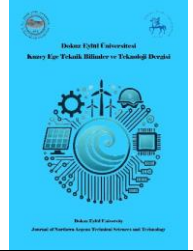




Kuzey Ege Teknik Bilimler ve Teknoloji Dergisi
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ketbt>



Jeomekanik Parametrelerin Değerlendirilmesi ile En Uygun Kollu Galeri Açma Makinesi Seçimi

Muharrem Kemal Özfirat^a, Mustafa Emre Yetkin^{b,*}

^aMaden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4074-1965

^bMaden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4797-3841

ÖZET

Kollu galeri açma makineleri, yeraltı madencilğinde yaygın olarak kullanılan önemli ekipmanlardır. Bu makineler, çeşitli jeolojik ve operasyonel koşullarda yüksek verimlilikle çalışabilmeleri nedeniyle tercih edilirler. Kollu galeri açma makinelerinin performansını tahmin etmek ve uygun makinelerin seçimini yapmak, başarılı bir kazı operasyonu için kritik öneme sahiptir. Kollu galeri açma makinelerinin seçimi, makine gücü, ağırlığı, anlık kazı oranı gibi teknik özelliklerin yanı sıra, makinenin kullanılacağı jeolojik koşullara göre de değerlendirilir. Uygun makinenin seçimi, operasyonel verimliliği artırır. Sonuç olarak, kollu galeri açma makinelerinin performans tahmini ve seçimi, madencilik projelerinin başarısı için hayati öneme sahiptir. Bu sürecin optimize edilmesi, maliyetleri düşürürken, iş güvenliğini ve verimliliği de beraberinde getirmektedir. Yapılan çalışmada, jeomekanik parametrelerin dikkate alınmasıyla hesaplanan anlık kazı oranı (ICR) dikkate alınarak alternatif olarak belirlenen kollu galeri açma makineleri arasından en uygun olanının seçimi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kollu galeri açma makinesi, Performans tahmini, Anlık kazı oranı, Kazı mekaniği.

Selection of the Optimal Roadheader Machine Based on the Evaluation of Geomechanical Parameters

Muharrem Kemal Özfirat^{a,*}, Mustafa Emre Yetkin^b

^aDep. of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4074-1965

^bDep. of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4797-3841

ABSTRACT

Roadheader machines are essential equipment widely used in underground mining operations. These machines are preferred due to their ability to operate efficiently under various geological and operational conditions. Predicting the performance of roadheader machines and selecting the most suitable ones are critical for the success of excavation operations. The selection process involves evaluating the machine's technical specifications, such as power, weight, and instantaneous cutting rate (ICR), as well as the geological conditions in which the machine will operate. Choosing the appropriate machine enhances operational efficiency. As a result, the performance prediction and selection of roadheader machines are vital for the success of mining projects. Optimizing this process not only reduces costs but also improves safety and productivity. In this study, the most suitable roadheader machine was selected among the alternatives by considering the instantaneous cutting rate (ICR) calculated based on geomechanical parameters.

Keywords: Combinatorial optimization, Two-dimensional stock cutting problem, NP-hard.

1. Giriş

Madenlerde galeri açma işlemi, yeraltı madenciliğinin temel adımlarından birini oluşturur ve maden cevherine güvenli ve ekonomik bir şekilde ulaşmayı sağlar. Bu işlem hem maden sahasının hazırlanması hem de cevherin taşınması için gerekli altyapının oluşturulması açısından kritik öneme sahiptir. Galeri açma sürecinde kullanılan yöntem ve ekipmanlar, madenin türüne, kaya kütlelerinin özelliklerine ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Geleneksel patlayıcı tekniklerin yanı sıra, modern galeri açma makineleri, özellikle sert kayalarda daha hızlı, güvenli ve çevre dostu çözümler sunar. Bu makineler, yüksek performanslı kesici başlıkları ve otomasyon sistemleri sayesinde verimliliği artırırken, iş gücü ihtiyacını ve iş kazası riskini de en aza düşürür. Teknolojik gelişmeler, galeri açma makinelerinin daha esnek, hassas ve çevresel etkileri azaltacak şekilde tasarlanmasına olanak tanımaktadır. Galeri açma makinelerinin verimi, maden işletmelerinin ekonomik ve operasyonel başarısında önemli bir rol oynar. Bu makinelerin verimliliği, birim zamanda açılan galeri uzunluğu, enerji tüketimi, bakım maliyetleri ve kesici uçların dayanıklılığı gibi çeşitli faktörlerle değerlendirilir. Makinenin jeolojik koşullara uygunluğu, kaya türüne göre seçilen kesici sistemlerin etkinliği ve operatörün deneyimi, verimi doğrudan etkileyen unsurlardır. Modern galeri açma makineleri, ileri sensör ve otomasyon teknolojileri sayesinde çalışma süreçlerini optimize ederek en az duruş süreleri ve daha fazla çalışma süreleri sunar. Ayrıca, doğru mühendislik tasarımlarıyla makinenin titreşim ve aşınma düzeyleri kontrol altında tutulabilir, bu da kesintisiz ve uzun ömürlü bir performans sağlar. Verimli galeri açma, sadece zaman ve maliyet tasarrufu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda iş güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da faydalar sunar.

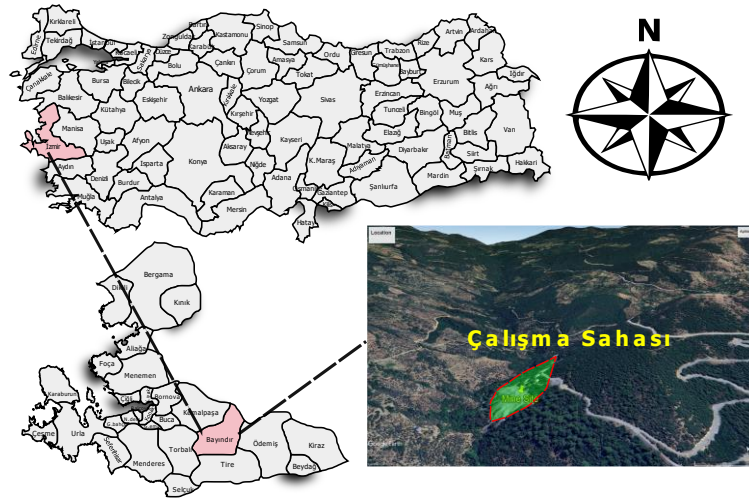
Geçmiş yıllarda birçok araştırmacı kollu galeri açma makinelerinin performansları ve seçimleri konusunda çalışmalar yapmışlardır. Desmukh vd. 2020 [1] yaptıkları çalışmada kollu galeri açma makinelerinin kullanımını kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Çalışma, kollu galeri açma makinelerinin tasarımı, mekanik özellikleri, performansları ve güvenlik önlemlerine odaklanarak, farklı jeolojik koşullardaki etkilerini değerlendirmektedir. Ayrıca, kollu galeri açma makinelerinin verimliliğini artırmak ve iş kazalarını azaltmak için önerilerde bulunmaktadır. Jung vd. 2023 [2] yaptıkları çalışmada jeolojik ve jeoteknik koşullarla ilgili verileri kullanarak, kollu galeri açma makinelerinin performansını tahmin eden bir yapay sinir ağı (ANN) modeli geliştirmiştir. Bu model, kazı makinesinin performansını belirleyen önemli parametreleri (örneğin, tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, RQD) içermektedir. Ayrıca, geliştirilen ANN modelinin, geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi tahmin kapasitesine sahip olduğu gösterilmiştir. Kahraman vd. 2023 [3] yaptıkları çalışmada, altı farklı kömür madeni üzerinde yürütülen geniş çaplı bir alan çalışması ile kollu galeri açma makinelerinin performans verilerini toplamıştır. Kayaç dayanıklılığı, hacimsel eklem sayısı, eğim açısı gibi faktörler, Cerchar aşınma indeksi ve su geçirgenliği gibi veriler kullanılarak RMCC indeksi hesaplanmıştır. Veriler, çoklu regresyon analizi kullanılarak değerlendirilmiştir ve kollu galeri açma makinelerinin performansları için güçlü tahmin denklemleri elde edilmiştir. Özfırat vd. 2017 [4] yaptıkları çalışmada, kollu galeri açma makinelerinin performansını etkileyen çeşitli faktörleri incelenmiştir. Bu faktörler arasında makine gücü, ağırlığı, güç/ağırlık oranı, DRI ve tek eksenli basınç dayanımı yer almaktadır. Doğrusal regresyon yöntemleri kullanılarak bu değişkenler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Sonuç olarak, makine performansının makine gücü (P), ağırlığı (W) ve P/W oranı ile yüksek derecede korelasyonda olduğu bulunmuştur. Rostami vd. 2024 [5] yaptıkları çalışmada, altı farklı kömür madeninde farklı tiplerdeki kollu galeri açma makinelerinin performans ölçümlerini yapmışlardır. Ebrahimabadi vd. 2011 [6] yılında yaptıkları çalışmada kaya kütle kesilebilirlik indeksi RMCI'nin anlık kazı oranı (ICR) ve keski tüketim indeksi (BWI) ile yüksek derecede korelasyonda olduğunu göstermiştir. Ayrıca, RMCI'nin kaya bloklarının mekanik özelliklerini ve makine performansını ilişkilendiren bir indeks olduğu belirlenmiştir. Abdolreza ve Siamak, 2013 [7] yaptıkları çalışmada Kömür Madeni'nden toplanan veriler kullanılarak, kaya bloklarının dayanıklılığı, keski tüketim hızı ve kaya kütlelerinin kesilebilirliği gibi özellikler arasındaki ilişkileri analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, çalışmada geliştirilen modelin, kaya kütlelerinin özelliklerine bağlı olarak kollu galeri açma makinelerinin performansını doğru bir şekilde tahmin edebileceği gösterilmiştir. Avunduk vd. 2014 [8] yılında yaptıkları çalışmada ANN yöntemi kullanarak kollu galeri açma makinelerinin anlık kazı oranlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Kahraman ve Kahraman, 2015 [9] yaptıkları çalışmada, çekme dayanımı, nokta yük dayanımı, ultrasonik hız, yoğunluk, porozite ve su emme oranı gibi testler

kullanılarak kollu galeri açma makinelerinin anlık kazı oranları (ICR) hesaplanmıştır. Toplanan kaya örnekleri üzerinde fiziksel ve mekanik testler yapılmış ve basit regresyon analizi ile bu özelliklerin ICR değerleriyle korelasyonu incelenmiştir. Ayrıca, adım adım çoklu regresyon analizi kullanılarak en iyi ICR tahmin modeli seçilmiştir

Çalışmada, seçilen 6 adet farklı özelliklere sahip kollu galeri açma makineleri sahadan alınan örnekler üzerinde yapılan kaya mekaniği testlerinden elde edilen ve ampirik formüller ile hesaplanan ICR değerlerine göre değerlendirilmiş ve en uygun kollu galeri açma makinesinin seçimi yapılmıştır. Elde edilen sonuçları göre alternatif kollu galeri açma makinelerinden M4 modeli en uygun kollu galeri açma makinesi olarak seçilmiştir.

2. Çalışma Sahası

Çalışma sahası İzmir ile Bayındır ilçesinde bulunan ve oda-topuk yönetimi ile işletilen bir Kurşun-Çinko madenidir. Madene ait yer bulduru haritası Şekil 1’de verilmiştir. Maden sahasında yapılan sondajlardan alınan örnekler için görüntü Şekil 2’de verilmiştir. Cevher kesen örneklerden ve yan kayaktan alınan kayaç örnekleri üzerinde yapılan testler sonucunda cevher ve yan kayaca ait dayanım parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler Tablo 1’de verilmiştir. Deney için hazırlanan kayaç örneklerine ait görüntü Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma sahasına ait yer bulduru haritası



Şekil 2. Cevher ve yan kayaç kesen sondajdan alınan kayaç malzemesi örnekleri



Şekil 3. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonrasında kayaç malzemesinin görüntüsü

Tablo 1. Cevher ve yan kayaca ait fiziksel ve mekanik özellikler [10]

Formasyon	Birim Hacim Kütle (t/m^3)	Schmidt Sertliği	UCS (MPa)	BTS (MPa)	RQD	RMR	DRI
Cevher	3.52	63.51	91.35	12.14	70	78	36
	3.26	58.30	66.12	10.41	70	76	42
	3.48	61.45	83.50	11.27	70	74	40
Yan kayaç	2.66	52.10	43.31	9.59	55	66	53
	2.59	47.11	29.40	7.02	55	64	63
	2.78	50.20	34.30	7.73	55	65	55

DRI : Delme oranı indeksi
 UCS : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
 RQD : Kaya kalite göstergesi
 BTS : Brazilian çekme dayanımı (MPa)
 RMR : Kaya kütle sınıflama puanı

Tablo 1’de verilen ve çalışma sahasından alınan örnekler üzerinde yapılan kaya mekaniği testleri sonucunda elde edilen sonuçlara bakıldığında, cevher formasyonuna ait ortalama birim hacim kütle değeri $3,42 t/m^3$, yan kayaca ait ortalama birim hacim kütle değeri ise $2,68 t/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Cevhere ait ortalama Schmidt sertlik değeri 61,09, yan kayaca ait ortalama Schmidt sertlik değeri ise 49,80 olarak hesaplanmıştır. Cevhere ait ortalama tek eksenli basınç dayanımı değeri 80,32 MPa, yan kayaca ait ortalama tek eksenli basınç dayanımı değeri ise 35,67 MPa olarak hesaplanmıştır. Cevhere ait ortalama Brazilian çekme dayanımı değeri 11,27 MPa, yan kayaca ait ortalama Brazilian çekme dayanımı değeri ise 8,11 MPa olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler dikkate alınarak makinelerin anlık kazı oranları değerleri hesaplanmıştır.

3. Kollu Galeri Açma Makineleri ve Performans Tahmini

Kollu galeri açma makinelerinin performans değerlendirmelerinde Anlık Kazı Oranı (ICR-Instantaneous Cutting Rate) oldukça öneme sahiptir. Anlık kazı oranı, bir kollu galeri açma makinesinin belirli bir zaman diliminde ne kadar kaya kazabileceğini ölçer ve makinenin etkinliğini ve verimliliğini doğrudan etkileyen bir parametredir. Yüksek anlık kazı oranı değerleri, operasyon sürecinin hızlanmasına, proje maliyetlerinin azalmasına ve iş programlarının kısılmasına olanak tanır. Anlık kazı oranını etkileyen faktörler arasında kaya türü ve özellikleri, makinenin kesici başlık tipi ve durumu, makine gücü ve operatörün tecrübesi yer alır. Örneğin, sert kayalarda kollu galeri açma makinesinin kazı hızı düşebilirken, yumuşak ve orta sertlikteki kayalarda kazı hızı daha yüksek olabilir. Ayrıca, makinenin bakım durumu ve kesme parametrelerinin optimize edilmesi, anlık kazı oranını artırmada önemli rol oynar. Performans tahmininde kullanılan çeşitli modeller ve yöntemler, anlık kazı oranını etkileyen bu değişkenlerin doğru bir şekilde analiz edilmesini sağlar. Yapay sinir ağı (ANN) modelleri

ve regresyon analizleri, kazı hızı tahminlerinde sıklıkla kullanılır. Bu yöntemler, karmaşık verileri işleyerek ve analiz ederek, kollu galeri açma makinesinin en uygun çalışma koşullarında kullanılmasına olanak sağlarlar.

Çalışma kapsamında sahadan alınan ve Tablo 1’de verilen örneklere ait jeomekanik parametrelerde dikkate alınarak sahada çalışabilecek 6 adet farklı tipte ve kapasitede kollu galeri açma makinesi belirlenmiştir. Belirlenen kollu galeri açma makinelerine ait teknik veriler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı modellerdeki galeri açma makinelerine ait teknik parametreler

Model	Kaya Tipi	Maksimum kurulu güç (kW)	Kütle (t)	Maksimum kazı yüksekliği (m)	Maksimum kazı alanı (m ²)
M 1	Sert-Orta Sert	276	40	4.5	24
M 2	Sert-Orta Sert	201	34	4.7	26
M 3	Sert-Orta Sert	170	30	4.26	22
M 4	Sert-Orta Sert	170	28	3.5	17.5
M5	Sert-Orta Sert	435	60	5	34
M 6	Sert-Orta Sert	485	70	6.1	46

Tablo 2’de verilen ve çalışma sahası için seçilen kollu galeri açma makinelerinin görüntüleri Şekil 4’de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 4. Alternatif kollu galeri açma makineleri

Kollu galeri açma makinelerinin performanslarının değerlendirilmesinde önemli bir değer olan anlık kazı oranı değerinin hesaplanmasında farklı araştırmacılar tarafından önerilen eşitlikler toplu olarak Tablo 3’te [11] verilmiştir.

Kollu galeri açma makinelerinin kazı verimleri üzerinde oldukça önemli bir parametre olan anlık kazı oranı değerleri Tablo 3’te verilen eşitlikler ve Tablo 1’de verilen cevher ve yan kayaca ait jeomekanik parametreler kullanılarak alternatif olarak seçilen her bir kollu galeri açma makinesi için hesaplanmıştır. Alternatif kollu galeri açma makineleri için hesaplanan anlık kazı oranı değerleri Tablo 4’te toplu olarak verilmiştir.

Tablo 3. Kollu galeri açma makinelerinin performans tahmin denklemleri

Anlık Kazı Oranı (ICR)	Araştırmacı	Matematiksel Eşitlik
ICR 1	Gehring, 1989 [12]	$ICR = 719 / (UCS)^{0.78}$
ICR 2	Gehring, 1989 [12]	$ICR = 1739 / (UCS)^{1.13}$
ICR 3	Thuro ve Plinninger, 1998 [13]	$ICR = 75.7 - 14.3 \ln(UCS)$
ICR 4	Çopur vd. 1998 [14]	$ICR = 27.511 e^{0.0023(RPI)}$
		$RPI = (P \times W) / UCS$
ICR 5	Bilgin vd 2004 [15]	$ICR = 0.28 \times P \times (0.974)^{RMCI}$
		$RMCI = UCS \times (RQD/100)^{2/3}$
ICR 6	Balcı vd. 2004 [16]	$ICR = 0.8 \times P / (0.37) \times UCS^{0.86}$
ICR 7	Tumaç vd. 2007 [17]	$ICR = 109.25 \times UCS^{-0.72}$
ICR 8	Ebrahimabadi vd. 2011 [6]	$ICR = 9.07 \times \ln(RMBI) + 29.93$
		$RMBI = e^{UCS/BTS} \times (RQD/100)^3$
ICR 9	Çomaklı, 2019 [18]	$ICR = 56.785 \times UCS^{0.097}$

ICR : Anlık kazı oranı (m³/saat)
 RMCI : Kaya kütlesi kesilebilirlik indeksi
 UCS : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
 RQD : Kaya kalite göstergesi
 RPI : Kollu galeri açma makinesi kazı indeksi
 RMBI : Kaya kütlesi kırılma indeksi
 P : Kesici kafa gücü (HP)
 W : Makine kütlesi (ton)
 BTS : Brazilian çekme dayanımı (MPa)

Tablo 4. Kollu galeri açma makineleri için hesaplanan kazı performans değerleri

Parametreler	RMR=76						RMR=65					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Formasyon	Cevher Kazısı İçin						Yankayaç Kazısı İçin					
UCS (MPa)	80.32	80.32	80.32	80.32	80.32	80.32	35.67	35.67	35.67	35.67	35.67	35.67
BTS (MPa)	11.27	11.27	11.27	11.27	11.27	11.27	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11
RQD (%)	70	70	70	70	70	70	55	55	55	55	55	55
RPI	184.26	113.87	85.16	79.48	435.51	566.48	414.91	256.41	191.76	178.97	980.66	1275.58
RMCI	63.32	63.32	63.32	63.32	63.32	63.32	23.94	23.94	23.94	23.94	23.94	23.94
RMBI	427.03	427.03	427.03	427.03	427.03	427.03	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53
ICR 1	23.49	23.49	23.49	23.49	23.49	23.49	44.25	44.25	44.25	44.25	44.25	44.25
ICR 2	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	30.63	30.63	30.63	30.63	30.63	30.63
ICR 3	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	24.59	24.59	24.59	24.59	24.59	24.59
ICR 4	42.03	35.75	33.46	33.03	74.91	101.24	71.44	49.62	42.76	41.52	262.46	517.20
ICR 5	19.54	14.20	12.04	12.04	30.79	34.32	55.13	40.08	33.97	33.97	86.87	96.85
ICR 6	18.41	13.38	11.34	11.34	29.00	32.33	36.99	26.89	22.80	22.80	58.29	64.99
ICR 7	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33
ICR 8	84.87	84.87	84.87	84.87	84.87	84.87	53.56	53.56	53.56	53.56	53.56	53.56
ICR 9	86.90	86.90	86.90	86.90	86.90	86.90	80.32	80.32	80.32	80.32	80.32	80.32
P (HP)	369.97	269.44	227.88	227.88	583.11	650.13	369.97	269.44	227.88	227.88	583.11	650.13
P (kW)	276	201	170	170	435	485	276	201	170	170	435	485
W (t)	40	34	30	28	60	70	40	34	30	28	60	70

ICR : Anlık kazı oranı (m³/saat)
 RMCI : Kaya kütlesi kesilebilirlik indeksi
 UCS : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
 RQD : Kaya kalite göstergesi
 RPI : Kollu galeri açma makinesi kazı indeksi
 RMBI : Kaya kütlesi kırılma indeksi
 P : Kesici kafa gücü (HP)
 W : Makine kütlesi (ton)
 BTS : Brazilian çekme dayanımı (MPa)

4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Tablo 4’te verilen ve farklı modellerdeki kollu galeri açma makineleri için hesaplanan anlık kazı oranı değerlerine bakıldığında cevher kazısından yan kayaç kazısına geçişlerde ICR değerlerinde yaklaşık iki kata kadar artışlar gözlenmektedir. Cevherin sağlam yan kayacın ise nispeten daha zayıf olduğu göz önüne alındığında bu değişimin normal olduğu söylenebilir. Cevher kazısı için 6 adet alternatif kollu galeri açma makinesinin ICR 1 değerleri 23,49 m³/saat, yan kayaç kazısı için ise 44,25 m³/saat olarak hesaplanmıştır. ICR 2 değerleri cevher kazısı için 12,24 m³/saat, yan kayaç kazısı için ise 30,63 m³/saat olarak hesaplanmıştır. ICR 3 değerleri cevher ve yan kayaç kazısı için sırasıyla 12,98 m³/saat ve 24,59 m³/saat olarak hesaplanmıştır. ICR 4 değerleri cevher kazısı için 33,01-101,24 m³/saat, yan kayaç kazısı için 41,52-517,20 m³/saat aralığında hesaplanmıştır. ICR 4’de farklı makine tiplerinde değerlerin geniş aralıkta hesaplanmasının nedeni ICR 4 hesabının makine kütlesi ve kesici kafa gücüne bağlı olarak hesaplanmasıdır. Aynı durum ICR 5 ve ICR 6 değerleri içinde geçerlidir. Cevher kazısı için ICR 5 değerleri 12,04-34,32 m³/saat, yan kayaç kazısı için 33,97-96,85 m³/saat aralığında hesaplanmıştır. Cevher kazısı için ICR 6 değerleri 11,34-29 m³/saat, yan kayaç kazısı için 22,80-64,99 m³/saat aralığında hesaplanmıştır. ICR 7 değerleri cevher kazısı için 4,64 m³/saat, yan kayaç kazısı için ise 8,33 m³/saat olarak hesaplanmıştır. ICR 8 değerleri cevher kazısı için 84,87 m³/saat, yan kayaç kazısı için ise 53,56 m³/saat olarak hesaplanmıştır. ICR 9 değerleri cevher kazısı için 86,90 m³/saat, yan kayaç kazısı için ise 80,32 m³/saat olarak hesaplanmıştır.

ICR değerleri arasındaki farklı sonuçların daha sağlıklı değerlendirilmesi amacıyla Tablo 2’de verilen ve altı farklı kollu galeri açma makinesine ait en fazla kazı alanları (m²) dikkate alınarak her bir kollu galeri açma makinesinin cevher kazısı ve yan kayaç kazısı sırasında saatlik ilerleme miktarları (m) hesaplanmıştır. Bu amaçla 9 farklı ICR değeri (m³/saat), kollu galeri açma makinelerinin kazabildiği en büyük kazı alanlarına (m²) bölünerek saatlik ilerleme (m) durumları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 5 ve Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 5. Farklı kollu galeri açma makinelerinin ICR değerlerine göre cevher kazısındaki saatlik ilerleme miktarları

Model	Maksimum kazı alanı (m ²)	ICR 1	ICR 2	ICR 3	ICR 4	ICR 5	ICR 6	ICR 7	ICR 8	ICR 9	Ortalama (m)
		Saatlik ilerleme miktarı (m)									
M 1	24	0.98	0.51	0.54	1.75	0.81	0.77	0.19	3.54	3.62	1.41
M 2	26	0.90	0.47	0.50	1.37	0.55	0.51	0.18	3.26	3.34	1.23
M 3	22	1.07	0.56	0.59	1.52	0.55	0.52	0.21	3.86	3.95	1.42
M 4	17.5	1.34	0.70	0.74	1.89	0.69	0.65	0.27	4.85	4.97	1.79
M 5	34	0.69	0.36	0.38	2.20	0.91	0.85	0.14	2.50	2.56	1.18
M 6	46	0.51	0.27	0.28	2.20	0.75	0.70	0.10	1.84	1.89	0.95

Tablo 6. Farklı kollu galeri açma makinelerinin ICR değerlerine göre yan kayaç kazısındaki saatlik ilerleme miktarları

Model	Maksimum kazı alanı (m ²)	ICR 1	ICR 2	ICR 3	ICR 4	ICR 5	ICR 6	ICR 7	ICR 8	ICR 9	Ortalama (m)
		Saatlik ilerleme miktarı (m)									
M 1	24	1.84	1.28	1.02	2.98	2.30	1.54	0.35	2.23	3.35	1.88
M 2	26	1.70	1.18	0.95	1.91	1.54	1.03	0.32	2.06	3.09	1.53
M 3	22	2.01	1.39	1.12	1.94	1.54	1.04	0.38	2.43	3.65	1.72
M 4	17.5	2.53	1.75	1.40	2.37	1.94	1.30	0.48	3.06	4.59	2.16
M 5	34	1.30	0.90	0.72	7.72	2.56	1.71	0.25	1.58	2.36	2.12
M 6	46	0.96	0.67	0.53	11.24	2.11	1.41	0.18	1.16	1.75	2.22

Tablo 5’te verilen değerlere bakıldığında cevher kazısında saatlik ortalama ilerleme miktarı en yüksek olan kollu galeri açma makinesinin 1,79 metre ile M4 modeli olduğu görülmektedir. Tablo 6’da verilen değerlere bakıldığında ise yan kayaç kazısında saatlik ortalama ilerleme miktarı en yüksek olan kollu galeri açma makinesinin 2,22 metre ile M6 modeli olduğu görülmektedir. Seçilen çalışma sahasında bulunan galeri ve oda-topuk boyutları dikkate alındığında maksimum 30 m²’lik bir kazı alanı olacağı hesaplanmıştır. Dolayısıyla bu değer arasında kalan M1, M2, M3 ve M4 modelleri arasından seçim yapılmasının daha verimli olacağı bulunmuştur. Belirlenen kollu galeri açma makineleri arasında

ortalama saatlik ilerleme hızı en yüksek olan (cevher kazısında 1,79 m/saat, yan kayaç kazısında 2,16 m/saat) M4 modeli çalışma sahası için en uygun kollu galeri açma makinesi olarak seçilmiştir.

5. Sonuç

Kollu galeri açma makinelerinin seçimi ve performans tahmini, madencilik projelerinin başarısı için kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, jeomekanik parametrelerin değerlendirilmesi ile hesaplanan anlık kazı oranının (ICR) makine seçimi için temel bir kriter olarak kullanılmasının önemini vurgulamaktadır. Bu sürecin optimize edilmesi, operasyonel verimliliği artırmanın yanı sıra maliyetleri düşürmekte, iş güvenliğini iyileştirmekte ve üretkenliği artırmaktadır. Bulgular, belirli jeolojik ve operasyonel koşullara uygun bir makine seçiminin, sürdürülebilir ve verimli kazı operasyonları için sistematik bir yaklaşımın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmada, alternatif olarak seçilen 6 adet kollu galeri açma makinesi değerlendirilmiş ve farklı araştırmacılar tarafından önerilen eşitlikler ve sahadan alınan örneklerin jeomekanik özellikleri dikkate alınarak ICR değerleri belirlenen tüm kollu galeri açma makineleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ve çalışma sahası için geçerli kazı kesitlerinde hem cevher içinde hem de yan kayaç içinde en verimli şekilde kazı yapacak olan M4 kollu galeri açma makinesi (170 kW güç, 28 ton kütle) modeli olarak belirlenmiştir. Böylece sahada seçilecek kazı makinesi modeli, anlık kazı oranı ve ilerleme miktarları belirlenerek proje öncesi kazı değerleri tahmin edilmiş ve yapılacak kazı planı model sınır değerleri hesaplanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, 2020.KB.FEN.002 numaralı BAP projesinin bir kısmından üretilmiştir. Yazarlar, projenin finansmanını sağlayan Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne ve Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörüne teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

- [1] S. Deshmukh, A.K. Raina, V.M.S.R. Murthy, R. Trivedi, R. Vajre, (2020). Roadheader – A comprehensive review, *Tunnelling and Underground Space Technology*. 95, 103148. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103148>.
- [2] J.H. Jung, J.H. Yim, J.W. Lee, H.B. Kang, D.H. Kim, Y.J. Shin, (2023). Development of roadheader performance prediction model and review of machine specification, *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*. 25, 221–243.
- [3] S. Kahraman, B. Dibavar, M. Rostami, M. Fener, (2023). Performance prediction of roadheaders using the rock mass cuttability classification, *Arabian Journal of Geosciences*. 16, <https://doi.org/10.1007/s12517-023-11807-1>.
- [4] M.K. Özfırat, T. Mallı, P. Mızrak Özfırat, B. Kahraman, (2017). The performance prediction of roadheaders with response surface analysis for underground metal mine, *Kuwait Journal of Science* 44.
- [5] M. Rostami, S. Kahraman, B. Dibavar, M. Fener, (2024). Performance prediction of roadheaders used in coal mines from the needle penetration index and the schmidt hammer value, *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*. 10. <https://doi.org/10.1007/s40948-023-00725-x>.
- [6] A. Ebrahimabadi, K. Goshtasbi, K. Shahriar, M. Cheraghi Seifabad, (2011). Predictive models for roadheaders' cutting performance in coal measure rocks, *Yerbilimleri*. 32, 89–104.

- [7] Y.C. Abdolreza, H.Y. Siamak, (2013). A new model to predict roadheader performance using rock mass properties, *Journal of Coal Science and Engineering (China)*. 19, 51–56. <https://doi.org/10.1007/s12404-013-0109-4>.
- [8] E. Avunduk, D. Tumaç, A. Atalay, (2014). Prediction of roadheader performance by artificial neural network, *Tunnelling and Underground Space Technology*. 44, 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2014.07.003>.
- [9] E. Kahraman, S. Kahraman, (2015). The performance prediction of roadheaders from easy testing methods, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 75, 1585–1596. <https://doi.org/10.1007/s10064-015-0801-2>.
- [10] M.E. Yetkin, M.K. Özfırat, H. Yenice, F. Şimşir, B. Kahraman, (2016). Examining the relation between rock mass cuttability index and rock drilling properties, *Journal of African Earth Sciences*. 124, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.09.025>.
- [11] V. Özçoban, M.K. Özfırat, M.E. Yetkin, (2022). A novel equation for calculating uniaxial compressive strength values using the point load test, *Arabian Journal of Geosciences*. 15 <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10935-4>.
- [12] K.H. Gehring, (1989). A cutting comparison, *Tunnels and Tunnelling*. 21, 27–30.
- [13] K. Thuro, R.J. Plinninger, (1998). Geological and geotechnical limits during roadheader operation, *Felsbau*. 16, 358–367.
- [14] H. Çopur, L. Özdemir, J. Rostami, (1998). Roadheader applications in mining and tunneling, *Mining Engineering*. 50, 38–42.
- [15] N. Bilgin, T. Dincer, H. Copur, M. Erdogan, (2004). Some geological and geotechnical factors affecting the performance of a roadheader in an inclined tunnel, *Tunnelling and Underground Space Technology*. 19, 629–636. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2004.04.004>.
- [16] C. Balcı, M.A. Demircin, H. Çopur, H. Tunçdemir, (2004). Estimation of optimum specific energy based on rock properties for assessment of roadheader performance, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 104, 633–642.
- [17] D. Tumaç, N. Bilgin, C. Feridunoğlu, H. Ergin, (2007). Estimation of Rock Cuttability from Shore Hardness and Compressive Strength Properties, *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 40, 477–490. <https://doi.org/10.1007/s00603-006-0108-5>.
- [18] R. Çomaklı, (2019). Effects of the physico-mechanical properties of low-strength pyroclastic rocks on cutter wear of roadheaders, *Wear*. 428–429, 205–216. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.03.014>.