

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GLİ TUNÇBİLEK AÇIK OCAK İŞLETMELERİNDE FARKLI NOZUL  
BOYUTU VE MATKAP TİPLERİNİN SONDAJ MAKİNALARI  
VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Caner Kündem**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Maden Mühendisliği Programı**

**Haziran 2019**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GLİ TUNÇBİLEK AÇIK OCAK İŞLETMELERİNDE FARKLI NOZUL  
BOYUTU VE MATKAP TİPLERİNİN SONDAJ MAKİNALARI  
VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Caner KÜNDEM  
(505171004)**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Maden Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömür ACAROĞLU ERGÜN**

**Haziran 2019**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505171004 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Caner Kündem, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GLİ TUNÇBİLEK AÇIK OCAK İŞLETMELERİNDE FARKLI NOZUL BOYUTU VE MATKAP TİPLERİNİN SONDAJ MAKİNALARI VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. Ömür ACAROĞLU ERGÜN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman :** **Prof.Dr. Adı SOYADI** .....  
..... Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Adı SOYADI** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Adı SOYADI** .....  
..... Üniversitesi

**Prof. Dr. Adı SOYADI** .....  
..... Üniversitesi

**Prof. Dr. Adı SOYADI** .....  
..... Üniversitesi

**Prof. Dr. Adı SOYADI** .....  
..... Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : **02/05/2019**  
**Savunma Tarihi** : **14/06/2019**





*Aileme,*



## ÖNSÖZ

Yerüstü maden ocaklarında yapılan hazırlık çalışmalarının başında gelen delme-patlatma işlerindeki verimlilik, üretimi, dolayısıyla işletmenin ekonomisini doğrudan etkilemektedir. Delme uygulamaları sırasında kullanılan makine ve ekipmanların verimliliği bu açıdan önemlidir. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışma kapsamında, Garp Linyitleri (GLİ) Tunçbilek Açık Ocak Maden İşletmesi'nde kullanılan delici makinelerde delme işlemi sırasında uygulanacak olan optimum baskı kuvvetinin, farklı nozul boyutu ve matkap tiplerinin delme verimliliğine etkisi araştırılmıştır.

Tüm tez çalışmam boyunca her konuda yardımını aldığım, yaptığım hataları çözmemde yardımcı olan çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Ömür Acaroğlu Ergün'e teşekkürü borç bilirim. Tunçbilek'te yürüttüğüm tüm arazi çalışmalarım süresince benden desteğini esirgemeyen Baş Mühendis Burcu Hatice Hasipek'e, Mühendis Emre Duran'a ve Tekniker Süleyman Aktaş'a çok teşekkür ederim. Delik makinelerinde yaptığım çalışmalar sırasında yardım tecrübesini benden esirgemeyen uzman delik makinesi operatörleri Oğuz Baş'a, Ramazan Arslan'a, Hakkı Altın'a, Ramazan Kaçar'a ve Mehmet Çekgel'e teşekkür ederim.

Çalışma süresince her türden sorunuma ortak olan, tüm deneylerde ve çalışmalarda yardımını esirgemeyen, beraber çalışmaktan onur duyduğum, iş arkadaşım, değerli dostum Mert Yüksel'e çok teşekkür ederim. Ayrıca, tüm deneyler sırasında gerek fiili gerek bilgi paylaşımı açısından yardımlarını esirgemeyip yol gösteren Arş. Gör. Cemalettin Erdoğan'a çok teşekkür ederim. Maddi ve manevi desteklerini tüm hayatım boyunca gösteren çok değerli aileme, kendi yoğun ve yorucu iş hayatına rağmen benim tüm yüklerimi paylaşmaya çalışıp, elinden gelen her yardımı yapan çok değerli Tansu Kökçü'ye gösterdiği sabır, verdiği emekler ve yanımda olmasından dolayı çok teşekkür ederim.

Bu tezdeki çalışmalar, TÜBİTAK ARDEB Projesi'nin (Proje No:216M117) bir kısmı kapsamında gerçekleştirilmiş olup yazar desteği için TÜBİTAK'a teşekkürü borç bilir.

Haziran 2019  
Kündem

Caner



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. DELİK DELME İŞLEMİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 Delik Delme Yöntemleri .....	3
2.1.1 Döner delme sistemi.....	4
2.1.2 Darbeli delme sistemi.....	5
2.1.3 Döner-darbeli sistem .....	6
2.2 Delici Makinelerde Kullanılan Matkap Çeşitleri .....	8
2.2.1 Döner delme makinelerinde kullanılan matkaplar .....	8
2.2.2 Döner-darbeli delme makinelerinde kullanılan matkaplar.....	14
2.3 Delme verimliliğine etki eden parametreler .....	15
2.3.1 Delme hızı (ilerleme hızı) .....	17
2.3.2 Spesifik enerji .....	17
2.3.3 Matkap aşınması .....	17
2.3.4 Delinen formasyonun kayaç özellikleri .....	18
2.3.5 Baskı kuvveti, devir sayısı (RPM), tork.....	19
2.4 Üç Konili Matkaplarda Kullanılan Jetler (Nozullar).....	25
2.4.1 Üç konili matkaplarda delik dibi temizliği .....	25
2.4.2 Delik temizliği için gerekli hava basıncının hesaplanması.....	29
<b>3. GLİ TUNÇBİLEK HAVZASI'NIN TANITIMI VE KULLANILAN DELİCİ     MAKİNELER .....</b>	<b>33</b>
3.1 Bölgenin Jeolojisi.....	33
3.1.1 Stratigrafi .....	33
3.1.2 Yapısal jeoloji .....	35
3.2 GLİ Tunçbilek İşletmesi'nde Kullanılan Delici Makinelerin Özellikleri .....	37
<b>4. TUNÇBİLEK HAVZASI'NDA YAPILAN DENEYLER.....</b>	<b>39</b>
4.1 Ölçüm Alınan Bölgeler ve Özellikleri .....	39
4.2 Yapılan Deneyler.....	40
4.2.1 Schmidt çekici deneyi .....	41
4.2.2 Nokta yük dayanımı deneyi .....	42
4.2.3 Elek analizi.....	44
4.2.4 Tek eksenli basınç dayanımı .....	50
4.2.5 Çekme dayanımı .....	51
4.2.6 Darbe dayanımı .....	54

4.2.7 Yoğunluk.....	56
4.2.8 Nem içeriği.....	57
<b>5. GLİ TUNÇBİLEK AÇIK OCAKLARI DELİCİ MAKİNELERDE PERFORMANS PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ.....</b>	<b>59</b>
5.1 Optimum Baskı Kuvveti Belirlenmesi .....	60
5.2 Nozul Boyutunun Belirlenmesi .....	62
5.3 Farklı IADC Nolu Matkapların Kıyaslanması .....	63
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>69</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>75</b>



## KISALTMALAR

<b>ASTM</b>	: American Society for Testing and Materials
<b>CI</b>	: Coarseness Index
<b>GLİ</b>	: Garp Linyitleri İşletmesi
<b>IADC</b>	: International Association of Drilling Contractors
<b>ISRM</b>	: International Society of Rock Mechanics
<b>İTÜ</b>	: İstanbul Teknik Üniversitesi
<b>PDC</b>	: Polycrystalline Diamond Compact
<b>RPM</b>	: Revolution per Minute
<b>SSA</b>	: Specific Surface Area
<b>TKİ</b>	: Türkiye Kömür İşletmeleri
<b>RC</b>	: Kayacın basınç dayanımı
<b>D</b>	: Üç konili matkap çapı
<b>E<sub>min</sub></b>	: Uygulanması gereken minimum baskı kuvveti
<b>E<sub>max</sub></b>	: Uygulanması gereken maksimum baskı kuvveti
<b>E<sub>ort</sub></b>	: Uygulanması gereken ortalama baskı kuvveti
<b>E<sub>L</sub></b>	: Uygulanması gereken limit baskı kuvveti
<b>F<sub>g</sub></b>	: Yerçekimi kuvveti
<b>dm</b>	: Tanenin yoğunluğu
<b>F<sub>b</sub></b>	: Kaldırma kuvveti
<b>r</b>	: Düşen küresel parçacığın yarıçapı
<b>df</b>	: Ortamın yoğunluğu
<b>g</b>	: Yerçekimi sabiti (9.80665 m/s <sup>2</sup> )
<b>C<sub>d</sub></b>	:Sürüklenme sabiti
<b>V</b>	: Parçacığın hareket halindeyken hızı
<b>A</b>	: Parçacığın hareket yönüne dik yöndeki kesit alanı
<b>Q</b>	: Kompresörün sağladığı hava miktarı (m <sup>3</sup> /dak)
<b>V<sub>s</sub></b>	: Tahliye hızı (m/dak)
<b>d</b>	: Tijin dış çapı (mm)
<b>ar</b>	: Parçacık boyutu
<b>ad</b>	: Parçacık yoğunluğu

<b><math>\alpha_{rou}</math></b>	: Parçacık yuvarlaklığı
<b><math>\alpha_{rnd}</math></b>	: Parçacık pürüzlülüğü
<b><math>\alpha_{fr}</math></b>	: Parçalanma hızı (İlerleme hızı)
<b><math>\alpha_a</math></b>	: Anülüs boşluğu
<b><math>\alpha_i</math></b>	: Delik eğimi
<b><math>\alpha_w</math></b>	: Su enjeksiyonu varsa miktarı



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> : Üç konili matkaplarda farklı formasyonlarda uygulanacak RPM aralıkları .....	21
<b>Çizelge 2.2</b> : Bir patlatma deliğinde basınçlı havanın geçtiği bölümler .....	30
<b>Çizelge 2.3</b> : Döner delme işleminin yapıldığı patlatma deliklerinde dört ana bölümde basınç kayıplarının hesabı .....	31
<b>Çizelge 3.1</b> : Delik makinelerinin genel özellikleri. ....	37
<b>Çizelge 4.1</b> : 1.Prosedür Schmidt değer çizelgesi.....	41
<b>Çizelge 4.2</b> : Atımlardaki nokta yük numune sayıları ve ortalama değerleri. ....	42
<b>Çizelge 4.3</b> : AT-1 atımı D1 kodlu delik elek numunesi analizi. ....	48
<b>Çizelge 4.4</b> : Tek eksenli basınç dayanım deney sonuçları. ....	50
<b>Çizelge 4.5</b> : Çekme dayanım deney sonuçları.....	53
<b>Çizelge 4.6</b> : Darbe dayanımı deneyinin sonuçları. ....	54
<b>Çizelge 4.7</b> : Numune yoğunluk deneyi sonuçları. ....	56
<b>Çizelge 4.8</b> : Nem içeriği deneyi sonuçları.....	57
<b>Çizelge 5.1</b> : 622 IADC kodlu matkapta farklı baskı kuvveti değerlerinin karşılaştırılması .....	61
<b>Çizelge 5.2</b> : 622 IADC kodlu matkapta farklı nozul boyutlarının karşılaştırılması .....	63
<b>Çizelge 5.3</b> : Farklı IADC kodlu matkapların karşılaştırılması .....	64



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Yumuşak-çok yumuşak formasyon için delgi yöntemi seçim kriterleri. ...	3
Şekil 2.2 : Orta sert-aşırı sert formasyon için delgi yöntemi seçim kriterleri.....	4
Şekil 2.3 : Hidrolik darbeli delici makine.....	6
Şekil 2.4 : Pnömatik darbeli delici makine.....	6
Şekil 2.5 : Döner-Darbeli delme sistemleri ile döner delme sistemi. ....	7
Şekil 2.6 : Chevron tip kanatlı matkap. ....	8
Şekil 2.7 : Basamaklı kanatlı matkap. ....	9
Şekil 2.8 : Kalem uçlu (pençe tipli) matkap. ....	9
Şekil 2.9 : PDC matkap tipleri. ....	10
Şekil 2.10 : Tungsten karbür dişli üç konili matkap.....	10
Şekil 2.11 : Çelik uçlu üç konili matkap.....	11
Şekil 2.12 : Bir üç konili matkap dişinin derinlik alma modeli.....	11
Şekil 2.13 : Bir hava soğutmalı üç konili matkabın elemanları.....	12
Şekil 2.14 : IADC Sınıflandırma sistemi tablosu. ....	13
Şekil 2.15 : Döner darbeli delmede kullanılan matkaplar. ....	14
Şekil 2.16 : Düğme tipli matkaplardaki diş şekillerinin performans etkileri ve kullanım alanları.....	14
Şekil 2.17 : Düğmeli matkap tiplerinin değişik formasyonlarda kullanımları. ....	15
Şekil 2.18 : Delinebilirliğe etki eden faktörler. ....	16
Şekil 2.19 : Jeolojik Parametreler: Mineral, kaya ve kaya kütlelerinin karakteristiklerine genel bakış.....	18
Şekil 2.20 : Optimum baskı kuvveti. ....	19
Şekil 2.21 : Yüksek baskı kuvvetinde dişlerin kayada sıkışma durumu.....	20
Şekil 2.22 : Delik dibi temizliğinde kayaç parçacığına etki eden kuvvetler. ....	26
Şekil 2.23 : Basınçlı havanın nozullardan çıkışı.....	31
Şekil 3.1 : Tunçbilek kömür havzasının dikme kesiti.....	36
Şekil 3.2 : Delme sırasında bir delici makine. ....	38
Şekil 4.1 : BYL kodlu pano genel görünüş. ....	39
Şekil 4.2 : FC kodlu pano genel görünüş.....	40
Şekil 4.3 : Schmidt çekici deneyi. ....	41
Şekil 4.4 : AT-6 kodlu nokta yük numuneleri deney öncesi. ....	43
Şekil 4.5 : AT-6 kodlu nokta yük numuneleri deney sonrası. ....	43
Şekil 4.6 : Nokta yük deneyi.....	44
Şekil 4.7 : Elek analizi deneyinde kullanılan titreşimli eleme makinesi. ....	45
Şekil 4.8 : No AT-1 atımı D1 kodlu delik elek numunesi analizindeki RR Diagramı. ....	46
Şekil 4.9 : AT-1 atımı D1 kodlu delik elek numunesi analizi. ....	49
Şekil 4.10 : Tek eksenli basınç dayanım deneyi.....	51
Şekil 4.11 : Çekme dayanım deneyinde kullanılan numuneler. ....	52
Şekil 4.12 : Çekme dayanım deneyinde kullanılan deney aracı. ....	52
Şekil 4.13 : Çeneli kırıcı. ....	55

<b>Şekil 4.14</b> : Darbe dayanımı deneyi.....	55
<b>Şekil 4.15</b> : Yoğunluk deneyi. ....	56
<b>Şekil 4.16</b> : Nem içeriği deneyinde kullanılan numuneler.....	57
<b>Şekil 5.1</b> : 422 IADC kodlu matkap. ....	64
<b>Şekil 5.2</b> : 422 IADC kodlu matkap. ....	65
<b>Şekil 5.3</b> : 522 IADC kodlu matkap. ....	65
<b>Şekil 5.4</b> : 522 IADC kodlu matkap. ....	66
<b>Şekil 5.5</b> : 622 IADC kodlu matkap. ....	66
<b>Şekil 5.6</b> : 622 IADC kodlu matkap. ....	67



# GLİ TUNÇBİLEK AÇIK OCAK İŞLETMELERİNDE FARKLI NOZUL BOYUTU VE MATKAP TİPLERİNİN SONDAJ MAKİNALARI VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

## ÖZET

Açık ocak madenciliğinde delme patlatma amaçlı döner veya döner darbeli sondaj makinaları kullanılmaktadır. Büyük açık ocak madenciliğinde patlatma amaçlı geniş çaplı delikler açmak için döner deliciler kullanılmakta olup bu delicilerde üç konili matkap kullanımı yaygındır. Bu makinalarının delme verimliliğine üç ana parametre etki etmektedir. Bunlar delinen formasyonun jeolojik özellikleri, makina parametreleri ve çalışma koşullarıdır.

Döner sondaj makinalarında dönme ve baskı kuvveti ile delinen delikten kazılan kayaç parçacıkları kompresörler aracılığıyla gönderilen basınçlı hava ile dışarı atılmaktadır. Uygulanacak optimum baskı kuvveti ve devir değerleri formasyon ve matkabın özellikleri ile belirlenmektedir. Bu amaçla bu çalışmada Tunçbilek havzasında kullanılmakta olan 622 IADC kodlu 9 inç çapındaki matkaba uygulanması gereken optimum baskı kuvveti değerini bulmak için belirli bir aralık içinde farklı baskı kuvvetleri uygulanmıştır. Bu sırada makinadaki baskı kuvveti, ana pompa basıncı, hava basıncı değerleri ölçülmüş ve formasyondan nokta yük numuneleri ve elek analizi için kayaç parçacıkları alınmıştır. Sonuç olarak yapılan bu çalışmada optimum baskı kuvvetinin 12 ton civarı olmasının delme hızını artırmak ve yakıt tüketiminin düşük tutmak için uygun olacağı belirlenmiştir.

Döner sondaj makinalarında üç konili matkapların değişik tipleri kullanılmakla birlikte özellikle hava soğutmalı tipleri patlatma amaçlı deliklerin açılmasında kullanılmaktadır. Delik dibini iyi temizlemek ayrıca rulmanları daha iyi soğutmak matkabın ısınması azaltır ve ömrünü uzatır. Üç konili matkaplarda havanın %25'nin rulmanlardan geçmesi gerekmektedir. Bu amaçla Tunçbilek havzasında matkaplarda 16, 14.5 ve 13 mm nozul boyutu için ölçümler yapılmıştır. Delme hızı ve yakıt tüketiminde çok büyük değişiklik olmamasına rağmen 14.5 mm'de verimli kazı olduğu görülmüştür.

Tunçbilek havzasında kullanılan üç konili matkaplarda verimliliğin artırılabilmesi için farklı IADC nolu matkaplar karşılaştırılmıştır. Tunçbilek havzası yumuşak-orta

sertlikte bir formasyona sahip olup burada daha çok 622 ve bazen de 522 IADC nolu matkaplar kullanılmaktadır. Bu çalışmada 622, 522 ve 422 IADC nolu üç farklı matkabın verimliliğine bakılmıştır. Verimlilik parametrelerinde benzer sonuçlar elde edilmiş olmakla birlikte 422 IADC nolu matkapta delme hızı artmış ve yakıt tüketimi azalmıştır. Bu sonuç bize Tunçbilek havzası için 422 IADC nolu matkapların da kullanılabilceğini göstermektedir.



# **EFFECTS OF DIFFERENT NOZZLE SIZES AND BIT TYPES ON EFFICIENCY OF DRILLING MACHINES IN GLI TUNÇBİLEK OPEN PIT MINE**

## **SUMMARY**

Drilling applications are commonly used in many areas of underground and open pit mining. In open pit mines, drilling is one of the most used application for blasting purpose. Both rotary and rotary percussive drilling machines are used for drilling and blasting operations. Rotary drills are usually used to open large diameter holes in big open pit mines for blasting purposes.

There are several types of drill bits which are used in the rotary drilling system. It is possible to classify them as drag type bits, PDC (Polycrystalline diamond compact) bits and tricone bits. The most commonly used type of bits are tricone bits. Tricone bits are divided into two types: steel and tungsten carbide. Generally, in the soft and non-rigid formations, steel tricone bits are used. On the other hand, tungsten carbide tricone bits are used in abrasive and hard formations.

There are many factors affecting the parameters that determine the efficiency of a drilling machine, and these are generally divided into three main parts. This classification include physical, mechanical and mass properties of the drilled formation, design parameters of bits (diameter, type, etc.) and also machine operating parameters such as pressure force, RPM (revolution per minute) and equipment maintenance, logistics etc.

In this study, in the Tunçbilek coal basin of GLI, optimum feed force to be applied on the tricone bits, appropriate nozzle size of bits and efficiency of different IACD bit types were examined. In these purposes drilling machine efficiency parameters were measured and comparisons were made during this study.

Drilling process is carried out by breaking the rock under a bit depending on the structure of the rock and its mechanical properties. The breakage mechanism of rocks also changes according to the type and size of the forces and the duration of these forces. Rotary drilling systems have only feed force (pull down force ) and torque force applied by different RPM (revolution of per minute).

Optimum feed force and RPM value to be applied to a tricone bit are determined by the characteristics of the formation and the bits. For this purpose, different feed forces were applied in a certain range in order to find the optimum feed force value to be applied to the 622 IADC coded 9 inch diameter tricone bit which is commonly used in Tunçbilek coal basin of GLI. At this time, the pressure of feed force, the pressure of the main pump, the air pressure values were measured and the samples were taken from the drilled formation for point load experiment and sieve analysis. As a result of this study, it was found that the optimum feed force around 12 tons would be suitable for increasing the drilling speed and keeping fuel consumption low.

In order to perform the drilling process efficiently, the rock particles should be removed from the blast hole bottom. Particles that cannot be removed sufficiently from the bottom of the blast hole will be drilled again. As a result of this situation, the depth of the teeth within the rock reduces and unnecessary energy consumption and rapid wear of the bits occurs.

In drilling, the media (drilling fluid) used to remove the particles from the bottom of the blast hole depends on the formation of the drilling, the type of drilling machine (rotary, rotary-percussive), the characteristics of the machine and the hole characteristics (depth, diameter, duration of use etc.). Drilling fluid is usually obtained by adding air and water and / or foam, oil, clay, minerals and various chemicals added to them. Air provides an easy-to-use and clean working environment; It is used for drilling holes which are not long and stay for short time.

Tricone drill bits can have different designs according to different drilling operations, especially difference of bearing types. Tricone drill bits used in open pits are generally air cooled. At least 30% of the compressed air in the air-cooled tricone drill bit types goes to the bearings and provide the necessary cooling.

For this purpose, measurements were made for 16 mm, 14.5 mm and 13 mm nozzle sizes on bits used in Tunçbilek area. Although there was no significant change in drilling speed and fuel consumption, more efficient drilling process was achieved with a 14.5 mm nozzle size.

Tricone drill bits have a classification system called IADC (International Association of Drilling Conductors). According to this system is made using 4 characters. The first three of the classification are numerical and the last one is alphabetical. The numerical

characters of classification system are represent series, type and bearing/body protection, respectively. The last alphabetic character consists of 16 different alphabetic characters and shows the other characteristics of the drill bit.

The first of the numerical characters is classified as the formation series and takes a value between 1 and 8. The first three of them show the tricone drill bits with steel cutters, while the others show tungsten carbide drill bits. We can describe the hardness and abrasiveness of the formation from low to high according to these numbers. The second of the numerical characters is also classified as the formation type and takes a value between 1 and 4. These values are lined up to show the 1 softest and 4 most hard formations. We are able to get information about bearing design and housing protection by classification of third and last numerical character which has values between 1 and 7.

In this study, the efficiency of three tricone bits with different IADC were compared in the Tunçbilek area of GLI. Tunçbilek has a soft medium hardness formation. Generally, tricone drill bits with IADC 622 and sometimes IADC 522 are used here. In this study, the efficiency of three different tricone drill bits which have IADC 622, IADC 522 and IADC 422 were investigated. Although sometimes similar results were obtained in the efficiency parameters, the drilling speed in the IADC 422 tricone drill bit increased and the fuel consumption decreased. This result shows us that IADC 422 tricone drill bits can also be used for Tunçbilek area.



## 1. GİRİŞ

Delik delme işlemi günümüzde madencilik ve inşaat sektörlerinde yaygın olarak kullanılan bir uygulamadır. Madencilik sektörü kapsamında cevher çıkarılması, pasa oluşturulması, maden arama, tahkimat, ulaşım, su tahliyesi gibi nedenlerle delik delme işlemi gerçekleştirilebilir. Benzer nedenler tünel, yol, hidroelektrik santral gibi tesislerin inşaa işlemleri sırasında da delik delme işleminin kullanımını hayli yaygın ve gerekli hale getirmektedir. Terim olarak “Delik Delme”, shaft açma ve baş yukarı açma gibi özel makineler tarafından yapılan bir kaç istisnai işlem dışında, küçük çaplı deliklerin açılma işlemi için kullanılır.

Açık ocak maden işletmeciliğinde hazırlık işleri olarak adlandırılan delme-patlatma faaliyetleri, üretime hazırlık aşamasında gerçekleştirilmesi nedeniyle; hız ve süreklilik üretimin verimi açısından önemlidir.

Kullanılan delici makine parametreleri, formasyon koşulları ve işletim koşulları gibi özelliklere bağlı olan delik delme verimliliğinde en yüksek değerlerin alınabilmesi için öncelikli olarak uygun makine ve makine ekipmanın seçilmesi gerekmektedir. Delme işleminde ekonomik kriterleri yakalamak açısından uygun matkabın kullanılması önem arz etmektedir. Matkabın delme işlemi sırasında, kayaçla sürekli temas halinde bulunması, matkap seçimini delme işleminin ekonomik yönünde büyük bir pay sahibi yapmaktadır.

İşletme maliyetlerinde azalma sağlanması açısından, hazırlık işlerinden biri olan delme işleminde kullanılan matkabın, formasyonun fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak mümkün olduğunca uzun süre kullanılması gerekmektedir.

Delik delme işlemi genel olarak üç farklı yöntemle yapılmaktadır: Bunlar döner delme işlemi, darbeli delme işlemi ve döner-darbeli delme işlemidir. Açık ocak madenciliğinde ise döner delme işlemi daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Döner delme işleminde birkaç çeşit matkap kullanılmakta olup en çok tercih edileni üç konili matkaplardır.

Döner delme işlemi matkaba belirli bir ağırlık verip döndürülmesiyle gerçekleştirilmekte olup delik dibinde kesme sonucu oluşan kayaç parçalarının delikten atılması delme işlemini daha verimli hale getirmektedir.

Tez kapsamında GLİ Tunçbilek Açık Ocak İşletmesi'nde uygun konik matkap tipi ve optimum jet boyutu belirlemesi yapılarak, delik delme verimliliğinin artırılması üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışma, işletme sahası içerisinde bulunan BYL olarak adlandırılan pano üzerinde, çalışma dahilinde delici makinelerde kullanılması planlanan optimum baskının bulunmasına yönelik bir deneme ile başlatılmıştır.

Bu baskı denemesi saha koşulları ve yapılan literatür çalışmaları göz önünde bulundurularak, 80 bar, 90 bar, 100 bar, 110 bar ve 120 bar olmak üzere beş farklı baskı seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Her baskı seviyesi için on delikte ölçüm alınarak elde edilen veriler analiz edilerek, optimum yakıt tüketimi, delme hızı ve makine sağlığı parametreleri göz önünde bulundurulmak kaydı ile optimum delme baskısı tespit edilmiştir.

İşletmede, delici makinelerde kullanılmakta olan 622 IADC kodlu üç konili matkaplar üzerinde mevcut durumda ki 16 mm çaplı hava jetleri (nozzle) ile minimum on delikten ölçüm alınmıştır. Aynı zamanda, çalışma kapsamında optimum hava jet boyutunun belirlenmesi amacıyla 14.5 mm çaplı hava jetleri ile de aynı kriterler göz önünde bulundurularak ölçümler alınmıştır. Bunların yanı sıra denenmesi planlanan 13 mm çaplı hava jetleri, işletmede kullanılan delici makine kompresörlerine sıkıntı çıkarabileceği sebebiyle, bu hava jetinin deneme işlemi iptal edilmiştir.

Uygun konik matkap tipinin belirlenmesi amacıyla, işletme makinelerinde mevcut durumda kullanılmakta olan 622 IADC kodlu üç konili matkapların yanı sıra, 522 ve 422 IADC kodlarında olmak üzere iki farklı üç konili matkap ile de gerekli ölçümler alınmıştır. Bu matkaplar ile yapılan ölçümlerin tamamında daha öncesinde elde edilen optimum delme baskı basıncı ve optimum hava jet boyutları kullanılmıştır.

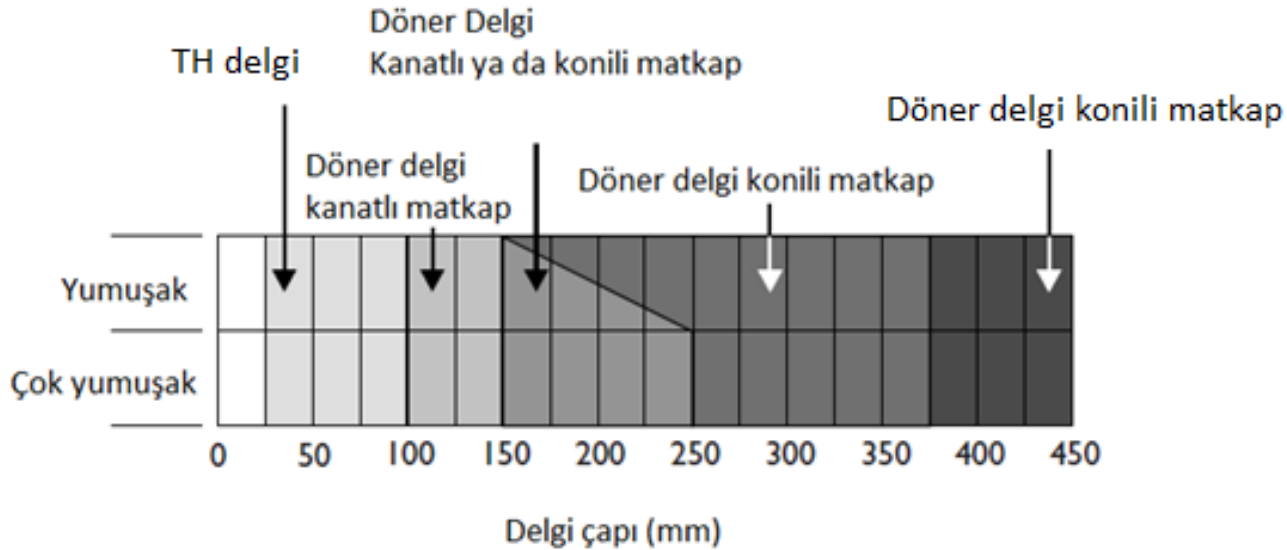
## 2. DELİK DELME İŞLEMİ

### 2.1 Delik Delme Yöntemleri

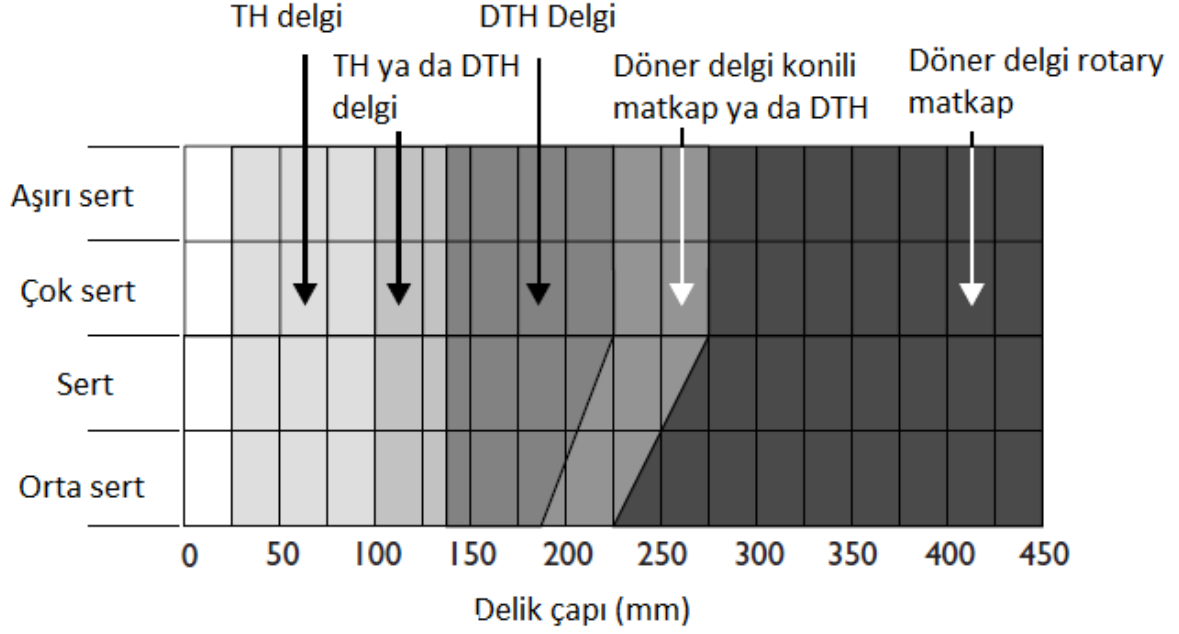
Delme ve patlatma ile kazı sırasında yapılan temel işlemlerden birisi delme işlemidir. Sahada kaya kütlelerini patlayıcı yardımıyla kaldırmak için belirli parametre ve geometrilere delik delinir. Patlatma yöntemi kullanılmasa dahi diğer yöntemlere destek amaçlı serbest yüzeyler oluşturması açısından delme işlemi uygulanmaktadır.

Delme işlemleri için kullanılmakta olan yöntemleri Mekanik yöntemler, Termal yöntemler, Hidrolik yöntem, Sonik yöntem ve Lazer yöntemi olmak üzere sınıflandırabiliriz. Bu yöntemler arasında maden işletmelerinde en çok kullanılan yöntem ise Mekanik yöntemlerdir. Mekanik yöntemleri kendi içerisinde Döner sistem, Darbeli Sistem ve Döner-Darbeli sistem olarak 3 farklı başlık altında inceleyebiliriz.

Delik delme yöntemi seçimi uygulamaya ve saha özelliklerine göre spesifik olarak yapılmaktadır. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de, farklı formasyonlar için delgi yöntemi seçim kriterleri verilmiştir.



Şekil 2.1 : Yumuşak-çok yumuşak formasyon için delgi yöntemi seçim kriterleri.



**Şekil 2.2 :** Orta sert-aşırı sert formasyon için delgi yöntemi seçim kriterleri.

Bu tez çalışması ana konusu kapsamında, yukarıda belirtilen delik delme yöntemlerinden Döner Delme yöntemine ilgili bölümlerde daha detaylı olarak yer verilmiştir.

### 2.1.1 Döner delme sistemi

Matkabın bir darbe gücü olmaksızın sadece kendi etrafında dönerek kayacı kopartmasıyla delme işlemi yapılan sistemdir. Matkap, kule, vinç, halat sistemi, motorlar ve güç dağıtım düzenekleri gibi birçok yardımcı eleman sayesinde delme işlemi gerçekleştirilmektedir. Diğer delme yöntemlerine kıyasla daha fazla kullanım alanına sahiptir [1].

Döner delme ve diğer yöntemler arasındaki temel fark, darbenin bulunmamasıdır. Çoğu döner uygulamada, tercih edilen matkap üç konili (tricone) matkaplardır. Üç konili matkapların çalışma prensibi kayaçları ezme ve ufalamaya dayanmaktadır. Bu işlem, üç konili matkaplar üzerinde bulunan üç konik kafanın kendi eksenine etrafında döndükçe karbürlerin kayaya sürtünmesi ile meydana gelmektedir. Dönme, bir besleme sistemi vasıtasıyla kuleyi yukarı ve aşağı hareket ettiren bir hidrolik veya elektrikli motor tahrikli şanzıman tarafından sağlanmaktadır.

Döner delmenin kilit parametresi, kesilen kayaç parçalarının delikten dışarı atılmasıdır. Çoğu döner patlatma deliği matkapında, delik duvarı ile matkap tij

gövdeleri arasındaki kesilmiş kayaç parçaları basınçlı hava ile dışarı atılmaktadır. Bu kayaç parçacıklarını kaldırmak için yeterli hava hacmi gereklidir.

Döner delme işlemi, tekerlekli veya paletli makinelere monte edilmiş matkaplar aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Bu tip delme işleminde, sekiz inç (200 mm) çapında ve 328 - 656 feet (100 - 200 m) derinliğinde delikler açabilir. Daha derin delik gerektiren her şey için döner sondaj kulesi gereklidir. Bu tip delme ile 19,685 (6,000 m) kadar derin delikler açılabilir. Döner sondaj kuleleri, sondaj tijini ve matkabını yükseltmek amacıyla hidrolik ve vinçlere daha fazla bağlı oldukları için burada kullanılan matkaplar kamyonla monte edilmiş matkaplardan farklı olabilirler [2].

Döner delme sistemi ilk olarak petrol sanayisi için üretilmiştir. Yapılan geliştirme ve yenilikler sayesinde döner delme sisteminin kullanım alanı açık ocak maden işletmelerine de fayda sağlamıştır. Bu delme sisteminde kullanılan temizleme sistemlerinden birisi olan hava ile temizleme sisteminin kullanılmaya başlaması ile açık ocak maden işletmelerinde en ekonomik metodun döner delme sistemi olduğu görülmüştür.

Açık ocak maden işletmeleri ile petrol işletmelerinde kullanılan döner delme sistemi arasında bazı temel farklar mevcuttur. Bu farklar içerisinde ki en temel olanlardan birisi matkap üzerindeki ağırlık (WOB), diğeri ise delme sistemine eklenen hava temizleme sistemidir. Hava temizleme sistemi ile birlikte ortaya çıkmış olan toz problemi karşısında ise toz kontrol sistemleri kullanılmaya başlanmıştır [3].

### **2.1.2 Darbeli delme sistemi**

Darbeli delme sisteminde, darbe matkap ucuna aktarılarak kayaç üstünde çekiçleme yapılması sağlanarak kırma işlemi gerçekleştirilir. Bu darbe ise pnömatik yada hidrolik bir sistem tarafından üretilmektedir. Darbeli sistemde delme hızını etkileyen darbe frekansı, darbe enerjisi, dönme hızı, besleme kuvveti ve delik dibi temizleme olmak üzere 5 adet parametre vardır [4].

Darbeli delme sistemini pnömatik üstten darbeli delme sistemi ve hidrolik üstten delme sistemi olarak iki farklı kısımda inceleyebiliriz. Pnömatik darbeli delme sistemi ile çalışan delici makinelerinin hareket kabiliyetleri, hidrolik darbeli delme sistemi ile çalışan makinelere göre daha düşüktür. Bunun nedeni pnömatik delici makinelerde kompresör makine üzerinde değil, makine arkasından çekilerek getirilmektedir. Basit

bir sisteme sahip olmalarından dolayı saha şartlarında bakım yapılabilmesi pnömatik delici makinelere bir avantaj sağlamaktadır. Yatırım bazında bakıldığından, ilk yatırımları daha düşük olmasına rağmen daha fazla sarf malzemesi tüketimi, yüksek işletme maliyetleri pnömatik delicilerin dezavantajlarındandır.

Hidrolik darbeli delme sistemleri değişken kayaç şartlarına ve farklı ölçülerdeki deliklere kolay uyum sağlamakla beraber yüksek sistem kapasitesi ve az yakıt tüketimi gibi avantajlara sahiptirler. Optimum verimi elde edebilmek amacıyla, piston hareket mesafesi, hareket sayısı, yaratılan darbe enerjisi, rotasyon torku ve hızı, baskı ve delik içi temizleme parametreleri ayarlanabilir şekildedir.



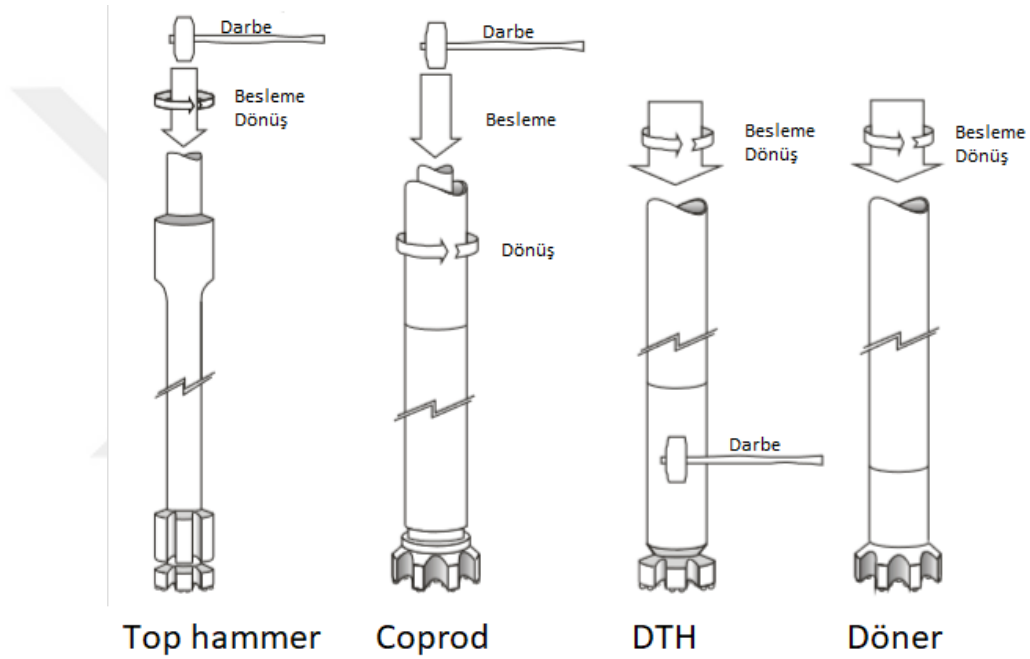
**Şekil 2.3 :** Hidrolik darbeli delici makine.



**Şekil 2.4 :** Pnömatik darbeli delici makine.

### 2.1.3 Döner-darbeli sistem

Döner-Darbeli delme sistemi, darbeli delme sistemi ile döner delme sisteminin kombinasyonundan oluşan bir sistemdir. Darbe, pistonun ürettiği tekrarlanan vuruşlarla matkaba aktarılır. Matkabin bu darbeler sonucu oluşturduğu şok dalgaları, dönme sistemi sayesinde kayacın farklı noktalarına çarparak kırılma ve parçalanmaların oluşmasını sağlar. Döner-Darbeli delme sistemlerini de kendi içinde delik dibi tabanca (Down-The-Hole (DTH)) ve üstten darbeli (Top Hammer) olarak ikiye ayırabiliriz. Coprod delme sistemi ise delik dibi tabanca ve üstten darbeli delme sistemlerinin birleşiminden oluşan bir sistemdir [5].



Şekil 2.5 : Döner-Darbeli delme sistemleri ile döner delme sistemi.

Delik dibi tabanca delme sisteminin işleyişi, pistonun doğrudan matkap ucu üzerinde tam bir etki yaratması gerçeğine dayanır. Bu sistemde tahrik akışkanı destek işlevi gören ve çekicinin dönmesini sağlayan bir borudan beslenen basınçlı havadır. Dönüş, besleme motorunda olduğu gibi, yüzey teçhizatına monte edilmiş basit bir pnömomatik ve hidrolik motor tarafından gerçekleştirilir.

Sert oluşumlarda verimli bir şekilde delik açmak için, döner uçlar çok yüksek matkap basınçları gerektirmiştir. Bu baskılar, hafif kulelerin kapasitesinin ötesindedir. Sert oluşumlar yüzeydeyse, ağır kuleler bile onları verimli bir şekilde idare edemez [6]. Bu sistemde darbe, piston tarafından delme mekanizmasına çarptığı an üretilmiş olur. Delme mekanizması da darbeyi matkap ucuna kadar iletir.

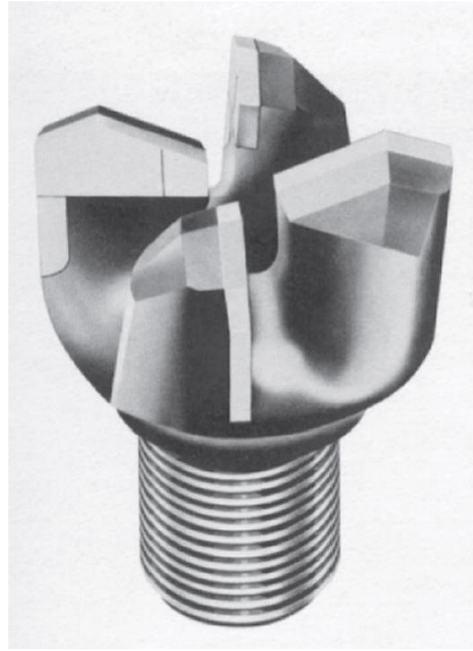
Üsten darbeli sistemde ise çekiç yani piston matkabın üzerinde değil, delik dışında tijin üzerinde bulunmaktadır. Bu nedenle tahrik sadece pnömomatik değil, hidrolik olarak sağlanabilir. Bu sistemde doğrudan aktarım olmadığı için tij boyunca enerji kayıpları olabilmektedir. Bu nedenle daha küçük çaplı ve delik dibi tabancaya göre daha yumuşak kayaçlarda kullanılır. Bu sistemin avantajı ise darbe enerjisinin hidrolik olarak sağlanabilmesinden kaynaklanmaktadır.

## 2.2 Delici Makinelerde Kullanılan Matkap Çeşitleri

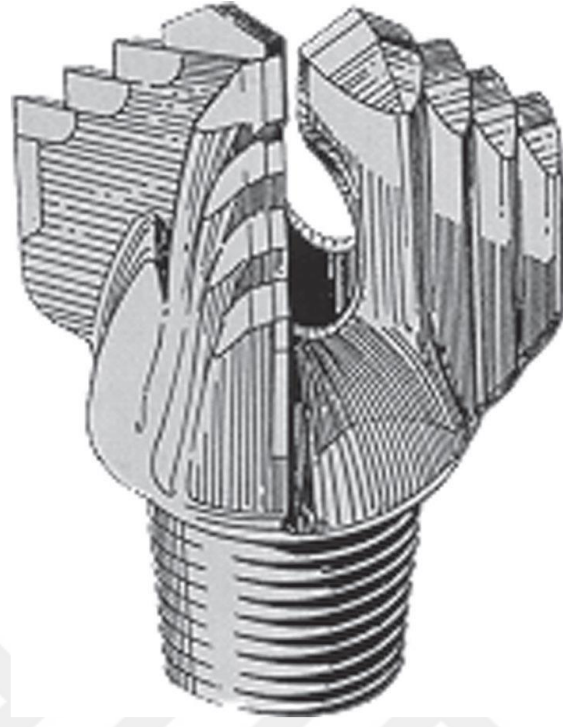
### 2.2.1 Döner delme makinelerinde kullanılan matkaplar

Döner delme sisteminde birkaç çeşit matkap ucu tipi kullanılmaktadır. Bunları, kanatlı (balık kuyruğu, kama uçlu) (Drag) matkaplar, PDC (Polycrystalline diamond compact) matkaplar ve üç konili matkaplar olarak üçe ayırmak mümkündür. Aralarında en yaygın olarak kullanılan matkap çeşidi ise üç konili matkaplardır

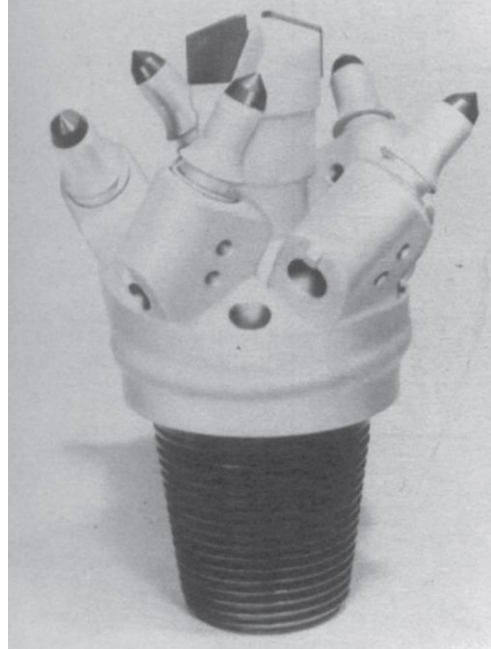
İlk başlarda delme sistemi için delici makinelerde çelik dökümden kanatlı matkaplar kullanılmıştır. Bu tip matkaplar çok yumuşak tipli formasyonlarda kullanılabilmişlerdir. Tungsten karbür tip keskinlerin üretiminden itibaren bu tip çelik uçların kullanımı neredeyse bitmiştir. Kanatlı matkapları Chevron bıçak tipi matkap, basamaklı matkap ve pençe tipi (kalem uçlu) matkap olarak ayırmak mümkündür [7].



Şekil 2.6 : Chevron tip kanatlı matkap.



Şekil 2.7 : Basamaklı kanatlı matkap.



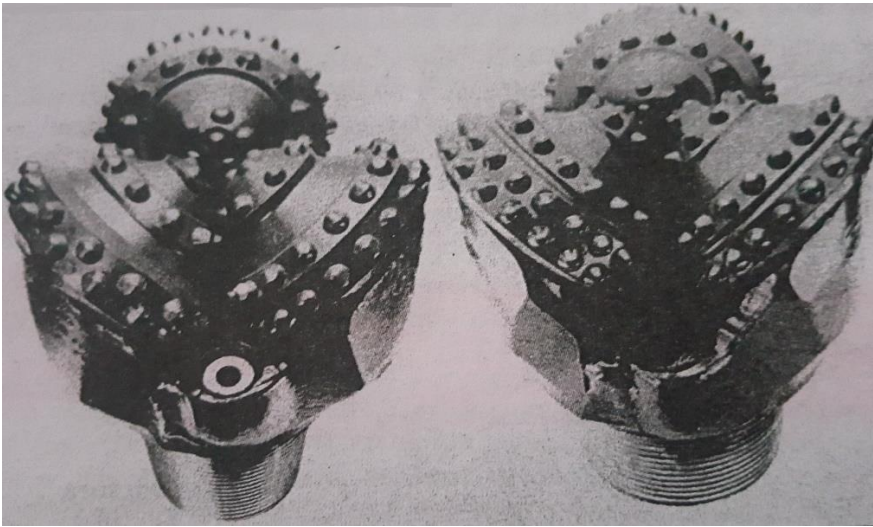
Şekil 2.8 : Kalem uçlu (pençe tipli) matkap.



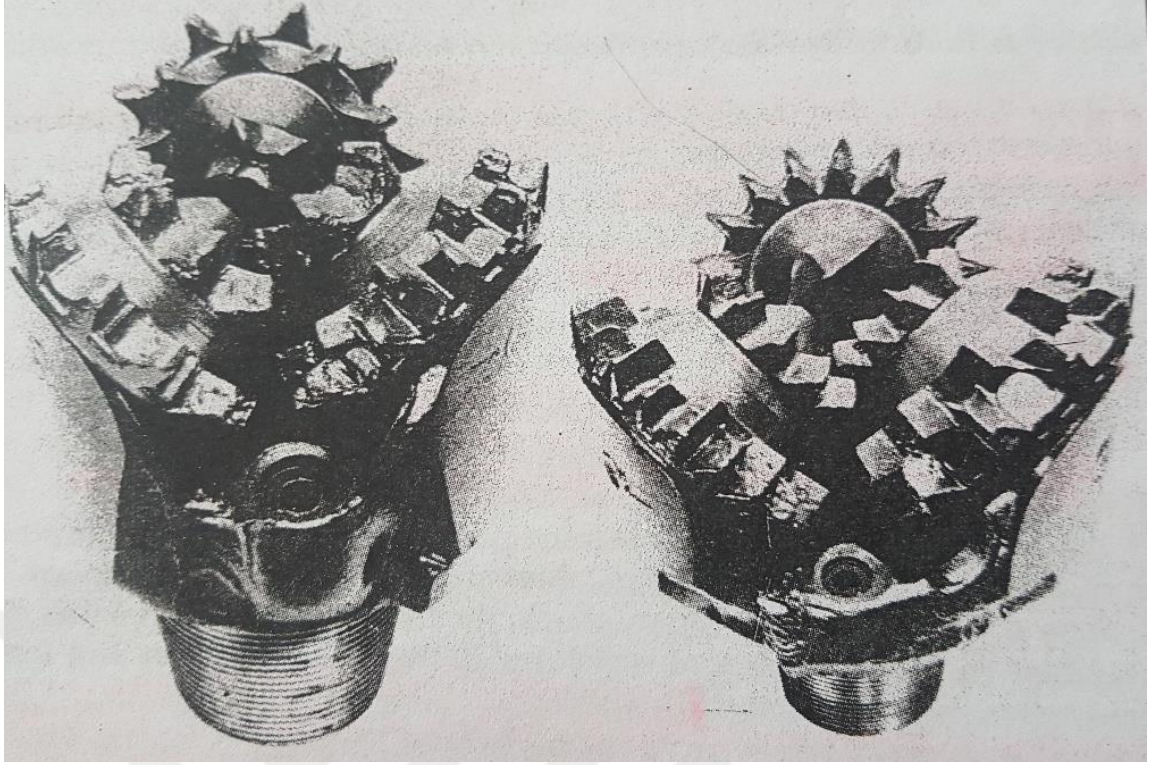
**Şekil 2.9 :** PDC matkap tipleri.

Döner delme sistemiyle çalışan makinelerde delme işlemi belli bir ağırlık altındaki matkabın dönmesi ile gerçekleşmektedir. Çoğu formasyona uygun olmaları sebebiyle kullanım alanları geniş olan üç konili (Tricone) matkaplar, aşınmaya dayanıklı çelik alaşımlardan üretilmekte olup tungsten karbit ya da çelik dişlerden oluşan tiplere sahiptirler [8].

Çelik uçlu matkaplarda dişler konik kafaların makinadan geçirilmesiyle üretilirken tungsten dişli (insert) matkaplarda dişler sonradan konik kafalara yerleştirilirler ve bu nedenle insert üç konili matkap olarak adlandırılırlar [7].

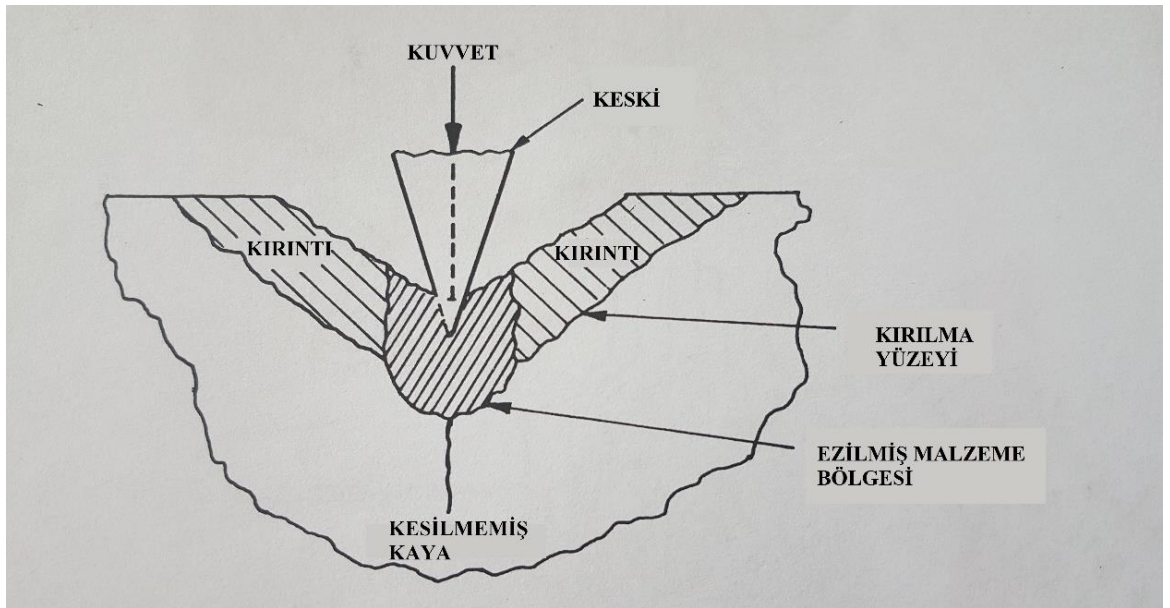


**Şekil 2.10 :** Tungsten karbür dişli üç konili matkap.



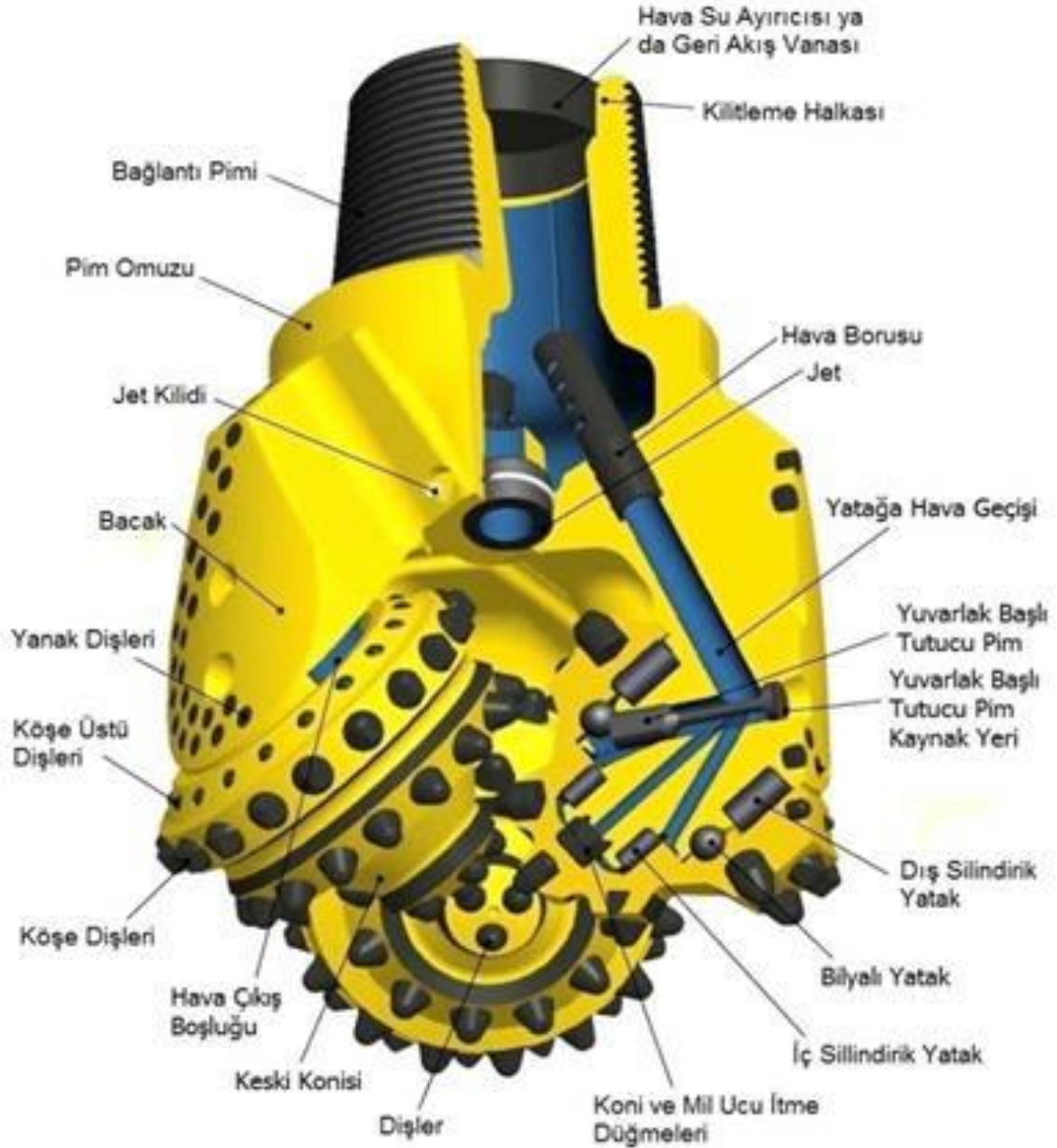
**Şekil 2.11** : Çelik uçlu üç konili matkap.

Döner delme sisteminde kullanılan üç konili matkapların kesme modelinde, kesme işlemini gerçekleştiren kesiciler (dişler), kayaç formasyonu ile direkt iletişim halindedirler. Bu kesiciler formasyonun basınç dayanımını geçerek kırarlar, ardından parçaları yerinden sökerek kesme işlemini gerçekleştirirler [9].



**Şekil 2.12** : Bir üç konili matkap dişinin derinlik alma modeli.

Üç konili matkaplar farklı amaçlı delme işlerine göre değişik tasarımlara sahip olabilirler, özellikle yatak tipleri farklıdır. Açık ocaklarda kullanılan üç konili matkapların genellikle yatakları hava soğutmalıdır. Şekil 2.13’de elemanları gösterilen jet (nozul) hava soğutmalı tiplerinde basınçlı havanın en az %30 u yataklara giderek gerekli soğutmayı sağlamaktadır [7].

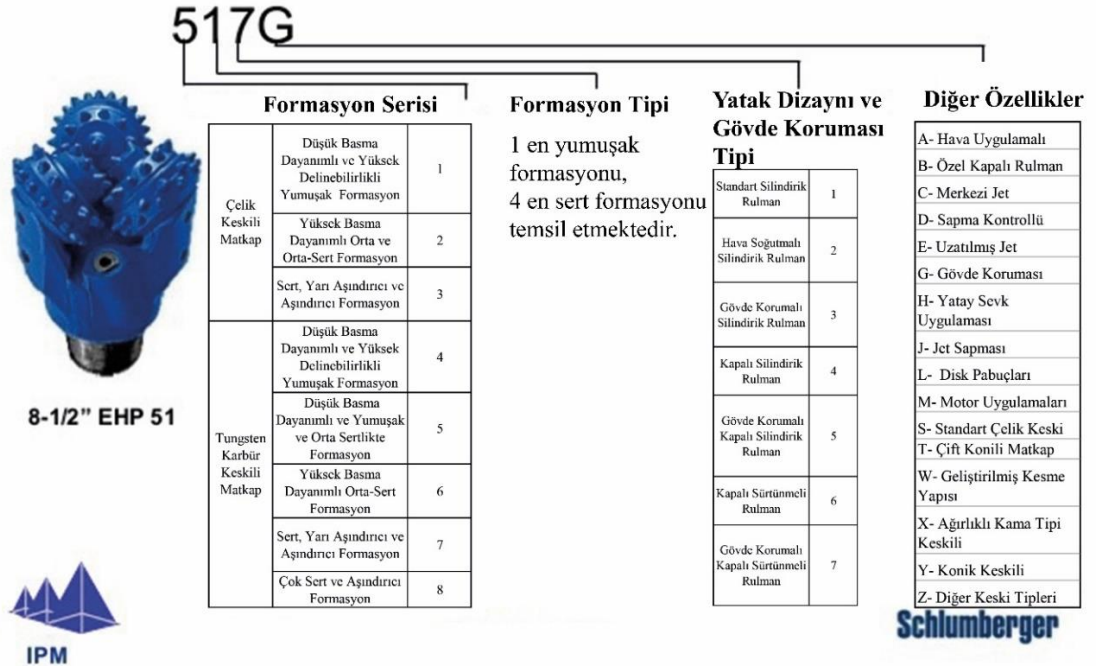


Şekil 2.13 : Bir hava soğutmalı üç konili matkabın elemanları.

Üç konilli matkapların IADC (International Association of Drilling Conductors) adı verilen bir sınıflandırma sistemi bulunmaktadır. Bu sisteme göre, sınıflandırma ilk üçü numerik sonucusu ise alfabetik olmak üzere 4 adet karakter kullanılarak yapılmaktadır. Numerik karakterlerin sınıflandırma sistemi sırasıyla seri, tip ve yatak/gövde korumasını temsil etmektedir. Sonucu olan alfabetik karakter ise 16 adet farklı alfabetik karakterden oluşmakta olup matkabın diğer özelliklerini göstermektedir [10].

İlk numerik karakter formasyon serisi olarak sınıflandırılmakta olup 1 ile 8 arasında değişmektedir. Bunlardan üçü yani 1,2,3 çelik dişli matkapları göstermekte, kalanlar yani 4,5,6,7,8 ise tungsten karbit dişli matkapları göstermektedir. Formasyonun sertliği ve aşındırıcılığını da bu numaralara göre düşükten yükseğe şeklinde görebilmekteyiz. Numerik karakterlerden ikincisi formasyon tipi olarak sınıflandırılmakta olup 1 ile 4 arasında bir değer almaktadır. Bu değerler 1 en yumuşak 4 en sert formasyonu gösterecek şekilde sıralanmaktadır. Sayısal karakterlerden üçüncüsü ve sonucusu olan sınıflandırma ile yatak dizaynı ve gövde koruması hakkında bilgi alabilmekteyiz. Bu sınıflandırma ise 1 ile 7 arasında bir değer almaktadır [11].

## IADC Sınıflandırma Sistemi



Şekil 2.14 : IADC Sınıflandırma sistemi tablosu.


## 2.2.2 Döner-darbeleri delme makinelerinde kullanılan matkaplar

Bu delme sisteminde çubuk şekilli ve düğme (button) şekilli insert dişleri olan iki çeşit matkap bulunmaktadır. Fakat günümüzde çubuk şekli dişlerin olduğu matkapların kullanımı azalmıştır. Düğme matkaplarda düğme adı verilen dişlerin tipleri ve bunların matkap yüzeyinde dağılımları delme performansını etkileyen etmenlerden biridir. Şekil 2.15’de değişik tasarımlı döner darbeleri sistemde kullanılan matkaplar gösterilmiştir.



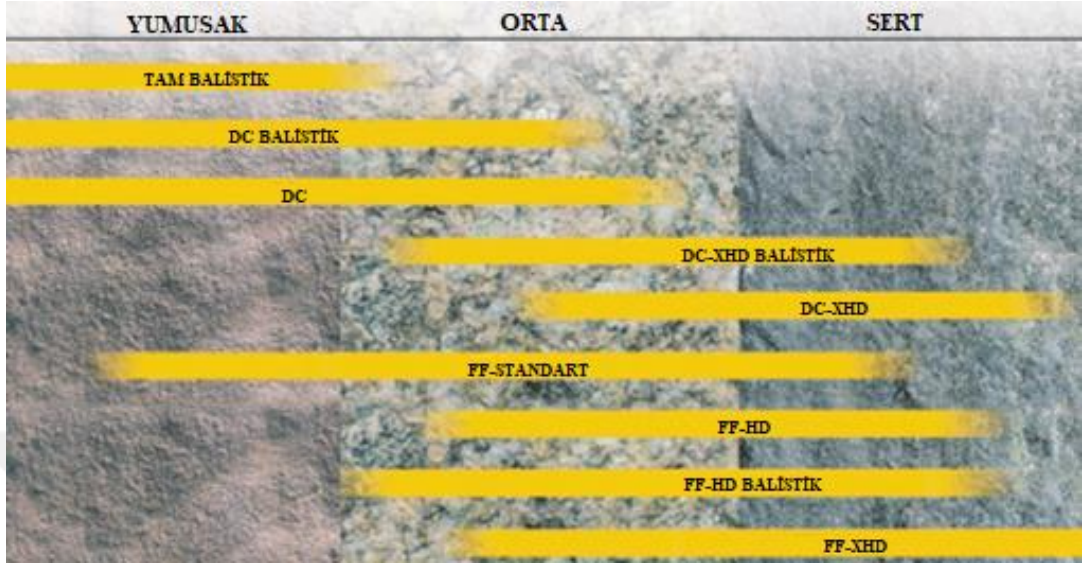
Şekil 2.15 : Döner darbeleri delmede kullanılan matkaplar.

Matkap üzerine belirli dizaynlarla yerleştirilmiş olan düğmelerin farklı karakteristikleri vardır. Şekil 2.16’de de görüldüğü üzere bu karakteristikler baz alındığı takdirde küresel, balistik ve konik olara üç farklı şekilde düğme tipi mevcuttur. Üç farklı şekile göre ayrılma sebebi kullanım alanları ve delme hızlarıdır.

BIÇİM		KARAKTERİSTİK	KULLANIM ALANI
	KÜRESEL	Minimum delme hızı, düşük aşınma oranı, agresif olmayan biçim	Yüksek UCS ve aşındırıcılığa sahip kayalar
	BALİSTİK	Yüksek delme hızı, orta seviye aşınma oranı, agresif biçim	Yüksek UCS ve aşındırıcılığa sahip kayalar
	KONİK	Maksimum delme hızı, yüksek seviye aşınma oranı, çok agresif biçim	Düşük UCS ve aşındırıcılığa sahip kayalar

Şekil 2.16 : Düğme tipli matkaplardaki diş şekillerinin performansa etkileri ve kullanım alanları [5].

Matkap ve düğme tiplerini ise dizayn tarzlarına göre Şekil 2.17’de olduğu şekilde sınıflandırabiliriz. Bu sınıflamada kayaç tipine göre hangi dizaynın daha etkili olabildiğini belirleyebiliriz.



Şekil 2.17 : Düğmeli matkap tiplerinin değişik formasyonlarda kullanımları [6].

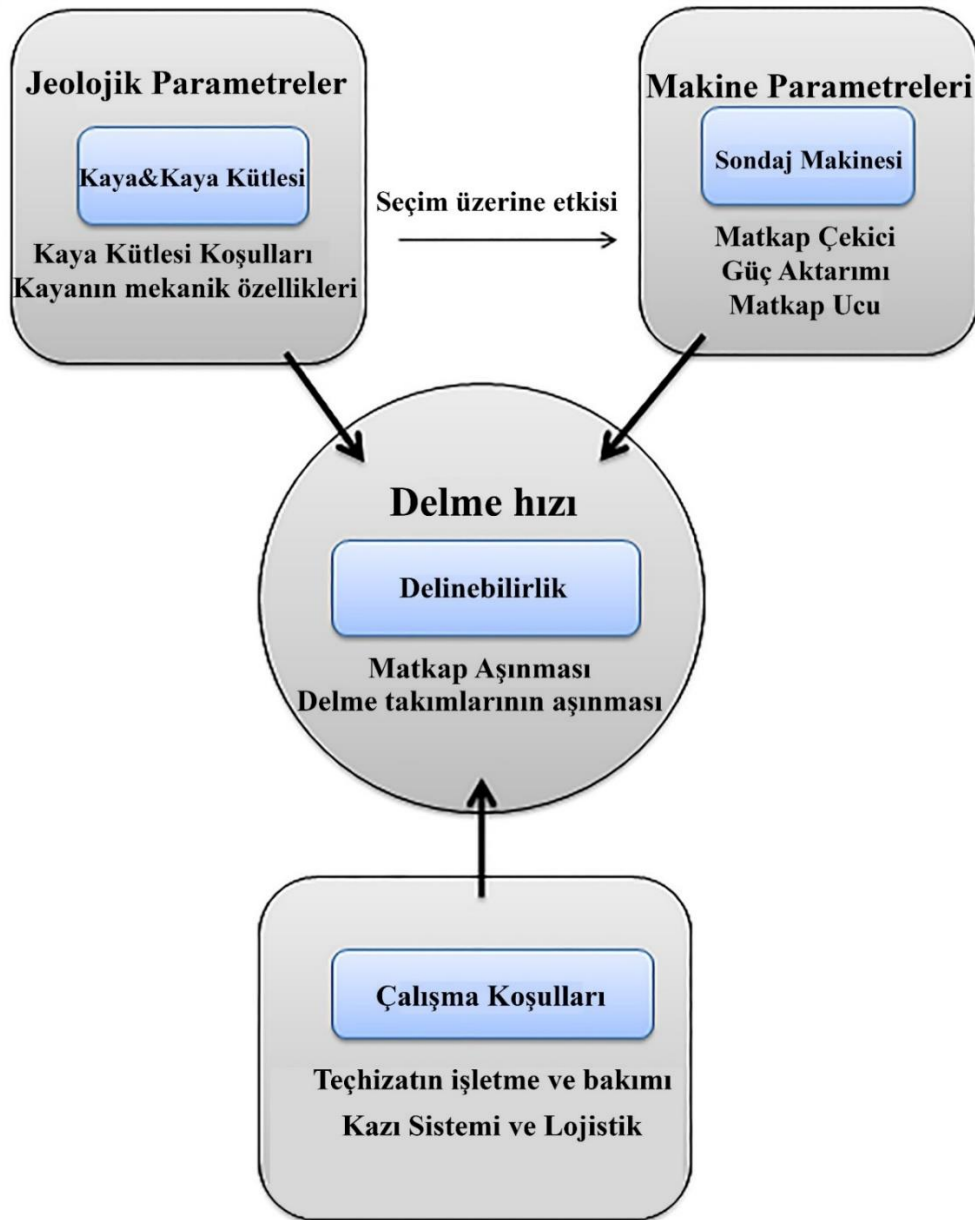
### 2.3 Delme Verimliliğine Etki Eden Parametreler

Delme işlemi kayacın yapısına ve mekanik özelliklerine bağlı olarak, matkabın kayacı parçalamasıyla gerçekleşmektedir. Matkap üzerine uygulanan kuvvetlerin formasyonu parçalaması kuvvetlerin büyüklüğüne ve etkileme süresine bağlı olarak değişmektedir. Rotari delme işleminde sadece baskı kuvveti ve dönme kuvveti (tork) söz konusudur Matkap kayacı ezerek, kazarak ve makaslama olmak üzere üç şekilde parçalar.

Ezerek parçalama yumuşak olmayan formasyonlarda görülmekte olup, matkap altında önce ezilmiş bir zon oluşmakta ve daha sonra bu zondan çıkan çatlaklar parçalanmayı sağlayarak ilerlemeyi gerçekleştirmektedir. Kazarak parçalama ise yumuşak formasyonlarda görülmekte olup baskı kuvveti ve matkap uçları dönme işlemi ile birlikte kayacı tabandan koparmaktadır. Bu parçalanmada basınç dayanımı çok yüksek olmadığından çok fazla baskı kuvveti gerektirmemek ve bu yüzden uzun çelik dişli matkaplar kullanılmakta, delme işlemi sırasında devir artırılarak ilerleme hızı artırılabilir. Makaslama ile parçalama ise tüm kayaçlarda görülmektedir. PDC (Polycrystalline Diamond Compact) matkaplarda bu tür parçalama işlemi özellikle çok

görülmektedir. Bu matkaplar kazı işlemi için diğer matkap tipleri kadar yüksek kuvvet değerlerine ihtiyaç duymamaktadır. Makaslama ile yapılan parçalanma işleminde ilerleme hızı diğer parçalanma türlerine göre daha yüksektir [1].

Bir delme işleminin verimliliği delme hızı, yakıt tüketimi, enerji sarfıyatı ve sarf malzemesi tüketimidir. Bu parametrelere etki eden bir çok etmen vardır ve bunlar Şekil 2.18’de görüldüğü gibi üç ana kısma ayrılır. Delinen formasyonun fiziksel, mekanik ve kütleli özellikleri, matkapların tasarım parametreleri (çap, tip vb.) ve ayrıca baskı kuvveti, RPM (Revolution per Minute) gibi makine işletme parametreleri ve teçhizat bakımı, lojistik vb konuları içeren çalışma koşullarıdır.



Şekil 2.18 : Delinebilirliğe etki eden faktörler [5].

### **2.3.1 Delme hızı (ilerleme hızı)**

Delme işleminde birim zamanda yapılan ilerlemeye delme (ilerleme) hızı denilmektedir ve m/saat, m/gün, cm/dak, sn/mm birimleriyle ifade edilir. Bu parametre delme maliyetleri ile ilgilidir ve amaç delme işlemini kısa zamanda bitirmektir.

Delme işleminde dört çeşit ilerleme hızı tanımlanmaktadır. Bunlar net ilerleme hızı, ortalama net ilerleme hızı, brüt ilerleme hızı ve toplam ilerleme hızıdır [2]. Net ilerleme hızı, matkabın çalışması sırasında belirli süre boyunca elde edilen ilerleme miktarının bu süreye bölünmesi ile elde edilen hızdır. Ortalama net ilerleme hızı, deliğin toplam derinliğinin matkapların çalışma sürelerinin toplamına bölünmesiyle bulunan hız değeri olarak tanımlanmaktadır. Brüt ilerleme hızı, matkabın yaptığı ilerleme, matkap çalışma süresi ile manevra zamanı toplamına bölünerek bulunmaktadır. Toplam ilerleme hızı, son derinliğe ulaşmak için geçen süreyle ve kaydedilen tüm mesafelerle ilgilidir.

Şekil 2.18’de görüldüğü gibi formasyon özellikleri, matkap tipi, seçimi ve tasarımı, uygulanan yük, matkap aşınması ilerleme hızını etkileyen en önemli faktörlerdir [1].

### **2.3.2 Spesifik enerji**

Kayaçtan yeni bir yüzey açma olarak da ifade edilen spesifik enerji birim hacmindeki kayacı delme ve kazma işlemleri için gereken enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Teorik olarak spesifik enerji kayaçların jeomekanik ve dokusal özellikleri ile yakından ilgili bir kavramdır. Spesifik enerji matkap tipine ve dizaynına da bağlı olup ayrıca delme sırasında matkabın çalışma şartlarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Düşük değerlerdeki spesifik enerji, matkabın formasyonu verimli bir şekilde deldiğinin ve matkap performansının yüksek olduğunun bir göstergesidir [1].

### **2.3.3 Matkap aşınması**

Bir delme işleminde kullanılan bütün ekipmanlarda minimum hasar olması istenmektedir. Delme işleminde tıjlar ve özellikle matkaplar kayaçla kontak halinde olup dayanım süreleri diğer ekipmanlara göre daha kısadır ve tüketim değerleri bir verimlilik göstergesidir. Matkap tipleri ve tasarımları, aşınma ve diğer performans parametrelerini etkilemektedirler. Bu nedenle formasyona ve kullanılan makina özelliklerine uygun seçilmeleri önemlidir.

### 2.3.4 Delinen formasyonun kayaç özellikleri

Delme verimliliğine Şekil 2.18'den görüldüğü gibi delinen formasyonu oluşturan kayaçların jeomekanik özellikleri etki etmektedir. Kısaca kayaç özellikleri denilen delinen formasyonun kayaç özelliklerine bakarsak;

Mineraller kayaçları, kayaçlar ise kaya kütlelerini oluşturmaktadır. Şekil 2.19'da kayaç karakteristiğini belirleyen özellikler verilmiştir. Bu şekilden görülebileceği üzere en küçük ölçekte, mineral bileşimleri jeolojik parametrelerin en önemli değişkenidir. Minerallerin kuvars içeriği kayaçların delinebilirliği özellikle de aşındırıcılık özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Kayaçlar elastik veya plastik davranış gösterebilirler ve bu davranışlarına basınç kuvveti, young modülü, gerilme kuvveti, yoğunlukları etki etmekte ve delinebilirliklerini belirlemektedir. Kayaçların biraraya gelerek oluşturduğu kaya kütlelerinin de birçok özelliği vardır. Bunlar kütlelerin anizotropisi, süreksizlik sıklıkları, hava koşullarından dolayı oluşan aşınma ve hidrotermal çözümlerdir. Bütün bu özellikler kayaçların delinebilirliğini doğrudan etkiler [5].



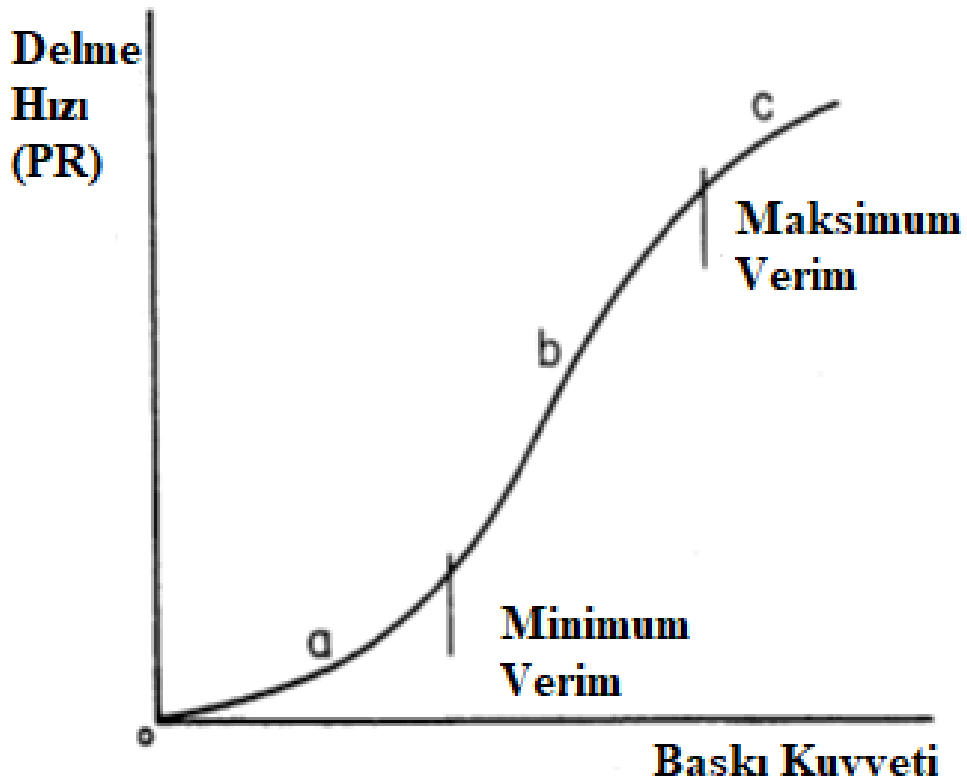
Şekil 2.19 : Jeolojik Parametreler: Mineral, kaya ve kaya kütlelerinin karakteristiklerine genel bakış [5].

### 2.3.5 Baskı kuvveti, devir sayısı (RPM), tork

Delme verimliliğine Şekil 2.18'den görüldüğü makina işletim parametreleri de etki etmektedir.

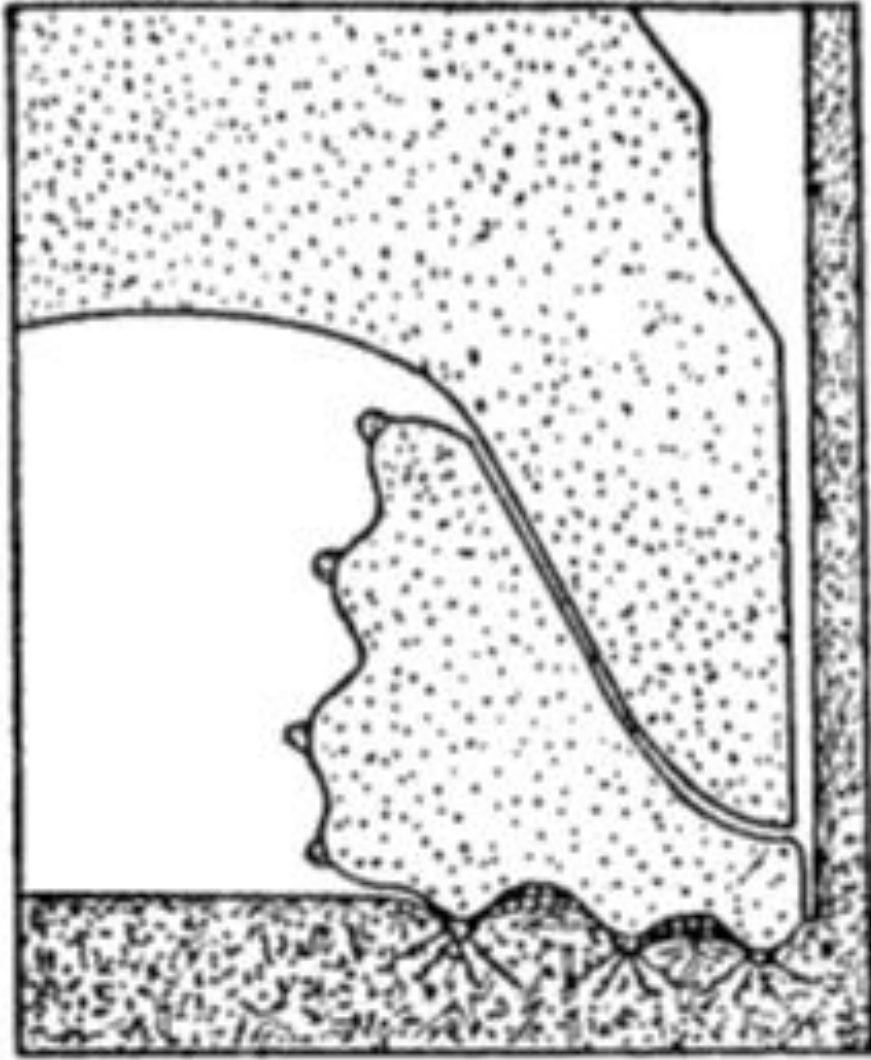
Delme işlemi esas olarak matkaba uygulanan baskı kuvveti ile derinlik alması sağlanırken bir yandan da döndürülerek kayacın koparılması sağlanmaktadır. Matkap üzerindeki baskı kuvveti matkap dişlerinin kayacın içerisinde derinlik almasını sağlar. Matkap döndürüldüğünde ise dişler ilerleme yönünde kayaca bir kuvvet uygular ve bu da tork kuvvetini oluşturur.

Baskı kuvveti arttıkça daha yüksek derinlik değerleri ile daha hızlı kazı gerçekleştirileceği düşünülse de belirli bir değerden sonra delme hızı azalacaktır. Bu durum Şekil 2.20'de gösterilmiştir.



Şekil 2.20 : Optimum baskı kuvveti.

Verimli kazı açısından matkaplara uygulanan devir sayısı ile baskı kuvveti arasında yakın ilişki vardır ve birlikte düşünölmelidir. Bir dönuşte dişler ne kadar çok derinlik alırsa o kadar efektif bir kazı söz konusu olur. Fakat baskı kuvveti çok artırıldığında dişler kayaca çok batıp sıkışacağı için kazı hızında düşüş olacaktır (Şekil 2.21). Bu nedenle görece yumuşak formasyonlarda daha yüksek devir sayıları uygulanarak dişlerin fazla batması önlenabilir. Çizelge 2.1’de üç konili matkaplarda formasyon tipine göre uygulanacak RPM değerleri verilmiştir.



Şekil 2.21 : Yüksek baskı kuvvetinde dişlerin kayacda sıkışma durumu.

**Çizelge 2.1** : Üç konili matkaplarda farklı formasyonlarda uygulanacak RPM aralıkları.

KAYAÇ TİPİ	DÖNME HIZI (RPM) (d/dk)
YUMUŞAK	75-160
ORTA	60-80
SERT	35-70

Genel olarak kayacda çok fazla değişiklik söz konusu değilse dönme hızı sabit tutulup baskı kuvveti değiştirilerek ilerleme sağlanır. Ülkemizde özellikle açık ocak kömür madenciliğinde rotari delicilerde kullanıldığında örtü tabakası gevşek olduğu için RPM değerleri en yüksek (110-120 RPM) değerlerde sabit tutulmaktadır.

Döner delicilerde üç konili matkap kullanılması durumunda kayaca uygulanacak baskı kuvveti Denklem 2.1 ve 2.3'den hesaplanır. Bu eşitliklerden görüleceği gibi basitçe kayacın basınç dayanımı ve matkap çapı değişkenleri dikkate alınmaktadır. Denklem 2.4'de ise bir matkaba uygulanabilecek maksimum kuvvet hesaplanmakta ve bu yatak kapasitesi ile ilgili olmaktadır.

$$E_{min} = 28.5 * RC * D \quad (2.1)$$

$$E_{max} = 2 * E_{min} \quad (2.2)$$

$$E_{ort} = (E_{max} + E_{min})/2 \quad (2.3)$$

$$E_L = 810 * D^2 \quad (2.4)$$

RC = Kayacın basma dayanımı (MPa)

D = Üç konili matkap çapı

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

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

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

$E_L$  = Uygulanması gereken limit baskı kuvveti (pounds)

Baskı kuvveti ile derinlik alan dişlerin döndürülmesi sonucu oluşan tork kuvveti ile kayaç koparıldığı için tork ile baskı kuvveti ilişkilidir. Baskı kuvveti arttıkça genellikle tork değerleri de yükselmektedir.

Döner sondaj makinelerin performans parametrelerinin tahmin edilmesiyle ve kayaçların delinebilirliği ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Rowley ve diğerleri, matkabın delme hızı ile uygulanan dönme gücü ve yük arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla laboratuvar çalışmaları yapmışlardır. Geçirimsiz sert dolomit üzerinde yapılan bu çalışmada eklenen matkap ağırlığı ile delme hızı ve dönme gücünün arttığını belirlemişlerdir [12].

Matkap ve delme işlemlerindeki problemlerin doğru analizlerle çözülebileceğini belirtmiş olan Thuro, bu konuyla ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmaya göre sert kayaçta delme işlemi yaparken aşındırıcılığın belirleyici etken olduğunu ve delme hızı ile ilgili yapılan çalışmalar için olan önemini göstermiştir. Daha iyi bir delme hızı bulmak ve matkap aşınması ile ilgili tahmin yapmak amacıyla, belirlenen kayaç koşullarında sondajın yapılabilirliği ile ilgili maliyet analizi yapmıştır [13].

Açık maden işletmelerde optimum delme ve patlatma koşullarını veren bir modelin geliştirilmesi amacıyla, Kahraman tarafından bir doktora çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, farklı açık maden işletmesi sahalarında farklı delici makinelerle ölçümler yapmış olup bu sahalardan almış olduğu farklı boyutlardaki numunelerde tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanımı, darbe dayanımı ve Schmidt çekici gibi kaya mekaniği deneyleri yapmıştır. Bu veriler ile delici makinelerin performansını önceden tahmin edebilmek amacıyla çok katlı regresyon analizi uygulamıştır [14].

Bir bakır ocağından getirilen blok numune üzerinde, laboratuvarda gerçek boyutlu sondaj makinesi ile bir döner delici matkabın farklı işletim parametreleri kullanılarak delme işlemi yapılarak kayıt alınmıştır. Ergin ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen bu çalışma ile matkabın kayaç için uygunluğu ve optimum verim için uygulanması gereken baskı ve devir sayıları belirlenmiştir [15].

Rao ve diğerleri tarafından yapılan laboratuvar araştırmaları ile delici makineye bağlı kayaç parametrelerinin delme işleminin performansı üzerine etkisi, tüm kayaç türlerinin ayrıntılı fiziksel ve mekanik özellikleri verilerek incelenmiştir [16].

Altındağ tarafından kayaçların kırılma parametreleri ile delinebilirlikleri arasındaki ilişki araştırılmış ve kırılma ile ilgili iki ayrı formül üzerinden yorum yapılmıştır. Sonuç olarak B2 kırılma değerinin daha iyi sonuç verdiğini ifade etmiştir [17].

Kahraman ve diğerlerinin döner ve döner darbeli delme sistemleriyle ilgili yapmış olduğu çalışmada, kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, nokta yük dayanımı ve Young modül değerlerini ölçülmüş ve sahada delme hızı, matkap çapı, matkap ağırlığı gibi değerleri kaydedilmiş ve ilerleme hızıyla bu parametreler arasındaki ilişkiyi veren formüller geliştirmiştir. Çalışma döner delme , delik dibi tabanca ve üstten darbeli delme sistemleri üzerinde gerçekleştirilmiştir [18].

Yue ve diğerleri aşınmış topraklar ve kayalardan oluşan dağlık bölgelerde, jeo malzemelerin mekansal dağılımlarını tanımlamış ve metodoloji olarak yerinde dijital izleme ve bir dizi ilişkili veri analizi yöntemleri kullanmışlardır. Hong Kong'taki jeoteknik bilgi ve mühendislik uygulamaları ve kayaçların sondaj verilerinden yararlanarak kayaçların mekanik özelliklerini belirlemenin mümkün olduğunu ifade etmişlerdir [19].

Atıcı ve Ersoy, regresyon analizi uyguladıkları bir deneysel çalışma ile spesifik enerji ile kayaçların kırılma değerleri arasındaki ilişkiyi incelemişler. Kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji ve delme deneylerinden elde edilen spesifik enerji arasında bir model kurmaya çalışmışlardır ve kırılma ile ilişkisini araştırmışlardır [20].

Hareland ve diğerleri maliyetlerin azaltılması için doğru matkabın seçilmesinin önemini vurguladıkları bir deneysel çalışma yürütmüşler ve farklı IADC kodlarında matkaplar kullanarak matkap modellemeye ve ilerleme hızını tahmin etmeye çalışmışlardır. [21].

Yaralı ve Kahraman, 32 farklı kayaç örneğinin tek eksenli basınç dayanımı ve çekme dayanımı değerlerinden kırılma değerini hesaplamışlardır. Siever's minyatür delme modelinden de değer elde ederek delinebilirlik indeksi ile kayacın kırılma parametreleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlar [22].

Alireza ve diğerleri bakır madeninde 59 adet numunenin tek eksenli basınç dayanımı, d80, Schmidt çekici deneyleri ile pirit miktarını incelenmiş ve bunların spesifik kayaç delinebilirliği değerleriyle olan ilişkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmaya göre öne

sürülen matkap çapı ve şeklinin spesifik kayaç delinebilirliği değerine etki etmediği sonucunu bulmuşlardır [23].

Bulut ve diğerleri, TKİ Orhaneli Kömür İşletmesi'nde üç farklı firmaya ait aynı matkap tipi ile delme hızı ölçümleri ve matkapların aşınmalarını takip etmişlerdir. Bu çalışmada modellemenin yanı sıra yerinde matkapların denenip karşılaştırılmasının daha doğru sonuç verebileceği ifade edilmiştir [24].

Demirdağ ve arkadaşları yatay ve dikey yönde delme hızıyla ilgili çalışmalarını mermer ocaklarında yürütmüş; delme hızına etki eden faktörleri ve kayaçların mekanik özelliklerini belirlemeye çalışmışlardır. Delme hızını etki eden parametreleri araştırmak için tek eksenli basınç dayanımı, darbe dayanımı, kırılgenlik indeksi ve P-dalga hızı deneyleri yapmış; fiziksel ve mekanik kayaç özelliklerinin dikey delme işlemiyle daha alakalı olduğunu gözlemlemişlerdir [25].

Babatunde ve Ademola Nijerya'da yaptıkları çalışmada beş farklı gnays ve kireçtaşı örneğine laboratuvar deneyleri uygulayarak kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini bulmuşlar. İlerleme hızı, matkap aşınması ve spesifik enerjiyi incelemişler ve bu parametrelerin delme şartlarını, delme performansını etkilediğini belirtmişlerdir [26].

Ataei ve diğerleri bir açık ocak demir madeninin on bir farklı zonunu kayaç delinebilirlik indeksine göre sınıflandırmaya çalışmışlardır. Kaya kütlesi yapısal parametreleri ve sondaj deliklerinin net delinme süreleri kaydetmişler ve ocaktan alınan kayaç örneklerine laboratuvar deneyleri uygulamışlardır. Kayaç delinebilirlik indeksini kullanarak ilerleme hızı tahmin edilmeye çalışılmış ve sonuç olarak çalışılan maden alanının altı zonunu kayaç delinebilirlik indeksine göre sınıflandırabilmişler ve yeni bir ilerleme hızı modeli bularak bunu önceki çalışmalarla karşılaştırmışlardır [27].

## 2.4 Üç Konili Matkaplarda Kullanılan Nozullar (Jetler)

### 2.4.1 Üç konili matkaplarda delik dibi temizliği

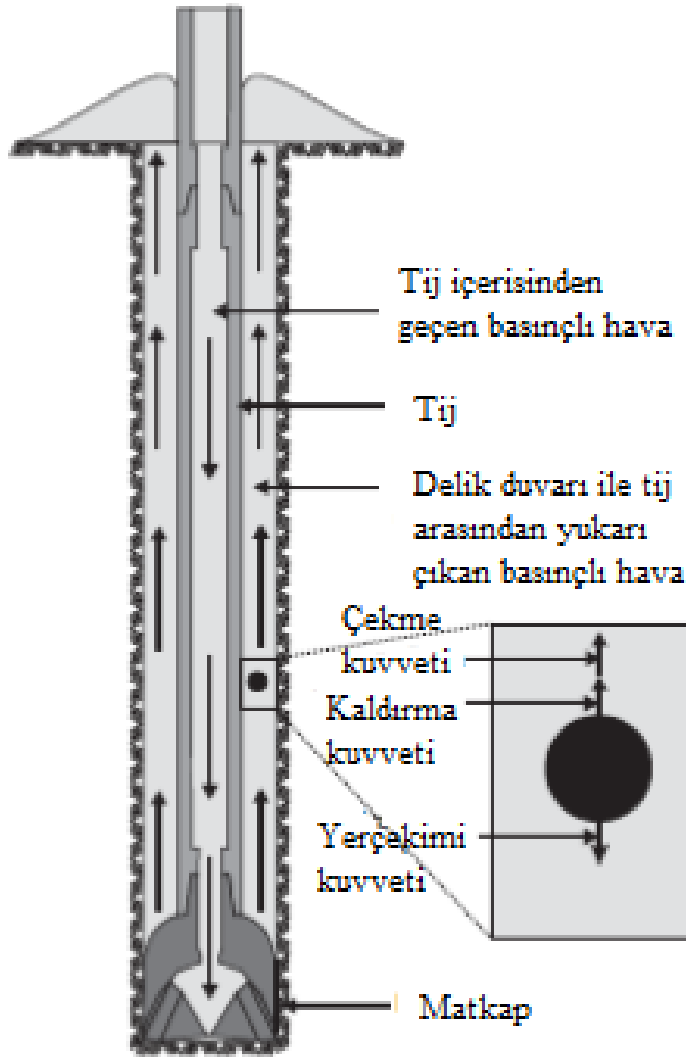
Delme işleminin gerçekleştirilebilmesi için delik dibinden kayaç parçacıkları uzaklaştırılması gerekmektedir. Delik dibinden yeterince uzaklaştırılmayan parçacıklar tekrar öğütülecek, dişlerin kayaç içindeki derinliğini azaltarak enerji tüketimine ve matkapların hızlı aşınmasına neden olacaktır.

Delme işleminde parçacıkların delik dibinden uzaklaştırılması için kullanılan ortam (sondaj sıvısı) delmenin yapıldığı formasyona, delici makine tipi (rotari, rotari darbeli) ve makinanın özelliklerine ve delik özelliklerine (derinlik, çap, kullanım süresi vs) bağlıdır. Sondaj sıvısı genellikle hava ve su ve/veya bunlara ilave edilen köpük, yağ, kil, mineral ve çeşitli kimyasal maddeler eklenerek elde edilir. Kullanılması kolay, temiz çalışma ortamı sağlayan hava; uzun olmayan ve kısa süreli açılan deliklerin delinmesi işleminde kullanılır. Suya göre elde edilen parçacıklarının boyutu daha büyük ve ilerleme hızı daha yüksektir. Bu nedenle 1950’li yıllardan itibaren patlatma deliklerinde su yerine basınçlı hava kullanılmaktadır.

Açık ocaklarda delikler patlatılmak üzere kısa süreli açıldığı ve uzun olmadıkları için sondaj sıvısı olarak havanın kullanımı oldukça uygundur. Döner ve döner darbeli delici makinalarda kompresörler yardımıyla elde edilen basınçlı hava, matkapların üzerinde varolan nozullar (jetler) aracılığıyla delik dibine gönderilir. Nozulların sayısı ve boyutları matkap tipine, formasyon özelliklerine, açılacak delik boyu, çapı ve kullanılan kompresör kapasitesine bağlı olarak değişir.

Bir delme işleminde gerekli hava miktarının ve bu miktarı karşılayabilecek kompresörün sağlaması gereken basınç değerlerinin hesaplanması gerekmektedir.

Kazılan kayaç parçacıklarının hava ile çıkarıldığı bir patlatma deliğinde, deliğe kompresör tarafından gönderilmiş olan basınçlı hava matkap tarafından koparılan parçacıkları deliğin dibinden yukarı doğru kaldırır. Tij ile delik arasında yukarı doğru hareket eden bir kayaç parçacığına etki eden kuvvetler Şekil 2.22’de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere parçacığın üzerine üç kuvvet etki etmekte olup bunlar yerçekimi kuvveti, kaldırma kuvveti ve sürüklenme kuvveti’dir [7].



Şekil 2.22 : Delik dibi temizliğinde kayaç parçacığına etki eden kuvvetler.

Kuvvetlerden bir parçacığı sürekli aşağıya doğru çekmeye çalışan yerçekimi kuvveti olup küresel bir parçacığa etki eden yerçekimi kuvveti eşitlik 2.5'den hesaplanmaktadır, yönü aşağıya doğrudur.

$$F_g = 4 * \pi * r^2 * dm * g/3 \quad (2.5)$$

$F_g$  = Yerçekimi kuvveti  
 $r$  = Düşen küresel parçacığın yarıçapı  
 $dm$  = Tanenin yoğunluğu  
 $g$  = Yerçekimi sabiti

Diğer kuvvet düşen parçacığın içinde bulunduğu ortamın yerdeğiştirmesinden kaynaklanan kaldırma kuvveti olup parçacığın hacmiyle orantılıdır ve eşitlik 2.6 ile hesaplanmaktadır, yönü yukarı doğrudur.

$$F_b = 4 * \pi * r^3 * df * g/3 \quad (2.6)$$

$F_b$  = Kaldırma kuvveti  
 $r$  = Düşen küresel parçacığın yarıçapı  
 $df$  = Ortamın yoğunluğu  
 $g$  = Yerçekimi sabiti (9.80665 m/s<sup>2</sup>)

Hareket eden bir ortamın içindeki parçacık ortamın hareket yönünde sürüklenir. Bu sürüklem kuvveti parçacık ile ortam arasındaki sürtünmeden kaynaklanır.

$$F_d = C_d * A * df * V^2/2 \quad (2.7)$$

$C_d$  = Sürüklenme sabiti  
 $df$  = Ortamın yoğunluğu  
 $V$  = Parçacığın hareket halindeyken hızı  
 $A$  = Parçacığın hareket yönüne dik yöndeki kesit alanı

Parçacığın dengede olduğu durumda parçacığa etki eden kuvvetler eşitlik 2.8'deki gibi olur.

$$\text{Yerçekimi kuvveti} = \text{sürüklenme kuvveti} + \text{kaldırma kuvveti} \quad (2.8)$$

Bu durumda parçacığa etki eden net kuvvet eşitlik 2.9'deki gibidir.

$$\text{Net kuvvet} = (\text{yer çekimi kuvveti}) - (\text{sürüklenme kuvveti} + \text{kaldırma kuvveti}) \quad (2.9)$$

Serbest olarak aşağıya düşen bir parçacıkta bir noktada sürüklenme kuvveti ve kaldırma kuvvetinin toplamı yerçekimi kuvvetine denk hale gelir. Bu duruma düşen parçacığın hızına çökme hızı denir biz ise burada terminal hız diyeceğiz .

Terminal hız eşitlik 2.8 ve 2.9'da verilen formüllerden yola çıkarak eşitlik 2.10'daki gibi elde edilir.

$$V_t = \left( \left( \frac{8}{3 * C_d} \right) * r * g * \left( \frac{dm - df}{df} \right) \right) * 0.5 \quad (2.10)$$

Sürüklenme katsayısı ( $C_d$ ) genellikle 0.44 gibi sabit değerde seyrederek. Bu durumda terminal hız eşitlik 2.11'deki gibi ifade edilir.

$$V_t = \left( 6,06 * r * g * \left( \frac{dm - df}{df} \right) \right) * 0.5 \quad (2.11)$$

Yukarıdaki eşitliklerde yapılmış kabuller vardır ve bunlar şöyledir:

1. Parçacığın şekli mükemmel yuvarlak kabul edilmiştir, böylece yüzey alanı kabul edilen hacime göre minimumdur.
2. Düşen parçacığın yüzeyi oldukça pürüzsüzdür.
3. Düşen parçacıklar birbirlerine değmeyecek etkilemeyecek kadar uzaktadırlar.
4. Hava düşen parçacığa sürekli etki etmektedir.
5. Hava sütunu parçacığın çapından birkaç kat daha büyüktür.

Havanın yukarı doğru olan  $V_a$  hızının parçacığın terminal hızına eşit olması durumunda parçacık hareketsiz olarak askıda kalacaktır.  $V_a$  hava hızı  $V_t$  terminal hızından büyük olursa parçacık  $V_a - V_t$  hızıyla delik dışına çıkacaktır. Basınçlı havanın tij ile delik arasındaki yukarı doğru olan hızına çıkış, tahliye hızı denir.

Bir patlama deliğinde tahliye hızın ( $V_s$ ) hesaplanması için aşağıdaki eşitlik 2.12'de bir yaklaşım yapılmıştır. Burada  $V_t$  terminal hız olup, tahliye hızı terminal hızdan %10 daha fazladır. Böylece parçacığın yukarı çıkmasını sağlayacaktır.  $\alpha$  ise bir çok faktör bağlı olan kabullerin yapıldığı bir katsayıdır.

$$V_s = 1.1 * \alpha * V_t \quad (2.12)$$

Örneğin 5 mm küresel parçacık boyutuna sahip  $2700 \text{ kg/m}^3$  yoğunluktaki bir kayaç parçacıklarının terminal hızı 1100 m/dak olursa, uygulanacak tahliye hızı ise  $V_t$  nin %10 fazlası olması durumunda eşitlik 2.12, eşitlik 2.13'e dönüşecektir.

$$V_s = 1210 * \alpha \quad (2.13)$$

Bu eşitlikteki  $\alpha$  faktörü ise düzeltme faktörü olup kabul edilen koşullardan sapmalara göre değer alan aşağıda belirtilen 8 faktörden oluşur.

1. Parçacık boyutu ( $\alpha r$ )
2. Parçacık yoğunluğu ( $\alpha d$ )
3. Parçacık yuvarlaklığı ( $\alpha r_{ou}$ )
4. Parçacık pürüzlülüğü ( $\alpha r_{nd}$ )
5. Parçalanma hızı (İlerleme hızı) ( $\alpha fr$ )
6. Anülüs boşluğu ( $\alpha a$ )
7. Delik eğimi ( $\alpha i$ )
8. Su enjeksiyonu varsa miktarı ( $\alpha w$ )

Yukarıdaki faktörler formüller veya katsayılarla hesaplanmaktadır. Bu durumda tahliye hızı eşitlik 2.14'deki şeklini alır ve 50 m'den kısa patlatma delikleri için kullanılabilir.

$$V_s = 1210 * \alpha r * \alpha d * \alpha r_{ou} * \alpha r_{nd} * \alpha fr * \alpha a * \alpha i * \alpha w \quad (2.14)$$

Tahliye hızı belirlendikten sonra kompresörün göndereceği hava miktarı eşitlik 2.15'den hesaplanabilir.

$$Q = (V_s * \pi * (D^2 - d^2)) / 4 * 106 \quad (2.15)$$

Q= Kompresörün sağladığı hava miktarı (m<sup>3</sup>/dak)

V<sub>s</sub>= Tahliye hızı (m/dak)

D= Deliğin yani matkabın çapı (mm)

d=Tijin dış çapı (mm)

#### 2.4.2 Delik temizliği için gerekli hava basıncının hesaplanması

Delik dibi temizliği için gerekli hava hızı ve miktarının belirlenmesinin ardından bu miktarın ne kadarlık basınçla gönderilmesi gerektiği yani kompresörün bu miktar havayı taşımak için sağlaması gerektiği basınç değerinin hesaplanması söz konusu olmaktadır.

Basınçlı havanın ilk kompresörden çıkıp son olarak delikten ayrıldığı yani yeryüzüne çıktığı yere kadar geçtiği bölgeleri basınç kayıpları açısından dört ana bölgeye ayırabiliriz. Bu bölgeler ve bunları oluşturan elemanlar bir patlatma deliği delme işinden başka bir delme işine değişmekle birlikte genel olarak çizelge 2.2’de gösterildiği gibidir [7].

**Çizelge 2.2 : Bir patlatma deliğinde basınçlı havanın geçtiği bölümler.**

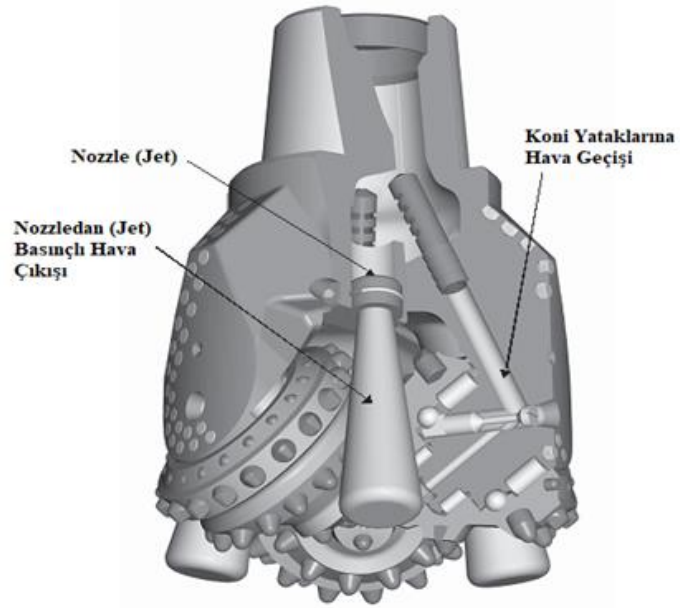
<b>Bölüm no:</b>	<b>Bölüm yeri</b>	<b>Bölümlerdeki elemanlar</b>	<b>Çaplar ve uzunluklara ait detaylar</b>
1	Kompresörden tij başına kadar	Bu kısım bir metal boru, 1 valf, 8 adet 90° bükülme, 1 adet 180° bükülme, 1 parça kısa kauçuk hortum, bir parça uzun kauçuk hortum içerir.	Metal boru ve kauçuk boruların çapları delik çaplarının yarısı kadardır. Kauçuk boruların toplam uzunluğu ve metal borunun uzunluğu tijin 1.5 katı kadardır.
2	Tijden matkaba kadar	1 adetten 5 adete kadar tij ve duruma göre 1 sapma önleyiciden oluşur.	Uzunluklarının dışında her bir tij bir genişleme ve bir daralma bölgesine sahiptir.
3	Matkabin tij kısmı ile matkabin delik kısmı	Bu bölgede üç adet nozul ve matkap yataklarına giden ince üç boru vardır.	Nozul kısmına detaylı değinilecektir. Burada havanın %30 nun matkap yataklarına gitmesi gerekmektedir.
4	Delik dibinden yeryüzüne kadar olan kısım	Bu bölüm tij dışı ve delik iç duvarı arasında kalan kısım olup herhangi bir eleman içermemektedir.	Bu bölgedeki en dar kısım matkabin olduğu kısım olup oldukça düzensizdir. Saptırmazda oluklu kısımlar vardır. Bunların dışında genel olarak diğer kısımlar düzgündür.

Çizelge 2.3’de ise basınçlı havanın metal ve kauçuk boruların boy ve çapları, delik çapı, tijin iç ve dış çapları dikkate alınarak oluşacak basınç kayıplarının yaklaşık değerleri ve toplam kayıplar her bir bölüm için verilmiştir. Havanın %30’nun rulmanlara gitmesi matkap ömrünün uzatılması açısından büyük önemi vardır. Bu durumda en büyük basınç kaybı yani kompresörün sağlaması gereken basınç nozullardan havanın %70 ni geçirmek için olanıdır. Çizelge 2.3’de değişik delik çaplarında oluşan basınç kayıpları görülmektedir [7].

**Çizelge 2.3 :** Döner delme işleminin yapıldığı patlatma deliklerinde dört ana bölümde basınç kayıplarının hesabı.

Bölümler ve elemanları	Delik Çapları (mm)			
	150 to 200	200 to 279	279 to 381	381 to 445
<i>Bölüm 1 deki basınç kayıpları (Pa)</i>				
Metal Borular	40707	28451	21948	18180
Valfler				
9 adet 90° bükülme				
1 adet 80° bükülme				
Kauçuk Borular	16282.8	11380.4	8779.2	7272
<i>Bölüm 2 deki basınç kayıpları (Pa)</i>				
5 adet tij	6800	6938	3346	819
<i>Bölüm 3 deki basınç kayıpları 3 (Pa)</i>				
Matkap etrafında	1500	1200	900	600
Anülüste	22500	21800	13200	9600
<i>Toplam Basınç kaybı (Bölüm 1, 2, 4)</i>	114989.8	97521.4	61557.2	39747
Matkapta beklenen basınç kaybı (Pa)	550000	400000	280000	210000

Üç konili matkaplardan basınçlı hava şekil 2.23’de gösterildiği gibi nozullardan çıkar.



**Şekil 2.23 :** Basınçlı havanın nozullardan çıkışı.

Nozulların avantajı havayı hızla delik dibine yönlendirip, matkap dişleri arasındaki parçacıkları hızla uzaklaştırmaları, anülüsten havayla birlikte çıkarmalarıdır. Bu hızla uzaklaştırmanın sebeplerinden bir havanın parçacıklara yüksek sürüklenme kuvveti uygulaması ile ilgilidir. Eşitlik 2.16 kullanılarak nozul alanı baz alınarak gönderilecek hava miktarı hesaplanabilir.

$$Q = \left( \frac{60}{1.225} \right) * A * \alpha * \Psi * p_1 * \left[ \frac{2}{R * T_1} \right]^{0,5} \quad (2.16)$$

Q = Hava miktarı (m<sup>3</sup>/min)

$\alpha$  = Nozul efektiflik katsayısı

$\Psi$  = Akış katsayısı

$p_1$  = Mutlak basınç (Pa)

$T_1$  = Mutlak sıcaklık (K)

A = Nozul açıklık alanı (m<sup>2</sup>)

R = Gaz sabiti J/(kg K)

### **3. GLİ TUNÇBİLEK HAVZASI'NIN TANITIMI VE KULLANILAN DELİCİLER**

#### **3.1 Bölgenin Jeolojisi**

##### **3.1.1 Stratigrafi**

Tunçbilek Kömür Havzası'nda en yaşlı birim olarak paleozoyik yaşlı metamorfik şist ve kristalize kireçtaşları ile paleozoik üzerinde diskordan olarak kratese yaşlı ultrabazik kayalar bulunmaktadır. Paleosende granit intrizyonu görülmektedir [28].

Tüm bu birimler neojen yaşlı birimlerin temelini oluşturmaktadır. Temel üzerinde diskordan olarak bulunan neojen; miyosen (Tunçbilek serisi) ve pliyosen (Domaniç serisi) ile temsil edilmektedir.

Miyosen; kumtaşı-konglomera (M1), marn (M2), kireçtaşı (M3a), kumtaşı-konglomera (M3b) olmak üzere dört birime ayrılmıştır.

Pliyosen ise; tüfit (PL3), kireçtaşı (PL2), bazalt (V), kireçtaşı (PL4) olmak üzere dört birime ayrılmıştır.

Miyosen ile pliyosen arasında diskordansın varlığı şüphelidir. Havzada miyosen yaşlı linyit oluşumları mevcuttur. M1 birimi içerisinde görülen merceksel linyit oluşumlarının devamlılıkları yoktur. M2 biriminin alt seviyelerinde görülen linyit oluşumu havzanın işletilebilir önemli yatağını meydana getirmektedir. M3 birimlerinin içerisinde de yer yer ekonomik değeri olmayan merceksel linyit oluşumları mevcuttur [28].

Paleozoyik bölümde ise metamorfik şist (tms) havzanın kuzeyinde (Firanlar kuzeyi) dar bir alanda görülmektedir ve şistozite az belirgindir. Yeşilimsi gri, kahverengimsi gri renktedir. Kristalize kireçtaşı (tk) havzanın kuzeyinde Firanlar, Sarıot arasında, oldukça geniş alanlarda, batıda ise Burhan civarında dar bir alanda görülmektedir.

Paleozoyik üzerinde diskordan olarak bulunan mesozoyik birimleri ultrabazik kayalardan (ts) oluşmuştur. Havzanın çevresi hemen hemen tamamen ultrabazik kayalarla kaplıdır. Ultrabazik kayalar genellikle harzburgit ve dunitlerden meydana

gelmiştir. Serpantinleşme oldukça yaygındır. Kırık ve fay zonlarında manyezit damarları boldur. Ürimsi, yeşilimsi siyah renklidir. Yer yer kromik mercikleri içerir.

Havzada senzoyik; paleosen yaşlı granit sokulumu, miyosen ve pliyosen yaşlı gölgele çökellerle kuvarterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozları ile temsil edilmiştir. Paleosen bölümde granit (tg) havzanın kuzeybatısında Sarıot dolayında görülmektedir. Granit, granadiyorit karakterinde olan bu sokulum Uludağ granitleri ile ilişkili olup, yaşı eski çalışmalara göre paleoson olarak gösterilmektedir.

Miyosenin birinci bölümü olan kumtaşı konglomera (M1) güneyde yörgüç, demirbilek ve hamitabat dolaylarında görülmektedir. Orta boylanmış olup, çakılları; yuvarlak, yarı yuvarlak ve kült köşelidir. Çakıl boyları birkaç mm'den 5-6 cm'ye kadar değişmektedir [28].

Çoğunlukla serpantin, kuvars ve kireçtaşı çakılları görülmekte olup orta kalın belirgin tabakalanmalıdır. Kumtaşı ve konglomera seviyeleri ardalanmalı olup, içinde yer yer ekonomik değeri olmayan mercexsel linyit damarları mevcuttur. Bu birim üzerine konkordan olarak marn (M2) birim gelmektedir. Marn havzanın güneyinde özellikle müessesemiz işletme sahalarında geniş alanlarda görülmektedir.

Genellikle marn, killi marn, siltli marn, silttaşı, kiltası, miltaşı ardalanmasından oluşmuştur. Yer yer mercexsel kumtaşı-konglomera ara katkı içerir. Rengi; kahvemsi krem-grimsi krem renkli olup, belirli tabakalar gösterir, yer yer laminalıdır. Alt seviyeleri bol bitki fosili içermektedir. Fosiller genellikle iyi korunmuştur. Bu birim altta bulunan M1 birimi ve üstte bulunan M3 birimi ile yana ve dikey geçişlidir. M2 birimini oluşturan litojik birimler (marn, killi marn, siltli marn, silttaşı, kiltası, miltaşı) kendi aralarında yanıl geçişlidir [28]. M2 biriminin alt seviyelerinde ekonomik linyit oluşumu mevcuttur. Genellikle 5-20 metrelik bir zon içerisinde oluşmuştur. Bu birim kalınlığı 400-450 metre kalınlığındadır. Bu birim üzerine konkordan olarak kireçtaşı (M3a) birimi gelmektedir [28].

Kireçtaşı havzada Soğucak, Böçen, Ömerler dolaylarında oldukça geniş alanlar kaplar. Genellikle kireçtaşı ve silisifiye kireçtaşından oluşmuştur. Beyazımsı krem, sarımsı krem, silisifiye kısımları pembemsi krem renkli belirgin tabakalanmalı, bol kırıklıdır. Yer yer oldukça kalın silis bantları içerir [28]. Yer yer marn-kil katkılı, yer yer ekonomik olmayan kömürlü seviyeler içermektedir. Bu birim sahasının batısında Burhan Köyü ve Gözeren Mahallesi dolaylarında temel üzerine doğrudan geldiği

kısımlarda çakıllı kireçtaşı karakterindedir. Sahanın doğusunda kumtaşı–konglomera (M3b) birimi ile yanall geçiştir.

Kumtaşı-konglomera havzanın güneyinde sadece Muhacir Köyü dolaylarında görölmektedir. Genellikle gevşek tutturulmuş kumtaşı-konglomera ve kil ara katkılarından oluşmuştur. M3a ve M3b birimleri arasında yanall geçişle vardır. Bu nedenle çakılları tutan hamurun gevşek oluşu ve içinde M3a biriminin uzantılarının olması ve stratigrafik konumu nedeniyle M1 biriminden ayrılır. Böylece M3b birimiyle miyosen serileri tamamlanmış, üzerine pliyosen çökelleri gelmiştir. miyosen ile pliyosen arasında diskordans tartışmalıdır. Zira; Gözeren Mahallesi dolayında kireçtaşı (M3a) arasında görölen tüfit ara katkıları ile tüfitler (PL3) arasında görölen kireçtaşı ara katkıları miyosen ve pliyosen arasında dikey geçiş ihtimalini düşündürmektedir.

Miyosen’de Tunçbilek yöresinde etkili olan göl ortamı pliyosende Domaniç yöresinde geniş yayılım alanı bulur. Geç miyosende başlayan asidik volkanizma pliyosende de piroklastikler şeklinde etkisini sürdürür. Patlama merkezleri göl içindedir. Karada yağışan tüfler de akarsularla göl ortamına taşınmıştır.

Miyosenle pliyosen birimleri arasında bir uyumsuzluk gözlenmemektedir [28].

### **3.1.2 Yapısal jeoloji**

Beke Köy’ünden geçen Beke Deresi, havzanın antiklinal eksenidir. Beke deresinin kuzeyindeki birimler kuzeydoğuya eğimli, güneyindeki birimler ise güney-güneybatı eğimlidir. Genelde havzanın belirli aralıklarla çökmesine bağılı olarak eğim atımlı normal (gravite fayları) gelişmiştir.

Genelde yataya yakın olan (50-110) miyosen çökelleri fay zonlarında eğim kazanabilmektedir ve bu eğimler yer yer çok fazladır. Pliyosen birimleri ise faylanmalardan daha az etkilenmiştir. Bunlar, havza kenarlarındaki kesimler bir kenara bırakılacak olursa, genelde yatay konumludur. Tüm faylardaki yaygın doğrultu kuzeydoğu-güneybatıdır.

Çökme (subsidents) özelliğı taşıyan bu neojen havzalarında temel ile olan dokanaklar çoğı yerde faylıdır. Havzalarda, çökmenin ilerlemesi ile eş yaşlı faylar (büyüme fayları) gelişmiştir. Miyosen ile pliyosen çökelleri arasında, istifin sürekli olduğı



### 3.2 GLİ Tunçbilek İşletmesi'nde Kullanılan Delici Makinelerin Özellikleri

Tunçbilek Kömür Havzası'nda 1985 imal yılı DM50XL900 model delici makineleri faal olma durumlarına göre kullanılmaktadır. Aynı model delici makineleri farklı kapı numaraları ile isimlendirilerek birbirlerinden ayrılmıştır. Çalışma süresince sahada kısmen ya da sürekli olarak faal halde bulunan makineler 529, 530, 534, 536 ve 537 kapı numaralarına sahip olan makinelerdir. Bu delici makineler sık sık arızalandığı için delme işlemi zorlaşmakta ve delme verimi düşmektedir. Bu çalışmada diğer delicilere göre daha iyi durumda olan, DM50XL900 model 530 ve 536 nolu delik delme makineleri kullanılmıştır. Çizelge 3.1'de delik delme makinelerinin genel özellikleri, Şekil 3.2'de delme sırasındaki görünümü verilmiştir [29].

**Çizelge 3.1 : Delik 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 N.m
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"
Tij uzunluğu	7,6 m



**Şekil 3.2 :** Delme sırasında bir delici makine.

## 4. TUNÇBİLEK HAVZASI'NDA YAPILAN DENEYLER

### 4.1 Ölçüm Alınan Bölgeler ve Özellikleri

GLI Tunçbilek Açık Ocak Kömür Havzası'nda, delme işlemleri günlük iki ayrı vardiya olarak yapılmaktadır. Bu çalışmada da arazide delinen delikler atım yapıma durumuna göre farklı atım kodlarında sınıflandırılmıştır. Arazi ve delici makine şartlarından dolayı her vardiyada belirli sayıda delik delinmesi mümkün olmamıştır. Dolayısıyla bir vardiyada delinebilen delikler doğrultusunda deliklerin ölçümleri yapılmış ve numuneleri alınmıştır. Yapılan ölçümlerde delik makinesinin baskı basıncı, ana pompa basıncı, hava basıncı, delinen deliğin uzunluğu ve delme süresi dikkatle kaydedilmiştir. Delme işlemi sırasındaki zorlanmalar ve meydana gelen titreşimler, toz çıkışındaki artış, delik delme süresinin uzun olması ve deliklerin konumu gibi parametreler dikkate alınarak hangi delikten numune alınması gerektiğine karar verilmiştir. Delme işleminin bitiminde belirlenen deliklerden elek analizi için pasadan kırıntı numunesi; patlatma işlemi gerçekleştirildikten sonra ise diğer kaya mekaniği deneyleri için parça numune ve sahanın genel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla blok numunesi alınmıştır. Şekil 4.1'de görülen BYL kodlu pano ile Şekil 4.2'de görülen FC kodlu panoda ölçümler ve numuneler alınmıştır.



Şekil 4.1 : BYL kodlu pano genel görünüşü.



**Şekil 4.2 : FC kodlu pano genel görünüş.**

## **4.2 Yapılan Deneyler**

### **4.2.1 Schmidt çekici deneyi**

Basınç dayanımı tahmini ve formasyonların sınıflandırılması amacıyla kullanılan, pratik ve ekonomik bir yöntem olan Schmidt çekici deneyi, taşınabilir bir Schmidt Çekici aracılığıyla yapılabilmektedir.

N-tipi Schmidt çekici ile çalışma kapsamında araziden getirilen numunelere yapılmıştır. Deneyin yapılış şekli ve sonuçlarının yorumu konusunda literatürde farklı prosedürler önerilmektedir [30]. Bu çalışma için yapılan deneyde bir yüzey üzerine 20 defa dik vuruş yapılmış ve kaydedilmiştir. En yüksek 10 değerlerin ortalaması ise Schmidt değeri olarak alınmıştır. Çekiç yatay düzleme dik olarak tutulmuş ve deney aynaya yakın büyük kaya blokları üzerinde uygulanmıştır.

**Çizelge 4.1 : 1.Prosedür Schmidt değer çizelgesi.**

<b>Blok</b>	<b>Schmidt Değeri</b>	<b>En Yüksek 10 Değer</b>	<b>Ortalama</b>
B	36-33-35-32-33- 33-40-35-34-38- 38-26-36-40-42- 36-39-34-43-30	43-42-40-40-39- 38-38-36-36-36	38,8
C	34-36-33-32-28- 34-31-42-40-34- 24-32-26-26-31- 28-26-28-32-32	42-40-36-34-34- 34-33-32-32-32	34,9
D	34-39-36-36-35- 44-40-40-34-39- 36-35-37-38-37- 37-37-36-41-38	44-41-40-40-39- 39-38-38-37-37	39,3
<b>GENEL ORTALAMA</b>			<b>37,67</b>



**Şekil 4.3 : Schmidt çekici deneyi.**

#### 4.2.2 Nokta yük dayanımı deneyi

Nokta yük deneyi, kayaçların sınıflandırılması ve dayanımlarının belirlenmesi amacıyla kullanılan yaygın bir deney yöntemidir. Yapılan deney ISRM tarafından belirtilen hususlar dikkete alınarak yapılmıştır.

Düzgün numunelere uygulanabildiği gibi şekilsiz numunelere de kolaylıkla uygulanabilirliği, laboratuvar koşullarına göre son derece pratik ve ucuz bir yöntem olması sebebiyle tercih edilen bir deneydir [30].

Deney öncesi seçilen kayaç numunelerinin boyutları kumpas yardımı ile ölçülerek belirlenmiştir. Boyutları saptanan numuneler dikkatli bir şekilde, uygun yükleme şekli ile konik uçlar arasına yerleştirilmiş ve yükleme pompası ile yükleme yapılarak deneye başlanmıştır.

Belirli bir süre yükleme yapıldıktan sonra kayacın kırılması sağlanmış ve kırıldığı andan sonra yük göstergesindeki değer okunarak kaydedilmiştir. Çalışılan tüm bölgeleri temsil edecek şekilde her ölçümden numune alınmış ve alınan kayaç parçalarına nokta yük deney standartları uygulanarak deney yapılmıştır. Çizelge 4.2’de farklı atımlardaki nokta yük numune sayıları ve ortalama değerleri verilmiş olup, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de örnek olarak AT-6 kodlu atımı numunelerinin deney öncesi ve deney sonrası fotoğrafları verilmiştir. Şekil 4.6’da nokta yük deneylerinin yapıldığı alet görülmektedir.

**Çizelge 4.2 : Atımlardaki nokta yük numune sayıları ve ortalama değerleri.**

ATIM NO	NUMUNE SAYISI	ORTALAMA IS	ORTALAMA F	ORTALAMA IS <sub>50</sub>
AT-1	13	3,13	1,03	3,22
AT-2	13	3,88	0,99	3,74
AT-3	13	2,85	0,97	2,75
AT-4	13	1,96	1,00	1,97
AT-5	9	1,58	0,99	1,57
AT-6	13	1,81	0,98	1,80
AT-9	12	1,14	1,00	1,14
AT-13	33	2,41	0,95	2,27



Şekil 4.4 : AT-6 kodlu nokta yük numuneleri deney öncesi.



Şekil 4.5 : AT-6 kodlu nokta yük numuneleri deney sonrası.



**Şekil 4.6 :** Nokta yük deneyi.

### **4.2.3 Elek analizi**

Tunçbilek Havzasından delme işlemi sonrasında alınmış olan pasa numunelerinin elek analizi işlemi, İTÜ Agregat Laboratuvarı'nda 14 mm - 0.125 mm aralığındaki 15 farklı elekten geçirilerek gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler ile CI (Coarseness Index),  $d_{50}$  değerleri ve Rosin Rammler yöntemine göre de  $d_{36.8}$  ve  $n$  katsayısı hesaplanmıştır [31].



**Şekil 4.7 :** Elek analizi deneyinde kullanılan titreşimli eleme makinesi.

Elek analizi test sonuçlarının yorumlanması grafik çizimleri ile tablolarla ve analitik ifadelerle birlikte yapıldığı takdirde önemini göstermektedir. Bu nedenle kullanılacak birçok grafiksel sunum yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan bu grafiklerin çoğunluğu kümülatif büyüklüğün parçacık büyüklüğü ile ilişkisini baz almaktadır. Grafiklerde kullanılan eksen skala çeşitleri doğrusal, logaritmik veya çift logaritmik olabilmektedirler. Çift logaritmik yani Rosin-Rammler skalası grafikleme açısından en uygun yöntem olarak gözükmekte olup MATLAB programı tabanında çalışmaktadır.

Rosin-Rammler dağılım formülü, eşitlik 4.1, ilk olarak toz kömür parçacıklarının dağılım analizi için tasarlanmış olmasına rağmen farklı tipteki kırılmış ve öğütülmüş malzemelerin de istatistiksel dağılımlarını belirlemek amacıyla kullanılabilir.

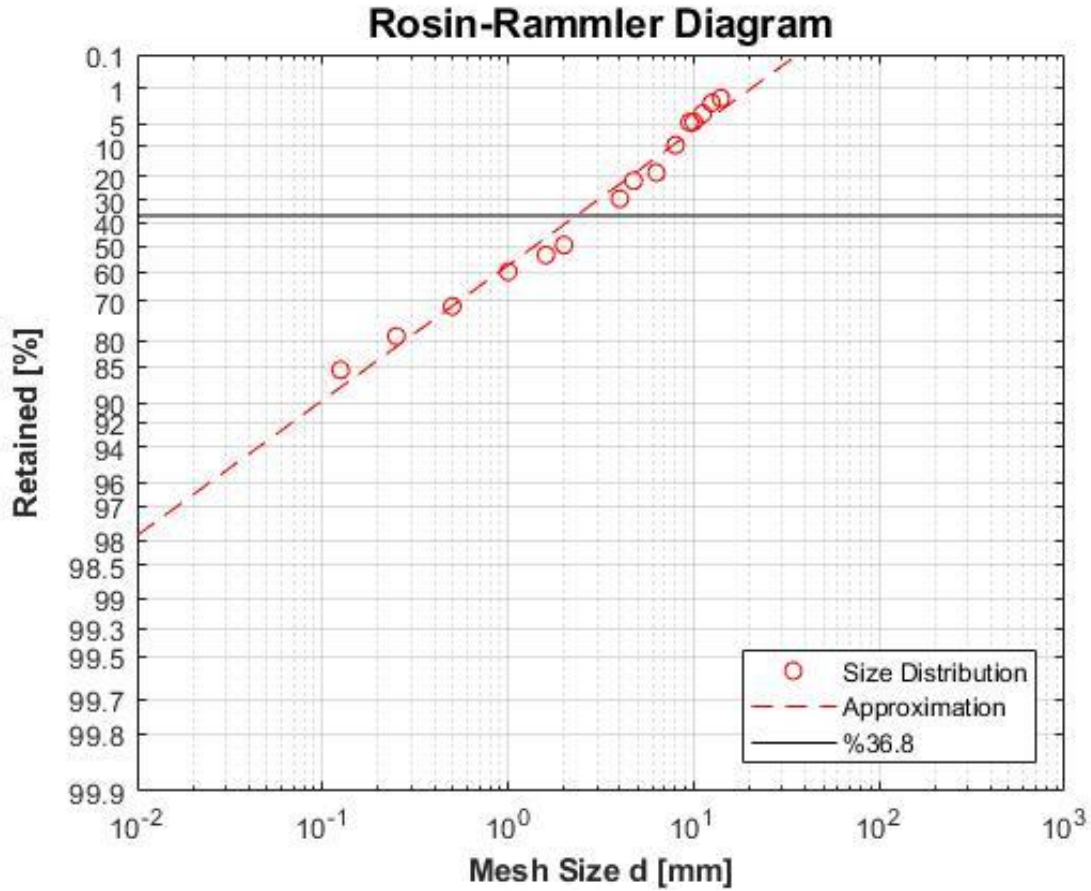
$$R(d) = 100 * e^{-\left(\frac{d}{d'}\right)^n} \quad (4.1)$$

Bu formülde belirtilen “R(d)”, tutulan malzemenin kümülatif yüzdesi, d parametresi örgü ya da parçacık büyüklüğü, d' parametresi ortalama parçacık büyüklüğü, “n” ise parçacık boyutlarının yayılımının bir ölçüsüdür.

Eşitlik 4.1 denkleminin çift katlı logaritması alınıp bazı düzenlemeler yapıldığı takdirde eşitlik 4.2'ye ulaşabiliriz.

$$\text{Log} \left( \log \frac{100}{R(d)} \right) = n * \log d + c \quad (4.2)$$

Bu sebeple 100/R(d)'nin çift logaritması ile d'nin logaritmasından grafik üzerinde lineer bir çizgi elde etmiş oluruz. Bahsettiğimiz bu çift logaritma ile tek logaritma eksenlerinin kombinasyonundan ortaya çıkan grafiği RR (Rosin-Rammler) diyagramı olarak adlandırmaktayız. Şekil 4.8'de bir örneği gösterilmiştir.



**Şekil 4.8 :** No AT-1 atımı D1 kodlu delik elek numunesi analizindeki RR Diagramı.

Kullanılan diğ er tip aksenal kombinasyonların yanı sıra logaritmik ve çift logaritmik eksen kombinasyonu ile ortaya çıkan RR diyagramının en büyük avantajı boyut dağılımlarını lineer bir çizgi üzerinde görebilmektir.

Eşitlik 4.1'e göre sabit olarak malzemenin %36.79'u kalacaktır. Boyut parametresi olarak tanımlanan  $d$  yi örgü boyutu  $d'$  olarak tanımlayabilmekteyiz. Bu sebeple boyut parametremiz yaklaşık çizginin %36.79 değerini geçtiği bir parçacık büyüklüğüdür.  $d$  ne kadar büyükse malzeme o kadar kabadır.

Dağılım parametresi olan “ $n$ ” ise eşitlik 4.3'ten hesaplanabilmektedir. Düşük dağılım parametresi, geniş boyut dağılımını göstermektedir [32].

$$n = \frac{[\log(\log 100/R(d_2)) - \log(\log 100/R(d_1))]}{[\log d_2 - \log d_1]} \quad (4.3)$$

Roxborough tarafından büyüklük (coarseness) endeksi (CI), kesilmiş kayaç parçacıklarının karşılaştırmalı boyut dağılımı olarak tanımlanmıştır. Roxborough'un tanımı doğrultusunda CI, boyutu olmayan ve parçacık boyut kıyaslaması için kullanılan bir sayıdır.

CI değeri, kullanılan elekler üzerinde tutulan malzemenin ağırlık yüzdelerinin kümülatif toplamına eşit olması sebebiyle, kullanılan elek sayısı ile doğrudan bağlantılıdır. Elek boyutlarının, analizi yapılacak malzemeye uygun olarak seçilmesi, doğru CI değerini bulmak açısından önemlidir [33]. Örnek bir CI hesaplaması, bu çalışma kapsamında yapılan bir deney grafiği şekil 4.3 ve analiz tablosu ile çizelge 4.3'de gösterilmiştir. Çizelge 4.3'e göre kümülatif elek üstü yüzdelerinin toplamı olan 595.47 sayısı ise CI değerini göstermektedir.

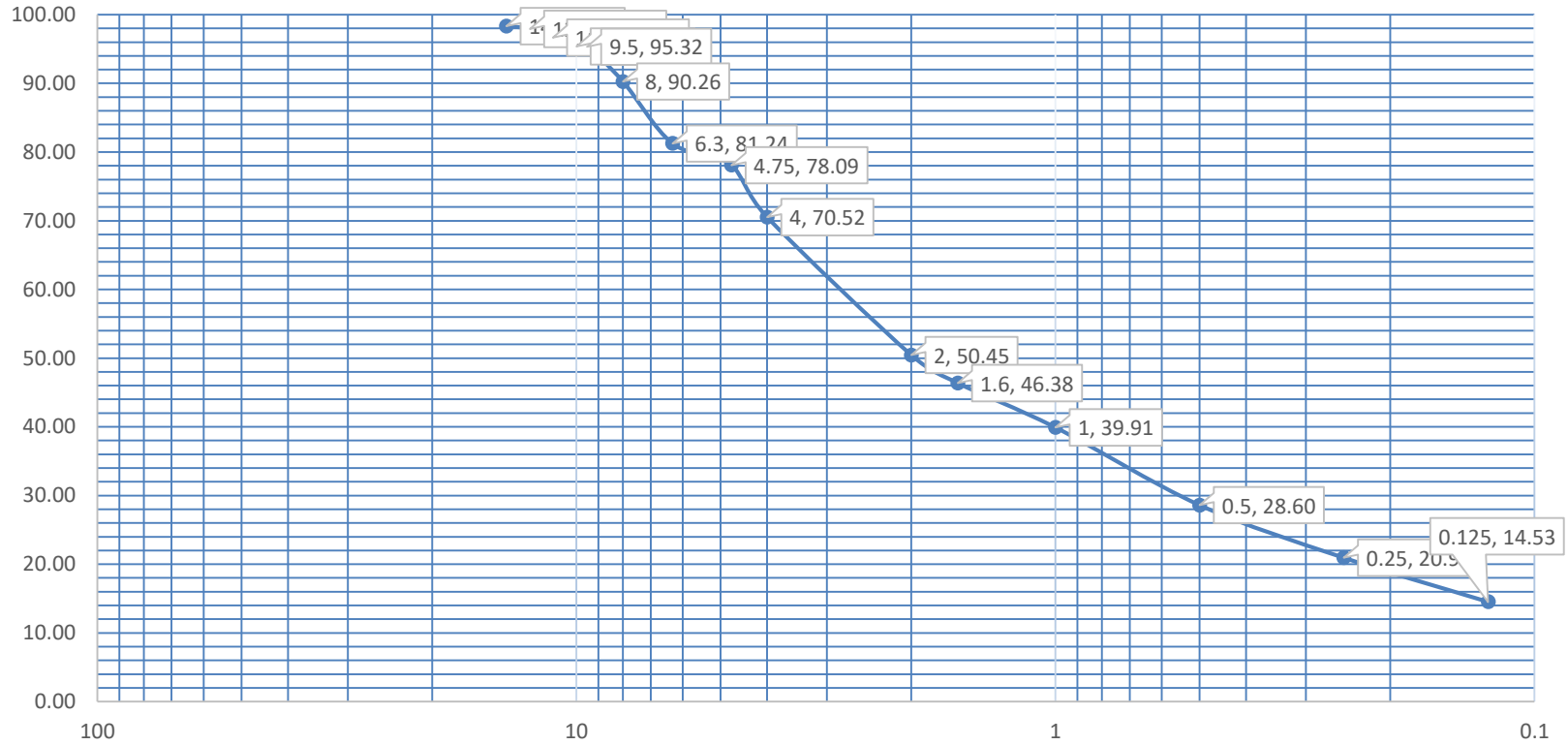
D değerlerini, numune parçacıklarını artan bir kütle bazında düzenlediğimizde, numune kütlelerini belirtilen bir yüzdeye bölen kürenin çapı olarak tanımlayabiliriz. Bu çalışmada kullandığımız  $d_{50}$  değerine göre, parçacık numunelerimizin kütlelerinin %50'sinin  $d_{50}$  değerindeki parçacıktan daha fazla ya da %50'sinin parçacıktan daha az olduğu parçacık çapıdır. Şekil 4.3'e göre analizi yapılmış elek numunesinin  $d_{50}$  değeri 1.95 civarındadır.

Bu çalışma kapsamında yapılan bütün analiz sonuçları verimlilik karşılaştırmalarının olduğu çizelgelerde gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3 : AT-1 atımı D1 kodlu delik elek numunesi analizi.**

<b>Elek Adı</b>	<b>Elek Boyu(mm)</b>	<b>Elek Üstü Kalan Malzeme(gr)</b>	<b>Elek Üstü Kalan Malzeme(%)</b>	<b>Kümülatif Elek Üstü (gr)</b>	<b>Kümülatif Elek Üstü (%)</b>	<b>Kümülatif Elek Altı (%)</b>
<b>14</b>	+14	35.47	1.67	35.47	1.665782194	98.33
<b>12.5</b>	-14+12,5	9.06	0.43	44.53	2.09	97.91
<b>11.2</b>	-12,5+11,2	26.4	1.24	70.93	3.33	96.67
<b>10</b>	-11,2+10	27.52	1.29	98.45	4.62	95.38
<b>9.5</b>	-10+9,5	1.2	0.06	99.65	4.68	95.32
<b>8</b>	-9,5+8	107.66	5.06	207.31	9.74	90.26
<b>6.3</b>	-8+6,3	192.09	9.02	399.40	18.76	81.24
<b>4.75</b>	-6,3+4,75	67.23	3.16	466.63	21.91	78.09
<b>4</b>	-4,75+4	161.06	7.56	627.69	29.48	70.52
<b>2</b>	-4+2	427.38	20.07	1055.07	49.55	50.45
<b>1.6</b>	-2+1,6	86.73	4.07	1141.80	53.62	46.38
<b>1</b>	-1,6+1	137.73	6.47	1279.53	60.09	39.91
<b>0.5</b>	-1+0,5	240.77	11.31	1520.30	71.40	28.60
<b>0.25</b>	-0,5+0,25	163.09	7.66	1683.39	79.06	20.94
<b>0.125</b>	+0,25-0,125	136.60	6.42	1819.99	85.47	14.53
	-0.125	309.34	14.53	2129.33	100.00	0.00
	Toplam	2129.33	100.00	4258.66	595.47	1004.53

### AT-1 atımı D1 kodlu delik elek numunesi analizi



Şekil 4.9 : AT-1 atımı D1 kodlu delik elek numunesi analizi.

#### 4.2.4 Tek eksenli basınç dayanımı

Elastisite modülü, tek eksenli basınç deneyinde komparatörler yardımıyla boy değişimleri ölçülerek ve gerilme-birim deformasyon eğrileri çizilerek bulunmuştur. Literatürde bu eğriler yardımıyla üç tür elastisite modülü hesaplama söz konusudur; tanjant elastisite modülü, sekant elastisite modülü ve ortalama elastisite modülüdür [30]. Bu çalışmada uygulanmış olan hesaplama tanjant elastisite modülü yöntemidir ve kırılma yükünün %50'sinden çizilen teğetin eğimi elastisite modülü olarak alınmıştır.

Çizelge 4.4 : Tek eksenli basınç dayanım deney sonuçları.

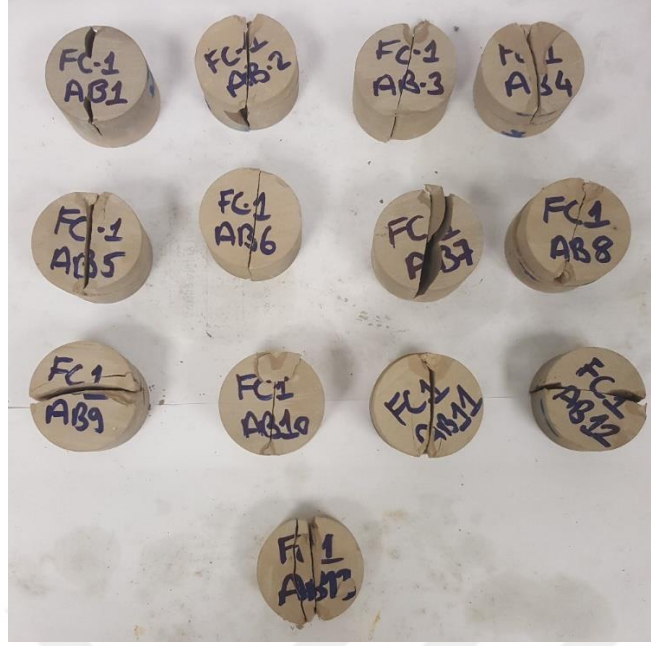
Numune No	Ortalama Çap (mm)	Ortalama Boy (mm)	Ağırlık (gr)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Mpa)	Elastik Modül (Mpa)	Poisson Oranı
AU-1	39,67	103,90	256,67	2,00	27,65	3245,7	0,2
AU-2	39,73	100,37	247,28	1,99	28,03	1861,3	0,3
AU-3	39,80	101,73	251,98	1,99	29,53	3119,7	0,2
AU-4	39,93	101,90	254,55	2,00	29,53	3248,6	0,1
AU-5	39,93	84,67	214,97	2,03	27,49	2955,8	0,2
AU-6	40,00	106,20	259,78	1,95	25,68	3130,3	0,2
AU-7	39,93	89,83	224,71	2,00	19,63	2013,6	0,1
AU-8	40,00	94,73	232,62	1,96	24,57	2712,7	0,2
AU-9	40,00	93,10	231,88	1,98	25,58	2570,0	0,2



**Şekil 4.10** : Tek eksenli basınç dayanım deneyi.

#### **4.2.5 Çekme dayanımı**

Çekme dayanımı deneyi hazırlanmış deney örneklerinin tek eksenli çekme dayanımlarını dolaylı olarak belirlemek amacıyla tasarlanmıştır [30]. Deney ISRM standartlarına göre yürütülmüştür. Numune çapılarının yaklaşık 40 mm'den küçük olmamasına ve numune boyunun yaklaşık olarak numunenin yarı çapı ile çapı arasında olmasına dikkat edilmiştir [30]. Deney ISRM standartlarına göre yürütülmüştür.



Şekil 4.11 : Çekme dayanım deneyinde kullanılan numuneler.



Şekil 4.12 : Çekme dayanım deneyinde kullanılan deney aracı.

Çizelge 4.5 : Çekme dayanım deney sonuçları

Örnek No	Çap (mm)	Çap (mm)	Çap (mm)	Ortalama Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Kalınlık (mm)	Kalınlık (mm)	Ortalama Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	Yükleme Hızı (mm/1000/s)	Yenilme Yüğü (kN)	Dolaylı Çekme Dayanımı (Mpa)
AB1	40,00	40,00	39,90	39,97	28,40	28,60	28,10	28,37	80,54	0,05	7,4	4,2
AB2	39,90	40,00	39,50	39,80	23,70	23,20	21,90	22,93	58,91	0,05	6,1	4,3
AB3	39,90	39,90	39,90	39,90	26,30	26,40	26,40	26,37	68,03	0,05	6,2	3,8
AB4	39,60	39,80	39,60	39,67	23,10	22,50	22,70	22,77	51,12	0,05	5,3	3,7
AB5	39,90	39,90	39,90	39,90	28,60	29,30	28,60	28,83	73,42	0,05	5,5	3,0
AB6	40,00	39,90	40,20	40,03	26,70	26,70	26,60	26,67	72,45	0,05	6,1	3,6
AB7	40,30	40,30	40,10	40,23	27,20	27,70	27,80	27,57	80,16	0,05	4,7	2,7
AB8	40,40	40,50	40,50	40,47	30,00	29,40	28,80	29,40	65,22	0,05	5,5	2,9
AB9	40,10	40,30	40,30	40,23	25,30	25,50	25,70	25,50	59,27	0,05	5,3	3,3
AB10	40,50	40,30	40,30	40,37	28,60	28,40	28,30	28,43	69,91	0,05	5,6	3,1
AB11	40,40	40,30	40,60	40,43	28,00	28,50	28,40	28,30	68,42	0,05	5,3	2,9
AB12	40,50	40,40	40,50	40,47	19,10	20,70	19,60	19,80	57,53	0,05	5,2	4,1
AB13	40,30	40,40	40,40	40,37	16,80	16,40	16,50	16,57	38,82	0,05	5,3	5,0

#### 4.2.6 Darbe dayanımı

Darbe dayanım deneyi, bir tür kayaç numunesi kırma yöntemi olup kırılmalık deneyi olarak bilinir. Genel olarak çelik kutu içerisinde konan toplam 500 gram ağırlığındaki kayaç parçaları, 25 cm yükseklikten düşürülen 14 kg ağırlığında bir çekiçle 20 kez tekrarlanan darbeye maruz bırakılmaktadır. Çekiçin 25 cm yükseklikten düşürülme sayısı kayaçların özelliklerine bağlıdır ve bu değer ince taneli kayaçlar için 20 iken, masif ve çok sert kayaçlar için 80-90'a kadar çıkarılabilir. Aslında kırılmalık değeri, kayaca tekrarlanarak uygulanan darbeler karşısında kayacın parçalanmaya göstermiş olduğu dirençtir [34].

Buna göre yoğunluk deneyinden elde edilen sonuca bağlı olarak çelik kutu içerisinde konulması gereken ağırlık 433 gram bulunmuş ve deney buna göre yapılmıştır. Gerekli miktardaki numune Şekil 4.13'de görülen çeneli kırıcı ile kırılarak istenilen boyut aralığına getirilmiştir. Darbelerle çelik bir kutu içerisinde parçalanmış kayaçlar herhangi bir malzeme kaybı olmamasına dikkat edilerek 11,2 mm'lik eleklerden geçirilmiştir. 11,2 mm çaplı elekten geçen kayaç parçalarının miktarının toplam ağırlığa oranı kırılmalık değeri olarak yüzde cinsinden hesaplanmıştır. Seçilen numunelere yapılan darbe dayanımı deneyinin sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Darbe dayanımı deneyinin yapıldığı alet Şekil 4.14'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6 : Darbe dayanımı deneyinin sonuçları**

Numune No	11.2 mm üstü	11.2 mm altı	Kırılmalık Değeri (%)	Ortalama
FC-1	90,63	343,39	79,12	80,48
FC-2	80,54	353,59	81,45	
FC-3	83,1	351,26	80,87	
BYL-1	63,42	370,97	85,40	81,41
BYL-2	88,14	345,59	79,68	
BYL-3	90,76	343,97	79,12	



Şekil 4.13 : Çeneli kırıcı.



Şekil 4.14 : Darbe dayanımı deneyi.

#### 4.2.7 Yoğunluk

Tartılarak ağırlığı belirlenen numunelerin hacmi hesaplanmış ve ağırlığın hacme bölünmesiyle yoğunluk değerleri bulunmuştur. Yapılan deney ISRM tarafından belirtilen hususlar dikkete alınarak yapılmıştır. Seçilen numunelere yapılan deneyin sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiş ve Şekil 4.16’da deneyin yapıldığı numuneler gösterilmiştir.



Şekil 4.15 : Yoğunluk deneyi.

Çizelge 4.7 : Numune yoğunluk deneyi sonuçları

Numune No	Nemli Numune Ağırlığı	Suda Bekletilmiş ve Yüzeyi Kurulanmış Ağırlık	Su İçerisinde ki Ağırlık	Özgül Ağırlık	Ortalama
A1	86,87	91,27	48,2	2,02	1,97
A2	80,36	84,32	45,06	2,05	
A3	98,47	107,55	54,19	1,85	
B1	86,78	87,96	56,11	2,72	2,62
B2	66,83	68,44	42,54	2,58	
B3	102,98	105,72	65,45	2,56	

#### 4.2.8 Nem içeriği

Bu deneyin amacı numunenin içerdiği suyun kütleinin, fırında kurutulmuş numune kütleinin yüzdesi olarak ölçülmesidir [30]. Yapılan deney ISRM tarafından belirtilen hususlar dikkete alınarak yapılmıştır. Deney için her biri en az 60 gram ağırlığında 3'er adet numune seçilmiş ve tanımlanan 2 farklı kayaç çeşidini temsil etmesi sağlanmıştır. Seçilen numunelere yapılan deneyin sonuçları 2 farklı kayaç çeşidi için A ve B kodlarıyla gösterilmiş olup, nem değerleri Çizelge 4.8'de verilmiş ve Şekil 4.16'da deneyin yapıldığı numuneler gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 : Nem içeriği deneyi sonuçları

Numune No	Nemli Numune Ağırlığı	Kuru Numune Ağırlığı	Su İçeriği	Ortalama
A1	86,87	91,27	5,07	6.40
A2	80,36	84,32	4,93	
A3	98,47	107,55	9,22	
B1	86,78	87,96	1,36	2.14
B2	66,83	68,44	2,41	
B3	102,98	105,72	2,66	



Şekil 4.16 : Nem içeriği deneyinde kullanılan numuneler.



## 5. GLİ TUNÇBİLEK AÇIK OCAKLARI DELİCİ MAKİNELERDE PERFORMANS PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Bir delme işleminin verimliliği yani makina performansını gösteren parametreler Bölüm 2.2 de detaylı anlatıldığı gibi delme hızı, yakıt tüketimi ve özellikle matkap aşınması olmak üzere sarf malzemesi tüketimidir. Devir, baskı kuvveti gibi makina işletim değişkenleri ve matkap seçim kriterleri makina performansına etki ederler. Bunların değerleri bilimsel yöntemlerle belirlendiğinde delme verimliliğinin artırılmasını sağlarlar.

Delici makinalar kullanılırken matkaplara uygulanan devir ve baskı kuvveti değerleri mühendisler tarafından belirlenir ve operatörler tarafından uygulanır. Çizelge 2.1’de gösterildiği gibi delinebilirliği zor olan sert kayalardan yumuşak kayalara doğru gidildiğinde devir değerleri yükseltilebilir.

Genellikle açık ocak madenciliği yeryüzüne yakın olduğu için özellikle metal olmayan kömür gibi madenlerin üzerindeki örtü tabakaları genellikle gevşektir. Bu nedenle devir en yüksek değere (110-120 devir/dak) sabitlenmekte operatörler sadece baskı kuvvetini azaltıp artırarak ilerlemeyi gerçekleştirmektedirler. Formasyon özelliklerine bakıldığında bu uygulama doğru gözükmemektedir. Bu nedenle RPM değiştirilebilir bir değişken olmadığı için etkisine bakılmamış ve baskı kuvveti ile ilgili çalışma yapılmıştır.

Bu tezde gerçekleştirilen çalışma üç ana başlık altında toplanabilir. Matkaplara uygulanacak optimum baskı kuvveti miktarının belirlenmesi, verimli temizleme işlemi için gerekli nozul boyutu ve daha verimli delme işlemi için farklı IADC nolu matkapların karşılaştırılmasıdır.

IADC numaralarının optimum baskı kuvveti ve optimum nozul boyutu üzerine etkisinin çok olmadığı göz önüne alınarak, herbir farklı IADC kodlu matkaplar için aynı işlemleri tekrar yapmamak için işletmelerde hali hazırda kullanılan matkaplarla (622 IADC kodlu) optimum baskı kuvveti ve nozul boyutu belirleme çalışmaları yapılmıştır. Öncelikle değişik baskı kuvveti değerleri uygulanarak uygulanması gereken optimum baskı kuvveti değeri bulunmuş, sonra 3 farklı nozuldan optimum

olanı belirlenmiştir. Böylece IADC numaraları farklı olan matkapların kıyaslanmaları mümkün olmuştur. Yapılan çalışmaların detayları aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

### **5.1 Optimum Baskı Kuvveti Belirlenmesi**

Rotari delicilerde kullanılan üç konili matkaplar için uygulanacak baskı kuvveti değerleri eşitlik 2.1 - 2.4'de verilen formüllerle hesaplanabilir. GLİ gibi Açık Ocak işletmelerinde kullanılan delicilerde operatörlerin uyguladığı kuvvetlerin eşitlik 2.3'deki değerlere yakın olup olmadığına ilişkin bir çalışmanın yapılması gerekmektedir.

Matkaba uygulanması gereken baskı kuvvetini genellikle mühendisler özellikle de operatörler kendi tecrübelerine göre karar vermektedirler. Bu nedenle bu çalışmada daha önce yapılan çalışmalarda yer alan formasyonlara ait basınç dayanımlarını [35] ve bu özellikteki matkap ve delicilerde genellikle kullanılan baskı kuvveti aralıklarını kullanarak GLİ için uygulanabilecek bir baskı kuvveti aralığı belirlenmiştir. Bu aralığın 1.33 ton aralıklarla (makinalarda basınç olarak 10 bar) artırılarak uygulanmasına karar verilmiştir. Uygulama sonucunda delme hızı, yakıt tüketimi gibi verimlilik parametrelerinin nasıl değiştiğine bakılarak verimliliğin yüksek olduğu optimum bir aralık belirlenmeye çalışılmıştır.

İşletmede 9 inç (22.86 cm) IADC nosu 622 olan üç konili matkaplar kullanılmaktadır. Tunçbilek havzasında örtü tabakasına ait kayaların basınç dayanımı 20 MPa ile 80 MPa arasında değişmektedir. Bu durumda eşitlik 2.1 - 2.4'e göre uygulanması gereken ortalama baskı kuvveti 3.43 ton ile 13.72 ton arasında değişmesi uygundur. İşletmede genellikle baskı kuvveti 16 ton uygulanmakta olup bu değer bu formasyon için yüksek gibi görünmektedir.

GLİ de formasyonun hem basınç dayanımı hem de kütleli özellikler açısından oldukça uniform olmasından dolayı belirlenen baskı kuvveti değerlerinin 10.5 ton ile 16 ton aralığında (makina 80-120 bar) 1.33 ton aralıkla denenmesine karar verilmiştir. Bu amaçla her bir baskı kuvveti denemeleri yapılmış ve bu sırada makina üzerindeki göstergelerden baskı basıncı, ana pompa basıncı, hava basıncı değerleri okunmuş, kayıt edilmiş ve delme süreleri ölçülmüştür. Delik boyları sabit olduğu için buradan delme hızları hesaplanabilmiştir ve yakıt ölçümleri alınmaya çalışılmıştır. Ayrıca formasyonun dayanımını ifade etmek için nokta yük numuneleri ve delmenin

verimliliğini belirlemek amacıyla yapılacak elek analizi için parçacık örnekleri alınmıştır.

Optimum baskı kuvveti belirlenmesine ait çalışmanın sonuçları Çizelge 5.1 de verilmiştir. Bu tablodaki değerler ortalama olup toplam 64 adet delikte makina parametreleri ölçülmüş, 42 adet nokta yük ve 14 adet elek analizi numunesi kullanılmıştır.

**Çizelge 5.1 : 622 IADC kodlu matkapta farklı baskı kuvveti değerlerinin karşılaştırılması**

Baskı Kuvveti (t)	Delme Hızı (m/dak)	Hava Basıncı (bar)	Ana Pompa Basıncı (bar)	Yakıt Miktarı (lt/m)	Nokta yük indeksi	d36.8	n	d50	CI
16.00	1.88	4.20	101.00	1.00	2.91	3.15	0.70	2.21	649.96
15.00	1.68	4.20	97.97	1.31	3.28	2.01	0.75	1.48	552.68
13.25	1.49	4.20	88.00	1.00	2.01	2.87	0.74	2.28	643.15
12.00	1.80	4.20	103.58	1.00	1.81	2.72	0.78	2.28	628.80
10.50	1.37	4.20	89.27	0.93	1.95	3.70	0.81	3.10	713.70

Çizelgede görüldüğü gibi öncelikle en yüksek baskı kuvveti değeri 16 tondan başlanmıştır. Baskı kuvveti arttıkça önemli bir performans göstergesi olan delme hızında artış söz konusu olmaktadır. Fakat yakıt tüketimine baktığımızda ise tam lineer ilişki vermese de genel olarak baskı artışıyla birlikte yakıtta artış söz konusu olmaktadır ve bazı tane boyu dağılımı göstergesi değerleri düşme eğilimindedir. Bu da baskı çok arttığında verimliliğin çokta artmadığı, hızlı ama maliyeti az daha yüksek kazı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bu çalışma yakıtın düşük ama hızında yüksek olduğu 12 ton değerinin (makinada bu değer 90 bara denk gelmektedir) daha uygun olduğunu göstermektedir.

## 5.2 Nozul Boyutunun Belirlenmesi

İşletmede kullanılan 622 IADC nolu matkaplara uygulanan baskı kuvveti çalışmasının ardından 12 ton baskının uygun olacağına karar verilmiş ve bundan sonraki çalışmalarda baskı kuvveti 12 ton olarak uygulanmıştır.

İşletmede 16 mm nozul çapı kullanılmaktadır. Bölüm 2.4’de açıklanan formüller dikkate alınarak 12-13 mm nozul boyutunun kullanılması uygun olacağına karar verilmiştir. Matkap rulmanlarına hava gönderilmesi önemli olup delme verimliliğini artıracaktır. Bu nedenle 14.5 ve 13 mm nozulların denemesine karar verilmiştir. Ama 13 mm nozul denemelerinde delici makine delme işlemi sırasında zorlanmış, hava basıncı çok yükselmiş ve makinede arızalar meydana gelmiştir. Bu nedenle bu boyuttaki matkap için 13 mm jet uygun bulunmamıştır. Bu nedenle 14.5 mm denemeleri yapılmış ve 16 mm sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.2 de sonuçlar gösterilmiştir. 16 mm nozula ait değerler 622 IADC matkaba 12 ton baskı kuvveti uygulandığı duruma ait değerlerdir. Aynı baskı kuvvetinde 14.5 mm nozul takıldığında elde edilen değerlerin ise 20 delik 15 nokta yük ve 10 elek numunesinin ortalaması şeklinde verilmiştir.

Tabloyu incelediğimizde 14.5 mm nozul kullanıldığında delme hızının bir miktar düşük yakıt değerinin ise az bir miktar yüksek olduğu görülmektedir. Her ne kadar gözlem yapıp numune alınarak ortalama değerler alındıysa da 16 mm nozulda bu değerlerden daha düşük performans değerleri elde edildiği de görülmektedir. Bu nedenle 14.5 mm nozula ait değerler kabul edilebilir sınırlardadır. Ayrıca tane boyutuna ait değerlerde iyileşmeler vardır.

**Çizelge 5.2 : 622 IADC kodlu matkapta farklı nozul boyutlarının karşılaştırılması**

	<b>PARAMETRE</b>	<b>16 mm Nozul</b>	<b>14.5 mm Nozul</b>
<b>MAKİNA PARAMETRELERİ</b>	Delme Hızı (m/dak)	1.80	1.53
	Baskı Kuvveti (t)	12	12
	Hava Basıncı (bar)	4.20	4.00
	Ana Pompa Basıncı (bar)	103.58	92.57
	Yakıt Miktarı (lt)	1.00	1.14
<b>LABORATUVAR PARAMETRELERİ</b>	Nokta Yük İndeksi	1.81	1.74
	d36.8	2.72	3.15
	n	0.78	0.80
	d50	2.28	2.61
	CI	628.80	664.44

### **5.3 Farklı IADC Nolu Matkapların Kıyaslanması**

Bu çalışma kapsamında optimum baskı kuvveti ve nozul boyutu belirlenmesinin ardından farklı IADC kodlarındaki matkap performanslarının belirlenmesi için çalışma yapılmıştır.

Tunçbilek havzasında genellikle 622 ve bazen 522 IADC nolu matkaplar kullanılmaktadır. Bu matkaplar orta sert formasyonlar için uygundur. Halihazırda kullanılan 622 ve bazen kullanılan 522 ve bu çalışma kapsamında karar kılınan 422 IADC nolu matkaplar karşılaştırma için seçilmiştir. 422 seçilmesinin nedeni aslında formasyonun çok sert olmadığı 422 ile de verimli delme işlemi yapılabilineceğinin düşünülmesidir.

Sonuçlar Çizelge 5.3’de gösterilmiştir. 622 IADC nolu matkap 12 ton baskı kuvveti ve 14.5 mm nozul çalışmasının ortalamasını içermektedir. 522 ve 422 nolu matkaplara ait değerler ise toplam 42 delik ölçümü, 29 nokta yük numunesi ve 10 adet elek analizi numunesinin ortalaması olarak verilmiştir.

**Çizelge 5.3 : Farklı IADC kodlu matkapların karşılaştırılması.**

IADC NO	622	522	422
Delme hızı (m/dak)	1.53	1.52	1.85
Baskı Kuvveti (t)	12.00	12.00	12.00
Hava Basıncı (bar)	4.00	4.00	3.90
Ana pompa Basıncı (bar)	92.57	94.01	95.88
Yakıt miktarı (lt)	1.14	1.00	0.97
Nokta yük indeksi	1.74	1.59	2.44
d36.8	3.15	3.32	3.64
n	0.80	0.81	0.87
d50	2.61	2.71	3.06
CI	664.44	683.76	699.65

Çizelgeden görüleceği üzere 422 IADC nolu matkabın delme hızı daha yüksek ve yakıt değeri düşük olup performans değerleri daha iyidir. 622 ve 522 nolu matkapları değerleri birbirlerine yakındır. Tane boyutu ile ilgili parametrelerin ise IADC nosu düştükçe yükseldiği görülmektedir. Bu çalışma 422 IADC nolu matkabın da Tunçbilek havzası için verimli bir şekilde kullanılabilceğini göstermektedir.



**Şekil 5.1 : 422 IADC kodlu matkap.**



Şekil 5.2 : 422 IADC kodlu matkap.



Şekil 5.3 : 522 IADC kodlu matkap.



Şekil 5.4 : 522 IADC kodlu matkap.



Şekil 5.5 : 622 IADC kodlu matkap.



Şekil 5.6 : 622 IADC kodlu matkap.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Açık ocak maden işletmeciliğinde patlatma amaçlı delik delme işlemi yaygın olarak kullanılmakta olup özellikle büyük açık ocaklarda yüksek miktarda üretim için üç konili matkapların kullanıldığı döner sondaj makinaları kullanılmaktadır. Döner sondaj makinalarının performans parametrelerine yani delme verimliliğine üç ana parametre etki etmektedir. Bunlar delinen formasyonun jeolojik özellikleri, makina parametreleri ve çalışma koşullarıdır. Patlatma amaçlı açılan deliklerde kullanılan döner sondaj makinalarında üç konili matkaplar kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Tunçbilek havzasında hali hazırda kullanılan 622 IADC nolu 22.86 cm çapındaki matkaba uygulanması gereken optimum baskı kuvveti değeri için makinanın delme hızı ve harcanan yakıt miktarı ölçülmüştür. Ayrıca formasyonun dayanımının göstergesi olarak nokta yük indeksi değeri ve delme verimliliğini ifade eden tane boyut dağılımı parametreleri için elek analizi numuneleri alınmıştır. Yapılan çalışmada optimum baskı kuvvetinin 12 ton civarı olmasının delme hızını artırmak ve yakıt tüketiminin düşük tutmak için uygun olacağı bulunmuştur.

Hava soğutmalı üç konili matkaplarda kompresörün sağladığı havanın %25'nin matkap rulmanlarına gitmesi gerekmektedir. Tunçbilek havzasında kullanılan matkaplarda 16, 14.5 ve 13 mm nozul boyutu için ölçümler yapılmıştır. Delme hızı ve yakıt tüketiminde çok büyük değişiklik olmamasına rağmen 14.5 mm de verimli kazı olmuştur.

Optimum baskı kuvveti ve uygun nozul boyutu belirlendikten sonra farklı IADC nolu matkapların verimlilikleri karşılaştırılmıştır. Tunçbilek havzası yumuşak-orta sertlikte bir formasyona sahiptir. Burada daha çok 622 ve bazen de 522 IADC nolu matkaplar kullanılmaktadır. Bu çalışmada 622, 522 ve formasyonun çok sert olmadığı göz önüne alınarak 422 IADC nolu üç farklı matkabın verimliliğine bakılmıştır. 422 de delme hızı artmış ve yakıt tüketimi azalmıştır ve bu sonuç bize Tunçbilek havzası için 422 IADC nolu matkapların da kullanılabilceğini göstermektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Ersoy, A.** (2008). *Sondaj Teknikleri Ve Uygulamaları*, Nobel Kitabevi, Adana.
- [2] **Haris, F.** (1983). *Ground Equipment Methods*. New York: McGraw-Hill.
- [3] **Chaug, C.P.** (1983). *Manual of drilling technology*, Oxonian Press Ltd., New Delhi, India.
- [4] **Jimeno, E. L., Jimeno, C. L., & Carcedo, F. J.** (1997). *Drilling and Blasting of Rocks*. New York: Taylor&Francis.
- [5] **Thuro, K., & Spaun, G. P.** (1996). Drilability in hard rock drill and blasting. *Geomechanics*.
- [6] **Atlas Copco.** (2012). *Blasthole Drilling in Open Pit Mine (Third Edition)*.
- [7] **Gokhale, B.V.** (2011). *Rotary drilling and blasting in large surface mines*. CRC Press/Balkema.
- [8] **Özdemir, A.** (2009). *Sondaj Tekniğine Giriş*, Ankara, 2. Baskı.
- [9] **Thousby, G.** (n.d). *Modern concepts of rotary blast hole drilling*, Ingersoll Rand Co. Ltd. USA
- [10] **McGehee, D.Y., Dahlem, J.S., Gieck, J. C, Kost, B., Lafuze, D., Reinsvold, C.HL 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,
- [11] **Kahraman, S.** (1997). Konili matkaplar; seçim kriterleri ve sınıflandırılması, *Jeoloji Mühendisliği*, 45-56.
- [12] **Rowley, D. S., Howe, R. J., Deily P. H.** (1961). "Laboratory Drilling Performance of the Full-Scale Rock Bit", SPE 1545-G.
- [13] **Thuro, K.** (1997). Drillability prediction: geological influences in hard rock drill and blast tunneling, *Geol Rundsch*, 86:426-438
- [14] **Kahraman, S.** (1997). *Açık işletmelerde uygun delme-patlatma şartlarını veren bir modelin geliştirilmesi* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Ergin, H., Kuzu, C., Balcı, C., Tunçdemir, H., Bilgin, N.,** (2000), "Optimum bit selection and operation for rotary blasthole drilling using a horizontal drilling rig (hdr)-a case study at KBI murgul copper mine", *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 295-304
- [16] **Rao, K.U.M., Bhatnagar A., Misra, B.** (2002). Laboratory investigations on rotary diamond drilling. *Geotechnical and Geological Engineering*, 20: 1-16.

- [17] **R, Altındağ.** (2002). “The evaluation of rock brittleness concept on rotary blast hole drills”, *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, SA ISSN 0038–223X/3.00 +0.00.
- [18] **Kahraman, S, Bilgin, N ve Feridunoğlu C.** (2003).” Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills”, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 40 711–723.
- [19] **Yue, Z.Q, Lee, C.F. Law, K.T ve 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*, 41 573–612
- [20] **Atıcı, U. ve 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, 2602–2612.
- [21] **Hareland, G., Wu, A., Rashidi, B. ve James, J. A.** (2010). “A New Drilling Rate Model for Tricone Bits and Its Application to Predict Rock Compressive Strength”, *American Rock Mechanics Association*, 10-206
- [22] **Yaralı, O. and Kahraman, S.** (2010). The drillability assessment of rocks using the different brittleness values, *Tunnelling and Underground Space Technology* 26: 406–414.
- [23] **Alizera, 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 (2012) 187–193.
- [24] **Bulut, M., Acaroğlu, Ö., Ergener, B.** (2014), TKİ Bursa Orhaneli İşletmesi’nde Optimum Sondaj Matkabı Seçimi, 11. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Afyonkarahisar, 7-9 Mayıs, 269-274
- [25] **Demirdağ S., Sengun, N., Uğur İ., Efe T., Akbay D. and 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 (2014) 269–273.
- [26] **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*, 24 603–608
- [27] **Ataei, M., Kaie, R., Ghavidel M. and Saeidi O.** (2014). “Drilling rate prediction of an open pit mine using the rock mass drillability index”, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 73 130–138
- [28] **Maden Tetkik Arama Enstitüsü.** (1991). *TKİ Kurumu Kütahya-Tavşanlı-Tunçbilek –Domaniç Kömür Sahaları Jeoloji Raporu*, Ankara.
- [29] **Ingersoll Rand Drill Mater,** delici kataloğu, 1985, 41 p.
- [30] **Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Binal, A.** (2011). *Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri*. TMMOB, Jeoloji Mühendisliği Odası Yayınları, Ankara.

- [31] **Altındağ, R.** (2004). Evaluation of drill cuttings in prediction of penetration rate by using coarseness index and mean particle size in percussive drilling, *Geotechnical and Geological Engineering*, 417–425.
- [32] **Brezáni, I., Zelenák, F.** (2010). *Improving the effectivity of work with Rosin-Rammler diagram by using MATLAB GUI tool*, Acta Montanistica Slovaca Ročník 15, číslo 2, 152-157.
- [33] **Roxborough FF, Rispin A.** (1973) *The mechanical cutting characteristics of the lower chalk*. Tunnels Tunnelling ;5:45–67.
- [34] **Karpuz, C., Hindistan, M.A.** *kaya Mekaniği İlkeleri, Uygulamaları*. TMMOB Yayınları, Ankara.
- [35] **Ünlü, S.** (2017). *GLİ Açık Ocak İşletmeleri'nde delici makine performansını etkileyen parametrelerin incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.





## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad** : Caner Kündem  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 27.04.1992 Bakırköy/İSTANBUL  
**E-posta** : canerkundem@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği (%100 İNG)
- **Yüksek Lisans** : İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Maden Mühendisliği Programı