

## AŞINMIŞ ŞİST MALZEMESİNİN GEOTEKNİK STABİLİTESİNİN ARTTIRILMASI: AÇIK OCAK DOĞU BÖLGESİNDE ÖRNEK HİDROJEOLOJİK ÇALIŞMA

### IMPROVING THE GEOTECHNICAL STABILITY OF WEATHERED SCHIST MATERIAL: A CASE STUDY HYDROGEOLOGICAL STUDY IN THE EASTERN REGION OF THE OPEN PIT

Arslan VEPAYEV<sup>1</sup>, Murat Tolunay BULGURCU<sup>2</sup>, Şükrücan ŞENBEK<sup>3</sup>

#### ÖZET

Bu çalışma, bir bakır açık ocak madeninin doğu bölgesinde deforme olmuş bir alanda tespit edilen ana kaya formasyonları üzerinde yer alan aşınmış şist materyalinin geoteknik özelliklerinin geliştirilmesine yönelik süreçleri detaylı bir biçimde inceler. Araştırma, aşınmış şist materyalinin Yersel interferometri SAR Radar (GEORADAR) teknolojisi kullanılarak, dört ayrı seviyede yerleştirilmiş piyezometrelerle izlenmesi ve analiz edilmesine yoğunlaşmaktadır. Bu iki metodoloji aracılığıyla, yer altı su basıncının açık ocak bölgesinde litoloji kontakları üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Ayrıca, piyezometre verilerine dayanarak, yeraltı su basıncının pompa kuyuları aracılığıyla etkin bir şekilde yönetilmesi ve drenajı işlemleri vasıtasıyla aşınmış şist materyalinin stabilitesine sağlanan pozitif katkılar irdelenmiştir. Çalışma, geoteknik yöntemlerinin ve yeraltı su yönetim stratejilerinin, açık ocak madencilik faaliyetleri bağlamında hayati önemini vurgular. Yersel interferometri SAR Radar (GEORADAR) izleme teknikleri ve piyezometrik analizler, zemin davranışının kapsamlı anlaşılması ve stabilizasyon tedbirlerinin gerçekçi bir temelde uygulanması konusunda kritik bir öneme sahiptir. Bu araştırma, madencilik sektöründe karşılaşılan şev stabilitesi meydan okumalarına yönelik yenilikçi çözüm önerileri sunmakta ve saha uygulamalarına yönelik değerli bir referans kaynağı oluşturmayı amaçlamaktadır.

*Anahtar Kelimeler: Geoteknik Stabilizasyon, GEORADAR, Piyezometre, Açık Ocak Stabilitesi, Yeraltı Su Yönetimi.*

<sup>1</sup> Kıdemli Hidrojeoloji Mühendisi, Acacia Maden İşletmeleri, arslan.vepayev@acacia.com.tr (Sorumlu yazar)

<sup>2</sup> Geoteknik Şefi, Acacia Maden İşletmeleri, murattolunay.bulgurcu@acacia.com.tr

<sup>3</sup> Kıdemli Jeoloji Mühendisi, Acacia Maden İşletmeleri, sukrucan.senbek@acacia.com.tr



**ABSTRACT**

This study comprehensively investigates the enhancement processes of the geotechnical properties of weathered schist material situated on primary rock formations identified in a deformed area within the eastern sector of a copper open pit mine. The research focuses on the monitoring and analysis of weathered schist material using Ground Interferometric SAR Radar (GEORADAR) technology and piezometers installed at four distinct locations. Through these two methodologies, the effects of groundwater pressure on lithology contacts in the open pit zone were evaluated in detail. Furthermore, the positive contributions to the stability of weathered schist material through effective management and drainage of underground water resources, based on piezometric data, are explored. The study emphasizes the vital importance of geotechnical methods and groundwater management strategies in the context of open pit mining operations. Ground Interferometric SAR Radar (GEORADAR) monitoring techniques and piezometric analyses are highlighted as crucial for a comprehensive understanding of soil behavior and the realistic implementation of stabilization measures. This research aims to provide innovative solutions to soil stability challenges faced in the mining sector, offering a valuable reference for field applications.

*Keywords: Geotechnical Stabilization, GEORADAR, Piezometer, Open-Pit Stability, Groundwater Management.*

**1. GİRİŞ**

Geoteknik Mühendisliği kapsamında hem yapısal hem de hidrojeolojik koşulların belirlenmesinde elzem rol oynamaktadır. Madencilik sektöründe, geoteknik mühendisliği projelerin başarısı için temel taşlardır. Geoteknik mühendisliğinde, yapısal bakış açısı ile zemin ve kayaların mühendislik prensipleri ışığında davranışlarını incelerken, hidrojeoloji bakışı ile de yeraltı sularının hareketlerini, kalitesini ve etkileşimlerini analiz eder. Bu iki disiplin, madencilik projelerinde yer seçimi, tasarım, şev stabilitesi, güvenlik değerlendirmesi, su yönetimi ve çevresel etkilerin değerlendirilmesi gibi kritik aşamalarda birlikte çalışır.

Madencilik faaliyetleri, özellikle açık ocak işletmelerinde, doğal ve yapay kaya yapılarının stabilitesi açısından önemli mühendislik zorlukları ortaya çıkarır. Bu zorluklar, madencilik operasyonlarının güvenliği ve etkinliği için kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, bir bakır açık ocak madeninin doğu bölgesinde yer alan aşınmış şist malzemesinin geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesine odaklanmaktadır. Aşınmış şist malzemesi, maden sahasının stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğundan, bu bölgenin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Çalışma alanı altındaki kayanın ve kontak formasyonların doğru bir şekilde karakterize edilmesi, stabilite analizleri ve risk değerlendirmeleri için hayati önem taşır. Bu amaçla, yersel izleme radar (Ground Penetrating Radar, GPR) ve piyezometreler kullanılarak yapılan izlemeler, bölgenin fiziksel durumu hakkında değerli bilgiler sağlar. GPR teknolojisi, zeminin yapısal bütünlüğünü ve içindeki potansiyel boşlukları veya zayıf katmanları belirlemede etkili bir araçtır. Diğer yandan, piyezometreler, kaya içindeki su basıncının ve yer altı su



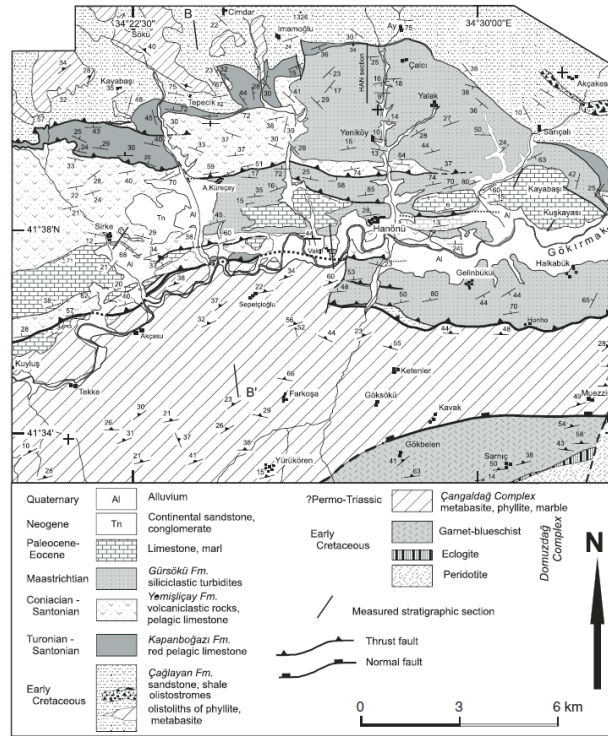
26-28 Eylül 2018  
İstanbul Üniversitesi, İstanbul

hareketlerinin izlenmesi için kullanılır, bu da suyun şev stabilitesi üzerindeki dönemsel etkilerini anlamada kritik bir faktördür.

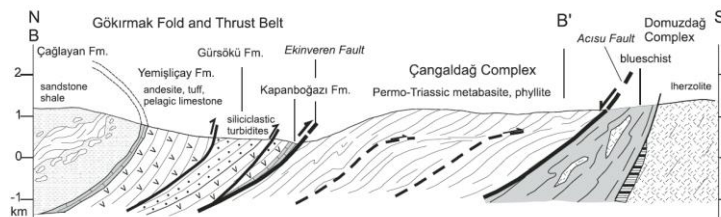
Bu çalışmanın bir diğer önemli bileşeni, yer altı su kaynaklarının yönetimidir. Pompa kuyuları aracılığı ile yapılan suyun susuzlaştırılması işlemi, şev stabilitesini doğrudan etkileyebilir. Su seviyesinin kontrol altına alınması, şevlere uygulanan basıncın azaltılmasına ve dolayısıyla maden sahasının genel stabilitesinin artırılmasına yardımcı olur. Bu süreçlerin tümü, madencilik faaliyetlerinin güvenliğini artırmak ve çevresel etkileri azaltmak etmek için büyük önem taşımaktadır. Bu makale, yukarıda belirtilen yöntemlerin ve tekniklerin, özellikle şev stabilize yönetiminde kaya dayanımını etkileyen parametrelerin aşınmış şist malzemesi üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır.

## 2. YER DEĞİŞTİRME BÖLGESİ

Çalışma alanı, Hanönü'nün güneybatısındaki Çangaldağ-Kompleksinin kuzey kanadında yer almaktadır (bkz. Şekil 1). Gökırmak vadisi, Ekinveren Fay Zonu adı verilen önemli bir yapının etkisi altındadır. Bölgede litolojik olarak metabazik, fillat, şist birimleri görülmektedir (Şekil 1-2).



Şekil 1. Gökırmak kıvrım ve bindirme fayı kuşağının jeolojik haritası (Okay vd., 2006). Kırmızı kesik çizgili kutu projenin yerini göstermektedir



Şekil 2. Gökırmak kıvrım ve bindirme fayı kuşağından kesit (B-B' Şekil 2) (Okay vd., 2006) Kırmızı kesik çizgili kutu proje alanının yerini göstermektedir

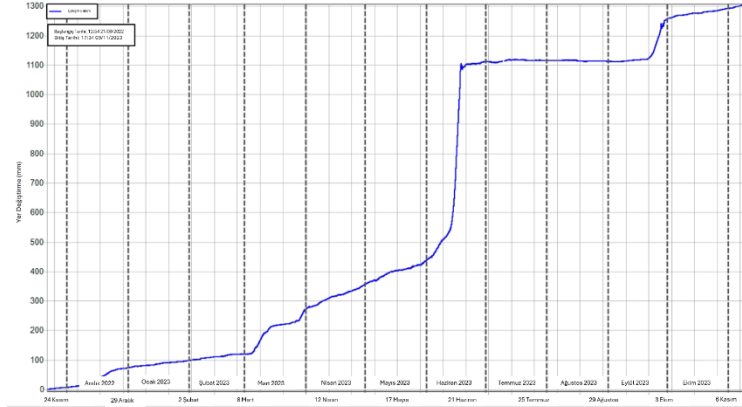
Yamaç madenciligi gerçekleştirilen Gökırmak açık ocak bakır madeninde yüzeye yakın olan bölgelerde birimler atmosferik etkilerden, yeraltı ve yer üstü sularından dolayı aşınmış durumdadır. Aşınarak mekanik ve fiziksel özelliklerini kaybeden litolojik birimler daha düşük dayanım özelliklerine sahip olmaktadır. Bu özellikteki litolojik birimler yeraltı suyunun basıncı etkisiyle yer değiştirme eğilimi göstermektedir. Çalışmaya konu olan bölgede aşınmış şist birimi, yapılan jeoteknik çalışmalarla kaya kütle sınıflandırması (RMR; Rock Mass Rating) değeri ortalama 32 olarak ortaya konmuştur. Mineral içeriği olarak klorit, epidot, muskovit, kuvars, kalsit, eser miktarda pirit, kalkopirit görölmektedir. Açık ocak bölgesinde yoğun olarak rastlanan siyah şist olarak isimlendirilen litolojik birim ile kontak ilişkisi kurmaktadır. Siyah şist biriminde şirket bünyesinde yapılan çalışmalarda, muskovit, kalsit, kuvars, eser miktarda klorit, epidot gibi minerallere rastlanmıştır. Yine şirket bünyesinde yapılan çalışmalar neticesinde siyah şist litolojik biriminin kaya kütle sınıflandırılması değeri 33-42 arasında değişmektedir. Yarı-geçirgen bir birim olan siyah şist, suyu bünyesinde tutmaktadır. Yer altı suyu bölgede kontak zonlarından yüzeye çıkmaktadır (Şekil 3).



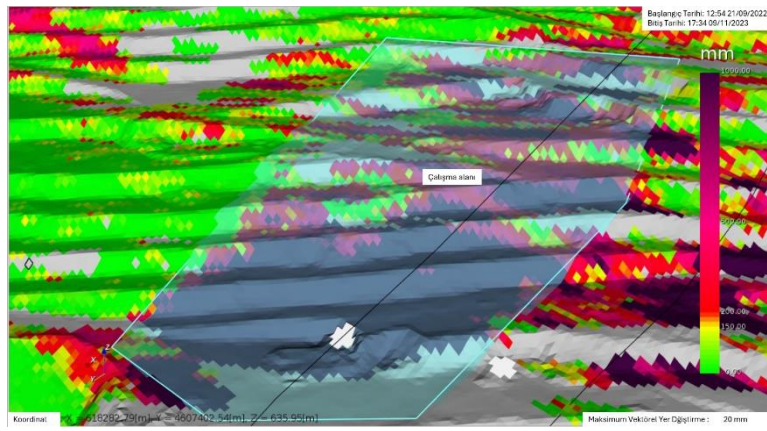
Şekil 3. Çalışmaya konu olan yer değiştirme bölgesi

Belirlenen alanda Kasım 2022 ve Kasım 2023 zaman dilimleri arasında yer değiştirme izlemeleri yersel izleme yöntemi olan GeoRadar ile ortaya koyulmuştur. Bölgedeki yer değiştirme hareketi, mevsimsel yağışların artması, dönemsel su basıncının artması, kontak yapılarının bulunması, birimlerin kırıklı-çatlaklı olması, litolojinin aşınmış olmasından dolayı mekanik- fiziksel dayanım özelliklerini gösterememesi gibi nedenler değerlendirilmiştir. Kasım 2022- Kasım 2023 zaman aralığında çalışma alanında toplam yer değiştirme miktarı 1300 mm olarak görölmektedir ve sürekli olarak deforme olmaya devam etmiştir (Şekil 4). Buna ek olarak hız grafiği ile Haziran 2023 tarihinde deformasyonun yaşandığı tespit edilmiştir. Çalışma alanının aşınmış şist malzemesinin zamana bağlı yer değiştirme çıktıları Şekil 4, 5 ve 6'da mevcuttur.

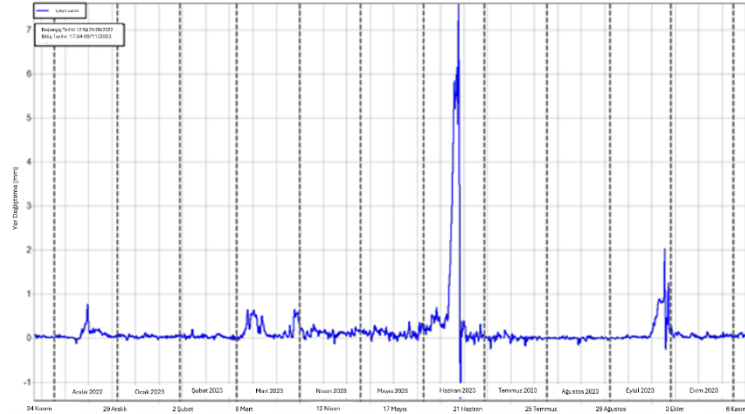




Şekil 4. Çalışma alanının zamana bağlı yer değiştirme grafiği



Şekil 5. Çalışma alanının önceki deformasyon görüntüsü



Şekil 6. Çalışma alanının zamana bağlı deformasyon hız grafiği

Belirlenen çalışma alanında Kasım 2022 tarihinde başlayan deformasyon sonrasında Kasım 2023'e kadar ki süreçte Açık Ocak Doğu Fazının kazısı gerçekleştirilmiş olup, duraylılık için gereken parametreler değiştirilmeden aynı özelliklerle uygulanmıştır. Basamak parametreleri; basamak açısı 55°, basamak yüksekliği 10 m, basamak genişliği 10 m olacak şekilde kazı işlemi gerçekleştirilmiştir. Kazıdan sonraki süreçte çalışma bölgesinde oluşabilecek deformasyonu önlemek için hidrojeolojik çalışmalara başlanmıştır.



### 3. HİDROJEOLojİK ÇALIşMALAR

Çalışma alanı Kasım 2022 - Kasım 2023 tarihleri arasında kazıldıktan sonra bölgenin susuzlaştırma / basınçsızlaştırılması amaçlı hidrojeolojik çalışmalarına başlanmıştır. Bölgenin yeraltı su seviyesi ve güncel yeraltı su seviyeleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 1. Çalışma Bölgesindeki Açılan Hidrojeolojik Kuyularının Genel Bilgileri

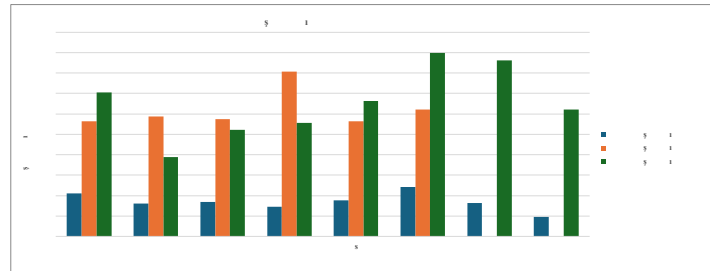
NO	Kuyu Adı	Derinlik (m)	YASS (m)	Debi (l/s)	Bitiş Tarihi	Tür
1	VP-711	199	134.00		23-Mar-2024	Gözlem Kuyusu
2	VWP-750	300			28-Ara-2023	Piyezometre Kuyusu
3	VP-755	200	41.00	1.00	20-Ağu-2023	Pompa Kuyusu
4	VP-756	150	33.00	1.00	29-Eyl-2023	Pompa Kuyusu
5	VP-757	150	39.00	5.00	2-Eki-2023	Pompa Kuyusu
6	VP-758	138	44.00	1.00	4-Eki-2023	Pompa Kuyusu

Yer değiştirme hareketinin ardından bölgedeki boşluk suyu basıncını azaltmak için deşarj kuyuları oluşturulmuştur. Bölgede 3 adet pompa kuyusu inşası tamamlanmıştır. Yeraltı suyu seviyelerini tespit etmek amacıyla 2 adet gözlem kuyusu inşası tamamlanmıştır. Boşluk suyu basıncı değişimlerini tespit etmek amacıyla 1 adet piyezometre kuyusu inşası tamamlanmıştır. şekil 7'de çalışma alanının haritası yer almaktadır.



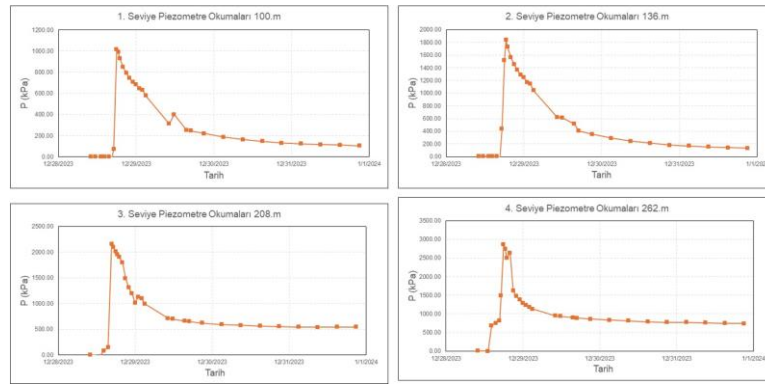
şekil 7. Çalışma alanının yakından görünümü

Yapılan kuyular aktif olarak çalışmaktadır ve bölgedeki yeraltı suyunu, yüzey yağmur sularını deşarj ederek çalışma alanında susuzlaştırma / basınçsızlaştırma operasyonunu gerçekleştirmektedirler. Bahsi geçen kuyuların açıldıklarından itibaren deşarj ettikleri yeraltı su miktarları aşağıdaki grafikte mevcuttur (şekil 8).



Şekil 8. Belirlenen alandaki pompa kuyularının deşarj miktarları

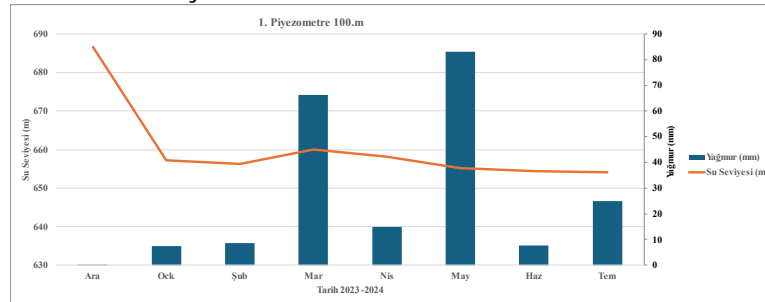
Çalışma bölgesindeki Açık Ocak'ta 750 Doğu kotunda VWP-750 piyezometre kuyusunun delgisi tamamlanmıştır ve 28 Aralık 2023 tarihi itibarıyla ölçüm almaya başlamıştır. VWP-750 piyezometre kuyusuna 100.m, 136.m, 208.m ve 262.m olmak üzere 4 adet piyezometre yerleştirilmiştir (Şekil 9). Piyezometre yerleştirilmesinde ful enjeksiyon yöntemi kullanılarak, her birimin geçirimliliğine göre ayrı ayrı kademelerde hem yukarıdan hem aşağından olacak şekilde enjeksiyon işlemi başarılı bir şekilde yapılmıştır. Piyezometre kuyusu yeni LoM'a (Maden ömrü 'ne) göre kazılmayacak alan içerisinde kalmaktadır. Piyezometre kuyusunun amacı: çalışma alanının heyelan bölgesindeki boşluk suyu basıncı, statik ve dinamik su seviyelerini takip etmektedir.



Şekil 9. VWP-750 piyezometre kuyusundaki piyezometrenin montaj grafikleri

VWP-750 piyezometre kuyusuna monte edilen piyezometrelerin montajı ful enjeksiyon metoduyla yapılmış olup montaj sonrası enjeksiyon esnasındaki basınç yükselmeleri Şekil-8'da görülmektedir. Montaj sonrası geçtiğimiz 7 aylık ölçüm sonuçlar ve etrafındaki gözlem, pompa kuyularının verileriyle karşılaştırılması Şekil 10, 11, 12 ve 13'te yer almaktadır.

VWP-750 piyezometre kuyusunun 1. piyezometresi 100.m'de montajı yapılmış olup, kuyusun ilk açıldığında statik su seviyesi 60.m'dedir. 100.m'deki piyezometre üzerindeki 40m'lik su kolonunu görmektedir. Montaj sonrasındaki su seviyesi 690 kotundan başlayarak 660-650 kotlarına indirildiği görülmektedir (Şekil 10). Bu 40m'lik yeraltı su seviyesinin aşağıya inmesi civarındaki pompa kuyularının çalıştırılmasından kaynaklıdır.

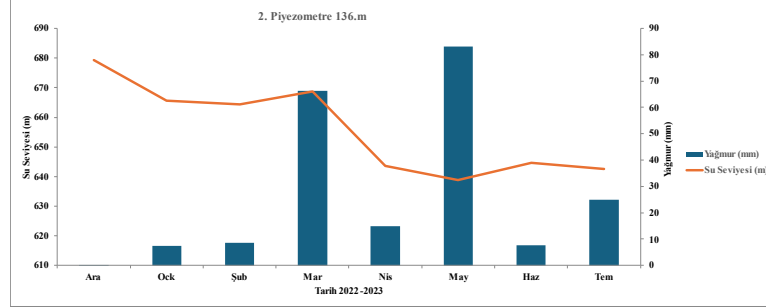


Şekil 10. VWP-750 piyezometre kuyusunun 100.m'deki piyezometre verileri

VWP-750 piyezometre kuyusunun 2. piyezometresi 136.m'de montajı yapılmış olup, kuyusun ilk açıldığında statik su seviyesi 60.m'dedir. 136.m'deki piyezometre üzerindeki 80m'lik su kolonunu görmektedir. Montaj sonrasındaki su seviyesi 680 kotundan başlayarak önce 670-660 kotlarına daha sonra da 650-640 kotlarına indirildiği görülmektedir (Şekil 11).

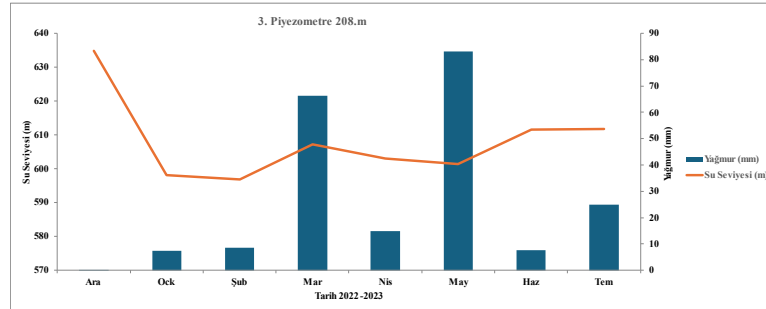


Mart ayında artan yağmurdan kaynaklı su seviyesi yükselmiştir ve susuzlaştırma kuyularının çalışması sonrası su seviyesi 640-630 kotlarına kadar indirilmiştir. Bu 50m'lik yeraltı su seviyesinin aşağıya inmesi civarındaki pompa kuyularının çalıştırılmasından kaynaklıdır.



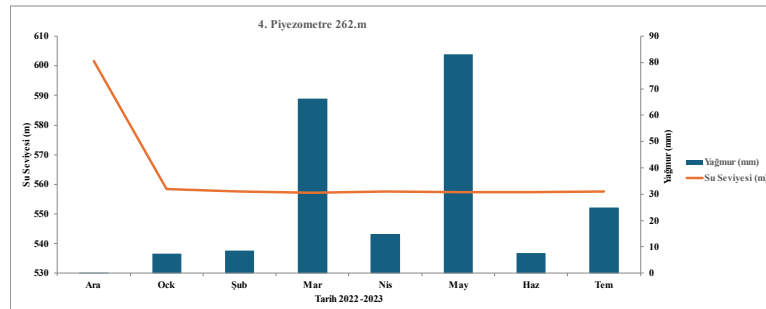
Şekil 11. VWP-750 piyezometre kuyusunun 136.m'deki piyezometre verileri

VWP-750 piyezometre kuyusunun 3.piyezometresi 208.m'de montajı yapılmış olup, kuyusun ilk açıldığındaki statik su seviyesi 60.m'dedir. 208.m'deki piyezometre üzerindeki 140m'lik su kolonunu görmektedir. Montaj sonrasındaki su seviyesi 640 kotundan başlayarak 600-590 kotlarına indirildiği görülmektedir (Şekil 12). Mart ayında artan yağmurdan kaynaklı su seviyesi yükselmiştir. Bu 50 m'lik yeraltı su seviyesinin aşağıya inmesi civarındaki pompa kuyularının çalıştırılmasından kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.



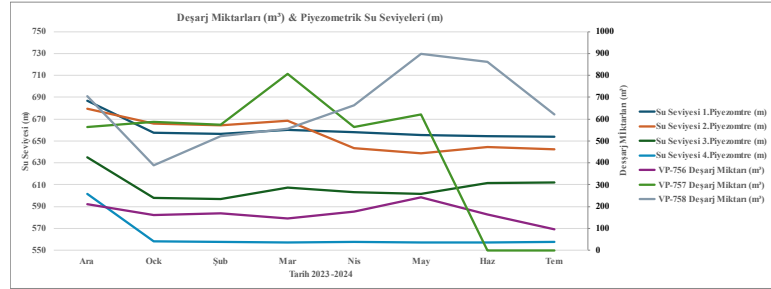
Şekil 12. VWP-750 piyezometre kuyusunun 208.m'deki piyezometre verileri

VWP-750 piyezometre kuyusunun 4.piyezometresi 262.m'de montajı yapılmış olup, kuyusun ilk açıldığındaki statik su seviyesi 60.m'dedir. 262.m'deki piyezometre üzerindeki 130m'lik su kolonunu görmektedir. Montaj sonrasındaki su seviyesi 610 kotundan başlayarak 560-550 kotlarına indirildiği görülmektedir (Şekil 13). Bu 50m'lik yeraltı su seviyesinin aşağıya inmesi civarındaki pompa kuyularının çalıştırılmasından kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.





Şekil 13. VWP-750 piyezometre kuyusunun 262.m'deki piyezometre verileri VWP-750 piyezometre kuyusunun 4 piyezometresi ve civarındaki pompa kuyularının deşarj miktarlarının karşılaştırılması Şekil 14'te gösterilmektedir. Tüm piyezometreler 690-550 kotları arasında kalarak bölgesinin boşluk su basıncı ve yeraltı su seviyesi, şev stabilitesi için optimum haldedir. Bu bölgede piyezometrik seviyelerin optimum seviyesinde durması civarındaki pompa kuyularının çalıştırılmasından kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

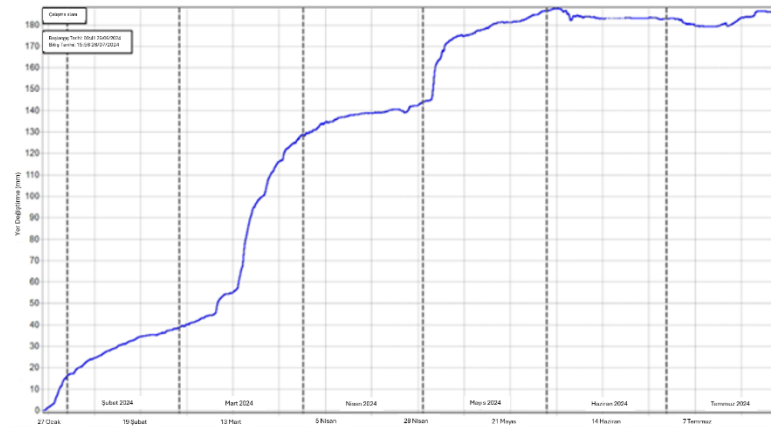


Şekil 14. Çalışma alanındaki piyezometre ve pompa kuyularının karşılaştırılması

#### 4. SONUÇLAR

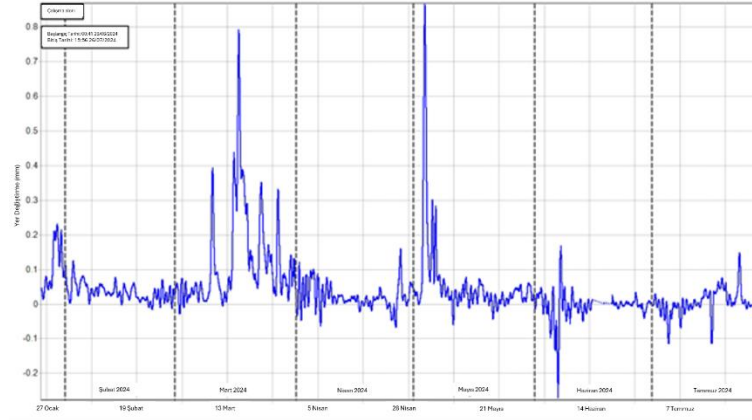
Bu çalışmada problemleri görülen alanda GeoRadar ile deformasyon tespiti yapılmış ve operasyonel faaliyetlerini gerekli kaya mekaniği parametreleri ile temiz yüzey oluşturulmuş, basınçsızlaştırma kuyuları açılmıştır. Bu kuyulardaki verileri takip etmek amaçlı piyezometre kuyusu ile desteklenmiştir.

Kazı işlemleri tamamlanır iken eş zamanlı yapılan açılan VP-756, VP-757 ve VP-758 kuyuları açılmış olup kazı tamamlandıktan sonra deformasyonların azaldığı ve Mayıs 2024 ayından itibaren sabitlendiği görülmektedir (Şekil 15 ve 16).



Şekil 15. Çalışma alanının zamana bağlı deformasyon hız grafiği





Şekil 16. Çalışma alanının zamana bağlı deformasyon hız grafiği

## TEŐEKKÜR (14 PUNTO, KOYU)

*Acacia Maden İşletmeleri, Labris ve SA-FA Sondaj Ekibine desteklerinden dolayı teőkekkür ederiz.*

## KAYNAKLAR

- Okay, A. I.; Tuysuz, O.; Satir, M.; Ozkan-Altiner, S.; Altiner, D.; Sherlock, S. and Eren, R. H. (2006). Cretaceous and Triassic subduction-accretion, high-pressure-low-temperature metamorphism, and continental growth in the Central Pontides, Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 118(9-10) pp. 1247–1269
- International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering (Slope07) (2007). In Y. Potvin (Ed.), *Proceedings of the Slope07*, 12–14 September 2007, Perth, Australia. Australian Centre for Geomechanics, Perth.
- Mercer, K.G. (2006). Investigation into the time dependent deformation behaviour and failure mechanisms of unsupported rock slopes based on the interpretation of observed deformation behaviour (Doctoral thesis, University of the Witwatersrand, Johannesburg).
- Sullivan, T.D. (1993). Understanding pit slope movements. In T. Szwedzicki (Ed.), *Geotechnical instrumentation and monitoring in open pit and underground mining* (pp. xx-xx). Balkema. ISBN 90-5410-321-3.
- Sullivan, T.D. (2007). Hydromechanical coupling and pit slope movements. In Proc. Keynote Lecture.
- Zavodni, Z.M. (2001). Time-Dependent Movements of Open-Pit Slopes. In *SME Proceedings*, Denver, Colorado.

