

Balya Kurşun-Çinko Madeninde Başyukarı Delme Makinesinin (BDM) Performans Değerlendirmesi

Performance Evaluation of Raise Boring Machine (RBM) in Balya Lead-Zinc Mine

T. Erdoğan

Sargın İnşaat ve Makine Sanayi Ticaret A.Ş., Ankara

E. Doğan

Eczacıbaşı Esan, Balıkesir

A. Shaterpour-Mamaghani

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

H. Çopur

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Geçmişte dikey ya da eğimli kuyular, delme-patlatma yoluyla ya da insan gücüyle açılırken, günümüzde, gelişen ve yenilenen madencilik ve tünelticilik sektöründe bu iş için geliştirilmiş özel amaçlı makineler kullanılmaktadır. Başyukarı Delme Makinesi (BDM) bu makinelerden biridir. Türkiye’de bu makineler son dönemde, iş güvenliğini ön planda tutan ve gelişmiş tekniklere yatkın, bir kısım maden ve inşaat işletmelerinde, havalandırma ve diğer amaçlı kuyuları açmak için kullanılmaya başlamıştır. Bu maden işletmelerden birisi de Balıkesir’in Balya ilçesinde bulunan Kurşun – Çinko madenidir. Bu madende 2013 yılından günümüze kadar BDM ile 5 adet havalandırma kuyuları açılmıştır. Bu bildiriye, 2 kuyunun açması için kullanılan BDM’nin performansı (günlük ilerleme, itme/çekme kuvvetleri, kesici kafanın tork ve dönme hızları vd.) özetlenmiştir ve makinenin performansında etkili olan parametreleri üç farklı kategoride (mekaniksel, jeolojik/jeoteknik ve işletmeyle ilgili parametreler) değerlendirilmiştir. Açılan kuyuların kılavuz delgi çapı 0.311 metre ve genişletme çapları 2.44 metredir. Kuyuların uzunlukları (derinlikleri) ise yaklaşık 200 metredir.

ABSTRACT In the past, the vertical or inclined shafts were excavated by drilling-blasting methods or human power. However, nowadays special-purpose machines developed for this work are being used in the developing and renewing mining and tunneling sector. Raise Boring Machine (RBM) is one these machines. In recent years in Turkey, these machines due to safety and fast operation and advanced techniques have been used to excavation of ventilation or other purposes shafts in some mining and construction projects. Balya lead-zinc underground mine is one these projects that located in the Balya district of Balıkesir. In this mine, since 2013 to today's 5 ventilation shafts were excavated with RBM. In this study, the performance (daily advance, pushing/pulling force, consumed reamerhead torque and rotational speed, etc.) of two shafts are summarized and the parameters that are effective in machine performance are evaluated in three different categories (mechanical, geological/geotechnical and operational parameters). The pilot drilling and reaming diameters of these shafts are 0.311 and 2.44 m, respectively. The lengths (depths) of the shafts are about 200 meters.

1 GİRİŞ

Günümüzde mekanik kazı, madencilik ve tünel endüstrisinde konvansiyonel delme ve patlama yöntemine güçlü bir alternatif olarak önemli bir rol oynamaktadır. Hızlı gelişmeler ile birçok mekanik kazı makineleri, farklı madencilik ve inşaat projelerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Mekanize kazı makinelerinin tasarımı, seçimi, performans tahmini ve optimizasyonu, madencilik ve tünel projelerinin fizibilite ve planlama aşamalarında, önemli konulardandır.

Başyukarı Delme Makineleri (BDM) bu mekanize kazı makinelerden biri olarak hızlı, güvenli ve verimli delme / kazma makineleri olarak farklı madencilik ve tünel projelerinde özellikle dikey veya eğimli kuyu ve galeri açmak için kullanılmaktadır. Klasik başyukarı delme yönteminde, kuyunun hem üst hem de alt konumlarına erişim, bir ön şarttır. BDM, bir yeraltı delme işine, 254 mm (Std rod) ve 311 mm (stabilizer) çaplı rodlarla aşağı doğru şekilde delerek başlamaktadır. Bu deliğe kılavuz (pilot) delgi denilmektedir. Kılavuz delik açıldıktan sonra, pilot matkap ucu çıkarılır ve büyük çaplı bir genişletici ile değiştirilir. Genişletici kafa daha sonra üst seviyeye geri çekilerek dairesel bir şekil oluşturur. Bu yöntem ile açılan kuyularda, genel olarak, genişletme işi bittikten sonra, oluşan kazı yüzeyi tahkimat yapmak için uygun bir şekilde tamamlanmaktadır. Kılavuz delgi işleminde çıkan pasalar, kuyunun dibinden, basınçlı suyun fişkırtma (flushing) etkisi ile temizlenmektedir. Bununla birlikte, genişletme aşamasında ise, kazılan malzeme, yer çekimi ile açılan kuyunun tabanına düşer ve oradan geleneksel yöntemlerle, yükleyici kullanılarak, taşınır. Güvenlik açısından pasana nakli BDM çalışmadığı anlarda yapılır.

Başyukarı delme işleri saha hazırlığı ile başlar. Makinenin konulacağı yer (temel) makine ve diğer ünitelerin boyutlarına göre betonlanır. Sonra BDM kaya civatalarıyla, betonlanmış temele sabitlenir. Güç ve hidrolik ünitelerin sahaya taşınmasından sonra, BDM kılavuz delik delme için hazırlanmış duruma getirilir. Bu aşamada, su ihtiyacını karşılamak için, ihtiyacı

karşılacak kapasitede su tankı ve geri dönüş suyu için çökeltme havuzu hazırlanır. Besleme tankından pompayla alınarak makinenin delici rodları içinden geçen su, kuyu dibini temizleyerek daha verimli delme işi yapılmasında yardımcı olur. Çökeltme havuzunun büyüklüğü esas olarak delik boyutuna ve çıkan malzemenin yoğunluğuna bağlıdır. Kılavuz delmede, dengeleyici (stabilizer) tijler matkap ucunu desteklemek, salınım ve eğilme gerilmelerini azaltmak için kullanılır. Kılavuz delgisinde, makinenin doğru konumda olması, kuyu dibindeki malzemenin dışarı çıkartılmasında çok önemlidir. Başyukarı delme yöntemi, düz kontrollü delikler elde etmek için genellikle en doğru yöntemlerden biridir. Genişletme (raybalama - tarama) işi düşük bir dönme hızı ve baskı ile kuyu ağzının (collaring) bitmesine kadar, başlar (Lislerud ve Vainionpää 1997). Başyukarı delme yönteminin genişletme aşamasında operatör, kademeli olarak dönme hızını, uygulanan torku ve net çekme kuvvetini sabit değerler elde edilinceye kadar artırır ve son tijlerde kademeli olarak BDM operasyonel parametrelerini azaltır ve bu sayede kuyunun ani çökmesinin önüne geçer (Shaterpour-Mamaghani ve Bilgin 2016).

Sürekli çalışma, başyukarı delme yönteminde diğer yöntemlere göre daha hızlı bir ilerleme yapmasını sağlar. BDM'ler, temel olarak masif yapıya sahip sert ve yumuşak kayalarda uygundur. Farklı açı ve çaplardaki esneklik, delme ve patlatma yöntemine kıyasla büyük bir avantajdır. BDM, genellikle kaplama gerektirmeyen düz, örselenmemiş duvarlara sahip bir açıklık oluşturur. BDM ile Açılan kuyu, delme ve patlatma yöntemi ile açılan bir kuyudan daha kararlı ve pürüzsüzdür ve bu sayede daha iyi bir hava akışına sahiptir, bu da havalandırma amaçlı kuyular için idealdir. Bu yöntem, konvansiyonel delme ve patlatma yöntemine göre birçok avantajı nedeniyle, yeni uygulamalar bulmaya devam etmektedir. Fakat jeolojik süreksizliklerin baskın olduğu jeolojik oluşumlarda birçok sorunla karşılaşmaktadır. Bu gibi durumlarda, kuyu ömrünü uzatmak amaçlı olarak kuyu duvarlarını desteklemek veya zemini

iyileştirmek için yapılması gerekli olan çalışmalara bağlı olarak kuyu açma süresi uzayabilir. Visser (2009), birçok jeolojik süreksizliğe sahip kaya oluşumlarının, kuyu delme işleminin sona ermesini uzatan risk faktörleri olduğunu belirtmiştir. Bu gibi durumlarda, derin ve / veya büyük çaplı kuyularda McCracken ve Stacey (1989) tarafından önerilen yönteme göre ayrıntılı bir jeoteknik değerlendirme veya kayaç kalitesi değerlendirmesinin kullanılması önerilmiştir (Peck ve Lee 2008). Ayrıca, bazı durumlarda montaj ve de-montaj süresi uzun olabilir.

BDM'lerin ilk tij tasarımı 1962 yılında, Amerikan Robbins firması tarafından yapıldı. O tarihten günümüze bu makineler özellikle madencilik alanında çoğu projede kullanılmıştır. Yazarların bilgisine göre, Türkiye'de 1996-98 yıllarında, bu tip makineler ilk olarak Çayeli Eti Bakır yeraltı madeninde 2 adet 3.4 metre çapında ve 140 metre uzunluğunda 70 derece açı ile havalandırma kuyusu açmak için kullanılmıştır. Ayrıca 2 adet 2.4 metre çapında, 100 ve 80 metre uzunluğunda dolgu kuyusu açılmıştır (Kazım Küçükateş, kişisel görüşme). Sonra bu makineler havalandırma kuyuları açmak için Esan Eczacıbaşı Balya kurşun-çinko yeraltı madeni ve Eti Bakır Aşıköy yeraltı madeni kullanılmıştır / kullanılmaktadır. Ayrıca bu makine ile Yusufeli HES ve Ambarlık HES projelerinde enerji ve kapak kuyusu açmak için Sargın İnşaat tarafından kullanılmıştır. Bu makinelerin, sağladıkları avantajlar nedeni ile Türkiye'de yakın bir zaman içerisinde özellikle metal madenlerinde ve tünel-inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılacakları düşünülmektedir.

Bu makinelerin çoğu madencilik ve tünel projelerinde kullanılmasına rağmen, özellikle performans tahminlerine ve optimizasyonuna yönelik çok kısıtlı çalışmalara rastlanmaktadır. BDM'lerin kazı performansları esas olarak kayaçların jeolojik özelliklerine, makinenin özelliklerine ve tasarımına, kesici kafaya uygulanan kuvvet ve dönme hızı gibi operasyonel parametrelere bağlıdır. Literatürde bu makinelerinin performans tahmini ile ilgili az sayıda çalışma vardır

yayınlanmıştır. Morris (1969) yarı deneysel bir metotla kesici tüketimi ve kazı oranı tahmini için bir yöntem geliştirmiştir. Onun yönteminde, diğer faktörlerle birlikte, uç penetrasyon indeksi de makinenin performans tahmini için kullanılmıştır. Morris'in önerdiği bu modelleri Lightfoot (1970) bir 480 model olan BDM'de uygulamış ve iyi sonuçlar aldığını belirtmiştir. Seiler (1972) hidrolik olarak bir sphero-konik tungsten karbür ucu düz bir kaya yüzeyine bastırılarak kazılabilirlik indeksini geliştirdi. Calder (1972) delme çalışmalarından kazı oranını tahmin etmek için deneysel modeli önerdi. Onun çalışmasında, kazı oranı kayanın tek eksenli basınç dayanımı, itme kuvveti ve kuyunun çapıyla ilgilidir. Piggott (1985), yumuşak ve orta dayanımlı formasyonlarda kuyuların daha hızlı ve ucuz delinmesi için bazı öneriler belirtmiştir. Nishimatsu ve diğ. (1987), teorik kavramlar kullanarak kör kuyu açmak için kullanılan delme makinesinin, delme verimi arttırmak için çalışmışlardır. Dollinger (1977), BDM'lerde optimum performans elde etmek için makinenin ilerleme hızın ve keski tüketiminin dengelenmesi gerektiğini belirtmiştir. Bilgin (1989), Dollinger ve diğ. (1998) ve Bilgin ve diğ. (2014), uç batırma deneyinden elde edilen penetrasyon indeksinin BDM performansını tahmin etmek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Elgenklow (2003), Robbins 34RH ve 53RH'nin modelleri BDM'lerin Şili'deki El Teniente madeninde performanslarını araştırmıştır. Bu çalışmada, makineden faydalanma oranı sırasıyla % 29.8 ve % 40.3 elde edilmiştir. Ayrıca Everell (1972) söylediği gibi başyukarı delme projelerinde verilen veriler yetersiz olduğundan dolayı, kaya özellikleri ile BDM performans parametrelerinin ilişkilendirmek için yapılan girişimler anlamsızdı. Ancak, ülkemize bu makineler döviz alımı yoluyla geldiği için, projelerin fizibilite çalışmaları için performans tahmini vazgeçilmezdir. Son yıllarda, Türkiye'de bu makinelerin performansıyla ilgili Shaterpour-Mamaghani ve arkadaşları bir sıra çalışmalar yürütmektedirler. Bu çalışmalarda, farklı

maden ve tünel projelerinde, bu makinelerin sahadaki operasyonel-performans parametreleri toplayarak, laboratuvarında sahadan elde edilen kaya numuneler üzerinde yapılan fiziksel-mekanik deneyleri arasında anlamlı ilişkileri ortaya çıkarmaya çalışmaktalar (Shaterpour-Mamaghani ve Bilgin 2016; Shaterpour-Mamaghani ve diğ. 2016a,b; Shaterpour-Mamaghani ve diğ. 2017).

Türkiye’de bu makineler son dönemde, iş güvenliğini ön planda tutan ve gelişmiş tekniklere yatkın, bir kısım maden ve inşaat işletmelerinde, havalandırma ve diğer amaçlı kuyuları açmak için kullanılmaya başlamıştır. Bu maden işletmelerden birisi de Balıkesir’in Balya ilçesinde bulunan Kurşun – Çinko madenidir. Bu madende 2013 yılından günümüze kadar BDM ile 5 adet havalandırma kuyuları açılmıştır; ilerleyen dönemlerde de açılması planlanmaktadır. Bu bildiriye, 2 kuyunun açması için kullanılan BDM’nin performansı (günlük ilerleme, itme/çekme kuvvetleri, kesici kafanın tork ve dönme hızları vd.) özetlenmiştir ve makinenin performansında etkili olan parametreleri üç farklı kategoride (mekaniksel, jeolojik/jeoteknik ve işletmeyle ilgili parametreler) değerlendirilmiştir. Açılan kuyuların kılavuz delgi çapı 0.311 metre ve genişletme çapları 2.44 metredir. Kuyuların uzunlukları (derinlikleri) sırasıyla 198.44 ve 195.80 metredir.

2 PROJENİN TANIMI

2.1 Balya Kurşun-Çinko Yeraltı Maden ve Kuyu Projelerine Genel Bakış

Balya yeraltı kurşun-çinko madeni Balıkesir ilinde bulunmaktadır (şekil 1). Eczacıbaşı Esan grubu 2007 yılından beri Balya madenini işletmektedir. Cevher çıkarması arakatlı kazı yöntemi ile yapılmaktadır. Madenin ana galerisi olarak % 14,5 eğimli bir rampa, cevher üretim aynasından ana galeriye ulaşım mesafesini en aza indirmek için kullanılmaktadır. Cevher yatağı genellikle kireçtaşı-dasit ve kireçtaşının çatlakları arasında oluşmuştur. Yeraltı maden ana galerisi, at nalı şeklinde 6500 m

uzunluğunda, 5 m yüksekliğinde ve 5 m genişliğindedir (Güncellenmelidir. Toplam galeri kazısı da açıklamaya eklenebilir). Paleozoik ve Trias kayaçları, yeniden kristalleşmiş kireçtaşı, meta kumtaşı, meta-killi kumtaşı ve kloritik killi silttaşı ile karakterizedir (Çiftçi ve diğ. 2013).



Şekil 1. Balya kurşun-çinko madeninin yer bulduru.

Balya kurşun-çinko madeninin yönetimi, 2013 yılında havalandırma kuyularının açılması için BDM kullanılmasına karar verdi. Bu kararın ana nedenleri, BDM ile sağlanacak olan uygun maliyetli, güvenli ve verimli kuyu açma operasyonuydu. Aynı yıl, 197.10 m uzunluğundaki ilk kuyu 38 günde BDM ile açıldı (kılavuz delgi 16 günde ve raybalama 22 günde tamamlanmıştır). Bu başarılı operasyondan sonra, maden yönetimi, diğer havalandırma kuyularının açılması için BDM'nin kullanımına devam etmeye karar verdi.

2.2 BDM Özellikleri

Bu madende havalandırma kuyularının açılması için Sandvik Rhino 1088 DC model BDM kullanılmıştır. Bu makinenin özellikleri Çizelge 1’de özetlenmiştir. Ayrıca Şekil 2’de BDM, kılavuz delgide kullanılan matkap ve raybalama kafası gösterilmektedir.

Çizelge 1. Kullanılan BDM’nin ana özellikleri

Parametreler	Değerler
Kazı uzunluğu	610 m

Kazı çapı	0.66-2.44 m
İtme kuvveti	4000 kN
Kılavuz torku	300 kNm
Raybalama torku	160 kNm
Kılavuz delgi dönme hızı	0-60 rpm
Raybalama dönme hızı	0-21 rpm
Güç	400 kVA
Ağırlık (taşıyıcı hariç)	16,500 kg



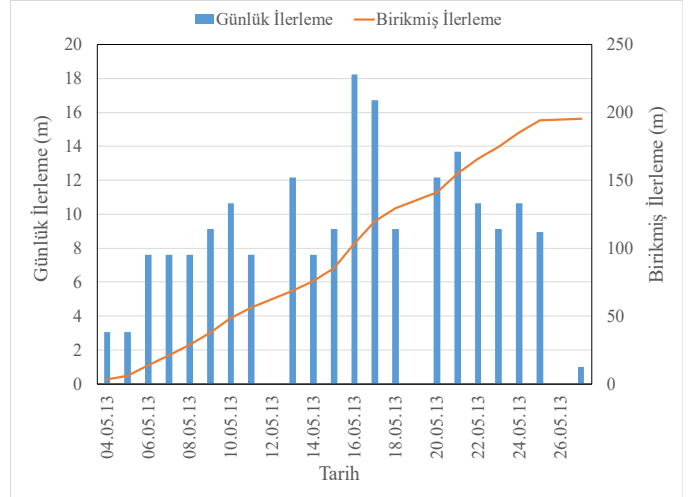
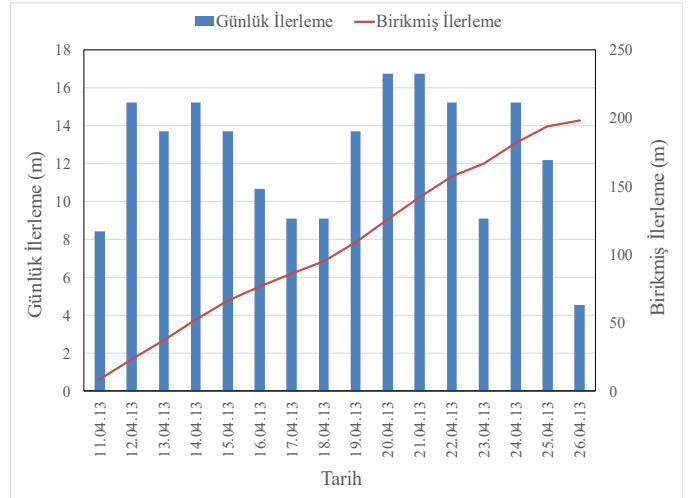
Şekil 2. a) BDM, b) kılavuz delgi matkabı, c) raybalama kafası.

3 SAHA VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

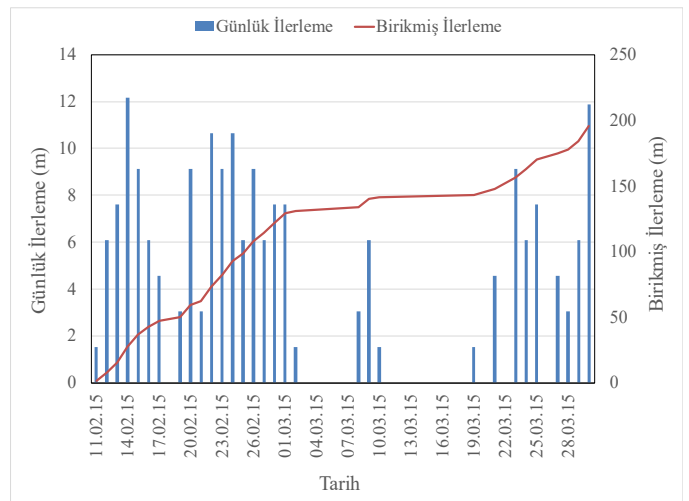
Bu çalışma kapsamında, açılan iki kuyunun kılavuz delgi ve raybalama operasyonları incelenmiştir. Birinci kuyunun kılavuz delgisi 11 Nisan 2013 tarihinde başlamış ve 26 Nisan 2013 tarihinde bitmiştir (toplam 16 iş günü). Ayrıca bu kuyunun raybalama işlemi aynı yıl 5 Mayıs'ta başlamış ve 27 Mayıs tarihinde bitmiştir (toplam 21 iş günü). Bu kuyunun toplam uzunluğu 198.44 metredir. Kılavuz delgi çapı 0.311 m ve genişletme çapı da 2.44 metredir. Şekil 3'te bu kuyun kılavuz delgi ve raybalama işlemindeki günlük ve birikmiş günlük ilerlemeler gösterilmiştir.

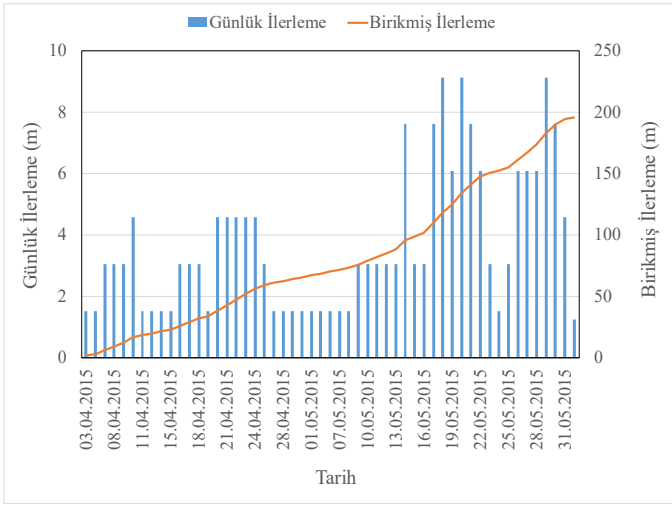
İncelenen ikinci kuyunun kılavuz delgisi 11 Şubat 2015 tarihinde başlamış ve toplam 31 iş günü sonrasında, 30 Mart 2015 tarihinde bitmiştir. Sonra raybalama işlemi 3 Nisan 2015'de başlamış ve 1 Haziran 2015'de bitmiştir (toplam 53 iş günü). Bu kuyunun toplam uzunluğu 195.80 metredir.

Kılavuz delgi çapı 0.311 m ve genişletme çapı da 2.44 metredir. Şekil 4'te bu kuyun kılavuz delgi ve raybalama işlemindeki günlük ve birikmiş günlük ilerlemeler gözükmektedir.



Şekil 3. Birinci kuyu günlük ve birikmiş ilerleme gösterimi (üst: kılavuz delgi, alt: raybalama).





Şekil 4. İkinci kuyu günlük ve birikmiş ilerleme gösterimi (üst: kılavuz delgi, alt: raybalama).

Saha incelemesi sırasında elde edilen sağlam kaya örneklerini karakterize etmek için bir dizin laboratuvar deneyi yapılmıştır. Bu kayaç örnekleri, kuyuların açıldığı yere en yakın olan sondajlardan alınmıştır. Laboratuvarda tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, elastisite modülü ve Poisson oranı deneyleri Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği tarafından önerilen yöntemlere göre yapılmıştır (ISRM 2007).

Bu kuyuların delme/kazı işlemi genel olarak kireçtaşı, dasit, andezit ve metasedimanter kayaçlarda yapılmıştır. Deney sonuçlarına bakıldığında bu kayaçların tek eksenli basınç dayanımları 50-120 MPa arasında değişiklik göstermiştir. Ayrıca dolaylı çekme dayanımları da 5-11 MPa arasında değişmiştir. Statik elastisite değerleri ise 11-31 GPa; statik Poisson oranları da 0.11-0.23 arasında değişmiştir.

4 BDM PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bu bildiriye incelenen her iki kuyu dik şekilde açılmıştır (eğilim 90°). Her iki kuyu projesinde 1 operatör, 1 operatör yardımcısı ve 2 işçi çalışmıştır. Ayrıca her gün 1 vardiya, 12 saat ve haftada 6 gün çalışılmıştır. BDM'nin ortalama ölçülen (delme/kazı zamanı, dönme hızı, tüketilen tricone bit torku ve itme/çekme kuvveti) ve tahmin edilen performans parametreleri (anlık penetrasyon oranı, birim penetrasyonu,

net kesme hızı, tüketilen tricone bit gücü ve saha spesifik enerjisi) her iki kuyunun kılavuz delgi ve raybalama işlemleri için Çizelge 2 ve 3'de özetlenmiştir. Kullanılan tijlerin uzunluğu ise 1.524 metredir (dengeleyici uzunluğu 1.44 m).

Çizelge 2. Kuyuların kılavuz delgi işleminde ölçülen/tahmin edilen performans parametreleri

Parametreler	Birim	Kuyu 1	Kuyu 2
Delme zamanı	dak.	62	90
Dönme hızı	rev/dak.	14.2	16.5
Tüketilen tork	kNm	3.0	4.0
Tüketilen güç	kW	5.23	6.91
Saha spesifik enerji	kWh/m ³	45.70	84.72
Anlık penetrasyon oranı	m/h	1.65	1.24
Birim penetrasyonu	mm/rev	1.99	1.36
Net kesme hızı	m ³ /h	0.13	0.09
İtme kuvveti	kN	153	166

Çizelge 3. Kuyuların raybalama işleminde ölçülen/tahmin edilen performans parametreleri

Parametreler	Birim	Kuyu 1	Kuyu 2
Kazı zamanı	dak.	78	246
Dönme hızı	rev/dak.	3.8	3.8
Tüketilen tork	kNm	45	45
Tüketilen güç	kW	18.33	18.17
Saha spesifik enerji	kWh/m ³	3.48	9.27
Anlık penetrasyon oranı	m/h	1.39	0.60
Birim penetrasyonu	mm/rev	6.37	2.66
Net kesme hızı	m ³ /h	6.41	2.76
Çekme kuvveti	kN	871	940

Başyukarı delme makinelerinin performans değerlendirmesi üç kategoride yapılabilir. Birinci kategori mekaniksel parametrelerdir. Bu kategoride kullanılan makinenin boyutları, ağırlığı, kullanılan tricone bit ve genişletici kafa, dönme hızı, sarf edilen enerji, itme/çekme kapasitesi ve diğer özellikleri kapsamaktadır. Bu iki projede aynı makine kullanıldığı için, makine özellikleri bakımından bir değerlendirme yapılamamıştır. Bu iki kuyunun kılavuz delgi işlemlerinde, dönme hızının %30 kapasitesini kullanmıştır ve raybalama işleminde de %18 kapasitesini kullanmıştır.

BDM performans değerlendirmesinde ikinci kategori jeolojik/jeoteknik parametrelerdir. Bu kategori de kaya kütlesinin belirlenmesi, ana fay zonlarının, kırıklı-çatlaklı ve tabakalı zeminlerin belirlenmesi, yeraltı suyun durumu, delinen/kazılan kayaçlarını dayanımı önemli özelliklerdendir. Bu kuyuların performans değerlerine bakıldığı zaman, birinci kuyu daha optimize çalıştığı gözükmektedir. Ortalama delme işlemi sırasıyla birinci ve ikinci kuyularda 62 ve 90 dakika sürmüştür. Kazı işlemi ise 78 ve 246 dakika sürmüştür. Ayrıca, birinci kuyuda kılavuz delgide ortalama anlık penetrasyonu 1.65 metre/saat olarak hesaplanmıştır. Bu değer ikinci kuyu için 1.24 metre/saat olarak hesaplanmıştır. Raybalama işleminde ise bu değer 1.39 metre/saat ve 0.60 metre/saat olarak hesaplanmıştır. Kuyuların uzunluğuna baktığımız zaman ikinci kuyu, birinci kuyudan 3 metre kısa olmasına rağmen daha uzun sürede bitmesi gözükmektedir. Bunun nedenleri şöyle açıklanabilir: ikinci kuyu kılavuz delgi işleminde iki sefer kuyu dibini temizlemek için bütün tijler geri çekilmiş ve kuyu temizliği bitiğinden sonra bütün tijler yeniden kuyuya sokulmuştur. Bu işlemde ilerleme hızını yavaşlatmıştır. Ayrıca operatörün belirttiği gibi 129-130 metre arasında göçük olduğu için delme işlemi 6 gün boyunca kuyu temizlenmesi için durdurulmuştur. Bu derinlikte makine performans değerlerine baktığımızda itme kuvveti 170 kN'dan 50 KN'da düştüğünü göstermektedir. Anlık penetrasyon değeri ise 1.66 metre/saat' den 0.63 metre/saat gerilemiştir. Aynı metrenin raybalama işlemindeki performans değerlerine baktığımız zaman da çekme kuvveti 1815 kN'dan 690 kN düşüş göstermiştir. Ayrıca anlık penetrasyon değeri 0.05 metre /saat' den 0.13 metre/saat çıkmıştır. Böylelikle bu zonda, az kuvvet kullanarak daha fazla ilerleme sağlayabilmiştir. Bir diğer neden de bu kuyuların açıldıkları farklı kotlardır (derinliklerdir). Birinci kuyu 1215-1005 metre kotları arasında ve ikinci kuyu 1005-805 metre kotları arasında açılmıştır. Alınan kayaç örnekleri daha çok ikinci kuyunu temsil ettikleri düşünülmektedir. Bu

kayaçların içinden andezit örnekleri en yüksek basınç dayanımına sahiptiler. İkinci kuyuda andezit olan kısımların kazı işlemine baktığımız zaman ortalama anlık penetrasyon oranı 1.68 metre/saat'dir. Buda kazılan ortamı çok sert ve sağlam olduğu zaman ilerleme miktarları daha düşük olduğunu göstermektedir.

Üçüncü kategori ise operasyonel parametreleri içermektedir. Bu kategoride kuyunun uzunluğu, boyutu ve açısı, ayrıca işgücü kullanılabilirliği ve kalitesi (iş deneyimi) yer almaktadır. Buradaki iki kuyu projesinde, daha önce belirtildiği gibi her iki kuyunun nihai çapı 2.44 metredir. Ayrıca her iki kuyu 90° açıyla açılmıştır. Kuyuların uzunluğunu bakıldığı zaman ikinci kuyu yaklaşık 3 metre birinci kuyudan daha kısadır. Buna rağmen bu kuyunun kılavuz delgi işlemi 15 gün ve raybalama işlemi 32 gün daha fazla sürmüştür. Her iki kuyuda aynı operatör ve operatör yardımcısı kullanılmıştır ve sadece işçiler değiştirilmiştir.

5 SONUÇLAR

Bu çalışma, Balya kurşun-çinko madeninde havalandırma kuyuları açmak için kullanılan Başyukarı Delme Makinesinin (BDM) performansını üç kategoride (mekaniksel, jeolojik/jeoteknik ve işletmeyle ilgili parametreler) değerlendirmesini amaçlamıştır. Bunun için aynı BDM ile açılan iki kuyunun kılavuz delgi ve raybalama işlemleri sırasında performans parametreleri (günlük ilerleme, itme/çekme kuvvetleri, kesici kafanın tork ve dönme hızları vd.) incelenmiştir. Bazı önemli sonuçlar aşağıda şekilde özetlenmiştir:

- Kılavuz delgi işleminde, ortalama günlük ilerleme sırasıyla birinci ve ikinci kuyuda 12.40 ve 6.32 metre/gün'dü. Raybalama işleminde ise ortalama günlük ilerleme sırasıyla 9.30 ve 3.69 metre/gün'dü.
- İkinci kuyunun kılavuz delgi ve raybalama işleminde daha fazla itme ve çekme kuvvetleri (sırasıyla 166 ve 940 kN) uygulandığı tespit edilmiştir.

- Birinci kuyuda raybalama işleminde saha spesifik enerjisi (3.48 kWh/m³) ikinci kuyunun saha spesifik enerjisinden (9.27 kWh/m³) daha düşük çıkmıştır.

Ayrıca sahadan alınan kireçtaşı, dasit, andezit ve metasedimanter kayaç örnekleri üzerinde bazı önemli fiziksel-mekaniksel deneyler yapılmıştır. Bu özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Kayaçların tek eksenli basınç dayanımları 50-120 MPa arısında değişiklik göstermiştir. Dolaylı çekme dayanımları ise 5-11 MPa arısında değişmiştir.
- Statik elastisite değerleri 11-31 GPa ve statik Poisson oranları da 0.11-0.23 arısında değişmiştir.

Performans değerlendirmesinde ikinci kuyu birinci kuyudan 3 metre daha kısa olmasına rağmen daha uzun sürede tamamlanmıştır. Bunun önemli nedenlerden biri jeolojik/jeoteknik parametrelerle ilgilidir. Bu kuyunun delme/kazı işleminde bazı derinliklerde boşluk/göçük olduğu için çok duraklamalar yaşanmıştır ve performans değerlerinin daha düşük olmasına neden olmuştur.

Bu iki kuyu işlemi sırasında aynı makine kullanıldığı için, makine özellikleri bakımından bir değerlendirme yapılması mümkün olmamıştır. Bu iki kuyunun çoğu operasyonel parametreleri (kuyu çapı, operatör ve diğ.) aynı olduğu için tartışılacak bir değerlendirme yapılmamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma üçüncü yazarın doktora tezinin bazı sonuçlarını özetlemektedir. Yazarlar Esan Eczacıbaşı İşletmesinden Sayın Ali Türkistanlı, Ahmet Baştürk ve Deniz Arslan; Sargın İnşaat ve Makine Sanayi Ticaret A.Ş. den, Sayın Huseyin Sait Sargın'a sonsuz teşekkürlerini sunarlar. Ayrıca üçüncü yazar, Sargın İnşaat'tan Fettah Topal, Dursun Bora ve Recep Solak'a, saha çalışmaları sırasında yardımlarından dolayı minnettarlığını bildiriyor.

KAYNAKLAR

- Bilgin, N, (1. Baskı.), 1989. *İnşaat ve Maden Mühendisleri için Uygulamalı Kazı Mekaniği*. Birsen, İstanbul, 192 s.
- Bilgin, N, Copur, H, Balci, C, (1st ed.), 2014. *Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries*. CRC Press, New York, 366 s.
- Calder, P.N, 1972. Rock Mechanics aspects of large hole boring machine design. In: *8th Canadian rock mechanics Symposium*, s.159-175, Canada.
- Dollinger, G.L, 1977. *Choosing cutters for the best boreability*. Compressed Air Magazine, Sept, s.15-19.
- Dollinger, G.L, Handewith, H.J, and Breeds, C.D, 1998. *Use of the Punch Test for Estimating TBM Performance*. Tunnelling and Underground Space Technology, 13 (4), s.403-408.
- Elgenklow, M, 2003. Boxhole boring at El Teniente - The lieutenant marches on. *Tunn Undergr Sp Tech*, 18(5): s.485-495.
- Everell, M.D, 1972. Performance of raise borers as a function of geology and rock properties. In: *Proceeding of the 8th Canadian rock mechanics symposium*, November-December, s. 83-100, Toronto.
- Küçükateş, K, 2018. Üçüncü yazar ile kişisel görüşme bilgilerine dayanmaktadır.
- Lightfoot, R.M, 1970. Drillability and wear Prediction by Laboratory Techniques and correlation with operation experience. In: *Australian Geomechanics Society Symposium on Raise and Tunnel Boring*, 15 s, Australia
- Lislerud, A, Vainionpää, P., 1997. Application of raise boring for excavation horizontal tunnels with Rhino machines. *Working report 97-56 e*. Posiva Oy, Helsinki, 54s.
- McCracken, A, Stacey, T.R., 1989. Geotechnical risk assessment of large diameter raise-bored shafts. *Shaft Engineering, Institution of Mining and Metallurgy*, s. 309-316.
- Morris, R.I, 1969. Rock drillability related to a roller cone bit. In: *Proceedings of society of petroleum Engineers of AIME*. Paper No. SPE 2389, s. 79-86.
- Nishimatsu, Y, Okubo, S, Jinno, T, 1987. On the Performance and Dynamic Behavior of a Shield Type Blind Raise Boring Machine. In: *6th ISRM Congress*, s.705-708, Montreal.
- Peck, W.A, Lee, M.F, 2008. Application of the Q-System to Australian Underground Mines. In: *Proceedings of the International Workshop on Rock Mass Classification in Underground Mines, U.S Department of Health and Human Services CDC/NIOSH Office of Mine Safety and Health Services*, s. 129.140.
- Pigott, CP, 1985. The route to more efficient blind shaft drilling. In: *Rapid Excavation and*

- Tunnelling Conference*, Proceedings Volume 2, s.974-991, New York.
- Seiler, W.K, 1972. Hard rock boring with tungsten carbide insert big cutters. In: *1st North American Rapid Excavation and Tunneling Conference*, Proceedings Volume 2, s.1149-5, Chicago.
- Shaterpour Mamaghani, A, Erdogan, T, Engin, D, Bilgin, N, 2016b. Evaluation of the Performance of a Raise Boring Machine in Pb-Zn Underground mine, Balya, Turkey. In: *World Tunnel Congress (WTC 2016)*, San Francisco, USA.
- Shaterpour-Mamaghani, A, Bilgin, N, 2016. Some contributions on the estimation of performance and operational parameters of raise borers – A case study in Kure Copper Mine, Turkey. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 54, s.37-48.
- Shaterpour-Mamaghani, A, Bilgin, N, Balci, C, Avunduk, E, Polat, C, 2016a. Predicting Performance of Raise Boring Machines by Using Empirical Models. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49 (8), s.3377-3385.
- Shaterpour-Mamaghani, A, Copur, H, Bilgin, N, Kocbay, A, Erdogan, T, 2017. Raise Boring Machine performance in the Yusufeli Dam and HEPP Project. In: *World Tunnelling Congress (WTC2017)*, Bergen, Norway.
- Visser, D, 2009. Shaft Sinking Methods Based on The Townlands Ore Replacement Project-Rise Boring. In: *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Shaft Sinking and Mining Contractors Conference*, 13 s.
- Ciftci, Y, Revan, M.K, Sen, P, ve Zimitoglu, O, 2013. *The basic geological aspects of Eskisehir, Balikesir, Tepeoba, Izmir, and Usak ore deposits. International Workshop on Base and Precious Metals*, Field Trip Guide Book, May 20-27, MTA, Ankara, Turkey. s.22-27.
- ISRM, 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: *Ulusay R, Hudson JA (eds) Suggested methods prepared by the ISRM commission on testing methods, compilation arranged by the ISRM Turkish National Group*. Kozan Ofset, Ankara, p 628.