



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YERALTI MADEN TOPUKLARININ ZAMANA BAĞLI
MEKANİK DAVRANIŞLARINI BELİRLEMEK İÇİN YENİ
BİR YERİNDE İZLEME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ:
ELEKTRİKSEL ÖLÇÜM YÖNTEMİ**

MAHMUT YASİN ÇETİNKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mahmut Yasin ÇETİNKAYA tarafından hazırlanan “Yeraltı maden topuklarının zamana bağlı mekanik davranışlarını belirlemek için yeni bir yerinde izleme sisteminin geliştirilmesi: Elektriksel Ölçüm Yöntemi” adlı tez çalışması 01/10/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS/~~DOKTORA~~ TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Bülent ERDEM
(Cumhuriyet Üniversitesi)

.....

Danışman

Prof. Dr. İhsan ÖZKAN
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Prof. Dr. Niyazi BİLİM
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 116M698 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mahmut Yasin ÇETİNKAYA
30.10.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YERALTI MADEN TOPUKLARININ ZAMANA BAĞLI MEKANİK DAVRANIŞLARINI BELİRLEMEK İÇİN YENİ BİR YERİNDE İZLEME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ: ELEKTRİKSEL ÖLÇÜM YÖNTEMİ

Mahmut Yasin ÇETİNKAYA

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. İhsan ÖZKAN

2024, 95 Sayfa

**Jüri
Prof. Dr. İhsan ÖZKAN
Prof. Dr. Bülent ERDEM
Prof. Dr. Niyazi BİLİM**

Yeraltı madencilik çalışmalarının kazı ortamlarında orijinal birincil arazi gerilmelerinin dengesi bozulmakta ve deformasyonlar oluşmaktadır. Tahkimat çalışmaları ile bozulan orijinal birincil arazi gerilmeleri tekrar dengeye gelerek ikincil gerilme büyüklüklerine ulaşmaktadır. Kazı açıklıklarında tahkimat çalışmaları ile duraylılık sağlansa da yakın bölgelerde gerçekleştirilen üretim çalışmaları, bu yeni dengeyi tekrar etkileyebilmektedir. Yeraltı açıklıklarının etrafındaki gerilme ve deformasyon değişimlerinin izlenmesi, açıklık (galeri, tünel vb) etrafındaki yan duvarda açılan delikler içerisine yerleştirilen ölçüm cihazları ile yapılmaktadır. Bu ölçerler, genel olarak hidrolik ve/veya elektronik sistemleri kullanmaktadır. Mevcut ölçüm sistemlerine alternatif Elektriksel Direnç Ölçüm Sistemi (EDÖS) bu çalışmada geliştirilmiş, ilk uygulamaları TKİ-GLİ-Ömerler Yeraltı maden ocağı A6 üretim panosu malzeme galerisi ve A7 hazırlık panosu nakliye galerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile A6 panosunda kurulan beş ölçüm istasyonundan alınan ölçümlerden uzunayak üretimine dayalı oluşan dinamik yüklemelere maruz kalan açıklık etrafındaki kaya malzemesindeki elektriksel direnç (Ω) değişimleri ölçülmüş ve topuk kaya malzemesindeki kırılma davranışları incelenmiştir. Ayrıca A7 panosunda hazırlanan üç uygulama cebine kurulan hidrolik kriko ile yaratılan basınca dayalı kömür malzemesindeki yenilmeleri açıklayan elektriksel direnç davranışları belirlenmiştir. Bu çalışma ile ortaya konan ölçüm sistemi (EDÖS), madencilik çalışmalarında kaya malzemelerindeki yenilmelerin ve duraylılıkların tespitinde kullanılabilir yeni bir ölçüm yöntemi olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Kömür, Uzunayak, Topuk, Yerinde elektriksel ölçüm sistemi, Duraylılık

ABSTRACT

MS THESIS

**DEVELOPING OF A NEW IN-SITU MONITORING SYSTEM TO
DETERMINE THE TIME-DEPENDENT MECHANICAL BEHAVIOURS OF
UNDERGROUND MINE PILLARS:
ELECTRICAL MEASUREMENT METHOD**

Mahmut Yasin ÇETİNKAYA

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mining Engineering**

Advisor: Prof. Dr. İhsan ÖZKAN

2024, 95 Pages

Jury

**Prof. Dr. İhsan ÖZKAN
Prof. Dr. Bülent ERDEM
Prof. Dr. Niyazi BİLİM**

In the excavation environments of underground mining works, the balance of the original primary land stresses is disturbed and deformations occur. The original primary land stresses, which were disturbed by the fortification works, reach the secondary stress magnitudes by coming back into balance. Although stability is ensured by the fortification works in the excavation openings, the production works carried out in the nearby areas may affect this new balance again. The monitoring of the stress and deformation changes around the underground openings is made with measuring devices placed in the holes drilled in the side wall around the opening (gallery, tunnel, etc.). These gauges generally use hydraulic and/or electronic systems. Electrical Resistance Measurement System (ERMS) as an alternative to existing measurement systems was developed in this study and its first applications were carried out in TKİ-GLİ-Ömerler Underground Mine A6 production panel material gallery and A7 preparation panel transportation gallery. With this method, electrical resistance (Ω) changes in rock material around the opening exposed to dynamic loadings formed based on longwall production were measured from the measurements taken from five measurement stations established in A6 panel and fracture behaviors in heel rock material were examined. In addition, electrical resistance (Ω) behaviors explaining failures in coal material based on pressure created by hydraulic jack established in three application pockets prepared in A7 panel were determined. The measurement system (ERMS) presented in this study can be a new measurement method that can be used in determining failures and stabilities in rock materials in mining operations.

Key Words: Coal, Longwall, Pillar, In-situ measurement system, Stability

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgi ve tecrübelerini paylaşan ve yol gösteren danışmanım Prof. Dr. İhsan ÖZKAN'a teşekkürü borç biliyor ve şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışmasında tez jüri üyeliği yapan Prof. Dr. Bülent ERDEM ve Prof. Dr. Niyazi BİLİM'e, değerli eleştirileri ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmalarını yürüttüğüm TKİ-GLİ Müdürlüğüne, Ömerler Yeraltı Ocağında görev yapan Yeraltı Şube Müdürlüğü personellerinden Hazırlık Başmühendisi Ahmet SANCAK, Elektro-mekanik Başmühendisi Üzeyir BACAĞ, Elektrik-Elektronik Mühendisi Orhan Kemal KÖRPE, Makine Mühendisi Çağlar GEREDLİOĞLU'na ve tüm yeraltı personellerine teşekkür ederim. Eğitim-İş Sağlığı ve Güvenliği Şube Müdürlüğü personellerinden Şube Müdürü Abdulcelil TÜRKER, Başmühendis Mehmet AYHAN, Maden Mühendisleri Kübra ATAY ve Burçin BOZKURT'a, ayrıca tüm İSG personellerine teşekkür ederim.

Eğitimimde katkıda bulunan değerli hocalarıma ayrıca her zaman maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen babam, annem ve eşim Sevda ÇETİNKAYA'ya sonsuz teşekkür ederim.

Mahmut Yasin ÇETİNKAYA
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ÖNSÖZ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	1
1.3. Çalışmanın İçeriği	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Genel	3
2.2. Kaya Malzemelerinin Temel Elektriksel İletkenlikleri	3
2.3. Son Araştırmalar Üzerine Yapılan Genel Bir Değerlendirme	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. Genel	12
3.2. Çalışma Sahası	12
3.2.1. Kurum Tarihçesi	12
3.2.2. Coğrafi yapı	13
3.2.3. İklim yapısı ve bitki örtüsü	13
3.2.4. Jeolojik ve stratigrafik yapı.....	14
3.2.5. Kömür ve kömür damarını çevreleyen kayaçların jeoteknik özellikleri... 16	
3.2.6. GLİ Ömerler yeraltı üretim yöntemi.....	18
3.2.7. İşletmede kullanılan tahkimat sistemleri ve özellikleri	21
3.3. Elektriksel Direnç Ölçüm Sistemi (EDÖS) Tasarımı ve İmalatı	23
3.4. Elektriksel Direnç Ölçüm Sistemi (EDÖS) ile Gerçekleştirilen Ön Çalışma .. 29	
3.5. Elektriksel Direnç Ölçüm İstasyonlarının Sahada Planlanması ve Kurulması 31	
3.5.1. A6 üretim panosunda yürütülen çalışmalar	31
3.5.2. A7 hazırlık panosunda yürütülen çalışmalar	35
3.6. Saha ve Laboratuvarda Gerçekleştirilen Temel Kaya Mekanik Deneyleri.....	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
4.1. Genel	43
4.2. A6 Üretim Panosunda Gerçekleştirilen EDÖS Ön Çalışma Sonuçları	43

4.3.	A6 Üretim Panosunda Gerçekleştirilen EDÖS Ölçüm Sonuçları	47
4.4.	A7 Hazırlık Panosunda Gerçekleştirilen EDÖS ve PY Çalışma Sonuçları	55
4.4.1.	A7 hazırlık panosunda gerçekleştirilen EDÖS ölçüm sonuçları	55
4.4.2.	A7 hazırlık panosunda gerçekleştirilen PY deney sonuçları	70
4.5.	Saha Ölçüm Sonuçlarına Dayalı Genel Değerlendirme.....	73
4.5.1.	A6 üretim panosu ölçüm sonuçları üzerine genel değerlendirme.....	73
4.5.2.	A7 hazırlık panosu ölçüm sonuçları üzerine genel değerlendirme.....	74
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
5.2.	Sonuçlar.....	77
5.3.	Öneriler	80
KAYNAKÇA.....		82
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

B	: Galeri genişliği
c	: Kohezyon
c_m	: Kaya kütle kohezyonu
E	: Elastisite modülü
E_m	: Kaya kütle elastisite modülü
$I_{s(50)}$: Nokta yükü dayanım indeksi
I_{d2}	: II. döngü sonunda suda dağılmaya karşı dayanım indeksi
σ	: Gerilme
σ_1 (σ_{max})	: En büyük asal gerilme
σ_3 (σ_{min})	: En küçük asal gerilme
σ_{ci}	: Kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı
σ_{cm}	: Kaya kütlesi tek eksenli basınç dayanımı
σ_{tB}	: Dolaylı Brazilian çekme dayanımı
σ_{tm}	: Kaya kütlesi çekme dayanımı
ν	: Poisson oranı
ε	: Birim deformasyon
ρ	: Yoğunluk
γ	: Birim hacim ağırlık
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
ϕ_m	: Kaya kütlesi içsel sürtünme açısı
Ω	: Ohm
h	: Uygulama cebi ile ölçüm dairesi arasındaki mesafe
l	: EDÖS istasyonunda ölçüm delikleri arası mesafe
t	: Zaman
2R	: Uygulama cebi üzerinde oluşturulan ölçüm dairesi çapı
w	: Topuk kenarından topuk içine doğru oluşan yenilen bölge kalınlığı
V	: Volt
I	: Akım
K	: Kütle sıkışma modülü
G	: Kütle makaslama modülü
R	: Elektriksel Direnç
R_o	: Elektriksel Direnç (Referans Ölçüm)
R_i	: Elektriksel Direnç (Normal Ölçüm)
R_{max}	: En büyük asal gerilme yönünde oluşan elektriksel direnç
R_{min}	: En küçük asal gerilme yönünde oluşan elektriksel direnç
U	: Deformasyon

Kısaltmalar

EDÖS	: Elektriksel Direnç Ölçüm Sistemi
EDÖB	: Elektriksel Direnç Ölçüm Borusu
ERMS	: Electrical Resistance Measurement System
ED	: Elektriksel Direnç
PY	: Plaka Yükleme
RMR	: Kaya Kütle İndeksi
Q	: Kaya Kütle Kalite İndeksi
GSI	: Geological Strength Index

GLİ	: Garp Linyitleri İşletmesi
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği Topluluğu
RQD	: Kaya Kalite Göstergesi
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri
TUBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TEBD	: Tek Eksenli Basınç Dayanımı
DÇD	: Dolaylı Çekme Dayanımı
TED	: Tek Eksenli Deformabilite
H1	: Sahada Elektriksel Ölçüm Deliği (Üst Delik)
H2	: Sahada Elektriksel Ölçüm Deliği (Alt Delik)
R1	: Elektriksel Ölçüm Borusunda Birinci Alt İstasyon
R2	: Elektriksel Ölçüm Borusunda İkinci Alt İstasyon
R3	: Elektriksel Ölçüm Borusunda Üçüncü Alt İstasyon
R4	: Elektriksel Ölçüm Borusunda Dördüncü Alt İstasyon
R5	: Elektriksel Ölçüm Borusunda Beşinci Alt İstasyon
R6	: Elektriksel Ölçüm Borusunda Altıncı Alt İstasyon
R7	: Elektriksel Ölçüm Borusunda Yedinci Alt İstasyon
R8	: Elektriksel Ölçüm Borusunda Sekizinci Alt İstasyon
D-1	: Uygulama Cebinde Elektriksel Ölçüm Deliği Konumu ($\alpha=0^\circ$)
D-2	: Uygulama Cebinde Elektriksel Ölçüm Deliği Konumu ($\alpha=30^\circ$)
D-3	: Uygulama Cebinde Elektriksel Ölçüm Deliği Konumu ($\alpha=60^\circ$)
D-4	: Uygulama Cebinde Elektriksel Ölçüm Deliği Konumu ($\alpha=90^\circ$)
D-5	: Uygulama Cebinde Elektriksel Ölçüm Deliği Konumu ($\alpha=60^\circ$)
D-6	: Uygulama Cebinde Elektriksel Ölçüm Deliği Konumu ($\alpha=30^\circ$)
D-7	: Uygulama Cebinde Elektriksel Ölçüm Deliği Konumu ($\alpha=0^\circ$)
D-8A	: Uygulama Cebinde Elektriksel Ölçüm Deliği Konumu ($\alpha=90^\circ$)
D-8B	: Uygulama Cebinde Elektriksel Ölçüm Deliği Konumu ($\alpha=90^\circ$)
DM	: Uygulama Cebinde Merkez Elektriksel Ölçüm Deliği

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Yeraltı açıklıklarının etrafında oluşan gerilme ve deformasyon değişimlerinin izlenmesi açıklıkların duraylılığı için önem arz etmektedir. Bunun için gerilme ve deformasyon ölçümleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ölçümler, açıklık (galeri, tünel vb) etrafındaki yan duvarda açılan delikler içerisine yerleştirilen gerilme ve deformasyon ölçüm cihazları ile yapılmaktadır. Zamana bağlı yapılan bu ölçüm sonuçları ile tahkimat çalışmalarında iyileştirmeler yapılmaktadır. Bu ölçerler genel olarak hidrolik ve/veya elektrik sistemleri kullanılmaktadır.

Mevcut ölçüm sistemlerine alternatif Elektriksel Ölçüm Sisteminin geliştirilmesi bu tezin ana hedefi olacaktır. Bu yöntem ile dinamik yüklemelere maruz kalan açıklık etrafındaki kaya kütleindeki elektriksel dirençler (Ω) ölçülecek ve kaya malzemesindeki kırılma davranışları belirlenebilecektir. Ayrıca dolaylı olarak gerilme ve deformasyon değerleri hesaplanabilecektir. Bu tez çalışması ile ortaya konacak ölçüm sistemi, madencilik çalışmalarında kullanılabilir yeni bir ölçüm yöntemi olabilecektir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Yeraltı madencilik çalışmalarında kazı yapılan ortamlarda birincil gerilmelerin dengesi bozulmaktadır. Bu etkinin neticesinde deformasyonlar oluşmaktadır. Tahkimat çalışmaları ile oluşan deformasyonlar durdurulmaktadır. Dolayısı ile bozulan orijinal birincil gerilmeler tekrar dengeye gelerek ikincil gerilme değerine ulaşmaktadır.

Kazı açıklıklarında tahkimat çalışmaları ile duraylılık sağlansa da yakın bölgelerde gerçekleştirilen üretime dayalı kazı çalışmaları bu duraylı olan açıklıkların tavan ve yan duvar bölgelerini tekrar etkileyebilmektedir. İkincil gerilmelerin etkilenme derecesinin belirlenmesi tahkimat çalışmalarına yön verecektir. Sonuç olarak can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi sağlanabilecektir.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Bu proje çalışmasında gerçekleştirilen çalışmalar beş başlık altında verilmiştir. Çalışmaya temel olan problemin tanımı, çalışmanın amacı ve içeriği giriş bölümünde (Bölüm 1) verilmiştir. İkinci bölümde verilen literatür araştırmasında bu tez çalışmasına temel teşkil eden kaya malzemelerinin elektriksel direnç davranışlarındaki değişim ilkeleri, laboratuvarında yapılan çalışmaları içeren yayınlar değerlendirilmiş ve öz olarak sunulmuştur. Materyal ve yöntem olarak verilen üçüncü bölümde, elektriksel direnç ölçüm cihazının tasarımı, imalatı ve sahadaki ölçme yöntemi sunulmuştur. Bölüm dördte, belirlenen bulgular ortaya konmuş ve literatür bilgisi ile karşılaştırılarak üzerinde gerçekleştirilen değerlendirmeler ve tartışmalar verilmiştir. Son beşinci bölümde ulaşılan sonuçlar ve ileriye dönük çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Genel

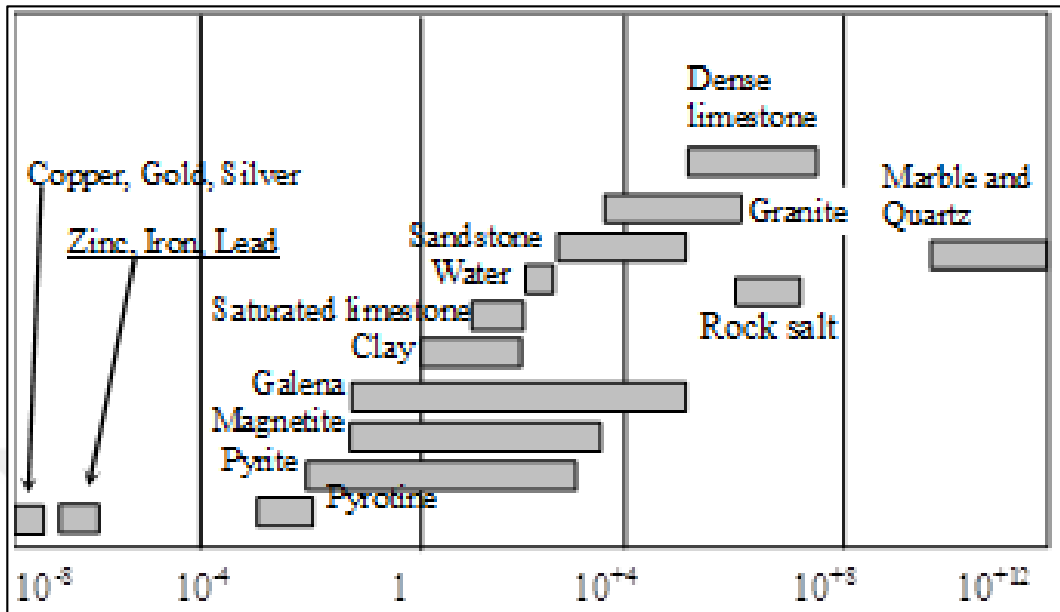
Bu bölümde kaya malzemelerinin elektriksel geçirgenlik özellikleri hakkında temel bilgi verilmiş ve konu üzerinde yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

2.2. Kaya Malzemelerinin Temel Elektriksel İletkenlikleri

Elektriksel geçirgenlik malzemelerin elektron veya iyonlarının serbestlik derecesine bağlıdır. Metalik malzemeler, serbest orbital elektronlarından dolayı iletkenlerdir. Diğer taraftan kayaçlar, elektron geçişine çok yüksek direnç gösterdikleri için yalıtkan malzemesi gibi davrandıkları bilinmektedir. Eğer bir kaya malzemesine elektrik verilirse, elektrik akımı kolayca geçemez. Su içermeyen ya da kurutulmuş kaya malzemelerinde elektriksel geçirgenlik, 25-50 kV gibi çok yüksek gerilimlerde sağlanabilmektedir. Ancak su içeren kaya malzemelerinde elektriksel potansiyel farklılıkları, normal voltajlarda (110-220V) bile oluşabilmektedir. Kaya malzeme özellikleri ve su içeriği farklılıklarına bağlı olarak elektriksel direnç davranışları farklılıklar gösterebilir. Su, iyonların serbest hareketine olanak sağlayan önemli bir parametredir. Kayadaki su konsantrasyonundaki farklılıklar, kaya malzemesinde düzensiz serbest iyon dağılımına neden olmaktadır. Bu nedenle, aynı kaya kütlelerinin farklı bölümleri elektriksel iletkenlikte farklılıklar gösterebilir. Sonuç olarak elektrik direnci, test edilen malzemenin türüne bağlı önemli bir malzeme özelliğidir.

Kaya malzemesinin su içeriği sırasıyla; gözeneklilik, geçirgenlik, mineralojik ve yapısal özellikler gibi malzeme özelliklerine bağlıdır. Özellikle süreksizlikler kaya kütlelerinde su geçiş yolları gibi davranırlar ve ana kaya yapısından daha fazla su içerirler. Bu durum süreksizliklerin içinde ve etrafında daha fazla serbest iyon olduğu anlamına gelir, bu nedenle bu bölümlerdeki elektriksel direnç değerlerinin düşük olması beklenir. Açıklamaları verilen bu genel yapıya bağlı olarak elektriksel iletkenlik ölçüm yöntemi günümüzde sırasıyla; maden arama, boşluk lokalizasyonu, su taşıyan formasyonların araştırılması ve diğer birçok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır. Elektrik akımının geçişine izin veren bir malzemedeki direnç (ohm), elektrik akımı akış hızı (amper) ile malzeme uçları arasındaki elektrik potansiyel farklarının (volt) birbirine bölünmesiyle

hesaplanabilir. Çeşitli kaya malzemelerin elektriksel direnç davranışları aşağıda sunulmuştur (Şekil 2.1).



Şekil 2. 1. Belirli kaya malzemelerinin elektriksel direnç değerleri (Ωm) (Ergin, 1973)

Model olarak seçilen silindirik kaya örneklerinin doğal elektriksel iletkenlikleri, Gökay ve Özkan (2000, 2001) tarafından incelenmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar, kaya malzemelerindeki süreksizliklerin ve su içeriğinin elektriksel direnç değerlerinde farklılıklara neden olduğunu göstermiştir.

Laboratuvar koşullarında tek eksenli basma dayanımı altında kaya malzemelerinin gerilme-birim deformasyon (ϵ) - elektriksel direnç (R , Ω) davranışları belirlemek amacıyla ilk çalışmalar Chen ve Lin (2004) tarafından yapılmıştır. Tek eksenli gerilme altında benzer çalışmalar Özkan ve Bilim (2007) tarafından yapılmıştır. Ayrıca üç eksenli gerilme altında gerilme (σ) - düşey birim deformasyon (ϵ_d) - elektriksel direnç (R , Ω) davranışları seçilen üç ayrı model kaya örneği üzerinde belirlenmeye çalışılmıştır (Mesutoğlu ve Özkan, 2013). Ulaşılan genel sonuçlardan kaya malzemesinin yenilme dayanımına (σ_c) ulaşıldığında malzeme üzerindeki elektriksel direnç (R , Ω) değerlerinin en düşük noktaya ulaştığı daha sonra ise malzeme parçalanma sürecinde iken gerilme (σ) değerleri hızla azalırken elektriksel direnç (R) değerlerinin de hızla yükseldiği tespit edilmiştir.

Yeraltı veya yerüstü kaya mühendislik yapılarının hizmetleri esnasında çeşitli sebepler ile gelişen ikincil yeni arazi gerilmeleri neticesinde mühendislik yapılarında yeni yenilme bölgeleri yani çatlaklar oluşmaktadır (maden topuğu, beton dolgu gibi). Kaya

mühendisleri kaya yapısındaki bu yenilmeleri ölçme ve izleme yöntemleriyle takip etmekte duraylılık sorunu varsa ek tahkimat çalışmaları yapmayı planlamaktadır. Günümüzde geliştirilmeye çalışılan elektriksel izleme yöntemi ile kaya malzemeleri içerisinde oluşan çatlak yapılarının konumlarının belirlenebilmesinin mümkün olabileceği görülmektedir.

Kayaçlar genel olarak $10^4 \Omega m$ özdirençleri ile yalıtkan malzemelerdir. Kayaçların çoğunda bu nedenle iletkenlik elektrolitiktir ve mineral tanelerinde değil gözeneklerinde yer alır. Kayaç gözeneklerinde yer alan suyun içinde tuzların erimesi sonucu elektrik akımını ileten iyonlar ortaya çıkar. Her bir iyon sınırlı miktarda yük taşıyabilmektedir. Bundan dolayı, bir çözeltide ne kadar çok iyon varsa ve ne kadar çok hızlı hareket edebilirse netice itibarı ile o kadar çok elektrik iletilmiş olur. Ergin (1973), bir kayacın öz direncinin belirlenmesinde gözeneklerdeki sıvıların tuzluk derecesinin önemli bir faktör oluşturduğunu vurgulamaktadır.

Kayaçlar normal şartlarda yalıtkan malzemeler olduğu için elektriksel iletkenlik derecesi kayacın içerdiği su ve tuz içeriğiyle bağlantılı olmaktadır. Su içeriği arttıkça elektriksel direncin azaldığı bir başka deyişle iletkenliğin arttığı Gökay ve Özkan (2000) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile belirlenmiştir. Elektrolitik sıvının kayaç içerisindeki boşluklara dolması neticesinde özellikle süreksizlik düzlemlerinin yerlerinin belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Model olarak seçilen silindir kaya örneklerinin doğal elektriksel iletkenlikleri, Gökay ve Özkan (2000, 2001) tarafından incelenmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar, kaya malzemelerindeki süreksizliklerin ve su içeriğinin elektriksel direnç değerlerinde farklılıklara neden olduğunu göstermiştir.

2.3. Son Araştırmalar Üzerine Yapılan Genel Bir Değerlendirme

Kaya malzemesinin temel yapı taşı olan matris dokusunun düşük iletken olduğu buna karşın bünyesindeki grafit veya tuz içerikli suyun matris dokudan bağımsız olarak yüksek elektriksel iletkenlik gösterdiği bilinmektedir (Bahr, 1977). Kaya dokusunu oluşturan matrisin içinde bulunan tabaka ve ana süreksizlik düzlemlerinde yer alan çözelti halindeki su elektriksel iletkenlik sağladığı için tabaka düzlemleri, süreksizlik düzlemleri ve anizotropik yapılar belirlenebilmektedir. Bahr (1997) çalışmasında; parametrik olarak anizotropi ve kütle ortamını değiştirerek çeşitli deneyler yapmıştır. Bu deneysel çalışmalarda, model malzemelerini hazırlarken Bahr (1997), ince fakat yüksek elektriksel

iletkenliğe sahip malzemeler ile birbirlerine yapıştırılabilen birçok küçük küpün oluşturduğu büyük bir küp model kullanmıştır (Schmeling, 1986). Bu deneysel çalışmalar yardımıyla model küp içerisindeki anizotropik yapı elektriksel iletkenlik ile tespit edilebilmiştir.

Deneysel çalışmalarında model olarak suya doymuş sedimanter kaya örnekleri kullanan Kamenetsky ve Novikov (1997), hızlı elektromanyetik dalgalar yardımıyla kayaların düşük sıcaklık altında elektriksel iletkenlik gösterdiklerini belirlemişlerdir.

Yük ve sıcaklık altında Nugget kumtaşı ve Western graniti üzerinde bir takım deneyler gerçekleştiren Roberts ve arkadaşları (1999) sırasıyla; örnek üzerinde artan sıcaklık ile yenilme dayanımlarının düştüğünü buna karşın yenilme sürecinin arttığını, farklı sıcaklıklarda da olsa artan yük ile elektriksel direnç değerlerinin azaldığını hatta bu azalışı gösteren eğrilerin sıralanışında sıcaklığı en yüksek olan örnek eğrisinin eğiminin daha az olduğunu (bu örneğin yenilme yükü en düşük olduğu için), azalan elektriksel direnç değerlerinin tam yenilme anında tüm sıcaklıklar için en düşük seviyeye indiğini ve bu en dip noktada sıcaklığı yüksek olan örneğin ise göreceli olarak biraz daha fazla elektriksel dirence sahip olduğunu, yenilme sonrasında tüm sıcaklıklarda elektriksel direnç değerlerinin hızla arttığını ancak bu artışın sıcaklığı yüksek olan örnekte daha hızla geliştiğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca deneylerinde hava ortamı için özel bir atmosfer oluşturmuşlardır. Bu özel hava ortamının içeriğini %95 CO₂+%5 CO veya %5 CH₄ oluşturmuştur. Ortamda bulunan karbonun, kaya malzemesinde oluşan küçük çatlaklar arasına girerek elektriksel direnç değerinin belirlenmesini kolaylaştırdığı anlaşılmıştır. Bununla birlikte Roberts ve arkadaşları (1999), su içeriği düşük ya da yok durumunda olan kuru numunelerde elektriksel direncin büyük olduğunu bu karşın örneklerin suya doyurulması ile mevcut elektriksel direncin azaltılabileceğini ve elektriksel iletkenliğin artırılabilceğini ifade etmektedirler.

Roberts ve Tyburczy (1999), elektriksel iletkenlik deneylerini 684°C-1244°C aralığında ergiyen bazalt numuneler üzerinde yaparak bazalt numunesinin permeabilite değerlerini elektriksel iletkenlik davranışındaki değişimler ile belirlemişlerdir.

Model olarak seçilen heterojen ve simetrik materyallerin anizotropik yapısı Koelman ve Kuijper (1997) tarafından elektriksel iletkenlik yaklaşımı ile tespit edilebilmiştir.

Jiang ve arkadaşları (1998), elektriksel iletkenlik ile ilgili deneysel çalışmaları için model olarak aldıkları çeşitli poroz numuneleri tuzlu su ve petrol ile ayrı ayrı doymuşlardır. Tuzlu su ile doyurulmuş olanların daha fazla iletkenlik özelliği

gösterdiğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarının sonucunda, porozitesi yüksek kayalar için ortamın elektro kinetik katsayılarını belirleyebilen bir ölçme yöntemi önermişlerdir.

Shankland ve arkadaşları (1997) tarafından geliştirilen özel bir deney düzeneği kullanılarak oda sıcaklığında 250 MPa basınç altında tutulan kaya örneklerinin içinde gelişen yatay ve düşey mikro çatlakların belirlenmesinde elektriksel iletkenlik yaklaşımı kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda model kayaların sıvı-gaz geçirgenlik özelliği olan permeabilite değerlerinin basınçla azaldığı ve permeabilite değerinin artması ile de elektriksel iletkenliğin arttığı belirlenmiştir.

Hazırlanan bir ana granit bloğu (5x10x14 cm) iki yanına ~~aynı~~ 5x5x14 cm boyutlarında hazırlanan diğer iki granit blok konmuş ve 8 MPa normal gerilme altında ortadaki ana granit bloğu direkt makaslama deneyindeki gibi kaydırmışlardır. İki yan granit bloğuna gümüş elektrotlar yerleştirilmiş ve deney esnasında elektrik voltajı verilmiştir. Kaydırılan blok üzerine yerleştirilen 10 adet hassas direnç ölçer (strain gauge) ile normal ve makaslama gerilmesi altında kalan kaya örneğindeki elektrik sinyallerinin değişimi incelenmiştir (Yoshida ve ark., 1997).

Jouniaux ve Pozzi (1997) suya doyurulmuş sedimanter kumtaşları üzerinde bir seri jeokimyasal parametreler altında 15-40 mV ve 0,1-0,5 Hz değerinde elektriksel potansiyelin akışını izlemişlerdir.

Model kaya malzemesi olarak seçilen kumtaşı ve kuvars numunelerinin üç eksenli basınç altında sıvı geçirgenlik davranışları, elektriksel iletkenlikte görülen değişimler ile izlenmiştir (Lorne ve ark., 1999). Araştırmacılar, örnek üzerinde oluşturulan basıncın artması sonucunda potansiyel elektrik farkının doğrusal bir şekilde arttığını göstermişlerdir. Deprem esnasında kaya malzemesinde oluşan ikincil gerilmeler nedeni ile elektriksel potansiyel akımlarının ve jeokimyasal değişimlerin kaya malzemesinde ortaya çıkacağını belirtmişlerdir.

Sismik dalgalar ile elektriksel iletkenlik Jones (1999) tarafından karşılaştırılmıştır. Araştırmacı, yerkabuğunun elektriksel direnç özelliklerini etüt etmiştir. Sismik parametrelerin genellikle kayanın hacimsel özelliklerine bağlı olduğu elektriksel iletkenliğin ise kayanın matris yapısına bağlı olduğu bu araştırmada ortaya konmuştur. Yerkabuğunda derinlik arttıkça homojen bir yapı sergilemeye başlayan kayalarda aynı zamanda görülen jeotermal sıcaklık artışı nedeni ile elektriksel iletkenliğin arttığı bir başka ifade ile elektriksel direncin düştüğü Jones (1999) tarafından tespit edilmiştir.

Ravalec ve arkadaşları (1996), granit numunesinde mevcut gözenek ve mikro çatlakları cıva ve gaz absorpsiyonu ile muamele edilmiştir. Basınç altında sıcaklığa bağlı olarak permeabilitenin davranışını incelemişlerdir. Sonuç olarak yazarlar sıcaklık artarken numunede elektriksel iletkenliğin arttığını tespit etmişlerdir.

Yerkabuğundaki su basıncının derinlik, sıcaklık ve kayacın farklı özellikleri tarafından kontrol edildiği Yardley ve Valley (1997) tarafından ortaya konmuştur. Yerkabuğu hakkında bilginin, suya doymuş kayaların elektriksel iletkenlik özelliklerini kullanarak da toplanabileceği araştırmacılar tarafından iddia edilmiştir.

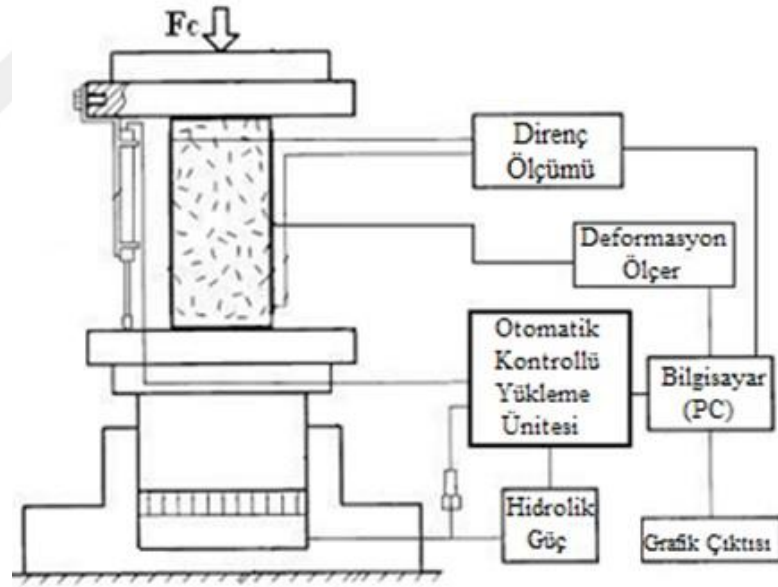
Jiang ve arkadaşları (1998) hidrokarbon yataklarının aranmasında gözenekli ortamın elektro kinetik katsayılarını ölçmek için elektriksel yöntemlerin olumlu sonuçlar üretilmesinde potansiyel bir yöntem olabileceğini belirtmişlerdir.

Bilim (2002) ve Bilim ve arkadaşları (2002) elektriksel direnç ölçüm yöntemini kullanarak kaya malzemesinde oluşturdukları yapay süreksizlikleri belirlemeye çalışmışlardır. Laboratuvarında, 1 m x 1 m x 0.1 m boyutlarında hazırladıkları model örnekler üzerindeki süreksizlik düzlemlerinin belirlenebildiğini göstermişlerdir.

Basınç altında gelişen kaya davranışlarının elektrik ve manyetik değişimler ile izlenmesi ve araştırılmasına 1960'lı yıllarda başlanmıştır. Laboratuvar şartlarında basınç altındaki kaya örneklerindeki gerilme ve elektriksel direncin değişimini ilk araştıran Brace ve arkadaşları olmuştur (Brace ve ark.; Chen ve Lin 2004'den). Yakın dönemde model kaya malzemesi olarak seçilen diabaz, kireçtaşı ve mermer kaya birimlerinden hazırlanan 18 adet numune üzerinde birim deformasyon - elektriksel direnç arasındaki ilişki, Chen ve Lin (2004) tarafından araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonunda araştırmacılar, kaya malzemesinde gerilmeye dayalı oluşan birim deformasyon ile elektriksel direnç davranışı arasında yakın bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Özkan ve arkadaşları (2018), tek eksenli basınç altında gerilme, birim deformasyon ve direnç davranışı arasındaki ilişkiyi, laboratuvar ortamında Şekil 2.2'de belirtilen deney düzeneğinde kaya tuzu örnekleri için gerçekleştirmişlerdir. Hidrolik prese yerleştirilen karot örneğinin alt ve üst kısımlarına bakır levha yerleştirilmiştir. Karot örneği bir direnç teli olarak varsayılmıştır. Deney esnasında 5 saniye aralıklar ile gerilme, düşey birim deformasyon ve elektriksel direnç değerleri ölçülmüştür (Şekil 2.3). Deneysel sonuçlara ait tipik bir deney sonucu Şekil 2.4'de sunulmuştur. Sunulan grafikten görüldüğü üzere gerilme (σ) artarken birim deformasyon (ϵ) değerleri artmaktadır. Daha sonra yenilme sonrasında gerilme (σ) değerleri düşerken birim deformasyon (ϵ) değerleri hala artmaya devam etmektedir (Şekil 2.4, grafikteki mavi

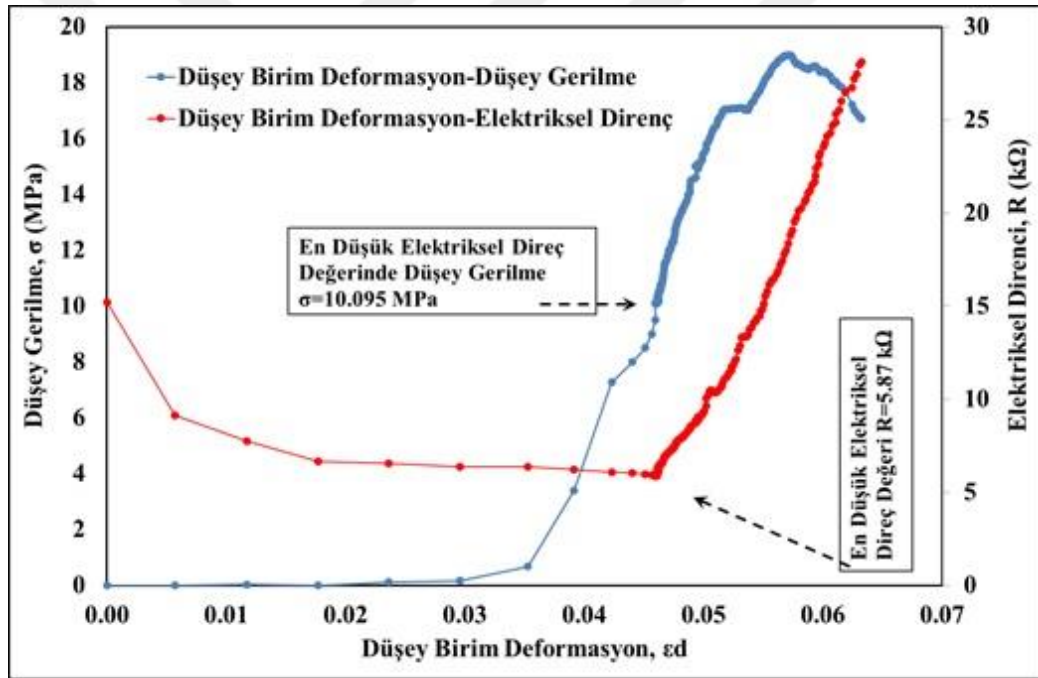
renkli eğri). Aynı grafikte kırmızı renk ile çizilen eğri birim deformasyon (ϵ) ile elektriksel direnç (R, Ω) arasındaki davranışı göstermektedir. Bu grafik incelendiğinde ϵ - Ω eğrisinin σ - ϵ eğrisinin tam tersinde geliştiği görülmektedir. ϵ - Ω eğrisinin aslında malzemenin yenildiği noktada en düşük direnç (Ω) değerine ulaştığı görülmektedir. Bu davranış tüm örneklerde görülmüştür. Elektriksel direnç değerlerinin en düşük değere ulaştığı durumda kaya malzemesinin yenildiği anlaşılabilmektedir. Yenilme sonrasında elektriksel direnç değerleri tekrar artmıştır. Bu artışa parçalanma sürecine giren kaya örneğinde oluşan çatlakların arasına havanın girdiği böylece ölçülen kaya malzemesinin yalıtkan bir duruma evirildiği yazarlar tarafından öngörülmüştür. Deneysel sonuçlara dayalı olarak yazarlar, Şekil 2.5'ü sunmuşlardır. Yazarlar laboratuvar ortamında sabit gerilme altında tutulan bir malzemede elektriksel direnç değerlerinin sabit olacağını, gerilme değerlerinin artması ile birlikte malzeme üzerindeki elektriksel direnç değerlerinin düştüğü malzemenin yenilmesinde sonra en düşük değere ulaşan elektriksel direnç değerlerinin (ϵ) tekrar artma yönünde hareket edeceğini sembolize etmişlerdir (Şekil 2.5).



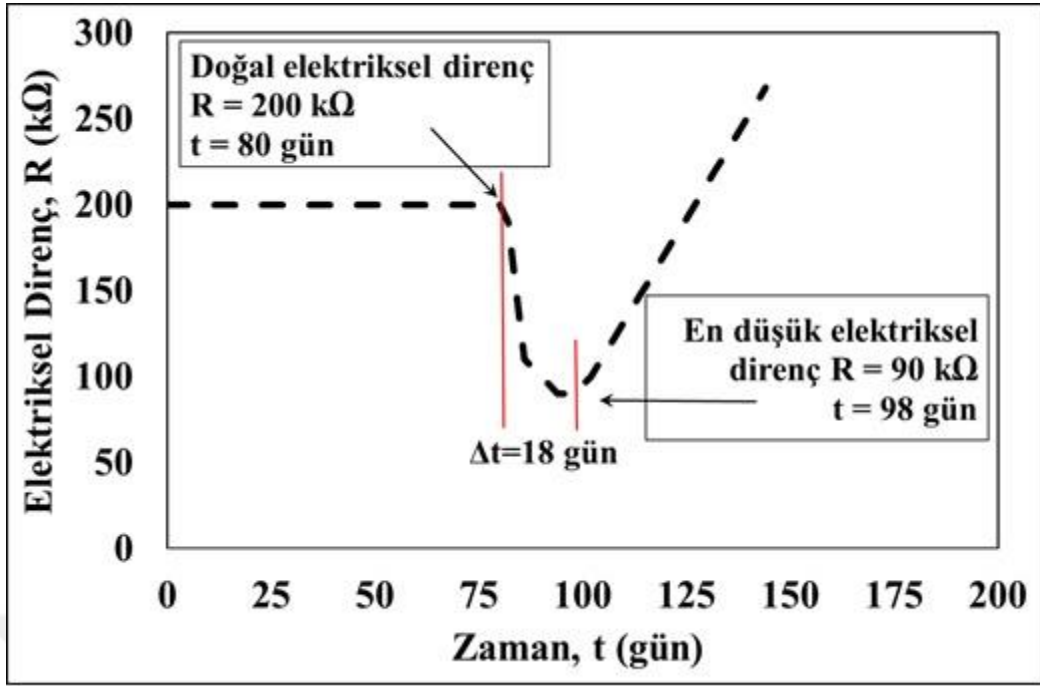
Şekil 2.2. Kaya tuzunun tek eksenli basınç altında gerilme, birim deformasyon ve elektriksel direnç davranışının belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği (Özkan ve ark., 2018)



Şekil 2.3. Kaya tuzunun tek eksenli basınç altında gerilme, birim deformasyon ve elektriksel direnç davranışının belirlenmesine ait tipik bir deney (Özkan ve ark., 2018)



Şekil 2.4. Örnek kaya tuzunun tek eksenli basınç altında gerilme, birim deformasyon ve elektriksel direnç davranışı (Özkan ve ark., 2018)



Şekil 2.5. Olası t-R davranışına ait sistematik bir grafik (Özkan ve ark., 2018)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Genel

Bu tez çalışması, maden galeri ve tünel gibi yeraltı açıklıklarının arın ve yarıklarını oluşturan kaya malzemesine etkiyen dinamik gerilmeler neticesinde kaya malzemesinde oluşan elektriksel direnç değişimlerini araştırma üzerine kurgulanmıştır. Tez çalışmasına daha önce gerçekleştirilen laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalışmalar temel oluşturmuştur. TKİ-GLİ-Ömerler Yeraltı kömür maden ocağında yerinde deneysel çalışmalara dayalı olan bu tez çalışması, iki temel olgu üzerinde kurgulanmıştır. İlk aşama elektriksel ölçüm cihazının tasarlanması ve imalatı, ikinci aşama Ömerler yeraltı kömür ocağında öncelikle ön ölçüm çalışmalarının gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesi takibinde sistematik olarak ölçüm istasyonlarının kurulması, ölçümlerin alınması ve değerlendirilmesi olmuştur. Ayrıca 116M698 nolu proje kapsamında laboratuvar ve sahada gerçekleştirilen bazı temel kaya mekaniği deney sonuçları ile ölçüm sonuçlarının ilişkilendirilmesi hedeflenmiştir.

Bu bölümde çalışma sahası ve dikkate alınan çalışma aşamaları için yürütülen yöntemler hakkında bilgi sunulmuştur.

3.2. Çalışma Sahası

3.2.1. Kurum Tarihçesi

ETİBANK-Değirmisaz işletmesinin 16.02.1938 tarihinde kurulmasıyla ülkemizde linyit maden işletmeciliği ilk kez başlamıştır. Takibinde ETİBANK bünyesinde Tunçbilek (18.05.1939) ve Soma (23.09.1939) işletmeleri kurulmuştur. Değirmisaz, Tunçbilek ve Soma işletmeleri 1940 yılının Ocak ayında bir araya getirilerek ETİBANK bünyesinde Mahdut Mesuliyetli Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Müessesesi kurulmuştur. Daha sonra 1957 yılının Eylül ayında Mahdut Mesuliyetli Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi ETİBANK' tan ayrılarak 6974 sayılı kanunla kurulan Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Kurumu bünyesine aktarılmıştır.

Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi 1995 yılının Eylül ayında TKİ-GLİ Bölge Müdürlüğü'ne dönüştürülmüş, 2004 yılında ise tekrar TKİ'ye bağlı GLİ Müessese Müdürlüğü olmuştur. 2017 yılının Mayıs ayında gerçekleştirilen son düzenleme

sonrasında işletme TKİ kurumuna bağlı olarak Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü ismi altında çalışmalarını sürdürmektedir (Anonim, 2017). İşletmede açık ocak madenciliği ve yer altı madenciliği ile madencilik faaliyetleri yürütülmektedir.

3.2.2. Coğrafi yapı

TKİ-GLİ Müdürlüğü, Kütahya-Tavşanlı-Tunçbilek beldesinde faaliyet göstermektedir. Tavşanlı ilçesinin kuzeyinde konumlanan maden işletmesi, Tavşanlı'ya 13 km, Kütahya'ya 63 km uzaklıktadır. İşletme, Tunçbilek-Domaniç-İnegöl karayolu üzerindedir. 1/25000 ölçekli Kütahya İ22-c2 paftasında, TKİ-GLİ Müdürlüğü imtiyaz sınırları gösterilmiştir (Anonim, 2017). Şekil 3.1'de işletmenin konumunu belirten bir harita görülmektedir.



Şekil 3.1. TKİ-GLİ Müdürlüğü çalışma sahasına ait bir harita

3.2.3. İklim yapısı ve bitki örtüsü

GLİ maden işletmesini de içine alan bölge, Ege, Marmara ve İç Anadolu bölgelerinde görülen iklimlerin ortak etkisinde kalmaktadır. Bölgedeki iklim, Batı Anadolu geçiş iklimi olarak tanımlanmaktadır. Yağış dağılımı yönünden Marmara,

sıcaklık yönünden ise İç Anadolu iklimini çağrıştırır. Kışlar soğuk, kar yağışlı ve sıklıkla don altında iken yazlar çok sıcak ancak kurak değildir.

Bölgenin ortalama yıllık yağı miktarı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının meteorolojik verilerine göre 464,80 mm'dir (Anonim, 2023). Aralık ayı bölgenin en fazla yağış alan ayı olurken, en düşük yağış alınan ayı ağustos ayı olmaktadır. Maden işletmesinin bulunduğu Tunçbilek'e yakın meteorolojik verilerine göre yağışlar çoktan aza doğru kış, ilkbahar, sonbahar ve yaz mevsimleri olarak sıralanmaktadır. Kütahya ve çevresinde toplanan 62 yıllık meteoroloji verilerine göre yıllık sıcaklık ortalaması 10,5 °C, en düşük sıcaklık ortalaması -28,1 °C ile ocak ayında, en yüksek sıcaklık ise 38,6 °C ortalaması ile ağustos ayında oluşmaktadır (Anonim, 2023).

Ege Bölgesinde yer alan Tunçbilek ve çevresi, genelde yükseltisi fazla olmayan dağ ve tepelerle çevrili olup bol miktarda çam ağaçlarıyla kaplı orman örtüsüne sahiptir. Bölgede arpa, buğday, nohut, şekerpancarı gibi tarımsal ürünler ve vişne, kiraz, elma gibi meyveler yetiştirilmektedir. Son yıllarda tarımcılık azalmıştır. Tarımın yapılamadığı engebeli sahaların bir bölümü, GLİ maden işletmesinin dış döküm sahası olmuştur.

3.2.4. Jeolojik ve stratigrafik yapı

Bölgenin stratigrafik yapısı incelendiğinde bölgenin Neojen yaşlı birimlerden oluştuğu anlaşılmaktadır. En yaşlı birim Paleozoik yaşlı metamorfik şist ve kristalize kireçtaşlarıdır. Ayrıca Paleozoik yapı üstünde Kretase yaşlı ultra bazik kayalar uyumsuz olarak yer almaktadır.

Havzada yaygın şekilde serpantinleşmiş ultra bazik kayalar bulunmaktadır. Havzada görülen Miyosende çökelmiş olan Neojen sedimanları için Alt seri (Tunçbilek serisi), Pliyosende çökelenler için Üst seri (Domaniç serisi) tanımı yapılmaktadır. Temel üzerine uyumsuz yerleşen Tunçbilek serisi (Alt seri), yuvarlak serpantin ve konglomera (kireçtaşı çakıllı) ile başlamakta, bu serinin üst kısımlara doğru killi şist bölgesi gelmektedir. Mavi gri marn tabakaları serinin en üst bölümlerinde konumlanmaktadır. Killi şist horizonları içerisinde bulunan yaprak fosilleri dikkate alınırsa serinin yaşı Alt-Orta Miyosen olarak kabul edilmiştir.

Volkanik kökenli yapıların kesmiş olduğu Domaniç serisi, tabanda üst seviyelere doğru sırası ile gevrek yapılı moloz serpantin, marn ve silisli kalker katmalarından oluşmaktadır. Şekil 3.2'de bölgeye ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit sunulmuştur.

Yaş	Litoloji	Açıklamalar
Kuv.		Alüvyon, çakıl,yamaç molozu (5-25 m)
Pliyosen		Kıraçtaşı, yer yer silisifiye, yer yer çakıllı ((100-125 m)
		Tüf-tüfit, bazalt, kıraçtaşı (350-500 m)
Miyosen		Kıraçtaşı, yer yer kumtaşı, konglomera geçişli (50-150 m)
		Linyit içeren marn, yer yer killi, siltli (400-450 m)
		Kumtaşı, konglomera, merceksel linyit içerikli (60-150 m)
Neojen öncesi		Ofiyolitik ve metamorfik temel kayalar

Şekil 3.2. Çalışma sahasının genel stratigrafik yapısı (Çetin ve ark., 1985)

Bölgenin yapısal jeolojisi incelendiğinde bölgede Neojen döneminde gelişen kritik fay ve kıvrımların olduğu dikkat çekmektedir. Havzanın belirli aralıklarla oturmasına dayalı olarak genelde atımı eğimli olan normal faylar bölgede oluşmuştur. Sahanın tektonik yapısına bağlı olarak fayların genelde kuzey-güney doğrultusunda geliştikleri gözlenmiştir. Kuzey-doğu yönlü olan tabakaların eğimleri genelde 5-20° aralığındadır. Havzanın antiklinal eksenini, Beke köyünden geçen Beke deresidir. Antiklinal eksenin kuzey yönünde bulunan tabakalar kuzey-doğu, güney yönünde bulunan tabakalar güney-batı eğimine sahiptir. Genelde yatay olarak tanımlanan (11-15°) Miyosen çökel eğimleri, fay zonlarında artmaktadır. Bölgedeki fay eğimleri Pliyosen dönemde daha az etkilenmiştir. Havza kenarları göz ardı edilirse bunlar genelde yatay konumludur (Anonim 2017).

Bölgenin tektonizması incelendiğinde işletme sahasında alt serinin üzerine uyumsuz olarak üst seri (Domaniç serisi) gelmektedir. Sahada karşılaşılan bazı mostra yapılarında bu durum gözlenebilmektedir. Üst seride tabakalar yataya yakın eğimdedir.

Bölgede Pliyosen dönemi boyunca fay yapıları oluşmuştur. Bölge, Pliyosen-Kuaterner sürecinde Domaniç serisinin çökmesi nedeniyle yeniden tektonizmaya maruz

kalmıştır. Sahada, normal, ters, dönel ve makaslama fayları Miyosen, Pliyosen ve Plio Kuaterner dönemlerinde oluşmuştur. Fay eğimleri yaygın bir şekilde 70°'nin üzerindedir.

3.2.5. Kömür ve kömür damarını çevreleyen kayaçların jeoteknik özellikleri

Ömerler yeraltı kömür sahasının jeoteknik özellikleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 1987 yılında toplamı 1726,5 metreye ulaşan sondajlar ile tespit edilmiştir. Şekil 3.3'de görüldüğü üzere bu sondaj verilerine dayalı olarak kesilen birimler 3 ana grupta (kıltaşı, kalkerli marn ve marn) toplanmıştır. Sondaj karotlarından genel olarak 11 farklı birimin değişik seviyelerde kesildiği görülmüştür (tüfit, kıltaşı, kireçtaşı, kumtaşı, konglomera, serpantin ve peridodit, dolorit, kalkerli marn ve marn).

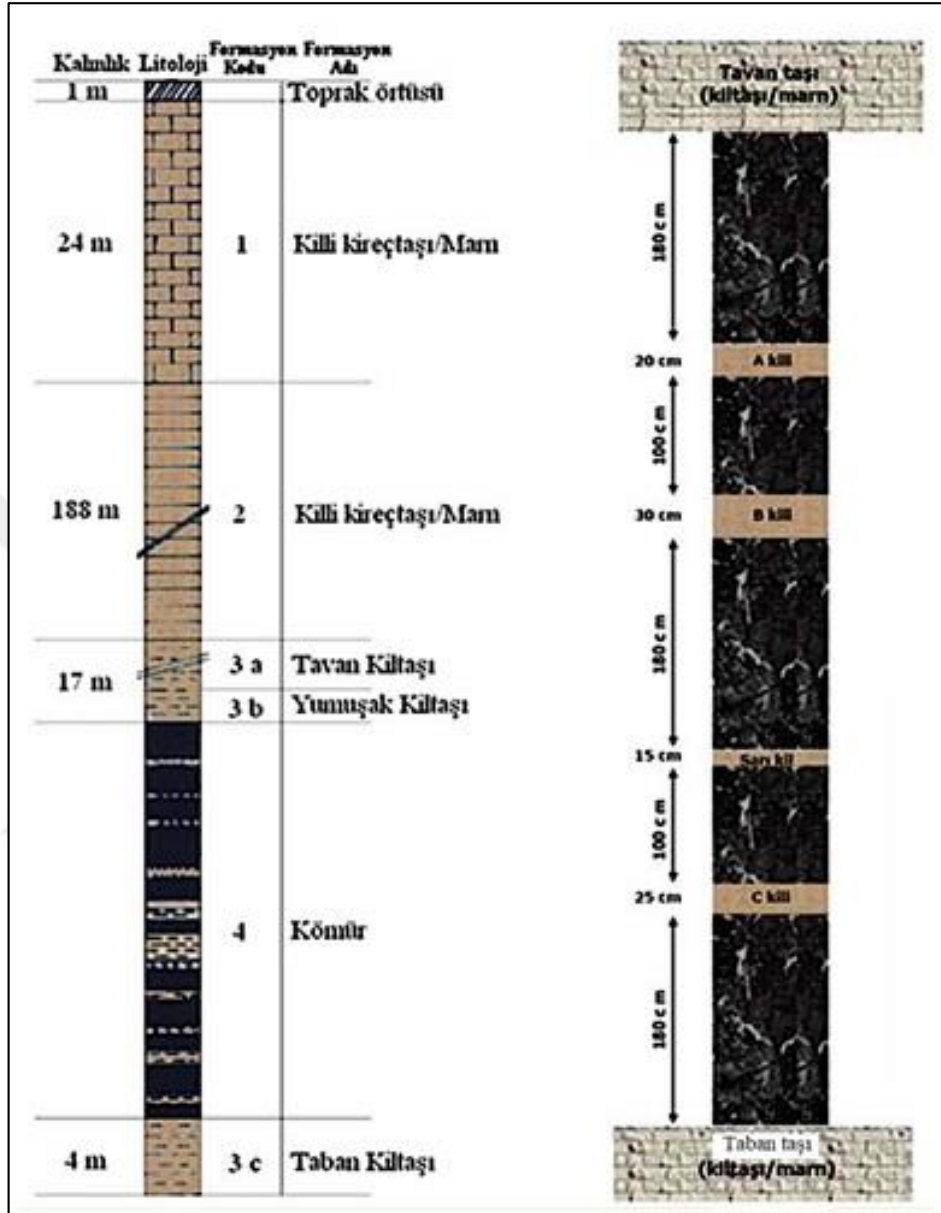
MTA tarafından, kaya mekaniği deneylerine tabi tutularak elde edilen laboratuvar verileri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

TÜBİTAK 116M698 nolu proje çalışmaları kapsamında görgül ve nümerik analizler için TKİ-GLİ Ömerler yeraltı ocağı A1, A2 ve A6 panolarında saha deneyleri ve bu panolardan temin edilen örnekler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri ile kaya malzeme ve kütle özellikleri belirlenmiştir (Özkan ve ark. 2022, Mesutoğlu 2019). Araştırmacılar tarafından belirlenen kömür, tavantaşı ve tabantaşı birimine ait kütle ve malzeme özellikleri, Çizelge 3.2 ve 3.3'de belirtilmiştir. Çizelge 3.3'de görülen bazı değerler, kaya malzeme verisinden kaya kütle verisine RocLab (Rocscience 2002) programı kullanılarak dönüştürülmüş olduğu yazarlar tarafından vurgulanmıştır (Özkan ve ark. 2022).

Dayanımı düşük ve birçok süreksizlik yapısı içeren yumuşak karakterli kıltaşı tabakası, kömür damarının hemen üzerinde yer almaktadır (Şekil 3.3). Bu tabakanın üzerinde konumlanan marn biriminin daha yüksek dayanıma ve daha düşük doğal nem içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Genel olarak dayanım açısından kömür damarı altındaki tabantaşının tavantaşına nazaran daha sağlam kömür damarının ise tavantaşından daha zayıf olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 3.2). Bu durum kaya kütle özelliklerinde de görülmektedir (Çizelge 3.3).

Bölgede GLİ tarafından üretilen linyit kömür damarının genel olarak orta sertlikte, siyah renkte ve parlak yapıdadır. Ara kesmeler kömür damarının alt ve üst kısımlarında daha az, orta kısımlarında ise daha fazladır. Kömür damarı içerisindeki ara kesmeler kömür malzemesine nazaran daha sağlam olmakla birlikte su içeriğinin artması

durumunda şişme özelliklerinin geliştiği dolayısı ile mekanik açıdan zayıfladığı belirtilmektedir (Özkan ve ark. 2022).



Şekil 3.3. Havzada karşılaşılan kömür damarına ait stamp ve stratigrafik yapı (Çelik, 2005)

Çizelge 3.1. MTA sondaj karot örneklerine dayalı kaya mekaniği sonuçları (Destanoğlu ve ark., 2000)

Formasyon	Birim Hacim Ağırlık	Porozite	Su İçeriği	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Çekme Dayanımı	Üç Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	
						Kohezyon	İçsel Sürtünme Açısı
	(MN/m ³)	(%)	(%)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(°)
Kilitaşı	0,021	25,3	-	10,2	1,0	2,5	50,0
Kalkerli Marn	0,023	13,8	-	29,2	3,9	12,5	47,0
Kireçtaşı	0,025	4,3	-	64,3	-	-	-
Marn	0,022	-	14,2	16,1	1,9	5,0	31,0

Çizelge 3.2. GLİ Ömerler sahasına ait kaya malzeme özellikleri (Özkan ve ark. 2022, Mesutoğlu 2019)

Veri	Sembol	Birim	Kömür	Tavantaşı	Tabantaşı
Tek Eksenli Basma Dayanımı	σ_{ci}	MPa	8,84	10,66	12,04
Çekme Dayanımı	σ_{tB}	MPa	2,30	8,31	8,91
Kohezyon	c	MPa	0,401	0,487	0,419
Yüzey Sürtünme Açısı	φ	(°)	31,03	24,32	25,44
Elastisite Modülü	E	MPa	2663	3198	3612
Poisson Oranı	ν	-	0,18	0,264	0,27
Doğal Yoğunluk	ρ	gr/cm ³	1,26	2,00	2,12
Doğal Birim Hacim Ağırlık	γ	kN/m ³	12,40	19,60	21,7
Suda Dağılıma Dayanımı İndeksi	I _{d2}	%	91,00	98,89	98,55
Nokta Yükleme Dayanımı	I _{s(50)}	MPa	0,51	0,70	2,38

Çizelge 3.3. GLİ-Ömerler yeraltı ocağına ait kaya kütle özellikleri (Özkan ve ark. 2022, Mesutoğlu 2019)

Veri	Sembol	Birim	Kömür	Tavantaşı	Tabantaşı
Jeolojik Dayanım İndeksi	GSI	-	35	43	47
Kaya Kütle İndeksi	RMR	-	32	44	47
Kaya Kalite Göstergesi	RQD	-	50	60	70
Kaya Kalite İndeksi	Q	-	0,37	0,99	1,16
Tek Eksenli Basma Dayanımı	σ_{cm}	MPa	1,481	1,244	1,543
Çekme Dayanımı	σ_{tm}	MPa	0,004	0,024	0,037
Kohezyon	c _m	MPa	0,401	0,487	0,419
İçsel Sürtünme Açısı	φ_m	(°)	31,03	24,32	25,44
Elastisite Modülü	E _m	MPa	302	625,99	920,07
Poisson Oranı	ν	-	0,18	0,264	0,27
Sıkışma Modülü (kütle)	K = [E/3(1-2 ν)]	MPa	157,29	442,08	666,72
Makaslama Modülü (kütle)	G = [E/2(1+ ν)]	MPa	127,97	247,62	362,23

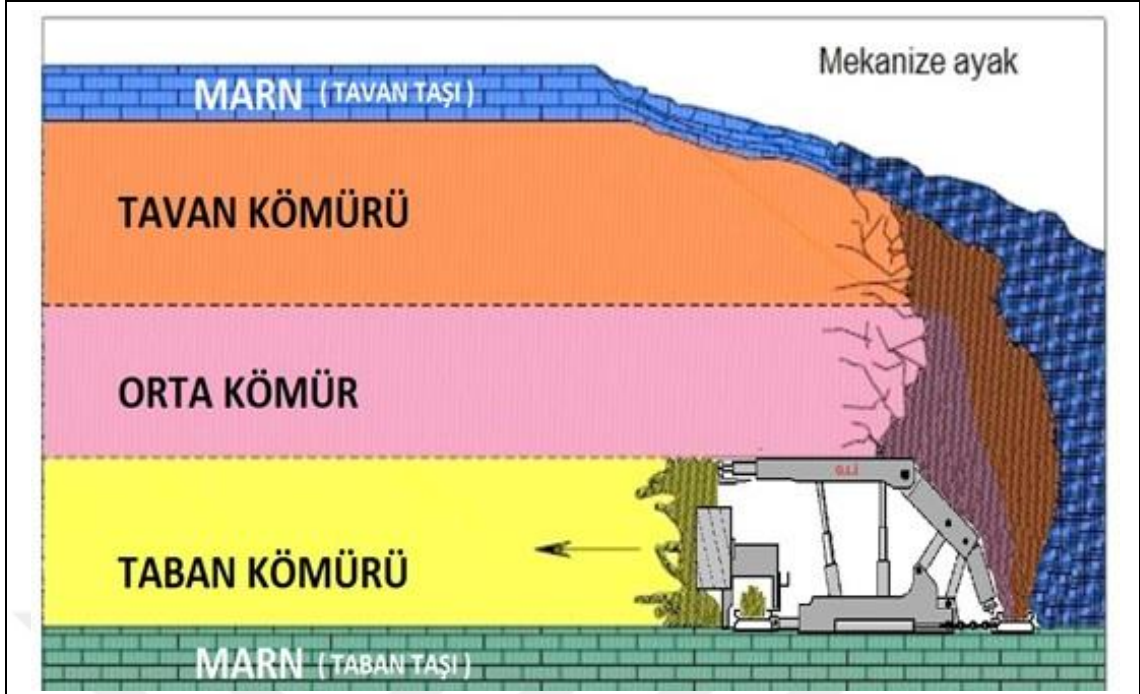
3.2.6. GLİ Ömerler yeraltı üretim yöntemi

TKİ-GLİ yeraltı kömür ocağındaki üretim, GLİ Yeraltı Üretim Şube Müdürlüğü bünyesinde yapılmaktadır. Tam mekanize kazı sisteminde yürüyen tahkimatların kullanıldığı uzunayak panolarında, arkadan blok göçertmeli üretim yöntemi kullanılmaktadır. Şekil 3.4’de mor renk ile gösterilen sınırlar, Ömerler-A sahasının üretim sınırlarıdır (Fişne, 2017).

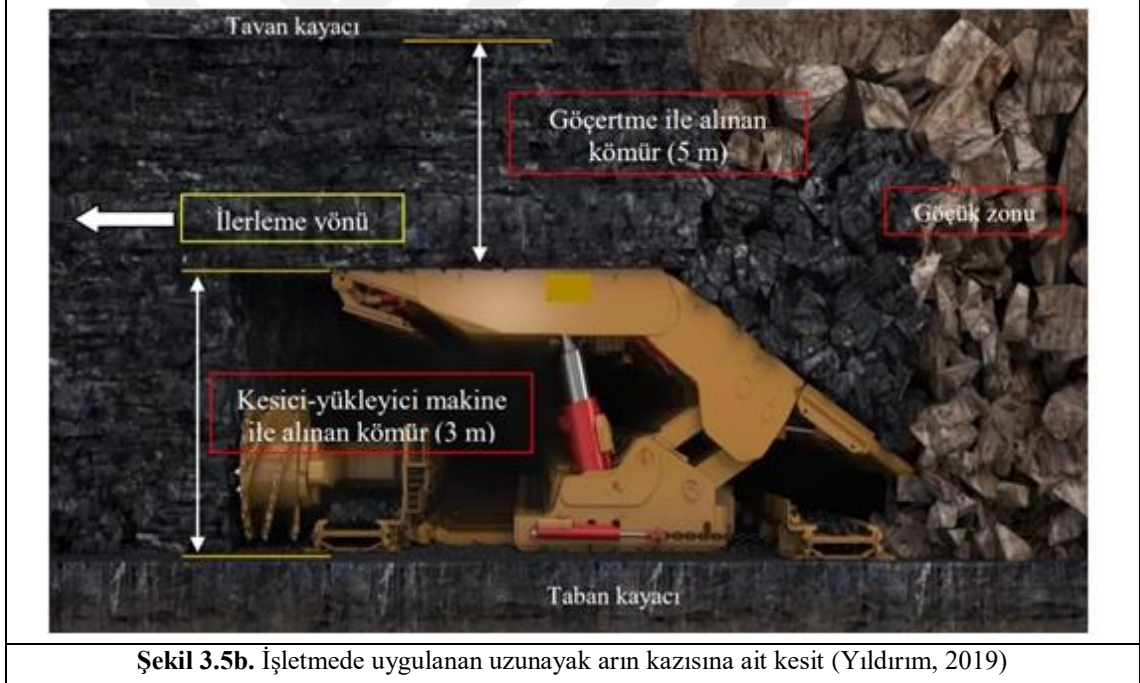
Günümüzde GLİ sahasında mevcut kömür rezervi yaklaşık 18 milyon ton mertebesindedir. Bölgede kömür damarının ortalama kalınlığı 8 m olup, damar kalınlığı 5-12 m arasında değişmektedir. Kömür damarının içerisinde yukarıdan aşağıya sırası ile A, B, S ve C olarak isimlendirilen 4 adet kil ara kesme bulunmaktadır (Şekil 3.3). Ömerler yeraltı ocağında çalışılan en derin seviye +469 kotunda A1 panosudur. Örtü tabakası kalınlığı 330 m’dir. Kalın kömür damarında tek katlı üretim yöntemi uygulanmaktadır. Yeraltı kömür üretiminin tipik bir kesiti Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Planlanan işletme sınırları (Fişne, 2017)



Şekil 3.5a. Maden üretim yöntemine ait tipik bir kesit (Fişne, 2017)



Şekil 3.5b. İşletmede uygulanan uzunayak arın kazısına ait kesit (Yıldırım, 2019)

Şekil 3.5. TKİ-GLİ'de uygulanan geri dönümlü uzunayak yönteminde tam mekanize kazı sistemi

Kömür damarının taban kotundan 90-110 m aralıklı birbirine paralel iki galeri sürülmektedir. Bunlar tavan (malzeme yolu) ve taban (kömür yolu) yolu olarak isimlendirilmektedir. Daha sonra birbirine bağlanarak üretimin yapılacağı uzunayak oluşturulur. Bu şekilde oluşturulan her bir sistem, pano olarak tanımlanır. Panolar arasında 20 m topuk bırakılmaktadır. Ayak üretiminde kömür damarının taban kotundan

3 m'lik kısmı ön kazı arınından, üste kalan 5 metrelik kısmı ise ayak arkasından alınmaktadır.

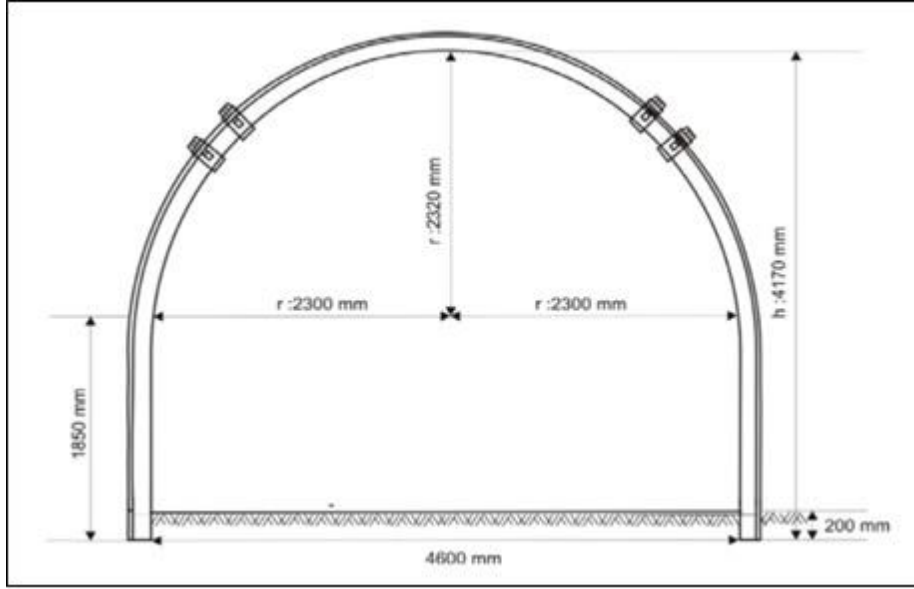
3.2.7. İşletmede kullanılan tahkimat sistemleri ve özellikleri

Hazırlık galerilerinde GI 140 profil tipinde 4,60'lık çelik bağlar kullanılmaktadır. Bu bağların taban genişliği 4600 mm yüksekliği ise 3500 mm'dir. Kazı alanı 15,79 m² faydalı kesiti ise 13,80 m²'dir. Ayrıca özel makas bağları ve kullanım yerinin durumuna göre daha değişik kalıplarda demir bağlar kullanılmaktadır. Galeri ve bacalarda kullanılan tahkimat sistemi Şekil 3.6'da sunulmuştur.

Ömerler yeraltı tam mekanize uzun ayakta, üç ayrı tip kalkan tahkimat ünitesi kullanılmaktadır. Bunlar sırası ile ayak içi tahkimatları, geçiş tahkimatları ve ayak başı tahkimatlarıdır.

Ayak içi tahkimat üniteleri, ön arın ve arka tavan kömürünü alma üzerine tasarlanmışlardır. Üretim çalışması esnasında, yürüyen tahkimat ünitesi sarması ilerletilir takibinde ayna tutucu kazı arınına yaslanır. Arka kömürün alımı sırasında, tahkimat ile ayak konveyörü arasındaki pasa temizlenir. Motor başı tahkimatları ayak konveyörü ile birlikte ilerletilir. Sonrasında hidrolik kollar yardımıyla toplayıcı konveyör yeni arın hizasına ötelenir. Şekil 3.7'de kömür üretiminde kullanılan tam mekanize uzunayak için bir fotoğraf sunulmuştur.

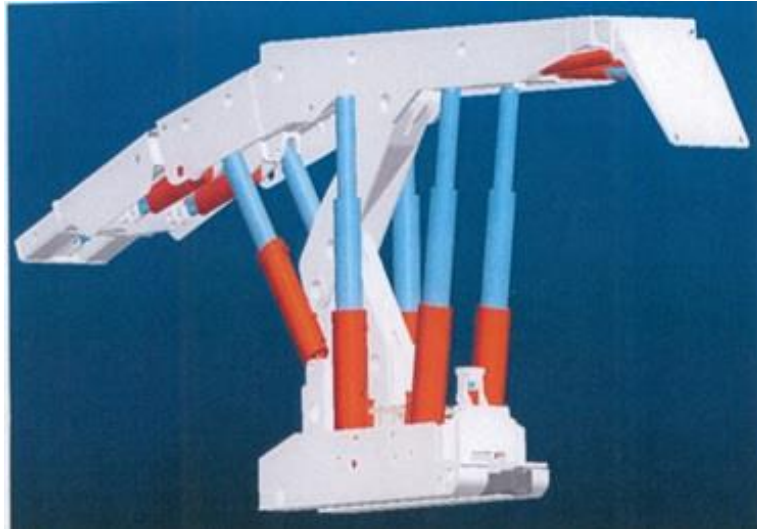
Tabanyolu-ayak geçişini sağlamak amacıyla kullanılan geçiş tahkimat üniteleri (Şekil 3.8), uzun ayağın giriş kısımlarına yerleştirilmektedir. Yapısal olarak ayak içi tahkimat ünitelerinden görünüm açısından farkı yoktur. Ancak bazı mekanik özellikleri ve boyutları farklılık gösterir.



Şekil 3.6. İşletmede hazırlık galerilerinde kullanılan çelik bağ tahkimat profili

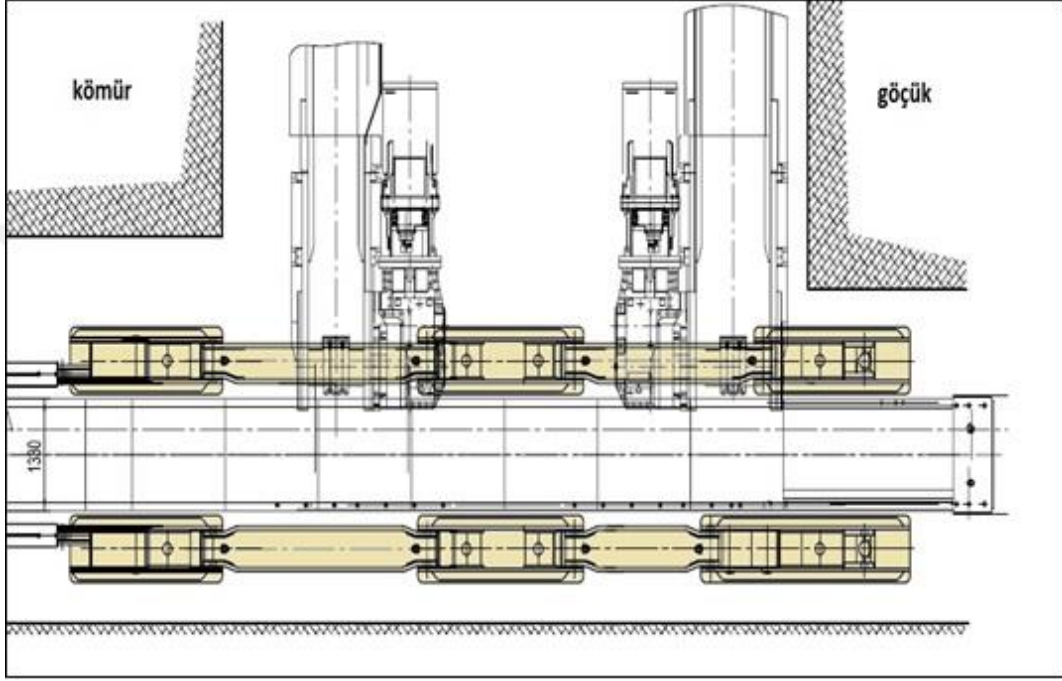


Şekil 3.7. İşletmede kullanılan ayak içi tahkimat üniteleri



Şekil 3.8. Ocakta kullanılan geçiş tahkimat ünitesi

Ayak başı tahkimat üniteleri (Şekil 3.9), diğer iki tahkimat sisteminden hem yapı hem de kapasite olarak oldukça farklıdır. Üç parçadan oluşan tahkimat ünitesinin temel iki görevinden ilki emniyetli bir çalışma alanını ayak başında sağlamak, ikincisi ise galeri (tavanyolu) arkasındaki kömürün kazanılmasını sağlamaktır. Aynı zamanda tahrik üniteleri, zincirli konveyörün baş kısmı ve diğer yükleme ünitelerine yeterli emniyetli bir alan yaratmak ve bu ünitelerin ilerletilmesini sağlamak bir diğer görevidir.



Şekil 3.9. İşletmede mevcut olan ayak başı tahkimat ünitesi

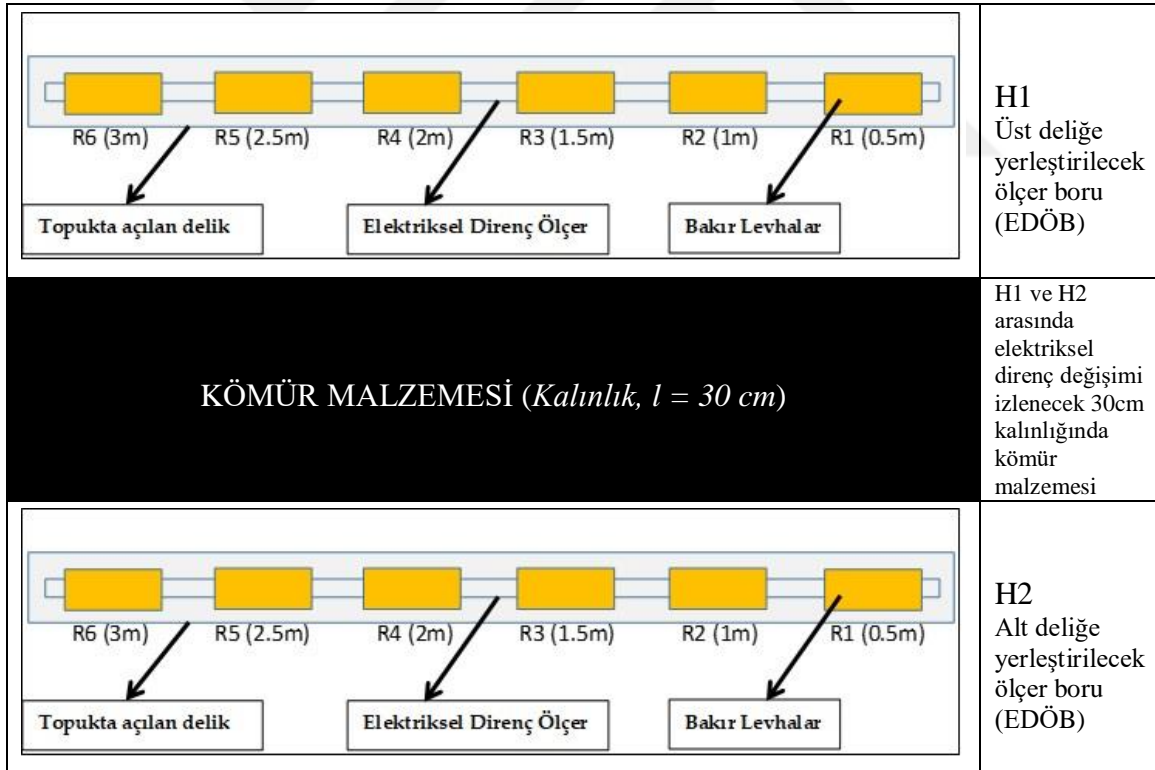
3.3. Elektriksel Direnç Ölçüm Sistemi (EDÖS) Tasarımı ve İmalatı

Laboratuvar ortamında daha önce gerçekleştirilen ve literatürde görülen deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçları dayanak kabul edilerek benzer bir çalışmanın saha şartlarında gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu çalışmanın TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı ocağında yürütülmekte olan 116M698 nolu TÜBİTAK proje çalışmaları kapsamında yapılması hedeflenmiştir. Proje ve yüksek lisans tez hedefleri doğrultusunda öncelikle saha çalışmalarına yönelik Elektriksel Direnç Ölçüm Sistemi (EDÖS) tasarımı ve imalatına yönelik çalışmaların yapılması planlanmıştır. Bu çerçevede yapılan çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

EDÖS tasarımı için Şekil 3.10'de görüldüğü üzere öncelikle şematik gösterim hazırlanmıştır. Daha sonra tasarlanan ölçüm sisteminden beklenen elektriksel direnç değişimlerini ölçüp ölçemeyeceği konusu KTÜN-Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Bölümünden ilgili öğretim üyeleri ve TKİ-GLİ İşletmesi Yeraltı Elektrik-Elektronik Baş Mühendisliği mühendisleri ile tartışılmıştır. Onların görüşleri doğrultusunda, planlanan ölçüm sistemi tasarımına sahada ön deneme çalışmalarında kullanılmak üzere son şekil verilmiştir (Şekil 3.10). Bu ölçüm düzeneğinin açılan delikler içerisine yerleştirilmesi planlanmıştır. Hazırlanan her bir çubuğa elektriksel direnç ölçüm borusu (EDÖB) (Şekil 3.10, 3.12, 3.13 ve 3.14), iki EDÖB'un birlikte bir çift olarak kullanılması durumunda ortaya çıkan ölçüm sistemine elektriksel ölçüm sistemi (EDÖS) ismi verilmiştir (Şekil 3.10, 3.15 ve 3.16).

Sonuç olarak, sahada gerçekleştirilecek ön çalışma için düşey yönde birbirine paralel aralarında 30 cm mesafe olacak şekilde 3,1 m uzunluğunda 33 mm çapında iki deliğin delinmesi, içerisine 3,1 m uzunluğunda 25 mm çapındaki galvanizli borulardan hazırlanan iki ölçüm borusunun ayrı ayrı yerleştirilmesi ile bir EDÖS ölçüm istasyonunun oluşturulması hedeflenmiştir (Şekil 3.10). Ön çalışma için sahada (A6 pano) üç adet EDÖS istasyonunun kurulması planlanmıştır.



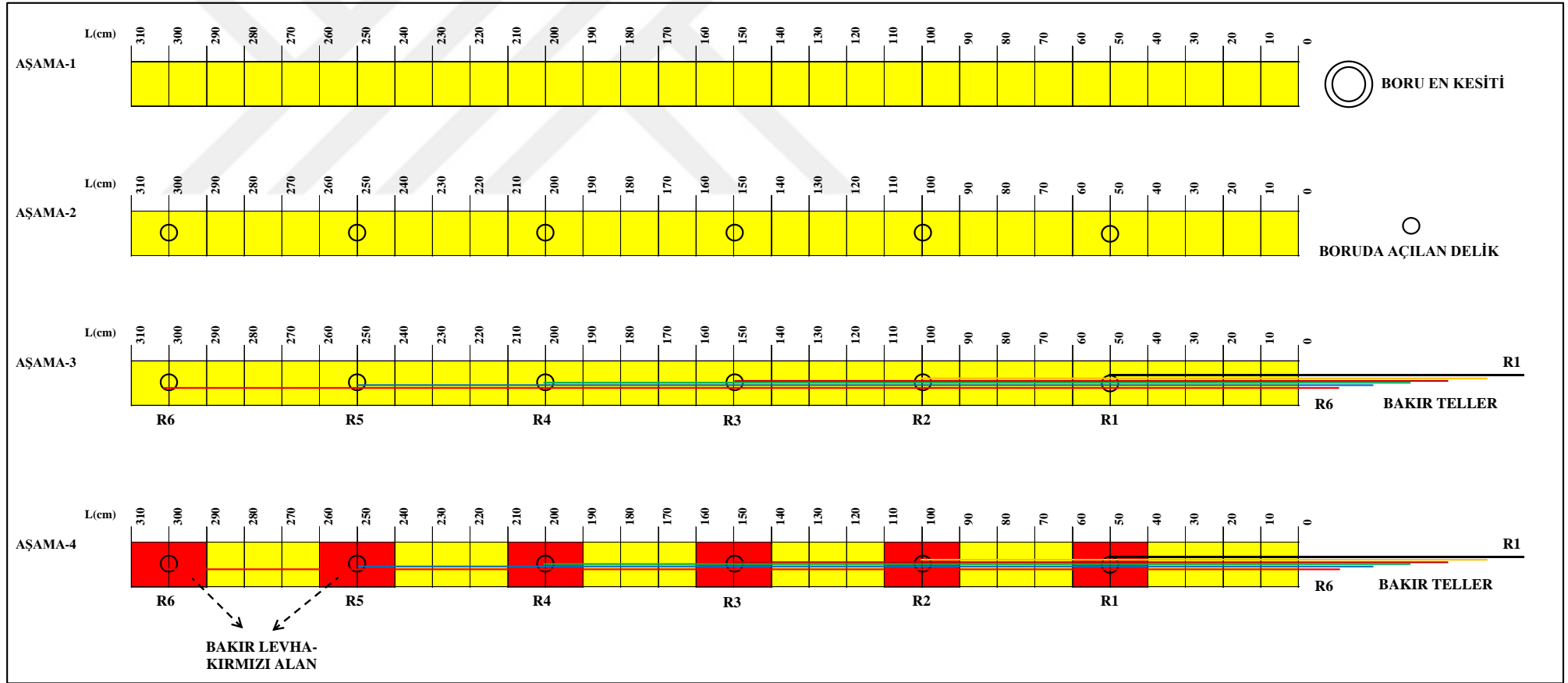
Şekil 3.10. Elektriksel direnç ölçüm boruları (EDÖB) ile EDÖS için hazırlanan şematik şekil

Elektriksel direnç ölçüm borusunun (EDÖB) imalat çalışmaları, TKİ-GLİ Ömerler yeraltı maden işletmesi Mekanik Atölyesi ve Elektrik-Elektronik Atölyesinde gerçekleştirilmiştir. TKİ-GLİ Mekanik Atölye ambarından 6,2 m uzunluğunda 15 mm iç

çapı 25 mm dış çapı olan üç adet galvanizli su borusu Mekanik Atölyesi'ne getirilmiştir. Daha sonra bu borular 3,1'er metre olacak şekilde ikiye parçaya bölünmüştür. Kesilerek elde edilen altı adet 3,1 m'lik galvanizli her bir boru üzerinde dört aşamada imalat işlemi TKİ-GLİ Ömerler yeraltı maden işletmesi Mekanik Atölyesinde gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar aşağıda sunulmuştur.

Şematik olarak Şekil 3.11'de belirtilen dört aşamanın ilk safhasında 3,1 metreye kesilen boru öncelikle 10'ar cm aralıklar ile ölçeklendirilmiştir. İkinci aşamada 50., 100., 150., 200., 250. ve 300. cm'lerine delikler delinmiştir. Üçüncü aşamada bu deliklere R1, R2, R3, R4, R5 ve R6 ismi verilmiştir. Burada R harfi, elektriksel direnci tanımlamaktadır. Her bir delikten mesken yapılarında sıklıkla kullanılan elektrik telleri (bakır tel çapı 0,5 mm) geçirilmiş ve sonrasında Şekil 3.11'de görüldüğü üzere borunun bir ucundan dışarı çıkarılmıştır. Bu tellerin karışmaması için her bir tel ucuna delik için tanımlanan isim numaralı etiket bağlanmıştır (R1, R2 gibi). Bakır levhanın sarılacağı alanda çelik ölçüm borusu ile bakır levha arasında yalıtkan bir yüzey oluşturmak amacıyla A4 boyutunda bir adet şeffaf plastik dosya deliğin olduğu bölgeye sarılmıştır. Son aşamada boru üzerinde delik açılan ve bir elektrik teli ile ilişkilendirilen ayrıca üzerine A4 şeffaf dosya sarılan yere, deliklerin 10 cm sağına 10 cm soluna taşacak şekilde 0,1 mm kalınlığında, 20 cm genişliğinde ve 20 cm uzunluğunda kesilen bakır levhalar sarılmış ve sabitlenmiştir. Şematik olarak sunulan 4 aşamanın TKİ-GLİ Ömerler yeraltı maden işletmesi Mekanik Atölyesindeki fiili imalatı Şekil 3.12'de görülmektedir.

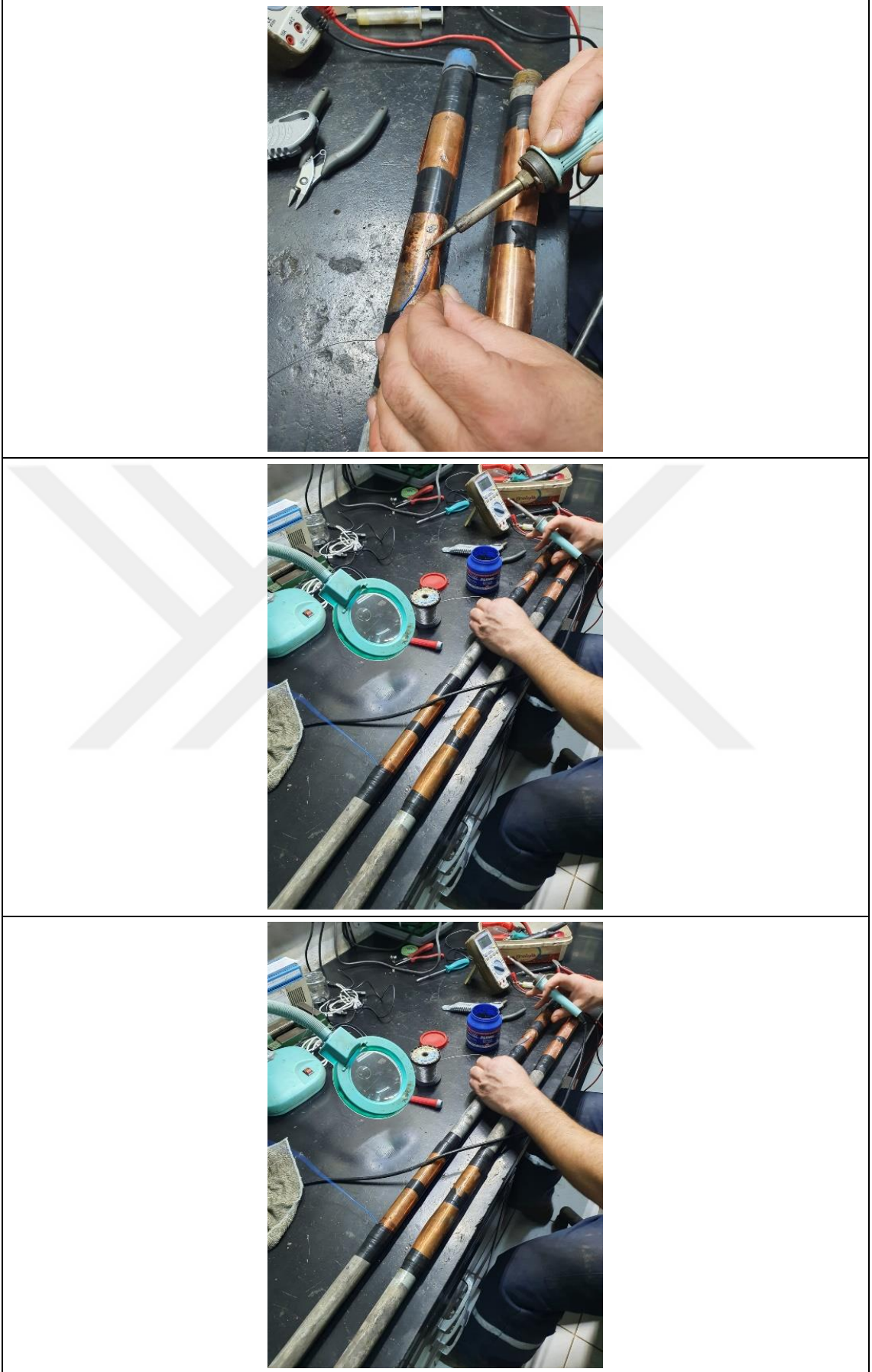
EDÖS ölçüm düzeneğinin mekanik imalatı tamamlandıktan sonra (Şekil 3.12) işletmenin Elektrik-Elektronik Atölyesinde son safhada elektrik kabloların bakır levhalara lehimlemesi Şekil 3.13'de görüldüğü şekilde yapılmıştır. Daha sonra bu lehim yerlerinin delik içerisine ölçerin yerleştirilmesi esnasında zarar görmemesi için elektrik bandı ile tekrar bantlanmıştır (Şekil 3.13). Bununla birlikte kalibrasyon çalışmaları için sırası ile ölçer olarak kullanılan çelik borunun kendi üzerinde, ölçüm borusu üzerine sarılan bakır levhanın kendi içerisinde ve ayrıca ölçüm borusu ile bakır levha arasında elektriksel direnç ölçümleri yapılmıştır. EDÖS ölçüm borusu olarak kullanılan çelik borunun kendi içerisindeki ölçümlerde elektriksel direnç değerleri 0,6-0,8 ohm, bakır levha yüzeylerinde 0,6-0,8 ohm değerinde sabitlenmiş olarak okunurken bakır levha ile galvanizli çelik boru arasında yalıtkan A4 şeffaf dosya konduğu için elektriksel direnç değerleri hiç okunamamıştır.



Şekil 3.11. TKİ-GLİ Ömerler yeraltı maden işletmesi Mekanik Atölyesinde EDÖS imalat aşamalarını gösteren şema



Şekil 3.12. Saha çalışmalarında kullanılan elektriksel ölçüm düzeneğinin (EDÖS) TKİ-GLİ Atölyesindeki imalatı

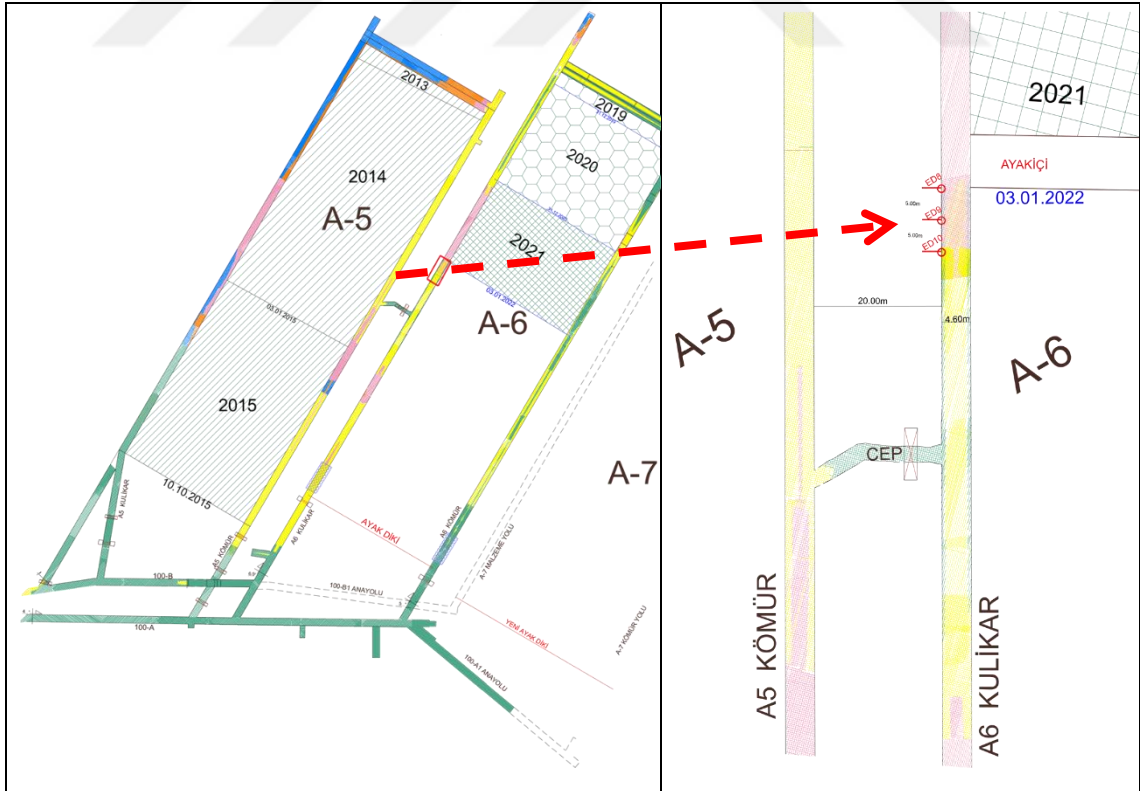


Şekil 3.13. Elektriksel Direnç Ölçer (EDÖB) imalatında kabloların bakır levhalara lehimleme aşaması

3.4. Elektriksel Direnç Ölçüm Sistemi (EDÖS) ile Gerçekleştirilen Ön Çalışma

Ön çalışmaya yönelik uygulama A6 üretim panosu malzeme galerisinde (tabanyolu) yapılmıştır (Şekil 3.14). Malzeme galerisinin topuk tarafındaki yan duvarında 30 cm mesafe ile üst üste konumlanan 3 metre uzunluğunda iki delik delinmiştir. Her iki deliğe Şekil 3.15’de gösterildiği gibi ölçüm boruları yerleştirilmiştir. Bu tarzda arından 8’er metre ara ile toplamda 3 EDÖS ölçüm istasyonu kurulmuştur (Şekil 3.14).

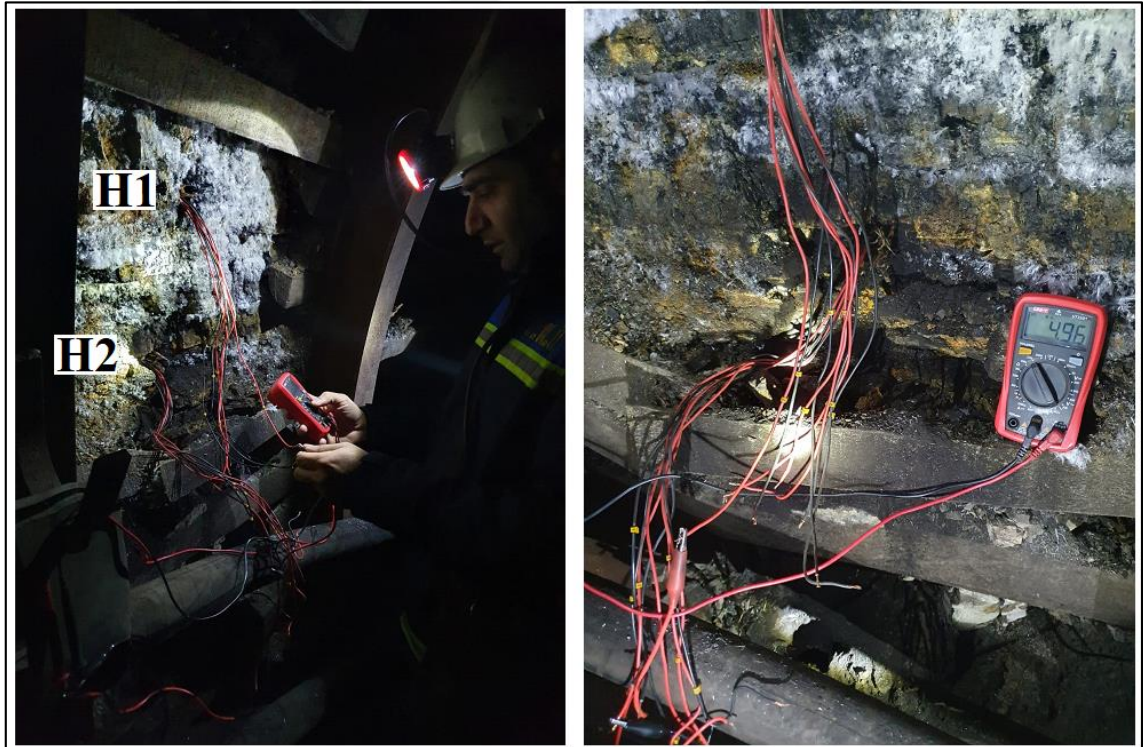
Alt alta gelen ve birbirine paralel olacak şekilde 30’ar cm aralıklarla yerleştirilen her bir ölçüm istasyonunda alt ve üst deliklere yerleştirilen ölçüm borularının 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3 üncü metrelerine 20 cm genişliğinde 0,1 mm kalınlığında bakır levhalara lehimlenmiş elektrik kabloları bulunmaktadır. Bu bakır levhalardan alınan kablolardan ohm metre (Avometre) ile ölçüm alınmıştır. Ölçümler, alt ve üst delikten aynı metreye tekabül eden bakır levhalardan gelen kablolardan her gün bir kez alınmıştır (Şekil 3.15 ve 3.16). Ölçümler zamana ve arın ilerlemesine göre kayıt altına alınmıştır. EDÖS ölçüm bölgesinde nem içeriği, su içeriği, su basıncı, gaz içeriği gibi parametreler ölçülememiştir. Ön çalışma yardımıyla alınan verilerin değerlendirilmesi Bölüm 4’de sunulmuştur.



Şekil 3.14. Ön çalışmalar için Elektriksel Direnç Ölçüm sisteminin yerleştirildiği A6 panosu malzeme galerisi (tabanyolu)



Şekil 3.15. TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı maden işletmesi A6 üretim panosu malzeme galerisinde kurulan ön ölçüm istasyonu (H1: Üst ölçüm deliği, H2: Alt ölçüm deliği)



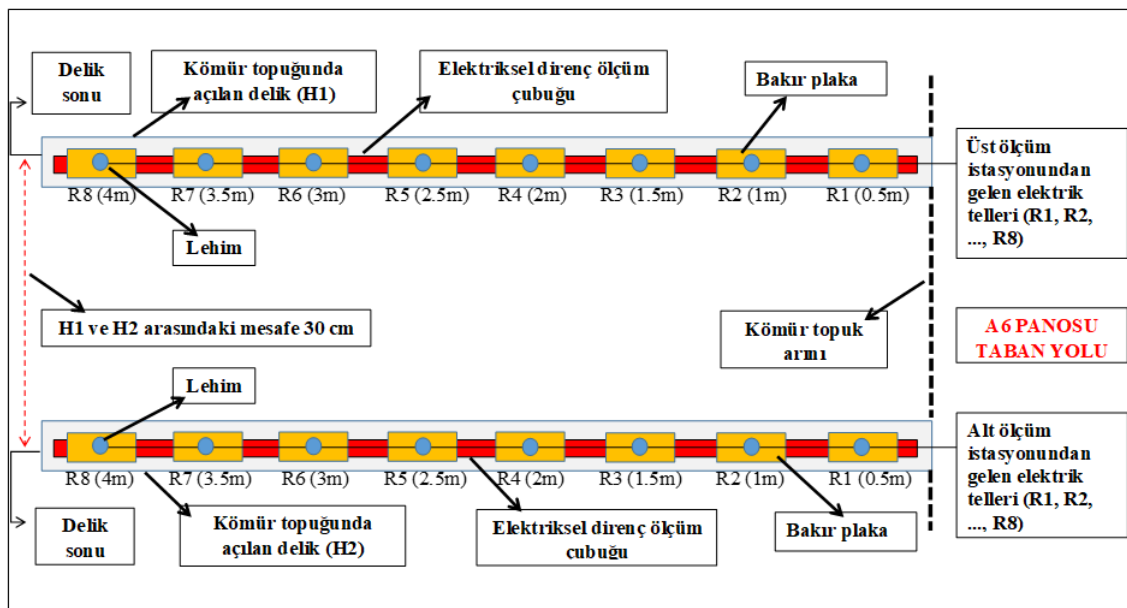
Şekil 3.16. TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı maden işletmesi A6 üretim panosu malzeme galerisinde gerçekleştirilen ön ölçüm çalışması (H1: Üst ölçüm deliği, H2: Alt ölçüm deliği)

3.5. Elektriksel Direnç Ölçüm İstasyonlarının Sahada Planlanması ve Kurulması

116M698 nolu TÜBİTAK projesi ve yüksek lisans tez çalışması kapsamında üretim çalışmalarının yürütüldüğü A6 panosu malzeme galerisinde ve hazırlık çalışmalarının devam ettiği A7 panosu nakliye galerisinde Elektriksel Direnç Ölçüm Sisteminin (EDÖS) kurulmasına karar verilmiştir. Her iki panoda gerçekleştirilen çalışmalar aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

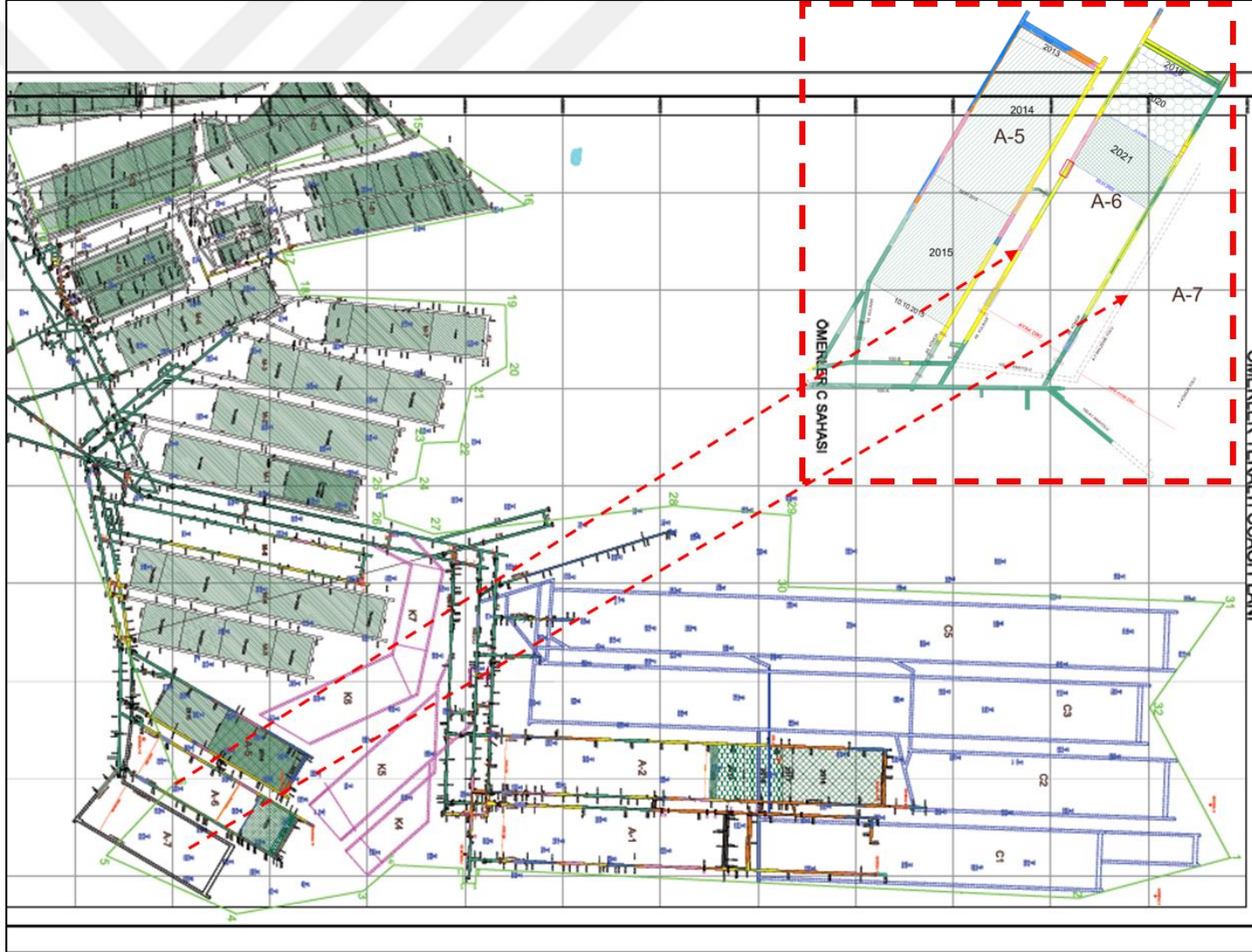
3.5.1. A6 üretim panosunda yürütülen çalışmalar

Sahada yapılan ön uygulamadan elde edilen bulguların değerlendirilmesi sonucunda topuk tarafında kullanılacak ölçüm borusunun (EDÖB) uzunluğu, 20 metrelik topuk genişliğinden dolayı 4 metreye çıkarılmıştır. Aslında topuk genişliğinin yarısına kadar uzanan 10 metrelik ölçüm borularının yapılması düşünülmüştür. Ancak galeri genişliğinin (B) 5,5 m olmasından dolayı tek parçadan oluşan ölçüm borularının topukta açılan delik içerisine yerleştirilmesinin ancak 4 m olması durumunda mümkün olabileceği görülmüştür. Sadece ölçüm borusu uzunluğunun değiştirildiği revize ölçüm sisteminde her delik içerisindeki ölçüm borusu üzerindeki 6 adet bakır levha sayısı 8 adete çıkarılmıştır. Bu son durumu yansıtan ölçüm istasyonuna ait şematik sunum Şekil 3.17’de verilmiştir.

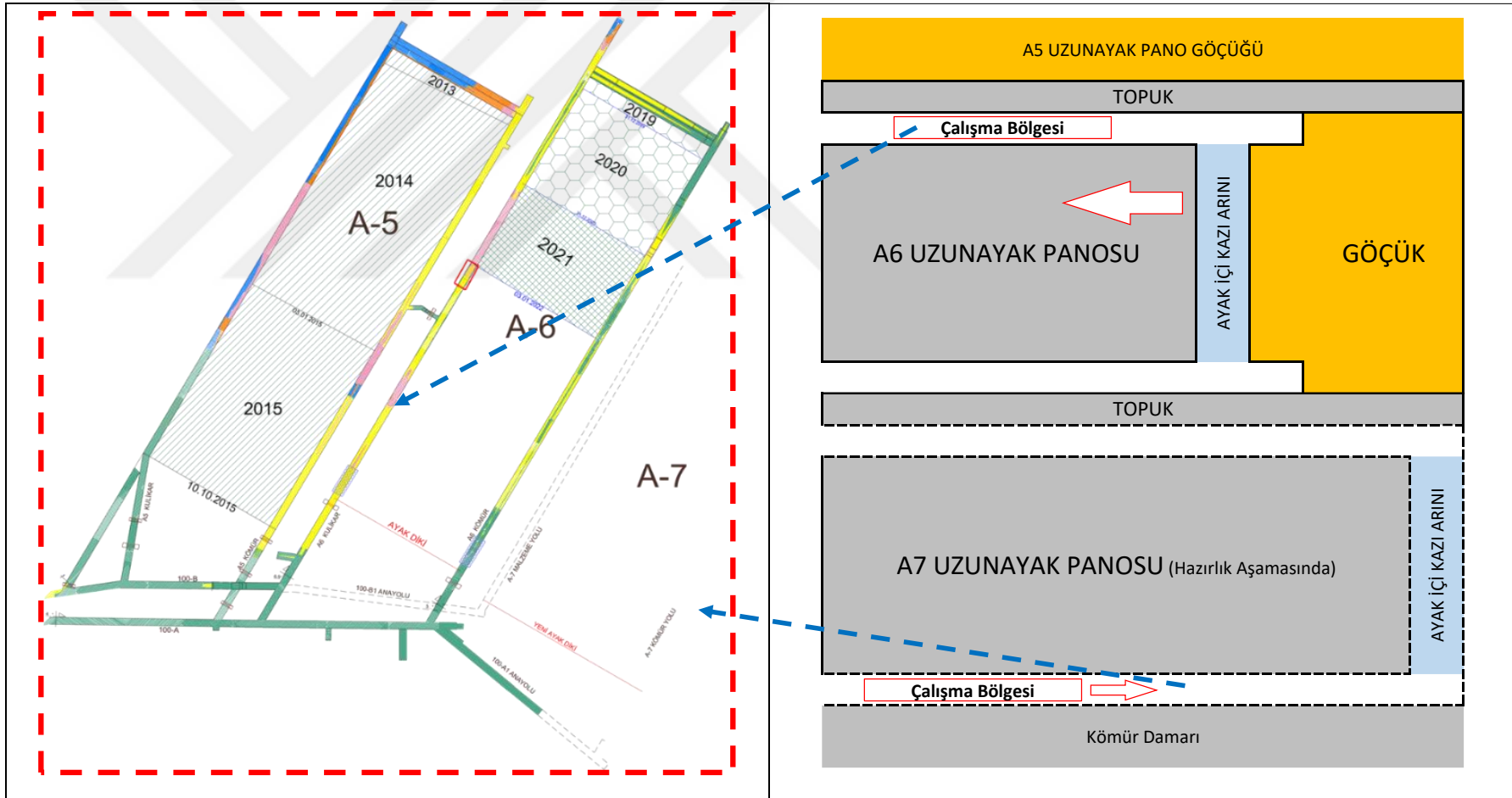


Şekil 3.17. TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı maden işletmesi A6 panoda kullanılan EDÖS için geliştirilen şematik gösterim (Özkan ve ark., 2023)

Üretim aşamasında olan A6 Panosu malzeme galerisi içinde planlanan EDÖS ölçüm bölgesinin uzunluğu 25 m, galerinin tahkimat ünitesi demir bağ olup ölçüm istasyonları arasındaki mesafeler yaklaşık 5 m olmuştur. Toplamda 5 adet EDÖS ölçüm istasyonu, A6 malzeme galerisinin ayağa gidiş istikametinin sağ tarafındaki topuk tarafı olan galeri yan cidarında konumlanmıştır. Her bir EDÖS ölçüm istasyonuna Şekil 3.17’de verilen şemadaki gibi düşey yönde 30 cm aralıkla ve 33 mm çapında açılan iki delik içerisine iki adet elektriksel direnç ölçüm borusu (EDÖB) yerleştirilmiştir. EDÖS ölçüm istasyonlarının kurulduğu bu yüzey aslında üretimi tamamlanmış göçük altındaki A5 pano ile halen üretimi devam eden A6 uzunayak panolarının arasında kalan 20 m genişliğindeki topuğun yüzeyi olmaktadır (Şekil 3.18, 3.19). Bu çalışmada A6 uzunayak panosunda üretime bağlı ayak arın ilerlemesine ve zamana bağlı topuktaki dinamik etkilere dayalı elektriksel direnç değişimlerinin izlenmesi hedeflenmiştir. Ancak bu ölçüm bölgelerinde ortama ait nem, su içeriği, su basıncı, gaz içeriği gibi parametreler ölçülmemiştir.



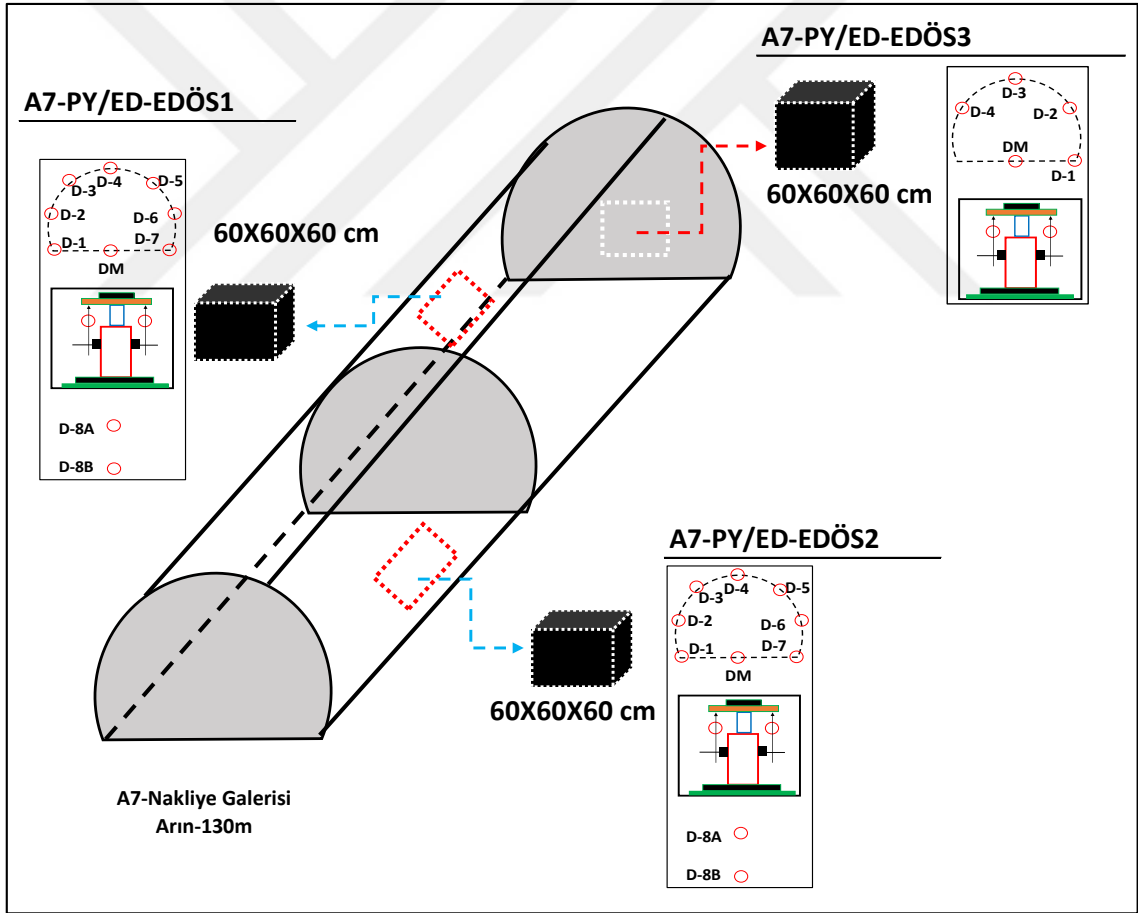
Şekil 3.18. Elektriksel Direnç Ölçüm sisteminin kurulması planlanan iki farklı bölgeyi gösteren genel plan görünüşü



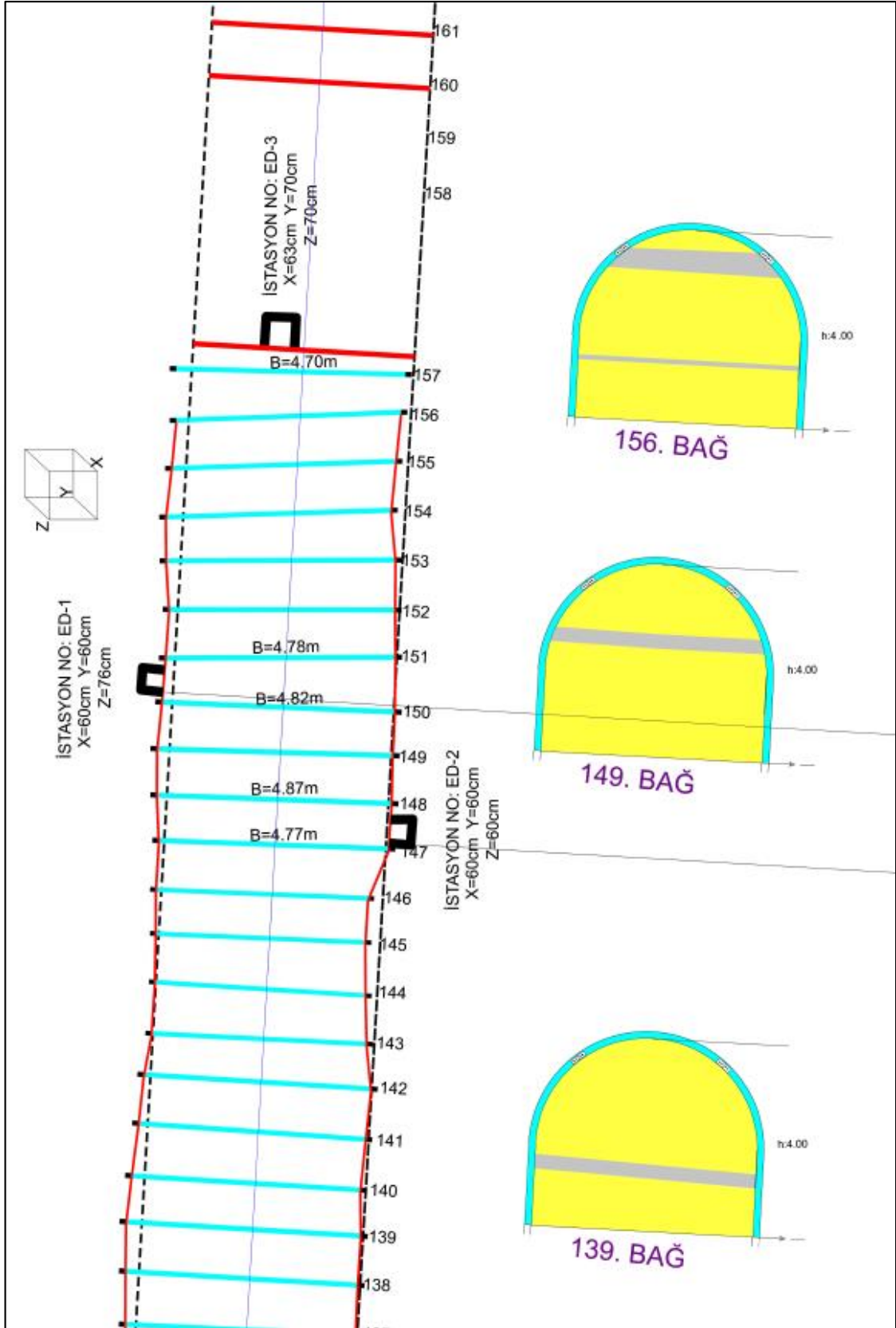
Şekil 3.19. TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı maden işletmesi A6 ve A7 üretim panosu malzeme ve nakliye galerisinde kurulan EDÖS istasyonlarını gösteren yakın plan görünüşü

3.5.2. A7 hazırlık panosunda yürütülen çalışmalar

Hazırlık aşamasında olan A7 Panosu nakliye galerisi içinde kurulması planlanan EDÖS ölçüm bölgesinde, delme-patlatma ile açılan galerinin tahkimat ünitesi demir bağlar ile yapılmaktadır. A6 panosundaki ölçümlerde dinamik etki, A6 pano üretim arınındaki ilerlemeler ile bir başka ifade ile mekanizasyon kazı etkisiyle sağlanmıştır. A7 panosunda ise halen hazırlık aşamasında olan nakliye galerisinin yaklaşık 130. metresinde ölçüm bölgesi oluşturulmuştur (Şekil 3.18, 3.19). Yaklaşık 130 m ilerlemesi yapılan nakliye galerisinin arınında, sağ (topuk tarafı) ve sol (pano tarafı) kenarlarında GLİ-Ömerler Yeraltı Hazırlık birimi tarafından açılan yaklaşık 60X60X60 cm boyutlarındaki ceplerde, plaka yükleme deneyi yapılarak dinamik yük oluşturulmuştur (Şekil 3.20 ve 3.21).

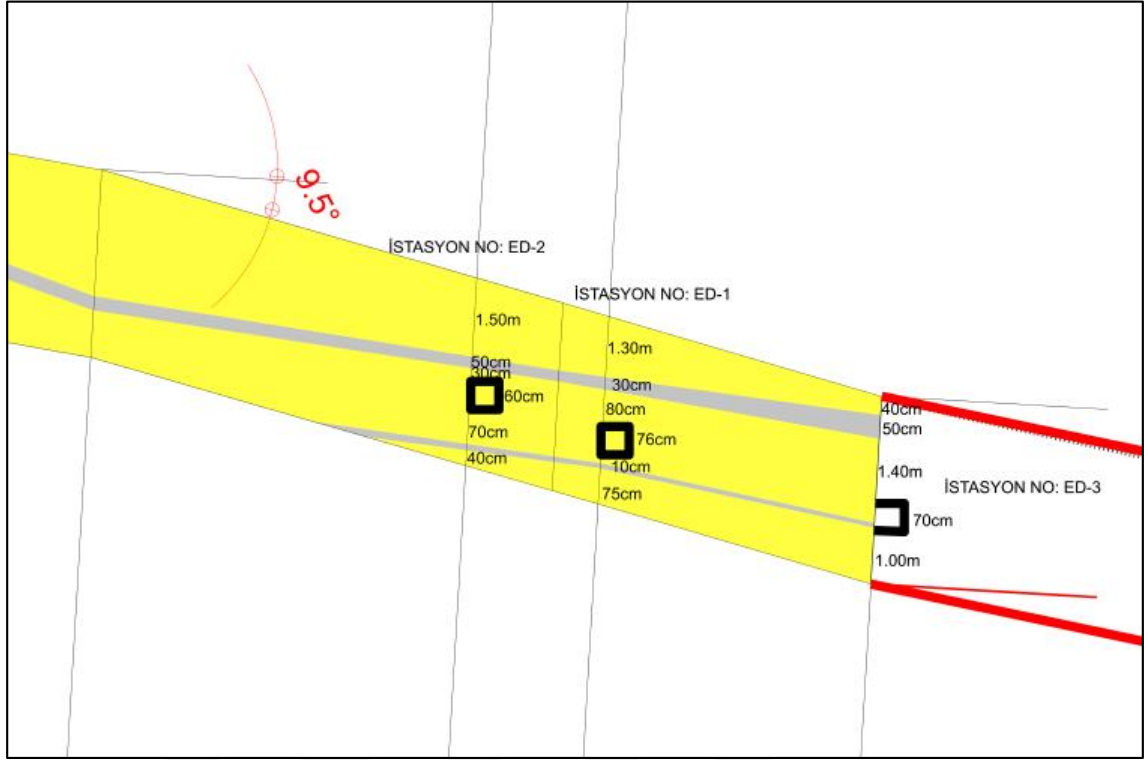


Şekil 3.20. TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı maden işletmesi A7 üretim panosu nakliye galerisinde kurulan EDÖS istasyonları kesitte gösteren bir şema



a) Plan görünüş

Şekil 3.21. TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı maden işletmesi A7 üretim panosu nakliye galerisinde kurulan EDÖS istasyon konumları



b) Yandan görünüş (A7 panosuna doğru).

Şekil 3.21. TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı maden işletmesi A7 üretim panosu nakliye galerisinde kurulan EDÖS istasyon konumları (Devam)

Şekil 3.20'de sunulan şematik şekilde görüldüğü üzere galeri arınında açılan cebe A7-PY/ED-EDÖS3, galeri arınının sol tarafında açılan cebe A7-PY/ED-EDÖS1, galeri arınının sağ tarafında açılan cebe A7-PY/ED-EDÖS2 ismi verilmiştir. Bu isimlendirmede EDÖS-Elektriksel Direnç Ölçüm Sistemi, PY-Plaka Yükleme, ED-Elektriksel Direnç olarak kısaltılmıştır. Arında kurulan istasyon arına sıfırıncı metrede iken A7-PY/ED-EDÖS1 arına 680 cm mesafede, A7-PY/ED-EDÖS2 arına 1030 cm mesafede açılmıştır (Şekil 3.21). Bu hazırlanan uygulama ceplerinin üzerinde ve altında açılan EDÖS delik geometrileri ile ilgili bilgiler sırası ile aşağıda sunulmuştur.

Uygulama ceplerinin üzerine ve altına ölçüm delikleri açılmıştır. Deliklerin içerisine 75 cm uzunluğunda 15 mm iç ve 25 mm dış çapı olan ölçüm boruları üzerine bakır levhalar sarılmış ve elektrik teli lehimlenmiştir (Şekil 3.22). A6 panoda yapılan çalışmalarda kullanılan ölçüm boruları 4 m ve üzerinde 8 adet bakır levha bulunurken A7 panodaki çalışmalarda ölçüm boruları ve delikleri 75 cm olarak kısa tutulmuştur. Bunun nedeni A7 pano nakliye galerisinde hazırlanan uygulama ceplerinde dinamik etkinin hidrolik kriko yardımıyla oluşturulacak olması olarak açıklanabilir. Sınırlı bir bölgeyi etkileyebilecek olan bu yapay dinamik etkinin, topuğun içerisine doğru birinci metreden sonra görülemeyeceği düşüncesi A7'deki EDÖS istasyonlarında delik boylarının 75 cm

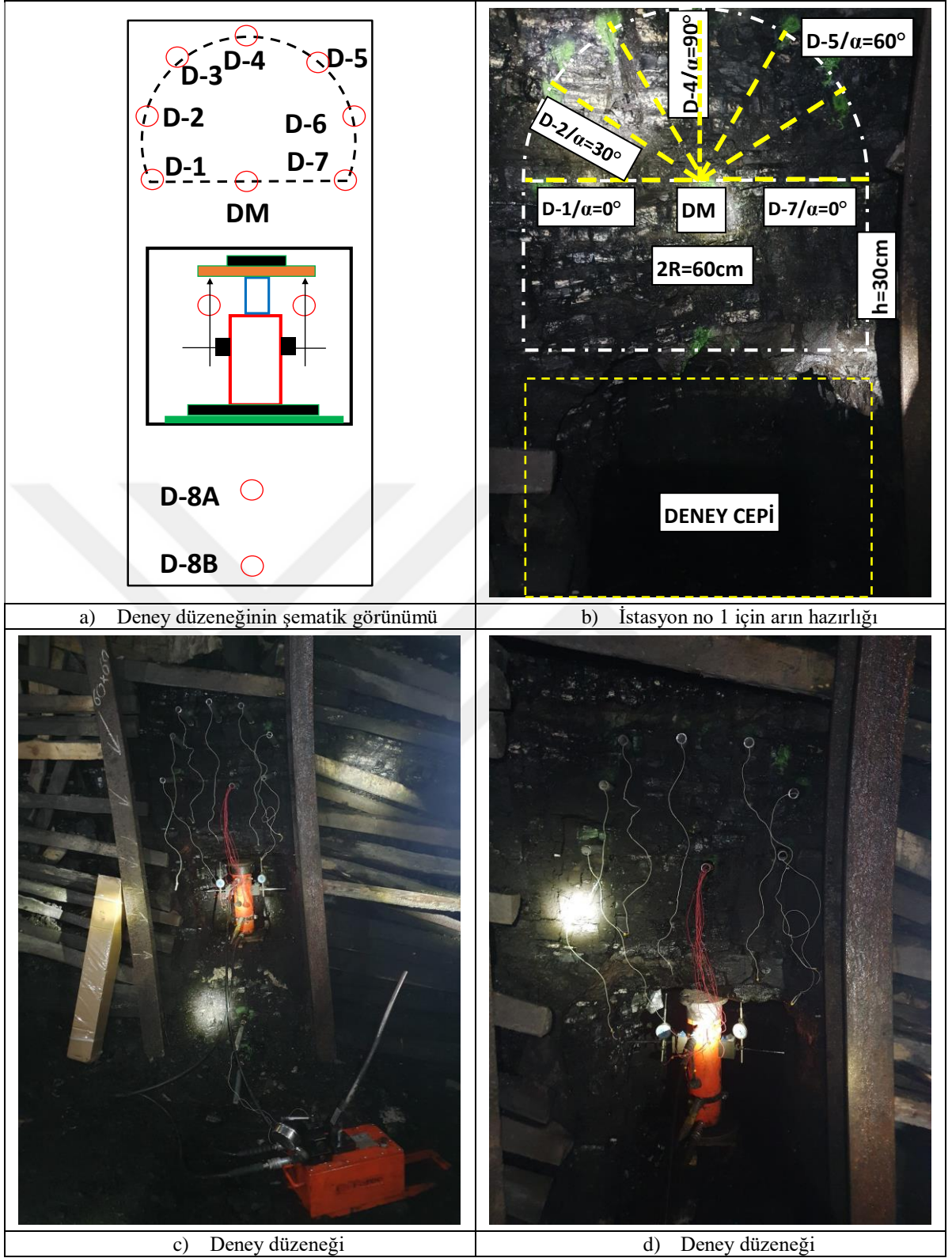
ile sınırlanmasına neden olmuştur. Bölüm 3.5.1’de değinildiği gibi A6 pano malzeme galerisi topuğunda EDÖS ile izlenen dinamik etki, bizzat büyük ölçekte uzunayak mekanize kazı arınındaki ilerlemeler ile yaratılmıştır.

Şekil 3.20’de görüldüğü üzere galerinin A7 panosu tarafı olacak olan nakliye yolunun sol tarafında A7-PY/ED-EDÖS1 olarak isimlendirilen uygulama cebi hazırlanmıştır. Bu cebin 30 cm üzerinde yarıçapı 30 cm olan bir yarım daire üzerinde sırasıyla sağdan sola doğru 0-30-60-90-60-30-0 derecelik açıları gören noktalarda 36 mm çapında 75 cm uzunluğunda burğu ile delikler açılmıştır. Bu deliklere sırası ile D-1, D-2, D-3, D-4, D-5, D-6 ve D-7 isimleri verilmiştir. Oluşturulan dairenin merkezine aynı boyutlarda olan ayrı bir delik delinmiş ve isim olarak DM tanımı yapılmıştır. Bunların haricinde cebin 30 cm alt kısmından daha aşağıya aralarında 30 cm aralık ve düşey konumda bulunan iki delik daha delinmiştir. Bu deliklere D-8A ve D-8B isimleri verilmiştir (Şekil 3.20). Hazırlanan uygulama cebi ve EDÖS ölçüm deliklerine Şekil 3.22’de hazırlanan ölçüm boruları yerleştirilmiştir. A7-PY/ED-EDÖS1 isimli istasyonda gerçekleştirilen çalışmalar Şekil 3.23’de tanımlanmıştır. Şekil 3.23’de görüldüğü üzere DM-D1 ($\alpha=0^\circ$, Sol Taraf), DM-D2 ($\alpha=30^\circ$, Sol Taraf), DM-D3 ($\alpha=60^\circ$, Sol Taraf), DM-D4 ($\alpha=90^\circ$, Orta), DM-D5 ($\alpha=60^\circ$, Sağ Taraf), DM-D6 ($\alpha=30^\circ$, Sağ Taraf) ve DM-D7 ($\alpha=0^\circ$, Sağ Taraf) olacak şekilde elektrik telleri ilişkilendirilmiş ve her bir çift yapılan delik grubuna ait bir avometre ile ohm cinsinden elektriksel direnç değerleri alınmıştır. Benzer işlem D-8A ile D-8B ölçüm borularına da uygulanarak avometre ile alınan ölçümler not edilmiştir. Ölçümlerde aynı model ve yeni 8 adet avometre kullanılmıştır.

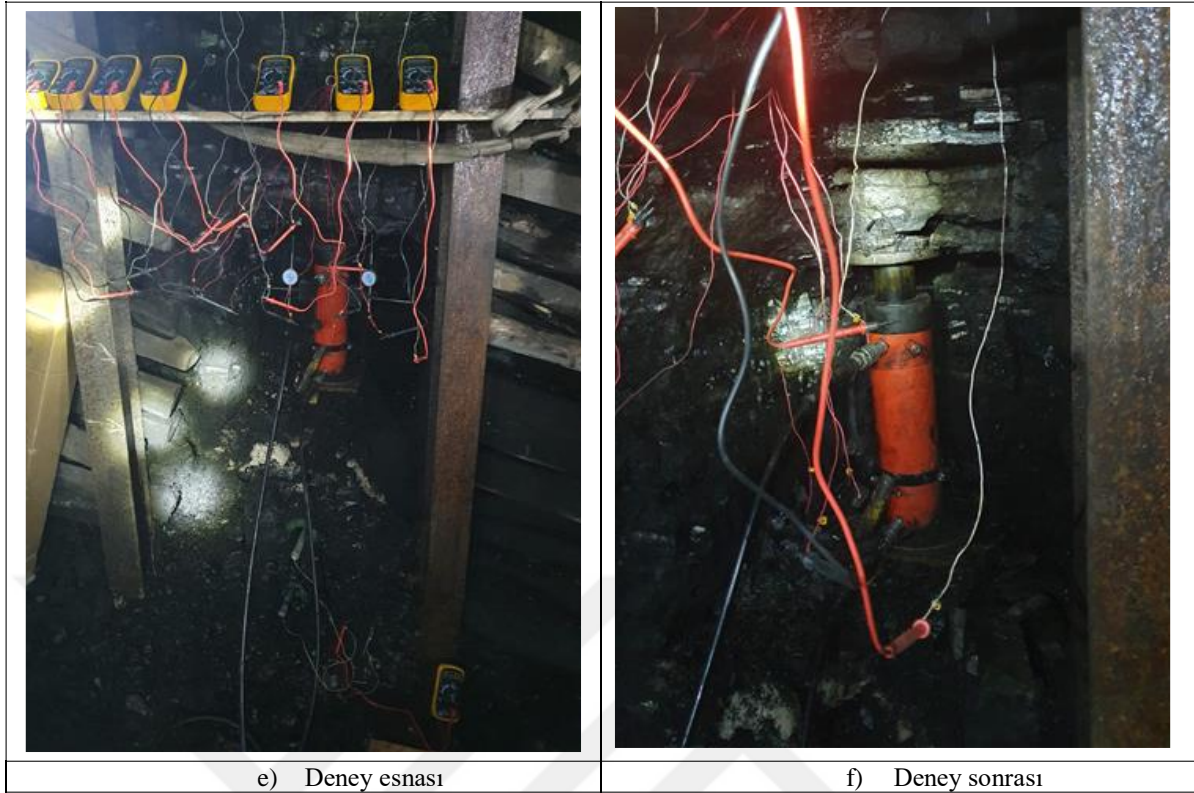
Ölçümlerde uygulama cebi içerisine yerleştirilen hidrolik kriko ile kademeli olarak artan yönde yaratılan basınç değerleri ile uygulama cep tavanı sıkıştırılmıştır. Tavan tabakalarına uygulanan maksimum basınç ile tavan tabakaları kırıldığı andan itibaren yük artışına izin vermeyen tavan tabakaları nedeni ile hidrolik yük değerleri kademeli olarak sıfır değerine indirilmiştir. Burada tavan tabakaları yükleme-boşaltmaya (load-unload) maruz bırakılmıştır. Deneyin bu kısmı plaka yükleme deneyi olarak tanımlanmıştır. Plaka yükleme deneyleri için tavan tabakalarında oluşan deformasyonlar iki adet 0,01 mm hassasiyetli 50 mm stroklu komparatör saatleri ile takip edilmiştir. Deneyler esnasında eş zamanlı olarak hidrolik kriko yardımıyla uygulama cep tavanını sıkıştıran her basınç değerinde sırasıyla zaman, komparatör saat okuması ve elektriksel direnç okumaları eş zamanlı olarak kayıt edilmiştir (Şekil 3.23). Ancak uygulamanın yapıldığı cep bölgelerinde ortama ait nem, su içeriği, su basıncı, gaz içeriği gibi parametreler ölçülmemiştir.



Şekil 3.22. A7 panodaki uygulamalar için ölçüm borularının hazırlanması süreci



Şekil 3.23. A7 hazırlık galerisi nakliye yolunda A7-PY/ED-EDS1 istasyonunda gerçekleştirilen EDS lm aşamaları



Şekil 3.23. A7 hazırlık galerisi nakliye yolunda A7-PY/ED-EDÖS1 istasyonunda gerçekleştirilen EDÖS ölçüm aşamaları (Devam)

A7-PY/ED-EDÖS2 isimli istasyonda uygulama cebi üzerinde yapılan hazırlık çalışmaları A7-PY/ED-EDÖS1 istasyonu ile aynı olmuştur. A7-PY/ED-EDÖS2 isimli istasyon uygulama cebi üzerinde de 0-30-60-90-60-30-0 derecelik açıları gören delikler (D-1, D-2, D-3, D-4, D-5, D-6 ve D-7), merkez delik (DM) ve uygulama cebi altında kalan D-8A ve D-8B ölçüm delikleri açılmıştır. Daha sonra hazırlanan EDÖB'ler ölçüm deliklerine yerleştirilerek deneye geçilmiştir. Eş zamanlı olarak PY ve EDÖS ölçümleri alınmıştır.

A7-PY/ED-EDÖS3 istasyonunda arının hemen önündeki bir metrelik alanda tahkimat çalışmaları tam tamamlanamadığı için kavlak düşmesi endişesi oluşmuştur. Bundan dolayı bu istasyonda sadece sağdan sola doğru sırasıyla 0-45-90-45 derecelik açıları gören noktalarda ölçüm delikleri açılmıştır (Şekil 3.20). A7-PY/ED-EDÖS1 ve A7-PY/ED-EDÖS2 isimli istasyonlarda uygulama cebi altında D-8A ve D-8B ölçüm delikleri açılırken benzer kaygılar ile A7-PY/ED-EDÖS3 istasyonunda bu tür delikler açılmamıştır.

Sonuç olarak, DM kodlu delik içerisinden gelen kırmızı renkli elektrik kabloları ile D-1...D-7 kodlu deliklerin her birinden gelen beyaz renkli elektrik kablolu birer bir

eşleştirilmiştir. Cep içerisindeki hidrolik kriko ile yukarı doğru yapılan dinamik yük etkisi, farklı açılarda yerleştirilen EDÖS ölçerler ile takip edilmiştir (Şekil 3.20 ve 3.23). Ayrıca cebin altında kalan kısımda da cebin alt kenarından 30 cm altında bir delik (D-8A) bir de bu deliğin tekrar 30 cm altında olan bir delik daha açılmıştır (D-8B). Hidrolik krikonun alt tarafa verdiği dinamik yük etkisi ise D-8A ve D-8B ile de takip edilmiştir (Şekil 3.20 ve 3.23).

Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de görülen planlarda belirtilen A7-PY/ED-EDÖS1 istasyonunda iki kez diğer istasyonlarda ise birer kez plaka yükleme ile EDÖS deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yukarıda belirtildiği gibi bu deneylerde dinamik etki hidrolik kriko ile sağlanmıştır. A7 hazırlık panosunda gerçekleştirilen çalışmalarda deney ortamına ait nem içeriği, yeraltı su durumu, gaz içeriği ve miktarları gibi parametreler kayıt altına alınamamıştır.

3.6. Saha ve Laboratuvarda Gerçekleştirilen Temel Kaya Mekaniği Deneyleri

Sahada gözlenen kömür damarı, tavan ve tabantaşına ait mekanik verilerin tespiti için 116M698 nolu TÜBİTAK projesi ile bir seri temel kaya mekaniği deneyi, laboratuvar ve sahada gerçekleştirilmiştir. EDÖS ölçüm bölgelerinde (A6 ve A7 panosu) karşılaşılan kaya malzemesi düşük dayanımlı zayıf ve yumuşak bir karakterde olmasından dolayı tek eksenli basma dayanımı (TEBD, σ_{ci}), dolaylı çekme dayanımı (DÇD, σ_{tB}), deformabilite (TEBD, E, ν), makaslama (c, ϕ) deneyleri bu bölgelerden temin edilen örnekler üzerinde gerçekleştirilememiştir. Ancak 116M698 nolu TÜBİTAK proje kapsamında A1, A2 ve A6 panolarından temin edilen örnekler üzerinde gerçekleştirilen bu tür kaya mekaniği verileri ($\sigma_{ci}, \sigma_{tB}, E, \nu, c, \phi$ vb) bu tez için de dikkate alınmıştır. Bu konuya ait öz bilgiler bu tezde Bölüm 3.2.5’de sunulan Şekil 3.3, Çizelge 3.2 ve 3.3’de verilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Genel

Bu yüksek lisans tez çalışmasında saha ölçüm çalışmaları iki aşamada yürütülmüştür. Elektriksel Direnç Ölçüm Sistemi (EDÖS) deneyleri ilk önce ön çalışma kapsamında A6 panosunda üç ölçüm istasyonu ile yapılmıştır. İkinci aşamada asıl deneyler A6 ve A7 panosunda yapılmıştır. Bu tezin üçüncü bölümünde ölçüm sisteminin sahada kurulmasına ve izlenme yöntemine ait bilgiler sunulmuştur. Bu bölümde ise ulaşılan bulgular sunulacaktır.

4.2. A6 Üretim Panosunda Gerçekleştirilen EDÖS Ön Çalışma Sonuçları

A6 panosu topuk tarafında birbirlerine yaklaşık 5 m aralıklar ile kurulan üç EDÖS ölçüm istasyonunda (A6-ÖnÇ-EDÖS1, A6-ÖnÇ-EDÖS2, A6-ÖnÇ-EDÖS3) ön ölçümler alınmıştır. İlk istasyon uzunayak üretim kazı arın hizasında, ikinci istasyon arının 5 m ilerisinde, üçüncü istasyon ise arından 10 m ileride kurulmuştur. Ölçümler yaklaşık 46 gün (1104 saat) boyunca takip edilmiştir. Uzunayak kazı arını 10 m ilerleyince tüm ölçüm istasyonları göçük tarafında kalmıştır. Ölçümlerin alındığı tarihlerdeki A6 uzunayak panosundaki arın ilerlemeleri ve zaman kayıt altına alınmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarının ilk değerlendirmeleri olumlu bulunmuştur. Arının 10 m uzağında kurulan üçüncü istasyonundan (A6-ÖnÇ-EDÖS3) alınan ölçüm sonuçları burada sunulmuştur (Şekil 4.1-4.4). Ölçüm borularının uzunlukları 3,1 m olduğu için düşey ekseninde aralarında 30 cm mesafe ile birbirine paralel olarak açılan ölçüm deliklerinin uzunlukları da 3,1'er metre olmuştur.

Arında üretim yapıldıkça istasyon noktası ile arın arasındaki mesafe azalmıştır. Sonuç olarak ölçümler zamana ve arın ilerlemesine göre yapılmıştır. Şekil 4.1-4.4'de A6-ÖnÇ-EDÖS3 isimli ölçüm istasyonundaki 0,5 m, 1 m, 1,5 m ve 2 m'den alınan ölçüm sonuçları zamana bağlı olarak verilmiştir.

Şekil 4.1-4.4'de sunulan ölçüm grafiklerinde elektriksel direnç değerlerinin (R, ohm) azalması topuktaki kömür malzemesinin sıkışmaya başladığını ifade etmektedir. En düşük R seviyesine gelindiğinde kömür malzemesinin dayanım noktasına ulaşıldığı bir başka ifade ile kırıldığı düşünülmüştür. Daha sonra yukarı doğru çıkan grafik eğrisi kırılan kömür malzemesinin parçalanmaya veya gevşemeye doğru ilerlediğini ifade

etmektedir. Benzer davranış laboratuvar deneylerinde de görülmektedir (Bölüm 2, Şekil 2.4). Laboratuvar deneylerinde karot örneği fiziksel olarak parçalandığı için ölçüm süreci tamamlanırken (unconfined) sahada her tarafı malzeme ile dolu olan ölçüm bölgesinde (confined) kırılarak gevşeyen kömür malzemesinin tekrar sıkışmaya başladığı görülmektedir. Sonuç olarak, birbirini takip ederek üç parçadan oluşan bu süreç (sıkışma-yenilme-gevşeme) birkaç kez tekrarlanabilmektedir.

Şekil 4.1’de kömür topuğunun 0,5 metre içerisinde kalan kömür malzemesinin yukarıda bahsedilen ardışık üç davranışı gösterdiği görülmektedir. Yaklaşık 1104 saat içerisinde kömür arınındaki kazıya bağlı olarak azalan elektriksel direnç (R, Kohm) göstergesinden kömür malzemesinin önce sıkıştığı, en dip R (Kohm) değerine ulaştığı anda yenildiği ve daha sonra ise artan R (Kohm) değerlerinin yenilen kömür malzemesindeki gevşemeyi gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu davranış biçiminin ölçüm süreci içerisinde dört kez tekrarlandığı anlaşılmıştır.

Şekil 4.2’de topuğun birinci metresinde bulunan bakır levhanın kömürdeki ara kesmeye tekabül ettiği ve kömüre nazaran daha dayanıklı ve sıkışabilme özelliği olan kil ara kesmeden dolayı elektriksel direnç değerlerinin sürekli azaldığı anlaşılmaktadır. Bu mesafedeki kilitli malzemesinde bir kırılma olmadığı görülmektedir.

Şekil 4.3’de ölçüm istasyonunun arın hizasına geldiği yaklaşık 370 inci saate kadar topuğun 1,5 inci metresinde bulunan kömür malzemesinin gevşeme sürecinde olduğu artan elektriksel direnç (R, Kohm) değerlerinden anlaşılırken istasyonun arın hizası arkasına geçtiğinde (370 inci saat) kırılan ve gevşeyen malzemenin tekrar sıkışmaya başladığı azalan elektriksel direnç (R, Kohm) değerlerinden anlaşılmaktadır.

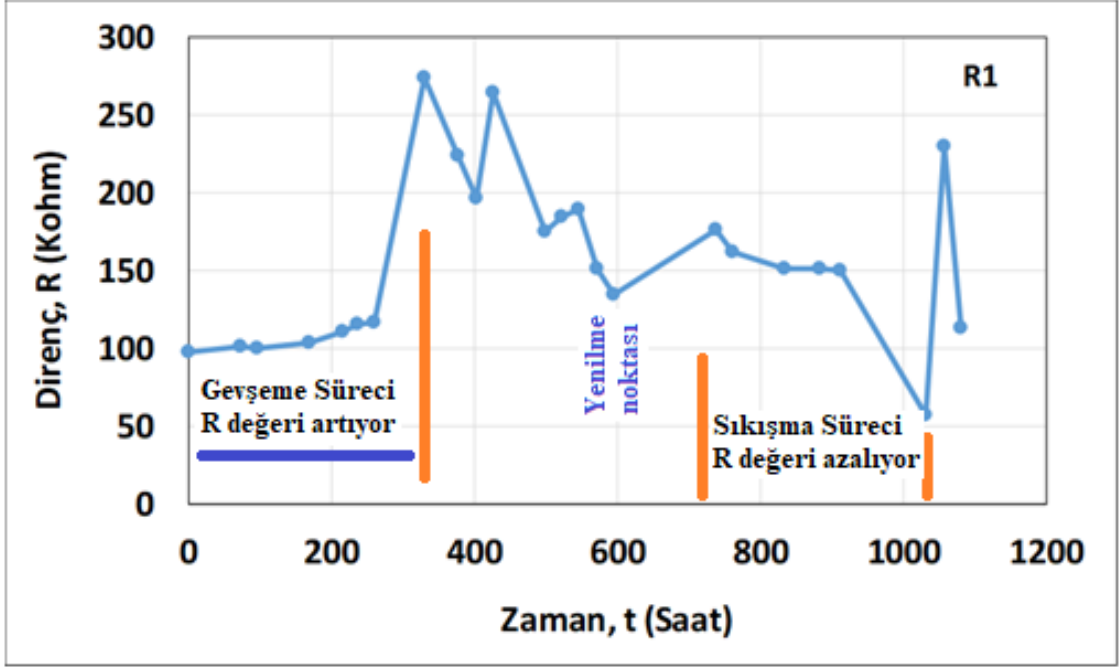
Ölçüm sürecinin yaklaşık 780 inci saatinde ölçüm istasyonu kazı arını arkasına geçmiş (göçük hattı) ancak henüz göçük altında kalmamıştır. Şekil 4.4’de görüldüğü üzere topuğun 2 inci metresinde bulunan kömür malzemesinin 780 inci saate kadar gevşeme sürecinde olduğu artan R (Kohm) değerlerinden anlaşılmaktadır. Ölçüm istasyonu kazı arını arkasında iken 780 inci saatten sonraki süreçte kömür malzemesinin sıkışmaya başladığı azalan R (Kohm) değerlerinden görülmektedir. Bu R değerlerindeki azalma süreci istasyonun tamamıyla göçük altında kaldığı 1104 üncü saate kadar sürmüştür.

Genel bir değerlendirmede, kazı arınının 10 m önünden başlayarak istasyonun göçükte kaldığı 1104 saat içerisinde topuğun ilk 0,5 inci metresindeki kömür malzemesinin arka arkaya dört kez sıkışıp-yenilip-gevşediği (Şekil 4.1), ara kesme malzemesinde düzenli bir sıkışma sürecinin oluştuğu (Şekil 4.2), topuğun 1,5 inci

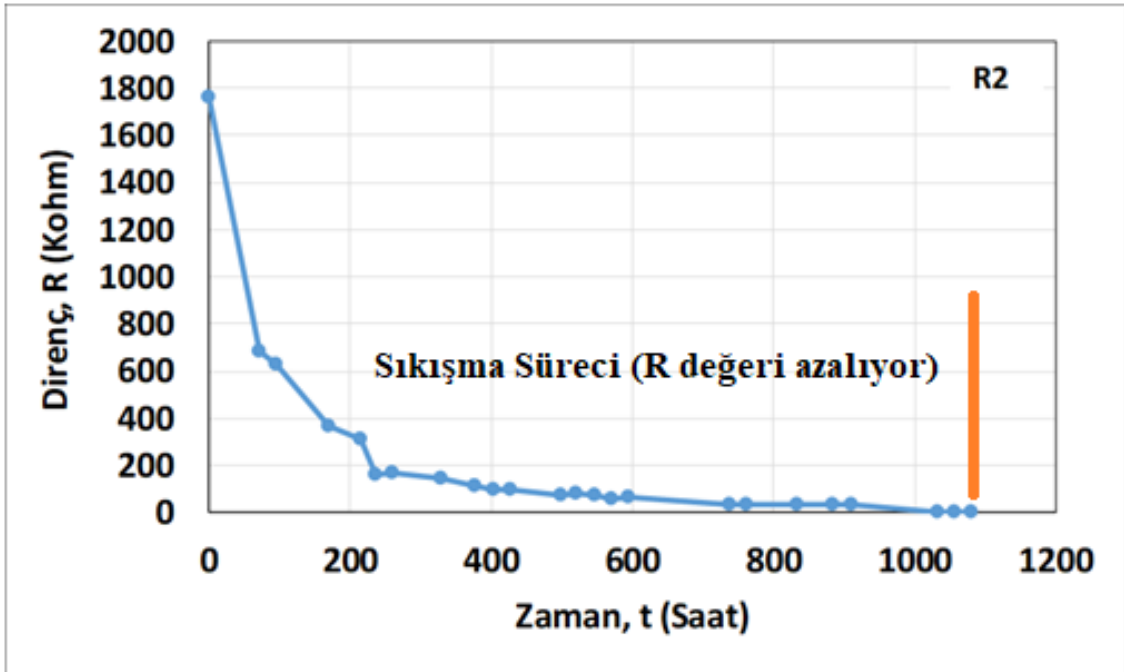
metresinde kazı arını ile istasyonun aynı hizaya geldiği anda (370 inci saat, Şekil 4.3) kömür malzemesinin içinde olduğu gevşeme sürecinin tamamlandığı, istasyonun kazı arını arkasına geçtiği andan itibaren gevşeyen kömür malzemesinin tekrar sıkışmaya başladığı (Şekil 4.3), topuğun 2 inci metresindeki kömür malzemesinin ise istasyonun kazı arın hizasının arkasına geçtiği 780 inci saate kadar gevşeme sürecinde olduğu daha sonra yeniden sıkışmaya başladığı anlaşılmaktadır (Şekil 4.4). Tüm bu değerlendirmeler kazı arını önünde bulunan ilk 10 m’de genel olarak topuk kömür malzemesinin yenildiği, ilk 0.5 metre içerisinde malzemenin periyodik olarak sıkışıp-yenilip-gevşediği, topuğun 1,5 inci metresinde daha önce kırılan (arın mesafesi > 10 m) kömürde gevşeme sürecinin kazı arını hizasına kadar devam ettiği bu noktadan ayak arkası göçük hattına kadar kömür malzemesinin tekrar sıkışmaya başladığı (artan R), topuğun ikinci metresinde ise daha önce kırılan (arın mesafesi > 10 m) kömür malzemesinin göçük hattına girmeden gevşeme sürecinden sıkışma sürecine geçtiği görülmektedir.

Yukarıda verilen değerlendirmeler ışığında sırası ile takip eden sonuçlar verilebilir. (i) Kazı arının ilk 10 metresinden daha uzak bir noktada (muhtemelen $10 \text{ m} \leq \text{arın mesafesi} \leq 20 \text{ m}$) topuktaki kömür malzemesinin yenildiği tespit edilmiştir. (ii) Topuğun ilk 0,5 metrelik kısmının göçük hattı arkasında gevşeyip göçük malzemesinin içine döküldüğü değerlendirilmiştir. (iii) Topuk içine doğru topuk malzemesinin ayak hizası önünde kırılmış ve gevşeme sürecinde olduğu ayak hizası arkasında kalınca sıkışarak ezilmeye başladığı düşünülmüştür. (iv) Topuk kenarlarında ilk 2 metrelik bölgede topuğun duraylı olmadığı yönünde bir fikir oluşmuştur.

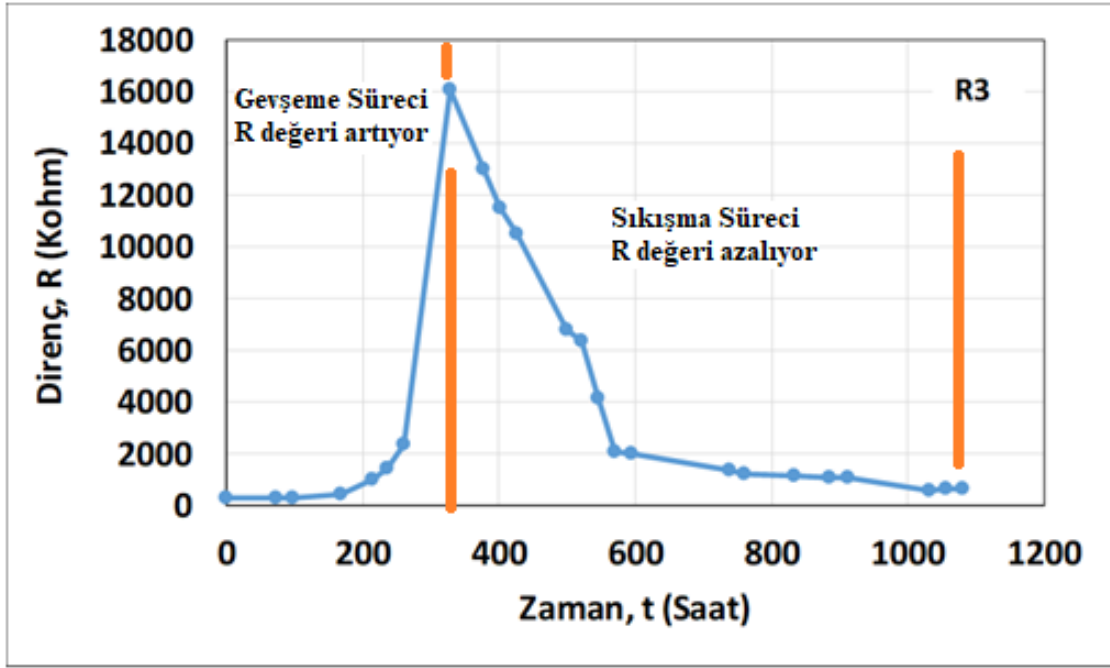
Sonuç olarak ilk kez sahada uygulanan EDÖS’e ait ön çalışma sonuçlarının değerlendirilebilir olduğu ve literatürde belirtilen laboratuvar bulguları ile uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında planlı saha ölçümlerinin yapılmasına karar verilmiştir.



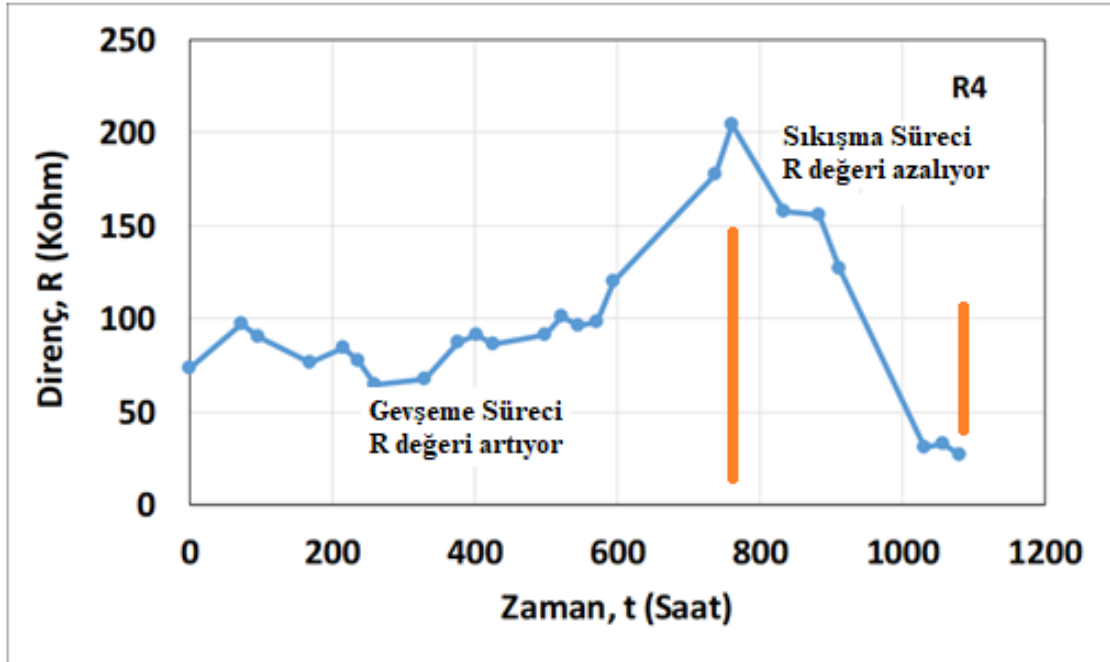
Şekil 4.1. A6-ÖnÇ-EDÖS3 ölçüm istasyonunda maden topuğunun içe doğru 0,5 inci metresinden alınan elektriksel ölçüm sonuçları



Şekil 4.2. A6-ÖnÇ-EDÖS3 ölçüm istasyonunda maden topuğunun içe doğru 1 inci metresinden alınan elektriksel ölçüm sonuçları



Şekil 4.3. A6-ÖnÇ-EDÖS3 ölçüm istasyonunda maden topuğunun içe doğru 1,5 inci metresinden alınan elektriksel ölçüm sonuçları



Şekil 4.4. A6-ÖnÇ-EDÖS3 ölçüm istasyonunda maden topuğunun içe doğru 2 inci metresinden alınan elektriksel ölçüm sonuçları

4.3. A6 Üretim Panosunda Gerçekleştirilen EDÖS Ölçüm Sonuçları

A6 panosunda tespit edilen 25 metrelik ölçüm bölgesinde aralarında yaklaşık 5 m olacak şekilde kurulan 5 EDÖS ölçüm istasyonu sırası ile A6-EDÖS1, A6-EDÖS2, A6-

EDÖS3, A6-EDÖS4 ve A6-EDÖS5 isimlendirilmiştir. İlk ölçüm istasyonu A6-EDÖS1 ile uzunayak kazı yüzeyi arasındaki mesafe yaklaşık 10 m seçilmiştir. Sonuç olarak, EDÖS ölçüm istasyonları ile uzunayak kazı arını arasındaki aralıklar sırasıyla A6-EDÖS1 için 10 m, A6-EDÖS2 için 14 m, A6-EDÖS3 için 19 m, A6-EDÖS4 için 24 m ve A6-EDÖS5 için 29 m olmuştur.

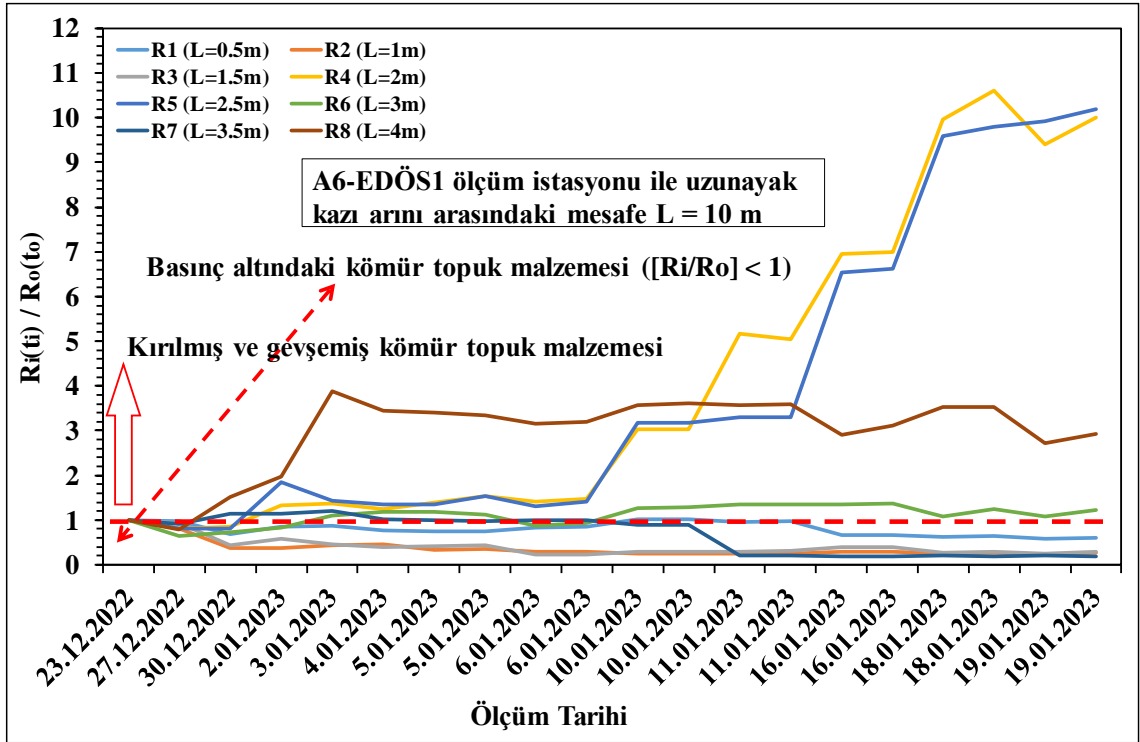
Ölçüm borularının sırasıyla 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4 üncü metrelerine 20 cm genişliğinde ve 2 mm kalınlığında bakır levhalar sarılmıştır (Bknz. Şekil 3.14). Ölçümlerde ohm metre (Avometre) kullanılmıştır. Üst (H1) ve alt deliğin (H2) aynı metresine karşılık gelen bakır plakalara lehimlenen tellerden günde bir kez ölçüm alınmıştır (Bknz. Şekil 3.14).

Yerinde ölçüm istasyonlarından elektriksel direnç davranışları yaklaşık bir ay boyunca izlenebilmiştir. İşletmenin A2 panosunda karşılaşılan önemli madencilik sorunları nedeni ile çalışma yoğunluğu A2 panosuna kaydırıldığı için A6 panosunda EDÖS ölçümleri sırasında uzunayak kazı yüzeyinde sadece 2 m ilerleme yapılabilmektedir. Bunun dışında kömür üretimi söz konusu olmamıştır.

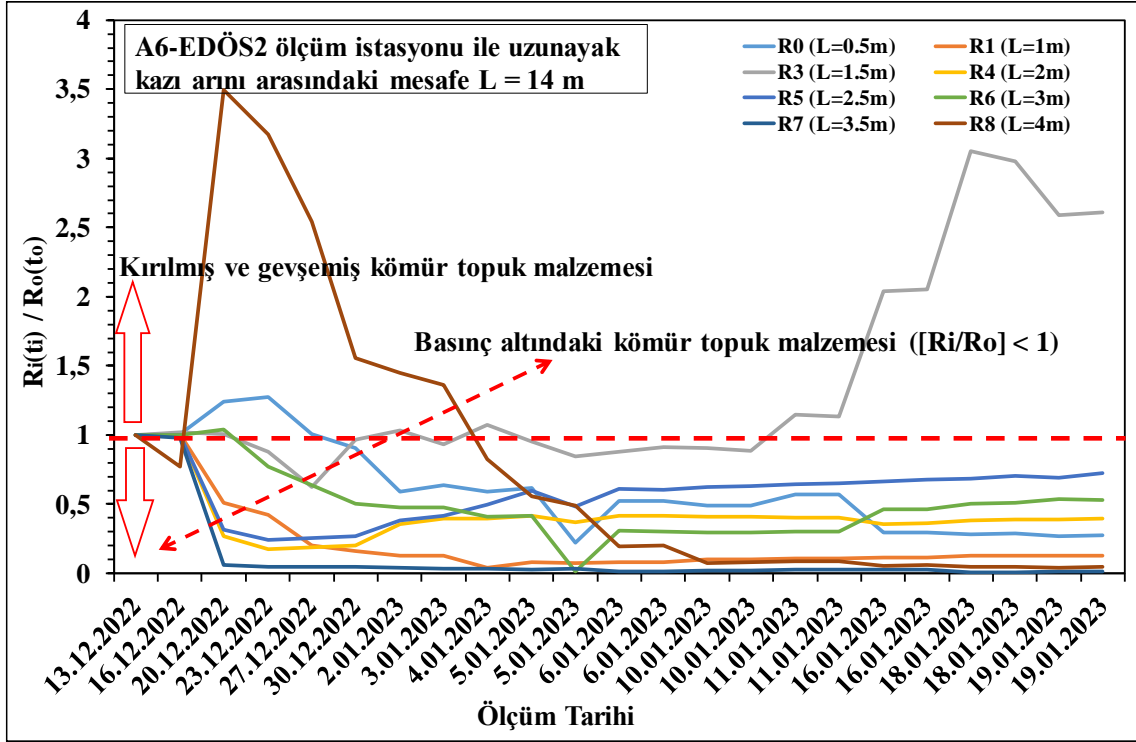
Ölçüm çalışmalarında ilk ölçüm değeri referans ölçüm (R_o) olarak adlandırılmıştır. Ölçümler R_i ile sembolize edilmiştir. Her ölçüm borusundaki 8 bakır plakadan alınan elektriksel direnç ölçümleri öncelikle zamana bağlı olarak değerlendirilmiştir. H1 ve H2 deliklerinde bulunan ölçüm boruları üzerindeki her bir bakır plakadan alınan ölçümleri karşılaştırmak için ölçüm sonuçları (R_i), referans ölçüm değerlerine (R_o) bölünmüştür. Bu oranın (R_i/R_o) 1'den küçük olması durumunda yani elektriksel direncin azalması, madencilik faaliyetleri nedeniyle oluşan dinamik yük altında kaya malzemesinin sıkıştığı düşünülmüştür. Ancak elektriksel direnç değerinde artış ($R_i/R_o \geq 1$) söz konusu olduğunda kaya malzemesinin basınç nedeniyle kırıldığı ve gevşediği düşünülmüştür.

Her ölçüm istasyonu için zamana karşı elektriksel direnç oranı (R_i/R_o) davranışları sırasıyla Şekil 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmiştir. Grafiklerde R_i/R_o oranının 1'e eşit olduğu yerler koyu kırmızı renkli çizgiyle gösterilmiştir. Bu oranın 1'den küçük olması durumunda topuk kömür malzemesinin basınç altında sıkıştığı varsayılmıştır. Aksi halde ($R_i/R_o \geq 1$) kömür malzemesinin basınçtan dolayı kırıldığı ve gevşediği düşünülmüştür. A6-EDÖS1 (10 m), A6-EDÖS2 (14 m), A6-EDÖS3 (19 m)'den elde edilen ölçüm sonuçları, topuk kenarına yakın kömür malzemesinin ($w < 2,5$ m) kırılıp gevşediğini göstermiştir (Şekil 4.5, 4.6, 4.7). Şekil 4.8 ve 4.9'den görülebileceği gibi, uzunayak yüzünden daha uzağa kurulan A6-EDÖS4 (24 m) ve A6-EDÖS5 (29 m) istasyonlarında

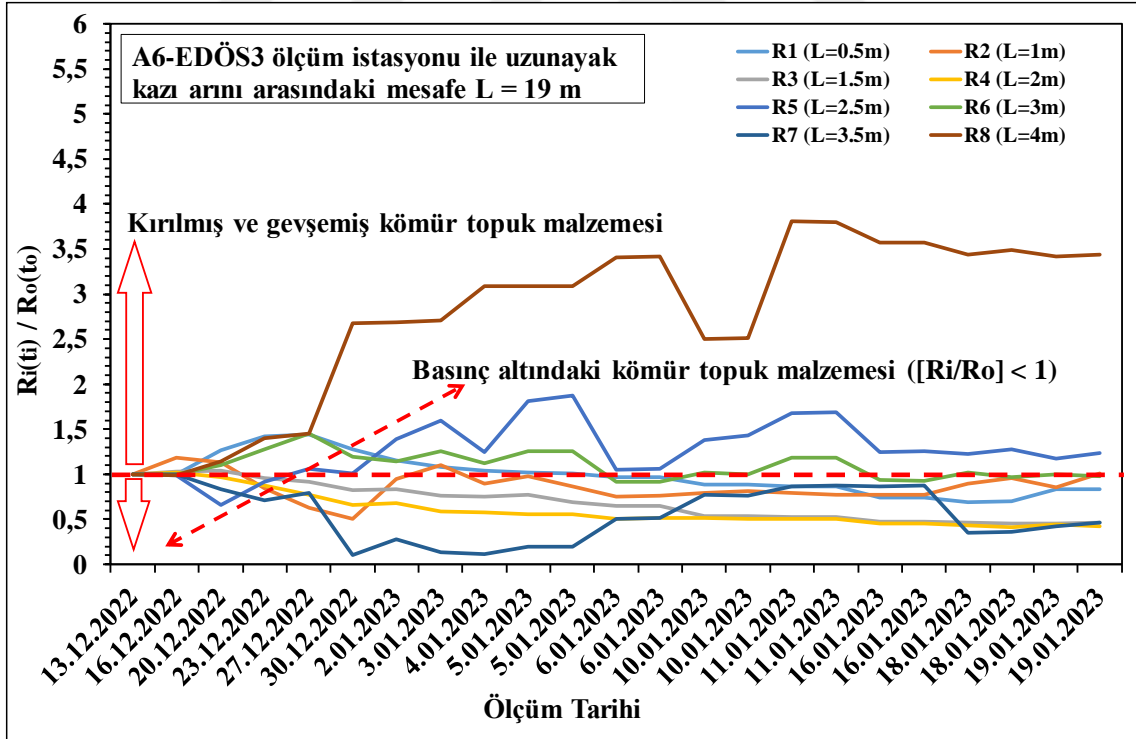
kömür malzemenin basınç altında hala sıkışmaya devam ettiği anlaşılmaktadır. Bu istasyonlardan hiçbiri Bölüm 4.2’de verilen ön çalışmadaki istasyonlar (A6-ÖnÇ-EDÖS1, A6-ÖnÇ-EDÖS2, A6-ÖnÇ-EDÖS3) gibi kazı hattının arkasına geçememiştir. Ancak öncelikle Bölüm 4.2’de uzunayak kazı arını önündeki ilk 20 m’de topuk kömür malzemesinin yenildiği sonucu teyit edilmiştir. Ayrıca Bölüm 4.2’de topuk kenarından topuk içine doğru olan ilk 2 metrelik bölgede (w) topuğun duraylı olmadığı değerlendirilmiştir.



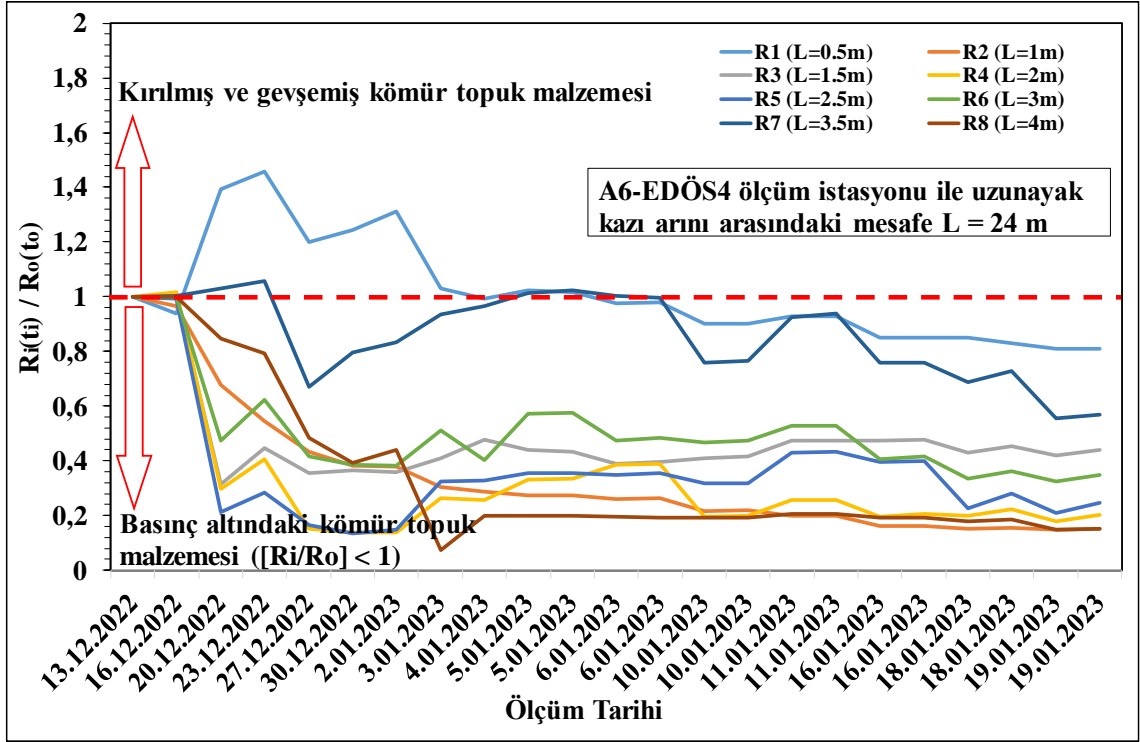
Şekil 4.5. A6-EDÖS1 ölçüm istasyonundan elde edilen verilere dayalı zaman- R_i/R_o oranı değişimi



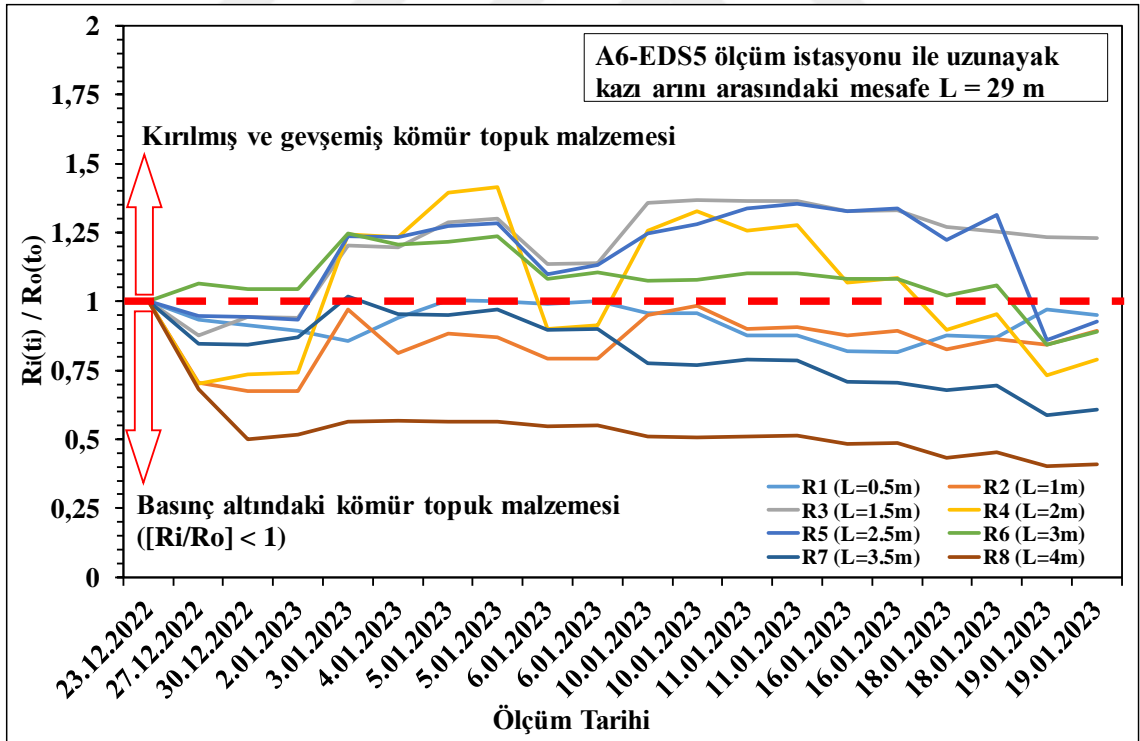
Şekil 4.6. A6-EDÖS2 ölçüm istasyonundan elde edilen verilere dayalı zaman- R_i/R_o oranı değişimi



Şekil 4.7. A6-EDÖS3 ölçüm istasyonundan elde edilen verilere dayalı zaman- R_i/R_o oranı değişimi



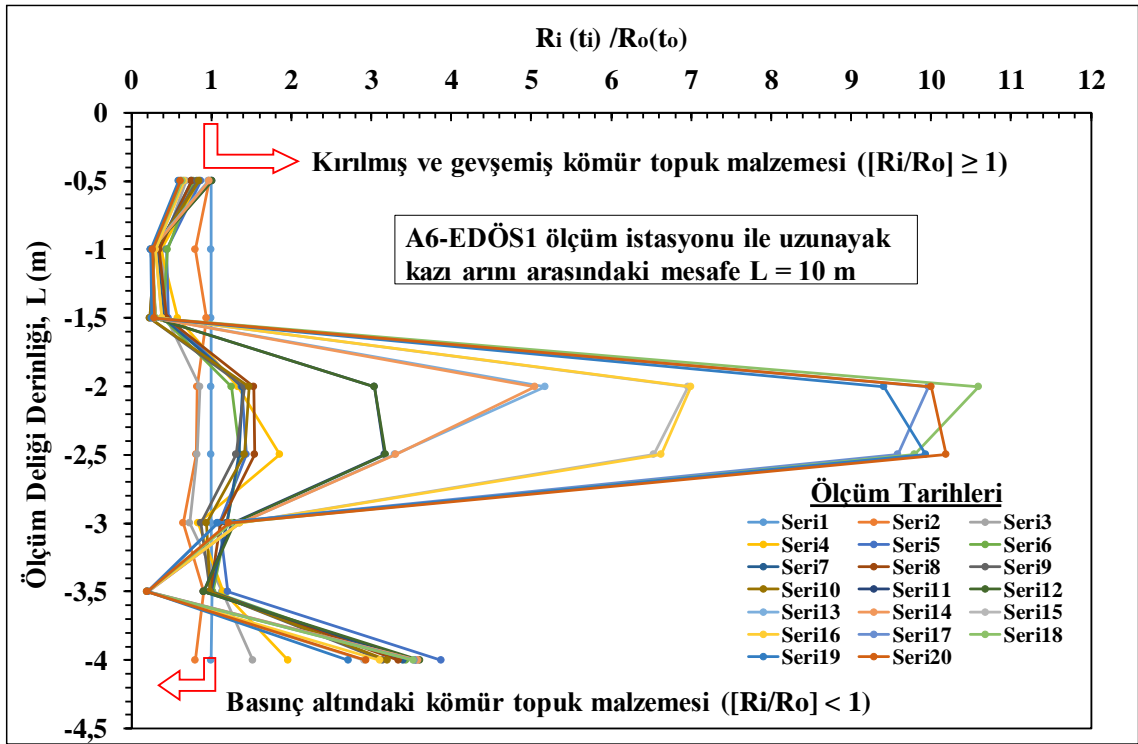
Şekil 4.8. A6-EDÖS4 ölçüm istasyonundan elde edilen verilere dayalı zaman- R_i/R_o oranı değişimi



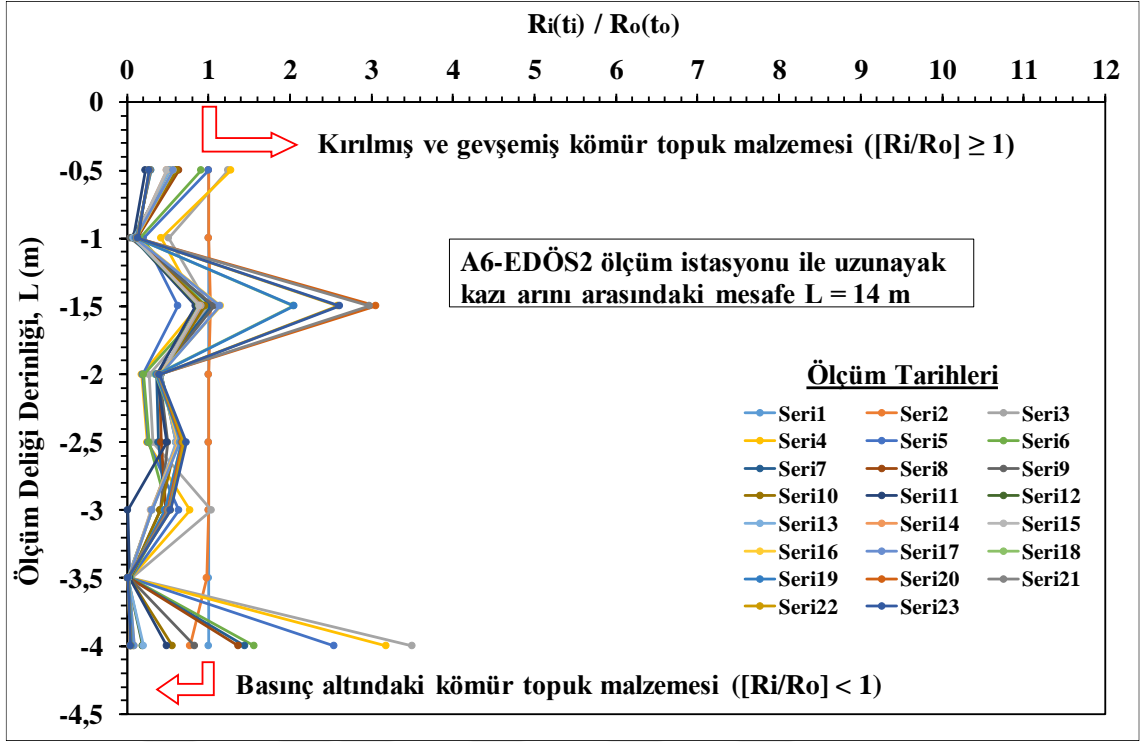
Şekil 4.9. A6-EDÖS5 ölçüm istasyonundan elde edilen verilere dayalı zaman- R_i/R_o oranı değişimi

EDÖS istasyonlarından yerinde izleme yoluyla elde edilen sondaj derinliği (L) ve elektriksel direnç oranı (R_i/R_o) davranışları sırasıyla Şekil 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14'de verilmiştir. A6-EDÖS4 (24 m) ve A6-EDÖS5 (29 m) istasyonlarında (Şekil 4.13, 4.14),

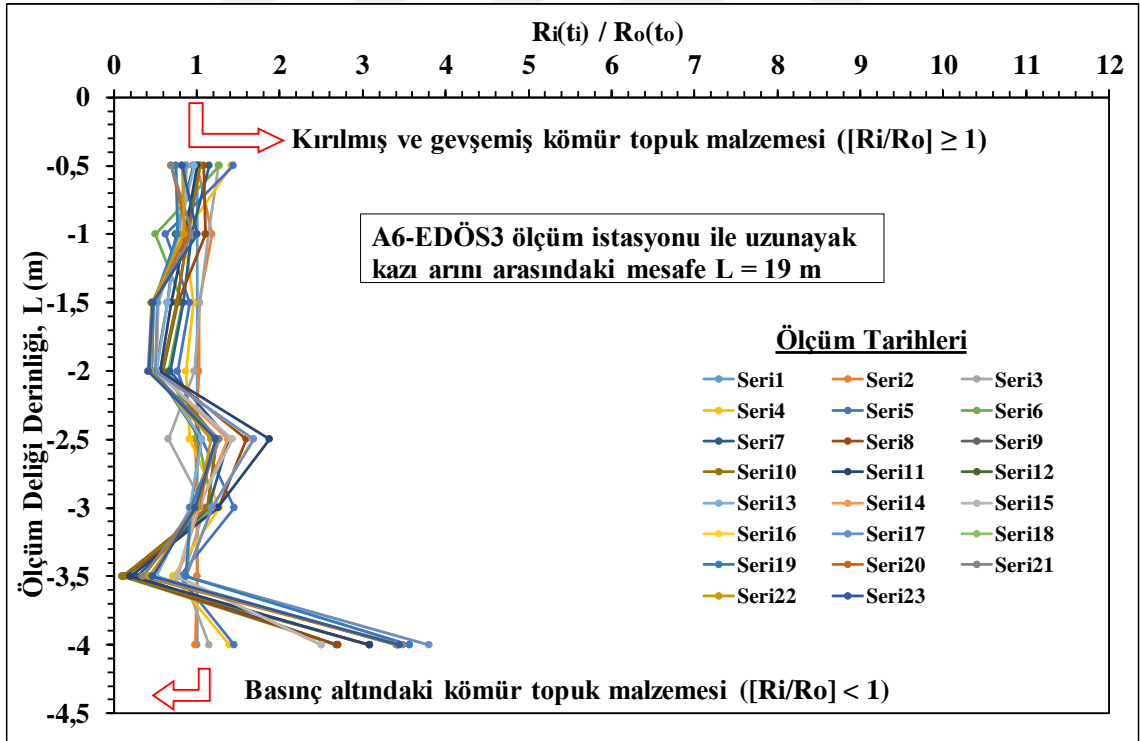
topuktaki kömür malzemesinin tüm ölçüm sondajı boyunca ($L=4$ m) basınç altında sıkıştığı hemen fark edilmiştir. Öte yandan uzunayak arınına yakın kurulan A6-EDÖS1 istasyonunda (Şekil 4.10) kömür malzemenin özellikle ölçüm sondajının (L) 1,5 m - 3 m aralıklarında daha fazla kırıldığı ve gevşediği görülmektedir. Topuk malzemesinde mevcut strese bağlı olarak oluşan parçalanma ve gevşemenin elektriksel direnç (R) değerlerini arttırdığı değerlendirilmiştir. A6-EDÖS1 istasyonu kadar olmasa da benzer bir durum A6-EDÖS2 ve A6-EDÖS3'te de görülebilmektedir (Şekil 4.11, 4.12).



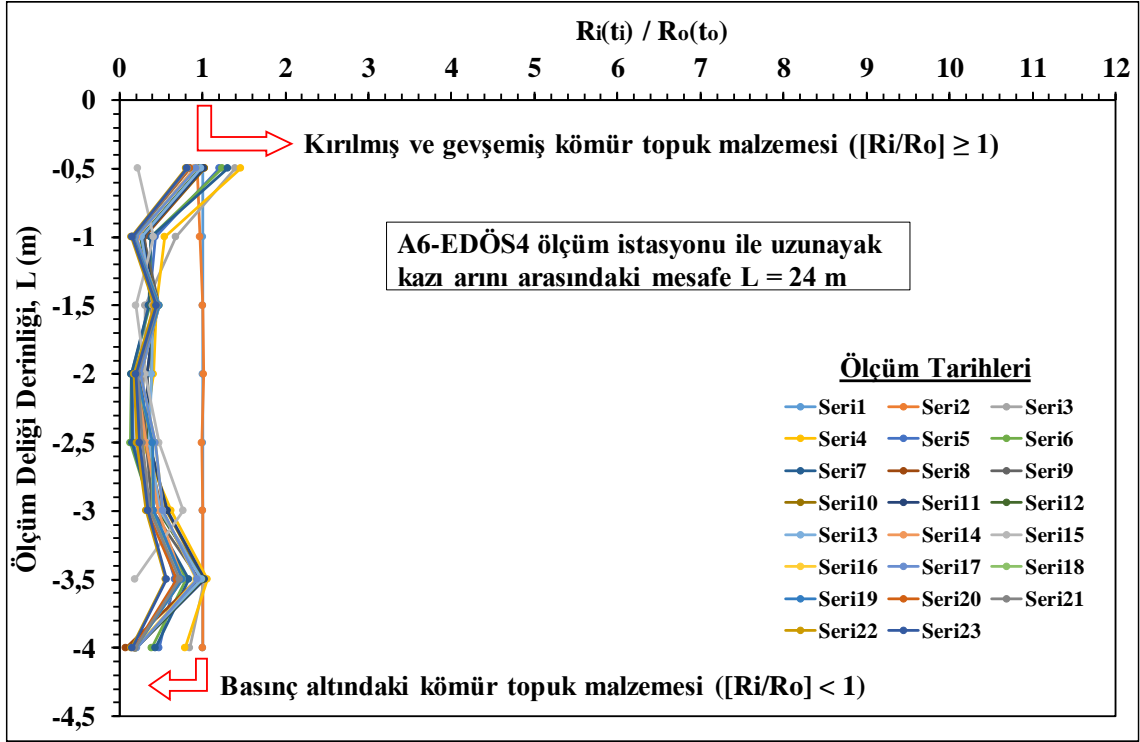
Şekil 4.10. A6-EDÖS1 ölçüm istasyonu verilerine dayalı ölçüm delik derinliği- R_i/R_o oranı değişimi



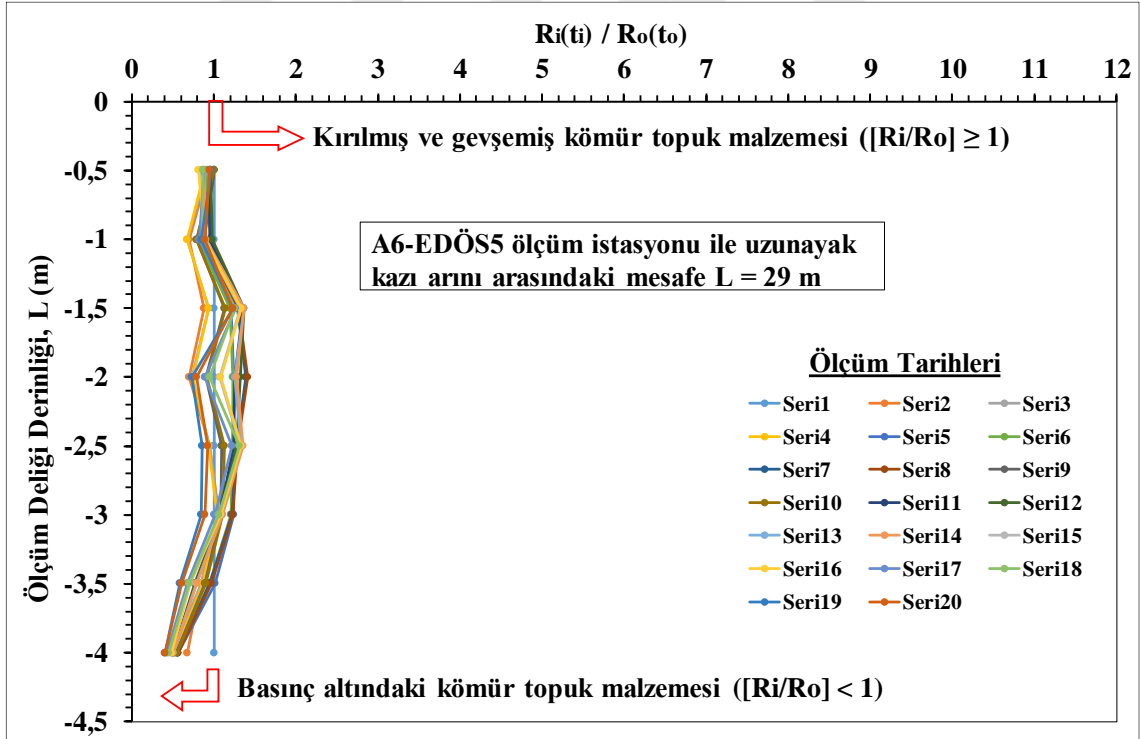
Şekil 4.11. A6-EDÖS2 ölçüm istasyonu verilerine dayalı ölçüm delik derinliği- R_i/R_o oranı değişimi



Şekil 4.12. A6-EDÖS3 ölçüm istasyonu verilerine dayalı ölçüm delik derinliği- R_i/R_o oranı değişimi



Şekil 4.13. A6-EDÖS4 ölçüm istasyonu verilerine dayalı ölçüm delik derinliği- R_i/R_o oranı değişimi



Şekil 4.14. A6-EDÖS5 ölçüm istasyonu verilerine dayalı ölçüm delik derinliği- R_i/R_o oranı değişimi

4.4. A7 Hazırlık Panosunda Gerçekleştirilen EDÖS ve PY Çalışma Sonuçları

A7 panosunda gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda plaka yükleme (PY) deneyi ile elektriksel direnç ölçüm (EDÖS) deneyi eş zamanlı olarak birlikte yapılmıştır. Bunun gayesi kömür damarı içerisinde açılan uygulama cep tavanındaki sıkıştırma yönündeki basınç etkisinin bir hidrolik kriko ile sağlanması olmuştur. Hidrolik krikonun tavanda oluşturacağı deformasyonların komparatör saatleri ile izlenmesiyle de plaka yükleme deney sonuçlarına ulaşılmıştır. Elektriksel direnç davranışlarının değerlendirilmesinde plaka yükleme sonuçları kullanılmıştır. Ayrıca sadece plaka yükleme sonuçları ile kömür malzemesinin yerinde tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm}) ve yerinde elastik modül (E_m) değerleri belirlenmiş ve buna bağlı bazı mekanik değerlendirmeler yapılmıştır. Aşağıda sunulan iki alt bölümde bu çalışma sonuçları ve değerlendirmeleri sunulmuştur.

4.4.1. A7 hazırlık panosunda gerçekleştirilen EDÖS ölçüm sonuçları

A7 hazırlık panosunda üç farklı noktada kömür yüzeyinde açılan ceplerde gerçekleştirilen EDÖS deney sonuçları yardımıyla deney süresi (zaman, dk) ile R_i/R_o oranları (Şekil 4.15-4.19) yanında birim deformasyon (ϵ) - gerilme (σ) - R_i/R_o oranları (Şekil 4.20-4.24) ile ortaya konan davranışları karşılaştırılmıştır.

A7 hazırlık panosu nakliye galerisinde oluşturulan A7-PY/ED-EDÖS1'deki uygulama cebinde iki kez plaka yükleme ile EDÖS deneyi birlikte gerçekleştirilmiştir. Buna karşın A7-PY/ED-EDÖS2 ve A7-PY/ED-EDÖS3'de birer kez deney yapılmıştır. A7-PY/ED-EDÖS1 ve A7-PY/ED-EDÖS2'de uygulama cebi altında açılan iki delik (D-8A ve D-8B) ile de EDÖS ölçümü yapılırken A7-PY/ED-EDÖS3'de bu tür delikler, arındaki kavlak düşme problemi endişesi ile açılmamıştır (Şekil 4.15 - 4.19). Bu nedenle uygulama cebi altından diğerleri gibi bu istasyonda EDÖS ölçümü yapılamamıştır. Aynı iş güvenliği kaygısı ile A7-PY/ED-EDÖS3 uygulama cebi üzerinde yarım daire formatındaki hat üstünde de sadece sağdan sola doğru $\alpha=0^\circ-45^\circ-90^\circ-45^\circ$ açılarda 33 mm çapta ve 75 cm uzunlukta delikler açılmıştır (Şekil 4.19).

Daha önce belirtildiği üzere R_o (Ω , ohm) ilk alınan referans ölçüm değerini tanımlarken, R_i (Ω , ohm) ise deney sürecinde alınan ikinci ve sonrasındaki ölçümleri yansıtmaktadır. Bölüm 4.3'de A6 üretim panosu malzeme galerisinde EDÖS ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemin benzeri burada da kullanılmıştır. Tüm istasyonlardaki ölçüm sonuçlarını karşılaştırabilmek için deney başladıktan sonra

deney esnasında alınan R_i (Ω , ohm) değerleri ilk alınan R_o (Ω , ohm) referans değerlerine oranlanmıştır. $R_i/R_o < 1$ durumu kömür malzemesinin basınç altında sıkıştığını, $R_i/R_o \geq 1$ durumu ise kömür malzemesinin kırıldığını parçalandığını ve gevşediğini ifade etmektedir.

Yukarıda verilen tanım göz önüne alınarak üç istasyonda açılan uygulama cebi üzerinde yer alan yarım daire biçiminde açılan deliklerin (D-1, ..., D-7) her biri, merkezdeki delik (DM) ile eşleştirilmiştir. Elektriksel direnç ölçümleri avometreler ile yapılmış ayrıca uygulama cebinin altında yer alan D-8A ve D-8B deliklerinden de benzer elektriksel direnç (ohm) değerleri kayıt altına alınmıştır. Daha sonra ilk değerlendirme aşamasında zaman (t) - R_i/R_o ilişkileri grafikler ile ifade edilmiştir. Buna ait tipik bir örnek Şekil 4.15’de A7-PY/ED-EDÖS2 için verilmiştir. Burada sunulan grafiklerden uygulama cebi içerisinde plaka yükleme için hidrolik kriko yardımıyla yük verilmeden önce elektriksel direnç değerlerinin (ohm) sabit kaldığı görülmektedir. Hidrolik kriko ile yüklemeye başlanınca R_i/R_o değerlerinin birin altına düştüğü ($R_i/R_o \leq 1$) böylelikle yüklemeye maruz kalan kömür malzemesinde sıkışmanın oluştuğu, R_i/R_o ’in en düşük seviyeye ulaştığında malzemenin yenildiği ve takibinde ise parçalanma-gevşeme sürecinin yaşandığı durumda R_i/R_o değerlerinin hızla arttığı görülmektedir (Şekil 4.15). Bu durum tüm ölçümlerde benzerlik göstermiştir. A7 hazırlık panosunda gerçekleştirilen üç ölçüm cebindeki sonuçlar topluca Şekil 4.16-4.19’da sunulmuştur. Sonuçların A6 panosunda gerçekleştirilen EDÖS deneyleri ile uyumlu olduğu anlaşılmıştır.

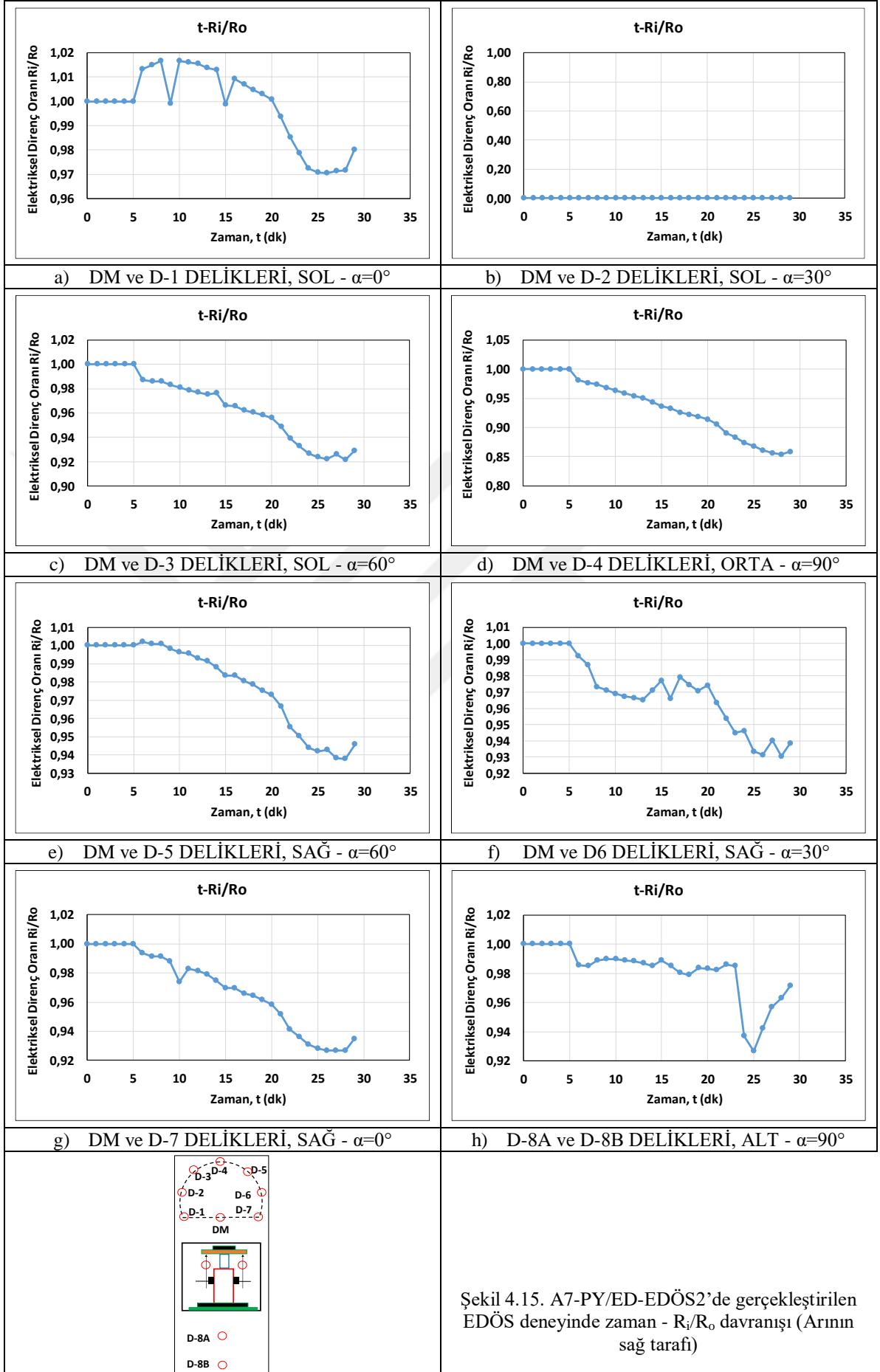
Şekil 4.16 - 4.19’da, uygulama cebi içerisinde konumlandırılan hidrolik krikonun yüklemesi ile kömür malzemesinin basınç altında sıkıştığı ($R_i/R_o < 1$) sırası ile 20., 32., 28. ve 25. dakikadan sonra R_i/R_o oranında birden yükselmelerin başladığı görülmektedir ($R_i/R_o \geq 1$). Bu süreçte kömür malzemesinde yenilmelerin-parçalanmaların-gevşemelerin oluştuğu düşünülmüştür (Şekil 4.20-4.28).

Bu çalışmada, aşağıda sunulan zaman (t) - R_i/R_o grafiklerinde (Şekil 4.16-4.19) $R_i/R_o < 1$ durumunu yansıtan süreçte, R_i/R_o değerinin en küçük seviyeye ulaştığı bir başka ifade ile malzemenin en çok sıkıştığı ölçüm borusu konumundan ölçülen EDÖS sonucunun R_{max} olarak tanımlanması değerlendirilmiştir. Bu ekseninde en büyük asal gerilme ekseninin ve en büyük asal gerilmenin (σ_{max} , σ_1) oluşması beklenebilir. Buna karşın yine $R_i/R_o < 1$ koşulunda olmak üzere göreceli olarak en yüksek R_i/R_o değerinin belirlendiği ölçüm borusu konumundan ölçülen EDÖS sonucunun ise R_{min} olarak tanımlanmasının doğru olacağı değerlendirilmiştir. Bu ekseninde de en küçük asal gerilme

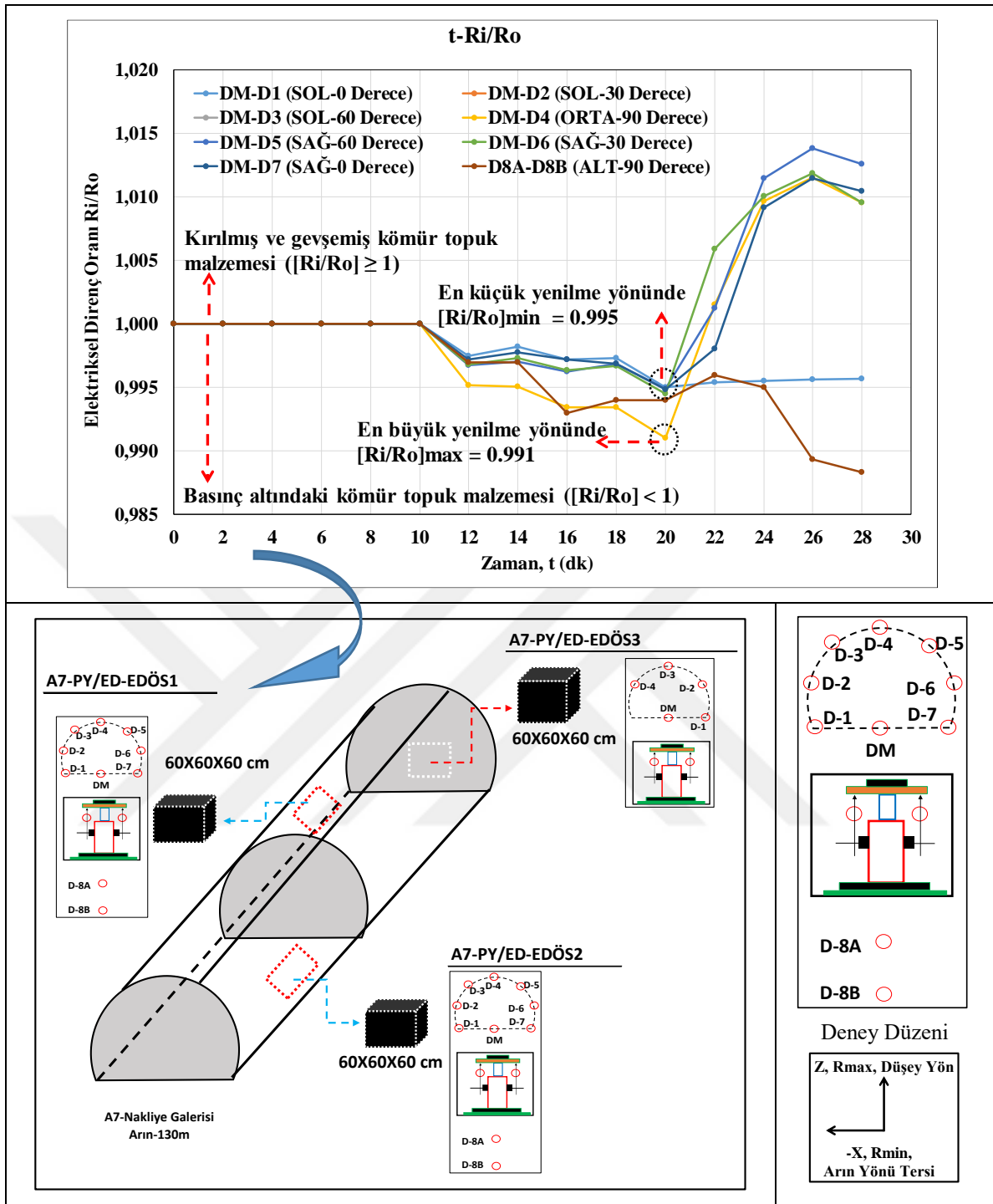
ekseninin ve en küçük asal gerilmenin (σ_{\min} , σ_3) oluşması muhtemeldir. Bu çalışmada asal gerilme değerleri saha ölçümleri ile belirlenmemiştir.

Her üç uygulama cebinde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 4.16-4.19'da görülmektedir. Hazırlanan grafik sunumlarında $[R_i/R_o]_{\max}=R_{\max}$ ve $[R_i/R_o]_{\min}=R_{\min}$ büyüklükleri ile bu büyüklüklerin oluştuğu eksen yönleri belirtilmiştir. Sonuç olarak, ifade edilen bu eksenlerin malzemenin kırılmasına neden olan σ_{\max} (σ_1) ve σ_{\min} (σ_3) asal gerilmelerin ortaya çıktığı eksenleri tanımlayabildiğine dair yorum yapılmıştır.

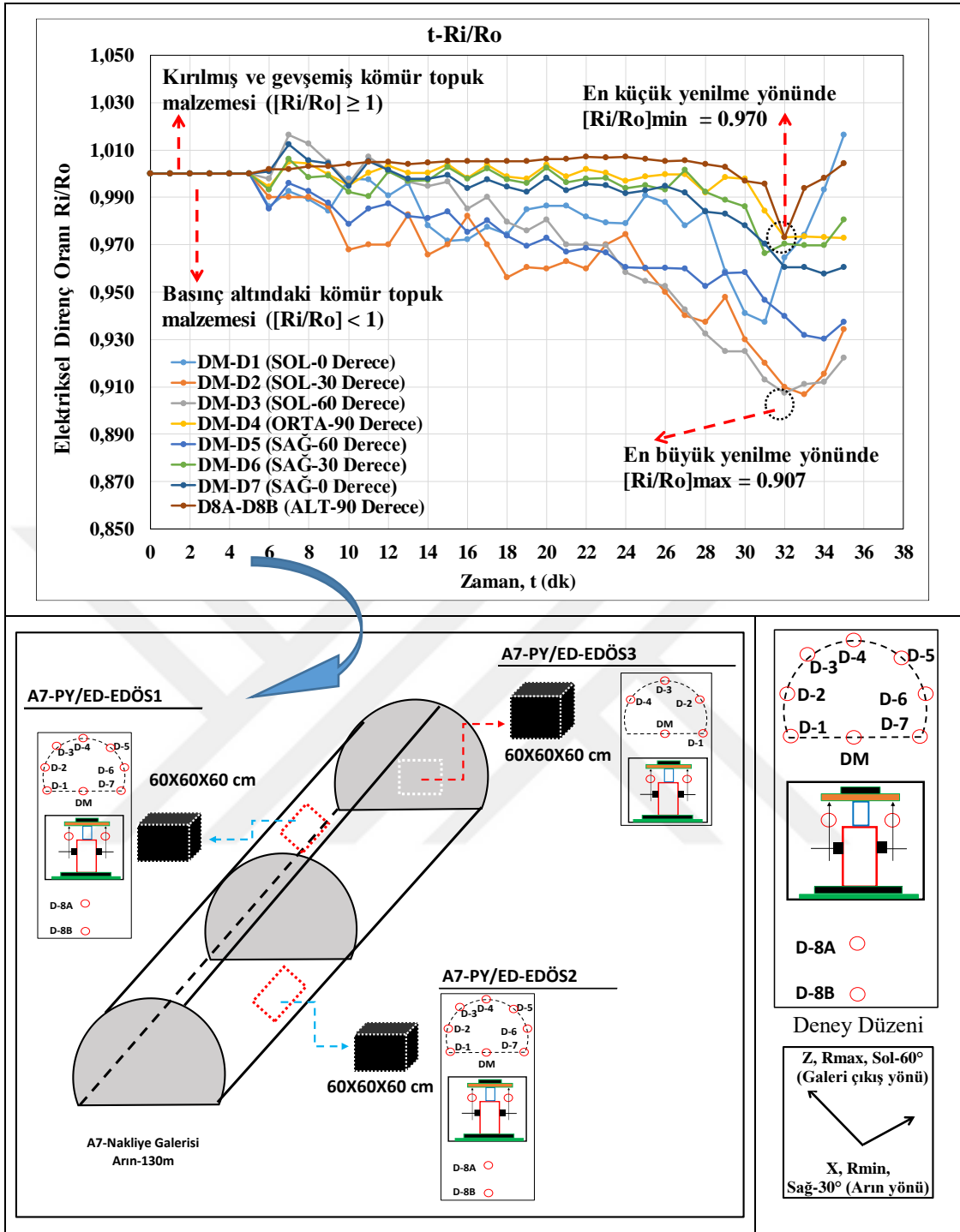
A7-PY/ED-EDÖS1 ve A7-PY/ED-EDÖS2 uygulama cebi altında açılan D-8A ve D-8B EDÖS isimli ölçüm deliklerinden alınan elektriksel direnç (ohm) ölçümleri Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18'de koyu kahverengi renkteki grafikler ile ifade edilmiştir. Şekil 4.16'da uygulama cebi üzerindeki EDÖS deliklerinden kömür malzemesinin sıkıştığı-kırıldığı-parçalandığı-gevşediği görülürken cep altındaki deliklerden kömür malzemesinin henüz kırılmadığı halen sıkıştığı anlaşılmaktadır. Buna karşın Şekil 4.17 ve 4.18'den cep altındaki kömür malzemesinin sıkıştığı-kırıldığı-parçalandığı-gevşediği görülmektedir.



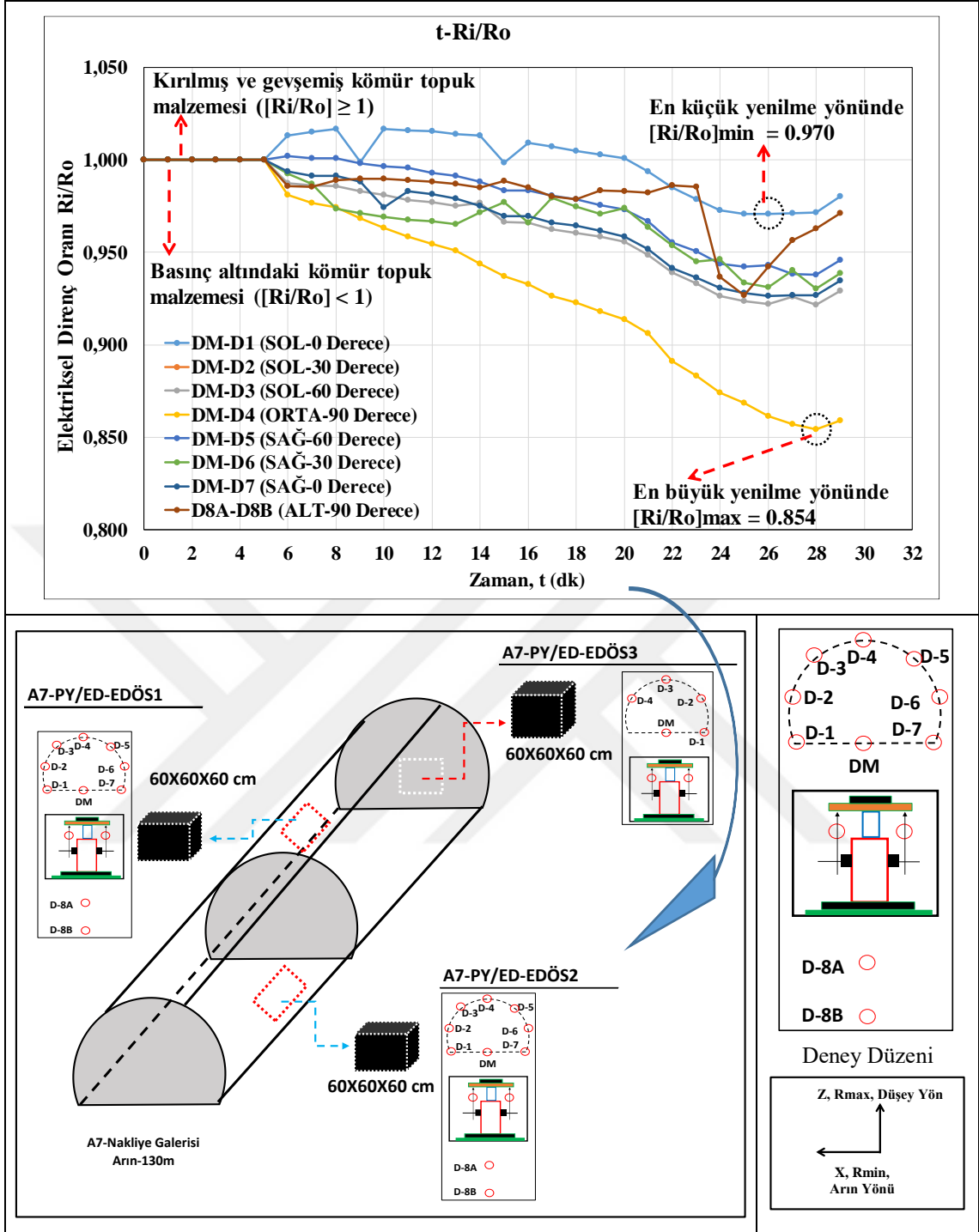
Şekil 4.15. A7-PY/ED-EDÖS2’de gerçekleştirilen EDÖS deneyinde zaman - R_i/R_o davranışı (Arının sağ tarafı)



Şekil 4.16. A7-PY/ED-EDÖS1’de gerçekleştirilen EDÖS deneyinde zaman - R_i/R_o davranışı (Arının sol tarafı)



Şekil 4.17. A7-PY/ED-EDÖS1’de ikinci kez gerçekleştirilen EDÖS deneyinde zaman - R_i/R_o davranışı (Arının sol tarafı)



Şekil 4.18. A7-PY/ED-EDÖS2'de gerçekleştirilen EDÖS deneyinde zaman - R_i/R_o davranışı (Arının sağ tarafı)

A7 hazırlık panosu nakliye galerisinde hazırlanan üç farklı uygulama cebinde eş zamanlı gerçekleştirilen plaka yükleme ve elektriksel direnç ölçüm sonuçlarını yansıtan tipik bir sonuç Şekil 4.20'de A7-PY/ED-EDÖS2 için verilmiştir. Burada sunulan grafiklerde iki ayrı sonuç birden verilmiştir. Bunlar sırasıyla ε - σ ve ε - R_i/R_o davranışlarıdır.

Uygulama cebine yerleştirilen hidrolik kriko ile oluşturulan yüklemenin yardımıyla elektriksel direnç ölçüm sisteminin nasıl uygulandığı daha önce ifade edilmiştir. Hidrolik krikonun oluşturduğu basınç ile uygulama cebinin tavan kısmı yukarı doğru sıkıştırılırken aynı zamanda 0,01 mm hassasiyetli ve 50 mm stroklu 2 adet komparatör saati ile plaka yükleme deneyi sonuçları elde edilmiştir. Tavan tabakaları kırıldığı andan itibaren hidrolik kriko basıncı kademeli olarak azaltılarak tekrar sıfır basınç değerine getirilmiştir. Hidrolik kriko üzerinden okunan basınç (bar) değerlerine karşılık gelen tavan tabakalarındaki deformasyon değerleri eş zamanlı olarak komparatör saatleri ile kayıt edilmiştir. Bu veriler yardımıyla düşey birim deformasyon-gerilme (ε - σ) davranışları grafiksel olarak hazırlanmıştır (Şekil 4.20-4.24). Sunulan grafiklerden görüldüğü üzere uygulama cebinin tavan tabakalarında kırılma oluşuncaya kadar ε - σ eğrisi yükselmekte kırılma sonrasında hidrolik kriko basıncında düşme periyodu başlamaktadır. Hidrolik kriko basıncı sıfırlandığında tavan tabakalarında kalıcı deformasyon değerlerinin oluştuğu görülmektedir. Bu değerlerin Şekil 4.21 için 0,575 mm ($\varepsilon=0,0019$), Şekil 4.22 için 13,75 mm ($\varepsilon=0,045$), Şekil 4.23 için 18,555 mm ($\varepsilon=0,062$) ve Şekil 4.24 için ise 15,88 mm ($\varepsilon=0,053$) olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 4.20-4.24'de sunulan grafiklerde ε - σ eğrileri haricinde ε - R_i/R_o davranışları da gösterilmiştir. Burada sunulan grafiklerden görüldüğü üzere uygulama cebi içerisinde plaka yükleme için hidrolik kriko yardımıyla cep tavanında yükleme işlemi başlayınca artan ε değerlerine karşılık R_i/R_o değerlerinin birin altına düştüğü ($R_i/R_o \leq 1$) görülmektedir. Yükleme maruz kalan kömür malzemesinde R_i/R_o değerinin en düşük seviyeye ulaşması ile malzemenin kırıldığı-yenildiği aynı grafikte verilen ε - σ eğrisinden anlaşılmaktadır. Sürecin takibinde azalan ε ve σ değerlerine karşılık R_i/R_o değerlerinin birden yükseldiği bu gelişmeye kömür malzemesinde oluşan parçalanma-gevşemenin neden olduğu anlaşılmıştır. Aynı zamanda bu süreçte R_i/R_o değerlerinin deneyin başlangıcında kayıt edilen R_i/R_o değerlerine yaklaşmaya çalıştığı görülmektedir (Şekil 4.20). Bu durum tüm ölçümlerde benzerlik göstermiştir. A7 hazırlık panosunda gerçekleştirilen üç ölçüm cebindeki sonuçlar topluca Şekil 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24'de sunulmuştur.

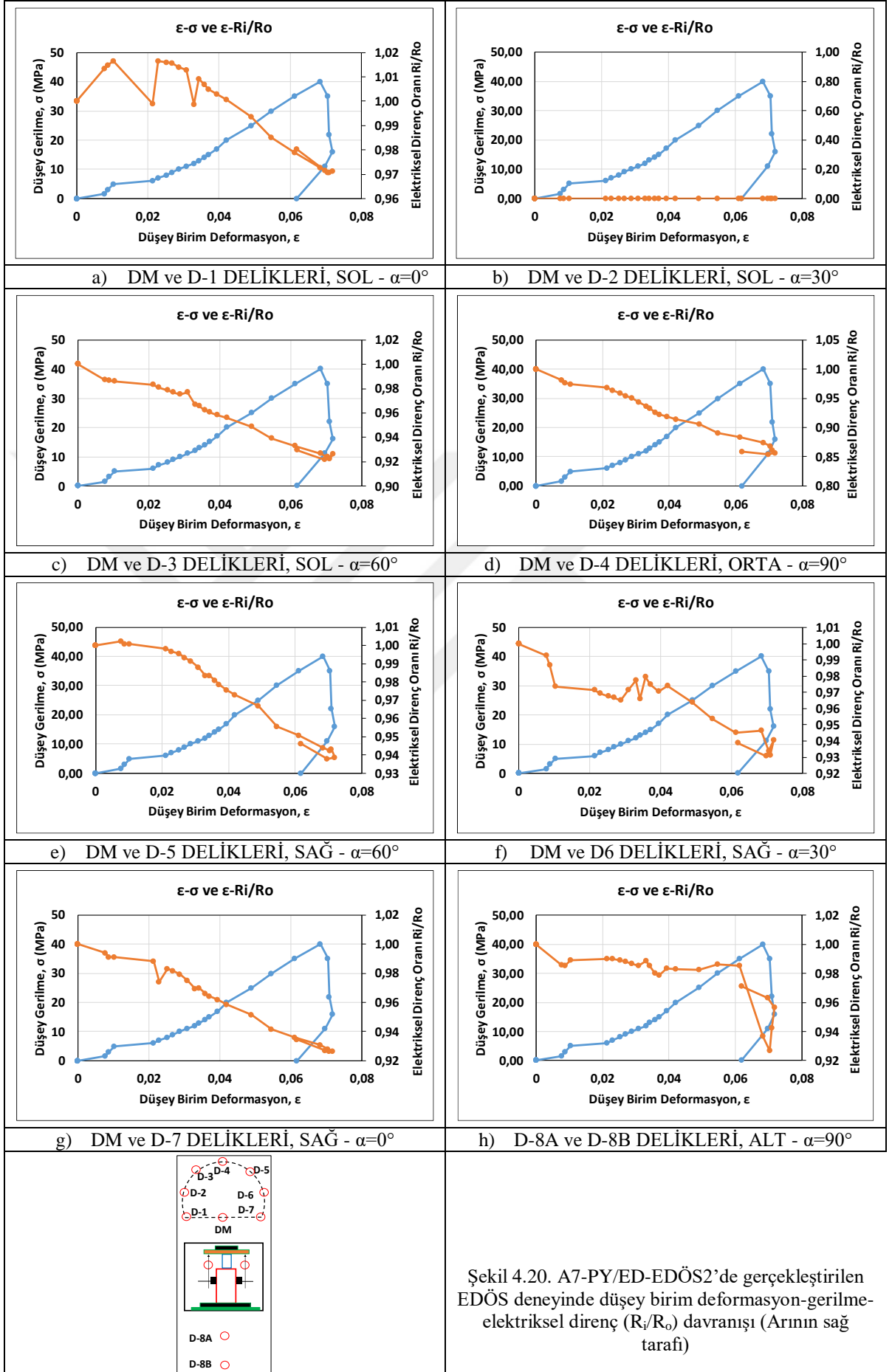
Şekil 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24’de sunulan ε - R_i/R_o eğrilerinden uygulama cebi içerisinde yükleme yapan hidrolik krikonun yüklemesi ile tavan kömür malzemesinin basınç altında sıkıştığı ($R_i/R_o < 1$) daha sonra aynı grafiklerde sunulan ε - σ eğrilerinden sırası ile tespit edilen 12., 40., 40. ve 24. MPa değerlerinden sonra R_i/R_o verilerinde yükselmelerin başladığı görülmektedir. En düşük seviyeye ulaşan R_i/R_o değerlerinin ε - R_i/R_o grafiğinde birden yükselmeye başladığı noktanın, aynı zamanda ε - σ eğrisinde görülen tek eksenli basma dayanım (σ_{cm}) değeri ile hemen hemen aynı birim deformasyon (ε) ekseninde oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.20-4.24).

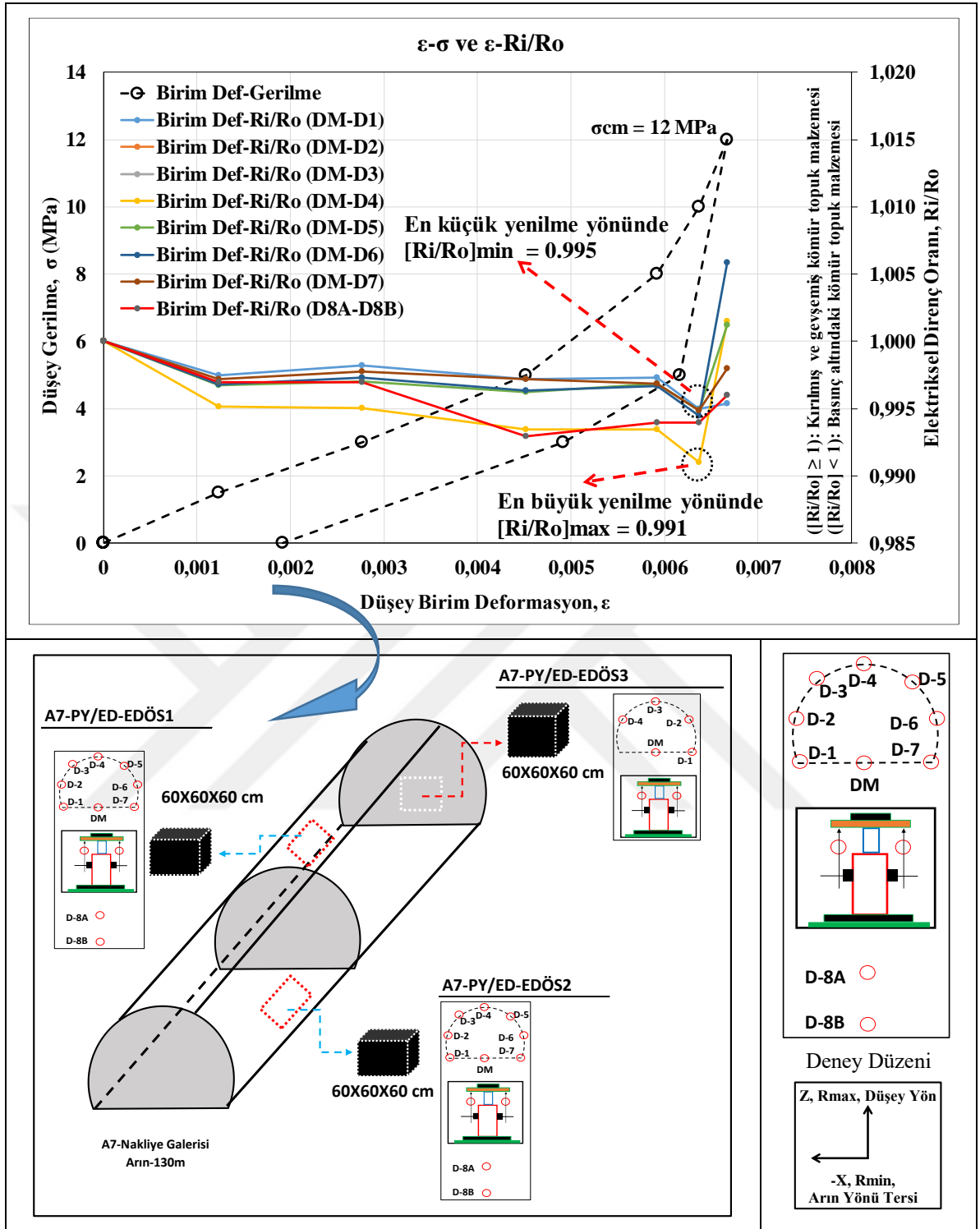
Bu çalışmada daha önce belirtildiği şekli ile Şekil 4.21-4.24’de sunulan grafiklerde, $R_i/R_o < 1$ durumunda en düşük seviyeye ulaşan R_i/R_o değerini veren EDÖS ölçüm deliği çiftine ait konum not edilmiş ve buradan belirlenen elektriksel direnç oranı R_{max} ($[R_i/R_o]_{max}$) olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte, yine $R_i/R_o < 1$ koşulunda ancak göreceli olarak en fazla R_i/R_o değerine sahip olan EDÖS ölçüm deliğine ait konum belirlenmiş ve buradan tespit edilen elektriksel direnç oranı R_{min} ($[R_i/R_o]_{min}$) olarak tanımlanmıştır. Özet olarak yenilmenin hemen öncesinde kömür malzemesinin en fazla sıkışmasının R_{max} yönünde gerçekleştiği, en az sıkışmanın ise R_{min} istikametinde olduğu söylenebilir.

Şekil 4.21-4.24’de sunulan ε - σ - R_i/R_o eğrilerinde basınç altında sıkışmanın en çok olduğu durumu yansıtan R_i/R_o ’in en düşük olduğu delik konumunda yani R_{max} yönünde en büyük asal gerilme ekseninin ve en büyük asal gerilmelerin (σ_{max} , σ_1) oluştuğu kanaati ortaya çıkmıştır. Buna karşın yine $R_i/R_o < 1$ koşulunda olmak üzere en az sıkışmanın oluştuğu durumu belirten en büyük R_i/R_o değerinde (R_{min}) ise en küçük asal gerilme ekseninin ve en küçük asal gerilme (σ_{min} , σ_3) değerinin oluştuğu değerlendirilmiştir.

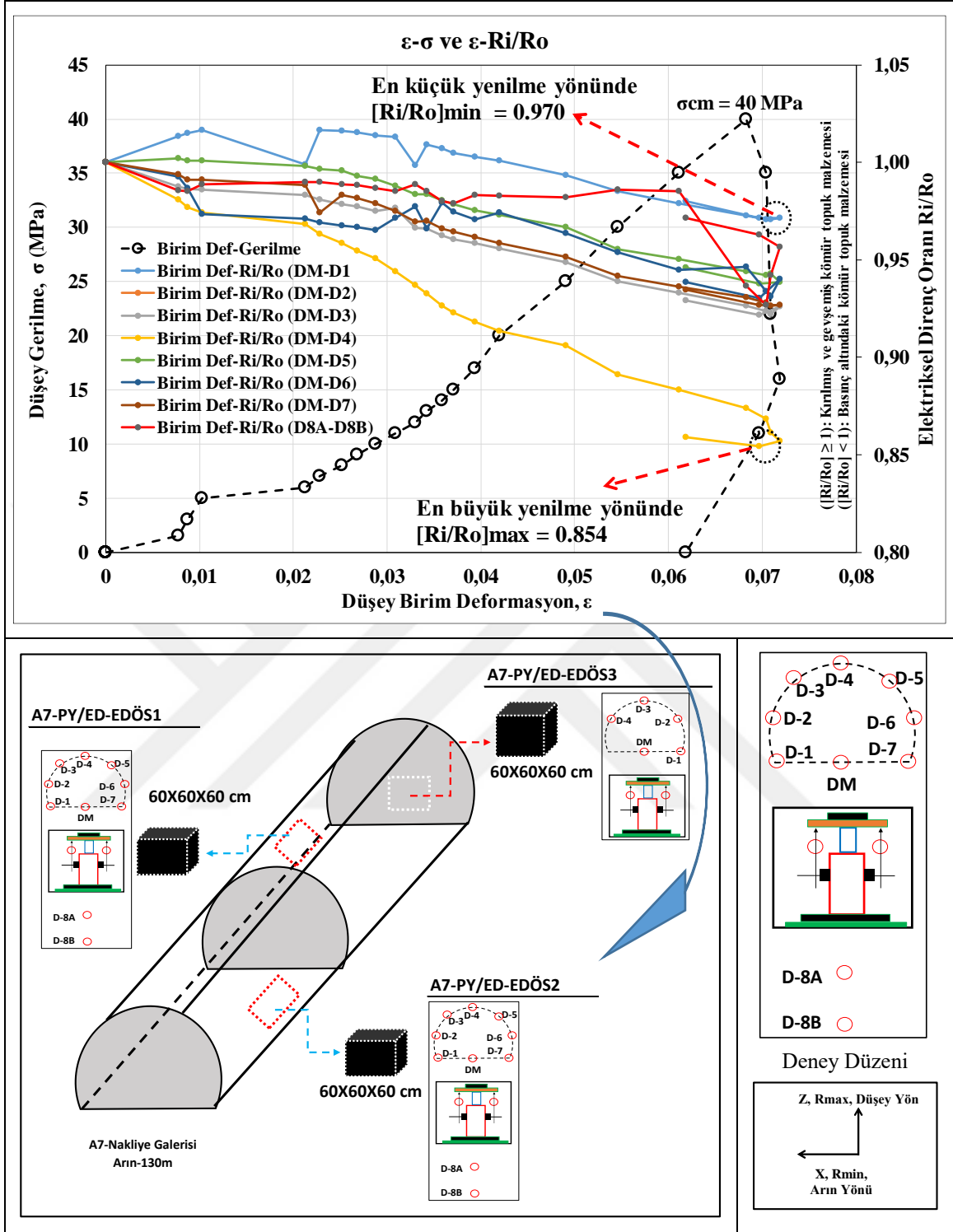
Her üç uygulama cebinde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 4.21-4.24’de sunulmuştur. Grafikler üzerinde $[R_i/R_o]_{max} = R_{max}$ ve $[R_i/R_o]_{min} = R_{min}$ büyüklükleri ile bu büyüklüklerin oluştuğu eksen yönleri belirtilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmadan elde edilen R_{min} ile σ_{min} (σ_3) arasında ve R_{max} ile σ_{max} (σ_1) arasında yakın bir ilişki olduğu kanaati oluşmuştur.

A7-PY/ED-EDÖS1 ve A7-PY/ED-EDÖS2’de uygulama cebi altına açılan EDÖS deliklerinden ölçülen R_i/R_o değerleri Şekil 4.21, 4.22 ve 4.23’de kırmızı renkte ifade edilmiştir. Şekil 4.21’de uygulama cebi altındaki deliklerden (D-8A ve D-8B) kömür malzemesinin henüz kırılmadığı buna karşın Şekil 4.22 ve 4.23’den cep altındaki kömür malzemesinin kırıldığı-parçalandığı-gevşediği görülmektedir.





Şekil 4.21. A7-PY/ED-EDÖS1’de gerçekleştirilen EDÖS deneyinde düşey birim deformasyon-gerilme- R_i/R_o davranışı (Arının sol tarafı)



Şekil 4.23. A7-PY/ED-EDÖS2’de gerçekleştirilen EDÖS deneyinde düşey birim deformasyon-gerilme- R_i/R_o davranışı (Arının sağ tarafı)

4.4.2. A7 hazırlık panosunda gerçekleştirilen PY deney sonuçları

Uygulama cebine yerleştirilen hidrolik kriko ile oluşturulan yüklemenin ve tavanda oluşan deformasyonların izlendiği sonuç olarak plaka yükleme (PY) deneylerinin de gerçekleştirildiği daha önce ifade edilmiştir. Deneylerde ölçüm hassasiyeti 10 bar, maksimum kapasitesi 600 bar ve kriko stroku 100 mm olan hidrolik kriko ile hassasiyeti 0,01 mm ve stroku 50 mm olan iki adet komparatör saati kullanılmıştır.

Hidrolik kriko ile uygulama cebinin üst kısmı kademeli olarak sıkıştırılmıştır. Tavan tabakaları kırıldığı andan itibaren hidrolik kriko basıncı yine kademeli olarak azaltılmıştır. Eş zamanlı olarak hidrolik kriko üzerinden okunan basınç (bar) değerleri, komparatör saatleri ile tavan tabakalarındaki deformasyon değerleri ve zaman değeri her deneyde kayıt edilmiştir.

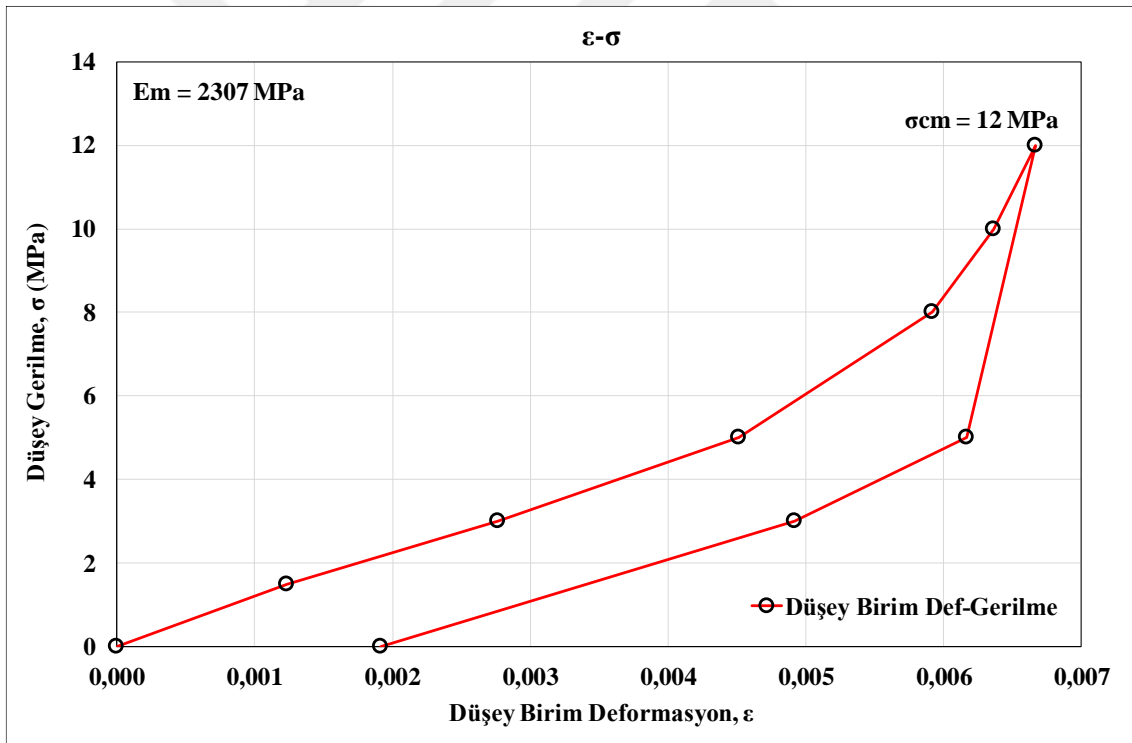
Düşey birim deformasyon (ϵ) - gerilme (σ) davranışları grafiksel olarak ortaya konmuştur. Şekil 4.25-4.28'de sunulan grafiklerden görüldüğü üzere uygulama cebinin tavan tabakalarında kırılma oluşuncaya kadar ϵ - σ eğrisi yükselmekte kırılma sonrasında hidrolik kriko basıncında düşme periyodu başlamaktadır.

Şekil 4.25-4.28'de sunulan ϵ - σ grafiklerinden sırası ile elde edilen yerinde tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm}) değerlerinin 12 MPa, 40MPa, 40MPa ve 24 MPa olduğu görülmektedir. Ortalama yerinde tek eksenli basınç dayanımı değerinin $\sigma_{cm} = 29 \pm 14$ MPa olduğu belirtilebilir. Bu değerde kömür tabakalarının yenildiği dikkate alınırsa uzunayak içerisindeki yürüyen kalkan (shield) tahkimat ünitelerinin tavanı ilk sıkıştırma operasyonunda sıkıştırma basıncının 29 MPa (290 Bar) basınca ulaşmaması gerektiği söylenebilir. Sonuç olarak, emniyetli sıkıştırma basıncının ϵ - σ davranışının yaklaşık %70'ne karşılık gelen elasto-plastik sınır değerinde olması gerektiği kanaati oluşmuştur (20 MPa=200 Bar).

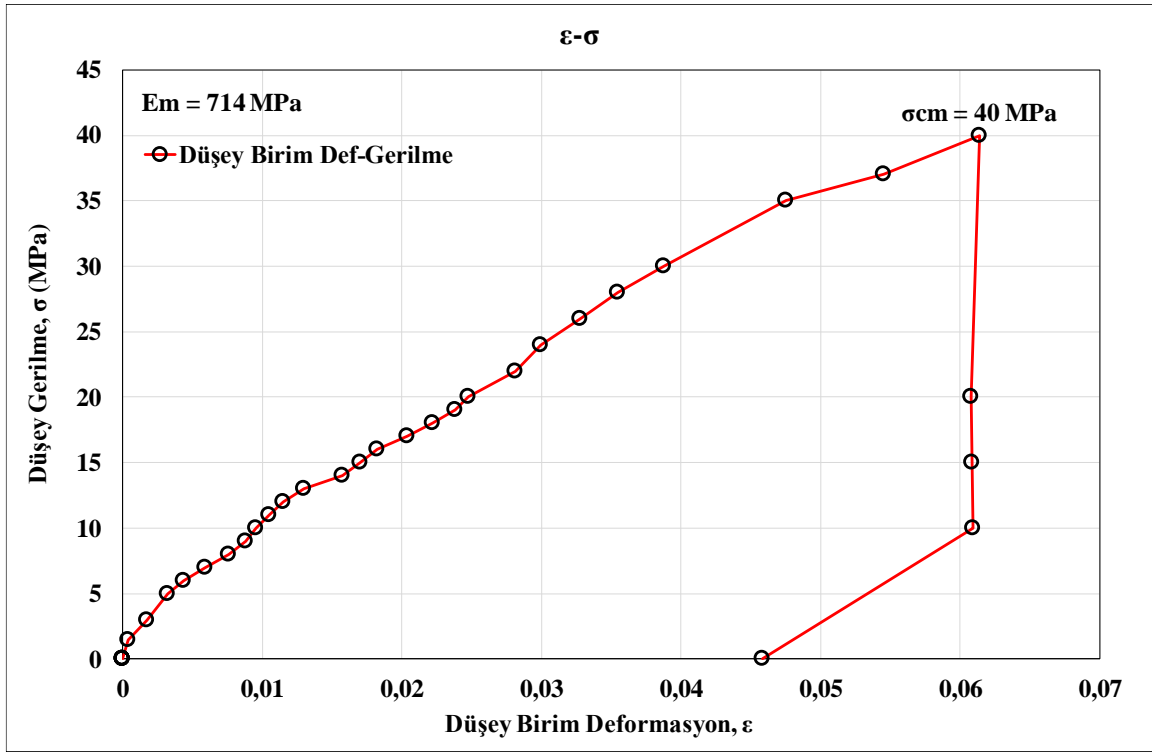
Kömür malzemesinde yenilme sonrasında hidrolik kriko ile uygulanan basınç azalmaya başlamaktadır. Bu basınç sıfıra ulaştığında tavan tabakalarında bir miktar kalıcı deformasyonun olduğu görülmektedir (Şekil 4.25-4.28). Uygulama ceplerinde tavanda kalıcı deformasyon değerlerinin sırası ile 0,575 mm ($\epsilon=0,0019$, Şekil 4.25), 13,75 mm ($\epsilon=0,045$, Şekil 4.26), 18,555 mm ($\epsilon=0,062$, Şekil 4.27) ve ise 15,88 mm ($\epsilon=0,053$, Şekil 4.28) olduğu görülmektedir. Deneysel verinin çok saçılı olmasından dolayı bu değerlerin genel ortalamasına ait standart sapma değeri yüksek çıkmıştır. Bundan dolayı en yüksek ve en düşük veriler atılarak geriye kalan iki değer ortalaması alınmıştır. Sonuç olarak

ortalama kalıcı deformasyon değerinin $U = 14,82 \pm 1,06$ mm ($\epsilon=0,049 \pm 0,0035$) olduğu tespit edilmiştir.

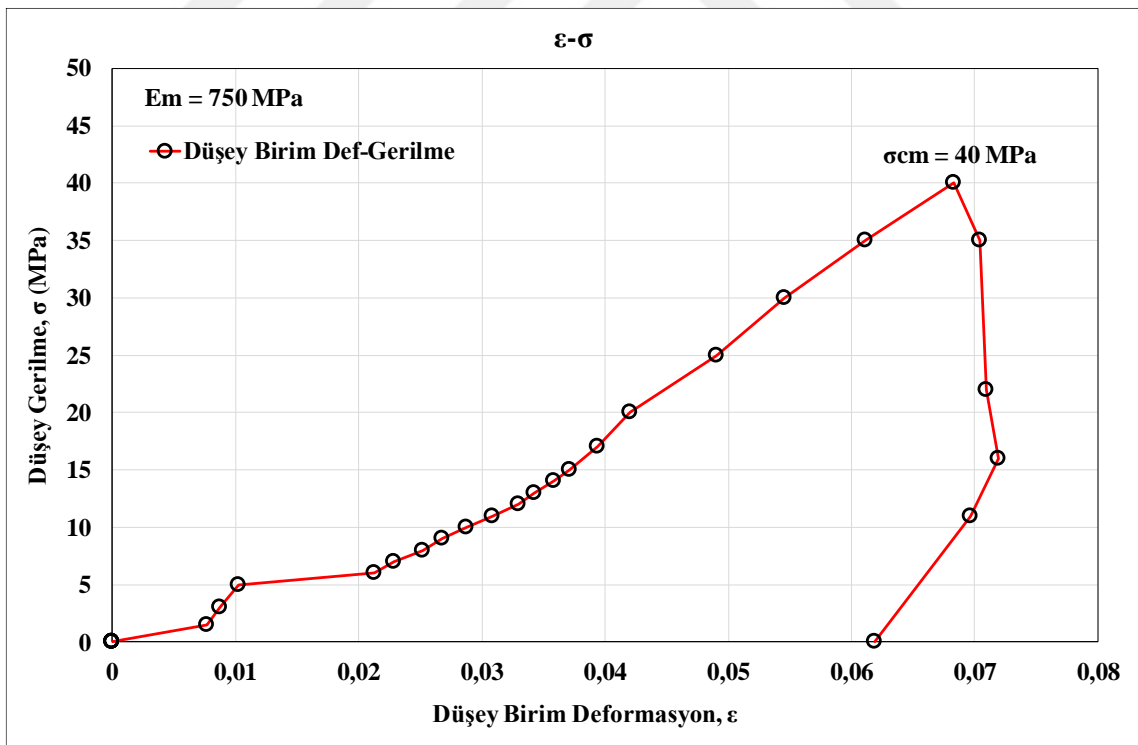
Uygulama ceplerinde gerçekleştirilen plaka yükleme deney sonuçlarına dayalı olarak ayrıca yerinde Elastik Modül (E_m , MPa) değerleri belirlenmiştir. Bu tür deney sonuçları Şekil 4.25-4.28’de sunulmuştur. Eğrilerin yenilme öncesi kısmında yüklemeye dayalı oluşan birim deformasyon eğrisi üzerinde yerinde tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm}) değerinin %50’sine karşılık gelen yerde tanjant elastik modül değeri $\Delta\sigma/\Delta\epsilon$ oranı yardımıyla hesaplanmıştır. Hazırlanan grafiklerden elastik modül değerleri sırası ile 2307 MPa, 714 MPa, 750 MPa, 381 MPa olarak belirlenmiştir. Deneysel verinin geniş bir saçılıma sahip olmasından dolayı bu değerlerin genel ortalamasına ait standart sapma değeri yüksek çıkmıştır. Bu yüzden deney verisinin en yüksek ve en düşük olanı atılmış, geriye kalan iki değer ortalaması alınmıştır. Sonuç olarak ortalama Elastik Modül değerinin $E_m = 732 \pm 18$ MPa olduğu tespit edilmiştir.

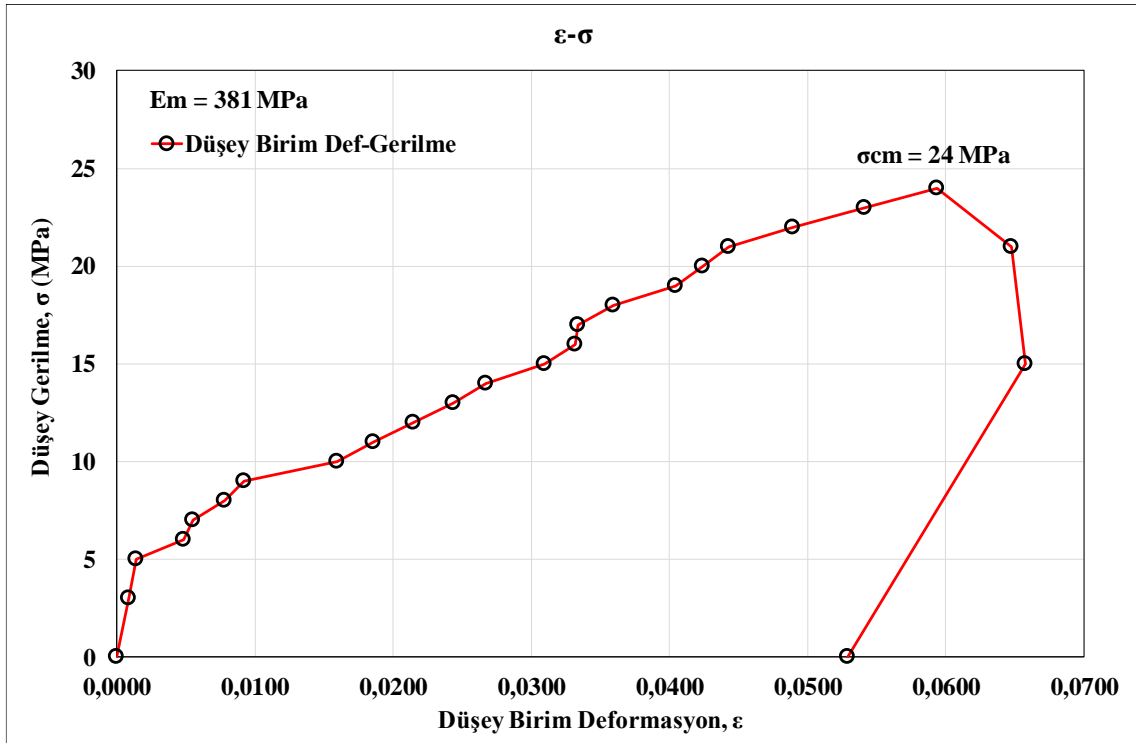


Şekil 4.25. A7-PY/ED-EDÖS1’de gerçekleştirilen EDÖS deneyinde düşey birim deformasyon-gerilme davranışı (Arının sol tarafı)



Şekil 4.26. A7-PY/ED-EDÖS1'de ikinci kez gerçekleştirilen EDÖS deneyinde düşey birim deformasyon-gerilme davranışı (Arının sol tarafı)





Şekil 4.28. A7-PY/ED-EDÖS3’de gerçekleştirilen EDÖS deneyinde düşey birim deformasyon-gerilme davranışı (Arın)

4.5. Saha Ölçüm Sonuçlarına Dayalı Genel Değerlendirme

A6 ve A7 panolarında gerçekleştirilen saha çalışmalarından yerinde ölçme ve izlemeye yönelik elde edilen bulgular ve üzerinde yapılan tartışmalar bu bölümün üst kısımlarında sunulmuştur. Bu başlık altında her iki uzunayak panosunda yapılan ölçme çalışmalarından elde edilen bulguların tartışılması sonrasında ortaya çıkan genel değerlendirme sonuçları sunulacaktır.

4.5.1. A6 üretim panosu ölçüm sonuçları üzerine genel değerlendirme

A6 üretim panosunda EDÖS’ün saha uygulamasına yönelik öncelikle ön çalışmalar ve takibinde yüksek lisans tez hedefine yönelik planlı çalışmalar yapılmıştır. Ön alımlar kapsamında üç adet EDÖS ölçüm istasyonu kurulmuştur. Ölçüm boru uzunlukları 3,1 m olan bu EDÖS ölçüm istasyonlarının tümü göçük hattı arkasında göçük bölgesinde kalmıştır. Diğer planlı çalışma kapsamında kurulan beş adet EDÖS ölçüm istasyonunda kullanılan ölçüm boru uzunlukları 4 m seçilmiş ve izleme sürecinde bu istasyonlar uzunayak kazı arını arkasına geçmemiştir. A6 panoda kurulan tüm izleme istasyonlarına ait grafiksel sonuçlar Şekil 4.1-4.14’de sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

Şekil 4.1-4-14 arasında verilen grafiksel bilgiler ışığında sırası ile takip eden genel sonuçlar verilebilir.

- i. Uygulaması yapılan EDÖS ölçüm sisteminin anlamlı fiziksel ve mekanik değerlendirmelere fırsat veren veriler ürettiği, bu verilerin daha önce yapılan laboratuvar deney sonuçları ile anlamlı örtüşmelere sahip olduğu dolayısı ile bu ölçüm sisteminin yeraltı kömür maden ocağında kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.
- ii. Kazı arının önündeki ilk 20 metre içinde topuk kenarından içe doğru topuğun ilk 4 metresinde kömür malzemesinin yenildiği tespit edilmiştir.
- iii. Topuk derinliğinde topuğun ilk 0-1 metrelik kısmının göçük hattı arkasında ulaşıncaya kadar tamamen gevşeyip göçük malzemesinin içine döküldüğü görülmüştür.
- iv. Topuk içine doğru topuğun 1-1,5 inci metresinde topuk malzemesinin uzunayak ayak kazı hizasına kadar kırılmış ve gevşeme sürecinde olduğu, ayak hizası arkasında ise bu gevşemiş kömür malzemesinin sıkışarak ezilmeye başladığı değerlendirilmiştir.
- v. Topuk kenarlarından içe doğru 4 metrelik ölçüm borusunun 2-4 üncü metreleri arasında kalan topuk bölgesinin kırılmış vaziyette olduğu, ayak kazı hattı ile göçük hattı arasındaki 6-7 metrelik bölgenin hemen hemen ortasına kadar gevşemeye devam ettiği anlaşılmıştır. Ancak göçük hattının hemen önünde ise sıkışmaya ezilmeye başladığı ve duraylı olmadığı yönünde değerlendirilmiştir.


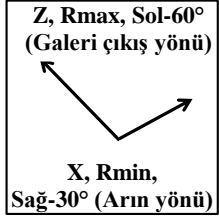
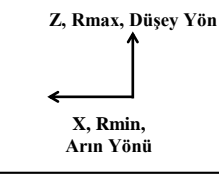
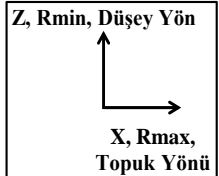
4.5.2. A7 hazırlık panosu ölçüm sonuçları üzerine genel değerlendirme

Şekil 4.15-4-24 arasında sunulan grafik bilgilerinden aşağıda sunulan Çizelge 4.1 hazırlanmıştır. Bu çizelgede sırasıyla $R_i/R_o < 1$ koşulunda iken en küçük R_i/R_o oranını tanımlayan R_{max} 'in gerçekleştiği delik çiftine ait zaman (t, dk) ve ölçüm delik konumu (α , °) ayrıca $R_i/R_o < 1$ koşulunda iken göreceli olarak büyük R_i/R_o oranını tanımlayan R_{min} 'in gerçekleştiği delik çiftine ait zaman (t, dk) ve ölçüm deliklerinin konumu (α , °) verilmiştir. Bu sayısal verilerin yanında yerinde tek eksenli basma dayanımı (σ_{cm} , MPa), yerinde elastik modül (E_m , MPa) ve etkin gerilme (σ , MPa) değerleri de sunulmuştur. Ayrıca en büyük ve en küçük gerilmelerin ($\sigma_{max}=\sigma_1$, $\sigma_{min}=\sigma_3$) olduğu eksenleri belirttiği kanaatini oluşturan R_{max} ve R_{min} eksen tanımları bu çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 4.1’de verilen kritik değerlere göre;

- i. Arında tavana doğru düşey yönde yaratılan 24 MPa’lık bir gerilme neticesinde yatay yönde R_{max} ’in oluştuğu ve bu yönde ($\alpha=0^\circ$) kömür malzemesinin tüm diğer ölçüm delik çiftlerine nazaran daha çok sıkıştığı anlaşılmaktadır. Tabaka eğimlerini sıfıra yakın $7-8^\circ$ olduğu düşünülürse kömür damarı içerisindeki tabaka düzlemlerinden geçen ayrılmaların olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşın, $\alpha=90^\circ$ olan ölçümün yapıldığı delik çiftinde ise en az sıkışmanın olduğu ortaya çıkmıştır. Bu yönde oluşan R_i/R_o değeri R_{min} olarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak, her iki eksen arasında 90° ’lik bir açı söz konusu olmuştur. Bir başka ifade ile $\alpha=0^\circ$ yönünde R_{max} ’dan dolayı $\sigma_{max}=\sigma_1$ en büyük asal gerilmesinin, $\alpha=90^\circ$ yönünde ise R_{min} ’den dolayı $\sigma_{min}=\sigma_3$ en küçük asal gerilmesinin ortaya çıktığı yönünde bir değerlendirme yapılmıştır. Ancak bu çalışmada asal gerilme büyüklükleri (MPa) belirlenememiştir.
- ii. Nakliye kömür galerisinin A7 pano tarafında 40 MPa düşey basınç altında kömür malzemesi içinde R_{max} ’in oluştuğu açısız yönün $\alpha=60^\circ$ buna karşın R_{min} ’in ortaya çıktığı açısız yönün $\alpha=30^\circ$ olduğu Çizelge 4.1’de belirtilmiştir. Yenilme anı öncesinde R_{max} yönünde kömür malzemesinin en çok sıkıştığı, R_{min} yönünde ise kömür malzemesinin en az sıkıştığı anlaşılmaktadır. Çizelge 4.1’de ifade edilen eksen yönleri görülmektedir. Her iki eksen arasında 90° ’lik bir açının söz konusu olduğu dikkat çekmektedir. Bir başka ifade ile $\alpha=60^\circ$ yönünde σ_{max} (σ_1) en büyük asal gerilme, $\alpha=30^\circ$ yönünde ise σ_{min} (σ_3) en küçük asal gerilme ortaya çıktığı düşünülmüştür. Bu asal gerilme yönleri tahmin edilebilmiş ancak asal gerilme değerleri (MPa) belirlenememiştir.
- iii. A7 pano nakliye (kömür) galerisinin topuk tarafında yürütülen deneysel çalışmalarda 40 MPa düşey basınç altında R_{max} ’in $\alpha=90^\circ$ olan ekseninde oluştuğu düşünülmüştür (Çizelge 4.1). Bununla birlikte $\alpha=0^\circ$ ’de R_{min} ’in ortaya çıktığı yönünde bir değerlendirme yapılmıştır. Yenilme öncesinde kömür malzemesinin R_{max} yönünde en çok sıkıştığı, R_{min} yönünde ise en az sıkıştığı yönünde çıkarımda bulunulmuştur. Çizelge 4.1’de ifade edilen eksen yönlerinden her iki eksen arasında 90° ’lik bir açının söz konusu olduğu görülmektedir. Bir başka ifade ile $\alpha=90^\circ$ düşey yönde σ_{max} (σ_1) en büyük asal gerilme, $\alpha=0^\circ$ yatay yönde σ_{min} (σ_3) en küçük asal gerilmenin ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır. Asal gerilme yönlerinin oluştuğu tahmin edilebilmiş ancak bu çalışmada asal gerilme değerleri (MPa) ölçülememiştir.

Çizelge 4.1. A7 hazırlık panosunda eş zamanlı gerçekleştirilen plaka yükleme ve elektriksel direnç ölçüm sonuçlarına ait kritik değerler.

İst No (Uygulama Cep No)	R_{max}			R_{min}			Etkin Gerilme (R_i/R_o oranının birden artmaya başladığı PY- basınç değeri)	Yerinde tek eksenli basma dayanımı	Yerinde elastik modül	En büyük ve en küçük elektriksel direnç değerlerinin oluştuğu eksen tanımı
	Zaman	En büyük yenilme yönünde R_i/R_o	Ölçüm borusu konumu	Zaman	En küçük yenilme yönünde R_i/R_o	Ölçüm borusu konumu				
	t (dk)	-	α (°)	t (dk)	-	α (°)	σ (MPa)	σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)	X, Y, Z
EDÖS1 ARIN- SOL (Şekil 4.16 ve 4.21)	20	0,991	ORTA-90° (Düşey yön)	20	0,995	SOL-0° (Galeri çıkış yönü)	10 (Yenilme noktası sonrası yük boşalması)	12 (Yenilen malzeme kömür, Şekil 3.21)	2307	
EDÖS1 ARIN- SOL (Şekil 4.17 ve 4.22)	32	0,907	SOL-60° (Galeri çıkış yönünde)	32	0,970	SAĞ-30° (Arın yönü)	20 (Yenilme noktası sonrası yük boşalması)	40 (Yenilen malzeme kömür, Şekil 3.21)	714	
EDÖS2 ARIN- SAĞ (Şekil 4.18 ve 4.23)	28	0,854	ORTA-90° (Düşey yön)	26	0,970	SOL-0° (Arın yönü)	11 (Yenilme noktası sonrası yük boşalması)	40 (Yenilen malzeme kömür, Şekil 3.21)	750	
EDÖS3 ARIN- ORTA (Şekil 4.19 ve 4.24)	25	0,972	SAĞ-0° (Topuk yönü)	26	0,981	ORTA-90° (Düşey yön)	24 (Yenilme noktası)	24 (Yenilen malzeme kömür, Şekil 3.21)	381	

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.2. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında yeni bir alternatif arazi ölçüm sistemi tasarlanmış, imalatı yapılmış ve saha ölçümleri ile denenmiştir. Bu çalışma, daha önce yapılan laboratuvar test sonuçlarına dayanarak bir yeraltı kömür madeninde gerçekleştirilen çalışmanın ilk sonuçlarını içermektedir. Bu sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Bu çalışmanın ilk aşamasında saha uygulamaları için Elektriksel Direnç Ölçüm Sistemi (EDÖS) adı verilen bir izleme sistemi geliştirilmiştir.
2. İkinci aşamada A6 panosu malzeme galerisi üzerinde ön çalışmalar için üç istasyon oluşturulmuştur. Uzunayak arını önünde birbirlerine 5 metre aralıklarla hazırlanan istasyonlar uzunayak arkasında tamamı ile göçük arkasına kalıncaya kadar izlenmiştir. Uzunayak arınında gerçekleştirilen kazıya bağlı olarak A6 panosu topuğunda oluşan dinamik yüklerin etkisi EDÖS ile izlenmiştir. Bu izleme sonunda elde edilen elektriksel direnç davranışlarının laboratuvarda gerçekleştirilen deney sonuçları ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Topuk üzerine gelen basıncın artması ile iki bakır plaka arasında kalan kömür malzemesindeki elektriksel direnç (ohm) değerlerinin azaldığı malzemenin kırılması ile bu elektriksel direnç (ohm) değerlerinin arttığı anlaşılmıştır. Ayrıca topuk içerisine doğru kömür malzemesinin daha çok sıkıştığı topuk kenarında ise kırılmaların-parçalanmaların-gevşemelerin olduğu dikkat çekmiştir. Ön çalışmaların anlamlı sonuçlar vermesi sonucunda yeraltı maden ocağında bu tür çalışmaların detaylandırılarak yapılması planlanmıştır.
3. Üçüncü aşamada üretimin gerçekleştirildiği A6 uzunayak panosunun malzeme galerisinde belirlenen 25 metrelik bir ölçüm bölgesine beş adet EDÖS istasyonu kurulmuştur. Ölçüm borularının boyu 4 m, ölçüm borusunun dış çapı 25 mm, açılan delik çapı ise 33 mm olmuştur. Dört metre uzunluğundaki ölçüm borularının üzerine 50 cm aralıklar ile 8 bakır plaka yerleştirilmiştir. Bir çift ölçüm borusu ile bir istasyon oluşturmuştur. İki ölçüm borusu düşey yönde 30 cm aralıklarda 4 m uzunluğunda açılan deliklere yerleştirilmiştir. Her bir istasyonda elektriksel ölçümler avometre ile yapılmıştır. Her ölçümde zaman ve istasyonun arına olan uzaklığı kayıt altına

alınmıştır. Arındaki kazı çalışmalarına dayalı topuk üzerinde oluşan dinamik etkiler, elektriksel ölçüm sistemi ile takip edilmiştir. Elde edilen sonuçların literatürdeki laboratuvar sonuçları ve bu tez çalışmasındaki ön çalışma sonuçları ile benzerlik göstermiş olduğu belirlenmiştir. Yerinde ölçüm sonuçları, kömür malzemesinin basınç altında kaldığı durumda elektriksel direnç değerlerinin azaldığını, bir başka ifade ile kömür malzemesinin elektriksel iletkenliğinin arttığını göstermiştir. Buna karşın kırılan ve gevşeyen kömür malzemesinin ise elektriksel direnç değerlerinin arttığı anlaşılmıştır. Bu sonuçlar uzunayak arınına farklı mesafelerde kurulan ölçüm istasyonlarındaki ölçümlerden elde edilmiştir. İzleme süresi boyunca uzunayak arını, üretim amaçlı tamburlu kesici-yükleyici ile yapılan kazı ilerlemesi sadece 2 m olmuştur. İşletmede faaliyet gösteren A2 uzunayak panosunda ani gelişen madencilik sorunları nedeni ile A6'da üretime ara verilmiştir. Bu yüzden ölçümlere devam edilememiştir.

4. A6 panoda yapılan ölçüm sonuçlarına göre maden topuğu hakkında aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.
 - i. Uzunayak kazı arının önündeki ilk 20 metre ve topuğun içe doğru olan ilk 4 metresinde topuk malzemesinin yenildiği tespit edilmiştir.
 - ii. Topuğun ilk 0-1 metrelik kısmında kırılmış kömür malzemesinin göçük hattına kadar gevşediği göçük hattı arkasında ise parçalanarak göçük malzemesine karıştığı görülmüştür.
 - iii. Topuğun 1-1,5 inci metresinde kırılmış ve gevşeme sürecinde olan topuk malzemesinin ayak hizası arkasında sıkışarak ezilmeye maruz kaldığı değerlendirilmiştir.
 - iv. Topuğun 2-4 üncü metreleri arasında kalan kırılmış kömür malzemesinin ayak kazı hattı ile göçük hattı arasına (6-7 m) kadar gevşemeye devam ettiği ve göçük hattının hemen önünde ise sıkışmaya ezilmeye başladığı değerlendirilmiştir.
 - v. Topuğun boy ekseninde 20m, en ekseninde 4m ve dikey ekseninde 3,5 m'den oluşan topuk bölgesinde yer alan kömür malzemesinin duraylı olmadığı değerlendirilmiştir.
5. Dördüncü aşamada A7 hazırlık panosunda EDÖS deneylerinin yapılması planlanmıştır. Bu çalışmada hazırlık aşamasında olan A7 panosu kömür nakliye galeri arınında ve iki yan cidarında 60X60X60 cm boyutlarında açılan

toplam üç adet uygulama cebinde plaka yükleme deneyi yardımıyla kömür malzemesindeki elektriksel direnç değişimleri izlenmiştir. Bu çalışmada uygulama cebi içerisine yerleştirilen bir hidrolik kriko yardımıyla cebin tavan kısmı kademeli olarak sıkıştırılmış oluşan deformasyon değerleri komparatör saatleri ile kayıt altına alınmıştır. Plaka yükleme deneyi ile eş zamanlı olarak elektriksel direnç ölçümleri alınmıştır. Elektriksel ölçümler 0° - 30° - 60° - 90° - 60° - 30° - 0° açılarda delinen ölçüm deliklerine 75 cm uzunluğunda yerleştirilen ölçüm borularından alınmıştır. Bu boruların başlangıcından 45 cm uzakta olan mesafeye bakır plakalar monte edilmiştir. Ölçümler avometreler ile takip edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen ölçüm sonuçlarından uygulama cebinin tavanında oluşturulan basınç ile sıkışan kömür malzemesinde elektriksel dirençlerin (ohm) küçüldüğü kömür malzemesinin kırılması-gevşemesi ile bu direnç değerlerinin hızla yükselmeye başladığı anlaşılmıştır. Kömür malzemesinin yenilme noktasına ulaşıldıktan sonra hidrolik kriko yavaş yavaş boşaltılmıştır. Yük boşalma sürecinde kömür malzemesi tekrar eski şeklini almaya çalışırken bir başka ifade ile oluşan deformasyonlar tekrar başlangıç sıfır değerine dönmeye çalışırken benzer şekilde elektriksel direnç değerlerinin de başlangıç elektriksel direnç (ohm) değerlerine dönmeye çalıştığı görülmüştür. Yükleme-boşaltma sürecinde kömür malzemesinde oluşan kalıcı deformasyonlar gibi kalıcı elektriksel direnç değerlerinin de oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca ölçüm borularının 0° - 30° - 60° - 90° - 60° - 30° - 0° açılarında yerleştirilmesinden dolayı hidrolik kriko yardımıyla kömür malzemesindeki sıkışmaya dayalı en fazla elektriksel direnç (R_{max}) değişimine uğrayan ölçüm borusunun konumu ile en az elektriksel direnç (R_{min}) değişimine uğrayan ölçüm borusunun konumları arasında hep dik açının (90°) oluştuğu anlaşılmıştır. Bu durum kaya malzemesinde yenilmeye neden olan asal gerilmeleri ($\sigma_{max}=\sigma_1$, $\sigma_{min}=\sigma_3$) ve asal eksenlerini akla getirmiştir. Sonuç olarak, açısal elektriksel direnç ölçüm boruları ile asal gerilme yönlerinin belirlenebileceği kanaati oluşmuştur.

6. Plaka yükleme deney verilerine göre;
 - i. Düşey birim deformasyon (ϵ) - düşey gerilme (σ) grafiklerinden ortalama yerinde tek eksenli basınç dayanımı değerinin 29 ± 14 MPa olduğu belirlenmiştir. Bu değerde kömür tabakalarının yenildiği dikkate alınarak uzunayak içerisindeki yürüyen kalkan (shield) tahkimat ünitelerinin

tavanı ilk sıkıştırma operasyonunda sıkıştırma basıncının 29 MPa (290 Bar) ulaşmaması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Aslında emniyetli sıkıştırma basıncının ϵ - σ davranışının yaklaşık %70'ne karşılık gelen elasto-plastik sınır değerinde olması gerektiği kanaati oluşmuştur (20 MPa=200 Bar).

- ii. Uygulama ceplerinde tavanda kömür malzemesinde yenilme sonrasında oluşan ortalama kalıcı deformasyon değerinin $14,82 \pm 1,06$ mm ($\epsilon=0,049 \pm 0,0035$) olduğu belirlenmiştir.
- iii. Uygulama ceplerinde gerçekleştirilen plaka yükleme deney sonuçlarına dayalı ayrıca yerinde Elastik Modül (E_m , MPa) değerleri belirlenmiştir. Eğrilerin yenilme öncesi kısmında yüklemeye dayalı oluşan birim deformasyon eğrisi üzerinde yerinde tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm}) değerinin %50'sine karşılık gelen yerde tanjant elastik modül değeri $\Delta\sigma/\Delta\epsilon$ oranı yardımıyla hesaplanmıştır. Hazırlanan grafiklerden ortalama yerinde Elastik Modül değerinin 732 ± 18 MPa olduğu tespit edilmiştir.

Yerinde izlemeye dayalı EDÖS'ün ilk sonuçların umut verici olduğu sonucuna varılmıştır. Ölçüm sistemi yeni bir ölçüm yöntemi olarak literatürde yer alma potansiyeline sahip olduğu anlaşılmıştır.

5.3. Öneriler

Bu çalışma sonuçları yardımıyla gelecekte yapılacak çalışmalar için aşağıdaki öneriler yapılmıştır.

1. Ölçüm istasyon sayıları artırılarak yeni ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi ölçerin güvenilirliğini artıracaktır.
2. EDÖS ölçüm sistemi tarafından üretilen elektriksel direnç değerlerini saniye aralıklarla kayıt altına alabilecek elektronik bir veri kayıt sisteminin ölçüm sistemine dahil edilmesi önerilir.
3. EDÖS ölçümleri esnasında ortam nemi, sıcaklık, gaz içeriği ve miktarları gibi parametrelerin ölçülmesi değerlendirmelerin daha detaylı yapılabilmesine yardımcı olabilecektir.
4. Laboratuvar ve saha çalışmalarında elektriksel direnç ölçümleri yanında akustik emisyon ve gerilme ölçümlerinin de yapılması önerilir.

5. EDÖS ölçümleri ile projelerde sıklıkla kullanılan yassı veren (Flat Jact) gibi gerilme ölçerler yardımıyla en büyük ve en küçük asal gerilme yönlerinin ve büyüklüklerinin tespitine yönelik çalışmaların yapılması yerinde olacaktır.
6. Sahada gerçekleştirilen EDÖS ölçümleri öncesinde ölçüm ortamını yansıtan kaya malzemesine ait jeomekanik deneylerin yapılması önerilir.
7. Bu tür ölçümlerin farklı maden sahalarında test edilmesiyle EDÖS ölçüm sisteminin standardı ve sınırları belirlenebilecektir.



KAYNAKÇA

- Anonim, 2017, Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü'nün kuruluşu, <http://www.gli.gov.tr/hakkimizda/kurulus/5> [Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2024].
- Anonim, 2023, Kütahya İli 2022 Yılı Çevre Durum Raporu, T.C. Kütahya Valiliği, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 121 s, Kütahya (<https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/kutahya-ilcdr-2022-20231027092503.pdf>) [Ziyaret Tarihi: 15 Ekim 2024].
- Bahr, K. 1997. Electrical Anisotropy and Conductivity Distribution Functions of Fractal Random Networks and of The Crust: The Scale effect of Connectivity. *Geophys. J. Int.*, 130, pp 649-660.
- Bilim, N., Özkan, İ ve Gökay, M.K. 2002. Elektriksel direnç yöntemi aracılığıyla kaya maddelerinde süreksizlik düzlemlerinin belirlenmesi. KAYAMEK'2002-VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu. ss.121-127.
- Bilim, N. 2002. Elektriksel direnç yöntemi aracılığıyla kaya maddelerinde süreksizliklerin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. 116s.
- Chen, G. & Lin, Y. 2004. Stress–strain–electrical resistance effects and associated state equations for uniaxial rock compression. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Volume. 41, pp. 223–236.
- Çelik, R., 2005, GLİ Ömerler mekanize ocakta yürüyen tahkimatın taşınmasının geliştirilmesi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 144.
- Çetin, A., Bayraktar, C., Altınay, A. 1985. “Karamanlar-Ömerler-Çamlıca (Kütahya, Domaniç) kömür yatağı jeoloji raporu”, Derleme No: 7293, MTA Balıkesir Bölge Müdürlüğü, Balıkesir.
- Destanoğlu, N., Taşkın, F., Taştepe, M. ve Öğretmen, S. 2000. Ömerler Mekanizasyon Uygulaması, TKİ, Ankara, 211p.
- Ergin, K. 1973. “Uygulamalı Jeofizik”, Özarkadaş Matbaası, İstanbul, 371s. Gökay, M. K ve Özkan, İ. 2000. “Su İçeriğinin Kayaçlardaki Elektrik Geçirgenliğine Etkisi”, 5. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Isparta, ss.76-89.
- Fişne, A., 2017, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü Ömerler-A Yeraltı Kömür Ocağı Havalandırma Sisteminin Değerlendirilmesi Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ).

- Gökay, M. K ve Özkan, İ. 2000. “Su İçeriğinin Kayaçlardaki Elektrik Geçirgenliğine Etkisi”, 5. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Isparta, ss.76-89.
- Gökay, M. K. & Özkan, İ. 2001. Diversity of Electrical Conductivity in a Water-Bearing Rock Material. 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey IMCET 2001, Ankara, pp 431-436.
- Jiang, Y. G., Shan, H. M. & Zhou, L. W. 1998. A Method for Measuring Elektrokinetic Coefficients of Porous Media and Its Potential Application in Hydrocarbon Exploration. *Geophysical Res. Letters*, Vol. 25, No. 10, pp 1581-1584.
- Jouniaux, L. & Pozzi, J. 1997. Laboratory Measurements Anomalous 0.1-0.5 Hz Streaming Potential Under Geochemical Changes: Implications for Electrotelluric Precursors to Earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, No. B7, pp 15,335-15,343.
- Jones, A. G. 1999. Imaging the Continental Upper Mantle Using Electromagnetic Methods. *Lithos*, 48, pp 57-80.
- Koelman, J. M. V. A. & Kuijper, A. de. 1997. An Effective Medium Model for The Electric Conductivity of an N-Component Anisotropic and Percolating Mixture. *Physica, A* 247, pp 10-22.
- Kamenetetsky, F. & M. Novikov, P. V. 1997. A Physical Study of Low-Frequency Dispersion of Rock Conductivity In Time-Domain Electromagnetics. *Association of Geoscientists & Engineers, Geophysical Prospecting*, 45, pp 421-434.
- Lorne, B., Perrier, F. & Avouac, J. 1999. Streaming Potential Measurements 2. Relationship Between Electrical and Hydraulic Flow Patterns from Rock Samples During Deformation. *J of Geophysical Res Atmosp*, 1041(B8), pp 17,879-17,896.
- Mesutoğlu, M. 2019. Uzunayak tabanyolu galerisi tavan tabaka kontrolünde kullanılan kaya saplama ve demir bağ davranışlarının sayısal analizler ile belirlenmesi, “Doktora Tezi”, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 298p.
- Mesutoğlu, M. & Özkan, İ. 2013. Stress-strain-electrical resistance characterization of rock material under triaxial loading. *Proceedings of the 22nd MPES Conference, Dresden, Germany, 14th–19th October 2013*, pp. 529-539.
- Özkan, İ. & Bilim, N. 2007. Stress-Strain-Electrical Resistance Behavior of Rock Material Under Uniaxial Loading, 20th International Mining Congress and Exhibition of Turkey IMCET2007, Ankara (in Turkish).

- Özkan, İ., Mesutoğlu, M. & Kızıldaş, Z. 2018. Stress-strain-electrical resistance behavior of Kars-Kağızman rock salt under uniaxial compressive. ROCKMEC2018-Regional Rock Mechanics Symposium, Trabzon (in Turkish).
- Özkan, İ., Geniş, M., Uysal, Ö., Mesutoğlu, M., 2022. New technology for roof support of coal roadways in our national underground coal mining: Design of roof bolt systems. TUBITAK Project No. 116M698 Final Report, Ankara.
- Ozkan I, Mesutoglu M., **Çetinkaya M. Y.** 2023 “A new in-situ monitoring system to determine stability of underground coal pillar subjected to dynamic loading: electrical resistance measurement system (ERMS)” 15th ISRM Congress 2023 & 72nd Geomechanics Colloquium. Schubert & Kluckner (eds.), Salzburg, Australia, pp.1454-1459.
- Ravalec M. L., Darot, M., Reuschle, T & Gueguen, T. 1996. Transport Properties and Microstructural Characteristics of a Thermally Cracked Mylonite. *Pageoph*, Vol. 146, pp 207-227.
- Roberts, J. J., Duba, J. J., Mathez, E. A., Shankland, T. J. & Kinzler, R. 1999. Carbon-Enhanced Electrical Conductivity During Fracture of Rocks. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, No. B1, pp 737-747.
- Roberts, J. J. & Tyburczy, J. A. 1999. Partial-Melt Electrical Conductivity: Influence of Melt Composition. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, No. B4, pp 7055-7065.
- RocScience, R., 2002, Rocscience inc, Toronto, Canada.
- Shankland, T. J., Duba, A. G., Mathez, E. A. & Peach, C. L. 1997. Increase of Electrical Conductivity with Pressure As an Indicator of Conduction Through a Solid Phase In Midcrustal Rocks. *Journal of Geophysical*, Vol. 102, No. B7, pp 14,741-14,750.
- Schmeling, H. 1986. “Numerical Models On The Influence Of Partial Melt On Elastic, Anelastic And Electrical Properties Of Rocks. Part II: Electrical Conductivity”, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 43, pp 123-136.
- Yardley, W. D. & Valley, J. W. 1997. The Petrologic Case for a Dry Lower Crust. *Journal Geophysical Research*, Vol. 102, No. B6, pp 12,173-12,185.
- Yıldırım, Y., 2019. Ömerler A Sahası Mekanize Panolarında Susuzlandırma Çalışmalarının Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 88 sayfa, Kütahya.

Yoshida, S., Uyeshima, M. & Nakatani, M. 1997. Electric Potential Changes Associated with Slip Failure of Granite: Preseismic and Coseismic Signals. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, No. B7, pp 14,883-14,897

