



Teknik Not / Technical Note

## ÜÇ KONİLİ ROTARİ MATKAPLARIN SEÇİMİNDE DİKKAT EDİLECEK ÖNEMLİ PARAMETRELER

### CRUCIAL PARAMETERS TO BE CONSIDERED FOR SELECTION OF ROTARY TRICONE BITS

Ömür Acaroğlu<sup>a,\*</sup>, Selma Ünlü<sup>b,\*\*</sup>, Burcu Hasipek<sup>c,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

<sup>b</sup> ETİMADEN Bor İşletmeleri, Kütahya, TÜRKİYE

<sup>c</sup> TKİ Garp Linyitleri İşletmeleri, Kütahya, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 19 Şubat / February 2020  
**Kabul Tarihi / Accepted** : 29 Eylül / September 2020

#### Keywords:

Üç konili rotari matkaplar,  
 Rotari delme yöntemi,  
 IADC,  
 Delme hızı,  
 Matkap aşınması,  
 Delme işlemi maliyeti.

#### ÖZ

Açık ocak madenciliği delme patlatma işlerinde yaygın olarak kullanılan matkap türlerinden biri de üç konili matkaplardır. Her ne kadar bu matkapların seçiminde genellikle IADC kodları kullanılsa da matkapların delme hızı ve dayanımına birçok parametre etki etmektedir. Günümüzde niteliksiz ürünlerin yaygınlaşmasından dolayı kullanıcılar matkap ömrünü artırmak için yüksek IADC kodlarında seçim yapma eğilimindedir. Bu ise delme hızını düşürmekte ve delme maliyetini artırmaktadır. Matkap seçiminde; öncelikle matkabın üretim aşamasında doğru malzeme kullanılmış ve uygun metalurjik süreçlerden geçmiş olmasına ayrıca matkap tasarımının formasyon şartlarına uygun olup olmadığına dikkat edilmesi gerekmektedir. Kullanım aşamasında ise verimliliği artırmak için baskı kuvveti ve dönme hızı gibi çalışma parametrelerine ait değerler formasyon özelliklerine göre belirlenmelidir. Matkap seçiminde sadece matkap maliyeti değil, bütün olarak delme işlemi maliyeti dikkate alınmalıdır.

#### ABSTRACT

#### Anahtar sözcükler:

Tricone bits,  
 Rotary drilling method,  
 IADC,  
 Drilling rate,  
 Bit wear,  
 Cost of drilling operation.

Tricone bit is the most common used type of rotary drilling bits in surface mining. Even though IADC is usually used to select these bits, there are many parameters which affect drilling rate and durability of them. Users have tendency to select bits with higher IADC codes, since unqualified productions are becoming widespread in these days. This causes decreasing drilling rates and increasing costs. Firstly, a bit should be produced with right materials and proper metallurgical processes. Design parameters are also important to be appropriate for the formation drilled. In order to increase performance of selected bit, value of working parameters such as feed force and rotary speed should be defined according to formation properties during the operation. Users should consider not only bit cost but also cost of all drilling operation when they select proper bit.

\* Sorumlu yazar / Corresponding author : acaroglu@itu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-4634-3853>

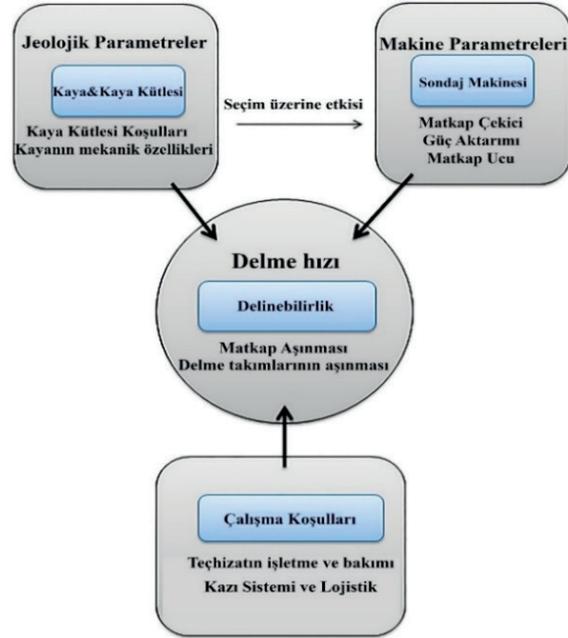
\*\*selmaunlu@etimaden.gov.tr • <https://orcid.org/0000-0003-4623-1181>

\*\*\*hasipekb@tki.gov.tr • <https://orcid.org/0000-0002-8174-7362>

## GİRİŞ

Delme patlatma işlemleri maden ve inşaat sektöründe arama, hazırlık ve üretim aşamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Delme yöntemleri rotari (döner) ve rotari darbeli olmak üzere genel olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Darbeli delme yöntemleri patlatma deliklerinde 1949 yılına kadar yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Petrol üretiminde kullanılan üç konili matkaplar, bu tarihten itibaren rulmanlarından basınçlı havanın geçirilmesiyle birlikte patlatma delikleri açma işleminde de kullanılmaya başlanmıştır. Rotari delicilerde üç konili matkapların yanında açık ocak madencilğinde daha etkili patlayıcıların kullanılmaya başlanmasıyla birlikte yüksek üretimler söz konusu olmaya başlamıştır (Jimeno ve Carcedo, 1995; Ersoy, 2008).

Günümüzde üç konili matkaplar rotari delme yönteminde en yaygın kullanılan matkaplardır. Yapılan çalışmalar genel olarak delme hızı, enerji ihtiyacı ve dayanım gibi performans parametreleriyle ilgilidir ve delinebilirliğe etki eden birçok parametre vardır. Şekil 1’de gösterildiği gibi bunlar, kayaçların mekanik ve kütsel özellikleri, matkap ile makina özellikleri ve çalışma koşulları şeklinde üç ana başlık altında sınıflandırılabilir



Şekil 1. Delinebilirliğe etki eden parametreler (Thuro ve Spaun, 1996)

(Thuro ve Spaun, 1996). Delme hızının tahmin edilmesi, projelerin zamanında tamamlanması ve maliyetlerinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Matkapların dayanımını ise kayaçların dayanımı, özellikle kuvars vb. aşındırıcı minerallerin oranı ile uygulanan devir sayısı ve baskı kuvveti gibi işletim parametrelerinden etkilenmektedir (Jimeno ve Carcedo, 1995; Ersoy, 2008; Thuro ve Spaun, 1996).

Kayaçların delinebilirliği ve rotari sondaj makinelerinin performans parametrelerinin tahminiyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Yapılan bir laboratuvar çalışmasında, delme hızının geçirimsiz dolomit kayaçlarına uygulanan baskı kuvveti ve dönme gücüyle birlikte arttığı tespit edilmiştir (Rowley vd., 1961). Başka bir çalışmada delme işlemlerindeki sorunların doğru tahminlerle çözülebileceği belirtilip, sert formasyonlarda delme işlemi söz konusu olduğunda kayaçların aşındırıcılık özelliklerinin belirleyici etken olduğu vurgulanmış ve belirli kayaç koşulları için delme hızı ve matkap aşınması tahmini yapılmıştır (Thuro, 1997). Delicilerin performansını önceden tahmin edebilmek için, çeşitli arazilerden alınan örneklerin tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanımı, darbe dayanımı ve Schmidt çekici dayanımı değerleri ile delici performans parametreleri arasındaki bağıntılar çok katlı regresyon analizi ile bulunmuştur (Kahraman, 1997b). Geniş kapsamlı bir laboratuvar çalışmasında ise birçok kayaç türünün ayrıntılı fiziksel ve mekanik özellikleri verilerek bu özelliklerin delme performansına etkileri belirlenmiştir (Rao vd., 2002). Delinebilirlik ile kayaçların kırılma parametreleri arasındaki bağıntının araştırıldığı bir çalışmada ise kırılma ile ilgili iki ayrı formül üzerinden yorum yapılmış ve sonuç olarak kayaçların basınç ve indirekt çekme dayanımı toplamalarının yarısını ifade eden kırılma değerinin daha iyi sonuç verdiği ifade edilmiştir (Altındağ, 2002). Hong Kong'taki bir çalışmada jeoteknik bilgiler, mühendislik uygulamaları ve sondaj verileri kullanılarak kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenebileceği ifade edilmiştir (Yue vd., 2003). Kesme ve delme deneylerinin yapıldığı bir çalışmada elde edilen spesifik enerji değerleri ile bir model kurulmaya çalışılmış ve bu değerlerin kırılma ile ilişkisi araştırılmıştır (Atıcı ve Ersoy,

2008). Bir çalışmada ise delme maliyetlerin azaltılması için doğru matkap seçiminin önemini vurgulanmış, farklı IADC kodlarında matkaplar kullanılarak matkap modellemesi yapılmış ve ilerleme hızları tahmin edilmeye çalışılmıştır (Hareland vd., 2010). Delinebilirlik indeksi ile kayaların kırılabilirlik parametreleri arasındaki ilişkinin araştırıldığı bir çalışmada, 32 farklı kayaç örneğinin tek eksenli basınç dayanımı ve çekme dayanımı değerlerinden kırılabilirlik değeri hesaplanmış ve Siever's minyatür delme modelinden elde edilen değerlerle kayaların basınç ve indirekt çekme dayanımı toplamlarının yarısını ifade eden kırılabilirlik değerinin en yüksek ilişkiyi verdiği belirlenmiştir (Yaralı ve Kahraman, 2010). Bir bakır madeninde kayaların tek eksenli basınç dayanımı,  $d_{30}$ , Schmidt çekici dayanımı ve pirit miktarı belirlenmiş ve bunların spesifik kayaç delinebilirliği değerleriyle ilişkisi araştırılmıştır. Ayrıca bu çalışmada matkap çapı ve şeklinin spesifik kayaç delinebilirliği değerine etki etmediği belirtilmiştir (Alireza vd., 2012). TKİ Orhaneli Kömür İşletmeleri'nde üç farklı matkap üreticisine ait aynı matkap tipi ile delme hızı ölçümleri ve matkapların aşınmaları takip edilmiştir. Bu çalışmada teorik veya amprik modellerin kullanılmasının yanı sıra matkapların yerinde denenip karşılaştırılmasının daha doğru sonuç verebileceği ifade edilmiştir (Bulut ve Acaroglu, 2014). Yatay ve dikey yönde delme hızıyla ilgili olan bir çalışma mermer ocaklarında gerçekleştirilmiştir. Delme hızına etki eden faktörler ve kayaların tek eksenli basınç dayanımı, darbe dayanımı, kırılabilirlik indeksi ve P-dalga hızı değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin dikey delme işlemiyle daha alakalı olduğu gözlemlenmiştir (Demirdağ vd., 2014). Matkapların ilerleme hızı, aşınma ve spesifik enerji değerleri Nijerya'daki beş farklı gnays ve kireçtaşı örneğinde ölçülmüş ve bu parametrelerin delme şartlarını ve performansını etkileyen en önemli parametreler olduğu belirtilmiştir (Babatunde ve Ademola, 2014). Bir açık ocak demir madeninin on bir farklı zonu kayaç delinebilirlik indeksine göre sınıflandırmaya çalışılmış, kaya kütlelerinin yapısal parametreleri ve sondaj deliklerine ait net delme süreleri kaydedilmiş ve ocaktan alınan kayaç örneklerine laboratuvar deneyleri uygulanmıştır. Çalışılan maden alanının altı zonu

kayaç delinebilirlik indeksine göre sınıflandırılmış ve yeni bir ilerleme hızı modeli bulunarak önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır (Ataei vd., 2014).

## 1. ÜÇ KONİKLİ ROTARİ DELİCİ MATKAPLAR

Üç konilli matkaplar çelik dişli ve tungsten karbid dişli olmak üzere ikiye ayrılırlar. Çelik matkaplarda dişler konik kafaların makinadan geçirilmesiyle üretilirken, tungsten karbid dişli matkaplarda dişler sonradan konik kafalara yerleştirilirler ve bu nedenle insert matkaplar olarak da adlandırılırlar. Benzer çalışma koşullarında insert matkaplar çelik matkaplardan 3 ile 9 kat daha yüksek performansa sahiptirler.

Şekil 2'de üç konilli matkabı oluşturan ana parçalar ve isimleri gösterilmiştir. Üç konilli matkaplar, farklı amaçlı delme işlerine göre özellikle yatak tipleri açısından değişik tasarımlara sahip olabilirler. Genellikle açık ocak patlatma deliklerinde rulmanları hava soğutmalı tipler kullanılmaktadır. Şekil 3'te gösterilen hava soğutmalı nozullu (jet) matkaplarda basınçlı havanın en az %30'u rulmanlara gönderilerek gerekli soğutma sağlanmaktadır (Gokhale, 2011).



Şekil 2. Üç konilli matkabı oluşturan parçalar (Gokhale, 2011)



Şekil 3. Hava soğutmalı üç konili matkapların yapısı (Gokhale, 2011)

Çizelge 1. Formasyon sertliği

| Sayı | Açıklama (Matkap tipi ve formasyon)                   |
|------|---|
| 1    | Yumuşak formasyonlar için çelik dişli matkap          |
| 2    | Orta sertlikte formasyonlar için çelik dişli matkap   |
| 3    | Sert formasyonlar için çelik dişli matkap             |
| 4    | Yumuşak formasyonlar için tungsten karbid matkap      |
| 5    | Orta yumuşak formasyonlar için tungsten karbid matkap |
| 6    | Orta formasyonlar için tungsten karbid matkap         |
| 7    | Orta sert formasyonlar için tungsten karbid matkap    |
| 8    | Sert formasyonlar için tungsten karbitli matkap       |

İnsert ve çelik dişli üç konili matkaplar aynı tasarım parametrelerine sahip olup, bunlar uluslararası sondaj üreticileri birliği tarafından belirlenen

ve IADC olarak adlandırılan 4 haneli kodlarla tanımlanmaktadır. İlk ve ikinci haneler Çizelge 1'de 1'den 8'e kadar ve Çizelge 2'de 1'den 4'e kadar gösterilen rakamlardan oluşmakta ve formasyon sertliğini ifade etmektedir. Üçüncü hane Çizelge 3'de gösterilen rakamlarla ifade edilen yatak tipini, Çizelge 4'de gösterilen ve harfle ifade edilen son hane ise matkabın spesifik özelliklerini göstermektedir (McGehee vd., 1992).

Çizelge 2. Formasyon sertliği

| Sayı | Açıklama (İleri formasyon ayarlamaları) |
|------|---|
| 1    | Yumuşak formasyonlar                    |
| 2    | Orta sertlikte formasyonlar             |
| 3    | Sert formasyonlar                       |
| 4    | Çok sert formasyonlar                   |

Çizelge 3. Yatak tipi

| Sayı | Açıklama (Yatak/Gövde koruması tipi)       |
|------|--|
| 1    | Standart açık                              |
| 2    | Hava soğutmalı standart açık               |
| 3    | Tungsten karbid korumalı standart açık     |
| 4    | Sızdırmaz rulman                           |
| 5    | Tungsten karbid eklentili sızdırmaz rulman |
| 6    | Sızdırmaz journal (mil)                    |
| 7    | Tungsten karbid eklentili sızdırmaz rulman |

Çizelge 4. Matkabın spesifik özellikleri

| Harf | Açıklama                          |
|------|-----------------------------------|
| A    | Havalı sondaj                     |
| R    | Özel sızdırmazlık elemanı         |
| C    | Merkezi nozul                     |
| S    | Standart çelik dişli matkap       |
| D    | Sapma kontrolü                    |
| E    | Uzatılmış nozullar                |
| G    | Yanak ve gövde koruması           |
| Z    | Diğer şekilli tungsten karbid diş |
| J    | Saptırma jeti                     |

Üç konili matkaplar düşük devirde yüksek baskı kuvvetiyle dolayısıyla yüksek torklarda çalışan

matkaplardır. Eşitlik 1-3' belirli bir formasyona uygulanacak maksimum, minimum ve optimum baskı kuvvetini Eşitlik 4 ise bir matkapın kaldırabileceği yükü vermektedir. Çizelge 5'te gösterilen devir hızı (RPM) değerleri ise formasyonun sertliğine ve matkap çapına göre değişmektedir (Jimeno ve Carcedo, 1995).

$$E_{min} = 5.1 * G_C * D \quad (1)$$

$$E_{max} = 2 * E_{min} \quad (2)$$

$$E_{ort} = (E_{max} + E_{min}) / 2 \quad (3)$$

$$E_{Limit} = 57 * D^2 \quad (4)$$

$G_C$  = Kayacın basınç dayanımı (MPa)

$D$  = Üç konili matkap çapı (cm)

$E_{min}$  = Uygulanması gereken minimum baskı kuvveti (kg)

$E_{max}$  = Uygulanması gereken maksimum baskı kuvveti (kg)

$E_{ort}$  = Uygulanması gereken ortalama baskı kuvveti (kg)

$E_{limit}$  = Uygulanması gereken limit baskı kuvveti (kg)

Çizelge 5. Matkap RPM değerleri

| Kayaç Tipi | Devir Hızı (RPM)<br>(devir/dak) |
|------------|---------------------------------|
| Yumuşak    | 75-160                          |
| Orta       | 60-80                           |
| Sert       | 35-70                           |

Üç konili matkaplarda çelik ve insert diş tasarımları da delme verimliliğini etkilemektedir. Çelik uçlu matkaplarda bir dişin kenar açıları küçüldükçe yükseliği artar ve yumuşak formasyonlarda uzun dişler körelmeden uzun süre iri parçalar halinde delme sağlarlar. Daha sert kayaçlar için dişlerin yükseklik ve kenar açılarının hızlı aşınmalarını önlemek için azaltılması gerekmektedir. Aynı şekilde insert dişli matkaplardaki insertler de Şekil 4'te gösterildiği gibi farklı şekillerde üretilirler (Gokhale, 2011). Geniş uç açısı diş hem dayanıklılık hem de aşınmaya karşı direnç verir, fakat ilerleme hızında düşüşe neden olurlar. Formasyon sert olmasa dahi konik kafaların köşelerinde ve matkap yanlarında küresel şekilli dişler, hızlı aşınmayı önlemek için kullanılırlar.

Matkap ve diş tasarım parametrelerinin kayaçların sertliğine göre nasıl değiştiği Şekil 5'de gösterilmiştir (Gokhale, 2011).



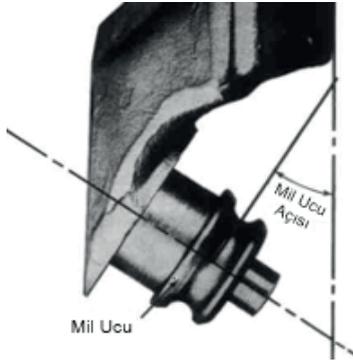
Şekil 4. IADC'ye göre insert şekilleri (Gokhale, 2011)

| Matkap Tipi →         |                             | Yumuşak | Orta | Sert | Ekstra Sert |
|-----------------------|-----------------------------|---------|------|------|-------------|
| Temel Tasarım         | Offset                      |         |      |      |             |
|                       | Mil Ucu Açısı               |         |      |      |             |
| Kesme Yüzeyi Tasarımı | Sıyırma Etkisi              |         |      |      |             |
|                       | Öğütme Etkisi               |         |      |      |             |
|                       | Diş Derinliği               |         |      |      |             |
|                       | Diş Uzaklığı                |         |      |      |             |
| Dayanım               | Dahili Diş Açısı            |         |      |      |             |
|                       | Yatak Yük Dayanımı          |         |      |      |             |
| Metalurji             | Karbonlanmış Doku Derinliği |         |      |      |             |
|                       | Sert Kaplama Diş            |         |      |      |             |
|                       | Köşe Kaplama Ölçüsü         |         |      |      |             |

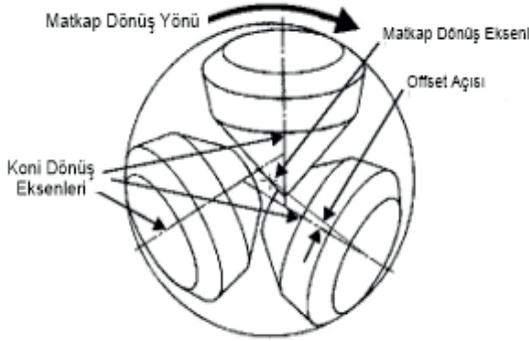
Şekil 5. Formasyon tiplerine göre diş ve matkap tasarım özellikleri (Gokhale, 2011)

Ayrıca Şekil 6'da gösterilen mil (Journal) ve Şekil 7'de gösterilen ofset açıları da delme performansını etkilemektedir. Şekil 5'de

gösterildiği gibi kayaçların sertliği arttıkça daha yüksek mil açıları ve daha düşük ofset açıları kullanılır. Ayrıca üç konili matkapların her bir konik kafası 2 ayrı konikten oluşur. Sert formasyonların kazısı söz konusu olduğunda dıştaki konik kafa daha büyük yapılı ve böylece daha büyük rulmanların yerleştirilmesi sağlanır. Böylece bu matkaplar, daha yüksek baskı kuvvetlerine dayanarak daha sert kayaçları kazabilirler. Matkapların tasarım özellikleri değiştikçe yaptıkları kesme şekli de değişmektedir. Şekil 5'den görüleceği gibi yumuşak kayaktan serte doğru gidilirken kesme şekli de sıyırma şeklinden öğütmeye dönüşmektedir (Gokhale, 2011; Ersoy, 2008; Kahraman, 1997(a)).



Şekil 6. Üç konili matkaplarda mil ucu (journal) ve mil ucu açısı (Gokhale, 2011)



Şekil 7. Ofset açısı (Gokhale, 2011)

Her ne kadar matkap seçimi IADC kodları göz önüne alınarak yapılsa da, matkapın malzeme özellikleri ve geçirmiş olduğu metalurjik süreçler, delme performansına ve dayanım süresine oldukça fazla etki etmektedir. Matkaplar konik kafalar, rulmanlar ve dişler gibi değişik parçaların bir araya getirilmesiyle üretildiğinden bu parçaların malzemeleri de farklı özellikte olabilmektedir. Matkap üretiminde ilk aşama

her bir parça için uygun malzemeyi seçmektir. Örneğin, çelik parçalarının birleşimine katılan maddelerin tolerans aralığı dar olup özenle seçilmeleri gerekmektedir.

Aynı şekilde tungsten karbidler çok sert ve aşınmaya dayanıklı bir malzeme olsa da kırılabilirlik özelliği yüksektir ve kobalt katılması gerekmektedir. Kobalt miktarı %4 ile %12 arasında değişir. Dişlerin dış kısmında kobalt oranı az iken iç kısmında daha fazladır. Bu da dişlerin aşınmaya karşı direncini artırmaktadır. Hatta insertlerin dış tabakasına silikon karbit, boron nitrat gibi bileşenler de katılabilmektedir. Modern matkaplarda matkapların köşeleri tungsten karbit malzeme ile kaplanıp üzerlerine 2-3 mm kalınlığında düz elmas dişler eklenebilmektedir (Ersoy, 2008).

Karbürizasyon ve bu aşamada yapılan kaplama işlemleri de matkap üretiminde önemli metalurjik süreçlerdendir. Özellikle konik kafalar ve rulmanların yüzeylerinin aşınmaya dayanımını artırabilmek için belirli bir sıcaklık değerinde karbonlu gazlarda bekletilmesi, karbonun yüzeye nüfus ederek yüzeyi sertleştirilmesi sağlanmaktadır. Fakat matkapın bazı bölgeleri için bu istenmez ve bu nedenle matkap karbüre edilmeden önce bu kısımlar oxyacetylene alevi (coating) ile kaplanır. Matkaplarda görece koyu bölgeler karbürize edilmiş kısımları göstermektedir. Şekil 5'de formasyon değiştikçe karbonlaşmış doku derinliği, sert kaplama dış miktarı, köşe kaplama ölçüsü gibi özel metalurjik işlemlerin nasıl değiştiği belirtilmiştir (Gokhale, 2011).

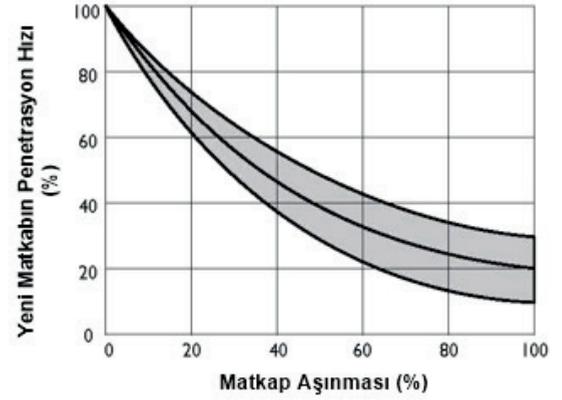
Matkap üretimindeki metalurjik süreçler oldukça önem arz etmekte olup son kullanıcının performansa ait gözlemleri kaçınılmaz ve neredeyse tek denetleme yöntemidir. Günümüzde matkapların performans garantisi matkap satışının kaçınılmaz özelliğidir. Şekil 8'de görüldüğü gibi matkaplardaki aşınma oranı %30'a çıktığında performanstaki kayıp %50'lere çıkmaktadır. İlerleme hızının yakıt maliyetine etkisi, matkap maliyetinden çok daha fazla olduğu için matkapların aşınma oranlarının ve şekillerinin sürekli takip edilmesi gerekmektedir.

Matkaplarda yüksek hızlı aşınmalar kalitesiz malzeme, yanlış tasarım, formasyona uygun olmayan matkap seçimi ve yanlış kullanımdan kaynaklanabilmektedir. Kullanımdan kaynaklanan hataların ortadan kaldırılması, ilerleme hızının artırılması ve sonraki alımlarda doğru ürünlerin seçilmesi için matkapların sürekli gözlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, aşınmaların

sınıflandırıldığı ve detaylı olarak derecelendirildiği çeşitli tablolar vardır. Aşınmaları genel olarak dişlerde, konik kafalarda, rulmanlarda ve matkap gövdesinde olmak üzere 4 ana sınıfa ayırabiliriz. Bu ana başlıklar altındaki aşınma tipleri Çizelge 6'da verilmiştir (McGehee vd., 1992; Gokhale, 2011).

Çizelge 6. Üç konili matkaplarda aşınma tipleri

| Diş ve konik kafa durumları                            |
|--|
| Diş kırılması  |
| Konilerden bir veya birkaçının dönmeyerek sürüklenmesi |
| Koni uçlarının tamamen aşınması                        |
| Koni dış yanaklarının aşınması                         |
| Koni dış yanaklarının tükenmesi                        |
| Koni dış yanaklarının kırılması                        |
| Koni kaplaması durumları                               |
| Eksenli kırılma  |
| Çevrenin kırılması                                     |
| Uç nokta kırılma                                       |
| Koni engellenmesi – Dip                                |
| Koni engellenmesi – Orta                               |
| Koni engellenmesi – Uç Burun                           |
| Eksenli çatlama  |
| Çevrenin çatlaması                                     |
| Erimiş (aşınmış) koni kopması                          |
| Dönme ve yataklanma durumları                          |
| Rulman sorunları ve keski bağlantı zayıflığı           |
| Kırılmış pin   |
| Kırılmış rulmanlar                                     |
| Sıkışmış koni  |
| İçsel aşınma   |
| Koni düşmesi   |
| Rulman düşmesi   |
| Uç yatak sorunu  |
| Uç yatak kaybı   |
| Dışsal itme  |
| Matkap gövdesi durumları                               |
| Yamulmuş bacıklar                                      |
| Zarar görmüş matkap                                    |
| Yanak kırılması  |
| Yanak aşınması   |



Şekil 8. Üç konili matkaplarda delme hızları ve matkap aşınmaları arasındaki ilişki (Gokhale, 2011)

## 2. TKİ GARP LİNYİTLERİ KÖMÜR İŞLETMESİNDE KULLANILAN ÜÇ KONİLİ MATKAPLARIN PERFORMANSLARI

### 2.1. Türkiye Kömür İşletmeleri Garp Linyitleri İşletmesi

Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Garp Linyitleri Müessesesi (GLİ) Kütahya ili Tavşanlı ve Domaniç ilçe sınırları içerisinde kalan sahalarında açık ocak ve yeraltı ocaklarıyla faaliyet göstermektedir. Türkiye linyit rezervinin yaklaşık %4,6'sı Tunçbilek'te bulunmaktadır. Türkiye'deki linyit üretiminin yaklaşık %7,5'i GLİ'den karşılanmakta olup, ülkemizin en kaliteli ve en büyük linyit üreticilerindedir.

GLİ Açık Ocak İşletmelerinde kömür üretimine yönelik olarak delme patlatma ardından kepçe+kamyon ve dragline örtü kazısı yöntemi uygulanmaktadır. Dragline kazısına olanak verecek şekilde panoların önce kepçe ve kamyon ile örtü kazısı yapılmakta ve dragline dilimleri oluşturulmaktadır. GLİ Açık Ocaklarında yılda yaklaşık 3300000 ton linyit üretim gerçekleştirilmektedir.

Tunçbilek Kömür Havzası'nda kömür üzerindeki örtü tabakası delme patlatma yöntemiyle gevşetilmekte ve genel olarak tek bir patlatmada 20 delik açılmaktadır. Delik araları 8 m ve delik uzunlukları 15 m uzunluğundadır. Kuru deliklerde amonyum nitrat-mazot karışımı, sulu deliklerde ise emulan kullanılmaktadır.

Tunçbilek havzasında kömür üretimi miyosen yaşlı M2 olarak adlandırılan 400-450 metrelik birimin içinde bulunan 5-20 metrelik linyit tabakasında gerçekleştirilmektedir. M2 birimindeki kayaçlar marl, killi siltaşı, siltaşı, miltası ardalanması şeklindedir. Formasyon belirgin tabakalar gösterir, yer yer laminalıdır. Yer yer merceksel kumtaşı-konglomera ara katkısı da içermektedir (MTA, 1991).

## 2.2. Deliciler ve Üç Konili Matkaplar

Tunçbilek Kömür Havzası'nda 3 adet DM50XL1050 model ve 5 adet DM50XL900 model delici makineleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada ölçümler, Şekil 9'da gösterilen 3 adet DM50XL900 model delik delme makineleri ile yapılmıştır. Çizelge 7'de bu makinelerin genel özellikleri verilmiştir (Drilling Catalogue, 1985).



Şekil 9. Tunçbilek Kömür Havzası'nda kullanılan DM50XL900 model delicilerden biri

İşletmede delik delmek için 9" (22,86 cm) çapında 522 ve 622 IADC kodlu üç konili matkaplar kullanılmaktadır. Bu matkapların performanslarını analiz edebilmek için, üretimin aktif olarak yapıldığı 6 farklı bölgede ölçüm yapılmıştır. Her bir bölgedeki kayaçların mekanik özelliklerini deneylerle belirlemek amacıyla numuneler alınmıştır. Çizelge 8'de bölgelere göre alınan kayaçların fiziksel, mekanik özellikleri ve elek analizi parametreleri verilmiştir. Bu bölgelerde 1 adet 522 ve 3 adet 622 IADC kodlu matkabın

delme hızları ölçülmüş, aşınma tipleri ve süreleri belirlenmiştir. Çizelge 9'da ise bu altı bölgede ölçülen delme hızları, ana pompa ve hava basınçları, uygulanan baskı kuvveti değerleri verilmiştir (Ünlü, 2017).

Çizelge 7. Delici makinelerinin genel özellikleri

| Özellikleri             | Değerleri                |
|-------------------------|--------------------------|
| Marka                   | IngersollRand            |
| Tipi                    | Paletli                  |
| Modeli                  | DM50XL900                |
| İmal Yılı               | 1985                     |
| Baskı Kapasitesi        | 0-22.680 kg              |
| Aşağı Doğru Baskı Hızı  | 31 m/dak                 |
| Yukarı Doğru Çekme Hızı | 48,5 m/dak               |
| Dönme Hızı              | 0-130 dev/dak            |
| Maksimum Tork           | 9706 Nm                  |
| Hava Kompresörü Debisi  | 25,5 m <sup>3</sup> /dak |
| Pompa Kapasitesi        | 0-393 lt/dak             |
| Motor Gücü              | 298400 W                 |
| Motor Devri             | 2000 dev/dak             |
| Maksimum Delme Çapı     | 9 inç                    |
| Tij uzunluğu            | 7,6 m                    |

Çizelge 9'dan görüleceği üzere bölgelerdeki kayaçlar arasında fiziksel ve mekanik olarak çok büyük bir fark olmadığı belirlenmiştir. Bu durum delme hızına da yansımış ve hızlarda benzer değerler elde edilmiştir. Hız değerleri yumuşak ve orta sertlikteki formasyonlar için kabul edilebilir büyüklüktedir. Ayrıca çizelgede verilen makine parametrelerine ait çalışma aralıkları çok uzun senelerdir benzer şekilde uygulanmaktadır. Ancak, bu çalışmada ilginç olan sonuçlar matkapların aşınmalarını analiz ederken elde edilmiştir. Her bir matkaptan daha önceki yıllara göre ortalama 10 000 m kazı süresi beklenirken, 522 IADC kodlu matkap 419,5 m, 622 IADC kodlu matkaplar ise 3000, 386 ve 150 m delme yapabilmiş ve sonrasında kullanılamaz duruma gelmişlerdir. Şekil 10'da gösterildiği gibi matkapların hepsinde rulmanların dağılımı olduğu tespit edilmiştir (Ünlü, 2017).

Şekil 10'dan görüleceği üzere matkabın dişlerinde çok az aşınma olmuştur. Prensip olarak aşınma, matkap dişlerinde uniform olarak beklenirken, matkaplar ortalama aşınma sürelerinin çok altında bir zamanda rulmanlardaki aşınmadan

Çizelge 8. Tüm bölgelerden alınan numunelere ait deney sonuçlarının ortalamaları

| No | Deneilerin Ortalamaları              | I     | II    | III   | IV    | V     | VI    |
|----|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | Nem (%)                              | 1,33  | 0,86  | 1,09  | 1,08  | 1,14  | 1,36  |
| 2  | Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )       | 2,13  | 2,16  | 2,24  | 2,23  | 2,29  | 2,18  |
| 3  | Darbe Dayanımı Deneyi (%)            | 68,74 | 72,65 | 65,89 | 66,73 | 63,87 | 67,18 |
| 4  | Nokta yük deneyi (MPa)               | 34,30 | 34,18 | 28,73 | 48,53 | 32,70 | 39,05 |
| 5  | Çekme Dayanımı Deneyi (MPa)          | 5,71  | 4,06  | 4,41  | 4,33  | -     | -     |
| 6  | Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)    | -     | -     | 33,77 | -     | -     | -     |
| 7  | Elastisite (GPa)                     | -     | -     | 8,78  | -     | -     | -     |
| 8  | Schmidt Çekici Deneyi (MPa)          | 25,80 | 31,60 | -     | 34,60 | -     | 27,40 |
| 9  | Elek Analizi (d <sub>50</sub> ) (mm) | 0,82  | 1,60  | 0,96  | 1,27  | 1,44  | 1,45  |

Çizelge 9. Delici makine parametrelerine ait ölçümlerin ortalamaları

| Makine Parametreleri |   |                                     |                                    |                   |
|----------------------|---|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Bölgeler             | Ana Pompa Basıncı (kg/cm <sup>2</sup> ) | Baskı Basıncı (kg/cm <sup>2</sup> ) | Hava Basıncı (kg/cm <sup>2</sup> ) | Delme Hızı (m/dk) |
| I                    | 110                                     | 127,5                               | 5,5                                | 1,75              |
| II                   | 118                                     | 119                                 | 5,5                                | 1,74              |
| III                  | 127,5                                   | 125                                 | 5,5                                | 1,54              |
| IV                   | 120                                     | 119                                 | 6,6                                | 1,32              |
| V                    | 160                                     | 140                                 | 5                                  | 1,41              |
| VI                   | 118,8                                   | 135                                 | 5,5                                | 1,70              |

dolayı kullanılmaz duruma gelmişlerdir. Bu sorun, matkapların uygun koşullarda ve doğru malzemelerle üretilip üretilmediği sorusunu gündeme getirmiştir. Bu nedenle işletmede kullanılmış 622 IADC kodlu matkaplar markalarına göre sınıflanmış ve kazı metrajlarına bakılmıştır. Değişik markaların ortalama delme metrajlarının verildiği Çizelge 10'dan da görüleceği üzere aralarında çok büyük farklar vardır.



Şekil 10. GLİ'de üç konili matkapların aşınma tipi

Çizelge 10. Farklı matkap üretici firmalara ait 9 inç çaplı ve 622 IADC kodlu matkapların ortalama delme metrajları

| Matkap üreticileri | Matkapların performansları (m/matkap) |
|--------------------|---------------------------------------|
| A                  | 12017                                 |
| B                  | 9324                                  |
| C                  | 7124                                  |
| D                  | 5623                                  |
| E                  | 4700                                  |

Ortalama sertlikte ve kendi içinde büyük değişimlerin olmadığı bir formasyonda, aynı IADC kodlu ve çaplı matkapların delebildikleri mesafelerin bu kadar farklı olması, matkapların çok farklı kalitelere üretilbildiğini göstermektedir. Özellikle son yıllarda düşük nitelikli ürünlerin değişik isimler altında sektöre sunulması bu konuda dikkatli olunması ve ciddi önlemler alınmasını gerektirmektedir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üç konikli matkaplar rotari sondaj yönteminde en çok kullanılan matkaplardır. Delme patlatma deliklerinde de yaygın olarak kullanılan bu matkaplara ilişkin bilimsel çalışmalar, delme hızı ve dayanım süreleri gibi performans parametrelerini iyileştirmek üzerinedir. Performans parametrelerine bir çok değişken etki etmekte olup, formasyonun dayanım ve aşındırıcılık özellikleri, matkap ve delici özellikleri ve çalışma koşulları olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir.

Üç konik kafalı matkaplar genel olarak IADC kodlarına göre sınıflandırılmaktadır. Kullanıcılar matkap seçimlerini çoğunlukla bu kodlara göre yapmaktadırlar. IADC kodları matkabın hangi formasyon tipi için uygun olduğu hakkında genel bilgi vermektedir. Ancak matkap tasarımı ve üretimiyle ilgili çok fazla detay vardır. Özellikle matkapların yapımında kullanılan malzemeler, metalurjik süreçlerin kalitesi ve matkap tasarım parametreleri önemlidir.

Matkaplar çeşitli parçaların biraraya gelmesiyle üretilmekte ve her bir parçada farklı bileşimlere sahip malzeme kullanılabilir. Matkap üreticileri tarafından bu malzemelerin özenle seçilmemesi ve doğru metalurjik süreçlerden geçirilmemesi matkapların dayanım sürelerini çok kısaltmaktadır. Bu tip üretimin söz konusu olduğu matkaplarda kırılma, çatlama gibi ani aşınma türlerine rastlanmaktadır. Özellikle de aşırı yüke maruz kalan rulmanlarda sorun çıkmaktadır. Doğru seçilen, nitelikli üretilmiş ve uygun kullanılan matkaplarda aşınmanın dişlerde uniform olarak oluşması beklenmektedir.

Kullanıcılar, son yıllarda üretimi artan niteliksiz ürünler nedeniyle, daha dayanıklı matkaplara sahip olmak için daha yüksek IADC kodlu olanları seçme eğilimindedir. Yüksek IADC kodlu matkaplar tasarım parametreleri sert ve aşındırıcı formasyonlara göre yapılmıştır. Bu matkaplarda dişler daha küçük, kısa, sık aralıklı ve küt şekillidir. Benzer şekilde mil açıları büyük, ofset açıları küçüktür. Bu özellikleri matkap ömrünü uzatmak pahasına ilerleme hızını düşürmekte ve yakıt tüketimin artmasına neden olmaktadır. Fakat delme işleminde yakıt maliyeti matkap maliyetinin olanlarca katıdır.

Bunun yanında yapılan çalışmalar matkaplardaki %30'luk aşınmanın ilerleme hızında yaklaşık %50 oranında düşüğe sebep olduğunu göstermiştir. Bu nedenle Matkaplar kullanılırken aşınma tipleri ve oranları da yakından takip edilmelidir. Formasyona uygun seçilen, kaliteli matkabın uygun baskı kuvveti ve dönme hızında çalıştırılması yine delme hızı ve dayanım süresini artıracaktır.

Sonuç olarak, rotari delme işleminde kullanılan üç konikli matkapların delme hızı ve dayanım sürelerine birçok parametere etki etmektedir. Bütün parametreler göz önüne alarak matkap seçimi mümkün olamamaktadır. Kullanıcılar sadece matkap maliyetini değil bütün bir delme işleminin birim maliyetini dikkate almalıdır. Öncelikle kaliteli malzeme kullanılmış ve doğru metalurjik işlemlerden geçmiş ürün seçmeye çalışılmalıdır. Kullanım sırasında da delme hızının yüksek olduğu optimum baskı kuvveti ve RPM değerleri belirlenmelidir. Matkap aşınması, delme hızını düşürüp dolayısıyla yakıt tüketimini ve maliyetleri artırmaktadır. Bu nedenle aşınma tipleri ve aşınma oranları gerek kullanım sırasında ve gerekse sonrasında tespit edilmelidir. Bu süreç, kullanıcının formasyon ve çalışma şartlarına uygun, nitelikli malzeme ve proseslerle üretilmiş matkapları seçmesine ve delme hızı ve dayanım süresini yükseltip maliyetleri düşürmesine yardımcı olacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TKİ Garp Linyitleri Açık Ocak işletmelerinde gerçekleştirilmiş olup yazarlar GLİ çalışanlarına teşekkürü borç bilir.

## KAYNAKLAR

Alireza, C., Seyed, H. K., Kouros, S., Jafar, K. H., 2012. An Estimation of the Penetration Rate of Rotary Drills Using the Specific Rock Mass Drillability Index. International Journal of Mining Science and Technology, 22, p.187–193.

Altındağ, R. , 2002. The Evaluation of Rock Brittleness Concept on Rotary Blast Hole Drills. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy.

Ataei, M., Kaie, R., Ghavidel, M., Saeidi, O., 2014. Drilling Rate Prediction of an Open Pit Mine Using the

- Rock Mass Drillability Index. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 73, p.130–138.
- Atıcı, U., Ersoy, A., 2008. Correlation of Specific Energy of Cutting Saws and Drilling Bits with Rock Brittleness and Destruction Energy. *Journal Of Materials Processing Technology*, 209, p. 2602–2612.
- Babatunde, A., Ademola, B. W., 2014. Discontinuities Effect on Drilling Condition and Performance of Selected Rocks in Nigeria. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24, p.603–608.
- Bulut, M., Acaroğlu Ö., Ergener, B., 2014. TKİ Bursa Orhaneli Kömür İşletmelerinde Optimum Üç Konili Matkap Seçimi. 11. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Afyonkarahisar, 7-9 Mayıs, s.269-274.
- Demirdağ, S., Sengun, N., Uğur, İ., Efe, T., Akbay, D., Altındağ, R., 2014. Variation of Vertical and Horizontal Drilling Rates Depending on Some Rock Properties in the Marble Quarries. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24, p.269–273.
- Drilling Catalogue, 1985. Driller Catalogue of Ingersoll Rand Drill Mater.
- Ersoy, A. 2008. Sondaj Tekniği ve Uygulamaları. Nobel Kitabevi, Adana.
- Gokhale, B. V., 2011. Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines. Taylor & Francis Group.
- Hareland, G., Wu, A., Rashidi, B., James, J. A., 2010. A New Drilling Rate Model for Tricone Bits and Its Application to Predict Rock Compressive Strength. *American Rock Mechanics Association*, 10, p. 206.
- Jimeno, C. L., Carcedo, F. J. A., 1995. Drilling and Blasting of Rocks. Imprint Rotterdam, A. A. Balkema.
- Kahraman, S. 1997(a). Konili Matkaplar; Seçim Kriterleri ve Sınıflandırılması. *Jeoloji Mühendisliği*, 45-56
- Kahraman, S. 1997(b). Açık İşletmelerde Uygun Delme- Patlatma Şartlarını Veren Bir Modelin Geliştirilmesi (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Maden Tetkik Arama Enstitüsü (MTA), 1991. TKİ Kurumu Kütahya-Tavşanlı-Tunçbilek-Domaniç Kömür Sahaları Jeoloji Raporu. Ankara.
- McGehee, D.Y., Dahlem, J.S., Gieck, J. C., Kost, B., Lafuze, D., Reinsvold, C.H.L., Steinkee, S.C., 1992. The IADC Roller Bit Dull Grading System. 1992 IADC / SPE Drilling Conference, New Orleans, Louisiana, Feb. 18-21, pp 819 – 827.
- Rao, K.U.M., Bhatnagar, A., Misra, B., 2002. Laboratory Investigations on Rotary Diamond Drilling. *Geotechnical and Geological Engineering*, 20, p.1-16.
- Rowley, D. S., Howe, R. J., Deily, P. H., 1961. Laboratory Drilling Performance of the Full-Scale Rock Bit. *SPE* 1545-G.
- Thuro, K., Spaun, G., 1996. Drillability in Hard Rock Drill and Blast Tunnel. *Geomechanics*, 14-2, p.1-11.
- Thuro, K., 1997. Drillability Prediction: Geological Influences in Hard Rock Drill and Blast Tunnelling. *Geol Rundsch*, 86, p.426-438.
- Ünlü, S., 2017. GLİ Açık Ocak İşletmeleri'nde Delici Makina Performansına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi (Yüksek Lisans). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yaralı, O., Kahraman, S., 2010. The Drillability Assessment of Rocks Using the Different Brittleness Values. *Tunnelling and Underground Space Technology* 26, p.406–414.
- Yue, Z.Q., Lee, C.F., Law, K.T., Tham, L.G., 2003. Automatic Monitoring of Rotary-Percussive Drilling for Ground Characterization Illustrated by a Case Example in Hong Kong. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 41, p.573–612.