

DELME HIZI VE BASKI KUVVETİNİN ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

¹Niyazi BİLİM, ²Emre KARAKAYA

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, KONYA

²Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, KONYA

¹nbilim@ktun.edu.tr, ²ekarakayamr@gmail.com

(Geliş/Received: 26.04.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 14.05.2018)

ÖZ: Artan sanayileşme ve madencilik gelişmesiyle beraber dünyada son yıllarda sondaj çalışmaları artmıştır. Madencilikte birçok amaçla kaya birimlerinde delikler delinmektedir. Kayaların farklı ekipmanlarla delinmesi esnasında makinelerin performansına birçok faktör etki etmektedir. Araştırmacılar daha verimli bir delme işlemi için, bu faktörler içerisinde, değiştirilebilir parametreler üzerinde çalışmalar sürdürmektedirler. Delinebilirlik analizlerinde delme hızı önemli bir göstergedir. Kaya madde ve kütlelerinde verimli bir delmenin gerçekleştirilebilmesi için, delme hızının genelde yüksek olması arzu edilir. Fakat delme hızının artması için uygulanan prosedürler tüketilen enerjinin de artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, delme işleminde enerji tüketiminin daha önceden tahmin edilebilmesi maden projeleri için büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, yedi farklı kaya biriminde 11 farklı baskı kuvvetinde ve dört farklı dönme hızında delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Delme deneyleri sonucunda elde edilen verilerle güç tüketimlerinin değişimi araştırılmıştır. Ayrıca, delme hızıyla enerji tüketimi arasında ilişkiler değerlendirilerek bazı eşitlikler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Delinebilirlik, Delme hızı, Dönme hızı, Baskı kuvveti, Döner delme, Karotlu sondaj

Investigation on the Effect of Drilling Speed and Pressure Force on Energy Consumption

ABSTRACT: With increasing industrialization and the development of mining, drilling work has increased in recent years in the world. In mining, holes are drilled in rock for many purposes. Many factors influence the performance of the machines during drilling of the rocks with different equipment. Researchers continue to work on changeable parameters, including these factors, for a more efficient drilling operation. In drillability analysis, drilling speed is an important indicator. It is desirable that the drilling speed is generally high so that efficient drilling can be achieved in the rock material. But the procedures applied to increase the drilling speed cause the exhausted energy to increase. For this reason, it is very important for the mining projects that the energy consumption can be predicted beforehand in the drilling process. In this study, drilling experiments were carried out in seven different rock units at 11 different pressing forces and at four different rotational speeds. The change in power consumption obtained from drilling experiments was investigated. In addition, some equations have been developed by evaluating the relationship between drilling speed and energy consumption

Key Words: Drillability, Drilling speed, Drill rotation speed, Pressure force, Rotary drilling, Core drilling

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Delme işlemleri (sondaj) madencilik ve diğer mühendislik çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeraltı, açık ocak, baraj, tünel, yol inşaatı ve kanalizasyon sistemlerinde geliştirme ve

üretim faaliyetleri sırasında farklı amaçlarla (maden arama ve üretim, patlatma, drenaj, enjeksiyon, kontrol sondajı, doğal taş madeninde elmas tel delikleri, temel açma çalışmaları) delikler delinmektedir. Bu çalışmaların sağlıklı yürüyebilmesi için, delme çalışmaları esnasında karşılaşılabilecek olan sorunların tahmin edilebilmesi gereklidir. Verimli bir delme işlemi yapabilmek için öncelikle delinecek olan formasyon hakkında ayrıntılı bilgi sahibi olunmalıdır. Daha sonra bu formasyona uygun delici seçimi ve delme parametreleri (baskı kuvveti, su miktarı, dönüş hızı vb) belirlenmelidir.

Madencilikte delme çalışmaları, madenin ilk arama safhasından başlayarak üretimin tüm aşamalarında devam eden ve son aşamasına kadar devamlılığını koruyan önemli faaliyetlerden biridir (Taheri ve diğ., 2016). Delme çalışmalarına birçok faktör etki edebilir. Ancak delmeyi etkileyen en önemli faktörler jeolojik özellikler ve formasyonun mekanik özellikleridir (Protodyakonov, 1963; Tandanand ve Unger, 1975; Pathinkar ve Misra, 1976; Rabia, 1985). Proje planlaması ve maliyet analizleri için delme hızının tahmin edilmesi hayati önem taşımaktadır.

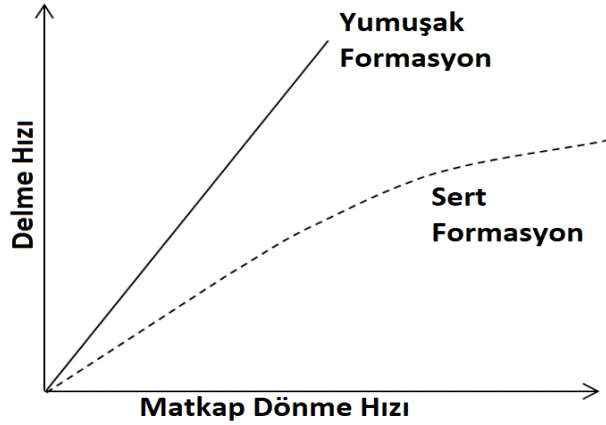
Kayacın delinebilirliği bir delme matkabının kayaç içinde ilerleme yapabilme hızı olarak tanımlanmaktadır (Tamrock, 1987). Delinebilirlik, delici ucun kayaç içinde belirli bir zamanda kayacı delerek ilerlemesidir. Genellikle metre/dakika olarak tanımlanır. Ayrıca, kaya kütlelerinde delik delme kolaylığı olarak ifade edilebilir. Bir kayacın delinebilirliği, delici ucun (matkabın) delme hızı, delme işinde harcanan spesifik enerji gibi birçok şekilde tanımlanabilmektedir. Delinebilirlik ile delme hızı aynı kavram olarak tanımlanmaktadır. Delinebilirlik kolay veya zor olarak delinme hızı ise hızlı veya yavaş olarak ifade edilmektedir (Bilim, 2011).

Günümüzde genel olarak iki farklı delme yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar döner delme ve darbeli delme işlemleridir. Dolayısıyla yapılan tasarımlar bu yöntemler arasından seçilecek delme sistemine göre yapılmaktadır. Bu yöntemlerin delme sistemlerinin birbirinden farklı olması nedeniyle yapılacak olan delinebilirlik analizleri her yöntem için ayrı ayrı oluşturulmalıdır. Dolayısıyla geliştirilecek olan delinebilirlik tahmin modellerinin de her yöntem için ayrı ayrı türetilmesi gerekmektedir.

Delinebilirliğe etki eden birçok parametre vardır. Etki eden faktörlere göre delme hızı değiştirilebilir ve değiştirilemeyen faktörler olarak kategorize edilebilir (El Kacimi ve diğ., 2017). Bunlar makine ve ekipmana bağlı parametreler (delme makinesinin tipi, dönme hızı, baskı kuvveti, matkap tipi vb.), delme işlemine bağlı parametreler (delme metotları, makinenin çalışma ve bakımı, makine operatörünün deneyimi, v.b.) ile jeolojik parametrelerdir (kaya tipi, kayaların mekanik özellikleri, süreksizlikler, mineral kompozisyonu). Makine, ekipman ve delme işlemine bağlı parametreler kontrol edilebilir parametreler olup, jeolojik özelliklere bağlı parametreler ise kontrol edilemeyen parametrelerdir (Karaman, 2008).

Kaya madde ve kütlelerine (jeolojik) bağlı parametreler, delici ekipmanlara bağlı parametreler ve işletme parametreleri delme performansını ve matkap aşınmasını etkilemektedir. Delme ekipmanlarına bağlı parametreler ve işletme parametreleri değişken ve kontrol edilebilir olabilmektedir. Ancak, kayaç özellikleri ve jeolojik koşullar kontrol edilemeyen parametrelerdir (Zahri ve diğ., 2016).

Matkap dönme hızının artırılması belli sınırlar içinde delme hızında da artışına neden olmaktadır. Yumuşak formasyonlarda, eğer kırıntılar kesildiği anda temizlenirse, delme hızındaki artış ile dönme hızındaki değişim orantılı olmaktadır. Sert formasyonlarda, dönme hızının artışı yumuşak formasyonlar kadar etkin değildir (Şekil 1). Matkap dönme hızının artırılması genel olarak delme hızının artırılması için avantaj sağlamaktadır. Fakat matkap ve diğer ekipmanların aşınması dönüş hızı arttıkça artmaktadır.



Şekil 1. Matkap dönme hızı ile delme hızı arasındaki ilişki
Figure 1. Relationship between drill rotation speed and drilling speed

Rais ve diğ. (2017) Cezayir'deki bir açık ocak fosfat madeninde yapmış oldukları çalışmada, patlatma deliklerinin delinmesinde kullanılan delici makinanın delme hızına etki eden parametreleri araştırarak bir tahmin modeli önermişlerdir. Delici makinanın baskı gücü ve dönme hızı parametrelerine bağlı olarak bir matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Bu modelin, delici makinanın verimliliğini artırmak ve matkap aşınmasını en aza indirmek için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Ekincioğlu ve diğ. (2013) doğal taşlar üzerinde gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda, delme oranı indeksi (DRI) ile spesifik enerji ve kayaçların fiziko-mekanik özellikleri arasında güçlü ilişkilerin varlığını tespit etmişlerdir.

Shaabani, ve diğ. (2016) tek eksenli basınç dayanımının delinebilirliği karakterize etmek için pek uygun olmadığını, bunun yerine delme oranı indeksinin (DRI) karbonatlı kayaçlarda delinebilirlik hakkında daha güvenilir sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Bilim ve diğ. (2017) Delici makinaların matkabının dönme hızı ile delinebilirlik arasında ilişkilerin durumunu analiz etmek amacıyla doğal taşlarda delme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta, matkap dönme hızının delme esnasında en etkin parametrelerden birisi olduğunu açıklamışlardır.

MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada araziden elde edilen doğal taşlar üzerinde laboratuvar ortamında karot alma makinesi ile delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler esnasında delme işlemi boyunca harcanan güç üç fazlı güç ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Araziden elde edilen kayaçların adları, lokasyonları ve jeolojik kökenleri Çizelge 1'de listelenmiştir. Deneylerin doğal taşlar üzerinde yapılmasının ana sebebi deney sonucunun yorumlanmasını zorlaştıracak olan heterojen davranış gösteren özelliklerin sabit tutulmasını sağlamaktır. Deney numuneleri İç Anadolu Bölgesinden temin edilmiş olup farklı özelliğe sahip yedi numune tercih edilmiştir.

Çizelge 1. Kayaçların isimleri ve jeolojik sınıfları

Table 1. Names and geological classes of rocks

Kayaç Adı	Jeolojik Sınıfı
Ankara Bazalt	Magmatik
Sille Andezit	Magmatik
Sivrihisar Beyaz Mermer	Metamorfik
Afyon Dolomit	Metamorfik
Beyşehir Mermer	Metamorfik
Karaman Traverten	Sedimanter
Polatlı Traverten	Sedimanter

Bu numunelerin delinme hızlarını belirlemek için laboratuvar ölçekli döner delme sistemine sahip bir karot alma cihazı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan karot alma makinesi 4 farklı devirde (dönüş hızı) ve farklı baskı kuvvetlerinde delme işlemini gerçekleştirebilecek özelliktedir. Delme işlemi uygulanan kayalarda toz oluşumunun engellenmesi, karotiyerin ucunda yer alan, kesme işlemi sağlayan preslenmiş elmas taneciklerini soğutmak için ve kırıntıları uzaklaştırmak için sulu kesim yapan bir sistemi barındırmaktadır. Karot alma makinesinde tungsten karbür içeren karot uçları kullanılmıştır. Delme deneyleri 54-72 mm çaplarında iki farklı delici uç ile gerçekleştirilmiştir.

Bir sistemde tüketilen enerjinin bileşenlerini ölçme işleminde kullanılan ölçü aletlerine güç analizörü denir. Güç analizörleri çok fazlı sistemlerde her faz için ayrı ayrı akım, gerilim ve güç değerlerinin ölçülmesini sağlayan ve dahili veya harici belleğe sahip olan modeller ile bu verilerin kaydedilmesini sağlayan ekipmanlardır. Güç analizörleri, şebekedeki elektrik parametrelerinin kontrolü, ölçümü ve izlenmesi için kullanılmaktadırlar. Güç analizörleri üç, iki ve tek fazlı sistemlerde ölçüm sağlayabilmektedir.

Karot alma makinesinde delme deneyleri yapılırken harcanan enerji miktarının analiz edilmesi için kullanılan güç analizörünün görüntüsü Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. 3 fazlı güç analizörü

Figure 2. 3-phase power analyzer

Güç analizörünün (Şekil 2) gücü ölçülecek üç fazlı bir cihaza bağlantısının yapılabilmesi için cihazın elektrik panosunun olması gerekmektedir. Fakat delme deneylerinde kullanılan karot alma cihazı bir panoya bağlı olmadığı için ölçümlerin panoya gerek kalmadan yapılması için “3 faz bağlantı aparatı” olarak adlandırılan ek bir cihaz tasarlanmıştır (Şekil 3). Bu tasarım sayesinde, hem ölçümlerin kolay yapılması sağlanmış hem de güç ölçümlerin gerçekleştirilmesi iş sağlığı ve güvenliği şartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 3 faz bağlantı aparatı
Figure 3. 3 phase connection aparate

DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Bu çalışmada, farklı bölgelerden temin edilen 7 farklı doğal taş numuneleri üzerinde laboratuvarda döner delici bir karot alma makinesi kullanılarak farklı şartlarda delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Delme deneyleri farklı baskı kuvvetleri ve dönme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde soğutma ve kırıntı temizleme parametresinin delinebilirlik üzerine etkisini saf dışı bırakmak için su debisi deneyler boyunca sabit tutulmuştur.

Karot alma makinesinde makine ekipmanlarının değiştirilebilir parametrelerinden birisi olan baskı kuvvetinin kademeli olarak artırılması ile gerçekleştirilen delme deneylerinde su debisi, delik çapı ve matkap dönme hızı gibi değiştirilebilir parametreler sabit tutulmuştur. Karot alma makinesinin baskı kuvvetini karotiyerin kendi ağırlığından başlayarak 1-10 kg arasında 11 farklı baskı kuvvetinde ve 54-72 mm çapında iki farklı matkap çapı ile delme işlemi yapılırken güç tüketimleri ölçülmüştür. Bu delme deneylerinde gerçekleştirilen işlemler ve elde edilen sonuçlar aşağıda ana başlıklar altında sıralanmıştır.

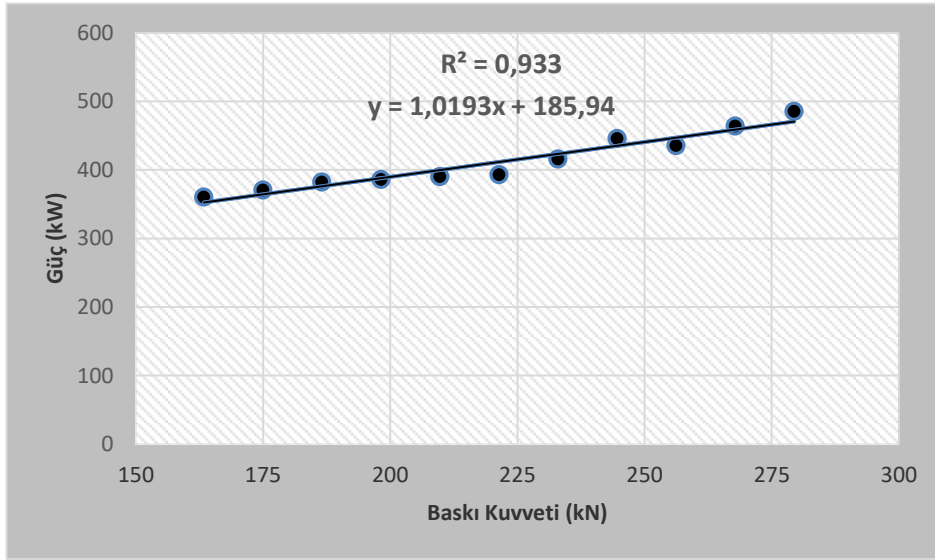
Baskı Kuvveti İle Güç Tüketimi Arasındaki İlişkiler (Relations Between Pressure Force and Power Consumption)

Bu delme deneyleri 7 farklı doğal taş numunesi üzerinde, karot alma makinesinin baskı kuvveti delicinin kendi ağırlığından başlayarak sırasıyla 1-2-3-4....-10 kg' a kadar artırılarak 11 farklı baskı kuvvetinde ve 54-72 mm çapında iki farklı matkap çapında gerçekleştirilmiştir. Delme deneyleri uygulanırken delici makinenin elektriksel güç tüketim değerleri ölçülmüştür. Karot alma makinesinin, devir sayısı, su debisi, delik çapı gibi özellikleri sabit tutulurken baskı kuvveti kademeli olarak değiştirilmiştir. Delme deneylerinde harcanan güç, enerji analizörü ile ölçülmüştür.

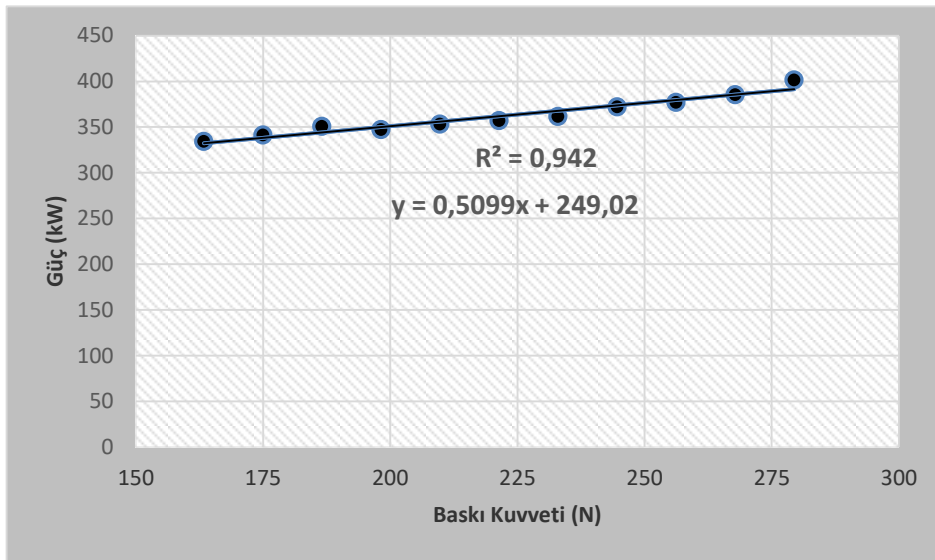
Delici uç üzerine farklı ağırlıklar takılarak delinebilirlik deneyleri gerçekleştirilirken baskı kuvvetinin sabit olmasını sağlamak amacıyla bu ağırlıklar dışında ek bir baskı kuvveti oluşturulmamıştır. Laboratuvar ölçekli karot alma makinesi dikey bir delme sistemine sahiptir. Bu nedenle delme esnasında kayaca gelen baskı kuvveti, kayaç üzerindeki ağırlık ile yerçekimi ağırlığından ibarettir. Deney sonuçlarında sunulan baskı kuvvetleri, yerçekimi ivmesi ile uygulanan sabit ağırlığın çarpımı sonucunda türetilmiştir.

Delme deneyleri, 54-72 mm çapında iki farklı matkap çapında yedi farklı doğal taş üzerinde gerçekleştirilerek farklı karotiyer çaplarında delme hızı, baskı kuvveti ve güç gibi faktörlerin değişimi izlenmiştir. Her iki matkap çapında da farklı baskı kuvvetlerine delme deneyleri uygulanarak her bir deney gerçekleştirilirken eş zamanlı olarak güç tüketimleri ölçülmüştür. Deneyler sonucunda baskı kuvveti ile güç arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Yedi farklı doğal taş numunesinden örnek olarak Sivrihisar beyaz mermer ve Polatlı traverten olarak adlandırılan kayaçlar üzerinde 54 mm'lik matkap çapında gerçekleştirilen delme deneylerinden elde edilen baskı kuvveti-güç arasındaki ilişkiler Şekil 4 ve 5'te sunulmuştur.

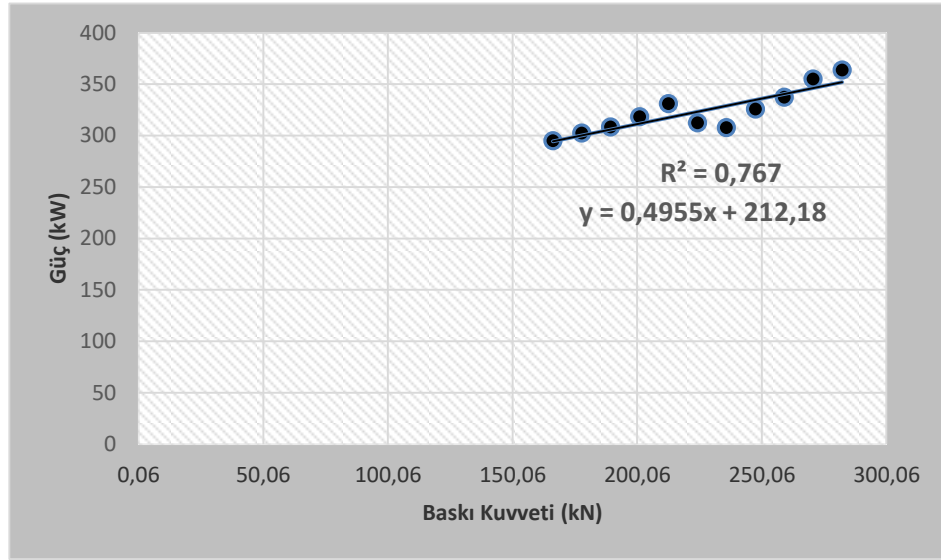


Şekil 4. Baskı kuvveti-güç tüketimi arasındaki ilişkinin (Sivrihisar beyaz mermer, 54 mm delik çapı)
Figure 4 The relationship between compression force and power consumption (Sivrihisar white marble, 54 mm hole diameter)



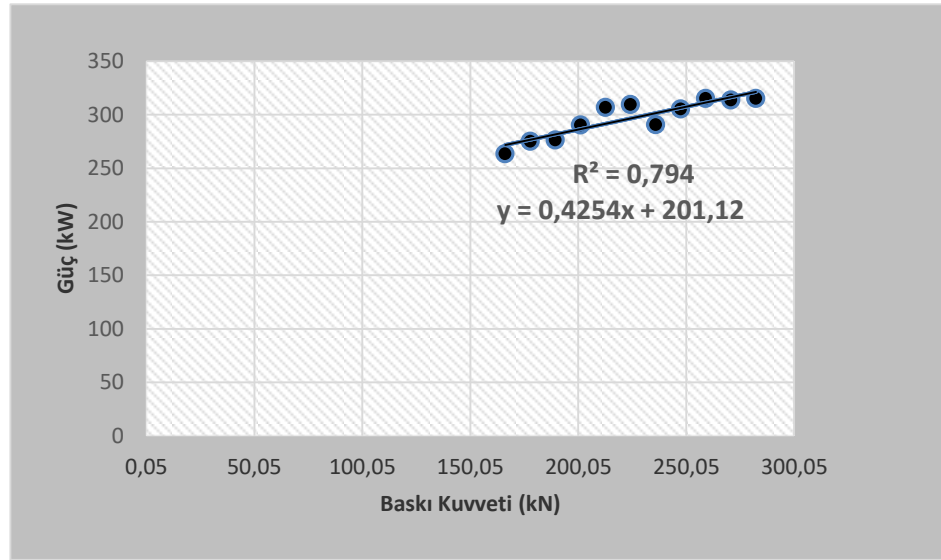
Şekil 5. Baskı kuvveti- güç tüketimi arasındaki ilişki (Polatlı traverten, 54 mm delik çapı)
Figure 5. Relation between pressure force and power consumption (Polarized traverten, 54 mm hole diameter)

72 mm'lik matkap çapında gerçekleştirilen delme deneylerinden elde edilen ölçüm sonuçlarına dayanılarak oluşturulan baskı kuvveti-güç arasındaki ilişkiler Şekil 6 ve 7'de sunulmaktadır.



Şekil 6. Baskı kuvveti-güç tüketimi arasındaki ilişki (Sivrihisar beyaz mermer, 72 mm delik çapı)

Figure 6. Relation between compression force and power consumption (Sivrihisar white marble, 72 mm hole diameter)



Şekil 7. Baskı kuvveti-güç tüketimi arasındaki ilişki (Polatlı traverten, 72 mm delik çapı)

Figure 7. Relation between pressure force and power consumption (Polarized traverten, 72 mm hole diameter)

Baskı kuvveti-güç arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler incelendiğinde baskı kuvveti ile gücün doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca delme işlemi sağlayan matkap çapının artması ile baskı kuvveti-güç arasındaki ilişki kuvvetinin biraz azaldığı görülmektedir.

54 mm'lik matkap ile delme işlemi gerçekleştirilen diğer kayaların baskı kuvveti-güç arasındaki belirlilik katsayıları ve türetilen eşitlikler Çizelge 2'de sunulmuştur. Türetilmiş olan tüm eşitlikler doğrusal denklem şeklinde türetilmiştir. Ayrıca tüm eşitliklerin anlamlılık değeri (p) % 95 güven aralığındadır. Başka bir ifade ile anlamlılık katsayılarının 0,05'den küçüktür. Dolayısıyla türetilen tüm eşitliklerin anlamlılıkları ve belirlilik katsayıları (R^2) oldukça yüksektir.

Çizelge 2. Baskı kuvveti-güç arasında türetilen eşitlikler

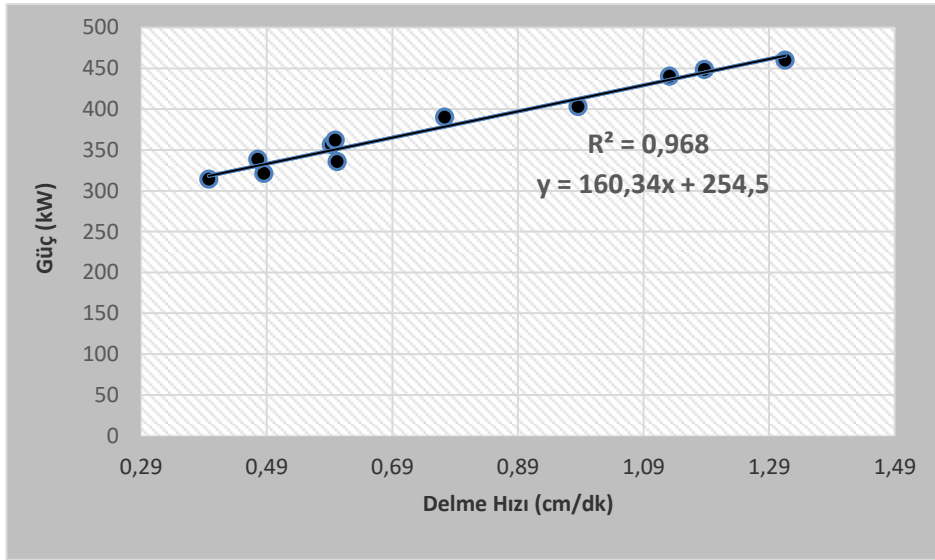
Table 2. Equations derived from force-force

Kayaç Adı	Belirlilik katsayısı (R ²)	Denklem
Beyşehir Mermer	0,942	$y = 0,733x + 285,72$
Afyon Dolomit	0,841	$y = 1,254x + 101,38$
Karaman Traverten	0,962	$y = 0,710x + 205,33$
Sille Andezit	0,982	$y = 0,373x + 234,97$
Ankara Bazalt	0,904	$y = 0,278x + 239,66$
Polatlı Traverten	0,942	$y = 0,5099x + 249,02$
Sivrihisar Beyaz Mer.	0,933	$y = 1,0193x + 185,94$

Delme Hızı İle Güç Tüketimi Arasındaki İlişkiler (Relations Between Drilling Speed and Power Consumption)

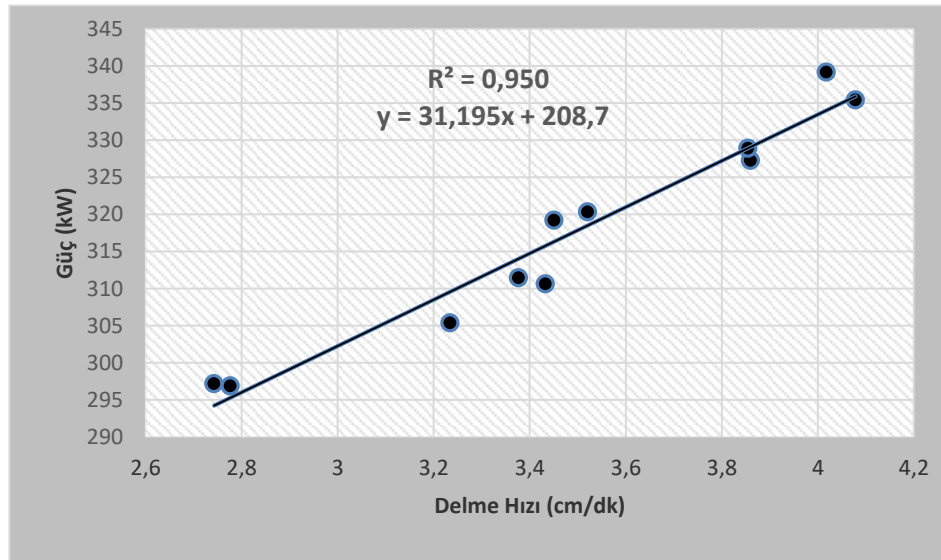
Delme hızı ile güç değişimleri arasındaki ilişkileri irdelemek amacıyla kayalarda delme hızı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde numuneden alınan karot boyu ve delme süresi ölçülmektedir. Ölçülen karot boyu ve delme süresi yardımıyla delme hızları hesaplanmaktadır.

Bu delme işleminde kırmızı andezit ve Afyon gri mermer adlı doğal taşlar için 54 mm'lik delici ucun kullanılması ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen sayısal değerlerin sonuçları Şekil 8 ve 9'da sunulmuştur.



Şekil 8. Delme hızı-güç arasındaki ilişki (Afyon gri mermer, 54 mm)

Figure 8. The relationship between piercing speed and power (Afyon gray marble, 54 mm).



Şekil 9. Delme hızı-güç arasındaki ilişki (Sille andezit, 54 mm)

Figure 9. Relationship between drilling speed and power (Sille Stone, 54 mm)

54 mm'lik matkap ile delme işlemi gerçekleştirilen kayaların delme hızı-güç arasındaki belirlilik katsayıları ve türetilen eşitlikler Çizelge 3' de sunulmuştur.

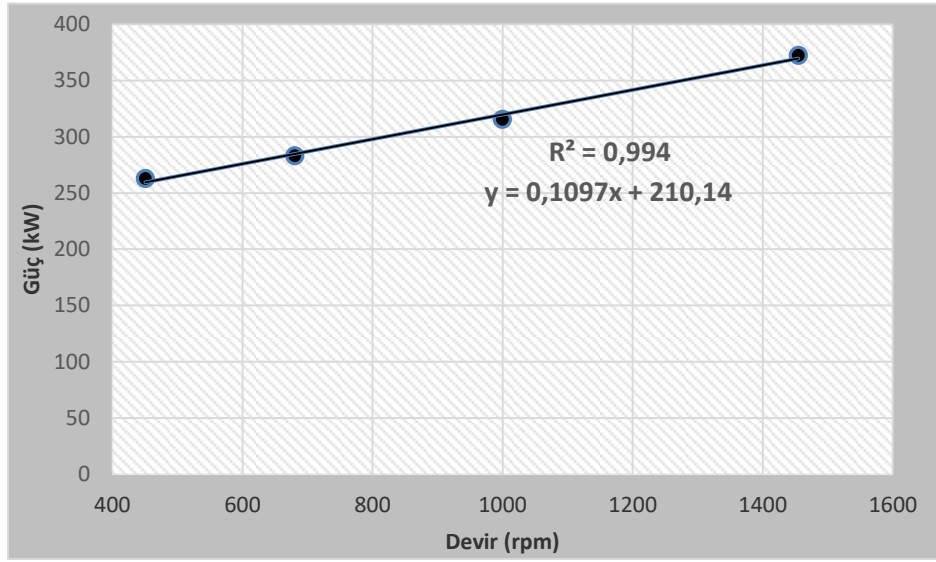
Çizelge 3. Delme hızı ile güç arasında türetilen denklemler

Table 3. Equations derived between drilling speed and power

Kayaç Adı	Belirlilik katsayısı (R ²)	Denklem
Beyşehir Mermer	0,965	$y = 122,46x + 279,86$
Sivrihisar Beyaz Mermer	0,853	$y = 149,32x + 243,05$
Karaman Traverten	0,869	$y = 94,876x + 252,4$
Polatlı Traverten	0,881	$y = 47,569x + 296,99$
Ankara Bazalt	0,828	$y = 50,664x + 247,54$
Afyon Dolomit	0,968	$y = 160,34x + 254,5$
Sille Andezit	0,950	$y = 31,195x + 208,7$

Dönme Hızı İle Güç Tüketimi Arasındaki İlişkiler (Relations Between Rotational Speed and Power Consumption)

Bu deney işleminde karot alma makinesinin sahip olduğu dört farklı dönüş hızı (devir), baskı kuvveti, su debisi, matkap çapı sabit tutularak kesme işlemi yapıp dönüş hızı-ilerleme hızı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Tipik bir örnek olarak 54 mm çaplı delici uç ile Karaman traverten isimli kayaç üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları Şekil 10'da görülmektedir. Deney sonucu elde edilen sayısal veriler ışığında oluşturulan grafik Şekil 10'da sunulmuştur. Bu numunede görüldüğü gibi dönme devri arttıkça harcanan gücün doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Devir ile güç arasındaki ilişki (Karaman traverten, 54 mm)

Figure 10. Relation between power and power (Karaman traverten, 54 mm)

SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Maden ocaklarında, tünellerde, zemin etütlerinde veya patlatma işlemlerinde delme işlemleri çok büyük yer kaplamaktadır. Delme işlemlerini gerçekleştiren makinelerin bir kısmının elektrikli olduğu düşünüldüğünde delici makinenin delme işlemini yapmak için harcadığı birim enerji maliyeti, doğrudan makine ekipmanına bağlı değiştirilebilir faktörlerle (su debisi, devir sayısı, delik çapı, baskı kuvveti vb.) doğru orantılıdır. Bu düşünce doğrultusunda bu çalışmada makine ekipmanına bağlı değiştirilebilir faktörlerden bazıları sabit tutularak diğer faktörler değiştirilerek elektriksel ölçüm sağlanmıştır. Yapılan bu çalışma özellikle elektrik enerjisi ile çalışan delici makineler için delik delme işlemlerinde harcanan gücü tahmin edebilmek amacıyla bir enerji tahmin modeli oluşturmayı hedeflemektedir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlarla delici makinelerin değiştirilebilir parametreleri delme işlemi yapılacak kayaca göre değiştirilerek, delme işleminde en az enerji harcanması ve maksimum verim elde edilmesini öngörülmektedir.

Enerji tahmin modeli oluşturmak amacıyla yapılan delme deneylerinde baskı kuvveti kademeli olarak artırılıp su debisi, delme çapı, matkap dönüş hızı gibi değişkenler sabit tutularak delme işlemlerinde harcanan güç ölçülmüştür. Bu işlemler sonucunda baskı kuvveti-güç, delme hızı-güç ve dönme hızı-güç arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Ayrıca delici uç çapı, su debisi ve baskı kuvveti gibi değişkenler sabit tutularak karot alma makinesinin sahip olduğu 4 farklı dönüş hızında delme işlemi yapılarak devir-güç parametreleri arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Bu ilişkilere baktığımızda baskı kuvveti arttıkça delme hızı artmakta ve ayrıca baskı kuvveti, delme hızı, devir gibi değişkenler arttıkça harcanan güçte artmakta olup bu parametreler arasında doğru orantılı ilişkiler görülmüştür. Buna ek olarak delici uç çapının değişimi ile ilgili yapılan deneylerde delici uç çapı arttıkça delme hızı düşmekte ve baskı kuvveti-güç, delme hızı-güç gibi birimler arasındaki ilişkilerin zayıfladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- ADITC, 2015. Australian Drilling Industry Training Committee Limited. "The Drilling Manuel, Fifty Edition", CRC Press Taylor & Francis Group,
- Bilim, N., Dündar, S., Kekeç, B., Dursun, A.E. 2017. Investigation of the Effect of Drill Bit Rotation Speed on the Sustainable Drilling. Proceeding of 8th International Conference on Sustainable Development in the Minerals Industry (SDIMI 2017). 25-28 June 2017, Beijing, China, 206-210.

- Bilim N., 2011. Determination of Drillability of Some Natural Stones and Their Association with Rock Properties, *Sci. Res. Essays*, vol, 6, 382 - 387.
- Ekincioglu, G., Altindag, R., Sengun, N., Demirdag, S., Guney, A. 2013. Investigation of the Relationships between Drilling Rate Index (DRI), Physico-mechanical Properties and Specific Cutting Energy for Some Carbonates Rocks. *ISRM International Symposium - EUROCK 2013*, 23-26 October, Wroclaw, Poland.
- El Kacimi, Y., Azaroual, M. A., Touir, R., Galai, M., Alaoui, K., Sfaira, M., ... & Kaya, S. (2017). Corrosion inhibition studies for mild steel in 5.0 M HCl by substituted phenyltetrazole. *Euro-Mediterr J En-viron Integr*, 2(1), 1.
- Karaman, E., 2008. Sert kayaçlarda delinebilirlik tayini. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 56s.
- Pathinkar A.G., Misra G.B., 1976. A Critical Appraisal of the Protodyakonov Index, *International Journal Of Rock Mechanics & Mining Sciences*, vol, 13, 249 - 251.
- Protodyakonov M.M., 1963. Mechanical Properties and Drillability of Rocks, *Proceedings of the 5th Symposium Rock Mechanics*, Minnesota, USA, 103-118.
- Rabia H., 1985. *Oilwell Drilling Engineering: Principles and Practise*, Graham & Tromtman, Huddersfield, England, 322 s.
- Rais, K., Kara, M., Gadri, L., Hadji, R., Khochman, L. 2017. Original approach for the drilling process optimization in open cast mines; case study of kef essenoun open pit mine northeast of Algeria. *Mining Science*, vol. 24, 2017, 147-159.
- Shaabani, E., Rezaeian, M., Moein, M.J.A., Maarefvand, P. Experimental investigation into rate of penetration in carbonated rocks. *International Journal of Oil Gas and Coal Technology*. Vol: 11, issue:4, 339-349.
- Taheri A., Qao Q. & Chanda E., 2016. Drilling penetration rate estimation using Rock Drillability Characterization index, *Journal of The Institution of Engineers (India)*, serie D, 1 – 12
- Tamrock, 1987. *Handbook of Underground Drilling*, Tamrock Drills SF-33310 Tampere, Finland, 327 s.
- Tandanand S., Unger H.F., 1975, *Drillability Determination A Drillability Index of Percussive Drills*, US Bureau of Mines, RI 8073
- Zahri, F., Boukelloul, M. L., Hadji, R., & Talhi, K., (2016). Slope stability analysis in open pit mines of Jebel Gustar career, NE Algeria, multisteps approach. *Mining Science*, 23, 137-146.