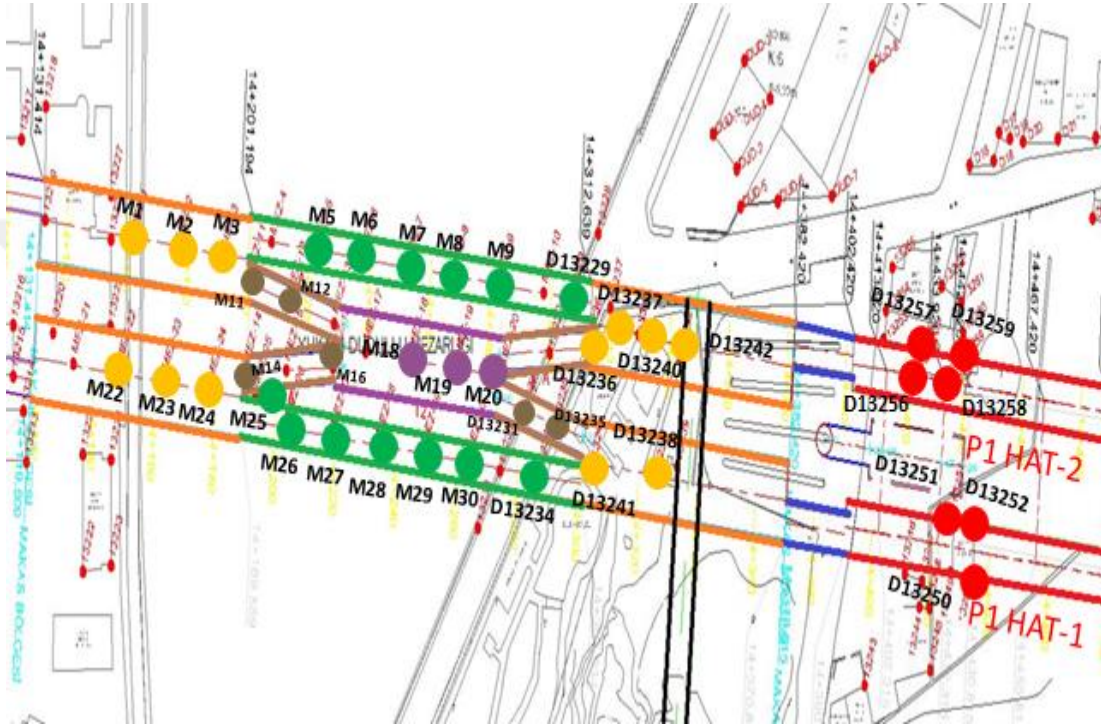
Şekil 7.2: Sondaj yerleşim planı



Şekil 7.3: Çalışma bölgesinin jeolojik kesiti.

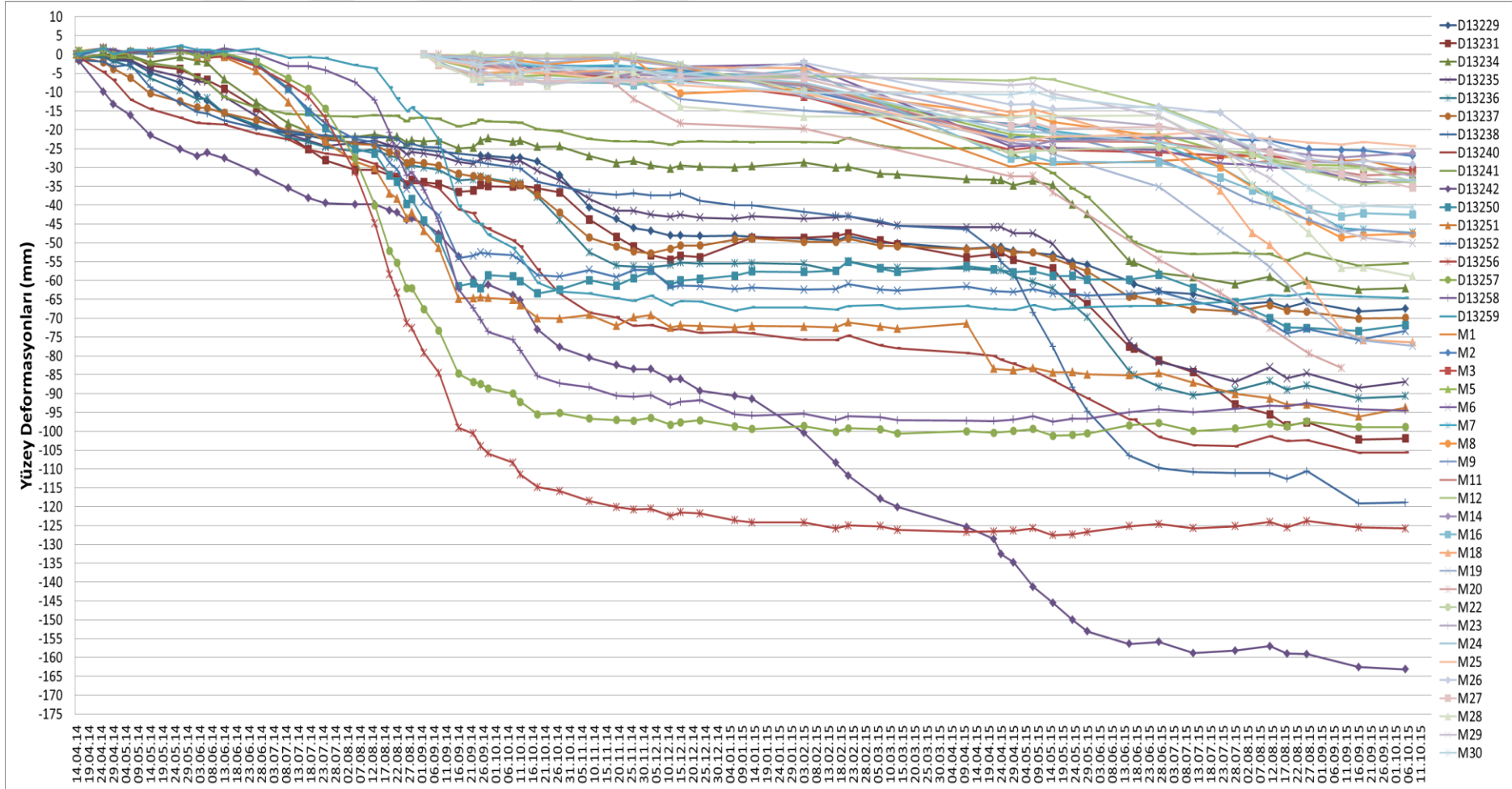
7.3 Deformasyon Değerlendirmesi

Bu çalışmada, ÜÜÇ Metrosu NATM ile açılmış olan killi zeminde inşaatı yapılan Dudullu bölgesi tünelleri incelenmiştir. 5 farklı kesit ve toplamda 13 adet tünelin deformasyon değerleri incelenmiştir. İncelenen deformasyon noktaları Şekil 7.3’de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiş olup, Şekil 7.4’de ise deformasyon değerleri grafiği sunulmuştur.

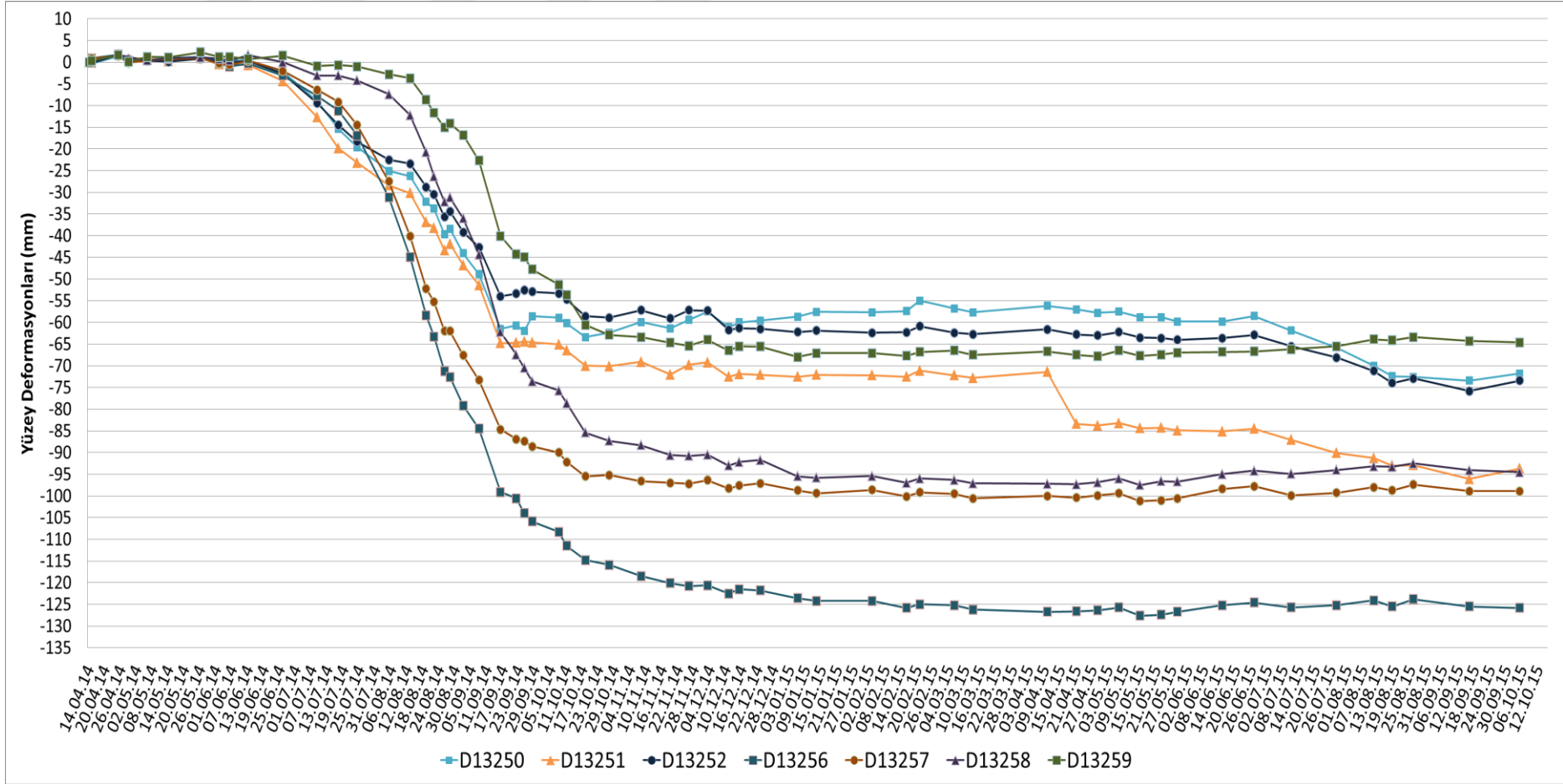


Şekil 7.4: Yüzey deformasyon bulonlarının gösterimi.

Şekil 7.4’de sarı ile işaretlenmiş noktalar T3 makas tünelleri, mor ile işaretlenmiş noktalar T2 makas tüneli, kırmızı ile işaretlenmiş noktalar peron tünelleri, yeşil ile işaretlenmiş noktalar A2 hat tünelleri, kahverengi ile işaretlenmiş noktalar ise çapraz A tünelleri üzerinde yer alan yüzey deformasyon bulonlarını göstermektedir. Tünel hatları da aynı renklerle şekil üzerinde belirtilmiştir. Kırmızı çizgi ile belirtilmiş olan peron tünelleri metro hattının Çekmeköy yönüne doğru, diğer istikamet ise Üsküdar yönüne doğru bakmaktadır. Ayrıca şekilde alt konumda yer alan hattın Hat-1, üst konumda yer alan hattın ise Hat-2 olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmada sadece yüzey bulonlarının deformasyon değerleri incelenmiştir. Bina deformasyon bulonları incelenmemiştir. Tünel imalatları başlangıç ve bitiş tarihleri arasında deformasyon değerleri alınarak, efektif deformasyon değerleri üzerinden sonuca varılmıştır.



Şekil 7.5: Yüzey deformasyon bulonlarının deformasyon grafiği.



Şekil 7.6: Peron tüneli üzerinde yer alan yüzey deformasyon bulonlarının deformasyon grafiği.

7.3.1 P1 Peron Tünellerinin deformasyon değerlendirmesi

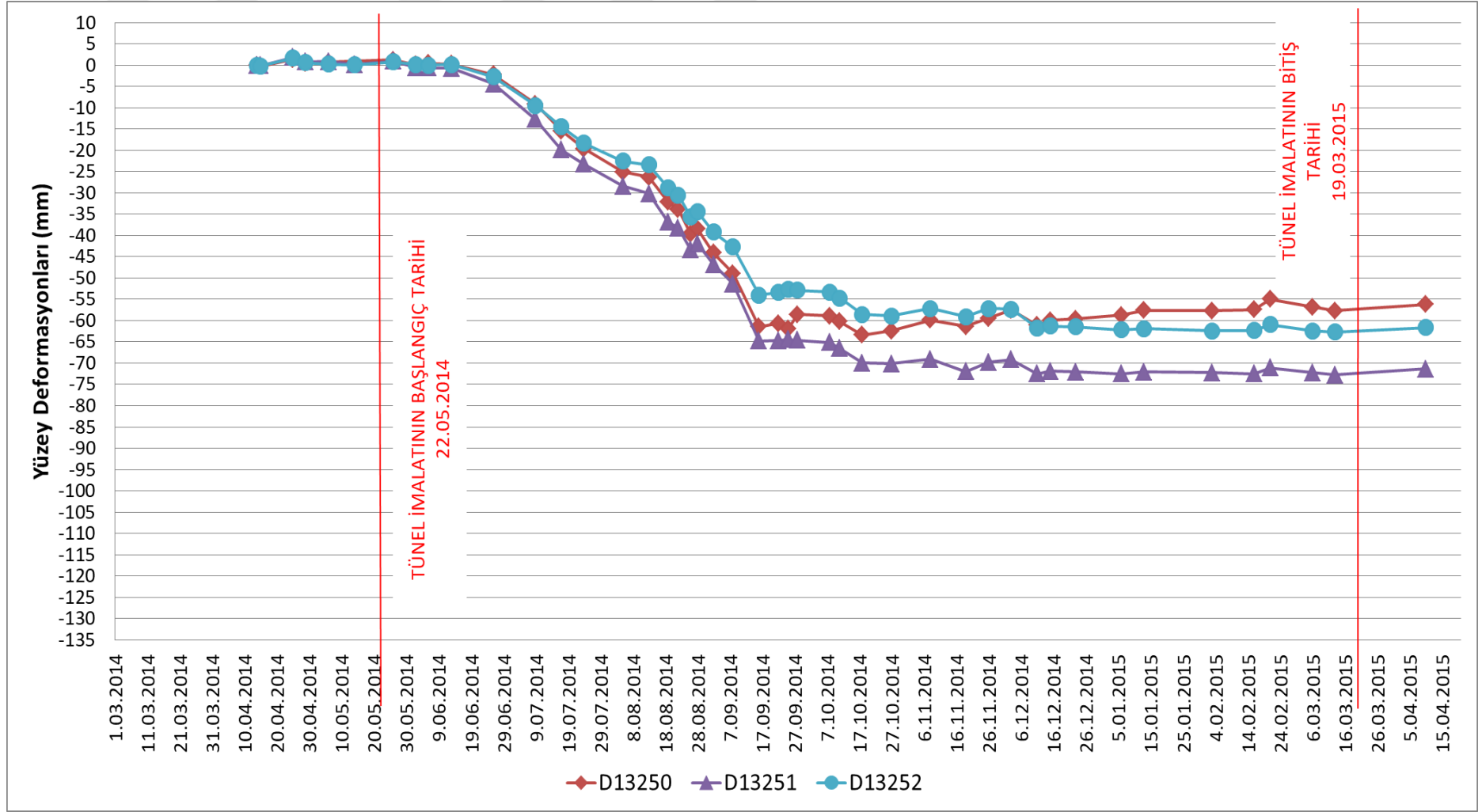
Bu çalışma kapsamında 2 adet peron tünelinin deformasyon değerlendirmesi yapılacaktır. Peron tünelinin tam kesit alanı 82,00 m² 'dir ve yüzeyden 27,00 m derinlikte yer almaktadır. Peron tünelleri üzerinde yer alan 7 adet yüzey bulonlarının deformasyon grafiği Şekil 7.6 üzerinde gösterilmiştir.

7.3.1.1 Hat-1 Peron Tünelinin deformasyon değerlendirmesi

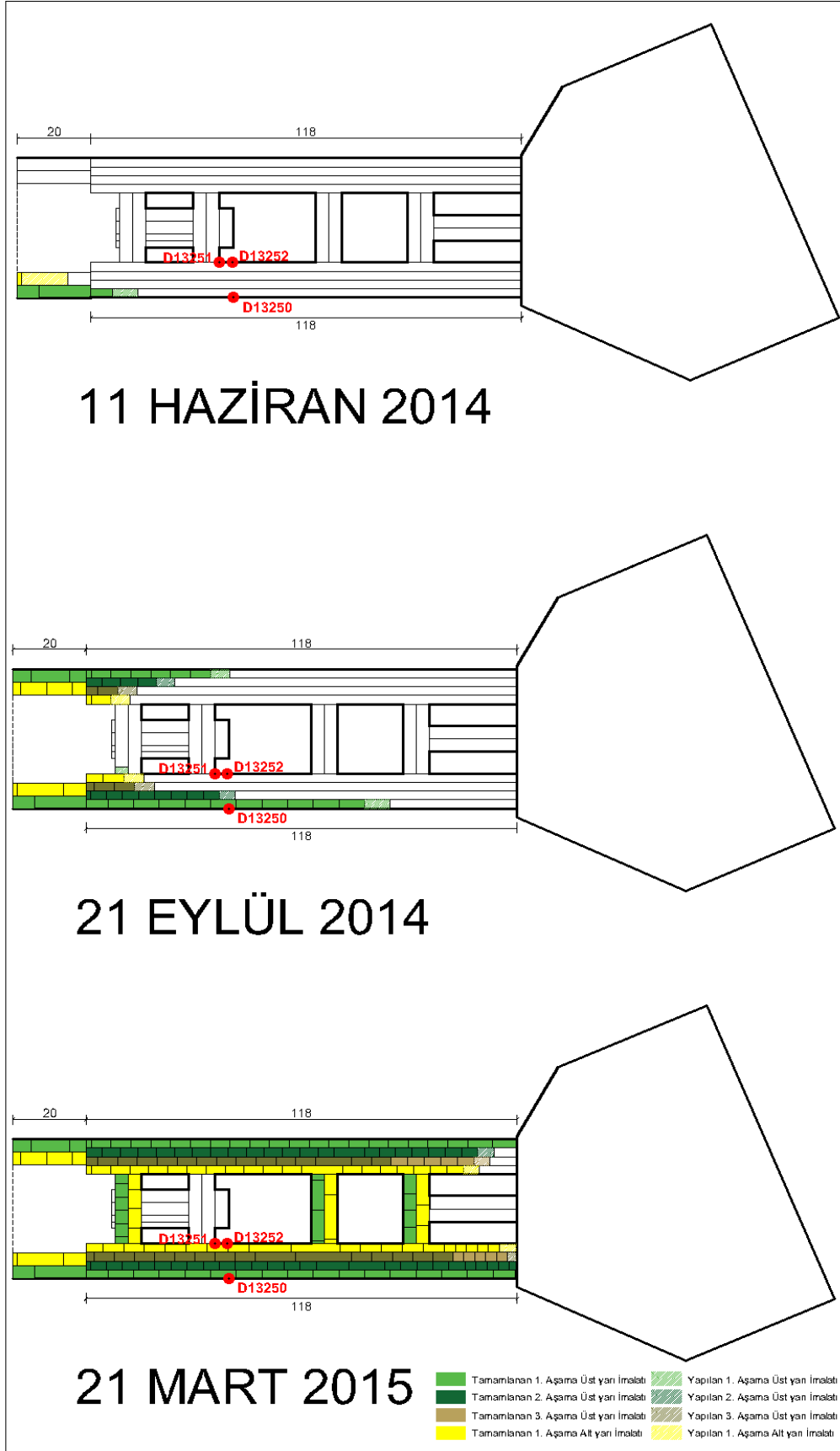
Şekil 7.7 grafiğine baktığımızda tüm yüzey deformasyon bulonlarının Şekil 7.8'de görüldüğü üzere P1 Hat-1 tüneli imalatına başlanılmasından hemen sonra 11 Haziran 2014 tarihinde harekete başladığını ve 21 Eylül 2014 tarihinden itibaren stabil kaldığını görmekteyiz. Bu tarihteki maksimum deformasyon miktarlarına bakacak olursak sırasıyla 60,70 mm, 64,70 mm ve 53,40 mm'dir. Şekil 7.6'ye göre 21 Eylül tarihinde ortalama kazı alanımız 1. ve 2. Kademe üst yarı imalatlarının toplamı 47,00 m²'dir. Tünel imalatının tamamlandığı 19.03.2015 tarihindeki maksimum deformasyon miktarlarına bakacak olursak sırasıyla 56,20 mm, 71,40 mm ve 61,60 mm'dir . Şekil 7.8'ye göre 19 Mart 2015 tarihinde ortalama kazı alanımız bütün imalatların tamamlanmasıyla beraber ortalama 82,00 m²'dir. Deformasyon noktalarımız tünel merkez ekseninden 5,70 m uzaklıkta ve 27,00 m derinliktedir (Çizelge7.2).

Çizelge 7.2: Hat-1 P1 peron tüneli deformasyon değerleri.

Yüzey Bulonları	D13250	D13251	D13252
Okuma Tarihi	11.06.2014 19.03.2015	11.06.2014 19.03.2015	11.06.2014 19.03.2015
Deformasyon miktarı (mm)	0.00 -56.20	0.00 -71.40	0.00 -61.60
Efektif Deformasyon (mm)	-56.20	-71.40	-61.60
Derinlik (m)	27.00	27.00	27.00
Tünel Eksenine Uzaklık (m)	5.70	5.70	5.70
Kazı Alanı (m²)	82.00	82.00	82.00



Şekil 7.7: Hat-1 P1 Tüneli üzerinde yer alan bulonların deformasyon grafiği.



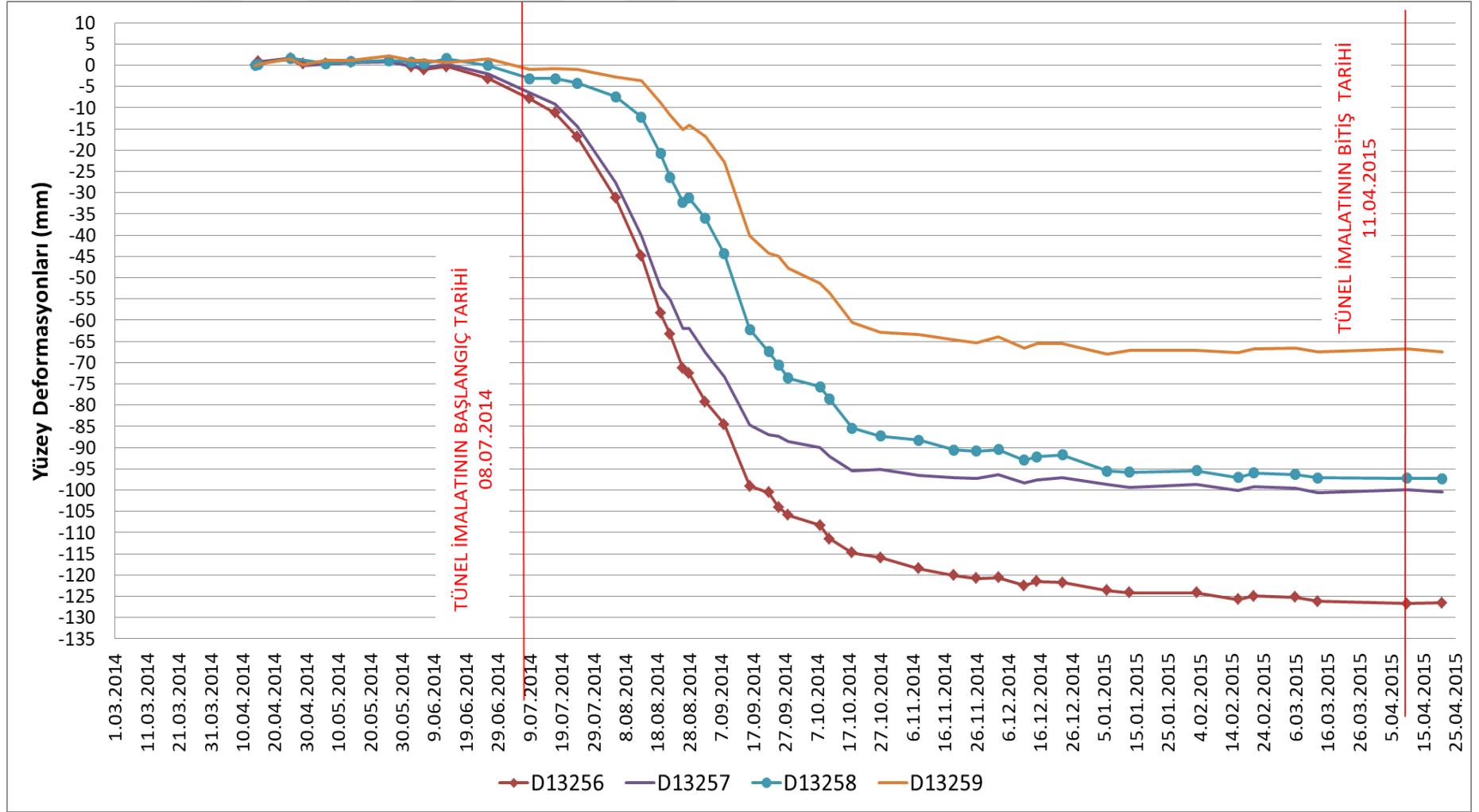
Şekil 7.8: Hat-1 P1 Tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.

7.3.1.2 Hat-2 P1 Peron Tüneli deformasyon değerlendirmesi

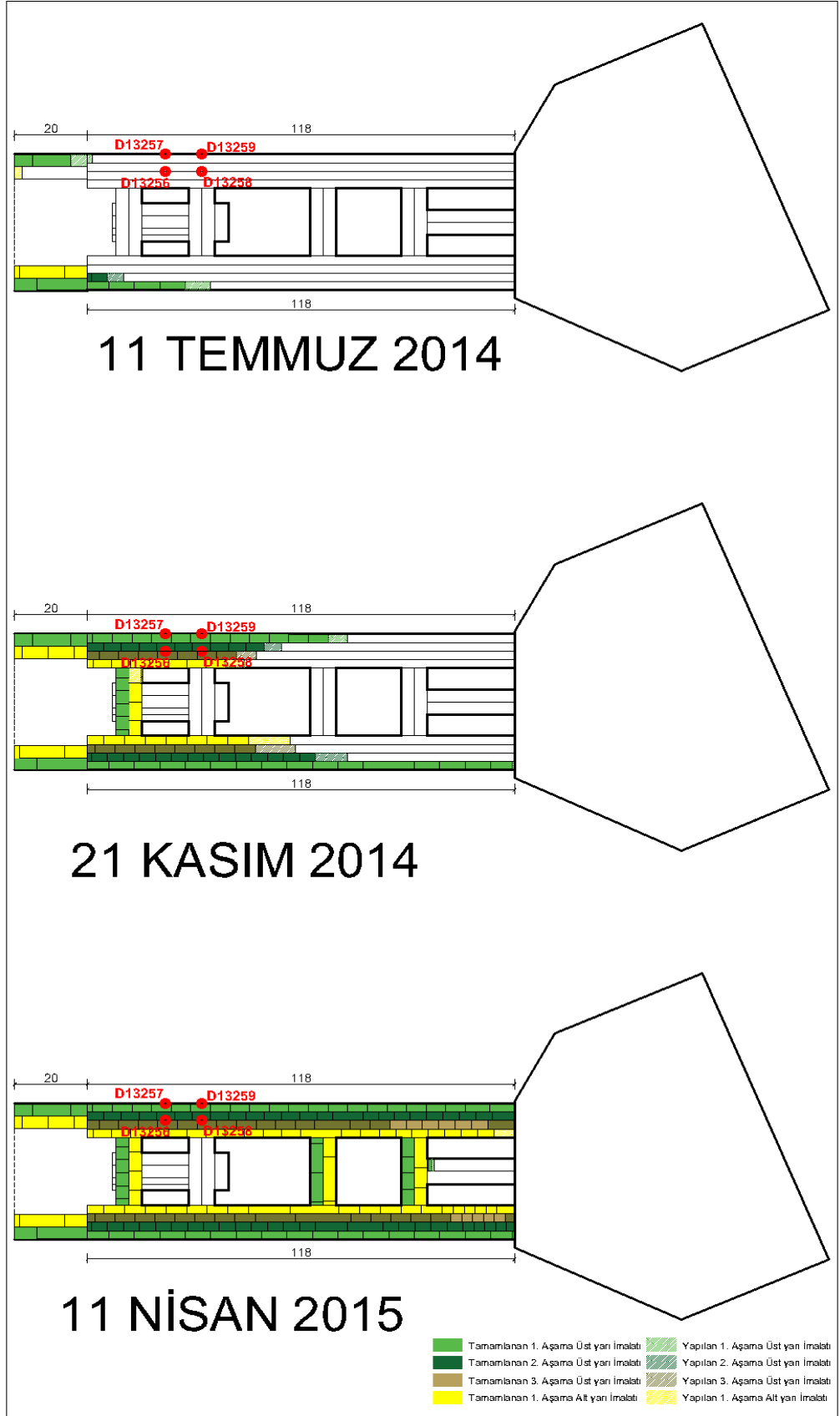
Şekil 7.9 grafiğine baktığımızda tüm yüzey deformasyon bulonlarının Şekil 7.10'da görüldüğü üzere 11 Haziran 2014 tarihinde P1 Hat-1 tüneli imalatına başlanılmasından hemen sonra harekete geçtiğini görmekteyiz fakat P1 Hat-2 tünelinin imalatına ise 8 Temmuz 2014 tarihinde yani deformasyonlardan sonra başlanılmıştır. 21 Kasım 2014 tarihinden itibaren ise stabil kaldığını görmekteyiz. Bu tarihdeki maksimum deformasyon miktarlarına bakacak olursak sırasıyla 120,80 mm, 97,20 mm, 90,80 mm ve 65,40 mm'dir. Şekil 7.10'a göre 21 Kasım tarihinde ortalama kazı alanımız tam kesit 82,00 m²'dir. Tünel imalatının tamamlandığı 11.04.2015 tarihindeki maksimum deformasyon miktarlarına bakacak olursak sırasıyla 126,70 mm, 100,00mm, 97,20 mm ve 66,70 mm'dir. Şekil 7.10'a göre 19 Mart 2015 tarihinde ortalama kazı alanımız bütün imalatların tamamlanmasıyla beraber ortalama 82,00 m²'dir. Deformasyon noktalarımız tünel merkez ekseninden ortalama 5,70 m uzaklıkta ve 27,00 m derinliktedir (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.3: Hat-2 P1 peron tüneli deformasyon değerleri.

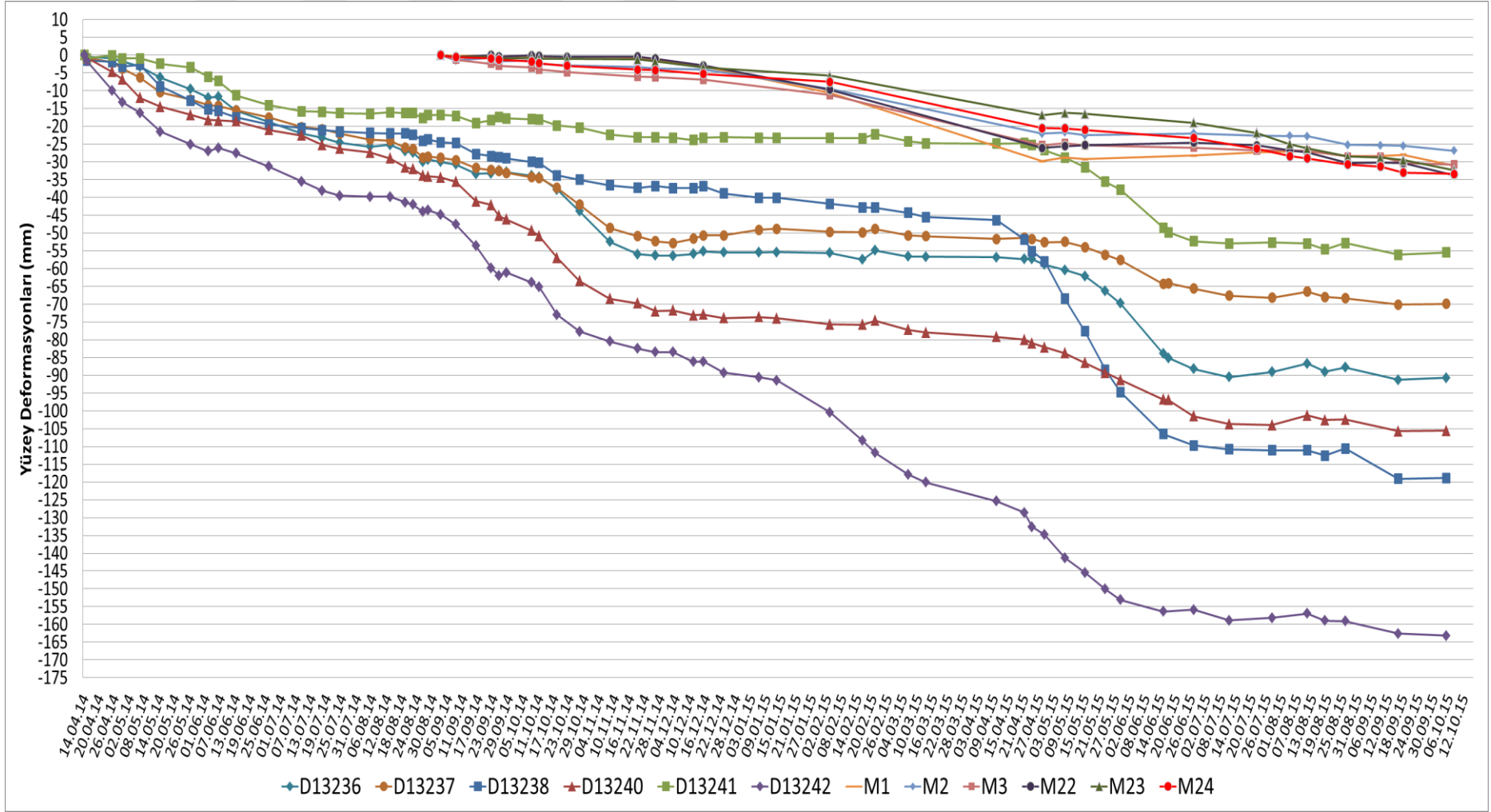
Yüzey Bulonları	D13256	D13257	D13258	D13259
Okuma Tarihi	08.07.2014 11.04.2015	08.07.2014 11.04.2015	08.07.2014 11.04.2015	08.07.2014 11.04.2015
Deformasyon miktarı (mm)	-7.80 -126.70	-6.40 -100.00	-3.10 -97.20	-1.00 -66.70
Efektif Deformasyon (mm)	-118.90	-93.60	-94.10	-65.70
Derinlik (m)	27.00	27.00	27.00	27.00
Tünel Eksenine Uzaklık (m)	5.70	5.70	5.70	5.70
Kazı Alanı (m²)	82.00	82.00	82.00	82.00



Şekil 7.9: Hat-2 P1 Tüneli üzerinde yer alan bulonların deformasyon grafiği.



Şekil 7.10: Hat-2 P1 Tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.



Şekil 7.11: T3 Makas tüneli üzerinde yer alan yüzey deformasyon bulonlarının deformasyon grafiği.

7.3.2. T3 Makas Tünellerinin deformasyon değerlendirmesi

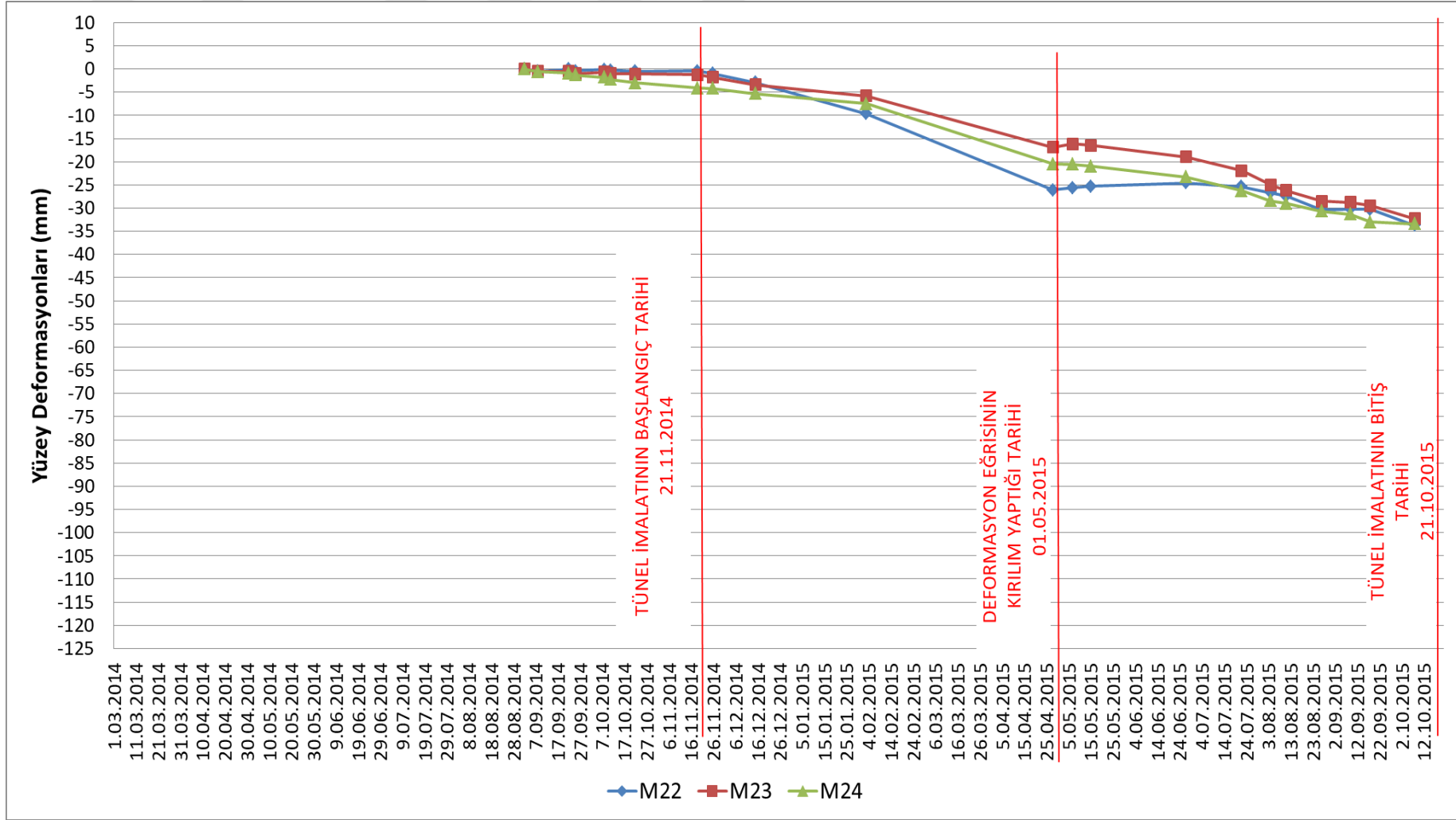
Bu çalışma kapsamında 4 adet T3 Makas tünelinin deformasyon değerlendirmesi yapılacaktır. T3 Makas tünelinin tam kesit alanı $140,00 \text{ m}^2$ 'dir ve yüzeyden 27,00 m derinlikte yer almaktadır. T3 Makas tünelleri üzerinde yer alan 12 adet yüzey bulonlarının deformasyon grafiği Şekil 7.11 üzerinde gösterilmiştir.

7.3.2.1 Hat-1 T3 Tüneli Üsküdar yönü deformasyon değerlendirmesi

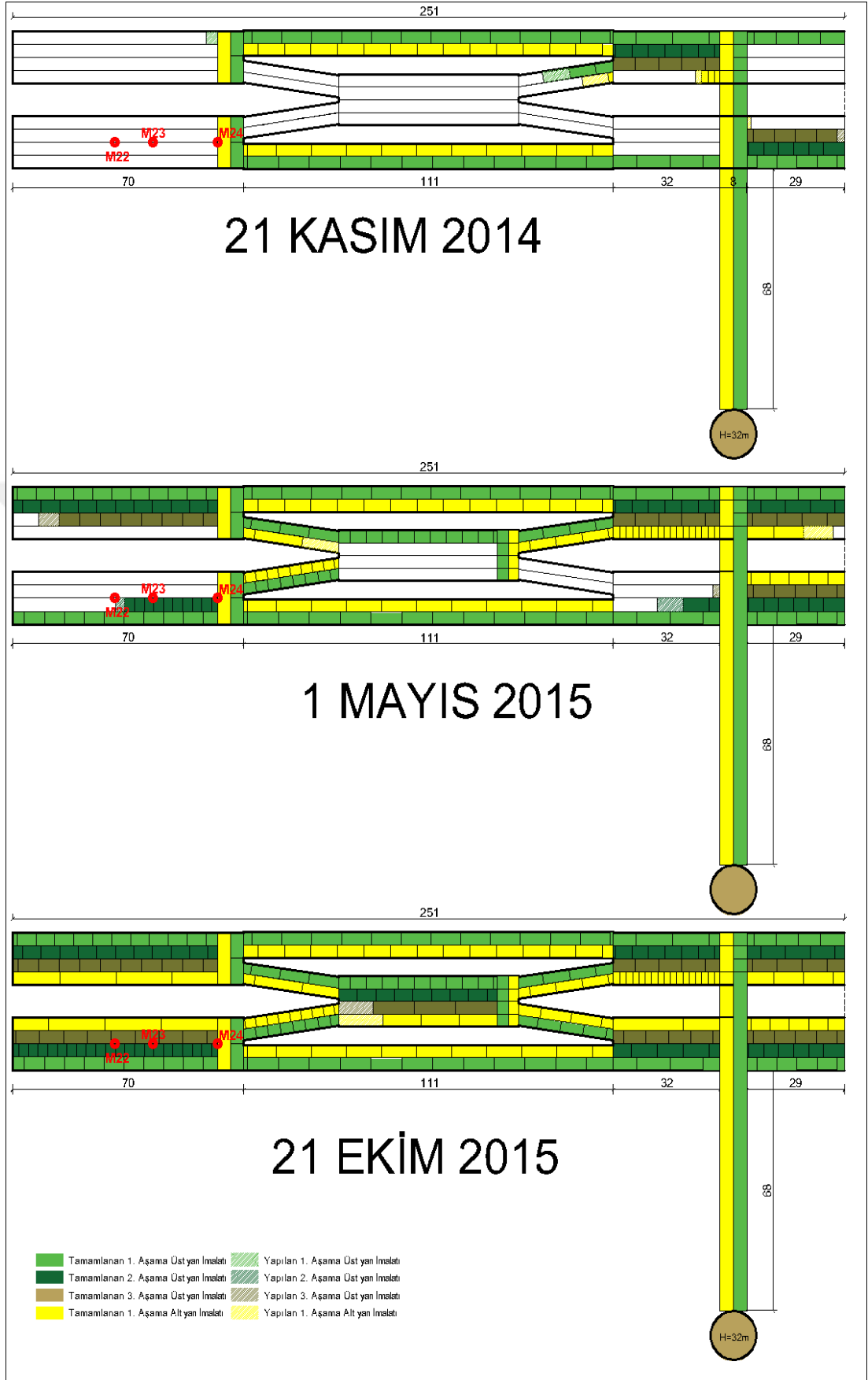
Şekil 7.12 grafiğine baktığımızda yüzey deformasyon bulonlarının 21 Kasım 2014 tarihinde tünel imalatına başlanılmasından önce harekete geçtiğini görmekteyiz 1 Mayıs 2015 tarihinden itibaren tekrar kırılma yaparak 18 Ekim 2015 tarihinde tünel imalatının tamamlanması ile sönümlenmektedir. Bu tarihdeki maksimum deformasyon miktarlarına bakacak olursak sırasıyla 26,10 mm, 16,90 mm ve 20,50 mm'dir. Şekil 7.10'a göre 1 Mayıs 2015 tarihinde ortalama kazı alanımız 1. ve 2. Kademe üst yarı imalatlarının toplamı $69,00 \text{ m}^2$ 'dir. Tünel imalatının tamamlandığı 18 Ekim 2015 tarihindeki maksimum deformasyon miktarlarına bakacak olursak sırasıyla 33,70 mm, 32,30 mm ve 33,40 mm'dir. Şekil 7.13'e göre 21 Ekim 2015 tarihinde ortalama kazı alanımız bütün imalatların tamamlanmasıyla beraber ortalama 140 m^2 'dir. Deformasyon noktalarımız tünel merkez ekseninde ve 27,00 m derinliktedir (Çizelge 7.4).

Çizelge 7.4: Hat-1 T3 tüneli Üsküdar yönü deformasyon değerlendirmesi.

Yüzey Bulonları	M22	M23	M24
Derinlik (m)	27.00	27.00	27.00
Okuma Tarihi	25.11.2014 07.05.2015	25.11.2014 07.05.2015	25.11.2014 07.05.2015
Deformasyon miktarı (mm)	-1.00 -25.60	-1.80 -16.20	-4.20 -20.60
Efektif Deformasyon (mm)	-24.60	-14.40	-16.40
Tünel Eksenine Uzaklık (m)	0.00	0.00	0.00
Kazı Alanı (m^2)	140.00	140.00	140.00



Şekil 7.12: T3 Hat-1 Üsküdar yönü tüneli yüzey deformasyonları.



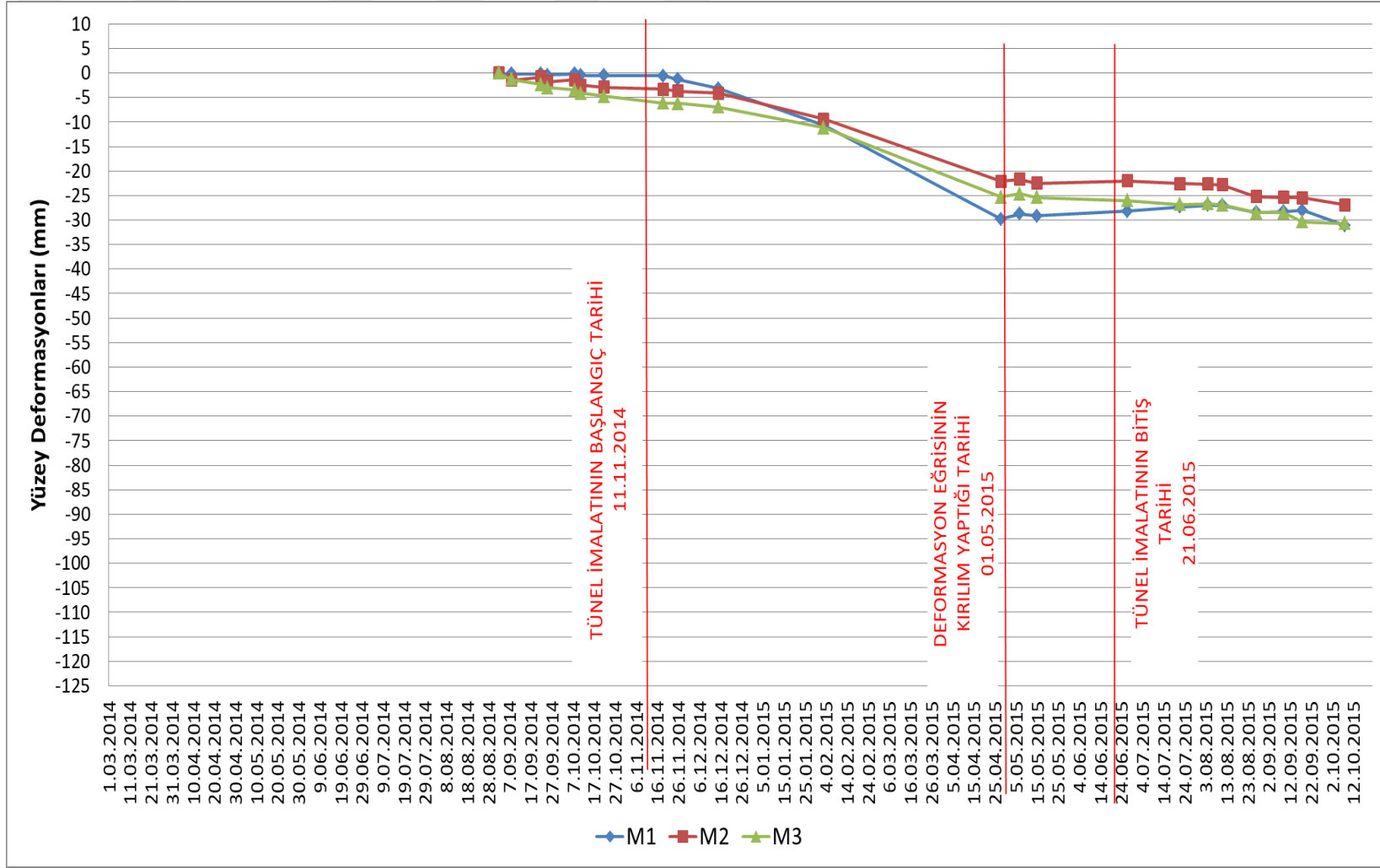
Şekil 7.13: T3 Hat-1 Üsküdar yönü tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.

7.3.2.2 Hat-2 T3 Tüneli Üsküdar yönü deformasyon değerlendirmesi

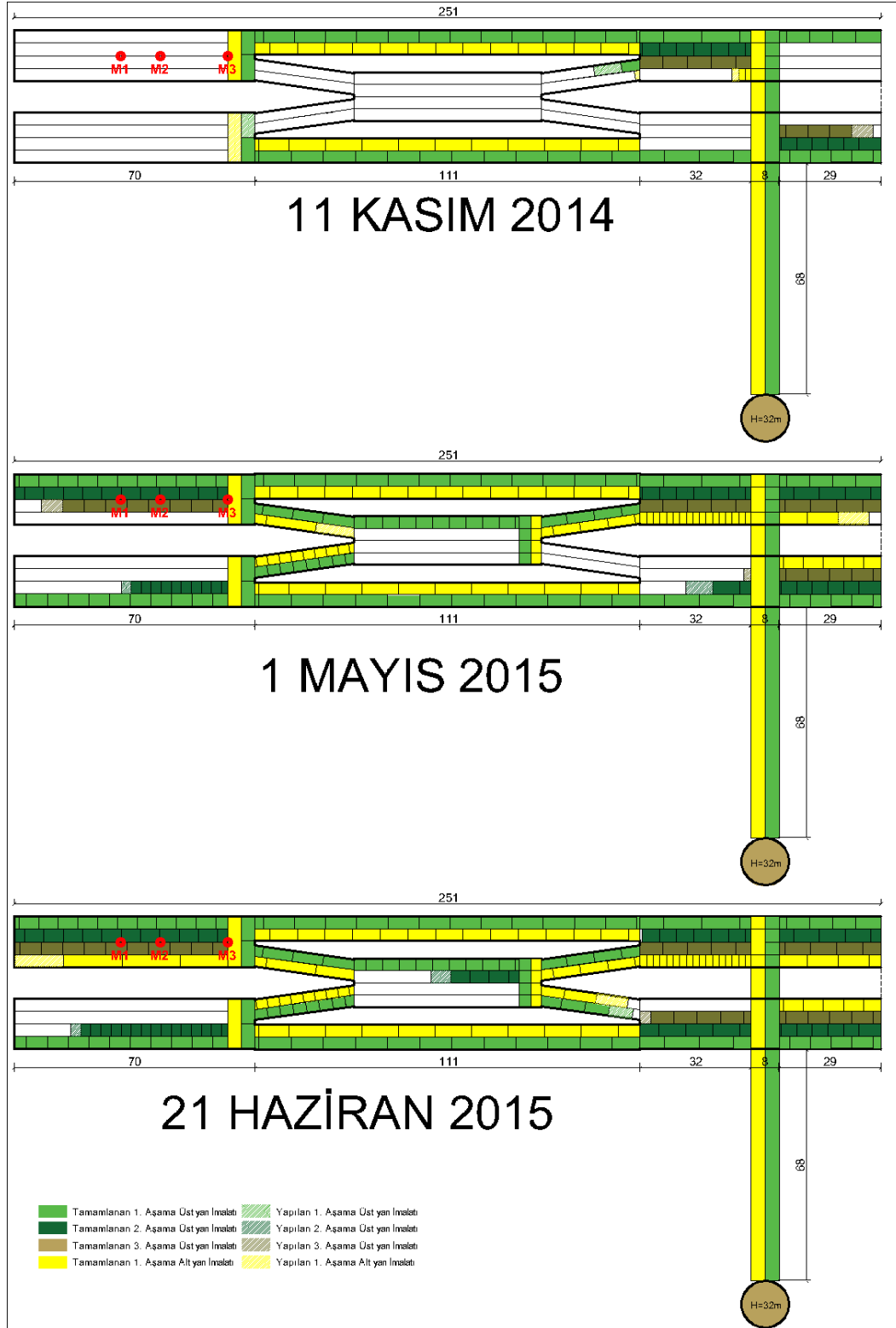
Şekil 7.14 grafiğine baktığımızda yüzey deformasyon bulonlarının 15 Kasım 2014 tarihinde tünel imalatına başlanılmasından önce harekete geçtiğini görmekteyiz 28 Nisan 2015 tarihinden itibaren tekrar kırılma yaparak 21 Haziran 2015 tarihinde tünel imalatının tamamlanması ile sönümlenmektedir. Bu tarihteki maksimum deformasyon miktarlarına bakacak olursak sırasıyla 29,80 mm, 22,10 mm ve 25,30 mm'dir. Şekil 7.11'e göre 28 Nisan 2015 tarihinde ortalama kazı alanımız 1., 2. ve 3. Kademe üst yarı imalatlarının toplamı 102,00 m²'dir. Tünel imalatının tamamlandığı 21 Haziran 2015 tarihindeki maksimum deformasyon miktarlarına bakacak olursak sırasıyla 28,20 mm, 22,00 mm ve 26,00 mm'dir. Şekil 7.15'e göre 21 Haziran 2015 tarihinde ortalama kazı alanımız bütün imalatların tamamlanmasıyla beraber ortalama 140,00 m²'dir. Deformasyon noktalarımız tünel merkez ekseninde ve 27,00 m derinliktedir (Çizelge 7.5).

Çizelge 7.5: Hat-2 T3 tüneli Üsküdar yönü deformasyon değerlendirmesi.

Yüzey Bulonları	M1	M2	M3
Derinlik (m)	27.00	27.00	27.00
Okuma Tarihi	19.11.2014 27.06.2015	19.11.2014 27.06.2015	19.11.2014 27.06.2015
Deformasyon miktarı (mm)	-1.00 -28.20	-3.30 -22.00	-6.10 -26.00
Efektif Deformasyon (mm)	-27.20	-18.70	-19.90
Tünel Eksenine Uzaklık (m)	0.00	0.00	0.00
Kazı Alanı (m²)	140.00	140.00	140.00



Şekil 7.14: T3 Hat-2 Üsküdar yönü tüneli yüzey deformasyonları.



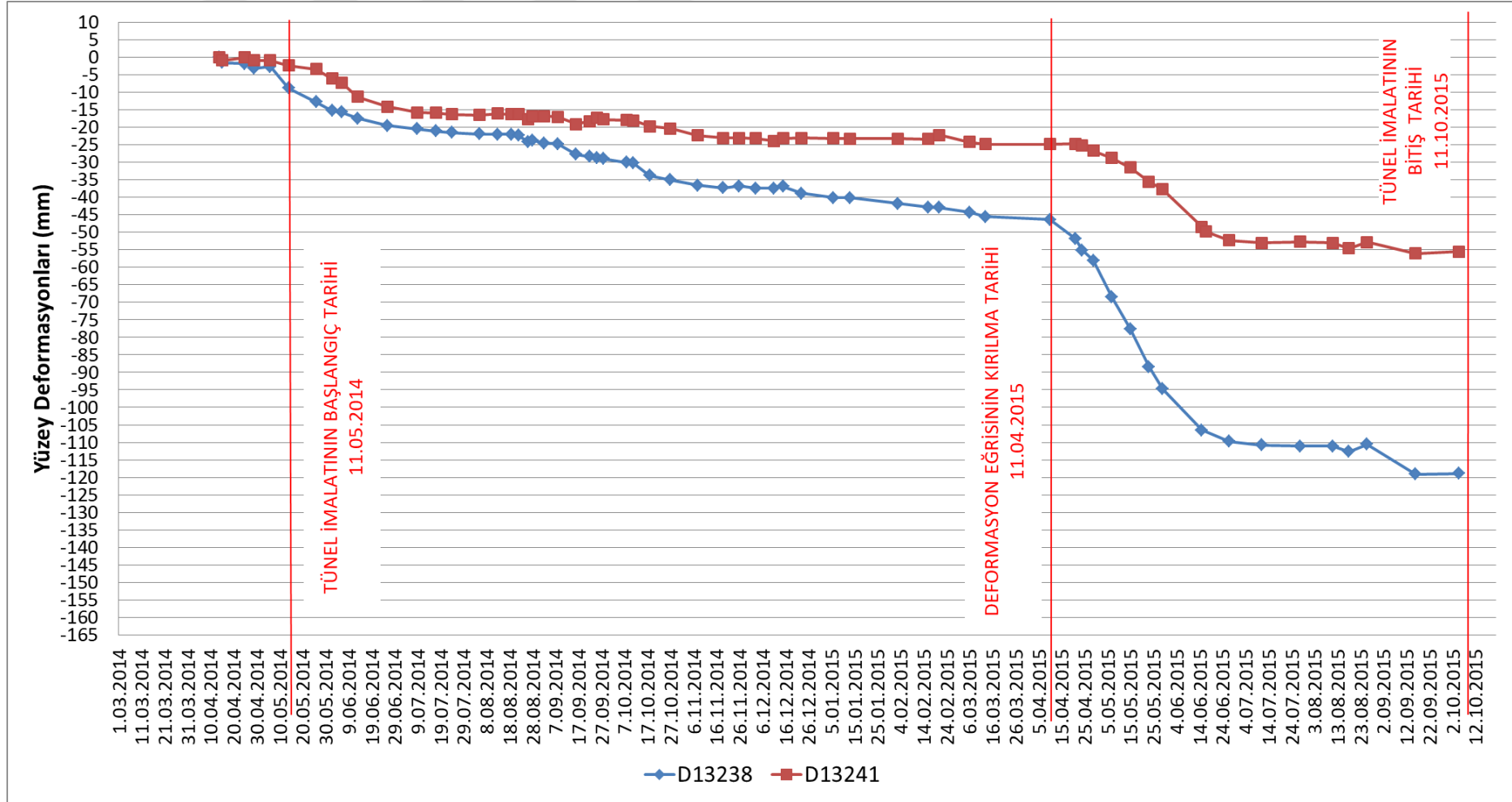
Şekil 7.15: T3 Hat-2 Üsküdar yönü tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.

7.3.2.3 Hat-1 T3 Tüneli Çekmeköy yönü deformasyon değerlendirmesi

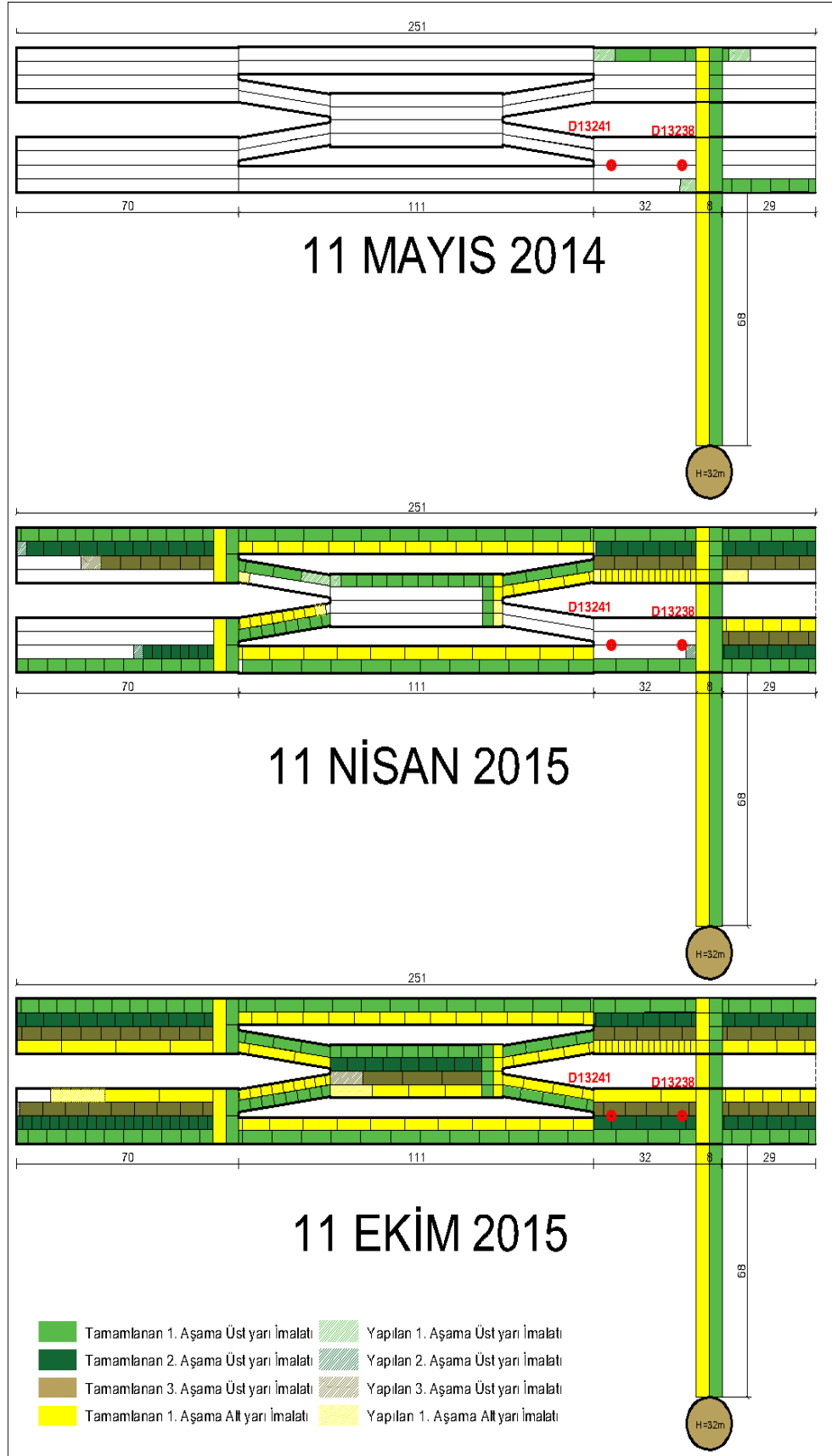
T3 Makas tüneli imalatlarına 11 Nisan 2014 tarihinde başlanılmıştır. Şekil 7. 16 grafiğinde gördüğümüz gibi 11 Nisan 2015 tarihinde deformasyon eğrisi 2. Kademe üst yarı imalatıyla beraber dönüm noktası yapmıştır. Ayrıca D13238 bulonunun D13241 bulonuna göre daha fazla deformasyon yapmasının sebebi Ulaşım tünelinin sağ tarafında bulunan T3 Makas tünelinin imalatlarından etkilenmiş olmasıdır. Bu yüzden de 11 Nisan 2015 tarihinde daha büyük deformasyonla 2. Kademe üst yarı imalatına başlamıştır. Şekil 7.17’de gösterildiği üzere 11 Temmuz 2015 tarihinde 3. Kademe üst yarı imalatlarının tamamlanmasıyla Şekil 7.16 grafiğinde deformasyon eğrisinin eğiminin azalarak 21 Ekim 2015 tarihinde alt yarı imalatlarının tamamlanmasıyla birlikte deformasyonlar sönümlenmiştir. 11 Nisan 2015 tarihindeki deformasyon miktarları sırasıyla, 46,40 mm ve 25,00 mm’dir. 11 Mayıs 2015 tarihinde deformasyonlar sırasıyla 110,80 mm ve 53,00 mm’ye ulaşmıştır. 11 Ekim 2015 tarihinde alt yarı imalatlarının tamamlanmasıyla 119,00 mm ve 55,00 mm’de sönümlenmiştir. Şekil 7. 17’de görüldüğü üzere 11 Temmuz 2015 tarihinde ortalama kazı alanımız 102,00 m², 11 Ekim 2015 tarihinde ise 140,00 m²’dir. Tüm bulonlar tünel merkez ekseninde ve 27,00 m derinliktedir (Çizelge 7.6).

Çizelge 7.6: Hat-1 T3 tüneli Çekmeköy yönü deformasyon analizi.

Yüzey Bulonları	D13238	D13241
Okuma Tarihi	06.05.2014 10.09.2015	06.05.2014 10.09.2015
Deformasyon miktarı (mm)	-2.70 -119.10	-1.00 -56.10
Efektif Deformasyon (mm)	-116.40	-55.10
Derinlik (m)	27.00	27.00
Tünel Eksenine Uzaklık (m)	0.00	0.00
Kazı Alanı (m²)	140.00	140.00



Şekil 7.16: T3 Hat-1 Çekmeköy yönü tüneli yüzey deformasyonları.



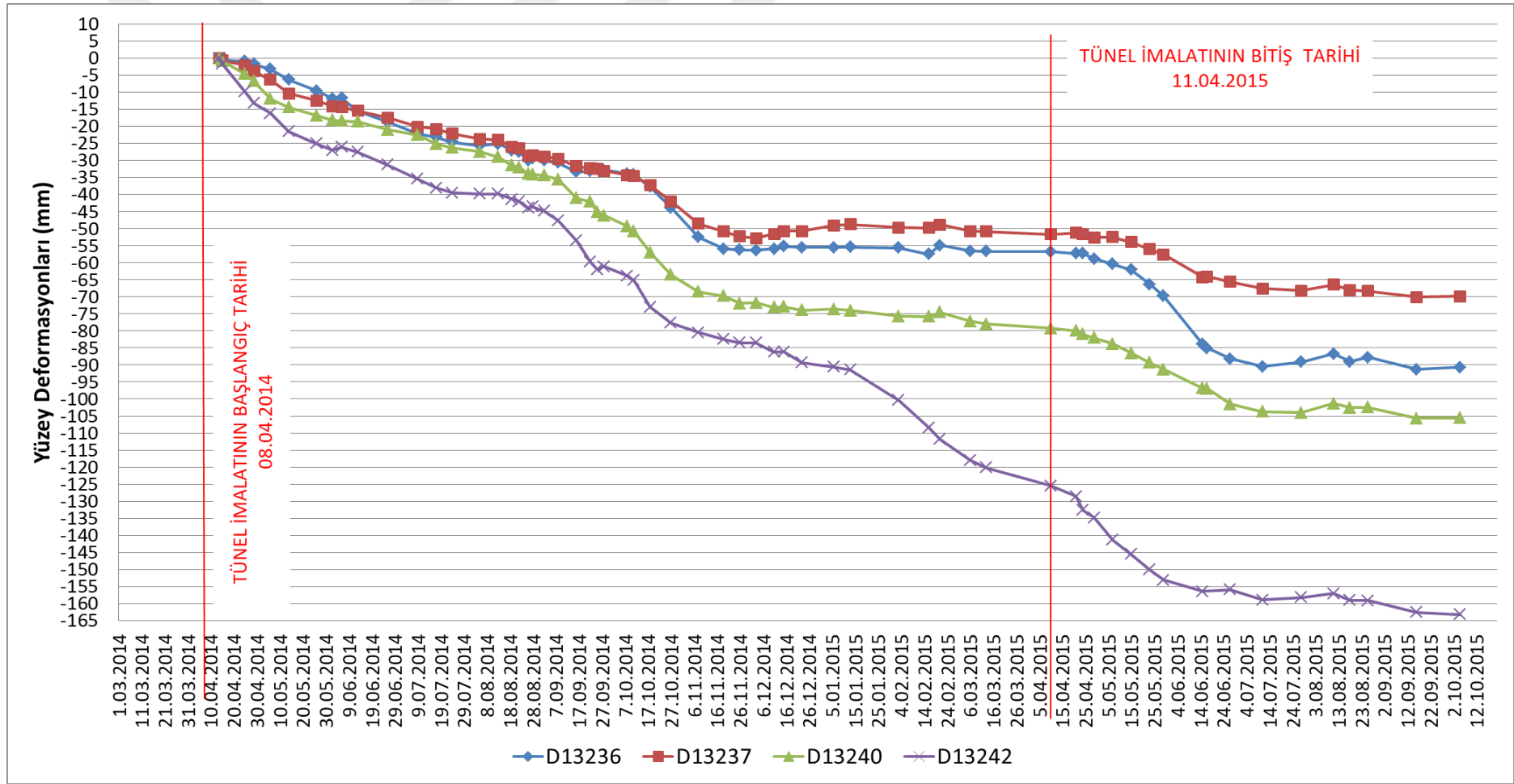
Şekil 7.17: T3 Hat-1 tüneli Çekmeköy yönü yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.

7.3.2.4 Hat-2 T3 Tüneli Çekmeköy yönü deformasyon değerlendirmesi

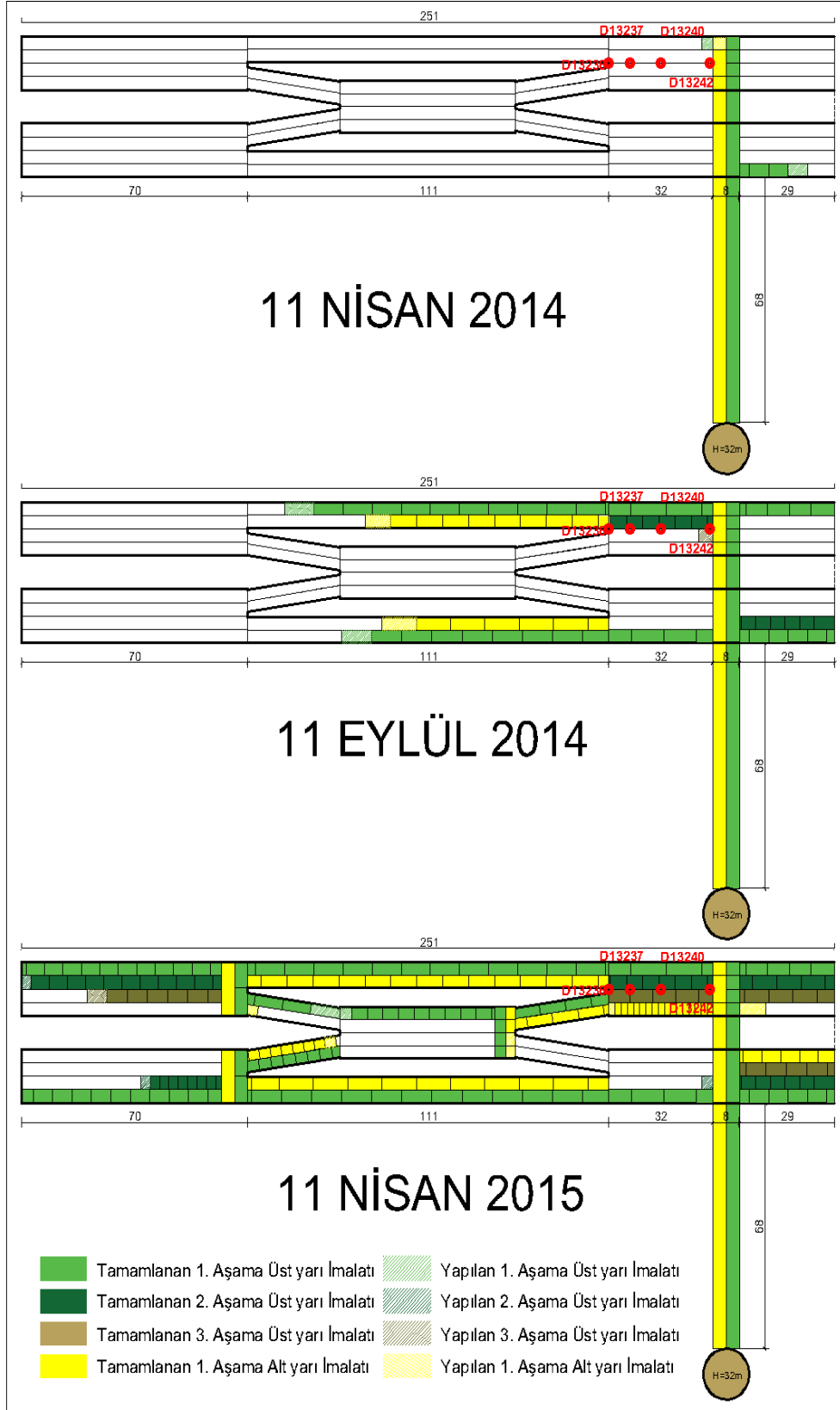
T3 Makas tüneli imalatlarına 8 Nisan 2014 tarihinde başlanılmıştır. Şekil 7.18 grafiğinde gördüğümüz gibi deformasyon 6 Nisan 2015 tarihine kadar alt yarı imalatı tamamlanana kadar artarak devam etmiştir. Bu tarihten sonra deformasyonların artmasının sebebi ulaşım tünelini sağında yer alan T3 makas tünelinin imalatlarının devam etmesidir. Bu durumun en büyük kanıtı ise D13242 bulonunun diğer bulonlardan daha fazla deformasyon yapmasıdır. Şekil 7.19’de gösterildiği üzere 11 Haziran 2014 tarihinde 2. Kademe üst yarı imalatlarına başlanılmıştır. 11 Eylül 2014 tarihinde 3. Kademe üst yarı imalatlarına başlanılmıştır. 11 Nisan 2015 tarihinde ise alt yarı imalatı tamamlanmıştır. 11 Haziran 2014 tarihindeki deformasyon miktarları sırasıyla, 15,60 mm, 15,50 mm, 18,60 mm ve 27,60 mm’dir. 11 Eylül 2014 tarihinde deformasyonlar sırasıyla 33,40 mm, 31,70 mm, 41,10 mm ve 53,60 mm’ye ulaşmıştır. 11 Nisan 2015 tarihinde alt yarı imalatlarının tamamlanmasıyla 56,80 mm, 51,70 mm, 79,20 mm ve 125,40 mm’ye ulaşmıştır. Şekil 7.19’de görüldüğü üzere 11 Haziran 2014 tarihinde ortalama kazı alanımız 44,00 m², 11 Eylül 2014 tarihinde ise D13242 bulonu için 102,00 m², D13236, D13237 ve D13240 bulonları için 69,00 m²’dir. 11 Nisan 2015 tarihinde ise tüm bulonlar için tam kesit ortalama alanı 140,00 m²’dir. Tüm bulonlar tünel merkez ekseninde ve 27,00 m derinliktedir (Çizelge 7.12).

Çizelge 7.7: Hat-2 T3 tüneli Çekmeköy yönü deformasyon analizi.

Yüzey Bulonları	D13236	D13237	D13240	D13242
Okuma Tarihi	08.04.2014 07.05.2015	08.04.2014 07.05.2015	08.04.2014 07.05.2015	08.04.2014 07.05.2015
Deformasyon miktarı (mm)	0.00 -6.40	0.00 -52.50	0.00 -83.80	0.00 -141.30
Efektif Deformasyon (mm)	-60.40	-52.50	-83.80	-141.30
Derinlik (m)	27.00	27.00	27.00	27.00
Tünel Eksenine Uzaklık (m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Kazı Alanı (m²)	140.00	140.00	140.00	140.00



Şekil 7.18: T3 Hat-1 Çekmeköy yönü tüneli yüzey deformasyonları.



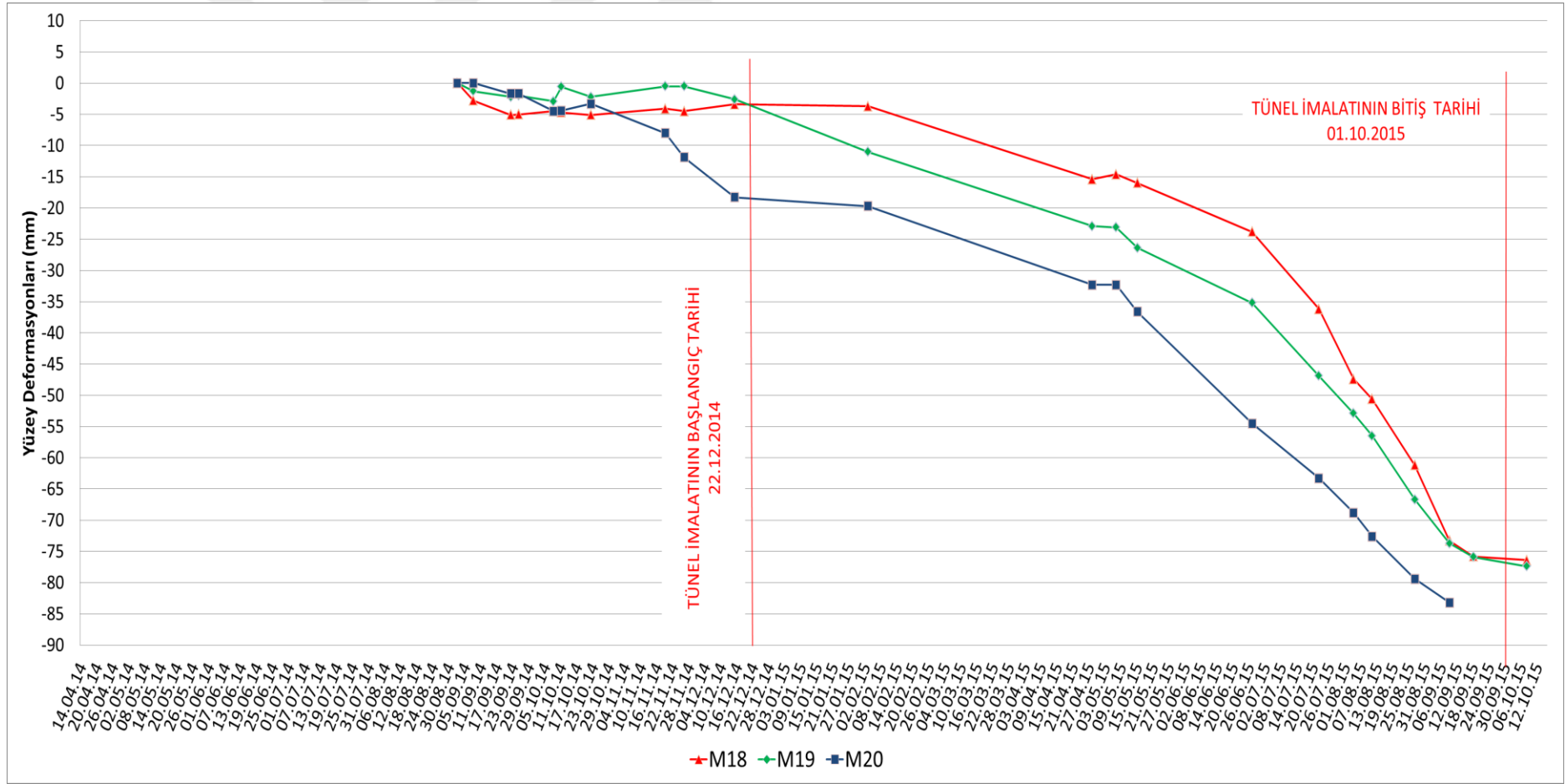
Şekil 7.19: T3 Hat-2 tüneli Çekmeköy yönü yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.

7.3.3 T2 Makas Tüneli deformasyon değerlendirmesi

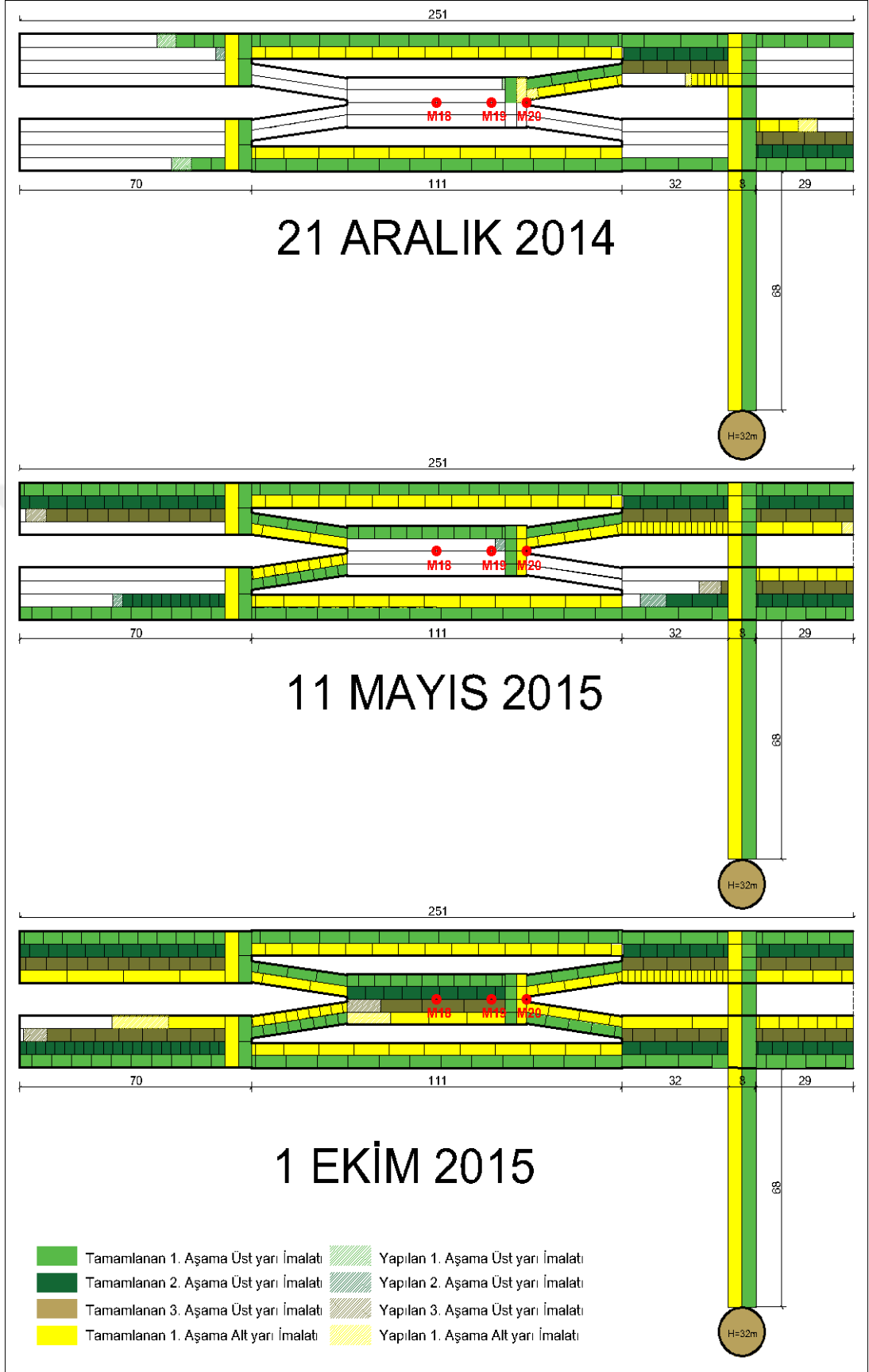
T2 tüneli imalatlarına 22 Aralık 2014 tarihinde başlanılmıştır. Şekil 7.20'ye göre deformasyon eğrisi hareketleri 1.Kademe üst yarı imalatı başlangıcı 22 Aralık 2014 tarihinde, 3. Kademe üst yarı imalatı başlangıcı 05 Mayıs 2015 ve alt yarı imalatı tamamlanma tarihi 01 Ekim 2015 tarihlerinde gerçekleşmiştir. 2. Kademe üst yarı imalatı başlangıcında dikkate değer bir değişim olmamıştır. Şekil 7.21'de görüldüğü üzere 11 Mayıs 2015 tarihinde M18, M19 ve M20 deformasyon bulonlarındaki maksimum deformasyon miktarları sırası ile 16,00 mm, 26,40 mm ve 36,60 mm'dir. M20 bulonunun deformasyonun diğer bulonlardan fazla olmasının sebebi imalat yönüne göre daha önce deformasyona maruz kalmıştır. Deormasyonun sonlandığı 1 Ekim 2015 tarihinde maksimum deformasyonlar sırasıyla 76,40 mm, 77,40 mm ve 83,20 mm'dir. Bu tarihlerde ki ortalama kazı alanı ise; 11 Mayıs 2015'de M20 bulonu için tam kesit 120,00 m², M19 bulonu için 70,00 m², M18 bulonu için 42,00 m²'dir. 1 Ekim 2015 tarihinde tüm bulonlar için tam kesit ortalama alanı 120,00 m²'dir. Tüm bulonlar tünel merkez eksenini üzerinde ve 27,00 m derinliktedir (Çizelge 7.13).

Çizelge 7.8: T2 tüneli deformasyon değerlendirmesi

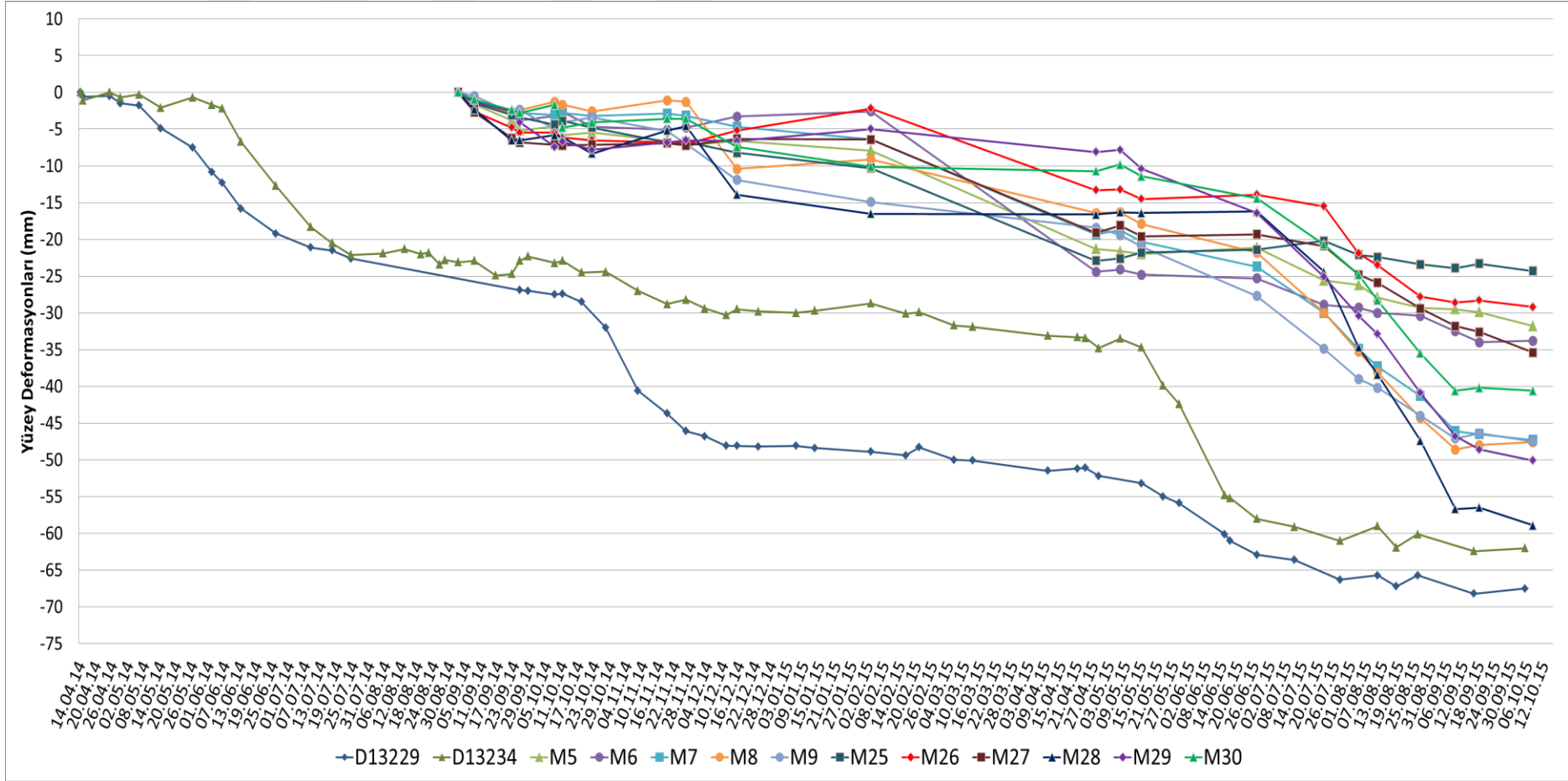
Yüzey Bulonları	M18	M19	M20
Okuma Tarihi	15.12.2014 08.10.2015	15.12.2014 08.10.2015	15.12.2014 08.10.2015
Deformasyon miktarı (mm)	-3.40 -76.40	-2.60 -77.40	-18.30 -83.20
Efektif Deformasyon (mm)	-73.00	-74.80	-64.90
Derinlik (m)	27.00	27.00	27.00
Tünel Eksenine Uzaklık (m)	0.00	0.00	0.00
Kazı Alanı (m ²)	120.00	120.00	120.00



Şekil 7.20: T2 tüneli yüzey deformasyonları.



Şekil 7.21: T2 tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.



Şekil 7.22: A2 hat tünelleri üzerinde yer alan yüzey deformasyon bulonlarının deformasyon grafiği

7.3.4 A2 Hat Tünelleri deformasyon değerlendirmesi

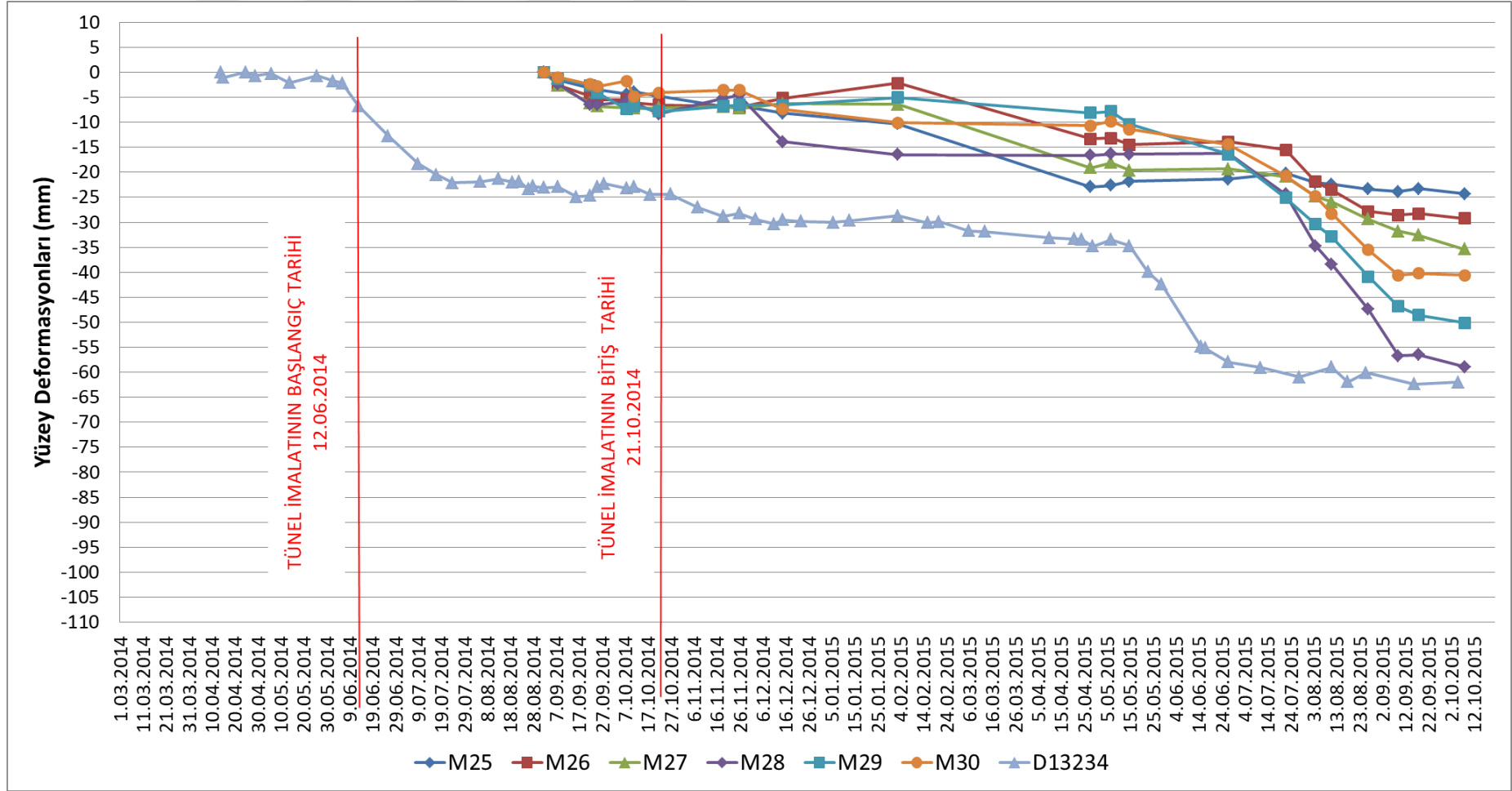
Bu çalışma kapsamında 2 adet A2 hat tünelinin deformasyon değerlendirmesi yapılacaktır. A2 hat tünelinin tam kesit alanı 53,00 m² 'dir ve yüzeyden 27,00 m derinlikte yer almaktadır. A2 hat tünelleri üzerinde yer alan 13 adet yüzey bulonlarının deformasyon grafiği Şekil 7.22 üzerinde gösterilmiştir.

7.3.4.1 Hat-1 A2 Tüneli deformasyon değerlendirmesi

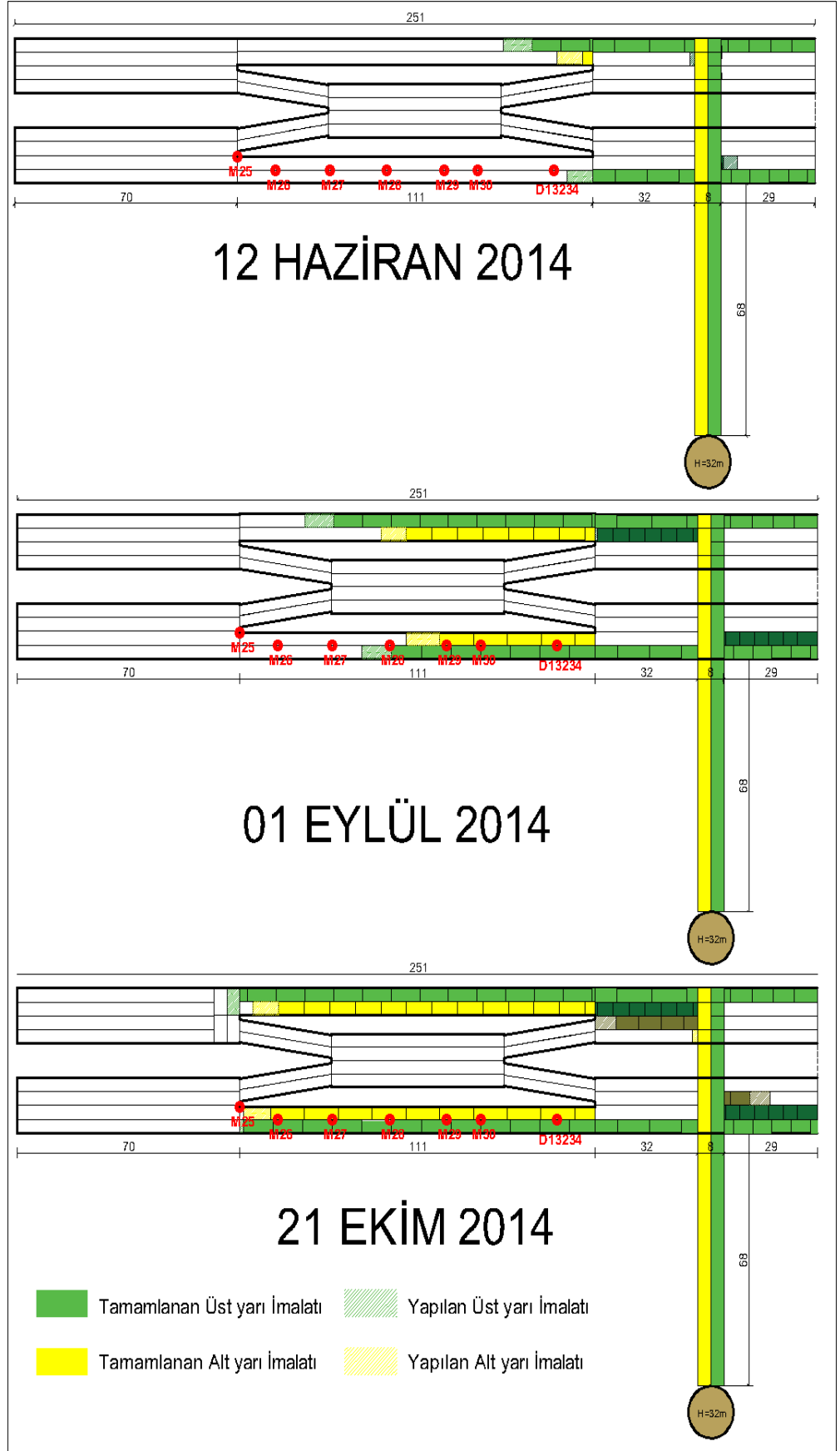
Hat-1 A2 Tünelinin analizini yaparken D13234 bulonunun deformasyonu ile M25, M26, M27, M28, M29, M30 bulonlarının deformasyonlarını ayrı ayrı incelemek gerekmektedir. Çünkü A2 tüneli üzerinde yer alan deformasyon bulonlarının hareketleri tünel imalatı tamamlandıktan sonra çapraz A tünellerinin T2 ve T3 makas tünellerinin imalatıyla tekrar harekete geçmiştir. Ayrıca hem deformasyon grafikleri birbirinden farklıdır hem de D13234 bulonu ölçümleri diğer bulonlara göre yaklaşık 5 ay önce başlamıştır. Şekil 7.23 grafiğine baktığımızda bulonun 11 Haziran 2014 tarihinde tünel imalatıyla beraber harekete başladığını görmekteyiz. Şekil 7.24'de yer alan tünellerin ilerleme şemasında 21 Ekim 2014 tarihinde tünel imalatının tamamlandığı görülmektedir. Bu sebepten dolayı ölçümlerine 08.09.2014 tarihinde başlanılan M25, M26, M27, M28, M29 ve M30 bulonlarının verileri sadece 2 aylık değerlendirilmiştir. M25 haricindeki tüm bulonlar tünel merkez eksenini üzerinde ve 27,00 m derinliktedir (Çizelge 7.14).

Çizelge 7.9: Hat-1 A2 tüneli deformasyon değerlendirmesi.

Yüzey Bulonları	Okuma Tarihi	Deformasyon miktarı (mm)	Efektif Def. (mm)	Derinlik (m)	Tünel Eksenine Mes. (m)	Kazı Alanı (m ²)
M25	02.09.2014	0.00	-4.80	27.00	4.30	53,00
	22.10.2014	-4.80				
M26	02.09.2014	0.00	-6.50	27.00	0.00	53.00
	22.10.2014	-6.50				
M27	02.09.2014	0.00	-7.20	27.00	0.00	53.00
	22.10.2014	-7.20				
M28	02.09.2014	0.00	-8.30	27.00	0.00	53.00
	22.10.2014	-8.30				
M29	02.09.2014	0.00	-7.8	27.00	0.00	53.00
	22.10.2014	-7.80				
M30	02.09.2014	0.00	-4.80	27.00	0.00	53.00
	22.10.2014	-4.80				
D13234	12.06.2014	-6.70	-17.70	27.00	0.00	53.00
	24.10.2014	-24.40				



Şekil 7.23: A2 Hat-1 tüneli yüzey deformasyonları.



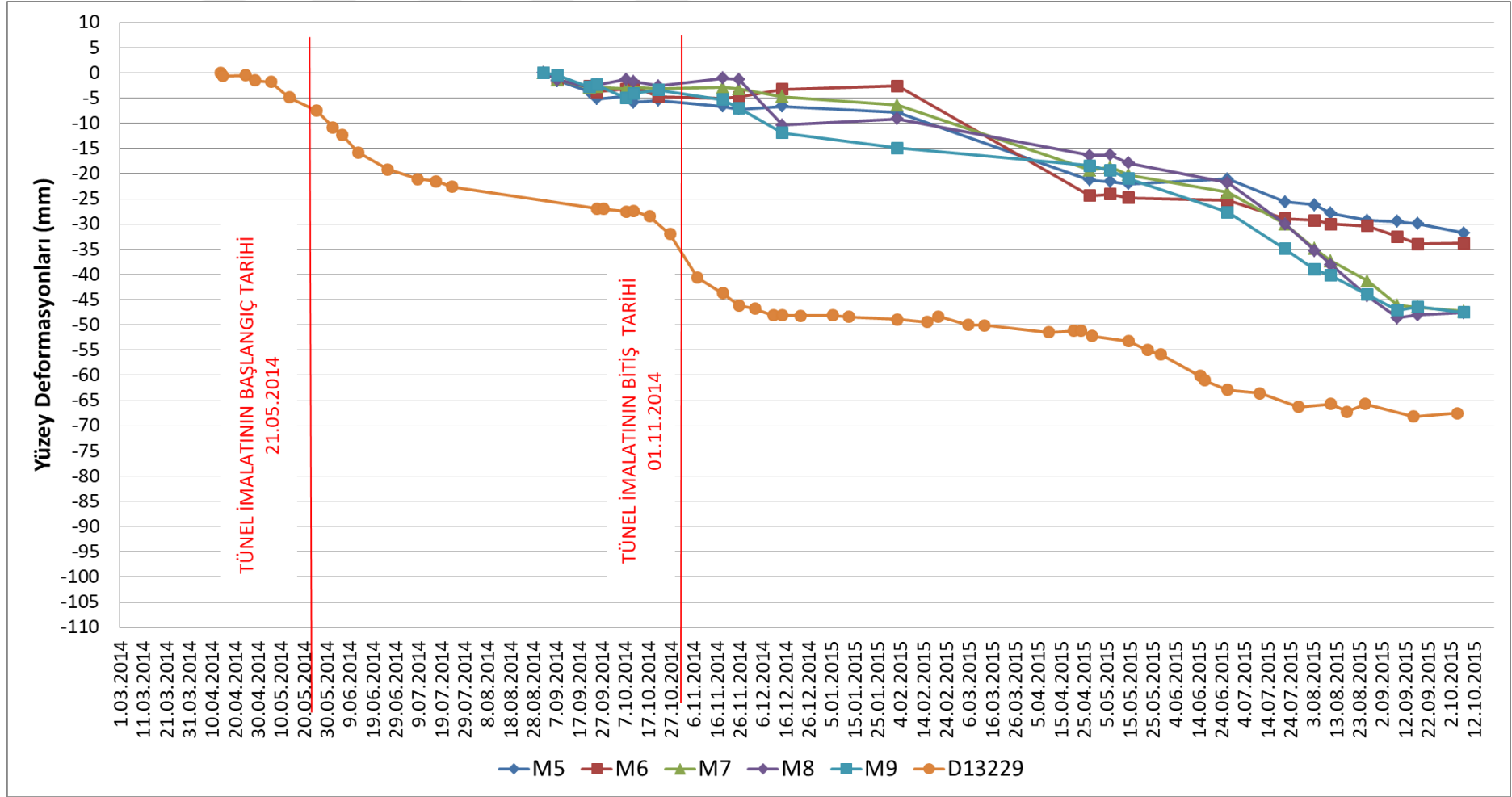
Şekil 7.24: A2 Hat-1 tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.

7.3.4.2 Hat-2 A2 Tüneli deformasyon değerlendirmesi

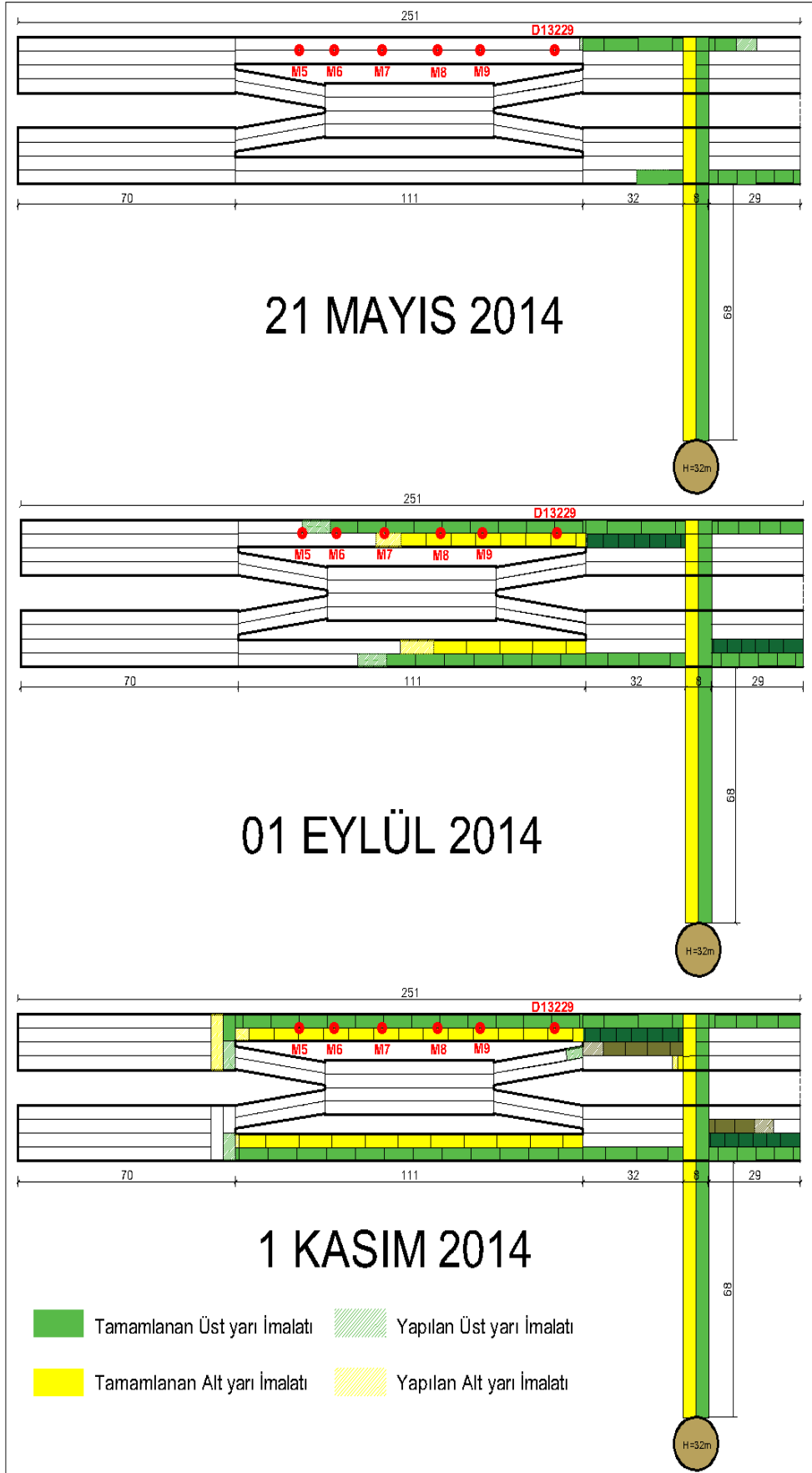
Hat-2 A2 Tünelinin analizini yaparken D13229 bulonunun deformasyonu ile M5, M6, M7, M8, M9 bulonlarının deformasyonlarını ayrı ayrı incelemek gerekmektedir. Çünkü A2 tüneli üzerinde yer alan deformasyon bulonlarının hareketleri tünel imalatı tamamlandıktan sonra çapraz A tünellerinin T2 ve T3 makas tünellerinin imalatıyla tekrar harekete geçmiştir. Ayrıca hem deformasyon grafikleri birbirinden farklıdır hem de D13229 bulonu ölçümleri diğer bulonlara göre yaklaşık 4 ay önce başlamıştır. Şekil 7.25 grafiğine baktığımızda bulonun 14 Mayıs 2014 tarihinde tünel imalatından hemen önce harekete başladığını görmekteyiz. Şekil 7.26'de yer alan tünellerin ilerleme şemasında 01 Kasım 2014 tarihinde tünel imalatının tamamlandığı görülmektedir. Bu sebepten dolayı ölçümlerine 02.09.2014 tarihinde başlanılan M5, M6, M7, M8 ve M9 bulonlarının verileri sadece 2 aylık değerlendirilmiştir. Tüm bulonlar tünel merkez eksenine üzerinde ve 27,00 m derinlikte (Çizelge 7.15).

Çizelge 7.10: Hat-2 A2 tüneli deformasyon değerlendirmesi.

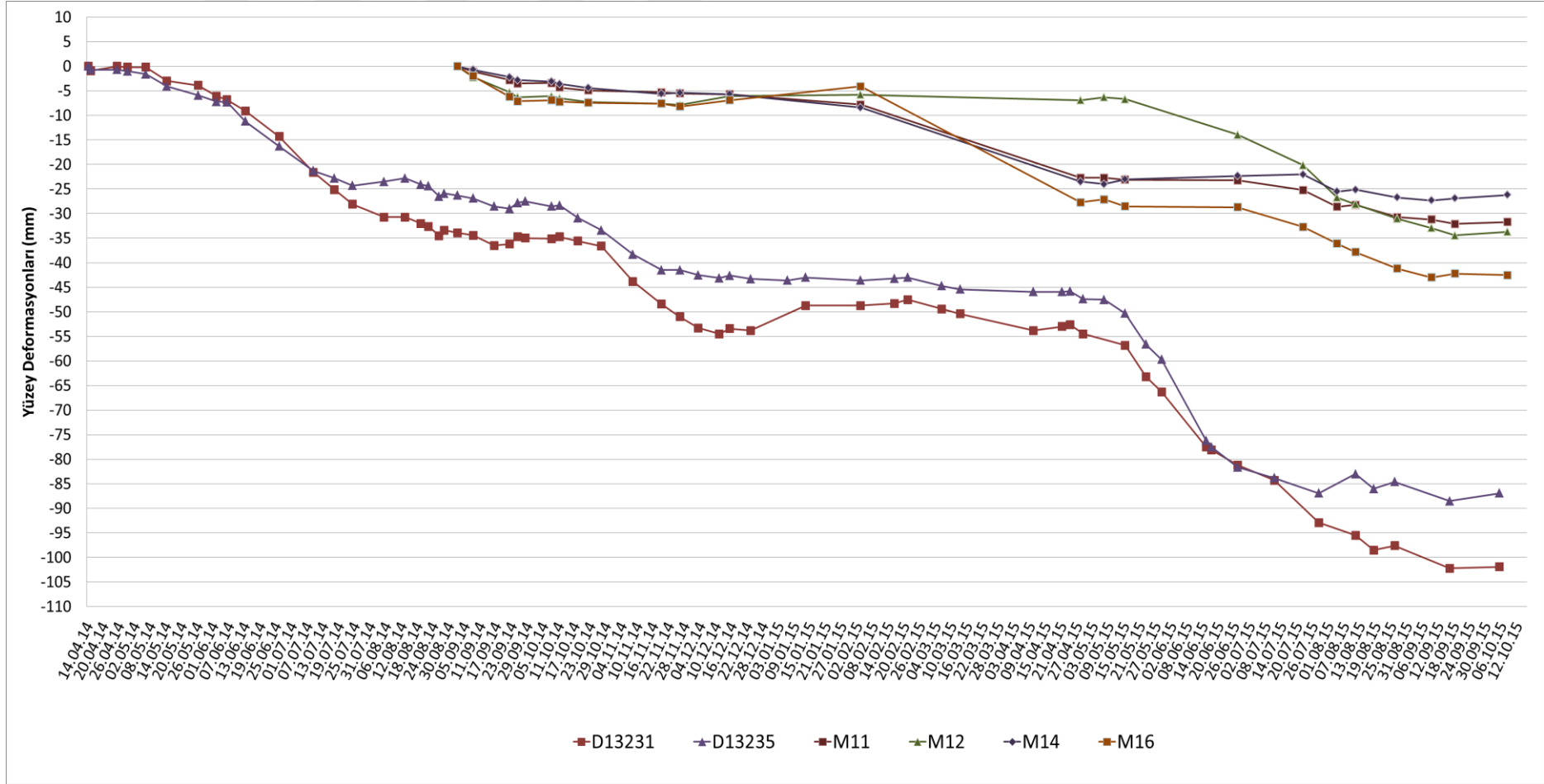
Yüzey Bulonları	Okuma Tarihi	Deformasyon miktarı (mm)	Efektif Def. (mm)	Derinlik (m)	Tünel Eksenine Mes. (m)	Kazı Alanı (m ²)
M5	02.09.2014	0.00	-5.80	27.00	4.30	53.00
	22.10.2014	-5.80				
M6	02.09.2014	0.00	-4.70	27.00	0.00	53.00
	22.10.2014	-4.70				
M7	02.09.2014	0.00	-3.20	27.00	0.00	53.00
	22.10.2014	-3.20				
M8	02.09.2014	0.00	-2.80	27.00	0.00	53.00
	22.10.2014	-2.80				
M9	02.09.2014	0.00	-4.10	27.00	0.00	53.00
	22.10.2014	-4.10				
D13229	14.05.2014	-4.90	-35.70	27.00	0.00	53.00
	08.11.2014	-40.60				



Şekil 7.25: A2 Hat-2 tüneli yüzey deformasyonları.



Şekil 7.26: A2 Hat-2 tüneli yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.



Şekil 7.27: A tünelleri üzerinde yer alan yüzey deformasyon bulonlarının deformasyon grafiği.

7.3.5 A Tünelleri deformasyon değerlendirmesi

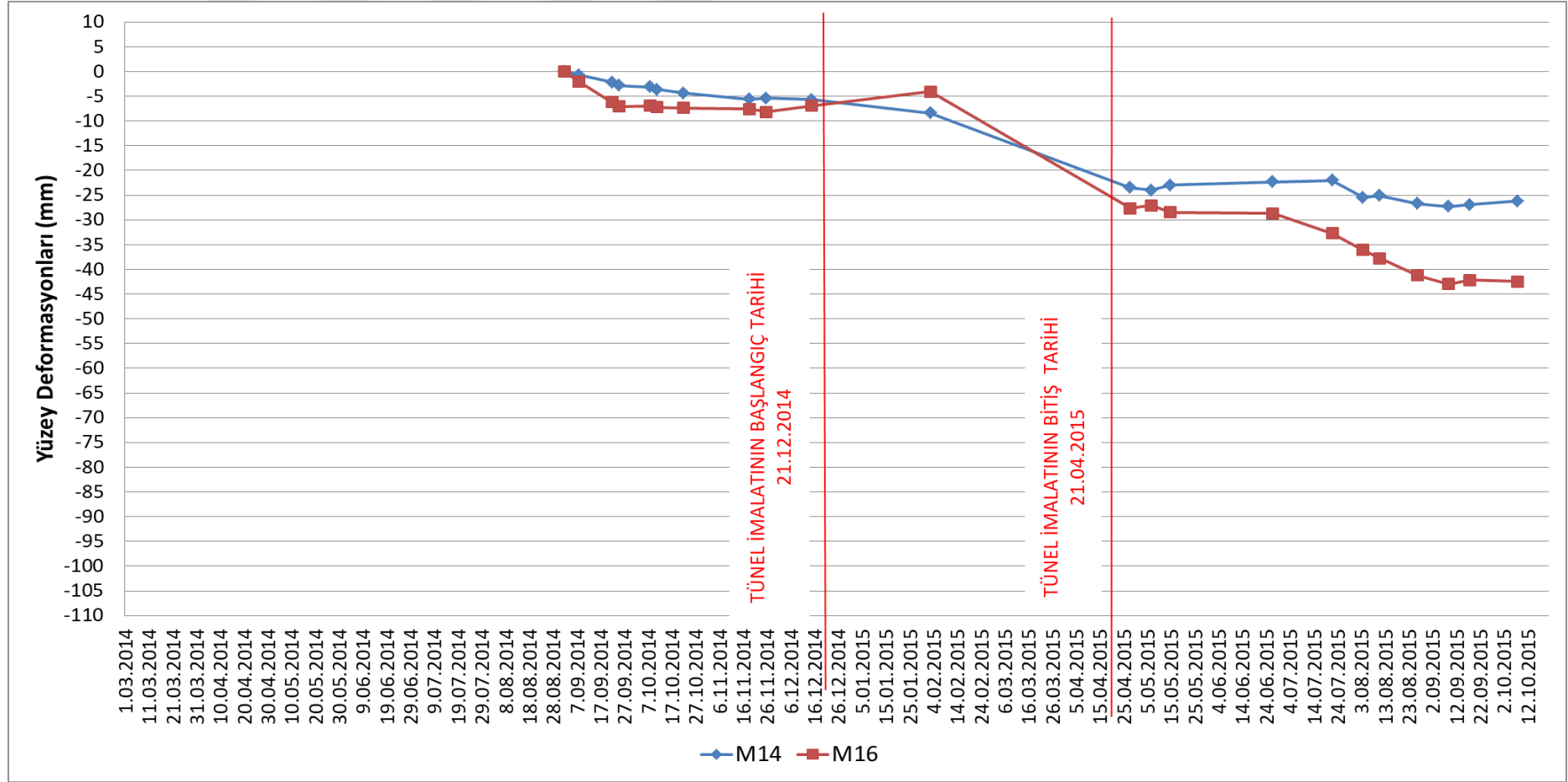
Bu çalışma kapsamında 3 adet A tünelinin deformasyon değerlendirmesi yapılacaktır. A hat tünelinin tam kesit alanı 43,00 m² 'dir ve yüzeyden 27,00 m derinlikte yer almaktadır. A tünelleri üzerinde yer alan 6 adet yüzey bulonlarının deformasyon grafiği Şekil 7.27 üzerinde gösterilmiştir.

7.3.5.1 A Hat-1 Üsküdar Yönü Tüneli deformasyon değerlendirmesi

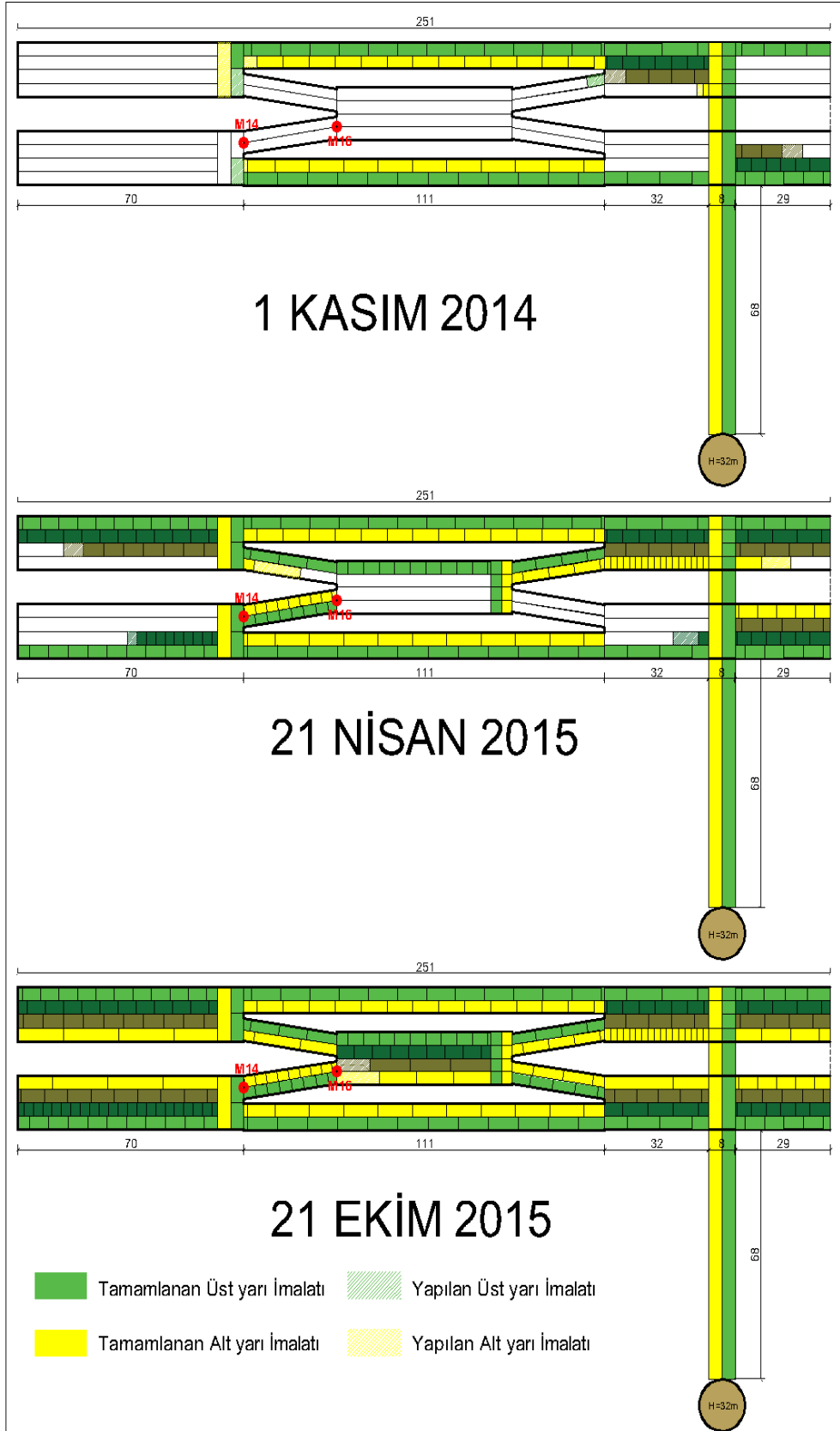
Şekil 7.28 grafiğine baktığımızda bulonların 09 Ekim 2014 tarihinde tünel imalatına başlanılmadan harekete geçtiğini görebiliriz. Başlangıçta ilerleme yönü açısından, A2 Hat-1 tüneli imalatından dolayı M16 bulonunun M14 bulonundan daha fazla deformasyon yaptığını, T3 tüneli imalatlarının başlamasından sonra ise M14 bulonu deformasyonunun M16 bulonunu geçtiğini, 21 Aralık 2014 tarihinde tünel imalatının başlamasıyla beraber deformasyonların dengelendiğini ve paralel hareket ettiğini görebilmekteyiz. Şekil 7.29'de görüldüğü üzere 21 Nisan 2015 tarihinde tünel imalatının sonlanmasına rağmen Şekil 7.28'de görüldüğü üzere deformasyonlar sonlanmamış, M14 bulonu T3 tüneli, M16 bulonu ise T2 tüneli imalatlarından etkilenmiştir. 21 Nisan 2015 tarihindeki maksimum deformasyon miktarlarına bakacak olursak; sırasıyla 23,50 mm ve 27,70 mm'dir. Şekil 7.29'a göre 21 Nisan 2015 tarihinde ortalama kazı alanımız tam kesit ortalama 43,00 m²'dir. Deformasyon noktalarımız M14 ve M16 tünel merkez ekseninde ve 27,00 m derinliktedir (Çizelge 7.8).

Çizelge 7.11: Hat-1 A tüneli Üsküdar yönü deformasyon analizi.

Yüzey Bulonları	M14	M16
Okuma Tarihi	11.12.2014 24.04.2015	11.12.2014 24.04.2015
Deformasyon miktarı (mm)	-5.70 -23.50	-6.90 -27.70
Efektif Deformasyon (mm)	-17.80	-20.80
Derinlik (m)	27.00	27,00
Tünel Eksenine Uzaklık (m)	0.00	0.00
Kazı Alanı (m ²)	43.00	43.00



Şekil 7.28: A Hat-1 Üsküdar Yönü Tüneli yüzey deformasyonları.



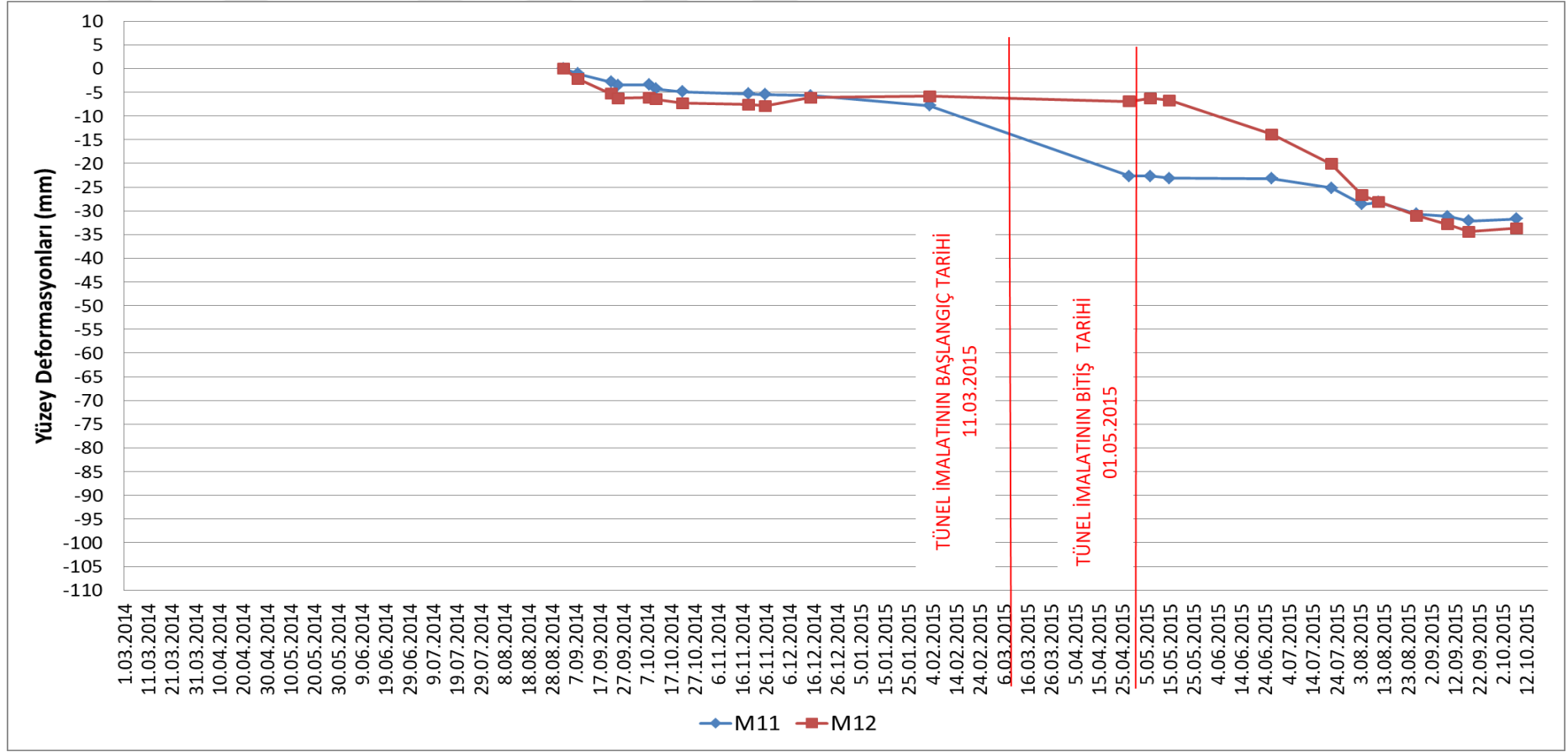
Şekil 7.29: A Hat-1 tüneli Üsküdar yönü yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.

7.3.5.2 Hat-2 A Tüneli Üsküdar yönü deformasyon değerlendirmesi

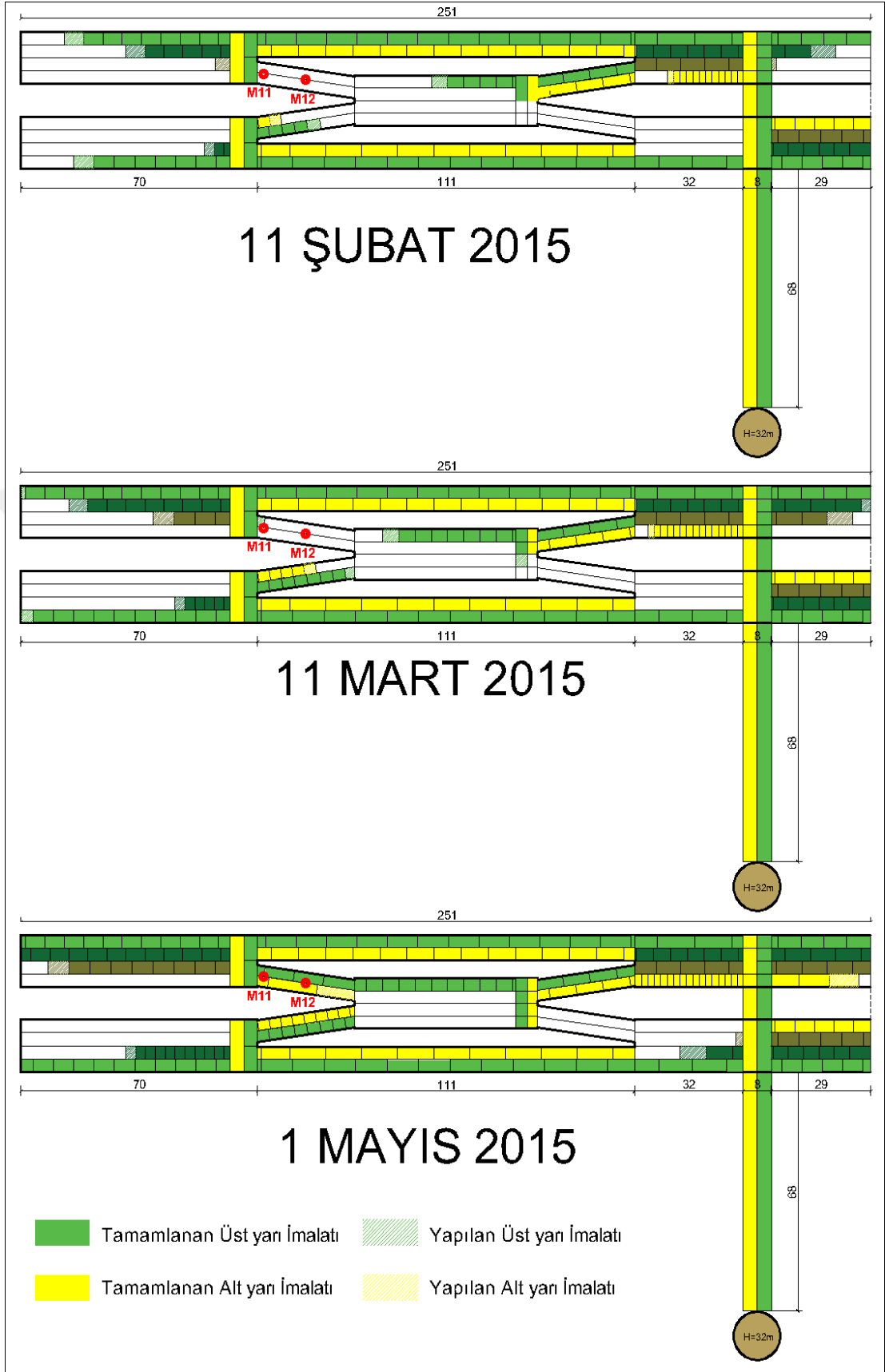
Şekil 7.30 grafiğine baktığımızda bulonların 03 Şubat 2015 tarihinde tünel imalatına başlanılmadan harekete geçtiğini görebiliriz. Başlangıçta ilerleme yönü açısından, T3 Hat-2 tüneli imalatından dolayı M11 bulonunun M12 bulonundan daha fazla deformasyon yaptığını, T2 tüneli 2, Kademe üst yarı imalatlarının başlamasından sonra ise M12 bulonu deformasyonunun M11 bulonuna yaklaştığını görebilmekteyiz. M11 bulonundaki hareketin A tüneli imalatından değil, T3 tüneli imalatlarından kaynaklandığını deformasyon eğrisinin eğimine bakarak söyleyebiliriz. M12 bulonu zaten Şekil 7.31’de görüldüğü gibi A tüneli imalatı tamamlandıktan sonra harekete başladığı gayet açık bir şekilde görülebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı M11 ve M12 bulonlarından sonuç çıkartmak son derece yanlış olur. Deformasyon noktalarımız M11 ve M12 tünel merkez ekseninde ve 27,00 m derinliktedir (Çizelge7.9).

Çizelge 7.12: Hat-2 A tüneli Üsküdar yönü deformasyon analizi.

Yüzey Bulonları	M11	M12
Okuma Tarihi	03.02.2015 07.05.2015	03.02.2015 07.05.2015
Deformasyon miktarı (mm)	-7.80 -22.70	-5.80 -6.90
Efektif Deformasyon (mm)	-14.90	-1.10
Derinlik (m)	27.00	27.00
Tünel Eksenine Uzaklık (m)	0.00	0.00
Kazı Alanı (m ²)	43.00	43.00



Şekil 7.30: A Hat-2 Üsküdar yönü tüneli yüzey deformasyonları.



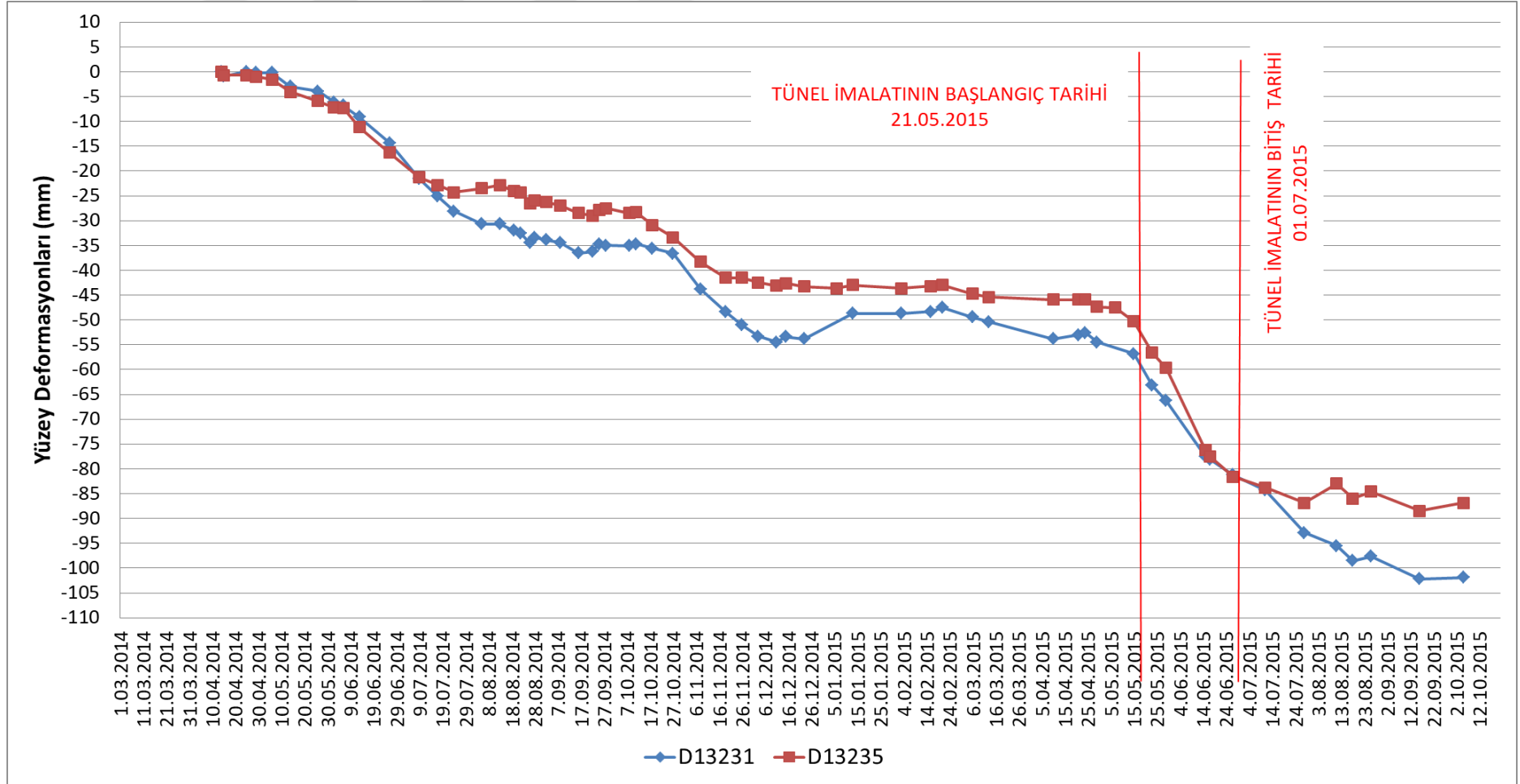
Şekil 7.31: A Hat-2 tüneli Üsküdar yönü yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.

7.3.5.3 Hat-1 A Tüneli Çekmeköy yönü deformasyon değerlendirmesi

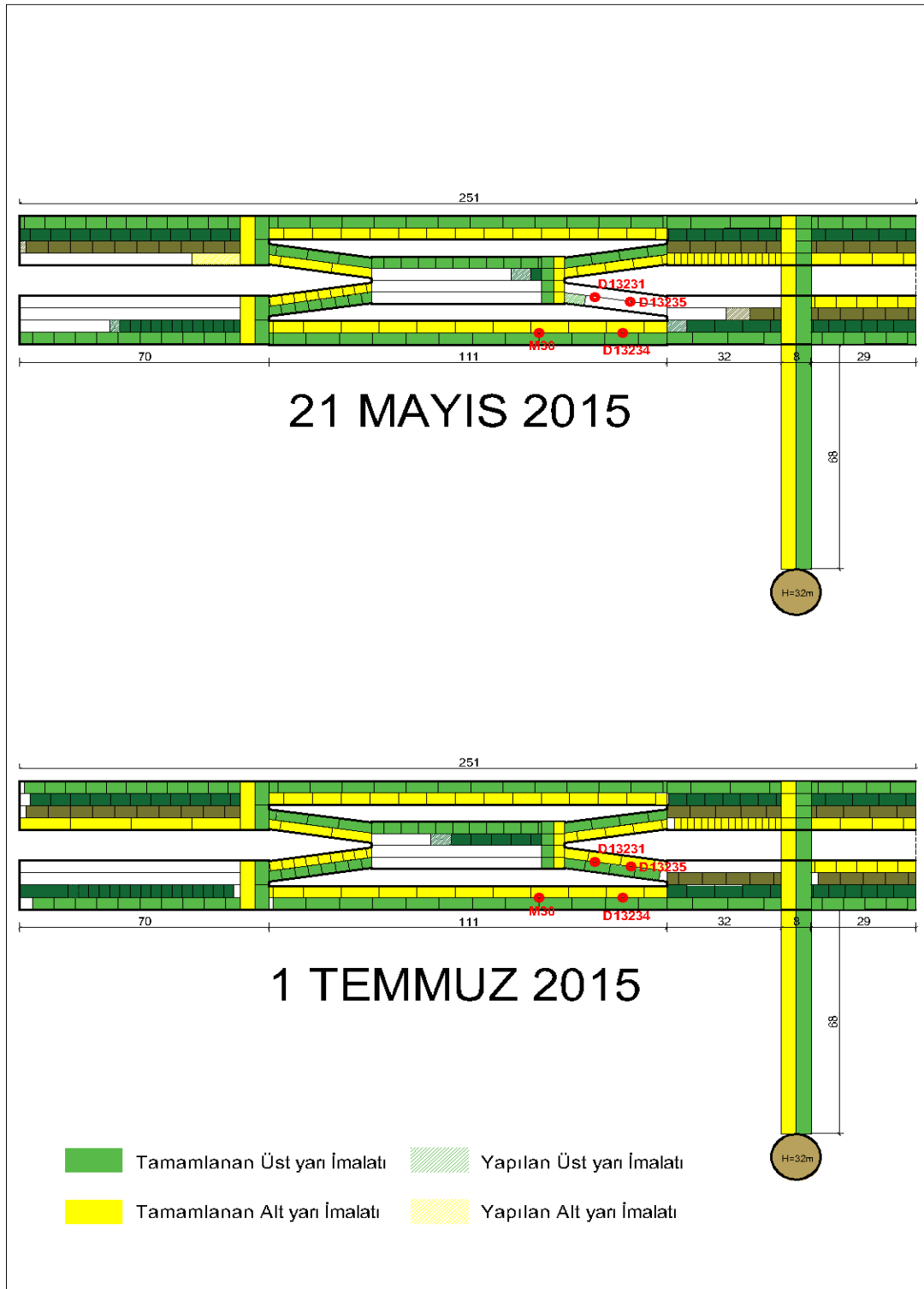
Şekil 7.32 grafiğine baktığımızda D13231 ve D13235 bulonlarının 11 Haziran 2014 tarihinde harekete başladığını görmekteyiz. Şekil 7.33’de yer alan tünellerin ilerleme şemasında A tüneli imalat başlangıç tarihi 21 Mayıs 2015, tünel imalatının tamamlandığı tarihi 1 Temmuz 2015 olduğu görülmektedir. 21 Mayıs 2015 ve 1 Temmuz 2015 tarihlerindeki maksimum deformasyon miktarlarına bakacak olursak; 21 Mayıs için sırasıyla 56,80 mm ve 50,30 mm’dir. Tünel imalatının tamamlandığı 1 Temmuz 2015 tarihindeki maksimum deformasyon miktarlarına bakacak olursak sırasıyla 84,30mm ve 83,80 mm’dir. Şekil 7.33’e göre 1 Temmuz 2015 tarihinde ortalama kazı alanımız bütün imalatların tamamlanmasıyla beraber ortalama 43,00 m²’dir. Deformasyon noktalarımız D13231 ve D13235 tünel merkez ekseninde, ve 27,00 m derinliktedir (Çizelge7.10).

Çizelge 7.13: Hat-1 A tüneli Çekmeköy yönü deformasyon değerlendirmesi.

Yüzey Bulonları	D13231	D13235
Okuma Tarihi	15.05.2015 11.07.2015	15.05.2015 11.07.2015
Deformasyon miktarı (mm)	-56.80 -84.30	-50,30 -83.80
Efektif Deformasyon (mm)	-27.50	-33.50
Derinlik (m)	27.00	27.00
Tünel Eksenine Uzaklık (m)	0.00	0.00
Kazı Alanı (m ²)	43.00	43.00



Şekil 7.32: A Hat-1 Çekmeköy yönü tüneli yüzey deformasyonları.



Şekil 7.33: A Hat-1 tüneli Çekmeköy yönü yüzey deformasyonları grafiği tarihlerine göre ilerleme şeması.

7.4 Ampirik Yöntemlerin Hesaplanması

Yapılan ölçümler sonucunda deformasyon sonuçlarının tünel örtü kalınlığı ve tahkimat sınıfından bağımsız, kesit alanı ve tünel ekseninin iz düşümüne olan mesafe göz önünde bulundurularak ampirik yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmıştır.

7.4.1 Peck yöntemi

Peck (1969), tek bir tünel boyunca deformasyonun enine yönde, Şekil 6.2’de gösterildiği gibi Gauss olasılık eğrisi ile temsil edilebileceğini önermiştir. Yöntemin teorik bir temeli olmamasına rağmen, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. Peck’in metodu, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde açık yüzlü tünel açma yöntemleriyle kazılan 18 tünelden elde edilen yerleşim verilerine dayanarak geliştirilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi, Peck’in (1969) çalışmasına bağlı olarak, enine deformasyon, Gaussian olasılık fonksiyonu ile aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$S_v(x) = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi} \cdot i} \cdot e^{\frac{-x^2}{2i^2}} \quad (6.4)$$

Bu yöntemde kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir:

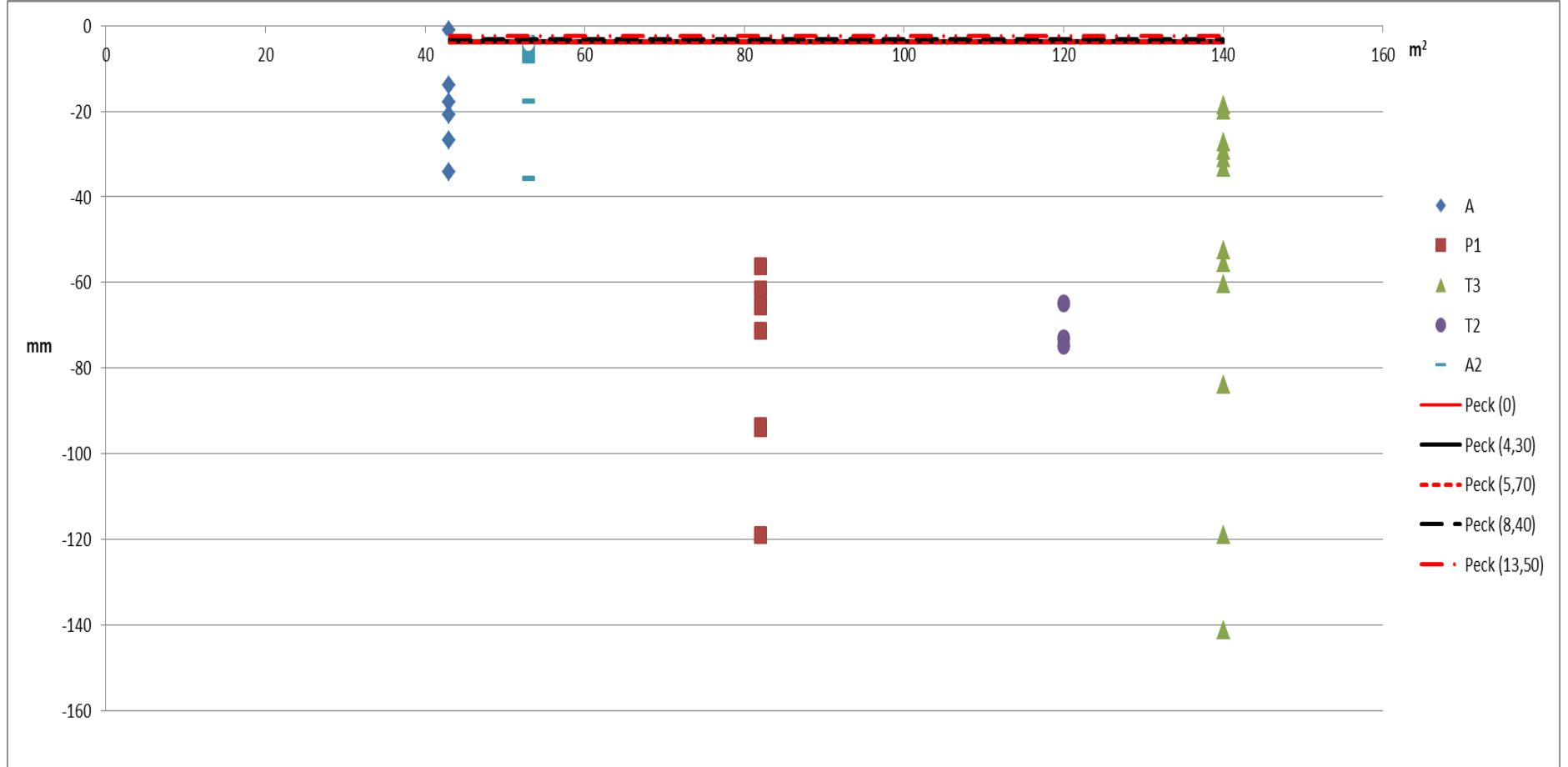
V_s : %10; i : $0,5H=0,5 \cdot 27,00 \text{ m} = 13,50 \text{ m}$;

x : 0.00 m, 4.30 m, 5.30 m, 8.40 m, 13.50 m, 27.00m, 35.00 m, 50.00 m

Yapılan hesaplamalar sonucunda Peck yöntemi sonuçları Çizelge 7.11’de sunulmuştur. Grafik üzerinde gösterimi ise Şekil 7.34’de verilmiştir.

Çizelge 7.14: Peck yöntemi sonuçları.

Kesit Alanı (m ²)	x (m)	0.00	4.30	5.70	8.40	13.50	27.00	35.00	50.00
82.00	P1	-3.99	-3.79	-3.65	-3.29	-2.42	-0.54	-0.14	0.00
120.00	T2	-3.99	-3.79	-3.65	-3.29	-2.42	-0.54	-0.14	0.00
140.00	T3	-3.99	-3.79	-3.65	-3.29	-2.42	-0.54	-0.14	0.00
53.00	A2	-3.99	-3.79	-3.65	-3.29	-2.42	-0.54	-0.14	0.00
43.00	A	-3.99	-3.79	-3.65	-3.29	-2.42	-0.54	-0.14	0.00



Şekil 7.34: Peck yöntemi sonuçlarının gösterimi.

7.4.2 Sagaseta yöntemi

Sagaseta (1987) çalışmasının başlangıç noktası, elastik bir sonsuz ortamdaki kanal çözümünden kaynaklanmaktadır. Sagaseta'nın çözümünün temeli, sıkıştırılmaz toprak tabakası varsayımdır ve yalnızca drenajsız yükleme analizleri için uygulanabilir.

$$S_v(x) = \frac{V_s}{\pi} \frac{H}{x^2 + H^2} \quad (6.5)$$

Bu yöntemde kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir:

V_s : %10; H : 27,00 m;

x : 0.00 m, 4.30 m, 5.30 m, 8.40 m, 13.50 m, 27.00m, 35.00 m, 50.00 m

Yapılan hesaplamalar sonucunda Sagaseta yöntemi sonuçları Çizelge 7.12'de sunulmuştur. Grafik üzerinde gösterimi ise Şekil 7.35'da verilmiştir.

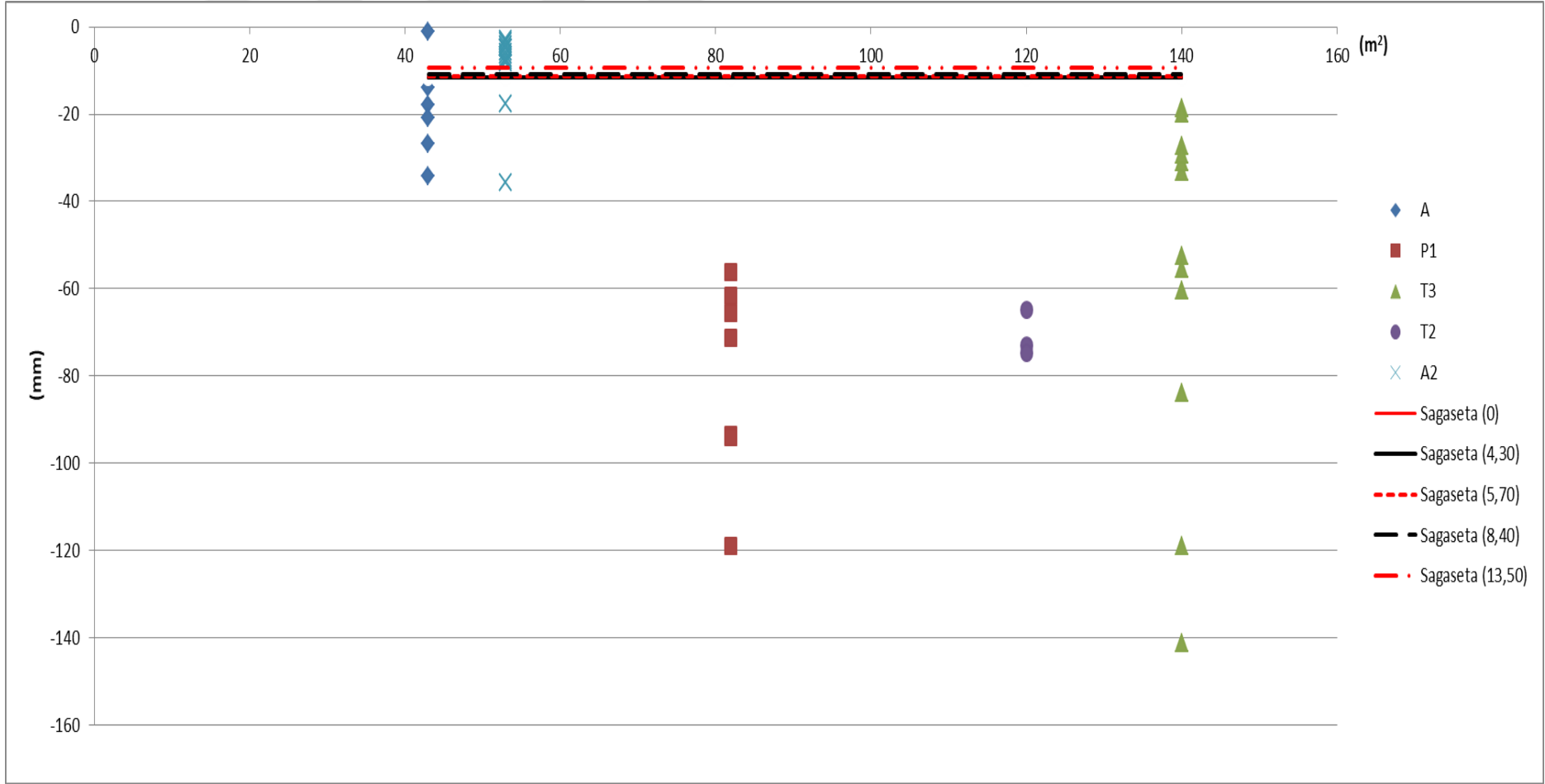
Çizelge 7.15: Sagaseta yöntemi sonuçları.

Kesit Alanı (m ²)	x (m)	0.00	4.30	5.70	8.40	13.50	27.00	35.00	50.00
82.00	P1	-11.79	-11.50	-11.29	-10.75	-9.43	-5.89	-4.40	-2.66
120.00	T2	-11.79	-11.50	-11.29	-10.75	-9.43	-5.89	-4.40	-2.66
140.00	T3	-11.79	-11.50	-11.29	-10.75	-9.43	-5.89	-4.40	-2.66
53.00	A2	-11.79	-11.50	-11.29	-10.75	-9.43	-5.89	-4.40	-2.66
43.00	A	-11.79	-11.50	-11.29	-10.75	-9.43	-5.89	-4.40	-2.66

7.4.3 Gonzales ve Sagaseta yöntemi

Gonzales ve Sagaseta (2001), Sagaseta (1987) yönteminin genişletilmiş bir versiyonunu önerdi. Tahmini oturmalar Sagaseta (1987) metodunda, toplam deformasyonun hesaplanması için yalnızca zemin kaybı terimini dikkate almaktadır. Gonzales ve Sagaseta (2001) çalışmasında, toplam tünel deformasyonu, Şekil 6.3'de gösterildiği gibi birkaç temel modun toplamı olarak ifade edilmiştir. Zemin sıkışabilirliği veya plastik gerilmeler nedeniyle Denklem 6.7'de verilen toplam oturmaya elde etmek için hacim kaybı, ovalleşme ve düşey hareket toplanır.

$$S_v(x) = \varepsilon D \left(\frac{D}{2H} \right)^{2\delta-1} \frac{1}{(1+x'^2)^{\alpha_v}} \left(1 + \rho \frac{1-x'^2}{1+x'^2} \right) \quad (6.7)$$



Şekil 7.35: Sagaseta yöntemi sonuçlarının gösterimi.

Bu yöntemde kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir:

ε : %7.50, δ : %7.50, ρ : 1, α : 1.5, H: 27.00 m,

x: 0.00 m, 4.30 m, 5.30 m, 8.40 m, 13.50 m, 27.00m, 35.00 m, 50.00 m

D: 43.00m², 53.00m², 82.00m², 120.00m², 140.00m²

Yapılan hesaplamalar sonucunda Gonzales ve Sagaseta yöntemi sonuçları Çizelge 7.13’de sunulmuştur. Grafik üzerinde gösterimi ise Şekil 7.36’de verilmiştir.

Çizelge 7.16: Gonzales ve Sagaseta yöntemi sonuçları.

Kesit Alanı (m ²)	x (m)	0.00	4.30	5.70	8.40	13.50	27.00	35.00	50.00
82.00	P1	-31.80	-8.37	-2.83	-0.62	-0.09	-0.01	0.00	0.00
120.00	T2	-33.67	-8.86	-3.00	-0.66	-0.10	-0.01	0.00	0.00
140.00	T3	-34.45	-9.07	-3.07	-0.67	-0.10	-0.01	0.00	0.00
53.00	A2	-29.78	-7.84	-2.66	-0.58	-0.09	-0.01	0.00	0.00
43.00	A	-28.86	-7.60	-2.57	-0.56	-0.09	-0.01	0.00	0.00

7.4.4 Verruijt ve Booker yöntemi

Verruijt ve Booker (1996) yöntemi, Sagaseta (1987) çözümünün bir uzantısıdır. Bu durumda, önerilen çözüm yalnızca sıkıştırılamaz zemin ortamı için değil, aynı zamanda Poisson’un oranının farklı değerleri için de geçerlidir. Bu özelliğin yanı sıra, Sagaseta’nın zemin kaybı çözümüne ek olarak, Verruijt ve Booker, ovalleşmenin çözüme etkisini Denklem 6.8’de şu şekilde dâhil etmiştir.

$$S_v(x) = \varepsilon D^2 (1 - \nu) \frac{H}{x^2 + H^2} - \frac{\delta D^2}{2} \frac{H(x^2 + H^2)}{(x^2 + H^2)^2} \quad (6.8)$$

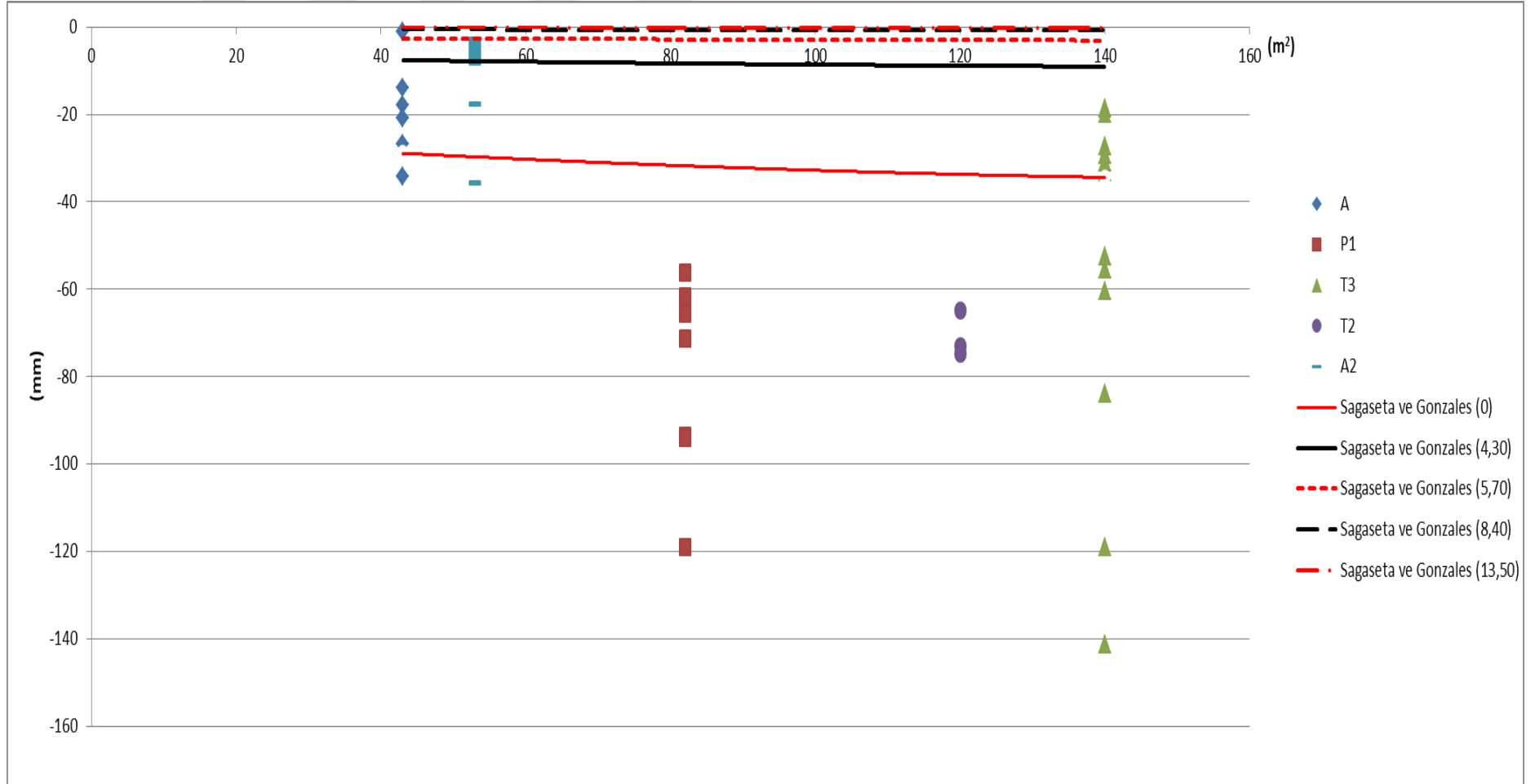
Bu yöntemde kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir:

ε : %7.50, δ : %7.50, ν : %100, H: 27.00 m,

x: 0.00 m, 4.30 m, 5.30 m, 8.40 m, 13.50 m, 27.00m, 35.00 m, 50.00 m

D: 43.00m², 53.00m², 82.00m², 120.00m², 140.00m²

Yapılan hesaplamalar sonucunda Verruijt ve Booker yöntemi sonuçları Çizelge 7.14’de sunulmuştur. Grafik üzerinde gösterimi ise Şekil 7.37’de verilmiştir.



Şekil 7.36: Gonzales ve Sagaseta yöntemi sonuçlarının gösterimi.

Çizelge 7.17: Verruijt ve Booker yöntemi sonuçları.

Kesit Alanı (m ²)	x (m)	0.00	4.30	5.70	8.40	13.50	27.00	35.00	5.00
82.00	P1	-18.56	-18.10	-17.77	-16.93	-14.85	-9.28	-6.93	-4.19
120.00	T2	-39.83	-38.85	-38.13	-36.32	-31.87	-19.92	-14.86	-8.99
140.00	T3	-54.25	-52.91	-51.94	-49.46	-43.40	-27.13	-20.24	-12.25
53.00	A2	-7.73	-7.54	-7.40	-7.05	-6.18	-3.86	-2.88	-1.74
43.00	A	-5.08	-4.95	-4.86	-4.63	-4.06	-2.54	-1.89	-1.15

7.4.5 Loganathan ve Poulos yöntemi

Loganathan ve Poulos (1998) boşluk parametresine göre geleneksel hacim kaybı parametresini yeniden tanımlamış ve Verruijt ve Booker (1996), Denklem 6.8'den elde edilen kapalı form çözümüne dâhil etmiştir. Loganathan ve Poulos'un (1998) çözümü Denklem 6.9'da sunulmuştur.

$$S_v(x) = (1 - v) \frac{H}{x^2 + H^2} (2gD + g^2) e^{-\left(\frac{1.38x^2}{(H+0.5D)^2}\right)} \quad (6.9)$$

Bu yöntemde kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir:

ϵ : %7.50, g : %10, v : %100, H : 27.00 m,

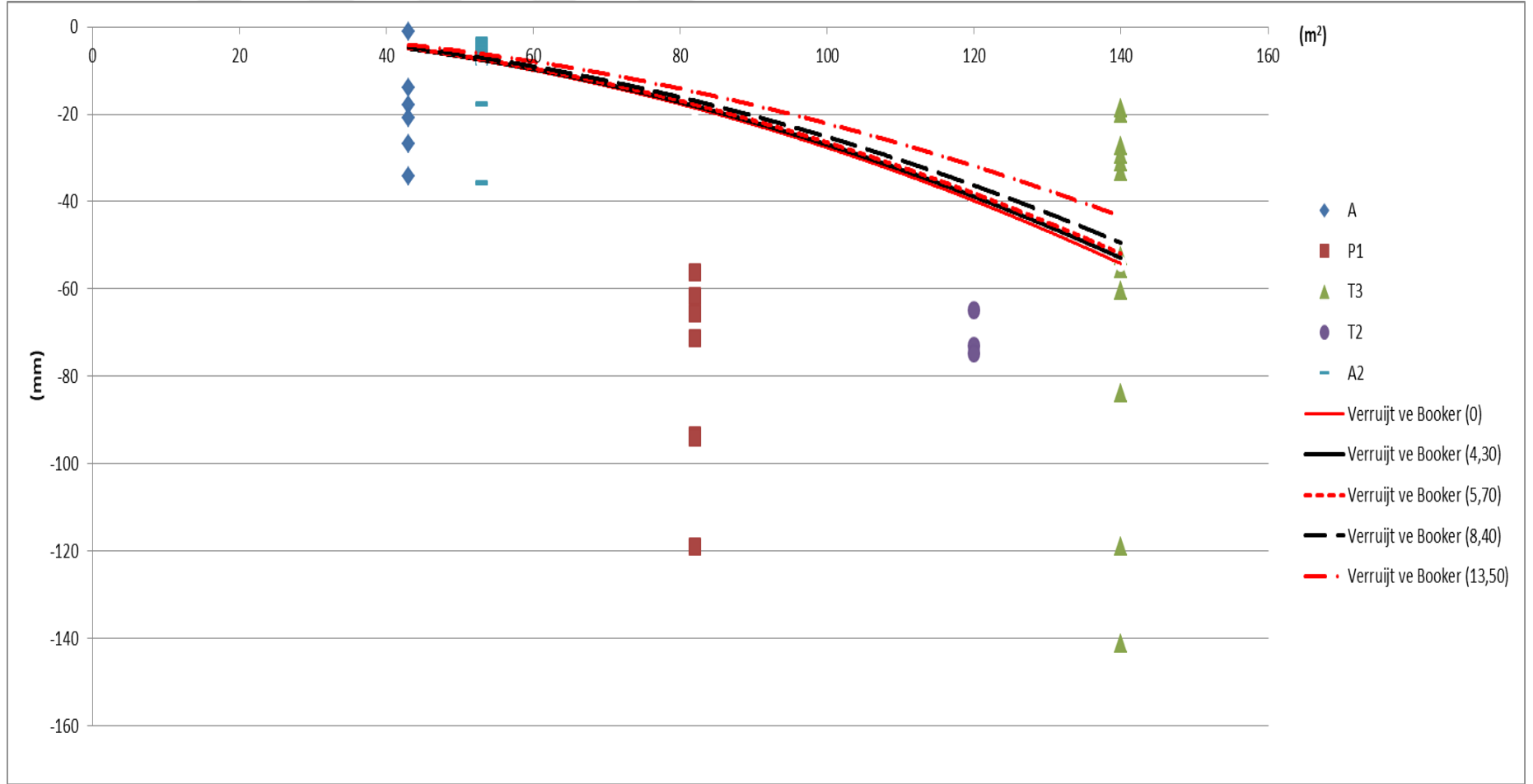
x : 0.00 m, 4.30 m, 5.30 m, 8.40 m, 13.50 m, 27.00m, 35.00 m, 50.00 m

D : 43.00m², 53.00m², 82.00m², 120.00m², 140.00m²

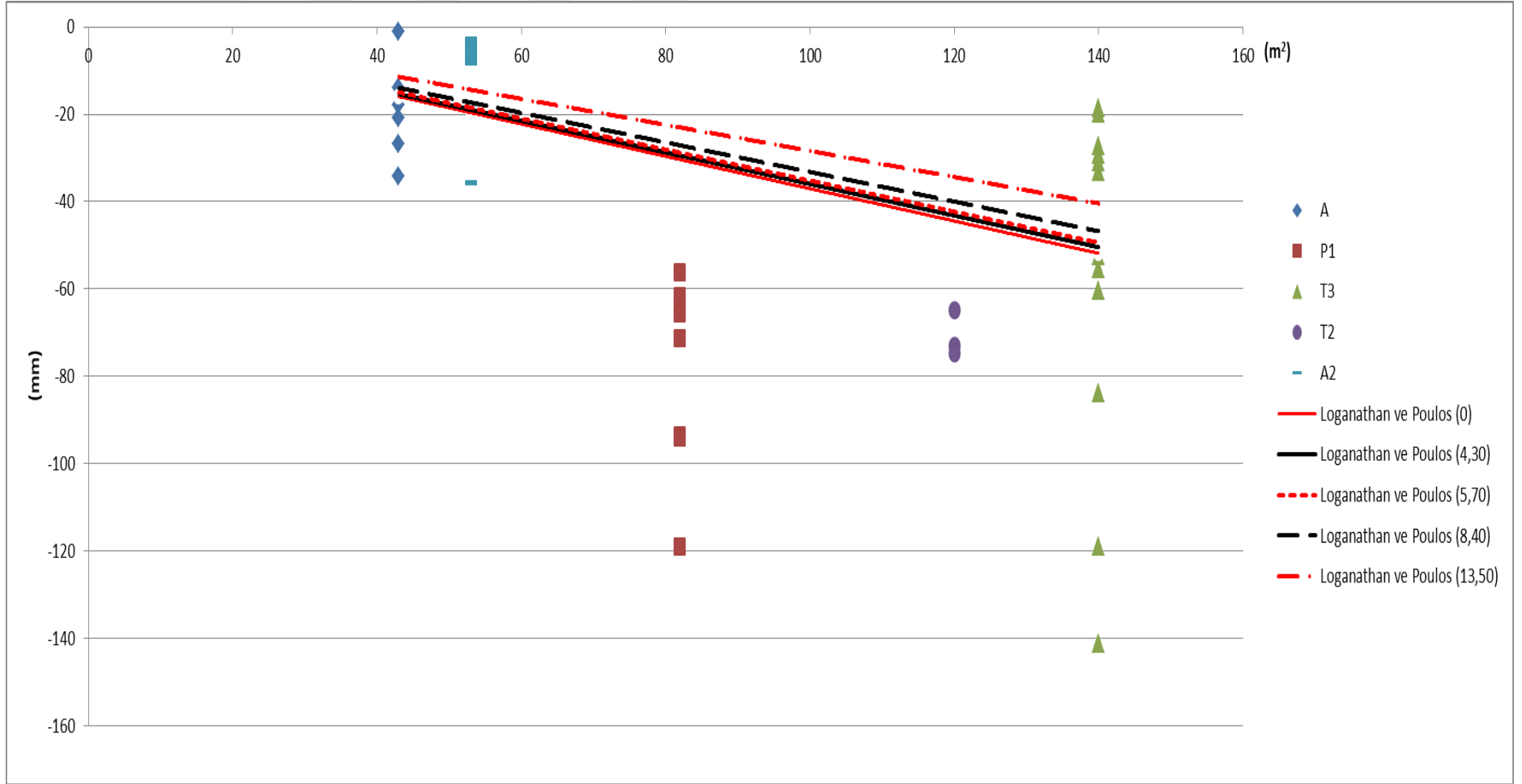
Yapılan hesaplamalar sonucunda Loganathan ve Poulos yöntemi sonuçları Çizelge 7.15'de sunulmuştur. Grafik üzerinde gösterimi ise Şekil 7.38'da verilmiştir.

Çizelge 7.18: Loganathan ve Poulos yöntemi sonuçları.

Kesit Alanı (m ²)	x (m)	0.00	4.30	5.70	8.40	13.50	27.00	35.00	50.00
82.00	P1	-30.38	-29.47	-28.80	-27.12	-23.02	-12.22	-7.86	-3.25
120.00	T2	-44.45	-43.21	-42.31	-40.01	-34.40	-19.46	-13.27	-6.36
140.00	T3	-51.86	-50.44	-49.41	-46.80	-40.39	-23.30	-16.17	-8.11
53.00	A2	-19.64	-18.98	-18.51	-17.31	-14.39	-6.91	-4.06	-1.33
43.00	A	-15.94	-15.37	-14.97	-13.94	-11.46	-5.20	-2.90	-0.83



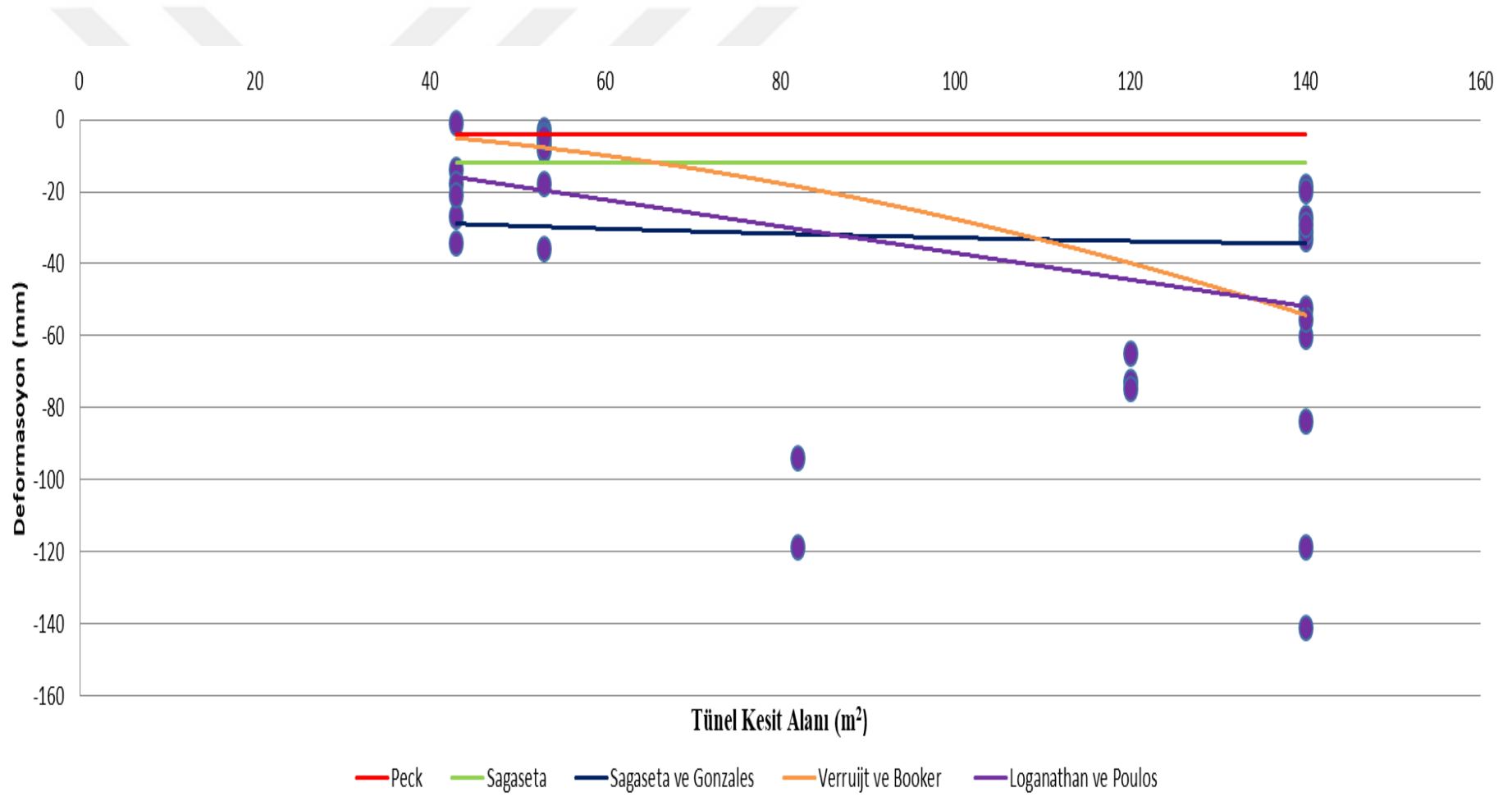
Şekil 7.37: Verruijt ve Booker yöntemi sonuçlarının gösterimi.



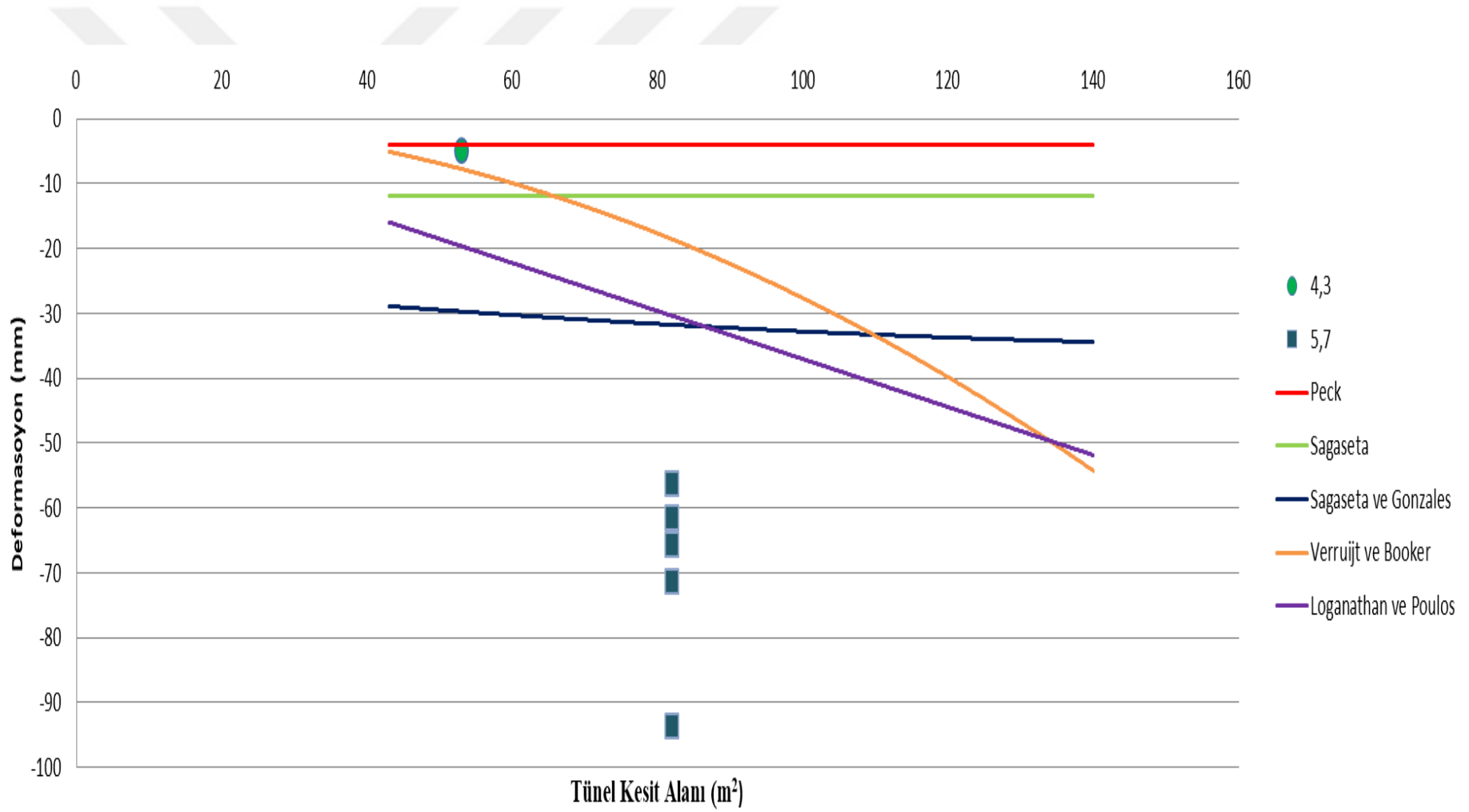
Şekil 7.38: Loganathan ve Poulos yöntemi sonuçlarının gösterimi.

7.5 Ampirik Yöntem Sonuçlarının Deformasyon Değerleri ile Karşılaştırılması

Yapılan hesaplamalar sonucunda ampirik yöntemlerin tünel eksenini üzerinde ve tünel ekseninden belirli mesafelerde oluşacak deformasyon değerleri ile bu çalışma içeriğinde incelenen ÜÜÇM projesi kapsamında okuma değerleri alınan yüzey deformasyon bulonlarının efektif değerleri önceki bölümde gösterilmiştir. Sonuçların analizinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için veriler Şekil 7.39 ve Şekil 7.40 üzerinde gösterilmiştir. Şekil 7.39’da ampirik yöntemlerin tünel eksenini üzerinde yer alan nokta için farklı tünel çaplarında oluşabilecek muhtemel deformasyon değerleri ÜÜÇM projesi efektif deformasyon değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekilde görülebileceği üzere Peck yöntemi sonuçları tünel kesit alanı değerlerinden bağımsız olarak sadece hacim kaybı (V_s) ile deformasyon mesafesi parametresi (i) değerlerinin ve seçilen noktanın tünel ekseninden olan mesafesinin uzaklaşıp, yaklaşmasıyla azalmakta veya artmaktadır. Sagaseta yönteminde Peck yöntemi gibi aynı prensipte çalışmaktadır. Bölüm 6’da da bahsedildiği üzere Sagaseta sıkıştırılmaz zemin tabakası varsayımı yaparak zemin içerisinde açılacak tünelin kesit alanından bağımsız enine ve boyuna yöndeki deformasyonların tahmin edilmesini amaçlamaktadır. İki yöntemde küçük çaplı tam dairesel tünel sonuçlarına yaklaşmış fakat büyük çaplı ve yuvarlak olmayan kesitlerde doğru sonuçlar verememiştir. Gonzales ve Sagaseta yöntemi en yeni yöntemimiz olmasına rağmen küçük ve tam daire kesitli tünellerimizde yaklaşık sonuçlar vermesine rağmen büyük ve düzgün olmayan kesitli tünellerimizde aynı başarıyı gösterememektedir. Kesit alanı hesaplamalarda göz önüne alınsada sonucu değiştirecek etken olmadığını Şekil 7.40 üzerindeki neredeyse sıfır eğimli çizgisinden anlayabilmekteyiz. Verruijt ve Booker ile Loganathan ve Poulos yöntemleri kesit alanı parametresini çalışmalarında önemli bir noktaya koymuş, küçük ve dairesel tünellerde özellikle Loganathan ve Poulos bizim çalışmamızdaki incelediğimiz deformasyon miktarlarına çok yakın değerlerle sonuçlar vermiştir. Bununla beraber iki yöntemde en büyük kesitli tünel deformasyon değerlerimize yakın sayılabilecek sonuçlar ortaya koymuştur. Şekil 7.40’da ise tünel eksenini üzerinde olmayan, tünel ekseninden belirli bir mesafede yer alan deformasyon değerlerimizle incelediğimiz ampirik yöntemlerin sonuçları gösterilmiştir. Fakat tünel eksenini dışında yeterli verimiz olmadığı için, sadece 5



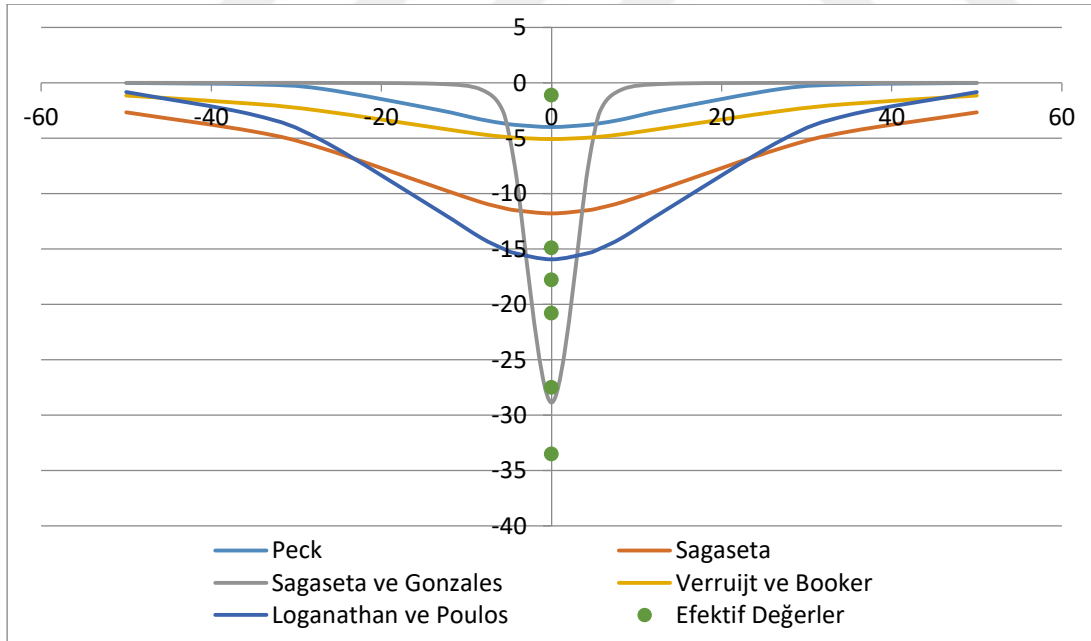
Şekil 7.39: Tünel eksenindeki noktalarda ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.



Şekil 7.40: Tünel eksenî üzerinde olmayan noktalarda ampirik yöntemlerin karşılaştırılması.

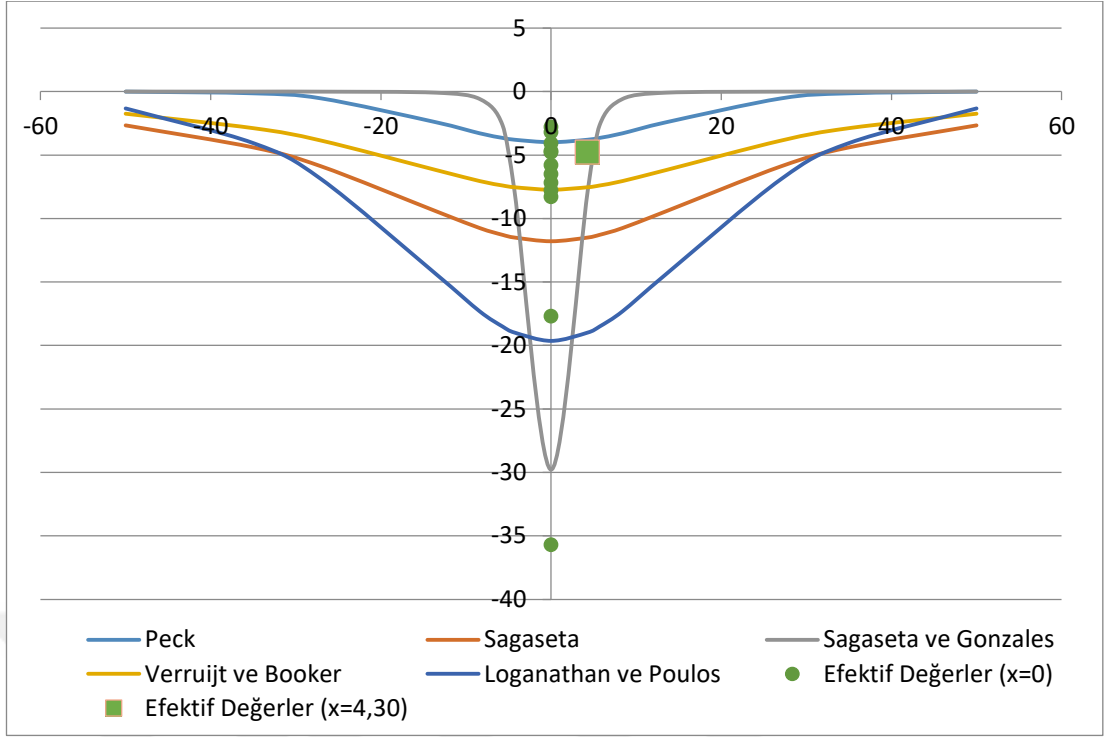
nokta verileriyle sağlıklı bir değerlendirme yapılamamaktadır. Ayrıca verilerimiz neredeyse sadece 1 tünel kesiti üzerinde toplanmışken bu değerlendirmeyi yapmamız ve diğer tünel kesitleri için bir sonuç çıkartmamız son derece yanlış görülebilmektedir. Ayrıca genel olarak iki şekil üzerinden bir değerlendirme yapacak olursak Peron tüneli ve T2 Makas tüneli üzerinde yer alan deformasyon değerlerimizin ampirik yöntemlerin çok üstünde yer aldığını söyleyebiliriz. Bunun sebebi olarak Peron tünellerimiz üzerinde yer alan 7 bulondan sadece 2 tanesi tam tünel eksenini üzerinde yer almaktadır. Peron tünelleri olarak ikinci yorumumuz ise değerlerin kesit alanı daha büyük olan T3 Makas tünellerinin bazı deformasyon değerlerinden bile büyük ölçülmesi, deformasyon ölçümlerimizin yanlışlığından veya tünel üzerine etkiyen farklı yüklerden kaynaklandığını söyleyebiliriz. T2 Makas tüneli içinde yine Peron tüneline ifade ettiğimiz gibi sadece 3 adet bulon değerimizin olması bize sağlıklı bir değerlendirme yapma şansı vermemektedir.

Gauss eğrisi üzerinde tünel kesit alanlarına göre yöntemlerin karşılaştırılmasında aşağıda gösterilmiştir. Şekil 7.41’de A tüneli değerleri gösterilmektedir.



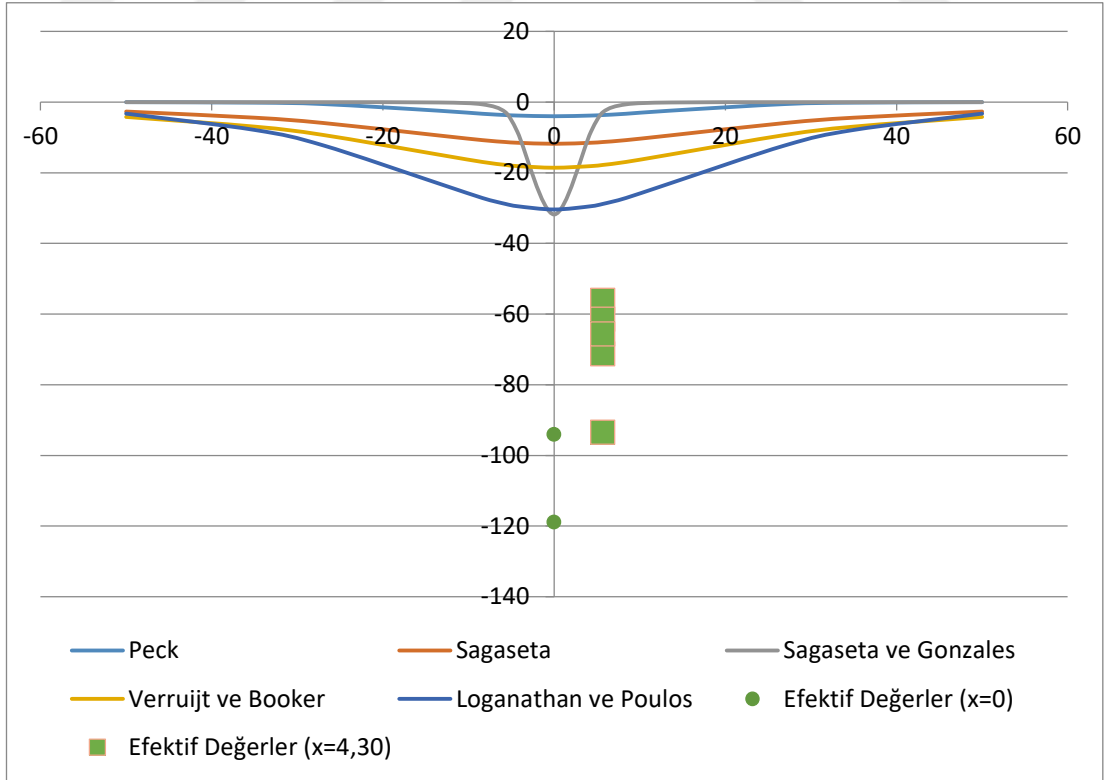
Şekil 7.41: A Tüneli için ampirik yöntemlerin karşılaştırması.

Şekilde de görüleceği üzere Loganathan ve Poulos ile Gonzales ve Sagaseta yöntemleri en yakın sonuçları vermişlerdir. Şekil 7.42’de A2 tüneli değerleri gösterilmektedir.



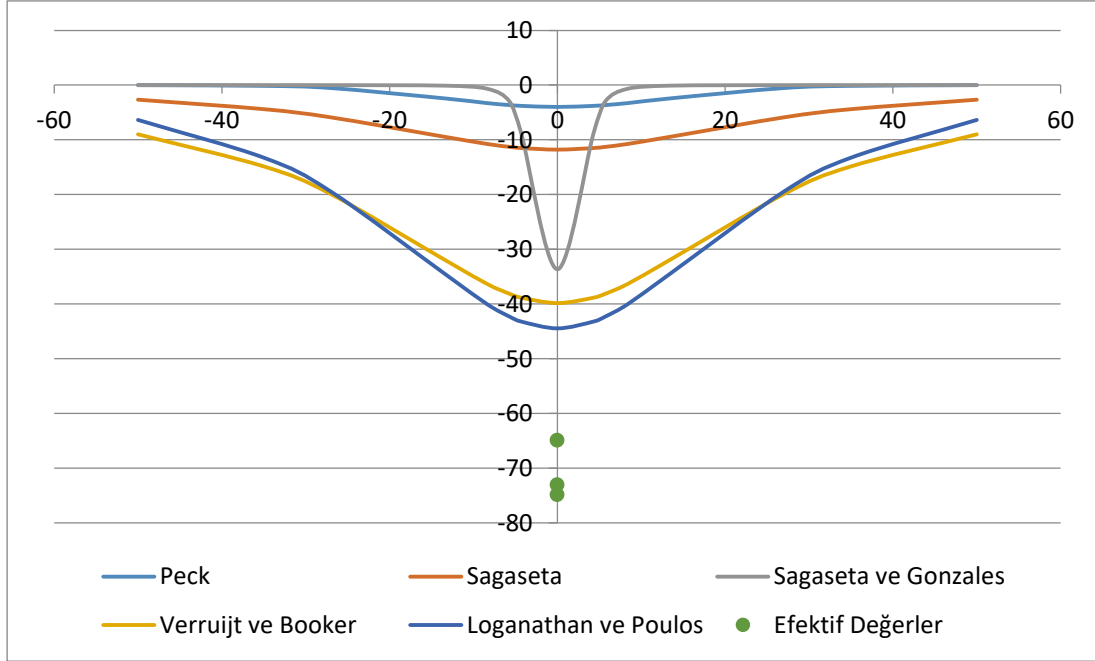
Şekil 7.42: A2 tüneli için ampirik yöntemlerin karşılaştırması.

Şekilde de görüleceği üzere Peck ile Verruijt ve Booker yöntemleri en yakın sonuçları vermişlerdir. Şekil 7.43'de P1 tüneli değerleri gösterilmektedir.



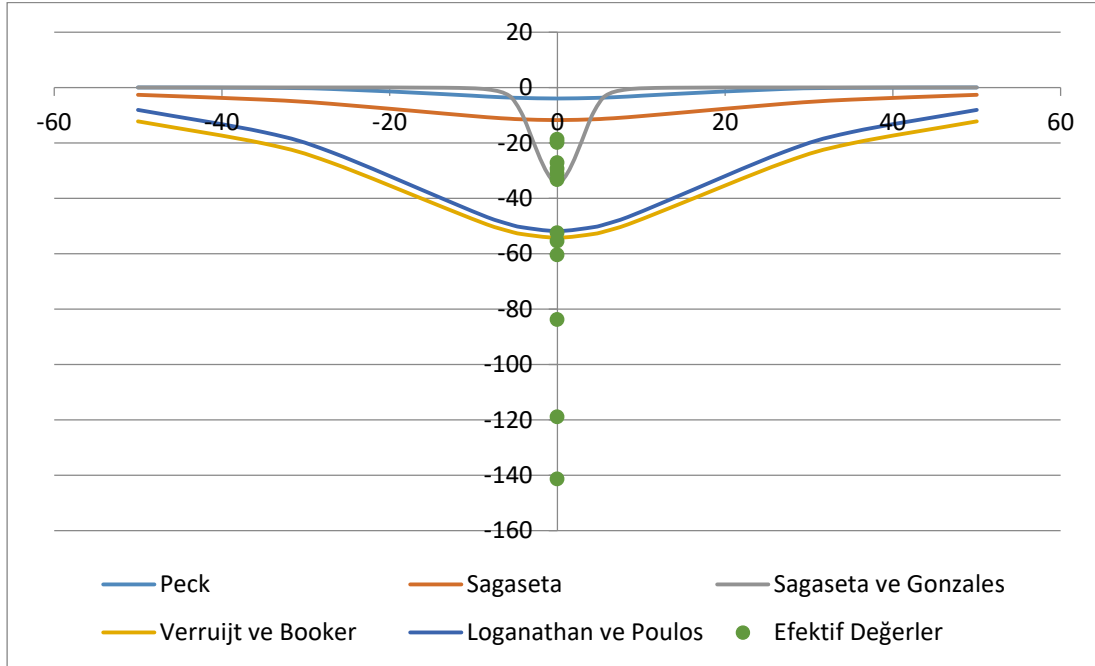
Şekil 7.43: A Tüneli için ampirik yöntemlerin karşılaştırması.

Şekilde de görüleceği üzere hiçbir yöntem yakın sonuçlar vermemiştir. Şekil 7.44’de T2 tüneli değerleri gösterilmektedir.



Şekil 7.44: T2 Tüneli için ampirik yöntemlerin karşılaştırması.

Şekilde de görüleceği üzere hiçbir yöntem yakın sonuçlar vermemiştir. Şekil 7.45’de T2 tüneli değerleri gösterilmektedir.



Şekil 7.45: T3 Tüneli için ampirik yöntemlerin karşılaştırması.

Şekilde de görüleceği üzere Loganathan ve Poulos ile Verruijt ve Booker yöntemleri en yakın sonuçları vermişlerdir.

7.6. Yeni Bir Yöntem Önerisi

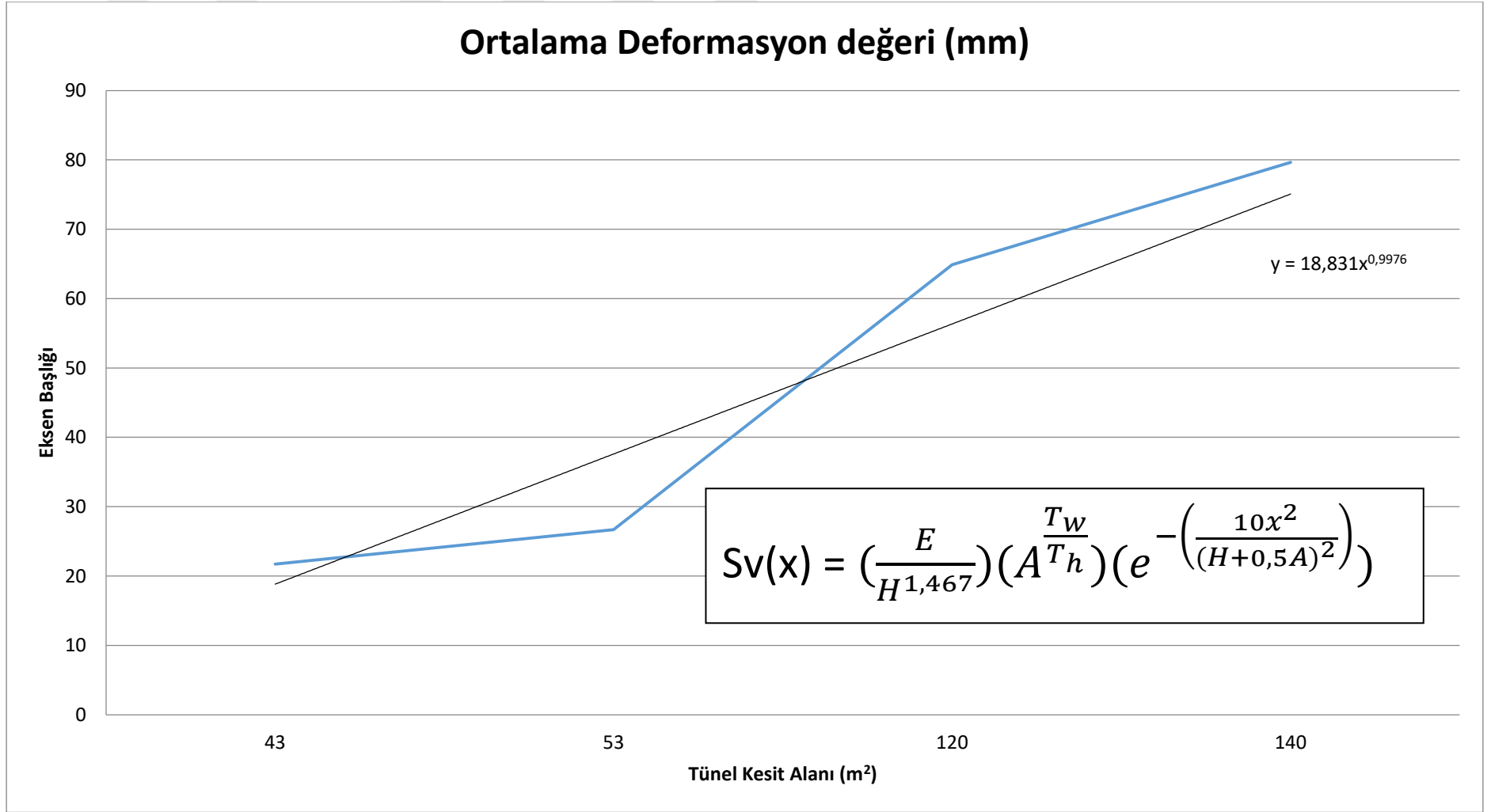
Yukarıdaki bölümlerde tüm yöntem ve deformasyon ölçümlerini karşılaştırdık. Bazı yöntemler sonuçlarımızla yakın değerler verseler bile her tünel kesiti için doğru değerler veren bir yöntem olmamıştır. Bu çalışmanın amacı olan killi zeminlerde NATM ile açılan tünellerinin yüzey deformasyonlarının tahmini için tüm tünel tip ve kesitlerinde doğru sonuçlar verebilecek bir yöntem sunulması düşünülmüştür. Şekil 7.39 ile 7.45 arası grafiklerdende görüleceği üzere Peron ve T2 Makas tünelleri değerleri önereceğimiz yeni bağıntı için yanlış sonuçlara götürebilir. Ayrıca diğer tünel kesitlerinde bazı uç değerleri sonuçlarımızda sapmalara neden olabilir. Bu yüzden birtakım verileri elememiz daha doğru sonuçlar için gereklidir. Veriler seçilirken daha önceki bölümlerde hesaplamaları yapılan yöntemlerin kesit alanlarına göre maksimum ve min değerleri %50 oranında arttırılmış ve azaltılmıştır. Bu aralık içerisinde kalan deformasyon noktaları değerleri seçilmiştir. Çizelge 7.16 üzerinde seçilen değerler için yapılan hesaplama görülebilmektedir. Hesaplamalar sonucunda tünel eksenini dışında sadece 1 yüzey deformasyon bulunu olduğu tespit edilmiştir. Tüm bulonlar tünel eksenini üzerinde yer almaktadır. Çizelge 7. 17’de bu değer noktalarının verileri sunulmuştur.

Çizelge 7.19: Yüzey bulonlarının seçimi için değer aralığı.

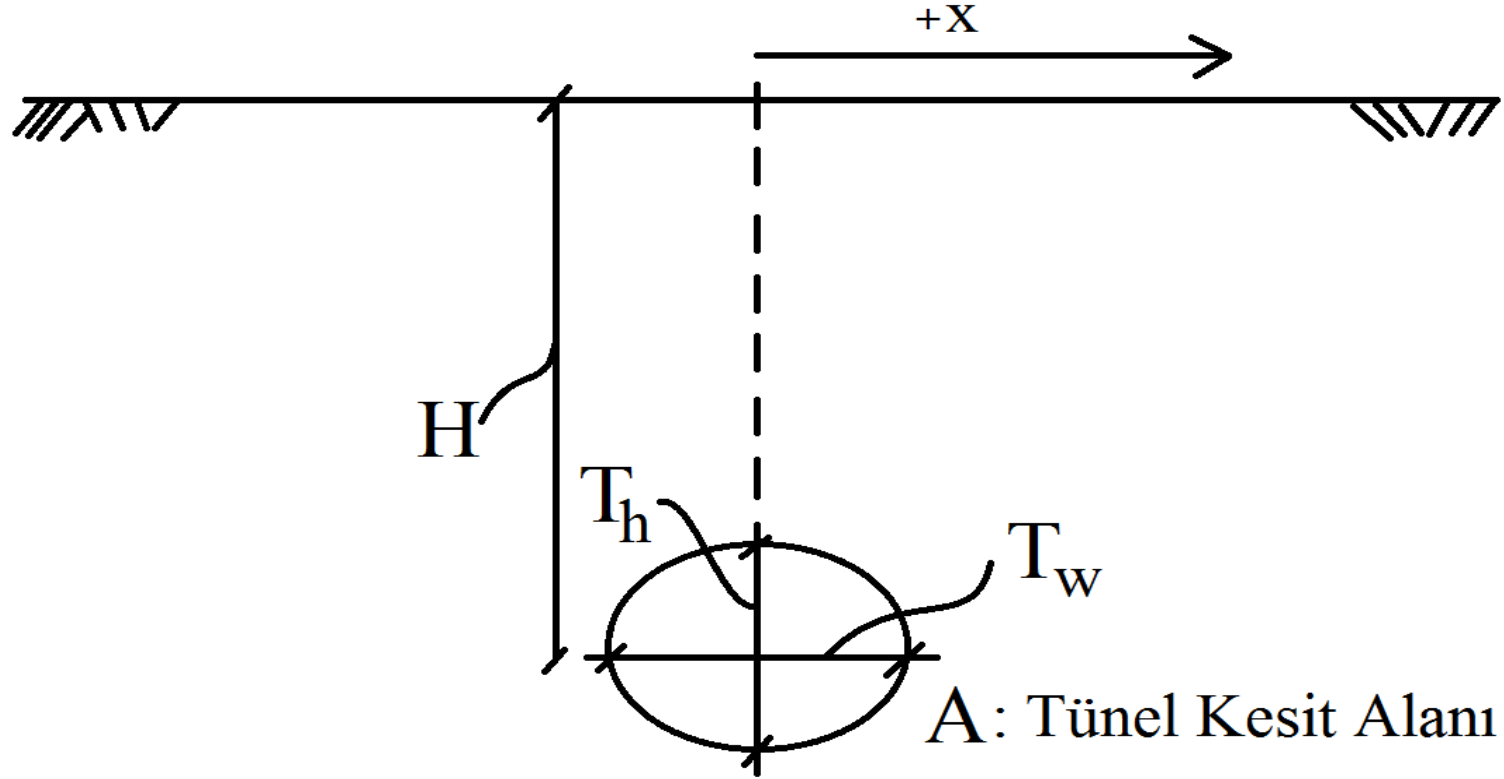
Tünel Kesiti (m ²)	Maks. Değ.	Yöntem	%50 Değ. Azaltması	%50 Değ. Yükseltmesi
43 A	-22,36	Sagaseta ve Gonzales	-16,43	-28,29
53 A2	-27,63	Sagaseta ve Gonzales	-17,59	-37,67
82 P1	-31,80	Sagaseta ve Gonzales	-15,90	-47,70
120 T2	-44,45	Loganathan ve Poulos	-22,23	-66,68
140 T3	-87,25	Verruijt ve Booker	-55,10	-119,30

Çizelge 7.20: Seçilen yüzey bulonlarının değerleri.

Yüzey Bulonları	Kesit Alanı (m²)	Tünel eksenine olan mesafe (m)	Efektif Deformasyon (mm)	Ortalama Deformasyon (mm)
D13231	43,00	0,00	-26,70	-21,77
M14			-17,80	
M16			-20,80	
D13229	53,00	0,00	-35,70	-26,70
D13234			-17,70	
M20	120,00	0,00	-64,90	-64,90
D13236	140,00	0,00	-60,40	-79,65
D13238			-118,90	
D13240			-83,80	
D13241			-55,50	



Şekil 7.46: Ortalama deformasyon değerlerinin gösterimi ve yeni bir bağıntı önerisi.



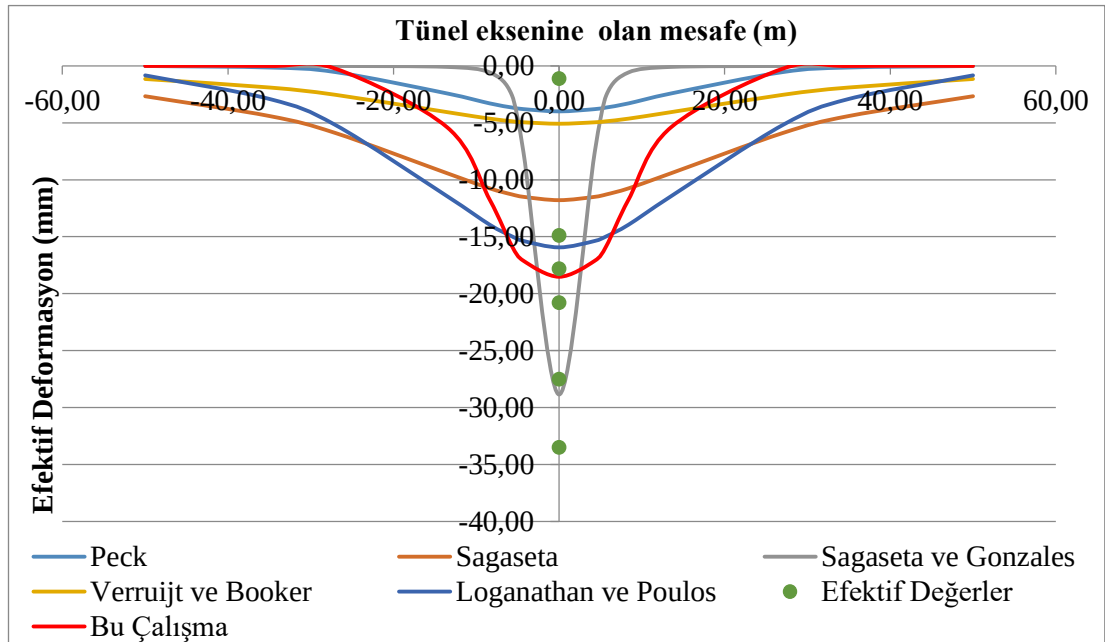
Şekil 7.47: Yeni yöntem önerisi için şematik gösterim.

Şekil 7.46'da seçilen deformasyon noktalarının ortalama deformasyon değeri bulunup tünel kesit alanına göre grafiği çizilmiştir. Ortalama deformasyon değeri kesit alanına bağlı değiştiği için eğilim çizgisi üstel fonksiyon olarak çizdirilmiştir. Elastisite modülünün, tünel derinliğinin üstel değerine oranı hesaplanarak eğilim çizgisinde gösterilen katsayı bulunmuştur. Grafiğin x ekseninde, tünel kesit alanı gösterildiği için x yerine tünel kesit alanı gösterimi olarak A yazılmıştır. Üstel değeri ise tünel geometrisinden kaynaklanan ovalleşme değerinin gösterimi için tünel genişliğinin (T_w), tünel yüksekliğine (T_h) oranı olarak gösterilmiştir. Bu oran eğer 1,22'den küçük ise 1,22 olarak seçilmelidir. Son olarak çalışmamızda tünel ekseninde yer almayan deformasyon bulonlarının olmaması nedeniyle önceki bölümlerde de görüleceği üzere daha doğru sonuçlar veren Loganathan ve Poulos yönteminin uzaklık mesafesi düzenlenerek önerimize eklenmiştir (Şekil 7.47). Yapılan önerilerin sonuçları Çizelge 7,18'de sunulmuştur.

Çizelge 7.21: Bu çalışmada önerilen yöntemin sonuçları.

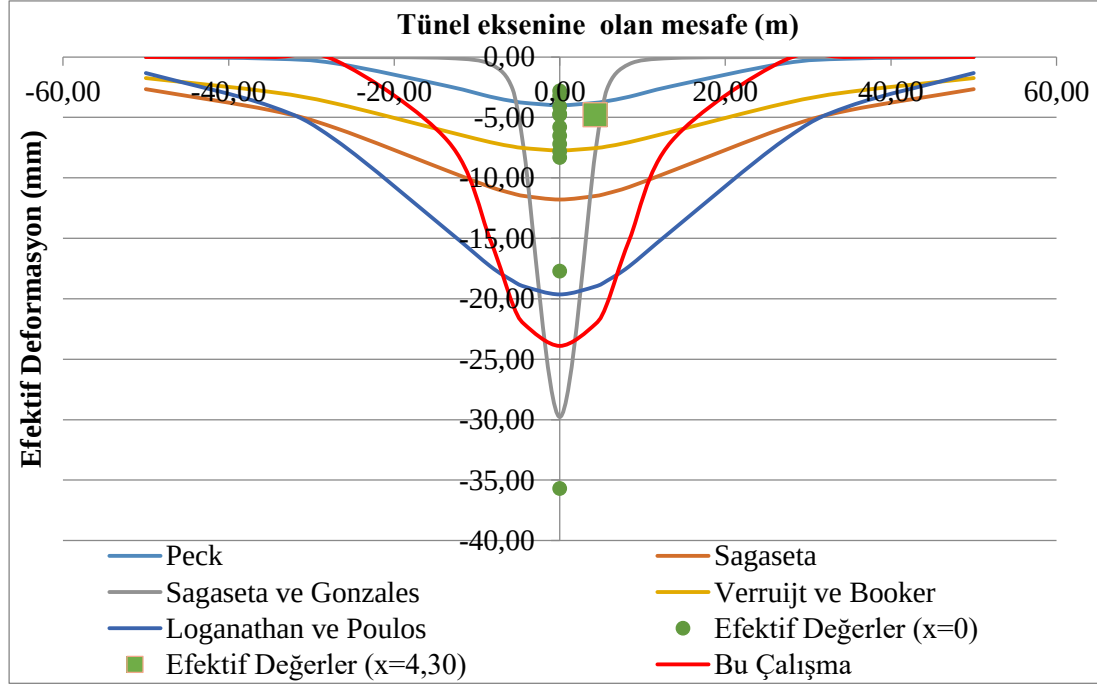
Bu Çalışma	x	0,00	4,30	5,70	8,40	13,50	27,00	35,00	50,00
43,00	A	-18,52	-17,12	-15,82	-11,72	-5,40	-0,24	0,00	0,00
53,00	A2	-23,90	-22,09	-20,42	-15,13	-6,97	-0,31	0,00	0,00
82,00	P1	-40,70	-37,62	-34,78	-25,77	-11,87	-0,54	0,00	0,00
120,00	T2	-66,86	-61,81	-57,14	-42,33	-19,51	-0,88	0,00	0,00
140,00	T3	-80,02	-73,97	-68,38	-50,66	-23,34	-1,05	-0,01	0,00

Gauss eğrisi üzerinde tünel kesit alanlarına göre yöntemlerin karşılaştırılmasında aşağıda gösterilmiştir. Şekil 7.48'de A tüneli karşılaştırmaları gösterilmektedir.



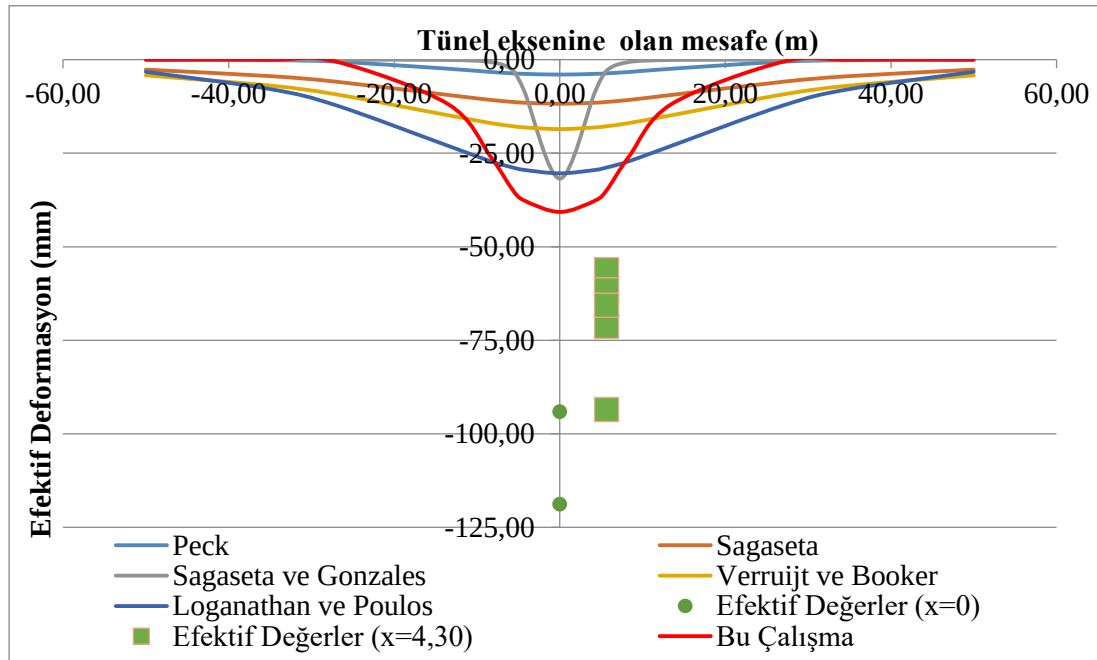
Şekil 7.48: A tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin karşılaştırması.

Şekil 7.49’da A2 tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin değerleri gösterilmektedir.



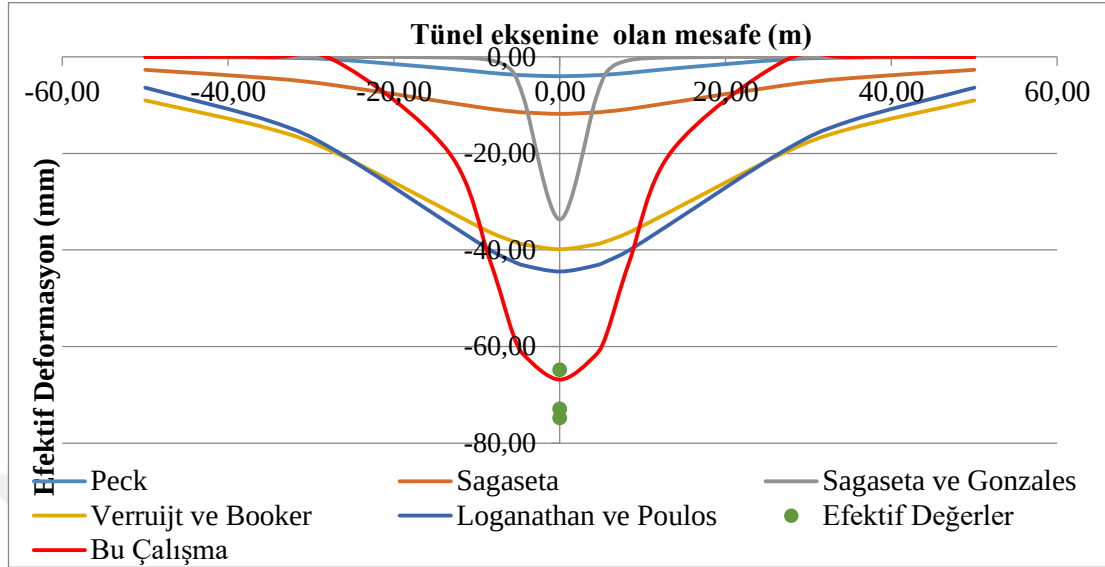
Şekil 7.49: A2 Tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin karşılaştırması.

A2 tüneli değerlerimizin birçoğu tünel imalatının son iki ayı okuma değerleri olduğu için neredeyse tüm yöntemlerin altında kalmıştır. Şekil 7.50’de P1 tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin değerleri gösterilmektedir.



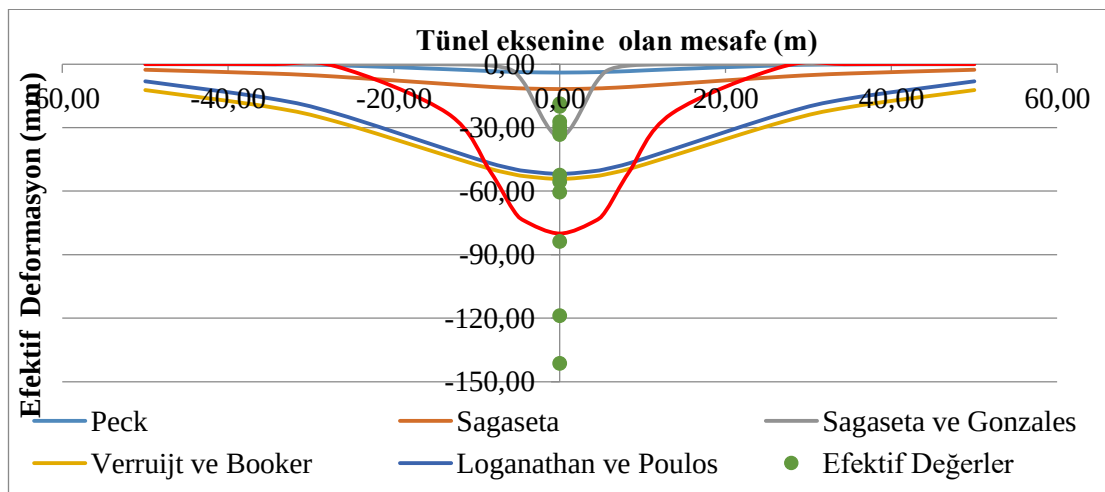
Şekil 7.50: P1 Tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin karşılaştırması.

P1 tüneli deformasyon verilerimizin dış yükler veya okuma hataları nedeniyle yüksek çıkmasından dolayı hiçbir yöntem sonucu doğrulayamamıştır. Şekil 7.51’de T2 tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin değerleri gösterilmektedir.



Şekil 7.51: T2 Tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin karşılaştırması.

Önerdiğimiz yeni yöntem diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlar vermiştir. Kesit alanının büyüklüğü ve tünel şeklini göz önüne alan yeni yöntem Elastisite modülünde bağıntı içerisinde yer almasıyla her ortamın ve her tünel kesitinin farklı deformasyona sebep olacağını daha iyi ispatlamıştır. Şekil 7.52’de T3 tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin değerleri gösterilmektedir. T3 tüneli üzerinde yer alan bazı deformasyon noktalarının jeolojik kesittende görüleceği üzere kireç taşına rastlamıştır. Bu sebeple deformasyonları killi zeminlerde yer alanlara nazaran daha küçüktür. Analizlerde kullanılan ampirik modellerin karşılaştırılması Çizelge 7.19’da özetlenmiştir.



Şekil 7.52: T3 Tüneli için yeni bağıntı ve diğer ampirik yöntemlerin karşılaştırması.

Çizelge 7.22: Bu çalışmada önerilen yöntemin diğer ampirik yöntemlerle karşılaştırılması.

Yüzey Bulonları	D13231	M14	M16	D13229	D13234	-	M20	D13236	D13238	D13240	D13241
Kesit Alanı (m²)	43,00			53,00		82,00	120,00	140,00			
Efektif Deformasyon (mm)	-26,70	-17,80	-20,80	-35,70	-17,70	-	-64,90	-60,40	-118,90	-83,80	-55,50
Ortalama Deformasyon (mm)	-21,77			-26,70		-	-64,90	-79,65			
Peck Yöntemi (mm)	-3,99			-3,99		-3,99	-3,99	-3,99			
Sagaseta Yöntemi (mm)	-11,79			-11,79		-11,79	-11,79	-11,79			
Gonz. ve Saga. Yöntemi (mm)	-28,86			-29,78		-31,80	-33,67	-34,45			
Verr. ve Booker Yöntemi (mm)	-5,08			-7,73		-18,56	-39,83	-54,25			
Loga. ve Poul. Yöntemi (mm)	-15,94			-19,64		-30,38	-44,45	-51,86			
Çalışmada Önerilen Yöntem (mm)	-18,52			-23,90		-40,70	-66,86	-80,02			



8. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi(NATM) kullanılarak, yapımı tamamlanan “Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metrosu” tünelleri incelenmiştir. Killi zeminde açılan Dudullu Makas bölgesi Tünellerinin geçtiği güzergah boyunca jeolojik ve geoteknik koşullar değerlendirilmiştir. Tünellerin güzergahı üzerinde 9 adet mekanik sondaj yaptırılmıştır. Bu sondajlardan alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri uygulanmış, laboratuvar deneyleri sonuçları ve arazi gözlemleri neticesinde tünel güzergahına ait geomekanik parametreler belirlenmiştir. 5 farklı kesit alanına sahip tünellerin deformasyon sonuçlarının analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirilerek farklı ampirik yöntemlerle deformasyon tahmini yapan çalışmacıların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Araştırma kapsamında değişik faktörlerin etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu faktörler, tünel kesit alanı, yüzey bulonlarının tünel ekseninin yer üstündeki izdüşümüne olan uzaklığı olarak seçilmiştir.

Örtü kalınlığı da çalışmalara dahil edilmek istenilmiş fakat tünel imalatlarının olduğu bölge fiziki açıdan aynı örtü kalınlığına sahip olduğu için bu parametre tartışılamamıştır. Zemin koşullarının da aynı olması sebebiyle tüm tünellerde tek bir geçici tahkimat sınıfı kullanılması sebebiyle tahkimat sınıfları da karşılaştırılamamıştır. Bu parametrelerin analiz sonuçları üzerinde etkilerini değerlendirmede, tünel üzerinde yer alan yüzey bulonlarının oluşacak düşey yer değiştirmelerin gözlemlenebilmesi için düzenli aralıklarla yapılan ölçüm sonuçları temel ölçüt olarak alınmıştır. Önceki bölümlerde yapımı tamamlanan tünellerin, gösterilen kazı ilerlemesine bağlı olarak gözlemlenen deformasyonlarının gelişimi grafikler halinde gösterilmiştir. Analizlerde göz önüne alınan değişkenlerin etkileri karşılaştırılmalı olarak sunulan bu grafikler yardımı ile değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Bu deformasyonlar baz alınarak düşey yer değiştirmelerin tahmini için aşağıda gösterilen yeni bir ampirik yöntem önerilmiştir.

$$S_v(x) = \left(\frac{E}{H_{1,467}}\right)(A^{\frac{T_w}{T_h}})(e^{-\left(\frac{10x^2}{(H+0,5A)^2}\right)})$$

Sonuçlarının değerlendirilmesi ile varılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Deformasyon tahmini açısından Peck yöntemi, ilk geliştirilen yöntemlerden olması, kazı kesitinin bir değişken olarak sayılmaması ve sadece hacim kaybı parametresine bağlı olması nedeniyle tüm kazı kesitlerinde düşük sonuçlar vermiştir. TBM kazılarında, hacim kaybına NATM'e göre çok daha az izin verilmesi sebebiyle kullanılabilir. Bu sebeple küçük kazı kesit alanına sahip tünellerde kullanılması daha doğru sonuçlar verecektir.
- Sagasete yöntemi, çalıştığımız yöntemler içinde en uzak sonuçları veren yöntemdir. Bu yöntemin farklı sonuçlar vermesinin iki ana nedeni olabilir. İlk olarak yöntemin doğru uygulanabilmesi için seçilmiş parametrelerde hata veya eksiklik olabilir. İkinci olarak sıkıştırılmaz zemin kabulü yapan yöntem sınırlı deformasyona izin vermektedir. Bu sebeplerden dolayı deformasyon tahminleri düşük bulunmuş olabilir. Sagasete yöntemi TBM deformasyonları göz önüne alınarak ortaya konulmuş bir yöntemdir. Kazı kesitinin etkisinden çok, kazı yönünün boyuna ve enine olarak deformasyonlarını bulmayı hedefler.
- Gonzales ve Sagasete yöntemi, küçük kazı alanlı ve dairesel kesit tünellerde gerçek deformasyonlarla neredeyse birebir örtüşmüştür. Fakat büyük ve dairesel olmayan kesitlerde sonuçlarda bir o kadar uzaktır. Gonzales ve Sagasete, yöntemin uygulanırken dairesel kesit tünellerde uygulanması gerektiğini aktarmıştır. Bununla beraber daha büyük kazı alanlı ve dairesel olan tünel verimiz olmadığı için kesin olarak büyük kazı alanına sahip tünellerde yanlış sonuçlar verebilir diyemiyoruz.
- Verruijt ve Booker yöntemi sonuçları, Sagasete yöntemi gibi uzak sonuçlar vermiştir. Sadece T3 makas tüneli değerleri gerçek değerlerimize yakındır. Bu yöntemin farklı sonuçlar vermesinin iki ana nedeni olabilir. İlk olarak yöntemin doğru uygulanabilmesi için seçilmiş parametrelerde hata veya eksiklik olabilir. Çünkü yöntemde kullanılan seçime dayalı parametrelerin

sayısı fazladır ve hataya açıktır. İkinci olarak Sagasete yönteminden türediği için bu yöntem gibi sıkıştırılamaz zemin kabulü yapar ve sınırlı deformasyona izin vermektedir. Bu sebeplerden dolayı deformasyon tahminleri düşük bulunmuş olabilir.

- Loganathan ve Poulos yöntemi sonuçlarıda, Gonzales ve Sagasete yöntemi sonuçlarına benzemektedir. Küçük ve dairesel kesitli tünellerde ortalama değerlerimize çok yakın sonuçlar verirken büyük ve dairesel olmayan kesitlerde doğru olmasa bile diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar vermektedir. Bununla beraber daha büyük kazı alanlı ve dairesel olan tünel verimiz olmadığı için kesin olarak büyük kazı alanına sahip tünellerde yanlış sonuçlar verebilir diyemiyoruz.
- Bu çalışma yöntemi sonuçlarına bakacak olursak, bu proje kapsamında oluşturulduğu için diğer yöntemlerden daha doğru sonuçlar vermektedir. Özellikle büyük kesitli ve dairesel olmayan kazı alanlı makas tünellerinde sonuçlar ortalama değerler ile neredeyse aynıdır. Fakat başka çalışmalardaki ölçümlerle karşılaştırılması gereklidir.
- Makas tünellerinde Verruijt ve Booker metodu ile Loganathan ve Poulos metodu sonuçları birbirine yakınken gerçek deformasyon değerlerine göre küçük bulunmuştur. Bu çalışma yöntemi gerçek deformasyon değeriyle örtüşmektedir.
- Dairesel kesit alanına sahip A2 ve A hat tünellerinde ise bu çalışmada önerilen yöntemin sonuçları, Loganathan ve Poulos yöntemi sonuçları ve Gonzales ve Sagasete yöntemi sonuçları birbirine ve gerçek deformasyon değerlerine çok yakındır.
- Peron tünelleri hat eksenini üzerinde bulon bulunmadığı için bu çalışmada detaylı bir şekilde incelenememiştir. Gonzales ve Sagasete yöntemi ile Loganathan ve Poulos metodu sonuçları birbirine yakınken gerçek deformasyon değerlerine göre küçük bulunmuştur. Bu çalışmada önerilen yöntem gerçek deformasyon değerlerine daha yakınken bu değerlerin altında kalmıştır. Önceki bölümlerde peron tünellerinin farklı yükler altında kaldığından bahsedilmişti. ÜÜÇ metrosu inşaatında Dudullu İstasyonu peron tünelleriyle istasyon yapısının birleştiği noktadadır. İstasyon inşaatı sırasında kullanılan mobil vinçlerden etkilenmiş olma ihtimali yüksektir.

- Gerçek deformasyon ölçümlerine göre oluşturduğumuz bağıntı, eldeki sınırlı sayıdaki veri ile üretilen bu bağıntı, tünel derinliği ve tünel eksen izdüşümü mesafesi bakımından yeterli derecede incelenememiştir.
- Gerçek deformasyon değerleri diğer deformasyon tahmini yöntemlerinden daha büyük yüzey oturma değerlerine sahiptir. Bu sebeple bağıntımızın sonuçlarında daha büyük deplasman değerleri ortaya koymaktadır. Eldeki verilerimizin artmasıyla bağıntının geliştirilmesi sağlanabilir.

Sonuç olarak gerçek deformasyon değerlerimiz genel olarak incelediğimiz ampirik yöntem sonuçlarından daha büyük değerlere sahiptir. Bunun birçok sebebi olmakla beraber en büyük nedeni tünel imalatı kalitesidir. İkinci olarak da yukarıda incelediğimiz gibi yöntemler küçük kazı alanlı, dairesel kesit tünellerde ve TBM ile açılan tünellerde daha doğru sonuçlar vermektedir, bu yüzden yöntem çalışmaları yapılırken bu tip tünellerden yola çıkılmıştır. İmalat zorluğu açısından ve o yıllardaki teknolojik gelişmelerin günümüzün çok uzağında kaldığı için killi zeminlerde sadece bu tip tüneller tercih edilmekteydi. Günümüzde bile killi zeminlerde NATM ile tünel açılması ekonomik ve büyük deformasyonlar sebebiyle ikinci planda tutulup aç-kapa yöntemi tercih edilmektedir. Sunduğumuz öneri yukarıda bahsettiğimiz nedenlerden dolayı (veri azlığı vs.) doğruluğu konusunda şüphe yaratmaktadır. Başka projelerdeki killi zeminlerde NATM ile açılacak tünel deformasyonları ile karşılaştırılarak doğruluğunun teyidi gerekir.

KAYNAKLAR

- Aktaş S.** (2009). *Yeni avusturya tünel açma yöntemi ile inşa edilen bir tünelin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizi ve değerlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi), YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arioğlu E., Yüksel A., Yılmaz A. O.** (2008). *Püskürtme Beton Bilgi Föyleri-Çözümlü Problemler*, İstanbul: TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları.
- Burjus A. B. M. B.,** (2015). *Prediction Of The Settlements Induced By Tunneling In Clayey Soil* (Yüksek lisans tezi), FÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chapman D., Metje N. ve Stärk A.** (2010). *Introduction to Tunnel Construction*. New York: Spon Press,
- Coduto, D. P., Kitch, W. A., ve Yeung, M. C. R.** (2001). *Foundation design: principles and practices* (Vol. 2). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Das, B. M.** (2013). *Advanced soil mechanics*. Crc Press.
- Gonzales, C., ve Sagasetta, C.** (2001). Patterns of soil deformations around tunnels. Application to the extension of Madrid Metro. *Computers and Geotechnics*, 28 , 445-468
- Fattah, M. Y., Shlash, K. T., ve Salim, N. M.** (2011). Settlement trough due to tunneling in cohesive ground. *Indian Geotechnical Journal*, 41(2), 64-75.
- Fattah, M. Y., Shlash, K. T., & Salim, N. M.** (2013). Prediction of settlement trough induced by tunneling in cohesive ground. *Acta Geotechnica*, 8(2), 167-179.
- Franza, A., ve Marshall, A. M.** (2015). Analytical investigation of soil deformation patterns above tunnels in sandy soil.
- Karamanlı, Ö.** (2009). *Assessment Of The Ground Subsidence And Lining Forces Due To Tunnel Advancement*. (Yüksek lisans tezi), ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Kolivand, F., ve Rahmanned, R.** (2018). Determination of settlement trough width and optimization of soil behavior parameters based on the design of experiment method (DOE). *International Journal of Mining and Geo-Engineering*, 52(1), 7-15.
- Kolymbas D.** (2005). *Tunneling and Tunnel Mechanics*, Germany: Springer
- Leca, E., ve New, B.** (2007). Settlements induced by tunneling in soft ground. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 22(2), 119-149.

- Logonathan, L., ve Poulos, H. G.** (1998). Analytical prediction for tunnellinginduced ground movements in clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124 (9), 846-856.
- Öztürk H. T., Durmuş A.** (2008), Tünellere toplu bir bakış ve savunma tünellerinin Türkiye için önemi. *İMO İstanbul Bülten*, 96, 11-17.
- Peck, R. B.** (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground. *Proc. of the 7th int. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering* (pp. 225-290). Sociedad Mexicana de Mecanica de Suelos,A. C.
- Rowe, R. K., Lo, K. Y., ve Kack, K. J.** (1983). A method of estimating surface settlement above shallow tunnels constructed in soft ground. *Canadian Geotechnical Journal*, 20, 11-22.
- Sagaseta, C.** (1987). Analysis of undrained soil deformation due to ground loss. *Geotechnique*, 37 (3), 301-320.
- Selman, H. G.,** (2014). *Tünel Kazısı Sebebiyle Meydana Gelen Zemin Oturmaları Vemevcut Yapılara Olan Etkilerinin İncelenmesi* (Yüksek lisans tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tan, A. O.,** (2013) *Zemin Mekaniği*, Birsen Yayınları,
- Tarakçı M. Bulutlar E., Genç D.** (1985). Tünelcilik ve Jeoloji. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No:20, s. 1-4.
- Vardar M.** (2013). Türkiye Madencilik Semineri. Erişim: 17 Şubat, 2016, http://www.ytmk.org.tr/files/publications/1/d3ea386390156831f0600269fdb2e76a_original.pdf
- Verruijt, A., ve Booker, J. R.** (1996). Surface settlements due to deformation of a tunnel in an elastic half plane. *Geotechnique*, 46 (4), 753-756.
- Yıldırım M. ve Gökaşan E.** (2013). *Mühendisler İçin Jeoloji Bilgileri*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, ss. 521-523.
- Yıldırım, S.** (2002). *Zemin incelemesi ve temel tasarımı*. Birsen yayınevi.
- Url-1** <<http://ce.mu.edu.tr/tr/zemin-mekanigi-laboratuvari-10256>> Erişim Tarihi Haziran 2019)

EKLER

EK A: Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi Zemin Araştırma Sondajları ve Laboratuvar Deneyleri Dudullu İstasyonugeoteknik Veri Raporu





AYSON Ayson Geoteknik ve Deniz İnşaat A.Ş

"Zemin Araştırmalarında Kalite, Güven ve Tecrübe"



Doğuş İnşaat ve Ticaret A.Ş.

Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy - Sancaktepe

Metro Projesi

Zemin Araştırma Sondajları ve

Laboratuvar Deneyleri

Dudullu İstasyonu

Geoteknik Veri Raporu

(Haziran-2012)

Doğuş İnşaat Grup Merkezi, Rüzgarlıbahçe Mah., Cumhuriyet Cad., No.4, A-Blok,

34810 Kavacık - İSTANBUL – TÜRKİYE.

Phone: +90 (216) 538 17 00 - Fax : +90 (216) 331 29 41

E mail: ayson@ayson.com.tr, web: www.ayson.com.tr

AYSON bir  **DOĞUŞ GRUBU** kuruluşudur



Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi
Dudullu İstasyonu Zemin Araştırma Sondajları ve
Laboratuvar Deneyleri Geoteknik Veri Raporu

DÖKÜMAN VE REVİZYON KAYDI

KONU : ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE-ÇEKMEKÖY-SANCAKTEPE
Metro Projesi İnşaatı

PROJE : Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy - Sancaktepe Metro
Projesi Zemin Araştırma Sondajları ve Laboratuvar Deneyleri

GÜZERGAH VE RAPOR : Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy - Sancaktepe Metro Projesi
Dudullu İstasyonu Geoteknik Veri Raporu

REVİZYON	TARİH	DERLEYEN	KONTROL EDEN	ONAYLAYAN	TANIM
00	Haziran-2012	A.C. SEÇKİN	K. SAVAŞER		Nihai Rapor





İÇİNDEKİLER

1. KONU	5
2. ARAŞTIRMA SAHASININ GENEL JEOLJİSİ	5
2.1. Topoğrafya	5
2.2. Bölgesel Jeoloji	5
2.3. Araştırma Sahasının Jeolojisi	10
2.3.1. Pelitli Formasyonu-Dolayoba Kireçtaşı Üyesi	10
2.3.1. Sultanbeyli Formasyonu-Dudullu Üyesi	10
3. YAPILAN ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARI	11
3.1. Sondajlar	11
3.2. Numune Alma Yöntemleri	12
3.3. Arazi Deneyleri	13
3.3.1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)	13
3.3.2. Presiyometre Deneyi	14
3.4. Yeraltısuyu Gözlemleri	16
4. LABORATUVAR DENEYLERİ	17
REFERANSLAR:	19





ŞEKİLLER LİSTESİ

ŞEKİL 2.1: İSTANBUL VE DOLAYININ GENELLEŞTİRİLMİŞ STRATİGRAFİ SÜTUN KESİTİ

ŞEKİL 3.1: DUDULLU İSTASYONU SONDAJ YERLEŞİMLERİ

TABLO LİSTESİ

TABLO 3.1: SONDAJ ÖZET BİLGİLERİ

TABLO 3.2: PRESİYOMETRE DENEYLERİNDEN ELDE EDİLEN ELASTİSİTE MODÜLÜ VE LİMİT BASINÇ DEĞERLERİ

TABLO 3.3: SONDAJ KUYULARINDA YERALTISUYU SEVİYELERİ

TABLO 4.1: ZEMİN DENEYLERİ LABORATUVAR ÖZET BİLGİLERİ

TABLO 4.2: KAYA DENEYLERİ LABORATUVAR ÖZET BİLGİLERİ

EKLER

EK A: SONDAJ VAZİYET PLANI

EK B: SONDAJLARDA KULLANILAN SEMBOLLER VE LEJANTLAR

EK C: SONDAJ LOGLARI ve KAROT FOTOĞRAFLARI

EK D: PRESİYOMETRE DENEY SONUÇLARI

EK E: LABORATUVAR DENEYLERİ





1. KONU

Doğuş İnşaat ve Ticaret A.Ş. ile Ayson Geoteknik ve Deniz İnşaat A.Ş. arasında 01.01.2012 tarihinde varılan anlaşma uyarınca; Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy - Sancaktepe Metro Projesi kapsamında yapılan Dudullu İstasyonu Zemin Araştırma Sondajları ve Laboratuvar Deneylerini kapsamaktadır.

Rapor kapsamında olan Dudullu İstasyonu 'na ait sondaj çalışmaları ve arazi işleri 03.05.2012 tarihinde başlamış olup 14.05.2012 tarihinde tamamlanmıştır.

Çalışma kapsamında, SPT deneyleri, presiyometre deneyi ve laboratuvar deneyleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Arazi çalışmaları toplam 70,00 metre derinlikte 2 adet sondaj kuyusu açılması, 12 adet SK-DUD-1 numaralı sondaj kuyusunda ve 2 adet SK-DUD-2 numaralı sondaj kuyusunda olmak üzere toplam 14 adet presiyometre deneyini kapsamaktadır.

Bu raporda, sondaj logları, karot fotoğrafları, arazi deneyleri ve laboratuvar deneylerinden oluşan çalışmalar sunulmaktadır.

2. ARAŞTIRMA SAHASININ GENEL JEOLJİSİ

2.1. Topoğrafya

Yapımı planlanan Metro Projesi İstanbul'un Anadolu yakasında Üsküdar ilçesi ile Sancaktepe ilçesi arasını kapsamaktadır.

Dudullu İstasyonu alanında yapılan sondajlarda zemin kotları SK-DUD-1 numaralı sondaj kuyusunda +150,16 m, SK-DUD-2 numaralı sondaj kuyusunda +144,37 m dir.

2.2. Bölgesel Jeoloji

İstanbul ili ve yakın dolayını kapsayan inceleme alanı, Erken Paleozoyik 'ten Günümüz 'e kadar süren geniş bir zaman aralığında oluşmuş çok sayıda kaya birimlerini kapsaması ve güncel tektonik hareketlerin etkin olduğu bir bölgede yer alması sebebiyle, yerli ve yabancı birçok

veribilimcinin ilgisini çekmiş ve değişik amaçlı araştırmalara konu edilmiştir. Paleozoyik yaşlı sedimanter-metamorfik kayalar ile bunları kesen mağmatik sokulumlar ve bütün bu oluşuklar üzerine açılı uyumsuzluk ile gelen Mesozoyik-Senozoyik yaşlı tortul istiflenmeler jeolojik-litostratigrafik çalışmaların çeşitliliğini sağlamıştır.

Geçmişte “Kocaeli Yarımadası Paleozoyik İstifi” olarak tanımlanan, günümüzde ise “İstanbul Grubu” olarak adlandırılan ve İstanbul çevresi için jeolojik temel niteliğindeki Alt Ordovisiyen-Üst Karbonifer (Paleozoyik) yaşlı kesintisiz-transgresif sedimanter istif, farklı bölgelerde farklı yaş-özellikli oluşuklar tarafından açılı uyumsuzluk ile örtülmüştür.

İstanbul çevresinde, doğuda Gebze’den batıda Çatalca’ya ve kuzeyde Karadeniz’den güneyde Marmara Denizi ‘ne kadar uzanan alanda, Paleozoyik yaşlı oluşuklar yaygın olarak yüzeylenir ve daha genç yaştaki farklı oluşuklar için temeli oluştururlar.

İleri derecede kıvrımlı (devrik, yatık ve kıvrımlanmış kıvrım yapıları), kırıklı (normal, doğrultu, ters ve bindirme fayları) Paleozoyik yaşlı “temel” özelliğindeki istiflenme, Anadolu Yakası ‘nda Triyas ve Üst Kretase yaşlı istiflenmeler ile örtülür. Kuzeyde ise, Karadeniz kıyı çizgisine koşut hat boyunca, Paleozoyik temel üzerinde açılı uyumsuzluk ile bulunan Triyas yaşlı istifle birlikte Üst Kretase yaşlı birimler üzerine bindirdikleri de bilinmektedir.

Avrupa Yakası ‘nda ise, günümüze kadar ilksel dokanak ilişkisi belirlenememiş (olasılıkla tektonik dokanaklı), “İstanbul Grubu” ile “Çatalca Metamorfikleri” nin oluşturduğu jeolojik temel, Senozoyik yaşlı istifler açılı uyumsuzla örtmektedir.

“İstanbul Grubu” en altta mor-kızıl rengi ile karakteristik, 3000 m ‘den fazla kalınlıkta, tabanı görülmeyen (olasılıkla Pre-Kambriyen üzerinde), başlıca mor-eflatun renkli, kil, mil, kum ve çakıl boyutunda gereci kapsayan arkoz bileşimli kırıntılı kayalardan oluşan **Kurtköy Formasyonu (Alt Ordovisiyen)** ile başlar (Kaya 1978 ve Önalan 1981). İstifin alt kesiminde kumtaşı ara katkılı, ince laminalı kilitaşı-militaşı, üst kesiminde ise değişik boyutlarda çakilitaşı mercek ve ara düzeylerini kapsayan, kilitaşı- militaşı ara katkılı kaba kumtaşı egemendir. Üste doğru uyumlu olarak plaj-kıyı ortamında depolanmış **Aydos Formasyonu’nun (Alt Ordovisiyen)** kirli beyaz renkli, çapraz tabakalı, çakilitaşı-kumtaşı ardalanmalı kuvarsarenit seviyeleri gelir (Kaya 1978 ve Önalan 1981). İstanbul’un özellikle Anadolu yakasındaki başlıca dağlık alanlarını ve büyük tepelerini (Küçük ve

Büyük Çamlıca, Aydos vb) oluşturur. Transgresyon ile birlikte istiflenme üste doğru uyumlu olarak, lagün-sığ denizel ortam ürünü, kilaşı-kumtaşı-silttaşı araldanmasından oluşan ve yer yer gri-grimsi yeşil renkli laminealı çamurtaşları ile de temsil edilen **Gözdağ Formasyonu**'na (**Üst Ordovisiyen-Alt Silüriyen**) geçer. Bu oluşukların bazı alanlarda taş yapıcı bileşenlerinin baskın olarak silis olması nedeni ile "silisli şeyl" olarak da tanımlandıkları bilinir (Önalın 1981).

Gözdağ Formasyonu üstüne yanal-düşey geçişli olarak resif ortamında depolanmış, genelde bol makro fosilli, masif-kalın tabakalı kireçtaşlarından kurulu, **Dolayoba Formasyonu (Üst Silüriyen-Alt Devoniyen)** gelmektedir (Önalın 1982). Özgöl vd (2005) bu kireçtaşı seviyelerini Pelitli Formasyonu 'nun Dolayoba Kireçtaşı Üyesi olarak tanımlamaktadır.

Üste doğru derinleşen denizel ortam koşullarında başlangıçta açık kahve-gri renkli, fosilli-laminealı çamurtaşları ve üste doğru kireçtaşı ile araldanmalı ve kireçtaşının egemen olduğu **Kartal Formasyonu** 'na (**Orta Devoniyen**) geçer (Önalın 1988). Bu istiflenmenin de üzerine derin denizel koşullarda depolanmış, yumrulu kireçtaşlarından (laminealı çamurtaşı-kireçtaşı araldanması) oluşan **Tuzla Formasyonu (Üst Devoniyen)** gelir. İstiflenme, siyah renkli-laminealı, fosfat yumrulu radyolaritli çörtlerden oluşan **Baltalimanı Formasyonu (Alt Karbonifer)** (Kaya 1971) ile devam eder.

İstanbul Grubu istiflenmesini oluşturan Paleozoyik istiflenmenin en üstünde uyumlu olarak bulunan ve yer yer 2500 m kalınlıklara ulaşan, gri renkli, laminealı çamurtaşı-kumtaşı-kilaşı-silttaşı araldanmasından oluşan **Trakya Formasyonu (Alt-Orta Karbonifer)** (Kaya 1971) ile son bulur. İstanbul 'un her iki yakasında da yaygınca gözlenir. Trakya Formasyonu içinde ara düzey ve bantlar şeklinde, kırıntılı kireçtaşları bazı bölgelerde görülürler.

Özellikle geçmişteki bazı çalışmalarda, siyah renkli masif-laminealı ya da kırıntılı kireçtaşlarından kurulu "**Cebeciköy Formasyonu**" olarak tanımlanmış (Kaya 1971) oluşuklar, bazı araştırmacılar tarafından (Özgöl 2005) Trakya Formasyonu 'nun içinde sınırlı sayıda mercek ya da ara katkılar halinde yer aldığı savunur.

Karbonifer-Permiyen aralığında etkin olan tektonik hareketlere bağlı olarak, **Sancaktepe Graniti** (Permiyen) ile temsil edilen mağmatik sokulumlar gelişmiştir. Üst Kretase yaşlı "**Çavuşbaşı Granodiyoriti**"nin ise Tetis Okyanusu'nun kapanması sürecinde etkin olmuş ada yayı



volkanizması ile ilişkili derinlik kayası olduğu tezi kabul görmektedir.

İstanbul'un Anadolu yakasında Ömerli beldesi ve Ömerli barajını çevreleyen geniş bir alanda yüzeyleyen kil, kum ve çakıl birikintileri, "Ömerli Formasyonu" olarak adlandırılmaktadır (Gedik vd. 2002). Ömerli Formasyonu, boyutları ve biçimleri yerden yere değişen kil, kum, çakıl birikintilerinden oluşur. Son yapılmış çalışmalarda "Meşetepesi Üyesi", "Kayalitepe Üyesi" ve "Sultanbeyli Üyesi" olmak üzere 3 üyeye ayrılmıştır. Özgül (2005) Ömerli Formasyonu 'nun Trakya Yarımadası 'ndaki Danişmen Formasyonu ile eş tutulabileceğini belirtmektedir. Aynı seviye İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü 'nce yaptırılmış olan Anadolu Yakası Mikro Bölgeleme Çalışması kapsamında **Sultanbeyli Formasyonu-Dudullu Üyesi** (Miyosen-Pliyosen) olarak ayrılmıştır. Bu çalışmada söz konusu adlamaya bağlı kalınmıştır. Bölgesel ölçekte Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti Şekil.2.1 'de verilmiştir.

Genelde N-S ve E-W gidişli, etkin-yaygın gelişmiş bindirme faylarının varlığı, Mesozoyik ve Senozoyik dönemi havzalaşmalar, İstanbul ve çevresinin en az iki kez sıkışma ve en az üç kez gerilme tektonik rejimleri etkisinde kaldığının göstergeleridir. Diğer bir deyiş ile özellikle Paleozoyik yaşlı istiflenmenin sıkça kıvrımlı-kırıklı yapısal karakteri bu tektonik geçmişi yansıtır.



YAŞ	GRUP	FORMASYON	SİMGE	KAYA TÜRÜ ve AÇIKLAMALAR	
NEOJEN		SULTANBEYLİ	Plq		Geçmiş-çimentolanmamış, bloklu, çalılı-kum-kil (örgülü akarsu)
PALEOZOYİK	KARBONİFER	TRAKYA	k2		Kırıntılı - masif kireçtaşı
		BALTALIMANI	k1		Fosil yumuk, neolyolitik ÇÖRT (mek-sic-in deniz)
	DEVONİYEN	TUZLA	d4		Yumuklu kireçtaşı, (kireçtaşı-çamurtaşı ardışımı) (Şalt)
		KARTAL	d2-3		Fosil çamurtaşı ve masif kırıntılı kireçtaşı-çamurtaşı ardışımı
		DOLAYOBA	Sd1		Fosil masif tabakalı kireçtaşı (reolif ve as ortamları)
	SİLÜRIYEN	GÖZDAĞ	Os1		Kuvarsanerit mercaklı, laminar çamurtaşı (İngil-eğ denizel)
		AYDOS	O2		Kuvarsanerit ve kuvar konglomerası (kırı-pta)
	ORDOVİŞİYEN	KURTKÖY	O1		Çakıtaşı-Kumtaşı-Çamurtaşı ardışımı (karasal) / Bazik derinlik magmatitler

Şekil.2.1. İstanbul ve dolayının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.

2.3. Araştırma Sahasının Jeolojisi

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi güzergâhının Dudullu İstasyonu alanında, üst kesimlerde Miyosen-Pliyosen yaşlı Sultanbeyli Formasyonu 'nun Dudullu Üyesi, alt kesimde ise "İstanbul Grubu" Paleozoyik yaşlı istiflenmenin, Pelitli Formasyonu 'nun litolojik seviyeleri bulunmaktadır.

2.3.1. Pelitli Formasyonu-Dolayoba Kireçtaşı Üyesi

Dudullu İstasyonu alanında SK-DUD-1 numaralı sondaj kuyusunda ve 25.50 metreden itibaren kuyu sonu olan 35.00 metreye kadar izlenmiştir. Birim Özgül N. (2005) tarafından Pelitli Formasyonu 'nun ayırtman kılavuz düzeyi olarak tanımlanmış ve Dolayoba Kireçtaşı Üyesi olarak ayırt edilmiştir.

Açıklı koyulu pembemsi-morumsu renkli bol mercan ve makro fosilli resifal kireçtaşlarını kapsayışıyla belirgin olan bu karbonat istifini, Paeckelmann (1938) "*Halysites'li Kireçtaşı*" ve Baykal (1943) "*Mercanlı kalker*" olarak tanımlamıştır. Kaya (1978) bu kireçtaşlarını, Yayalar Formasyonu 'nun üst düzeyini oluşturan şeyleri de kapsayacak şekilde, "*Dolayoba Kireçtaşı*", Önalın (1982) ise aynı istifi Dolayoba Kireçtaşı adıyla formasyon aşamasında incelemişlerdir.

Bol mercan, fosilli, pembe, gri-mavimsi gri renkli resifal kireçtaşı egemen kaya türünü oluşturur. Yer yer ince katmanlı, kırmızımsı kahverengi kumlu kilaşı ara katkılıdır. Genellikle ince taneli, az ayrılmış-ayrışmamıştır. Orta derecede, yer yer sık eklemlidir. İnce kalsit damarlı olup, eklem ve çatlak gibi süreksizlik yüzeyleri düzlemsel-pürüzlü ve genellikle dolgusuzdur. Orta-düşük dayanımlıdır.

2.3.1. Sultanbeyli Formasyonu-Dudullu Üyesi

Dudullu İstasyon alanında SK-DUD-1 kuyusunda 0.00-25.50 metreler arasında, SK-DUD-2 numaralı sondaj kuyusunda ise 35.00 metrelik kuyunun tamamı boyunca bu birim izlenmiştir. Özgül (2005) bu birimi Ömerli Formasyonu 'na ait bir üye olarak değerlendirmekle birlikte Formasyon olarak da ayrılabilceğini belirtmiştir.

Dudullu, Samandıra ve Çekmeköy civarında yaygınca gözlenen killi-kumlu seviyeleri ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü 'nce yaptırılmış olan Anadolu Yakası Mikro Bölgeleme Çalışması kapsamında Sultanbeyli Formasyonu-Dudullu Üyesi (Miyosen-Pliyosen) olarak ayırtlanmıştır.

Değişken renklerde kum-çakıl-kil-silt litolojilerinden oluşur. Açık kahverengi-sarımsı kahverengi-bej-krem renkli siltli ince-orta kum ve sarımsı yeşil, yer yer koyu yeşil renkli, ince CO₃ çakıllı, az siltli kil seviyeleri egemen litolojileri oluşturmaktadır.

Yer yer siltli kum-kumlu silt ve gevşek-sıkı tutturulmuş kum seviyeleri birbirleri ile geçişli olarak gözlenmiştir.

Kil seviyeleri SPT deney verilerinden hareketle genellikle sert kıvamlıdır. Kum seviyeleri ise yine SPT deney verileri dikkate alındığında orta sıkı-çok sıkı aralığındadır.

3. YAPILAN ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARI

3.1. Sondajlar

Çalışma kapsamında Dudullu İstasyonu alanında 2 adet ve 70.00 m derinlikte araştırma sondajı yapılmıştır. Sondaj yerleşimleri Şekil 3.1. de verilmiştir. Ek-A 'da verilen vaziyet planında da ayrıca sunulmuştur. Sondaj özet bilgileri ise Tablo 3.1. 'de verilmiştir. Yapılan sondajlarda yerli yapım KAN P1 sondaj makinesi kullanılmış olup, sondajlar rotary sondaj tekniği ile yapılmıştır. Sondajlar ve zemin tanımlamaları bu konuda standart olan TS 1901 ve BS 5930: 1999 şartnamelerine uygun olarak yapılmıştır.

Tablo 3.1: Sondaj Özet Bilgileri

SONDAJ NO	YERİ	KOT (m)	KOORDİNATLAR		BAŞLANGIÇ TARİHİ	BİTİŞ TARİHİ	DERİNLİK (m)	YASS (m)
			DOĞU	KUZEY				
SK-DUD-1	Dudullu İstasyonu	150,16	429570,683	4542589,325	03.05.2012	09.05.2012	35.00	18.20
SK-DUD-2	Dudullu İstasyonu	144,37	429406,264	4542602,983	10.05.2012	14.05.2012	35.00	3.80

Şekil-3.1: Dudullu İstasyonu Sondaj Yerleşimleri



Sondaj çalışmaları sırasında her türlü jeolojik koşula uygun ilerleme ekipmanları ve numune alma yeteneğine sahip numune alıcılar, muhafaza borusu ve ilgili deney ekipmanları hazır tutulmuştur. Sondaj kuyularının açılması esnasında olası zemin göçmelerine karşı gerekli görülen kesimlerde 3,54" (90 mm dış çap) muhafaza borusu kullanılmıştır. Sondajlarda ilerlemeler esnasında temiz su kullanılarak çift tüplü T2 serileri karotiyerler olmak üzere 76 mm elmas ve vidye matkaplar kullanılmıştır. Yüksek yüzdeli karot verimi sağlayabilmek amacıyla ilerleme mesafeleri (manevra boyu) genellikle 1,5 metre ile sınırlandırılmıştır. Zemin ve kaya ortamlarda sürekli karotlu ilerleme yapılmış, zeminlerde Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmıştır. Ayrıca her iki kuyuda da presiyometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm ham veriler rapor eklerinde sunulmuştur. Açılmış sondaj kuyularına pvc boru indirilerek o lokasyondaki yeraltısuyu seviyesi ölçülmüştür.

3.2. Numune Alma Yöntemleri

Sondajlar sırasında genellikle 1.5 metrede bir yapılan standart penetrasyon deneylerinden alınan zemin numuneleri, silinmez kalemle yazılmış ilgili bilgileri içeren bir etiketin numunenin dış kısmına veya üzerine çıkmayacak biçimde yapıştırılmasıyla etiketlenmiş ve cam kavanoz içinde muhafaza edilmiştir. Numuneler, örselenmeyi asgaride tutacak özen ve titizlikle korunmuş ve nakledilmiştir.



Sondajdan alınan zemin ve kaya karotları plastik ve ahşaptan yapılmış olan karot sandıklarına, manevra boyları ve derinlikleri yazılarak konulmuştur. Numune alma yöntemleri hazırlığı, miktarı, korunması ve işlenmesi BS 5930:1999, BS1377:1990 veya uygun ISRM standartlarına göre yapılmıştır.

Sondaj kuyularında loglama işlemi yapılmıştır. Proje adı, sondaj kuyusu numarası, sondaj makinesi tipi ve sondaj yöntemi, kuyu ve muhafaza derinlikleri, yeraltısuyu seviyesi, her karot manevrasının alt ve üst derinliği, her yerinde deneyin alt ve üst derinliği, her değişik jeolojik birimin tanımlaması vb bilgiler sondaj loglarına işlenmiştir. Ayrıca, toplam karot yüzdesi (TCR), kaya kalite göstergesi (RQD), katı karot yüzdesi (SCR) değerleri ilgili sondaj loglarında sunulmuştur. Yine bu türden loglarda ayrışma, dayanım ve benzeri tanımlamalara yer verilmiştir. Zemin tanımlamaları BS 5930: 1999 şartnamelerine uygun olarak yapılmıştır.

Sondaj loglarında kullanılan lejant ve açıklamalar Ek-B 'de verilmiştir. İlgili sondaj logları ve dijital ortamda çekilmiş karot fotoğrafları Ek- C 'de gösterilmiştir.

Kaya üzerinde uygulanan deneyler Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Denetçi Belgesi 'ne sahip ZEMAR Geoteknik Ölçümleme ve Test Laboratuvarı 'nda yapılmıştır.

3.3. Arazi Deneyleri

3.3.1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Arazide standart penetrasyon deneyleri yapılmıştır. Standart penetrasyon deneyleri bütün toprak zeminlerde yapılmıştır. Deney ekipmanı ve deney işlemi uluslararası standartlarda tanımlandığı şekildedir.

Deney dış çapı 50,8 mm, iç çapı 34,9 mm olan yarık bir tüpün 63,5 kg ağırlığındaki bir tokmakla (şahmerdan) zemine çakılmasıyla yapılmıştır. Tokmağın serbest düşüş yüksekliği 0,76 m dir.

SPT deneylerinde 15 cm 'lik aralıkla 3 kademe için darbe sayıları kaydedilmiştir. İstenilen ilerlemeye (0.45 m) ulaşamadığı hallerde cm cinsinden çakma derinliği ve darbe sayısı tespit edilmiştir. Son iki 15 cm 'lik penetrasyon sayılarının toplamı standart penetrasyon direncini (N_{30}) vermektedir. Bulunan değerler Ek-C 'de verilmiş olan sondaj loglarında gösterilmiştir.

3.3.2. Presiyometre Deneyi

Araştırma sahasında yapılan sondajlarda, SK-DUD-1 numaralı sondaj kuyusunda 12 adet, SK-DUD-2 numaralı sondaj kuyusunda 2 adet olmak üzere toplam 14 adet Presiyometre deneyi yapılmıştır. Tamamlanan deney sonuçları Ek-D 'de sunulmuştur. Deneylerden elde edilen elastisite modülü ve limit basınç değerleri de Tablo 3.2 'de verilmiştir.

Presiyometre deneyi sondaj delikleri içinde "Menard GA" tipi presiyometre ekipmanı kullanılarak yapılmış olup, 76mm çapındaki proplarla ölçümler alınmıştır. Deneyde uygulanan basınç artışları yatay eksen, buna karşı gelen hacim değişimleri düşey eksen, gösterilerek deney eğrileri çizilir. Probu kuyu duvarlarını, kuyu açılmadan önceki orijinal duruma getirilinceye kadar oluşan geri itme bölümü, eğrinin dönme noktasında, zeminin içindeki ilksel şartların oluştuğu kabul edilir. Eğrinin döndüğü noktadan itibaren doğrusal gidiş başlar. Bu kısma PSEUDO ELASTİK SAFHA denir. Bu kısımda çelik ya da beton gibi malzemelerin elastik sınırları arasında bir benzerlik görmek mümkündür.

Eğrinin döndüğü ve doğrusal gidişin başladığı nokta, presiyometre deneyinin başlangıcı olarak kabul edilir ve bu lineer hattın eğrisinden MENARD DEFORMASYON MODÜLÜ (E) aşağıdaki formüle göre hesaplanır.



Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi
Dudullu İstasyonu Zemin Araştırma Sondajları ve
Laboratuvar Deneyleri Geoteknik Veri Raporu

$$E = (1+Q) 2V(\Delta P - \Delta P_i) / \Delta V$$

$$K = (1+Q) 2V$$

$$E = K (\Delta P - \Delta P_i) / \Delta V$$

E	Elastisite Modülü
Q	Poisson Oranı (0.33)
V	$\Delta P / \Delta V$ 'nin ölçümü esnasında boşluğun hacmi
ΔP	Basınç aralığı
ΔP_i	Prob inelti
ΔV	ΔP 'ye karşı gelen hacim artışı
K	Probun boyutsal sabiti.

Foto:1: Dudullu İstasyonu SK-DUD-1 Sondaj Kuyusunda Presiyometre Deneyi Yapılması



Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi
Dudullu İstasyonu Zemin Araştırma Sondajları ve
Laboratuvar Deneyleri Geoteknik Veri Raporu

Tablo 3.2: Presiyometre deneylerinden elde edilen elastisite modülü ve limit basınç değerleri

NO	Sondaj No	Deney Derinliği (m)	Deney Kotu (m)	E (Arazi) (kg/cm ²)	P _L (Arazi) (kg/cm ²)
1	SK-DUD-1	5	145,16	92,78	4,79
2		7	143,16	176,20	9,99
3		9	141,16	236,06	16,01
4		11	139,16	274,61	14,99
5		13	137,16	298,21	16,93
6		15	135,16	247,23	12,90
7		17	133,16	346,19	20,00
8		19	131,16	308,15	16,93
9		21	129,16	240,30	13,66
10		23	127,16	334,33	18,05
11		25	125,16	236,87	13,66
12		30	120,16	207,57	14,89
1	SK-DUD-2	13	131,37	197,13	12,54
2		15	129,37	291,27	20,19

3.4. Yeraltısuyu Gözlemleri

Araştırma programı kapsamında açılmış olan sondaj kuyularında kuyunun tamamlanmasını takiben yapılmış yeraltısuyu ölçümleri Tablo 3.3 'te verilmiştir.

Tablo 3.3: Sondaj kuyularında yeraltısuyu seviyeleri

SONDAJ NO	YERİ	KOT (m)	KOORDİNATLAR		BAŞLANGIÇ TARİHİ	BİTİŞ TARİHİ	DERİNLİK (m)	YASS (m)	YASS Kotu (m)
			DOĞU	KUZEY					
SK-DUD-1	Dudullu İstasyonu	150,16	429570,683	4542589,325	03.05.2012	09.05.2012	35.00	18.20	131.96
SK-DUD-2	Dudullu İstasyonu	144,37	429406,264	4542602,983	10.05.2012	14.05.2012	35.00	3.80	140.57

4. LABORATUVAR DENEYLERİ

Sondajlardan elde edilen zemin numuneleri Doğuş İnşaat AŞ 'nin Zemin Laboratuvarı 'nda incelenmiş ve tanımlanmıştır. Laboratuvarda elek analizi, özgül ağırlık, atterberg limitleri ve Los Angeles aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan laboratuvar deneylerine ilişkin özet bilgi Tablo 4.1 'de, deney ayrıntıları ve ilgili föyler ise Ek-E 'de verilmiştir. Kaya numuneleri üzerinde yapılan kayaçların serbest basınç dayanımı, elastisite modülü ve poisson oranı tayinli tek eksenli basma dayanımı, nokta yük dayanım indeksi, tek eksenli basınç dayanımı ile özgül ağırlık deneyleri ZEMAR Geoteknik Ölçümleme ve Test Laboratuvarı 'nda ve Doğuş İnşaat AŞ Laboratuvarı 'nda yapılmıştır. Yapılan laboratuvar deneylerine ilişkin özet bilgi Tablo 4.2. 'de, deney ayrıntıları ve ilgili föyler ise Ek-F 'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Zemin Deneyleri Laboratuvar Özet Bilgileri

DUDULLU İSTASYONU SONDAJ KAROTLARI DENEY ÖZET TABLOSU																	
Kullanılan Standartlar		Elek Analizi (ASTM D422)									Atterberg (ASTM D4318)			Zemin Sınıfı	ASTM C127-128		ASTM C131
Kuyu No	Derinlik (m)	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No:4	No:10	No:40	No:200	LL	PL	PI	TS 1900	Özgül Ağırlık (g/cm³)	Abs (%)	L.A. %
SK-DUD-1	0.00-11.00	100	100	90,5	72,8	62,1	58,6	55,8	51,6	36	31,8	20,5	11,3	GC			
	11.00-13.00	100	100	94,5	94,5	90,3	84,1	76,9	70,1	56,2	32,2	17,8	14,6	CL			
	14.00-21.00	100	100	100	92,1	90	87,4	84,4	80,6	74,7	38,8	18,1	20,7	CL			
	21.00-25.00	100	100	100	100	100	99,3	98	95	89,7	40,8	25,4	15,4	CL			
	25.00-35.00														2,656	1,3	26,4
SK-DUD-2	5.00-11.00	100	100	100	100	87	81	74,7	67,3	54,2	38,8	25,4	13,5	CL			
	11.00-33.00	100	100	100	100	98,5	96,7	94,8	92,4	88,4	48,9	23	26	CL			
	33.00-35.00	100	100	100	100	100	99,9	99,5	98,6	96,1	37,4	19,8	17,7	CL			



Tablo 4.2: Kaya Deneyleri Laboratuvar Özet Bilgileri

Sondaj No	Derinlik (m)	Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	Tek Eksenli Basınç (Mpa)	Kayada Serbest Basınç		E _s (GPa)	ν	I _{s50} (Ort)
				F (kN)	q _u (kPa)			
SK-DUD-1	27.00- 35.00			168,07	57510,45	14,44	0,27	5,32
SK-DUD-1	25.00- 35.00	2,656	31.0-48.1-70.5-99.6					





REFERANSLAR:

ASTM (1994) : Cilt 04.08 Zemin ve Kaya (I) D 420 – D 4914.

BS 5930 1999: Code of Practice For Site Investigations, British Standard Institutions.

BS 1377 (1990): İnşaat Mühendisliği İşlerinde Standart İngiliz Zemin Test Metotları, İngiliz Standartlar Enstitüsü

ISRM (1985) : Uluslararası Kaya Mekaniği ve Maden Bilimleri Dergisi & Geomekanik Makalesi

The Menard Pressuremeter (1975) : Interpretation and application of Pressuremeter test results to foundation design

BAYKAL, F., (1943), Şile bölgesinin jeolojisi, İÜ Fen Fak. Monografileri., 3, İstanbul, 86 s.

GEDİK, İ., ÖNALAN, M., (2002), Çamdağ (Sakarya ili) Paleozoyik Stratigrafisi ,ne ait yeni gözlemler: Yerbilimleri Dergisi. İ.Ü., 14,1-2,61-76.

KAYA, O.,(1971) : İstanbul'un Karbonifer stratigrafisi: Türkiye Jeol. Kur. Bült., XIV, 2, 143-199.

KAYA, O., (1978) : İstanbul Ordovisiyen ve Silüriyen. Yerbilimleri, HÜ Yerbilimleri Enst. Yayın organı, 4, 1-2, 1-22.

ÖNALAN, M., (1981) : İstanbul Ordovisiyen ve Silüriyen istifinin çökelme ortamları: Yerbilimleri Derg., İÜ Müh. Fak.,161-177.

ÖNALAN, M., (1982) : Pendik bölgesi ile Adalar'ın jeolojisi ve sedimanter özellikleri: Doktora tezi, İÜ Yerbilimleri Fak., 193 s.

ÖNALAN, M., (1988) : İstanbul Devoniyen çökellerinin sedimanter özellikleri ve çökelme ortamları: Yerbilimleri Derg., İÜ Müh. Fak., 1-2, 92-108.

ÖZGÜL, N, (2005) : İstanbul İl Alanının Genel Jeoloji Özellikleri: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Planlama ve İmar Daire Başkanlığı, 78 s.



Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi
Dudullu İstasyonu Zemin Araştırma Sondajları ve
Laboratuvar Deneyleri Geoteknik Veri Raporu

PAECKELMANN, W., (1938), Neue Beitrage zur Kenntnis der Geologie, Paleontologie und Petrographie der Umgegend von Konstantinopel, 2. Geologie Thraziens, Bithyniens und der Prinzeninseln: Abh. PreuB. Geol. L.-A., n. f. 186, 202 p., Berlin.





AYSON Geoteknik ve Deniz İnşaat A.Ş

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi
Dudullu İstasyonu Zemin Araştırma Sondajları ve
Laboratuvar Deneyleri Geoteknik Veri Raporu

E K L E R

AYSON bir  **DOĞUŞ GRUBU** kuruluşudur



AYSON Geoteknik ve Deniz İnşaat A.Ş.

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi
Dudullu İstasyonu Zemin Araştırma Sondajları ve
Laboratuvar Deneyleri Geoteknik Veri Raporu

EK-A VAZİYET PLANI



EK - B

SONDAJLARDA KULLANILAN SEMBOLLER





AYSON Geoteknik ve Deniz İnşaat A.Ş.

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi
Dudullu İstasyonu Zemin Araştırma Sondajları ve
Laboratuvar Deneyleri Geoteknik Veri Raporu

EK-C

SONDAJ LOGLARI VE KAROT FOTOĞRAFLARI

AYSON bir  DOĞUŞ GRUBU kuruluşudur

**AYSON****AYSON GEOTEKNİK VE DENİZ İNŞ. A.Ş.****SONDAJ LOGU (DRILLING LOG)****SONDAJ**
Borehole No: **SK-DUD-1****SAYFA**
Page No: **1 / 5**

PROJE ADI / Project Name	:ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE METRO	DELİK ÇAPI / Hole Diameter	: 76,2 mm
SONDAJ YERİ / Drilling Location	:DUDULLU İSTASYONU		
EĞİM VE AZİMUT / Dip angle and Direction	:DÜŞEY	MUH.BORUSU DER./ Casing Depth	: 22,50 m
SONDAJ DERİNLİĞİ / Drilling Depth	:35,00 m	BAŞ. - BİTİŞ TARİHİ / Start Finish Date	: 03.05.2012 / 09.05.2012
SONDAJ KOTU / Elevation	:150,16	KOORDİNAT / Coordinate (N - S) y	:429570,683
SONDAJ MAK. & YÖNT. / D.Rig & Met.	:KAAN P1 / ROTARY	KOORDİNAT / Coordinate (E- W) x	:4542589,325

Sonda Derinliği Borehole Depth	Yeraltı Suyu Derinliği Undergroundwater	Numune Derinliği Sample Depth	Numune Türü Sample Type	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test	Standart Penetrasyon Grafiği Standard Penetration Graph	JEOLOJİK TANIMLAMA Geological Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRISMA/Weathering	ÇATLAK SIKLIĞI / KAROT % (TCR) / Core R.	ROD %	SCR %
(m)	(m)	(m)		15 30 45	10 20 30 40 50							
1						Alaca renkli KUM-ÇAKIL-BLOK (DOLGU) 0,80 m				52		
2		1,50		SPT1 5 9 8								
3		1,95	K			Açık kahverengi - bej renkli, ince çakıllı, siltli ince-orta KUM. Zayıf yer yer sıkı tutturulmuş silttaşı ara seviyeli. Orta sıkı - çok sıkı. (GC)				67		
4		3,00		SPT2 21 17		(Sultanbeyli Formasyonu Dudullu Üyesi)				80		
5		3,23	K									
6		4,50		SPT3 9 17 16		4,50 m						
7		4,95	K			Sarımsı kahverengi, sarımsı yeşil renkli, siltli ince - orta KUM. İnce - orta çakıllı, sıkı (GC)				81		
		6,00		SPT4 9 13 21		(Sultanbeyli Formasyonu Dudullu Üyesi)				80		
		6,45										

KAYA KALİTESİ / ROD	ÇATLAKLAR / FRACTURES (#/30cm)	İNCE DANELİ / FINE GRAINED	İRİ DANELİ / COARSE GRAINED
0 - 25 % Çok Zayıf / Very Poor 25 - 50 % Zayıf / Poor 50 - 75 % Orta / Fair 75 - 90 % İyi / Good 90 - 100 % Çok İyi / Excellent	<1 Seyrek / Wide 1 - 3 Orta / Moderate 3 - 10 Sık / Close 11 - 30 Çok Sık / Intense 30-50 Parçalı / Crushed >50 Çok Parçalı / Very Crushed	N:0 - 2 Çok Yum. / Very Soft N:3 - 4 Yumuşak / Soft N:5 - 8 Orta Katı / M. Stiff N:9 - 15 Katı / Stiff N:16 - 30 Çok Katı / Very Stiff N: > 30 Sert / Hard	N:0 - 4 Çok Gevrek / Very Loose N:5 - 10 Gevrek / Loose N:11 - 30 Orta Sıkı / M. Dense N:31 - 50 Sıkı / Dense N: > 50 Çok Sıkı / Very Dense
AYRISMA / WEATHERING	DAYANIMLILIK / STRENGTH	KISALTMALAR / ABBREVIATIONS	NOTLAR / REMARKS
W ₁ Taze / Fresh W ₂ Az Ayrışmış / Slightly Weathered W ₃ Orta Der. Ayrışmış / Mod. Weathered W ₄ Çok Ayrışmış / Highly Weathered W ₅ Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered	S ₁ Çok Dayanımlı / Very Strong S ₂ Dayanımlı / Strong S ₃ Orta Dayanımlı / Mod. Strong S ₄ Zayıf / Weak S ₅ Çok Zayıf / Very Weak	UD : Selbi Tüp / Shelby Tube K : Karot Num. / Core Sample BST : Paket Den. / Packer Test GD : Geçirgenlik D. / Permeability T. S : Sediman / Sediment	Kuyuya 35,00 m rasat borusu indirilmiştir.
Sondör / Driller : Nadir TUNCER		Logu Yapan / Logged by : Arif Cemal SEÇKİN	

**AYSON****AYSON GEOTEKNİK VE DENİZ İNŞ. A.Ş.****SONDAJ LOGU (DRILLING LOG)****SONDAJ Borehole No: SK-DUD-1****SAYFA Page No: 2 / 5**

PROJE ADI / Project Name	ÜSKÜDAR-ÖMRANİYE METRO	DELİK ÇAP / Hole Diameter	: 76,2 mm
SONDAJ YERİ / Drilling Location	DUDULLU İSTASYONU		
EĞİM VE AZİMUT / Dip angle and Direction	DÜŞEY	MUH.BORUSU DER. / Casing Depth	: 22,50 m
SONDAJ DERİNLİĞİ / Drilling Depth	: 35,00 m	BAŞ. - BİTİŞ TARİHİ / Start Finish Date	: 03.05.2012 / 09.05.2012
SONDAJ KOTU / Elevation	: 150,16	KOORDİNAT / Coordinate (N - S) y	: 429570,683
SONDAJ MAK. & YÖNT. / D.Rig & Met.	: KAAAN P1 / ROTARY	KOORDİNAT / Coordinate (E - W) x	: 4542589,325

Sonda Derinliği Borehole Depth	Yerleşim seviyesi Upland level	Numune Derinliği Sample Depth	Numune Türü Sample Type	Standard Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test	Standard Penetrasyon Grafiği Standard Penetration Graph	JEOLOJİK TANIMLAMA Geological Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRISMA / Weathering	ÇATLAK SIKLIĞI / KAROT % (TCF) / Core R.	RQD %	SCR %
(m)	(m)	(m)		15 30 45	10 20 30 40 50							
8		7,50										
			SPT5	8	17 22							80
		7,95										
			K									55
9		9,00										
		9,45		SPT6	9	19 30						63
10												
			K									
		10,50		SPT7	9	11 19						
11		10,95										
			K									62
12		12,00		SPT8	3	14 28						
		12,45										
			K									70
13		13,50		SPT9	22 17 23							
14		13,95										37

KAYA KALİTESİ / RQD	ÇATLAKLAR / FRACTURES (#/30cm)	İNCE DANELİ / FINE GRAINED	İRİ DANELİ / COARSE GRAINED
0 - 25 % Çok Zayıf / Very Poor	< 1 Seyrek / Wide	N: 0 - 2 Çok Yum. / Very Soft	N: 0 - 4 Çok Gevrek / Very Loose
25 - 50 % Zayıf / Poor	1 - 3 Orta / Moderate	N: 3 - 4 Yumuşak / Soft	N: 5 - 10 Gevrek / Loose
50 - 75 % Orta / Fair	3 - 10 Sık / Close	N: 5 - 8 Orta Katı / M. Stiff	N: 11 - 30 Orta Sıkı / M. Dense
75 - 90 % İyi / Good	11 - 30 Çok Sık / Intense	N: 9 - 15 Katı / Stiff	N: 31 - 50 Sıkı / Dense
90 - 100 % Çok İyi / Excellent	30-50 Parçali / Crushed	N: 16 - 30 Çok Katı / Very Stiff	N: > 50 Çok Sıkı / Very Dense
	> 50 Çok Parçali / Very Crushed	N: > 30 Sert / Hard	
AYRISMA / WEATHERING	DAYANIMLILIK / STRENGTH	KISALTMALAR / ABBREVIATIONS	NOTLAR / REMARKS
W ₁ Taze / Fresh	S ₁ Çok Dayanımlı / Very Strong	UD : Şelbi Tüp / Shelby Tube	
W ₂ Az Ayrışmış / Slightly Weathered	S ₂ Dayanımlı / Strong	K : Karot Num. / Core Sample	
W ₃ Orta Der. Ayrışmış / Mod. Weathered	S ₃ Orta Dayanımlı / Mod. Strong	BST : Paket Den. / Packer Test	
W ₄ Çok Ayrışmış / Haghtly Weathered	S ₄ Zayıf / Weak	GD : Geçirgenlik D. / Permeability T.	
W ₅ Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered	S ₅ Çok Zayıf / Very Weak	S : Sediman / Sediment	
Sondör / Driller : Nadir TUNCER		Logu Yapan / Logged by : Arif Cemal SEÇKİN	

**AYSON****AYSON GEOTEKNİK VE DENİZ İNŞ. A.Ş.****SONDAJ LOGU (DRILLING LOG)****SONDAJ**
Borehole No: SK-DUD-1**SAYFA**
Page No: 3 / 5

PROJE ADI / Project Name	:ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE METRO	DELİK ÇAP / Hole Diameter	: 76,2 mm
SONDAJ YERİ / Drilling Location	:DUDULLU İSTASYONU		
EĞİM VE AZİMUT / Dip angle and Direction	:DÜŞEY	MUH.BORUSU DER./ Casing Depth	: 22,50 m
SONDAJ DERİNLİĞİ / Drilling Depth	:35,00 m	BAŞ. - BİTİŞ TARİHİ / Start Finish Date	: 03.05.2012 / 09.05.2012
SONDAJ KOTU / Elevation	:150,16	KOORDİNAT / Coordinate (N - S) y	:429570,683
SONDAJ MAK. & YÖNT. / D.Rig & Met.	:KAAN P1 / ROTARY	KOORDİNAT/ Coordinate (E- W) x	:4542589,325

Sonda Derinliği Borehole Depth	Yeraltı Suyu Derinliği Undergroundwater Level	Numune Derinliği Sample Depth	Numune Türü Sample Type	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test	Standart Penetrasyon Grafik Standard Penetration Graph	JEOLOJİK TANIMLAMA Geological Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRISMA/Weathering	ÇATLAK SIKLIĞI / FRACTURE FREQUENCY	KAROT % (TCRY) T Core R	ROD %	SCR %
(m)	(m)	(m)		15 30 45	10 20 30 40 50								
15		15,00	K								37		
		15,45		SPT10 13 20 26									
16		16,50	K			Sarımsı yeşil renkli, ince-orta CO ₃ çakıllı KİL. Sıkça 10-30 cm siltli ince kum ara seviyesi içerir. Sert. (CL)					40		
17			K								93		
18		18,00				17,80 m							
		18,45		SPT11 19 34 22									
19		19,50	K			Bej - krem renkli siltli KİL. 10-30 cm lik siltli ince kum ara seviyeleri içerir. Sert. (CL)					41		
20			K										
21		21,00									55		

KAYA KALİTESİ / ROD	ÇATLAKLAR / FRACTURES (#/30cm)	İNCE DANELİ / FINE GRAINED	İRİ DANELİ / COARSE GRAINED
0 - 25 % Çok Zayıf / Very Poor 25 - 50 % Zayıf / Poor 50 - 75 % Orta / Fair 75 - 90 % İyi / Good 90 - 100 % Çok İyi / Excellent	<1 Seyrek / Wide 1 - 3 Orta / Moderate 3 - 10 Sık / Close 11 - 30 Çok Sık / Intense 30-50 Parçalı / Crushed >50 Çok Parçalı / Very Crushed	N:0 - 2 Çok Yum. / Very Soft N:3 - 4 Yumuşak / Soft N:5 - 8 Orta Katı / M. Stiff N:9 - 15 Katı / Stiff N:16 - 30 Çok Katı / Very Stiff N: > 30 Sert / Hard	N:0 - 4 Çok Gevsek / Very Loose N:5 - 10 Gevsek / Loose N:11 - 30 Orta Sıkı / M. Dense N:31 - 50 Sıkı / Dense N: > 50 Çok Sıkı / Very Dense
AYRISMA / WEATHERING	DAYANIMLILIK / STRENGTH	KISALTMALAR / ABBREVIATIONS	NOTLAR / REMARKS
W ₁ Taze / Fresh W ₂ Az Ayrışmış / Slightly Weathered W ₃ Orta Der. Ayrışmış / Mod. Weathered W ₄ Çok Ayrışmış / Highly Weathered W ₅ Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered	S ₁ Çok Dayanımlı / Very Strong S ₂ Dayanımlı / Strong S ₃ Orta Dayanımlı / Mod. Strong S ₄ Zayıf / Weak S ₅ Çok Zayıf / Very Weak	UD : Şelbi Tüp / Shelby Tube K : Karot Num. / Core Sample BST : Paket Den. / Packer Test GD : Geçirgenlik D. / Permeability T. S : Sediman / Sediment	
Sondör / Driller : Nadir TUNCER		Logu Yapan / Logged by : Arif Cemal SEÇKİN	

**AYSON****AYSON GEOTEKNİK VE DENİZ İNŞ. A.Ş.****SONDAJ LOGU (DRILLING LOG)****SONDAJ**
Borehole No: SK-DUD-1**SAYFA**
Page No: 4 / 5

PROJE ADI / Project Name	:ÜSKÜDAR-ÖMRANİYE METRO	DELİK ÇAPI / Hole Diameter	: 76,2 mm
SONDAJ YERİ / Drilling Location	:DUDULLU İSTASYONU		
EĞİM VE AZİMUT / Dip angle and Direction	:DÜŞEY	MUH.BORUSU DER./ Casing Depth	: 22,50 m
SONDAJ DERİNLİĞİ / Drilling Depth	:35,00 m	BAŞ. - BİTİŞ TARİHİ / Start Finish Date	: 03.05.2012 / 09.05.2012
SONDAJ KOTU / Elevation	:150,16	KOORDİNAT / Coordinate (N - S) y	:429570,683
SONDAJ MAK. & YÖNT. / D.Rig & Met.	:KAAN P1 / ROTARY	KOORDİNAT/ Coordinate (E - W) x	:4542589,325

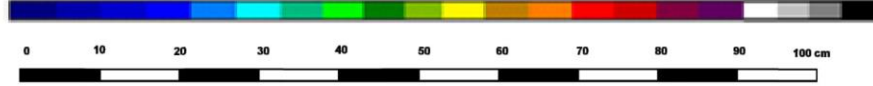
Sonda Derinliği Borehole Depth	Yeraltısu seviyesi Undergroundwater	Nümun Derinliği Sample Depth	Nümun Türü Sample Type	Standard Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test	Standard Penetrasyon Grafiği Standard Penetration Graph	JEOLOJİK TANIMLAMA Geological Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRISMA/ Weathering	ÇATLAK SIKLIĞI / KAROT % (TCR) T.Corr	RQD %	SCR %	
(m)	(m)	(m)		15 30 45	10 20 30 40 50								
22		21,45	SPT12 K	14 27 37		Kırmızımsı kahverengi siltli KİL.Yer Yer kömür ve mangan parçaları içerir. (CL)				61			
23		22,50	K							33			
24		24,00	SPT13 K	15 19 28									
25		24,45								50			
		25,50				25,50 m							
26			K			Gri - mavimsi gri renkli, ince taneli KİREÇTAŞI. Orta - sık eklemlı, eklem yüzeyleri yeşilimsi gri renkli ve FeO kaplı. Dayanımlı		S2	W2	3 - 10	83	64	68
27		27,00	K								100	76	100
28													

KAYA KALİTESİ / RQD	ÇATLAKLAR / FRACTURES (#/30cm)	İNCE DANELİ / FINE GRAINED	İRİ DANELİ / COARSE GRAINED
0 - 25 % Çok Zayıf / Very Poor	< 1 Seyrek / Wide	N : 0 - 2 Çok Yum. / Very Soft	N : 0 - 4 Çok Gevşek / Very Loose
25 - 50 % Zayıf / Poor	1 - 3 Orta / Moderate	N : 3 - 4 Yumuşak / Soft	N : 5 - 10 Gevşek / Loose
50 - 75 % Orta / Fair	3 - 10 Sık / Close	N : 5 - 8 Orta Katı / M. Stiff	N : 11 - 30 Orta Sıkı / M. Dense
75 - 90 % İyi / Good	11 - 30 Çok Sık / Intense	N : 9 - 15 Katı / Stiff	N : 31 - 50 Sıkı / Dense
90 - 100 % Çok İyi / Excellent	30-50 Parçali / Crushed	N : 16 - 30 Çok Katı / Very Stiff	N : > 50 Çok Sıkı / Very Dense
	>50 Çok Parçali / Very Crushed	N : > 30 Sert / Hard	
AYRISMA / WEATHERING	DAYANIMLILIK / STRENGTH	KISALTMALAR / ABBREVIATIONS	NOTLAR / REMARKS
W ₁ Taze / Fresh	S ₁ Çok Dayanımlı / Very Strong	UD : Şelbi Tüp / Shelby Tube	
W ₂ Az Ayrışmış / Slightly Weathered	S ₂ Dayanımlı / Strong	K : Karot Num. / Core Sample	
W ₃ Orta Der. Ayrışmış / Mod. Weathered	S ₃ Orta Dayanımlı / Mod. Strong	BST : Paker Den. / Packer Test	
W ₄ Çok Ayrışmış / Haghtly Weathered	S ₄ Zayıf / Weak	GD : Geçirgenlik D. / Permeability T.	
W ₅ Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered	S ₅ Çok Zayıf / Very Weak	S : Sediman / Sediment	
Sondör / Driller : Nadir TUNCER		Logu Yapan / Logged by : Arif Cemal SEÇKİN	

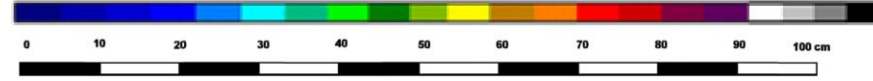
**AYSON****AYSON GEOTEKNİK VE DENİZ İNŞ. A.Ş.****SONDAJ LOGU (DRILLING LOG)****SONDAJ**
Borehole No: **SK-DUD-1****SAYFA**
Page No: **5 / 5**

PROJE ADI / Project Name				:ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE METRO				DELİK ÇAPI / Hole Diameter				: 76,2 mm															
SONDAJ YERİ / Drilling Location				:DUDULLU İSTASYONU																							
EĞİM VE AZİMUT / Dip angle and Direction				:DÜŞEY				MUH.BORUSU DER./ Casing Depth				: 22,50 m															
SONDAJ DERİNLİĞİ / Drilling Depth				:35,00 m				BAŞ. - BİTİŞ TARİHİ / Start Finish Date				: 03.05.2012 / 09.05.2012															
SONDAJ KOTU / Elevation				:150,16				KOORDİNAT / Coordinate (N - S) y				:429570,683															
SONDAJ MAK. & YÖNT. / D.Rig & Met.				:KAAN P1 / ROTARY				KOORDİNAT/ Coordinate (E- W) x				:4542589,325															
Sonda Derinliği Borehole Depth		Yeraltı suyu seviyesi Undergroundwater Level		Numune Derinliği Sample Depth		Numune Türü Sample Type		Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test		Standart Penetrasyon Grafiği Standard Penetration Graph		JEOLOJİK TANIMLAMA Geological Description				PROFİL Profile		DAYANIMLILIK/Strength		AYRISMA/ Weathering		ÇATLAK SIKLIĞI / KAROT % (TCR) / Core R.		ROD %		SCR %	
(m)	(m)	(m)		15	30	45		10	20	30	40	50															
29	28,50	K																S2	W2	3 -10		100	76	100			
30	30,00	K																			26	26	26				
31	31,50	K																			0	0	0				
32	31,95		SPT14	9	11	13																					
33	33,00	K																			51	51	51				
34	34,50	K																			93	93	93				
35																											
KAYA KALİTESİ / ROD														ÇATLAKLAR / FRACTURES (#/30cm)				İNCİ DANELİ / FINE GRAINED				İRİ DANELİ / COARSE GRAINED					
0 - 25 % Çok Zayıf / Very Poor				<1 Seyrek / Wide				N : 0 - 2 Çok Yum. / Very Soft				N : 0 - 4 Çok Gevsek / Very Loose															
25 - 50 % Zayıf / Poor				1 - 3 Orta / Moderate				N : 3 - 4 Yumuşak / Soft				N : 5 - 10 Gevsek / Loose															
50 - 75 % Orta / Fair				3 - 10 Sık / Close				N : 5 - 8 Orta Katı / M. Stiff				N : 11 - 30 Orta Sıkı / M. Dense															
75 - 90 % İyi / Good				11- 30 Çok Sık / Intense				N : 9 - 15 Katı / Stiff				N : 31 - 50 Sıkı / Dense															
90 - 100 % Çok İyi / Excellent				30-50 Parçalı / Crushed				N : 16 - 30 Çok Katı / Very Stiff				N : > 50 Çok Sıkı / Very Dense															
				>50 Çok Parçalı / Very Crushed				N : > 30 Sert / Hard																			
AYRISMA / WEATHERING				DAYANIMLILIK / STRENGTH				KISALTIMLAR / ABBREVIATIONS				NOTLAR / REMARKS															
W ₁ Taze / Fresh				S ₁ Çok Dayanımlı / Very Strong				UD : Şelbi Tüp / Shelby Tube																			
W ₂ Az Ayrışmış / Slightly Weathered				S ₂ Dayanımlı / Strong				K : Karot Num. / Core Sample																			
W ₃ Orta Der. Ayrışmış / Mod. Weathered				S ₃ Orta Dayanımlı / Mod. Strong				BST : Paket Den. / Packer Test																			
W ₄ Çok Ayrışmış / Haghtly Weathered				S ₄ Zayıf / Weak				GD : Geçirgenlik D. / Permeability T.																			
W ₅ Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered				S ₅ Çok Zayıf / Very Weak				S : Sediman / Sediment																			
Sondör / Driller : Nadir TUNCER														Logu Yapan / Logged by				: Arif Cemal SEÇKİN									

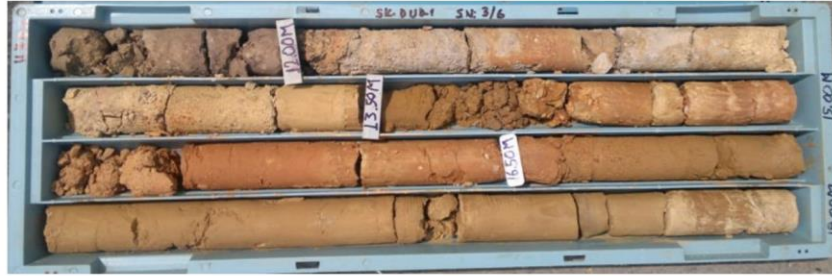
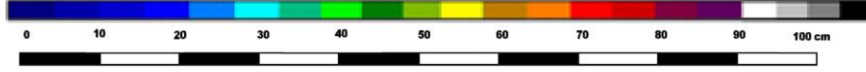
PROJE ADI	ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE METRO PROJESİ
YERİ	DUDULLU İSTASYONU
SONDAJ NO	SK-DUD-1
SANDIK NO	1 / 6
DERİNLİK (m)	0.00 – 5.50



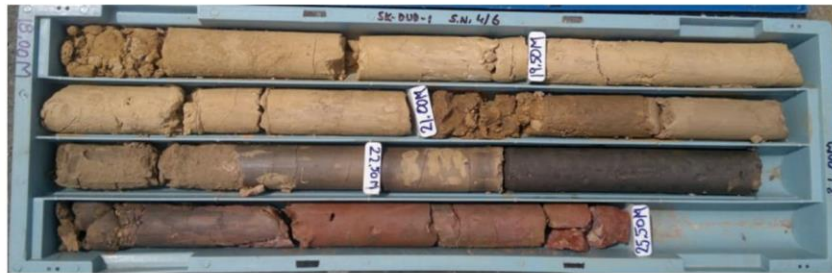
PROJE ADI	ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE METRO PROJESİ
YERİ	DUDULLU İSTASYONU
SONDAJ NO	SK-DUD-1
SANDIK NO	2 / 6
DERİNLİK (m)	5.50 – 11.70



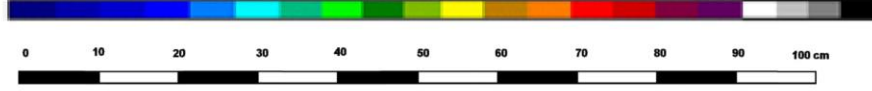
PROJE ADI	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE METRO PROJESİ
YERİ	DUDULLU İSTASYONU
SONDAJ NO	SK-DUD-1
SANDIK NO	3 / 6
DERİNLİK (m)	11.70 – 18.00



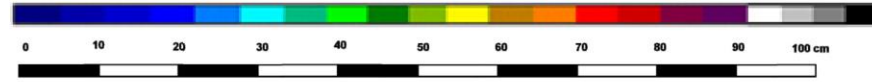
PROJE ADI	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE METRO PROJESİ
YERİ	DUDULLU İSTASYONU
SONDAJ NO	SK-DUD-1
SANDIK NO	4 / 6
DERİNLİK (m)	18.00 – 25.50



PROJE ADI	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE METRO PROJESİ
YERİ	DUDULLU İSTASYONU
SONDAJ NO	SK-DUD-1
SANDIK NO	5 / 6
DERİNLİK (m)	25.50 – 34.15



PROJE ADI	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE METRO PROJESİ
YERİ	DUDULLU İSTASYONU
SONDAJ NO	SK-DUD-1
SANDIK NO	6 / 6
DERİNLİK (m)	34.15 – 35.00



**AYSON****AYSON GEOTEKNİK VE DENİZ İNŞ. A.Ş.****SONDAJ LOGU (DRILLING LOG)****SONDAJ**
Borehole No: **SK-DUD-2****SAYFA**
Page No: **1 / 5**

PROJE ADI / Project Name	:ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE METRO	DELİK ÇAPI / Hole Diameter	: 76,2 mm
SONDAJ YERİ / Drilling Location	:DUDULLU İSTASYONU		
EĞİM VE AZİMUT / Dip angle and Direction	:DÜŞEY	MUH.BORUSU DER./ Casing Depth	: 4,50 m
SONDAJ DERİNLİĞİ / Drilling Depth	:35,00 m	BAŞ. - BİTİŞ TARİHİ / Start Finish Date	: 10.05.2012 / 14.05.2012
SONDAJ KOTU / Elevation	:144,37	KOORDİNAT / Coordinate (N - S) y	: 429406,264
SONDAJ MAK. & YÖNT. / D.Rig & Met.	:KAAN P1 / ROTARY	KOORDİNAT/ Coordinate (E- W) x	: 4542602,983

Sonda Derinliği Borehole Depth	Yeraltı Suyu Derinliği Undergroundwater	Numune Derinliği Sample Depth	Numune Türü Sample Type	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test	Standart Penetrasyon Grafik Standard Penetration Graph	JEOLOJİK TANIMLAMA Geological Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRIŞMA/Weathering	ÇATLAK SIKLIĞI / KAROT % (TCR) / Core R.	ROD %	SCR %
(m)	(m)	(m)		15 30 45	10 20 30 40 50							
1		1,50				Sarımsı kahverengi siltli KİL. İnce kumlu. Çok katı-sert. (CL)				0		
2		1,95				(Sultanbeyli Formasyonu Dudullu Üyesi)				37		
3		3,00										
		3,45								58		
4		3,80				3,80 m						
		4,50				Bej - krem renkli siltli KİL. Az ince kumlu. Sert						
5		4,95								57		
6		6,00				6,00 m						
		6,45				Sarımsı kahverengi siltli KİL. İnce kumlu. Sert. (CL)				67		
7												

KAYA KALİTESİ / ROD	ÇATLAKLAR / FRACTURES (#/30cm)	İNCE DANELİ / FINE GRAINED	İRİ DANELİ / COARSE GRAINED
0 - 25 % Çok Zayıf / Very Poor 25 - 50 % Zayıf / Poor 50 - 75 % Orta / Fair 75 - 90 % İyi / Good 90 - 100 % Çok İyi / Excellent	<1 Seyrek / Wide 1 - 3 Orta / Moderate 3 - 10 Sık / Close 11 - 30 Çok Sık / Intense 30-50 Parçalı / Crushed >50 Çok Parçalı / Very Crushed	N:0 - 2 Çok Yum. / Very Soft N:3 - 4 Yumuşak / Soft N:5 - 8 Orta Katı / M. Stiff N:9 - 15 Katı / Stiff N:16 - 30 Çok Katı / Very Stiff N: > 30 Sert / Hard	N:0 - 4 Çok Gevrek / Very Loose N:5 - 10 Gevrek / Loose N:11 - 30 Orta Sıkı / M. Dense N:31 - 50 Sıkı / Dense N: > 50 Çok Sıkı / Very Dense
AYRIŞMA / WEATHERING	DAYANIMLILIK / STRENGTH	KISALTMALAR / ABBREVIATIONS	NOTLAR / REMARKS
W ₁ Taze / Fresh W ₂ Az Ayrışmış / Slightly Weathered W ₃ Orta Der. Ayrışmış / Mod. Weathered W ₄ Çok Ayrışmış / Highly Weathered W ₅ Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered	S ₁ Çok Dayanımlı / Very Strong S ₂ Dayanımlı / Strong S ₃ Orta Dayanımlı / Mod. Strong S ₄ Zayıf / Weak S ₅ Çok Zayıf / Very Weak	UD : Selbi Tüp / Shelby Tube K : Karot Num. / Core Sample BST : Paket Den. / Packer Test GD : Geçirgenlik D. / Permeability T. S : Sediman / Sediment	Kuyuya 35.00 m rasat borusu indirilmiştir.
Sondör / Driller : Nadir TUNCER		Logu Yapan / Logged by : Arif Cemal SEÇKİN	

**AYSON****AYSON GEOTEKNİK VE DENİZ İNŞ. A.Ş.****SONDAJ LOGU (DRILLING LOG)****SONDAJ**
Borehole No: SK-DUD-2**SAYFA**
Page No: 2 / 5

PROJE ADI / Project Name	ÜSKÜDAR-ÖMRANİYE METRO	DELİK ÇAPI / Hole Diameter	: 76,2 mm
SONDAJ YERİ / Drilling Location	DUDULLU İSTASYONU		
EĞİM VE AZİMUT / Dip angle and Direction	DÜŞEY	MUH.BORUSU DER. / Casing Depth	: 4,50 m
SONDAJ DERİNLİĞİ / Drilling Depth	: 35,00 m	BAŞ. - BİTİŞ TARİHİ / Start Finish Date	: 10.05.2012 / 14.05.2012
SONDAJ KOTU / Elevation	: 144,37	KOORDİNAT / Coordinate (N - S) y	: 429406,264
SONDAJ MAK. & YÖNT. / D.Rig & Met.	: KAAAN P1 / ROTARY	KOORDİNAT / Coordinate (E - W) x	: 4542602,983

Sonda Derinliği Borehole Depth	Yeraltı suyu seviyesi Underground Water Level	Numune Derinliği Sample Depth	Numune Türü Sample Type	Standard Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test	Standard Penetrasyon Grafiği Standard Penetration Graph	JEOLOJİK TANIMLAMA Geological Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRISMA / Weathering	ÇATLAK SIKLIĞI / CRACK % (TCF) / Core R.	RÖD %	SCR %
(m)	(m)	(m)		15 30 45	10 20 30 40 50							
8		7,50	K									
			SPT5	22	22	30						
		7,95										
9			K									
		9,00										
			SPT6	31	31	34						
		9,45										
10			K									
		10,50										
			SPT7	12	18	24						
		10,95										
11			K									
		12,00										
			SPT8	14	29	35						
		12,45										
12			K									
		13,50										
			SPT9	9	18	34						
		13,95										
14												

Sarımsı kahverengi siltli KİL. Çok
katı-sert, 10-50 cm siltli ince kum
ara seviyeleri içerir. (CL)

13,00 m

Bej - krem renkli siltli KİL. Sert.
10-30 cm kum ara seviyeli. (CL)

KAYA KALİTESİ / RQD	ÇATLAKLAR / FRACTURES (#/30cm)	İNCE DANELİ / FINE GRAINED	İRİ DANELİ / COARSE GRAINED
0 - 25 % Çok Zayıf / Very Poor	< 1 Seyrek / Wide	N: 0 - 2 Çok Yum. / Very Soft	N: 0 - 4 Çok Gevşek / Very Loose
25 - 50 % Zayıf / Poor	1 - 3 Orta / Moderate	N: 3 - 4 Yumuşak / Soft	N: 5 - 10 Gevşek / Loose
50 - 75 % Orta / Fair	3 - 10 Sık / Close	N: 5 - 8 Orta Katı / M. Stiff	N: 11 - 30 Orta Sıkı / M. Dense
75 - 90 % İyi / Good	11 - 30 Çok Sık / Intense	N: 9 - 15 Katı / Stiff	N: 31 - 50 Sıkı / Dense
90 - 100 % Çok İyi / Excellent	30-50 Parçali / Crushed	N: 16 - 30 Çok Katı / Very Stiff	N: > 50 Çok Sıkı / Very Dense
	>50 Çok Parçali / Very Crushed	N: > 30 Sert / Hard	
AYRISMA / WEATHERING	DAYANIMLILIK / STRENGTH	KISALTMALAR / ABBREVIATIONS	NOTLAR / REMARKS
W ₁ Taze / Fresh	S ₁ Çok Dayanımlı / Very Strong	UD : Şelbi Tüp / Shelby Tube	
W ₂ Az Ayrışmış / Slightly Weathered	S ₂ Dayanımlı / Strong	K : Karot Num. / Core Sample	
W ₃ Orta Der. Ayrışmış / Mod. Weathered	S ₃ Orta Dayanımlı / Mod. Strong	BST : Paket Den. / Packer Test	
W ₄ Çok Ayrışmış / Haghtly Weathered	S ₄ Zayıf / Weak	GD : Geçirgenlik D. / Permeability T.	
W ₅ Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered	S ₅ Çok Zayıf / Very Weak	S : Sediman / Sediment	
Sondör / Driller : Nadir TUNCER		Logu Yapan / Logged by : Arif Cemal SEÇKİN	

**AYSON****AYSON GEOTEKNİK VE DENİZ İNŞ. A.Ş.****SONDAJ LOGU (DRILLING LOG)****SONDAJ**
Borehole No: **SK-DUD-2****SAYFA**
Page No: **3 / 5**

PROJE ADI / Project Name	:ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE METRO	DELİK ÇAP / Hole Diameter	: 76,2 mm
SONDAJ YERİ / Drilling Location	:DUDULLU İSTASYONU		
EĞİM VE AZİMUT / Dip angle and Direction	:DÜŞEY	MUH.BORUSU DER./ Casing Depth	: 4,50 m
SONDAJ DERİNLİĞİ / Drilling Depth	:35,00 m	BAŞ. - BİTİŞ TARİHİ / Start Finish Date	: 10.05.2012 / 14.05.2012
SONDAJ KOTU / Elevation	:144,37	KOORDİNAT / Coordinate (N - S) y	: 429406,264
SONDAJ MAK. & YÖNT. / D.Rig & Met.	:KAAN P1 / ROTARY	KOORDİNAT/ Coordinate (E- W) x	: 4542602,983

Sonda Derinliği Borehole Depth	Yeraltı Suyu Derinliği Undergroundwater	Numune Derinliği Sample Depth	Numune Türü Sample Type	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test	Standart Penetrasyon Grafiği Standard Penetration Graph	JEOLOJİK TANIMLAMA Geological Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRISMA/Weathering	ÇATLAK SIKLIĞI / KAROT % (TCR) / Core R.	ROD %	SCR %
(m)	(m)	(m)		15 30 45	10 20 30 40 50							
15		15,00	K			Bej - krem renkli siltli KİL. Sert. 10-30 cm kum ara seviyeli. (CL)				35		
16		15,45		SPT10 13 20 26						36		
17		16,50	K			16,50 m						
18		18,00	K			Açık kahverengi ince - orta çakıllı. İnce kumlu Kil. Siltli. Sert (CL)				45		
19		18,45		SPT11 18 31 34						37		
20		19,50	K			19,30 m						
21		21,00	K			Yeşil renkli, siltli, KİL. Sert (CL)				73		

KAYA KALİTESİ / ROD	ÇATLAKLAR / FRACTURES (#/30cm)	İNCE DANELİ / FINE GRAINED	İRİ DANELİ / COARSE GRAINED
0 - 25 % Çok Zayıf / Very Poor 25 - 50 % Zayıf / Poor 50 - 75 % Orta / Fair 75 - 90 % İyi / Good 90 - 100 % Çok İyi / Excellent	<1 Seyrek / Wide 1 - 3 Orta / Moderate 3 - 10 Sık / Close 11 - 30 Çok Sık / Intense 30-50 Parçalı / Crushed >50 Çok Parçalı / Very Crushed	N:0 - 2 Çok Yum. / Very Soft N:3 - 4 Yumuşak / Soft N:5 - 8 Orta Katı / M. Stiff N:9 - 15 Katı / Stiff N:16 - 30 Çok Katı / Very Stiff N: > 30 Sert / Hard	N:0 - 4 Çok Gevsek / Very Loose N:5 - 10 Gevsek / Loose N:11 - 30 Orta Sıkı / M. Dense N:31 - 50 Sıkı / Dense N: > 50 Çok Sıkı / Very Dense
AYRISMA / WEATHERING	DAYANIMLILIK / STRENGTH	KISALTMALAR / ABBREVIATIONS	NOTLAR / REMARKS
W ₁ Taze / Fresh W ₂ Az Ayrışmış / Slightly Weathered W ₃ Orta Der. Ayrışmış / Mod. Weathered W ₄ Çok Ayrışmış / Highly Weathered W ₅ Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered	S ₁ Çok Dayanımlı / Very Strong S ₂ Dayanımlı / Strong S ₃ Orta Dayanımlı / Mod. Strong S ₄ Zayıf / Weak S ₅ Çok Zayıf / Very Weak	UD : Selbi Tüp / Shelby Tube K : Karot Num. / Core Sample BST : Pakler Den. / Packer Test GD : Geçirgenlik D. / Permeability T. S : Sediman / Sediment	
Sondör / Driller : Nadir TUNCER		Logu Yapan / Logged by : Arif Cemal SEÇKİN	

**AYSON****AYSON GEOTEKNİK VE DENİZ İNŞ. A.Ş.****SONDAJ LOGU (DRILLING LOG)****SONDAJ**
Borehole No: SK-DUD-2**SAYFA**
Page No: 4 / 5

PROJE ADI / Project Name	ÜSKÜDAR-ÖMRANİYE METRO	DELİK ÇAPI / Hole Diameter	: 76,2 mm
SONDAJ YERİ / Drilling Location	DUDULLU İSTASYONU		
EĞİM VE AZİMUT / Dip angle and Direction	DÜŞEY	MUH.BORUSU DER./ Casing Depth	: 4,50 m
SONDAJ DERİNLİĞİ / Drilling Depth	: 35,00 m	BAŞ. - BİTİŞ TARİHİ / Start Finish Date	: 10.05.2012 / 14.05.2012
SONDAJ KOTU / Elevation	: 144,37	KOORDİNAT / Coordinate (N - S) y	: 429406,264
SONDAJ MAK. & YÖNT. / D.Rig & Met.	: KAAAN P1 / ROTARY	KOORDİNAT / Coordinate (E - W) x	: 4542602,983

Sonda Derinliği Borehole Depth	Yerbaşıya sayılan Uzunluğundaki Lokal	Numune Derinliği Sample Depth	Numune Türü Sample Type	Standard Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test	Standard Penetrasyon Grafik Standard Penetration Graph	JEOLOJİK TANIMLAMA Geological Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRISMA/ Weathering	ÇATLAK SIKLIĞI / KAROT % (TCF) / Core R.	RQD %	SCR %
(m)	(m)	(m)		15	30	45		10	20	30	40	50
22		21,45	SPT12	17	35	47						
			K									
23		22,50										
			K									
24		24,00	SPT13	26	34	45						
		24,45										
25			K									
		25,50										
26			K									
27		27,00	SPT14	27	49	50						
		27,35										
			K									
28												

KAYA KALİTESİ / RQD	ÇATLAKLAR / FRACTURES (#/30cm)	İNCE DANELİ / FINE GRAINED	İRİ DANELİ / COARSE GRAINED
0 - 25 % Çok Zayıf / Very Poor	< 1 Seyrek / Wide	N: 0 - 2 Çok Yum. / Very Soft	N: 0 - 4 Çok Gevrek / Very Loose
25 - 50 % Zayıf / Poor	1 - 3 Orta / Moderate	N: 3 - 4 Yumuşak / Soft	N: 5 - 10 Gevrek / Loose
50 - 75 % Orta / Fair	3 - 10 Sık / Close	N: 5 - 8 Orta Katı / M. Stiff	N: 11 - 30 Orta Sıkı / M. Dense
75 - 90 % İyi / Good	11 - 30 Çok Sık / Intense	N: 9 - 15 Katı / Stiff	N: 31 - 50 Sıkı / Dense
90 - 100 % Çok İyi / Excellent	30-50 Parçali / Crushed	N: 16 - 30 Çok Katı / Very Stiff	N: > 50 Çok Sıkı / Very Dense
	>50 Çok Parçali / Very Crushed	N: > 30 Sert / Hard	
AYRISMA / WEATHERING	DAYANIMLILIK / STRENGTH	KISALTMALAR / ABBREVIATIONS	NOTLAR / REMARKS
W ₁ Taze / Fresh	S ₁ Çok Dayanımlı / Very Strong	UD : Şelbi Tüp / Shelby Tube	
W ₂ Az Ayrışmış / Slightly Weathered	S ₂ Dayanımlı / Strong	K : Karot Num. / Core Sample	
W ₃ Orta Der. Ayrışmış / Mod. Weathered	S ₃ Orta Dayanımlı / Mod. Strong	BST : Paker Den. / Packer Test	
W ₄ Çok Ayrışmış / Haghtly Weathered	S ₄ Zayıf / Weak	GD : Geçirgenlik D. / Permeability T.	
W ₅ Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered	S ₅ Çok Zayıf / Very Weak	S : Sediman / Sediment	
Sondör / Driller : Nadir TUNCER		Logu Yapan / Logged by : Arif Cemal SEÇKİN	

**AYSON****AYSON GEOTEKNİK VE DENİZ İNŞ. A.Ş.****SONDAJ LOGU (DRILLING LOG)****SONDAJ**
Borehole No: **SK-DUD-2****SAYFA**
Page No: **5 / 5**

PROJE ADI / Project Name		:ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE METRO		DELİK ÇAP / Hole Diameter		: 76,2 mm	
SONDAJ YERİ / Drilling Location		:DUDULLU İSTASYONU					
EĞİM VE AZİMUT / Dip angle and Direction		:DÜŞEY		MUH.BORUSU DER./ Casing Depth		: 4,50 m	
SONDAJ DERİNLİĞİ / Drilling Depth		:35,00 m		BAŞ. - BİTİŞ TARİHİ / Start Finish Date		: 10.05.2012 / 14.05.2012	
SONDAJ KOTU / Elevation		:144,37		KOORDİNAT / Coordinate (N - S) y		:429406,264	
SONDAJ MAK. & YÖNT. / D.Rig & Met.		:KAAN P1 / ROTARY		KOORDİNAT/ Coordinate (E- W) x		:4542602,983	

Sonda Derinliği Borehole Depth	Yeraltı Suyu Derinliği Undergroundwater Level	Numune Derinliği Sample Depth	Numune Türü Sample Type	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test	Standart Penetrasyon Grafiği Standard Penetration Graph	JEOLOJİK TANIMLAMA Geological Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRISMA/Weathering	ÇATLAK SIKLIĞI / KAROT % (TCR) / Core R.	ROD %	SCR %
(m)	(m)	(m)		15 30 45	10 20 30 40 50							
28,50			K			Sarımsı yeşil renkli, az ince çakıllı siltli KİL - kili SİLT 10-30 cm'lik ince kum bantlı				58		
			K							60		
30,00			SPT15	18 33 49								
30,45			K							67		
31,50			SPT14	9 11 13		Kırmızımsı kahverengi, siltli az ince çakıllı KİL. Az kumlu. Sert. Yer yer kömür ve mangan içerir. (CL)				57		
31,95			K									
33,00			K							51		
34,50			K							100		
35,00						KUYU BİTİMİ						

KAYA KALİTESİ / ROD		ÇATLAKLAR / FRACTURES (#/30cm)		İNCE DANELİ / FINE GRAINED		İRİ DANELİ / COARSE GRAINED	
0 - 25 %	Çok Zayıf / Very Poor	<1	Seyrek / Wide	N:0 - 2	Çok Yum. / Very Soft	N:0 - 4	Çok Gevsek / Very Loose
25 - 50 %	Zayıf / Poor	1 - 3	Orta / Moderate	N:3 - 4	Yumuşak / Soft	N:5 - 10	Gevsek / Loose
50 - 75 %	Orta / Fair	3 - 10	Sık / Close	N:5 - 8	Orta Katı / M. Stiff	N:11 - 30	Orta Sıkı / M. Dense
75 - 90 %	İyi / Good	11 - 30	Çok Sık / Intense	N:9 - 15	Katı / Stiff	N:31 - 50	Sıkı / Dense
90 - 100 %	Çok İyi / Excellent	30-50	Parçalı / Crushed	N:16 - 30	Çok Katı / Very Stiff	N: > 50	Çok Sıkı / Very Dense
		>50	Çok Parçalı / Very Crushed	N: > 30	Sert / Hard		
AYRISMA / WEATHERING		DAYANIMLILIK / STRENGTH		KISALTMALAR / ABBREVIATIONS		NOTLAR / REMARKS	
W ₁	Taze / Fresh	S ₁	Çok Dayanımlı / Very Strong	UD	Selbi Tüp / Shelby Tube		
W ₂	Az Ayrışmış / Slightly Weathered	S ₂	Dayanımlı / Strong	K	Karot Num. / Core Sample		
W ₃	Orta Der. Ayrışmış / Mod. Weathered	S ₃	Orta Dayanımlı / Mod. Strong	BST	Paker Den. / Packer Test		
W ₄	Çok Ayrışmış / Highly Weathered	S ₄	Zayıf / Weak	GD	Geçirgenlik D. / Permeability T.		
W ₅	Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered	S ₅	Çok Zayıf / Very Weak	S	Sediman / Sediment		
Sondör / Driller : Nadir TUNCER				Logu Yapan / Logged by : Arif Cemal SEÇKİN			

PROJE ADI	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE METRO PROJESİ
YERİ	DUDULLU İSTASYONU
SONDAJ NO	SK-DUD-2
SANDIK NO	1 / 4
DERİNLİK (m)	1.95 – 10.95



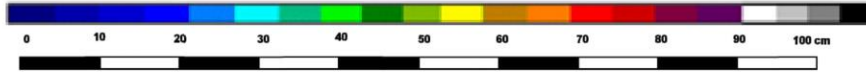
PROJE ADI	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE METRO PROJESİ
YERİ	DUDULLU İSTASYONU
SONDAJ NO	SK-DUD-2
SANDIK NO	2 / 4
DERİNLİK (m)	10.95 – 22.50



PROJE ADI	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE METRO PROJESİ
YERİ	DUDULLU İSTASYONU
SONDAJ NO	SK-DUD-2
SANDIK NO	3 / 4
DERİNLİK (m)	22.50 – 33.45



PROJE ADI	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE METRO PROJESİ
YERİ	DUDULLU İSTASYONU
SONDAJ NO	SK-DUD-2
SANDIK NO	4 / 4
DERİNLİK (m)	33.45 – 35.00





AYSON Geoteknik ve Deniz İnşaat A.Ş.

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi
Dudullu İstasyonu Zemin Araştırma Sondajları ve
Laboratuvar Deneyleri Geoteknik Veri Raporu

EK-D

PRESİYOMETRE DENEYLERİ

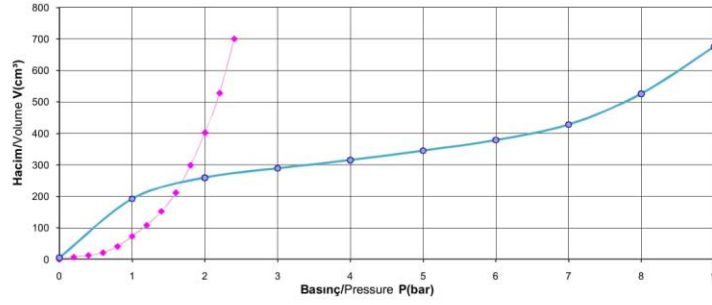
AYSON bir



DOĞUŞ GRUBU kuruluşudur

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol. Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-1	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-1	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Dene Der./Test Depth (m)	4,00-6,00	Dene Tarihi/Date of Test	04.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Dene Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	5
1	1,00	192
2	2,00	259
3	3,00	289
4	4,00	315
5	5,00	345
6	6,00	379
7	7,00	428
8	8,00	526
9	9,00	675
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basınç/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	6,83
Net Limit Basınç/Net Limit Pressure (kg/cm²)	P _L *	4,79
Elastisite Modülü / Pressure Modulus Em(kg/cm²)		92,78

P _i (Kg/cm²)	2,04	V _i (cm³)	259
P _f (Kg/cm²)	6,12	V _f (cm³)	379
ΔP (Kg/cm²)	4,08	ΔV (cm³)	120
ΔP _i (Kg/cm²)	0,30591		

* Dene sonuçlarımız laboratuvarımızın yazdı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
* ZEMAR hologramları olmayan dene sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Dene Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

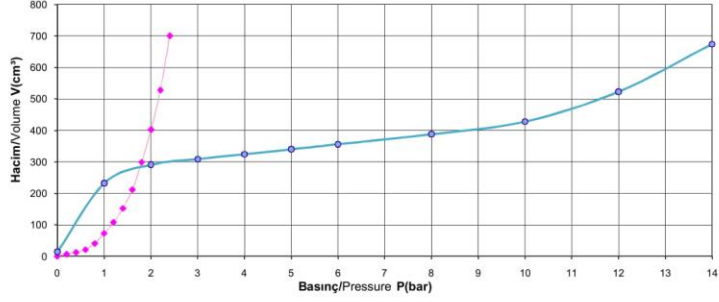
hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol. Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-2	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-1	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Deney Der./Test Depth (m)	6,00-8,00	Deney Tarihi/Date of Test	04.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Deney Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	15
1	1,00	232
2	2,00	291
3	3,00	309
4	4,00	324
5	5,00	340
6	6,00	356
7	8,00	388
8	10,00	428
9	12,00	523
10	14,00	674
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basıncı/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	12,03
Net Limit Basıncı/Net Limit Pressure	P _L * (kg/cm²)	9,99
Elastisite Modülü / Pressure Modulus	Em(kg/cm²)	176,20

Pi (Kg/cm²)	2,04	Vi (cm³)	291
Pf (Kg/cm²)	10,20	Vf (cm³)	428
ΔP (Kg/cm²)	8,16	ΔV (cm³)	137
ΔPi (Kg/cm²)	0,265122		

Deney sonuçlarımız laboratuvarımızın yazılı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
ZEMAR hologramları olmayan deney sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Deneyi Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

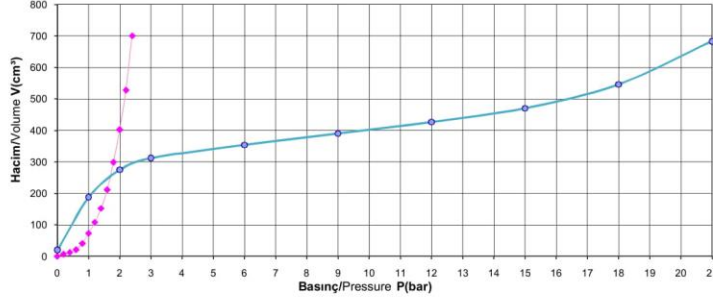
hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol. Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-3	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-1	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Dene Der./Test Depth (m)	8,00-10,00	Dene Tarihi/Date of Test	05.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Dene Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	20
1	1,00	188
2	2,00	275
3	3,00	312
4	6,00	354
5	9,00	390
6	12,00	427
7	15,00	470
8	18,00	546
9	21,00	683
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basınç/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	19,07
Net Limit Basınç/Net Limit Pressure (kg/cm²)	P _L *	16,01
Elastisite Modülü / Pressure Modulus Em(kg/cm²)		236,06

P _i (Kg/cm²)	3,06	V _i (cm³)	312
P _f (Kg/cm²)	15,30	V _f (cm³)	470
ΔP (Kg/cm²)	12,24	ΔV (cm³)	158
ΔP _i (Kg/cm²)	0,367092		

* Dene sonuçlarımız laboratuvarımızın yazdı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
* ZEMAR hologramları olmayan dene sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Dene Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

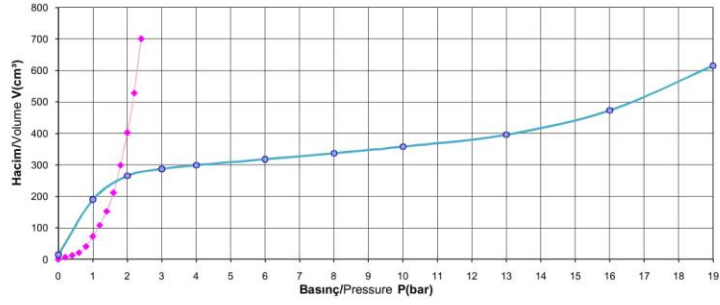
hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-4	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-1	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Denei Der./Test Depth (m)	10,00-12,00	Denei Tarihi/Date of Test	05.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Denei Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	15
1	1,00	190
2	2,00	265
3	3,00	287
4	4,00	299
5	6,00	318
6	8,00	337
7	10,00	358
8	13,00	396
9	16,00	473
10	19,00	615
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basıncı/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	18,05
Net Limit Basıncı/Net Limit Pressure	P _L * (kg/cm²)	14,99
Elastisite Modülü / Pressure Modulus	Em(kg/cm²)	274,61

Pi (Kg/cm²)	3,06	Vi (cm³)	287
Pf (Kg/cm²)	13,26	Vf (cm³)	396
ΔP(Kg/cm²)	10,20	ΔV(cm³)	109
ΔPi(Kg/cm²)	0,254925		

Deney sonuçlarımız laboratuvarımızın yazılı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
ZEMAR hologramları olmayan deney sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Denei Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

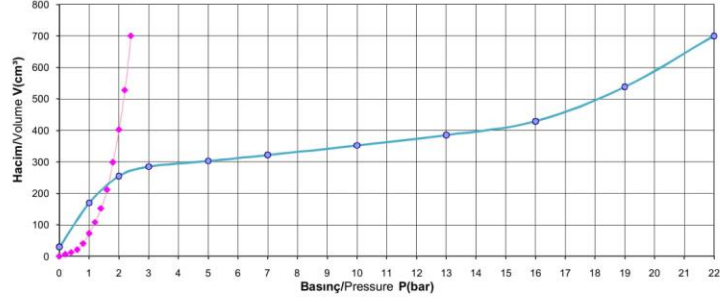
hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol./Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-5	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-1	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Deneş Der./Test Depth (m)	12,00-14,00	Deneş Tarihi/Date of Test	05.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Deneş Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	30
1	1,00	170
2	2,00	255
3	3,00	285
4	5,00	303
5	7,00	322
6	10,00	352
7	13,00	385
8	16,00	429
9	19,00	538
10	22,00	700
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basınç/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	19,99
Net Limit Basınç/Net Limit Pressure (kg/cm²)	P _L *	16,93
Elastisite Modülü / Pressure Modulus Em(kg/cm²)		298,21

P _i (Kg/cm²)	3,06	V _i (cm³)	285
P _f (Kg/cm²)	13,26	V _f (cm³)	385
ΔP (Kg/cm²)	10,20	ΔV (cm³)	100
ΔP _i (Kg/cm²)	0,234531		

* Deneş sonuçlarımız laboratuvarımızın yazdı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
* ZEMAR hologramları olmayan deneş sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Deneş Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

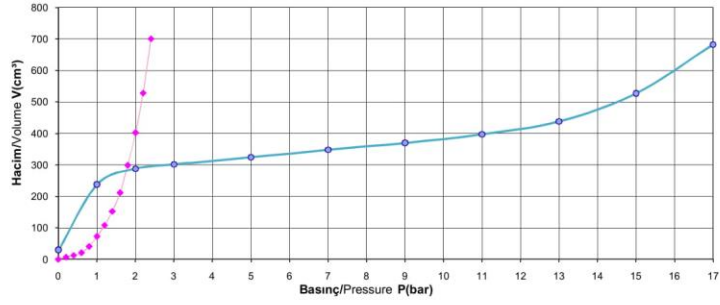
hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol. Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-6	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-1	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Denei Der./Test Depth (m)	14,00-16,00	Denei Tarihi/Date of Test	05.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Denei Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	30
1	1,00	238
2	2,00	288
3	3,00	302
4	5,00	324
5	7,00	348
6	9,00	370
7	11,00	397
8	13,00	438
9	15,00	527
10	17,00	682
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basıncı/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	14,94
Net Limit Basıncı/Net Limit Pressure	P _L * (kg/cm²)	12,90
Elastisite Modülü / Pressure Modulus	Em(kg/cm²)	247,23

Pi (Kg/cm²)	2,04	Vi (cm³)	288
Pf (Kg/cm²)	11,22	Vf (cm³)	397
ΔP(Kg/cm²)	9,18	ΔV(cm³)	109
ΔPi(Kg/cm²)	0,234531		

Deney sonuçlarımız laboratuvarımızın yazılı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
ZEMAR hologramları olmayan deney sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Denei Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

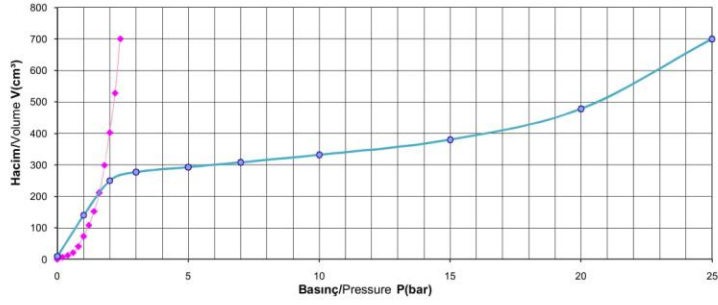
hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol. Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-7	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-1	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Dene Der./Test Depth (m)	16,00-18,00	Dene Tarihi/Date of Test	05.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Dene Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	10
1	1,00	140
2	2,00	250
3	3,00	277
4	5,00	293
5	7,00	308
6	10,00	332
7	15,00	380
8	20,00	478
9	25,00	700
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basınç/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	23,06
Net Limit Basınç/Net Limit Pressure	P _L *	20,00
Elastisite Modülü / Pressure Modulus	Em(kg/cm²)	346,19

P _i (Kg/cm²)	3,06	V _i (cm³)	277
P _f (Kg/cm²)	15,30	V _f (cm³)	380
ΔP (Kg/cm²)	12,24	ΔV (cm³)	103
ΔP _i (Kg/cm²)	0,254925		

* Dene sonuçlarımız laboratuvarımızın yazdı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
* ZEMAR hologramları olmayan dene sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Dene Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

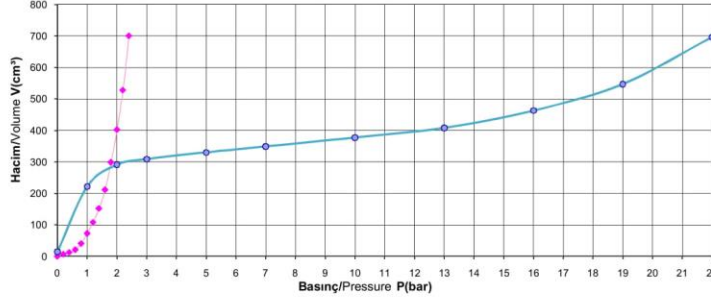
hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol. Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-8	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-1	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Denei Der./Test Depth (m)	18,00-20,00	Denei Tarihi/Date of Test	05.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Denei Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	15
1	1,00	222
2	2,00	291
3	3,00	309
4	5,00	330
5	7,00	349
6	10,00	377
7	13,00	408
8	16,00	463
9	19,00	547
10	22,00	696
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basınç/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	20,00
Net Limit Basınç/Net Limit Pressure	P _L * (kg/cm²)	16,93
Elastisite Modülü / Pressure Modulus	Em(kg/cm²)	308,15

Pi (Kg/cm²)	3,06	Vi (cm³)	309
Pf (Kg/cm²)	13,26	Vf (cm³)	408
ΔP(Kg/cm²)	10,20	ΔV(cm³)	99
ΔPi(Kg/cm²)	0,214137		

Deney sonuçlarımız laboratuvarımızın yazılı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
ZEMAR hologramları olmayan deney sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Denei Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

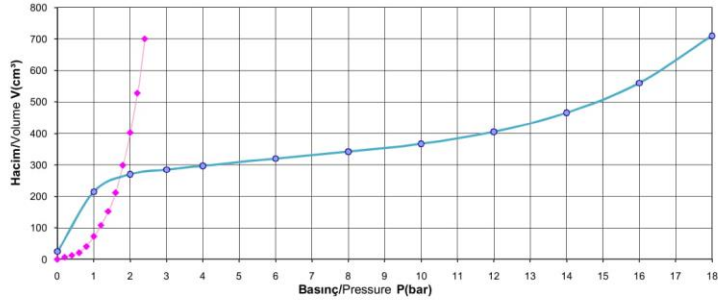
hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol. Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-9	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-1	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Dene Der./Test Depth (m)	20,00-22,00	Dene Tarihi/Date of Test	06.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Dene Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	25
1	1,00	215
2	2,00	270
3	3,00	285
4	4,00	297
5	6,00	320
6	8,00	342
7	10,00	367
8	12,00	405
9	14,00	465
10	16,00	560
11	18,00	710
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basınç/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	15,70
Net Limit Basınç/Net Limit Pressure (kg/cm²)	P _L *	13,66
Elastisite Modülü / Pressure Modulus Em(kg/cm²)		240,30

P _i (Kg/cm²)	2,04	V _i (cm³)	270
P _f (Kg/cm²)	10,20	V _f (cm³)	367
ΔP (Kg/cm²)	8,16	ΔV (cm³)	97
ΔP _i (Kg/cm²)	0,254925		

* Dene sonuçlarımız laboratuvarımızın yazdı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
* ZEMAR hologramları olmayan dene sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Dene Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

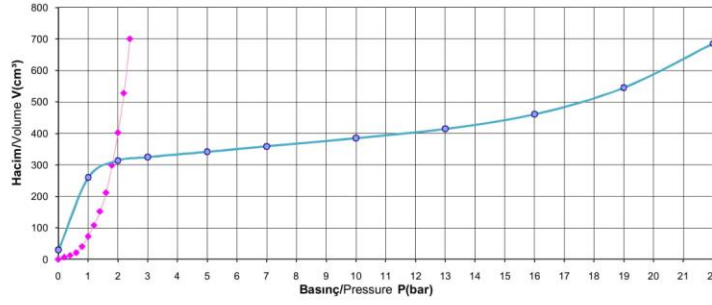
hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol. Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-10	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-1	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Denei Der./Test Depth (m)	22,00-24,00	Denei Tarihi/Date of Test	07.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Denei Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	30
1	1,00	260
2	2,00	314
3	3,00	325
4	5,00	342
5	7,00	359
6	10,00	385
7	13,00	415
8	16,00	461
9	19,00	545
10	22,00	685
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basıncı/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	20,09
Net Limit Basıncı/Net Limit Pressure	P _L * (kg/cm²)	18,05
Elastisite Modülü / Pressure Modulus	Em(kg/cm²)	334,33

Pi (Kg/cm²)	2,04	Vi (cm³)	314
Pf (Kg/cm²)	13,26	Vf (cm³)	415
ΔP(Kg/cm²)	11,22	ΔV(cm³)	101
ΔPi(Kg/cm²)	0,224334		

Deney sonuçlarımız laboratuvarımızın yazılı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
ZEMAR hologramları olmayan deney sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Denei Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

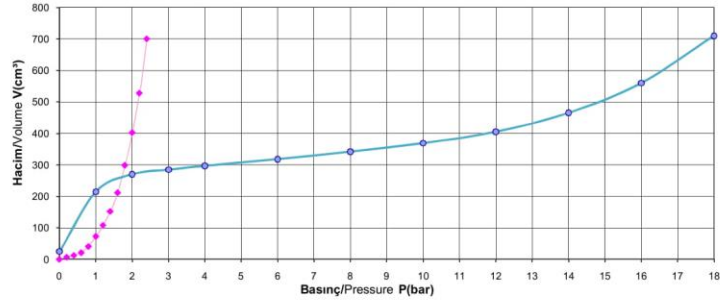
hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol. Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-11	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-1	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Dene Der./Test Depth (m)	24,00-26,00	Dene Tarihi/Date of Test	08.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Dene Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	25
1	1,00	215
2	2,00	270
3	3,00	285
4	4,00	297
5	6,00	318
6	8,00	342
7	10,00	369
8	12,00	405
9	14,00	465
10	16,00	560
11	18,00	710
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basınç/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	15,70
Net Limit Basınç/Net Limit Pressure (kg/cm²)	P _L *	13,66
Elastisite Modülü / Pressure Modulus Em(kg/cm²)		236,87

P _i (Kg/cm²)	2,04	V _i (cm³)	270
P _f (Kg/cm²)	10,20	V _f (cm³)	369
ΔP (Kg/cm²)	8,16	ΔV (cm³)	99
ΔP _i (Kg/cm²)	0,214137		

* Dene sonuçlarımız laboratuvarımızın yazdı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
* ZEMAR hologramları olmayan dene sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Dene Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

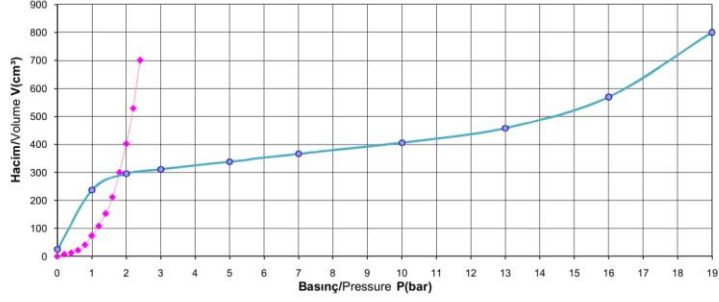
hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI PROJESİ	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol. Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-12	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-1	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Deney Der./Test Depth (m)	29,00-31,00	Deney Tarihi/Date of Test	08.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Deney Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	25
1	1,00	237
2	2,00	295
3	3,00	311
4	5,00	338
5	7,00	366
6	10,00	406
7	13,00	458
8	16,00	569
9	19,00	800
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basıncı/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	16,93
Net Limit Basıncı/Net Limit Pressure	P _L * (kg/cm²)	14,89
Elastisite Modülü / Pressure Modulus	Em(kg/cm²)	207,57

Pi (Kg/cm²)	2,04	Vi (cm³)	295
Pf (Kg/cm²)	13,26	Vf (cm³)	458
ΔP(Kg/cm²)	11,22	ΔV(cm³)	163
ΔPi(Kg/cm²)	0,316107		

Deney sonuçlarımız laboratuvarımızın yazılı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
ZEMAR hologramları olmayan deney sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Deneyi Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

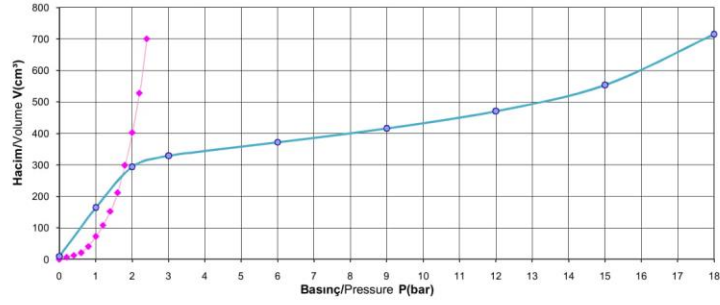
hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol. Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-13	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-2	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Deney Der./Test Depth (m)	12,00-14,00	Deney Tarihi/Date of Test	12.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Deney Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	10
1	1,00	165
2	2,00	294
3	3,00	329
4	6,00	372
5	9,00	416
6	12,00	471
7	15,00	554
8	18,00	715
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basınç/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	15,60
Net Limit Basınç/Net Limit Pressure (kg/cm²)	P _L *	12,54
Elastisite Modülü / Pressure Modulus Em(kg/cm²)		197,13

P _i (Kg/cm²)	3,06	V _i (cm³)	329
P _f (Kg/cm²)	12,24	V _f (cm³)	471
ΔP (Kg/cm²)	9,18	ΔV (cm³)	142
ΔP _i (Kg/cm²)	0,336501		

* Deney sonuçlarımız laboratuvarımızın yazdı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
* ZEMAR hologramları olmayan deney sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Deneyi Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

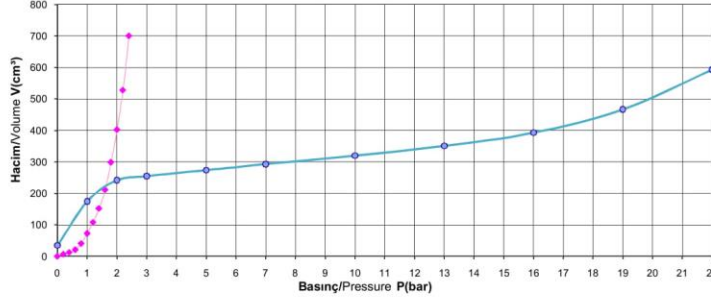
hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.

PRESİYOMETRE DENEY RAPORU / PRESSUREMETER TEST REPORT

Müşteri Adı/Client Name	AYSON GEOTEKNİK ve DENİZ A.Ş.	Presiyometre Tipi/Type of Pressuremeter	Menard GA
Proje Adı/Project Name	ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE (ÇEKMEKÖY) METRO İNŞAATI	Sıfır Vol.Okumasındaki Hacim Vo Zero Vol Reading Corresponds to Vo (cm³)	790
Proje No/Project Number	PT 12-30-14	Sonda Çapı/Diameter of Probe (mm)	74
Sondaj No/Bore Hole	SK-DUD-2	Membran Kalibrasyonu/Membrane Calibration (bar)	2,4
Denei Der./Test Depth (m)	14,00-16,00	Denei Tarihi/Date of Test	12.05.2012
		Rapor Tarihi/Date of Test Result	14.05.2012



Kademe Artışı Increment	Denei Basıncı Volumeter Pressure (bar)	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume (cm³)
1	2	3
0	0,00	35
1	1,00	175
2	2,00	242
3	3,00	255
4	5,00	274
5	7,00	293
6	10,00	320
7	13,00	351
8	16,00	393
9	19,00	467
10	22,00	593
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Limit Basıncı/Limit Pressure	P _L (kg/cm²)	22,23
Net Limit Basıncı/Net Limit Pressure	P _L * (kg/cm²)	20,19
Elastisite Modülü / Pressure Modulus	Em(kg/cm²)	291,27

Pi (Kg/cm²)	2,04	Vi (cm³)	242
Pf (Kg/cm²)	13,26	Vf (cm³)	351
ΔP(Kg/cm²)	11,22	ΔV(cm³)	109
ΔPi(Kg/cm²)	0,234531		

Deney sonuçlarımız laboratuvarımızın yazdıkları olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
The tests results can not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
ZEMAR hologramları olmayan deney sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a ZEMAR Hologram are invalid.

Denei Yapan / Tested By

İsmail DURNA
Jeoloji Mühendisi
Geological Eng.

hologram

Onaylayan / Approved By

Rıdvan DÜLGEROĞLU
Jeofizik Mühendisi
Geophysical Eng.



AYSON Geoteknik ve Deniz İnşaat A.Ş.

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi
Dudullu İstasyonu Zemin Araştırma Sondajları ve
Laboratuvar Deneyleri Geoteknik Veri Raporu

EK-E

LABORATUVAR DENEYLERİ

AYSON bir



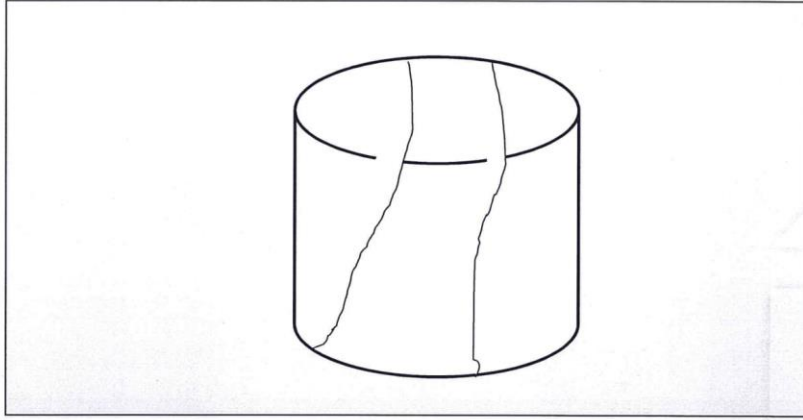
DOĞUŞ GRUBU kuruluşudur

KAYADA TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMI DENEY SONUÇLARI
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS TEST RESULTS

RAPOR NO: DR-22 (2/2)

Müşteri Adı Customer's Name	: DOĞUŞ İNŞAAT ve TİC.AŞ.	Num.Kabul Tarihi Date of Samp. Accept	: 23,05,2012
Num.Alındığı Yer Project/Location	: ÜSKÜDAR - ÇEKMEKÖY METRO İNŞAATI	Deney Tarihi Date of Test	: 28,05,2012
Sondaj-Num. No Boring/Sample No	: SK DUD-1	Deney Rapor Tarihi Date of Test Result	: 29,05,2012
Derinlik (m) Depth	: 27,00-35,00	Laboratuvar No Laboratory No	: 12-500ktek1

Numune Boyu Height of sample	12,20	(cm)	Yaş Numune Ağırlığı Weight of Sample	932,50	(g)
Numune Çapı Diameter of Sample	6,10	(cm)	Numune Hacmi Capacity of Sample	356,54	(cm ³)
Kesit Alanı Initial Area	29,22	(cm ²)	Doğal Birim Hacim Ağırlık Natural Unit Weight	25,66	(kN/m ³)
Yükleme Hızı Rate of Loading	0,48	(mm/min.)	Kırılma Yüğü Failure Load	168,07	kN
Yükleme Süresi Duration of Loading	5,00	min.	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Unconfined Compressive Strength	57510,45	kPa



* Deneyler ilgili firma tarafından laboratuvarımıza teslim edilen numuneler üzerinde yapılmıştır.
Tests were done from the samples that are delivered by the related firm.

* Bu deney ISRM 1981 standartlarına göre yapılmaktadır.
This test is being done according to the ISRM 1981 standards.

* Bu deney raporu Laboratuvarımızın yazılı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
This tests results must not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.

* SECURITY hologramları olmayan Deney Sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a SECURITY Hologram are invalid.

* T.C.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı logosu 26.07.2010 tarih ve 206 numaralı Laboratuvar İzin Belgesi kapsamında kullanılmaktadır.
The Logo of T.R. The Ministry of Public Works and Settlement is used by Laboratory Permission Certificate dated 26.07.2010 and numbered 206.

Deneyi Yapan
Tested By
Nalan AYDIN
Nalan AYDIN
Jeoloji Mühendisi



Onaylayan
Approved By
Nihat BASARIK
Nihat BASARIK
Denetçi Mühendis
Belge No: 16809

► Mahmut Şevketpaşa Mh. Ersan Sk. No: 22/A-B Şişli / İSTANBUL Tel. 0 212 237 38 39 Fax 0 212 238 16 43 www.zemartest.com.tr

ZEMİN MEKANİĞİ
Soil Mechanics

KAYA MEKANİĞİ - AGREGA
Rock Mechanics - Aggregate

YAPI MALZEMELERİ
Building Materials

ARAZİ DENEYLERİ
In-Situ Tests

ELASTİSİTE MODÜLÜ VE POISSON ORANI TAYİNİ DENEY SONUÇLARI DETERMINATION OF ELASTIC MODULES AND POISSON'S RATIO TEST RESULTS

Müşteri Adı Customer's Name	DOĞUŞ İNŞAAT ve TİC.AŞ.	Num. Kabul Tarihi Date of Samp. Accept	23,05,2012
Num. Alındığı Yer Project/Location	ÜSKÜDAR - ÇEKMEKÖY METRO İNŞAATI DUDUL İSTASYONU	Deneysel Tarihi Date of Test	28,05,2012
Sondaj Num. No Boring/Sample No	SK DUD-1	Deneysel Rapor Tarihi Date of Test Result	29,05,2012
Derinlik (m) Depth	27,00-35,00	Laboratuvar No Laboratory No	12-500elasp01

RAPOR NO: DR-22 (1/2)

Numune Çapı Diameter of Sample	61 (mm)	Kesit Alanı Cross Sectional	29,22 cm ²
Numune Boyu Length of Sample	122 (mm)	Numune Hacmi Volume of Sample	356,54 cm ³
Numune Ağırlığı Weight of Sample	932,5 (g)	Yükleme Hızı Rate of Loading	0,48 (mm/min.)

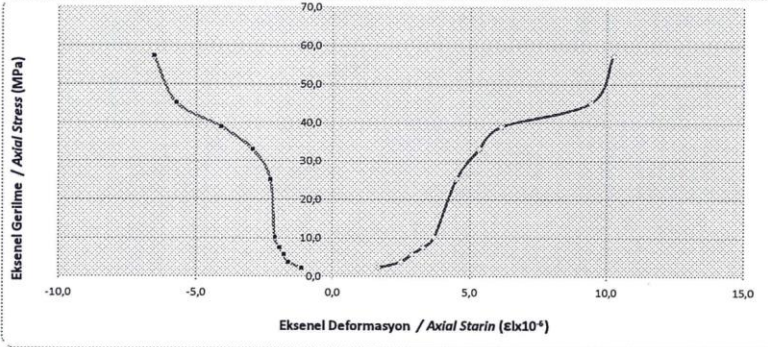
Eksenel Yük Axial Load (kN)	Eksenel Gerilme Axial Stress (Mpa)	Eksenel Birim Deform. Axial Strain (Etx10 ⁻⁴)	Çapal Deformasyon Lateral Strain (Edx10 ⁻⁴)
6,72	2,30	1,64	-1,15
11,08	3,79	2,46	-1,64
16,97	5,81	2,87	-1,80
22,16	7,58	3,28	-1,97
29,85	10,21	3,69	-2,13
74,06	25,34	4,51	-2,30
96,89	33,15	5,33	-2,95
113,96	38,99	6,15	-4,10
132,30	45,27	9,43	-5,74
168,07	57,51	10,25	-6,56

Elastisite Modülü
Elastic Modules

14,44 GPa

Poisson Oranı
Poisson's Ratio

0,27



- * Deneyler ilgili firma tarafından laboratuvarımıza teslim edilen numuneler üzerinde yapılmıştır.
Tests were done from the samples that are delivered by the related firm.
- * Bu deney ISRM 1981 standartlarına göre yapılmaktadır.
This test is being done according to the ISRM 1981 standards.
- * Bu deney raporu Laboratuvarımızın yazılı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
This test results must not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
- * SECURITY hologramları olmayan Deney Sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a SECURITY Hologram are invalid.
- * T.C.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı logosu 26.07.2010 tarih ve 206 numaralı Laboratuvar İzin Belgesi kapsamında kullanılmaktadır.
T.C.Department of State sign used by 26.07.2010 and 206 number of Laboratory permission.

Deneyi Yapan
Tarih: 28.05.2012
NARİN AYDIN
Jeoloji Mühendisi
Mahmut Sevketpaşa Mh. Ersan Sk. No: 22/A-B Şişli / İSTANBUL Tel. 0 212 237 38 39 Fax 0 212 238 16 43 www.zemartest.com.tr



Nihat BAŞARIK
Deneyçi / Kontrolör
Belge No: 6809

ZEMİN MEKANİĞİ
Soil Mechanics

KAYA MEKANİĞİ - AGREGA
Rock Mechanics - Aggregate

YAPILMALZEMELERİ
Building Materials

ARAZİ DENEYLERİ
In-Situ Tests

NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİ DENEY SONUCU
POINT LOAD STRENGTH INDEX TEST RESULT

RAPOR NO: DR-17

Müşteri Adı Customer's Name	DOĞUŞ İNŞAAT ve TİC.AŞ.	Num. Kabul Tarihi Date of Samp. Accept	23,05,2012
Num. Alındığı Yer Project/Location	ÜSKÜDAR - ÇEKMEKÖY METRO İNŞAATI DUDUL İSTASYONU	Deney Tarihi Date of Test	24,05,2012
Sondaj-Num. No Boring/Sample No	SK DUD-1	Deney Rapor Tarihi Date of Test Result	29,05,2012
Derinlik (m) Depth	27,00-35,00	Laboratuvar No Laboratory No	12-500ny1

Örnek No Sample No	Deney Türü Type of Test	Genişlik Width W (mm)	Çap Diameter D (mm)	Yenilme Yüğü Failure Load p (kN)	Karot Çapı Equiv. Core Diam. D (mm)	D_s^2 mm ²	$I_s = (P \cdot 10^3) / D_s^2$ (MPa)	F	$I_{s(50)}$ (MPa)
1	d		56	16,0					5,10
2	d		56	20,0					6,38
3	d		56	15,0					4,78
4	d		56	10,0					3,19
5	d		56	14,0					4,46
6	d		25	5,0					8,00
7	d		-	-					-
8	d		-	-					-
9	d		-	-					-
10	d		-	-					-
I_{s50} (Ort.) Mpa									5,32

i	Düzensiz Şekli Örnek Deneyi Irregular Lump Test
a	Eksenel Deney Axial Test

d	Çapsal Deney Diameter Test
b	Blok Deney Block Test

- * Deneyler ilgili firma tarafından laboratuvarımıza teslim edilen numuneler üzerinde yapılmıştır.
Tests were done from the samples that are delivered by the related firm.
- * Bu deney ISRM 1985 standartlarına göre yapılmaktadır.
This test is being done according to the ISRM 1985 standards.
- * Bu deney raporu Laboratuvarımızın yazılı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
This test results must not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.
- * SECURITY hologramları olmayan Deney Sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a SECURITY Hologram are invalid.
- * T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı logosu 26.07.2010 tarih ve 206 numaralı Laboratuvar İzin Belgesi kapsamında kullanılmaktadır.
T.C. Department of State sign used by 26.07.2010 and 206 number of Laboratory permission notes.

Deneyi Yapan
Tested By

Nalan AYDIN
Jeoloji Mühendisi



Onaylayan
Approved By

Nihat BASARIK
Denetçi Mühendis
Belge No: 6809

Mahmut Şevketpaşa Mh. Ersan Sk. No: 22/A-B Şişli / İSTANBUL Tel. 0 212 237 38 39 Fax 0 212 238 16 43 www.zemartest.com.tr

ZEMİN MEKANİĞİ
Soil Mechanics

KAYA MEKANİĞİ - AGREGA
Rock Mechanics - Aggregate

YAPI MALZEMELERİ
Building Materials

ARAZİ DENEYLERİ
In-Situ Tests

DUDULLU İSTASYONU SONDAJ KAROTLARI DENEY TAKİP ÇİZELGESİ																					
Kullanılan Standartlar:		Eleak Analizi (ASTM D422)										Atterberg (ASTM D4318)			Zemin Sınıfı	ASTM C127-128		ASTM C131	ASTM D 2166 ve ASTM C42		ISRM 1978 Tek Eksenli Basınç dayanımına göre Kayaç Sınıflandırması
Kuyu no	Derinlik	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No:4	No:10	No:40	No:200	Likit Limit	Plastik Limit	PI	TS 1900	Örgül Ağırlık (g/cm ³)	Abs (%)	L.A. Aşınma (%)	Tek Eksenli Basınç (Mpa)			
		50,8 mm	38,1mm	25 mm	19 mm	9,5 mm	4,75mm	2mm	0,425mm	0,075mm											
SK-DUD 01	0,0-11,0	100	100	90,5	72,8	62,1	58,6	55,8	51,6	36,0	31,8	20,5	11,3	GC (İnce taneler orta plastik(CLI))	..	..	..	..	..		
	11,0-13,0	100	100	94,5	94,5	90,3	84,1	76,9	70,1	56,2	32,3	17,8	14,6	CL	..	..	..	..	..		
	14,0-21,0	100	100	100	92,1	90,0	87,4	84,4	80,6	74,7	38,8	18,1	20,7	CL	..	..	..	..	..		
	21,0-25,0	100	100	100	100	100	99,3	98,0	95,0	89,7	40,8	25,4	15,4	CL	..	..	..	..	..		
	25,0-35,0	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..		2,656	1,3	26,4	31,0-48,1	Orta-düşük dayanımlı Orta	
SK-DUD 02	5,0-11,0	100	100	100	100	87,0	81,0	74,7	67,3	54,2	38,8	25,4	13,5	CL	..	..	..	..	..		
	11,0-33,0	100	100	100	100	98,5	96,7	94,8	92,4	88,4	48,9	23,0	26,0	CL	..	..	..	..	..		
	33,0-35,0	100	100	100	100	100	99,9	99,5	98,6	96,1	37,4	19,8	17,7	CL	..	..	..	..	..		

Numune cinsi / Yeri : SK-DUD-01 (0,0 - 11,0)

Tarih : 19.05.2012

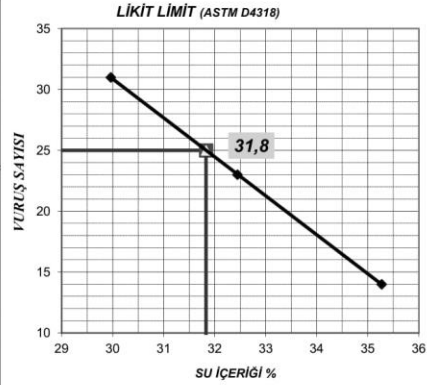
Lab No : 001

Num. Alındığı Tarih : 18.05.2012

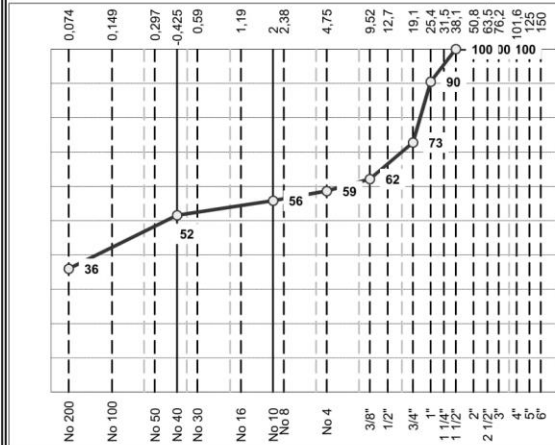
Evrak Kayıt No

LİKİT LİMİT ve PLASTİK LİMİTLERİ (ASTM D 4318)

Deney Tipi LL/PL	Likit Limit	Plastik Limit
Kap No	26 22 98	12 2
Vuruş sayısı	31 23 14	
Kap+Yaş Numune (g)	A 44,2 39,6 42,1	21,2 21,5
Kap+Kuru Numune (g)	B 36,2 32,3 33,6	19,3 19,4
Kap Ağırlığı (g)	C 9,5 9,8 9,5	9,7 9,5
Su (A-B) (g)	D 8,0 7,3 8,5	1,9 2,1
Kuru Numune (B-C) (g)	E 26,7 22,5 24,1	9,6 9,9
% Su İçeriği (D/E)*100	30,0 32,4 35,3	19,8 21,2
LL= 31,8 PL= 20,5 PI= 11,3		



TANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMI (ELEK ANALİZİ) ASTM D 422



ELEK		No: 001		
İnç	mm	K. Kalan (g)	kalan %	Geçen %
3"	76,2	0,0	0,0	100,0
2"	50,8	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	100,0
1"	25,4	68,4	9,5	90,5
3/4"	19,1	195,8	27,2	72,8
3/8"	9,52	272,4	37,9	62,1
No 4	4,75	297,6	41,4	58,6
No 10	2	317,8	44,2	55,8
No 40	0,425	348,2	48,4	51,6
No 200	0,074	460,4	64,0	36,0
Toplam		719,1		
Kuru ağırlık		719,1		
Yıkanmış kuru ağırl.		460,4		
No 200 Geçen %				36,0

Zemin Sınıfı: GC (İnce taneler orta plastik - CL)

Numune cinsi / Yeri : SK-DUD-01 (11,0-13,0) m

Tarih : 19.05.2012

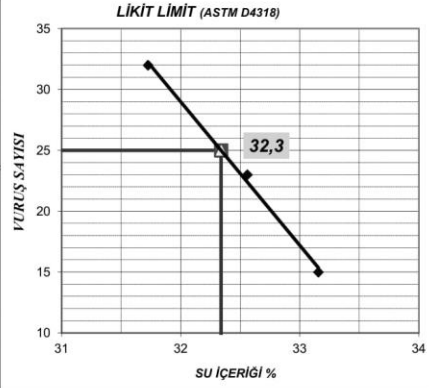
Num. Alındığı Tarih : 18.05.2012

Lab No : 002

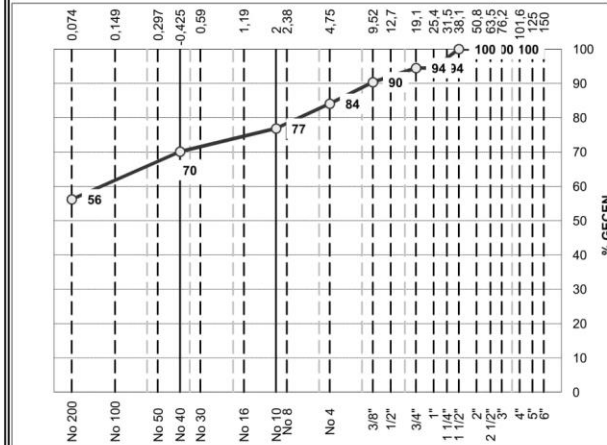
Evrak Kayıt No

LİKİT LİMİT ve PLASTİK LİMİTLERİ (ASTM D 4318)

Deney Tipi LL/PL	Likit Limit	Plastik Limit
Kap No	157 153 154	151 35
Vuruş sayısı	32 23 15	
Kap+Yaş Numune (g)	A 49,7 40,0 39,7	21,4 20,8
Kap+Kuru Numune (g)	B 40,0 32,6 32,2	19,6 19,1
Kap Ağırlığı (g)	C 9,3 9,7 9,7	9,4 9,6
Su (A-B) (g)	D 9,7 7,4 7,5	1,8 1,7
Kuru Numune (B-C) (g)	E 30,7 22,8 22,5	10,2 9,5
% Su İçeriği (D/E)*100	31,7 32,6 33,2	17,6 17,9
LL= 32,3 PL= 17,8 PI= 14,6		



TANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMI (ELEK ANALİZİ) ASTM D 422



ELEK		No: 002		
İnç	mm	K. Kalan (g)	kalan %	Geçen %
3"	76,2	0,0	0,0	100,0
2"	50,8	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	100,0
1"	25,4	26,2	5,5	94,5
3/4"	19,1	26,2	5,5	94,5
3/8"	9,52	45,8	9,7	90,3
No 4	4,75	75,5	15,9	84,1
No 10	2	109,7	23,1	76,9
No 40	0,425	141,7	29,9	70,1
No 200	0,074	207,6	43,8	56,2
Toplam		474,0		
Kuru ağırlık		474,0		
Yıkanmış kuru ağırlık		207,6		
No 200 Geçen %				56,2

Zemin Sınıfı: CL

Numune cinsi / Yeri : SK-DUD-01 (14,0 - 21,0)

Tarih : 19.05.2012

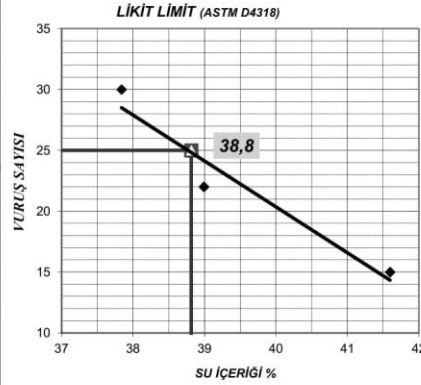
Lab No : 003

Num. Alındığı Tarih : 18.05.2012

Evrak Kayıt No

LİKİT LİMİT ve PLASTİK LİMİTLERİ (ASTM D 4318)

Deney Tipi LL/PL	Likit Limit	Plastik Limit
Kap No	24 32 46	159 17
Vuruş sayısı	30 22 15	
Kap+Yaş Numune (g)	A 35,2 39,5 43,2	18,0 19,5
Kap+Kuru Numune (g)	B 28,2 31,0 33,3	16,7 18,0
Kap Ağırlığı (g)	C 9,7 9,2 9,5	9,6 9,6
Su (A-B) (g)	D 7,0 8,5 9,9	1,3 1,5
Kuru Numune (B-C) (g)	E 18,5 21,8 23,8	7,1 8,4
% Su İçeriği (D/E)*100	37,8 39,0 41,6	18,3 17,9
LL= 38,8 PL= 18,1 PI= 20,7		



TANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMI (ELEK ANALİZİ) ASTM D 422

ELEK		No: 003		
İnç	mm	K. Kalan (g)	kalan %	Geçen %
3"	76,2	0,0	0,0	100,0
2"	50,8	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	100,0
1"	25,4	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,1	50,1	7,9	92,1
3/8"	9,52	63,5	10,0	90,0
No 4	4,75	80,1	12,6	87,4
No 10	2	99,5	15,6	84,4
No 40	0,425	123,9	19,4	80,6
No 200	0,074	161,5	25,3	74,7
Toplam		638,0		
Kuru ağırlık		638,0		
Yıkanmış kuru ağırlık		161,5		
No 200 Geçen %				74,7

Zemin Sınıfı: CL

Numune cinsi / Yeri : SK-DUD-01 (21,0 - 25,0)

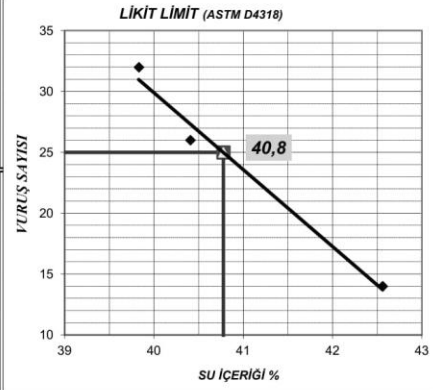
Tarih : 19.05.2012

Lab No : 004

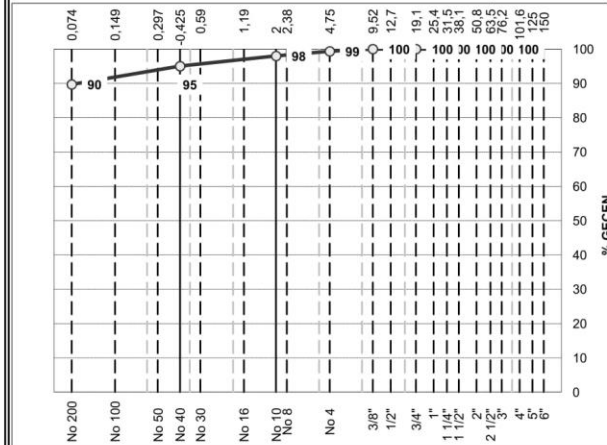
Num. Alındığı Tarih : 18.05.2012

Evrak Kayıt No

LİKİT LİMİT ve PLASTİK LİMİTLERİ (ASTM D 4318)					
Deney Tipi LL/PL	Likit Limit			Plastik Limit	
Kap No	18	26	31	33	36
Vuruş sayısı	32	26	14		
Kap+Yaş Numune (g)	A	42,3	43,9	50,6	35,3
Kap+Kuru Numune (g)	B	32,9	34,0	38,3	30,1
Kap Ağırlığı (g)	C	9,3	9,5	9,4	9,5
Su (A-B) (g)	D	9,4	9,9	12,3	5,2
Kuru Numune (B-C) (g)	E	23,6	24,5	28,9	20,6
% Su İçeriği (D/E)*100		39,8	40,4	42,6	25,2
LL= 40,8 PL= 25,4 PI= 15,4					



TANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMI (ELEK ANALİZİ) ASTM D 422



ELEK		No: 004		
İnç	mm	K. Kalan (g)	kalan %	Geçen %
3"	76,2	0,0	0,0	100,0
2"	50,8	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	100,0
1"	25,4	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,1	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,52	0,0	0,0	100,0
No 4	4,75	3,5	0,7	99,3
No 10	2	10,8	2,0	98,0
No 40	0,425	26,7	5,0	95,0
No 200	0,074	55,2	10,3	89,7
Toplam		536,0		
Kuru ağırlık		536,0		
Yıkanmış kuru ağırlık		55,2		
No 200 Geçen %				89,7

Zemin Sınıfı: CL

Numune cinsi / Yeri : SK-DUD-02 (5,0 - 11,0)

Tarih : 19.05.2012

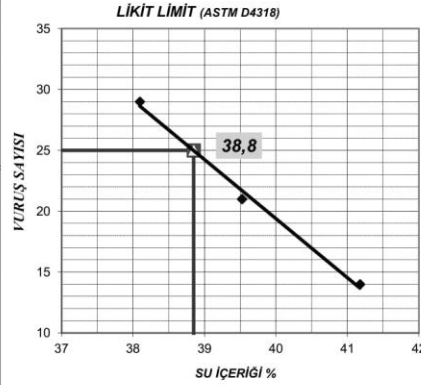
Lab No : 005

Num. Alındığı Tarih : 18.05.2012

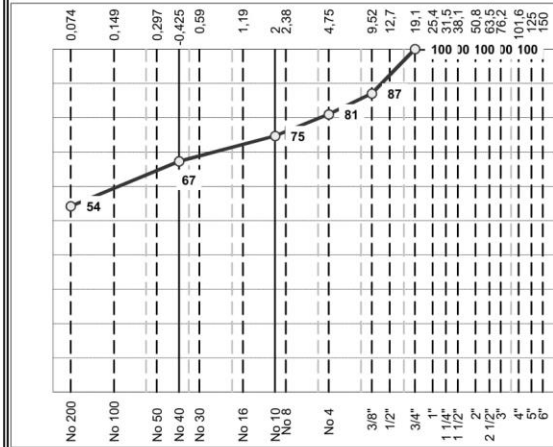
Evrak Kayıt No

LİKİT LİMİT ve PLASTİK LİMİTLERİ (ASTM D 4318)

Deney Tipi LL/PL	Likit Limit	Plastik Limit
Kap No	81 144 155	4 27
Vuruş sayısı	29 21 14	
Kap+Yaş Numune (g)	A 38,5 38,7 43,3	21,8 21,1
Kap+Kuru Numune (g)	B 30,5 30,4 33,5	19,3 18,8
Kap Ağırlığı (g)	C 9,5 9,4 9,7	9,5 9,7
Su (A-B) (g)	D 8,0 8,3 9,8	2,5 2,3
Kuru Numune (B-C) (g)	E 21,0 21,0 23,8	9,8 9,1
% Su İçeriği (D/E)*100	38,1 39,5 41,2	25,5 25,3
LL= 38,8 PL= 25,4 PI= 13,5		



TANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMI (ELEK ANALİZİ) ASTM D 422



ELEK		No: 005		
İnç	mm	K. Kalan (g)	kalan %	Geçen %
3"	76,2	0,0	0,0	100,0
2"	50,8	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	100,0
1"	25,4	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,1	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,52	56,4	13,0	87,0
No 4	4,75	82,8	19,0	81,0
No 10	2	110,2	25,3	74,7
No 40	0,425	142,3	32,7	67,3
No 200	0,074	199,2	45,8	54,2
Toplam		435,0		
Kuru ağırlık		435,0		
Yıkanmış kuru ağırl.		199,2		
No 200 Geçen %			54,2	

Zemin Sınıfı: CL

Numune cinsi / Yeri : SK-DUD-02 (11,0 - 33,0)

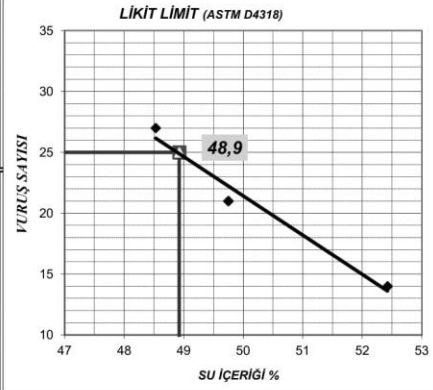
Tarih : 19.05.2012

Num. Alındığı Tarih : 18.05.2012

Lab No : 006

Evrak Kayıt No

LİKİT LİMİT ve PLASTİK LİMİTLERİ (ASTM D 4318)					
Deney Tipi LL/PL	Likit Limit			Plastik Limit	
Kap No	106	109	152	10	6
Vuruş sayısı	27	21	14		
Kap+Yaş Numune (g)	A	40,0	39,5	44,0	23,5
Kap+Kuru Numune (g)	B	30,1	29,6	32,1	20,9
Kap Ağırlığı (g)	C	9,7	9,7	9,4	9,7
Su (A-B) (g)	D	9,9	9,9	11,9	2,6
Kuru Numune (B-C) (g)	E	20,4	19,9	22,7	11,2
% Su İçeriği (D/E)*100	48,5	49,7	52,4	23,2	22,7
LL= 48,9 PL= 23,0 PI= 26,0					



TANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMI (ELEK ANALİZİ) ASTM D 422

ELEK		No: 006		
İnç	mm	K. Kalan (g)	kalan %	Geçen %
3"	76,2	0,0	0,0	100,0
2"	50,8	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	100,0
1"	25,4	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,1	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,52	13,5	1,5	98,5
No 4	4,75	30,0	3,3	96,7
No 10	2	46,3	5,2	94,8
No 40	0,425	68,6	7,6	92,4
No 200	0,074	104,4	11,6	88,4
Toplam		898,0		
Kuru ağırlık		898,0		
Yıkanmış kuru ağırlık		104,4		
No 200 Geçen %				88,4

Zemin Sınıfı: CL

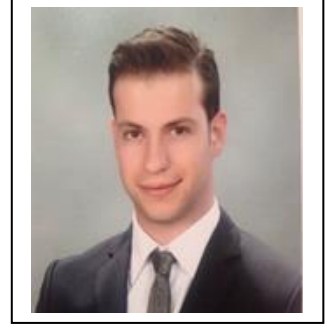
 İNŞAAT ve TİCARET A.Ş.	İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ ULAŞIM DAİRE BAŞKANLIĞI RAYLI SİSTEM MÜDÜRLÜĞÜ	ÜSKÜDAR-UMRANIYE ÇEKMEKÖY METROSU İNŞAATI ve ELEKTROMEKANİK İŞLERİ PROJESİ																																																																
Numune cinsi / Yeri : SK-DUD-02 (33,0 - 35,0) Tarih : 19.05.2012 Num. Alındığı Tarih : 18.05.2012 Lab No : 007 Evrak Kayıt No																																																																		
<table border="1" style="width:45%; border-collapse: collapse; font-size: 0.8em;"> <caption>LİKİT LİMİT ve PLASTİK LİMİTLERİ (ASTM D 4318)</caption> <thead> <tr> <th>Deney Tipi LL/PL</th> <th colspan="3">Likit Limit</th> <th colspan="2">Plastik Limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Kap No</td> <td>134</td> <td>161</td> <td>163</td> <td>111</td> <td>156</td> </tr> <tr> <td>Vuruş sayısı</td> <td>41</td> <td>26</td> <td>17</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kap+Yaş Numune (g)</td> <td>A</td> <td>41,3</td> <td>36,4</td> <td>40,2</td> <td>39,2</td> </tr> <tr> <td>Kap+Kuru Numune (g)</td> <td>B</td> <td>33,2</td> <td>29,2</td> <td>31,5</td> <td>34,3</td> </tr> <tr> <td>Kap Ağırlığı (g)</td> <td>C</td> <td>9,6</td> <td>9,7</td> <td>9,3</td> <td>9,8</td> </tr> <tr> <td>Su (A-B) (g)</td> <td>D</td> <td>8,1</td> <td>7,2</td> <td>8,7</td> <td>4,9</td> </tr> <tr> <td>Kuru Numune (B-C) (g)</td> <td>E</td> <td>23,6</td> <td>19,5</td> <td>22,2</td> <td>25,3</td> </tr> <tr> <td>% Su İçeriği (D/E)*100</td> <td></td> <td>34,3</td> <td>36,9</td> <td>39,2</td> <td>19,8</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;"> LL= 37,4 PL= 19,8 PI= 17,7 </td> </tr> </tbody> </table>			Deney Tipi LL/PL	Likit Limit			Plastik Limit		Kap No	134	161	163	111	156	Vuruş sayısı	41	26	17			Kap+Yaş Numune (g)	A	41,3	36,4	40,2	39,2	Kap+Kuru Numune (g)	B	33,2	29,2	31,5	34,3	Kap Ağırlığı (g)	C	9,6	9,7	9,3	9,8	Su (A-B) (g)	D	8,1	7,2	8,7	4,9	Kuru Numune (B-C) (g)	E	23,6	19,5	22,2	25,3	% Su İçeriği (D/E)*100		34,3	36,9	39,2	19,8	LL= 37,4 PL= 19,8 PI= 17,7									
Deney Tipi LL/PL	Likit Limit			Plastik Limit																																																														
Kap No	134	161	163	111	156																																																													
Vuruş sayısı	41	26	17																																																															
Kap+Yaş Numune (g)	A	41,3	36,4	40,2	39,2																																																													
Kap+Kuru Numune (g)	B	33,2	29,2	31,5	34,3																																																													
Kap Ağırlığı (g)	C	9,6	9,7	9,3	9,8																																																													
Su (A-B) (g)	D	8,1	7,2	8,7	4,9																																																													
Kuru Numune (B-C) (g)	E	23,6	19,5	22,2	25,3																																																													
% Su İçeriği (D/E)*100		34,3	36,9	39,2	19,8																																																													
LL= 37,4 PL= 19,8 PI= 17,7																																																																		
<table border="1" style="width:45%; border-collapse: collapse; font-size: 0.8em;"> <caption>TANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMI (ELEK ANALİZİ) ASTM D 422</caption> <thead> <tr> <th colspan="2">ELEK</th> <th colspan="2">No: 007</th> </tr> <tr> <th>İnç</th> <th>mm</th> <th>K. Kalan (g)</th> <th>Geçen %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3"</td><td>76,2</td><td>0,0</td><td>100,0</td></tr> <tr><td>2"</td><td>50,8</td><td>0,0</td><td>100,0</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>38,1</td><td>0,0</td><td>100,0</td></tr> <tr><td>1"</td><td>25,4</td><td>0,0</td><td>100,0</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19,1</td><td>0,0</td><td>100,0</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9,52</td><td>0,0</td><td>100,0</td></tr> <tr><td>No 4</td><td>4,75</td><td>0,6</td><td>99,9</td></tr> <tr><td>No 10</td><td>2</td><td>2,8</td><td>99,5</td></tr> <tr><td>No 40</td><td>0,425</td><td>7,5</td><td>98,6</td></tr> <tr><td>No 200</td><td>0,074</td><td>21,4</td><td>96,1</td></tr> <tr><td colspan="2">Toplam</td><td>547,7</td><td></td></tr> <tr><td colspan="2">Kuru ağırlık</td><td>547,7</td><td></td></tr> <tr><td colspan="2">Yıkanmış kuru ağırl.</td><td>21,4</td><td></td></tr> <tr><td colspan="2">No 200 Geçen %</td><td>96,1</td><td></td></tr> </tbody> </table>			ELEK		No: 007		İnç	mm	K. Kalan (g)	Geçen %	3"	76,2	0,0	100,0	2"	50,8	0,0	100,0	1 1/2"	38,1	0,0	100,0	1"	25,4	0,0	100,0	3/4"	19,1	0,0	100,0	3/8"	9,52	0,0	100,0	No 4	4,75	0,6	99,9	No 10	2	2,8	99,5	No 40	0,425	7,5	98,6	No 200	0,074	21,4	96,1	Toplam		547,7		Kuru ağırlık		547,7		Yıkanmış kuru ağırl.		21,4		No 200 Geçen %		96,1	
ELEK		No: 007																																																																
İnç	mm	K. Kalan (g)	Geçen %																																																															
3"	76,2	0,0	100,0																																																															
2"	50,8	0,0	100,0																																																															
1 1/2"	38,1	0,0	100,0																																																															
1"	25,4	0,0	100,0																																																															
3/4"	19,1	0,0	100,0																																																															
3/8"	9,52	0,0	100,0																																																															
No 4	4,75	0,6	99,9																																																															
No 10	2	2,8	99,5																																																															
No 40	0,425	7,5	98,6																																																															
No 200	0,074	21,4	96,1																																																															
Toplam		547,7																																																																
Kuru ağırlık		547,7																																																																
Yıkanmış kuru ağırl.		21,4																																																																
No 200 Geçen %		96,1																																																																
Zemin Sınıfı: CL																																																																		

		T.C. İSTANBUL BÜYÜK ŞEHİR BELEDİYESİ ULAŞIM DAİRE BAŞKANLIĞI RAYLI SİSTEMLER MÜDÜRLÜĞÜ								ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE- ÇEKMEKÖY METRO İNŞAATI ve ELEKTROMEKANİK İŞLER PROJESİ			
		İNŞAAT ve TİCARET A.Ş.											
AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ ASTM C-127 / ASTM C-128													
Num. Alındığı Tarih : 18.05.2012 Tarih : 19.05.2012													
Numune cinsi / Yeri : Dudullu İstasyonu SK-DUD-01 (25,00 - 35,00) Laboratuvar No : 001													
Numuneyi Alan													
Deneyi Yapan : Ü.YETER													
KUM ÖZGÜL AĞIRLIK ve SU EMME DENEYİ ASTM C-128													
	DKY Ağırlık A(g)	Kap+Num. + Su A. B(g)	Kap+ Su Ağ C(g)	Numune Hacmi (A+C-B)	DKY Özgül A. A/(A+C-B)	Kuru Ağırlık D(g)	Zahiri Hacim (C+D-B)	Emilen Su (%)	Zahiri Öz.Ağırlık D/(C+D-B)	Kuru Öz. Ağırlık D/(A+C-B)	DKY Özgül Ağ.Ort.	Abs. %	
ÇAKIL ÖZGÜL AĞIRLIK ve SU EMME DENEYİ													
ASTM C-127													
	DKY Ağırlık A(g)	Su İçinde Ağırlığı B(g)	Hacim (A-B)	DKY Özgül A. A/A-B	Kuru Ağırlık C(g)	Emilen Su A-C/Cx100	Zahiri Hacim (C-B)	Kuru Öz.Ağ. C/(A-B)	Zahiri Öz.Ağırlık C/(C-B)	DKY Özgül Ağ.Ort.	Abs. %		
SK-DUD-1 (25-35)	2696,0	1682,2	1013,8	2,659	2665,0	1,2	982,8	2,629	2,712	2,656	1,3		
	2222,3	1384,7	837,6	2,653	2191,8	1,4	807,1	2,617	2,716				
ASTM C-127													
	DKY Ağırlık A(g)	Su İçinde Ağırlığı B(g)	Hacim (A-B)	DKY Özgül A. A/A-B	Kuru Ağırlık C(g)	Emilen Su A-C/Cx100	Zahiri Hacim (C-B)	Kuru Öz.Ağ. C/(A-B)	Zahiri Öz.Ağırlık C/(C-B)	DKY Özgül Ağ.Ort.	Abs. %		
ASTM C-127													
	DKY Ağırlık A(g)	Su İçinde Ağırlığı B(g)	Hacim (A-B)	DKY Özgül A. A/A-B	Kuru Ağırlık C(g)	Emilen Su A-C/Cx100	Zahiri Hacim (C-B)	Kuru Öz.Ağ. C/(A-B)	Zahiri Öz.Ağırlık C/(C-B)	DKY Özgül Ağ.Ort.	Abs. %		
ASTM C-127													
	DKY Ağırlık A(g)	Su İçinde Ağırlığı B(g)	Hacim (A-B)	DKY Özgül A. A/A-B	Kuru Ağırlık C(g)	Emilen Su A-C/Cx100	Zahiri Hacim (C-B)	Kuru Öz.Ağ. C/(A-B)	Zahiri Öz.Ağırlık C/(C-B)	DKY Özgül Ağ.Ort.	Abs. %		

 İNŞAAT ve TİCARET A.Ş.		İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ ULAŞIM DAİRE BAŞKANLIĞI RAYLI SİSTEM MÜDÜRLÜĞÜ				ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE-ÇEKMEKÖY METROSU İNŞAATI ve ELEKTROMEKANİK İŞLERİ PROJESİ				
LOS ANGELES AŞINMA DENEYİ ASTM C 131										
Num. Alındığı Tarih : 18.05.2012 Numune cinsi / Yeri : SK-DUD- 01 (25,00-35,00 m) Numune Alan					Tarih : 21.05.2012 Lab No : 001					
ELEKLER			GRANÜLOMETRİ SINIFLARI ve AŞINMA DENEYİ İÇİN GEREKLİ NUMUNE MİKTARI (g)							
Malzemenin geçtiği elek			ASTM C-131				ASTM C-535			
mm	inç	mm	inç	A	B	C	D	E	F	G
76,2	3"	63,5	2 1/2"					2500		
63,5	2 1/2"	50,8	2"					2500		
50,8	2"	38,1	1 1/2"					5000	5000	
38,1	1 1/2"	25,4	1"	1250					5000	5000
25,4	1"	19,1	3/4"	1250						5000
19,1	3/4"	12,7	1/2"	1250	2500					
12,7	1/2"	9,5	3/8"	1250	2500					
9,5	3/8"	6,3	1/4"			2500				
6,3	1/4"	4,76	No:4			2500				
4,76	No:4	2,38	No:8				5000			
KÜRE SAYISI (Adet)				12	11	8	6	12	12	12
NUMUNE AĞIRLIĞI(g)				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
DEVİR SAYISI				500	500	500	500	1000	1000	1000
AGREGA AŞINMA DENEY DENEY RAPORU										
GRANÜLOMETRİYE GÖRE AŞINMA SINIFI				A	B	C	D	E	F	G
DENEY ÖNCESİ AĞIRLIK(g) (b)				5014,0						
500devir	DENEY SONRASI AĞIRLIK (g) (c)			3688,0						
	AŞINMA YÜZDESİ % ((b-c)*100)/b			26,4						
1000 devir	DENEY SONRASI AĞIRLIK (g) (d)									
	AŞINMA YÜZDESİ % ((b-d)*100)/b									

FORM09

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Mehmet AKIN

Doğum Tarihi ve Yeri: 07.06.1988 / İSTANBUL

E-posta : temhemnika@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : Mezuniyet yılı, Üniversite, Fakülte, Bölüm

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **Yüksel Proje Uluslararası A.Ş** - 2013/ Devam Etmekteyim. (Saha ve Kontrol Müh.)
- **Öz Anadolu Yapı Denetim** - 01.06.2011 – 30.11.2012 (Yardımcı Kontrol Müh.)