

**Araştırma / Research****NİĞDE BÖLGESİ KALSİTLERİNİN KAZISINDA KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNESİ KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI****Ramazan ÇOMAKLI<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0001-7392-6275)\***<sup>1</sup>Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye

*Geliş / Received:* 06.03.2018  
*Kabul / Accepted:* 09.05.2018

**ÖZ**

Niğde bölgesinde yer alan kalsit işletmeleri açık ocak madenciliği yöntemi ile işletilmekte ve bu işletmelerde kazı için delme patlatma yöntemleri kullanılmaktadır. Delme ve patlatma yönteminin masrafları toplam işletme masrafları içerisinde önemli bir parametredir. Bunun yanında özellikle verimsiz delme patlatma uygulamalarından sonra oluşan büyük bloklar da bu maliyeti artıracaktır. Mekanize kazı yöntemlerinin uygulandığı işletmelerde ise kazı işlemleri daha hızlı olmakta ve uygun kazıcının seçilmesi ile üretim maliyeti delme patlatma yöntemine kıyasla daha az olmaktadır. Yapılan bu çalışmada Niğde bölgesinde bulunan kalsit işletmelerinde kollu galeri açma makinesi (KGAM) kullanılabilirliği ve performansları araştırılmıştır. Bu kapsamda farklı kalsit işletmelerine ait hammadde sahalarından numuneler alınmış ve laboratuvar deneyleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen performans tahmin modelleri kullanılarak kalsit kazısı için KGAM kazı performans tahmini yapılmıştır. Ayrıca, KGAM kullanımında önemli bir parametre olan kesici uç tüketimi de teorik yaklaşımlar kullanılarak hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kollu galeri açma makinesi, kalsit, performans tahmini, kesici uç tüketimi, anlık kazı hızı

**INVESTIGATION OF THE USABILITY OF ROADHEADERS IN EXCAVATION OF CALCITE IN NİĞDE REGION****ABSTRACT**

Open-pit mining method is used in many calcite mines located in Niğde region and drilling and blasting method is applied in these mines for excavation. The application costs of drilling and blasting are important parameters in total operating costs. In addition, especially large blocks obtained after inefficient drilling blasting applications will increase this cost. The excavations are faster in mines that using the mechanical excavators and by selecting the proper machine, the cost of production is less than the drilling and blasting method. In this study, the usability and performances of roadheaders were investigated in calcite mines in Niğde region. In this purpose, calcite samples were collected from the different calcite mines in Niğde region and firstly, their physical and mechanical properties were determined by laboratory tests. Then, for calcite excavation, the performance of KGAM was estimated with using performance prediction models developed by different researchers. In addition, cutter consumption rate, an important parameter in the use of KGAM, has been estimated using theoretical models.

**Keywords:** Roadheaders, calcite, performance prediction, cutter consumption, instantaneous cutting rate

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 4008 ; e-mail / e-posta: rcomakli@ohu.edu.tr

R. ÇOMAKLI

## 1. GİRİŞ

Delme patlatma yöntemi madencilik ve tünel kazılarında yaygın olarak kullanılan bir kazı yöntemidir. Ancak günümüzde madencilik ve inşaat amaçlı birçok proje en kısa sürede tamamlanmaya çalışılmakta ve bu ve buna benzer durumlar firmaları alternatif kazı yöntemleri uygulamaya sevk etmektedir. Örneğin, son yıllarda şehirleşmenin hızla artmasıyla birlikte ulaşım ve alt yapı amaçlı tünellere ihtiyaç artmıştır. Bu tünellerde çoğu zaman delme patlatma yöntemi kullanılmamakta ve ayrıca bu tünellerin hızlı ve güvenli bir şekilde açılması gerekmektedir. Madencilikte ise üretime erken başlamak ve daha az sürede daha fazla üretim yapabilmek için uygulanacak yöntemlerin hızlı olması istenmektedir. Bu nedenle kazı işleminde mekanize yöntemler daha fazla tercih edilir duruma gelmiştir.

Delme patlatma yöntemi ile mekanize kazı arasında farklılıklar vardır. Bu farklılıklar da kazı yönteminin seçilmesinde etkili olmaktadır. Delme-patlatma yöntemi ile mekanize kazı sistemleri arasındaki farka bakıldığında, delme - patlatma yönteminin ilk yatırım maliyeti daha düşüktür ancak bu tek başına yöntem seçimi için belirleyici değildir. Mekanize kazı yönteminde ise birim maliyet tünel uzunluğu arttıkça azalmakta ve klasik yöntemde 2000 metre dolaylarında yaklaşmaktadır [1]. Ayrıca, patlayıcı madde kullanılmadığı için mekanize kazı sistemleri daha güvenilir, daha az işçi gerektiren dolayısıyla daha az işçi maliyeti ve daha düşük iş kazası oranının olduğu bir yöntem niteliğindedir [2]. Patlayıcı madde kullanılmaması aşırı sökülme engellemekte, bu da tahkimat ve havalandırma maliyetlerini azaltmaktadır. Mekanize kazı yönteminin bu avantajlarına karşın delme-patlatma yönteminin her türlü eğimde, boyutta ve virajda uygulanabilen daha esnek bir yöntem olması da bu yöntem için önemli avantajlardır.

Özdemir [3] yaptığı çalışmada, delme-patlatma yöntemi ile yapılan kazı işlemlerinin kaya kütlelerinden çok iri parçaların koparılabilmesine olanak sağlamasından dolayı daha verimli olduğunu belirtmiştir. Ancak aynı çalışmada, delme patlatma yöntemi ile kazıda ilerleme hızının sınırlı oluşu, titreşimlerin açığa çıkması, aşırı sökümden dolayı tahkimat ve emniyet problemlerinin oluşmasının bu yöntemin uygulanışını sınırladığını belirtmiştir. Pakes [1] tarafından yapılan bir çalışmada ise delme patlatma ve mekanize kazı yöntemleri ile yapılan kazı işlemleri maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Bu grafiğe göre, tüm işletme maliyetleri göz önüne alındığında, açılan tünel uzunluğu arttıkça mekanik kazıcıların daha verimli kazı yaptıkları, bu yüzden uzun ve sürekli tünel ya da galeri kazısında tercih edilir oldukları sonucuna varmıştır.

Birçok araştırmacı maden kazılarında delme patlatma yöntemi ile KGAM kullanımını arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Breitrick [4] bir altın madeni için yaptığı çalışmada KGAM kullanımının klasik delme patlatma yöntemine kıyasla üretimi %15 artıracığını bildirmiştir. Bilgin ve diğ. [5] ve Tuncdemir ve diğ. [6] ülkemizde bulunan farklı kromit cevherleri üzerinde kaya kesme deneyleri yaparak, kromit kazısında KGAM' ların performanslarını tahmin etmişlerdir. Yapılan bu tahminler sonucunda KGAM kullanımının kromit üretimini yaklaşık üç kat artıracığı bildirilmiştir. Tuncdemir [7] metalik cevherlerin kazısında KGAM kullanımının kazı hızını 2- 3 kat artıracığını bildirmiştir. Benzer şekilde Çomaklı [8] Niğde ve Kayseri bölgesinde bulunan farklı metalik cevherlerin KGAM ile kazılabilirliğini araştırmış ve bu cevherlerin kazısında KGAM kullanılabilirliğini bildirmiştir.

Tünel kazılarında da mekanize kazı ile delme patlatma yöntemleri karşılaştırılmıştır. İstanbul' da bulunan Kadıköy – Kartal metro tünel projesi kazısında kollu galeri açma makineleri kazı performansı ile klasik delme patlatma yöntemleri ve hidrolik kırıcı performansları karşılaştırılmıştır [9-10]. Yapılan bu karşılaştırma sonucunda KGAM' ların hidrolik kırıcılara oranla formasyon kazısında daha etkili oldukları fakat kesici uç tüketiminin fazla olduğu ve KGAM' ların tünel içerisindeki hareket kabiliyetinin kısıtlı oluşunun bunların kullanımında dezavantaj oluşturduğu belirlenmiştir.

Yapılan önceki çalışmalara bakıldığında gerek madencilik gerekse tünel kazılarında klasik delme patlatma yöntemine alternatif olarak mekanize kazı yöntemlerinin ve özellikle de KGAM kullanılabilirliğinin araştırıldığı görülmektedir. Yeraltı madencilik faaliyetlerinde KGAM' lar genellikle hazırlık galerilerinin açılmasında kullanılmakta olup buna karşın açık işletme madenciliğinde kullanımı pek görülmemektedir. Bununla birlikte Niğde bölgesinde bulunan kalsit ocakları gibi özellikle yerleşim yerlerine yakın bulunan açık işletmelerde mekanize kazıcıların delme patlatma yöntemi yerine kullanılabileceği düşünülmektedir. Ancak mekanize kazı yöntemlerinin kullanımını sınırlandıran bazı parametreler bulunmaktadır. Bu parametreler genel olarak kaya, kaya kütlesi ve makine özelliklerine bağlıdır [11]. Yapılan bu çalışmada Niğde bölgesinde bulunan 2 farklı işletmeye ait 5 farklı ocaktan kalsit numuneleri alınmış ve seçilen bir KGAM' ın bu kayaların kazısında performansı tahmin edilmiştir. Niğde bölgesi kalsitlerini temsil etmesi bakımından özellikle bu iki işletmeye ait ocaklar seçilmiştir. Çünkü bu ocaklardaki kayaç özellikleri kendi aralarında farklılık gösterdiği gibi yakınlarında bulunan farklı işletmelere ait ocaklarla da benzer fiziksel mekanik özelliklere sahiptir.

## NİĞDE BÖLGESİ KALSİTLERİNİN KAZISINDA KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNESİ KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

### 2. MATERYAL VE METOT

#### 2.1. Numune Temini

Bu çalışma kapsamında Niğde bölgesinde bulunan kalsitlerin genelini temsil edebilmesi amacıyla hali hazırda üretimi yapılan kalsitlerden farklı fiziksel – mekanik özelliklere sahip numuneler belirlenmiş ve kazılabilirlik tahminleri tüm numuneler için ayrı ayrı yapılmıştır. Bu kapsamda Niğde bölgesinde faaliyet gösteren Niğtaş Mikronize Kalsit San. ve Tic. Ltd. Şti. ve Ak Kalsit Hammadde San. ve Tic. AŞ. firmalarına ait kalsit ocaklarından numuneler alınmıştır (Şekil 1). Niğtaş Mikronize Kalsit San. ve Tic. Ltd. Şti.’ den alınan numuneler farklı fiziksel mekanik özelliklere sahip olup firmaya ait farklı ocaklardan alınmıştır. Bu numuneler NGT1, NGT2 ve NGT3 olarak kodlanmıştır. Benzer şekilde Ak Kalsit Hammadde San. ve Tic. AŞ. firmasına ait iki farklı ocaktan numune alınmış olup; bu numuneler AK1 ve AK2 olarak kodlanmıştır.



Şekil 1. Kalsit ocağında delme patlatma sonrası oluşan yığından blok numune alımı (NGT-2)

#### 2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları kapsamında kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu kapsamda kayaların yoğunluk (birim hacim ağırlık), tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı ve Schmidt sertlik değerleri belirlenmiştir. KGAM’ ların kesici uç tüketimlerinin hesaplanması için ise Cerchar aşınma indeks deneyleri yapılmıştır.

Numunelerin yoğunluklarının (birim hacim ağırlık), belirlenmesi için öncelikle blok numunelerden silindirik karot numuneler alınmış ve bu numunelerin boy ve çapları belirlenmiştir. Hacimleri hesaplanan bu numunelerin daha sonra hassas terazide ağırlıkları belirlenmiş ve belirlenen hacim ve ağırlık değerleri kullanılarak kayaların doğal yoğunlukları belirlenmiştir [12].

Kayaların tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin belirlenmesi için ise yine silindirik karot numuneler kullanılmıştır. Silindirik numuneler, boy/çap oranı 2,5-3,0 arasında, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz-düz ve herhangi bir kırık ve çatlak içermeyecek şekilde hazırlanmıştır. Deney esnasında yükleme hızı 0,5 – 1,0 MPa/sn arasında olacak şekilde uygulanmıştır [12]. Kayaların tek eksenli basınç dayanımları belirlenirken her bir kayaç numunesi için en az 5 deney yapılmış ve deney sonuçlarının aritmetik ortalaması alınmıştır. Elde edilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri Tablo 1’ de verilmiştir.

Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deneyleri, disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini amacıyla yapılmıştır. Deney çapı 54 mm, kalınlığı 27 – 29 mm karot numuneleri üzerinde yapılmıştır. Örnek, yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında kalacak biçimde deney aletine yerleştirilmiştir. Yükleme ekipmanı olarak nokta yük aleti kullanılmıştır. Numuneler 15-30 saniyede kırılacak bir hızla yüklenmiştir [12]. Deneyde yükleme hızı 200 N/s olarak uygulanmıştır. Deney sonucunda bulunan değerlerin ortalaması Tablo 1’ de verilmiştir.

Kayaların Schmidt yüzey sertlik değerleri belirlenirken Schmidt çekici kullanılmıştır. Bu çekici silindirik kaplı bir kutu içinde bulunan yay, çekici ve çekici kurma düzeneğinden oluşmaktadır. Cihazda bulunan yay vasıtasıyla

R. ÇOMAKLI

kurulan çelik uç kayaç yüzeyi üzerinde zıplatılır ve zıplama mesafesi çekiç üzerindeki kadrandan okunur ve okunan bu değer Schmidt sertlik indeksi değeri olarak tanımlanır. Deneyler blok numuneler üzerinde L tipi çekiç kullanılarak yapılmıştır. Deney standartlarına uygun olarak blok numune üzerinde 10 farklı noktada okuma yapılmış ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Her bir kayaç numunesi için deney beş set olarak tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmış ve Schmidt sertlik değeri olarak kaydedilmiştir [12]. Elde edilen ortalama Schmidt sertlik değerleri Tablo 1’ de verilmiştir.

Kayaçların Cerchar aşınma indeks değerleri hesaplanırken Cerchar deney düzeneği kullanılmıştır. Deneylerde, çekme dayanımı 2000 N/mm<sup>2</sup>, uçları 900 konik şekilli keskinler, Cerchar deney aletine yerleştirilmiş ve sonra bu uçlar ile 70 N’ luk dikey bir kuvvet yardımıyla düzgün olmayan numune yüzeyinde 1 cm’ lik kazıma yapılmıştır. Daha sonra, uçlar çıkarılarak mikroskop altında incelenmiş ve uçlarında meydana gelen aşınma miktarı ölçülmüştür [13]. Her bir kayaç numunesi için en az 5 farklı deney yapılmış olup elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmış ve Cerchar aşınma indeks değeri olarak kaydedilmiştir. Deney sonunda elde edilen değerler Tablo 1’ de verilmiştir.

**Tablo 1.** Laboratuvar deneylerinden elde edilen fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Numune Kodu	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	UCS (MPa)	BTS (MPa)	SHRH	CAI
NGT-1	2,54	32,82	4,22	42,68	1,68
NGT-2	2,63	49,90	5,47	47,52	2,01
NGT-3	2,71	61,91	6,87	53,45	2,29
AK-1	2,63	53,64	6,11	51,63	1,98
AK-2	2,69	60,17	6,28	54,12	2,13

$\gamma$ : Yoğunluk, UCS: Tek eksenli basınç dayanımı, BTS: Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı değeri, SHRH: Schmidt sertlik değeri, CAI: Cerchar aşınma indeks değeri.

### 2.3. Kollu Galeri Açma Makinesi Performans Tahmini

Yapılan bu çalışmada geliştirilen farklı modellerden faydalanılarak KGAM’ ların kalsit kazısındaki performansları tahmin edilmiştir. Birçok araştırmacı tarafından geliştirilen bu ampirik modeller kazılacak formasyonun fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak performans tahmini yapılmasına olanak sağlamaktadır. Kullanılan modeller aşağıdaki şekilde tanımlanmış olup performans tahmini 200 kW kesici kafa gücüne ve 75 ton ağırlığa sahip eksenel tip bir KGAM için yapılmıştır.

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerine bağlı olarak geliştirilen birçok ampirik model bulunmaktadır. Gehring [14] kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarına bağlı olarak sırasıyla eksenel ve transvers tip KGAM’ lar için Eşitlik (1) ve (2)’ yi önermişlerdir. Benzer şekilde yine kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerine bağlı olarak KGAM performans tahmini için Thuro and Plinninger [15] tarafından Eşitlik (3) önerilmiştir. İstanbul’ da metro kazısı sırasında kullanılan KGAM’ ların performansları analiz edilerek Tumaç ve diğ. [16] tarafından Eşitlik (4) önerilmiştir.

$$\text{(Transvers) } ICR = 719 / UCS^{0.78} \quad (1)$$

$$\text{(Eksenel) } ICR = 1739 / UCS^{1.13} \quad (2)$$

$$ICR = 75.7 - 14.3 \ln UCS \quad (3)$$

$$ICR = 109.25 UCS^{-0.72} \quad (4)$$

Burada; ICR; KGAM anlık kazı hızı (m<sup>3</sup>/h), UCS; kayacın tek eksenli basınç dayanımı (MPa).

Bilgin ve diğ. [17,18] kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarının yanında kazılacak formasyona ait RQD (kaya kütle kalite göstergesi) değerini de kullanarak Eşitlik (5) ve (6)’ yi önermiştir. Bu çalışma kapsamında

**NİĞDE BÖLGESİ KALSİTLERİNİN KAZISINDA KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNESİ KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

incelenen ocaklar için RQD değerinin belirtildiği bir rapor veya çalışma bulunmadığından Bilgin ve diğ. [17,18] tarafından önerilen eşitlikler kullanılırken RQD değeri %50 olarak alınmıştır.

$$ICR = 0.28 \times P \times 0.974^{RMCI} \quad (5)$$

$$RMCI = UCS \times (RQD / 100)^{2/3} \quad (6)$$

Burada; ICR; KGAM anlık kazı hızı (m<sup>3</sup>/h), P; KGAM kesici kafa gücü (HP), RMCI; kaya kütle kazılabilirlik indeksi, UCS; kayacın tek eksenli basınç dayanımı (MPa) ve RQD; kaya kütle kalite göstergesi (%).

KGAM performans tahmini için geliştirilen modellerin bazılarında ise kayaç ve kaya kütle özellikleri ile birlikte KGAM teknik özellikleri de kullanılmıştır [19-21]. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerinin yanında Copur ve diğ. [20,21] tarafından evaporitik kayaçların kazısında transvers tip KGAM için geliştirilen eşitlikte KGAM kesici kafa gücü ve ağırlığı (Eşitlik 7 – 8); Balcı [19] tarafından transvers ve eksenel tip KGAM' lar için geliştirilen modelde ise sadece kesici kafa gücü kullanılmıştır (Eşitlik 9 – 10).

$$ICR = 27.511e^{0.0023(RPI)} \quad (7)$$

$$RPI = P \times W / UCS \quad (8)$$

$$(Transvers) ICR = k \times (P / 0.37 \times UCS^{0.86}) \quad (9)$$

$$(Eksenel) ICR = k \times (P / 0.41 \times UCS^{0.67}) \quad (10)$$

Burada; ICR; KGAM anlık kazı hızı (m<sup>3</sup>/h), RPI; KGAM kazı indeksi, P; KGAM kesici kafa gücü (kW), UCS; kayacın tek eksenli basınç dayanımı (MPa), W; KGAM ağırlığı (ton), k; enerji transvers oranı (eksenel tip için 0,45 ve transvers tip için 0.55).

Geliştirilen bu modeller kullanılarak kalsit kazısı için KGAM performans tahmini yapılmış olup elde edilen veriler Tablo 2' de verilmiştir. Hesaplamalar yapılırken modellerden elde edilen değerler arasında daha doğru bir değerlendirme yapılabilmesi için sonuçlar 200 kW kesici kafa gücüne sahip bir KGAM için normalize edilmiştir.

#### 2.4. Kollu Galeri Açma Makinesi Kesici Uç Tüketimi Tahmini

Mekanize kazı yöntemlerinde kesici uç tüketimi ve maliyeti, projenin / işletmenin maliyeti açısından oldukça önemlidir. Bu sebepten dolayı KGAM kullanımına karar verilmesi esnasında kesici uç tüketiminin önceden hesaplanabilmesi oldukça önemlidir. Birçok araştırmacı tarafından KGAM' ların kesici uç tüketimi tahmini için farklı modeller önerilmiş olup bu modellerde en önemli parametre Cerchar aşınma index (CAI) değeri olmuştur. Johnson ve Fowell [22] ve Özdemir [23] kayaçların CAI değerlerini kullanarak kesici uç tüketiminin tahmini için sırasıyla Eşitlik 11 – 12' yi önermişlerdir.

$$CC = 0.125CAI - 0.07 \quad (11)$$

$$CCI = K_1 \cdot K_2 \cdot (CAI / 4) \quad (12)$$

Burada; CC; kesici uç tüketimi (keski/m<sup>3</sup>), CAI; Cerchar aşınma index değeri, K<sub>1</sub>; kesici kafa dönüş hızına bağlı olarak değişen katsayı (1-1,2 arasında değişmektedir), K<sub>2</sub>; su püskürtme durumuna bağlı olarak 1 – 0,85 arasında değişen katsayı (su kullanımında 0,85 alınabilir).

Copur [20-21] tarafından önerilen modelde ise CAI değeri ile birlikte kesici kafa gücü ve çapı ile KGAM ağırlığı da hesaplama dâhil edilmiştir (Eşitlik 13 – 14).

$$BCR = 897.06(CCI)^2 + 6.1769(CCI) \quad (13)$$

$$CCI = UCS / (P.W.CHD) \quad (14)$$

## R. ÇOMAKLI

Burada; BCR; keski tüketim oranı (keski/m<sup>3</sup>), CCI; KGAM keski tüketim indeksi (MPa/(kW × tons × m)), UCS; kayaç tek eksenli basınç dayanımı (MPa), P; kesici kafa gücü (kW), CHD; kesici kafa çapı (m), W KGAM ağırlığı (ton).

Niğde bölgesi kalsitlerinin kazılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada da kayaçların Cerchar aşınma değerleri belirlenmiş olup önceki çalışmalardan elde edilen yukarıdaki eşitlikler kullanılarak kalsit kazısında kesici uç tüketimi tahmini yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3' te verilmiştir.

**Tablo 2.** Kalsit kazısında farklı modeller kullanılarak elde edilen KGAM performans tahmin sonuçları (m<sup>3</sup>/saat)

Numune Kodu	Gehring (1989) (Transvers)	Gehring (1989) (Eksenel)	Bilgin (1990)	Çopur vd. (1997,1998)	Thuro ve Plinninger (1999)	Balcı (2004) (Transvers)	Balcı (2004) (Eksenel)	Tumac (2007)
NGT-1	37,78	29,27	43,53	78,71	39,06	10,74	21,17	8,85
NGT-2	27,25	18,23	32,78	54,93	29,98	7,49	15,99	6,54
NGT-3	23,03	14,29	26,86	48,03	25,31	6,22	13,83	5,60
AK-1	25,75	16,80	30,81	52,34	28,41	7,04	15,23	6,21
AK-2	23,55	14,75	27,65	48,81	25,92	6,38	14,10	5,72

**Tablo 3.** Kalsit kazısında farklı modeller kullanılarak tahmin edilen kesici uç tüketim değerleri (keski/m<sup>3</sup>)

Numune Kodu	Johnson ve Fowell (1986)	Özdemir (1998)	Çopur vd. (1997, 1998)
NGT-1	0,140	0,357	0,002
NGT-2	0,181	0,427	0,003
NGT-3	0,216	0,487	0,003
AK-1	0,178	0,421	0,003
AK-2	0,196	0,453	0,003

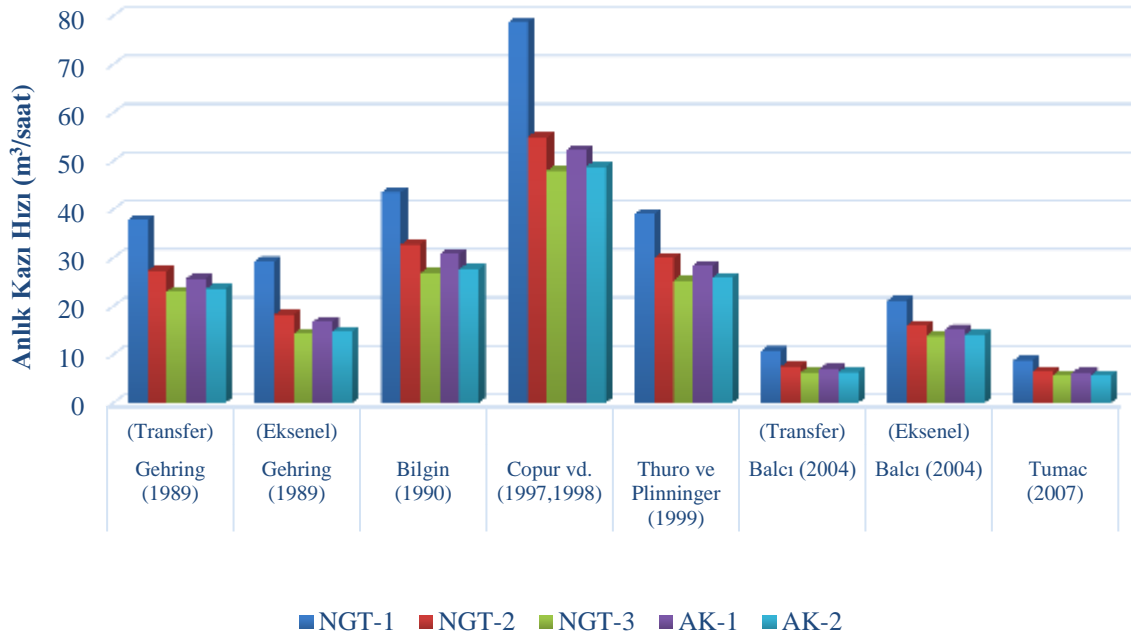
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Beş farklı kalsit numunesi için KGAM kazı performansı ve kesici uç tüketim miktarları hesaplanmıştır. Sekiz farklı model kullanılarak yapılan performans tahmin değerlendirmesinden elde edilen sonuçların toplu gösterimi Şekil 2' de verilmiştir. İlgili şekilde görüldüğü gibi KGAM kazı performansı ile kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerleri arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Tüm modellere bakıldığında en düşük UCS değerine sahip NGT-1 kodlu kalsit numunesinin kazısında en yüksek kazı hızı elde edilebilmektedir. Ancak bölgede bulunan kalsitlerin sadece az bir oranının 30 MPa UCS değerine yakın değerlerde olduğunu belirtmek gerekmektedir. Tablo 1' de verilen UCS değerlerine bakıldığında bölgedeki kalsitlerin daha çok 50 – 60 MPa aralığında UCS değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu değer aralığındaki kalsitlerin kazısında KGAM performans tahmin sonuçlarının daha gerçekçi değerler vereceği düşünülerek Şekil 3' te verilen grafik oluşturulmuştur.

Şekil 3' te verilen grafikte UCS değeri yaklaşık 50 – 60 MPa aralığında olan ve Tablo 1' de verilen NGT – 1 dışındaki dört farklı numuneye ait KGAM net kazı hızlarının ortalama değerleri alınmıştır. Elde edilen değerlere bakıldığında bölgedeki kalsitlerin kazısı için en yüksek KGAM kazı hızı Copur ve diğ. [20-21] tarafından verilen modelden elde edilmiştir. Ancak, genel olarak bakıldığında KGAM kazı hızının 30 m<sup>3</sup>/saat değerinden az olacağı tahmin edilmiştir. Ayrıca Balcı [19] ve Tumac [16] tarafından önerilen modellere göre de anlık kazı hızı değerinin daha düşük değerlerde olacağı tahmin edilmektedir.

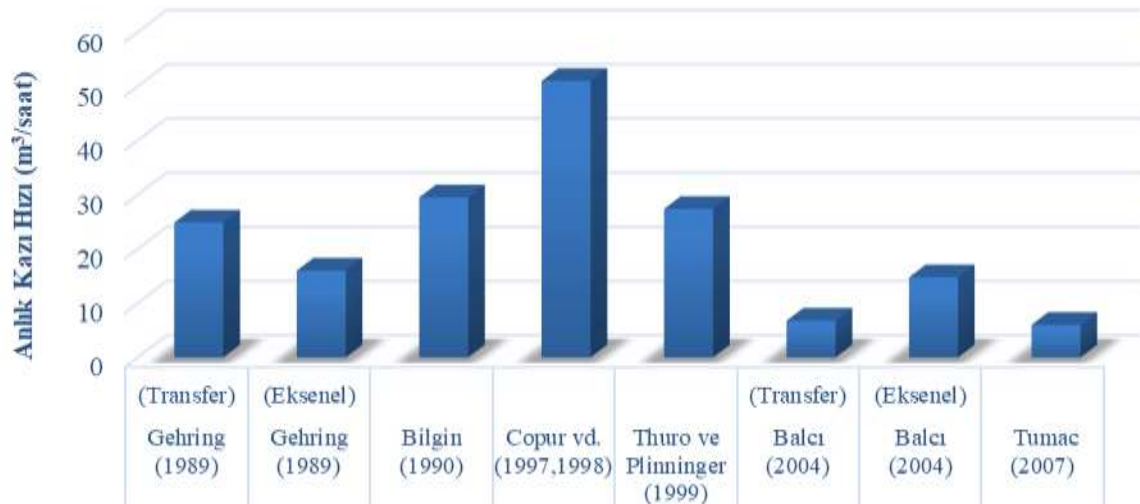
Önerilen tüm modellere bakıldığında kayaç ve KGAM teknik özelliklerinin kazı performansında etkili olduğu görülmektedir. Ancak, modellerin genelinde sadece kayaçların UCS değerleri performans tahmininde kullanılmışken Bilgin tarafından önerilen modelde UCS değerine ek olarak kaya kütlesine ait RQD değeri de modele dâhil edilmiştir. Niğde bölgesinde yer alan kalsit ocaklarının kırıklı - çatlaklı ve tabakalı yapılara sahip olmalarından dolayı kazılabilirliğinin daha kolay olacağı ve Bilgin tarafından önerilen modelin bölgeye daha uygun olduğu düşünülmektedir. Ayrıca Gehring [14] ve Thuro ve Plinninger [15] tarafından önerilen modellerin de daha yaygın kullanıma sahip modeller olmasından dolayı bölgedeki kalsitlerin kazısında kullanılacak KGAM' ların kazı hızının yaklaşık 25-30 m<sup>3</sup>/saat olacağı düşünülmektedir.

**NİĞDE BÖLGESİ KALSİTLERİNİN KAZISINDA KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNESİ KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**



**Şekil 2.** Kalsit kazısında farklı sayısal modeller kullanılarak tahmin edilen KGAM kazı performansları

Bunun yanında KGAM' ların kullanımında çalışılacak bölgenin eğimli veya su sorunu olması da KGAM performansını olumsuz etkileyebilmektedir [17]. Bölgedeki kalsit ocaklarında su sorununun olmaması ve düşük eğimlerde çalışacak olması da KGAM kullanımı için bir avantaj olarak değerlendirilebilir. Kahraman and Kahraman [24] tarafından yapılan çalışmada kazılacak formasyonun killi yapıya sahip olmasının da KGAM performansını olumsuz etkileyeceği belirtilmiştir. Kalsit kazısında ise kil sorunu bulunmadığı için KGAM performansı olumsuz etkilenmeyecektir.

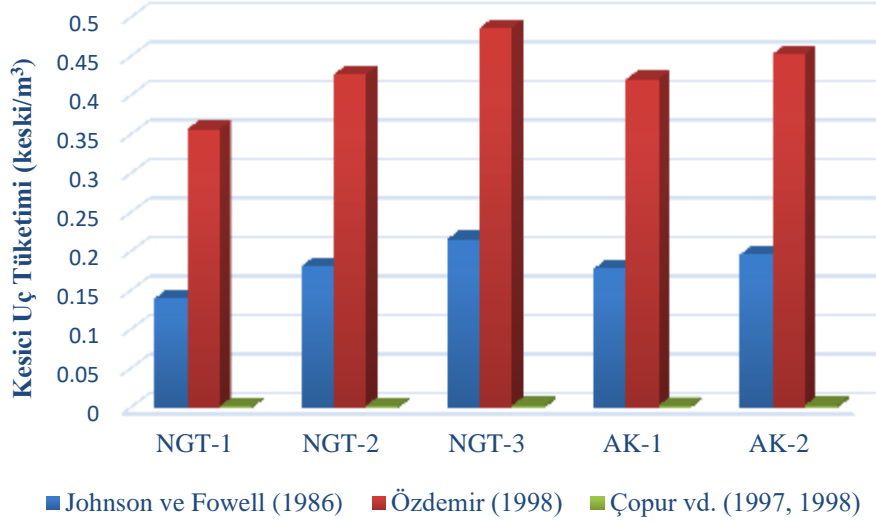


**Şekil 3.** Kalsit kazısında farklı modellere ait ortalama KGAM kazı performansları (NGT1 hariç)

Mekanize kazı yöntemlerinin uygulanabilirliğinde en önemli parametrelerden birisi de kesici uç tüketiminin ekonomik değerler içerisinde olmasıdır. Kalsit kazısında KGAM kullanımının araştırıldığı bu çalışmada ayrıca KGAM kesici uç tüketimi değeri de teorik modeller kullanılarak tahmin edilmiştir. Laboratuvar deneylerinden elde edilen ve Tablo 1' de verilen CAI değerlerine bakıldığında bölgeden alınan kalsit numunelerinin CAI değerleri 1,68 ile 2,29 arasında değişmektedir. Bu değerler kullanılarak 3 farklı model kullanılarak yapılan kesici uç tüketimi hesaplarına göre en yüksek kesici uç tüketimi değeri Özdemir tarafından önerilen modelden elde edilmiştir. Bu modelden elde edilen maksimum değerlere bakıldığında KGAM kullanılarak kalsit kazısı

R. ÇOMAKLI

yapıldığında kesici uç tüketimi  $0,5 \text{ keski/m}^3$ ' ten daha az olarak hesaplanmıştır. Yapılan önceki çalışmalarda araştırmacılar herhangi bir kayaç kazısında KGAM kullanımında kesici uç tüketiminin maksimum  $0,5 \text{ keski/m}^3$  olması gerektiğini, aksi halde KGAM kullanımının ekonomik olmayacağını bildirmişlerdir [21]. Bu kapsamda düşünüldüğünde kalsit kazısında KGAM kullanımı esnasında kesici uç tüketiminin ekonomik sınırlar içerisinde olduğu söylenebilir.



Şekil 4. Kalsit kazısında farklı sayısal modeller kullanılarak tahmin edilen KGAM kesici uç tüketimi

#### 4. SONUÇLAR

Niğde bölgesi kalsitlerinin kazısında KGAM kullanımının araştırıldığı bu çalışmada bölgede faaliyet gösteren iki farklı firmaya ait beş farklı üretim sahasından numuneler alınmıştır. Alınan örnekler üzerinde laboratuvarda fiziksel ve mekanik testlerin yanı sıra, Cerchar aşınma testleri yapılmıştır. Elde edilen laboratuvar deney sonuçları kullanılarak farklı araştırmacılar tarafından önerilen KGAM kazı performans tahmin modellerine göre hesaplamalar yapılmıştır. Bu şekilde kalsit kazısı için KGAM kazı performansı teorik olarak tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında bölgedeki kalsitlerin kazısında kullanılacak 200 kW kesici kafa gücüne ve 75 ton ağırlığa sahip bir KGAM için anlık kazı hızının yaklaşık  $25 \text{ m}^3/\text{saat}$  ( $65 \text{ ton/saat}$ ) olacağı tahmin edilmektedir. Ancak bu kazı hızının kalsit kazısı için ekonomik olup olmayacağı işletmelerde hali hazırda kullanılan delme patlatma yönteminin maliyet analizinin yapılmasıyla mümkün olacaktır. Şöyle ki; delme patlatma yöntemi için yapılacak maliyet analizi KGAM kullanımı maliyetiyle kıyaslanıp ona göre bir değerlendirme yapılabilir. Bunun yanında firmaların saatlik üretim kapasitesi elde edilecek kazılan malzeme miktarından fazla ise birden çok KGAM kullanılarak bu durum çözülebilecektir. Ayrıca daha yüksek üretim kapasitesine sahip continuous miner kullanımı da yine mekanize kazı yöntemi olarak düşünülebilir.

KGAM kullanımında maliyeti artıracak en önemli parametrelerden birisi de hiç şüphe yok ki kesici uç tüketim maliyeti olacaktır. Kalsit kazısı için farklı araştırmacılar tarafından önerilen modeller kullanılarak yapılan kesici uç tüketimi tahminlerinde bu maliyetin ekonomik sınırlar içerisinde kalacağı değerlendirilmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] PAKES, G., "Selection of Methods", World Tunneling, 4, 9, November, 1991.
- [2] ESKİKAYA, Ş., "Ereğli Kömür İşletmesi Kozlu ve Armutçuk Bölgelerinde Hazırlık Galerilerinin Galeri Açma Makinaları ile Açılması ve En Uygun Makina Tiplerinin Tespiti, TÜBİTAK Projesi, Proje No: 542, 1981.
- [3] ÖZDEMİR, L., (Çeviren : Prof. Dr. Ş. Eskikaya), "Sert Kayaç Madenciliği Mekanik Kazı Teknolojisinde Son Gelişmeler", İTÜ Maden Fakültesi Tünel ve Galeri Açma Meslek içi Semineri, 1994.



*NİĞDE BÖLGESİ KALSİTLERİNİN KAZISINDA KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNESİ  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI*

- [4] BREITRICK. M.E., “Using a Roadheader for Underground Gold Mining” Mining Engineering, 43-46, March, 1998.
- [5] BİLGİN, N., ÇOPUR, H., BALCI, C., TUNÇDEMİR, H., TUMAÇ, D., FERİDUNOĞLU, C., “Selection of a mechanical mining system for an underground chromite mine”, in: Int. Symp. Mine Plann. Equip. Selection. Banff Alberta Canada, pp. 120–144, 2005.
- [6] TUNÇDEMİR, H., COPUR, H., FERIDUNOGLU, C., BILGIN, N., “Possibility of Using Mechanical Miners in Underground Chromite Mines’ Ore Productions and Two Different Examples”, 18th Int. Mining Congress, 135–141, 2003.
- [7] TUNÇDEMİR, H., “Investigation into Application of Boom Type Machines for Mineral Excavations”, PhD Thesis. Istanbul Technical University, 2002.
- [8] COMAKLI, R., KAHRAMAN, S., BALCI, C., “Performance Prediction of Roadheaders in Metallic Ore Excavation” Tunneling and Underground Space Technology 40, 38–45, 2014.
- [9] OCAK, İ., “Comparison of Machine Utilization Time and Performance for Roadheader and Impact Hammer in Kadikoy – Kartal Metro Tunnels (Istanbul)”, 8th International Scientific Conference, Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection. Varna–Bulgaria, 269–276, 2008.
- [10] OCAK, İ., BILGIN, N., “Comparative Studies on the Performance of a Roadheader, Impact Hammer and Drilling and Blasting Method in the Excavation of Metro Station Tunnels in Istanbul”, Tunnelling and Underground Space Technology 25, 181–187, 2010.
- [11] ROSTAMI, J., OZDEMIR, L., NEIL, D.M., “Performance Prediction: a Key Issue in Mechanical Hard Rock Mining”, Min. Eng. 1263–1267, 1994.
- [12] ULUSAY, R., HUDSON, J.A. (EDS.), “The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring”, ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 2007.
- [13] ALBER, M., YARALI, O., DAHL, F., BRULAND, A., KASLING, H., MICHALAKOPOULOS, T.N., CARDU, M., HAGAN, P., AYDIN, H., OZARSLAN, A., “ISRM Suggested Method for Determining the Abrasivity of Rock by the Cerchar Abrasivity Test” Rock Mechanics and Rock Engineering, 47, 261–266, 2014.
- [14] GEHRING, K.H., “A Cutting Comparison”, Tunnels Tunnell., 27–30, 1989.
- [15] THURO, K., PLINNINGER, R.J., “Roadheader Excavation Performance – Geological and Geotechnical Influences”, in: The 9th ISRM Congress, Theme 3: Rock Dynamics and Tectonophysics/Rock Cutting and Drilling. Paris, p. 1241–1244, 1999.
- [16] TUMAC, D., BILGIN, N., FERIDUNOGLU, C., ERGIN, H., “Estimation of Rock Cuttability From Shore Hardness and Compressive Strength Properties”, Rock Mech Rock Eng. 40, 477–490, 2007.
- [17] BILGIN, N., DINCER, T., COPUR, H., ERDOGAN, M., “Some Geological and Geotechnical Factors Affecting the Performance of a Roadheader in an Inclined Tunnel”, Tunnelling and Underground Space Technology, 19, 629–636, 2004.
- [18] BILGIN, N., SEYREK, T., ERDING, E., SHAHRIAR, K., “Roadheaders Glean Valuable Tips for Istanbul Metro”, Tunnels and Tunnelling International, 22, 29–32, 1990.
- [19] BALCI, C., DEMIRCIN, M.A., COPUR, H., TUNÇDEMİR, H., “Estimation of Optimum Specific Energy Based on Rock Properties for Assessment of Roadheader Performance”, Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy 104, 633–641, 2004.
- [20] COPUR, H., OZDEMIR, L., ROSTAMI, J., “Roadheader Applications in Mining and Tunneling”, Mining Engineering, 1998.
- [21] COPUR, H., ROSTAMI, J., OZDEMIR, L., BILGIN, N., “Studies on Performance Prediction of Roadheaders”, in: Proceedings of the 4th International Symposium on Mine Mechanization and Automation. Brisbane, Queensland, Australia, p. 4A1–4A7, 1997.
- [22] JOHNSON, S.T., FOWELL, R.J., “Compressive Strength is not Enough: Assessing Pick Wear Rates for Drag Tool Equipped Machines”, in: Hartman, H.L. (Ed.), 27th US Rock Mech. Symp. Tuscazoosa, AL. AIME, New York, pp. 840–845, 1986.
- [23] OZDEMIR, L., “Mechanical Tunneling, Raise Boring and Shaft Drilling”, Short Course. Golden, Colorado, 1998.
- [24] KAHRAMAN, E., KAHRAMAN, S., “The Performance Prediction of Roadheaders from Easy Testing Methods”, Bulletin of Engineering Geology and the Environment 75, 1585–1596, 2016.