

**ZİGANA KARAYOLU TÜNELİNDE ŞAFT AÇMA İŞLEMİNDE;
KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN, PİLOT DELGİ VERİMLİLİK
PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Pelin KOÇAK

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

EKİM, 2019

**ZİGANA KARAYOLU TÜNELİNDE ŞAFT AÇMA İŞLEMİNDE;
KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN, PİLOT DELGİ VERİMLİLİK
PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Pelin KOÇAK
(505101009)**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömür ACAROĞLU ERGÜN

EKİM, 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505101009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Pelin KOÇAK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı ZİGANA KARAYOLU TÜNELİ ŞAFT AÇMA İŞLEMİNDE, KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN PİLOT DELGİ VERİMLİLİK PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ömür ACAROĞLU ERGÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. HAKAN TUNÇDEMİR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. OKAN SU
Bülent Ecevit Üniversitesi

Teslim Tarihi : 16 Eylül 2019
Savunma Tarihi : 15 Ekim 2019



ÖNSÖZ

Bu çalışmaya katkılarından dolayı Eti Bakır A.Ş. Maden Jeoloğu Fatih Yazar ile Zigana Projesi Makine İkmal Müdürü Hasan Kesimal'e, tez danışmanım Doç. Dr. Ömür Acaroğlu Ergün'e, yardımları ve desteği için Doç. Dr. Hakan Tunçdemir'e, arkadaşım Araştırma Görevlisi Cemalettin Erdoğan'a, bu çalışmayı geç de olsa tamamlayabileceğime inandığı ve buna beni de inandırdığı için yöneticim Martin Borst ve destekleri için Jennifer Bealeu'ya, yardımları için Mehmet Aydoğan'a ve son olarak, Claes Unestål Ortlieb, Gaye Tanrıöver ve Nadine Krips başta olmak üzere, bu süreçte beni her zaman destekleyen tüm arkadaşlarıma ve aileme çok teşekkür ederim.

Eylül 2019

Pelin Koçak
(Maden Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Şaft Açma Uygulamaları	1
1.1.1 Kör kuyu (kör baş yukarı ya da baş aşağı)	3
1.1.2 Konvansiyonel baş yukarı delme	4
1.1.3 Baş aşağı genişletme	5
1.2 Pilot Delgi	6
2. ŞAFT AÇMA MAKİNALARI	7
2.1 Genel Bilgiler	7
2.2 Baş Yukarı Delme Makinesi Çalışma Prensipleri.....	9
2.3 Makine Bileşenleri	11
2.4 Pilot Delgi	12
2.5 Genişletme Kazısı	13
3. DELİK DELME İŞLEMİ.....	15
3.1 Delik Delme	15
3.1.1 Döner delgi (Rotari)	17
3.1.2 Üç konili döner delgi matkapları	20
3.2 Döner Delgi Performansını Etkileyen Parametreler.....	24
3.2.1 İlerleme hızı	27
3.2.2 Baskı.....	27
3.2.3 Rotasyon devri	28
3.2.4 Tork.....	29
3.2.5 Spesifik enerji	29
3.2.6 Kayaç parametreleri	31
4. PROJE VE MAKİNA HAKKINDA BİLGİLER.....	33
4.1 Proje Hakkında Genel Bilgiler	33
4.2 Proje Alanının Genel Jeolojisi.....	35
4.2.1 Stratigrafi	35
4.2.2 Yapısal jeoloji	37
4.3 Projede Kullanılan Makine.....	38
4.3.1 Pilot delgi takımı.....	39
4.3.1.1 Pilot bit.....	39
4.3.1.2 Borular	41

4.3.2 Delerken ölçme (MWD).....	43
4.4 Makineden Alınan Veriler	45
5. ZİGANA TÜNELİ HAVALANDIRMA ŞAFT İNŞAATINDAN ALINAN	
ÖLÇÜMLER VE YAPILAN DENEYLER	55
5.1 Numune Özellikleri ve Numunelerin Hazırlanması	55
5.2 Laboratuvar Deneyleri.....	57
5.2.1 Dolaylı çekme dayanımı (BTS).....	57
5.2.2 Tek eksenli basma dayanımı ve elastisite modülü (UCS ve EM)	59
5.2.3 Pundit Akustik.....	61
6. KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN PİLOT DELGİ PERFORMANS	
PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ	63
6.1 Verilerin Hazırlanması	63
6.2 Verilerin Anlamlandırılması.....	74
6.3 Tork ile Kayaç Parametreleri Arasındaki İlişki.....	75
6.4 Baskı ile Kayaç Parametreleri Arasındaki İlişki	77
6.5 Rotasyon Hızı ile Kayaç Parametreleri Arasındaki İlişki.....	79
6.6 Spesifik Enerji ile Kayaç Parametreleri Arasındaki İlişki.....	80
6.7 Delme ve Kayaç Parametreleri Arasında Çoklu Değişken İlişkisi.....	81
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	85
EKLER	87
ÖZGEÇMİŞ.....	153

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing
BTS	: Brazillian Tensile Strength
DTH	: Down The Hole
EM	: Elasticity Modulus
IADC	: International Association of Drilling Conductors
ISRM	: International Society for Rock Mechanics
MWD	: Measure While Drilling
ROP	: Rate of Penetration
RPM	: Rotation Per Minute
RQD	: Rock Quality Designation
SME	: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
TH	: Top Hammer
UCS	: Uniaxial Compressive Strength
WOB	: Weight on Bit



SEMBOLLER

A	: Alan
A_e	: Patlatma deliği yüzey alanı
A_s	: Birim hacimde yaratılan yeni serbest yüzey alanı
C	: Matkap dış boyu
d	: Numune çapı
e	: Spesifik enerji
e_a	: Spesifik yüzey enerjisi
F,W	: Yük, eksenel kuvvet, baskı
F_p	: Yenilme yükü
L	: Numune boyu
ΔL	: Numune eksenel boy değişimi
N	: Rotasyon hızı
Q	: Sıkıştırılmış hava hacmi
T	: Tork
u,P	: İlerleme hızı
v	: Hız
σ	: Basma mukavemeti
σ_{TP}	: Çekme mukavemeti
ε	: Basma deformasyonu



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Delinebilirliğe etki eden bazı faktörler.....	26
Çizelge 4.1 : 91RHC makinesi kapasite değerleri.	39
Çizelge 4.2 : Sahada kullanılan matkabın değerleri.	40
Çizelge 4.3 : Sahada kullanılan borunun değerleri.	42
Çizelge 5.1 : Sondaj logu özet tablosu.....	56
Çizelge 6.1 : Ortama kayaç verileri.	63
Çizelge 6.2 : Ortalama makine parametreleri.	64
Çizelge 6.3 : Noktasal veri R^2 determinasyon katsayısı özet çizelgesi.....	81
Çizelge 6.4 : Çoklu R^2 determinasyon katsayısı özet çizelgesi	82



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tipik konvansiyonel delme patlatma ile şaft açma döngüsü.....	2
Şekil 1.2 : Kör kuyu uygulaması baş aşağı (a). baş yukarı (b)..	4
Şekil 1.3 : Geleneksel baş yukarı delme ve genişletme yöntemi.....	5
Şekil 1.4 : Kademeli genişletme (a). Büyük çaplı genişletme (b)..	5
Şekil 2.1 : İlk baş yukarı delme makinesi Robbins 41R.....	7
Şekil 2.2 : Baş yukarı delme makinesi ile tamamlanmış bir kuyu.	8
Şekil 2.3 : Eğimli uygulama	8
Şekil 2.4 : Baş yukarı delme makinesi çalışma adımları.	9
Şekil 2.5 : Krater oluşturma.....	10
Şekil 2.6 : Koparma.	10
Şekil 2.7 : Basınç soğanı.....	10
Şekil 2.8 : Makinenin temsili saha kurulumu	11
Şekil 2.9 : Pilot delgi takımı	12
Şekil 2.10 : Genişletme delgi takımı	14
Şekil 3.1 : Delik delme methodları.	15
Şekil 3.2 : Yumuşak-çok yumuşak formasyon için delgi yöntemi seçim kriterleri ..	17
Şekil 3.3 : Orta sert-aşırı sert formasyon için delgi yöntemi seçim kriterleri.....	17
Şekil 3.4 : Döner delgi temel presibi	18
Şekil 3.5 : Döner delgide konili matkabın davranışı	19
Şekil 3.6 : Kanatlı matkaplar.	19
Şekil 3.7 : Üç konili döner matkaplar.....	20
Şekil 3.8 : PCD (Polycrystalline Diamond) matkaplar.....	20
Şekil 3.9 : Üç konili döner delgi matkap yapısı	21
Şekil 3.10 : Kayaç dayanımına göre tungsten karbid dişli matkap seçim tablosu.....	23
Şekil 3.11 : IADC kodlama sistemindeki harflerin anlamı.....	24
Şekil 3.12 : Arazide kullanılan 7-3-7 IADC kodlu üç konili matkap.....	24
Şekil 3.13 : Delinebilirliğe etki eden faktörler.	25
Şekil 3.14 : Maksimum baskı.	28
Şekil 3.15 : Maksimum rotasyon hızı	28
Şekil 3.16 : Maksimum delme verimliliği	29
Şekil 4.1 : Zigana proje konumu.	33
Şekil 4.2 : Zigana tünel giriş portalı.	34
Şekil 4.3 : Zigana tünel çıkış portalı.....	34
Şekil 4.4 : Zigana tünel kesiti	35
Şekil 4.5 : İlgili bölge genel jeoloji haritası.....	36
Şekil 4.6 : Genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesit.	37
Şekil 4.7 : Sahada 91RH C makinesi.....	38
Şekil 4.8 : Sahada kullanılan matkap.....	40
Şekil 4.9 : Pilot delginin sonu.....	41
Şekil 4.10 : Boru ekleme.	41

Şekil 4.11 : Sahada kullanılan borunun kesiti.....	42
Şekil 4.12 : Boru yükleme sistemi.	43
Şekil 4.13 : Makinenin bilgisayarlı kontrol paneli.	43
Şekil 4.14 : MWD ekran görüntüsü.	44
Şekil 4.15 : Basitleştirilmiş sistem diyagramı.	45
Şekil 4.16 : Pilot delgi tork verileri.....	46
Şekil 4.17 : Pilot delgi ROP verileri	47
Şekil 4.18 : Pilot delgi RPM verileri.....	48
Şekil 4.19 : Teleskopik silindir kesiti.	49
Şekil 4.20 : 17.2-18.8 m arası boru değişiminde net baskı kuvvet değişimi	50
Şekil 4.21 : Pilot delgi normalleştirilmemiş WOB verileri.	52
Şekil 4.22 : Pilot delgi normalleştirilmiş WOB verileri.	53
Şekil 4.23 : Pilot delgi spesifik enerji verileri.	54
Şekil 5.1 : Şaft için yapılan ZSS-03A no'lu servis sondajı örnekleri.	55
Şekil 5.2 : Dolaylı çekme testi düzeneği.....	57
Şekil 5.3 : Dolaylı çekme testi öncesi ve sonrası numuneler.....	58
Şekil 5.4 : Dolaylı çekme testi sonrası kırılan numuneler	58
Şekil 5.5 : Tek eksenli basma dayanımı testi düzeneği	59
Şekil 5.6 : Tek eksenli basma dayanımı testi.	60
Şekil 5.7 : Tek eksenli basma dayanımı testi öncesi ve sonrası numuneler.	60
Şekil 5.8: Örnek olarak U3 nolu UCS numunesinin gerilme-deformasyon eğri	61
Şekil 5.9 : Pundit deneyi.	61
Şekil 5.10 : Osiloskop.....	62
Şekil 6.1 : Bölgeleştirilmiş ortalama UCS ve EM değerleri..	65
Şekil 6.2 : Bölgeleştirilmiş ortalama BTS ve RQD değerleri.	66
Şekil 6.3 : Bölgeleştirilmiş ortalama P ve S dalga hızı değerleri	67
Şekil 6.4 : Bölgeleştirilmiş ortalama tork değerleri.....	68
Şekil 6.5 : Bölgeleştirilmiş ortalama ilerleme hızı değerleri	69
Şekil 6.6 : Bölgeleştirilmiş ortalama rotasyon devri değerleri	70
Şekil 6.7 : Bölgeleştirilmiş ortalama net baskı kuvveti değerleri.....	71
Şekil 6.8 : Bölgeleştirilmiş ortalama spesifik enerji değerleri	72
Şekil 6.9 : 187.35inci metreden alınan U94 nolu UCS numunesi.	73
Şekil 6.10 : 187.5inci metreden alınan U94.2 nolu UCS numunesi	73
Şekil 6.11 : 190.65inci metreden alınan U95 nolu UCS numunesi	73
Şekil 6.12 : Tork ile kayaç parametreleri ilişkisi.	75
Şekil 6.13 : İlerleme başına torkun ile kayaç parametreleri ilişkisi.....	76
Şekil 6.14 : Baskı ile kayaç parametreleri ilişkisi.....	77
Şekil 6.15 : İlerleme başına baskı ile kayaç parametreleri ilişkisi.....	78
Şekil 6.16 : Rotasyon devri ile kayaç parametreleri ilişkisi	79
Şekil 6.17 : Spesifik enerji ile kayaç parametreleri ilişkisi.....	80
Şekil A.1 : Kuyu sondaj logu.....	89-112
Şekil B.1 : UCS testi öncesi-sonrası numuneler	113-119
Şekil C.1-C.62 : UCS numuneler gerilme-deformasyon eğrisi.....	121-152

ZİGANA KARAYOLU TÜNELİNDE ŞAFT AÇMA İŞLEMİNDE, KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN PİLOT DELGİ VERİMLİLİK PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde, maden, inşaat, altyapı, enerji vb. uygulamalarında, birçok farklı ihtiyaçtan dolayı şaft açma operasyonları gerçekleştirilmektedir. Şaft açma işlemi farklı ihtiyaçlar için, yer üstünden yer altına erişim ya da yer altından katlar arası erişimi sağlamak için açılan genelde silindirik, 90 ile 45 derece arasında açıklıklar yaratılarak gerçekleştirilir. Bu uygulama, birçok parametreye bağlı çok kompleks operasyonlardan biridir. Şaft açma uygulamaları bir seri farklı yöntem ile gerçekleştirilebilir. Gün geçtikte artan güvenlik vurgusu ile, diğer bir çok operasyonda olduğu gibi şaft açma operasyonlarında da mekanize kazının önemi artmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, Zigana Karayolu Tüneli inşaatı dahilinde, baş yukarı delme ve genişletme yöntemi (*raiseboring*) ile mekanize olarak açılan havalandırma şaftı incelenmiştir. Şaftın çapı 3.6 m, uzunluğu ise 244 m'dir. Mekanize baş yukarı delme, tamamı yer altında veya yer üstünden yer altına olmak üzere iki kat arası açılacak kuyular için, delinen bir kılavuz deliğin, alt seviyede bulunan katta delici matkabın genişletme kafası takılarak genişletilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Projede Atlas Copco/Epiroc 91RHC baş yukarı delme makinesi kullanılmıştır. Bu makinede bulunan yazılımlardan biri olan delerken ölçme (*measure while drilling*) sayesinde makine çalışma parametreleri (tork, baskı, rotasyon hızı, ilerleme hızı) tüm şaft operasyonu için kaydedilmiştir. Aynı zamanda bu verilerden spesifik enerji değerleri hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasında odaklanılan pilot delgi, delik temizliğini hava-su karışımı ile sağlayan döner delgi yöntemi ile yapılmıştır. Döner delgi yönteminin ana prensibi, matkap üzerine yüksek baskı kuvveti uygulayarak, kayacın ezilmesi ve eş zamanlı gerçekleşen rotasyon ile ezilen kayacın koparılarak delik dışına taşınması olarak tanımlanabilir. Bu yöntemde hayli yaygın olarak üç konili matkaplar kullanılmaktadır. Üç konili matkaplar, uluslararası sınıflandırmaya tabi olarak uygulamaya özel olarak tasarlanabilir. İlgili şaftın açılmasında da tungsten karbit dişli 349 mm çapındaki üç konili matkap kullanılmıştır.

Zigana Karayolu Tüneli inşaatı, eski Maçka civarı Trabzon-Gümüşhane'yi bağlayan, 1702 m uzunluğunda Zigana Tüneli'nin yerini alacak, yaklaşık 15 km uzunluğunda hala inşaatı devam eden karayolları tünelidir. Tünel projesinde toplamda 6 adet kalıcı havalandırma şaftı açılacaktır. Tünelin açıldığı arazi volkanotortul, volkanik ve intrüzif kayalardan oluşmaktadır. Şaftlar için spesifik olarak jeoteknik bir çalışma yapılmamış olsa da, bu çalışma kapsamındaki şaft için karotlu sondaj yapılmıştır. Kayaç deneyleri bu sondaj karotları ile gerçekleştirilmiştir.

İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Kaya Mekaniği laboratuvarında, seçilen ve gerektiği şekilde boyutlandırılan numunelere, tek eksenli basma dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve Pundit akustik hız testleri yapılmıştır.

Bu deney sonuçları, makine tarafından kaydedilen makine parametreleri ile ilişkilerinin incelenmesi adına, veri setleri oluşturulmuştur. Bu veri setleri kayaç davranışlarına ve uygulama gerekliliklerine göre normalleştirilmiştir. Sonrasında her bir makine parametresi ile ölçülen kayaç parametresinin grafikleri çizilerek, bire bir iki değişken arasındaki ve iki bağımlı bir bağımsız parametre grupları için eğilimler araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile, kayaç parametreleri ve makine parametreleri arasındaki ilişkiyi temsil eden R^2 determinasyon katsayıları sunulmuştur.



INVESTIGATION OF ROCK PROPERTIES AFFECTING PILOT DRILLING EFFICIENCY IN ZIGANA HIGHWAY TUNNEL SHAFT OPENNING

SUMMARY

Based on many different needs, shaft drivage operations have been carried out all around the world in mining, foundation, construction, energy industries. A shaft drivage may be defined as creating an access structure among levels in underground or simply the access from surface to underground. Mostly, it is cylindrical shaped opening with 45 to 90 degrees from horizontal line. As all the mining operations tend to go deeper by the increased raw material demand from industries, or by the increased population creating a need for higher buildings which will have deeper foundation excavations, or deeper transportation options, shaft sinking will become even more of a common operation. Since it is one of the most complex applications, emphasis on safety is also increasing. Like any other operation related to underground, mechanical excavation of the shaft are making the operation safer.

Mechanized shaft opening, has many versions due to dimensions and methods. The principle of raiseboring method is drilling a pilot hole between two levels, and ream the pilot hole upwards with a reaming head which can be designed specific to the operation needs. The pilot hole is a hole with much smaller diameter than the required final one. This pilot hole must be reaching an underlying mining space where the full diameter reamer bit is mounted. The raiseboring method can be used for different dimentions with a mandatory condition to have access of the two levels beforehand.

This master thesis includes studies on a ventilation shaft's pilot hole which is opened by a mechanized raiseboring method in Zigana Highway Tunnel construction. The tunnel is a new version of the same passage on Pondic mountains in North-East Turkey. The 1702 m length old tunnel which is open for the traffic, connecting the cities Trabzon to Gumushane. The new one will be connecting the same cities with a length of 15 km, with twice more lanes, and shortening the distance. The project consists of 6 permanent ventilation shafts. So far, there is only one of the planned shafts opened, which makes this study possible but not compareable. The shaft in question has a 3.6 m diameter 244 m depth. The machine model is Atlas Copco/Epiroc 91RHC which has a capacity to create shaft openings with 5 m diameter and 1000 m depth.

In order to evaluate the performance of a raiseboring operation, number of factors were governed to fracture and cut the rock using mechanical means. Some of these are related to the rock formation, others to the forces applied by the machine, and working process including operations, maintenance so on. Within this study, the rock properties' effects in drilling efficiency, were investigated.

The geology around the construction area varies from volcanic, volcanic sedimentary and intrusive rock formations. Unfortunatelly, there is no specific geotechnical studies

done for the shafts. There have only one core drilling done for sampling, for the shaft in question. The rock properties taken into consideration for this study, were the results of the laboratory testing of those core samples. The selected core samples were sized as needed and tested in ITU Mining Engineering Department, Rock Mechanics laboratory. The tests run with the samples are like following: uniaxial compressive strength, indirect tensile strength and Pundit ultrasonic wave velocity testing.

The pilot hole was drilled by rotary drilling method with a flushing by water and air. Rotary drilling is one of the most common drilling methods whose basic principle is to crush the rock by the weight on the bit, and simultaneously to cut the chips and remove them out of the hole by rotation. It is of importance to remove material being cut from the bottom of the pilot hole immediately to receive a clean efficient drilling process. Indwelling material will lead to lower penetration rate and rougher drilling operation. By sending bailing medium, like compressed air and water, through drill pipe cut material is removed.

The bit used in rotary drilling may come in different shapes and properties, designed specifically for the operation. As a rotary drilling bit, tricone bits highly preferable in many rotary drilling applications which has an international classification system. This system enables improved drilling efficiency by monitoring within standards. For example, the spacing of inserts of teeth is greatest for the softer or weaker formations and decreases as the formation hardness increases. The pilot bit which was used in Zigana has 349 mm diameter, is equipped with hard, round top inserts, low offset and full bottom hole coverage combine for long hours of drilling in hard rock, high weight on bit applications. Nose and inner row teeth are round top and are positioned for bottom hole coverage.

Not only the drill bit and reamer but also the selection of other drill string elements is highly important for raiseboring applications. As in every rock advancing method, the power must be transmitted as efficiently as possible. The purpose of the drill string here is to transmit the torque and weight from the head assembly to the drill bit for the whole depth during the pilot drilling.

As a safety factor, increased automation is also continuous trend for shaft opening applications for reduced labor; faster and smoother operation; data logging and diagnostics. Computerized control systems ensure that the operating parameters can be selected as the optimal to get the most out of the raiseboring, both in performance and economy. The machine before mentioned has a computerized control system which has many different software options. One of these software is called as Measure While Drilling (MWD), which reads sensor data and records the machine operating parameters like, net force, torque, rotation speed, rate of penetration, flushing pressure, power used and so on for both pilot drilling and reaming for requested length or time interval. Measure While Drilling allows drilling parameters to be reviewed for optimization and safety. As the focus of this study is the pilot drilling, and the pilot drilling data was recorded by MWD. The data was utilized in order to contribute the investigation in question. The data was recorded for each 5 cm of the shaft opening in Zigana Highway Tunnel.

The MWD data was firstly prepared in order to be utilized for the investigation. An unusual behaviour was recognized as a significant and instant change in bit force and velocity in stage change in the telescopic thrust cylinder. The problem defined as; penetration velocity decrease in first stage and change significantly in transition between the two stages, also pressure indicators at displays showing that force between

pilot bit and rock increases in transition between the two stages. By the light of previous studies about the machine 91RHC, net bit force data was normalized. Then the preparation was completed to calculate the specific energy which can be defined the work done to drill/break/excavate one unit volume of rock. Specific energy is proposed to be accepted as a function of machine parameters as torque, penetration rate, weight on bit and rotation speed, and in order to investigate and define the correlations further, it was proposed as a function of rock properties as axial stress and axial strain.

In conclusion, in order to investigate and evaluate rock properties affecting pilot drilling efficiency, the results of laboratory testing for uniaxial compressive strength, indirect tensile strength and Pundit ultrasonic wave velocity, MWD data for net force, torque, rotation speed, rate of penetration and specific energy values were listed by the depth. As a combination of the rock behaviour, core logs and machine parameters, 244 m pilot hole was divided into 39 zones, and 1 zone was omitted from the investigation. The graphs for torque, weight on the bit, rotation speed, specific energy were generated with the rock properties test results within the zones in order to monitor the trends among the parameters. For further investigation, a secondary data set was created for the drilling and rock parameters in line at the exact same depth. The correlation analysis were run again and R^2 determination coefficients were also presented for the new data set. The R^2 determination coefficients were obtained low too. Moreover, 2 variant regression analysis was run, and as a significance of correlation between each drilling parameters and multiple rock properties, R^2 determination coefficients were presented.



1. GİRİŞ

Şaft açma işlemi, büyük çaplarda; eğimli ya da dikey olmak üzere kuyu açma uygulaması olarak tanımlanabilir. Bu uygulama, madencilik ve inşaat sektörlerinde birçok farklı amaç doğrultusunda sıklıkla gerçekleştirilmektedir.

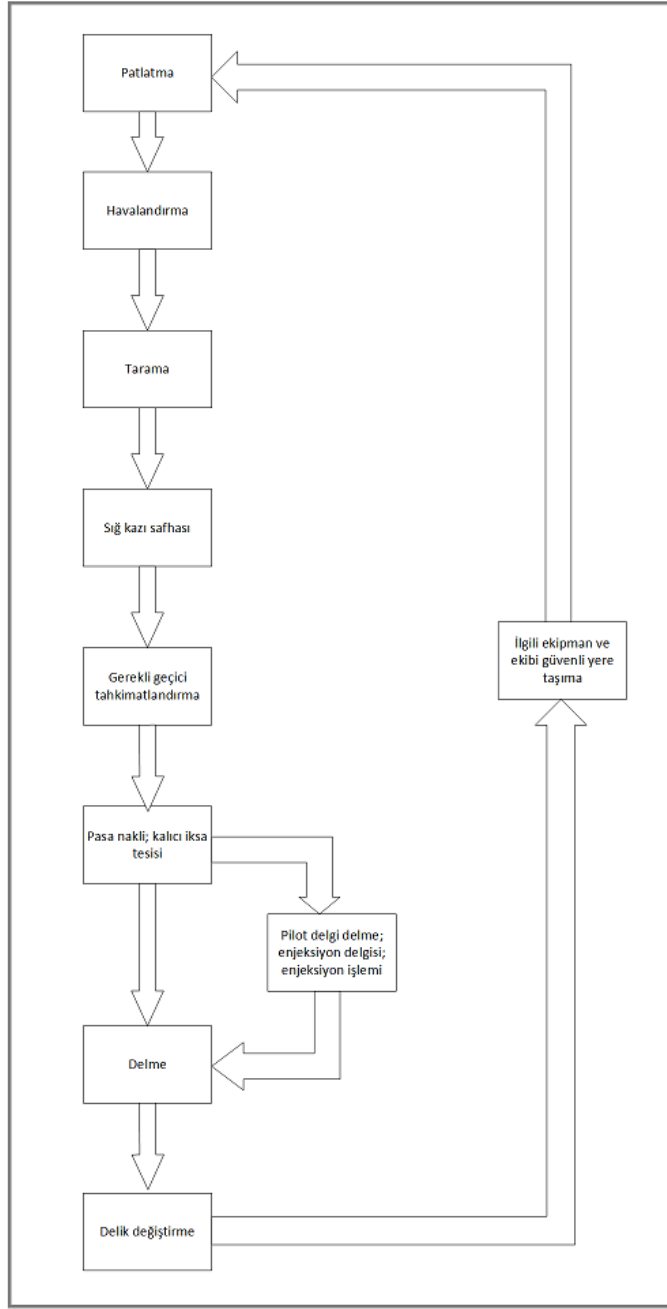
Şaftlar, madencilikte öncelikle havalandırma, üretimde cevher ve pasa nakli, insan ve ekipman nakli, su atımı amacıyla açılmaktadır. İnşaat sektöründe ise; yine karayolu, demiryolu ve metro tünelleri havalandırması, pasa nakli, insan ve ekipman nakli, bina projelerinde tahkimat amaçlı büyük çaplı altyapı kazık uygulamalarında, off shore deniz delgilerinde, liman ve köprü inşaatlarının temel kazılarında shaft açma uygulamalarına sıklıkla rastlanmaktadır.

Şaft açma uygulaması, kısıtlı alan, yer çekimi, yeraltı suyu ve aşması zor spesifik prosedürler gerektiren çok zorlu hazırlık metotlarından biridir (Hartman, 2002). Şaft açma, eğitilmiş ve yetkin personel gerektiren, özel bir operasyondur. Madencilik ve inşaat sektöründe farklı nedenlerle yapılan farklı tipteki eğimli veya dik shaft kazıları, operasyonun yavaş ve zahmetli olması nedeniyle en maliyetli işlem olarak kabul edilebilir. Çap, şekil ve konum kararları, shaftın açılış nedenine hizmet etmesi hususunda verilir. Dairesel shaftlar, stabilite karakteristiklerinden dolayı yaygın olarak tercih edilmektedir (Tatiya, 2013).

1.1 Şaft Açma Uygulamaları

Şaft açma uygulamalarında farklı metotlar kullanılmaktadır. En genel haliyle bu yöntemler konvansiyonel ve mekanize olarak ikiye ayrılabilir.

Geleneksel yöntem en genel olarak aynada kazı ilerlemesi ve tahkimatlandırmadan oluşan döngünün tekrar edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 1.1’de geleneksel yöntemin adımları özetlenmiştir.



Şekil 1.1 : Tipik konvansiyonel delme patlatma ile şaft açma döngüsü, SME (2011)'den uyarlanmıştır.

Günümüzde geleneksel yöntemin yanında, yeraltı madencilik ve inşaat hazırlık çalışmalarında mekanizasyon, günden güne artan verimli ve güvenli operasyon vurgusundan kaynaklı olarak, daha fazla önem kazanmaktadır (Douglas ve Pfitzenruter 1989). Mekanize şaft açma uygulamalarının yaygınlaşmasının nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

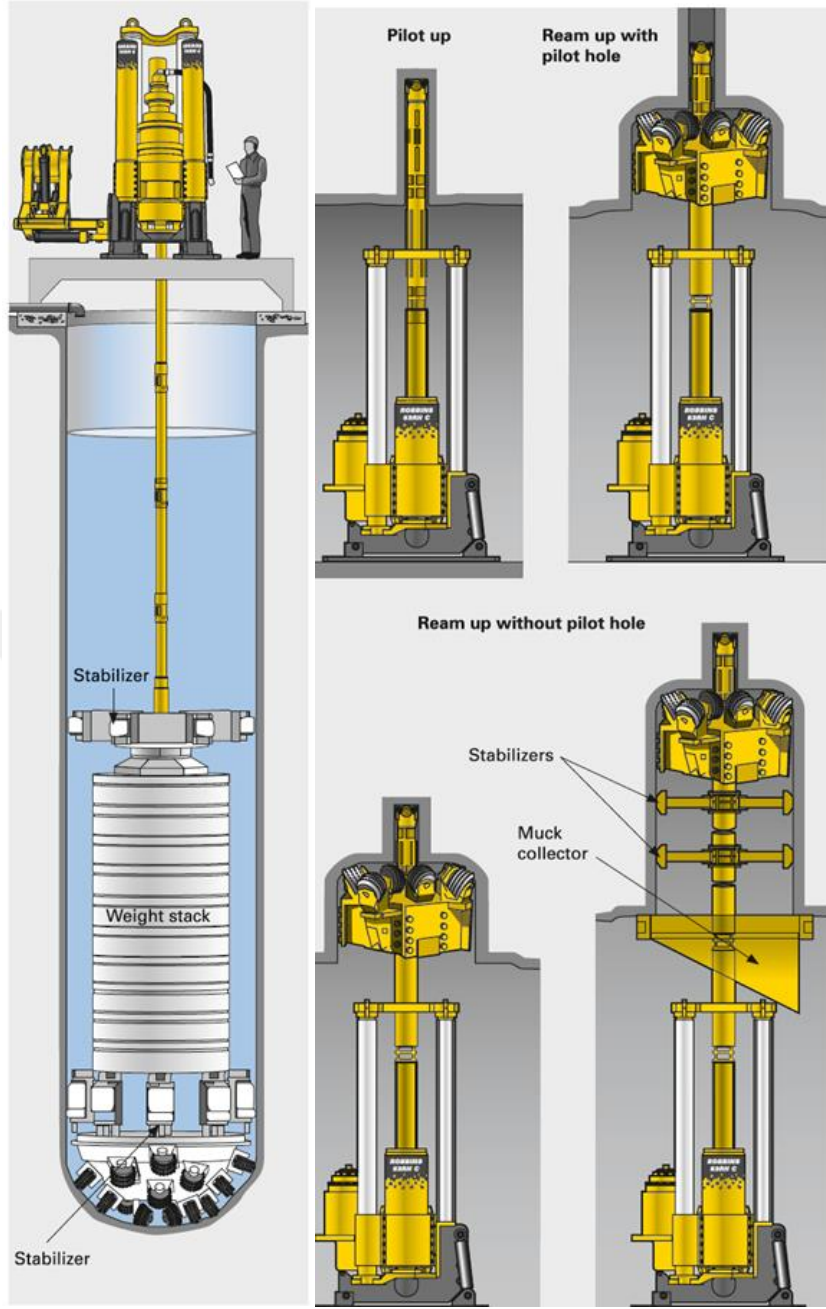
- Geleneksel yöntemlere kıyasla, iş ve işçi güvenliği açısından daha güvenlidir.
- Operasyonda birçok adımın eşzamanlı olarak gerçekleştirilmesi ve/veya konvansiyonel yöntemdeki bazı adımlara gerek duyulmadığı için (geçici tahkimatlandırma, havalandırma vb.) zaman ve maliyet açısından avantaj sağlamaktadır.
- Şaft duvarlarında fazla kırmayı neredeyse sıfıra indirilmesi, ve zemin bozunumuna daha düşük etki etmesi; güvenlik ve operasyonun genel maliyetini düşürmektedir.
- Daha az tahkimat ve destek ünite ihtiyacı, yine güvenlik ve maliyet açısından avantajlıdır.
- Şaftın yönelimi ve hizalanmasından sapmalar daha az gerçekleşir, bu da yine olası yeniden planlama ya da yeniden kazıyı önleyerek operasyonun genel maliyetini pozitif etkilemektedir.
- Tek tip pasa boyutu ile pasa naklinin plan ve operasyonunu kolaylaştırmaktadır.
- Şaft duvarının yüzeyinde sürtünme, konvansiyonel yöntemle açılan şaftların yüzeyinden daha az olacaktır, bu da su atımı ve benzeri uygulamaların planı ve uygulamasını kolaylaştıracaktır.

Mekanize şaft açma yöntemleri şöyle sınıflandırılabilir;

- Kör kuyu (baş yukarı ya da baş aşağı)
- Geleneksel baş yukarı delme ve genişletme
- Aşağı genişletme

1.1.1 Kör kuyu (kör baş yukarı ya da baş aşağı)

Kör kuyu yöntemi, şaftın açılacağı derinliğe sadece aşağı ya da yukarı seviyeden erişim durumunda tercih edilmektedir. Şekil 1.2a ve 1.2b’de (Atlas Copco Rock Drills AB, 2012) görüldüğü üzere kuyunun yönü aşağıdan yukarı, ya da yukarıdan aşağı doğru, pilot delgili ya da pilot delgisiz olarak gerçekleştirilebilmektedir.



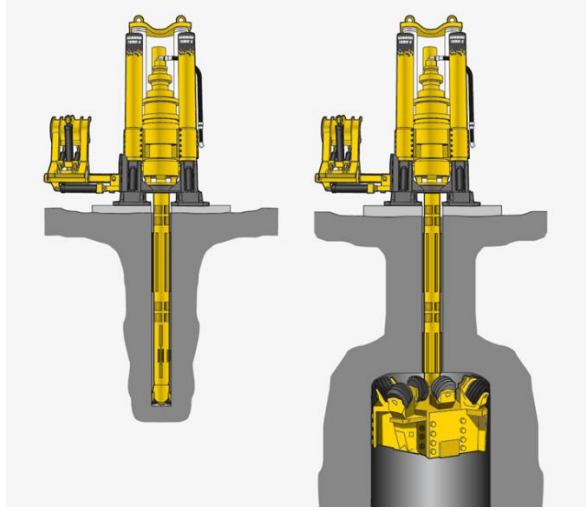
a.

b.

Şekil 1.2 : Kör kuyu uygulaması baş aşağı (a). baş yukarı (b).

1.1.2 Geleneksel baş yukarı delme ve genişletme

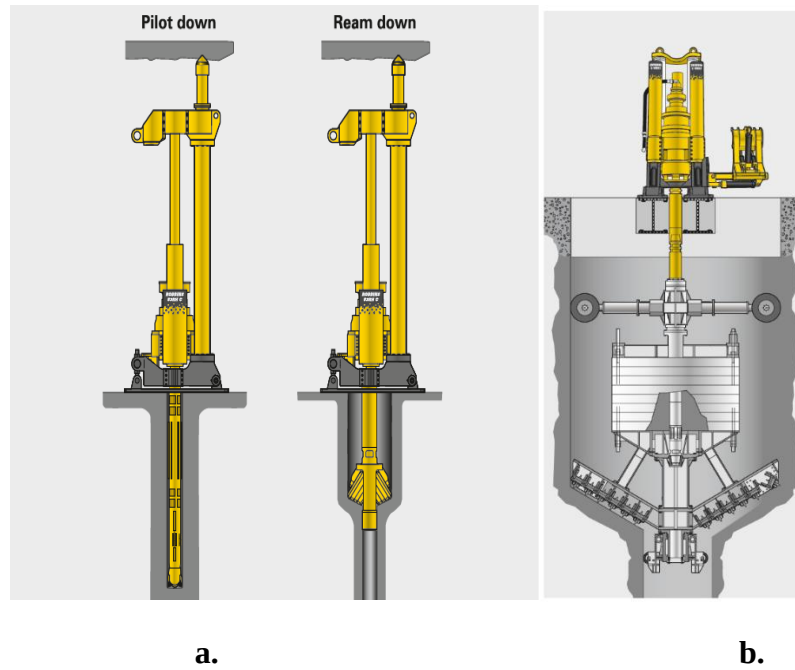
Baş yukarı delme dikey, eğimli, erişimi olan iki ya da daha fazla kat/seviye arasında, mekanize sürme, delme ve genişletme süreci olarak tanımlanır. Şekil 1.3'te de görüldüğü gibi (Atlas Copco Rock Drills AB, 2012), söz konusu erişilen katların biri yüzeyde diğerleri yeraltında ya da tamamı yeraltında da yer alabilir.



Şekil 1.3 : Geleneksel baş yukarı delme ve genişletme yöntemi.

1.1.3 Baş aşağı genişletme

Bu yöntem, erişimi olan iki kat arasında Şekil 1.4 (a)'da (Atlas Copco Rock Drills AB, 2012) görüldüğü gibi pilot delgi ile başlayıp, şaftın büyük çapta genişletici kafayla açılmayacağı durumlar için kademeli olarak genişletilmesi veya Şekil 1.4 (b)'deki (Atlas Copco Rock Drills AB, 2012) gibi şaftın daha da büyük çaplarda açılmasını sağlayacak ek dengeleyici birimler ile öncesinde açılmış pilot delginin genişletilmesi uygulamasıdır.



Şekil 1.4 : Kademeli genişletme (a). Büyük çaplı genişletme (b).

1.2 Pilot Delgi

Hem geleneksel hem de mekanize açılan şaftlar madencilik ve inşaat uygulamalarında, uzun süreli ayakta kalacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu durumda şaftın doğru kalitede açılmış olması büyük önem taşır. Mekanize şaft kazılarında uygulama, çoğu zaman bir pilot delgi ile başlar. Pilot delgi, final kazı olan genişletme için kuyunun konumu, doğrultusu ve genişletme sürecinin verimliliği konusunda kılavuz niteliği taşır. Şaftın açısı ve dikeylik/düşeyliği tamamen pilot delgi tarafından kontrol edilir. Pilot delginin verimliliği, sistem verimliliği ile doğrudan ilişkilidir. Örneğin, baş yukarı delme yöntemi ile açılan bir şaftta, kayaç özelliklerinden ve/veya düşük delme performansından kaynaklanarak kılavuzu doğrusal delinmemiş bir pilot delgi uygulamasını takip eden genişletme işlemi sırasında, genişletme kafasının sıkışması, yüksek torklu sistemde borulara ek yük binmesi, boru dışlarının aşınması hem güvenlik hem de maliyet açısından ciddi riskleri işaret etmektedir. Şayet pilot delgi sırasında herhangi bir sapma, düzeltilemeyecek gibi ise, takımın geri çekilip, deliğin çimento ile doldurularak, tekrar baştan delinmesini gerektirebilir.

Bu tez çalışmasında, Zigana karayolu tüneline, mekanize kuyu açma yöntemlerinden biri olan baş yukarı delme ve genişletme yöntemi ile açılan havalandırma şaftı açılma operasyonuna odaklanılmıştır. Saha numunelerinden testler sonrasında elde edilen kayaç özellikleri ile söz konusu projede kullanılan makinenin kaydettiği pilot delme parametreleri ile ilişkisi incelenmiştir.

2. ŞAFT AÇMA MAKİNALARI

2.1 Genel Bilgiler

Baş yukarı delme teknolojisinin ilk olarak prototip (Şekil 2.1) Robbins 41R olarak sunulduğu 1962 yılından önce, kuyu açma işlemlerinin tamamı el yordamıyla yapılan kazı ile sürdürülüyordu. Makinenin mucidi Robbins firması, 1940'larda Orta-Batı Amerika'da kömür kazı makineleri tasarımıydı. Sonrasında, firma madencilikteki tecrübesi sayesinde 1953 yılında, dünyanın ilk tam ayna kazı makinesi TBM'ini piyasa sürmüştür. 1960'lardan bu yana baş yukarı delme makineleri ve yöntemi, madencilik ve inşaat uygulamalarının gereksinimlerine göre geliştirilerek, dünya çapında kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılan bir mekanize kazı yöntemi haline gelmiştir.



Şekil 2.1 : İlk baş yukarı makinesi Robbins 41R (Atlas Copco Rock Drills AB, 2012).

Baş yukarı delme döner (rotary) ve ezer (crushing) bir delgi metodudur. Döner delgi ile açılan pilot delik, kesici genişletme kafası ile kayaç yüzeyine yüksek derecede baskı ve tork uygulayarak yaklaşık olarak dönüş başına 0,3 mm ile 2 mm arasında ilerleme ile genişletilir.

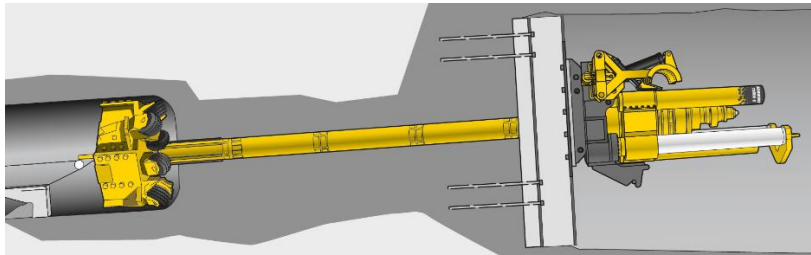
Şaftlar uygulamanın özelliklerine ve gerekliliklerine göre derin ya da sığ olabilirler. Baş yukarı delme uygulaması için şaftın dip derinliğine erişimi gereklidir, aksi takdirde Giriş bölümünde izah edildiği üzere, farklı uygulamalar ile şaft açma işlemi gerçekleştirilebilir.

Bu makinelerin kullanım alanları spesifik olarak, örneğin madencilikte, malzeme (cevher ya da pasa) nakli, havalandırma, insan nakli gibi, inşaat projelerinde ise hidro türbinler, atık su ve dönüşüm tünelleri, petrol, doğal gaz ve nükleer atık depolama tesisleri, karayolları ve demiryolları tünel havalandırmaları, boru ve kablo döşeme kazıları vb. için açılan şaft uygulamaları olarak sıralanabilir.

Baş yukarı delme makineleri hem madencilik hem de inşaat projelerindeki 0,6-6,0 m çapında ve maksimum 1100 m derinlikteki dairesel (Şekil 2.2) kuyu açma işlemlerinde kullanılabilmektedir. Söz konusu makineler, 45 derece eğimden 90 derece eğime kadar projelendirilmiş kuyular için uygundur (Şekil 2.3).



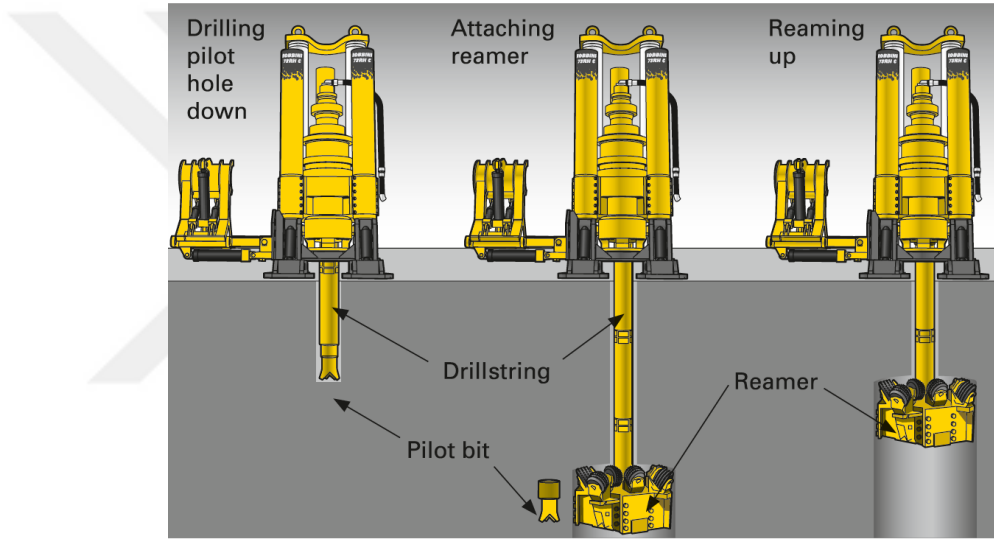
Şekil 2.2 : Baş yukarı delme makinesi ile tamamlanmış bir kuyu.



Şekil 2.3 : Eğimli uygulama (Atlas Copco Rock Drills AB, 2012).

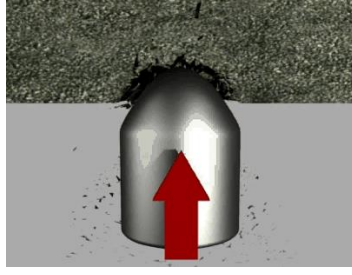
2.2 Baş Yukarı Delme Makinesi Çalışma Prensipleri

Baş yukarı delme ile kuyu açma işlemi adım adım şöyle özetlenebilir. Makine, yüzeyde ya da kuyu ile birbiri ile bağlanacak olan katlardan üstte olanına Şekil 2.4’de görüldüğü üzere kurulur. Sonrasında, pilot delik, delme takımını oluşturan bir seri silindirik boru seti ile aşağıya doğru delinir, ta ki pilot bit kuyunun alt katından çıkana kadar. Pilot delgi tamamlandıktan sonra, genişletici kafa pilot bitin çıkarıldığı delgi takımına monte edilerek, pilot deliğı yukarıya doğru üst kata kadar genişletmeye başlar. Pilot delgide çıkan küçük kaya parçaları hava ve su ile üst katta delik dışına atılırken, genişletme sırasında kesilen göreceli olarak iri kaya parçaları alt katta toplanarak uygun yöntemle uzaklaştırılır.

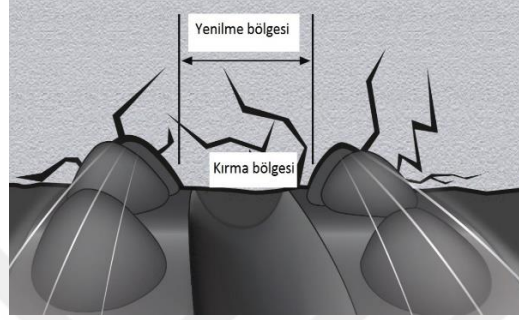


Şekil 2.4 : Baş yukarı delme makine çalışma adımları (Atlas Copco Rock Drills AB, 2012).

Baş yukarı delme kazısında hedef, kayaya yenilme gerçekleşene kadar baskı uygulamak ve kırılan parçaların kopmasını sağlamaktır. Mekanik manada, genel kaya kazısı prensipleri geçerlidir. Bunlar tam ayna kazısında da birlikte değerlendirilen 2 ana prensiptir; krater oluşturma ve kesme/koparma. Krater oluşturma; kayaca ezme kuvveti uygulayarak, kayaç yüzeyinde krater oluşturma işlemi olarak tanımlanabilir (Şekil 2.5). Eğer, kayaca basınç dayanımını yenecek yeterli kuvvet uygulanırsa, kayaç hemen karpit butonların temas ettiği noktada ezilecek ve krater oluşturacaktır. Koparma işlemi (Şekil 2.6) ise bu oluşturulan kraterin çevresinde yaratılan yan çatlakların bir yandaki çatlaklarla birleşip, iki kraterin merkezi arasındaki kaya parçasını kesmesidir.

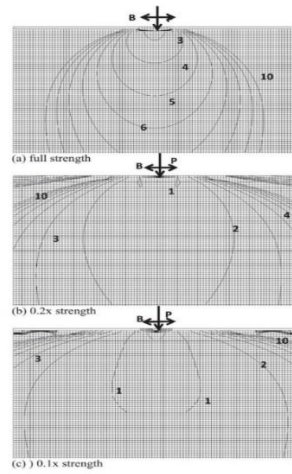


Şekil 2.5 : Krater oluşturma.



Şekil 2.6 : Koparma.

Genişletici kazısında, birincil yenilme döner delgi prensibi ile baskı kuvveti ve rotasyon ile, kayada çekme yenilmesi yaratması ile gerçekleşir. Kesici elemanlara uygulanan kuvvet, kayacı deforme eder ve bu kuvvet arttıkça basınç soğanı (Şekil 2.7) şeklinde kesicilerin altında kayaç ezilir. Basınç soğanı, uygulanan baskıyı yan kayaçlara aktararak, gerilme çatlakları oluşturur. Bu çatlaklar kayacın yüzeyine doğru çoğaldıkça, kaya baskıyı serbest bırakarak parçalanır. Burada kayacın optimum parçalanması birçok kesici elemanın birçok farkı noktada kayaç ile temas etmesi ile gerçekleşir. Bu yüzden baş yukarı delme kazısında, kafa dizaynı ciddi önem taşır.



Şekil 2.7 : Basınç soğanı (Pariseau, 2011)

2.3 Makine Bileşenleri

Baş yukarı delme makinesi, baş yukarı açmak için gereken baskı ve rotasyonu sağlayan, ve bu süreci kontrol ve takip eden tüm ekipman ve bileşenlerden oluşmaktadır. Makine 5 ana tertibattan oluşmaktadır (Şekil 2.8), bunlar;

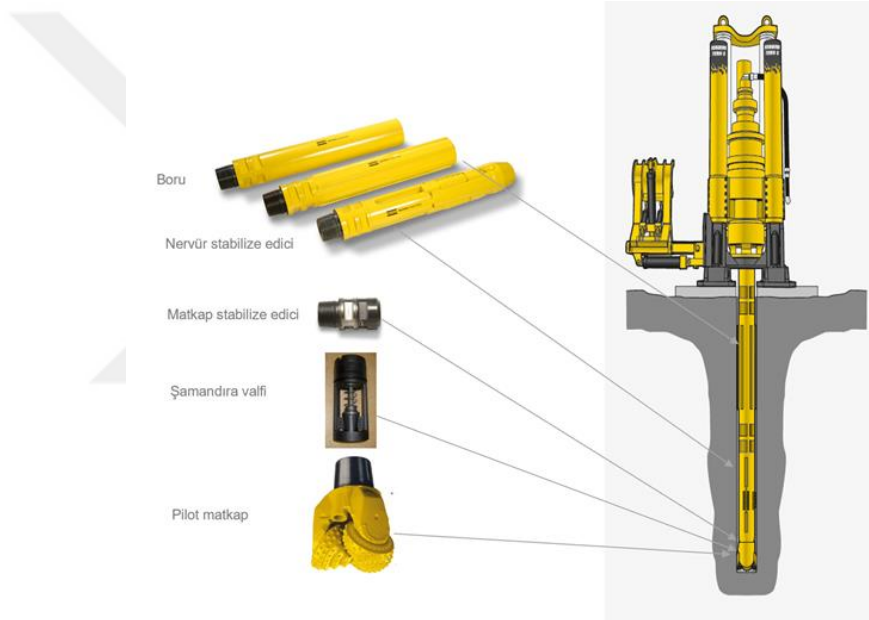
- Kule: Pilot delgi ve genişletme için gereken rotasyon ve baskı kuvvetlerini sağlayan bileşendir. Aynı zamanda delme takımının aşağı yukarı hareketini de sağlar, birçok başka küçük bileşenden oluşur. Bunlar; ayak plakaları, ana şase, kolonlar, şövalman, hidrolik silindirler ve rotasyon ünitesidir.
- Elektrik sistemi: Elektrik güç ünitesi ve tüm elektrik güç ve kontrol kablolarını içeren bileşendir. Tüm baş yukarı delme sisteminin devresel güç ve kontrol dağılımını sağlayan teçhizatın yer aldığı elektrik güç ünitesi kapalı bir kabin içindedir.
- Hidrolik sistem: Makineye gereken hidrolik gücü sağlayan sistemdir. Hidrolik güç ünitesi ve birbirine bağlı hortum teçhizatlarını içerir.
- Yağlama sistemi: Yüksek hızlı rulmanlar ve rotasyon ünitesi dişlisinin gerekli parçalarına yağ temin eden sistemdir. Bu teçhizat genelde, termometre, hava deliği ve göstergeli yağ hazneleri, yağ pompası, yağ filtreleri ve debi ölçer içerir.
- Kontrol konsolu: Operatör tarafından makinenin kontrol edildiği bileşendir. Bu I/O (input/output) modül, makine sensörlerinin ve metrajların/saatlerin iletildiği, operasyonel verinin işlenip, hesaplanan verinin gösterildiği bir ekrandan oluşur.



Şekil 2.8 : Makinenin temsili saha kurulumu, Atlas Copco Rock Drills AB (2012)'den uyarlanmıştır.

2.4 Pilot Delgi

Baş yukarı delme uygulamalarında pilot delgi döner delme yöntemi ile açılan kuyu boyunda bir delik başlar. Döner delgi, makine tarafından sağlanan baskı kuvveti ve rotasyonun, 3 kafalı/konili matkap aracılığı ile kayacı keserek ilerlemesi ile gerçekleşir. Bu delme yöntemi, sadece baş yukarı delme uygulamalarında değil, patlatma deliği uygulamalarından, petrol, jeotermal delgilerine, su delgileri vb. gibi uygulamalara kadar farklı derinlikler için hayli yaygın olarak kullanılmaktadır. Delik içindeki kırıntılar, bahsedilen farklı uygulamara göre, çamurlu, havalı, hava-su karışımı ve sadece su gibi farklı şekillerde delik dışına taşınabilir. Bu yöntemdeki çalışma presiplerine, Bölüm 4'te daha detaylı olarak yer verilmiştir.



Şekil 2.9 : Pilot delgi takımı, Atlas Copco Rock Drills AB (2012)'den uyarlanmıştır.

Baş yukarı delme işlemindeki pilot delgi uygulamasında, delik takımına (Şekil 2.9) dahil olan bileşenler şöyledir:

- Pilot matkap: kayaç ile temas eden bu takım elemanı, iletilen baskı ve rotasyon kuvvetleri ile kayacı keserek delme işlemini gerçekleştirir.
- Şamandıra valfi: tek yönlü çek valfi gibi çalışarak ters akışı ve matkap açıklıklarına kırıntıların girişi engelleyen takım elemanıdır.
- Matkap stabilize edici: hemen matkabın arkasına takılan bu stabilize edici , delik sapmasını engelleyici ve deliğin, matkap çapında açılması konusunda destek işlevi görür.

- Borular: baskı ve rotasyonun delik ilerledikçe, matkaba iletilebilmesini mümkün kılan takım elemanlarıdır. Özellikle baş yukarı delme uygulanmasında dişlerin aşınması ve takma gücü sürekli takip edilmelidir.
- Nervür stabilize edici: bu stabilize edici, deliğin yöneliminin ve doğrultusunun öncelikli kılavuzu olarak tanımlanabilir.

Pilot delgi işlemi başlamadan önce pilot matkabın stabilize edicilerin ve başlangıç borularını delik içinde yer alacak şekilde ilerletilmiş olması gerekmektedir. Matkabın kayaç ile temas halinde olduğu anda, ilerleme sağlanacak en düşük ayarda kuvvet uygulanmaya başlar. Ayrıca, kırıntıların delik dışına taşınması için verilen hava da orta seviyelerde delik içine verilmelidir. Stabilize edici ve başlangıç borusunun kılavuzluk görevi gördüğü bu ilk kılavuz işlemi, pilot delginin ve nihayetinde kuyunun merkez hizalaması konusunda yüksek önem taşır. Bu işlem delinen formasyona göre 3 stabilize edici boru boyu tamamlanana kadar devam edebilir. Bu işlem tamamlandıktan sonra pilot delgi başlayabilir.

Delinen kayacın özelliklerinin öncesinde araştırılması ve optimum kesmenin gerçekleşmesi ve sürdürülebilmesi için, delme parametrelerinin de sürekli takip edilmesi gerekmektedir.

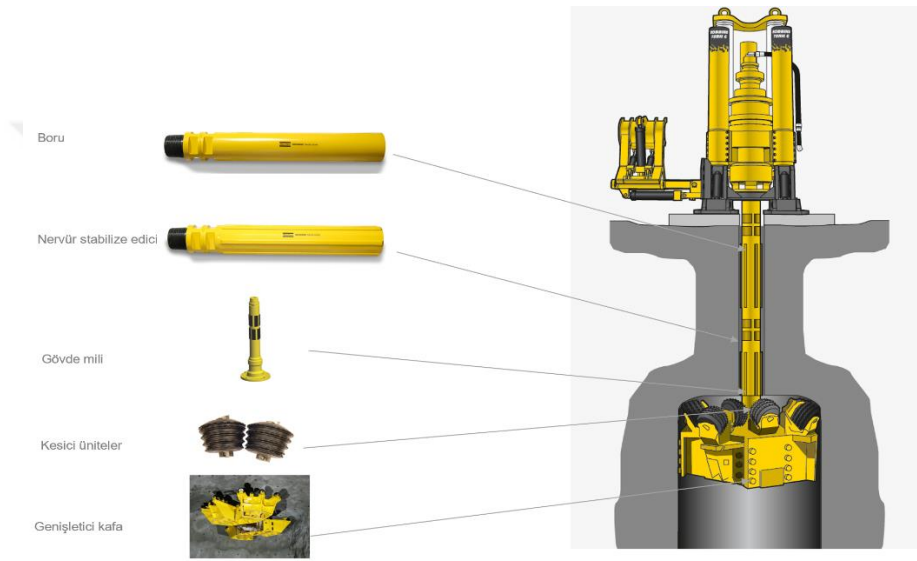
2.5 Genişletme Kazısı

Pilot delgi sırasındaki karşılaşılan zorluklar, toplanan kayaç verileri ve delgi parametreleri, genişletme işlemi için operatöre ışık tutacaktır. Pilot delgi tamamlandıktan sonra delgi takımı, kuyunun dip erişim noktasında aşağı indirilerek, pilot matkabın ve matkap stabilize ünitelerinin çıkarılması gerekir. Pilot delgi takımından geriye kalan boruların sonundaki nervür stabilize ünitesine gövde mili de takılarak genişletici kafanın montajı yapılır.

Genişletme kazısında delme takımı elemanları (Şekil 2.10) şöyle sıralabilir;

- Genişletici kafa: delme takımına takılan ve kesicileri içeren açılacak kuyunun çapında, kesici birimleri içeren ünitedir.
- Kesiciler: genişletici kafa üzerindeki kazı, kaya kesme birimleridir.

- Gövde mili: hemen matkabın arkasına takılan bu stabilize edici , delik sapmasını engelleyici ve deliğin, matkap çapında açılması konusunda destek işlevi görür.
- Borular: baskı ve rotasyonun genişletme kafasına iletilebilmesini mümkün kılan takım elemanlarıdır. Bu süreçte sökme işlemi ve dışlardaki aşınma sürekli takip edilmektedir.
- Nervür stabilize edici: bu stabilize edici, deliğin yöneliminin ve doğrultusunun öncelikli kılavuzudur.

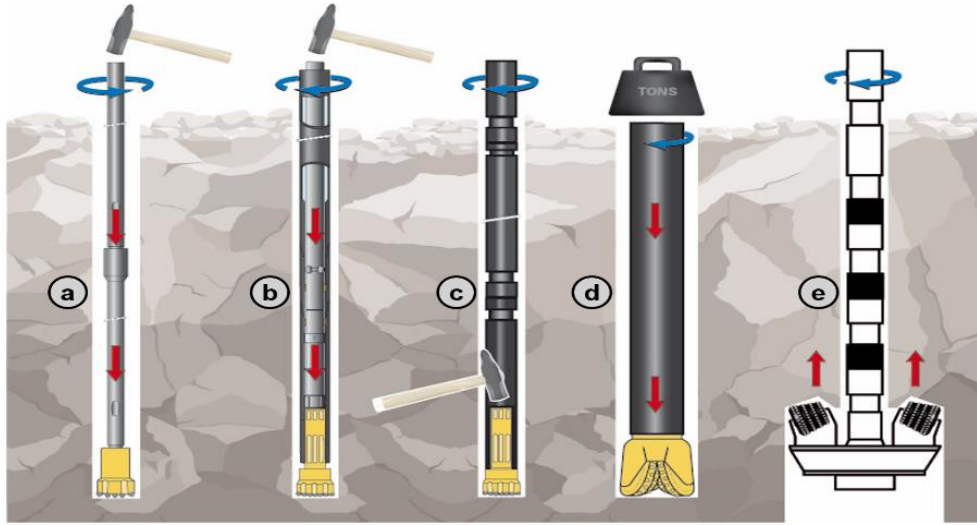


Şekil 2.10 : Genişletme delgi takımı, Atlas Copco Rock Drills AB (2012)’den uyarlanmıştır.

3. DELİK DELME İŞLEMİ

3.1 Delik Delme

Delik delme günümüzde madencilik ve inşaat operasyonlarında yaygın olarak kullanılan bir uygulamadır. Madencilikte, cevher, pasa üretimi, ulaşım, su atımı, tahkimat, maden arama vb. nedenlerle delik delme gerçekleştirilebilir. Benzer nedenlerle inşaat uygulamalarında da taş ocaklarında, tünellerde, yol, hidroelektrik santral vb. tesislerin kazılarında ve inşaatlarında delik delme işlemi hayli yaygın ve gereklidir. Delik delme terimi; shaft açma ve baş yukarı açma gibi özel makineler tarafından yaratılan bir kaç istisna dışında, küçük çaplı delikler için kullanılır (SME 2012). Delik delme işleminin 5 farklı ana yöntem ile gerçekleştirildiği söylenebilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Delik delme methodları.

a. Üstten darbeli sistem (TH): Darbe, rotasyon ve baskının makine tarafından delme takımının üst kısmında verildiği delik delme yöntemidir. Sistemin enerji kayıpları yüksektir, sık delikler için daha verimli olduğu söylenebilir, delik derinleştikçe sapma riski yüksektir. Daha çok küçük çaplarda açılan patlatma ve bulonloma deliklerinin delinme şeklidir. Delik takımı, hidrolik tabanca, şank adaptörü, tijler ve manşonlar, ve delici bitlerden oluşur.

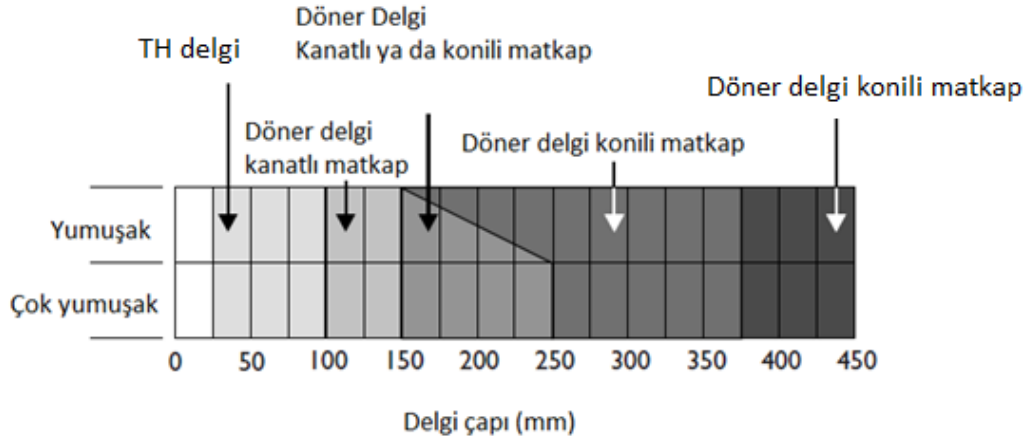
b. COPROD: Patentli bu yöntemde, üstten darbeli sistem gibi, darbe, rotasyon ve baskının makine tarafından delme takımının üst kısmında verildiği delik delme yöntemidir. Sistemin enerji kayıpları üstten darbeli sisteme kıyasla düşüktür. Delme takımı dizaynı özel olarak bu enerji kayıplarını azaltarak, daha derin ve daha düzgün deliklerin delinmesine olanak sağlar. Delik takımı, hidrolik tabanca, şank adaptörü, borular ve delici bitlerden oluşur.

c. Delik dibi darbeli sistem (DTH): Rotasyon ve baskının makine tarafından delme takımının üst kısmından verildiği, ancak darbenin bite geçme delik dibinde bulunan tabanca tarafından üretildiği delik delme yöntemidir. Tabanca havalı çalıştığından, yüksek hava gereksinimi söz konusudur, kullanıldığı makinelerdeki kompresör kapasitesi büyüktür. Sistemin darbede enerji kayıpları neredeyse yoktur, derin delikler için hayli verimli olduğu söylenebilir, delik sapma riski hayli riski düşüktür. Yine de çok derin deliklerde delik demizliği için hava ihtiyacı daha da artacaktır. Büyük çaplarda uygulamaları daha yaygındır; patlatma deliği, zemin güçlendirme kazıkları, su deliği vb. operasyonlarda sıkça kullanılır. Delik takımı, havalı tabanca, borular, ve delici bitlerden oluşur.

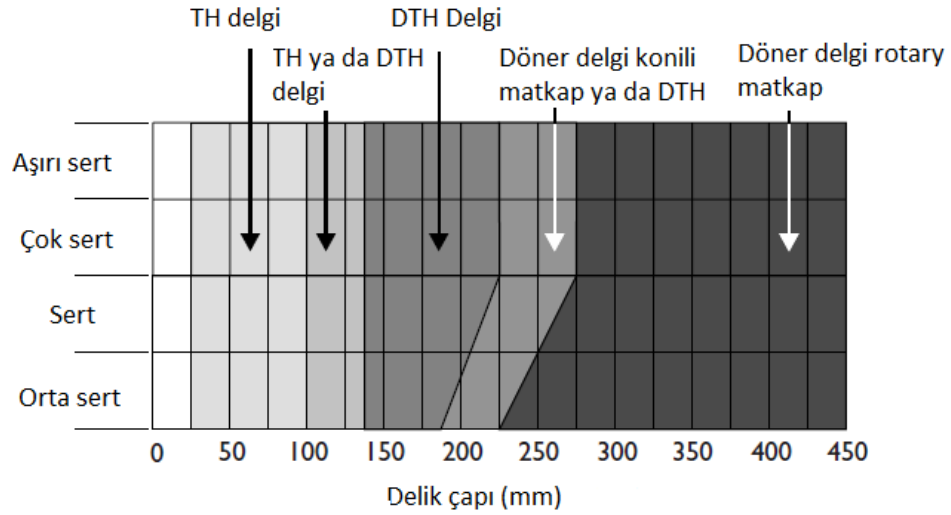
d. Döner delgi (Rotari): Sadece rotasyon ve baskı ile delik ilerlemesi sağlayan kaya kesici yöntemdir. Makine tarafından yüksek baskı kuvveti ve rotasyon delik takımının üst kısmından temin edilir. Büyük çaplardaki deliklerin çoğu döner delme yöntemi ile açılır. Ayrıca delik temizliği sadece hava ve su ile değil, çamurlu olarak da yapılabildiğinden petrol, jeotermal, su kuyusu delgileri, baş yukarı delme pilot delgi vb gibi farklı derin delik uygulamalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Delik takımı, borular, ve delici bitlerden oluşur. Bir sonraki bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

e. Baş yukarı genişletme: Uygulamanın sadece genişletme bölümü döner kazı yöntemidir. Kayaç yüzeyine, yüksek baskı (thrust) kuvveti ve rotasyon, delme takımının üst kısmından uygulanır. Genişletici kafa üzerindeki kesici elemanlar tarafından yenilen kaya parçalanır. Delik takımı kesici elemanlar ve genişletici kafa, borular, dengeleyicilerden oluşur. Bölüm 2’de detaylı biçimde bahsedilmiştir.

Delik delme yöntemi seçimi uygulamaya ve saha özelliklerine göre spesifik olarak yapılmaktadır. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te, farklı formasyonlar için delgi yöntemi seçim kriterleri verilmiştir.



Şekil 3.2 : Yumuşak-çok yumuşak formasyon için delgi yöntemi seçim kriterleri, Gokhale (2011)'den uyarlanmıştır.



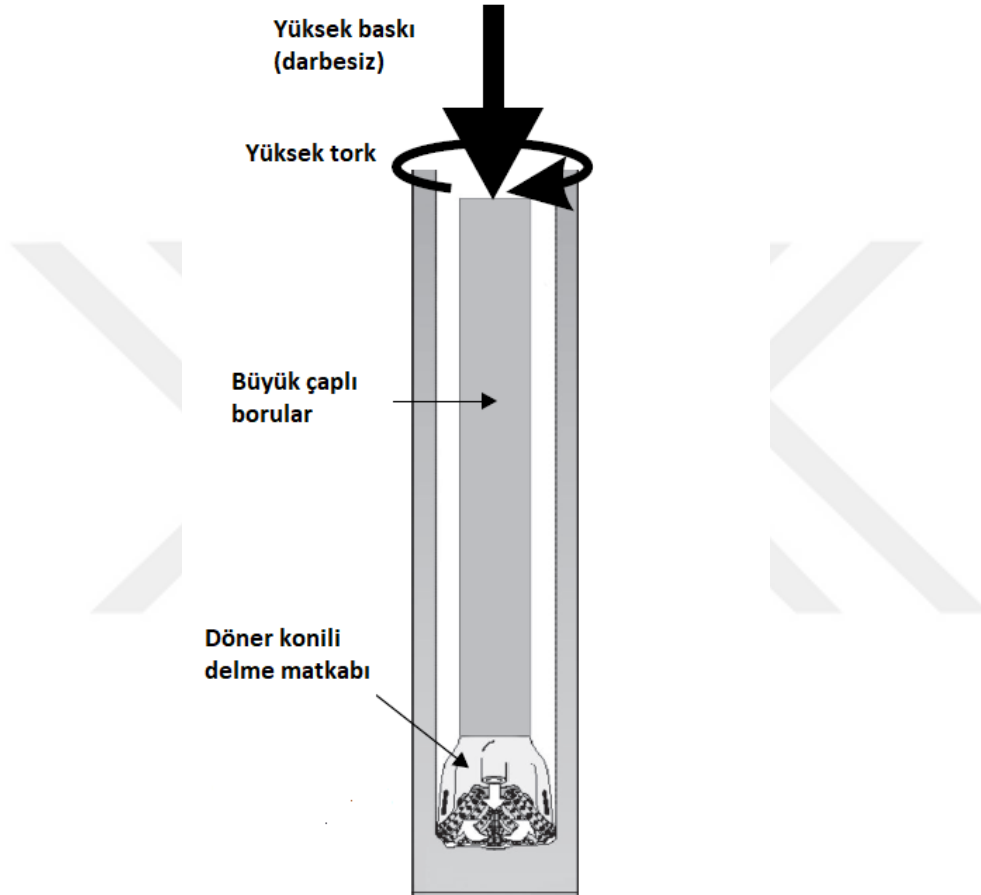
Şekil 3.3 : Orta sert-aşırı sert formasyon için delgi yöntemi seçim kriterleri, Gokhale (2011)'den uyarlanmıştır.

Bu tez çalışmasında odaklanıldığı üzere, yukarıda belirtilen delik delme yöntemlerinden Döner Delgi yöntemine bir sonraki bölümde daha detaylı olarak yer verilmiştir.

3.1.1 Döner delgi (Rotari)

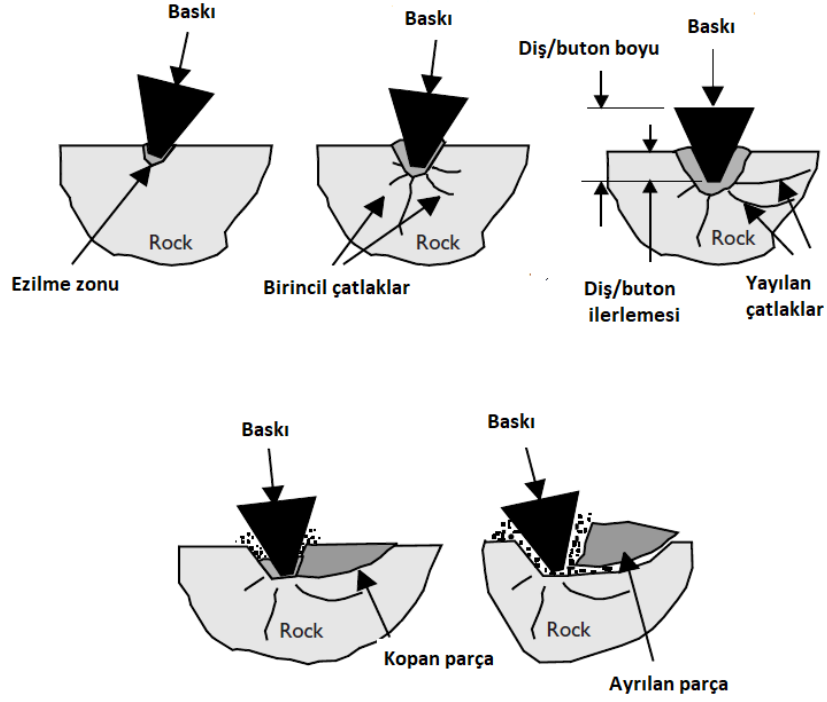
Genellikle farklı uygulamalarda büyük çaptaki deliklerin delgisinde döner delgi metodu yaygın olarak kullanılmaktadır. Delik dibi darbeli bitler de büyük çaplarda kullanılabilmesine rağmen, döner delgiye göre, delgi sırasında belirgin çap aşınması, daha hassas baskı kontrolü gerektirmesi ve delgi çamuru ile kullanılmaması gibi nedenlerden dolayı daha az tercih edilmektedir.

Döner delginin temel prensibi şöyle özetlenebilir. Delici matkap, delik takımının üst kısmında rotasyon ünitesi adı verilen hidrolik ya da elektrik motorlu bir dişli tarafından yaratılan tork ile döndürülür, aynı zamanda, makine matkap üzerinde gereken baskı uygular, matkap kızak sistemi sayesinde baskı kuvveti ayarı ile aşağı yukarı hareket eder. Deliğin temizlenmesi de uygulama özelliklerine göre, hava, su veya çamurlu olarak gerçekleştirilir.



Şekil 3.4 : Döner delgi temel prensibi, Gokhale (2011) 'den uyarlanmıştır.

Döner delgi iki ana eylemin kombinasyonu olarak sayılabilir (Şekil 3.5). Biri batma; matkabın kesme birimlerinin sürekli olarak, kayaç içine girmek üzere itilmesi, bir diğeri ise matkabın yanal hareketi ile kayaç parçalarını kesmesi ya da koparmasıdır. Pratikte bu iki eylem eş zamanlı gerçekleşirine rağmen, ayrı ayrı uygulanıyor gibi değerlendirilebilirler (Teale, 1964). Yani, döner delgide; kayacın matkapla ilk temas ettiği noktalardan, kayaca uygulanan kuvvet ile itilen, bu matkap birimleri kayaç içinde ilerlemektedir. Eş zamanlı olarak rotasyon ile sağlanan dönüş, kayaca giren bu birimlerin yarattığı çatlaklar arasındaki bölümlerin de ezilerek kopmasına neden olmaktadır.



Şekil 3.5 : Döner delgide konili matkabın davranışı, Gokhale (2011)'den uyarlanmıştır.

Döner delgi uygulamalarında başlıca üç farklı matkap kullanıldığı söylenebilir. Bunlar;

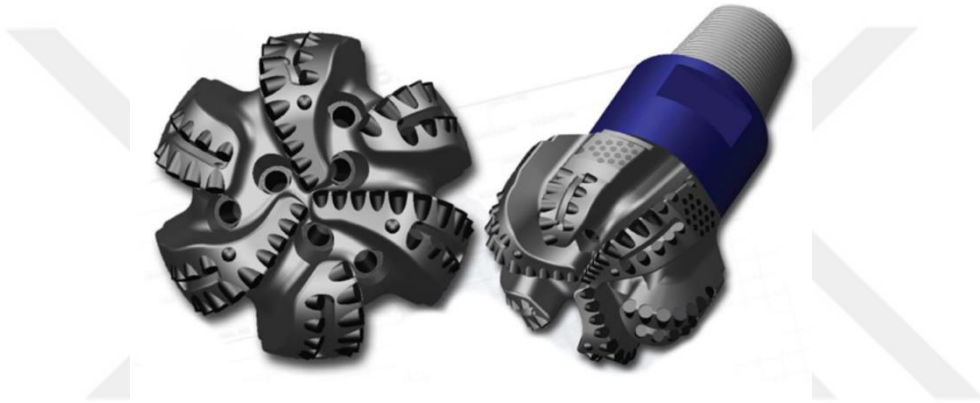
- Kanatlı matkaplar (Şekil 3.6)
- Üç konili döner matkaplar (Şekil 3.7)
- PCD (Polycrystalline Diamond) matkaplar (Şekil 3.8)



Şekil 3.6 : Kanatlı matkaplar.



Şekil 3.7 : Üç konili döner matkaplar.



Şekil 3.8 : PCD (Polycrystalline Diamond) matkaplar.

Üç konili döner delgi matkapları , birçok farklı formasyonda kullanılabilmesi, rulman yataklarından, kesme birimlerine kadar, kullanılacağı uygulamaya göre spesifik olarak uyarlanılabilir oluşu dolayısı ile farklı madencilik, inşaat, petrol ve jeotermal uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan matkaplardır. Bu çalışmada, baş yukarı delme uygulamalarında kullanıldığı üzere üç konili döner delgi matkapları daha detaylı olarak işlenmiştir.

3.1.2 Üç konili döner delgi matkapları

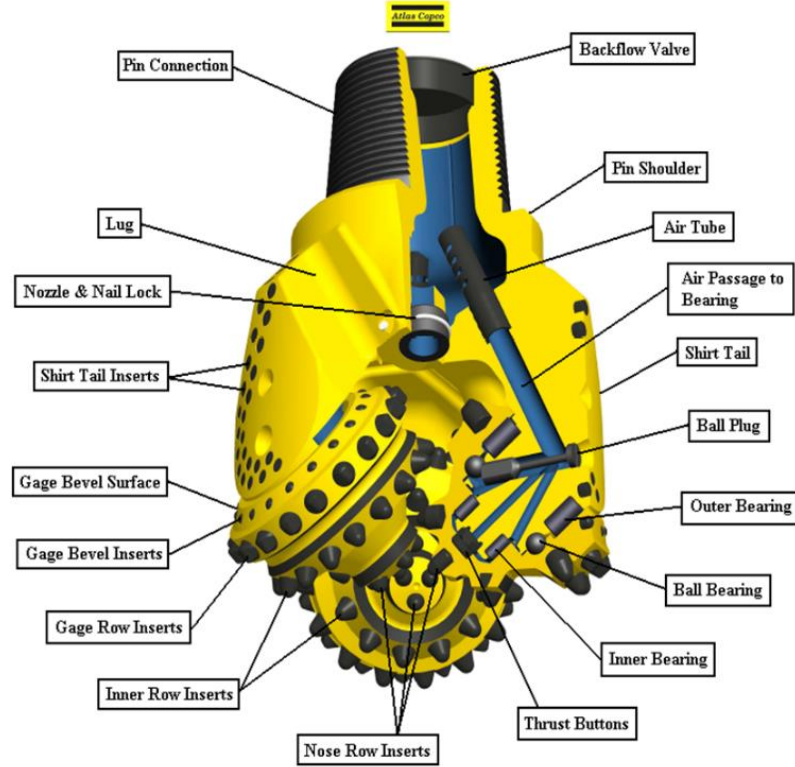
Konili matkaplar, ilk kez 1909 yılında kullanılmış olup, özellikle 1946'dan sonra ise hızlı bir gelişim dönemine girilmiştir. Başlangıçta, 1951 yılına kadar çelik dişli matkaplar olarak üretilmiş ve kullanılmıştır. Aynı yıl içinde zor delinebilen kayalar için ilk tungsten karbid dişli matkap geliştirilmiştir (Kahraman,1996; Grimes vd.,1992).

Üç konili döner delgi matkapları, adından anlaşılacağı üzere rulman yatağı ve bilyalı rulmanlar yardımıyla, 3 bacağa yerleştirilmiş, 3 koniden oluşmaktadır (Şekil 3.9). Konili delgi matkapları, darbeli matkapların aksine, hareketli aksamalar içermektedir (Gokhale, 2011).

Farklı çaplarda ve yumuşak formasyonlardan, çok sert formasyonlara kadar kullanılabilen üç konili döner delgi matkapları temelde, kesme birimlerine göre çelik dişli ve tungsten karbid dişli matkaplar olmak üzere, iki tipte üretilmektedir. Çelik dişli matkaplar daha yumuşak formasyonlar için dizayn edilmiştir. Tungsten Karbid dişli matkaplar ise, orta-çok sert formasyonlarda kullanılmak üzere spesifik olarak uygulamaya uyarlanabilir (Finger & Blankenship, 2010).

Üç konili döner delgi matkapları aşağıdaki ana birimleri içermektedir;

- Koniler
- Kesme Birimleri
- Koni Tutucular (Bacak)
- Jet Nozullar



Şekil 3.9 : Üç konili döner delgi matkap yapısı (Atlas Copco Secoroc AB 2009).

Üç konili bir matkapi koniler, ayrı ayrı eksenlerde dönerken, matkabın kendisi de delme takımının ekseni etrafında dönmektedir. Konilerde bulunan ve kesme birimi olarak adlandırılan çelik diş ya da tungsten karbid butonla/dişler, kayaç ile temas ederek delme işlemini gerçekleştirilir.

Gokhale'a (2011) göre, üç konili matkaplarla döner delgiyi etkileyen 4 ana faktör vardır, matematiksel olarak şöyle ifade edilebilir;

$$P = f(W, N, C, Q) \quad (3.1)$$

Burada;

P = İlerleme hızı

W = Bit üzerindeki baskı kuvveti

N = Matkabın dönüş hızı

C = Diş boyu

Q = Sıkıştırılmış hava hacmi

Üç konili matkaplar, tüm üreticiler için, genel bir tanımlama yapabilmek adına IADC (International Association of Drilling Contractors) tarafından kodlama sistemine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma, delinecek formasyon öncelikli olarak göz önünde bulundurularak yapılmıştır. IADC kodları, 3 haneli olmak üzere, matkapın tipi ve yataklarını tanımlar. Şöyle ki;

İlk hane; matkap tipini ve delinecek formasyonun majör sertlik sınıfını tanımlar;

Çelik Dişli:

1 – Yumuşak formasyon

2 – Orta sertlikteki formasyon

3 – Sert formasyon

Tungsten Karbid Dişli:

4 – Yumuşak formasyon

5 – Yumuşak/Orta sert formasyon

6 – Orta sert/ Sert formasyon

7 – Sert formasyon

8 – Çok sert formasyon

İkinci hane; delinecek formasyonun minör sertlik sınıfını tanımlar (Şekil 3.10). Bu hane için aralık, bir önceki hanede formasyonun dahil olduğu sertlik sınıfı içerisinde, en yumuşak 1, en sert 4 olmak üzere, 1-4 arasında sınıflandırılır. Örneğin, ilk hanede 5 sertlik sınıfındaki bir formasyon için, 5-1 en yumuşak, 5-4 ise en sert formasyonu ifade eder.

Serbest Basınç Dayanımı (psi)		Tungsten Karbid Dişli Döner Sondaj Matkap Tipi		Kayaç Tipi
Kayaç Dayanımı				
Serbest Basınç Dayanımı (psi)	Serbest Basınç Dayanımı (mPa)	Tungsten Karbid Dişli Döner Sondaj Matkap Tipi		
Düşük	Düşük	IADC 4-1 ile 4-4		Kilitaşı, Çamurtaşı
8000	55			Yumuşak Şeyl, Kumtaşı
10000	69			Konsolide Kumtaşı
12000	83			Orta Sertlikteki Şeyl
14000	97			Tüf, Yumuşak Şist
16000	110			Andezit, Riyolit
18000	124			Kuvarsit (Kum, Silt)
20000	138			Kireçtaşı, Mermer
22000	152			Monzonit, Granit
24000	165			Gnays
26000	179	IADC 5-1 ile 5-4	Diyorit, diyabaz	
28000	193		Sert Şeyl, Sileit	
30000	207		Kireçtaşı, Dolomit	
32000	221		Bazalt	
34000	234		Skarn	
36000	248		Granodiyorit	
38000	262		Takonit	
40000	276		Kuvarsit	
42000	290		Siyenit	
44000	303		Gabro	
46000	317	IADC 6-1 ile 6-4		
48000	331			
50000	345		Bantlı Demir	
52000	359		Takonit	
54000	372			
56000	386		Kuvarsit	
58000	400			
60000	414		Amfibolit	
Yüksek	Yüksek			Hematit, Hornfels
IADC 7-1 ile 7-4				
Serbest Basınç Dayanımı (UCS) herhangi bir kayacın "delinebilirliği" ne etki eden faktörlerden sadece biridir. Kayacın sertlik ve elastisitesi de bit seçimine etkilidir.				

Şekil 3.10 : Kayaç dayanımına göre tungsten karbid dişli matkap seçim tablosu, Atlas Copco Secoroc AB'den (2009) uyarlanmıştır.

Üçüncü hane; matkap özelliklerini tanımlar;

- 1 – Standart keçesiz masuralı yatak - "Açık yatak" sıvı sirkülasyonu
- 2 – Standart hava soğutmalı keçesiz masuralı yatak– “Açık yatak” hava sirkülasyonu
- 3 – Standart çap korumalı keçesiz masuralı yatak – Keçesiz, açık yatak, hava ya da sıvı sirkülasyonu, çap korumalı
- 4 – Keçeli masuralı yatak – Çelik dişli ya da Tungsten Karbid dişli
- 5 – Keçeli çap korumalı masuralı yatak - Çelik dişli ya da Tungsten Karbid dişli 311 mm ve daha büyük çaplarda
- 6 – Keçeli mil yatak- Çelik dişli ya da Tungsten Karbid dişli
- 7 – Keçeli çap korumalı with mil yatak - Çelik dişli ya da Tungsten Karbid dişli 311 mm ve daha küçük çaplarda
- 8 – Yönlü delgi özellikleri
- 9 – Diğer özellikler

IADC bu sınıflandırmayı 1992 yılında, ek bazı özellikler için revize etmiştir, ve dördüncü hane olarak, Şekil 3.11'deki harflerle belirtilen kodları eklemiştir (Azar & Samuel, 2007). Gerektiğinde, özellikleri öncelik sırasına koyarak birden fazla harf IADC koduna eklenebilir.

HARF	HARF ANLAMI
A	Havali sondaj çalışmaları(Hava soğutmalı matkabı tanımlar)
B	Özel sızdırmazlık elemanı(Özel uygulama avantajları-yüksek dönme hızı gibi- sağlayan bir tür sızdırmazlık elemanıdır)
C	Merkezi jet(Hidrolik enerjinin matkap altında daha düzgün dağılmasını sağlamak amacıyla bazı büyük çaplı matkaplarda kullanılır)
D	Sapma kontrolü(Sapmayı minimuma indirmek için özel kesici yapı tasarımını gösterir)
E	Uzatılmış jet(Özellikle kolay delinebilen formasyon matkaplarında daha iyi kuyu tabanı temizliği sağlamak için kullanılır)
G	İlave çap koruma(Jeotermal ve yönlü sondaj çalışmaları için özel yatak ve gövde korumasını tanımlar)
H	Yatay ve yönlü sondaj(Özellikle yatay ve yönlü sondaj için tasarlanmış matkabı tanımlar)
J	Saptırma jet(i Kolay delinebilen formasyonlarda sondajı saptırmak için kullanılır)
M	Kuyu dibi motoru(Kuyu dibi motorları ile kullanılabilir özelliğe sahip matkap anlamına gelir)
L	Ek gövde koruması(Aşındırıcı formasyonlarda ve yönlü sondaj uygulamalarında kullanılacak matkaplar için ilave gövde korumasını gösterir)
S	Standart çelik dişli matkap
T	İki konili matkap(Yaygın olmasa da bazı durumlarda sapma kontrolü için kullanılmaktadır)
X	Dişlerin çoğunluğunun keski şekilli tungsten karbid diş olduğunu gösterir
Y	Konik şekilli tungsten karbid diş tanımlar
Z	Diğer şekilli tungsten karbid diş anlamına gelir

Şekil 3.11 : IADC kodlama sistemindeki harflerin anlamı Azar & Samuel (2007)'den uyarlanmıştır.

IADC kodları döner delgi matkaplarının, tanımlanmasında ve uygulamaya özel olarak seçilmesine ve üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında kullanılan matkabın IADC kodu 7-3-7 olup, Şekil 3.12'de resmi verilmiştir.

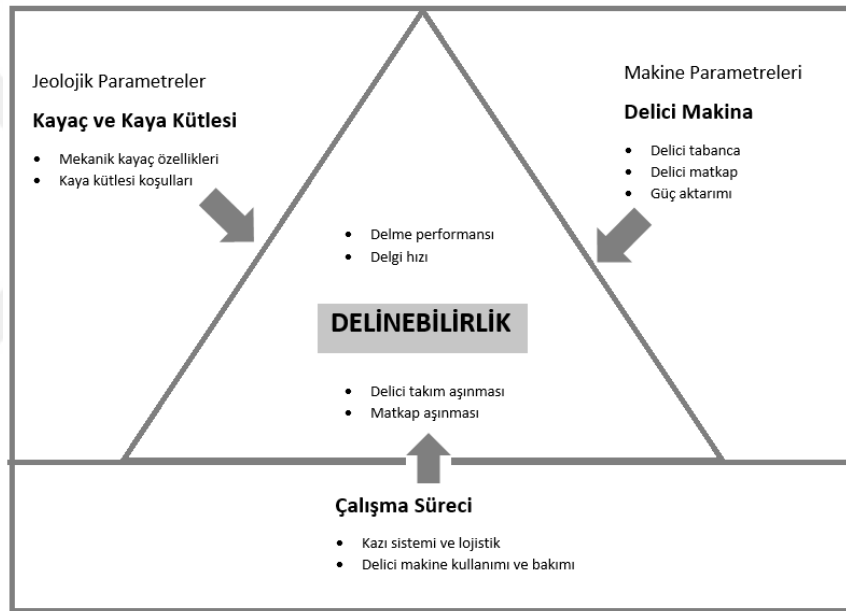


Şekil 3.12 : Arazide kullanılan 7-3-7 IADC kodlu üç konili matkap.

3.2 Döner Delgi Performansını Etkileyen Parametreler

Delik delme işleminin performansı, delinebilirlik olarak adlandırılıp, delici birimlerin kayaç dayanımını yenerek, kayaçta ilerleme sağlaması olarak tanımlanabilir. Delinebilirlik terimi sıklıkla, bir kaya kütlelerinin kolay ve ekonomik olarak delinebilirlik seviyesi olarak da açıklanmaktadır. Yüksek delinebilirlik genelde, daha az aşınan matkap ve uzun ömürlü matkap ile yüksek delme hızına işaret eder (Lui & Yin, 2001).

Delinebilirlik, temel olarak kayacı mekanik manada delme ya da kırma yeterliliğidir. Bu yeterlilik birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerden bazıları kayaç formasyonu ile, bazıları kayaca uygulanan kuvvetler ile ilişkilidir. Kayaca uygulanan kuvvetler ve bu kuvvetlerin uygulanış biçimleri açısından delme yöntemleri uygulamaya özel farklılıklar gösterir. Kayaç özellikleri, kayacın kırılma/parçalanma mekanizmaları ve delme parametreleri, delinebilirlikle doğrudan bağlantılı olup, delgi veya kazı verimliliğinin değerlendirilmesi, açısından büyük önem taşır. Delgi performansı, uyarlanabilen ve tercihin söz konusu olmayan birçok parametreye bağlıdır. Örneğin, makine ve ekipmana bağlı parametreler uyarlanabilen parametreler, ve kayaç parametreleri uyarlanamayan parametreler olarak düşünülebilir. Şekil 3.13'te (Thuro,1997) delinebilirliğe etki eden faktörler verilmiştir.



Şekil 3.13 : Delinebilirliğe etki eden faktörler (Thuro, 1997).

Delinebilirlik, hayli fazla faktöre bağlı olmasından kaynaklı olarak matematiksel olarak tanımlanamamaktadır. Birçok faktörün kombinasyonu olarak, uygulamaya spesifik olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Sonraki bölümlerde detaylı olarak açıklanan bazı faktörlerin delinebilirliğe etkisi Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Döner delme makinelerinde; delgi işlemi, hız ya da matkap üzerindeki kuvvet ile kontrol edilebilir. Hangisinin tercih edileceği, uygulamadaki tecrübeye, spesifik olarak kayaca ve saha şartlarına bağlıdır.

Baş yukarı delme uygulamalarında, makine bu iki parametrenin birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilir. Aynı şekilde bu tez kapsamında incelenen 91RHC

makinesinde baskı ilerleme hızı ve baskı kuvveti kontrol, takip üniteleri birbirinden bağımsızdır. Burada amaç; deliğin doğru hizada ve planlandığı gibi doğru delinmesine daha çok odaklanan ilerleme hızı kontrolüdür, makine üreticisi tarafından bu tavsiye edilmektedir. Bu durumda ilerleme hızı, sapmayı minimize edecek şekilde, maksimum 2 in/dk-50 mm/dk değerine limitlenir. Operatör, pilot delme sırasındaki parametreleri, genişletme için zemin bilgisi amaçlı takip ve kayıt etmelidir.

Çizelge 3.1 : Delinebilirliğe etki eden bazı faktörler, Gokhale'den (2011) uyarlanmıştır.

Parametre	Delinebilirliğe etkisi
Basma dayanımı	Artarsa, delinebilirlik azalır.
Çekme dayanımı	Artarsa, delinebilirlik azalır.
Aşındırıcılık	Artarsa, delinebilirlik azalır.
Yoğunluk	Artarsa, delinebilirlik azalır.
Sertlik	Artarsa, delinebilirlik artar.
Baskı kuvveti	Artarsa, delinebilirlik artar.
Rotasyon hızı	Artarsa, delinebilirlik artar.
Tork	Artarsa, delinebilirlik artar.

Maksimum ilerleme hızı, rotasyon hızı ve baskı hızı ayarlarını kullanarak, önden belirlenmiş matkap üzerindeki ağırlık (WOB) ile de kontrol edilebilir. Bu yöntemde

delik daha hızlı delinecektir. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, matkap üzerindeki ağırlık; rotasyon hızı ve delik temizlenme kapasitesi ile limitlenen ana belirleyici parametredir (Atlas Copco Rock Drills AB, 2012).

3.2.1 İlerleme hızı

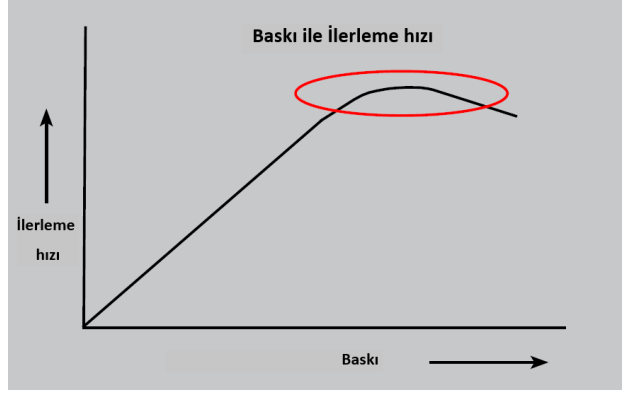
İlerleme hızı (P/rate of penetration/ROP), delgi sırasında kayaç içinde birim zamandaki ilerleme olarak adlandırılabilir. Optimum delme performansı, en düşük maliyetle ve/veya en kısa zamanda, en yüksek ilerlemeyi sağlamaktır. Birim ilerlemedeki maliyetlerin belirlenmesi, ilerleme hızını temel almaktadır. Bu yüzden, delme performansının, ilerleme hızı ile tanımlandığını/açıklandığını söylemek yanlış olmaz. Birim olarak m/saat, m/dakika, m/sn vb. ölçüler kullanılır.

İlerleme hızı, delinebilirlik ve delgi performansını doğrudan etkilediğinden, kayaç özellikleri, makineye ait parametreler, uygulamaya/operasyona ait değişkenlere bağlıdır. Delme performansının kabul edilen ölçütü olan ilerleme hızı, öncelikli olarak matkap dizaynına bağlıdır. Kesme işlemi delinebilirliği optimize edecek şekilde kayaç özellikleri ile uyusmalıdır (SME, 2011).

3.2.2 Baskı

Baskı, delinen kayaç yüzeyine dik, matkap üzerine uygulanan ağırlık/ yük (W,WOB, Weight on Bit, F) olarak tanımlanabilir. Bu parametre, döner delgi prensibindeki ana iki parametreden biri olup, operatör tarafından kontrol edilebilir. Matkaplar için, genelde optimum baskı kuvveti aralığı üretici tarafından paylaşılır. Baskı, penetrasyon hızı ile korelasyonlu olup, verilen sabit rotasyon hızında baskı artarsa, ilerleme hızı da artacaktır (Şekil 3.14).

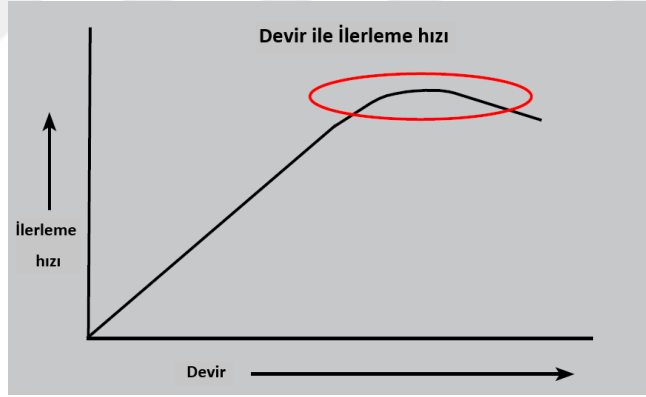
Baskının optimum düzeyde tutulması delgi performansı açısından çok önemlidir. Örneğin yüksek baskı, kayaca uygulanan yüksek enerji demektir, ki bu durumda kayaç daha fazla ezilerek, delik temizliği ve delme takımı aşınması gibi problemlere neden olabilir. Az baskı kuvveti ise, kayacın yenilmesini geciktireceğinden ya da engelleyeceğinden , ilerleme sağlanamayabilir. Bu durumda kayaca uygulanan enerji tamamen kayıp sayılabilir. Birim olarak kg, N, kN vb. ölçüler kullanılır.



Şekil 3.14 : Maksimum baskı, Atlas Copco Secoroc AB (2009).

3.2.3 Rotasyon devri

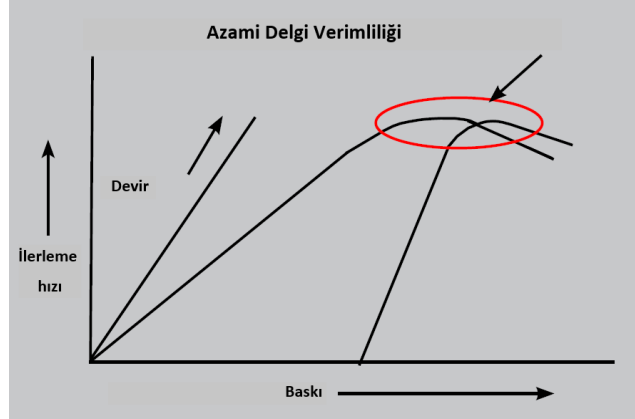
Matkabın bir dakikadaki dönüş sayısı ya da tur sayısı, dakikadaki devri ya da dönüş adedi (N, rpm: rotation per minute) olarak tanımlanabilir. Döner delgi ana prensiplerinden biri olan rotasyonun ölçülebilen değeridir. Matkaplar için, genelde optimum rotasyon devri aralığı, baskı aralığında olduğu gibi üretici tarafından paylaşılır. Rotasyon devrinin en efektif düzeyde, baskı ile koordinasyonlu şekilde ayarlanması delgi perfomansı açısından önemlidir.



Şekil 3.15 : Maksimum rotasyon devri, Atlas Copco Secoroc AB (2009).

Yüksek rotasyon devrinde çalışan bir matkabın, her zaman hızlı ilerleme sağlayacağını söylemek doğru olmaz (Şekil 3.15 ve Şekil 3.16). Örneğin rotasyon devri gereğinden yüksek ise, şayet ilerleme engellenecek ya da yavaşlayacak olup, özellikle matkabın sıkışması, ısınması, parçalanması ve birim kayıpları söz konusu olacaktır. Rotasyon devri ile rulman ömrü arasında negative bir lineer bağlantı vardır, %10 daha yüksek rotasyon devri, %10 daha kısa rulman ömrüne denk gelmektedir (Atlas Copco Secoroc AB, 2009). Aynı şekilde düşük rotasyon devrinde çalışan bir matkap, matkaba

uygulanan baskı ile ezilen kayacın koparmasını yapamayacağından ilerleme yine engellenecek ya da yavaşlayacaktır.



Şekil 3.16 : Maksimum delme verimliliği, Atlas Copco Secoroc AB (2009).

3.2.4 Tork

Tork momenti (T), dönme hızına karşılık gelen matkap ile kaya kontağında kesme, makaslama veya kırma, ezme ve sürtünme dirençlerinden doğan tanjant kuvveti olarak tanımlanır. Genellikle Newton – metre (Nm) veya pound-feet (lbft) olarak ölçülmektedir (Ersoy, 2008). Makinelerin tork kapasiteleri bellidir. Gereken tork, baskı, çap, formasyon, açı vb. birçok faktöre bağlıdır. Bu yüzden de her ne kadar delgi sırasında tork değerleri dalgalansa da, ortalamadan ziyade yüksek ya da düşük değerleri delme performansı değerlendirilirken göz önünde bulundurulmalıdır.

Delinen kayaca göre tork ayarı yapmak efektif bir yöntem değildir. Yine de yumuşak formasyonda, kesme birimlerinin kayaç yüzeyinden daha derine gömülmesi ile tork ihtiyacı artacaktır. Ancak örneğin, kırıklı ve çatlaklı bir formasyon yumuşak olmasa da aynı torku gerektirebilir.

3.2.5 Spesifik enerji

Birim hacimdeki kayacı kazmak için yapılan iş olarak tanımlanan spesifik enerji, geometrik bir gerilme modeli olarak, kütleden ziyade hacimle, mantıksal geometrik olarak ölçülür (Teale, 1964).

Teale (1964), spesifik enerji için Eşitlik 3.2’yi sunmaktadır;

$$e = \left[\frac{F}{A} \right] + \left[\frac{2\pi NT}{uA} \right] \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte bahsi geçen parametreler;

e: Spesifik enerji (lb-in/in³)

F: Baskı (lb)

A: Alan (in²)

N: Rotasyon devri (rpm)

T: Tork (lb-in)

u: İlerleme hızı (in/dk)

Ayrıca, Teale (1964) bir kayacı delmek için gereken minimum spesifik enerjinin, delme sürecinden bağımsız olarak, kayacın tek eksenli basınç dayanımına karşılık geldiğini de belirtmiştir. Ancak Mellor (1972), bu karşılığı aşağıda verilen Eşitlik 3.3'teki gibi tanımlamıştır.

$$e \approx UCS \times 10^{-3} \quad (3.3)$$

Schunnesson v.d. (2015), döner delgide, sistemin toplam spesifik enerjisini, eksenel baskı kuvveti ile yapılan iş ile rotasyon torku ile yapılan işin toplamına eşit olarak özetlemektedir. Eksenel baskı kuvvetinin yaptığı iş, rotasyon torkunun yaptığı işe kıyasla hayli azdır, bu durumda baskının yaptığı iş göz ardı edilerek, spesifik enerji baskıdan bağımsız kabul edilebilir.

Yin & Lui (2001), spesifik enerjiye başka bir bakış açısı getirerek, kayacı kırıp, birim alana sahip yeni serbest yüzey (yani birim hacmin yüzey alanı) oluşturmak için gereken enerjiyi, spesifik yüzey enerjisi olarak tanımlamışlardır. Spesifik yüzey enerjisi hem kayaç parametrelerine hem de delme koşullarına bağlıdır ve Eşitlik 3.4'ten hesaplanır.

$$e_a = \frac{1}{A_e A_s} \left[F + \frac{2\pi NT}{u} \right] \quad (3.4)$$

e_a: Spesifik yüzey enerjisi (lb-in/in³)

A_s: Birim hacimde yaratılan yeni serbest yüzey alanı (in²)

A_e: Patlatma deliği yüzey alanı (in⁻¹)

F: Baskı (lb)

N: Rotasyon devri (rpm)

T: Tork (lb-in)

u: İlerleme hızı (in/dk)

Rabia (1982), spesifik enerji ve spesifik yüzey enerjisinin kayacın hakiki temel özelliklerinden biri olmadığını belirtmiştir. Spesifik enerjinin bağlı olduğu kaya kırma parametrelerinin, laboratuvar ve sahadaki değerleri arasında yüksek varyasyonlar olduğunu ve bu yüzden delme performansının tahmininin amprik denklemler kullanılarak yapılması gerektiğini öne sürmüştür.

3.2.6 Kayaç parametreleri

Delinebilirliğe etki eden birçok kayaç parametresi vardır. Howarth v.d. (1986) üç farklı delme matkabı ile kayaç parametreleri ve delme performansı arasındaki korelasyonu araştırdığında, hacimsel yoğunluk, tek eksenli basma dayanımı, çekme dayanımı, Cerchar sertliği, RQD, P dalga hızı, Shore indeksi vb. kayaç parametrelerinin, ilerleme hızı ile bağlantılı olduğundan bahsetmiştir. Bu çalışmada, yer alan kayaç parametrelerin bir kısmı araziden alınan örneklerin test edilmesi ile elde edilmiştir. Bölüm 5'te, yapılan deneyler, kayaç durumu ve deney sonuçları ile detaylı şekilde yer verilmiştir. Bu kısımda kısaca delinebilirliğe etki eden kayaç özelliklerinden bahsedilmiştir.

Delinebilirlik söz konusu iken ilk bakılan parametrenin tek eksenli basma dayanımı olduğu söylenebilir. Tek eksenli basma dayanımı (UCS) tünel açma makineleri ve delici makinelerin performansını tahmin etmede kullanılan en yaygın parametredir (Howarth v.d., 1986). Formasyon biliniyorsa, kabaca, bu değer ortalama olarak birçok kaynaktan bulunabilir. Spesifik olan bu değer ölçülmesi, kurallı olarak numune alma ve özel ekipman gerektiren UCS testi ile mümkündür.

Delgi performansına etki eden kayaç parametrelerinden bir diğeri; elastisite, uygulanan kuvvet altında kayacın orjinal şeklini değiştirebilme kabiliyetidir. Elastik deformasyon kayacın, uygulanan kuvvet geri çekildiğinde orjinal şekline geri dönmesi, plastik deformasyon ise kuvvetin geri çekildiği zaman kayacın orjinal şekline

geri dönmemesi durumudur. Kayaç ne kadar elastikse, o kadar enerji absorbe edecek, ve o kadar zor parçalanacaktır.

Bir başka parametre olarak sertlik kabul edilebilir. Sertlik, göreceli bir sertlik skalası olan Mohs sertlik skalası ile tanımlanabilir. Mineraller arasında sertlik en sert, 10-Elmas, ve en yumuşak 1-Talk olmak üzere değerlendirilir.

Kayacın çekme dayanımı, delme verimliliğine etki eden önemli bir parametredir, dolaylı çekme dayanımı testi ile bulunur. Genelde tek eksenli basma dayanımından daha düşüktür. Kayacın en etkili şekilde parçalanmasına etkisi -özellikle makaslama dayanımı ile birlikte değerlendirildiğinde- hayli yüksektir. Kayaç kontak noktasında ezilmeye başladığında, gömülme noktaları arasında genişleyen çatlaklarda kesme ve çekme yenilmeleri meydana gelmektedir.

Delgi verimliliğine etki eden bir diğer parametre, kayacın makaslama dayanımıdır. Ters yönlerde uygulanan iki kuvvetin etkisinde, ve yenilme yönünde bir açıyla parçalanması olarak tanımlanabilir. Tek eksenli basma dayanımı değerinden daha düşüktür.

Bir formasyonun aşındırıcılığı, bir delme performansı parametresi olarak, genelde aşındırıcı mineral (silika) içeriği ile tanımlanır. Aşındırıcı formasyonlar, delici ya da kesici birimlerde yüksek derecede aşınma, körleşen kesici birimlerden dolayı da yavaşlayan delgiye yol açabilir.

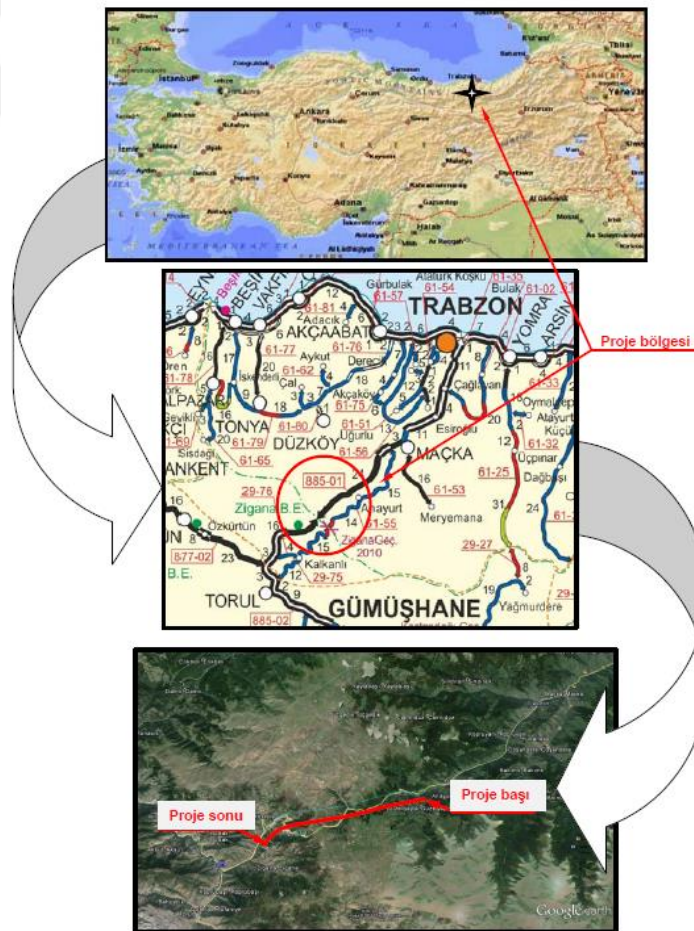
Eklemler ve yataklanma başka bir örnek olarak verilebilir. Yataklı ya da eklemlili formasyonlar, yer alan anomalilerin daha fazla serbest yüzey yaratması nedeniyle daha kolay yenileceğinden dolayı masif ve çatlaksız kayalara göre daha kolay delinebilir.

Aynı zamanda kayacın yapraklanması (şistozite) da delme verimliliğine etki etmektedir. Şistler, sert ve gevrek mika katları içerir ve bu mika katları delme sırasında enerji absorbe eder.

4. PROJE VE MAKİNA HAKKINDA BİLGİLER

4.1 Proje Hakkında Genel Bilgiler

Zigana Tüneli, Maçka civarı Trabzon-Gümüşhane'yi bağlayan, 1702 m uzunluğunda Pontid dağlarında yer alan ve 1988'de hizmete açılmış bir karayolları tünelidir. Ancak söz konusu tünelin bulunduğu yüksek eğimli ve apik morfolojik yapı, kazı kesitlerinin genişlemesine koştur olarak gelişebilecek olası stabilite sorunları, meteorolojik koşullara bağlı olarak yaşanan olumsuzluklar, yol geometrisinden kaynaklı problemler, trafik güvenliği, kamulaştırma, vb. nedenlere bağlı olarak Zigana Tüneli ve yol güzergahının yeniden düzenlenmesine karar verilmiştir.



Şekil 4.1 : Zigana proje konumu.

Yeni Zigana tüneli ise, var olan Zigana tünelinden yaklaşık 800 m aŗađı kotta ve 15 km uzunluğuında, 2 tüplü karayolları tünelidir. Tünel kuzeyde Trabzon, güneyde ise Gmŗhane’yi bağlamak üzere projelendirilmiŗtir (ŗekil 4.1).



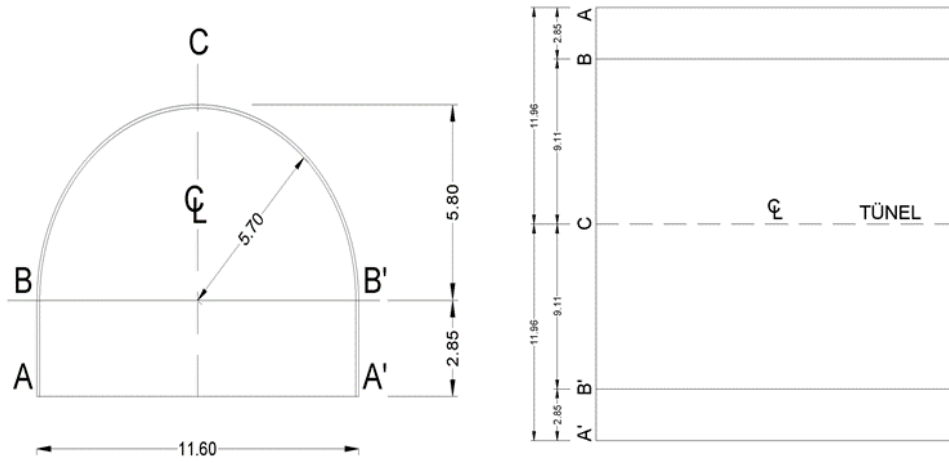
ŗekil 4.2 : Zigana tünel giriŗ portalı.



ŗekil 4.3 : Zigana tünel ıkıŗ portalı

Projede tünelin giriŗ (ŗekil 4.2), orta ve ıkıŗ (ŗekil 4.3) olmak üzere 6 adet kalıcı havalandırma kuyusu bulunmaktadır. Tünel kazısı sırasındaki havalandırma için de giriŗ ve ıkıŗ noktalarına yakın 2 adet daha kuyu projelendirmiŗtir. Kalıcı kuyuların

çapı 3,6 m iken kazı sırasında havalandırma için açılan/açılacak şaftların çapı 2,6 m'dir.



Şekil 4.4 : Zigana tünel plan ve görünümü

Bu tez çalışmasında Gümüşhane girişinde 3,6 m çapında olan şaft açma işlemi incelenmiştir. Kuyunun toplam uzunluğu 244 m'dir.

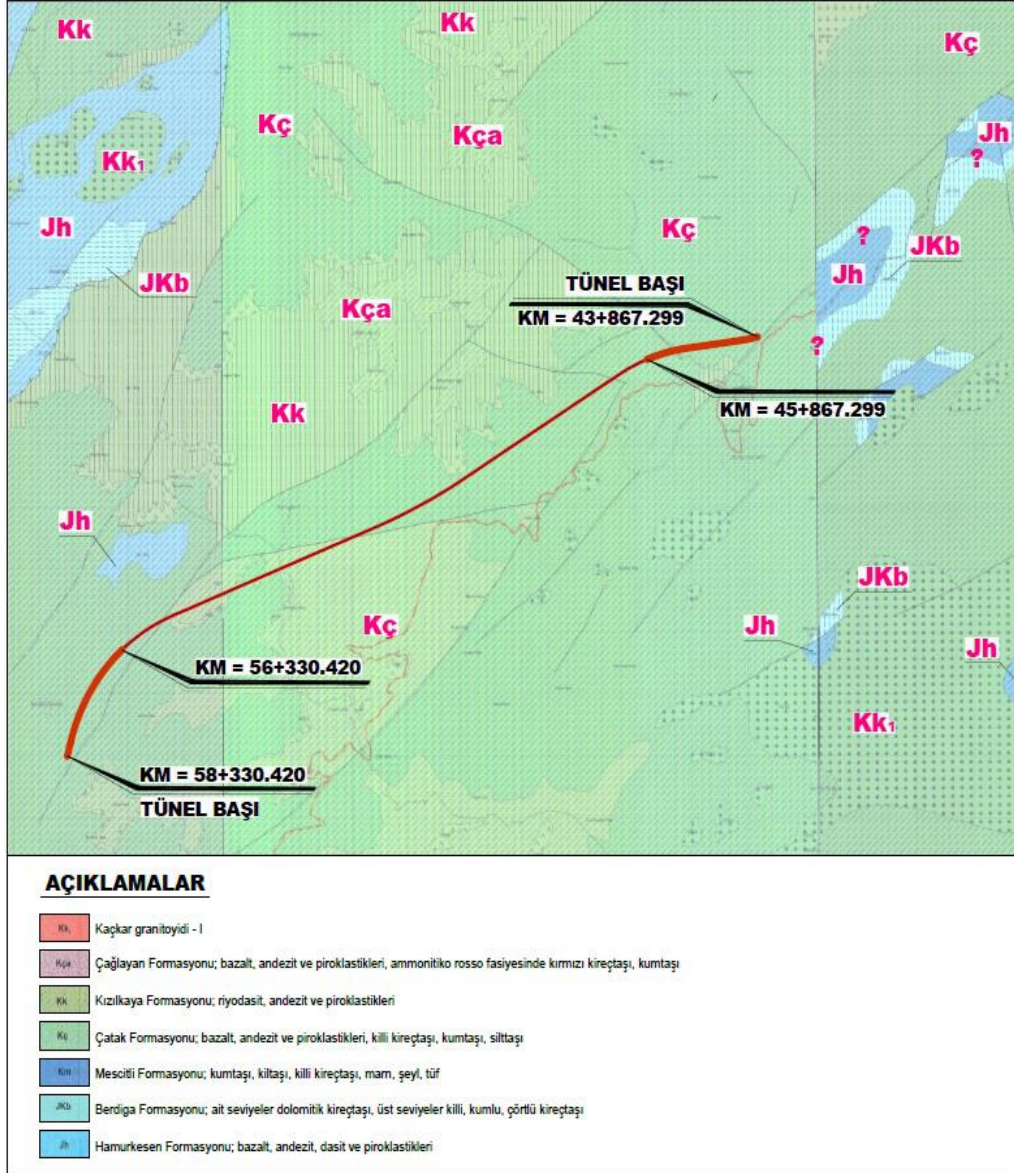
4.2 Proje Alanının Genel Jeolojisi

4.2.1 Stratigrafi

İnceleme alanı ve yakın çevresi ağırlıklı olarak, Pontidlerin Kuzeyinde Jura'dan başlayarak Eosen sonlarına kadar periyodlar halinde gelişimini sürdüren magmatizmanın ürünlerini içeren volkanotortul, volkanik ve intrüzif kayalardan oluşmaktadır. Magmatik faaliyetlerin durakladığı dönemler tortul kayalarla temsil edilmektedir.

Proje alanının içinde bulunduğu bölgede, Liyas yaşlı bazalt, andezit, piroklastik kayalar, kumtaşı ve kireçtaşıdan oluşan Hamurkesen formasyonu; Üst Jura – Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarından oluşan Berdiga formasyonu; Üst Kretase yaşlı bazalt, andezit, piroklastik kayalar, kumtaşı – marn vb. kırıntılı kaya türlerinden oluşan Çatak formasyonu; dasit, riyodasit ve piroklastik kayalardan oluşan Kızılkaya formasyonu; bazalt, andezit, piroklastik ve kırıntılı kayalardan oluşan Çayırbağ formasyonu; Maastrihtiyen – Paleosen yaşlı kireçtaşlarından oluşan Ağıllar ile kumtaşı marn ve kumlu kireçtaşıdan oluşan Bakırköy formasyonları; Eosen yaşlı andezit, bazalt, piroklastik ve kırıntılı kayalardan oluşan Kabaköy formasyonu yüzeylenir.

Ayrıca bölgede Üst Kretase – Eosen döneminde yerleşmiş Kaçkar granodiyoriti yer almaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : İlgili bölge genel jeoloji haritası.

Proje alanı ağırlıklı olarak, Türoniyen – Kampaniyen yaş aralığındaki bazik ve asidik karakterli lavların düzenli ardalanmasının oluşturduğu kalın bir volkanik istifle temsil edilmektedir (Şekil 4.6). Bu istifin ilk evredeki bazik lavları Çatak, asidik lavları Kızılkaya, ikinci evredeki bazik lavları Çağlayan formasyonlarını oluşturur (Yüksel Proje, 2016).

Bundan kuzeye doğru beş ayrı seki seviyesi daha tespit edilmiştir. Trabzon şehri genelde sekiler üzerine kurulmuştur. Trabzon ili ve yakın çevresinde Mesozoik ve Senozoik dönemine ait toleyitik ve kalk – alkali kayaçlar izlenir. Mesozoik dönemi Liyas yaşlı volkanitler ile başlar ve Üst Jura – Alt Kretase yaşlı sığ platform karbonatlarıyla devam eder. Üst Kretase dönemi yoğun bir volkanik aktivitenin görüldüğü dönemdir. Bu aktivite asit ve bazik nitelikli periyotlarla gelişimini sürdürmüştür. Üst Kretase sonlarına doğru volkanik aktivite genellikle sona erer (Yüksel Proje, 2016).

4.3 Projede Kullanılan Makine

Bu çalışmada incelenen shaftın açıldığı makine, pilot delgi ve baş yukarı genişletme yapmak üzere kullanılmış bir baş yukarı delme makinesidir. Markası Atlas Copco/Epiroc, modeli 91RHC'dir. Makinenin çalışma prensipleri ve bileşenleri önceki bölümlerde detaylı olarak verilmiş olup, bu bölümde spesifik olarak sahada kullanılan makine hakkında bilgiler yer almaktadır.

Projede toplamda 2 farklı model baş yukarı delme makinesi kullanılmıştır. Kazı için açılan bir havalandırma shaftı 73RHC model makine ile, bir adet de tünel trafiğe açıldıktan sonra da kullanılacak olan kalıcı havalandırma shaftı 91RHC model makine (Şekil 4.7) ile açılmıştır.



Şekil 4.7 : Sahada 91RH C makinesi.

Bu tez çalışması kapsamında, Gümüşhane girişinde 91 RHC makinesi gerçekleştirilen shaft açma işlemi incelenmiştir. İlgili kuyunun çapı 3,6 m olup, toplam uzunluğu 244 m'dir. Makine daha önce Bölüm 2'de detaylı olarak açıklandığı üzere, temel olarak bir kule, hidrolik ve elektrik güç ünitelerinden oluşmaktadır. 91RHC makinesinin kapasite değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Yararlanan veriler, makinede yer alan MWD (Measure While Drilling) yazılımı ile kaydedilmiştir. İlgili shaft günümüz itibarıyla, Türkiye'de bu makine ile açılan ilk ve tek kuyudur. Bu yüzden verilerin karşılaştırılma durumu söz konusu olmamıştır.

Çizelge 4.1 : 91RHC makinesi kapasite değerleri.

Parametre	Değer
Nominal Çap	4.5 m
Çap aralığı	2.4-5.0 m
Nominal Derinlik	600 m
Maksimum Derinlik	1000 m
Maksimum tork / Genişletme	450 kNm
Maksimum tork / Boru sökme	700 kNm
Maksimum genişletme itme kuvveti	6700 kN
RPM/Pilot delgi	0-50 rpm
RPM/Genişletme	0-7 rpm
Baskı oranı	0.3 m/dk
Delik temizliği/ Hava kapasitesi	18 m ³ /dk
Delik temizliği/ Su kapasitesi	600 lt/dk

4.3.1 Pilot delgi takımı

Pilot delgi uygulamasını gerçekleştiren delgi ekipmanları, delgi takımı olarak adlandırılır. Delgi sırasında makinenin delik içinde kalan kısmında bulunan birimler olarak da tanımlanabilir. Bölüm 2'de detaylı olarak tanımlanan takım birimleri ve işlevleri detaylı olarak verilmiştir. Bu bölümde, tez çalışması kapsamında sahada kullanılan matkap ve boru özellikleri sunulmuştur.

4.3.1.1 Pilot bit

İlgili kuyunun pilot delgisinde, üç konili döner delgi matkabı (Şekil 4.8 ve 4.9) kullanılmıştır.



Şekil 4.8 : Sahada kullanılan matkap.

Bu matkabin özellikleri detaylı olarak Çizelge 4.2’de verilmiştir. İlgili matkabin IADC kodu 7-3-7 olup, kod kapsamında sert formasyon ve keçeli çap korumalı masuralı yataklı, çelik dişli ya da tungsten karpit dişli 311 mm ve daha büyük çaplarda matkap tanımlamasına dahildir. Sahadan resimleri Şekil 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Sahada kullanılan matkabin değerleri.

Parametre	Değer
Matkabin adı	13 3/4” BI-VH Raisebore Pilot
IADC Kodu	07/03/2007
Rulman tipi	O-Ring yalıtılmış bilyalı rulman
Kesme birimleri	Tungsten karpit dişler
Sirkülasyon tipi	Jet hava
İç ve burun birimleri	Yuvarlak yüzeyli
Dış birimler	Yuvarlak yüzeyli
Eğimli dış birimler	Düz yüzeyli
Yanak koruması	TCI geçme- sertleştirilmiş yüzey
Pin bağlantısı	6 5/8” API Regular
Metrik bit çapı	349 mm
Önerilen baskı yükü	25.0 – 50 T
Önerilen rotasyon (RPM)	50 - 90 rpm



Şekil 4.9 : Pilot delginin sonu.

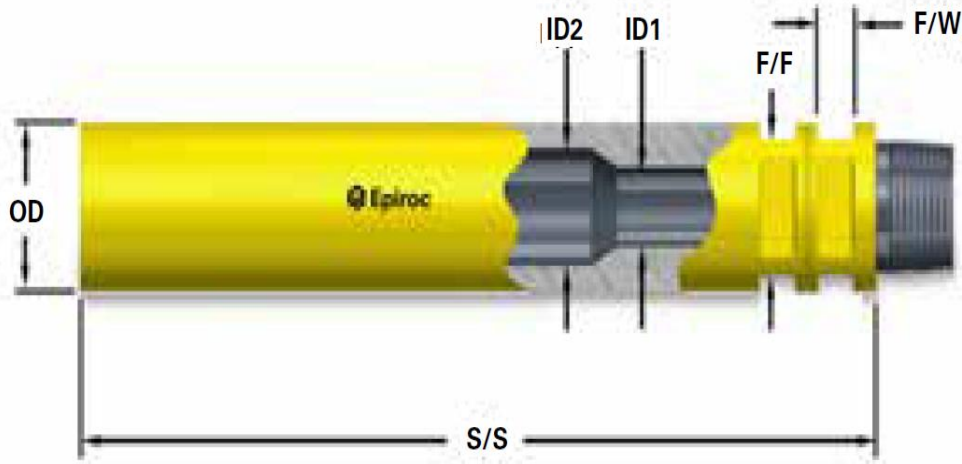
4.3.1.2 Borular

İlgili kuyunun pilot delgisinde, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de gösterilen borular kullanılmıştır.



Şekil 4.10 : Boru ekleme.

Bu uygulamada kullanılan borular; materyalin sünme dayanımı, çekme dayanımı, çatladıktan sonraki kopma esnemesi vb. parametreler ile oluşturulan klasmanda yüksek dayanımlı sınıfına dahildir. Boruların tercihi hem bu materyal sınıflandırması, hem dış yapısı, hem de ağırlıkları ve boyutları göz önünde bulundurularak yapılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 : Sahada kullanılan borunun kesiti.

Bu boruların özellikleri detaylı olarak Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Sahada kullanılan borunun değerleri.

Parametre	Değer
Dış çap (OD)	12-7/8 inç
Metrik dış çapı (OD)	327 mm
Omuzdan omuza boy (SS)	1524 mm
Anahtar boyu (FF)	254 mm
Anahtar dış genişliği (FW)	89 mm
Ağırlık	695 kg

Ayrıca, makine operasyon sırasında boruların hem ağırlıkları hem de doğru torkta sökme ekleme yapılması gerekliliği göz önünde bulundurularak, boru yükleme ataçmanı ile donatılmıştır (Şekil 4.12). Bu sistem, boruları; kaldırma, yerleştirme,

ekleme, sökme, sıkma işlemlerini otomatik kontrollü olarak gerçekleştiren kule birimidir.



Şekil 4.12 : Boru yükleme sistemi.

4.3.2 Delerken ölçme (MWD)

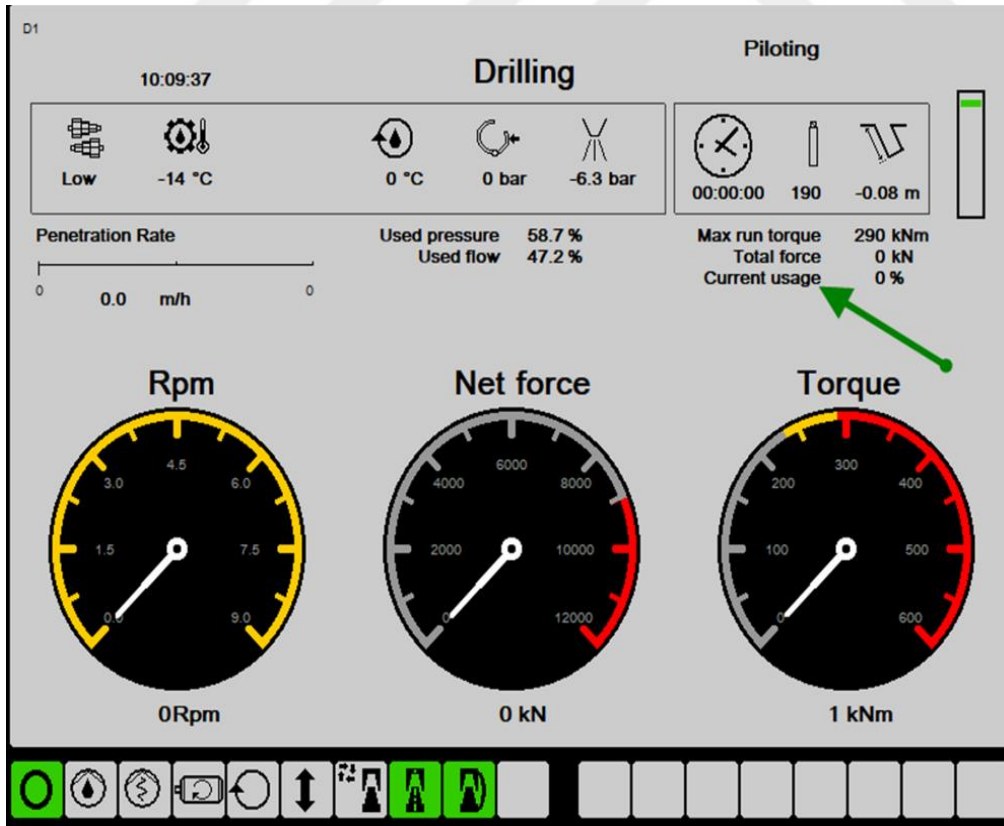
Son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan bilgisayar kontrollü makinelerde, delgi ve /veya kazı işlemlerini optimize edebilmek adına birçok yazılım opsiyonu bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamındaki makine de yine bilgisayar kontrollü bir makinedir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 : Makinenin bilgisayarlı kontrol paneli.

"Delerken ölçme MWD" (Measure While Drilling), bu tez kapsamında araştırılan bilgisayar kontrollü 91RH C makinesinde bulunan bir yazılımdır. Bu yazılım, kullanıcının birçok sayısal parametreyi seçebildiği, ve ilgili verilerin metraj ya da zaman aralıkları ile kaydettiği yazılımdır. Yazılım derinlik (m) ,net baskı kuvveti (kN), tork (kNm), rotasyon hızı (rpm), ilerleme hızı (m/sa), delik temizliği basıncı (bar) ile toplam güç kullanımı (A) verilerine erişilebilir.

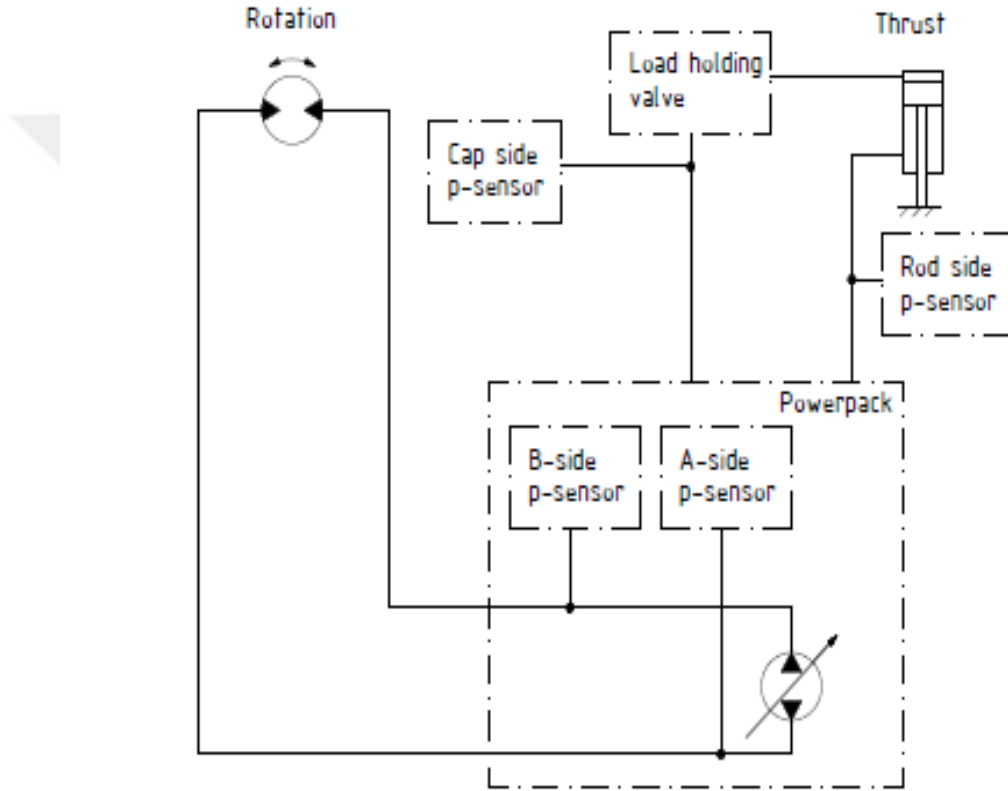
Rai v.d. (2015), bu sistemin çalışmasını delici makineler için şöyle açıklamaktadır; makinenin donatıldığı sistem, fiziksel parametrelerin bir seri sensörlerle okunması ve kaydedilmesi olarak çalışmaktadır. Bu sensörler, bir grup basınç transformatörü, hareket transformatörü ve bir elektro-manyetik yakınlık detektöründen oluşmaktadır. Basınç transformatörleri, makinenin hidrolik sistemi üzerinden baskı, tork, hava/su basıncını ölçmektedir. Hareket transformatörü, kulinin üstüne yerleştirilmiştir ve rotasyon ünitesine bir kablo ile bağlı şekilde, baskı hızı veya ilerleme hızı gibi verileri sağlamaktadır. Rotasyon hızının ölçümü ise, rotasyon ünitesine takılı elektro-manyetik yakınlık detektörü ile gerçekleşmektedir. Sensörler ile saniyede 17 veri ölçülüp, istenen zaman ya da metraj aralığı için ortalama değerler kaydedilmektedir.



Şekil 4.14 : MWD ekran görüntüsü.

4.4 Makineden Alınan Veriler

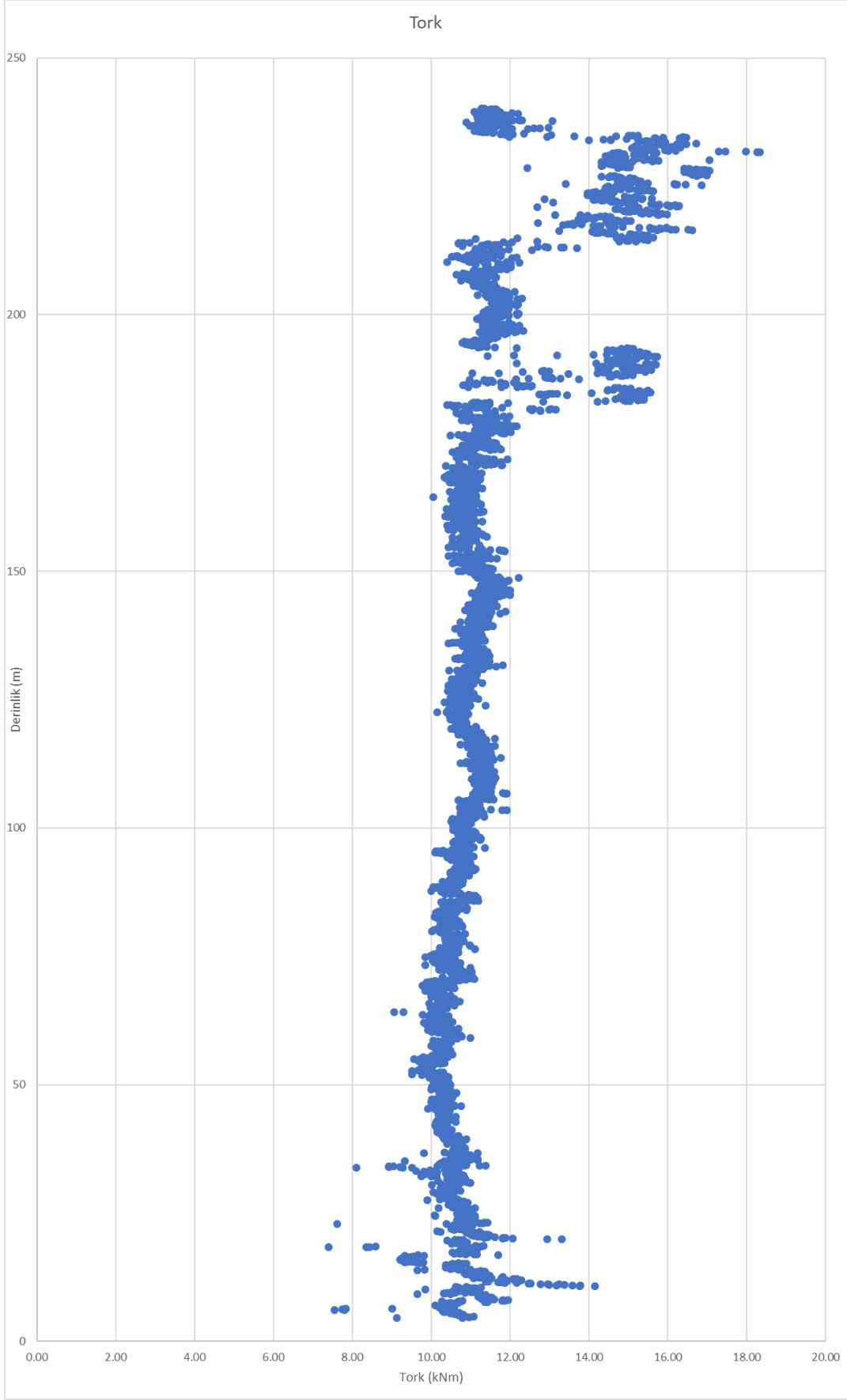
Makinedeki sistemin basitleştirilmiş diyagramı Şekil 4.15'te verilmiştir. Tork hesaplaması için hidrolik motor A ve B portlarındaki, başka bir deyişle, basınç ve dönüş portlarındaki, basınç sensörleri kullanılmaktadır. Sensörler arası basınç farkı, hidrolik motor deplasmanı, dişli kutusu aktarım oranı ve hidro-mekanik verimliliği kullanarak torku hesaplanarak kaydedilmektedir.



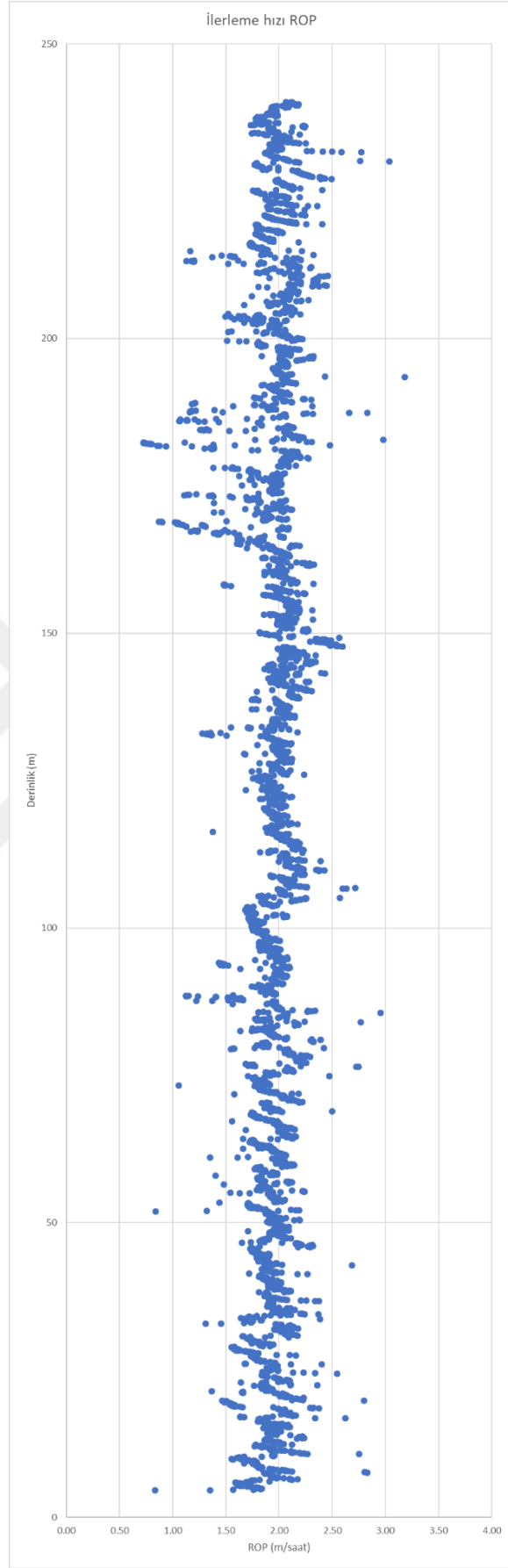
Şekil 4.15 : Basitleştirilmiş sistem diyagramı.

Makinede bulunan MWD yazılımı sayesinde veriler her 0.05 m için hem pilot delgi hem de genişletme kazısı için bu yazılım tarafından kaydedilmiştir. Şekil 4.16-4.17-4.18'de kaydedilen tork, ROP, RPM değerleri verilmiştir.

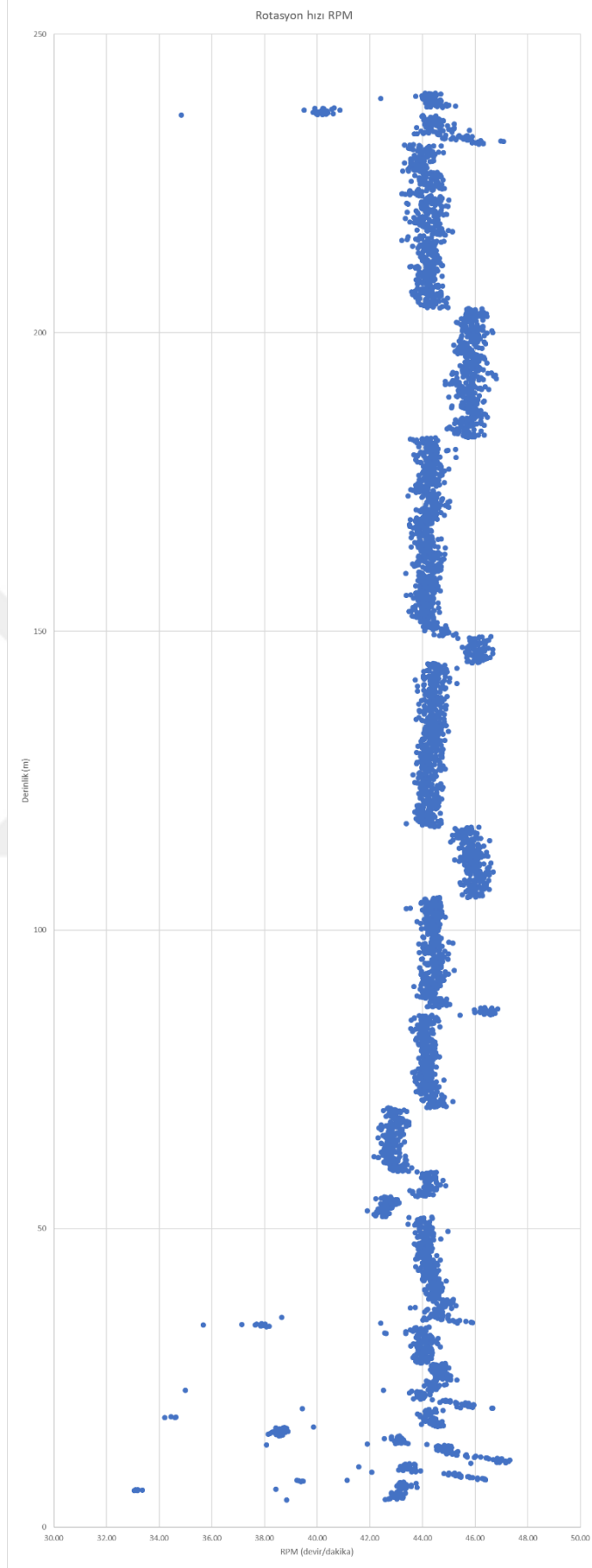
Sahada kullanılan 91RH C makinesinden MWD aracılığı ile kaydedilen net baskı kuvveti dataları Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de görüldüğü üzere iki kademeli, ani şekilde değişen olağandışı şekilde bir dağılım göstermektedir.



Şekil 4.16 : Pilot delgi tork verileri.



Şekil 4.17 : Pilot delgi ROP verileri.



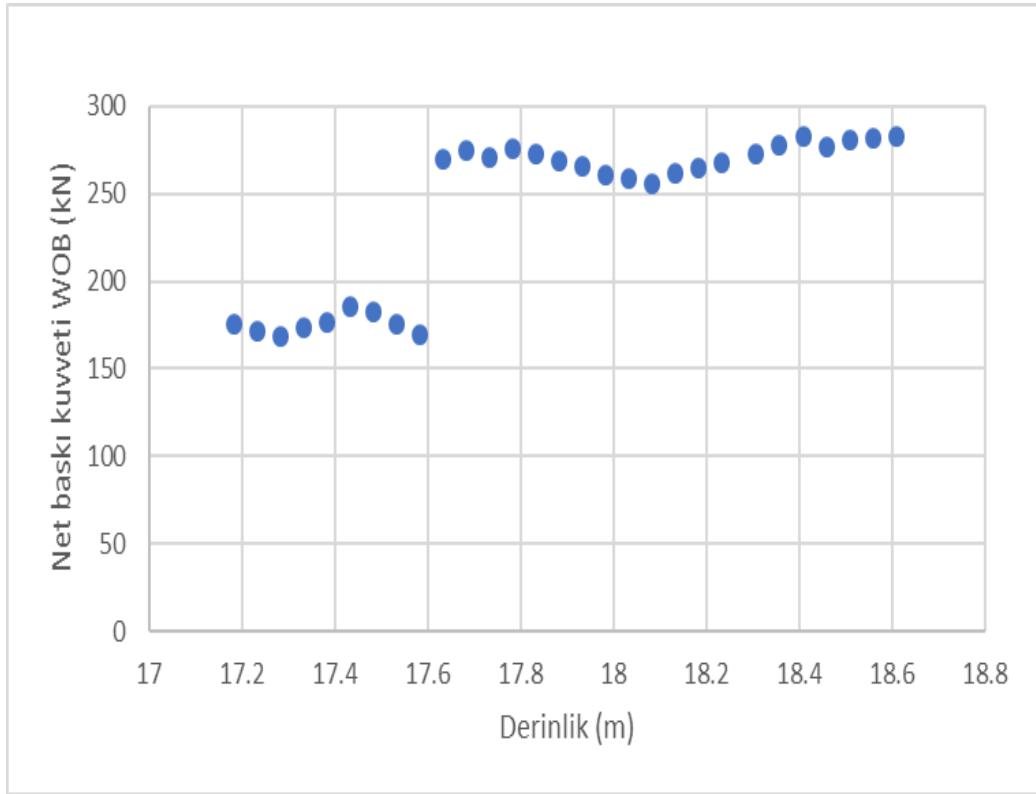
Şekil 4.18 : Pilot delgi RPM verileri.

Sahada kullanılan 91RH C makinesinde iki kademeli teleskopik, 4 adet silindir (Şekil 4.19) bulunmaktadır. Silindir üzerinde rod ve piston (cap side) tarafında olmak üzere iki tane basınç sensörü bulunmaktadır. Silindirin uyguladığı kuvvet, rod basıncını, rod alanı, piston basıncı ve piston alanı kullanarak hesaplanıp kaydedilmektedir.



Şekil 4.19 : Teleskopik silindir kesiti.

Silindirin uyguladığı kuvvet, kaya ile matkap arasında bir kontak yok iken sistemin ”dara”sini vermektedir. Her boru eklemesinde, matkabın kayayla kontağı kesilerek, delgi takımı stabil hale gelene kadar rotasyon ve temizleme suyu verilir. Operatör, sistem stabil hale geldiğinde, sistemin darasını almak üzere matkap yükü sıfırlanır, ve delgi başlar. Matkap, kaya ile temas ettiğinde, basınçlar değişip ve silindirde farklı bir kuvvet hesaplanabilmektedir. Silindirde hesaplanan bu farklı kuvvet ile dara arasındaki fark Net Force (Net baskı kuvveti - WOB) olarak tanımlanmaktadır ve operatörün kontrol ekranında gösterilmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.20 : 17.2-18.8 m arası boru değişiminde net baskı kuvvet değişimi.

91RH C model makinesi pilot delgisinde sergilediği garip davranışlar, makinede 4 adet bulunan teleskopik silindirin bir kademesinden diğerine geçerken gerçekleşmektedir. Bu davranış; ilerleme hızının limitlendiği pilot delgiler için, silindir ikinci kademeye geçerken Şekil 4.20’de görüldüğü üzere bir zıplama gibi artış göstermektedir. Şayet makinede sabit tutulan ya da limitlenen baskı kuvveti durumunda, silindirin ilk kademesinde yüksek seyreden basıncın ani düşüşü olarak gözlemlenmektedir (Larsson, 2013). Bu durumun nedeni, silindirin 2. kademesindeki sürtünmenin, 1. kademesinden çok daha fazla oluşudur. Dolayısı ile net baskı kuvveti, yüksek bile ölçülse, bu artış matkap üzerinde kuvvet yaratmak için değil, silindirde artan

sürtünmeyi yenmek için kullanılmaktadır. Bu durumda, matkap üzerindeki gerçek net verilerinin sürtünmenin daha düşük olduğu, silindirin ilk kademesindeki okunan verilere daha yakın olduğu söylenebilir.

Makine dizayn mühendisleri ile yapılan görüşmelerde, sahada farklı metodlarla gerçekleştirilen net baskı kuvveti testlerinden elde edilen gerçek değerlerinin de silindirin ilk kademesinden okunan değerlere yakın olduğu iletilmiştir.

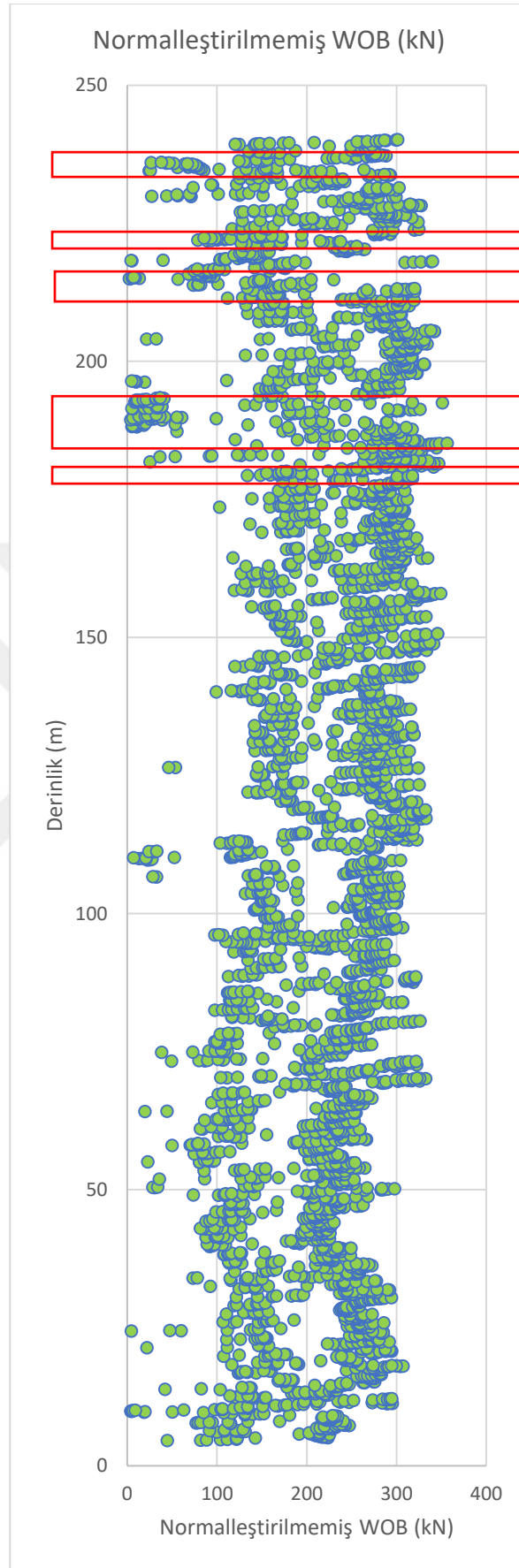
Silindirlerin piston seyri yaklaşık 2 m olup, her silindir kademesi 1 m boyundadır. Sahada kullanılan boru uzunluğu daha önce de belirtildiği üzere 1.5 m'dir. Bu durumda her boru için 1/3'lük kısım silindirin ilk kademesine, geri kalan 2/3'lük kısım ise silindirin ikinci kademesine denk gelmektedir. Bu yüzden net baskı değerleri her boru aralığı için, (0.05 m'de alınan veriye göre toplam yaklaşık 30 veri), ilk kademeye denk gelen ilk 10 veride düşük seyrederken, sonraki 20 veride anormal şekilde yüksek seyretmekte olduğu Şekil 4.20'de de görüldüğü üzere gözlemlenmiştir.

Yukarıda belirtilen bilgiler dahilinde, gerçek net baskı kuvvet değerleri, sistemin ilk kademe verileri olarak kabul edilmiştir. Her boru aralığı için ilk kademede 10 (Şekil 4.20) değer ortalama alınarak, bu ortalama değer, ikinci kademede 20 değer ile değiştirilmiştir.

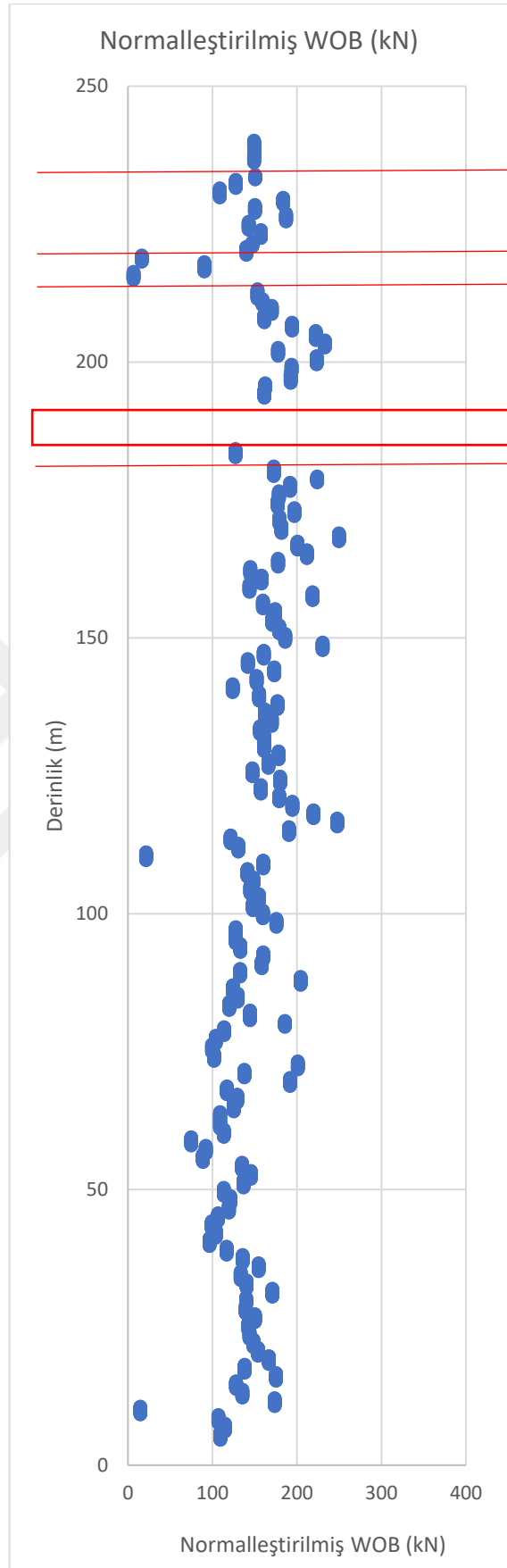
Şekil 4.21'de gösterilen net baskı kuvveti değerleri, bu tez kapsamındaki analizlerde kullanılmak üzere normalleştirilerek, Şekil 4.22'de verilen değerler elde edilmiştir.

Şekil 4.21'de kırmızı ile işaretlenen bölgelerdeki net baskı kuvvet değerleri normalleştirilememiştir. Bu bölgelerde, okunan değerler, normal kabul edilen iki kademeli davranışı (Şekil 4.20) sergilememektedir. Bu bölgelerin derinlik aralıkları şöyledir; 181,201-182,627 m, 184,278-193,438 m, 213,27-214,842 m, 222,781-222,385 m ve 233,943-236,63 m.

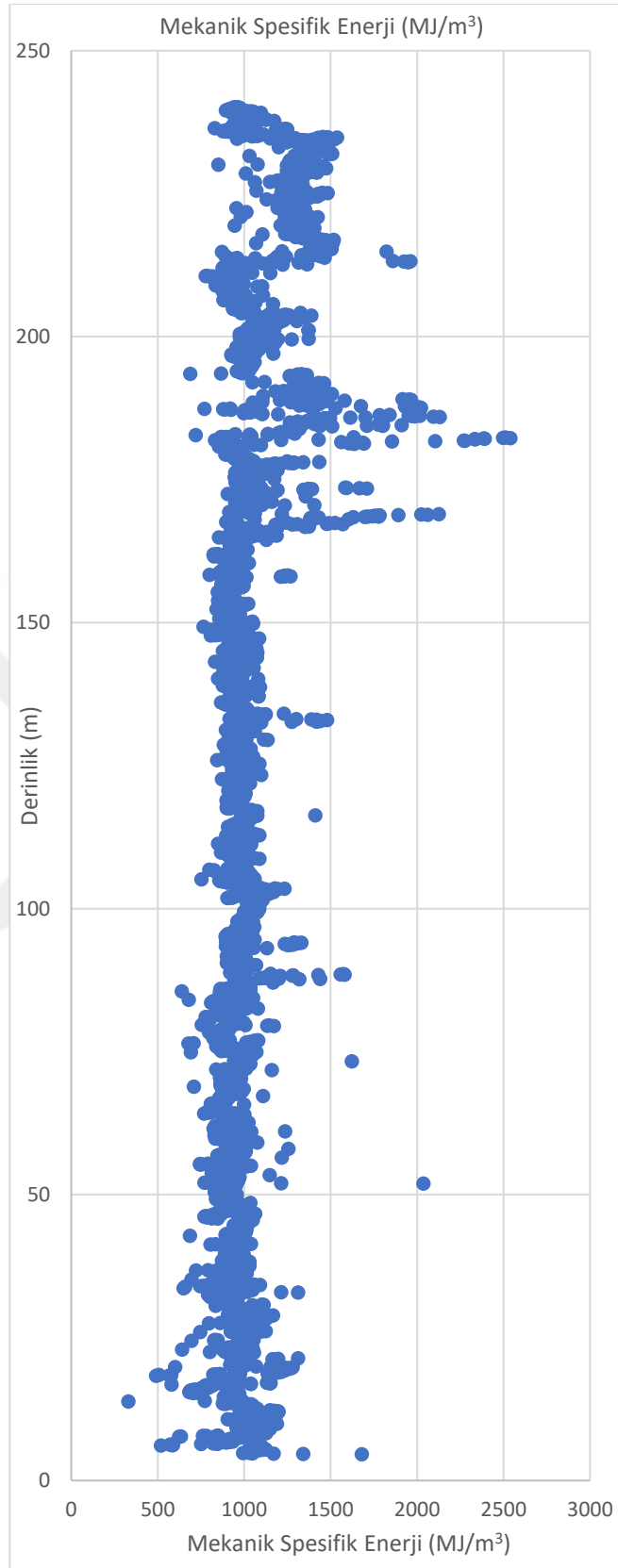
Şekil 4.22'de normalleştirilmiş net baskı kuvvetleri, Şekil 4.23'te normalleştirilen bu değerler ile Bölüm 3'te verilen Eşitlik 3.2'den hesaplanan spesifik enerji grafikleri derinliğe göre verilmiştir. Spesifik enerji değerleri de normalleştirilen gerçek net baskı kuvveti verileri kullanılarak, yeniden hesaplanmıştır, ve Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.21 : Pilot delgi normalleştirilmemiş WOB verileri.



Şekil 4.22 : Pilot delgi normalleştirilmiş WOB verileri.



Şekil 4.23 : Pilot delgi spesifik enerji verileri.

5. ZİGANA TÜNELİ HAVALANDIRMA ŞAFT İNŞAATINDAN ALINAN ÖLÇÜMLER VE YAPILAN DENEYLER

5.1 Numune Özellikleri ve Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada incelenen kuyunun açıldığı formasyon, gri-bej sert-orta sert, ota dayanımlı – orta zayıf dayanımlı, yer yer zayıf dayanımlı orta derecede, yer yer çok ayrılmış özellikteki andezit birimlerinden oluşmaktadır. Genel olarak parçalı yapıya sahip birimde gözlenebilen süreksizlikler 10°, 20°, 30°, açık, mat, pürüzlü, kil dolgulu ve FeO boyalıdır. Birim içerdiği süreksizliklerin nitelik ve niceliklerine göre yeraltı suyu bakımından geçirimli özellik gösterebilir.

Kuyunun jeoteknik çalışmalarını yapabilmek adına kaya karot örneği (Şekil 5.1) ayrıca alınmış, elde edilen sonuçlar sondaj loglarına işlenmiştir. Sondaj logu Ek A'da sunulmuştur. Sondaj logunda 226 metrelik kuyunun çoğunluğu gri renkli, kuyu sonuna doğru gri-bej renkli andezitten oluşmaktadır. Jeoteknik tanımlamaların 221 metreden sonra varyasyonları, dayanımlıdan, orta-zayıf dayanımlıya, az ayrılmıştan ileri derecede ayrılmış formasyon olarak sınıflandırılmıştır. Çatlak seviyeleri de aynı trendi izlemek üzere seyrek-orta kırıklıdan parçalı olarak değişmektedir. Şekil 5.2'de sondaj logu özeti verilmiştir.



Şekil 5.1 : Şaft için yapılan ZSS-03A no'lu servis sondajı örnekleri.

Bu çalışmada incelenen kayaç numuneleri, bu ZSS-03A no'lu sondajdan formasyon geçişleri göz önünde bulundurularak belirlenen bölgeleri temsilen alınmıştır. Söz konusu sondaj kuyusu halatlı sondaj olarak, HQ çapında açılmıştır. Yani 95,5 mm civarındaki karotlu sondaj matkabı ile açılan kuyudan yaklaşık 63,3 mm çapında karot örnekleri elde edilmiştir.

Çizelge 5.1 : Sondaj logu özet tablosu.

Derinlik	Jeoteknik Tanımlama	Dayanımı	Ayrışma	Kırıklar / 30 cm	TCR (%) Karot Yüzdesi
0-29	ANDEZİT Gri renkli, dayanımlı, az ayrılmış, seyrek-orta kırıklı, süreksizlikler; açık, 0-10-20-30 derece, mat, pürüzlü, FeO boyalı; kapalı, 1-2 mm kalsit dolgulu	I-II	I-II	1-2	100
29-40	ANDEZİT Gri renkli, dayanımlı, az ayrılmış, seyrek-orta kırıklı, 38-40 m arası sık kırıklı, süreksizlikler; açık, 0-10-20 derece, mat, pürüzlü, kil dolgulu, kapalı, 1-2 mm kalsit dolgulu	I-II	I-II	1-2	100
40-49	ANDEZİT Gri renkli, dayanımlı, az ayrılmış, orta-sık kırıklı, süreksizlikler; açık, 0-10-20-30 derece, mat, pürüzlü, kapalı, 1-2 mm kalsit dolgulu	I-II	I-II	1-2, 2-10	100
50-59	ANDEZİT Gri renkli, dayanımlı, az ayrılmış, seyrek-orta kırıklı, süreksizlikler; açık, 0-10-20-30 derece açık, mat, pürüzlü, kapalı, 1-2 mm kalsit dolgulu	I-II	I-II	1-2	100
60-69	ANDEZİT Gri renkli, dayanımlı, az ayrılmış, seyrek-orta kırıklı, süreksizlikler; açık, 0-10-20-30 derece açık, mat, pürüzlü, kapalı, 1-2 mm kalsit dolgulu	I-II	I-II	1-2, 2-10	100
70-79	ANDEZİT Gri renkli, dayanımlı, az ayrılmış, seyrek-orta kırıklı, 60-64 m arası sık kırıklı, süreksizlikler; açık, 0-10-20-30 derece, mat, pürüzlü, kil dolgulu, kapalı, 1-2 mm kalsit dolgulu	I-II	I-II	1-2	100
80-99	ANDEZİT Gri renkli, dayanımlı, az ayrılmış, seyrek-orta kırıklı, süreksizlikler; açık, 0-10-20 derece, mat, pürüzlü, FeO boyalı; kapalı, 1-2 mm kalsit dolgulu	I-II	I-II	1-2, 2-10	100
100-109	ANDEZİT Gri renkli, dayanımlı, az ayrılmış, seyrek-orta kırıklı, süreksizlikler; açık, 0-10-20-30 derece açık, mat, pürüzlü, FeO boyalı; kapalı, 1-2 mm kalsit dolgulu	I-II	I-II	1-2	100
110-139	ANDEZİT Gri renkli, dayanımlı, az ayrılmış, seyrek-orta kırıklı, süreksizlikler; açık, 0-10-20-30 derece açık, mat, pürüzlü, kapalı, 1-2 mm kalsit dolgulu	I-II	I-II	1-2	100
140-149	ANDEZİT Gri renkli, dayanımlı, az ayrılmış, seyrek-orta kırıklı, süreksizlikler; açık, 0-10-20 derece açık, mat, pürüzlü, kapalı, 1-2 mm kalsit dolgulu	I-II	I-II	1-2	100
150-159	ANDEZİT Gri renkli, dayanımlı, az ayrılmış, seyrek-orta kırıklı, süreksizlikler; açık, 0-10-20 derece, mat, pürüzlü, kapalı, 1-5 mm kalsit dolgulu	I-II	I-II	1-2	100
160-179	ANDEZİT Gri renkli, dayanımlı, az ayrılmış, seyrek-orta kırıklı, süreksizlikler; açık, 0-10-20 derece, mat, pürüzlü, kapalı, 1-2 mm kalsit dolgulu	I-II	I-II	1-2	100
180-221	ANDEZİT Gri renkli, dayanımlı, az ayrılmış, seyrek-orta kırıklı, süreksizlikler; açık, 0-10-20 derece, mat, pürüzlü, kil dolgulu; kapalı, 1-2 mm kalsit dolgulu	I-II	I-II	1-2	100
221.5-224	ANDEZİT Gri-bej renkli, orta-zayıf dayanımlı, orta derecede ayrılmış, orta-sık kırıklı, 223.5-224.5 m arası çok zayıf dayanımlı, parçalı, süreksizlikler; açık, 0-10-20 derece, mat, pürüzlü, kil dolgulu; kapalı, 1-2 mm kalsit dolgulu	II-III	II-III	1-2	100
224.5-225	ANDEZİT Açık renkli, çok zayıf dayanımlı, ileri derecede ayrılmış, parçalı, kil ara tabakalı, killi seviyeler sondaj suyuyla yıkanarak ortamda uzaklaşmıştır.	IV	IV	>20	100

Numunelerde yapılan testlerin gerekliliklerine göre İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda boyutlandırma yapılmıştır. Boyutlandırma yapıldıktan sonra, kuru numunelerin her birinin boy, çap ve ağırlıkları da föylere

işlenmek üzere ölçülmüştür. Buradan çıkan sonuç ile kayaç numunelerinin birim hacim ağırlıklarının yaklaşık olarak 2,7 gr/cm³ olduğu söylenebilir.

5.2 Laboratuvar Deneyleri

5.2.1 Dolaylı çekme dayanımı (BTS)

Dolaylı çekme dayanımı kayaç numunesinin, Şekil 5.2'deki gibi yüke direnme kabiliyetidir ve aşağıdaki eşitlikten (5.1) hesaplanır.

$$\sigma_{TP} = 2 * F_P / (\pi * L * d) \quad (5.1)$$

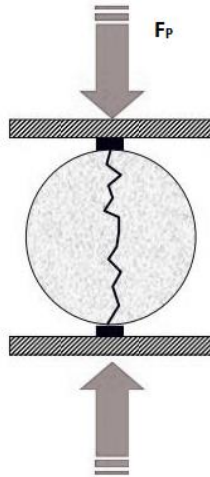
Burada;

σ_{TP} : Çekme mukavemeti (kgf/cm²), (N/mm²)

F_P : Yenilme yükü (kgf), (N)

L : Numunenin boyu (cm), (mm)

d : Numunenin çapı (cm), (mm)



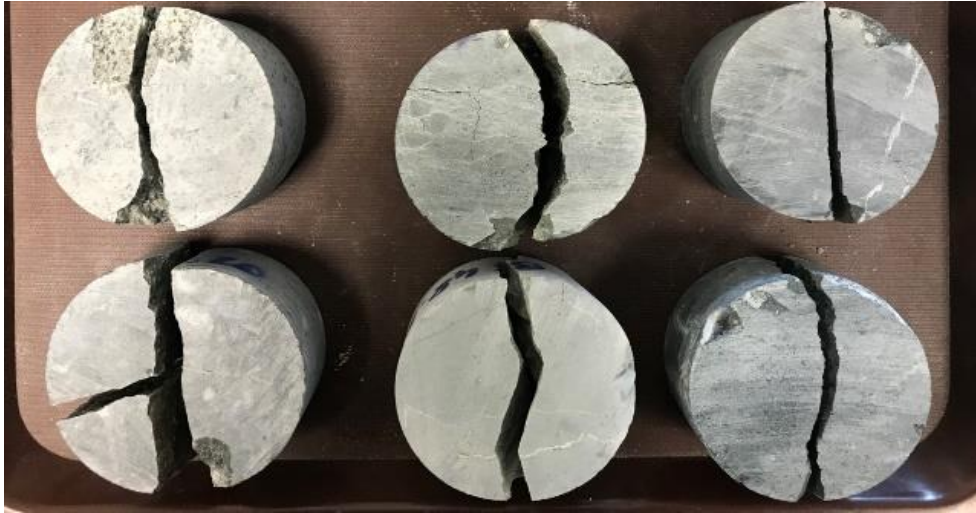
Şekil 5.2 : Dolaylı çekme testi düzeneği.

Endirekt şekilde test yapılara ölçülen bu gerilme, genelde Brezilya Çekme Dayanımı (BTS) olarak adlandırılır. Bu test sırasında, basma altında kayaç örneğinin dikeydeki çapı küçülür, deformasyon bu şekilde değerlendirilir.

Çekme dayanımı deneyi için ilgili numuneler yaklaşık olarak kalınlık ve çap oranı 1:2 olmak üzere 63,3 mm çap, yaklaşık 32 mm kalınlığında 167 adet hazırlanmıştır. Numune çaplarının yaklaşık 54 milimetreden küçük olmamasına dikkat edilmiştir (Ulusay & Gökçeoğlu & Binal 2011). 155 numune, ISRM standartlarına göre test edilmiştir. Şekil 5.3'te ilgili numunelerin bir kısmının test öncesi ve sonrası olarak durumu verilmiştir.



Şekil 5.3 : Dolaylı çekme testi öncesi ve sonrası numuneler.

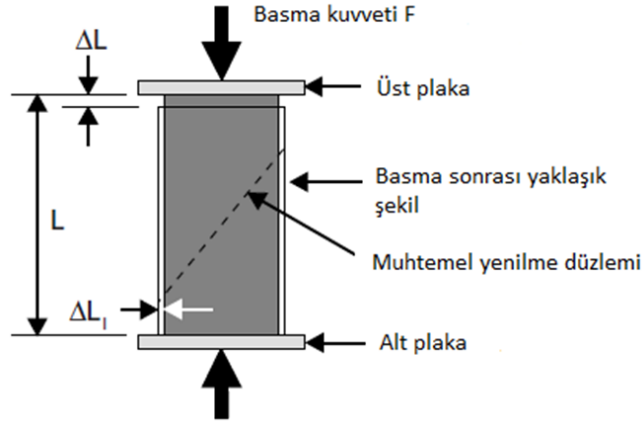


Şekil 5.4 : Dolaylı çekme testi sonrası kırılan numuneler.

Saniyede 1 kN verilmek üzere yük uygulanan numuneler, ortalama 25 saniyede kırılmıştır ve okunan değerler ilgili föye kaydedilmiştir. Şekil 5.4'te temsilen deney sonrası kırılan 6 numune örneği gösterilmiştir.

5.2.2 Tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü (UCS ve EM)

Tek eksenli basınç dayanımı, basitçe kayacın basınca direnme kabiliyetidir. Test sırasında eksenel uygulanan kuvvet altında, silindirik karot numunesinin, eksenel boyu kısalır ve çapı genişler.



Şekil 5.5 : Tek eksenli basma dayanımı testi düzeneği, Gokhale'den (2011) uyarlanmıştır.

Tek eksenli basınç gerilmesi şu formülden (5.2) hesaplanır;

$$\sigma = F_p / A = F_p / ((\pi * d^2 / 4)) \quad (5.2)$$

Burada;

σ = Basma mukavemeti (kgf/cm²), (N/mm²)

F_p = Yenilme yükü (kgf), (N)

d = Numunenin çapı (cm), (mm)

A = Numunenin yük uygulanan alanı (cm²), (mm²)

Tek eksenli basınç deformasyonu ise;

$$\epsilon = \Delta L / L \quad (5.3)$$

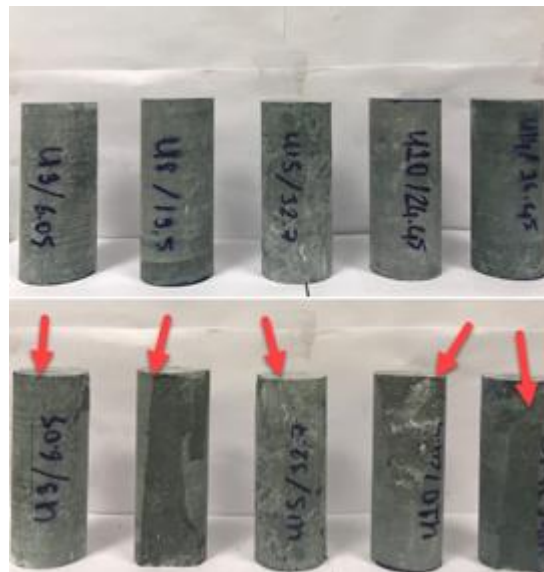
formülünden (5.3) hesaplanır. Burada ΔL , karot numunesinin eksenel boy değişimidir. Birimi cm, ya da mm cinsinden kabul edilir (Şekil 5.5).

Karot numunelerinden belirlenen her bölge için en az bir adet tek eksenli basınç dayanımı numunesi alınmıştır. Bu numuneler çap boy oranı, yaklaşık 1:2,5 olmak üzere hazırlanmıştır. 63,3 mm civarındaki çapındaki karot örnekleri için 15-16 mm boyunda 64 adet numune test edilmek üzere hazırlanmıştır. Bunlardan 63 tanesi numune, ISRM standartlarına göre 8 mm/1000/s yükleme hızı ile test edilmiştir ve elde edilen dayanım ve elastisite modülü verileri ilgili föye işlenmiştir (Şekil 5.6).



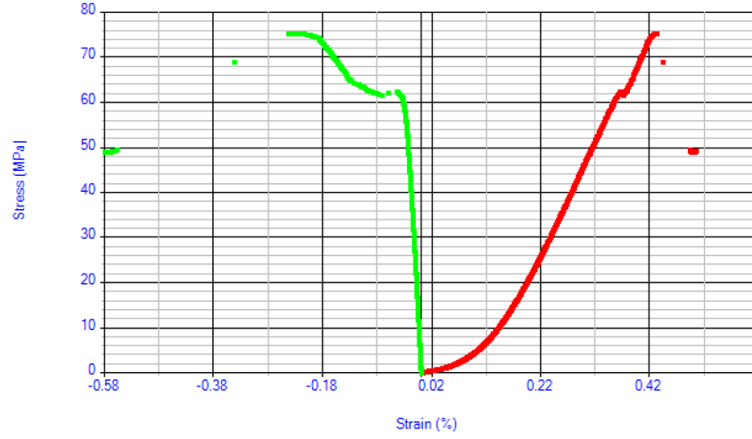
Şekil 5.6 : Tek eksenli basma dayanımı testi.

Test sonucunda tek eksenli basınç dayanımı verileri 226 m derinliği temsilen 3.4 MPa ile 192.9 MPa aralığında değişmektedir. Numunelerin test öncesi ve test sonrası fotoğrafları örnek olarak Şekil 5.7’de verilmiştir. Kırılan tüm numunelerin fotoğrafları Ek B’de verilmiştir.



Şekil 5.7: Tek eksenli basma dayanımı testi öncesi ve sonrası numuneler.

Yük altında, kayacın esneyebildiği elastik bölgedeki, elastik davranışının ölçmek elastisite modülü hesaplanmaktadır. Elastisite modülü tek eksenli basınç deneyinde boy ve çap değişimleri ölçülerek ve gerilme-deformasyon (σ ve ϵ) eğrileri çizilerek bulunmuştur. Bu çalışmada elastisite modülü, kırılma yükünün % 50'sinden çizilen teğetin tanjantın değeri olarak hesaplanmıştır. Örneği Şekil 5.8'de verilen elastisite modülü grafiklerinin tamamı Ek C'de verilmiştir.



Şekil 5.8 : Örnek olarak U3 nolu UCS numunesinin gerilme-deformasyon eğrisi.

5.2.3 Pundit akustik

Pundit testi, bir ultrasonik hız ve akustik deneyidir. Bu deney ile numunelerin P ve S ultrasonik dalga hızları (km/s) ölçülmüştür. Ölçülen P (Basma) ve S (Makaslama) dalga hızları dalga genliğinde azalma kaydı yaratmada kullanılabilir, bu bilgi kayaç kompozisyonu, kırık çatlak seviyesi, bozuşma, ve kayaç özellikleri ile ilgili bilgi temin etmektedir (SME, 2011).



Şekil 5.9 : Pundit deneyi.

İlgili deney 60 UCS numunesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu deney ile numunelerin P ve S ultrasonik dalga hızları (km/s) ölçülmüştür. P ve S dalga hızları ISRM standartlarına göre test edilmiştir. Deney görseli Şekil 5.9’da, değerlerin okunduğu osiloskop cihazı Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.10 : Osiloskop.

6. KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN PİLOT DELGİ PERFORMANS PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

6.1 Verilerin Hazırlanması

Zigana karayolu tüneli, havalandırma shaftı kazısındaki pilot delginin performansının kayaç özelliklerine etkisinin incelenmesi için, önceki bölümlerde bahsedildiği üzere, makine verileri tüm kuyu için kaydedilmiş, kayaç özellikleri ise, kayaç numuneleri üzerinde bir seri testler yapılarak elde edilmiştir.

Makineden elde edilen veriler, makinenin *collaring* sonrası ilk veri kaydetmeye başladığı 4,57inci metreden ve 240,15inci metreye kadar her 5 santimetrede bir, toplamda 4600 satır olarak MWD'e kaydedilmiştir.

Çizelge 6.1 : Ortama kayaç verileri.

Parametre	Ortalama Değer
Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	55.7 ± 21.2
Çekme dayanımı (MPa)	6.9 ± 1.5
Elastisite modülü (GPa)	18.6 ± 6.8
P dalga hızı (km/s)	2.8 ± 0.5
S dalga hızı (km/s)	1.6 ± 0.4
Shore sertliği	72.5 ± 7.4
RQD	85.4 ± 15.6

Kayaç parametreleri ise, 226 metrelik sondaj kuyusundan, 39 bölgeyi temsilen alınmış numunelere uygulanan deneyler ile temin edilmiştir. Bu 39 bölgenin belirlenmesinde, sondaj logu değerleri, gözle görülebilir farklılaşan formasyon zonları, ve karotların

bozuşma seviyeleri göz önünde tutulmuştur. Makine parametrelerinin, belirlenen bu metrajları temsil etmek üzere, ortalamaları alınmıştır.

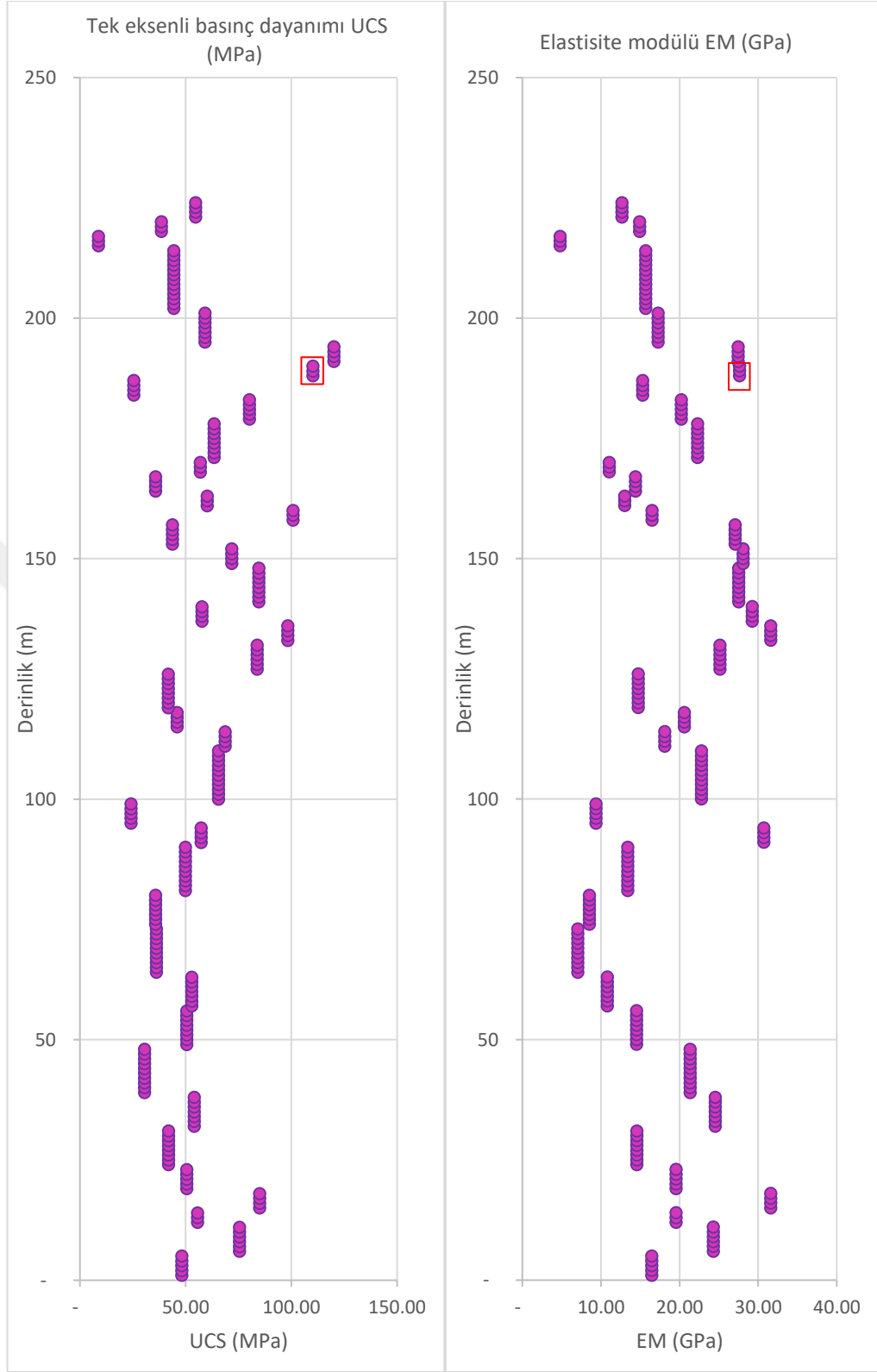
Pilot delgi performansının, kayaç özelliklerine etkisinin incelenmesi, 1 ilâ 224 metre arasında eşleşen ortalama makine ve kayaç parametreleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Özet amaçlı, kayaç özelliklerini temsil eden deneylerin ortalamaları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Delici makine parametrelerine ait ölçümlerin ortalamaları ise Çizelge 6.2’de verilmiştir.

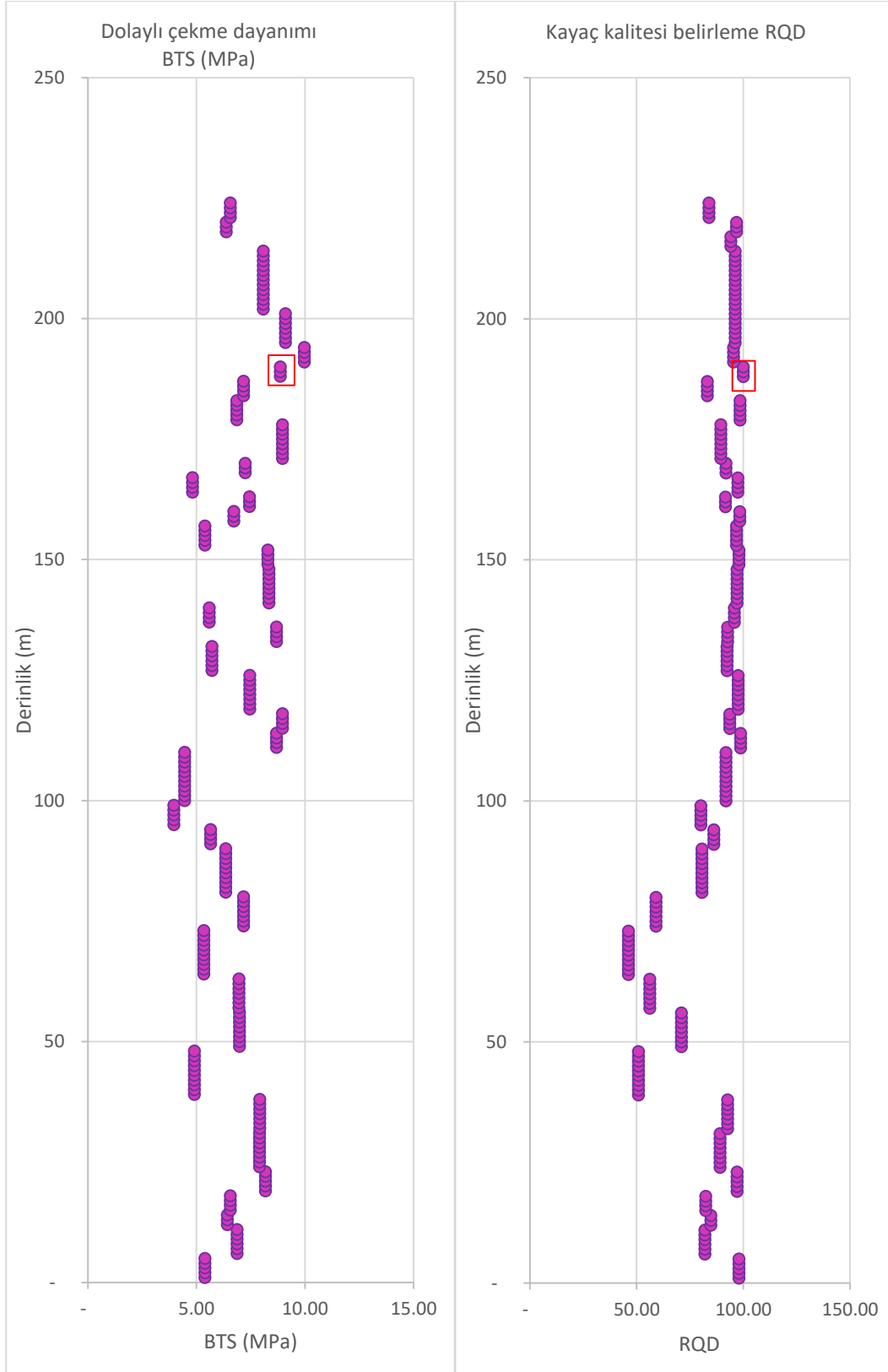
Çizelge 6.2 : Pilot delgide uygulanan ortalama makine parametreleri.

Parametre	Ortalama Değer
Baskı (kN)	150.3 ± 40.4
Tork (kNm)	11.4 ± 1.5
Rotasyon hızı (rpm)	44.4 ± 1.2
Delik temizleme basıncı (bar)	4.6 ± 1.6
Spesifik enerji (MJ/m ³)	1035.4 ± 193.3
İlerleme hızı (m/s)	1.95 ± 0.2

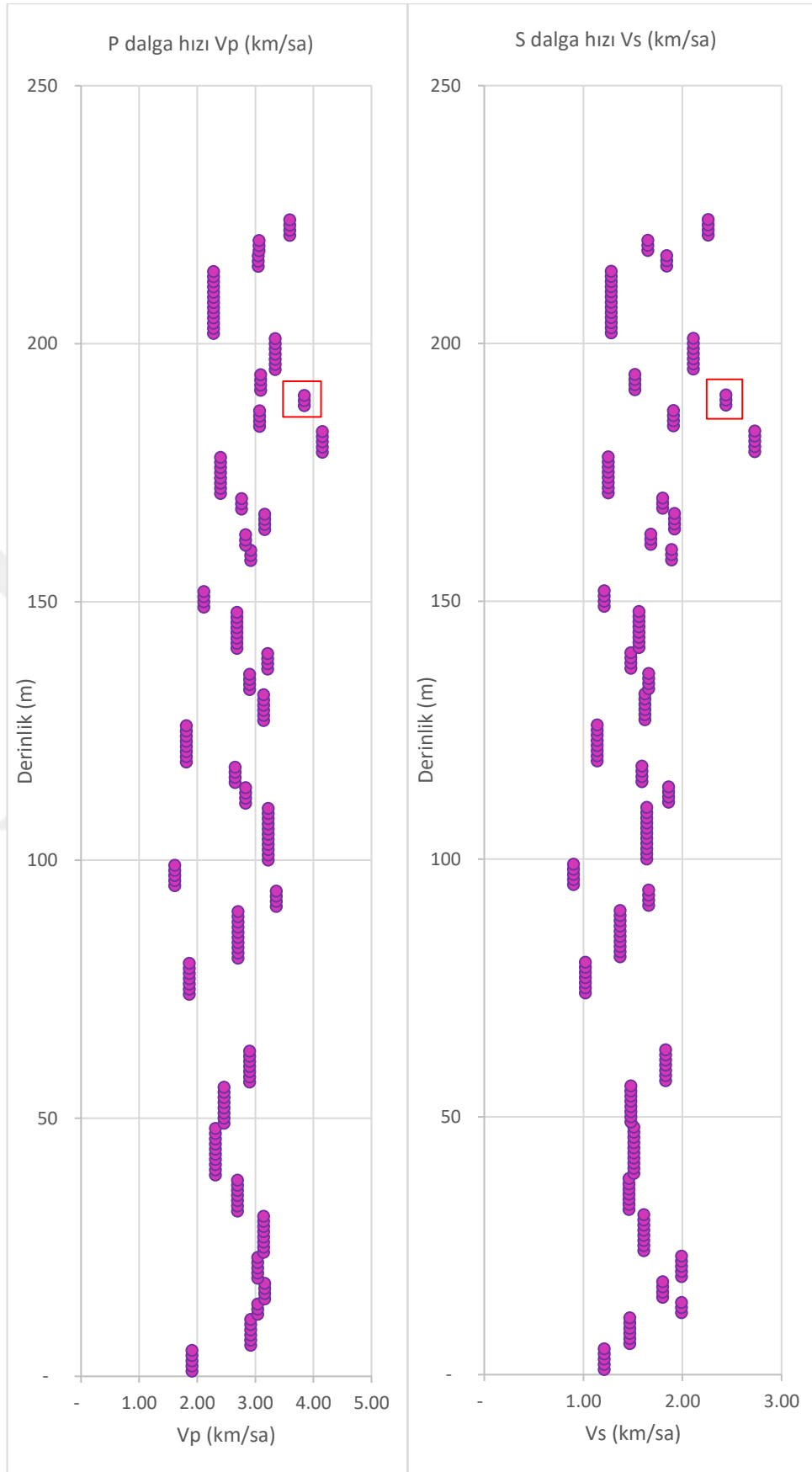
Bölüm 4’te detaylıca açıklandığı üzere net baskı kuvvet WOB verileri normalleştirilmiş olup, bazı bölgeler normal dağılımın dışında kalması nedeniyle normalleştirilememiştir. Bölüm 4’te belirtilen bu 5 bölge için, 39 bölge metrajları arasındaki ortalama değerler ile temsil edilecektir. Sadece 188-190’ıncı metre arasını temsil eden tek bölge için ortalama değerler elde edilememiştir. Bu yüzden, sadece bu bölge analiz yapılacak verilerin haricinde tutulmuştur. Şekil 6.1, 6.2, ve 6.3’te kayaç parametrelerinin ortalamaları grafikleri ve analiz dışında tutulan bölge kırmızı kutucuk içinde verilmiştir.



Şekil 6.1 : Bölgeleştirilmiş ortalama UCS ve EM değerleri.

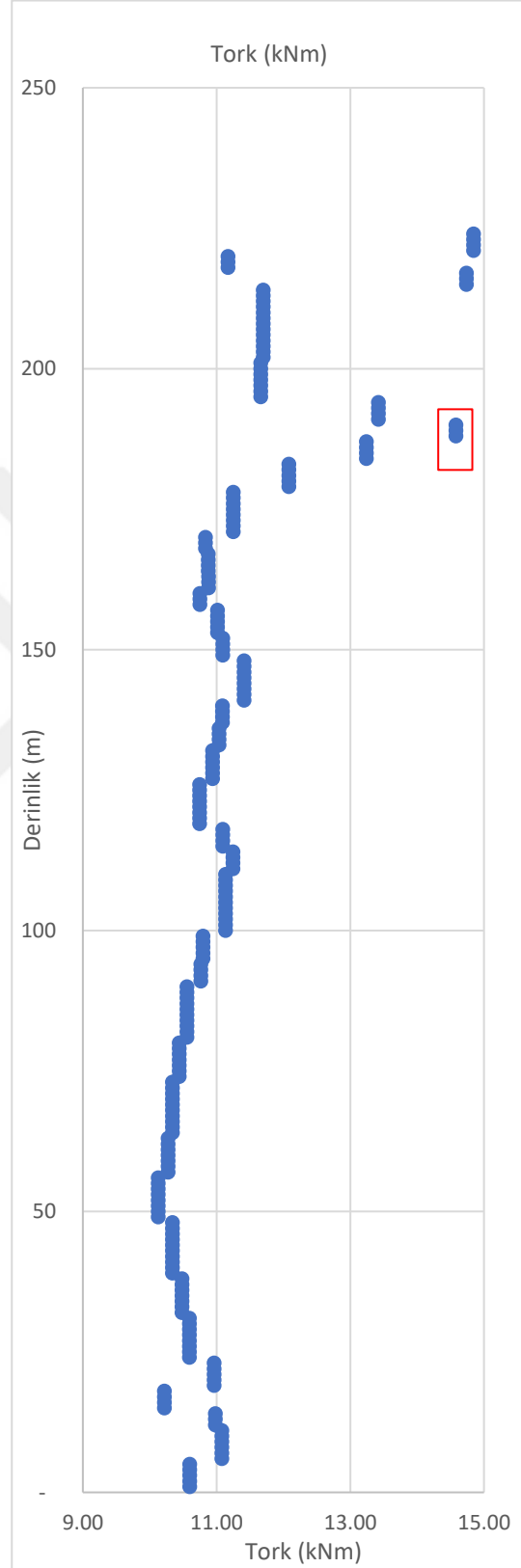


Şekil 6.2 : Bölgeleştirilmiş ortalama BTS ve RQD değerleri.

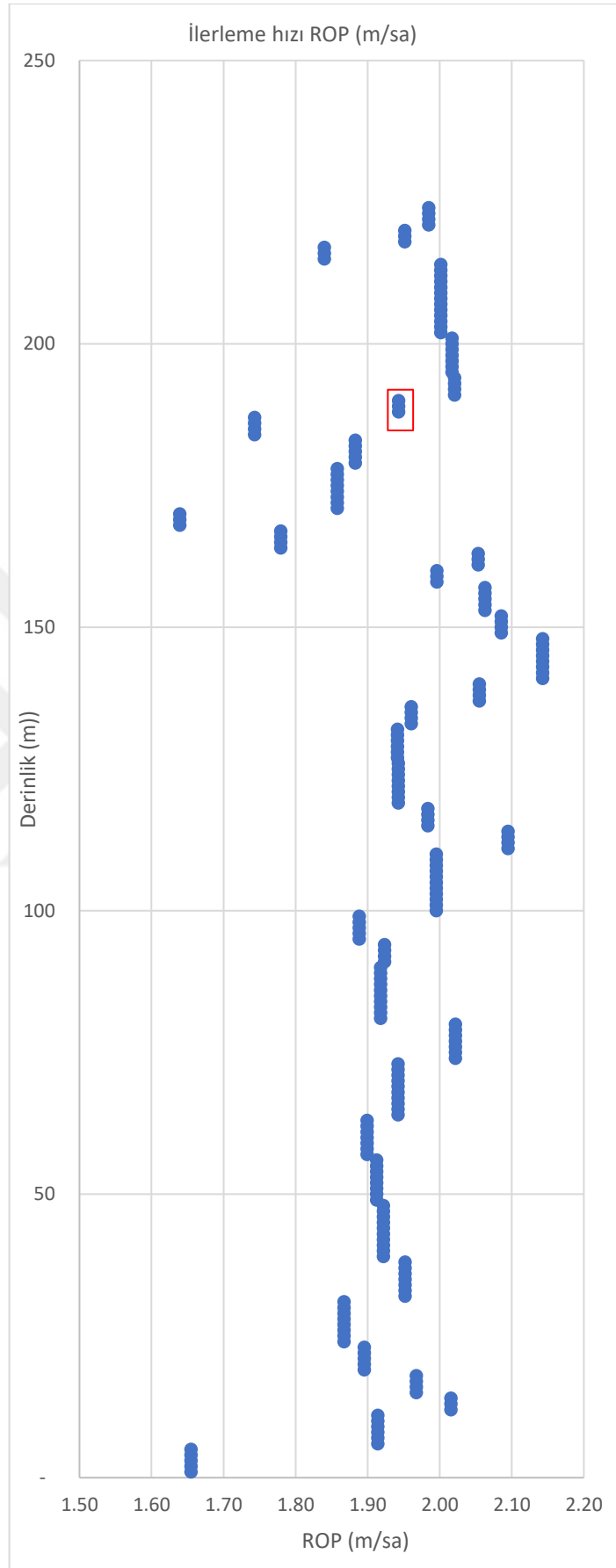


Şekil 6.3 : Bölgeleştirilmiş ortalama P ve S dalga hızı değerleri.

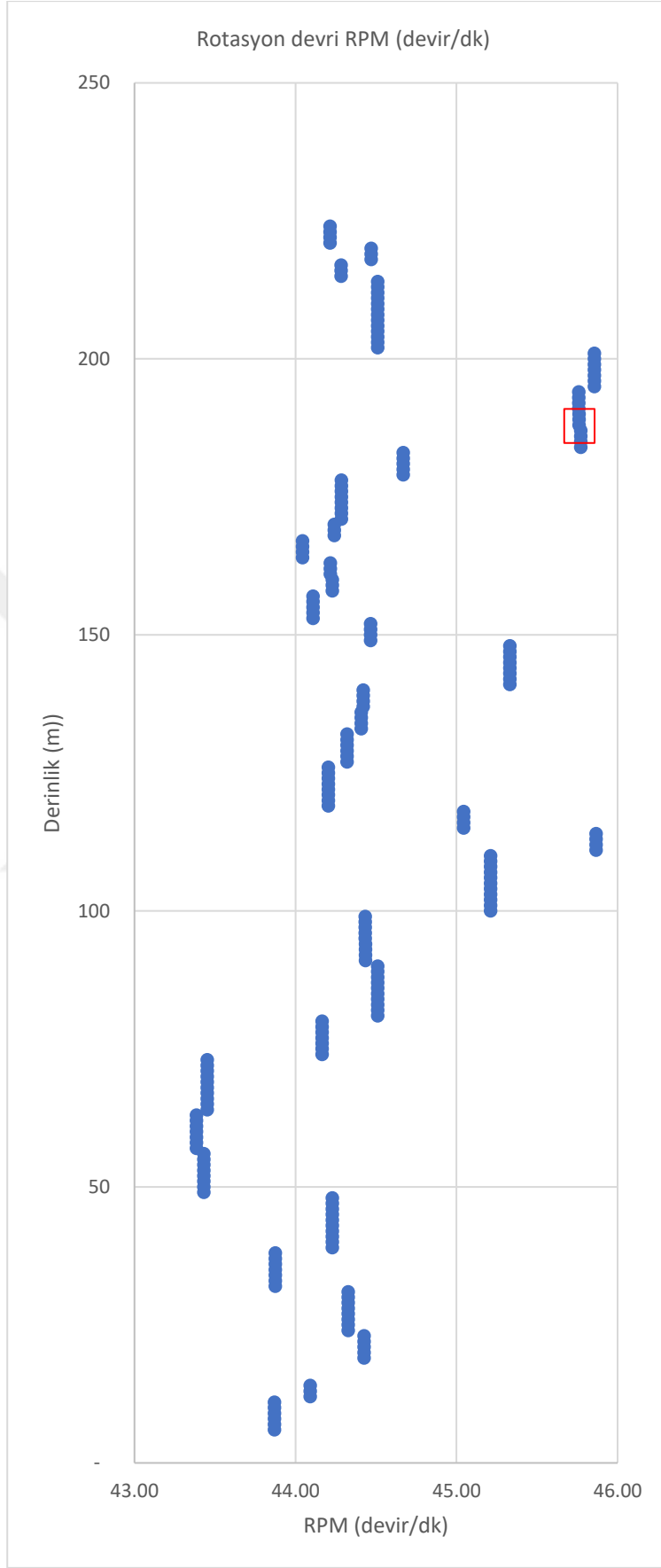
Şekil 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 ve 6.8’de delme parametrelerinin ortalamaları grafikleri verilmiş olup, analiz dışında tutulan bölge, kırmızı kutucuk içinde gösterilmiştir.



Şekil 6.4 : Bölgelendirilmiş ortalama tork değerleri.

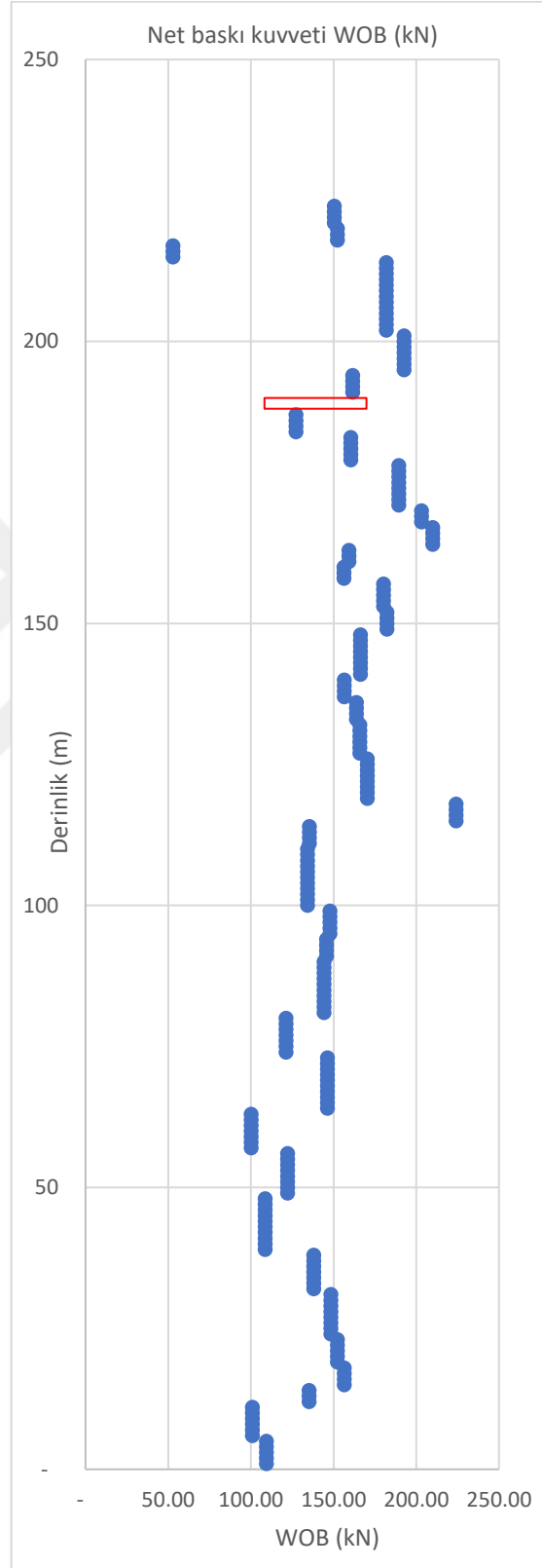


Şekil 6.5 : Bölgeleştirilmiş ortalama ilerleme hızı değerleri

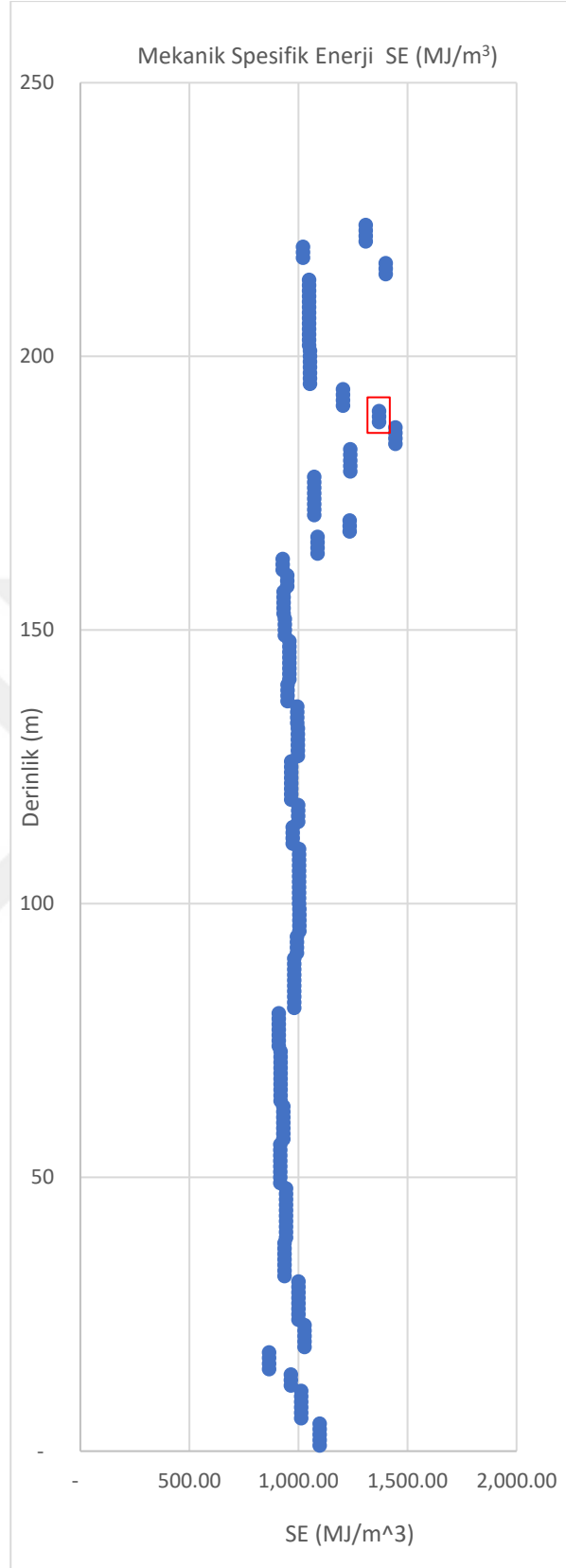


Şekil 6.6 : Bölgeleştirilmiş ortalama rotasyon devri değerleri.

Normalleřtirilemeyen net baskı kuvvet WOB verilerinden sadece 188 ile 190ıncı metraj aralığı için ortalama değerler elde edilememiştir. Bu yüzden şekil 6.7’de kırmızı kutucukla işaretlenen bölgede veri yoktur.



şekil 6.7 : Bölgelendirilmiş ortalama net baskı kuvveti değerleri.



Şekil 6.8 : Bölgelendirilmiş ortalama spesifik enerji değerleri.

Analiz dışında bırakılan bölgeye denk gelen UCS örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı testleri öncesi-sonrasındaki resimleri Şekil 6.9, 6.10 ve 6.11’de verilmiştir.



Şekil 6.9 : 187.35inci metreden alınan U94 nolu UCS numunesi.



Şekil 6.10 : 187.5inci metreden alınan U94.2 nolu UCS numunesi.



Şekil 6.11 : 190.65inci metreden alınan U95 nolu UCS numunesi.

Görüldüğü üzere, U94, U94.2 ve U95 UCS numuneleri tek eksenli basma yüküne yapısal olarak yenilmiştir. Bu durum, daha fazla yük alabilecekken, numunelerin kırık,

çatlak ya da ayrılmış içeriklerinden dolayı beklenen kırılma düzleminden farklı şekilde kırılmış olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, numunelerin temsil ettikleri metrajlar (U94, U94.2, U95) sondaj logunda, orta-çok ayrılmış malzeme olarak belirtilmiştir.

6.2 Verilerin Anlamlandırılması

Kayaç parametrelerinin, pilot delgi performansına etkisinin incelendiği bu çalışmada, elde edilen verilerin anlamlandırılmasına ilişkin referanslar araştırılmıştır. Örneğin, Mellor (1972), tek eksenli basınç dayanımını, standart bir kayaç kırma mekanizması olarak tanımlamaktadır.

Tek eksenli basınç dayanımı konseptinin, uygulanan kuvvetin ekseninin tam tersi olması dışında, dolaylı çekme dayanımı konseptiyle neredeyse bire bir olduğu Gökhale (2011) tarafından belirtilmektedir. Diğer bir kayaç parametresi olan RQD'yi ise Schunnesson (2015), kayanın ne kadar iyi olduğuna dair bir gösterge olarak, tek eksenli basınç dayanımı ve spesifik enerjiyle doğru, ilerleme hızıyla ise ters orantılı olarak sunmaktadır.

Bir diğer kayaç kırma mekanizması olarak kabul edilen spesifik enerji; baskı, tork, devir ve ilerleme hızının bir fonksiyonu olup, Bölüm 3'te verilen formülle (3.2) hesaplanmaktadır. Bu durumda, delgi parametrelerini temsil eden spesifik enerji kapsamı ile tek eksenli basınç dayanımıyla bağlantılı diğer kayaç parametreleri arasında anlamlı ilişkiler olması beklenmektedir.

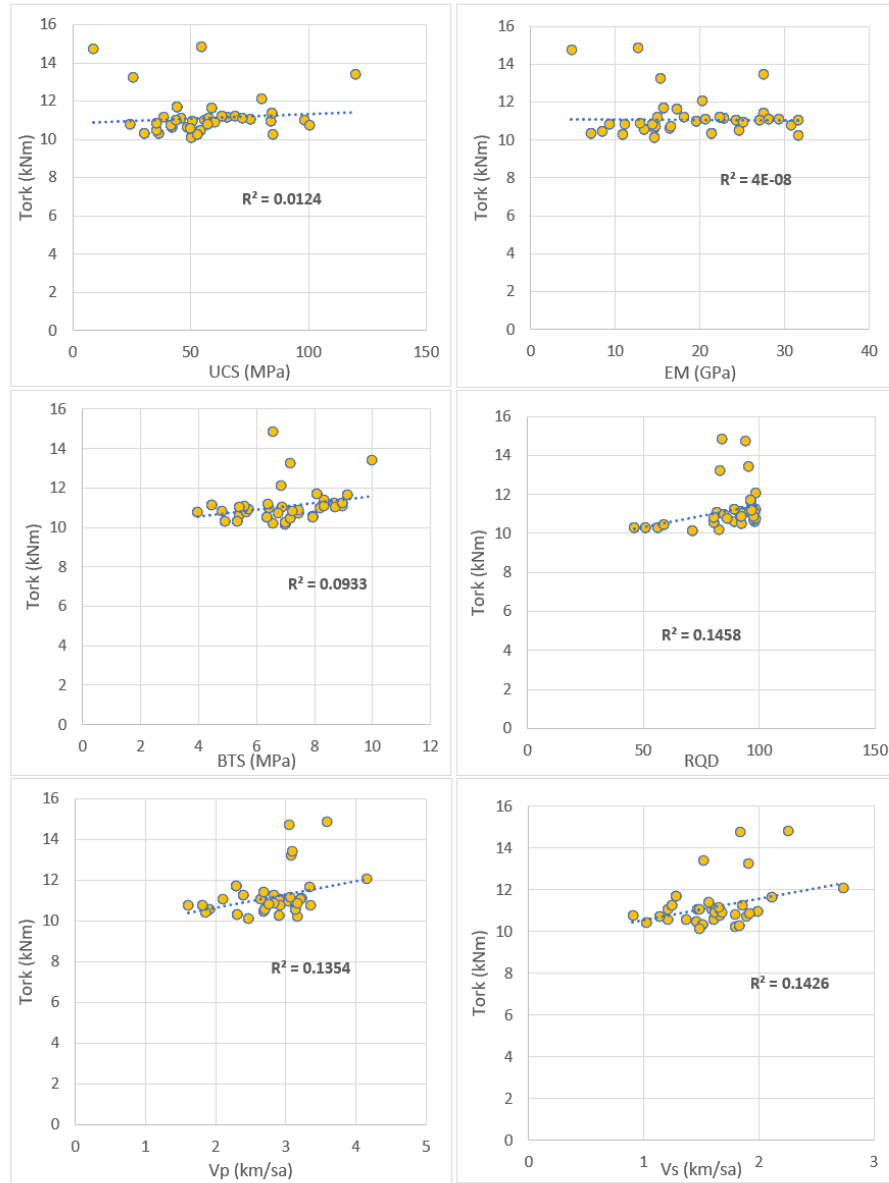
Bu çalışmada ölçülen öteki kayaç parametreleri, P ve S ultrasonik dalga hızları ise kayaç kompozisyonu, kırık çatlak seviyesi, bozuşma ve kayaç özellikleri konusunda bilgi verir. Bu parametreler özellikle veri varyasyonlarının değerlendirilmesi konusunda büyük önem taşımaktadır.

Baş yukarı kazısı uygulamasındaki pilot delgi özelinde, ilerleme hızının derin deliğin eksen doğruluğunu sağlama amacıyla sınırlandırılabilceğinden ve kontrolünün diğer parametrelerden bağımsız yapılabildiğinden daha önce bahsedilmişti. Bu tez kapsamında incelenen Zigana Karayolu Tünel'nde 91RHC model makineyle gerçekleştirilen shaft operasyonunda ilerleme hızı sınırlandırılmıştır. Bu sebeple, ilerleme hızı etkisini gözardı edebilmek adına, ilerleme başına baskı ve tork değerleri de ayrı parametreler olarak değerlendirilmiştir.

Belirlenen 38 bölge için, kayaç parametreleri ve delgi parametrelerinin grafikleri çizilerek, veriler arasındaki beklenen anlamlı ilişkilerin varlığı araştırılmıştır. Ayrıca bölgelendirilmiş veriler arasındaki ilişkilerin incelenmesine ek olarak, kayaç parametrelerinin elde edildiği numunelerin, bire bir denk geldiği derinlikteki makine parametreleri ile kayaç parametreleri arasındaki ilişki de incelenmiştir.

6.3 Tork ile Kayaç Parametreleri Arasındaki İlişki

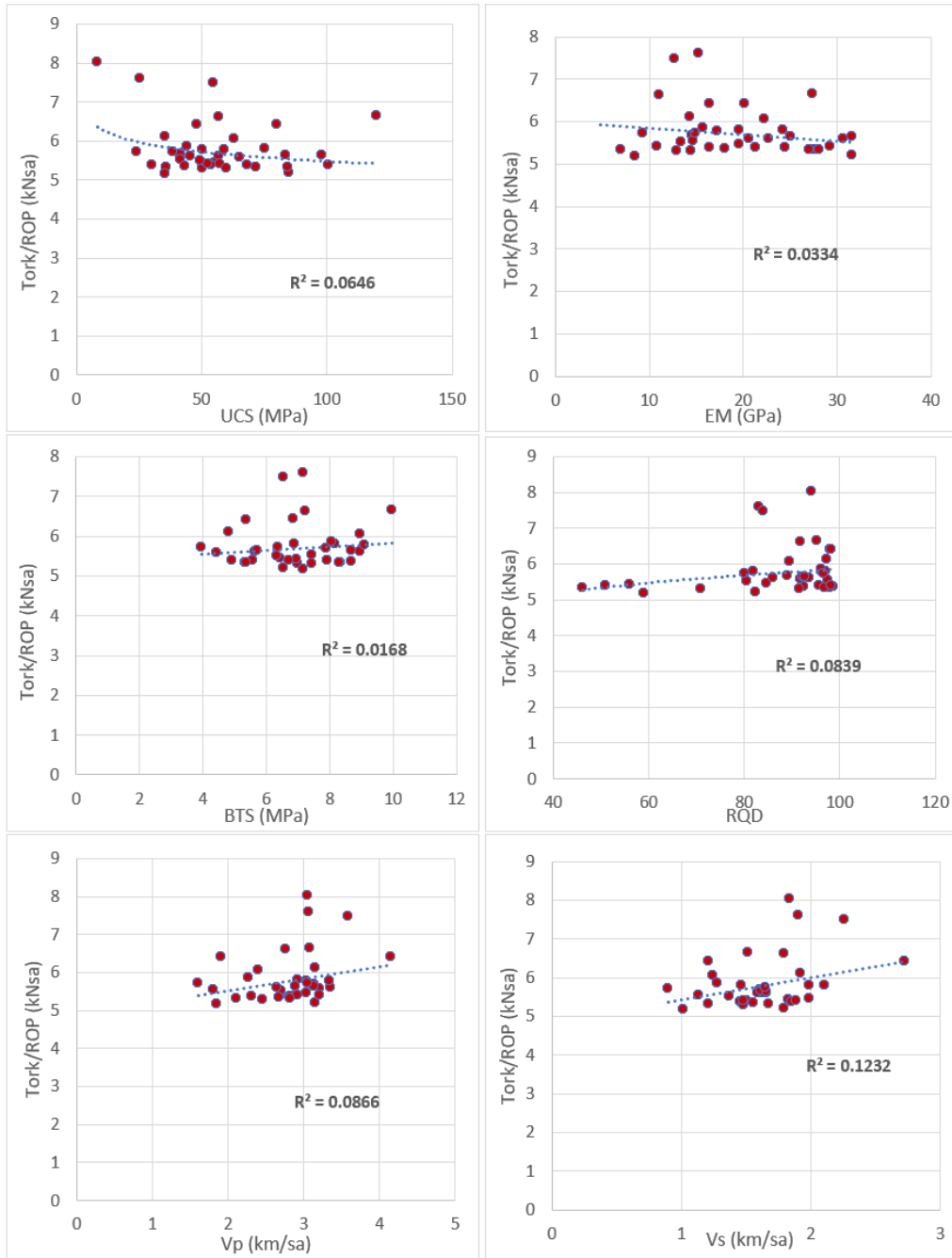
Kayaç parametreleri ile tork ve ilerleme başına tork arasındaki ilişki Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'te verilmiştir.



Şekil 6.12 : Tork ile kayaç parametreleri ilişkisi

Kayaç parametreleri ile makine tork ve ilerleme başına tork değerleri arasında hayli düşük korelasyon gözlemlenmektedir. Tork değerleri ile en yüksek korelasyon katsayısı elde edilen parametreler, Şekil 6.16'te görüldüğü üzere P ve S dalga hızları ve RQD değerleridir.

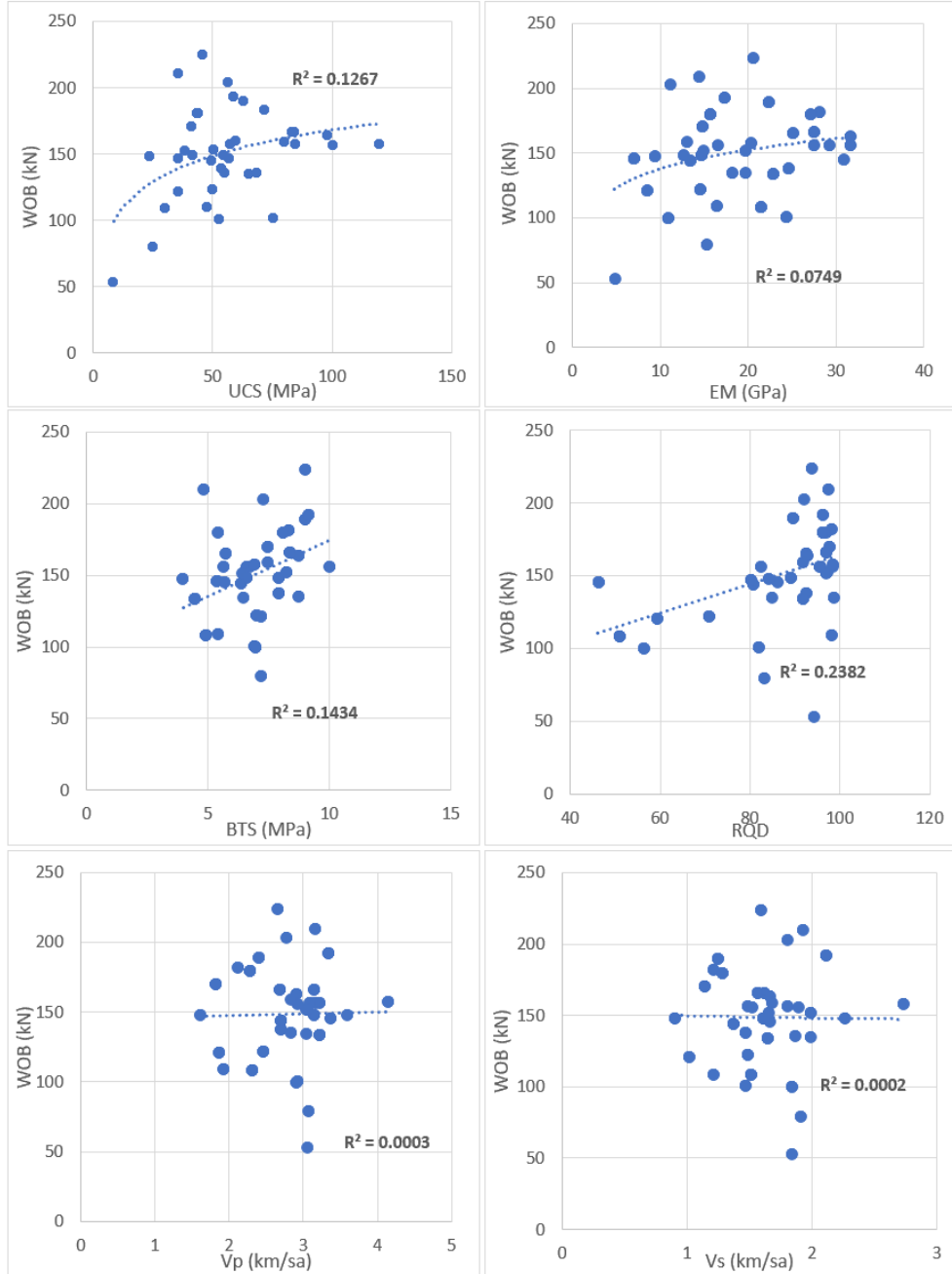
İlerleme başına tork değerlerinin eğilimine bakıldığında, daha da düşük R^2 değerleri elde edilmiştir. Yine bu düşük değerlerdeki en yüksek eğilim, tork değerleri ile aynı şekilde P, S dalga hızları ve RQD ile görülmektedir.



Şekil 6.13 : İlerleme başına torku ile kayaç parametreleri ilişkisi

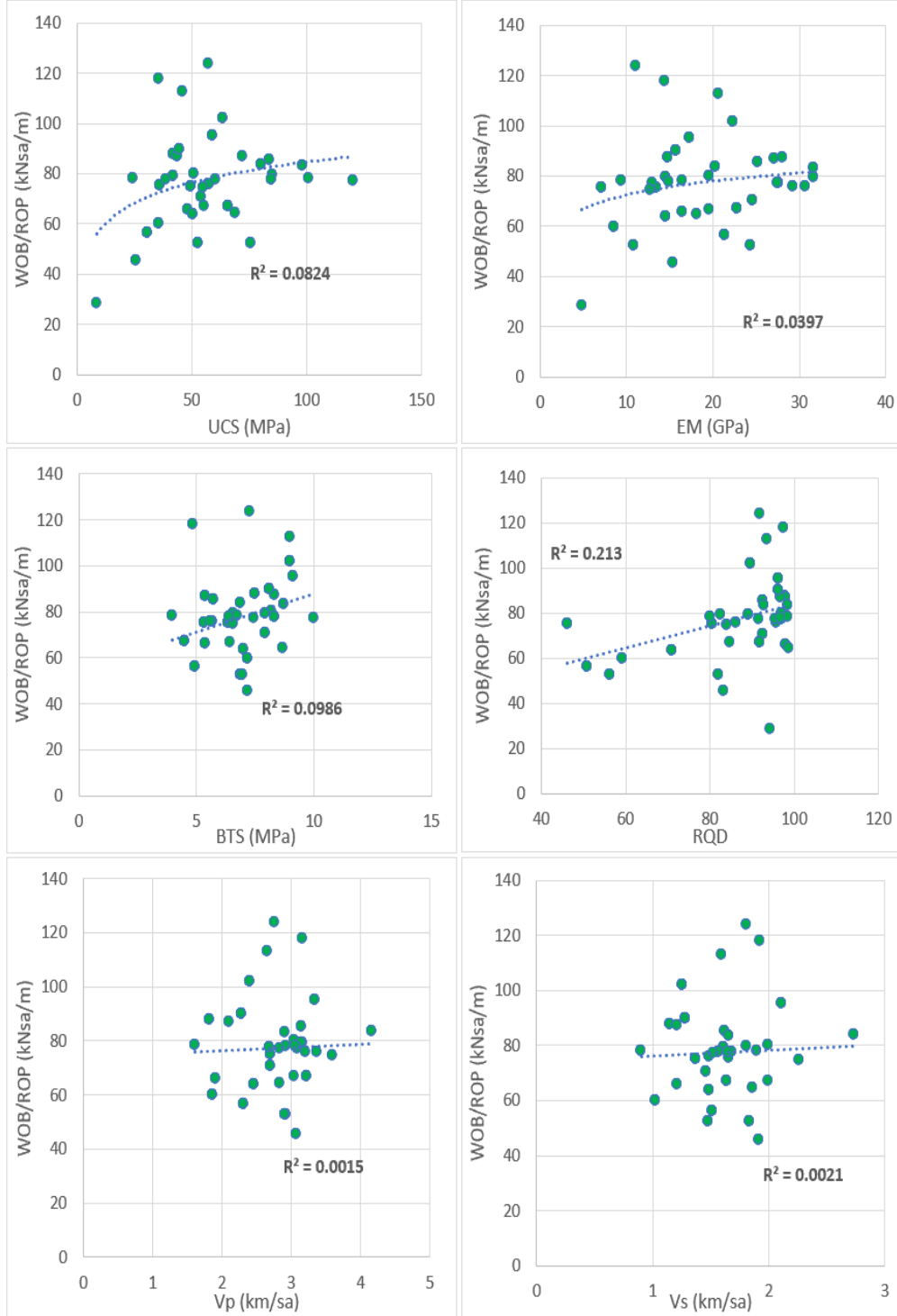
6.4 Baskı ile Kayaç Parametreleri Arasındaki İlişki

Bu tez çalışmasında elde edilen kayaç parametreleri ile makine baskı değerleri arasında hayli düşük determinasyon katsayıları elde edilmiştir. Şekil 6.14'te görüldüğü üzere, P ve S dalga hızları ile korelasyon gözlemlenmediği söylenebilir. UCS, BTS ve RQD ile olan eğilimlerden düşük korelasyonun varlığından söz edilebilir.



Şekil 6.14 : Baskı ile kayaç parametreleri ilişkisi.

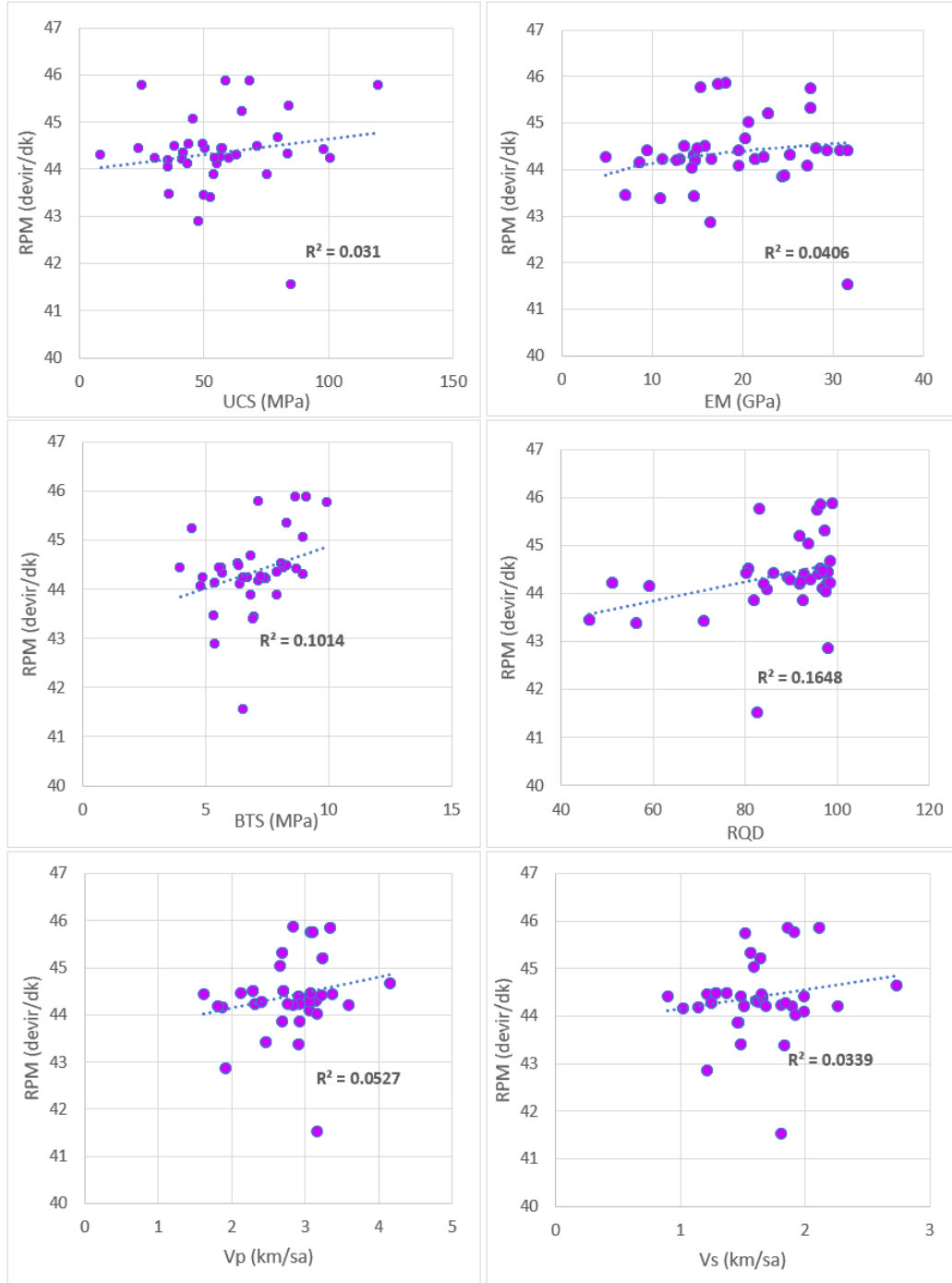
İlerleme başına baskı ve kayaç parametreleri arasındaki ilişki Şekil 6.15’de verilmiştir. Baskı ile kayaç parametreleri arasındaki ilişkiye benzer olarak, P ve S dalga hızları ile korelasyon gözlemlenmemiş; UCS, BTS ve RQD ile hayli düşük korelasyon katsayıları elde edilmiştir.



Şekil 6.15 : İlerleme başına baskı ile kayaç parametreleri ilişkisi.

6.5 Rotasyon Devri ile Kayaç Parametreleri Arasındaki İlişki

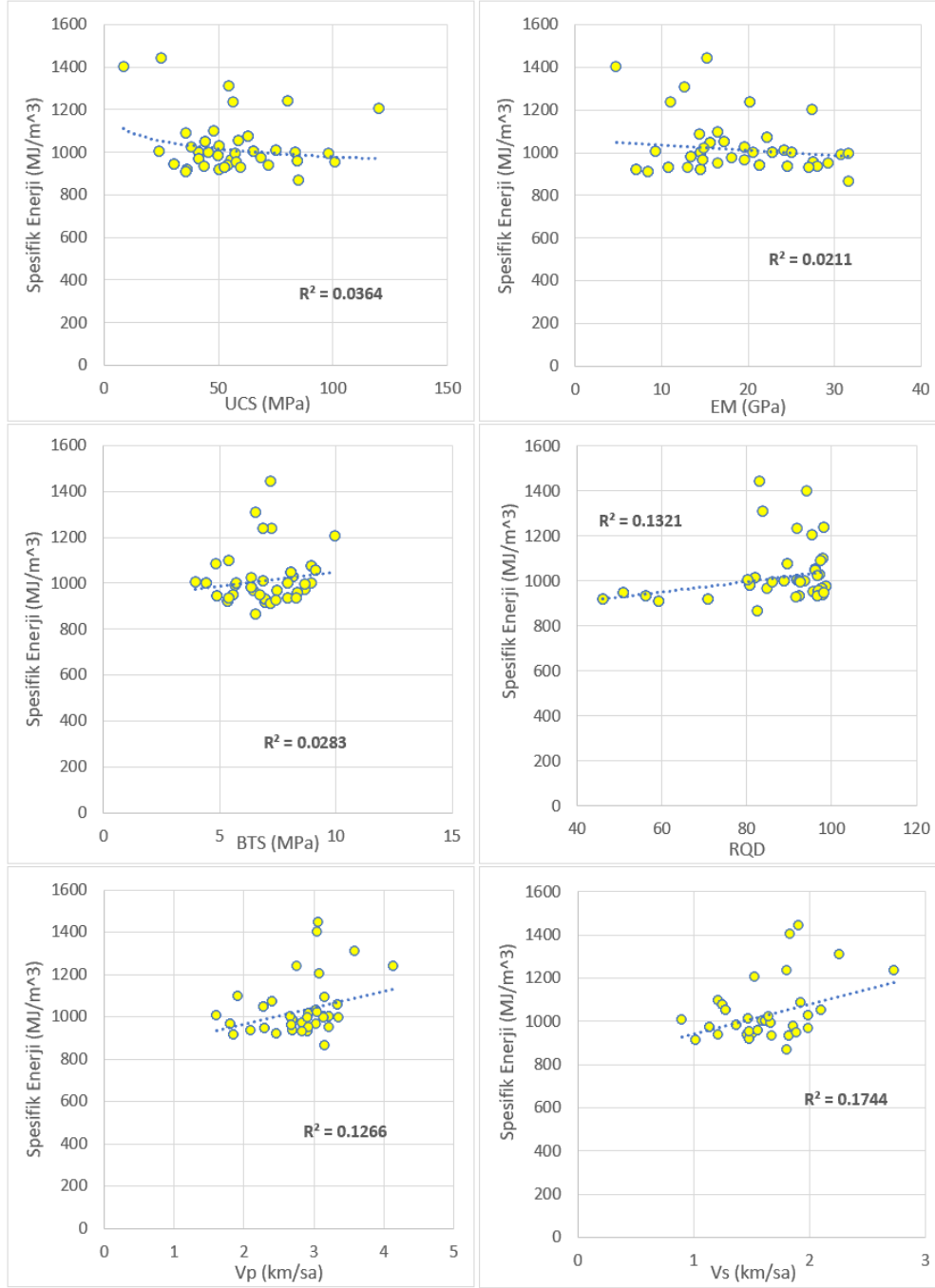
Kayaç parametreleri ile rotasyon devri arasındaki ilişkiyi incelemek üzere çizilen grafikler Şekil 6.16'da verilmiştir. Rotasyon devri ilişkileri için de, baskı ve tork değerleri ile olduğu gibi, hayli düşük determinasyon katsayısı değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6.16 : Rotasyon devri ile kayaç parametreleri ilişkisi.

6.6 Spesifik Enerji ile Kayaç Parametreleri Arasındaki İlişki

Spesifik enerji, tüm delme parametreleri ile ilişkili bir indekstir. Şekil 6.17’de görüldüğü üzere, ölçülen kayaç parametreleri ile spesifik enerji arasındaki ilişki, diğer ilişkiler ile benzerlikler göstermektedir. Korelasyon seviyesi yine hayli düşük, hatta UCS, EM ve BTS ile neredeyse yok denecek kadar azdır.



Şekil 6.17 : Spesifik enerji ile kayaç parametreleri ilişkisi.

Kayaç parametrelerinin elde edildiği derinliğe bire bir denk gelen noktasal veri setleri için kayaç parametreleri ile makine parametreleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Elde edilen determinasyon katsayısı değerleri Çizelge 6.3'te sunulmuştur.

Çizelge 6.3: Noktasal veri için R^2 determinasyon katsayısı özet çizelgesi.

Parametre	UCS	BTS	EM	RQD	Vp	Vs
Tork	0.02	0.02	0.01	0.04	0.06	0.06
Tork/ROP	0.04	0.04	0.02	0.02	0.05	0.09
Baskı	0.01	0.00	0.04	0.09	0.03	0.00
Baskı/ROP	0.01	0.00	0.04	0.02	0.01	0.00
RPM	0.00	0.05	0.03	0.05	0.02	0.02
Spesifik Enerji	0.00	0.03	0.03	0.02	0.06	0.10

6.7 Delme ve Kayaç Parametreleri Arasında Çoklu Değişken İlişkisi

Bu tez çalışmasında sunulan, bölgelendirilmiş ve noktasal delme ve kayaç parametre değerleri arasında bire bir ilişkilere ek olarak, bazı delme ve kayaç parametreleri arasında çoklu değişken ilişkisi de aranmıştır. Bu ilişki, aralarında ilişki olan değişkenler ile; birinin bağımlı değişken, diğerlerinin bağımsız değişkenler olarak ayrımı ile aralarındaki ilişkinin matematiksel olarak tanımlanmasını sağlayan çoklu regresyon analizi ile gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 6.1 ve 6.6 arasında makine parametreleri ile kayaç parametreleri arasında tekli bağıntı arama çalışmalarından çıkan sonuçlar dikkate alınarak çoklu regresyon çalışmaları yapılmasına karar verilmiştir. Yapılan çalışmalarda bölgesel değerlerin noktasal değerlere göre daha yüksek olduğu ayrıca RQD söz konusu olduğunda görece daha yüksek korelasyon değerleri elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle bölgesel değerler için bir değişkenin RQD değerinin ise herhangi bir kayaç parametresi olduğu ikili regresyon analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 den görüleceği üzere ikili regresyon işlemlerinde bağımsız kayaç değişkenleri ile makine parametreleri arasındaki korelasyon katsayıları bir miktar artmış olmakla birlikte yüksek bir bağıntının varlığını ifade eden değerler söz konusu olmamıştır.

Çizelge 6.4: Çoklu R^2 determinasyon katsayısı özet çizelgesi.

Y	X_1	X_2	R^2
Baskı (WOB)	BTS	RQD	0.33
	UCS	RQD	0.24
	EM	RQD	0.24
	VP	RQD	0.33
	VS	RQD	0.32
	BTS	RQD	0.20
	UCS	RQD	0.16
	EM	RQD	0.17
	VP	RQD	0.25
	VS	RQD	0.28
Tork	BTS	RQD	0.13
	UCS	RQD	0.13
	EM	RQD	0.19
	VP	RQD	0.21
	VS	RQD	0.28
Spesifik Enerji (SE)	BTS	RQD	0.05
	UCS	RQD	0.11
	EM	RQD	0.12
	VP	RQD	0.01
	VS	RQD	0.02
İlerleme hızı (ROP)	BTS	RQD	0.05
	UCS	RQD	0.11
	EM	RQD	0.12
	VP	RQD	0.01
	VS	RQD	0.02

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bölüm 4'te belirtildiği üzere, Zigana Tüneli projesi kapsamında, 3.6 m çapında, 91 RHC model baş yukarı delme makinesi ile açılan shaftın; pilot delgi operasyonundan, makinede bulunan MWD (delerken ölçme) yazılımı tarafından, makine parametreleri temin edilmiştir. İlgili shaft için yapılan karotlu sondajdan alınan numuneler, Bölüm 5'te detayları verildiği üzere laboratuvarında test edilmiştir. Kayaç parametrelerinin gösterdiği davranış ve kompozisyonlarına göre, 244 m'lik kuyu 39 bölgeye ayrılmış, hem kayaç, hem de makine parametrelerinin ortalamaları alınarak, analiz için gerekli bölgesel veri seti oluşturulmuştur. Ayrıca, kayaç parametrelerinin elde edildiği derinlikteki, denk delgi parametreleriyle de noktasal veri seti oluşturulmuştur. İlgili veri setleri için kayaç parametreleri ile makine parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Öncelikli olarak; baskı, tork, rotasyon devri ve spesifik enerjinin; tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, elastisite modülü, RQD, ve ultrasonik P ve S dalga hızları ile grafikleri çizilmiş, bire bir eğilimleri için R^2 determinasyon katsayıları hesaplanmıştır. Ayrıca, ikili bağımsız kayaç parametresi ile delme parametrelerini tahmin edebilmek üzere çoklu regresyon analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada yapılan hesaplamalar göz önünde bulundurulduğunda, söz konusu kayaç parametrelerinin, makine parametreleri ile korelasyonlu olmadığı söylenebilir. En yüksek korelasyon değerleri RQD verilerinin yer aldığı hesaplamalar ile elde edilmiştir.

Elde edilen bu R^2 korelasyon değerlerinin, genel olarak düşük kalmasının sebebinin araştırılması özellikle veri toplama sistemi ve makine çalıştırma şeklinin verilere etki edip etmediğinin sorgulanması gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- Atlas Copco Rock Drills AB** (2012). *Raiseboring in Mining and Construction*. Örebro, İsveç.
- Atlas Copco Secoroc LLC** (2012). *Blasthole Drilling Handbook*. Teksas, ABD.
- Atlas Copco Secoroc AB** (2009). *Focus rotary drilling products*. Fagersta, İsveç.
- Azar J.J. & Samuel R. G.** (2007). *Drilling Engineering*. Pennwell Co. Oklahoma, ABD.
- Douglas A. A. B. & Pfutzenreuter F. R. B.** (1989). Overview of current South African vertical circular shaft construction practice. *The Shaft Engineering Conference*. Harrogate, İngiltere.
- Ersoy A.** (2008). *Sondaj Teknikleri Ve Uygulamaları*. Nobel Kitabevi. Adana, Türkiye.
- Finger J. & Blankenship D.** (2010). *Handbook of Best Practices for Geothermal Drilling*. Sandia National Labs., Albuquerque, ABD.
- Gokhale B. V.** (2011). *Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines*. CRC Press/Balkema Leiden, Hollanda.
- Grimes R.E., Felderhoff F.C. & Brown H.** (1992). Heavy Weight Rock Bits Increase Penetration Rates in Hard Rock, *Oil & Gas Journal*, ABD.
- Hartman H. L. & Mutmanský J. M.** (2002). *Introductory Mining Engineering 2nd edition*. Hoboken, N.J.: J. Wiley 282-284.
- Howarth D.F. & Adamson W.R. & Berndt J. R.** (1986). *Correlation of Model Tunnel Boring and Drilling Machine Performances with Rock Properties*. International J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech Abstr. 23 No 2. Birleşik Krallık.
- Kahraman S.** (1996). Konili Matkapların Sınıflandırması ve Seçim Kriterleri, *Sondaj Sempozyumu*. İzmir, Türkiye.
- Lui H. & Yin K. K.** (2001). *Analysis and Interpretation of Monitored Rotary Blasthole Drill Data*. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 15:3, 177-203, DOI: 10.1076/ijsm.15.3.177.3410
- Larsson F.** (2013). A Study of the Bit Force and the Penetration Rate at Thrust Cylinder Working at Atlas Copco's Raiseboring Machine 91RH C. Master Thesis, Linköping Üniversitesi, İsveç.
- Mellor M.** (1972). *Note Normalization of Specific Energy Values*. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory. Hampshire, ABD.
- Pariseau W. G.** (2011). *Design Analysis in Rock Mechanics 2nd Edition*. CRC Press/Balkema Leiden, Hollanda.

- Rabia H.** (1982). *Specific Energy As A Criterion for Drilling Performance Prediction*. International J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech Abstr. 19 No 2. Birleşik Krallık.
- Rai P. & Schunnesson H. & Lindqvist A.P. & Kumar U.** (2015). *An Overview on Measurement-While-Drilling Technique and Its Scope in Excavation Industry*. Journal of Institution of Engineers Series D, Hindistan.
- SME** (2011). *SME Mining Engineering Handbook 3rd edition, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. ABD.*
- Schunnesson H.** (1996). *RQD predictions based on drill performance parameters*. Tunnelling and Underground space Technology Vol 11 No: 3. Birleşik Krallık.
- Schunnesson H. & Ghosh R. & Kumar U.** (2014). *The Use of Specific Energy in Rotary Drilling: The Effect of Operational Parameters*. International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry. İsveç.
- Schunnesson H. & Ghosh R. & Kumar U.** (2015). *An Overview on Measurement-While-Drilling Technique and its Scope in Excavation Industry*. J. Inst. Eng. India Ser., 96(1):57–66, DOI:10.1007/s40033-014-0054-4.
- Eldert J. & Schunnesson H. & Johansson D.** (2017). *The History and Future of Rock Mass Characterisation by Drilling in Drifting From sledgehammer to PC-tablet*. 26th International Symposium on Mine Planning & Equipment Selection, Luleå. İsveç.
- Tatiya R. R.** (2013). *Surface and Underground Excavations Methods, Techniques and Equipment 2nd edition*. CRC Press/Balkema Leiden, Hollanda.
- Teale R.** (1964). *The concept of Specific Energy in Rock Drilling*. International J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech Abstr. 2. Birleşik Krallık.
- Thuro K.** (1997). *Drillability prediction: Geological influences in hard rock drill and blast tunnelling*. *International Journal of Earth Sciences*. Hollanda. DOI: 10.1007/s005310050151.
- Ulusay R., Gökçeoğlu C., Binal A.** (2011). *Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri*. TMMOB, Jeoloji Mühendisliği Odası Yayınları.
- Yüksel Proje** (2016). *Trabzon – Aşkale Yolu Zigana Tüneli (km: 43+867.299 – km: 58+330.420) km: 43+867.299 – 45+867.299 km: 56+330.420 – 58+330.420 kesimleri ön proje jeolojik-jeoteknik rapor*. Ankara. T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü.

EKLER

EK A: ZSS-03A Sondaj logu

EK B: UCS Numune fotoğrafları

EK C: Elastisite modülü grafikleri





EK A

DOĞA MÜHENDİSLİK HİZMET İNŞAAT MAD. TİC. LTD. ŞTİ

<

Şekil A.1: Kuyu sondaj logu.

DOĞA MÜHENDİSLİK HİZMET İNŞAAT MAD. TİC. LTD. ŞTİ.

TEMEL SONDAJ LOGU

BORING LOG

SONDAJ KUYU NO
Boring Number

ZSS-03A

SONDAJ Derinliği (m)
Boring Depth (m)

226.00

SAYFA / Sheet No

2 / 23

PROJE ADI / Project Name : ZİGANA SERVİS SONDAJI-3A

LOKASYON / Site Location :SERVİS ŞAFTI

KOORDİNAT / Coordinate Y (N-S) : 530301.20

MAKİNA TİPİ / Machine Type :MD 300

KOORDİNAT / Coordinate X (E-W) : 4502625.38

SONDAJ METODU / Method of Drilling :ROTARY SULU

SONDAJ KOTU / Boring Elevation (m) : 241.80

Muhafaza Bonusu Derinliği/ Casing Depth (m) :

BAŞLANGIÇ TARİHİ / Start Date : 31.05.2018

YERALTISUYU DERİNLİĞİ / Groundwater Depth (m)

BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 7.06.2018

Derinlik

Tarih

Derinlik

Tarih

MÜHENDİS / Engineer : İSMAIL GÜNER

Derinlik (m)
Depth (m)

YAS Servisi (m)
Groundwater Level

Numune Tipi ve No
Sample Type & No.

Numune Derinliği
Sample Depth (m)

YERİNDE DENEYLER / Insitu Tests

SPT DENEYİ /Standard Penetration Test

Darbe Sayısı
Number of Blows

SPT- N Grafiği
Graph

0 - 15
(I)

15-30
(II)

30-45
(III)

N₃₀
(Azat)

N₆₀
(Orta)

N₁₀₀
(Yoğun)

N₆₀-Düzeltilmiş
20 40 60 80

ZEMİN SINIFI

JEOTEKNİK TANIMLAMA
Geotechnical Description

Profil
Profile

Dayanım
Strength

Ayrışma
Weathering

Kırıklar / 30 cm
Fracture / 30 cm

TCR (%)
Core Recovery

SCR (%)

RQD (%)

10

10.00

CR-6

Şekil A.1(devam): Kuyu sondaj logu

[illegible]

DOĞA MÜHÜRİSLİK HİZMET İNŞAAT MAD. TİC. LTD. ŞTİ

TEMEL SONDAJ LOGU

BORING LOG

SONDAJ KUYU NO
Boring Number

ZSS-03A

Sondaj Derinliği (m)
Boring Depth (m)

226.00

SAYFA / Sheet No

4 / 23

PROJE ADI / Project Name : ZİGANA SERVİS SONDAJI-3A

LOKASYON / Site Location

:SERVİS ŞAFTI

MAKİNA TİPİ / Machine Type

:MD 300

SONDAJ METODU / Method of Drilling

:ROTARY SULU

Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth (m) :

YERALTISUYU DERİNLİĞİ / Groundwater Depth (m)

KOORDİNAT / Coordinate Y (N-S) : 530301.20

KOORDİNAT / Coordinate X (E-W) : 4502625.38

SONDAJ KOTU / Boring Elevation (m) : 241.80

BAŞLANGIÇ TARİHİ / Start Date : 31.05.2018

BITİŞ TARİHİ / Finish Date : 7.06.2018

MÜHENDİS / Engineer : ISMAIL GÜKAN

Derinlik (m) Depth (m)	YAS Seviyesi (m) Groundwater Level	Numune Tipi ve No Sample Type & No.	Numune Derinliği Sample Depth (m)	YERİNDE DENEYLER / Insitu Tests								JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Profil Profile	KAYA ÖZELLİKLERİ							
				SPT DENEYİ / Standart Penetration Test										Dayanımı Strength	Ayrılma Weathering	Kırıklar / 30 cm Fracture / 30 cm	TCR (%) Core Recovery	SCR (%) Scraper	ROD (%) Rod		
				Darbe Sayısı Number of Blows				SPT - N Grafiği Graph													
				0 - 10 (I)	10-30 (II)	30-40 (III)	N30 (Arz)	N60 (Duş.)	N80-Düzeltimli	20	40									60	80
				ZEMİN SINIFI																	
31		CR-16									30.00-40.00 ANDEZİT Gri renkli,dayanımlı,az ayrışmış,seyrek-orta kırıktı 38.00-40.00 m arası sık kırıklı .süreksizlikler;açık 0-10- 20 derece ,mat,pürüzlü,kil dolgu lu ; kapalı,1-2 mm kalıslı dolgu lu	V _{and} V _a	V _{and} V _a					100	100	75	
32			32.00									V _{and} V _a	V _{and} V _a								
33		CR-17										V _{and} V _a	V _{and} V _a					100	100	100	
34			34.00									V _{and} V _a	V _{and} V _a								
35		CR-18										V _{and} V _a	V _{and} V _a	I-II	I-II	I-2	100	100	95		
36			36.00									V _{and} V _a	V _{and} V _a								
37		CR-19										V _{and} V _a	V _{and} V _a					100	100	85	
38			38.00									V _{and} V _a	V _{and} V _a								
39		CR-20										V _{and} V _a	V _{and} V _a					100	100	88	
40			40.00									V _{and} V _a	V _{and} V _a								

KYAM DURUMU/ Stiffness (İnce taneli)	SIKLIK/ Density (İri taneli)	ORANLAR/ Proportions	Kaya Geçirgenliği / Rock Permeability	Ölçek / Scale
N=0-2 Çok yumuşak Very soft	N=0-4 Çok gevşek Very loose	%5 > Pek az Slightly	< 1 Lugeon Geçirimsiz/Imperious	1/1
N=3-4 Yumuşak Soft	N=5-10 Gevşek Loose	%10-20 Az Little	1-5 Lugeon Az Geçirimli/Less Perious	Sondaj / Driller
N=5-8 Orta Kati Middle stiff	N=11-30 Orta sıkı Medium loose	%20-35 Çok Very	5-25 Lugeon Geçirimli/Perious	KAMİL AVCI
N=9-15 Kati Stiff	N=31-50 Sıkı Dense	%35-> Ve And	>25 Lugeon Çok Geçirimli/Much Perious	Logu Yapan / By Log
N=16-30 Çok Kati Very Stiff	N=50 Çok sıkı Very dense			HILAL ALTUNTAŞ
N=30 Sert Hard				Not / Note
AYRIŞMA/ Weathering	DAYANIM/ Strength	KIRIKLAR/ 30 cm Fractures	KAYA KALİTESİ TANIMI/RQD	
I Taze (Ayrışmamış) Fresh	V Çok zayıf Very Weak	1 Seyrek / Wide(W)	%0-25 Çok zayıf Very Poor	
II Az ayrışmış Slightly W.	IV Zayıf Weak	1-2 Orta / Moderate (M)	%25-50 Kötü Poor	
III Orta derecede ayr. Moderatly W.	III Orta Moderatly Weak	2 - 10 Sık / Close (CI)	%50-75 Orta Fair	
IV Çok ayrışmış Highly W.	II Dayanımlı Moderatly Strong	10-20 Çok Sık/Intense (I)	%75-90 İyi Good	
V Tamamen ayrışmış Completely W.	I Çok Dayanımlı Strong	>20 Parçalı / Crushed(Cr)	%90-100 Çok İyi Excellent	

[illegible]

DOĞA MÜHENDİSLİK HİZMET İNŞAAT MAD. TİC. LTD. ŞTİ

TEMEL SONDAJ LOGU

BORING LOG

SONDAJ KUYU NO
Boring Number

ZSS-03A

Sondaj Derinliği (m)
Boring Depth (m)

226.00

SAYFA / Sheet No

7 / 23

PROJE ADI / Project Name : ZİGANA SERVİS SONDAJ-3A

LOKASYON / Site Location

:SERVİS ŞAFTI

KOORDİNAT / Coordinate Y (N-S) : 530301.20

MAKİNA TİPİ / Machine Type

:MD 300

KOORDİNAT / Coordinate X (E-W) : 4502625.38

SONDAJ METODU / Method of Drilling

:ROTARY SULU

SONDAJ KOTU / Boring Elevation (m) : 241.80

Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth (m) :

BAŞLANGIÇ TARİHİ / Start Date : 31.05.2018

YERALTISUYU DERİNLİĞİ / Groundwater Depth (m)

Derinlik

Tarih

Derinlik

Tarih

BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 7.06.2018

MÜHENDİS / Engineer : İSMAIL GÜNER

Derinlik (m)
Depth (m)

YAS Servisi (m)
Groundwater Level

Numune Tipi ve No.
Sample Type & No.

Numune Derinliği
Sample Depth (m)

0 - 15
(I)

15-30
(II)

30-45
(III)

N₆₀
(Arz)

N₆₀
(Düz.)

N₆₀-Düzeltilmiş
20 40 60 80

YERİNDE DENEYLER / Insitu Tests

SPT DENEYİ / Standart Penetration Test

Darbe Sayısı
Number of Blows

SPT - N Grafiği
Graph

JEOTEKNİK TANIMLAMA
Geotechnical Description

Profil
Profile

Dayanım
Strength

Ayrışma
Weathering

Kırıklar / 30 cm
Fracture / 30 cm

TCR (%)
Core Recovery

SCR (%)
SCR (%)

RQD (%)
RQD (%)

61

CR-31

62.00

CR-32

64.00

CR-33

66.00

CR-34

68.00

CR-35

70.00

70.00-80.00

ANDEZİT
Gri renkli, dayanımlı, az
ayrışmış, seyrek-orta
kırıktı, 60.00-64.00 m arası
sık kırıktı
, süreksizlikler; açık 0-10-
20-30 derece
, mat, pürüzlü, kil dolgulur;
kapalı, 1-2 mm kalsit
dolgulur

V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and} V_a V_s
V_{and</}

Şekil A.1(devam): Kuyu sondaj logu

		TEMEL SONDAJ LOGU BORING LOG				SONDAJ KUYU NO Boring Number		ZSS-03A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
						Sondaj Derinliği (m) Boring Depth (m)		226.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
						SAYFA / Sheet No		10 / 23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
PROJE ADI / Project Name : ZİGANA SERVİS SONDAJI-3A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
LOKASYON / Site Location				:SERVİS ŞAFTI		KOORDİNAT / Coordinate Y (N-S) : 530301.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
MAKİNA TİPİ / Machine Type				:MD 300		KOORDİNAT / Coordinate X (E-W) : 4502625.38																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
SONDAJ METODU / Method of Drilling				:ROTARY SULU		SONDAJ KOTU / Boring Elevation (m) : 241.80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth (m) :						BAŞLANGIÇ TARİHİ / Start Date : 31.05.2018																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
YERALTISUYU DERİNLİĞİ / Groundwater Depth (m)						BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 7.06.2018																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
						MÜHENDİS / Engineer : İSMAİL GÜKAN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Derinlik (m) Depth (m)	YAS Seriyası (m) Groundwater Level	Numune Tipi ve No Sample Type & No.	Numune Derinliği Sample Depth (m)	YERİNDE DENEYLER / Insitu Tests					JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Profil Profile	KAYA ÖZELLİKLERİ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
				SPT DENEYİ / Standart Penetration Test							Dayanım Strength	Ayrışma Disintegration	Kırıklar / 30 cm Fracture / 30 cm	45 TCR (%)	50 75 Core Recovery	25 50 75 SCR (%)	25 50 75 RQD (%)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				Darbe Sayısı Number of Blows																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
				0 - 16 (I)	16-32 (II)	32-48 (III)	N ₆₀ (Ave.)	N ₆₀ (Diz.)										N ₆₀ Düzeltimsiz 20 40 60 80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				ZEMİN SINIFI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
91	CR-46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

Şekil A.1(devam): Kuyu sondaj logu

[illegible]

DOĞA MÜHENDİSLİK HİZMET İNŞAAT MAD. TİC. LTD. ŞTİ.

TEMEL SONDAJ LOGU

BORING LOG

SONDAJ KUYU NO
Boring Number

ZSS-03A

Sondaj Derinliği (m)
Boring Depth (m)

226.00

SAYFA / Sheet No

15 / 23

PROJE ADI / Project Name : ZIGANA SERVİS SONDAJI-3A

LOKASYON / Site Location

:SERVİS ŞAFTI

MAKİNA TİPİ / Machine Type

:MD 300

SONDAJ METODU / Method of Drilling

:ROTARY SULU

Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth (m) :

YERALTISUYU DERİNLİĞİ
Groundwater Depth (m)

KOORDİNAT / Coordinate Y (N-S)

: 530301.20

KOORDİNAT / Coordinate X (E-W)

: 4502625.38

SONDAJ KOTU / Boring Elevation (m)

: 241.80

BAŞLANGIÇ TARİHİ / Start Date

: 31.05.2018

BİTİŞ TARİHİ / Finish Date

: 7.06.2018

MÜHENDİS / Engineer

: ISMAIL GÖNAN

Derinlik (m)

YAS Seyreşi (m)
Groundwater Level

Numune Tipi ve No
Sample Type & No

Numune Derinliği
Sample Depth (m)

YERİNDE DENEYLER / Insitu Tests

SPT DENEYİ / Standart Penetration Test

Darbe Sayısı
Number of Blows

SPT - N Grafiği
Graph

0 - 15
(I)

15-30
(II)

30-45
(III)

N₆₀
(Avg)

N₆₀
(Dist.)

N₆₀-Düzeltilmiş
20 40 60 80

ZEMİN SINIFI

JEOTEKNİK TANIMLAMA
Geotechnical Description

Profil
Profile

Dayanım
Strength

Ayrışma
Weathering

Kırıklar / 30 cm
Fracture / 30 cm

TCR (%)
Core Recovery

SCR (%)

RGD (%)

141

CR-71

142.00

<

DOĞA MÜHÜRÖLÜK HİZMETİ İNŞAAT MAD. TİC. LTD. ŞTİ.

TEMEL SONDAJ LOGU

BORING LOG

SONDAJ KUYU NO
Boring Number

ZSS-03A

Sondaj Derinliği (m)
Boring Depth (m)

226.00

SAYFA / Sheet No

16 / 23

PROJE ADI / Project Name : ZİGANA SERVİS SONDAJI-3A

LOKASYON / Site Location

:SERVİS ŞAFTI

MAKİNA TİPİ / Machine Type

:MD 300

SONDAJ METODU / Method of Drilling

:ROTARY SULU

Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth (m) :

KOORDİNAT / Coordinate Y (N-S)

: 530301.20

KOORDİNAT / Coordinate X (E-W)

: 4502625.38

SONDAJ KOTU / Boring Elevation (m)

: 241.80

BAŞLANGIÇ TARİHİ / Start Date

: 31.05.2018

BİTİŞ TARİHİ / Finish Date

: 7.06.2018

MUHENDİS / Engineer

: İSMAIL GÜNAN

Derinlik (m)	YAS Seviyesi (m)	Numune Tipi ve No	Numune Derinliği	YERİNDE DENEYLER / Insitu Tests						ZEMİN SINIFI	JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Profil Profile	KAYA ÖZELLİKLERİ					
				SPT DENEYİ / Standart Penetration Test									Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Kırıklar / 30 cm Fracture / 30 cm	TCR (%) Core Recovery	SCR (%)	ROD (%)
				Darbe Sayısı Number of Blows			SPT - N Grafiği Graph											
				0 - 16 (I)	16-30 (II)	30-46 (III)	N30 (Arz)	N60 (Düz.)	N60-Düzeltilmiş 20 40 60 80									

151	CR-76									aynımsız,seyrek-orta kırıklı,süreksizlikler,açık,0-10-20 derece ,mat.pürüzlü,kapalı,1-5 mm kalsit dolgulu	V_Bnd V_a	151	100	100	98			
152	CR-77	152.00									V_Bnd V_a	152						
153	CR-77										V_Bnd V_a	153	100	100	98			
154	CR-78	154.00									V_Bnd V_a	154						
155	CR-78										V_Bnd V_a	155	I-II	I-II	I-2	100	100	95
156	CR-79	156.00									V_Bnd V_a	156						
157	CR-79										V_Bnd V_a	157				100	100	98
158	CR-80	158.00									V_Bnd V_a	158						
159	CR-80										V_Bnd V_a	159				100	100	100
160		160.00								160.00-170.00 ANDEZİT Gri renkli,dayanımlı,az	V_Bnd V_a	160						

KVAM DURUMU/ Stiffness (İnce taneli)			SIKLIK/ Density (İri taneli)			ORANLAR/ Proportions			Kaya Geçirgenliği Rock Permeability	Ölçek / Scale
N=0-2 Çok yumuşak	Very soft	N=0-4 Çök gevşek	Very loose	%5 -	Pek az	Slightly Little	< 1 Lugeon: Geçirimsiz/Impervious	1/1		
N=3-4 Orta katı	Middle stiff	N=5-10 Gevşek	Loose	%10-20	Az	Very	1-5 Lugeon: Az Geçirimli/Less Pervious	Sondör / Driller		
N=6-8 Katı	Stiff	N=11-30 Orta sıkı	Medium loose	%20-35	Çok	And	5-25 Lugeon: Geçirimli/Pervious	KAMİL AVCI		
N=9-15 Çok Katı	Very Stiff	N=31-50 Sıkı	Dense	%35->	Ve		>25 Lugeon: Çok Geçirimli/Much Pervious	Logu Yapan / By Log		
N=16-30 Çok Katı	Hard	N=50 Çok sıkı	Very dense					HILAL ALTUNTAŞ		

AYRIŞIMA/ Weathering		DAYANIM/ Strength		KIRIKLAR/ 30 cm Fractures	KAYA KALİTESİ TANIMI/RQD
I Taze (Ayrılmamış)	Fresh	V Çok zayıf	Very Weak	1 Seyrek / Wide(W)	%0-25 Çok zayıf Very Poor
II Az ayrılmış	Slightly W.	IV Zayıf	Weak	1-2 Orta / Moderate (M)	%25-50 Kötü Poor
III Orta derecede ayr.	Moderately W.	II Orta	Moderately Weak	2 - 10 Sık / Close (Cl)	%50-75 Orta Fair
IV Çok ayrılmış	Highly W.	II Dayanımlı	Moderately Strong	10-20 Çok Sık/Intense (I)	%75-90 İyi Good
V Tamamen ayrılmış	Completely W.	I Çok Dayanımlı	Strong	>20 Parçalı / Crushed(Cr)	%90-100 Çok İyi Excellent

DOĞA MÜHENDİSLİK HİZMETİ İNŞAAT MAD. TİC. LTD. ŞTİ

TEMEL SONDAJ LOGU
BORING LOG

SONDAJ KUYU NO Boring Number	ZSS-03A
Sondaj Derinliği (m) Boring Depth (m)	226.00
SAYFA / Sheet No	17 / 23

PROJE ADI / Project Name : ZİGANA SERVİS SONDAJI-3A

LOKASYON / Site Location	:SERVİS ŞAFTI	KOORDİNAT / Coordinate Y (N-S)	: 530301.20
MAKİNA TİPİ / Machine Type	:MD 300	KOORDİNAT / Coordinate X (E-W)	: 4502625.38
SONDAJ METODU / Method of Drilling	:ROTARY SULU	SONDAJ KOTU / Boring Elevation (m)	: 241.80
Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth (m)	:	BAŞLANGIÇ TARİHİ / Start Date	: 31.05.2018
YERALTISUYU DERİNLİĞİ / Groundwater Depth (m)	Derinlik -	Tarih 8.06.2018	-
	Derinlik -	Tarih 10.06.2018	-
		BİTİŞ TARİHİ / Finish Date	: 7.06.2018
		MUHENDİS / Engineer	: İSMAIL GÖNAN

Derinlik (m) Depth (m)	YAS Seviyesi (m) Groundwater Level	Numune Tipi ve No Sample Type & No.	Numune Derinliği Sample Depth (m)	YERİNDE DENEYLER / Insitu Tests						ZEMİN SINIFI	JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Profil Profile	KAYA ÖZELLİKLERİ							
				SPT DENeyi / Standart Penetration Test									Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Kırıklar / 30 cm Fractures / 30 cm	TCR (%) Core Recovery	SCR (%) Scraper	ROD (%) Rod		
				Darbe Sayısı Number of Blows		SPT - N Grafik Graph														
				0 - 15 (I)	15-30 (II)	30-45 (III)	N ₆₀ (Arz)	N ₆₀ (Düz.)	N ₆₀ -Düzeltilmiş 20 40 60 80											
161		CR-81									aşınmış,seyrek-orta kırıklı,süreksizlikler,apak,0-10-20 derece ,mat,pürüzlü, kapalı,1-2 mm kalsit dolgu	V _{Rod} V _A	161					100	100	95
162			162.00									V _{Rod} V _A	162							
163		CR-82										V _{Rod} V _A	163					100	100	90
164			164.00									V _{Rod} V _A	164							
165		CR-83										V _{Rod} V _A	165	I-II	I-II	12	100	100	100	
166			166.00									V _{Rod} V _A	166							
167		CR-84										V _{Rod} V _A	167					100	100	95
168			168.00									V _{Rod} V _A	168							
169		CR-85										V _{Rod} V _A	169					100	100	88
170			170.00								170.00-180.00 ANDEZİT Gri renkli,dayanımlı,aşınmış,seyrek-orta	V _{Rod} V _A	170							

KIVAM DURUMU / Stiffness (İnce taneli)	SİKLİK / Density (İri taneli)	ORANLAR / Proportions	Kaya Geçirgenliği / Rock Permeability	Ölçek / Scale
N=0-2 Çok yumuşak	N=0-4 Çok gevşek	%5 >	< 1 Lugeon:Gegirimsiz/Impervious	1/1
N=3-4 Yumuşak	N=5-10 Gevşek	%10-20 Az	1-5 Lugeon:Az Geçirimli/Less Pervious	Sondör / Driller
N=5-8 Orta Kati	N=11-30 Orta siki	%20-35 Çok	5-25 Lugeon:Gegirimli/Pervious	KAMİL AVCI
N=9-15 Kati	N=31-50 Siki	%35>	>25 Lugeon:çok Geçirimli/Much Pervious	Logu Yapan / By Log
N=16-30 Çok Kati	N=50 Çok siki			HILAL ALTUNTAŞ
N=30 Sert				Not / Note
AYRIŞMA / Weathering	DAYANIM / Strength	KIRIKLAR / 30 cm Fractures	KAYA KALİTESİ TANIMI/RQD	
I Taze (Ayrılmamış)	V Çok zayıf	1 Seyrek / Wide(W)	%0-25 Çok zayıf	Very Poor
II Az ayrılmış	IV Zayıf	1-2 Orta / Moderate (M)	%25-50 Kötu	Poor
III Orta derecede ayr.	II Orta	2 - 10 Sık / Close (Cl)	%50-75 Orta	Fair
IV Çok ayrılmış	II Dayanımlı	10-20 Çok Sık/Intense (I)	%75-90 İyi	Good
V Tamamen ayrılmış	I Çok Dayanımlı	>20 Parçali / Crushed(Cr)	%90-100 Çok iyi	Excellent

DOĞA MÜHÜRÜSÜZLÜK HİZMET İNŞAAT MAD. TİC. LTD. ŞTİ

TEMEL SONDAJ LOGU

BORING LOG

SONDAJ KUYU NO
Boring Number

ZSS-03A

Sondaj Derinliği (m)
Boring Depth (m)

226.00

SAYFA / Sheet No

18 / 23

PROJE ADI / Project Name : ZİGANA SERVİS SONDAJI-3A

LOKASYON / Site Location : SERVİS ŞAFTI

MAKİNA TİPİ / Machine Type : MD 300

SONDAJ METODU / Method of Drilling : ROTARY SULU

Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth (m) :

KOORDİNAT / Coordinate Y (N-S) : 530301.20

KOORDİNAT / Coordinate X (E-W) : 4502625.38

SONDAJ KOTU / Boring Elevation (m) : 241.80

BAŞLANGIÇ TARİHİ / Start Date : 31.05.2018

YERALTISUYU DERİNLİĞİ / Groundwater Depth (m)

Derinlik

Tarih

Derinlik

Tarih

BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 7.06.2018

MÜHENDİS / Engineer : İSMAIL GÜMAN

Derinlik (m)
Depth (m)

YAS Servisi (m)
Groundwater Level

Numune Tipi ve No
Sample Type & No

Numune Derinliği
Sample Depth (m)

0 - 15
(I)

15-30
(II)

30-45
(III)

N₆₀
(Arz)

N₆₀
(Düz.)

N₆₀-Düzeltilmiş
20 40 60 80

YERİNDE DENEYLER / Insitu Tests

SPT DENEYİ / Standart Penetration Test

Darbe Sayısı
Number of Blows

SPT - N Grafik
Graph

JEOTEKNİK TANIMLAMA
Geotechnical Description

Profil
Profile

Dayanım
Strength

Ayrışma
Ayrışma

Weathering

Kırıklar / 30 cm
Fracture / 30 cm

TCR (%)

Core Recovery

SCR (%)

RQD (%)

171

CR-86

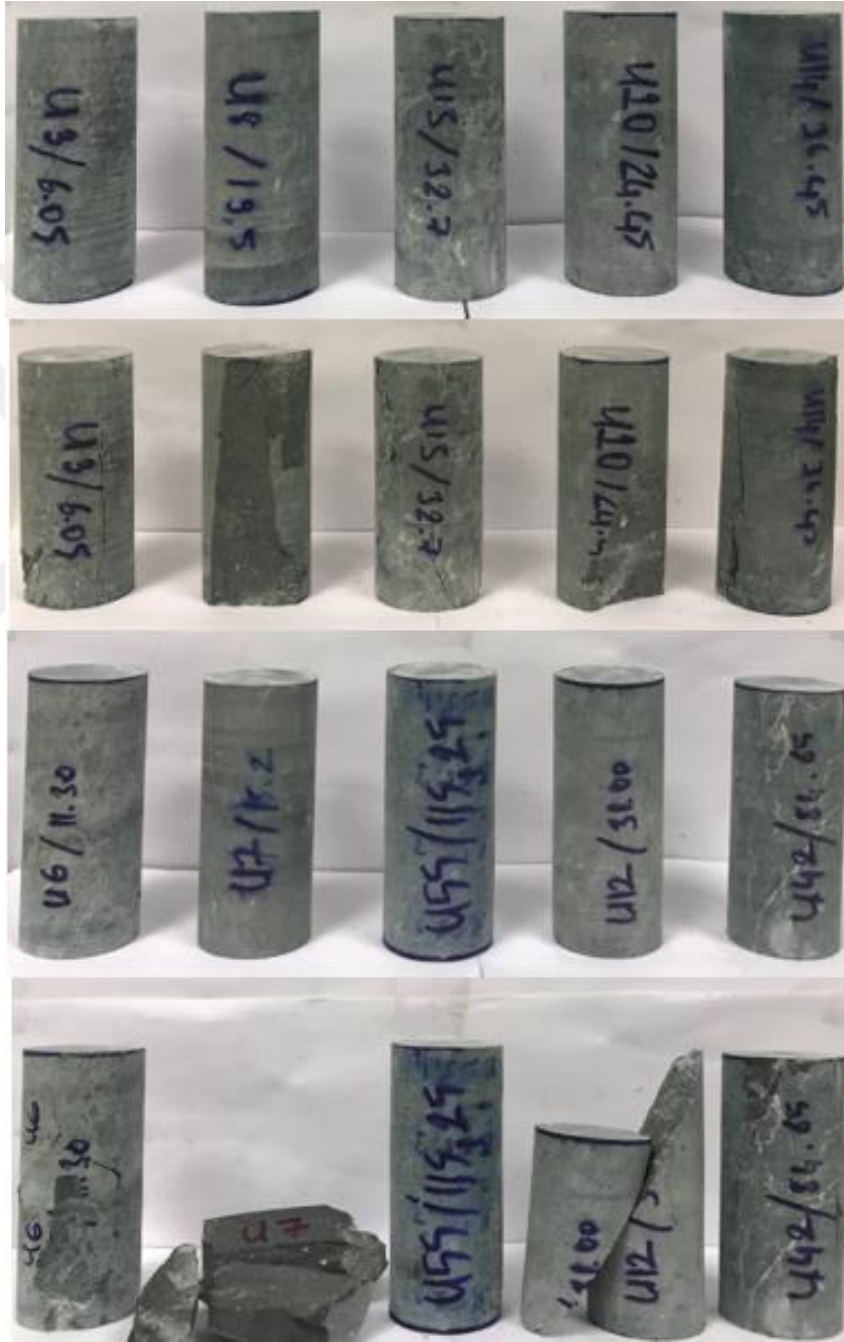
[illegible]

				TEMEL SONDAJ LOGU BORING LOG				SONDAJ KUYU NO Boring Number		ZSS-03A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
								Sondaj Derinliği (m) Boring Depth (m)		226.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
								SAYFA / Sheet No		23 / 23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
PROJE ADI / Project Name : ZİGANA SERVİS SONDAJI-3A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
LOKASYON / Site Location				:SERVİS ŞAFTI				KOORDİNAT / Coordinate Y (N-S)		: 530301.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
MAKİNA TİPİ / Machine Type				:MD 300				KOORDİNAT / Coordinate X (E-W)		: 4502625.38																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
SONDAJ METODU / Method of Drilling				:ROTARY SULU				SONDAJ KOTU / Boring Elevation (m)		: 241.80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth (m) :								BAŞLANGIÇ TARİHİ / Start Date		: 31.05.2018																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
YERALTISUYU DERİNLİĞİ / Groundwater Depth (m)				Derinlik	Tarih	Derinlik	Tarih	BİTİŞ TARİHİ / Finish Date		: 7.06.2018																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
				-	8.06.2018	-	10.06.2018	MÜHENDİS / Engineer		: İSMAIL GÜMAN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Derinlik (m) Depth (m)	YAS Seviyesi (m) Groundwater Level	Numune Tipi ve No Sample Type & No	Numune Derinliği Sample Depth (m)	YERİNDE DENEYLER / Insitu Tests				JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Profil Profile	KAYA ÖZELLİKLERİ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
				SPT DENEYİ / Standart Penetration Test						Dayanım Strength	Ayrışma Ayrışma	Kırıklar / 30 cm Fracture / 30 cm	TCR (%) Core Recovery	SCR (%)	ROD (%)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
				Darbe Sayısı Number of Blows		SPT - N Grafiği Graph																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
				0 - 15 (I)	15-30 (II)	30-45 (III)	N ₆₀ (Arz) (Düz.)									N ₆₀ -Düzeltilmiş 20 40 60 80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
ZEMİN SINIFI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
221.50-224.50 ANDEZİT Gri-Bej renkli, orta-zayıf dayanımlı, orta derecede ayrılmış, orta-sık kırıklı 223.50-224.50 m arası çok zayıf dayanımlı parçalı, süreksizlikler taşıyan, 0-10-20 derece açılı, mat, pürüzlü, kil dolgu, kapalı, 1-2 mm kalsit dolgu																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
224.50-226.00 ANDEZİT Açık renkli, ileri derece ayrılmış, çok zayıf dayanımlı, parçalı, kil ara tabakalı, kili seviyeler sondaj suyuyla yıkanarak ortamdaki uzaklaştırmıştır.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
222		CR-07		221.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				</

KIVAM DURUMU/ Softness (İnce taneli)			SIKLIK/ Density (İri taneli)			ORANLAR/ Proportions			Kaya Geçirgenliği/Rock Permeability	Ölçek / Scale	
N-0-2	Çok yumuşak	Very soft	N-0-4	Çok gevşek	Very loose	%5 >	Pek az	Slightly	< 1 Lugeon: Geçirimsiz/Impervious	1/1	
N-3-4	Yumuşak	Soft	N-5-10	Gevşek	Loose	%10-20	Az	Little	1-5 Lugeon: Az Geçirimli/Less Perivous	Sondör / Driller	
N-5-8	Orta katı	Middle stiff	N-11-30	Orta sıkı	Medium loose	%20-35	Çok	Very	5-25 Lugeon: Geçirimli/Perivous	KAMİL AVCI	
N-9-15	Katı	Stiff	N-31-50	Sıkı	Dense	%35>	Ve	And	>25 Lugeon: Çok Geçirimli/Much Perivous	Logu Yapan / By Log	
N-16-30	Çok Katı	Very stiff	N-50	Çok sıkı	Very dense						
N-30	Sert	Hard									
AYRIŞMA/ Weathering			DAYANIMI/ Strength			KIRIKLAR/ 30 cm Fractures			KAYA KALİTESİ TANIMI/RQD	HİLAL ALTUNTAŞ	
I	Taze (Ayrılmamış)	Fresh	V	Çok zayıf	Very Weak	1	Seyrek / Wide(W)		%0-25	Çok zayıf Very Poor	Not / Note
II	Az ayrılmış	Slightly W.	IV	Zayıf	Weak	1-2	Orta / Moderate (M)		%25-50	Kötü Poor	
III	Orta derecede ayr.	Moderately W.	III	Orta	Moderately Weak	2 - 10	Sık / Close (C)		%50-75	Orta Fair	
IV	Çok ayrılmış	Highly W.	I	Dayanımlı	Moderately Strong	10-20	Çok Sık/Intense (I)		%75-90	İyi Good	
V	Tamamen ayrılmış	Completely W.	I	Çok Dayanımlı	Strong	>20	Parçalı / Crushed(Cr)		%90-100	Çok İyi Excellent	

Şekil A.1(devam): Kuyu sondaj logu

EK B



Şekil B.1: UCS testi öncesi-sonrası numuneler.



Şekil B.1(devam): UCS testi öncesi-sonrası numuneler.



Şekil B.1(devam): UCS testi öncesi-sonrası numuneler.



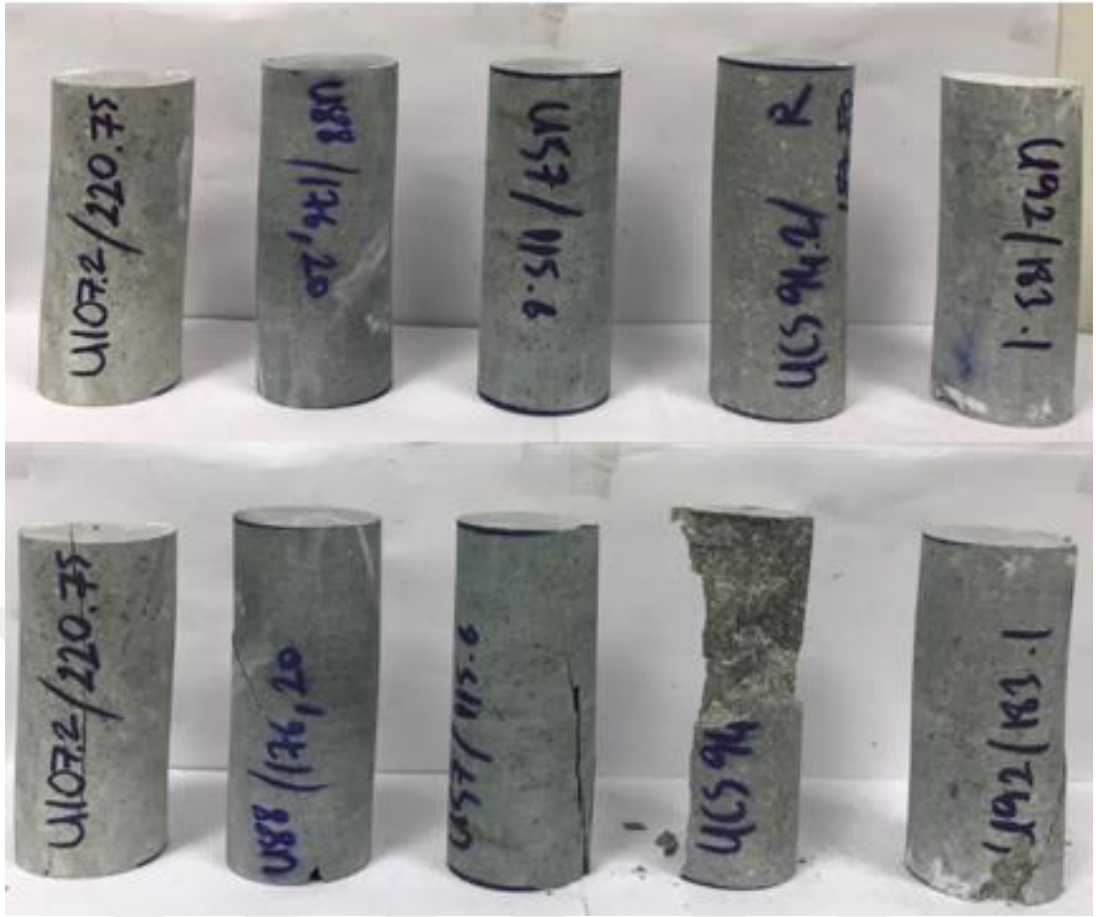
Şekil B.1(devam): UCS testi öncesi-sonrası numuneler.



Şekil B.1(devam): UCS testi öncesi-sonrası numuneler.



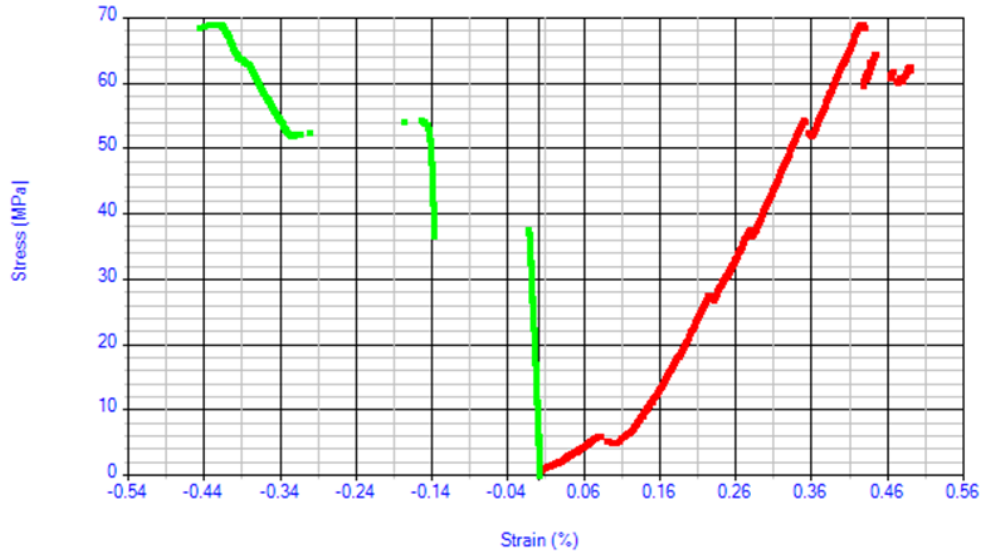
Şekil B.1(devam): UCS testi öncesi-sonrası numuneler.



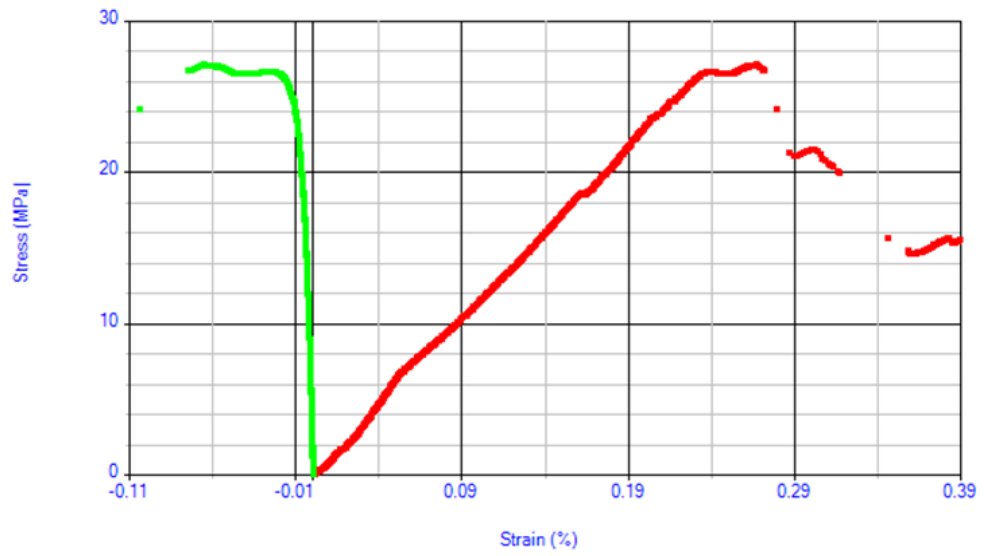
Şekil B.1(devam): UCS testi öncesi-sonrası numuneler.



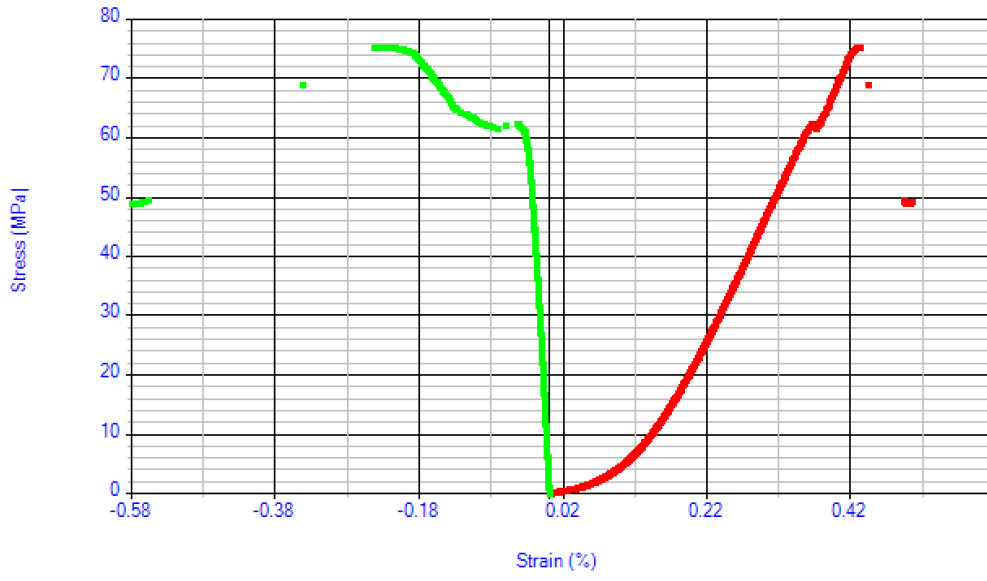
EK C



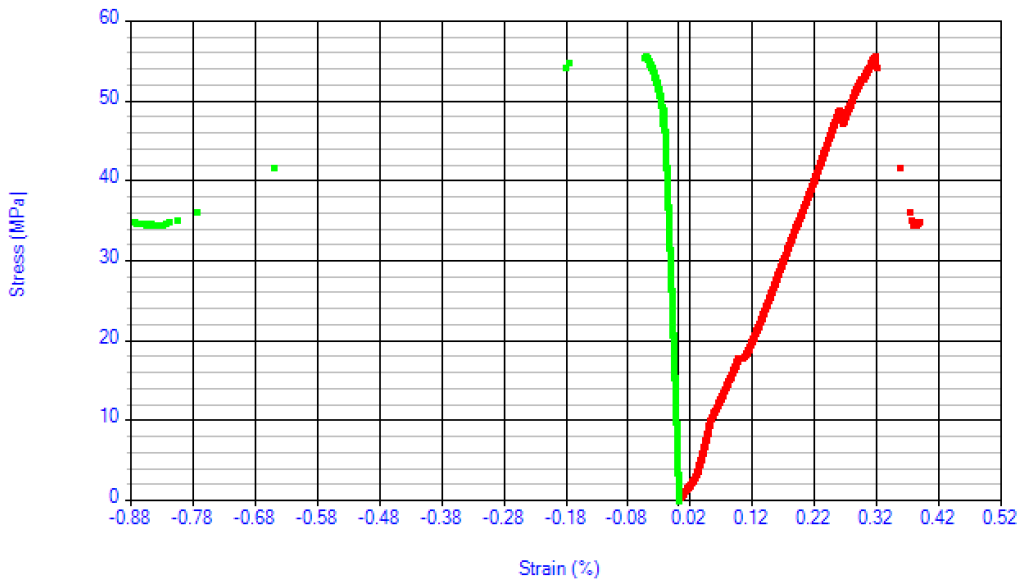
Şekil C.1: U2.1 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



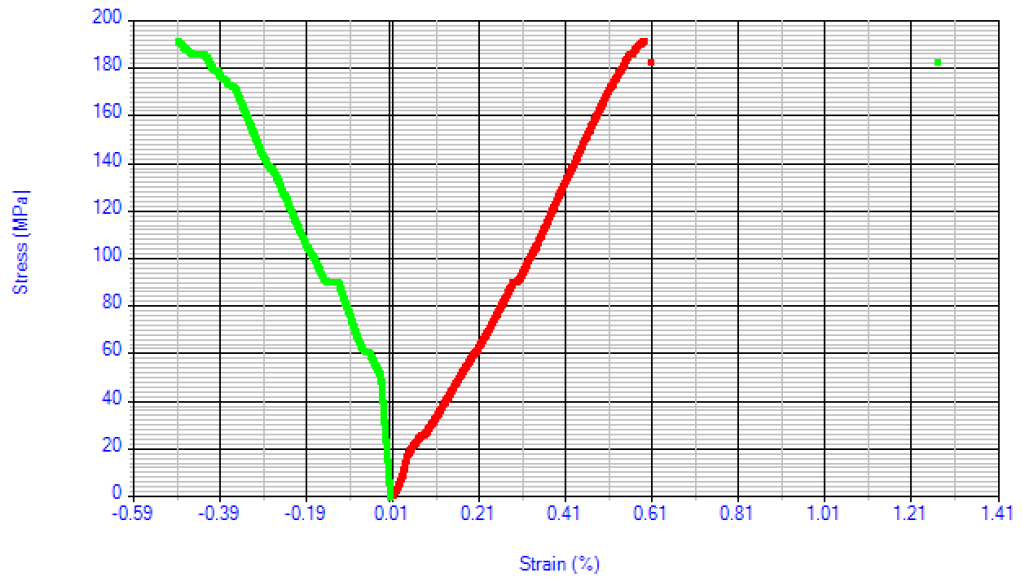
Şekil C.2: U2.2 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



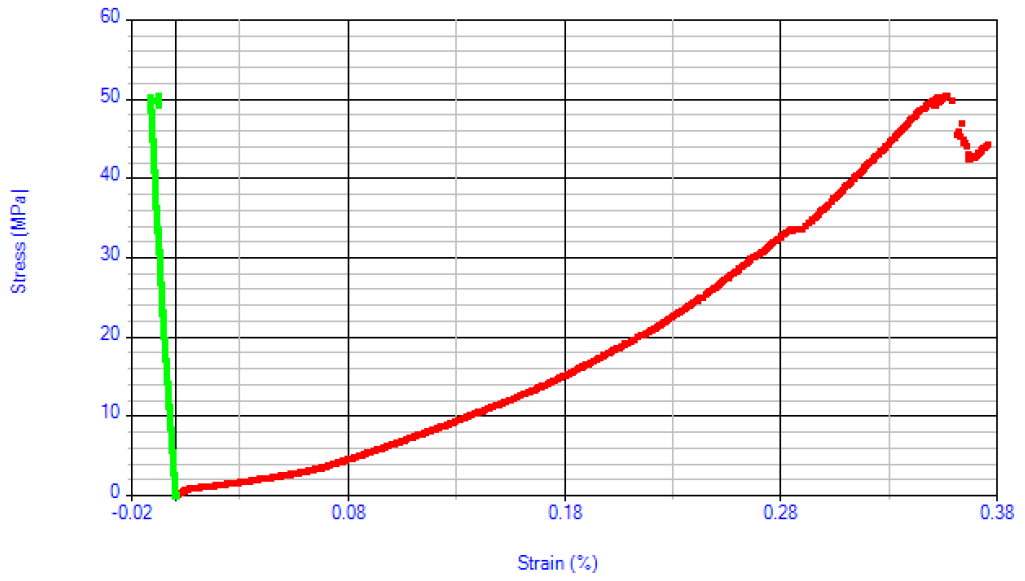
Şekil C.3: U3 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



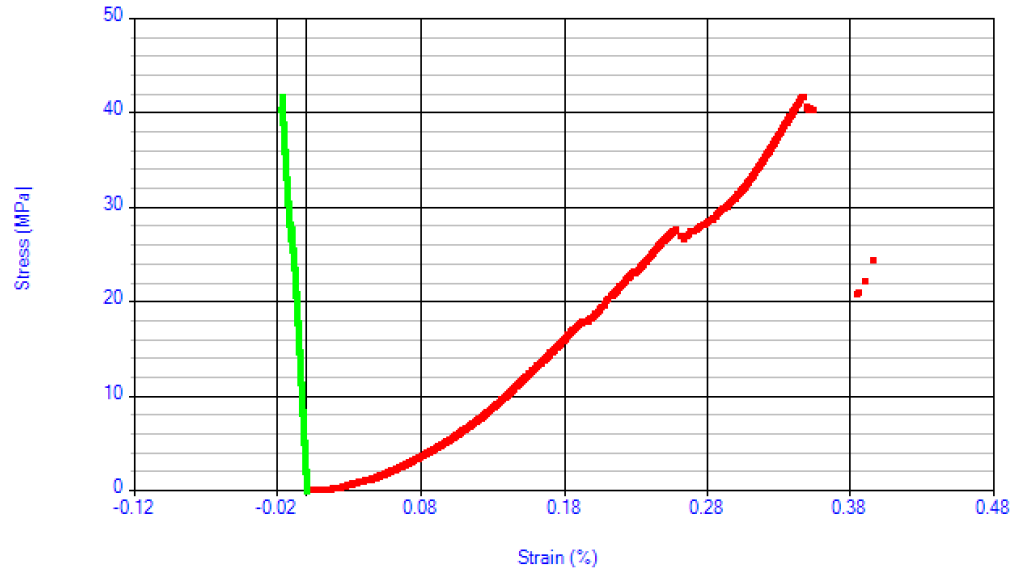
Şekil C.4: U6 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



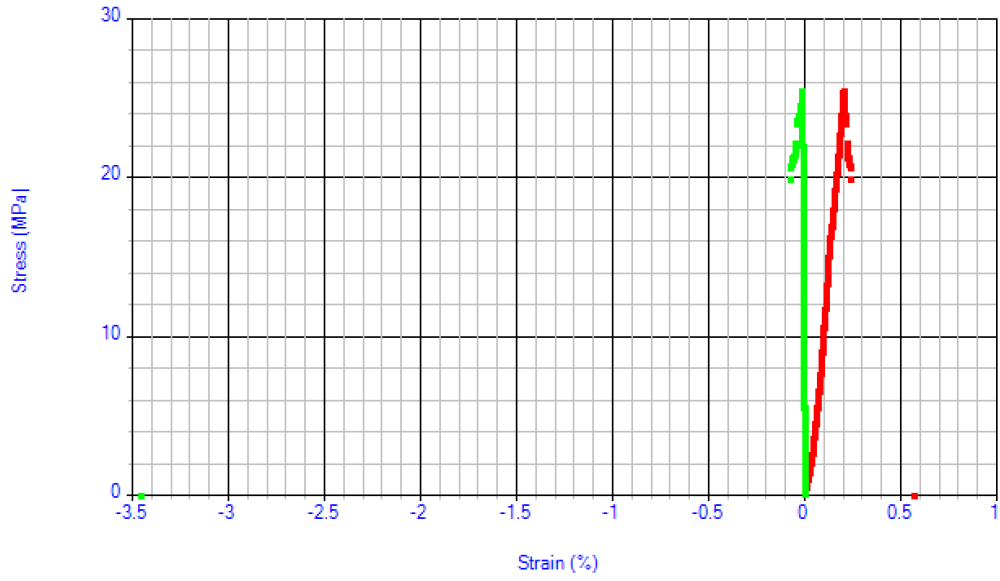
Şekil C.5: U7 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



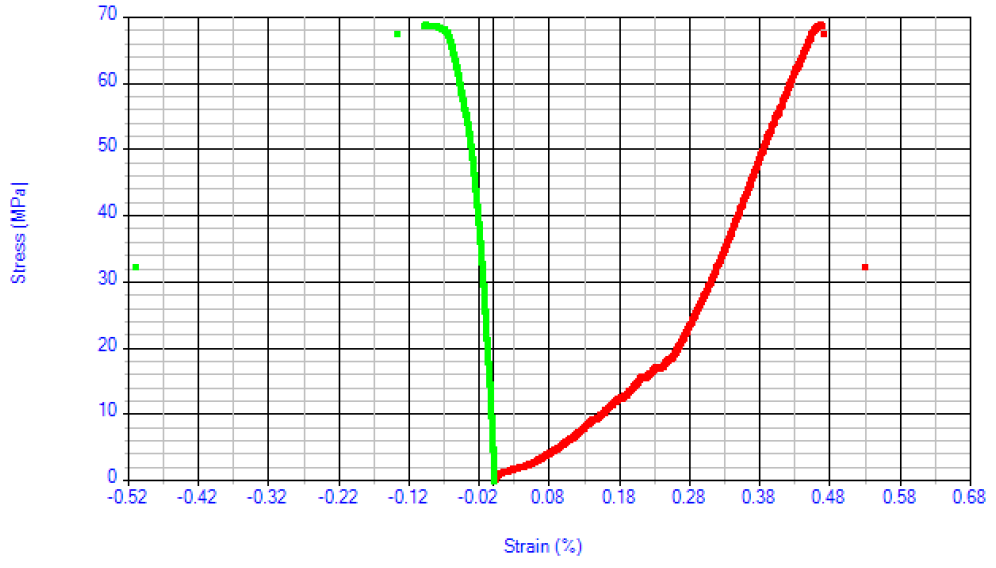
Şekil C.6: U8 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



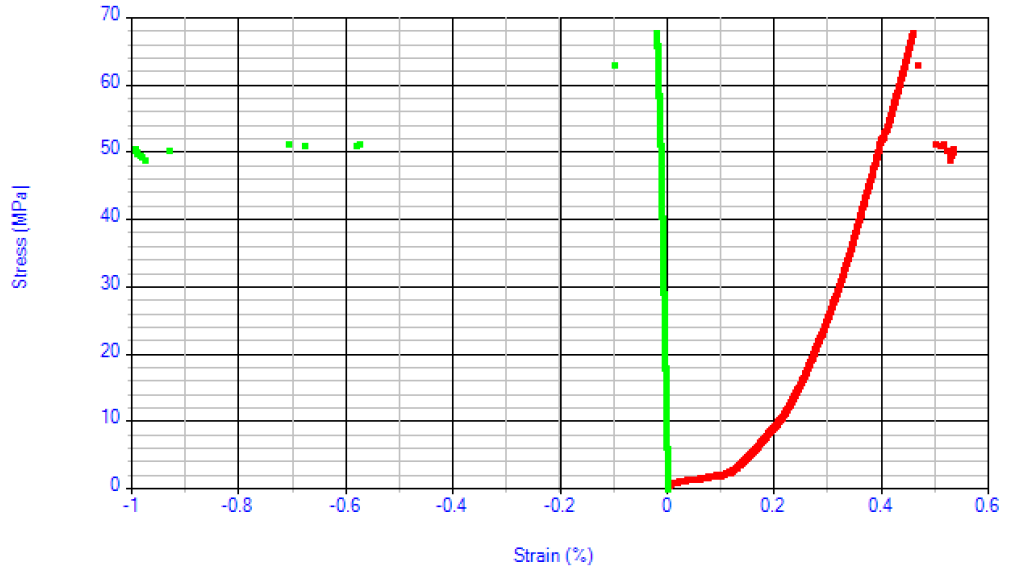
Şekil C.7: U10 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



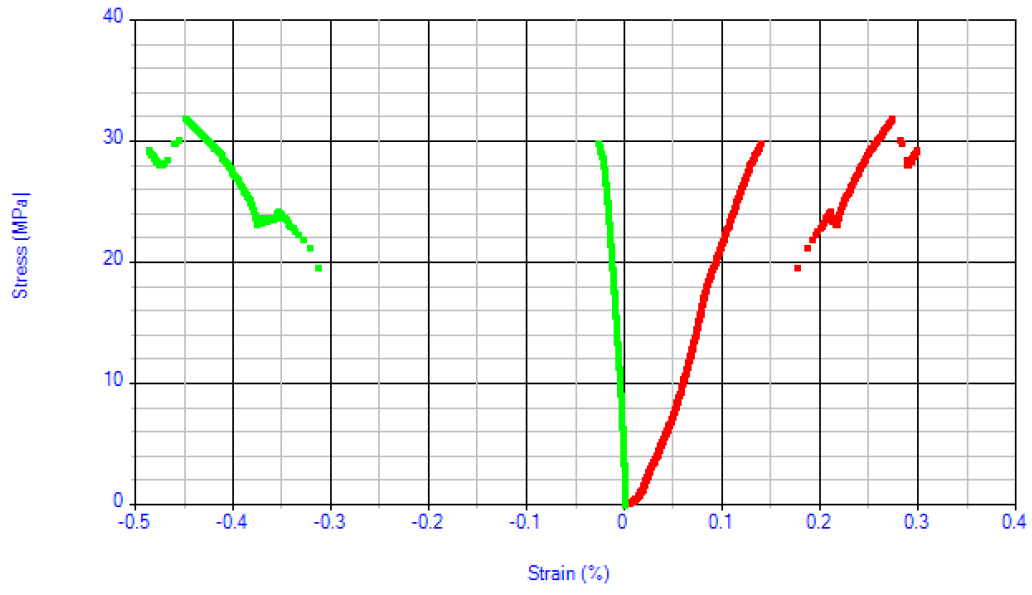
Şekil C.7: U12 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



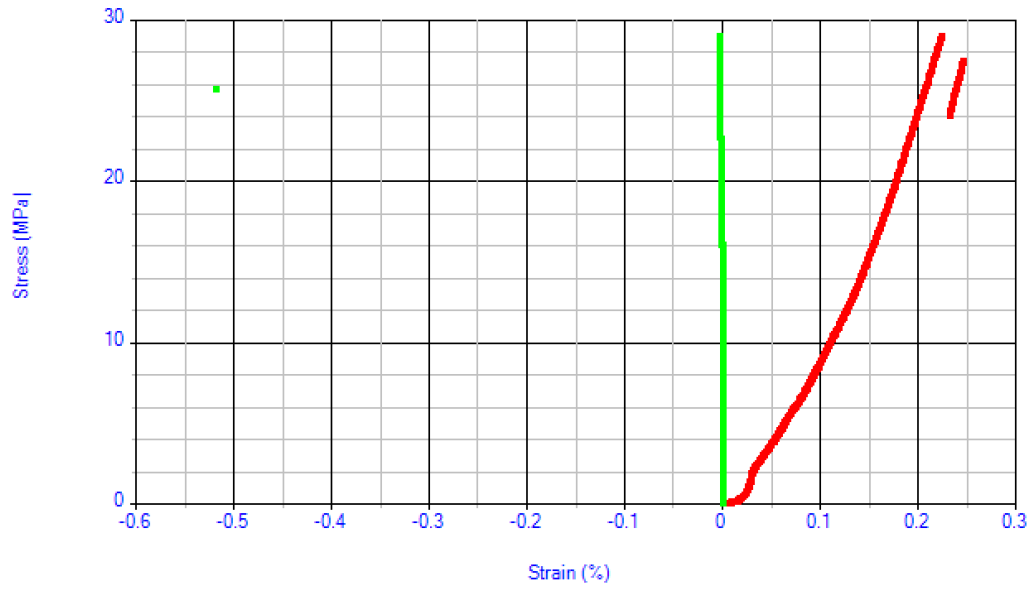
Şekil C.8: U13 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



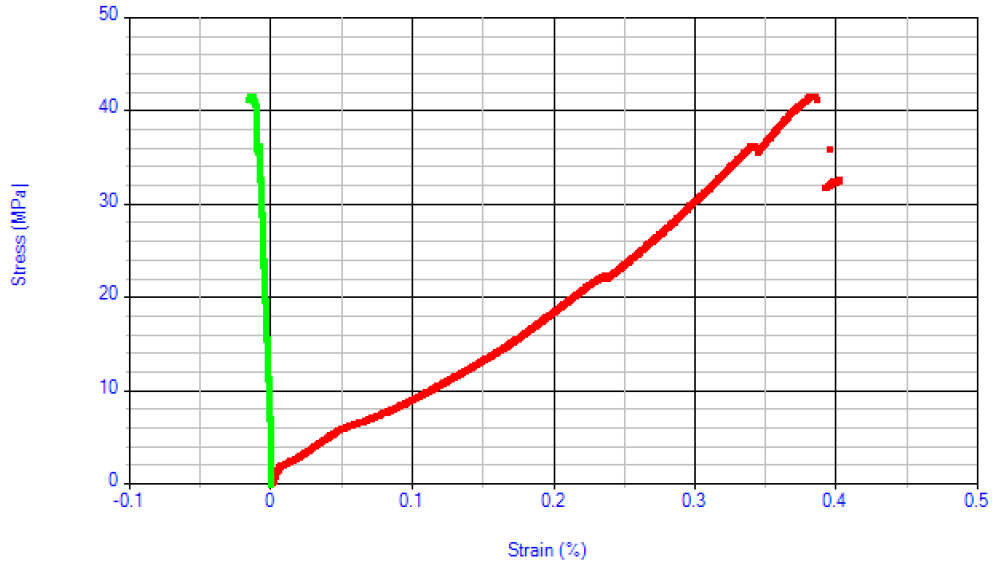
Şekil C.10: U14 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



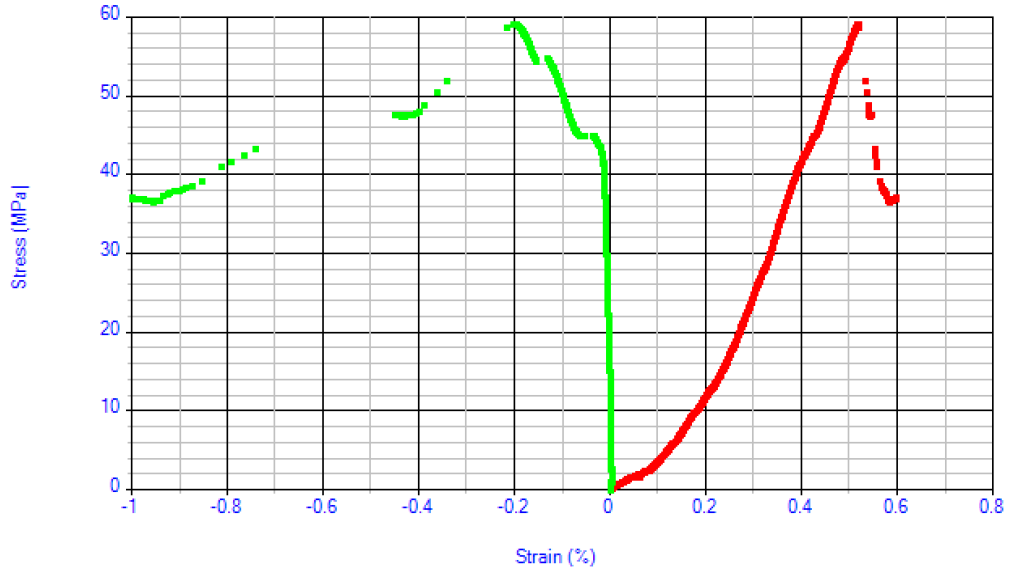
Şekil C.11: U15 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



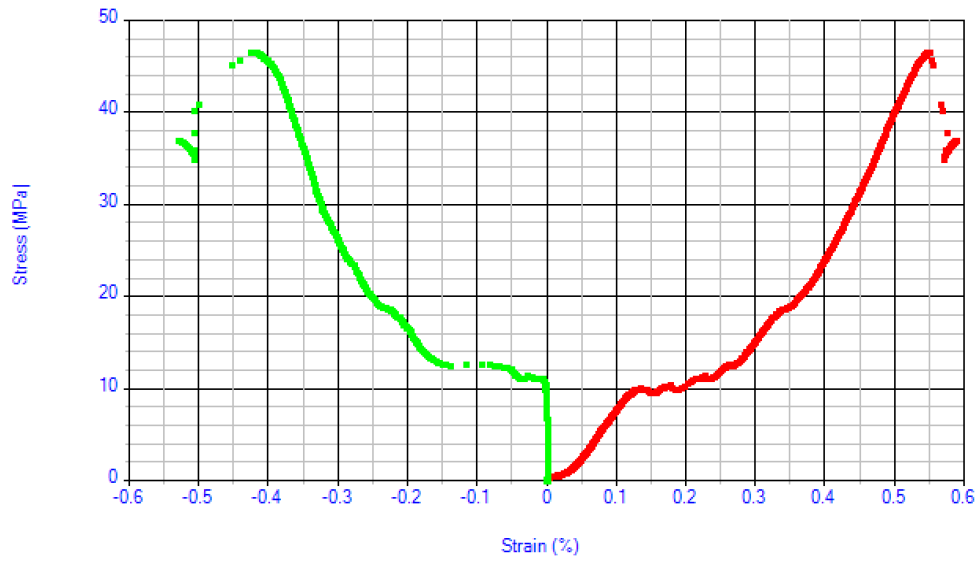
Şekil C.12: U20 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



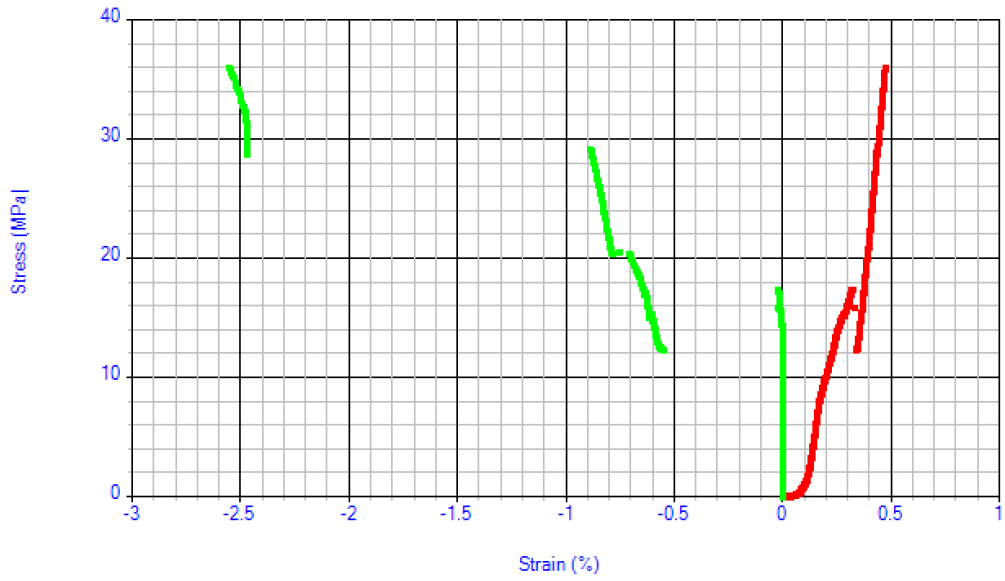
Şekil C.13: U22 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



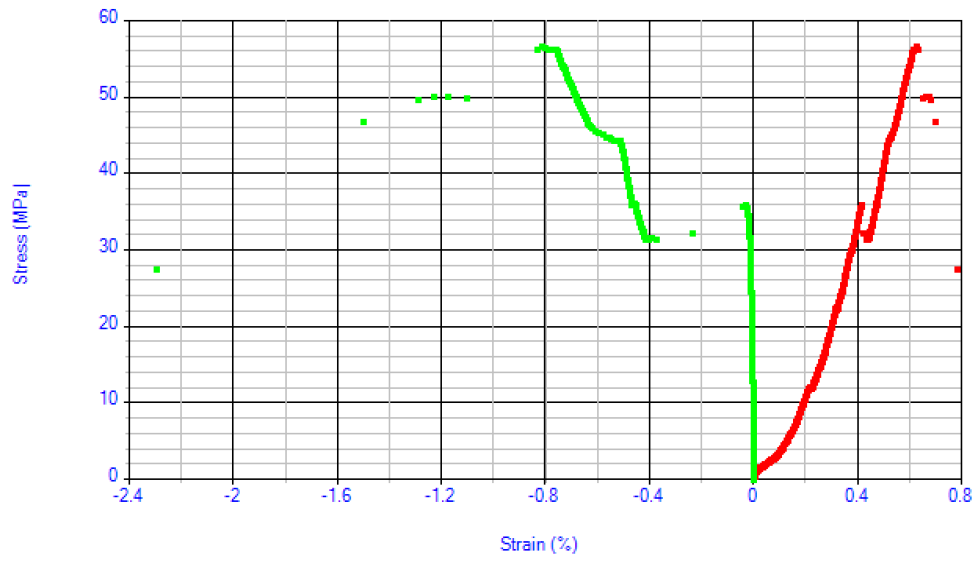
Şekil C.14: U27 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



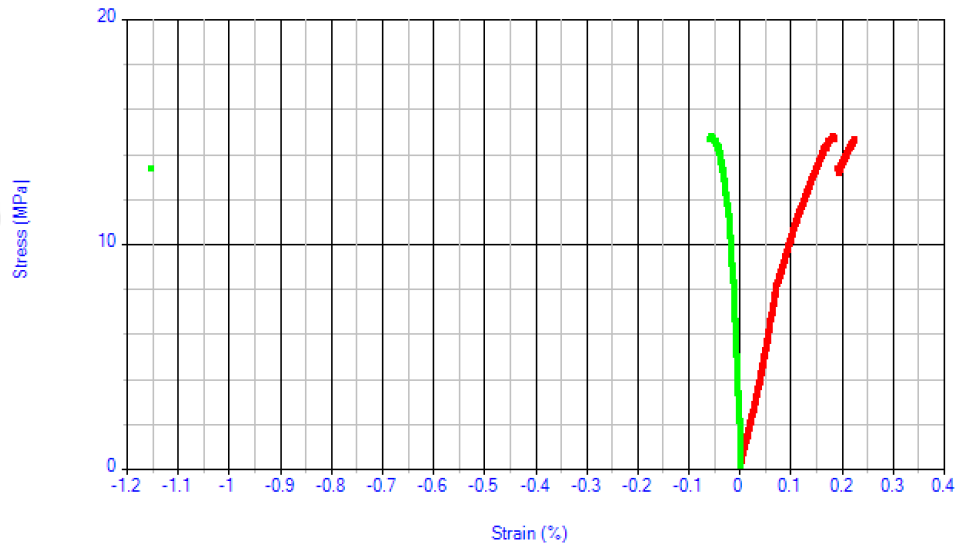
Şekil C.15: U31 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



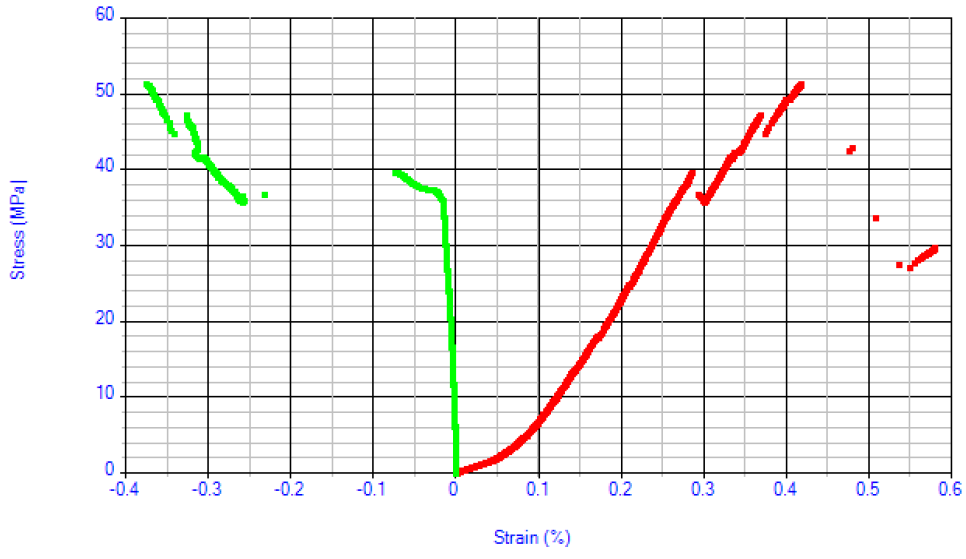
Şekil C.16: U35.2 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



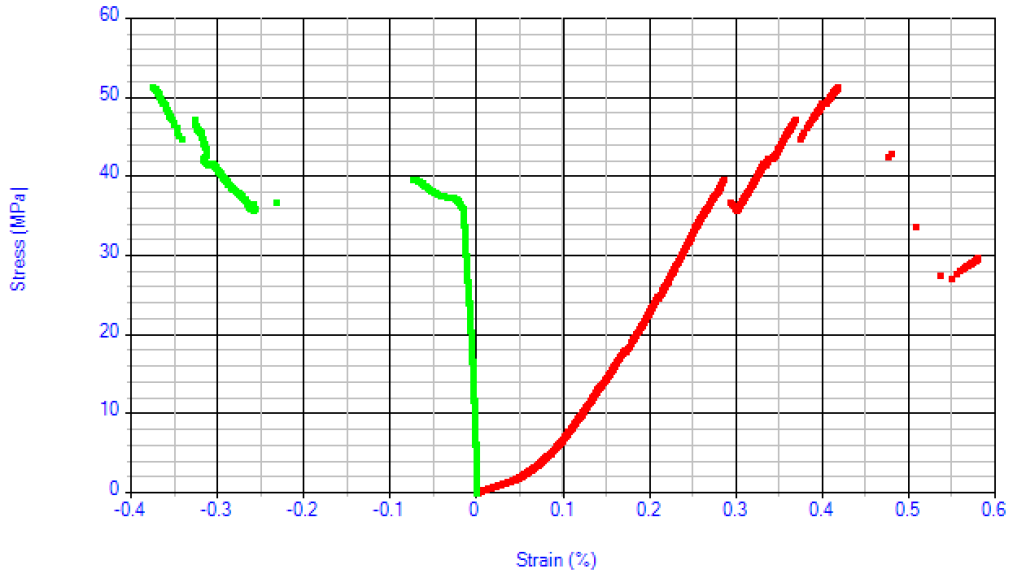
Şekil C.17: U39 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



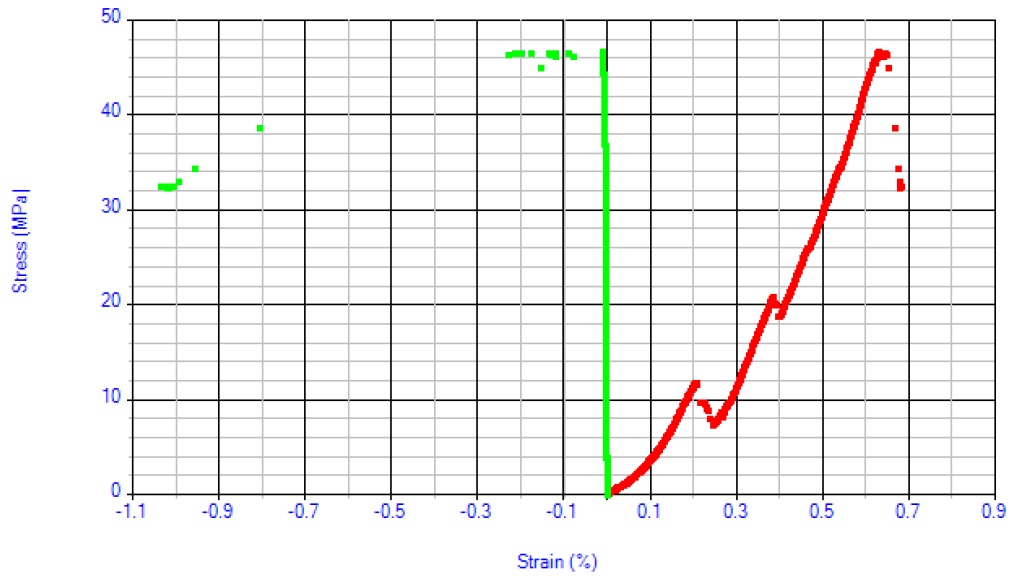
Şekil C.17: U40 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



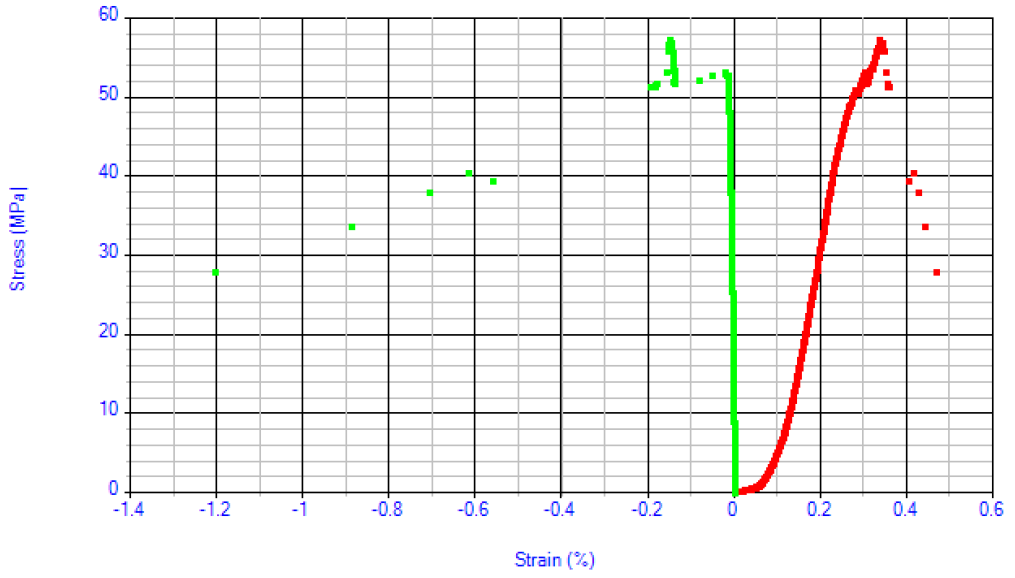
Şekil C.18: U41 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



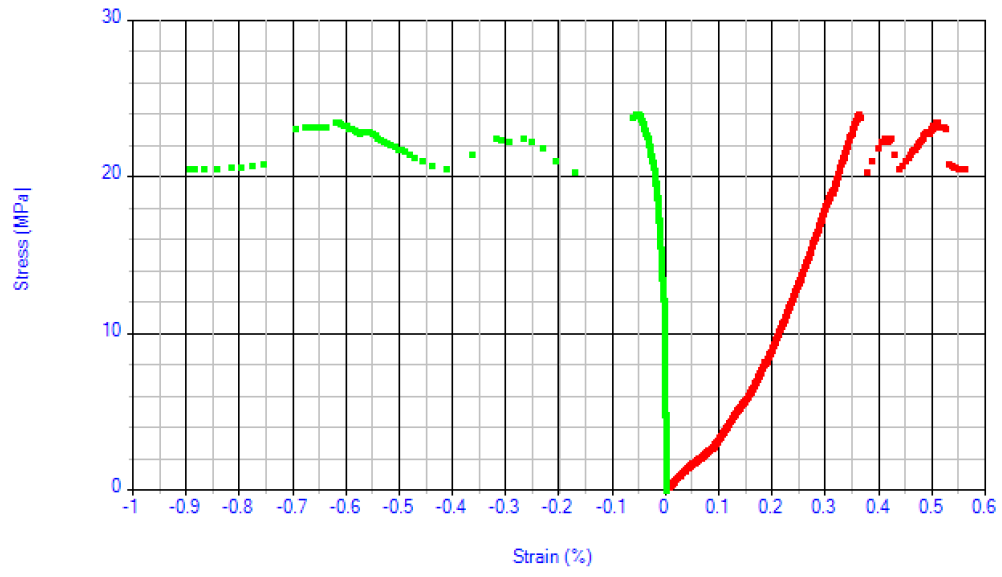
Şekil C.19: U42 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



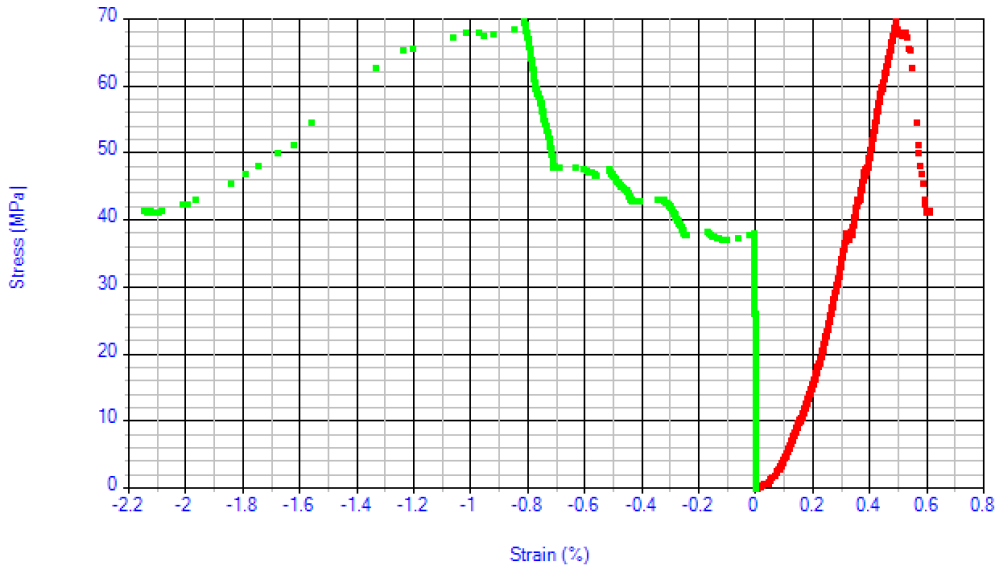
Şekil C.20: U43 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



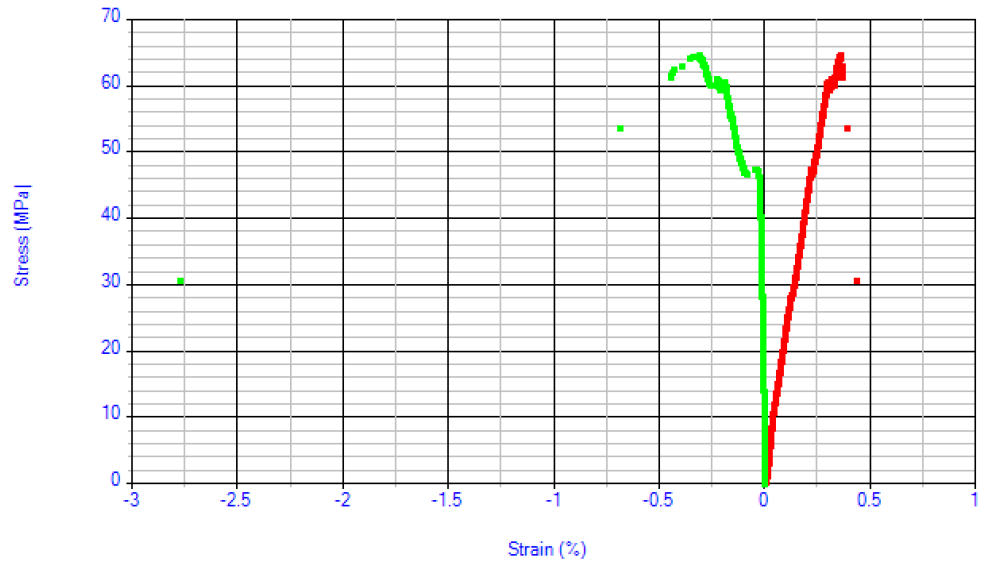
Şekil C.21: U45 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



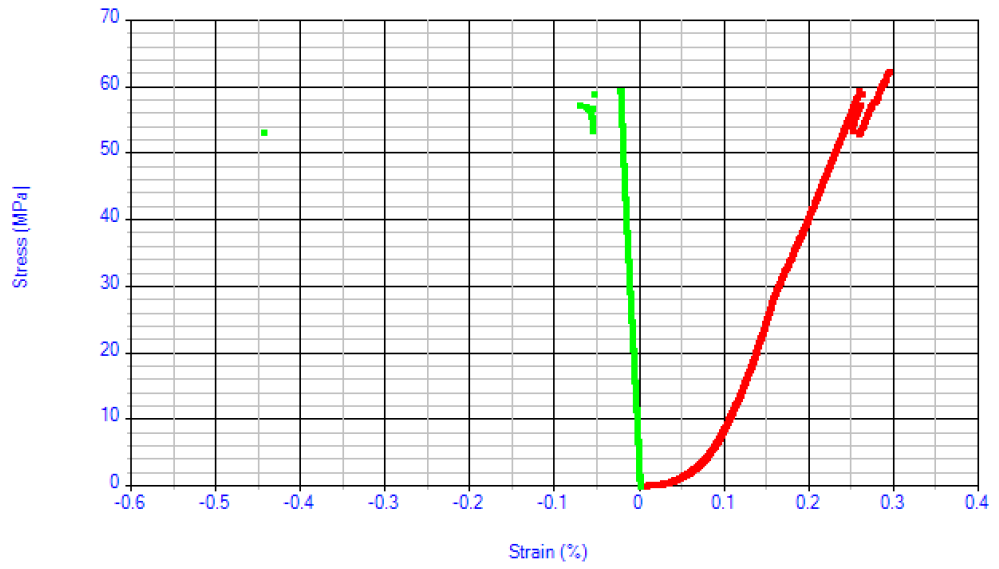
Şekil C.22: U48 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



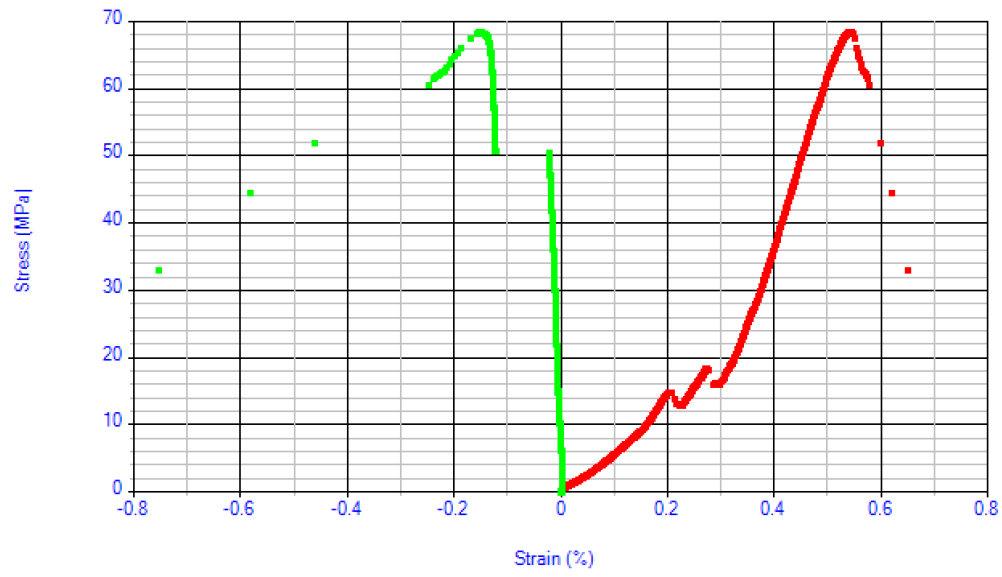
Şekil C.23: U50 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



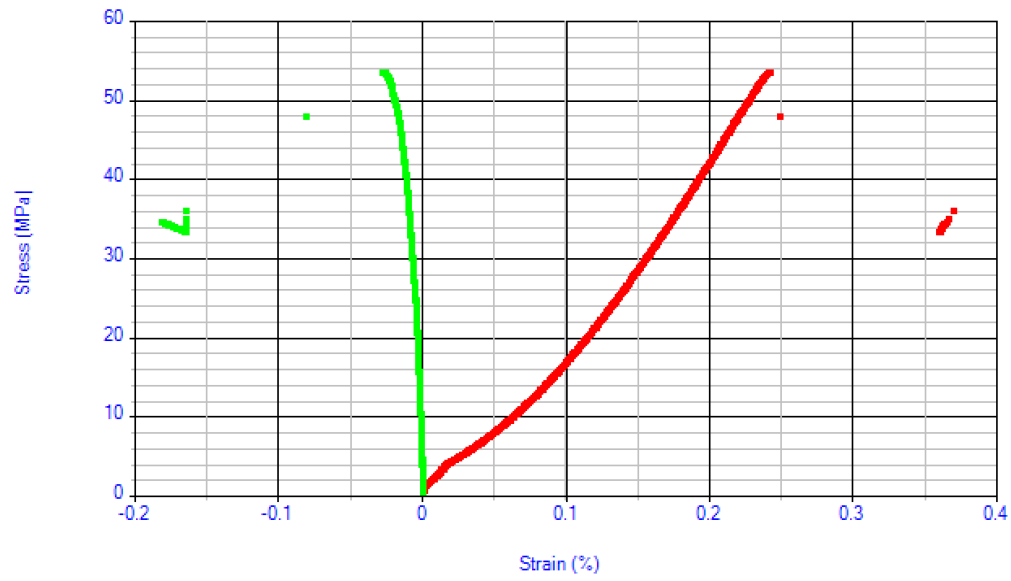
Şekil C.24: U51.1 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



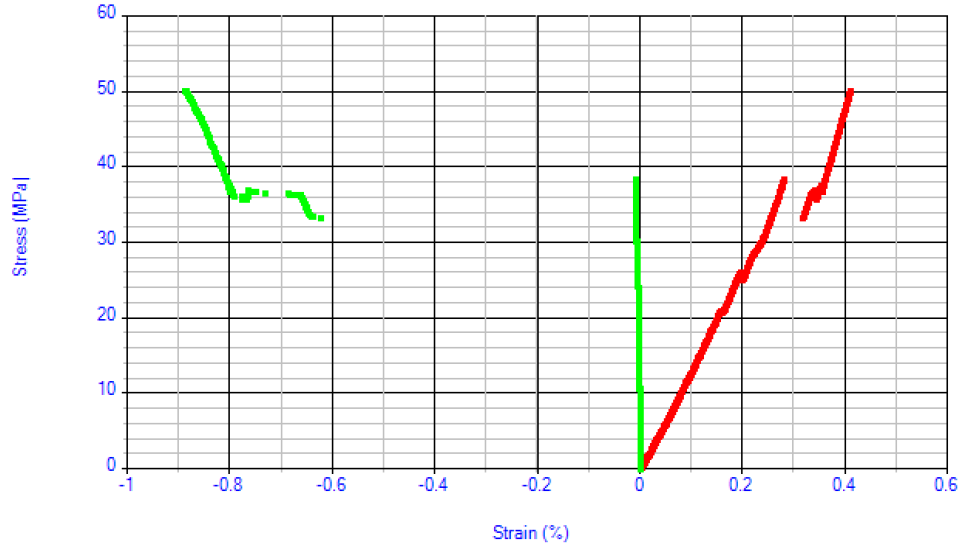
Şekil C.25: U51.2 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



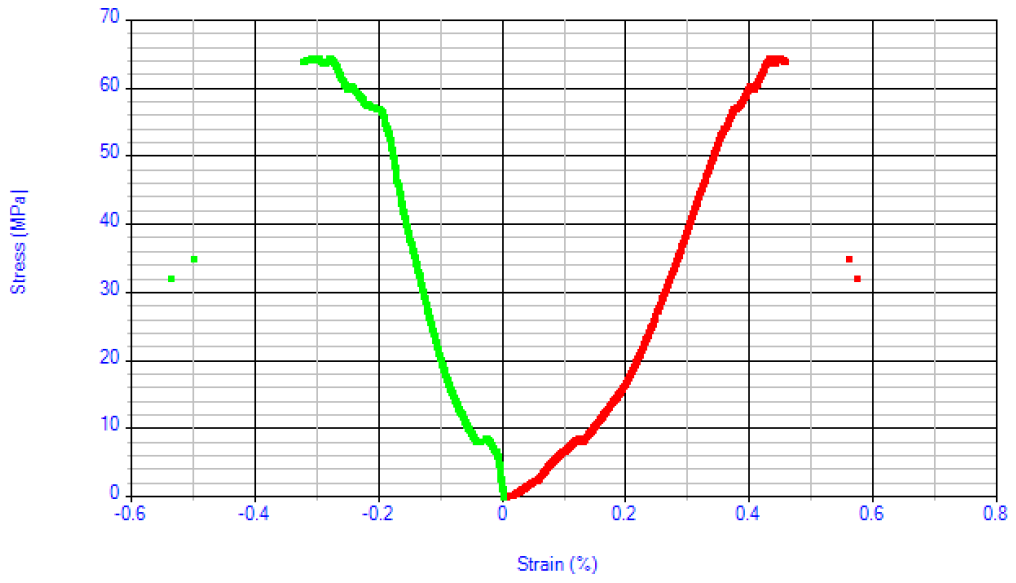
Şekil C.26: U54 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



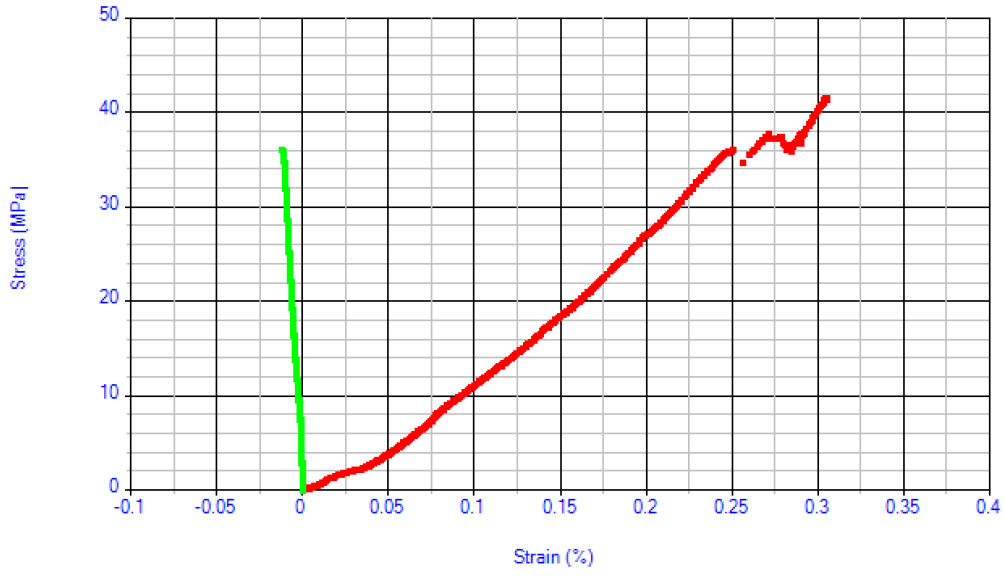
Şekil C.27: U55 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



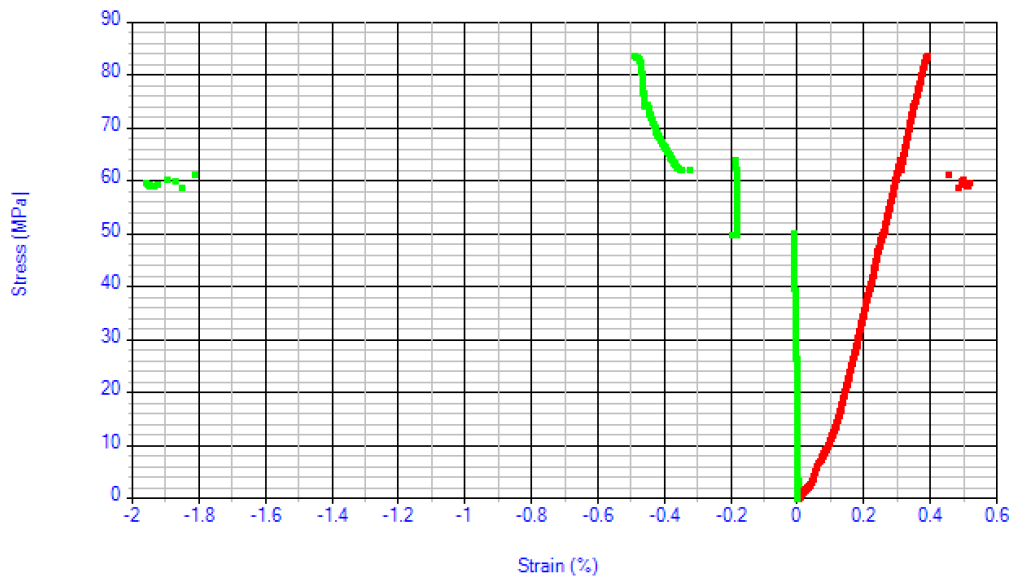
Şekil C.28: U57 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



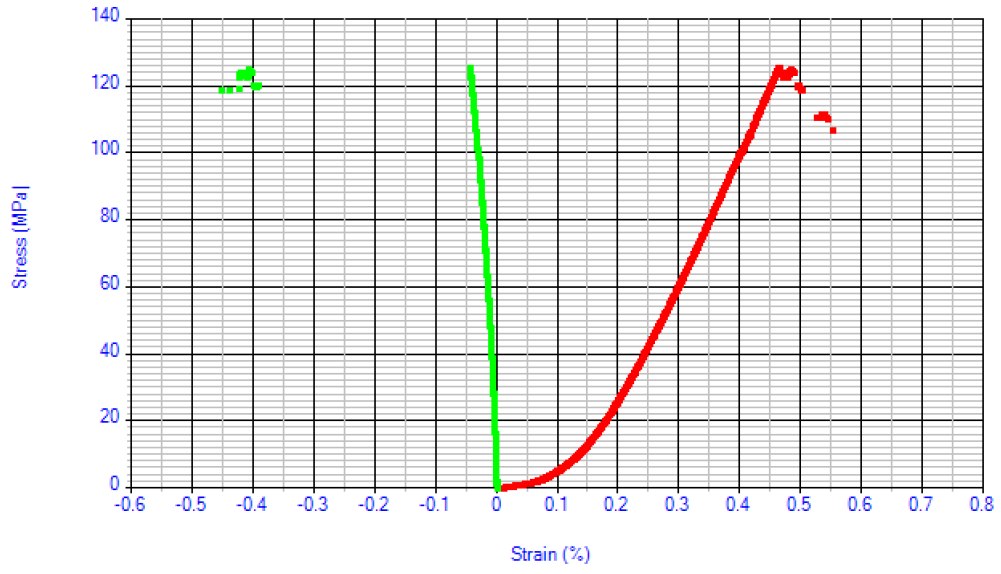
Şekil C.29: U59 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



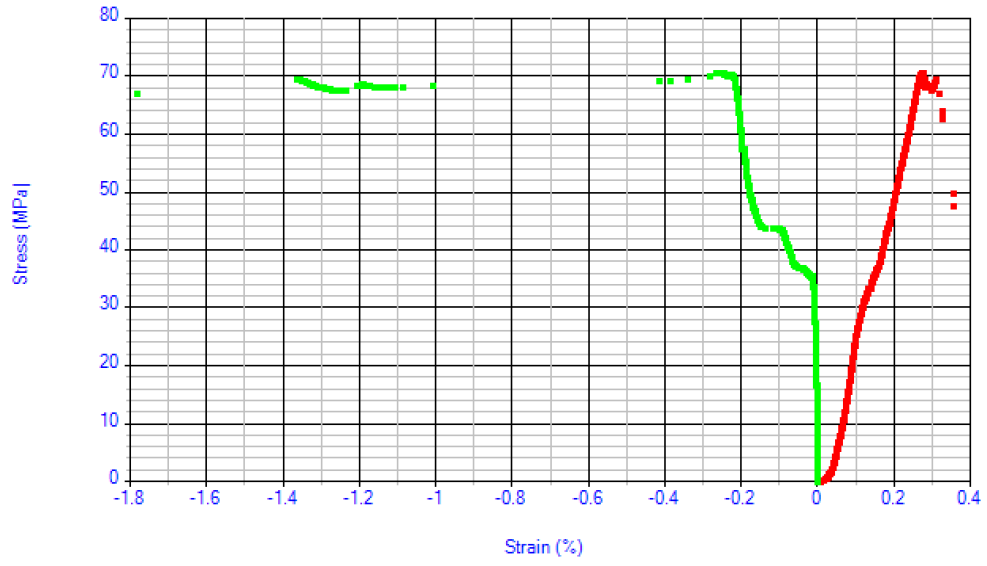
Şekil C.30: U61 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



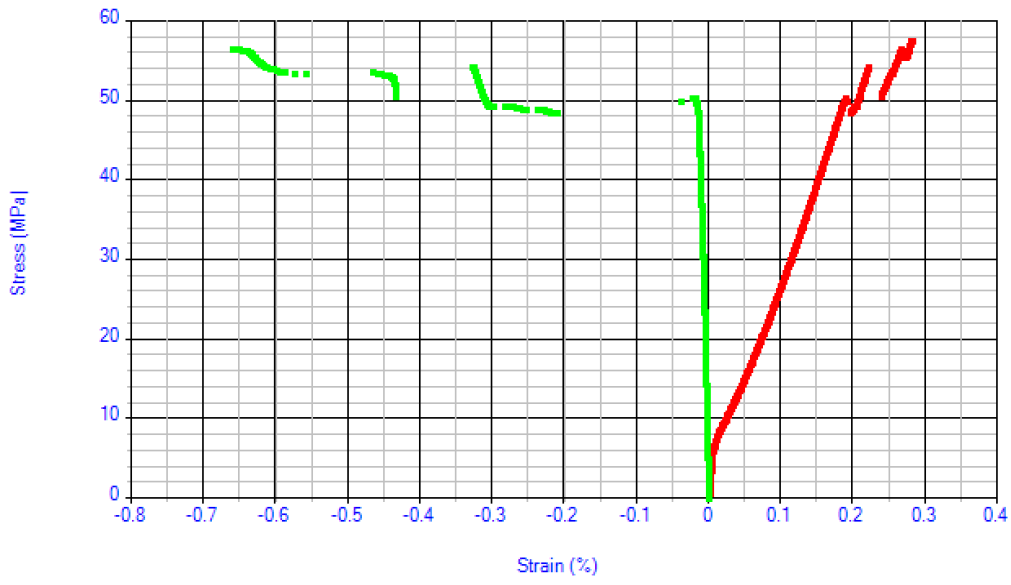
Şekil C.31: U63 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



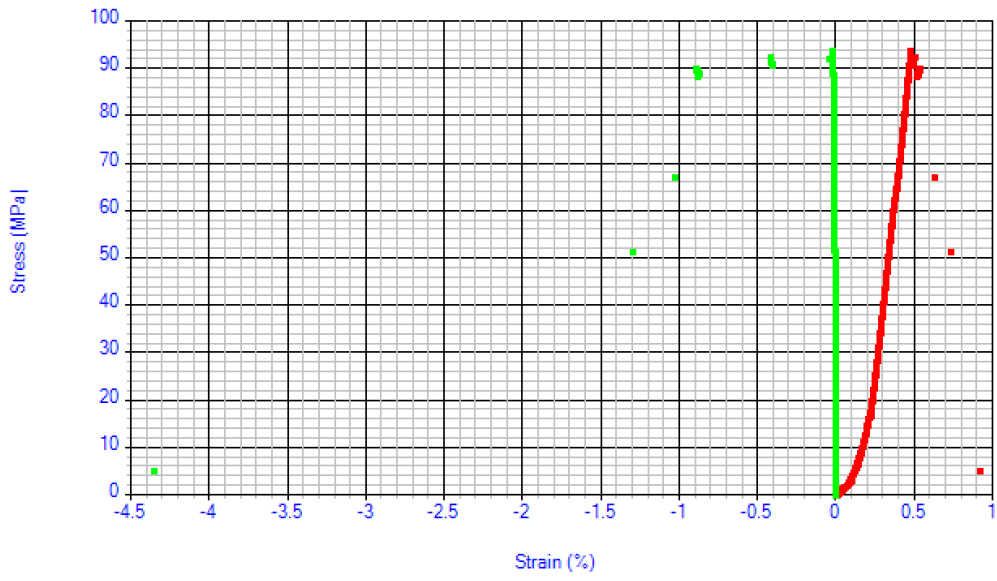
Şekil C.32: U64 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



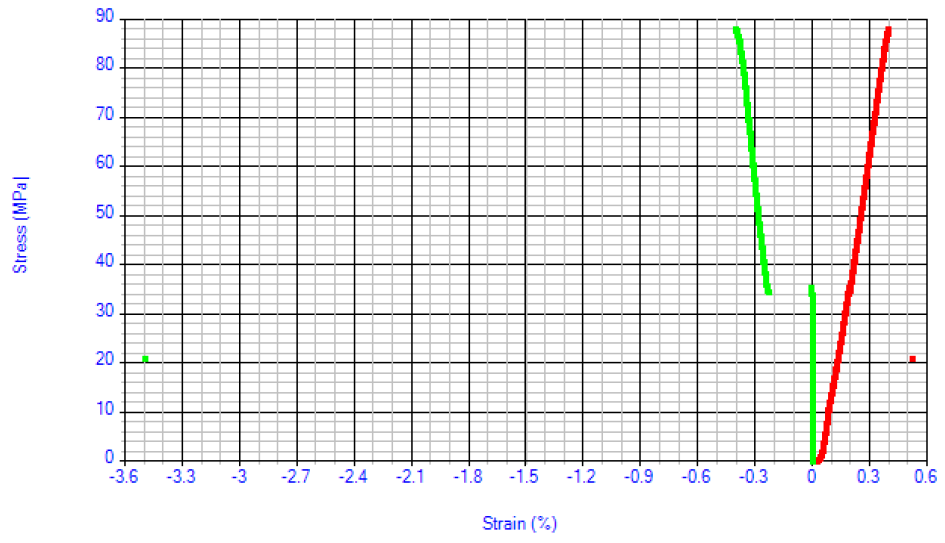
Şekil C.33: U67 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



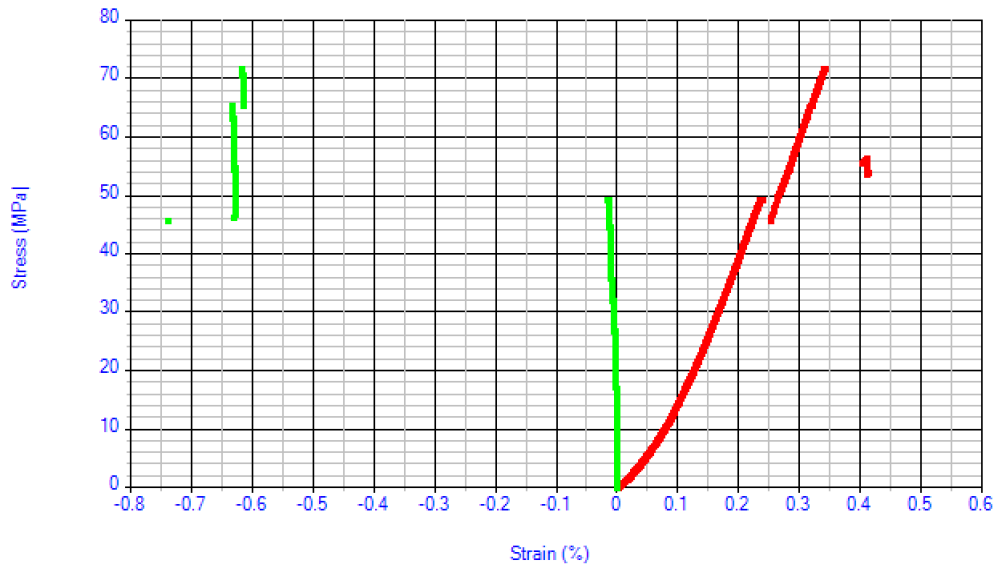
Şekil C.34: U70 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



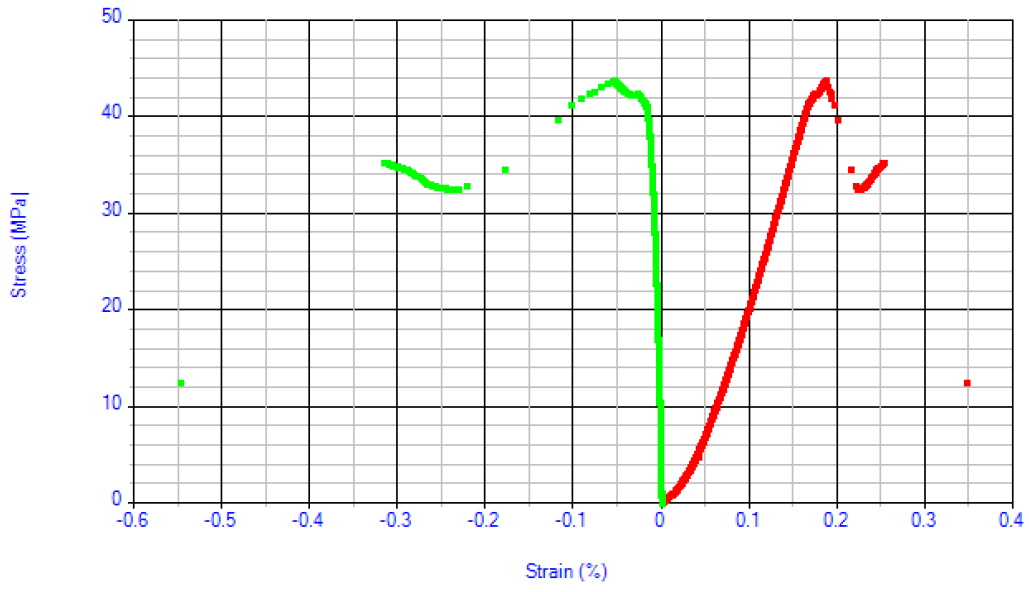
Şekil C.35: U71 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



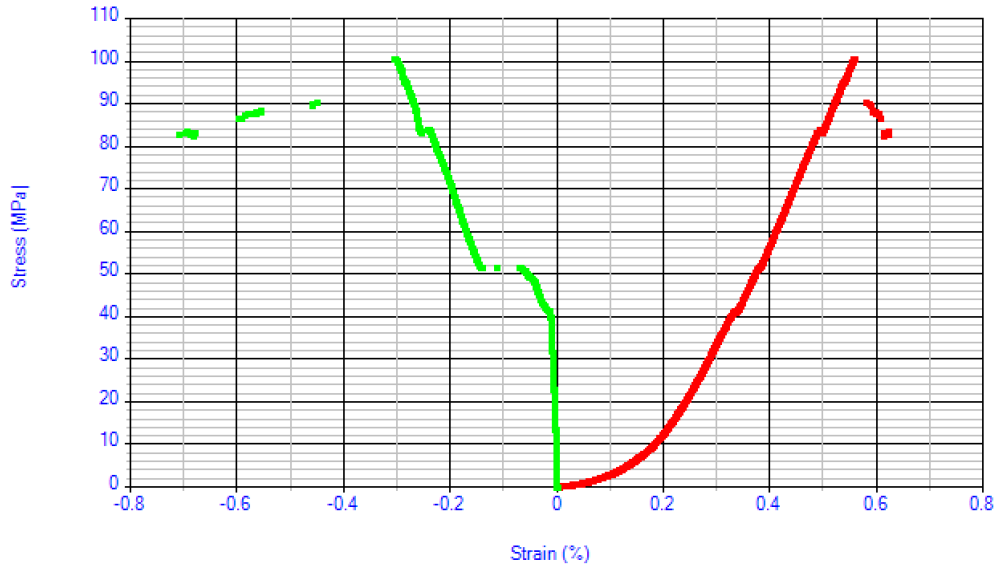
Şekil C.36: U73 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



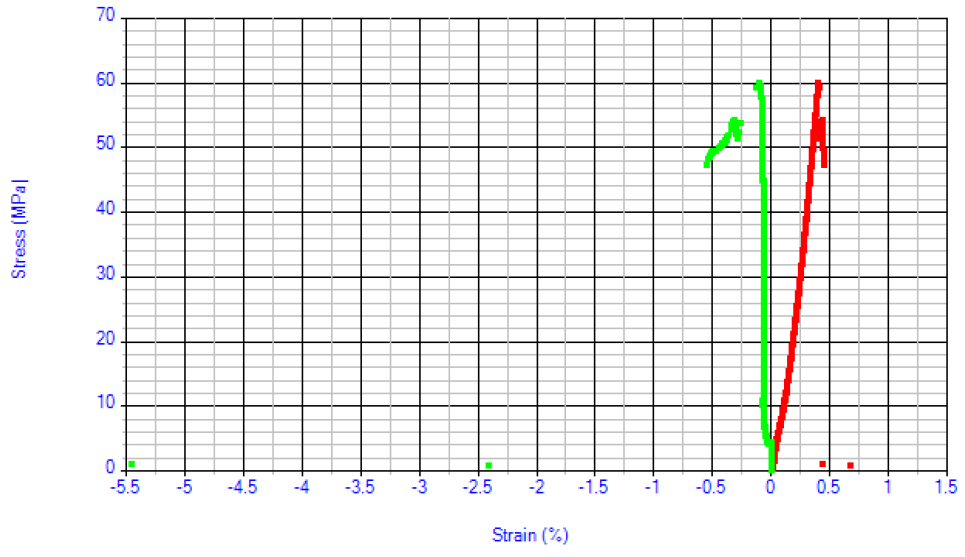
Şekil C.37: U75 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



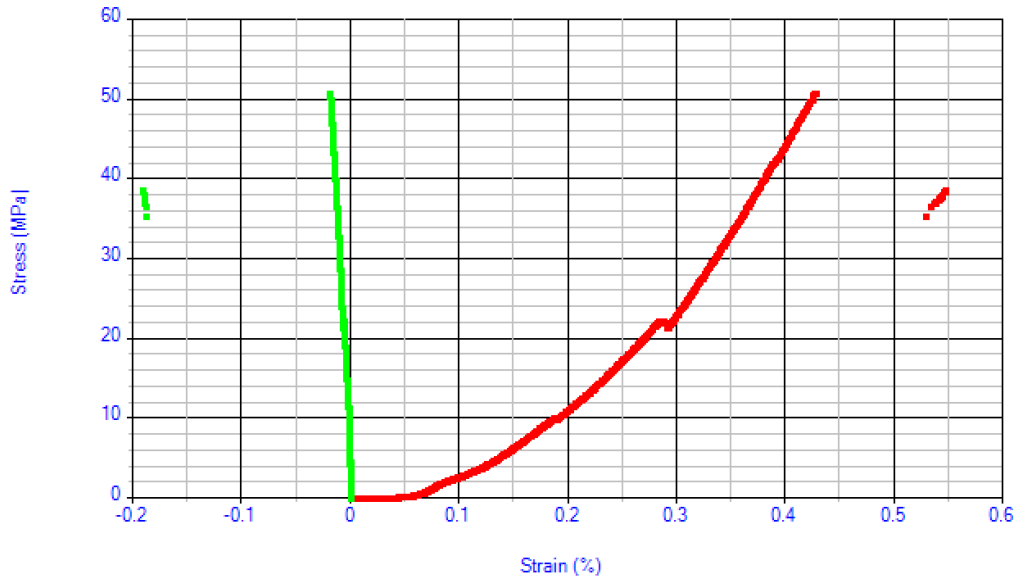
Şekil C.38: U77 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



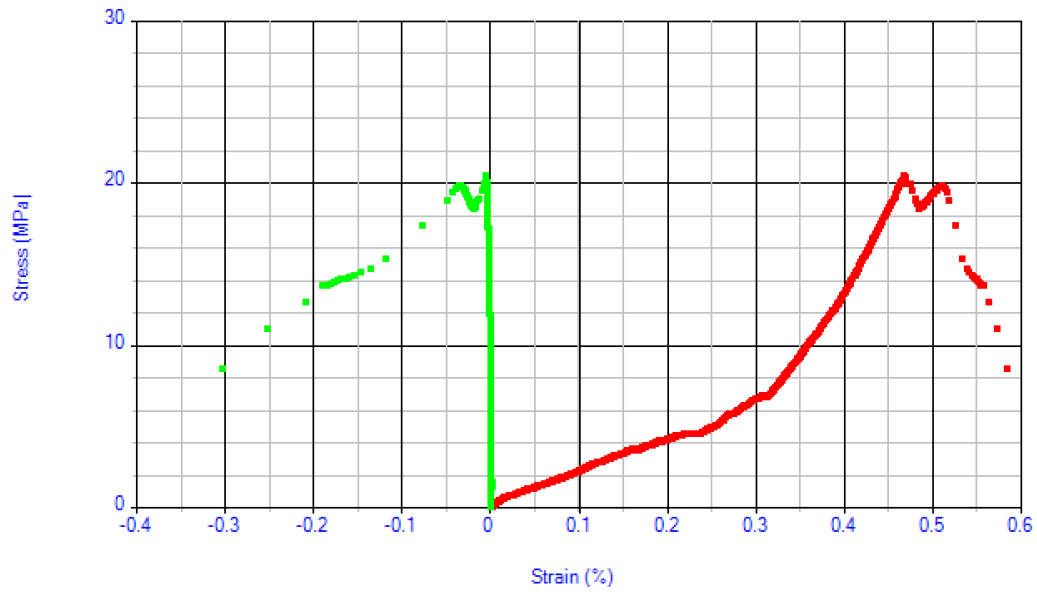
Şekil C.39: U78 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



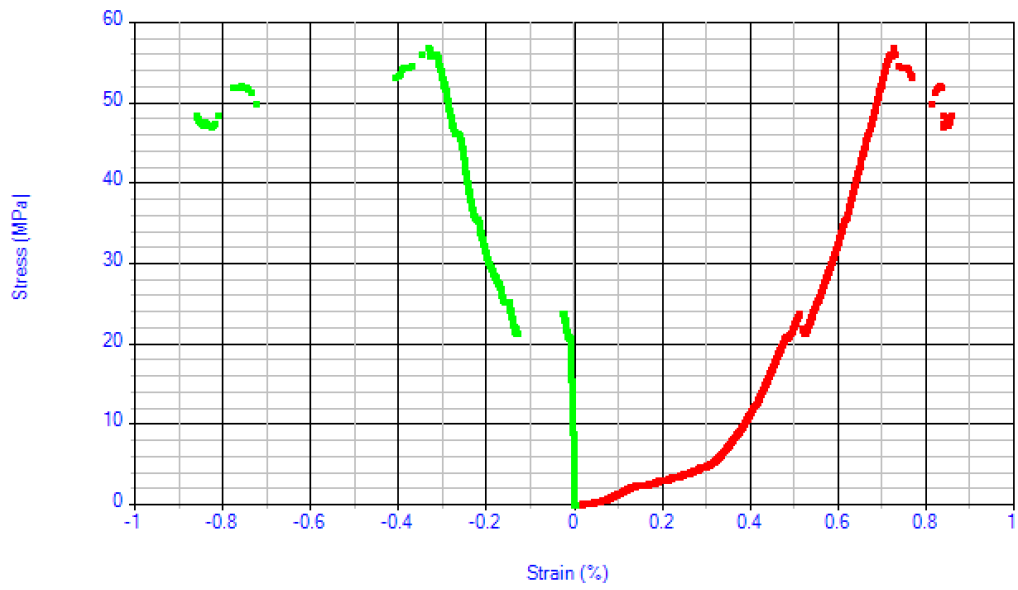
Şekil C.40: U79 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



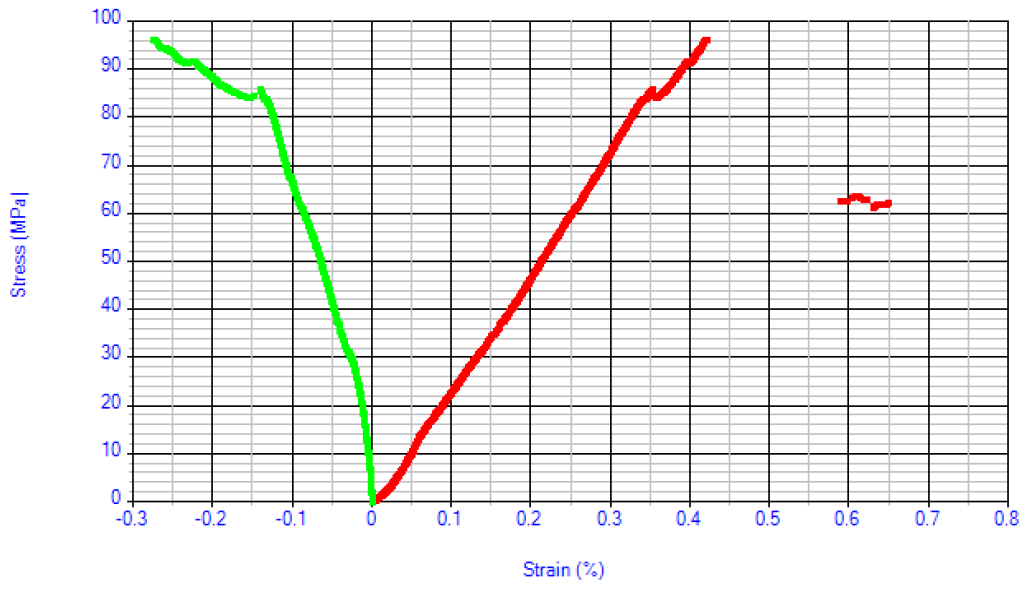
Şekil C.41: U81 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



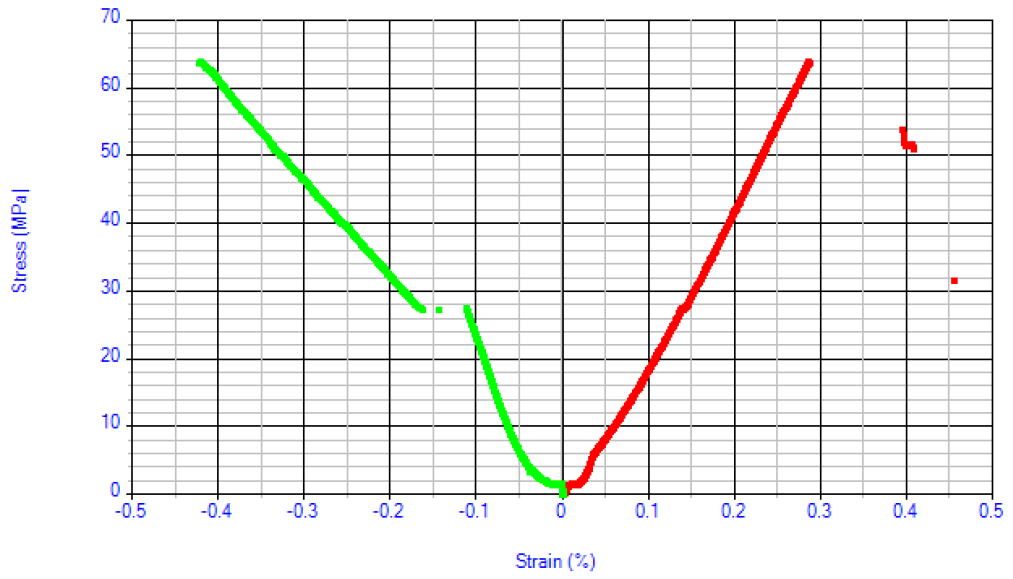
Şekil C.42: U82 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



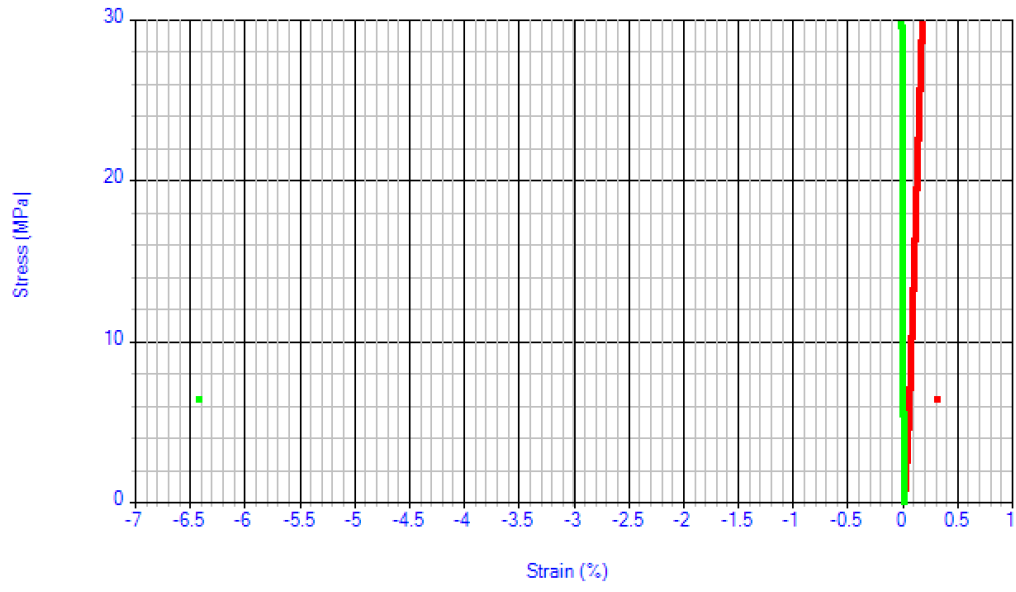
Şekil C.43: U84 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



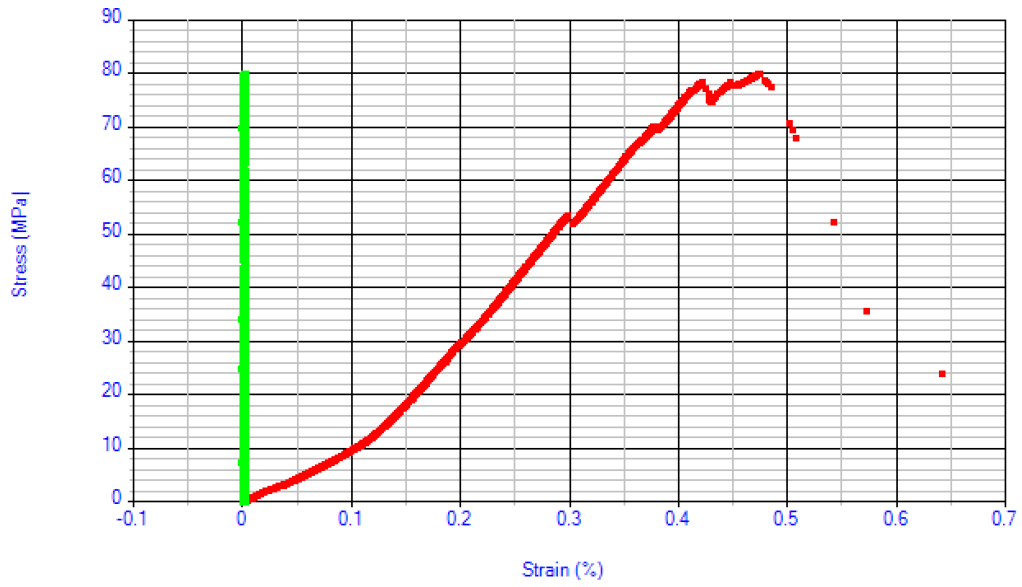
Şekil C.44: U86 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



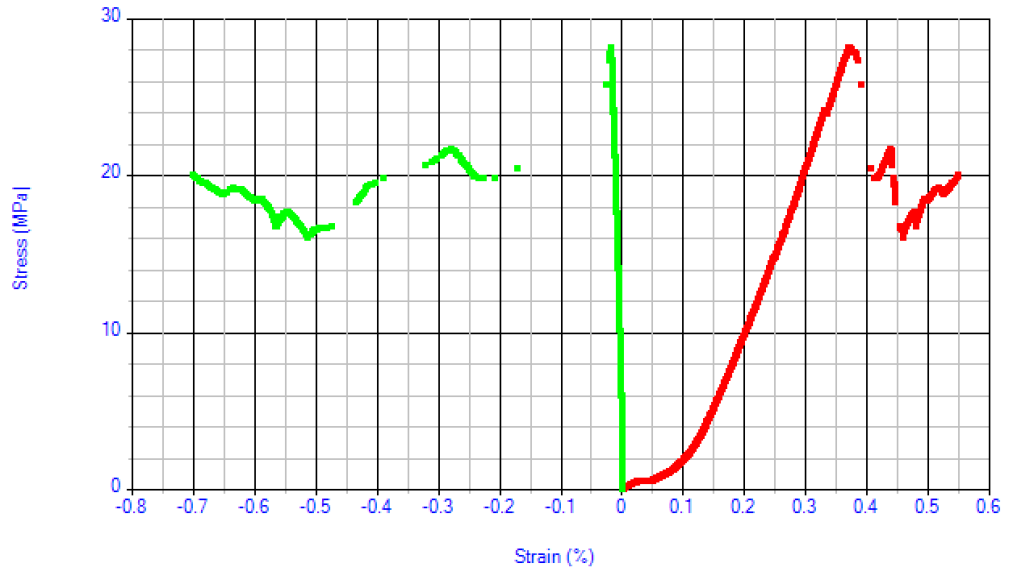
Şekil C.45: U86 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



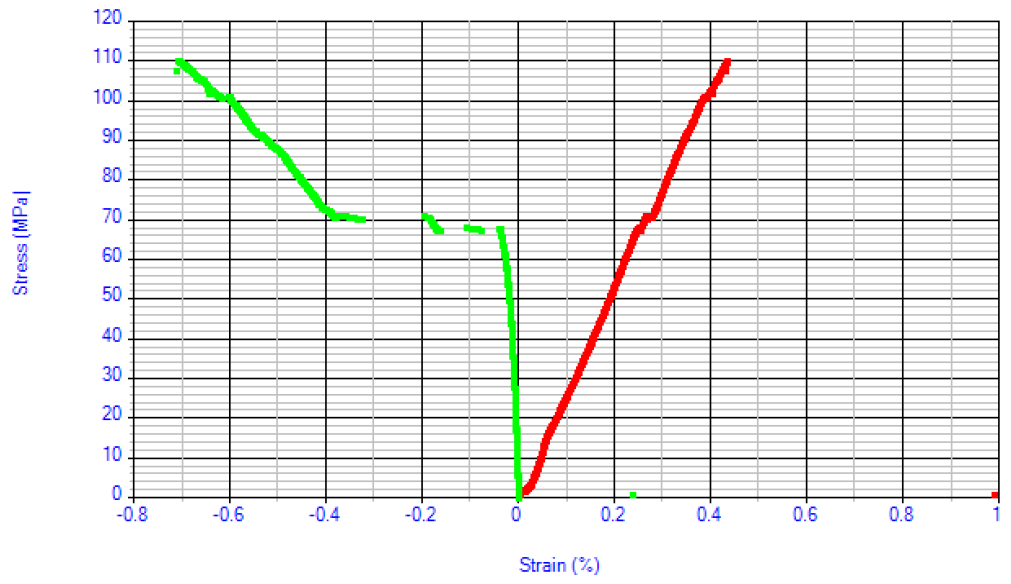
Şekil C.46: U88 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



Şekil C.47: U90 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.

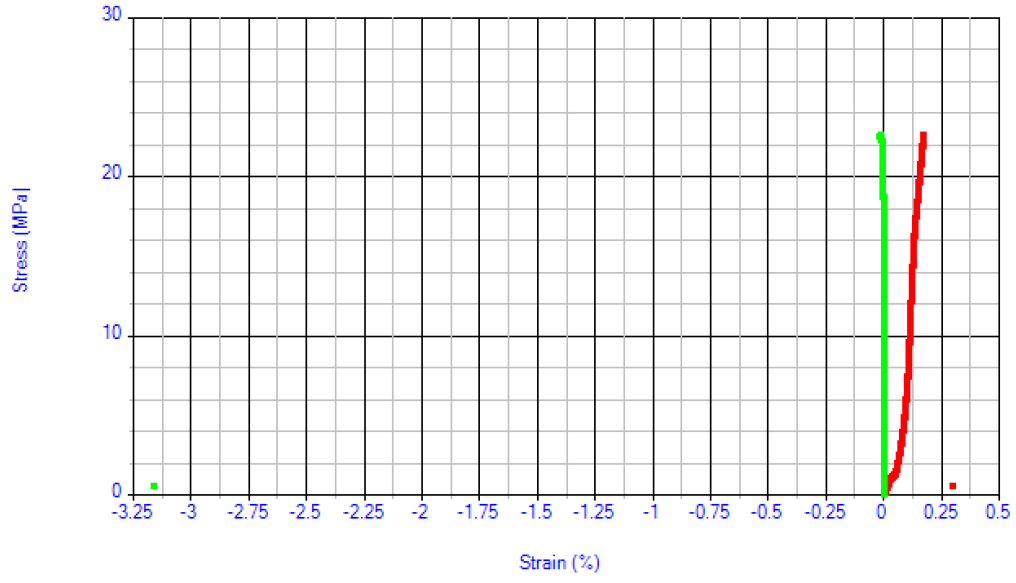


Şekil C.48: U92 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.

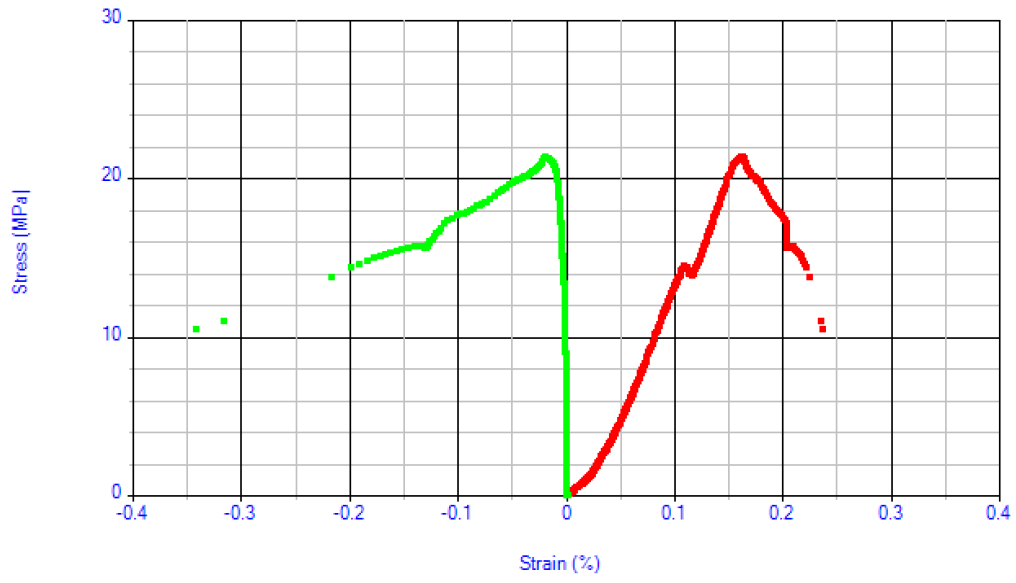


Şekil C.49: U94.2 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.

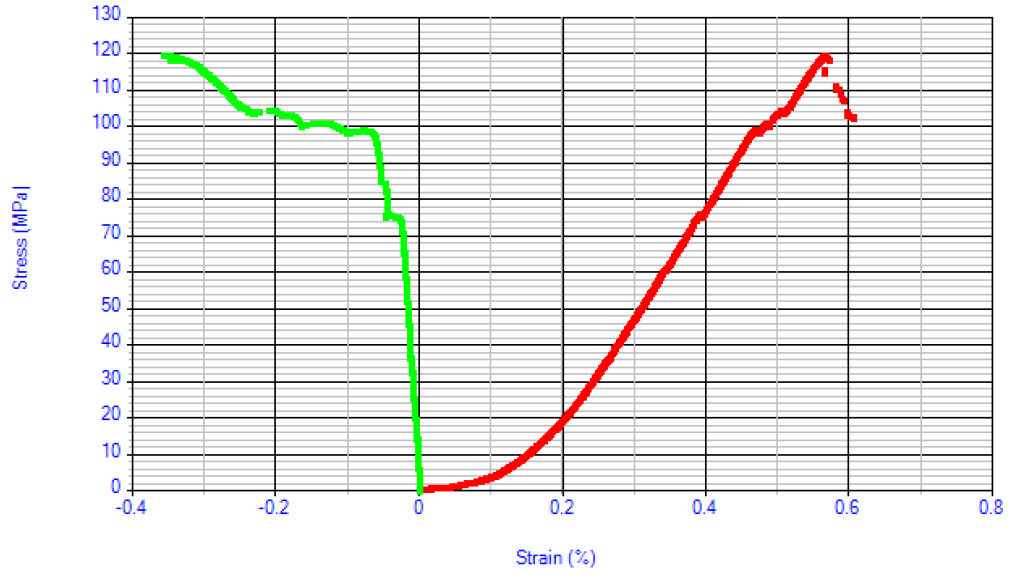
U94



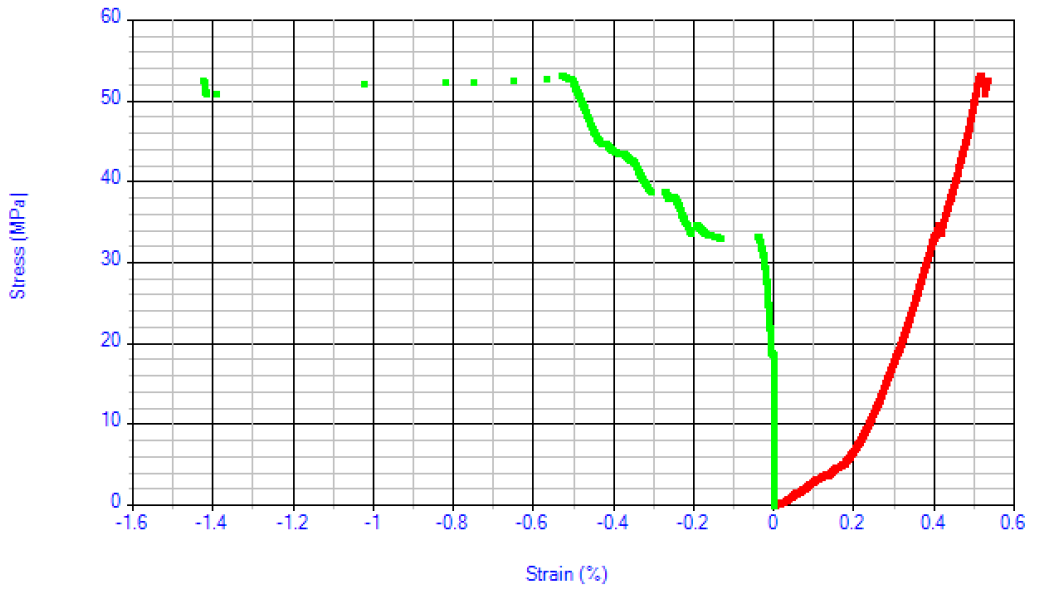
Şekil C.50: U94 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



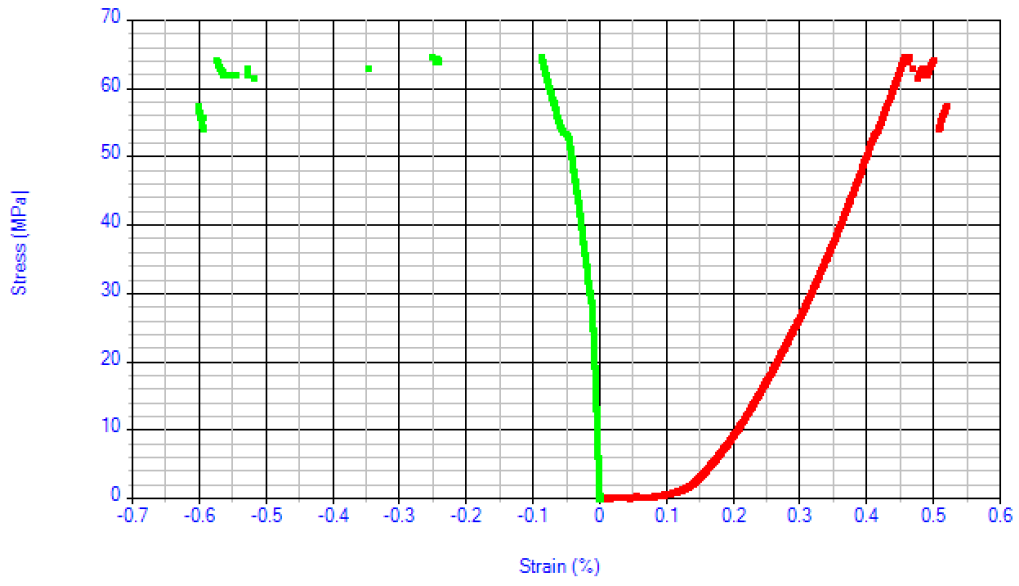
Şekil C.51: U95 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



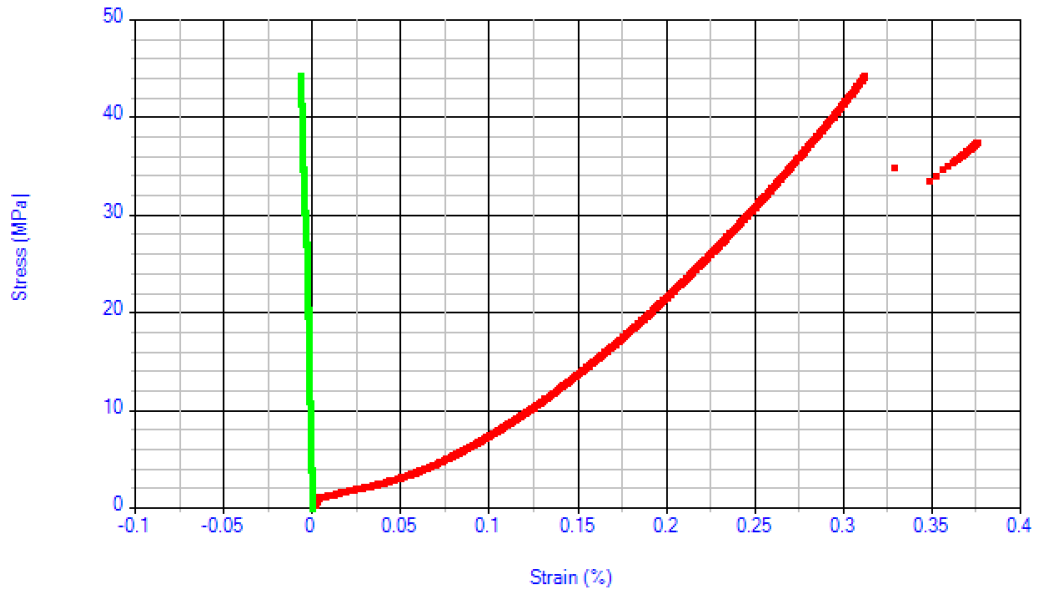
Şekil C.52: U96 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



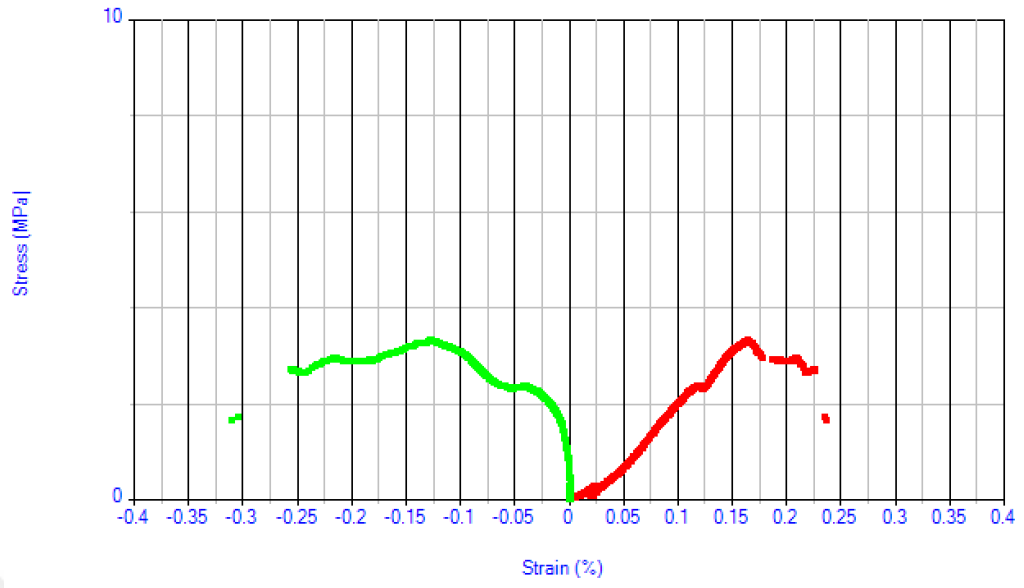
Şekil C.53: U97 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



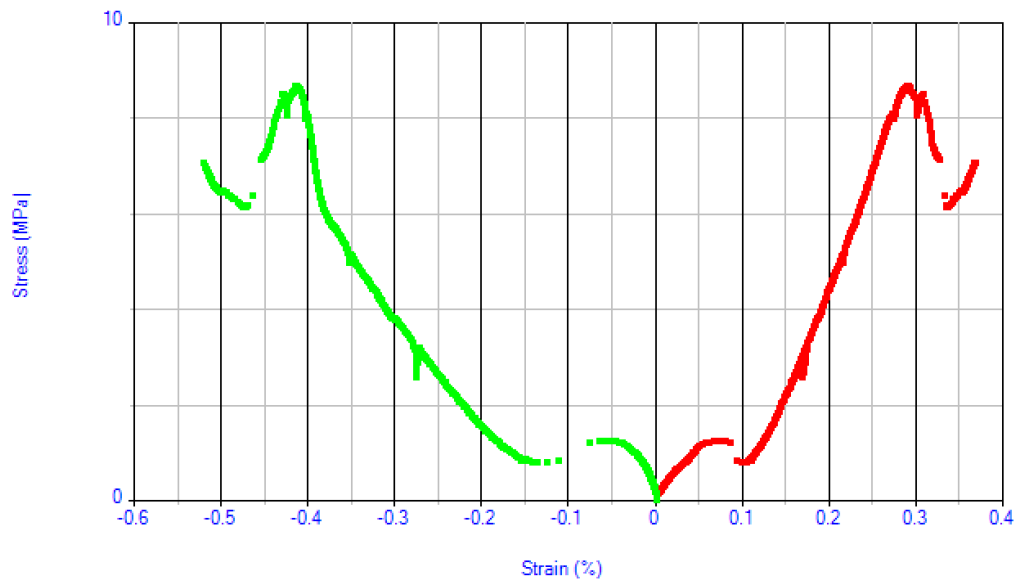
Şekil C.54: U98 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



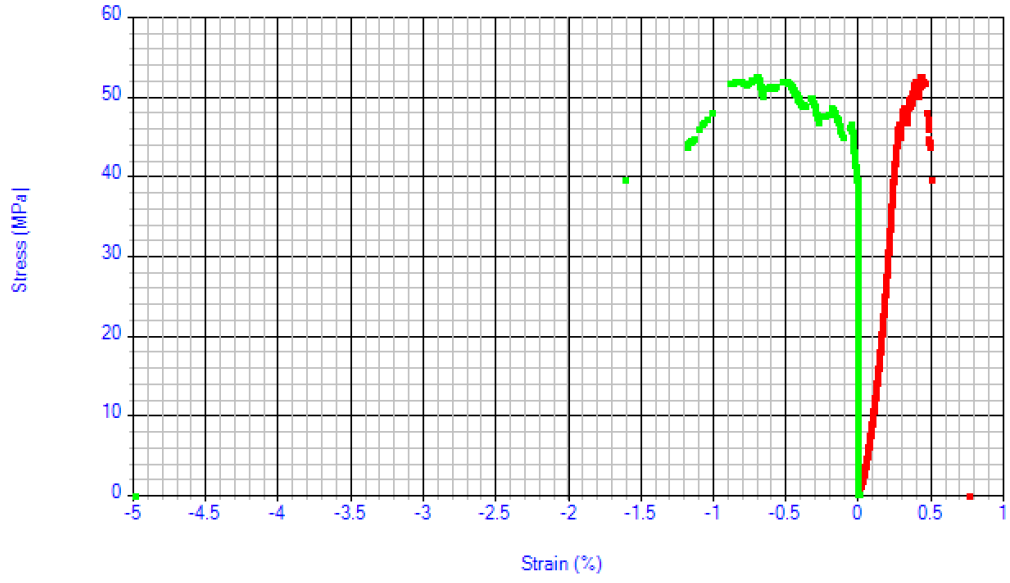
Şekil C.55: U99 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



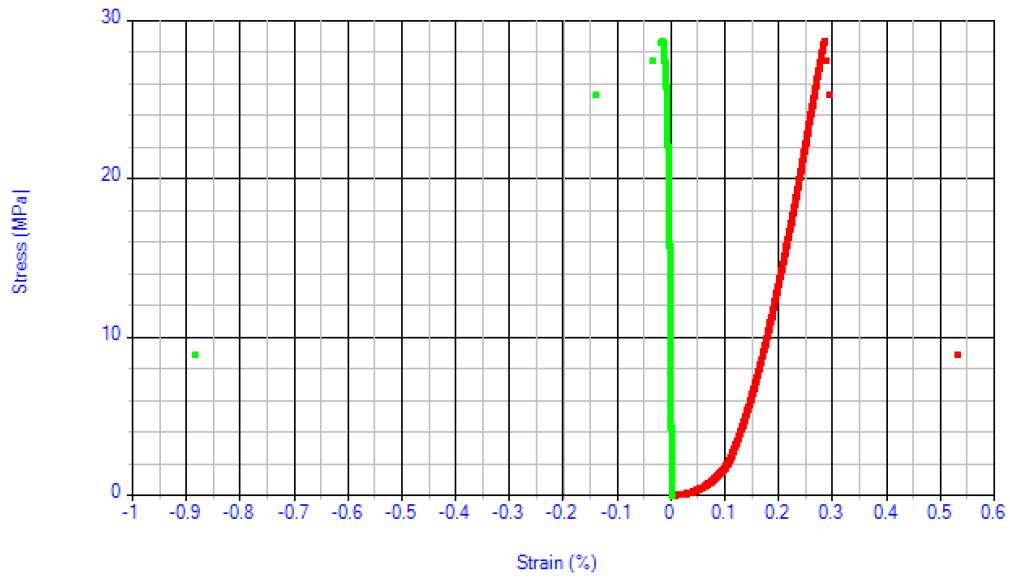
Şekil C.56: U101 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



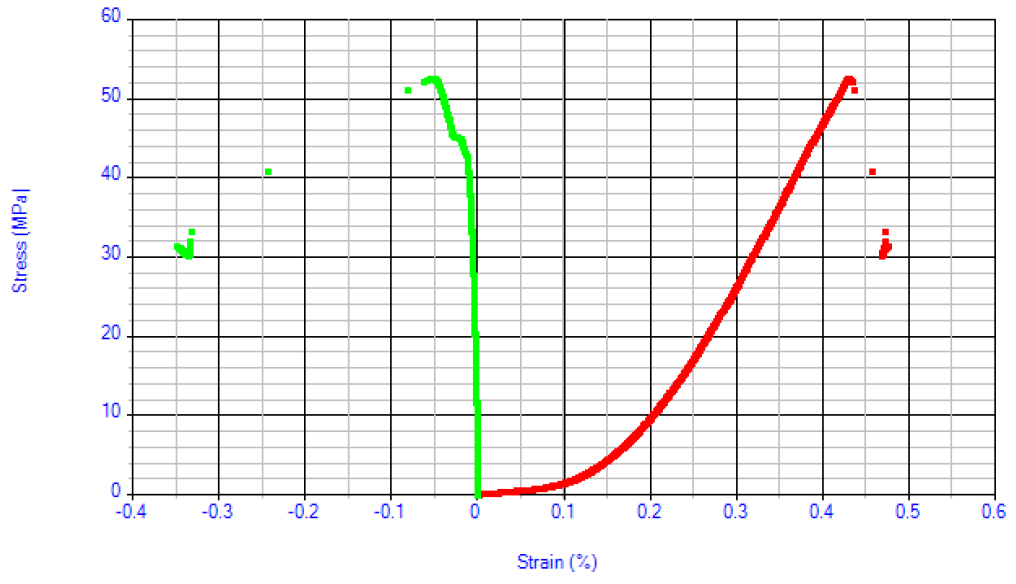
Şekil C.57: U103 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



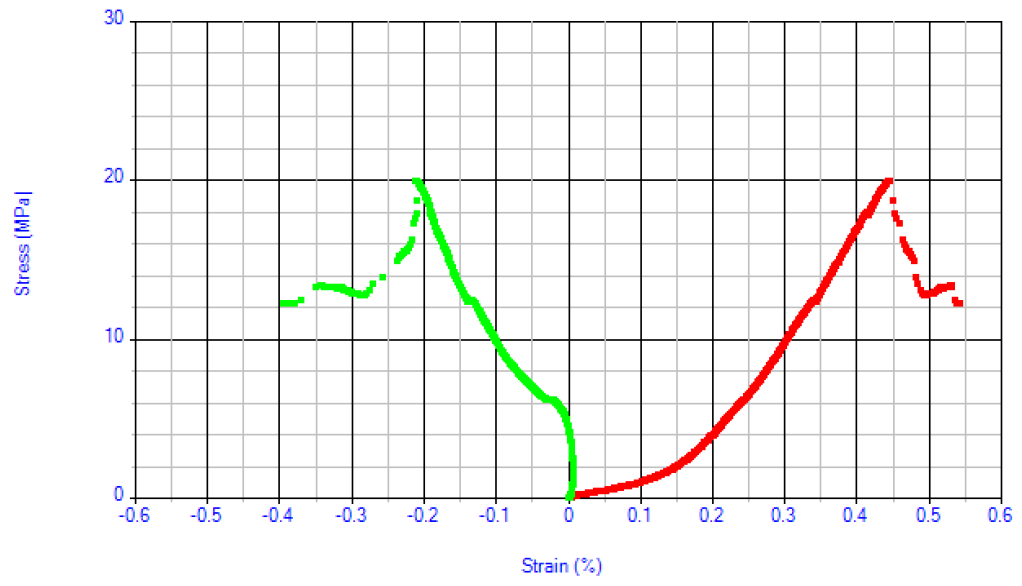
Şekil C.58: U105 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



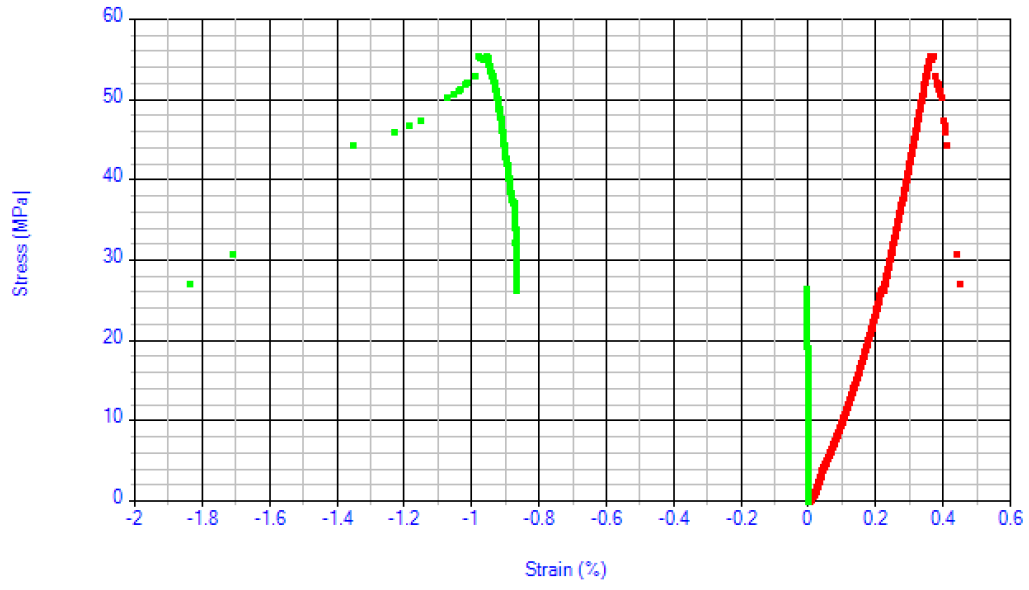
Şekil C.59: U106 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



Şekil C.60: U107 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



Şekil C.61: U107.2 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.



Şekil C.62: U109 numunesi gerilme-deformasyon eğrisi.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Pelin Koçak
Doğum Tarihi ve Yeri : 1986, Erzurum
E-posta : pelinkocak@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2010, İTÜ, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği
- **Yüksek lisans:** 2019, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2018 yılından bu yana İsveç Epiroc firmasında çalışmaktadır.
- 2011-2017 yılları arasında Türkiye Atlas Copco firmasında farklı pozisyonlarda çalıştı.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Kocak P., Mertiyurek E., *Comparison of Computerized and Direct Controlled Underground Drilling Machines*. Uluslararası Yeraltı Kazıları Sempozyumu YAK, 29-30 Kasım 2013, İstanbul, Türkiye.
- Toraman S., Ergener B., Kocak P., *Bit Selection and Importance of Bit Usage Parameters in Geothermal Drilling*, Geothermal Exploration and Application Symposium, 8-9 Kasım 2012, İstanbul, Türkiye.
- Nasuf SE., Kocak P., Ozturk CA., *Slope Stability Investigation of a Boron Mine in Kirka, Turkey*. 45th US Rock Mechanics Symposium, 26-29 Haziran 2011, San Francisco, ABD.

