

ROTARİ SONDAJ MATKAPLARININ OPTİMUM SEÇİMİ VE İŞLETİLMESİ İÇİN YENİ BİR YÖNTEM

A NEW METHOD TO OPTIMIZE THE ROTARY DRILL BIT SELECTION AND OPERATION

Hasan Ergin*
Ömür Acaroğlu**
Melis Toker***
Bahadır Ergener****
Deyvi Akkriş*****

ÖZET

Bu çalışmada rotari sondaj matkaplarının seçimi ve kullanımını optimize eden yeni bir yöntem tanıtılmaktadır. Çalışmanın amacı, delinebilirliğe etki eden kayaç parametreleri ile gerçek boyutlu laboratuvar delik delme çalışmaları ve yerinde arazi uygulamalarından elde edilen datalar arasında regresyon analizi ile delme hızı tahmin modellerinin geliştirilmesidir. Bu çalışmada; öncelikle kayaç örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenecektir. Kayaç koşullarına uygun olan farklı üreticilerin tavsiye ettikleri gerçek boyutlu matkaplar, bu matkapların kontrollü koşullarda test edilmesine imkân tanıyan yatay sondaj makinesinde sistematik olarak test edilip; delme hızı, matkap tasarımı ve işletme parametreleri en uygun matkabı bulmak amacıyla araştırılacaktır. Yatay sondaj makinesinde baskı kuvveti ve rotasyon parametrelerinin etkisi sistematik olarak test edilebilmektedir. Elde edilen verilerin detaylı analizleri ışığında matkapların spesifik delme hızı, spesifik aşınma ve spesifik enerji tüketimi belirlenmektedir.

Anahtar sözcük: Rotari sondaj, optimum matkap seçimi

ABSTRACT

This paper reviews current state to the art to rotary drill bit selection and operation and also introduce a new method for optimizing this process. The research done so far are examined those are the rock properties affecting the drillability, the full scale laboratory studies, the observation of field practice and the regression analysis of this data to develop penetration rate estimation models. In the new method introduced at this paper; the physical and mechanical parameters of rock samples are firstly determined. Then, systematic drilling tests are carried out in Horizontal Drill Rig using real bits recommended by different manufacturers according to rock conditions. The relation between the penetration rate and the bit design and operational parameters are investigated to find the most suitable bit. In the light of data produced the detailed analysis are carried out to define the specific penetration rate, specific wear rate and specific energy consumption for different bits.

Keywords: Rotary drilling, optimum bit selection

* Prof.Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Maden Müh. Bölümü, İSTANBUL, acaroglu@itu.edu.tr
** Doç.Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Maden Müh. Bölümü, İSTANBUL
*** Araş.Gör., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Maden Müh. Bölümü, İSTANBUL
**** Atlas Copco Makinaları İmalat A.Ş., İSTANBUL
***** Atlas Copco Makinaları İmalat A.Ş., İSTANBUL

GİRİŞ

Delik delme işlemi; yer kabuğunda bulunan değerli maddelerin (maden, petrol, doğalgaz, sıcak su vb.) aranması, değerlendirilmesi ve işletilmesinde; enjeksiyon ve zemin sağlamlaştırma, drenaj, baraj, tünel gibi inşaat projeleri yanında açık ocak maden işletmelerinde delme-patlama işlerinin yapılmasında çok önemli bir yere sahiptir. Çok pahalı bir operasyon olan sondaj işlemi ileri düzeyde teknik bilgi ve teknoloji gerektirmektedir. Sondaj maliyetlerinde kuyunun hızlı bir şekilde tamamlanmasında en büyük etken olan matkapların (delici uç) tasarımı ve proje şartlarına göre en uygun matkabın seçilerek optimum koşullarda işletilmesi son 20 yıllık dönem içerisinde çok yoğun ve geniş çalışmaların yapıldığı araştırma konularından biridir. Konu ile ilgili yönelimler, delik delme ekonomisinin büyük oranda bağlı olduğu "matkap ilerleme hızının" ve "matkap ömrünün artırılmasına" yöneliktir. Döner sondaj yönteminde değişik formasyon koşulları için önerilen çok sayıda değişik firma tarafından üretilmiş Üç konili matkaplar (çelik ve tungsten karbür dişli), PDC matkaplar, elmas matkaplar (yüzey taşı elmas ve emprenye elmas matkaplar) kullanılmaktadır. Ayrıca henüz endüstriyel uygulaması yaygın olmayan mini diskli ve kesici parçaları sökülebilen dual matkap üretimi için de çalışmalar mevcuttur. Delik delme işleminde birçok parametre delme verimliliğini etkilemektedir. Delinen kayaçların özellikleri delinebilirliği ve ilerlemeyi en fazla etkileyen parametreler olup, özellikle dikkate alınmaları gerekmektedir. Bu iki terim delme sisteminin ilerleme hızına kayaçların fiziksel, mekanik ve dokusal parametrelerinin eşzamanlı etkisini tarif etmek için kullanılmaktadır (Singh vd. 2009). Her bir kayaç parametresinin niteliksel ve niceliksel etkisini bilmek çok önemlidir.

İlk araştırmacılar kayaç parametrelerini doğrudan delinebilirlik ölçüsü olarak kullanmışlardır. Kayaçların sertlik ve dayanıklılığına bağlı delme hızını ifade eden bir teori öneren Paona ve Bruce delme hızını doğrudan kayaç dayanımı ile ilişkilendiren araştırmalar yapmışlardır (Paona vd., 1963). Hartman darbeli delme sonucu oluşan çukurun hacmi ile temel değişkenler arasındaki ilişkiyi araştırmıştır (Hartman 1962). Rotari delmede bir konik matkap için kayaç çatlak modeli geliştirilmiş, her bir dişin bağımsız hareket ettiği kabul edilmiştir. Daha sonra oluşan çatlakların rotari gücü, yatay ve dikey kuvvetlerle ilgili olduğu belirlenmiştir (Eronini vd., 1982).

Tek bir kayaç parametresinin kayaç örneği üzerinde etkisini test etmek matkap seçiminde ve kullanımında hatalara neden olabileceğini göz önüne alınarak son yıllarda çeşitli araştırmacılar ağırlıklar ve oranlar ile her bir parametrenin diğer parametre ile olan ilişkisini hesaba katan kayaç sınıflandırma sistemlerine yoğunlaşmaktadır. Bütün parametrelerin dikkate alınması delme verimliliğinin iyileştirilmesini sağlayacak, işletme maliyetini ve aşınmayı düşürecektir (Thuro, 1996; Hoseinie vd., 2009). Bu bağlamda yapılan önemli fizikomekanik kayaç özelliklerinin ilerleme hızına etkileri belirlenmiştir (Singh vd., 2009).

Kayaçların mekanik özellikleri ve jeolojik koşulları içeren formasyon özelliklerinin yanında matkap tipi, tasarımı, malzeme kalitesi gibi matkabın özellikleri ile işletme parametreleri de delme işlemi ve matkapların aşınmasını etkiler (Praillet, 1990; Praillet 1998; Koronka vd., 2009; Opafunso vd., 2008). Bu çalışmanın amacı en iyi performans veren matkabı seçmek ve belirli kayaç koşulları için delme parametrelerini optimize etmek için kullanılacak yeni bir yöntemi tanıtmaktır.

1. KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu bölümde günümüzde kullanılan matkap seçme yöntemleri kısaca anlatılmaktadır.

1.1. Matkapların Sınıflandırma Sistemi IADC'nin Kullanılması

Yıllar önce, Uluslararası Sondaj Müteahhitleri Birliği (IADC) çelik ve tungsten karbür dişli rotari matkaplar için 6 temel formasyonu içerecek şekilde geliştirilen bir sınıflandırma sistemi tanımladı. Her iki matkap tipi için ayrı ayrı tanımlanan seriler sekiz adettir. Her bir seriyi ifade eden kodun ilk rakamı formasyon sertliğini göstermekte ve sertlikle birlikte artmaktadır. İkinci rakam ise 4 alt zonu göstermekte olup, rakamın artmasıyla birlikte yine sertliğin arttığı ifade edilmektedir (World Oil, 2008). Rotari matkapların IADC kodlarına karşılık gelen formasyonlar aşağıdaki gibidir:

- Yapışkan tabakalı ve düşük basınç dayanımlı formasyonlar, örneğin kil, marn IADC serisindeki karşılığı 1 ve 4.
- Düşük basınç dayanımlı ve yüksek delinebilirlik özelliğine sahip formasyonlar, örneğin marn, tuz, anhidrit ve şeyl (IADC serisi 1ve 4).
- Düşük basınç dayanımı arada sert tabakalan-

maların olduğu yumuşak orta sert formasyonlar, örneğin kum, şeyl ve kireç (IADC serisi 5).

- Yüksek ve çok yüksek basınç dayanımına sahip ancak aşındırıcı olmayan veya çok az aşındırıcı olan tabakalar içeren orta-sert formasyonlar, örneğin şeyler, çamurtaşı, kumtaşı, kireçtaşı, dolomit ve anhidrit (IADC serisi 2 veya 6).
- Yüksek basınç dayanımına ve ara ara yüksek aşındırıcı tabakalara sahip sert formasyonlar, örneğin siltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı (IADC 3 veya 7).
- Çok sert ve aşındırıcı formasyonlar, örneğin Kuvarsit, volkanikler (IADC serisi 8).

1.2. Matkap Üretici Firmaların Katalogları ve Tavsiyeleri

Üretici firmaların dokümanları matkap ismi, model numarası, IADC kodu, boyut aralığı, tavsiye edilen baskı kuvveti ve dönme hızı ve diğer spesifik yapısal ve operasyonel özellikleri içerir (Varel, 1991; Walker, 1998; Hughes, 1989; Rockmore, 1996). Matkap üreticilerinin sağladığı bilgiler kullanılarak uygun matkap ve işletme parametreleri seçilebilir.

1.3. Tam Boyutlu Laboratuvar Sondaj Deneyleri

Tam boyutlu sondaj laboratuvar deneyleri ile kayaç-matkap ilişkisi test edilebildiği için sondaj dinamiklerinin matkap performansı ve ömrüne etkisini anlamamıza imkân vermektedir. Bu makineler sondaj performansına etki eden işletme parametrelerinin araştırılmasına, yeni matkapların tasarımına ayrıca, delik dibi ekipmanlarının kalitelerinin artırılmasına imkân sağlamaktadır. Böylece titreşimlerin engellenebilmesini sağlamaktadır. İleri derecede geliştirilmiş laboratuvar simülasyonu ile kuyu dibinin yerinde özelliklerine oldukça yakın şartlar sağlanabilecektir. Bu simülasyon temsili kaya bloğu arazideki kayaç matkap ilişkisinin araştırılması için kullanılabilir. Bu sistemlerden elde edilen veriler ile arazi sonuçları arasındaki ilişkiyi araştırılan çalışmalar mevcuttur (Raymond, vd., 2008; Motahhari vd., 2009).

16 tam boyutlu derin kuyu simülasyonları 6 inç boyutunda matkaplar kullanılarak üç farklı kayaç ve 5 farklı sondaj sıvısı tipi için yapılmıştır. Bu tam boyutlu laboratuvar testleri 100.000 psi'in üzerinde baskı kuvveti kullanılarak gerçekleştiril-

miştir. (Judzis vd., 2007).

Farklı dönme hızlarında ve baskı kuvvetlerinde çeşitli kayaç tiplerinde PDC ve emprenye elmas matkaplarla testler yapılmıştır (Ersoy, 2003).

Schlumberger Cambridge Sondaj Araştırma Laboratuvarında da 12 ¼ inç çapa kadar matkaplarla 5.000 m derinlikteki kuyu şartları sağlanarak deneyler yapılabilmektedir (Cooper vd., 1986).

1.4. Geliştirilmiş Veritabanı Programları ve Geçmiş Matkap Performanslarının Analizi

PDC matkapların seçimine yardımcı olacak bir uzman sistem geliştirilmiştir. Bu sistem, matkap seçim kurallarından oluşan bir veri tabanını belirli jeolojik koşullar ve delme şartları için en uygun matkabı seçecek şekilde kullanır. Bu kurallar önceden kullanılan matkapların delindiği jeoloji, kayaç özellikleri ve metrajları ile çalıştırılmaktadır (Fear vd., 1994).

Diğer bir yöntem ise optimum matkap tipini üç katlı yapay sinir ağları yöntemiyle seçmektedir. Bu sistem arazi dataları ile tasarımı yapılmış ve test edilmiştir. Bu araştırmanın sonucunda optimum matkap seçimi için iki saklı katmanlı geri beslemeli yapının en efektif sinir ağı tasarımı olduğu ortaya çıkmıştır. Geliştirilen model değişik arazilerde matkap seçimi için kullanılmıştır (Bilgesu vd., 2000).

Veriler veritabanında toplanıp modifiye edilebilirler. Böylece gerekli hesaplamalar yapılabilir, bu hesaplamalara ve dataya bilgisayar programlarıncada erişilebilir. Bu çalışmada arazi datalarını tutabilecek bir veritabanı tasarlanmış ve gerekli parametreleri hesaplayacak bir bilgisayar programı ve çıkışları bulunduracak bir excel dosyası ile ilişkilendirilmiştir. Genellikle metre başına düşen en düşük maliyet seçim kriteri olsa da optimum matkap seçimini sağlayan tek bir yöntem yoktur. Bu nedenle yeni sistemler seçim için faydalı olacaklardır (Dumans vd., 1990; Kok vd., 2008).

2. OPTİMUM MATKAP SEÇİMİ VE KULLANIMI İÇİN TASARLANMIŞ YENİ BİR METHOD

2.1. Yeni Metod

Döner sondaja etki eden en önemli faktörler matkap seçimi, işletme parametreleri, baskı kuvveti, dönme hızı ve kuyu dibinin temizlenmesidir.

Matkap seçimi ve işletme parametrelerinin bağlı

olduğu faktörler;

- Formasyon ve ilgili özellikleri
- Dönme hızları
- Baskı kuvveti
- Kuyu dibi temizliği
- Kuyu çapı
- Kuyu derinliği ve delinme sıklığı

Bütün bu delme işlemine etki eden önemli parametreler, bu makalenin konusu olan yatay sondaj makinesi ile belirlenebilir. Gerçek matkaplar kullanılarak belirli şartlar için bu parametrelerle ilgili araştırmalar yapılabilir. Yeni metodun akış diyagramı Şekil 1'de verilmiş olup, beş aşamadan oluşmaktadır.

Adım 1: Araziden temsili numuneler almak ve kayaçların delme performansına etki edecek jeoteknik parametrelerini laboratuvar testleri ile belirlemek.

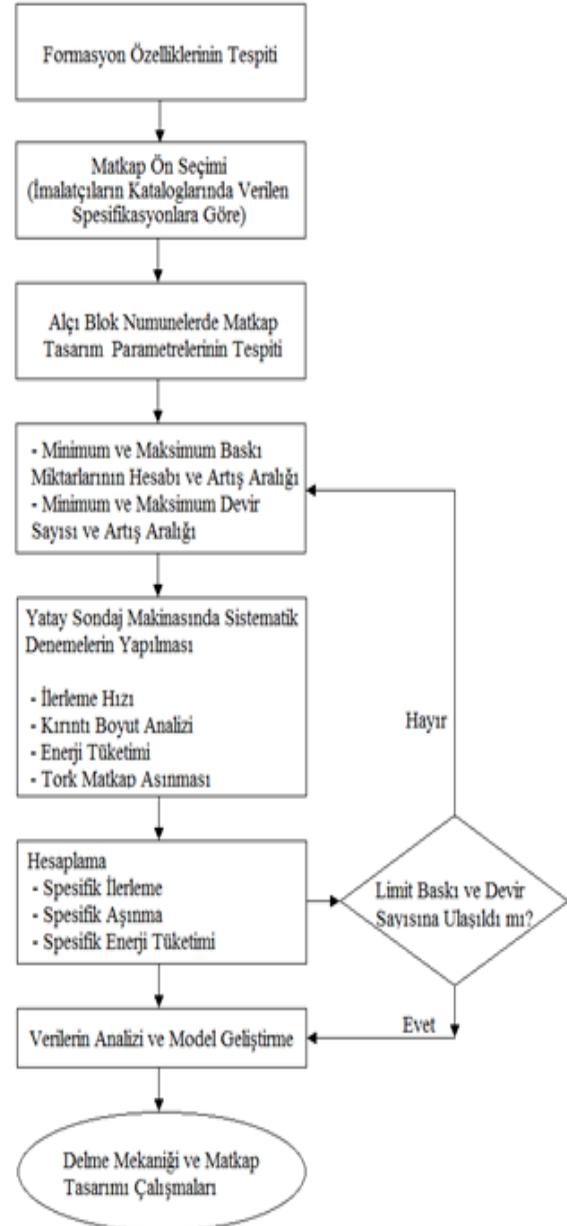
Adım 2: Üretici firmanın listesinde tanımlanan en uygun matkapları belirlemek.

Adım 3: Yatay Sondaj makinesini kullanarak tam boyutlu sondaj testini gerçekleştirmek. İşletme parametreleri baskı kuvveti ve dönme hızı (rpm) sistematik olarak değiştirilerek işletme parametreleri optimize edilecektir. Farklı işletme koşullarında, ilerleme miktarı, tork ve güç ölçülerek en ekonomik performans değerleri belirlenecektir. Tavsiye edilen baskı kuvveti iki faktöre bağlıdır: Bunlar matkap boyutu ve formasyon sertliği. Daha büyük matkap boyutu daha fazla baskı kuvveti gerektirir. Aynı şekilde formasyon sertliği de baskı kuvveti ihtiyacını artırır. Daha önceki çalışmalardan iyi bilinen bir gerçek ise çok düşük veya çok yüksek baskı kuvvetleri matkap aşınmasını artırmaktadır. Bu nedenle optimum baskı kuvvetlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Konik matkaplarda bir dakikada dönme hızı 30 ile 140 devir arasında değişmektedir. Dönme hızları yumuşak ve ıslak formasyonlarda daha yüksek, sert formasyonlarda daha düşük olup formasyona göre belirlenmesi gerekmektedir.

Matkapların performanslarının karşılaştırılması optimum işletme şartlarının belirlenmesi ile gerçekleştirilecek olup, matkap aşınma oranlarının belirlenmesi ve kırıntı boyut dağılım analizi de laboratuvar testlerine dahildir.

Şekil 2 yatay sondaj makinesinin resmini göstermektedir. Bir sondaj dizisinin bütün işletme pa-



Şekil 1. Rotari sondaj matkabı seçimi ve kullanımı için yeni yöntemin akış diyagramı.

rametreleri (baskı kuvveti, ilerleme hızı, dönme hızı ve tork değerleri) eş zamanlı olarak kayıt edilmekte ve bir bilgisayar yardımıyla görselleştirilmektedir (Şekil 3). Bu amaçla ESAM 2000 serisi bir I/O kart (16 tek uçlu, 8 farklı kanallı, 12 bit çözünürlüklü ve 100kS/s kapasiteli) bilgisayara takılmıştır.

Giriş verileri analog tipte olup, bir transdüserle ± 10 V aralığında iletilmektedirler. Datalar anında bilgisayarda gözlenebilmektedir. Bütün çıkış sinyallerinin aralığı 10 V olup, doğrudan I/O kartına ve PC'ye dataları gönderen veri edinme sistemindeki transdüserler şunlardır:

- İtme kuvveti ölçümleri (yatay ve yanal) basınç transdüserleri,
- Dönme hızı ve tork transdüserleri,
- İlerleme hızının ölçümü için yatay yer değiştirme ölçüm transdüserleri.



Şekil 2. Yatay sondaj makinesi.

Manner Sensör Telemetri sistemi tork ve dönme hızını ölçmek için kullanılmaktadır. Bu sistemde Şekil 3'te görüldüğü gibi deformasyon ölçer Whetstone köprüsü oluşturularak 45o açı ile ana shafta yapıştırılır.

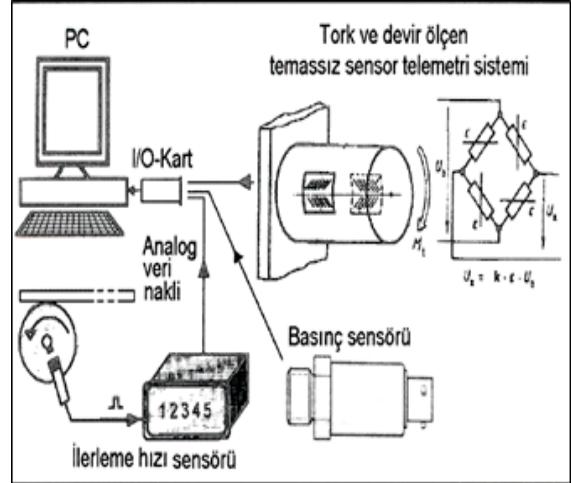
Giriş ve çıkış sinyalleri temassız sistemin ana ünitesi olan antenle transfer edilirler. Çıkış sinyalleri iletim sistemlerine göre shaftın üzerinde kuvvetlendirilirler.

Adım 4: Matkapların performansını karşılaştırmak için spesifik ilerleme hızı, spesifik enerji tüketimi ve spesifik aşınma miktarı hesaplanır. Spesifik aşınma oranı belirli koşullarda spesifik bir matkap ile bütün bir kuyu için matkap ömürlerinin hesaplanmasına imkan verecektir.

Adım 5: Maliyet değerlendirmesi, optimum matkap ve işletme parametrelerinin seçiminin saptanması için belirlenen matkapların maliyet açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir (Borquez, 1981).

2.2. Örnek Bir Çalışma

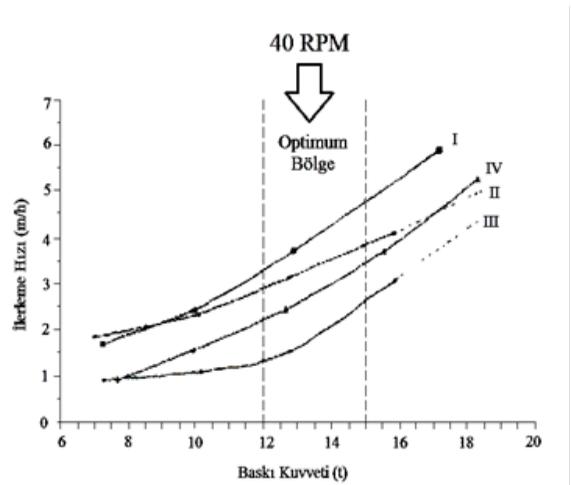
Aşağıda Yapılmış ve Yayınlanmış Bir Çalışma Özetlenmiştir.



Şekil 3. Yatay sondaj makinasının veri edinme sistemi.

Bu çalışmada, Karadeniz Bakır İşletmelerinden 1.5x1.0x1.0 m'lik bir blok numune alınmıştır. Bu örnek fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için teste tabi tutulmuştur. Ortalama basınç ve çekme dayanımı sırasıyla $783 \pm 17 \text{ kg/cm}^2$ ve $61 \pm 6.7 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Farklı üreticilere ait formasyon için uygun 4 farklı konik matkap araştırma için seçilmiştir. Bütün matkaplar 6 inç çapındadır. Seçilen matkapların genel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Seçilen konik matkaplar 40 ile 60 devir/dak arasında çalıştırılabilmekte, uygulanabilen baskı kuvveti ise 6 ile 18 ton arasında değişmektedir.

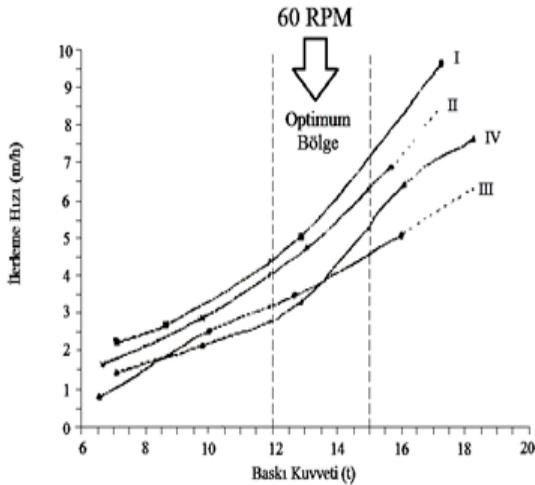
Bu çalışmanın en önemli sonucu, test edilen bütün matkaplarda ilerleme hızına en çok etki eden faktörün baskı kuvveti olduğunun belirlenmesidir. Şekil 4'de görüldüğü gibi dönme hızı da iler-



Şekil 4. Yatay sondaj makinasında 40 rpm'de elde edilen ilerleme hızı.

Çizelge 1: Seçilen Matkapların Özellikleri.

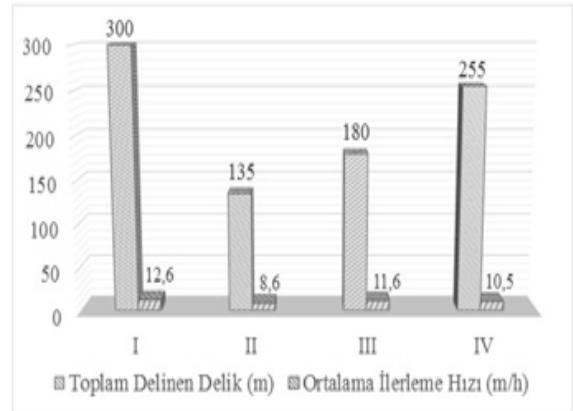
Ürün Özellikleri	Matkap Tipi			
	I	II	III	IV
Matkap boyutu (inch)	6	6	6	6
IADC	731-742	723	812-832	Bilinmiyor
Formasyon tipi	Sert-Çok aşındırıcı	Sert-Çok aşındırıcı	Çok sert-Aşındırıcı	Orta-Orta sert
Basınç dayanımı (kg/cm ²)	704-1400	563-1400	845-1760	563-1400
Dönme hızı (rpm)	50-90	40-70	40-80	35-70
Önerilen baskı kuvveti (ton)	9-18	9-14	15-24	9-18
Matkap ağırlığı (kg)	14.5	22	20.4	20.9



Şekil 5. Yatay sondaj makinasında 60 rpm'de elde edilen ilerleme hızı.

leme hızına etki eden önemli faktörlerden biridir.

Şekil 4 ve 5 KBİ Bakır Madeni formasyonunda test edilen 4 matkaba ait performans eğrilerini göstermektedir. Matkap ömrü maliyet verimliliği açısından ilerleme hızı kadar önemli rol oynar.



Şekil 6. Test edilen dört matkabin karşılaştırılması.

Basitçe ifade edilirse, eğer alım maliyetleri bütün matkaplar için aynı kabul edilirse, I no'lumatkabın 12.6 m/saat ilerleme hızı ve toplam 300 m delik delme kapasitesiyle (Şekil 6) en verimli matkap olduğu için seçilmelidir (Ergin vd., 2000).

SONUÇLAR

İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü'nde geliştirilmekte olan yeni metodoloji rotari matkapların optimum seçimi ve işletilmesi için çeşitli avantajlar sunmaktadır. İlk aşamada, formasyon özelliklerinin belirlenmesi ve matkabın plaster örneklerinin üzerinde kontak yüzey alanlarının belirlenmesi görece olarak yatay sondaj makinasındaki optimum baskı kuvveti değerini bulmak için daha iyi bir baskı kuvveti ile başlanmasını sağlayacaktır.

İlerleme hızının, kırıntı boyut dağılımının ve matkap aşınmasının ölçülmesi değişik kayaç şartlarında matkap kayaç ilişkisinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Böylece, aynı kayaç şartlarında matkapları karşılaştırmak, delme işleminde yeni terimler olan spesifik ilerleme hızı, spesifik aşınma oranı ve spesifik enerji tüketimi tanımlanabilecektir. Sonunda, matkap ömrünün hesaplanabilmesi ve maliyet analizinin yapılması belirli kayaç şartlarında en iyi performans ve işletme koşulları belirlenmiş matkabın seçilebilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Hughes, B., 1989. Baker Hughes mining tools product catalogue, Baker Hughes, Houston, Texas, s.1-17.
- Bilgesu, H.I., Al-Rashidi, A.F., Aminian, K., Ameri, S., 2000. A new approach for drill-bit Selection, Journal of Petroleum Technology, 52, s.27-28.
- Borquez, G.V., 1981. Estimating drilling and blasting costs and analysis prediction model, Engineering and Mining Journal, January, s.83-89.
- Cooper, G.A., Peltier, B., 1986. Advanced techniques for laboratory full-scale drilling tests, IADC/SPE Drilling Conference, s. 479-488, Dallas-USA.
- Dumans, C.F.F., Maidla, E.E., 1990. PDC bit selection method through the analysis of past bit performance, SPE Latin American Petroleum Engineering Conference, s.1-6, Rio De Jenerio.
- Ergin, H., Kuzu, C., Balci, C., Tuncdemir, H., Bilgin, N., 2000. Optimum bit selection and operation for the rotary blasthole drilling using a horzizontal drilling rig (HDR) – A case study at KBI Murgul copper Mine, International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 14, 4, s.295-304.
- Eronini, I.E., Somerton, W.H., Auslander, D.M., 1982. A dynamic model for rotary rock drilling, Journal of Energy Resources Technology, 104, 2, s.108-120.
- Ersoy, A., 2003. Automatic drilling control based on minimum drilling specific energy using PDC and WC bits, Trans. Int. Min. Metall A, 112, s.86-96.
- Fear, M.J., Meany, N.C., Evans, J.M., 1994. An expert system for drill bit selection, IADC/SPE Drilling Conference, s.359-383.
- Hartman, H.L., 1962. Crater geometry relations in percussive drilling, Mine and Quarry Engineering, s.530-536.
- Hoseinie, S.H., Ataei, M., Osanloo, M., 2009. A new classification system for evaluating Rock penetrability, International Journal Rock Mechanization Mining Sciences, 46, s.1329-1340.
- Judzis, A., Bland, R.G., Curry, D.A., Black, A.D., Robertson, H.A., Meiners, M.J., Grant, T.C., 2007. Optimization of deep-drilling performance-benchmark testing drives ROP Improvements for bits and drilling fluids, SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition, Amsterdam-Netherlands, s.25-39.
- Kok, M.V., Guzeloglu, L., Akin, S., 2008. Data base development for drilling bit selection, Energy Resources, 30, s.377-383.
- Koronka, F., Tacaks, F., Andras, I., 2009. The influence of Rock properties on the wear of mining tools for rotating drilling, Revisto Minerol, 9, s.20-24.
- Motahhari, H.R., Hareland, G., Nygaard, R., Bond, B., 2009. Method of optimizing motor and bit performance for maximum ROP, Journal of Canadian Petroleum Technology, 48, s.44-49.
- Opafunso, Z.O., Adebayo, B., 2008. Blast-hole cuttings: an indicator of drill bit wear in quarries, European Journal of Scientific Research, 20, s.721-736.
- Paona, J., Bruce W.E., 1963. Drillability studies-diamond drilling, RI-USBM 6324.
- Praillet, D., 1990. Drilling a manufacturer's viewpoint, Mining Technology Int., s.73-82.
- Praillet, R., 1998. Blasthole drilling, Rotary drilling and the four kingdoms, World Mining Equipments, s.20-23.
- Raymond, D.W., Elsayed, M.A., Polsky, Y., Kuszmaul, S.S., 2008. Laboratory simulation of drill bit dynamics using a model-based servohydraulic controller, Journal of Energy Resources Technology, 130, 4, s.1-12.
- Rockmore Int. Co., 1996. Product Catalogue, Rockmore Int., s.1-18.
- Singh, T.N., Jain, A., Sarkar, K., 2009. Petrophysical parameters affecting the microbit drillability of rocks, Int. Journal Rock Mechanization Mining Sciences, 1, s.261-277.
- Thuro, K., Spaun, G., 1996. Introducing the 'Destruction Work' as a new rock property of toughness referring to drillability in conventional drill and blast tunnelling, Eurock'96-Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Engineering, 2, s.707-713.

Torino-Italy.

Varel Co., 1991. Varel product catalogue-mining industrial Rock bits, Varel Manufacturing Co., s.1-17, Dallas-Texas.

Walker-McDonald Mfg. Co., 1998. Rotary bits, Walker-McDonald.

World Oil's, 2008. Drill Bit Classifier, Gulf Publishing Co., s.133-153, Houston, USA.