

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AZERBAYCAN ATBULAQ-SABIRABAD KARAYOLU
GÜZERGAHINDAKİ ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK
JEOLOJİSİ VE JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

SADIK BOZ

KOCAELİ 2013

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

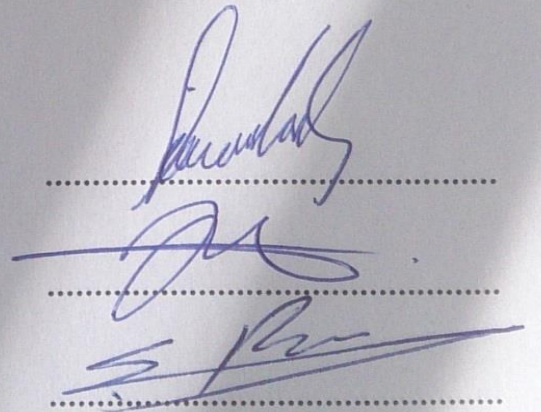
AZERBAYCAN ATBULAQ-SABIRABAD KARAYOLU
GÜZERGAHINDAKİ ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK
JEOLojİSİ VE JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

SADIK BOZ

Yrd.Doç.Dr.Özkan CORUK,
Danışman, Kocaeli Üniv.

Yrd.Doç.Dr.Ahmet KARAKAŞ,
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Yrd.Doç.Dr.Şefik RAMAZANOĞLU,
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih:

13.12.2013

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Azerbaycan Atbulaq-Sabirabad karayolu güzergahındaki iyileştirme çalışmaları ve mevcut zeminlerin mühendislik jeolojisi ve jeoteknik özellikleri bu çalışmada ayrıntılı olarak ortaya konmuştur.

Bu tezin hazırlanması sırasında bana destek olan danışman hocam ve tez jüri üyelerine, aileme ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Aralık-2013

Sadık BOZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ.....	iv
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
GİRİŞ.....	1
1. İNCELEME ALANININ TANITILMASI.....	2
1.1. Coğrafi Konum ve Ulaşım.....	2
1.2. Morfolojik Yapı.....	2
1.3. İklim ve Bitki Örtüsü.....	2
2. BÖLGESEL JEOLojİ.....	4
2.1. İnceleme Alanının Jeolojisi.....	5
3. MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ.....	9
3.1. Arazi Çalışmaları.....	14
3.1.1. Araştırma çukurları.....	14
3.1.2. Araştırma sondajları.....	20
3.1.3. Konik penetrasyon testleri (CPT).....	36
3.1.4. Dinamik koni penetrasyon testleri (DCP).....	37
3.1.5. Pressiyometre testleri.....	39
3.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	41
3.3. Yol Güzergahındaki Zeminlerin Jeoteknik Özellikleri.....	44
4. YOL ÜST YAPILARI.....	45
4.1. Uygulanan İyileştirme Yöntemleri.....	49
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR.....	57
EKLER.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	İnceleme alanının yerbulduru haritası.....	3
Şekil 2.1.	İnceleme alanının ve civarının jeoloji haritası.....	5
Şekil 2.2.	Kür Havzası Genelleştirilmiş Stratigrafik Sütun Kesiti.....	7
Şekil 2.3.	Kür havzasına ait enine kesit.....	8
Şekil 3.1.	Şişme Potansiyeli Kartı.....	11
Şekil 3.2.	Km: 0-7 arası yol güzergahının genel bir kesiti.....	15
Şekil 3.3.	Sondaj kuyularına ait numunelerin Plastisite kartı.....	21
Şekil 3.4.	Sondaj kuyularına ait mühendislik jeolojisi parametreleri (SK 0+550)...	22
Şekil 3.5.	Sondaj kuyularına ait mühendislik jeolojisi parametreleri (SK 2+650)...	22
Şekil 3.6.	Sondaj kuyularına ait mühendislik jeolojisi parametreleri (SK 3+170)...	23
Şekil 3.7.	Sondaj kuyularına ait mühendislik jeolojisi parametreleri (SK 6+170)...	23
Şekil 3.8.	Sondaj kuyularına ait mühendislik jeolojisi parametreleri (SK 7+500)...	24
Şekil 3.9.	Sondaj kuyularına ait mühendislik jeolojisi parametreleri (SK 9+800)...	24
Şekil 3.10.	SK 0+550 sondaj çalışması.....	25
Şekil 3.11.	SK 1+550 sondaj çalışması.....	25
Şekil 3.12.	SK 2+650 sondaj çalışması.....	26
Şekil 3.13.	SK 3+170 sondaj çalışması.....	26
Şekil 3.14.	SK 6+170 sondaj çalışması.....	27
Şekil 3.15.	SK 9+800 sondaj çalışması.....	27
Şekil 3.16.	Yol güzergahındaki (km: 3+600 gövde) kaya dolgu iyileştirmesi.....	28
Şekil 3.17.	Yol güzergahındaki (km: 3+600 banket) kaya dolgu iyileştirmesi.....	28
Şekil 3.18.	H1 köprüsü (km: 6+544) CPT test planı.....	37
Şekil 3.19.	Güzergahta kullanılan dolgu malzemesinin gradasyonu.....	42
Şekil 3.20.	Güzergahın km:47+100-sol tarafından 1.5 metrelik kazının ardından çıkan zayıf zemin (CH-Organik kil).....	43
Şekil 4.1.	Tipik esnek üstyapı en kesiti.....	46
Şekil 4.2.	Yol en kesiti ve tabakalar.....	47
Şekil 4.3.	Yol güzergahında kullanılan alt-temel (sub base) tabakasına ait tipik bir gradasyon.....	48
Şekil 4.4.	Yol güzergahında kullanılan kırma taş temel (crushed base) tabakasına ait tipik bir gradasyon.....	49
Şekil 4.5.	Zayıf zemin üzerine geo tekstil (ayırma membranı) uygulaması.....	51
Şekil 4.6.	Mevcut güzergahta (km 47+300 Sağ) geotekstil-kaya dolgu-drenaj malzemesi uygulamasından bir örnek.....	51
Şekil 4.7.	Km 47+300 - 47+700 Sağ taraf zayıf zemin kazı ve dolgu çalışmasından bir örnek.....	52
Şekil 4.8.	Belirli yüklemelerdeki oturma grafiği.....	53
Şekil 4.9.	Geotekstil Çeşitleri ve Uygulamaları.....	54

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Zemin cinsine göre tavsiye edilen iyileştirme yöntemleri.....	13
Tablo 3.2. Km: 0+370-7+400 arası araştırma çukurlarından alınan doğal zemin numunelerinin jeoteknik özellikleri.....	16
Tablo 3.3. Km: 9+750-16+100 arası araştırma çukurlarından alınan doğal zemin numunelerinin jeoteknik özellikleri.....	17
Tablo 3.4. Km: 16+700-35+700 arası araştırma çukurlarından alınan doğal zemin numunelerinin jeoteknik özellikleri.....	18
Tablo 3.5. Km: 45+300-48+050 arası araştırma çukurlarından alınan doğal zemin numunelerinin jeoteknik özellikleri.....	19
Tablo 3.6. Km: 43+300-45+050 arası araştırma çukurlarından alınan doğal zemin numunelerinin jeoteknik özellikleri.....	20
Tablo 3.7. Güzergahta (0+550-9+800) yapılan sondajlardan elde edilen 0.0-1,5 metre derinlikteki numunelerin laboratuvar test sonuçları.....	21
Tablo 3.8. H1 köprüsü sondaj numuneleri (SK 1) jeoteknik özellikler.....	29
Tablo 3.9. H1 köprüsü sondaj numuneleri (SK 2) jeoteknik özellikler.....	30
Tablo 3.10. H1 köprüsü sondaj numuneleri (SK 3) jeoteknik özellikler.....	30
Tablo 3.11. H1 köprüsü sondaj numuneleri (SK 4) jeoteknik özellikler.....	31
Tablo 3.12. H2a köprüsü sondaj numuneleri lab.deney sonuçları.....	32
Tablo 3.13. SPT-N30 darbe sayıları ve sıklık-kıvam ilişkisi.....	33
Tablo 3.14. H3 köprüsü sondaj numuneleri (SK1) laboratuvar deney sonuçları.....	34
Tablo 3.15. H3 köprüsü sondaj numuneleri (SK2) laboratuvar deney sonuçları.....	35
Tablo 3.16. H3 köprüsü sondaj numuneleri (SK3) laboratuvar deney sonuçları.....	35
Tablo 3.17. H3 köprüsü sondaj numuneleri (SK4) laboratuvar deney sonuçları.....	36
Tablo 3.18. DCP-CBR korelasyonu.....	38
Tablo 3.19. DCP testi kullanarak Granüler zeminler için tavsiye edilen sınıflandırma Sistemi.....	38
Tablo 3.20. DCP testi kullanarak kohezyonlu zeminler için tavsiye edilen sınıflandırma sistemi.....	39
Tablo 3.21. Menard Pressiyometre Testine Ait Basınç modülü E ve Nihai Basınç P_L Değerleri.....	39
Tablo 3.22. Pressiyometre parametreleri için genel değerler.....	40
Tablo 3.23. Menard Pressiyometre testi net limit basıncı ile ilgili killerin dayanımı ve kumların relatif yoğunlukları ile ilgili bilgiler.....	40
Tablo 3.24. Pressiyometre test sonuçları ve değerlendirme.....	41
Tablo 3.25. Güzergahta kullanılan dolgu malzemelerinin testleri.....	43
Tablo 4.1. Serbest drenajlı granül malzeme tane boyu dağılımı.....	50

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

CBR	: California bearing ratio, (Kaliforniya taşıma oranı), (%)
CPT	: Cone penetration test, (Koni penetrasyon testi)
DCP	: Dynamic cone penetrometer, (Dinamik koni penetrometresi), (%)
LL	: Likit limit, (%)
PI	: Plastik indeksi, (%)
PL	: Plastik limit, (%)
SPT	: Standart penetrasyon testi, (SPT-N ₃₀)
Wn	: Naturel water content (Doğal su içeriği), (%)

Kısaltmalar

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials (Devlet Karayolu ve Taşımacılık Görevlileri Amerikan Derneği)
ASTM	: American Society for Testing Materials (Amerika Test Materyalleri Topluluğu)
BS	: British Standart (İngiliz Standartları)
G.W.T.	: Ground Water (Yeraltı Suyu)
Km	: Kilometre
N	: North (Kuzey)
NW	: North West (Kuzeybatı)
S	: South (Güney)
SE	: South East (Güneydoğu)
SK	: Sondaj Kuyusu
USCS	: Unified Soil Classification System (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi)
YASS	: Yeraltı Su Seviyesi

AZERBAIJAN ATBULAQ - SABIRABAD KARAYOLU GÜZERGAHINDAKİ ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

ÖZET

Azerbaycan karayollarındaki trafik yoğunluğu ve yükün artması nedeniyle asfalt yollarda deformasyonlar, tekerlek izleri, çatlaklar ve çökmeler meydana gelmiştir. Bu tezde Atbulaq-Sabirabad karayolu km: 0+370-48+300 arası zeminlerin mühendislik jeolojisi ve jeoteknik özellikleri incelenmiştir. Bölge, deniz seviyesinin altında olduğundan bataklık ve göl havzaları çoğunluktadır. Buna bağlı olarak yol güzergahındaki birimler genel olarak alüvyal çökellerden oluşur. Yol güzergâhındaki zeminlerin mühendislik jeolojisi ve jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla araştırma çukurları, sondaj ve laboratuvar deneyleri verilerinden yararlanılmıştır. Güzergah boyunca yaklaşık 200 m aralıklarla 1-3 metre derinliğinde araştırma çukurları açılmış, köprü geçiş ve kavşaklarda derindeki zemin istifini tanımlamak için derinliği 30 metreye ulaşan araştırma sondajları yapılmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler yardımıyla yol güzergâhındaki zeminler 4 kısma ayrılmıştır. 1. kısımda A-7-6 grubu killi zeminler mevcuttur, bu yüzden bu kesimlerde zemin iyileştirme yöntemleri olarak kaya dolgu ve jeotekstil iyileştirmesi yapılmıştır. 2. ve 3. kısımda A-7-6 ve A-6 grubu killi zeminler bulunmaktadır, bu nedenle bu kesimlerde kaya dolgu iyileştirmesi yapılmıştır. 4. kısımda A-6 ve A-4 grubu killi zemin bulunmaktadır, bu nedenle bu kesimlerde zeminler genel seviyeden daha derin kazılmış ve dolgu kalınlığı arttırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Jeoteknik, Mühendislik Jeolojisi, Zemin İyileştirme

ENGINEERING GEOLOGY AND GEOTECHNICAL SOIL PROPERTIES OF AZERBAIJAN ATBULAQ-SABIRABAD HIGHWAY

ABSTRACT

Due to the increasing volume of the traffic and the load in Azerbaijan highways, deformations, ruttings, cracks and collapses have occurred in paved roads. In this thesis, engineering geology and geotechnical properties of the soils of Atbulaq-Sabirabad highway's have been investigated from chainage: 0+370 to 48+300. The region has many marsh and lake basins due to below the sea level. Accordingly, the units of the highway route are alluvial deposits. Engineering geology and geotechnical properties of the soils along the highway route were determined by the trial pits, borings and laboratory tests. Along the route, trial pits have been opened approximately at 200 m distances with 1-3 meter depths, boring investigations were carried out about 30 meter depth for defining the soil layers at deep in the bridge crossings and at the junctions. The soils along the road route were divided into 4 zones with the help of site and laboratory data. At the 1st zone, there are clay soils of A-7-6 class, so rock fill and geo-textile rehabilitation works have been done at this zone. At the 2nd and 3rd zones, there are clay soils of A-7-6 and A-6 classes, thus rock fill rehabilitation have been done at this zone. At the 4th zone, there are clay soils of A-6 and A-4 classes therefore, the soils were excavated deeper than usual level and fill thickness have been increased at this zones.

Keywords: Geotechnic, Engineering Geology, Soil Rehabilitation

GİRİŞ

Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Azerbaycan Atbulaq-Sabirabad karayolu güzergahındaki zeminlerin mühendislik jeolojisi ve jeoteknik özellikleri incelenmiştir. Tezin konusu olan bölge deniz seviyesinin altındadır ve denizel çökellerin bulunduğu Kür havzasında yer almaktadır. Güzergahın geçtiği yol ağır trafik yüküne maruz kaldığından işlevliğini yitirmiştir. Yol kalitesini arttırmak, güzergahın altındaki tabii zeminin mühendislik ve jeoteknik özelliklerini tespit etmek ve esnek bir üstyapı için taşıma gücü yüksek bir alt yapı dolgusu oluşturmak için yapılan rehabilitasyon çalışmalarında mevcut tabii zeminde araştırma çukurları açılıp laboratuvar deneyleri için numune alımı yapılmış, arazi çalışmaları kapsamında yol güzergahında DCP, CPT ve Pressiyometre testleri yapılmış ve bu tezde ayrıntılı olarak bu çalışmalar anlatılmıştır . Yol güzergahının oldukça düz bir topoğrafyaya sahip olması sebebiyle çevre akarsularının taşması sonucunda yol gövdesi sel sularının etkisine maruz kalmıştır. Laboratuvar analizleri sonucu ve arazi test sonuçları dahilinde genel bir inceleme yapılmış ve siyah kotun (eski asfalt üst kotu) altındaki zayıf zeminler kazılarak yeni dolgu kalınlığı arttırılmıştır.

Tez konusunun geçtiği bölgede ayrıca yeraltı suyunun gözlemlendiği ve organik kil zeminlerin yoğun olduğu bölgelerde alt yapı iyileştirme çalışmaları yapılarak bazı kilometrelerde kaya dolgu ve jeotekstil uygulaması yapılmıştır. Bataklık ve göl alanlarına yakın şevlerde de gabyon kullanılmıştır.

1. İNCELEME ALANININ TANITILMASI

1.1. Coğrafi Konum ve Ulaşım

İnceleme alanı, Atbulaq-Sabirabad güzergahı olup, Azerbaycan Cumhuriyeti'nin, Hacıqabul ve Sabirabad rayon kentleri arasında yer almaktadır (Şekil 1.1). Ülkenin en büyük şehirleri Bakü ve Gence olup ulaşım genelde karayolu ulaşımı yapılmaktadır. İnceleme alanı Bakü'ye 2-2,5 saat, Gence'ye 3 – 4 saat mesafededir.

1.2. Morfolojik Yapı

Sabirabd-Hacıqabul arası morfolojik olarak bir havzada yer alır. Deniz seviyesi altında olduğundan sazlık ve bataklık alanlar yaygındır. Sabirabad aynı zamanda Kür ve Araz Çayının birleştiği bir bölgede bulunmaktadır. Kür ve onunla Sabirabad'da birleşen Aras nehirlerinin ve kollarının alüvyonlarıyla dolmuş olan bu çukurluk, güneydoğudaki Hazar Denizi'ne doğru genişleyen üçgen biçimli bir ovardır. Kür-Aras Düzlüğü Şirvan, Mil ve Mugan ovalarını kapsar.

1.3 İklim ve Bitki Örtüsü

Atbulaq-Sabirabad güzergahı (M6 koridoru) iklim yarı çöllerin kurak subtropikal iklimiyle kışların ılık ve yazların kurak ve sıcak olduğu iklim arasında değişir. Bu bölgede ortalama ısı 14-14.5 °C arasındadır ve yağış düzeyi 360 mm'ye çıkar. İzoterm Ocak'ta 1⁰C ve Temmuz'da 28⁰C'dir. Maksimum ısı Temmuz-Ağustosta 41-42⁰C kaydedilmiştir; minimum ısı Ocakta -18 ila -21⁰C'ye iner. Bu bölgelerde yağmur az-çok eşittir ve en az yağış Ağustos'ta (<25mm), en fazla yağış Mart-Mayısta (40 mm civarında) olur. Bu koridorda rüzgâr yönü kış başında kuzeydoğuya doğru, Bahramtepe'de güneybatıya doğru eser. Yaz rüzgârları koridorun kuzey tarafında güneydoğu yönünde, güney tarafında ise doğuya doğru eser. Kür-Aras Düzlüğünde bozkırlara ve yarı çöl ortamında özgü bitkiler yetişir. Sazlık ve kamışlık bitkiler yaygındır.



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası (infoplease, 2013)

2. BÖLGESEL JEOLojİ

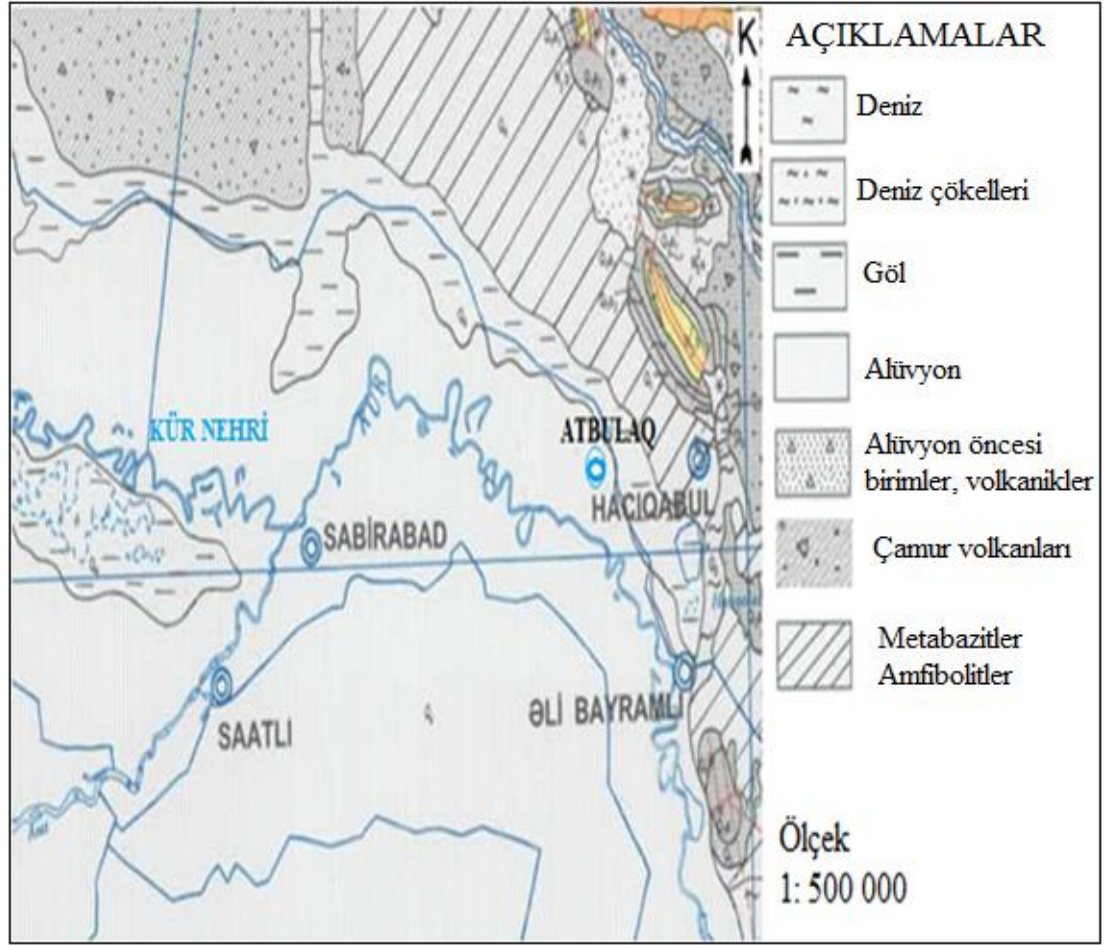
Atbulaq-Sabirabad Yolu genellikle Hajıqabul ve Şirvan bölgesindeki düz ovalardan başlayarak Bahramtapa üzerinden Azerbaycan Kür-Araz Ovası olarak bilinen Horadiz'e uzanır.

Bu bölge kuzeyde Büyük Kafkaslar ve Küçük Kafkaslar ile güneyde Taliş Dağları arasında kalır. M6 (Azerbaycan'daki 6 ıncı majistral yolu) koridoru kuzeydoğuda Kura Nehri ile barıda Küçük Kafkasların etekleri ve güneyde İran sınırı arasında kalan ve Kura-Araz coğrafi bölgesine dahil olan Mil Ovasında uzanır.

İnceleme alanının jeolojisi genel olarak alüvyondur (Şekil 2.1). Alüvyon ovasının Küçük Kafkas Dağlarından gelen sedimentlerin yüksek oranda birikmesine bağlı olarak hâlâ arttığı söylenir. Kür Nehrinin sel düzlükleri altında tipik olarak gevşek, konsolide olmamış kil ve alüvyon yanında bazı dağ buzul ve lakustrin sedimentler bulunmaktadır.

İnceleme alanındaki yükseltiler en alçak yeri Hacıqabul civarında, en yüksek yeri Horadiz kasabası yakınında olmak üzere -18 m ile 240 m arasında değişmektedir. Arazi genellikle düzdür ve Holosen ve Kuaterner'in birincil olarak kara ve deniz killeri, kum ve çakıl çökellerinden oluşan genç sedimentleriyle kaplıdır.

“İnceleme alanında terrijen (kum, kil, çakıltaşları) çökellerle beraber bölgesel kalın organik kökenli çökel oluşumu da yer almaktadır. Daha doğrusu kalın oolitli detritik kavkısallı kireçtaşlarının, kil ve kumtaşlarında Mollusk kavkılarının bolluk oluşturması tabii ki Ponsiyende çok elverişli ve müsait fizikokimyasal koşulların mevcudluğu ile ilgilidir” (Vekilov, 1962; Aliyev, 1972).



Şekil 2.1. İnceleme alanının ve civarının jeoloji haritası (Azerbaycan Milli İlimler Akademisi Jeoloji Enstitüsü, 2008)

Kafkaslar, Alp sistemine dahil, NW-SE istikametli ve muhtelif yaşlı kıvrım şeritlerinden meydana gelmiş oldukça basit yapıları bir silsiledir ve kuzeyden güneye doğru altı büyük tektonik üniteye ayrılmıştır. İnceleme alanı Kura Depresyonu bölgesindedir. Bu bölge Antiklinoryum şeklindeki Büyük ve Küçük Kafkaslar arasında bir çukurluk teşkil eder. Rioni – Kür depresyonu alpin orojenik, devrenin ikinci yarısında, Oligosen başında meydana gelmiştir. Kura depresyonu tüm olarak büyük bir senklinaldir, senozoik yaşlı tabakalardan oluşur.

2.1. İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme Alanının jeolojisi genel olarak alüvyon çökellerden oluşmuştur. Ayrıca inceleme alanının civarında alüvyon öncesi volkanik birimler, çamur volkanları, metabazit ve amfibolitler de bulunmaktadır (Şekil 2.1). Bölgede bulunan kür

nehirinin sel düzlükleri altında tipik olarak gevşek, konsolide olmamış kil ve alüvyon yanında bazı lakustrin sedimentler de bulunmaktadır. İnceleme alanında bulunan yol güzergahının 0-7 kilometreleri arasında bataklık alanlar yaygın olarak bulunmaktadır.

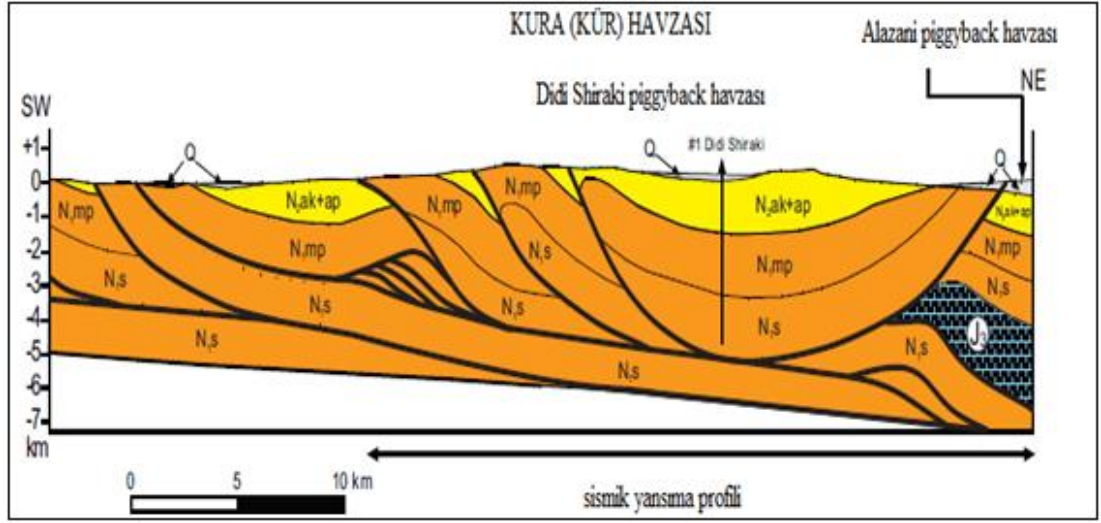
İnceleme alanı ve civarının ponsiyen yaşlı çökelleri genellikle kıyısal-sığ ve belirli oranda ise derin deniz fasiyeslerinden ibarettir. Çökellerin sedimentolojik yapısını genel olarak terrijen (kum, kil, çakıltaşları) ve kavkı kökenli karbonatlar ile oolit bileşimli çökeller oluşturur (Şekil 2.2). Bazı hallerde çökeller arasında piroklastik malzemeye de rastlanır, inceleme alanında her bir stratigrafik birim kendine özgü fauna ve çökel oluşumları ile karakteristiktir.

Ponsiyen'de inceleme alanı bölgesinde belirli oranda tektonik süreçlerin faaliyeti de söz konusudur. Kür havzasına ait kesitlerde piggyback (domuzsırtı) havzalarda senklinal oluşumları görülmüştür (Şekil 2.3). Genellikle Azerbaycan'ın doğu kısmının büyük bir bölümünün Ponsiyen deniziyle kaplanması denizel ortamı yansıtan çökel tipleri oluşturmuştur. Burada çökel tiplerine ve fauna özelliklerine göre; sığ, litoral, sublitoral ve belirli oranda derin deniz fasiyes ortamları görülmektedir.

KÜR HAVZASI

litoloji	kalınlık (m)	<u>AÇIKLAMALAR</u>	
	50	Holosen	deniz ve nehir taraça çökeller, kumlu kil
	2800	Pleyistosen	Konglomeralar, kumtaşları kil ara katkılı, andezitik tüf
	100-1500	Pliyosen	kil ara tabakalı kumtaşları
	1500-3000		linyit - kömür, kumtaşı katmanları
	2300-3000	Üst-Orta Miyosen	kireçtaşı, çakıl taşı linyit, kömür katmanları
	600		linyit, kömür tabakası marllar, deniz ve nehir taraça çökeller
	2000	Alt Miyosen Oligosen	Karbonatlı kil kıltaşı ara tabakalı

Şekil 2.2. Kür Havzası Genelleştirilmiş Stratigrafik Sütun Kesiti (Adamia, 2011)



Şekil 2.3. Kür havzasına ait enine kesit (Alania, 2011)

3. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Bu çalışmada Atbulaq-Sabirabad karayolunun mühendislik jeolojisi özellikleri arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla incelenmiştir. 48 kilometrelik güzergahta bulunan zeminlerin jeoteknik özellikleri, mevcut yolun altındaki dolgu ve tabii zeminin mühendislik özellikleri arazi ve laboratuvar verileriyle değerlendirilmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmaları kapsamında, yol güzergahı benzer mühendislik özellikler içeren 4 kısma ayrılmıştır (Şekil A.1). Bu kısımlarda hem tabii zeminin hem de üzerinde bulunan dolgu malzemesinin zemin sınıfı belirlenmiş, tabii zemindeki kilin jeoteknik özellikleri arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda özetlenerek jeolojik kesitlerde ayrıntılı olarak gösterilmiştir (Ek-A). İnceleme alanında mevcut yolun üstyapısının altında derin bir kil zonu bulunmaktadır. Proje sahasının zemini sondaj verileri ve açılan araştırma çukurlarından elde edilen veriler ve gözlemler ışığında kuru zeminler ve yer altı su seviyesinin sığ olan kesimlerde bulunan kilin şişme potansiyeli incelenmiştir.

“Kuru bir zemin, boşluklarındaki hava ile suyun yer değiştirmesi sonucunda, hacim değiştirmeksizin su alabilir. Bu durum genellikle kumlu ve siltli zeminlerde meydana gelmektedir. Şişme ise, su muhtevasının artması sonucunda, kil tanelerini birbirlerinden uzaklaştırarak hacmi artıracak bir itki kuvvetini gerektirmektedir” (Yong ve Warkentin, 1975).

Mühendislik jeolojisi çalışmaları kapsamında yol güzergahı üzerinde bulunan köprüler için sondaj çalışmaları yapılmıştır. Sondaj numuneleri bağımsız laboratuvar ortamında analiz edilerek tabii zemin profili ortaya çıkmış ve bu sonuçlar köprülerde yapılacak olan fore kazık derinliklerinin belirlenmesine yardımcı olmuştur. Bu araştırma sondajları genel olarak 30-31 metre derinliğinde olup zemin sınıfı USCS’ye göre çoğunlukla CL olarak bulunmuştur. Güzergahın km: 0+370 ile 9+700 arasında mevcut güzergahın sol ve sağ banketinde ASTM D 6951-03 standardına göre DCP (Dinamic Cone Penetration) testleri yapılarak doğal zeminin mühendislik jeolojisi özellikleri incelenmiş DCP-CBR korelasyonu yapılmıştır.

Ayrıca km: 0+550- 7+500 arası ASTM D 4719-00 standardına göre pressiometre testleri yapılmıştır, temel zeminin 3.0-4.0 metre derinlikteki stress-deformasyon davranışı menard pressiometre ile 6 kuyuda ölçülerek belirlenmiştir.

Siltli kil zeminin drenajsız kayma mukavemeti, elastik modülü elastik modülü değerleri ve ölçülülerek pressiometre net limit basınç değerleri korelasyon yapılarak hesaplanabilmektedir. Ölçümler ve değerlendirmeler arazi çalışmaları kısmında detaylı olarak anlatılmıştır. Tüm güzergah boyunca yaklaşık 250 metre aralıklarla açılan araştırma çukurlarından alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmış genel zemin sınıfı belirlenmiş ve zayıf zemin (yer altı su seviyesinin yüksek olduğu, düşük CBR'lı (< % 3) killi, siltli, organik madde içeren zeminler (CH-CL), gevşek ince kumlu alüvyon zeminler ile kontrolsüz şekilde oluşturulmuş yapay dolgular olarak adlandırılabilir) bölgeleri tespit edilmiştir. Araştırma çukurlarından elde edilen verilere göre güzergah benzer mühendislik jeolojisi özellikleri gösteren 4 ayrı bölgeye ayrılmış ve zemin sınıfı genel olarak AASHTO'ya göre A-6 ve A-7-6 sınıfı olarak tespit edilmiştir (Şekil A.1).

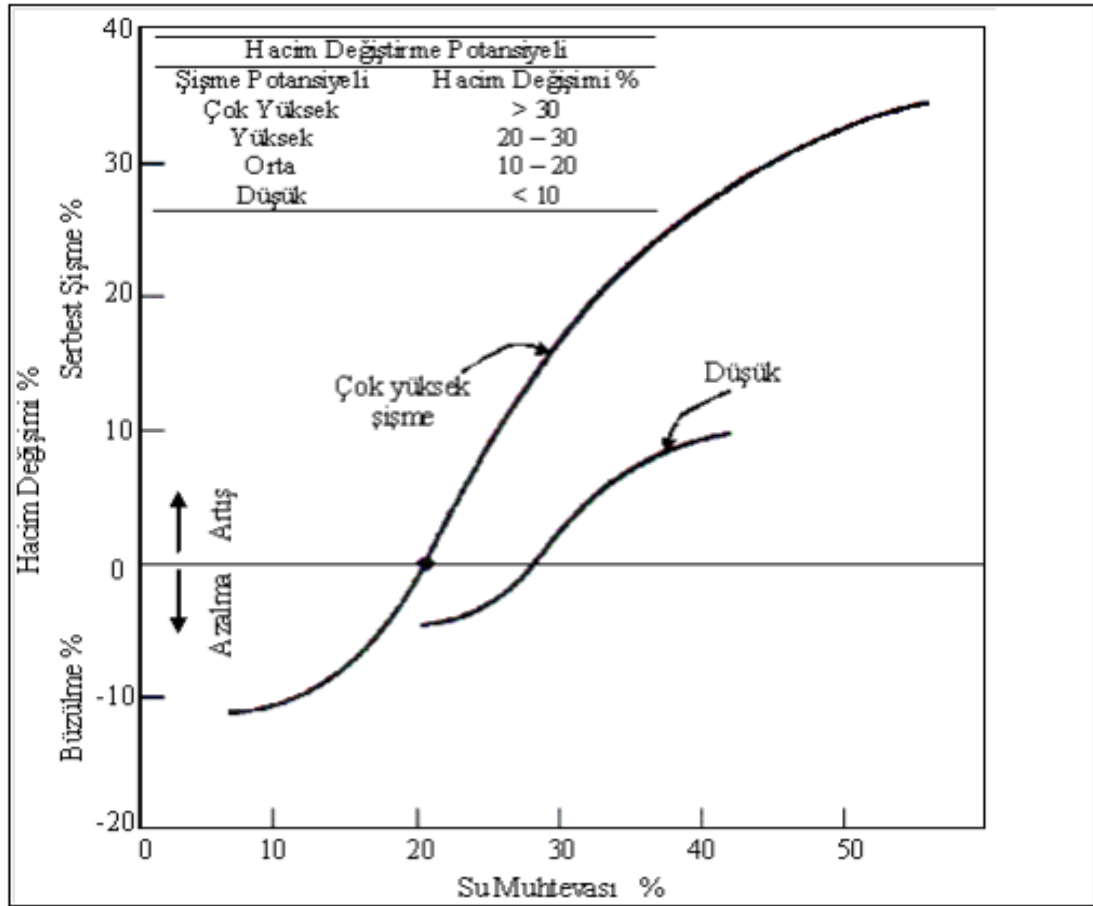
Araştırmalar kapsamında yol güzergahının kaplama tabakası kalınlığı tespit edilmiş olup zayıf zeminli alanlarda düşük CBR'lı kil malzemesi ayıklanarak yerine taşıma gücü yüksek ve plastik olmayan dere malzemesi kullanılmıştır. Güzergah boyunca, zeminin su içeriği ve likit limiti gibi indeks özellikleri belirlenmiş, standart penetrasyon testlerine (SPT) ait darbe sayılarının (N_{30}) derinlikle değişimleri incelenmiş ve genel zemin karakterinin sıklık-kıvam durumu ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Güzergahın projelendirilme aşamasında zayıf zeminli bölgeler büyük önem içermektedir. Bu alanların tespiti kazı ve kübaj-metraj hesaplamaları projelendirilme esnasında ekonomik açıdan çok önemlidir. Yol yapıları altında yer alan zayıf zeminlerin niteliği, zemin sınıfı (AASHTO 'ya göre, A-7-6 veya A-6), kalınlığı, zamana bağlı oturma özellikleri, stabiliteyi etkileyecek kayma dayanım parametreleri, şişme potansiyeli belirlenmelidir.

Şişme potansiyeli (Şekil 3.1), zemin ortamında, su muhtevası ve gerilme koşullarındaki değişikliklerin bir sonucu olarak ortaya çıkan hacim artışı, şişme olarak tanımlanmaktadır.

“Şişme potansiyeli, genel olarak, zeminlerin şişme yeteneğini ifade eden bir kavram olarak kullanılmaktadır. Literatürde, şişme potansiyelinin belirlenmesi ve tanımlanması açısından tam bir fikir birliği bulunmamaktadır. Bununla birlikte, şişme potansiyeli; genellikle, zeminlerin hem şişme yüzdesini hem de şişme basıncını kapsayan bir terim olarak kabul edilmektedir” (Sridharan ve diğ., 1986; Shuai, 1996).

Genel olarak, geniş bir su muhtevası aralığında plastik davranış gösteren ve yüksek likit limite sahip zeminler daha yüksek şişme ve büzülme potansiyeline sahiptir.



Şekil 3.1. Şişme Potansiyeli Kartı (Hanafy, 1991)

Zayıf zemin kazısı yapılan alanlarda genelde yolun bir bölümü trafiğe kapatılarak kazı yapılmıştır. Kazı sınıfı olarak ise kazılacak olan zeminin cinsleri teşekkül ve kazı güçlüğü bakımından toprak zemin kazısı (sert toprak, kazmanın yassı ve arasına sivri ucu ile kazılan toprak, kumlu kil, gevşek kil, killi kum, çakıllı kürekle atılabilen taşlı toprak ve benzeri zeminler) klasına uygundur.

Güzergahta bulunan yarma, dolgu ve sanat yapısı geçişleri esnasında zayıf zeminlerin kalınlığı 3m'den az olup, bu kesimlerde suya rastlanılan alanlarda kaya ve jeotekstil uygulaması yarma alanlarda da zayıf zeminin (mühendislik jeolojisi bakımından A-6, A-7-6 veya CL, CH gibi yüksek plastisiteli ve düşük CBR'lı zeminler) kazılıp yerine daha düşük plastisiteli ve taşıma gücü yüksek kolay sıkışabilen (A-1-a veya A-2-a sınıfı zeminler) malzeme serilerek sıkıştırma işlemi tamamlanmıştır.

Sıkıştırma işleminden sonra yeni dolgunun trafik yükünden önce kamyon yürütme testleri ile yüksek tonaj (40-60 ton) altındaki dolgu kotu değişimleri ve oturmalar topoğrafik olarak ölçülmüştür. Zemin cinsi (CL, CH) yumuşak killi ve sığ zeminlerde türü zeminlerde yapılacak olan iyileştirme ve stabilizasyon metodları Tablo 3.1. 'de detaylı olarak gösterilmiştir. Yol güzergahının 0+370 km'sinden 7+400 km'sine doğru plastisitesi artan killi topraklar mevcuttur. Yol güzergahının bu kesiminde açılmış olan araştırma çukurlarından alınan numunelerin laboratuvar deneyleri yapılmış ve zemin sınıfı AASHTO'ya göre A-7-6 olan yüksek plastisiteli ($PI > 11$) ve düşük CBR'lı (< 3) kil zemine rastlanmıştır. Şekil 3.2'de km: 0-7 arası yol güzergahının genel bir kesiti gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Zemin cinsine göre tavsiye edilen iyileştirme yöntemleri (Hunts, 1992)

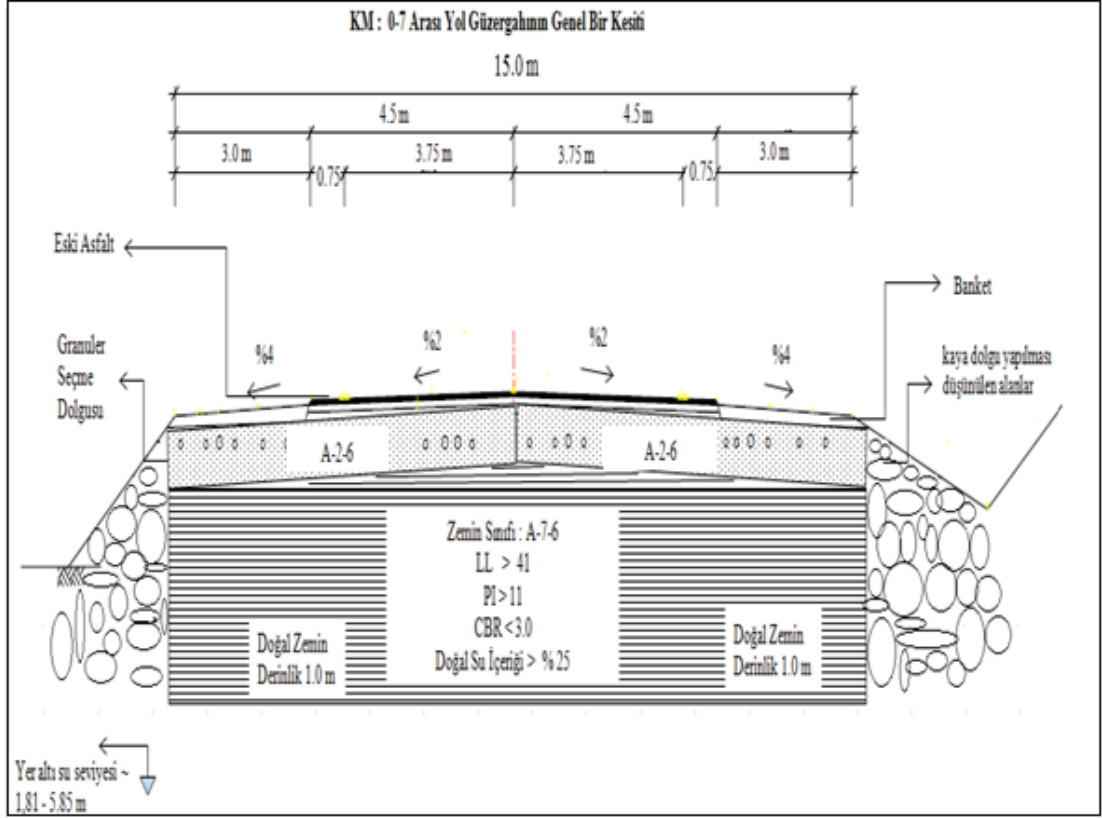
Zemin Cinsi	Stabilizasyon Metodları
Çeşitli Dolgular	Kazı / Geri Dolgu
Sığ	Dinamik Kompaksiyon
Derin	Kum Kolonları
Organik Zeminler	Kazı / Geri Dolgu
Sığ	Geotekstil
Derin	Sürşarj Geotekstil
Tabakalı	Kum Kolonları Sürşarj, Patlatma Tekniği Dinamik Kompaksiyon Kompaksiyon Enjeksiyonu Kum Kolonları, Taş Kolonlar
Yumuşak Killer	Kazı / Geri Dolgu
Sığ	Geotekstil
Derin	Sürşarj Geotekstil
Tabakalı	Kum veya Kireç Kolonlar Sürşarj, Patlatma Tekniği Dinamik Kompaksiyon Kompaksiyon Enjeksiyonu Kum Kolonları, Taş Kolonlar
Killer	Mekanik Stabilizasyon Kireç Stabilizasyonu Termal (Dondurma), Elektro-Osmoz Geosentetik Drenaj Kireç veya Çimento Kolonlar
Gevşek Siltler	Kazı / Geri Dolgu Tuz Katkısı Dinamik Kompaksiyon
	Sürşarj Taşkolonlar Elektro-Osmoz Vakum Kuyuları
Gevşek Kumlar	Çimento veya Bitüm Stabilizasyonu
Sığ	Dinamik Kompaksiyon
Derin	Vibroflatasyon Vibrokompaksiyon Dinamik Kompaksiyon Taş Kolonlar Enjeksiyon Drenaj Kuyuları Termal (Dondurma)
Sıvılaşılabilen Zeminler	Dinamik Kompaksiyon Taş Kolonlar Drenaj Enjeksiyon
Şişebilen Zeminler	Kireç Stabilizasyonu Drenaj Çimento, uçucu kül, tuz, kimyasal katkıları Enjeksiyon
Çatlaklı Kayalar	Enjeksiyon Ankraj Şatkrit Yüzeyaltı Yatay Drenajı

3.1. Arazi Çalışmaları

Güzergahta (0+370 - 48+300) mevcut tabii zemininin mühendislik ve jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla arazi çalışmaları yapılmıştır. Arazi çalışmaları kapsamında yol güzergahında (km: 0+300-9+400) DCP, km: 0+550-9+800 arası yol güzergahının banketlerinde 6 adet sondaj, köprü yenileme çalışmaları kapsamında H1 (km:6+544) köprüsünde 4 adet 31 metrelik sondaj ve 4 adet CPT testi, H2a (km: 14+126) köprüsünde 4 adet 31 metrelik sondaj, ve H3 köprüsünde (km: 23) 4 adet 31 metrelik sondaj yapılmıştır. Güzergahın km: 0+550- 7+500 arası ASTM D 4719-00 standardına göre 6 adet kuyuda pressiometre testleri yapılarak çalışma alanın oluşturan alüvyon birimin içerisindeki zeminin davranışı incelenmiştir. Ayrıca yol güzergahının bazı kilometrelerinde yaklaşık 250 metre aralıklarla araştırma çukurları açılmış ve tabii zeminden örnek numuneler laboratuarda incelenmek üzere alınmıştır.

3.1.1. Araştırma çukurları

Yol güzergahının incelenen bölümü boyunca, yumuşak zemin değişimini belirlemek amacıyla ayrıntılı arazi çalışmaları yapılmış ve jeoteknik özellikleri belirleyici veriler toplanmıştır. Her bir araştırma çukurunun yeri, yol güzergahının neresinde açıldığı ve yolun en kesit tipi (yarma, dolgu, karışık) belirlenmiştir. Araştırma Çukuru kaplama üzerinden yaklaşık 1 metre eninde ve 3 metre boyunda ve üstyapı tabanına inecek derinliğe kadar kazıcı makine (ekskavatör) vasıtasıyla açılmış, bitümlü akplama, dolgu tabaka derinlikleri ölçülmüştür. Güzergah boyunca, tabii zeminin su içeriği ve likit limiti gibi indeks özelliklerinin yanı sıra güzergahın zemin sınıfı bulunması amaçlanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda güzergahın km: 0-7 arası araştırma çukurlarından alından numuneler ve mühendislik jeolojisi parametreler yol kesitinde anlatılmıştır (Şekil 3.2). Bu bölgede bulunan tabii zeminin A-7-6 grubunda olması, düşük CBR oranının (<%3) bulunması nedeniyle tasarlanacak olan yolda zamana bağlı oturmalar yaratabileceği riski göz önünde bulundurularak toprak zemin kazısı derinleştirilerek dolgu kalınlığı arttırılmıştır. Buna ek olarak kaya dolgu ve geotekstil uygulamasıyla zeminde iyileştirmeler yapılmıştır.



Şekil 3.2. Km: 0-7 arası yol güzergahının genel bir kesiti

Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi bu bölgede (km: 0-7 arası) zemin sınıflaması (AASHTO’ya göre) genel olarak A-7-6, USCS’ye göre de CI orta plastisiteli kil sınıfındadır. Yüksek doğal su içerikli ve düşük CBR’lı bu kil zeminin hemen üstünde AASHTO’ya göre sınıflaması A-2-6 sınıfı siltli veya killi çakıl ve kumlu zemin sınıfında granüler bir dolgu malzemesi bulunmaktadır. Yer altı su seviyesi 1,81-5,85 metre arası değişmektedir. Tasarlanacak olan yeni yolun toplam genişliği (banketler dahil) 15 metre ve banketlerde eğim %4 yolun ana gövdesinde ise eğim %2 ‘dir.

Yol güzergahında km : 0+370-7+400 arası araştırma çukurlarından alınan verilere göre bir zemin tanımlaması yapılmış, yer yer yer altı su seviyesi ölçümleri alınmıştır (Tablo 3.2). Bu bölgedeki doğal zemin numunelerinde zemin sınıfı genel olarak A-7-6, en yüksek CBR değeri ise % 3.15 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.2. Km: 0+370-7+400 arası araştırma çukurlarından alınan doğal zemin numunelerinin jeoteknik özellikleri

Km	YASS (m)	Özet test tablosu							
		CBR (%)	Kum Konisi Sıkışma testi (%)	Modifiye Proctor (g/cm ³)	Opt. Su içeriği (%)	LL (%)	PI (%)	Doğal Su İçeriği (%)	Zemin Sınıfı (AASHTO)
0+610	2.44	2.35	87.0	1.765	18.1	45.6	22.6	24.8	A-7-6
0+820	3.35	-	89.4	1.771	17.9	38	17.6	26.92	A-6
1+300	4.67	-	90.2	1.598	22	59.7	30.66	31.89	A-7-6
1+750	4.89	-	91.5	1.710	17	55.9	28.84	33.06	A-7-6
2+100	4.20	-	89.7	1.884	13.9	32	8	25.37	A-4
2+475	5.05	-	86.9	1.781	15.2	34.2	10.5	28.23	A-6
2+900	4.85	2,80	89.4	1.780	17	39.3	18.5	27.55	A-6
3+300	5.48	-	90.9	1.733	17.2	46.2	21.6	31.25	A-7-6
3+675	5.60	-	91.0	1.776	14	41.3	18.4	33.08	A-7-6
4+100	5.85	-	88.6	1.720	18.6	40.3	17.14	27.38	A-6
4+510	5.26	3,10	88.2	1.767	18	43.8	20.9	30.66	A-7-6
4+950	3.89	-	89.4	1.727	14.9	43.7	24.1	29.45	A-7-6
5+420	3.60	-	90.4	1.800	17.4	35.5	18.6	26.48	A-6
5+844	2.95	-	91.1	1.891	13	36.8	19.9	25.5	A-6
6+180	2.75	-	90.3	1.850	16.4	40.5	19.6	26.47	A-7-6
6+700	2.65	-	86.1	1.791	18	45	22.7	25.76	A-7-6
7+000	2.35	3,15	91.0	1.715	16	50.5	25.3	27.65	A-7-6
7+400	1.81	-	88.8	1.780	17.8	41	19.0	25.21	A-7-6

Güzergahın km: 9+750-16+100 arası dolgu yüksekliği bakımından bir önceki kilometreden daha yüksekte bulunmaktadır. Bu bölgedeki zemin sınıflamasında ise A-7-6 killi zeminden yer yer A-6 sınıfında killi zemine geçiş vardır (Tablo 3.3). Araştırma numunelerinde en yüksek CBR %4.5 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.3. Km: 9+750-16+100 arası araştırma çukurlarından alınan doğal zemin numunelerinin jeoteknik özellikleri

Km	YAS S (m)	Numune derinliği (m)	CBR (%)	Maks. Kuru Br. Hac. Ağırlık (g/cm ³)	Opt. Su içeriği (%)	Doğal su içeriği (%)	LL (%)	PI (%)	Zemin Sınıfı (AASHTO)
9+750	0.95	0.5	3.07	1.727	15.6	21.5	39.1	21	A-6
10+200	1.11	0.5	2.71	1.704	16.5	23.8	41.4	21	A-7-6
13+900		0.75	3.5	1.791	13.8	18.8	38.9	21	A-6
14+000		1.35	4.5	1.782	14.7	20.6	40.2	20	A-6
14+250		1.0	2.3	1.743	15.8	27.9	40	21	A-6
14+500		1.0		1.731	15.5	27.3	40.8	21	A-7-6
14+800		1.0		1.764	14.7	25.9	41.2	23	A-7-6
15+100		1.0	2.8	1.791	15	25.3	43.1	24	A-7-6
15+200		1.0		1.772	15	24.2	36.4	18	A-6
15+350		1.0		1.736	15.6	26.4	41	20	A-7-6
15+450		1.0	3.2	1.782	14	24.2	41.4	20	A-7-6
15+750		1.0		1.765	15.1	24.8	35.3	16	A-6
15+900		1.0	1.8	1.708	15.1	25.5	41.3	23	A-7-6
16+100		1.0		1.737	15.2	24.3	38	19	A-6

Yol güzergahın ilerleyen kilometrelerinde araştırma çukurlarından alınan numunelerde zeminin mühendislik jeolojisi özellikleri incelenmeye devam edilmiş ve zemin sınıfı belirlenmiştir (Tablo 3.4, Tablo 3.5, Tablo 3.6). Kazı yapılan km: 0+370-37+051 arası ve km: 37+050+48+300 arası güzergahta, indeks özellikleri daha uygun, zemin sınıfı A-2-4 ve A-1-a olan mühendislik özellikleri bakımından taşıyıcı gücü yüksek (CBR > %15) dolgu malzemesi kullanılmıştır.

Tablo 3.4. Km: 16+700-35+700 arası araştırma çukurlarından alınan doğal zemin numunelerinin jeoteknik özellikleri

Km	YASS (m)	Numune derinliği (m)	CBR (%)	Max kuru br. hac. ağırlık (g/cm ³)	Opt. Su içeriği (%)	Doğal su içeriği %	LL (%)	PI (%)	Zemin sınıfı (AASHTO)
16+700		0.50	-	1.765	14.2	24.4	38	18	A-6
17+000	1.1								
17+200		0.45		1.774	15	26.5	36.4	18	A-6
17+700		0.35		1.757	14.9	26	37	17	A-6
18+200		0.40	2.95	1.795	14.5	25.6	31.2	13	A-6
18+550		1.00	3	1.769	15.5	24.7	32.2	15	A-6
18+650		1.00	2.9	1.778	17	27.5	36.6	16	A-6
18+830		0.90	3.6	1.769	16.5	25.2	47	24	A-7-6
18+980		1.00		1.774	15.1	27.4	43.8	23	A-7-6
19+200		0.70		1.775	16.8	25.7	44.6	23	A-7-6
19+450		0.85		1.764	16	25	40.2	19	A-6
19+540		0.80	4.35	1.761	16.1	24.8	41.1	20	A-7-6
19+750		0.95		1.768	15.3	25.3	38.2	17	A-6
19+815	2.2	0.25		1.798	14.5	27.4	40.2	22	A-6
25+700		0.80		1.805	17.3	26.4	39.6	21	A-6
26+200		0.45		1.791	15.2	28.6	39.3	19	A-6
27+063	2.5	0.30		1.767	14.7	25	41.4	21	A-7-6
29+200		0.60	2.85	1.786	16.5	26.4	40	19	A-6
29+979	2.4	0.50		1.75	14.8	25.8	41.2	21	A-7-6
33+650		0.50		1.679	19.7	27.9	59.2	32	A-7-6
35+700		0.60		1.65	20.5	29.2	43.1	20	A-7-6

Tablo 3.5. Km: 45+300-48+050 arası araştırma çukurlarından alınan doğal zemin numunelerinin jeoteknik özellikleri

No	Km	Derinlik (m)	Zemin Sınıfı (AASHTO)	Doğal su içeriği (%)	LL (%)	PI (%)	Proctor (g/cm ³) Opt.Su İçeriği (%)	CBR (%)	200 No'lu elekten geçen (%)
1	48+050 sağ	1.0	A-6	24.30	33.2	14.5	1.896 14.9	2.22	79.39
2	47+800 sol	1.0	A-6	25.00	39.3	20.1	1.851 12.9	1.45	88.59
3	47+550 sol	1.1	A-6	29.20	38.9	19.2	1.839 15.7	3.20	91.03
4	47+300 sol	1.0	A-6	23.81	31.8	11.1	1.909 13.3	3.29	82.59
5	47+050 sağ	1.0	A-6	20.14	33.7	14.9	1.874 11.8	3.13	65.40
6	46+800 sol	1.0	A-6	28.00	34.9	12.5	1.879 15.2	1.88	83.70
7	46+550 sol	1.1	A-6	27.71	40.7	22.3	1.874 11.8	3.13	76.50
8	46+300 eksen	1.0	A-6	29.93	37.7	18.6	1.788 16.8	1.68	90.80
9	46+050 sol	1.0	A-6	23.79	31.0	11.7	1.814 11.8	1.92	45.32
10	45+550 sol	1.0	A-6	21.50	35.1	14.3	1.885 12.3	3.05	85.61
11	45+300 eksen	1.0	A-6	22.03	38.0	15.1	1.880 12.77	3.28	51.70

Km: 45+300-48+050 arası araştırma çukurlarından alınan doğal zemin numunelerinin jeoteknik özellikleri incelendiğinde A-6 zemin sınıfını bütün bölge boyunca görebilmekteyiz. Ancak yine bu bölgede % 5'in üzerinde CBR değeri bulunamaması bu bölgedeki tabii zeminde bir iyileştirmenin yapılması gerektiği sonucunu doğurmuştur

Tablo 3.6. Km: 43+300-45+050 arası araştırma çukurlarından alınan doğal zemin numunelerinin jeoteknik özellikleri

Km	YASS (m)	Numune derinliği (m)	CBR (%)	Max kuru br. Hac. Ağırlık (g/cm ³)	Opt. Su içeriği (%)	Doğal su içeriği (%)	LL (%)	PI (%)	Zemin sınıfı (AASHTO)
43+300	2.2	1.1	1.89	1.795	13.4	23	32.5	14	A-6
43+550	2.35	1.25	2.91	1.89	13.5	16.9	33.2	12	A-6
43+800	2.6	1.30	2.65	1.87	15.2	19.6	30.7	11.2	A-6
44+050	2.7	1.15	2.51	1.862	14.5	16.3	34.7	14.2	A-6
44+300	2.9	1.15	3.41	1.906	13.6	17.3	30	11.8	A-6
44+550	2.5	1.10	3.13	1.899	12.3	15.2	26.7	10	A-6
44+800	1.8	1.10	3.44	1.921	13.2	18.3	25.7	9.3	A-4
45+050	1.4	1.00	3.34	1.914	13.7	18.4	24.7	6.8	A-4

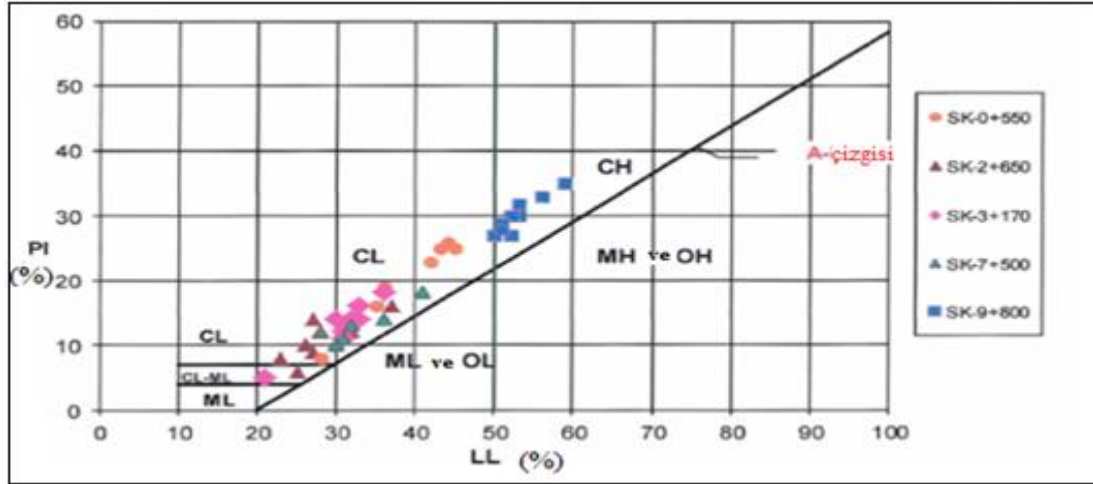
3.1.2. Araştırma sondajları

Bölgede yapılan araştırma kapsamında güzergah üzerindeki köprülerde uygulanacak olan fore-kazık derinliği ve sayısı, sondaj bulgularından elde edilen bilgiler ışığında hesaplanmış ve bu zemin etüt raporları ilerde yapılacak olan diğer sanat yapıları için de önemli bir bilgi kaynağı oluşturmuştur. Km: 6+544 (H1 köprüsü) , km: 14+126 (H2a Köprüsü) ve H3 köprüsünde (km:22+257) sondaj çalışmaları yapılmış ve laboratuvar analizleri bağımsız laboratuvarlarda test edilip raporlanmıştır.

Km: 0+550-9+800 arasındaki araştırma sondajlarında inceleme alanının mühendislik jeolojisi parametreleri elde edilmiştir. Jeomorfoloji, hidrojeolojik parametreler incelenmiş, jeolojik ve litolojik sütunlar oluşturulmuş, zeminin fiziksel ve mekanik karakteristikleri ile yer altı suyu seviyesi incelenmiştir (Şekil 3.3'den Şekil 3.9'a). Sondaj kuyularına ait numunelerin plastisite değerleri plastisite kartı grafiğinde gösterilmiştir (Şekil 3.3).

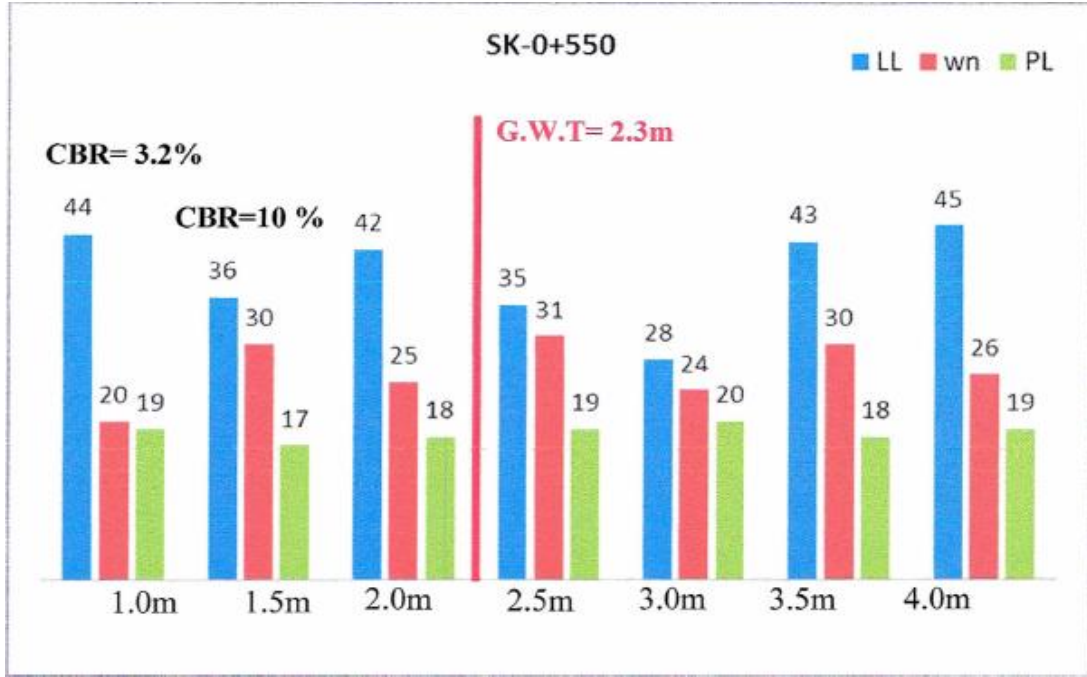
Tablo 3.7. Güzergahta (0+550-9+800) yapılan sondajlardan elde edilen 0.0-1,5 metre derinlikteki numunelerin laboratuvar test sonuçları

Sondaj No	LABORATUAR TEST SONUÇLARI		
	LL max. (%)	PI max (%)	Zemin Sınıflaması (USCS)
SK-0+550	44	26	CL- Siltli Kil (Orta Plastikli)
SK-1+550	Plastik Olmayan		SM- Kumlu Silt
SK-2+650	37	16	CL- Siltli Kil kumlu (Düşük Plastikli)
SK-3+170	36	18	CL-Siltli Kil (Düşük Plastikli)
SK-6+170	42	18	CL- Siltli Kil (Orta Plastikli)
SK-7+500	41	18	CL-Siltli Kil (Düşük Plastikli)
SK-9+800	56	33	CH- Siltli Kil (Yüksek Plastikli)

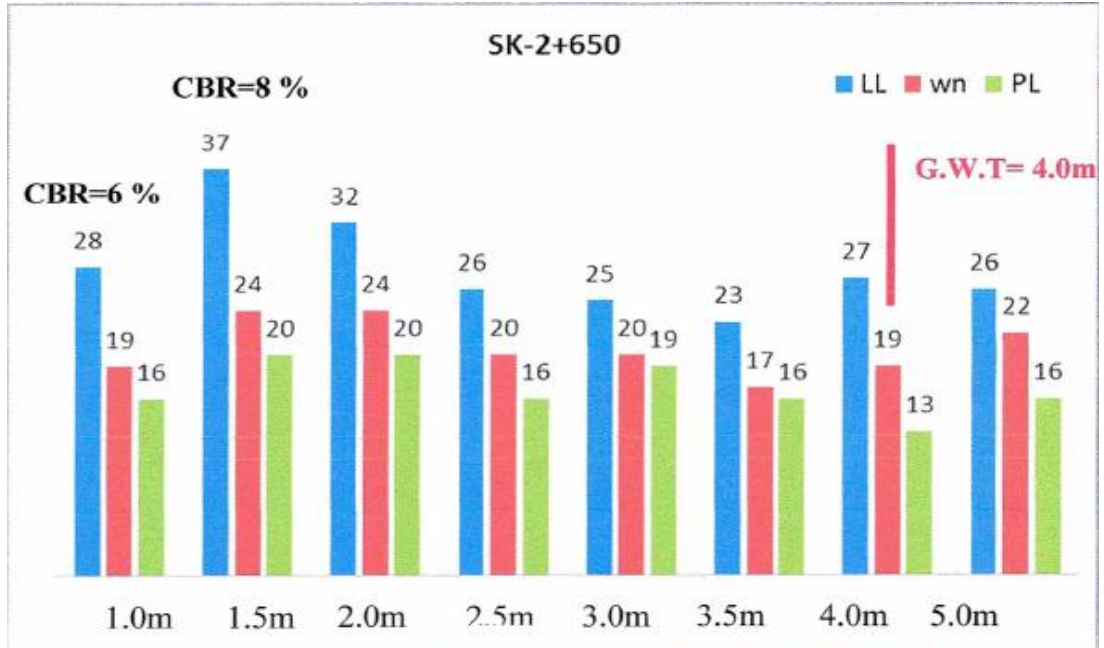


Şekil 3.3. Sondaj kuyularına ait numunelerin plastisite kartı üzerindeki yerleri

Sondaj kuyularına ait mühendislik jeolojisi parametreleri SK 0+550 nolu kuyuda ölçülerek belirlenmiştir (Şekil 3.4). Bu bölgedeki kuyuda LL (likit limit) değerlerinin yüksek olduğu ve CBR değerinin il 1.0 metrede % 3.2 olduğu saptanmıştır. SK 2+650 nolu kuyuda ise LL değerleri düşerek CBR değerleri artmıştır (Şekil 3.5).

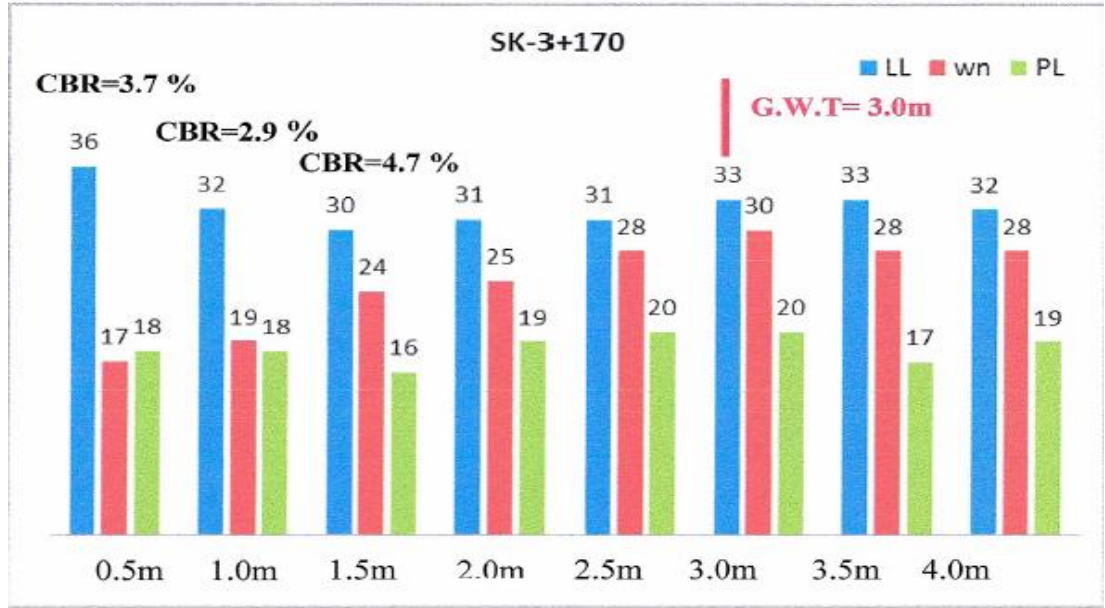


Şekil 3.4. Sondaj kuyularına ait mühendislik jeolojisi parametreleri (SK 0+550)



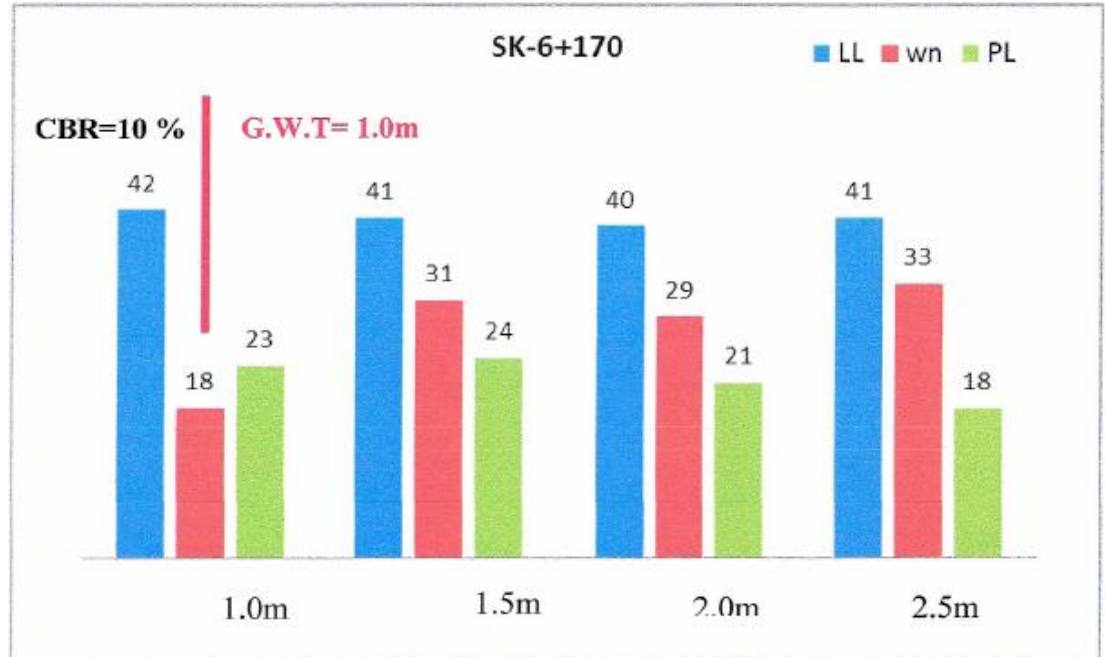
Şekil 3.5. Sondaj kuyularına ait mühendislik jeolojisi parametreleri (SK 2+650)

Ancak SK 3+170 nolu kuyuda LL değerlerinin tekrar ortalama değerlerin üzerine çıkmış, ilk 1.5 metredeki CBR değerleri % 5'in altında kalmıştır (Şekil 3.6).

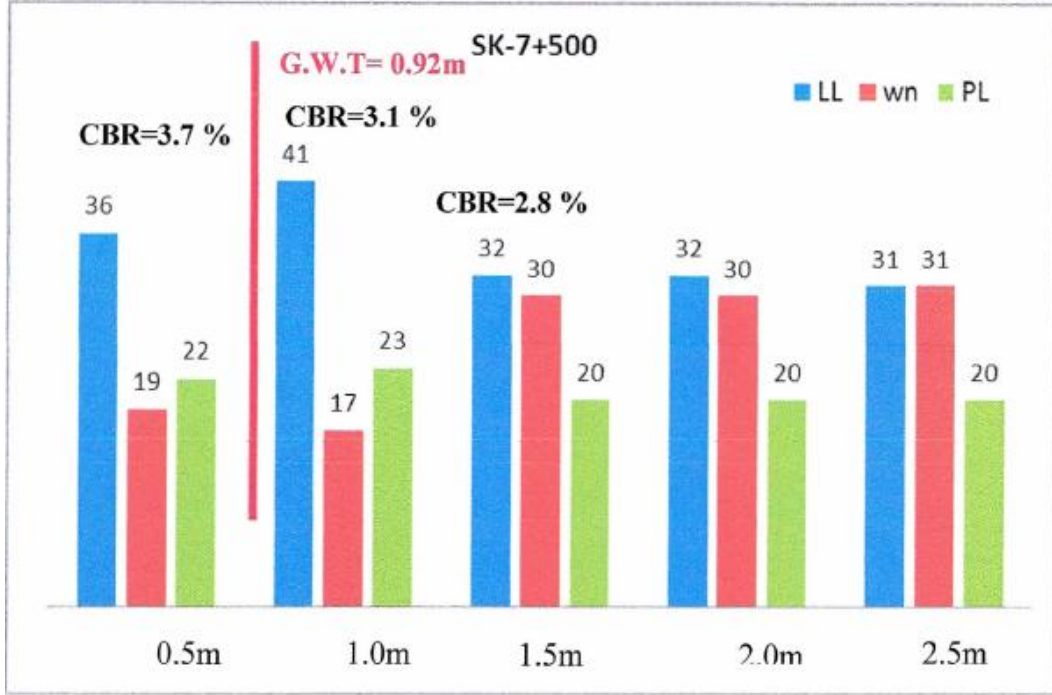


Şekil 3.6. Sondaj kuyularına ait mühendislik jeolojisi parametreleri (SK 3+170)

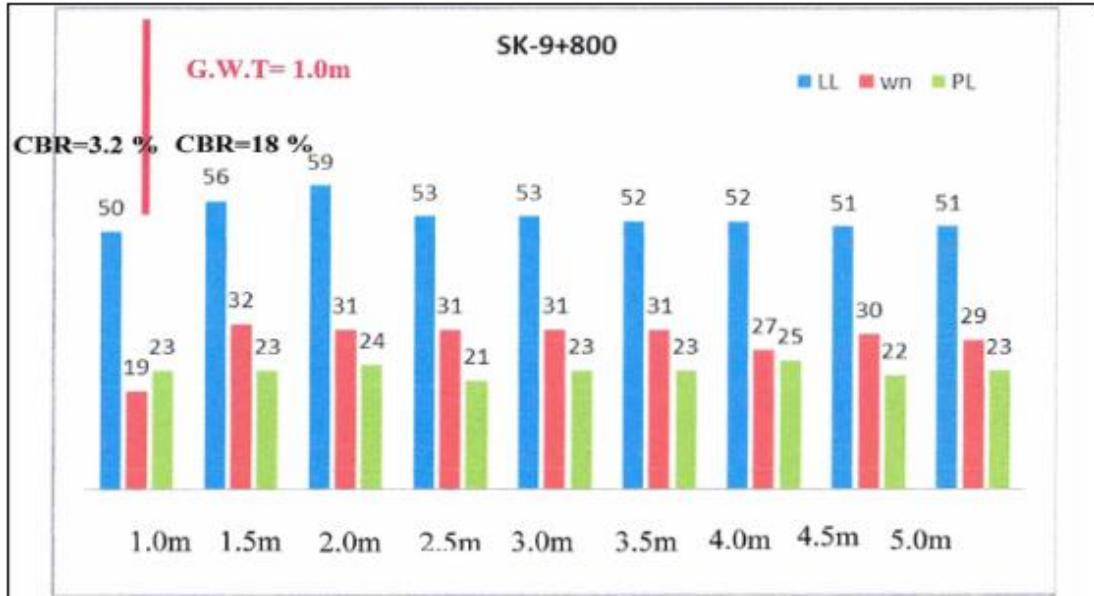
SK-6+170 nolu kuyuda taban zemin için en riskli durum LL değerlerinin yüksek olmasıdır (Şekil 3.7). CBR değeri ortalamanın üzerindedir.



Şekil 3.7. Sondaj kuyularına ait mühendislik jeolojisi parametreleri (SK 6+170)



Şekil 3.8. Sondaj kuyularına ait mühendislik jeolojisi parametreleri (SK 7+500)



Şekil 3.9. Sondaj kuyularına ait mühendislik jeolojisi parametreleri (SK 9+800)

SK 9+800 nolu kuyuda LL değerleri yüksek bulunmuştur.

Km: 0+550-9+800 arası yapılan sondaj çalışmaları (Şekil 3.10 - Şekil 3.15 arası) ve yapılan laboratuvar testleri (Tablo 3.7) ve arazi gözlemleri sonucunda mevcut güzergahta 3+300 – 5+500 arası yol gövdesinde (Şekil 3.16) ve bankette (Şekil 3.17) kaya dolgu ile iyileştirilmesine karar verilmiştir.



Şekil 3.10. SK 0+550 sondaj çalışması



Şekil 3.11. SK 1+550 sondaj çalışması



Şekil 3.12. SK 2+650 sondaj çalışması



Şekil 3.13. SK 3+170 sondaj çalışması



Şekil 3.14. SK 6+170 sondaj çalışması



Şekil 3.15. SK 9+800 sondaj çalışması



Şekil 3.16. Yol güzergahındaki (km 3+600 gövde) kaya dolgu iyileştirmesi



Şekil 3.17. Yol güzergahındaki (km 3+600 banket) kaya dolgu iyileştirmesi

H1 köprüsü mevcut güzergah üzerinde (km 6+544), proje kapsamında yenilenmesi söz konusu olduğundan zemin etüdüleri yeniden yapılmıştır. 4 adet 31.0 metrelik

sondaj yapılmıştır (Tablo 3.8’den Tablo 3.11’e). Doğal zeminden örnekler alınıp, zeminin mühendislik özellikleri laboratuarda incelenmiştir.

Zeminin litolojik özellikleri incelendiğinde ise 2.5-3.0 m’ler arası dolgu zonunun olduğu organik zeminin bitki ve ağaç köklerinin görüldüğü, 10 metre derinliğe kadar killi zeminin devam ettiği, 10-12.5 metre arasının ince kil malzemeye devam ettiği, 12.5-18.5 metreler arası tekrar kil zonu ve 18.5-20.0 metreler arası ince kum katmanı ve 20.0 – 31.5 metre arasında da tekrar kil zonuyla tamamlandığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.8. H1 köprüsü sondaj numuneleri (SK 1) jeoteknik özellikler

Numune No.	Sondaj Kuyusu	Numune derinliği (m)	Doğal su içeriği (%)	Kohezyon(kN/m^2)	İçsel sürtünme açısı	Kıvam Limitleri			Zemin Sınıflaması (USCS)
						Likit limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndeksi (%)	
						w_L	w_p	I_p	
1	SK 1	5.0	32.00	41	14	40.00	21.00	19.00	CL
2	SK 1	8.4	28.00	43	16	42.00	23.00	19.00	CL
3	SK 1	10	32.00	36	12	48.00	22.00	21.00	CL
4	SK 1	12.5	23.00	25	23	34.00	20.00	14.00	CL
5	SK 1	15.5	30.00	16	16	37.00	21.00	16.00	CL
6	SK 1	20.0	26.00	11	21	30.00	23.00	7.00	ML-OL
7	SK 1	22.5	26.00	11	21	31.00	24.00	7.00	ML-OL
8	SK 1	27.5	21.00	10	20	41.00	22.00	19.00	CL

Tablo 3.9. H1 köprüsü sondaj numuneleri (SK 2) jeoteknik özellikler

Numune No.	Sondaj Kuyusu	Numune derinliği (m)	Doğal su içeriği (%)	Kohezyon- (kN/m^2)	İçsel sürtünme açısı	Likit limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndeksi (%)	Zemin Sınıflaması (USCS)
						w_L	w_p	I_p	
1	SK 2	5.0	24.00	54	19	42.00	21.00	21.00	CL
2	SK 2	7.50	29.00	43	16	39.00	21.00	18.00	CL
3	SK 2	10.0	34.00	14	14	34.00	20.00	14.00	CL
4	SK 2	12.5	29.00	50	17	42.00	21.00	21.00	CL
5	SK 2	15	26.00	47	18	44.00	23.00	21.00	CL
6	SK 2	17.5	28.00	18	19	37.00	21.00	16.00	CL
7	SK 2	20.0	27.00	18	19	35.00	20.00	15.00	CL
8	SK 2	22.5	23.00	13	24	28.00	22.00	6.00	CL-ML
9	SK 2	25	34.00	32	11	44	24	20	CL
10	SK 2	27.5	26.00	54	19	46.00	25	21.00	CL
11	SK 2	31	25.00	41	14	43.00	23	20.00	CL

Tablo 3.10. H1 köprüsü sondaj numuneleri (SK 3) jeoteknik özellikler

Numune No.	Sondaj Kuyusu	Numune derinliği (m)	Doğal su içeriği (%)	Kohezyon (kN/m^2)	İçsel sürtünme açısı	Likit limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndeksi (%)	Zemin Sınıflama (USCS)
						w_L	w_p	I_p	
1	SK 3	5.0	29.00	43	16	37.00	18.00	19.00	CL
2	SK 3	7.50	28.00	43	16	38.00	20.00	18.00	CL
3	SK 3	10.0	30.00	43	16	43.00	23.00	20.00	CL
4	SK 3	12.0	25.00	23	21	35.00	20.00	15.00	CL
5	SK 3	15	25.00	54	19	42.00	22.00	20.00	CL
6	SK 3	17.5	29.00	43	16	44.00	21.00	23.00	CL
7	SK 3	22.5	22.00	11	21	26.00	20.00	6.00	CL-ML
8	SK 3	25	32.00	37	14	47.00	24.00	23.00	CL
9	SK 3	27.0	27.00	54	17	46.00	21.00	25.00	CL
10	SK 3	31	30.00	43	16	42.00	20.00	22.00	CL

Tablo 3.11. H1 köprüsü sondaj numuneleri (SK 4) jeoteknik özellikler

Numune No.	Sondaj Kuyusu	Numune derinliği (m)	Doğal su içeriği (%)	Kohezyon (kN/m ²)	İçsel sürtünme açısı	Likit limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndeksi (%)	Zemin Sınıflama (USCS)
						w _L	w _p	I _p	
1	SK 4	5.0	27.0	43	16	34.00	18.00	16.00	CL
2	SK 4	7.50	29.0	43	16	41.00	21.00	20.00	CL
3	SK 4	12.5	30.0	37	14	43.00	22.00	21.00	CL
4	SK 4	15	27.0	47	18	43.00	23.00	20.00	CL
5	SK 4	22	23.0	13	24	27.00	22.00	5.00	CL-ML
6	SK 4	25	30.0	32	11	43.00	23.00	20.00	CL
7	SK 4	27.5	28.0	43	16	36.00	20.00	16.00	CL
8	SK 4	31	24.0	50	17	34.00	19.00	15.00	CL

H2a köprüsü mevcut güzergah üzerinde (km 14+126), zemin etüdüleri yapılmıştır. 4 adet 31.0 metrelik sondajlar yapılmıştır (Tablo 3.12) mevcut zeminden örnekler alınıp, zeminin fiziksel ve teknik karakteristikleri laboratuvarında incelenmiştir. Zeminin litolojik özellikleri incelendiğinde ise 0.0-2.4 m’ler arası dolgu zonunun olduğu, 8.4 metre derinliğe kadar ince killi zeminin devam ettiği, 6.0-8.0 metrelerde yer altı suyuna rastlandığı, 8.4-24.0 metre arasının ince kumlu kil devam ettiği, 24.0-25.0 arası tekrar yüksek plastisiteli ince kile rastlandığı, 25.2-31.0 arası ise tekrar ince kum-kil zonuyla tamamlandığı tespit edilmiştir. SPT-N₃₀ darbe sayıları ve sıklık-kıvam ilişkisine göre zemin çok sıkı özellikte ve katı kıvamdadır (Tablo 3.13).

Tablo 3.12. H2a köprüsü sondaj numuneleri lab.deney sonuçları

Numune No.	Sondaj Kuyusu	Numune derinliği (m)	Doğal su içeriği (%)	Kohezyon (kN/m^2)	İçsel sürtünme açısı	Kıvam Limitleri			Zemin Sınıflaması ¹ (USCS)
						Likit limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndeksi (%)	
						w_L	w_p	I_p	
1	SK 1	5.4	30.29	48	19	38.38	23.58	14.80	CL
2	SK 1	10.0	26.00	47	18	48.00	25.00	23.00	CL
3	SK 1	15.0	29.00	47	18	53.00	27.00	26.00	CH
4	SK 1	20,0	27.00	47	18	46.00	25.00	21.00	CL
5	SK 1	28.0	32.13	47	18	48.35	29.03	19.32	CL
6	SK 2	10.0	26.00	47	18	44.00	23.00	21.00	CL
7	SK 2	15.0	28.00	47	18	46.00	24.00	22.00	CL
8	SK 2	20.0	25.00	48	16	35.00	17.00	18.00	CL
9	SK 2	25.0	25.00	16	16	28.00	18.00	10.00	CL
10	SK 2	31.0	35.00	36	12	41.00	20.00	21.00	CL
11	SK 3	10.0	31.00	41	16	54.00	26.00	28.00	CH
12	SK 3	15.0	27.00	47	18	48.00	24.00	28.00	CL
13	SK 3	20.0	28.00	47	18	51.00	25.00	26.00	CH
14	SK 3	25,0	31.00	14	14	36.00	19.00	17.00	CL
15	SK 3	31.0	22.00	33	10	38.00	19.00	19.00	CL
16	SK 4	31.3	25.00	54	19	47.00	20.00	27.00	CL
17	SK 4	25,4	26.00	47	18	46.00	22.00	24.00	CL
18	SK 4	31.4	33.00	36	14	57.00	27.00	30.00	CH
19	SK 4	25.5	24.00	11	21	26.00	20.00	6.00	CL-ML
20	SK 4	31.5	27.00	14	14	33.00	17.00	16.00	CL

H2a (km: 14+126) köprüsü SPT- N_{30} darbe sayıları ve sıklık-kıvam ilişkisi incelenmiş olup bu bölgedeki zemin istifinin katı kıvamlı olduğu (Tablo 3.13) ve sondaj numunelerindeki verilere göre zemin sınıfının genel olarak CH-CL olarak değiştiği gözlenmiştir.

SK-2; h= 10.0 m $N_{30}=46$, SK-3; h= 15.0 m $N_{30}= 46$

SK-4; h = 10.0 m $N_{30}=55$, SK-4; h= 20 m $N_{30}> 50$

Tablo 3.13. SPT-N₃₀ darbe sayıları ve sıklık-kıvam ilişkisi

SPT-N	Sıklık (İri)	SPT-N	Kıvam (İnce)
0-4	Çok gevşek	2	Çok yumuşak
4-10	Gevşek	2-4	Yumuşak
10-30	Orta sıkı	4-8	Orta sert
30-50	Sıkı	8-15	Sert
>50	Çok sıkı	15-30	Çok sert
		>30	Katı

Rehabilitasyon çalışmaları kapsamında güzergah üzerinde bulunan H3 köprüsünde (km: 23) araştırma sondajları yapılmıştır (Tablo 3.14, Tablo 3.15, Tablo 3.16, Tablo 3.17). Alınan zemin numunelerinde doğal su içerikleri, zeminin kohezyon ve sürtünme açısı belirlenmiş, kıvam limitleri testleri sonucu zemin sınıfı bulunmuştur. Yüksek su içeriklerine rağmen düşük plastisiteli killi zemine (CL) yapılan genel araştırma sondajları boyunca rastlanmıştır.

Tablo 3.14. H3 köprüsü sondaj numuneleri (SK1) laboratuvar deney sonuçları

Numune No.	Sondaj Kuyusu	Numune derinliği (m)	Doğal su içeriği (%)	Kohezyon (kN/m^2)	İçsel sürtünme açısı	Kıvam Limitleri			Zemin Sınıflaması (USCS)
						Likit limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndeksi (%)	
						w_L	w_p	I_p	
1	SK 1	5.0	31.00	33	10	57.00	28.00	29.00	CH
2	SK 1	7.5	26.00	11	21	29.00	23.00	6.00	CL-ML
3	SK 1	10,0	22.00	11	21	25.00	20.00	5.00	CL-ML
4	SK 1	15.0	25.00	54	19	43.00	21.00	22.00	CL
5	SK 1	17,5	22.00	13	24	28.00	21.00	7.00	CL-ML
6	SK 1	20,0	21.00	54	19	43.00	20.00	23.00	CL
7	SK 1	22,5	32.00	41	16	53.00	26.00	27.00	CH
8	SK 1	25,0	32.00	37	14	51.00	24.00	27.00	CH
9	SK 1	27.5	23.00	11	21	26.00	20.00	6.00	CL-ML
10	SK 1	30	20.00	11	21	23.00	19.00	4.00	CL-ML

Tablo 3.15. H3köprüsü sondaj numuneleri (SK2) laboratuvar deney sonuçları

Numune No.	Sondaj Kuyusu	Numune derinliği (m)	Doğal su içeriği (%)	Kohezyon (kN/m ²)	İçsel sürtünme açısı	Kıvam Limitleri			Zemin Sınıflaması (USCS)
						Likit limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndeksi (%)	
						w _L	w _p	I _p	
1	SK 2	5.0	43.00	12	12	39.00	23.00	16.00	CL
2	SK 2	7.50	44.00	12	12	38.00	22.00	16.00	CL
3	SK 2	10.0	24.00	9	18	27.00	21.00	6.00	CL-ML
4	SK 2	12.5	21.00	9	18	25.00	19.00	6.00	CL-ML
5	SK 2	15	31.00	41	16	53.00	26.00	27.00	CH
6	SK 2	17.50	26.00	9	18	28.00	23.00	5.00	CL-ML
7	SK 2	20.0	24.00	54	19	42.00	20.00	22.00	CL
8	SK 2	22.5	26.00	47	18	44.00	22.00	22.00	CL
9	SK 2	25.0	32	37	14	51	25	26	CH
10	SK 2	27.50	21.00	9	18	25.00	20.00	5.00	CL-ML
11	SK 2	30.00	19.00			23.00	19.00	4.00	CL-ML

Tablo 3.16. H3köprüsü sondaj numuneleri (SK3) laboratuvar deney sonuçları

Numune No.	Sondaj Kuyusu	Numune derinliği (m)	Doğal su içeriği (%)	Kohezyon (kN/m ²)	İçsel sürtünme açısı	Kıvam Limitleri			Zemin Sınıflaması (USCS)
						Likit limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndeksi (%)	
						w _L	w _p	I _p	
1	SK 3	5.0	46.00	29	7	62.00	29.00	33.00	CH
2	SK 3	7.50	45.00	29	7	56.00	28.00	28.00	CH
3	SK 3	10.0	28.00	47	18	56.00	27.00	29.00	CH
4	SK 3	12.5	21.00	15	27	26.00	20.00	6.00	CL-ML
5	SK 3	15.0	29.00	47	18	52.00	25.00	27.00	CH
6	SK 3	17.50	22.00	11	21	27.00	20.00	7.00	CL-ML
7	SK 3	22.5	33.00	37	14	50.00	24.00	26.00	CH
8	SK 3	27.50	23.00	9	18	26.00	20.00	6.00	CL-ML
9	SK 3	30.0	22.00	ölçüm yok	ölçüm yok	28.00	21.00	7.00	CL-ML

Tablo 3.17. H 3 köprüsü sondaj numuneleri (SK4) laboratuvar deney sonuçları

Numune No.	Sondaj Kuyusu	Numune derinliği (m)	Doğal su içeriği (%)	Kohezyon(kN/m ²)	İçsel sürtünme açısı	Kıvam Limitleri			Zemin Sınıflaması (USCS)
						Likit limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndeksi (%)	
						w _L	w _p	I _p	
1	SK 4	5.7	28.00	47	18	49.00	24.00	25.00	CL
2	SK 4	10.0	31.00	41	16	53.00	26.00	27.00	CH
3	SK 4	15.0	25.00	54	19	47.00	22.00	25.00	CL
4	SK 4	20.0	20.00	68	20	41.00	18.00	23.00	CL
5	SK 4	25.00	28.00	47	18	54.00	26.00	28.00	CH
6	SK 4	30.0	20.00	11	21	26.00	20.00	6.00	CL-ML

3.1.3. Konik penetrasyon testleri (CPT)

H1 köprüsü rehabilitasyon çalışmaları kapsamında, 4 adet konik penetrasyon testi ASTM D5778-95(2000) standartlarına göre yapıldı (Şekil 3.18). CPT test loglarında zemin sınıflama, içsel sürtünme açısı ve kesme dayanımı değerleri Ek-C’de sunulmuştur. CPT ekipmanı elektronik bilgi edinme sistemine sahiptir.

Elektronik koni penetrasyon testi (CPT), 36 mm çaplı 10 cm² koni alanına ve 150 cm² ‘lık yüzey alanına sahip CPT konisinin hidrolik bir sistem yardımıyla 2cm/s hızla zeminin altına itilmesiyle oluşan direncin ve sürtünme açılarının elektronik dönüştürücüler vasıtasıyla hesaplanması esasına dayanan bir testtir. H1 köprüsü (km: 6+544) rehabilitasyon çalışmaları kapsamında, 4 adet 19-20 metre derinliğinde konik penetrasyon testi ASTM D5778-95(2000) standartlarına göre yapıldı (Ek- C). Yapılan testlerin ilk 1-2 metresinde ince daneli sert kum ve kumlu kil zemine rastlanılmıştır.

Yine bu derinliklerde koni uç direnci (q), sürtünme direnci (f_c) sürtünme oranı (R_f), efektif sürtünme açısı (ϕ) ve drenajsız kayma mukavemeti (s_u) yüksek sonuç vermiştir. Boşluksuyu basıncı 0 kPa olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu verilere göre (Robertson 1990) methoduna göre zemin davranış tipi belirlenmiştir. 2. metreden sonra genellikle siltli kil ve yer yer kumlu silt zemine rastlanmıştır (Ek- C).



Şekil 3.18. H1 köprüsü (km 6+544) CPT test planı

3.1.4. Dinamik koni penetrasyon testleri (DCP)

Güzergahın km: 0+370 ile 9+700 arasında mevcut güzergahın sol ve sağ banketinde ASTM D 6951-03 standardına göre DCP (Dinamic Cone Penetration) testleri yapılarak doğal zeminin mühendislik jeolojisi özellikleri incelenmiş DCP-CBR korelasyonu yapılmıştır (Tablo 3.18). Yol banketlerinde yapılan DCP testlerindeki amaç mevcut zemin hakkında mühendislik jeolojisi özellikleri saptamak ve yol gövdesi altındaki tabii zemin hakkında kazı öncesi fikir edinmek. DCP test logları ayrıntılı olarak Ek-B'de gösterilmiştir. Bazı ölçümlerde lokal olarak doğal zeminin ilk 50 cm derinliklerinde nispeten yüksek CBR değerleri vardır. Ancak ilerleyen derinliklerde CBR değerlerinde azalmalar başlamıştır. DCP testlerinde kohezyonlu ve granüler zeminlerde zemine 100 mm batma için gerekli düşü sayısı (n) hesaplanarak sınıflamalar yapılmıştır (Tablo 3.19, Tablo 3.20). Bu sınıflama ve korelasyona göre km: 0+300 - 7+500 arası zeminlerin genelde sert zemin sınıfına

girdiği ancak ASTM D 6951'deki korelasyona göre CBR değerlerinin 500 mm'den sonra ($< \% 0.6$) azaldığı görülmektedir. Banket zeminin ilk 20 santimetresinde bitki ve ağaç köklerinin olduğu gözlenmiş ve bu yükseklikteki DCP değerlerinin sağlıklı olmadığı anlaşılmıştır.

Tablo 3.18. DCP-CBR korelasyonu (ASTM D6951-03)

DCP Testi	CBR	DCP Testi	CBR	DCP Testi	CBR
(mm / düşüş)	(%)	(mm / düşüş)	(%)	(mm / düşüş)	(%)
<3	100	39	4.8	59-71	2.5
3	80	40	4.7	72-74	2.4
4	60	41	4.6	75-77	2.3
5	50	42	4.4	76-80	2.2
6	40	43	4.3	81-83	2.1
7	35	44	4.2	84-87	2
8	30	45	4.1	88-91	1.9
9	25	46	4	92-95	1.8
10-11	20	47	3.9	97-101	1.7
12	18	48	3.8	102-107	1.6
13	16	49-50	3.7	108-114	1.5
14	15	51	3.6	115-121	1.4
15	14	52	3.5	122-130	1.3
16	13	53-54	3.4	131-140	1.2
17	12	55	3.3	141-152	1.1
18-19	11	56-57	3.2	153-156	1
20-21	10	58	3.1	156-163	0.9
22-23	9	59-60	3	164-206	0.8
24-26	8	61-62	2.9	206-233	0.7
27-29	7	63-64	2.8	234-271	0.6
30-34	6	65-66	2.7	272-324	0.5
35-38	5	67-68	2.6	>324	<0.6

Tablo 3.19. DCP testi kullanarak Granüler zeminler için tavsiye edilen sınıflandırma sistemi (Huntley, 1990)

Sınıflandırma	100 mm batma için gerekli düşü sayısı (n)	
	Kum	Kum-Çakıl
Çok Gevşek	<1	<3
Gevşek	2-3	3-7
Orta Yoğun	4-10	8-20
Yoğun	11-17	21-33
Çok Yoğun	>17	>33

Tablo 3.20. DCP testi kullanarak kohezyonlu zeminler için tavsiye edilen sınıflandırma sistemi (Huntley, 1990)

Sınıflandırma	100 mm batma için gerekli düşü sayısı (n)
Çok Yumuşak	<1
Yumuşak	1-2
Sıkı	3-4
Sert	5-8
Çok Sert	>8

3.1.5. Pressiyometre testleri

Güzergahın km: 0+550 - 7+500 arası ASTM D 4719-00 standardına göre 6 adet kuyuda pressiyometre testleri yapılarak çalışma alanının oluşturan alüvyon içerisindeki zeminin davranışı incelenmiştir. 3-4 metre derinlikteki doğal zeminin stres-deformasyon davranışı incelenmiş ve test sonuçları özetlenmiştir (Tablo 3.24). Bu test sonuçlarına ulaşmak için çeşitli referans tablolardan yararlanılmıştır (Tablo 3.21, Tablo 3.22, Tablo 3.23). Menard elastisite modülü, limit basınç, net limit basınç, elastisite modülü, drenajsız kayma mukavemeti ve zemin tipi gibi jeoteknik özelliklere ulaşılmıştır (Ek-D).

Tablo 3.21. Menard Pressiyometre Testine Ait Basınç modülü E_0 ve Nihai Basınç P_L Değerleri

Zemin Tipi	E_0 kg/cm ² , tsf	P_L kg/cm ² , tsf
Bataklık ve çok yumuşak killler	2-15	0.2-1.5
Yumuşak killler	5-30	0.5-3.0
Katı killler	30-80	3.0-8.0
Sert killler	80-400	6-25
Gevşek siltli kumlar	5-20	1-5
Siltler	20-100	2-15
Kum ve çakıllar	80-400	12-50
Dolgu	75-400	10-50
Yeni dolgu	5-50	0.5-3
Eski Dolgu	40-150	4.0-10
Kalıcı zemin	20-160	-
Ayrışmış şist	200-500	-
Kalıcı zeminler (şist ve gnays)	50-2000	-
SM, ML, saprolit		

Tablo 3.22. Pressiyometre parametreleri için genel değerler

KİL					
Zemin Sınıfı	yumuşak	orta	sert	çok sert	Katı
P_L (kPa)	0-200	200-400	400-800	800-1600	>1600
E_0 (kPa)	0-2500	2500-5000	5000-12000	12000-25000	>25000

KUM					
Zemin Sınıfı	gevşek	sıkı	yoğun	çok yoğun	not:
P_L (kPa)	0-500	500-1500	1500-2500	>2500	
E_0 (kPa)	0-3500	3500-12000	12000-22500	>22500	100 kPa=1.04 tsf

Tablo 3.23. Menard Pressiyometre testi net limit basıncı ile ilgili killerin dayanımı ve kumların relatif yoğunlukları ile ilgili bilgiler

KİLLER			
P_L (kN/m ²)	Sınıflama	Arazi testi	Drenajsız kayma mukavemeti (kN/m ²)
0-75	çok yumuşak	yumruk ile nüfuz etme, parmaklar arasında kolayca sıkılır	< 20
75-100	yumuşak	Parmaklarla kolayca nüfuz etme, kolay kalıplanır	20-40
150-350	sağlam	zor nüfuz edilir, sert parmak basıncı ile kalıplanır	40-75
350-800	sert	Güçlü parmak basıncı ile dişlenmiş	75-100
800-1600	çok sert	Güçlü parmak basıncı ile dişlenmiş	> 150
1600+	katı	parmak basıncı ile dişlenemeyen parmak-tırnak veya kalem ucu ile nüfuz edilir	

KUMLAR		
PL (kN/m ²)	SINIFLAMA	SPT N_{30}
0-200	çok gevşek	0-4
200-500	gevşek	4-10
500-1500	orta yoğun	10-30
1500-2500	yoğun	30-50
2500+	çok yoğun	> 50

Tablo 3.24. Pressiyometre test sonuçları ve değerlendirme

Kuyu No	YASS (m)	PRESSİYOMETRE TEST SONUÇLARI				DEĞERLENDİRME		
		Derinlik (m)	Menard Elastisite Modülü E_M (kg/cm ²)	Limit Basınç P_L (kg/cm ²)	Net Limit Basınç P_L (kg/cm ²)	Elastik Modül E (kPa)	Drenajsız Kayma Mukavemeti C_u (kPa)	Zemin Tipi
SK 0+550	2.25	3.50	54	4.18	2.55	8060	48	Katı kil Orta kil Katı kil
SK 1+550	3.23	4.00	15	2.14	2.09	2240	-	Silt
SK 2+650	3.94	4.00	30	3.68	2.41	4480	41	Katı kil Orta kil Katı kil
SK 3+170	3.00	3.50	14	1.1	0.91	2090	20	Yumuşak kil Yumuşak kil Yumuşak kil
SK 6+170	1.00	3.00	13	1.07	1.07	1940	22	Yumuşak kil Yumuşak kil Yumuşak kil
SK 7+500	0.92	3.00	3	0.41	0.41	450	11	Çok yumuşak kil Yumuşak kil Çok yumuşak kil
$E=E_M/a$ $a=0.67$ (Menard Faktörü), $C_u=0.67 \times P_L^{0.75}$ (kPa) (Biraud 1992 ve Baguelin 1978)								

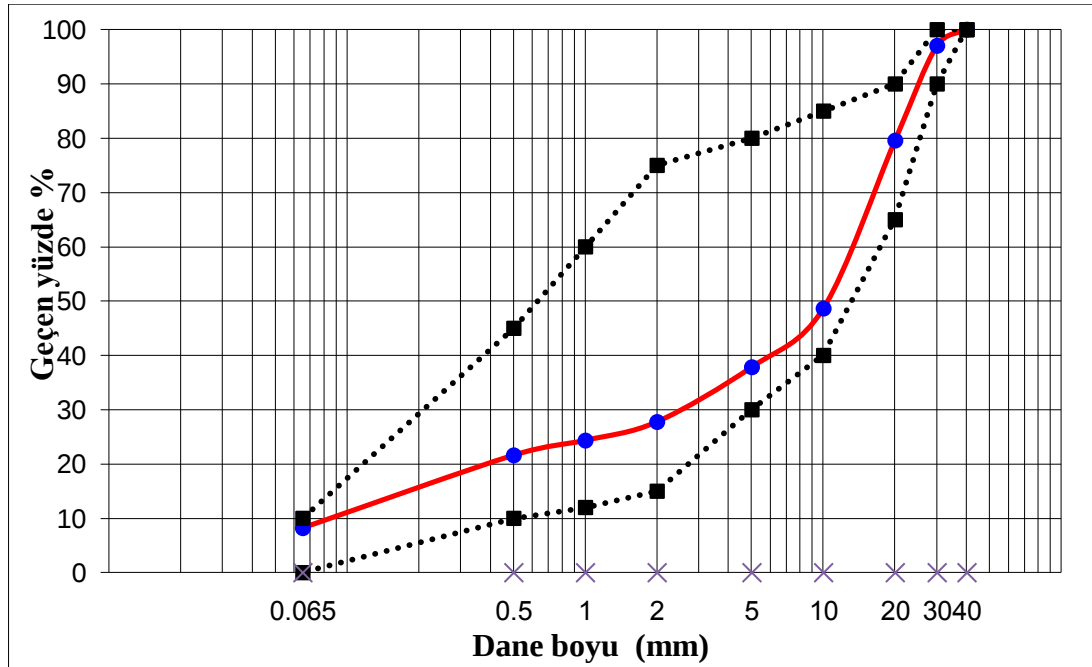
3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları kapsamında, yol güzergahından alınan araştırma çukuru örnekleri laboratuvar ortamında test edilmiştir. Alınan numunelerin elek analizleri, doğal su içerikleri, maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası (modifiye proktor testi), CBR, zemin sınıflaması ve kıvam limitleri deneyleri yapılmıştır. Güzergah 4 kısımda incelenmiş benzer mühendislik jeolojis özellikleri gösteren alanlar aynı grupta incelenmiştir. Bu incelemede yapılan zemin sınıflamasında AASHTO A-7-6 ve A-6 sınıfı zeminlerin güzergahta yaygın bulunduğu, km: 43+300-48+300 arasında ise A-6 ve A-4 grubu zeminlerin daha fazla olduğuna rastlanılmıştır. İnceleme alanın genel olarak alüvyon olduğu km : 0-7 arası ise düşük CBR'lı (< % 3) zeminler ile beraber yer yer organik zeminlerin de olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda bu bölgede eski güzergahta kullanılmış olan granüler dolgu malzemesi A-2-6 grubunda olup CBR değeri % 20 'nin altındadır.

Düşük taşıma gücü belirlenen alanlarda toprak zemin kazısı yapılarak yerine düşük plastikli veya plastik olmayan, taşıma gücü yüksek granüler malzeme, laboratuvar testleri teknik şartnameye uygun olan malzeme yol dolgusunda kullanılmıştır (Tablo 3.25). Üstyapı malzemelerinin (alttemel-temel), asfalt (marşal testi, ekstraksiyon ve karot sıkışmaları) ve bitüm testleri (yumuşama noktası, penetrasyon, duktilite ve parlama noktası) laboratuvarında incelenmiştir.

Yol kesitlerinden elde edilen verilere göre dolgu kalınlığı fazla olan (1.0-2.0 m) yerlerde zayıf zemin kazısına ihtiyaç duyulmamış, taşıma gücü yüksek ve şartname koşullarına uygun bir seçme malzeme dolgusuyla (Şekil 3.19) yol dolgusu bitirilmiştir. Ancak yol kesitlerinde dolgu kalınlığının düşük olduğu yarma alanlarda (< 1.0 m) yerlerde, mühendislik jeolojisi özellikleri incelenmiş ve cbr değeri 3'ün altında olan alanlarda kazı derinliği 0.50 m ile 1.0 m arası arttırılmıştır.

A-7-6 ve A-6 grubu zeminlerde düşük CBR değerlerinin bulunması nedeniyle alanlardaki yol dolgusu kalınlığı arttırılmış ve sıvılaşmanın yüksek olduğu yerlerde kaya dolgu ve jeotekstil iyileştirmesi yapılmıştır Şekil (3.20).



Şekil 3.19. Güzergahta kullanılan dolgu malzemesinin gradasyonu

Tablo 3.25. Güzergahta kullanılan dolgu malzemelerinin testleri

TESTLER	DOLGU MALZEMESİ TESTLERİ Km : 0+370-37+051	DOLGU MALZEMESİ TESTLERİ Km : 37+050+48+300
CBR (%)	44.05	94
Los Angeles Aşınma Değeri (%)	19.2	15.1
LL (%)	23.7	NP
PI (%)	8	NP
200 No'lu elekten geçen (%)	< 10	< 3
Zemin Sınıfı (AASHTO)	A-2-4	A-1-a



Şekil 3.20. Güzergahın km: 47+100-sol tarafından 1.5 metrelik kazının ardından çıkan zayıf zemin (CH- Organik kil)

3.3. Yol Güzergâhındaki Zeminlerin Jeoteknik Özellikleri

Yol güzergahında yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen verilere göre güzergah mühendislik özellikler bakımından 4 kısımda incelenmiştir. 1. kısımda (km: 0+370-9+750) 0.5-1.5 m derinliğinde A-7-6 grubu killi zemin sınıfında ve düşük CBR'lı ($< \% 3.5$), yüksek doğal su içerikli ($> \% 25$) zeminlere rastlanmıştır. Yine bu bölgede yer altı su seviyesinin 1.81-5.90 m arası değiştiği ve modifiye proktor deneylerinde maksimum kuru birim hacim ağırlığın $1.710-1.891 \text{ g/cm}^3$ arası olduğu görülmüştür (Tablo 3.2).

2. ve 3. kısımda (km: 9+750-16+100 ve km: 16+100-43+300) ise benzer mühendislik özellikler görülmüştür. 0.5-1.5 m derinliğinde A-7-6 ve A-6 grubu killi zemin sınıfında ve düşük CBR'lı ($< \% 4.5$), yüksek doğal su içerikli ($> \% 18.8$) zeminlere rastlanmıştır. Yine bu bölgede yer altı su seviyesinin 0.95-2.50 m arası değiştiği ve modifiye proktor deneylerinde maksimum kuru birim hacim ağırlığın $1.704-1.798 \text{ g/cm}^3$ arası olduğu görülmüştür (Tablo 3.3, Tablo 3.4).

4. kısımda (km: 45+300-48+050). 1.0-1.5 m derinliğinde A-6 ve A-4 grubu siltli zemin sınıfında ve düşük CBR'lı ($< \% 3.3$), yüksek doğal su içerikli ($> \% 20$) zeminlere rastlanmıştır. Bu bölgede yer altı su seviyesine 0.95-2.50 m arası yapılan kazılarda rastlanılmamıştır. Modifiye proktor deneylerinde maksimum kuru birim hacim ağırlığın $1.788-1.896 \text{ g/cm}^3$ arası olduğu görülmüştür (Tablo 3.5).Yapılan arazi testleri (sondajlar, CPT, DCP, Pressiyometre) sonuçları ve tüm güzergah boyunca 200-250 m aralıklarla yolun her iki ekseninden açılan araştırma çukurlarından alınan numunelerin laboratuvarda incelenmesiyle 4 bölgeye ayrılan güzergahta, tabii zemini riskli görülen alanlar tespit edilmiştir.

4. YOL ÜST YAPILARI

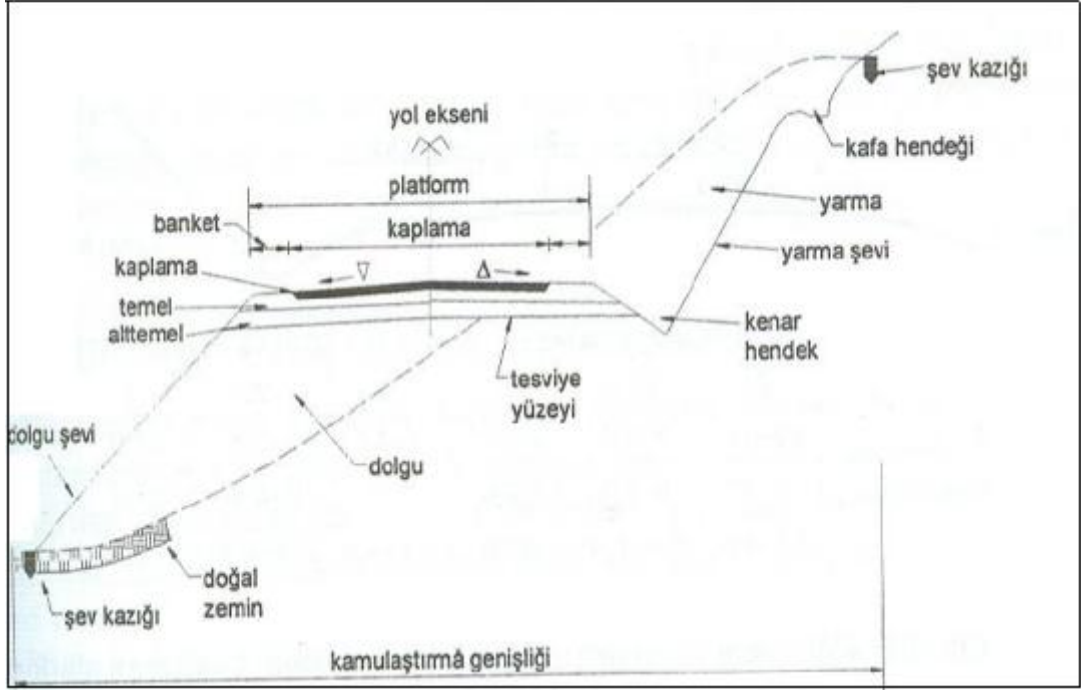
Üstyapılar, kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Taban zeminine, trafiğe, çevre koşullarına ve ekonomik hususlara bağlı olarak en uygun üstyapı tipi seçilir (Şekil 4.1).

Bitümlü kaplama tabakalarıyla oluşturulan üstyapılara esnek üstyapı denir. Esnek üstyapı, tesviye yüzeyiyle sıkı bir temas sağlayan trafik yüklerini, kaplama, temel ve alt temel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup; stabilitesi, adezyon, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır. Trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değere indirmek, altyapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, esnek üstyapıların amacıdır.

Kaplama, taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve yapıya sızan yüzeysel su miktarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini azaltmak amacıyla temel tabakası üzerine inşa edilen bir tabakadır.

Kaplama altındaki temel tabakası, bağlayıcısız ya da bir bağlayıcı maddeyle işlem görmüş olan belirli granülometrideki malzemeden oluşur. Ana görevi, üstyapının yük taşıma kabiliyetini artırmaktır. Ayrıca, trafik hareketlerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşı da koruma sağlayabilecek özelliklere sahip olmalıdır.

“Alttemel ise, trafik yüklerinin taban üzerine yayılımını sağlamak, ince taneli altyapıların temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek, ayrıca su ve don tesirlerine karşı direnç sağlamak, tampon bölge görevi yapmak için tesviye yüzeyi üzerine serilen tabakadır” (İlcalı, 2001).

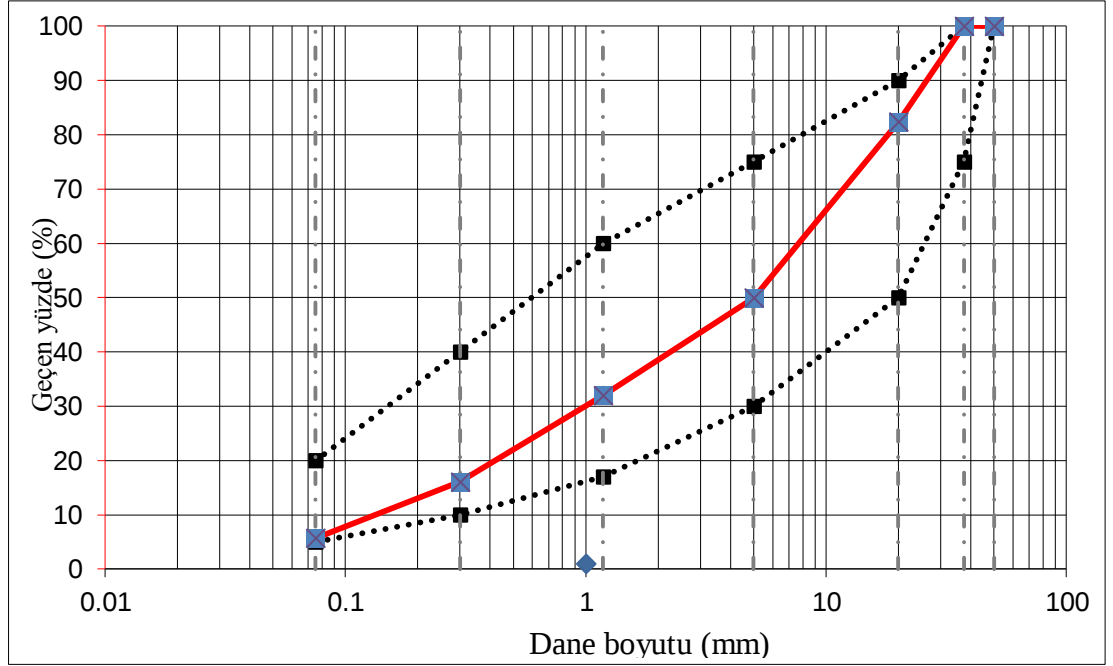


Şekil 4.2. Yol en kesiti ve tabakalar

“Bütün yapılarda olduğu gibi karayolu üstyapıları da taban zemini üzerine oturur. Taban zemini, sıkıştırılmış doğal zeminden oluşur (Şekil 3.20). Bir esnek üstyapının davranışı taban zemininin taşıma gücü ile doğrudan doğruya ilişkili olduğundan, yapısal olarak en önemli tabakadır. Üstyapı yükü son olarak bu tabakaya iletilir. Bu tabakanın esas görevini iyi yapabilmesi için iyi bir drenaja ihtiyacı vardır (Karaşahin, 1993)”.

Hacıqabul-Sabirabad proje yolunda üstyapı kaplamaları sırasıyla aşınma asfalt tabakası, binder asfalt tabakası, bitümlü temel, temel ve alt temel olarak sıralanmıştır (Şekil 4.2).

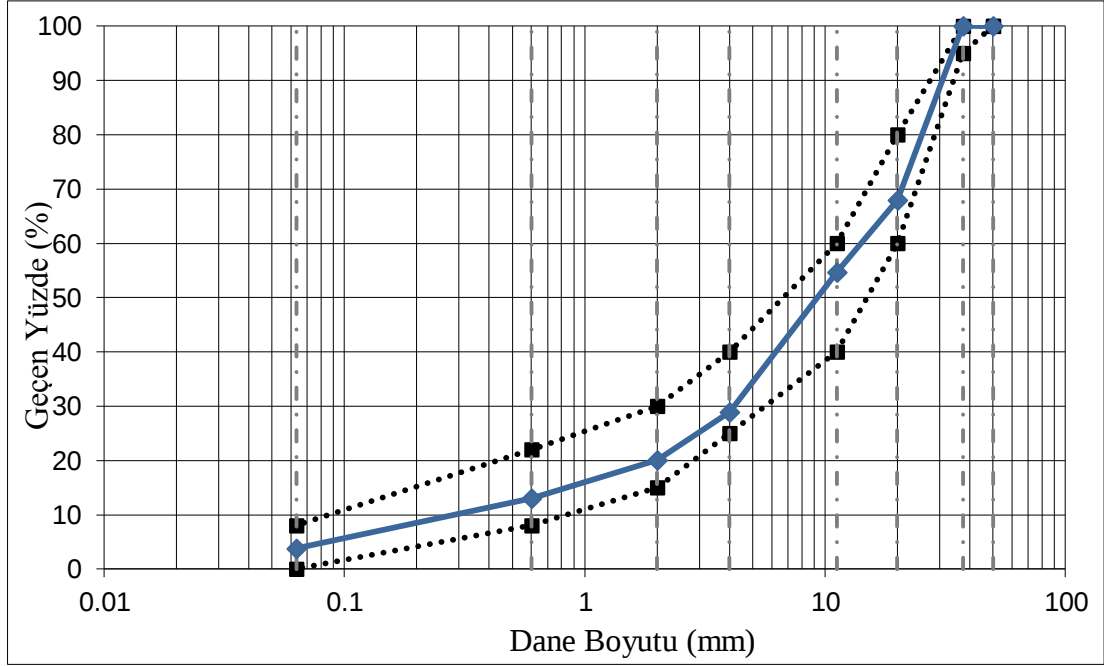
Güzergahın üstyapısında kullanılan alt temel ve temel malzemelerinin işlevliği ve mekanikliği büyük önem arz etmektedir. Kullanılan malzeme oturmalarla karşı dayanıklı olması ve şişme özelliğinin olmaması ve içindeki kırmataş malzeme yüzdesinin yüksek olması gibi özellikleri sebebiyle laboratuvar analizlerinde çok iyi sonuçlar alınmaktadır. Yol güzergahında kullanılan alt temel (Şekil 4.3) ve temel malzeme (Şekil 4.4) arasındaki en önemli fark kırmataş ve filler malzeme oranlarının değişik olmasıdır.



Şekil 4.3. Yol güzergahında kullanılan alt-temel (subbase) tabakasına ait tipik bir gradasyon

Çalışmada öncelikle, her bir hafif agrega malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Numuneler üzerinde dona karşı dayanıklılık, sağlamlık, limit deneyleri ve CBR deneyleri uygulanmıştır. Malzemelerin alttemel tabakasında mekanik stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Yol üstyapısında kullanılan alt temel ve temel malzemesi non-plastik özelliktedir. Aşınma değerleri (Los Angeles) yaklaşık % 15-16'dır. Alt temelin %95 maks.kuru birim hacim sıkılığındaki CBR değeri % 83'tür.



Şekil 4.4. Yol güzergahında kullanılan kırma taş temel (crushed base) tabakasına ait tipik bir gradasyon

4.1. Uygulanan İyileştirme Yöntemleri

Güzer üzerindeki mühendislik jeolojisi özellikleri bakımından görülen zayıf zemin geçişlerinde alınması gereken önlemler ve parametreler takip edilmiştir. Uygulanan esas iyileştirme yöntemlerinin başında zayıf zeminli bölgelerin (km:0+370-7+400) kaya dolgu ve geotekstil uygulamalarıyla iyileştirilmesi gelmektedir. Bu tip bölgelerde arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler çok önemli olmakla beraber, jeomorfolojik olarak yüzey sularının ve göl havzalarının görülebileceği alanlarda en az riske girerek yol gövdesinin uygun maliyete göre ve kısa sürede iyileştirme yönteminin seçilip uygulanması esastır.

Yol güzergahının yarma ve dolgu yükseklikleri enine kesitlerle incelenmiş, sanat yapıları temelleri menfez dolgu yükseklikleri, yolun geometrisi (enine boyuna eğim v.s), güzergahın bulunduğu alanın topoğrafik ve morfolojik özellikleri, litoloji-havza özellikleri belirlenmiş ve yeraltı su seviyesinin sığ olduğu alanlarda (Şekil 3.20) yüzey göllenmelerin görüldüğü alanlarda zamanla trafik yüküne maruz kalan bölgelerde oturmaların minimuma indirilmesi ve üst yapıya zarar verilmemesi

açısından koruma ve drenaj malzemesinin (capping & drainage) jeotekstil membranı ile beraber kullanılmış ve oturmalar azaltılmıştır. Tabanda zayıf zemin kazısından sonra, yer altı suyu olmayan fakat yüzey göllenmeleri nedeniyle oluşan taşıma gücü yetersizliklerini önlemek amacıyla zayıf zemin sıyrılır ve kazılan kısımda serbest drenajlı granüler malzeme kullanılmıştır. Serbest drenej malzemesi (Tablo 4.1) yüzeyden itibaren dolgu tabanında 30-40 cm. suyun iki tarafa geçmesini sağlamak amacıyla yükseltilmiştir.

Tablo 4.1 Serbest drenajlı granül malzeme tane boyu dağılımı

Elek Boyu	Geçme % 'si
75mm	100
20mm	60-100
5mm	30-100
2mm	20-60
600 mikron	0-25
75 mikron	0-5

Zeminin iyileştirme tabakası ile takviye edilmesi durumunda; iyileştirme tabakasının zemine gömülerek malzeme kaybının çok fazla olması ve zeminin çok yumuşak olması nedeniyle imalatı problem yaşanması durumunda jeosentetikler kullanılmaktadır. Ayrıca; suni atıklardan oluşan yapay dolguların olması durumunda yeni inşa edilecek yol dolgusunu az kalınlıkta ve sadece üstyapı yüklerinin etkili olduğu durumlarda jeosentetikler kullanılabilir.

Özellikle, dolgu imalatında geo sentetikler yumuşak zayıf zemin üzerine serilip dolgu bunun üzerinde teşkil edildiğinde, geotekstil dolgu malzemesinin ve/veya eğer kullanılıyorsa dolgu altındaki granüler malzemenin zemine gömülmesini engelleyerek seperasyon görevi görürler, granüler malzemenin altında filtre olarak çalışırlar (Şekil 3.15). Ayrıca yüksek çekme dayanımına sahip oldukları için dolgu ve altındaki zayıf zemin içeren bir kayma hareketini engelleyici donatı olarak kullanılabilirler (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Zayıf zemin üzerine geotekstil (ayırma membranı) uygulaması

Geotekstil ayırma membranı malzemesi kullanılmış polipropilen/ polietilen karışımı BS 6906'a göre permeabilite ve ASTM D4533-85' a göre mekanik testleri yapılmış onaylı bir üründür.



Şekil 4.6. Mevcut güzergahta (km 47+300-Sağ) geotekstil-kaya dolgu-drenaj malzemesi uygulamasından bir örnek

Mevcut güzergahta Şekil 4.6 ‘da görüldüğü gibi aynı uygulama yolun sol tarafına da yapılmış ve sol taraf dolgusu capping (koruma tabakası) seviyesinde trafiğe zorunlu olarak verilmiştir. Trafik yükünden doğan oturmaları gözlemek amacıyla ve bölge koşullarının alternatif yol eksikliliği sebebiyle çalışma sahası ikiye bölünmüş ve tamamlanan dolgunun üzerinde araç geçişine izin verilmiştir (Şekil 4.7).



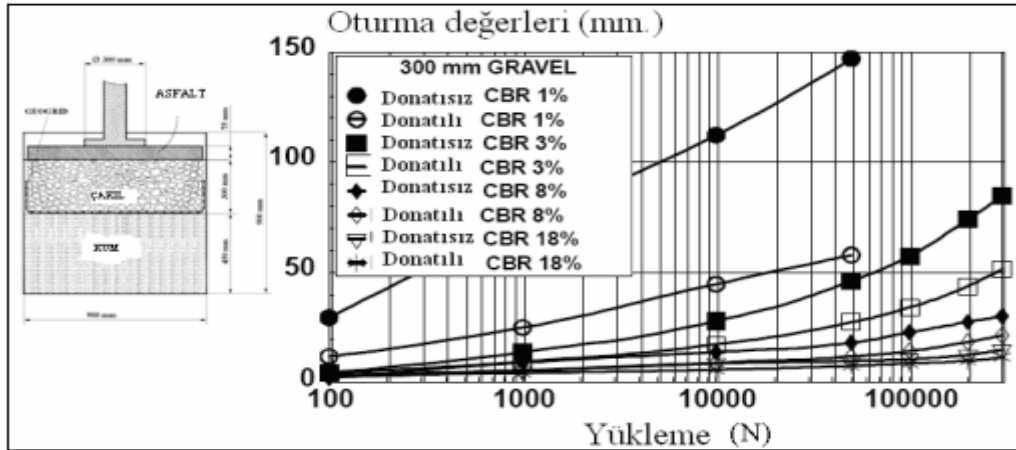
Şekil 4.7 km 47+300 - 47+700 Sağ taraf zayıf zemin kazı ve dolgu çalışmasından bir örnek

Zayıf zemin geçişlerinde gerek yer altı suyunun drenajı için drenaj tabakası teşkilinde, gerekse yüzey göllenmelerinden yolun etkilenmemesi için iyileştirme tabakası oluşturulmasında, sistemin tüm yol tabanında yekpare olarak çalışması sağlanmalıdır. Yeni yapılan yollarda, söz konusu drenaj veya iyileştirme tabakası, problemli kesimin tamamında yaygın (şilte şeklinde) veya sistematik olarak (yolu enine kesen analar şeklinde) uygulanabilir.

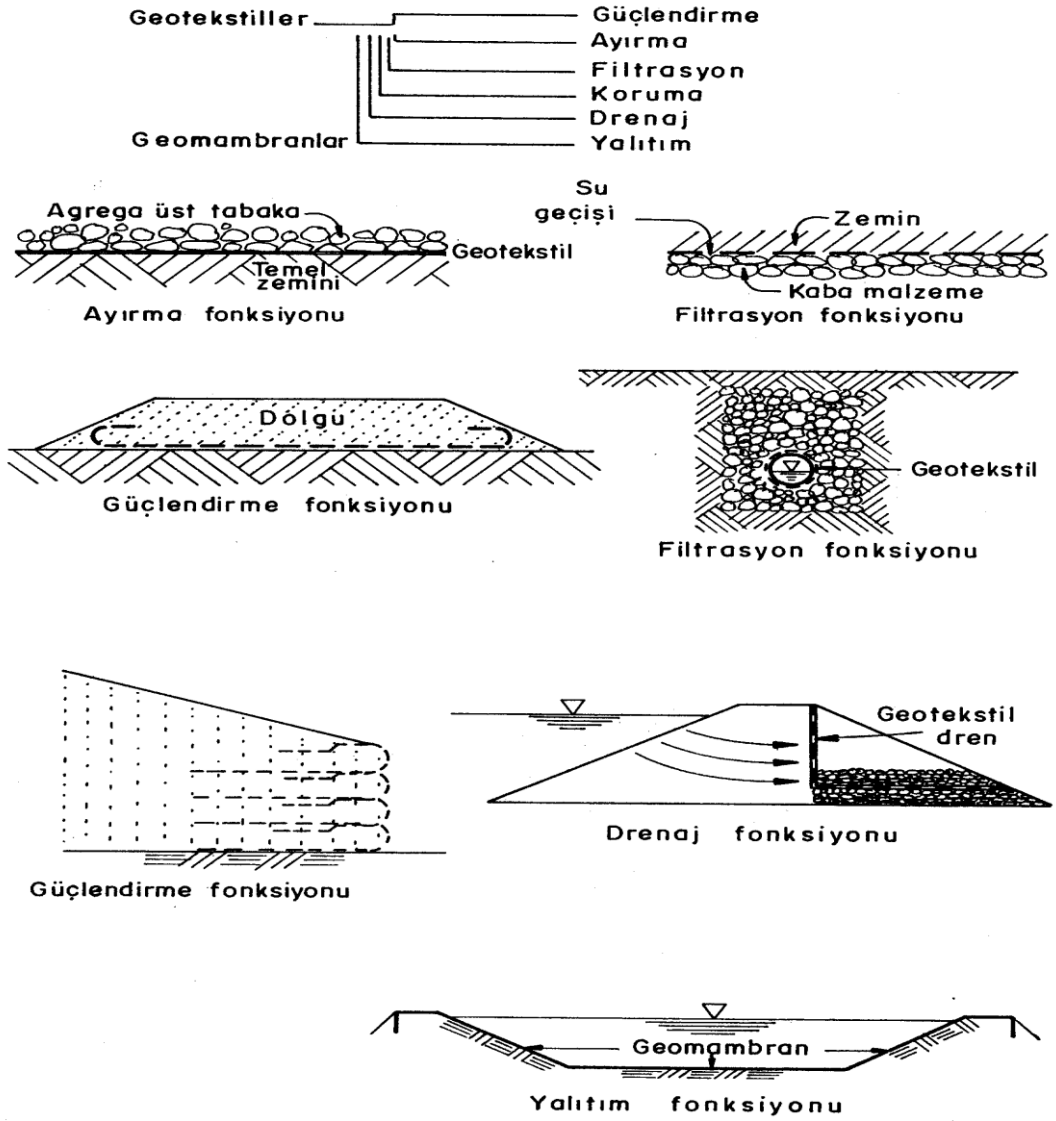
Güçlendirilmiş bir yol yapısı oluşturmak için zemin özelliklerinin tam ve doğru olarak belirlenmiş olması gerekmektedir. Yol inşaatlarında sıklıkla kullanılan CBR Kaliforniya taşıma gücü oranı zeminin sıklığı ile ilgili bize önemli bilgiler

vermektedir. $CBR < 0.5$ ise ilk olarak mekanik stabilizasyon yapılmalıdır. Zemin ile temel arasına örgüsüz geo tekstil ayırma amaçlı serilmeli temel dolgusunda da taşıma gücünü arttırmak ve oturmaları önlemek için geogrid kullanılmalıdır. $0.5 < CBR < 2.0$ ise örgüsüz geotekstil üzerine geogrid serilmelidir. Burada geogrid uygulaması ile kullanılacak dolgunun kalınlığını azaltabilir. $2.0 < CBR < 4.0$ ise geo grid maliyet analizine bağlı olarak kullanılmalıdır. Burada geogrid (Şekil 4.9) kullanımı üst yapının ömrünü uzatmakta ve farklı oturmaları önlemektedir. Ayrıca tasarım kalınlığı da geogrid kullanımı ile düşebilir.

CBR değerlerine göre geogrid donatının yararlarına dair yapılan bir çalışmada 4 adet farklı sıklıkta kum laboratuvar şartlarında hazırlanmıştır. Kum tabakasının kalınlığı Şekil 4.10'da görüldüğü gibi 45 cm dir. Ara katmana geogrid donatı serilerek ve serilmeden numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra ise üzerine 30 cm kalınlığında çakıl dolgu yapılmıştır. Yapılan dolgu tabakasının üstüne ise 7.5 cm kalınlığında asfalt serilmiş ve 8 farklı durum için yükleme deneyi yapılmıştır. Bu yüklemeler sonucu oturma – yükleme grafiği çizilmiştir. Grafikte CBR %1 olan zeminde geogridin oturma değerlerini ne kadar düşürdüğü görülmektedir. CBR değeri arttıkça geogridin etkisi azalmaktadır (Şekil4.8).



Şekil 4.8. Belirli yüklemelerdeki oturma grafiği



Şekil 4.9. Geotekstil Çeşitleri ve Uygulamaları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Azerbaycan Atbulaq-Sabirabad karayolu güzergahında Km:0+370-48+300 kesimi yerinde incelenmiştir. Proje hazırlık aşamasında ve proje aşamasında yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları ve imalat öncesi yapılan ilave çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ışığında bu tez hazırlanmıştır. Yolun kotlu planları çıkarılarak güncel en kesitler elde edilmiştir. Güzergah boyunca belirli aralıklarla yolun banketlerinde ve genişleme yapılacak kesimde doğal taban zemininde DCP deneyleri yapılmıştır (Ek-B). Yol güzergahının banket kısmında yapılan DCP testlerinde alınan sonuçlar CBR'la korelasyon yapılmış (Tablo 3.18), zemin yüzeyine inildikçe CBR değerlerinin %10'un altına düştüğü gözlemlenmiş ancak DCP test sonuçlarının farklılıklar göstermesi nedeniyle güzergahtan alınan araştırma çukuru numunelerinin deney sonuçları kesin bilgi açısından büyük önem taşımıştır. Güzergah boyunca tabii zeminin çeşitli derinliklerinden alınan araştırma çukuru örnekleri laboratuvar ortamında incelenmiştir. Mühendislik jeolojisi özellikleri bakımından 4 Bölgeye ayrılan yol güzergahının zemin sınıfı km: 0+370-43+300'e kadar A-7-6 ve A-6 grubu olarak, km: 43+300-48+300 arası ise zemin sınıfı A-6 ve A-4 grubu olarak tespit edilmiştir (Şekil A.1). Laboratuvar deneyleri sonucunda güzergah zemin sınıfına ve benzer mühendislik özelliklere göre 4 kısımda incelenmiştir (Ek-A).

Güzergahın tamamı suya doymun relatif olarak zayıf zeminlerden geçmektedir. Araştırma sahasının 0+300 - 7+500 arası, az-orta konsolide zeminin varlığı, A-7-6 grubu killi zeminin varlığı ve alüvyon kalınlığının yolun batısına doğru azalması, oturmanın karakterini etkilemektedir. Yolun batısına doğru gidildikçe oturma miktarı azalmaktadır. Yol dolgusu kalınlığının az olması ve trafik yüklerinin dinamik etkisi sorunlu taban zemini özellikleriyle birlikte yol gövdesini ve üstyapıyı olumsuz etkilemektedir. Yeraltı su seviyesi yüzeye çok yakındır, yol gövdesi taşkın sularının etkisi altında kalmaktadır. Gövdeye yeraltı ve yüzey suları sızarak kapiler kuvvetler ve trafik yükleri sayesinde kaplama seviyesine yükselebilmektedir.

Eski ve yeni dolguların oturma farkından kaynaklanan deformasyonların yol üst yapısında boyuna çatlak oluşturmaları kuvvetle muhtemeldir. Bu problemlerin çözümünde en etkili yöntemlerden biri zayıf zemin alanlarının tespit edilip jeotekstil ve kaya dolgu uygulamalarının yol güzergahında kullanılmasıdır. Böylece tabanda taşıma gücü zayıf kilin şişme ve oturma potansiyeline karşı alınacak uygun bir önlem olabilir. Proje aşamasında daha önce denenmiş ve uygulanmış olan kaya dolgu ve jeotekstil kullanımlarında yolun güzergahında herhangi bir probleme rastlanmadığı, sağlam bir altyapıyla beraber esnek ve dayanıklı bir üstyapı olduğu, oturma ve tekerlek izlerinin minimuma düştüğü gözlenmiştir. Yapım aşamasında güzergah boyunca değişkenlik gösteren zemindeki oturmaların denetimi topoğrafik etüdler ve poligon okumalarıyla kontrol edilmiştir. Yol güzergahının 6+544'üncü kilometresinde bulunan H1 köprüsünde rehabilitasyon çalışmaları kapsamında 4 adet CPT (Koni Penetrasyon Testi) testi ASTM D5778-95(2000) standartlarına göre yapıldı. CPT test loglarında koni direnci, zemin sınıflama, içsel sürtünme açısı, boşluk suyu basıncı ve drenajsız kayma mukavemeti değerleri tespit edilmiştir (Ek-C). Azerbaycan Atbulaq-Sabirabad karayolu güzergahında zemin iyileştirme konusunda yapılan çalışmalarda Kalite Kontrol işlemlerinde laboratuvar veya arazi deney sonuçları büyük önem taşır. Laboratuvar deneyleri uzun zamandır zemin iyileştirmesinde kontrol amaçlı olarak kullanılsa da, arazi deney tekniklerinde son zamanlardaki gelişmelerle arazi kontrol mekanizmaları daha etki olarak kullanılmaktadır. Zemin iyileştirilmesinin kontrolünde laboratuvar deney teknikleri kullanmanın sayısız avantajları vardır. Fakat bu tekniklerin bazı tür zemin iyileştirmede kullanılamayışı iyileştirmenin sağlamış olduğu faydayı gösterememektedir. İyileştirilmiş zeminden numune alma gereği laboratuvar deney tekniklerinin kullanımında çok sayıda avantaj sağlamaktadır. Laboratuvar deneyleri gerilme, birim deformasyon ve çevresel şartların kontrolü ve daha sağlıklı ölçülmesi bakımından arazi deneylerine kıyasla daha üstündür. Bu esneklik, bazı durumlarda, iyileştirilmiş zemin özelliklerinin daha sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesine imkân vermektedir. Zemin iyileştirmesinin etkinlik derecesinin kontrolünde DCP, SPT, CPT, deneylerinin hepsi de kullanılabilir. SPT ve CPT deneyleri örnekleme ve laboratuvar deneylerine kıyasla nispeten hızlı ve düşük maliyetli deneylerdir.

KAYNAKLAR

Adamia S., Alania V., Chabukiani A., Kutelia Z., Sadradze N., Great Caucasus, A Long-lived North-Tethyan Back-Arc Basin, *Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.)*, Vol.20, 2011, pp. 611-628.

Ağar E., Süttaş İ., Öztaş G., Beton Yol Teknolojilerinde Güncel Uygulamalar, *İsfalt Yol Kültürü Dergisi*, 1.

Akçelik N., Etkesen Z., Mısırlı E., Timur İ., *Karayollarında zayıf zemin problemleri ve önlemler*, 266, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1983.

Aliyev S. A., Büyüktoku A., Doğu Azerbaycan'ın ponsiyen havzalarının fasiyes özelliklerinin incelenmesinde biyojeokimyasal kriterler, *MTA*, 121.

Bayramov E., Aliyev G. I., Hasanov H. Y., Editörler: Alizade A. A., Ahmetbeyli F. S., Kangarlı T. N., Tagiyev İ. İ., Yusifzade X. B., Zamanov Y. C., *Azerbaycan Cumhuriyeti Jeoloji Haritası, Azerbaycan Milli İlimler Akademisi, Jeoloji Enstitüsü, Azerbaycan Ekoloji ve Tabii Servetler Bakanlığı*, 1, 1, 2008.

Gökçek H. Ç., Çalışkan V., Rehabilitation of 600 km of Magistral Roads, Section: M6 Hajiqabul-Behramtepe, Baş Şirvan Kollektörü CPT Test Results Factual Report, *Zemin Etüd Ve Tasarım A.Ş (ZETAŞ)*, H1-CPT, 1-2, 2011.

Hanafy E. A. D. E., Swelling / Shrinkage Characteristics Curve of Desiccated Expansive Clays, *Geotechnical Testing Journal*, 14 (2), 206-211.

Hunts M., Bell F. G., Mosely M. P., Impe V., *Gorund Improvement*, 1, Macmillan Publishers New Zealand Ltd., 1992.

İlcalı M., Karayolu Üstyapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1988, 152s.

Karaşahin M., Resilient Behaviour of Granular Materials for Analysis of Highway Pavements, PhD thesis, University of Nottingham, Department of Civil Engineering, England, 1993, 312.

Ketin İ., *Kafkasya ve İskandinavya Memleketlerinde Jeolojik Müşahadeler*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul 1965.

Sridharan A., Free swell index of soils: A need for re-definition, *Indian Geotechnical Journal*, 1985, 15, 94-95.

Suhai F., Fredlund D. G., Model for the simulation of swelling pressure measurements on expansive soils, *Canadian Geotechnical Journal*, 1998, **35**, 96-114.

Tekin M., Aksoy S., Azərbaycan Karayolları Projesi II Hacıqabul-Bahremtepe-Horadiz Yolu, Lot-1, km : 0+370-9+925, Arazi Araştırmalarına Ait Geoteknik Değerlendirme Raporu, *Geomed*, 1, 8-9-13, 2011.

URL-1: <http://astm.org/database.cart/historical/D5778-95R00.htm>, (Ziyaret tarihi: 26 Haziran 2013).

URL-2: <http://astm.org/database.cart/historical/D6951-03.htm>, (Ziyaret tarihi : 26 Haziran 2013).

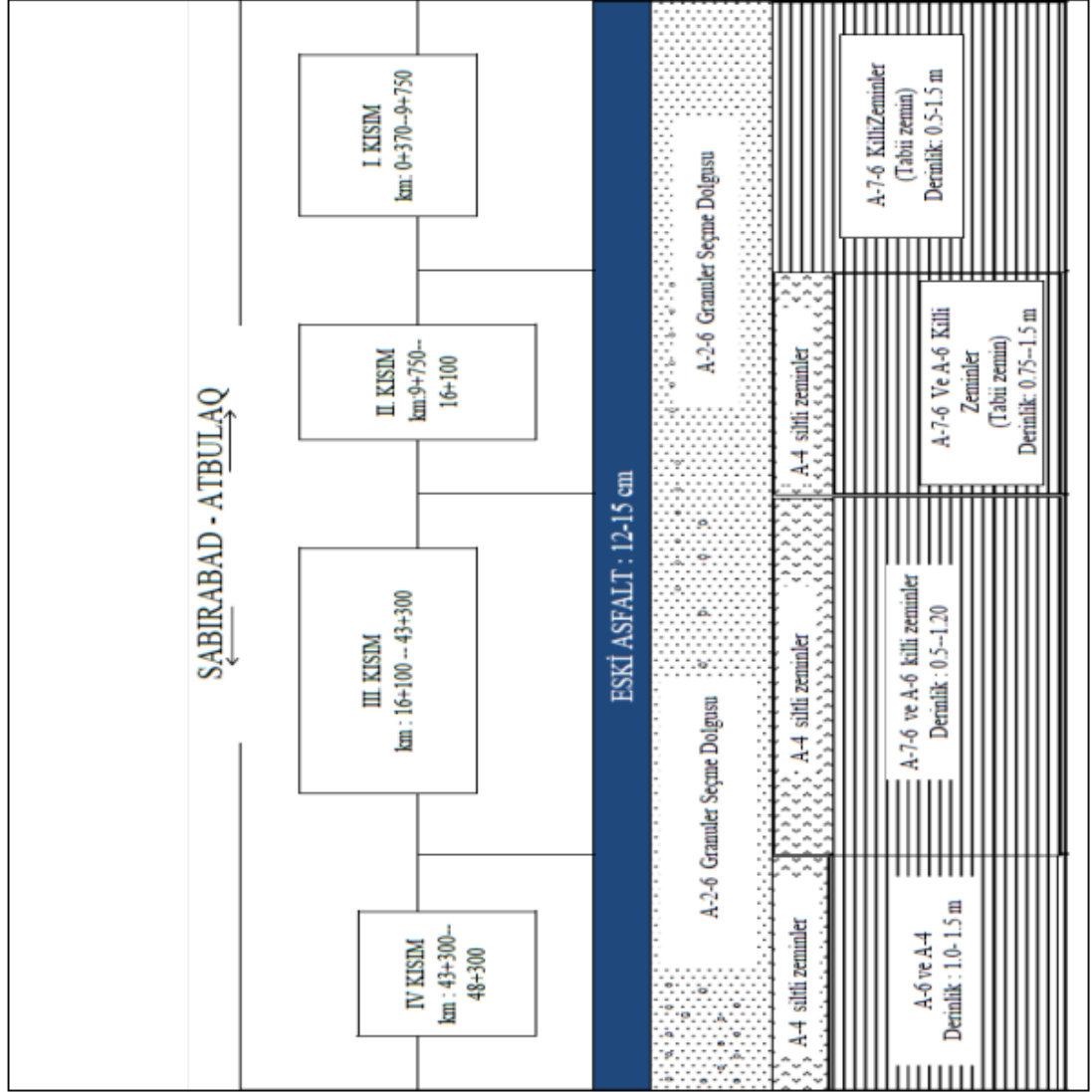
URL-3: <http://infoplease.com/atlas/country/azerbaijan.html>, (Ziyaret tarihi: 26 Haziran 2013).

Vekilov B. G., Aliyev S. A., Doğu Azərbaycan'ın Ponsiyen denizi, *Azərbaycan Bilimleri Akademisi yayl.*, 221.

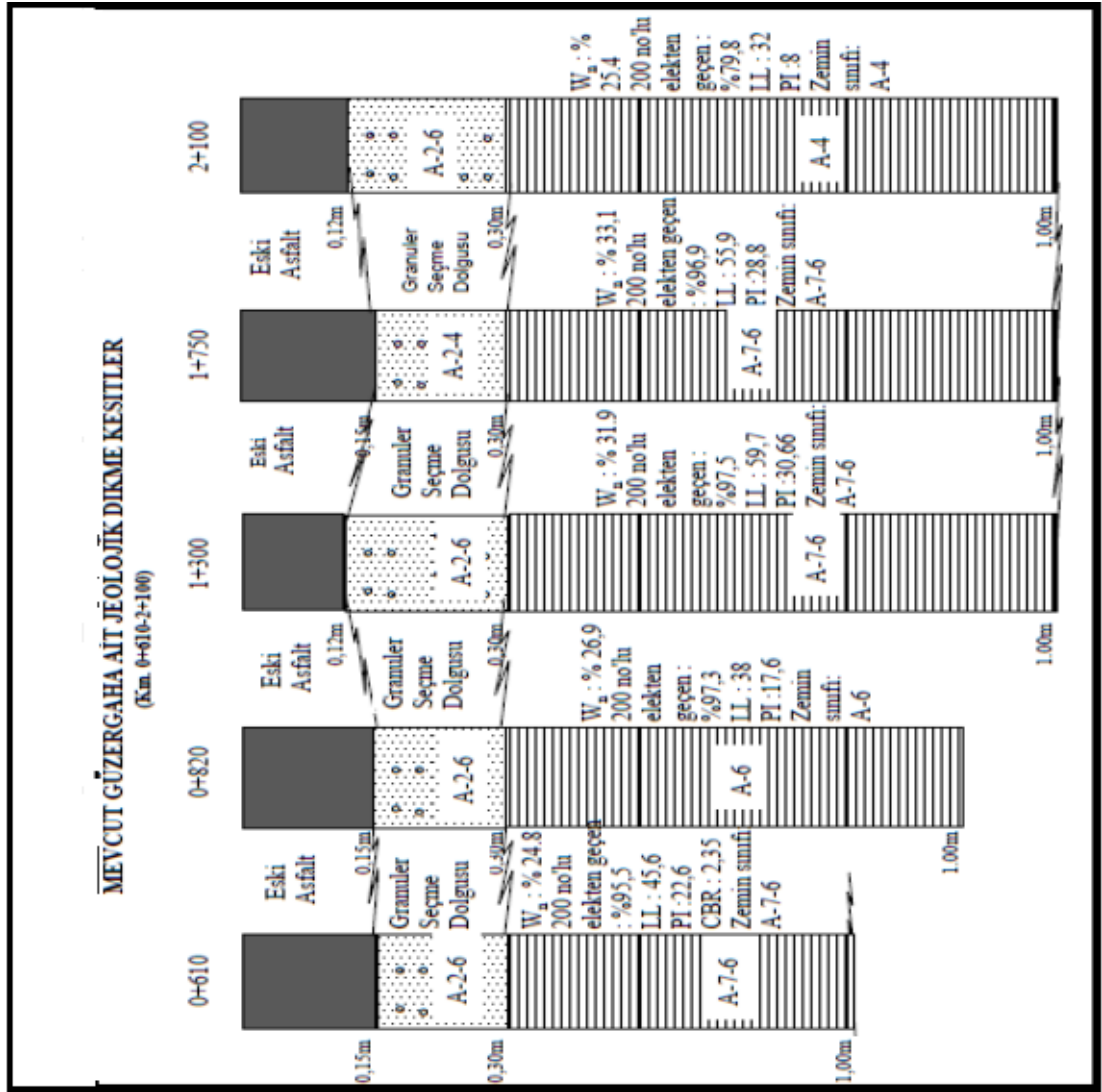
Yong R. N., Warkentin B. P., Soil properties and behaviour, *Elsevier Scientific*, 449.

EKLER

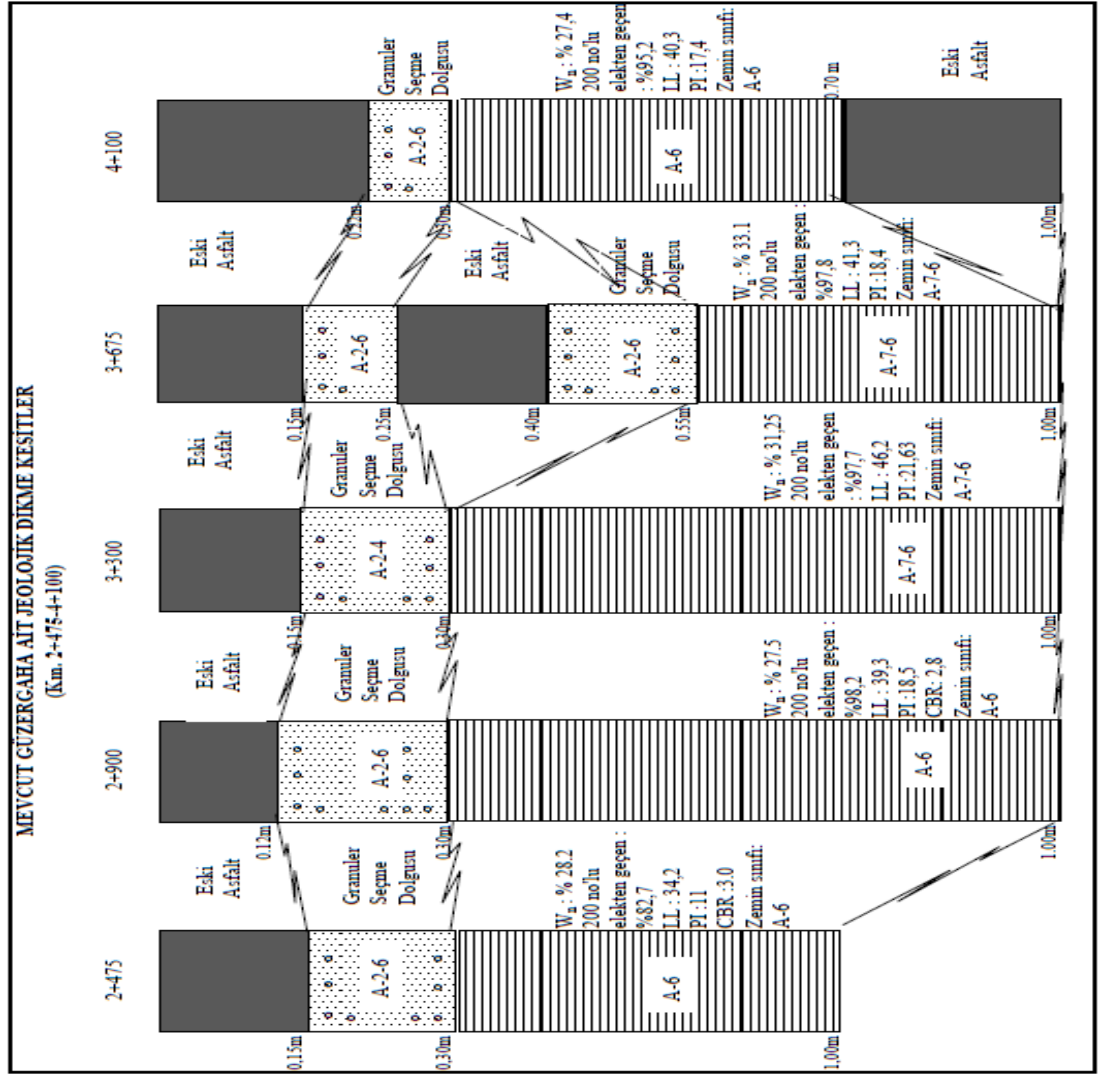
Ek-A. Güzergahın Mühendislik Özelliklerini Gösteren Şekiller



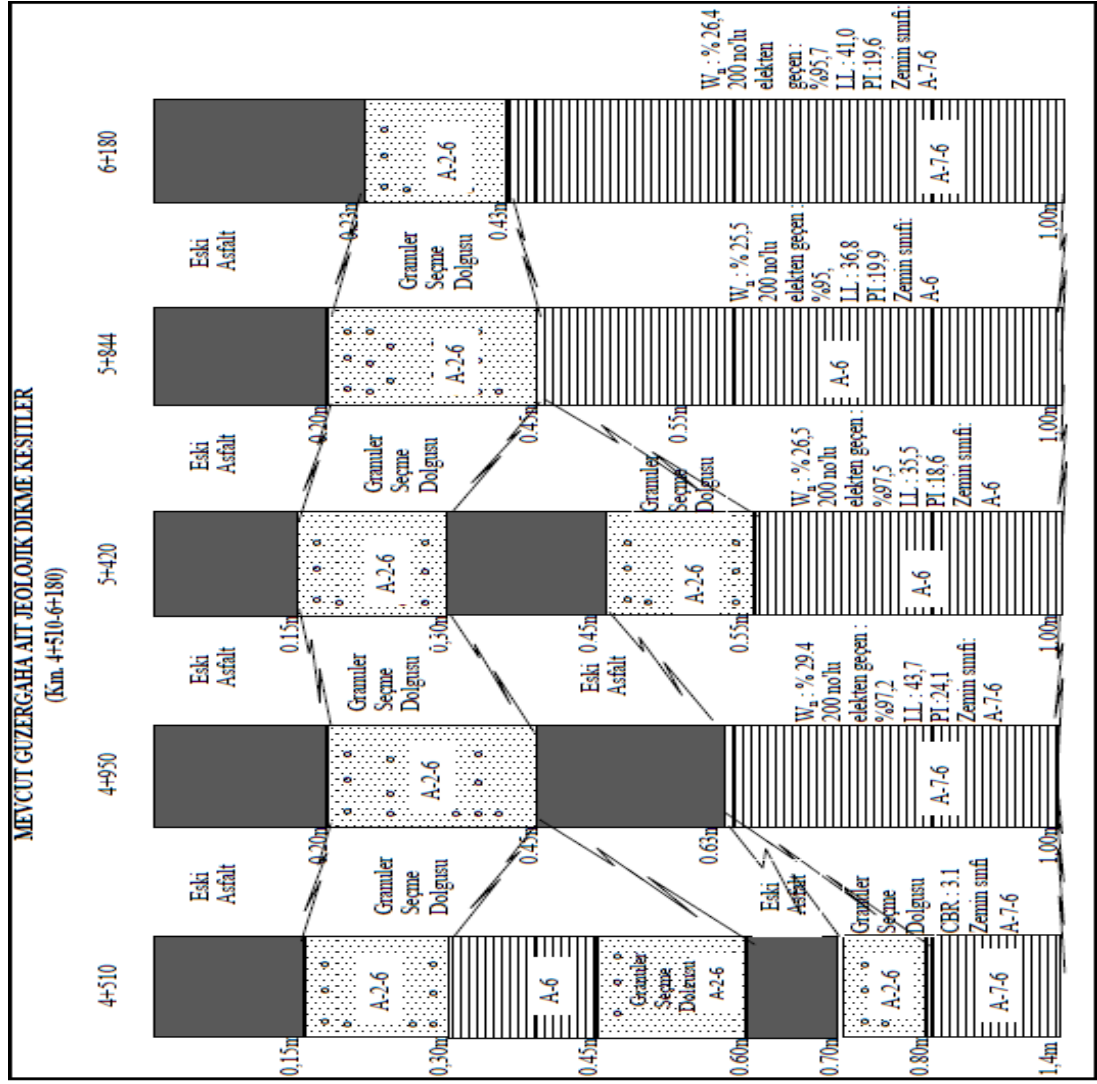
Şekil A.1. Mevcut güzergaha ait mühendislik jeolojisi özelliklerini içeren genelleştirilmiş kesit



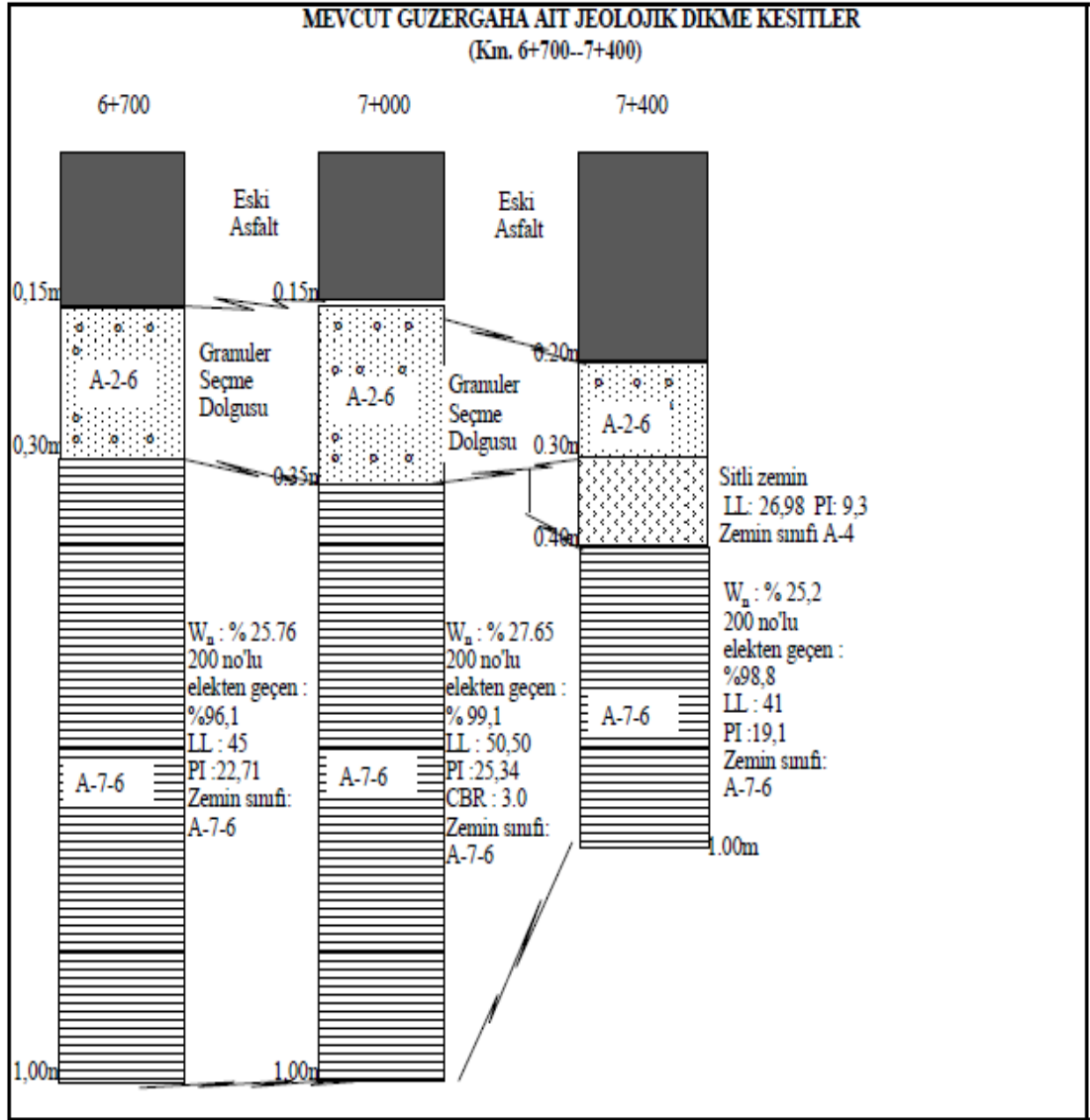
Şekil A.2. Mevcut güzergaha ait mühendislik jeolojisi özelliklerini içeren jeolojik dikme kesitler (km: 0+610 – 2+100)



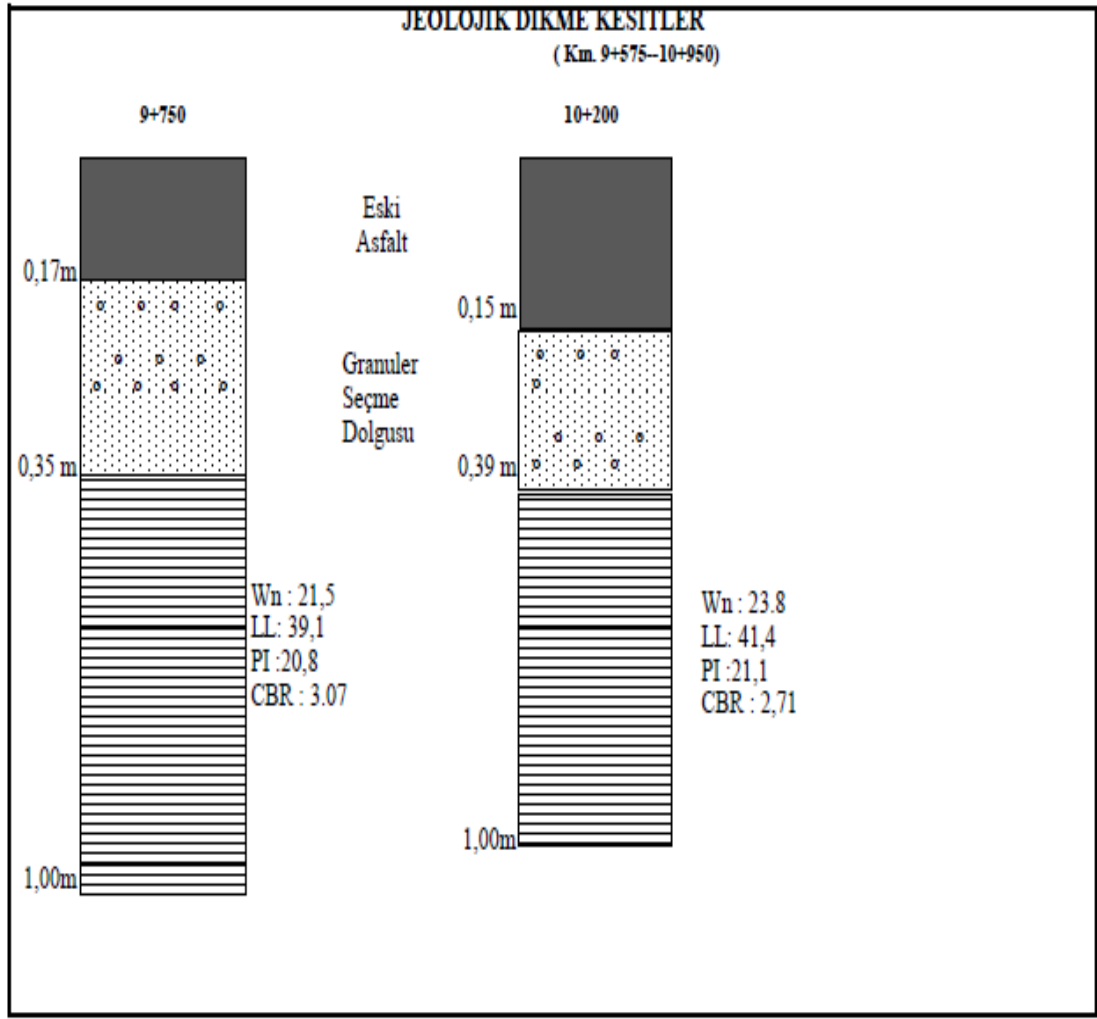
Şekil A.3. Mevcut güzergaha ait mühendislik jeolojisi özelliklerini içeren jeolojik dikme kesitler (km: 2+475-4+100).



Şekil A.4. Mevcut güzergaha ait mühendislik jeolojisi özelliklerini içeren jeolojik dikme kesitler (km: 4+510-6+180)

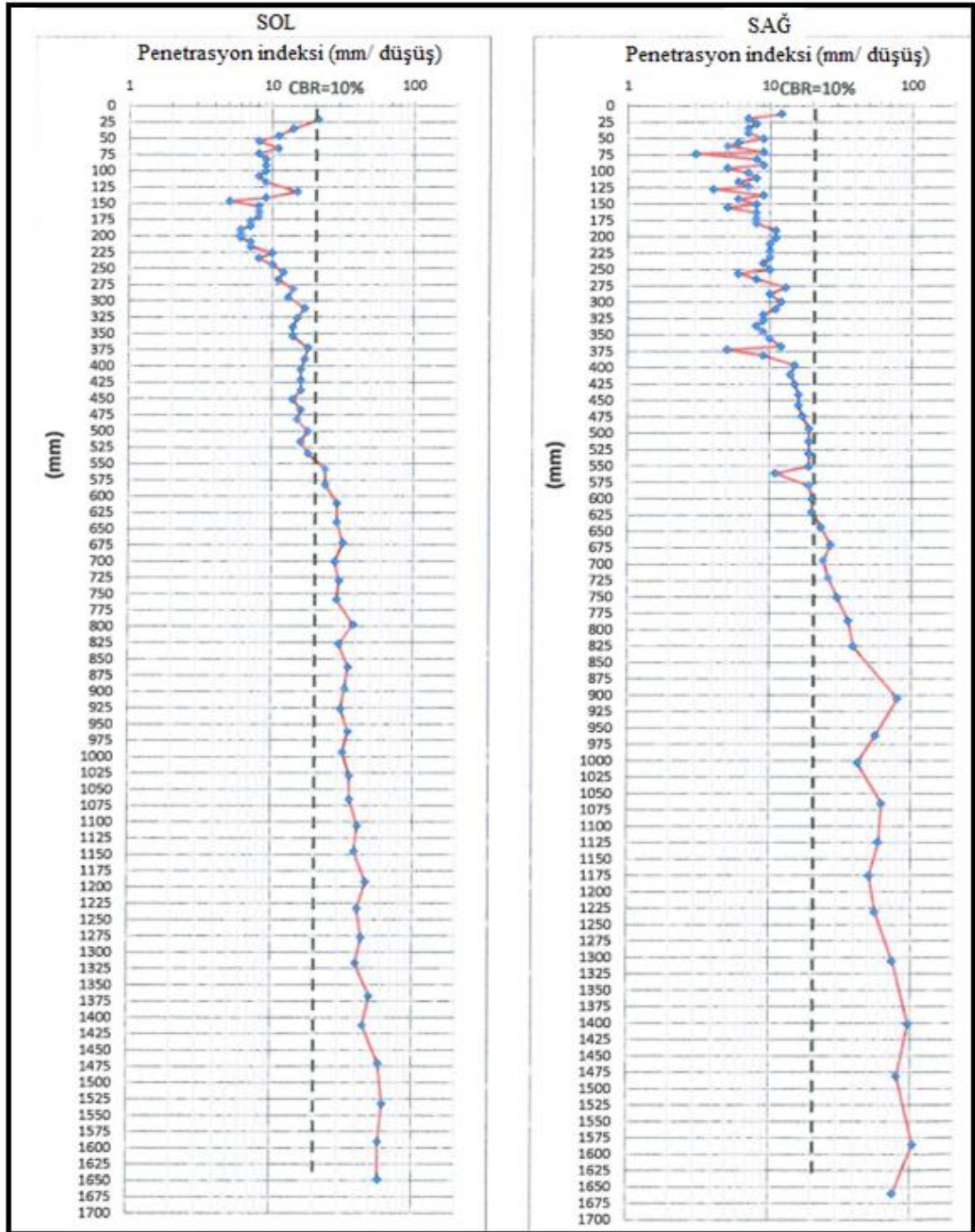


Şekil A.5. Mevcut güzergaha ait mühendislik jeolojisi özelliklerini içeren jeolojik dikme kesitler (km: 6+700-7+400)

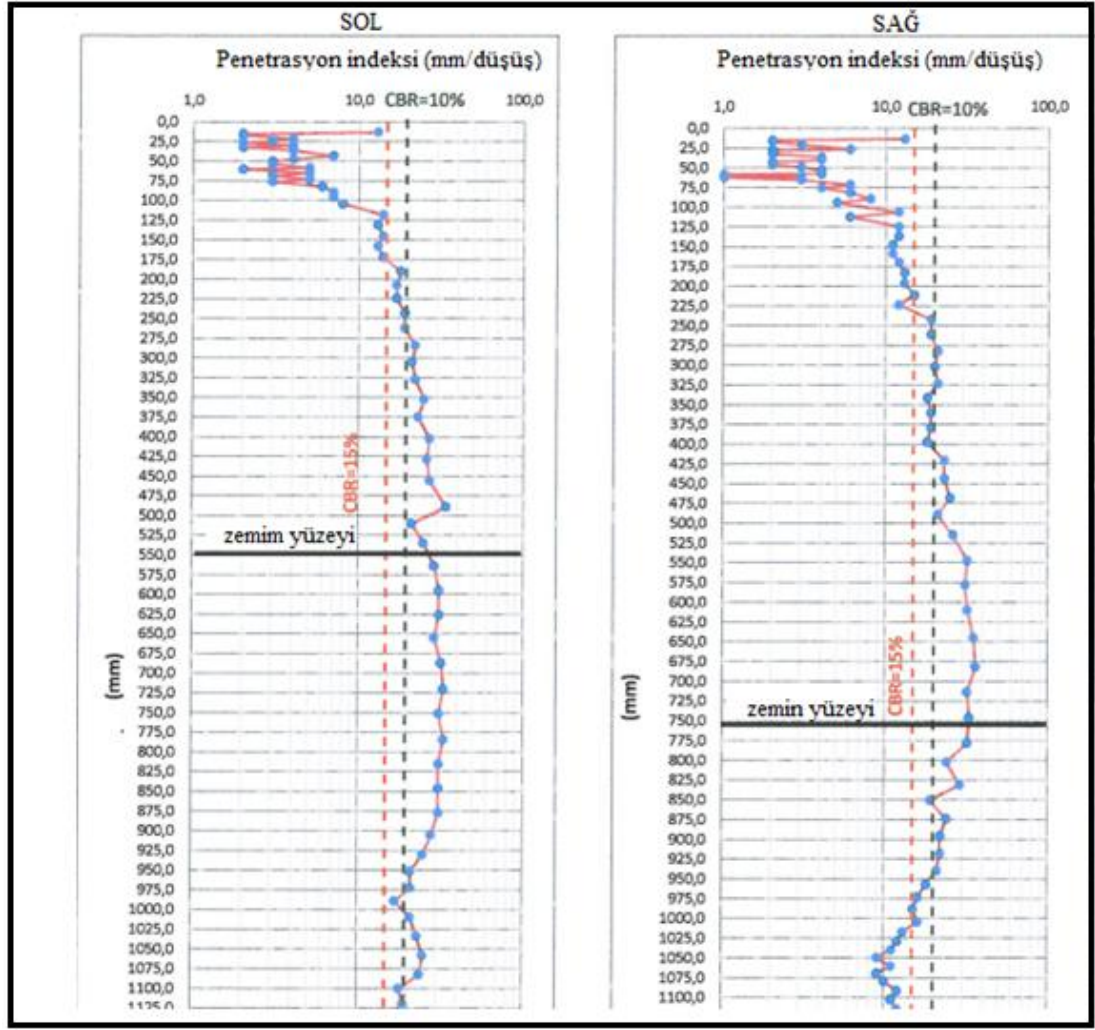


Şekil A.6. Mevcut güzergaha ait mühendislik jeolojisi özelliklerini içeren jeolojik dikme kesitler (km: 9+750-10+200)

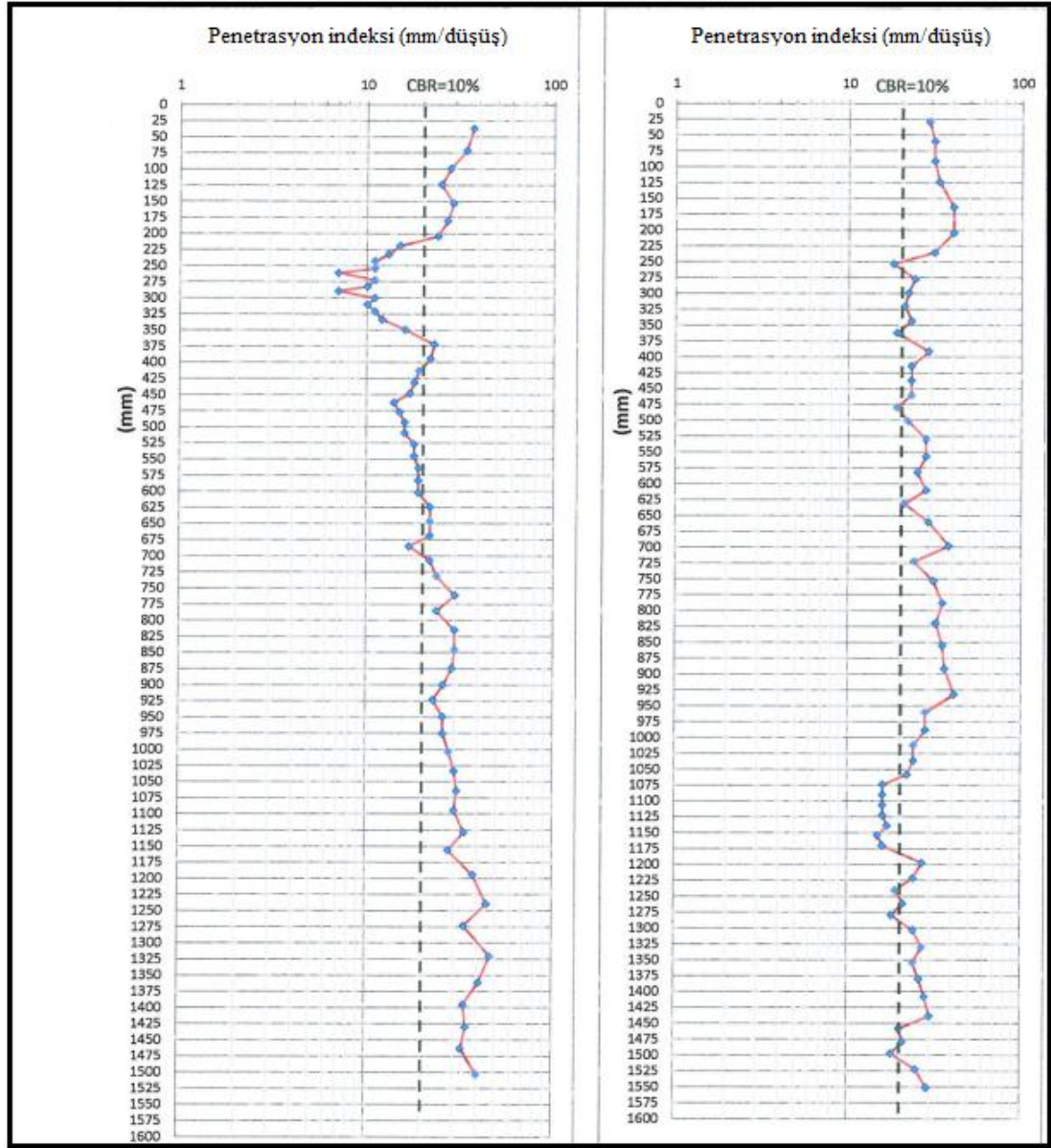
Ek-B. Güzergahta Yapılan DCP-CEB Kurelasyonları



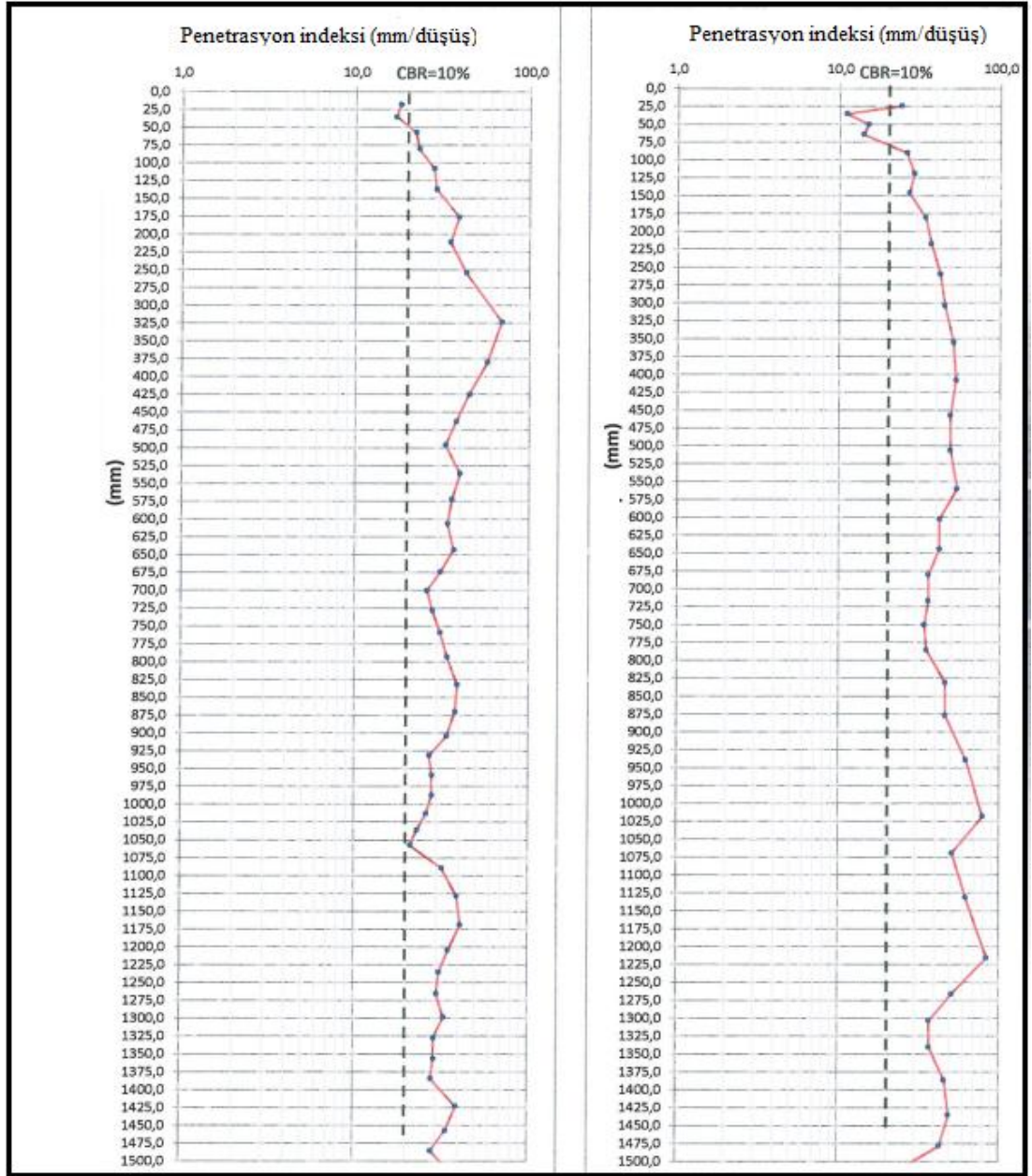
Şekil B.1. Mevcut güzergahta doğal zemine ait DCP testi (km: 0+300), (GEOMED, 2011)



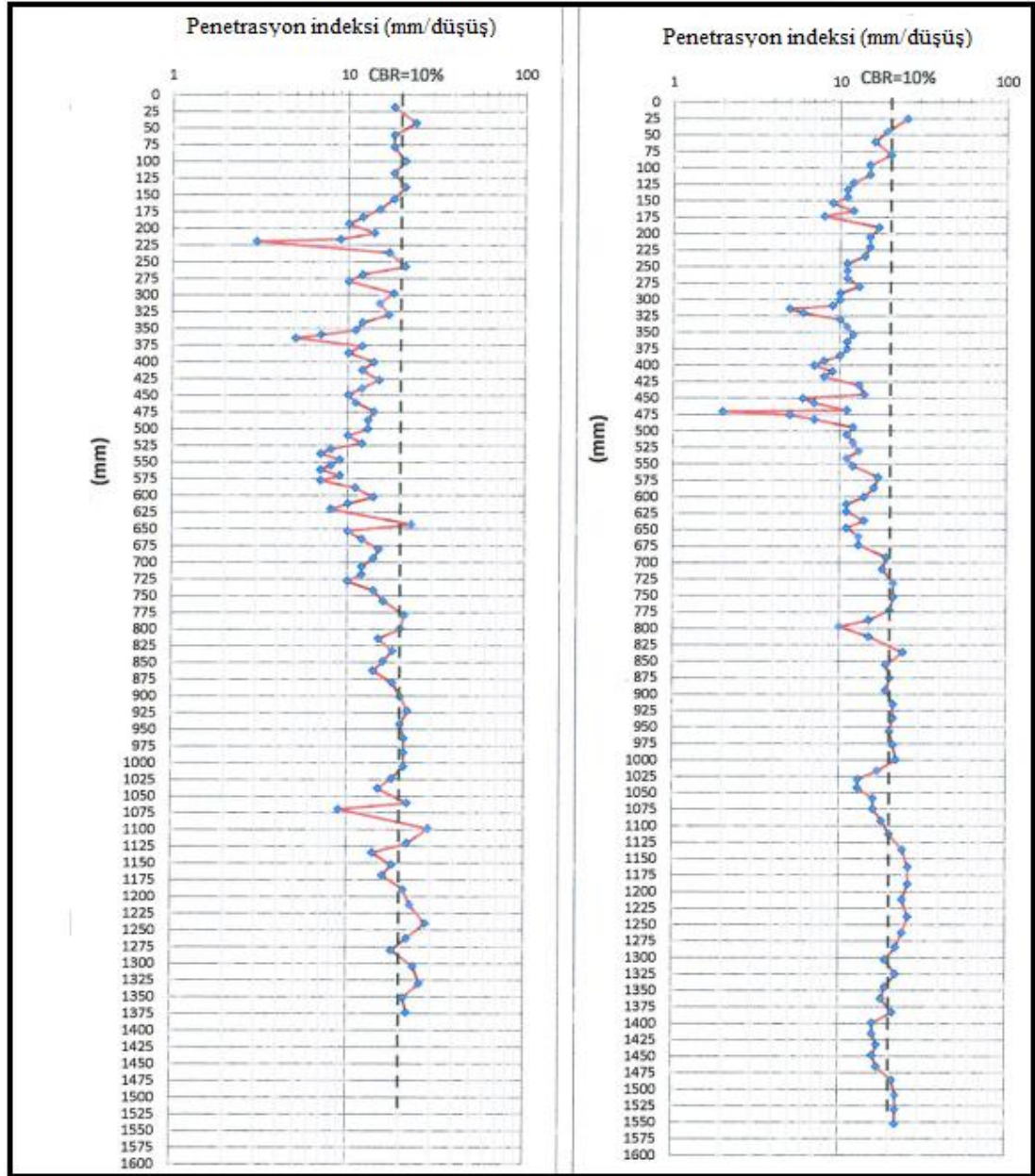
Şekil B.2. Mevcut güzergahta banketlere ait DCP testi (km: 1+200), (GEOMED, 2011)



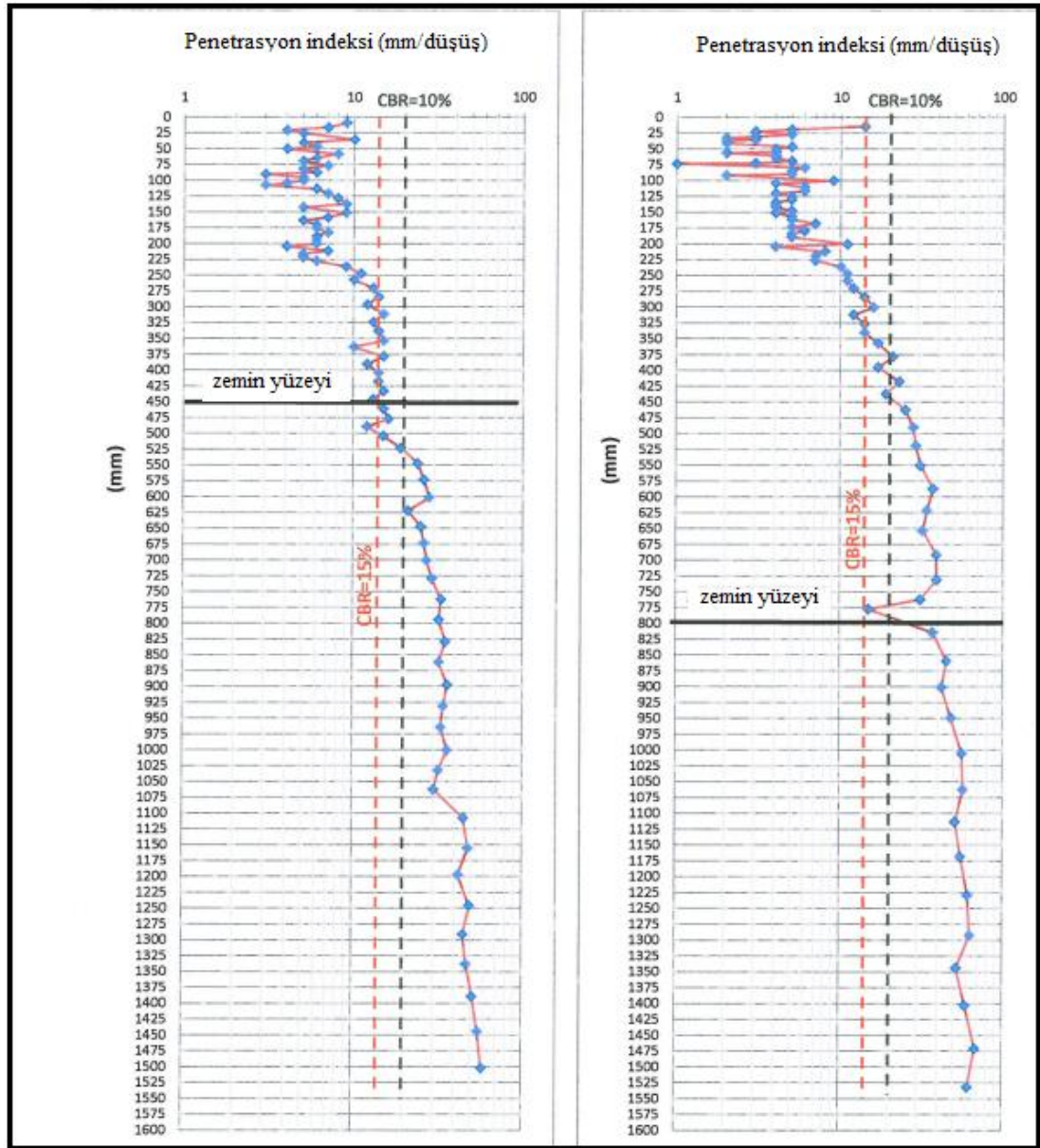
Şekil B.3. Mevcut güzergahta doğal zemine ait DCP testi (km: 2+700), (GEOMED, 2011)



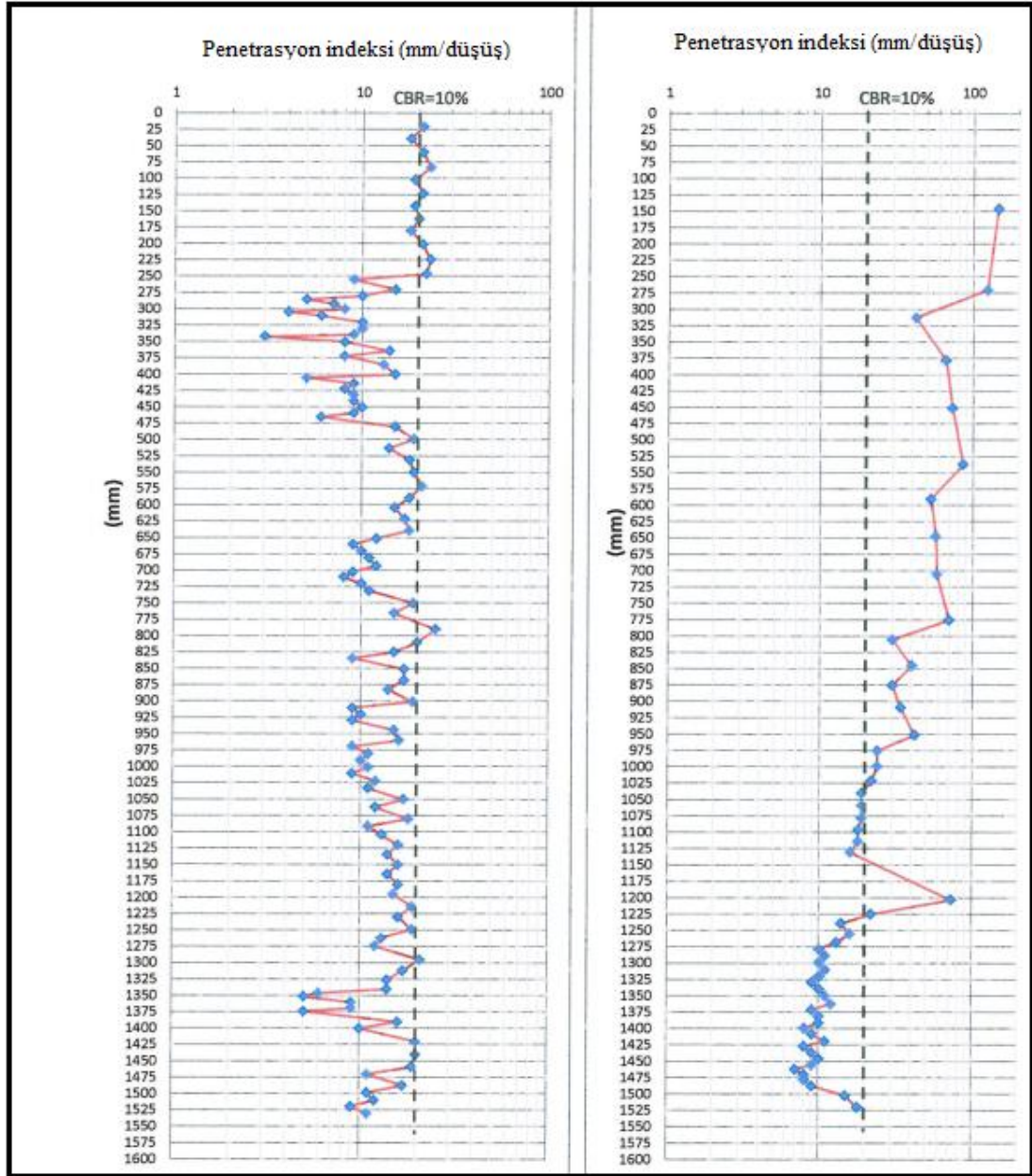
Şekil B.4. Mevcut güzergahta doğal zemine ait DCP testi (km: 3+200), (GEOMED, 2011)



Şekil B.5. Mevcut güzergahta doğal zemine ait DCP testi (km: 6+300), (GEOMED, 2011)

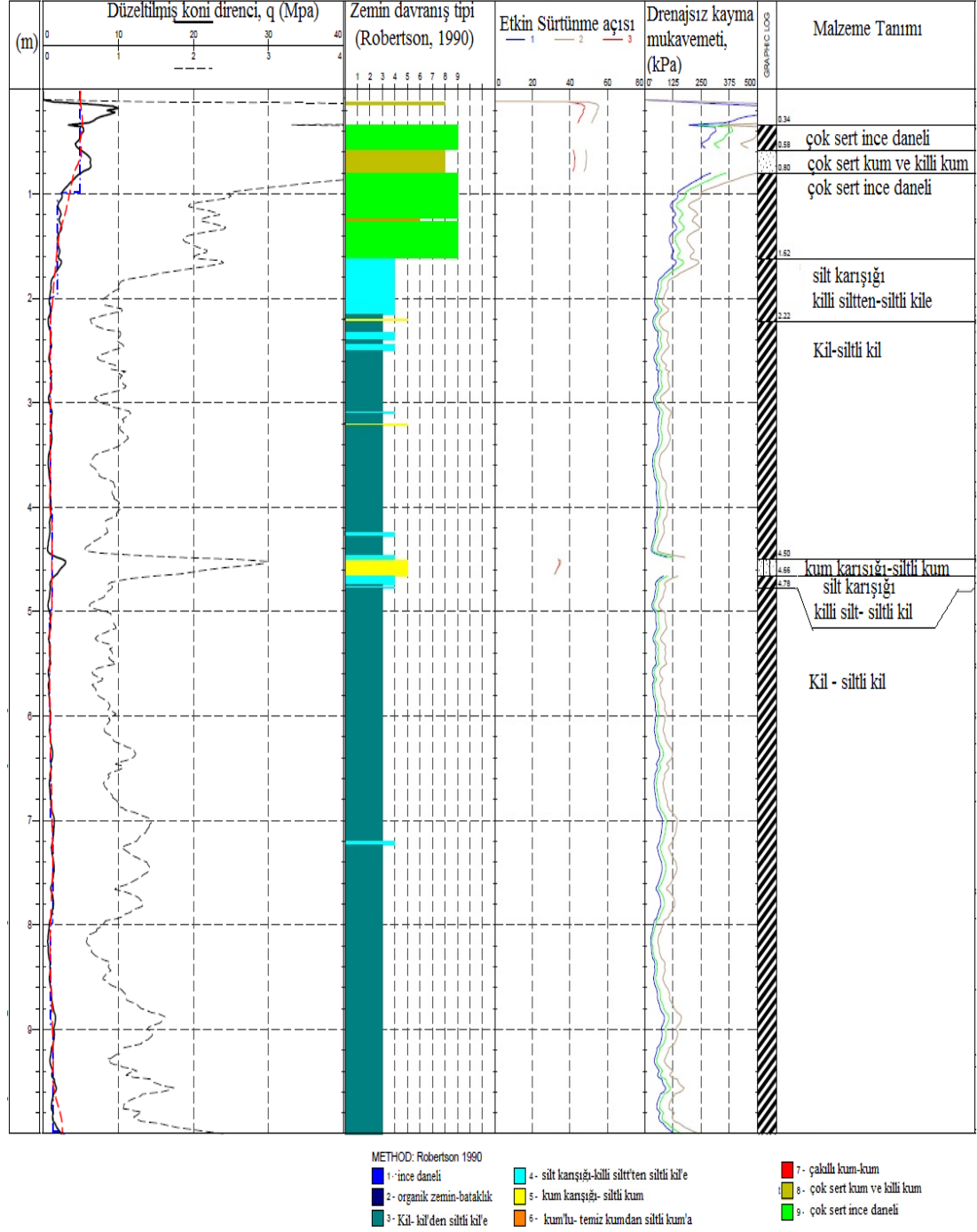


Şekil B.6. Mevcut güzergahta doğal zemine ait DCP testi (km: 7+500), (GEOMED, 2011)

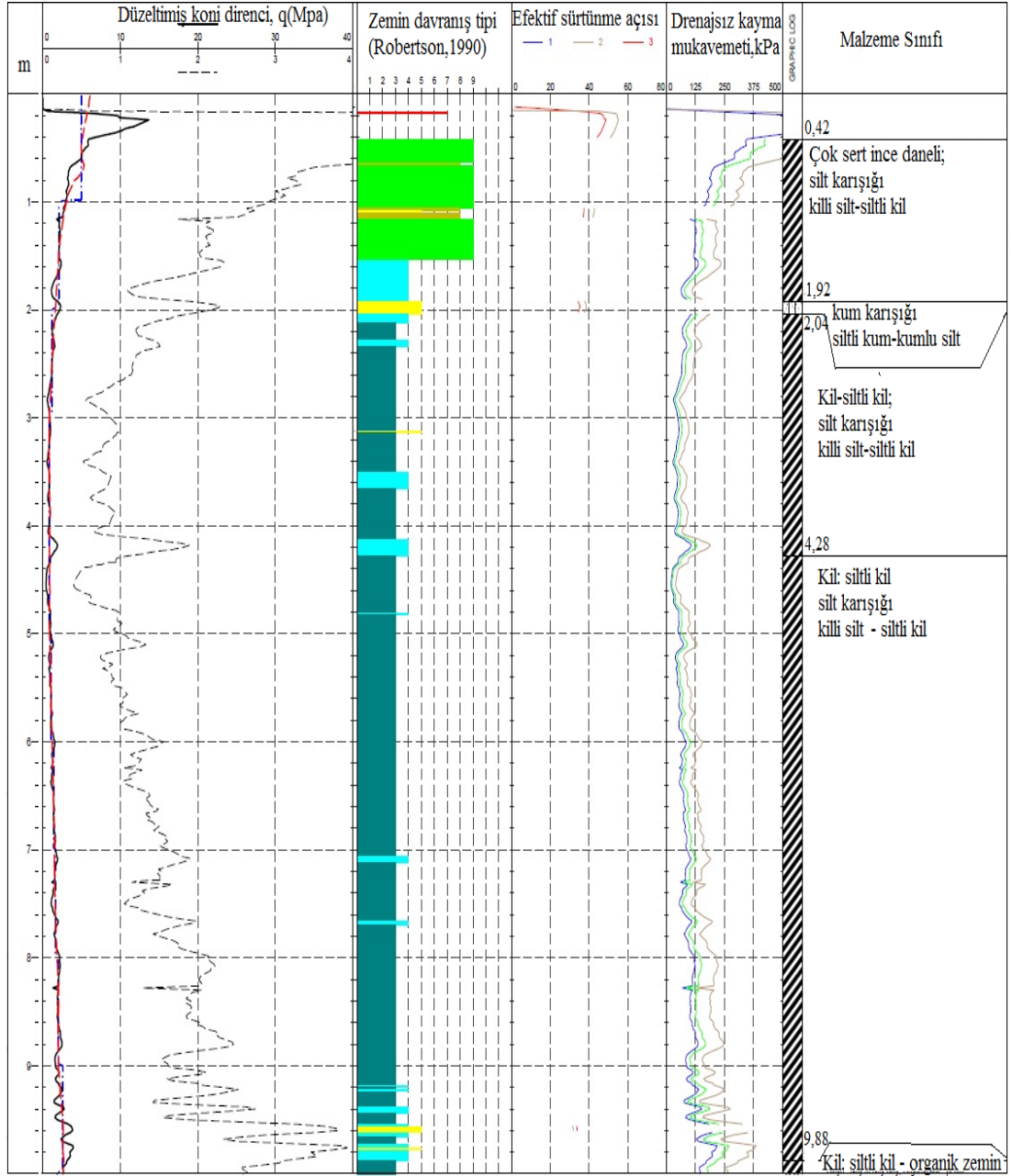


Şekil B.7. Mevcut güzergahta doğal zemine ait DCP testi (km: 9+400), (GEOMED, 2011)

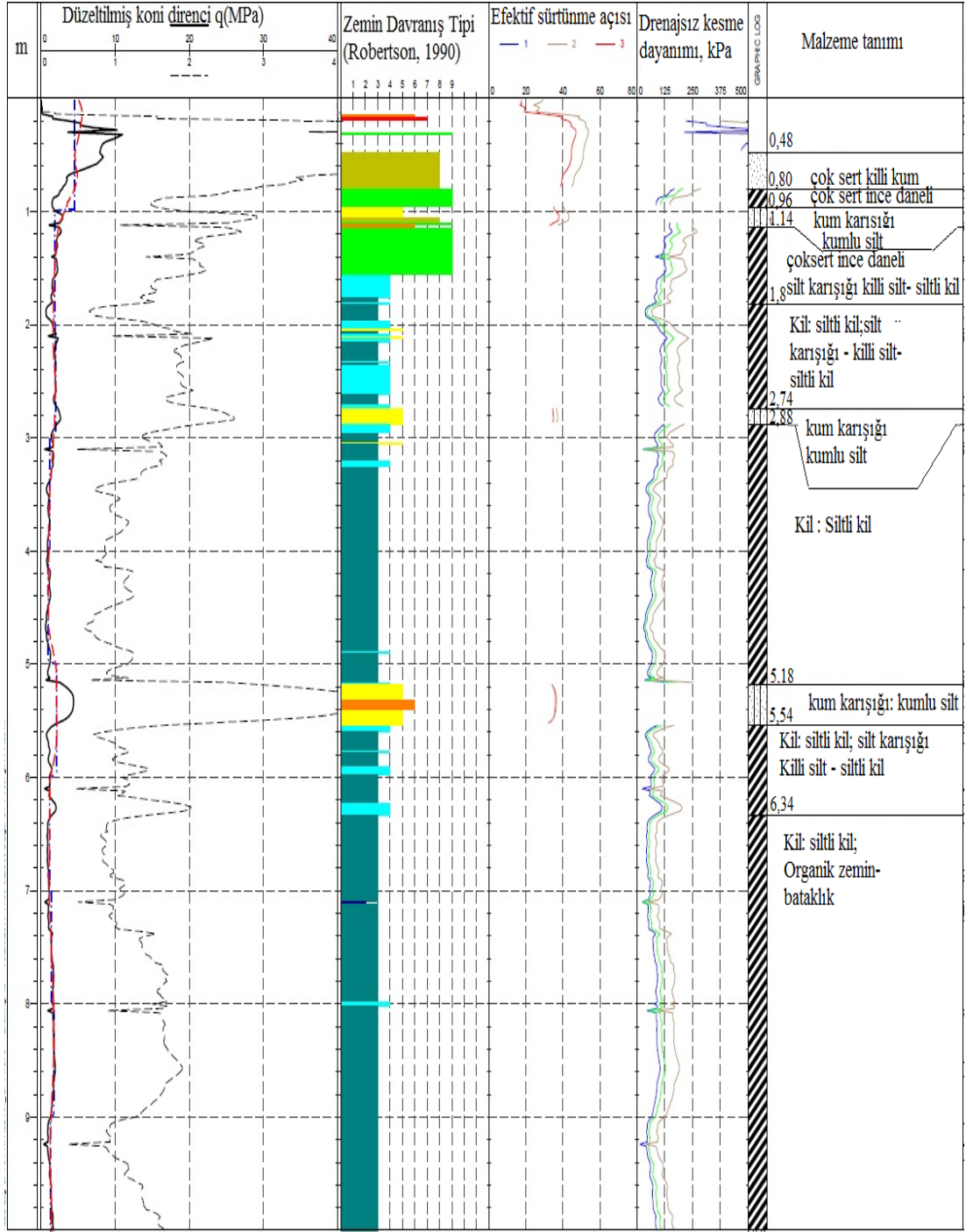
Ek-C. CPT Testi Logları



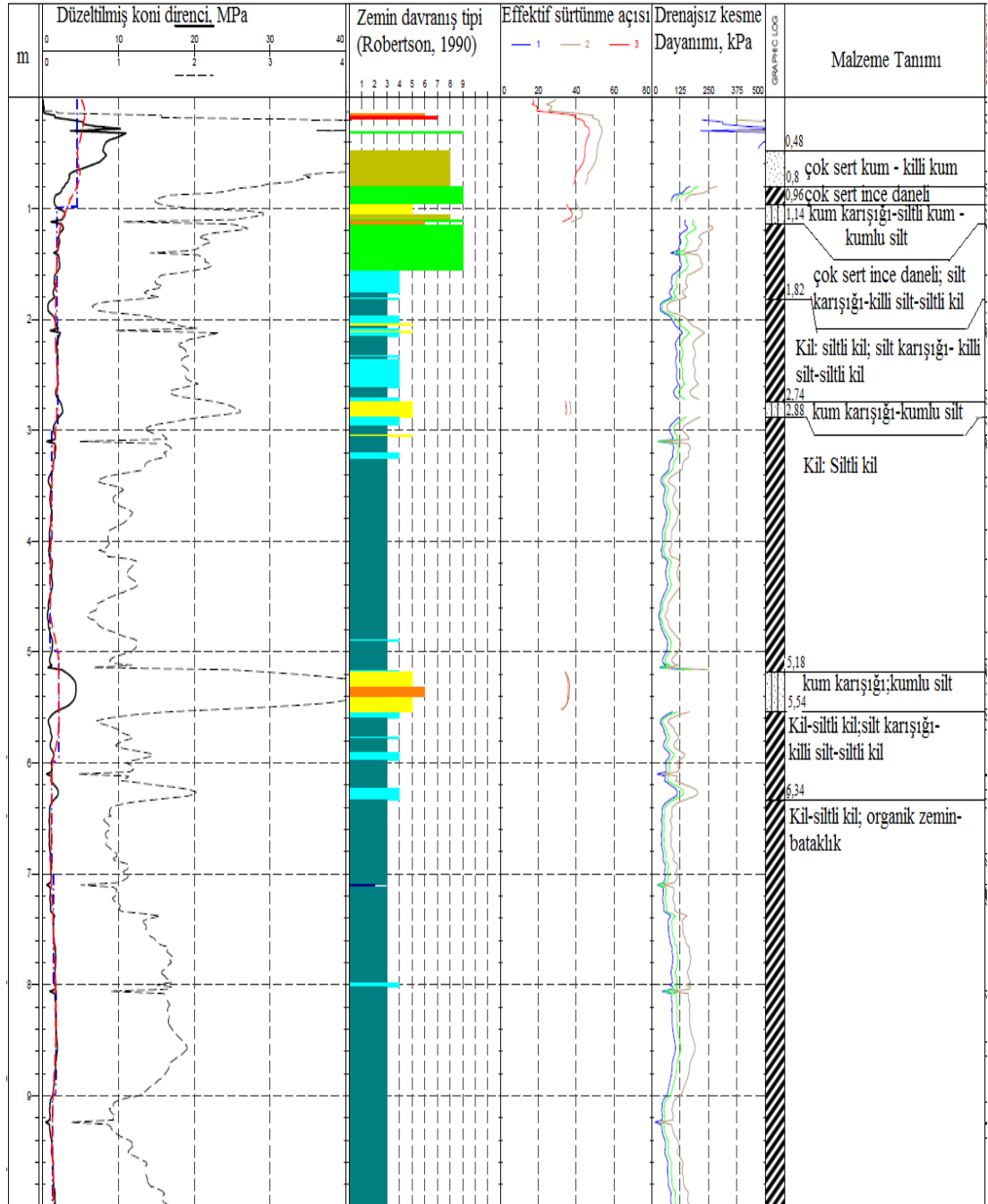
Şekil C.1. Koni Penetrasyon Testi-1 (ZETAŞ, 2011)



Şekil C.2. Koni Penetrasyon Testi-2 (ZETAŞ, 2011)

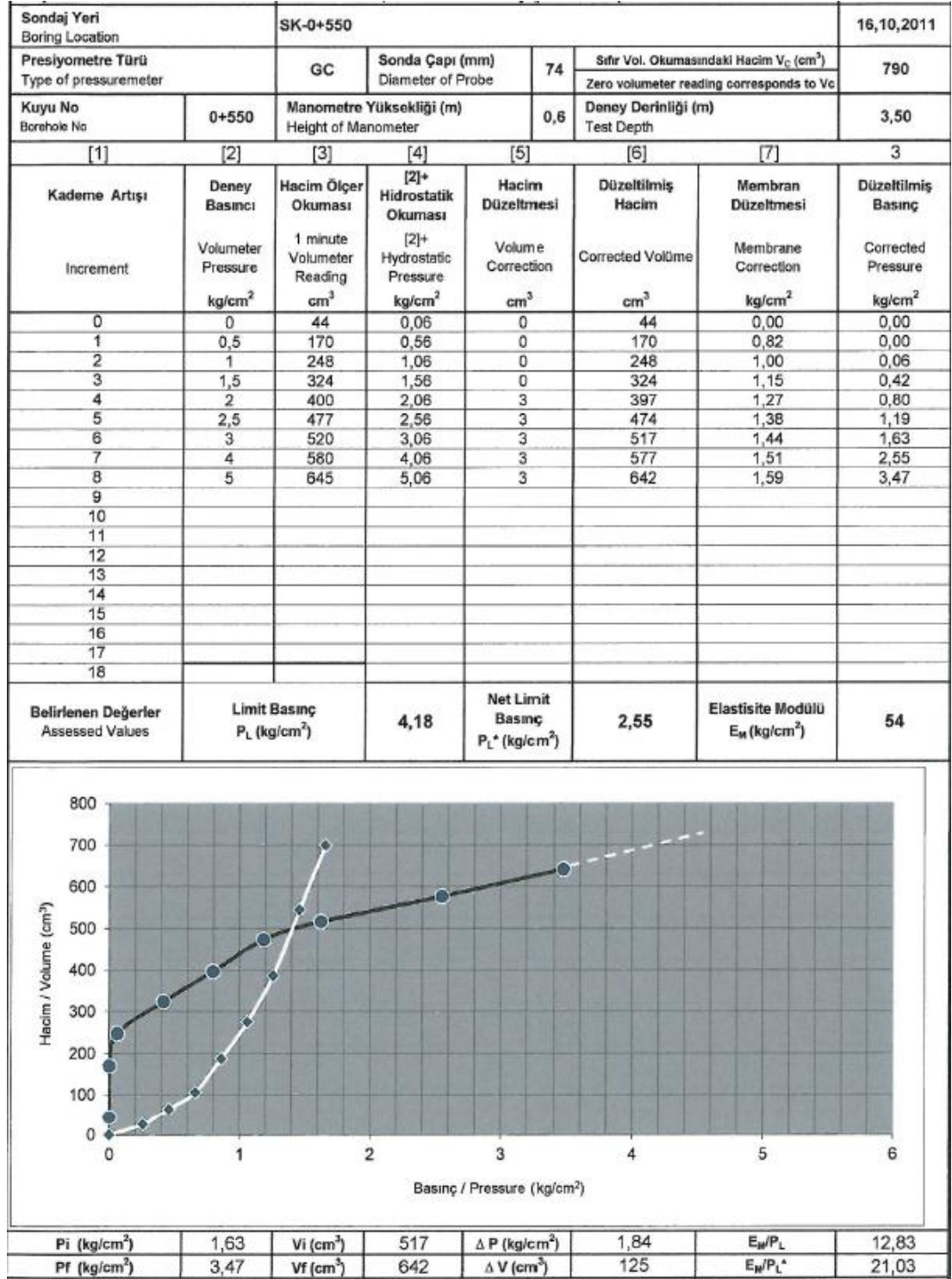


Şekil C.3. Koni Penetrasyon Testi-3 (ZETAŞ, 2011)



Şekil C.4. Koni Penetrasyon Testi-4 (ZETAŞ, 2011)

Ek-D. Pressiyometre Testi Logları



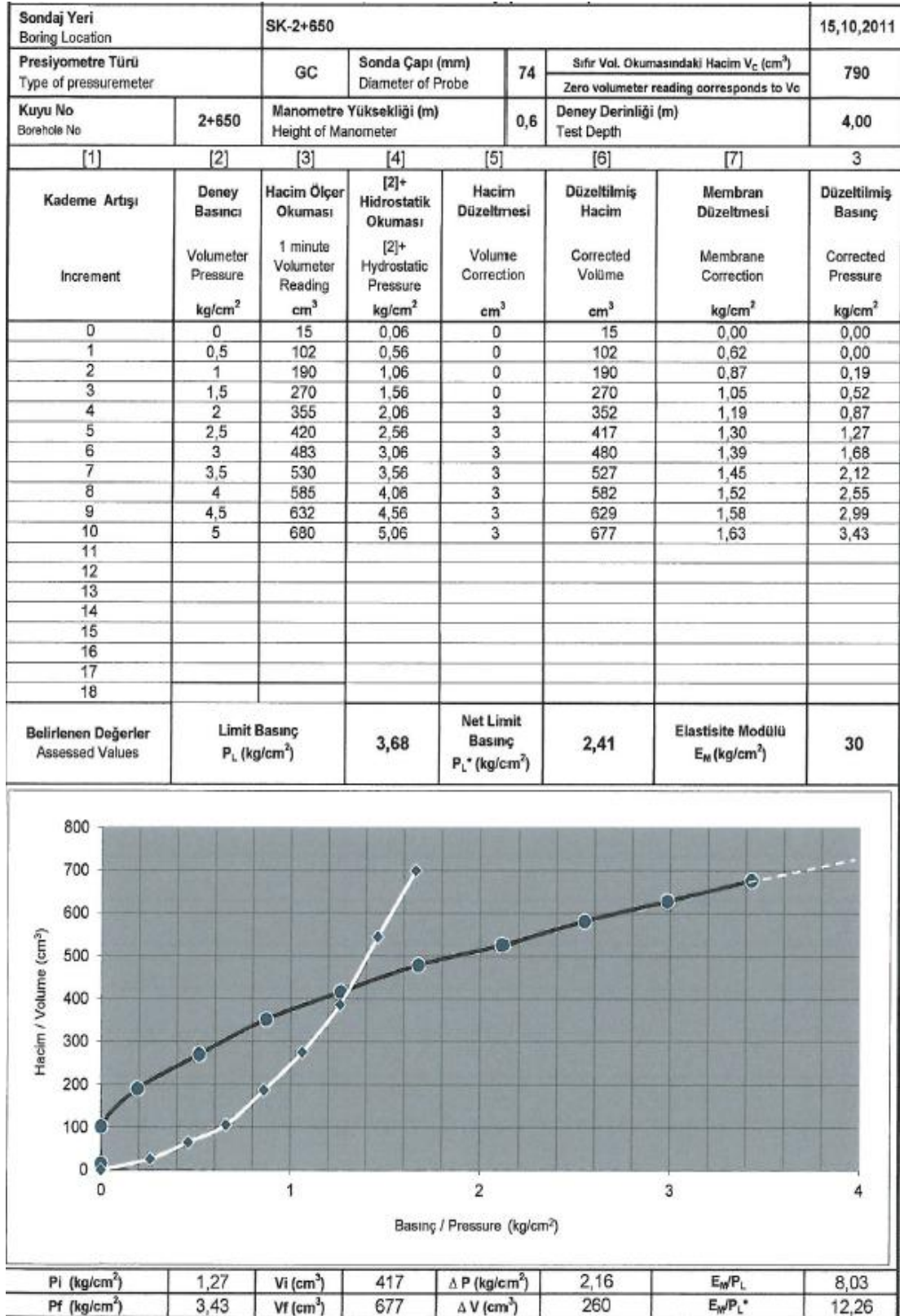
Şekil D.1. Pressiyometre logu SK 0+555 (Geomed, 2011)

Sondaj Yeri Boring Location		SK-1+550			16,10,2011		
Presiyometre Türü Type of pressuremeter		GC	Sonda Çapı (mm) Diameter of Probe	74	Sıfır Vol. Okumasındaki Hacim V_c (cm ³) Zero volumeter reading corresponds to V_c	790	
Kuyu No Borehole No	1+550	Manometre Yüksekliği (m) Height of Manometer		0,6	Deney Derinliği (m) Test Depth		4,00
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	3
Kademe Artışı Increment	Deney Basıncı Volumeter Pressure kg/cm ²	Hacim Ölçer Okuması 1 minute Volumeter Reading cm ³	[2]+ Hidrostatik Okuması [2]+ Hydrostatic Pressure kg/cm ²	Hacim Düzeltmesi Volume Correction cm ³	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume cm ³	Membran Düzeltmesi Membrane Correction kg/cm ²	Düzeltilmiş Basınç Corrected Pressure kg/cm ²
0	0	34	0,06	0	34	0,00	0,00
1	0,5	180	0,56	0	180	0,85	0,00
2	1	240	1,06	0	240	0,99	0,08
3	1,5	311	1,56	0	311	1,12	0,44
4	2	390	2,06	3	387	1,25	0,81
5	2,5	480	2,56	3	477	1,38	1,18
6	3	562	3,06	3	559	1,49	1,57
7	3,5	654	3,56	3	651	1,60	1,96
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
Belirlenen Değerler Assessed Values	Limit Basınç P_L (kg/cm ²)	2,17	Net Limit Basınç P_L^* (kg/cm ²)	2,09	Elastisite Modülü E_M (kg/cm ²)	15	

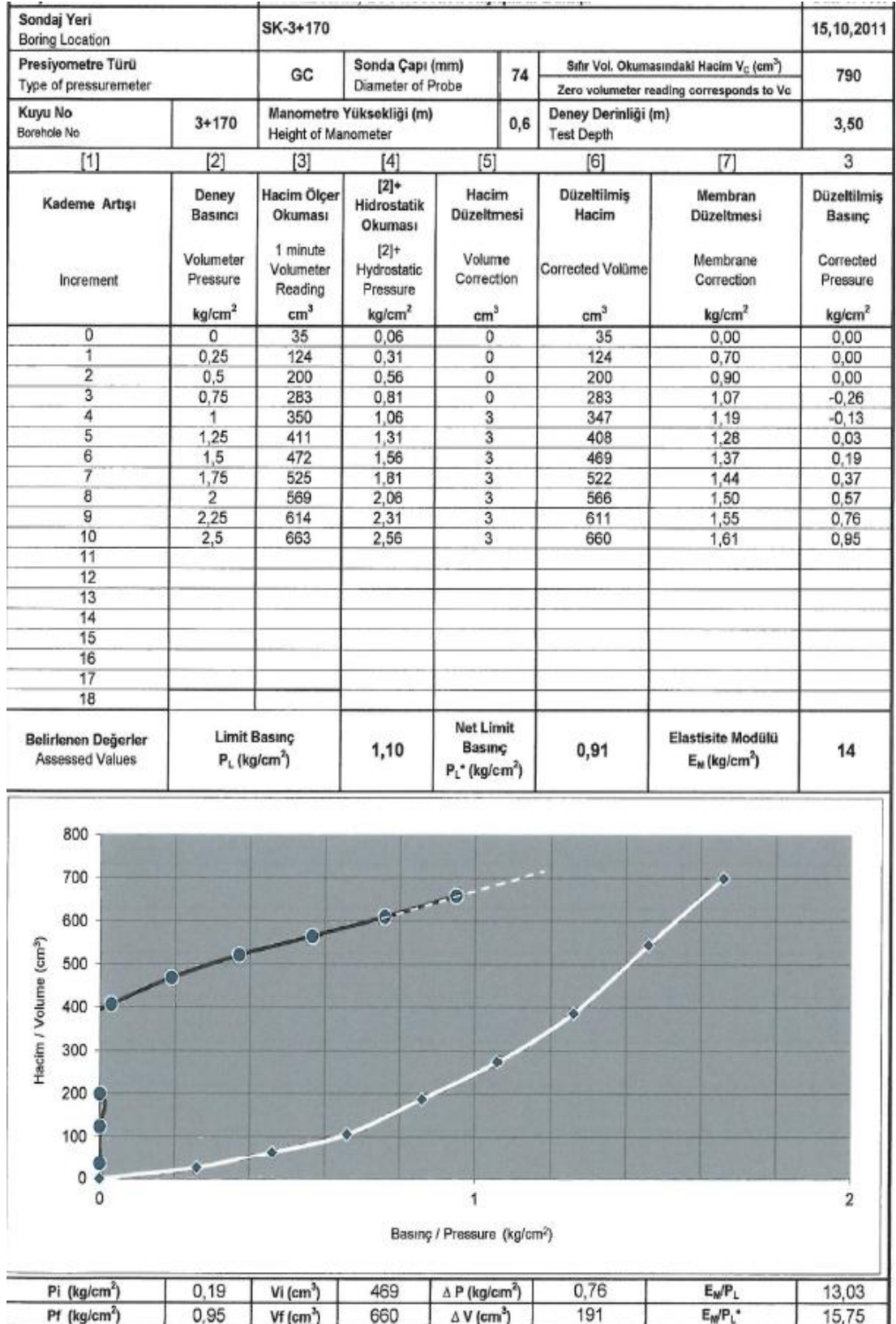
Basınç / Pressure (kg/cm ²)	Hacim / Volume (cm ³)
0	34
0.5	180
1	240
1.5	311
2	387
2.5	477
3	559
3.5	651

P_i (kg/cm ²)	0,08	V_i (cm ³)	240	ΔP (kg/cm ²)	1,88	E_M/P_L	6,93
P_f (kg/cm ²)	1,96	V_f (cm ³)	651	ΔV (cm ³)	411	E_M/P_L^*	7,19

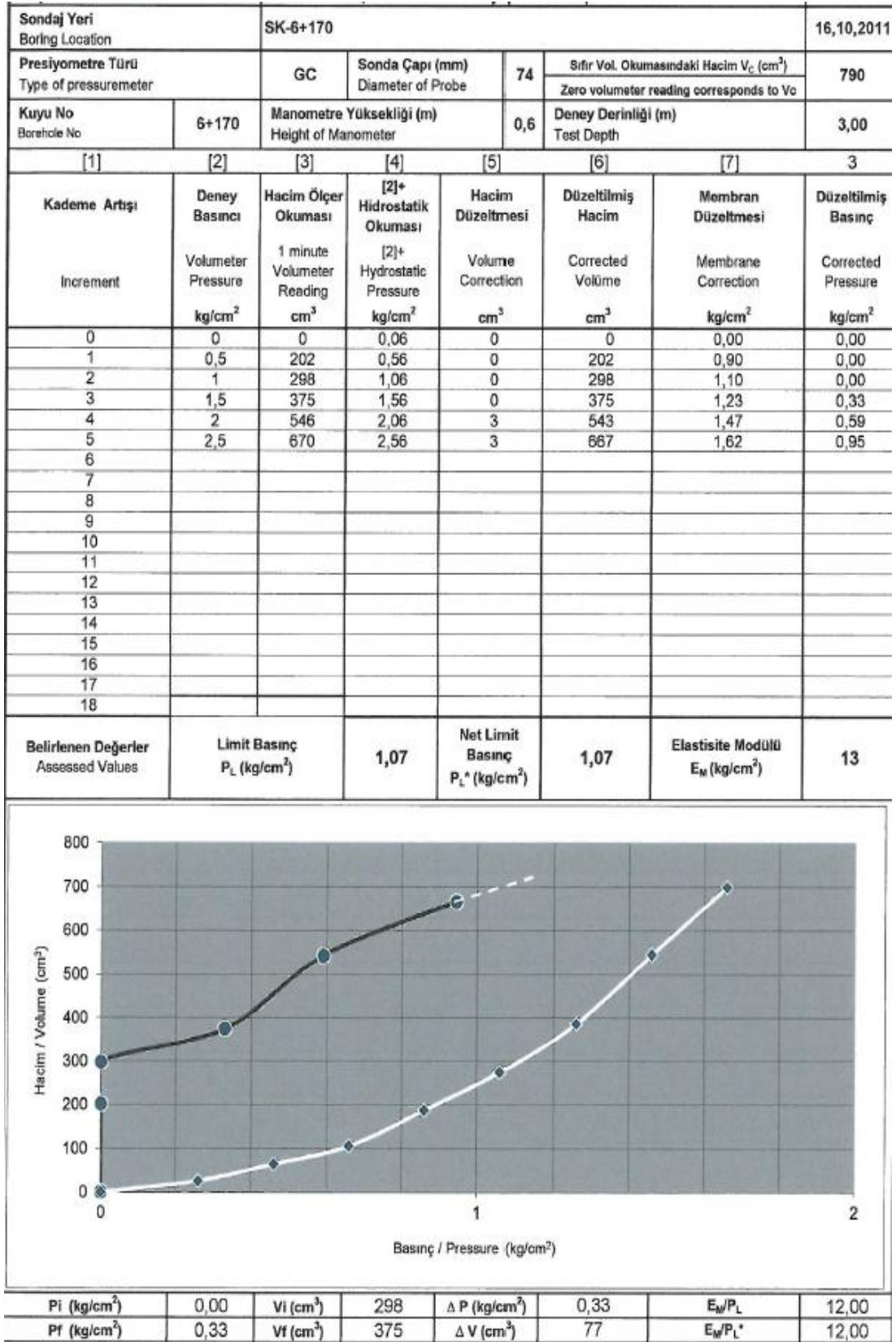
Şekil D.2. Pressiyometre logu SK 1+555 (Geomed, 2011)



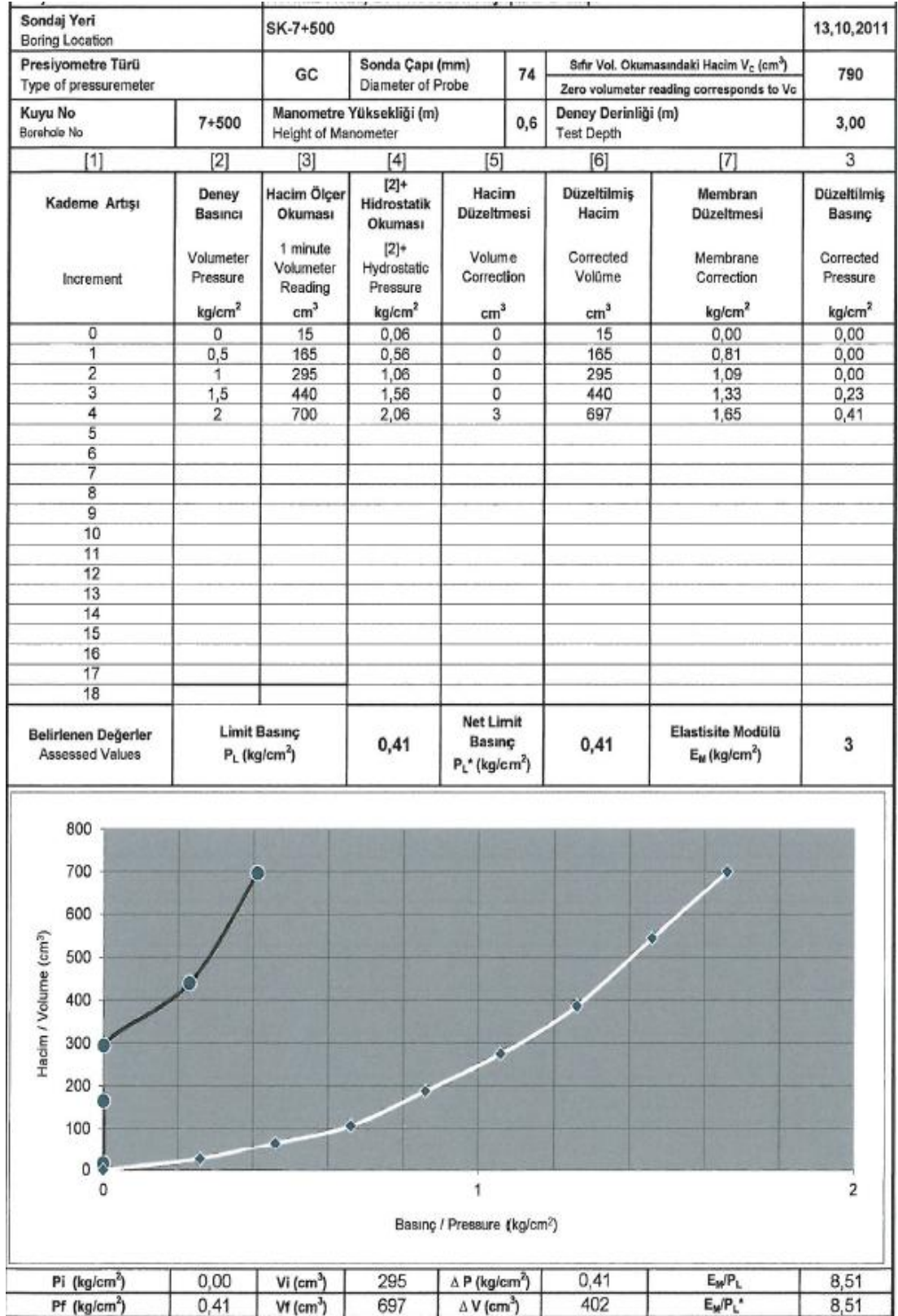
Şekil D.3. Pressiyometre logu SK 2+650 (Geomed, 2011)



Şekil D.4. Pressiyometre logu SK 3+170 (Geomed, 2011)



Şekil D.5. Pressiyometre logu SK 6+170 (Geomed, 2011)



Şekil D.6. Pressiyometre logu SK 7+500 (Geomed, 2011)

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Mardin'in Savur ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Savur'da, lise öğrenimini ise 2004 yılında Kocaeli'inde tamamladı. 2005 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2009 yılında mezun oldu. 2010-2011 bahar yarıyılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Özel bir şirkette kalite kontrol mühendisi olarak görev yapmaktadır.