

# Delik Delme Sistemleri ve Üstten Darbeli Delik Delme Teorisi

## Blasthole Drilling Systems and Tophammer Drilling Theory

**H.Aytekın, E.Taşel, B.Ergener**

Atlas Copco Makınalar İmalat A Ş ,81700, Tuzla, istanbul  
erdil tasel@tr atlascopco com, hakan aytekın@tr atlascopco com, bahadır ergener@tr atlascopco com

**ÖZ:** Bu çalışma günümüzde kullanılan delik delme sistemlerini, çalışma sistemleri ve delme sistemleri bakımından genel hatlarıyla anlatmaktadır. Delme sistemlerinden, üstten darbeli delik delme sisteminin teorisi hakkında çeşitli örneklerle bilgiler sunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Delik delme, üstten darbeli delme sistemi

**ABSTRACT:** This paper presents the drilling systems and principle of percussion drilling with some examples.

**Key words:** Blasthole Drilling, Tophammer system

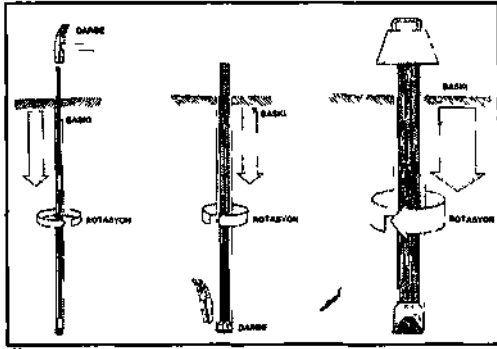
## 1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinin gelişmesiyle, delik delme sistemlerinde de çok fazla ilerleme kaydedilmiştir. Delme sistemlerinin kayaç koşullarına bağlı olarak geliştirilmesi, değişik delme yöntemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamıştır.

Günümüzde kullanılan delik delme sistemleri, çalışma sistemleri bakımından hidrolik ve pnömatik olarak iki ana gruba, delme sistemi olarak ise üstten darbeli, kuyu dibi, rotary ve 90'lı yılların başında geliştirilen COPROD® sistemi olarak dört gruba ayrılmaktadır.

## 2. DELİK DELME SİSTEMLERİ

Yüze madencilik faaliyetlerinde geleneksel olarak üç değişik delme sistemi kullanılmaktadır. Geniş ve orta çaplı delik delmek için rotary, orta çaplı delik için delik dibi (Down The Hole - DTH) veya COPROD, küçük çaplı delikler için üstten darbeli (Tophammer) sistemler kullanılmaktadır.



Şekil 1. Delik Delme Sistemlerinin Darbe, Rotasyon ve Baskı Bölümleri

Şekil 1. Delik Delme Sistemlerinin Darbe, Rotasyon ve Baskı Bölümleri

Son birkaç yıldır üstten darbeli hidrolik delme sistemi, taş ocaklarında artan bir şekilde önem kazanmaktadır. Bu sistem yine üstten darbeli pnömatik sisteme oranla performans, yakıt tasarrufu, düşük işçilik maliyetleri, daha az sarf malzeme tüketimi, ergonomi ve emniyetten dolayı daha fazla kullanım alanı bulmaktadır.



Şekil 2. Delik Delme Sistemlerinin Çalıştıkları Çap Aralıkları ve Patlatma Özellikleri

Şekil 2. Delik Delme Sistemlerinin Çalıştıkları Çap Aralıkları ve Patlatma Özellikleri

### 2.1. Pnömatik Üstten Darbeli Delme Sistemi

Pnömatik üstten darbeli delme sistemi son yüzyılın ikinci yarısından itibaren kullanılmaktadır. Pnömatik delici makinaların hareket kabiliyetleri hidrolik delicilere göre daha düşüktür. Bunun nedeni pnömatik delici makina kompresör makina üzerinde değildir, ilave olarak makinanın arkasından çekilmektedir.

Pnömatik delici makinaların en büyük avantajı daha basit bir sisteme sahip olmaları dolayısıyla makinaya şantiye koşullarında daha kolay bakım yapılabilmesidir, ilk yatırımı hidrolik makinalara oranla nisbeten düşüktür. Hidrolik sisteme oranla daha fazla sarf malzeme tüketimi, yüksek işletme maliyetleri ve zor delme kontrolü bu sistemin dezavantajları olarak sayılabilir.

### 2.2. Hidrolik Üstten Darbeli Delme Sistemi (TH)

Sistemin yüksek kapasitesi, daha az yakıt tüketimi, hidrolik delici makinaların değişik kayaç şartlarına ve delik ebatlarına kolay uyum sağlaması sistemin öne çıkan bazı özellikleridir. Birim delik uzunluğu için yakıt tüketimi, pnömatik üstten darbeli sisteme kıyasla 1/3 ile

1/4 oranında daha az olurken, delme hızı 3-4 kat daha fazladır.

Hidrolik üstten darbeli sistemde piston hareket mesafesi, hareket sayısı, yaratılan darbe enerjisi, rotasyon torku, rotasyon hızı, baskı ve delik içi temizleme parametreleri daha yüksek verim için kayacın özelliklerine göre ayarlanabilir.

Düşük güç gereksinimi, daha az hava ihtiyacı (yalnız delik içini temizlemek için) gereken güç kaynağını da azaltmaktadır. Sonuç olarak hidrolik sistem sayesinde manevra yeteneği yüksek, hafif delici makineler tasarlanabilmektedir. Düşük baskı kuvveti ve rotasyon torku daha hafif ve her yönde delik delebilen sistemin üretimine yardımcı olmaktadır.

Hidrolik üstten darbeli delme sistemi kullanan delici makineler, taş ocağı ve açık işletmelerde 76-102 mm çapında deliklerin 45-51 mm tijlerle delme işlemlerinde kullanılır.

### 2.3. Kuyu Dibi Delme Sistemi (DTH)

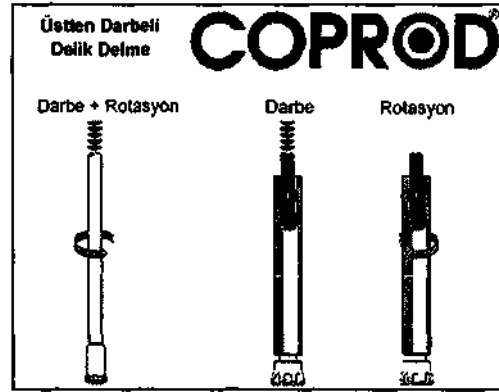
Kuyu dibi delme sistemi, çoğunlukla açık ocak dekapaj işleri ve üretim çalışmalarında, su kuyusu açma işlemlerinde ve maden arama amaçlı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Patlatma amaçlı delik delme işlemlerinde 85-172 mm arası çaptaki delikler değişik delici tabancalar ile delinebilmektedir. Sistemin enerji kaynağı basınçlı havadır. Delme hızı kullanılan hava basıncı ile doğru olarak artmaktadır, daha fazla hava basıncı daha yüksek delme hızı demektir. Dolayısıyla üretici firmalar 25 bar basınca kadar çalışabilecek kuyu dibi tabancası imal etmektedirler.

Kuyu dibi delme sistemi daha fazla hava ihtiyacı, düşük delme hızı gibi dezavantajlarının yanında aşağıdaki avantajlarından dolayı tercih edilmektedir:

- *Delik içi sapmaların azalması.*
- *Darbe enerjisinin verimli bir şekilde delik tabanına aktarılmasından dolayı, delme hızındaki çok az bir düşüşle uzun delikler delinebilmesi.*
- *Çatlaklı arazilerde bile delik içerisinde iyi bir şekilde temizlenebilmesi.*
- *Operator için kullanımı kolay bir delme sistemi olması.*

### 2.4. COPROD® Delik Delme Sistemi

COPROD® sistemi hidrolik üstten darbeli delme teknolojisinin daha gelişmiş şekli olup 105 ve 165 mm'lik deliklerin delinmesinde kullanılır. COPROD® sistemi, üstten darbeli delme sisteminde olduğu gibi yüksek delme hızına, kuyu dibi delme metodu ile elde edilen düzgün ve geniş çapta delik delebilmeye özelliğine sahiptir. Basit bir çalışma prensibine sahip olan COPROD® sisteminde, dönmeyen delgi çubuğu ve dönen tüp sayesinde, darbe enerjisi tamamıyla rotasyondan ayrılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. COPROD Sistemi Çalışma Prensibi.

### 2.5. Rotary Delik Delme Sistemi

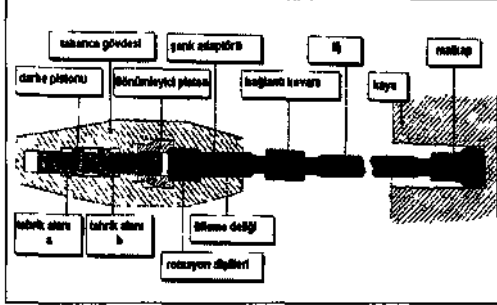
Rotary delik delme sistemi çoğunlukla açık ocak madenciliği dekapaj işlemlerinde, 100-435 mm arası çaptaki deliklerin delinmesinde kullanılır. Rotary delme sisteminde darbe yoktur, enerji yüksek besleme basıncı ve rotasyon torku, direkt olarak delici takıma oradan da matkaba iletilir. Formasyonun yumuşak olması gerekir.

## 3. ÜSTTEN DARBELİ DELİK DELME SİSTEMİ

Üstten darbeli delik delme sisteminde, delici makinenin üzerinde bulunan tabanca, ürettiği darbe enerjisini tijler vasıtasıyla delik dibindeki matkaba ileterek kayanın kırılmasını sağlar.

Kayayı kırmak için gereken enerji, hidrolik veya pnömatik delici tabanca tarafından

üretilir. Delici tabanca tarafından üretilen basınç kuvveti, pistonu ileriye doğru iterek, pistonun şank adaptörüne vurmasını sağlar. Pistonda oluşan kinetik enerji baskı dalgası halinde delici takım boyunca hareket ederek matkaba ulaşır. Mümkün olan en iyi delme ekonomisini sağlamak için, delici tabanca, delici takım ve çalışılan kayaç birbiri ile uyumlu olmalıdır.

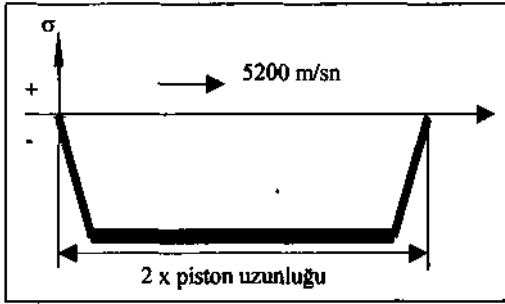


Şekil 4. Üstten Darbeli Tabanca ve Delici Takımı

0

### 3.1. Gerilim Dalgası

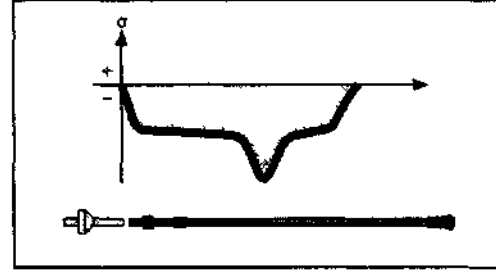
Teorik olarak gerilim dalgası dikdörtgen yapıdadır. Dalga boyu piston boyunun iki katı uzunluktadır ve yüksekliği pistonun darbe anındaki hızına ve piston ve delici takımın kesit alanına bağlıdır.



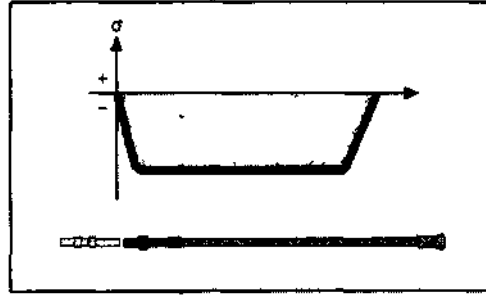
Şekil 5. Gerilim Dalgası Enerjisi ile Piston Boyu Arasındaki Bağlantı.

Gerilim dalgasının toplam enerjisi Şekil 5'teki diyagramda gösterilmiştir. Delici tabancanın çıkış enerjisini hesaplamak için dalga enerjisi pistonun darbe frekansı ile çarpılır ve kW cinsinden belirtilir. Delici tabancaların dizaynını geliştiren kişiler piston geometrisi, darbe hızı ve frekansı gibi birçok değişkeni bir

arada kullanmaktadırlar. Bu da aynı güçte iki delicinin birbirinden çok daha farklı hareket edebileceği anlamına gelmektedir.



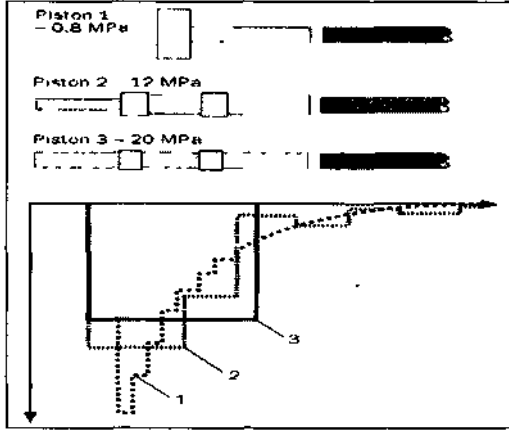
Şekil 6. Pnömatik Delici Tabancadan Elde Edilen Şok Dalgası.



Şekil 7. Hidrolik Delici Tabancadan Elde Edilen Şok Dalgası.

Hidrolik ve pnömatik tabancalar tarafından oluşturulan şok dalgaları şekil olarak belirgin bir farklılığa sahiptir. Hidrolik makineler tarafından kullanılan delici takımlar, pnömatik makineler tarafından kullanılan delici takımlara nazaran oldukça uzun bir ömre sahiptir. Bunun nedeni pnömatik pistonda, delici takımındaki gerilim seviyesinin daha yüksek olmasıdır.

Pnömatik delicilerde takımın yaşanan yüksek gerilimin sebebi pnömatik delici pistonlarının 6-7 bar gibi düşük basınçlarda çalışması nedeniyle daha geniş bir kesit alanına ihtiyaç duymalarıdır. Hidrolik sistem kullanan delicilerde ise çalışma basınçları 150-200bar seviyelerine ulaşmaktadır. Pistonun ince ve uzun olmasından dolayı delici takımındaki gerilim seviyesi azalmaktadır.



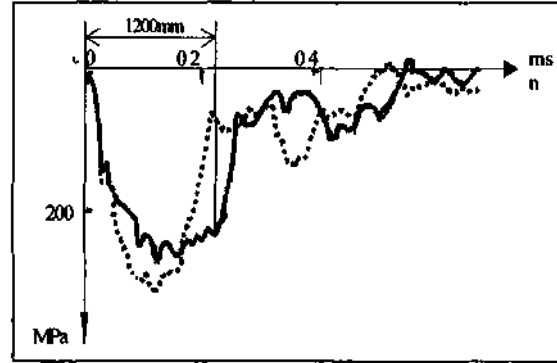
Şekil 8. Değişik Şekil ve Çalışma Basınçlarındaki Pistonların Yarattığı Şok Dalgaları Genişlikleri.

Şekil 8'de üç ayrı piston görülmektedir. İlk piston pnömomatik delici pistonudur ve 8 barda(0.8MPa) çalışmaktadır. İkinci piston 120 barda(12Mpa) çalışan hidrolik delici pistonudur. Üçüncü piston 200 barda(20Mpa) çalışan hidrolik delici pistonudur. Bu örnekteki pistonlar aynı ağırlıktadır ve pistonların adaptöre vuruş hızları aynıdır(1 Om/sn).

Bu üç piston tarafından delici takımında oluşturulan gerilim hesaplandığında Şekil 9. deki sonuç elde edilir. Bu da en düşük gerilimin(şok dalgası genişliği) ince uzun bir piston tarafından oluşturulduğunu göstermektedir. Eğer 2. ve 3. pistonlardaki gerilimler ölçülürse Şekil 9. deki grafik elde edilmektedir. Bu grafikten delici takımdaki gerilimin 250-300Mpa (25-30kg/mm<sup>2</sup>) ve birincil şok dalgasının uzunluğunun 1200mm olduğu görülmektedir. Bu da çelik içindeki ses hızı olan 5200m/sn nin saniyenin 1000'de biri olan 0.23 m/sn ile çarpılmasıyla elde edilir.

$$5200 \times \frac{0.23}{1000} = 1.2m = 1200mm$$

38mm çapındaki bir tijin kesit alanı 975mm<sup>2</sup> dir. 25kg/mm<sup>2</sup> lik bir gerilimle delici takım şok dalgasına 25 x 975= 24 500kg veya 24.5 ton dayanım vermektedir.



Şekil 9. Birincil Şok Dalgası Boyu

Bu miktarda bir gücün delici takım vasıtasıyla kayaya aktarılması, delici takımı desteklemek için kullanılan bağlantı ekipmanlarının ve delici makina üstündeki diğer destek aparatlarının mümkün olan en iyi koşulda çalışması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

### 3.2. Verimlilik ve Kayıplar

Tabanca tarafından oluşturulan şok dalgası, delici takım boyunca her kaplin ve manşon bağlantısında, enerjisinin %6-10 'nu kaybeder. Bu kayıp tij ve mason arasındaki kesitin hiçbir zaman birbiriyle tam olarak temas halinde bulunmaması nedeniyle oluşmaktadır. Temas azaldıkça enerji kaybıda artmaktadır.

Şok dalgası uca ulaştığında matkabı kayaya doğru iterek kayanın kırılmasını sağlar. Matkabın verimliliği hiçbir zaman %100'e ulaşmaz çünkü enerjinin bir kısmı geri yansır. Matkap ile kaya arasındaki temas zayıf ise verimlilikte azalacaktır.

Örnek olarak 30m lik bir delici takım ile çalıştığımızı düşünürsek bu takımdan saniyede kaç şok dalgası geçtiğini aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz. Birden fazla şok dalgasının aynı anda delici takımdan geçmesi istenmez. Şok dalgasının hızının 5200m/sn olduğu düşünülürse şok dalgası 5200/30 s 175 kere saniye takımdan geçiş yapabilir. Atlas Copco 1238(15 kw) delici tabancası saniyede 50 vuruş yapmaktadır. Bu da teoride takımdaki gerilimi arttırmadan darbe frekansının üç kat arttırılabileceğini göstermektedir. Bunu yağ

çıkışı dolayısıyla motor ve pompa gücünü arttırarak yapmak mümkündür. Bununla beraber bu işlem kendi sorunlarını da birlikte getirir. Hidrolik delici tabancaların takım ömrünü artırma dışındaki en büyük avantajı değişken darbe basıncı ile çalışma olanağı sağlamalarıdır. Bu da kayaca iletilen enerjinin değişken olabilmesi demektir.

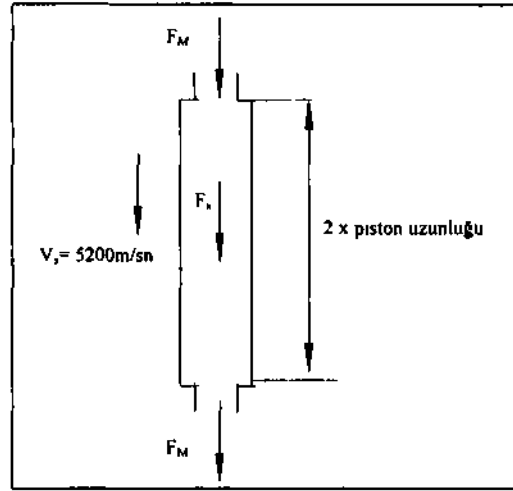
#### 4. ÜSTTEN DARBELİ DELME SİSTEMİ, DELME PARAMETRELERİ

Delme ekonomisinin en iyi şekilde kullanılması için, delik delme parametrelerinin birbirleri ile uyumlu olması gerekmektedir. Bu delme parametreleri darbe basıncı, baskı kuvveti ve rotasyon hızı olarak 3 ana gruba ayrılmaktadır.

##### 4.1. Darbe Basıncı

Seçtiğimiz darbe basıncı bize darbe enerjisini vermektedir. Darbe basıncı arttıkça piston hızı ve buna bağlı olarak enerji miktarı da artacaktır. Eğer sert bir zeminde çalışıyorsak ve matkap kayaç ile iyi bir şekilde temas halinde ise şok dalgasının yarattığı maksimum enerji kullanılabilir. Matkap kayaç ile temas halinde değil ise yani matkap havada kalıyorsa enerji delici takımdan ayrılmayacak ve matkaptan tabancaya doğru ters istikamette hareket edecektir. Böylece basınç dalgası yerine gerilim dalgası oluşacaktır.

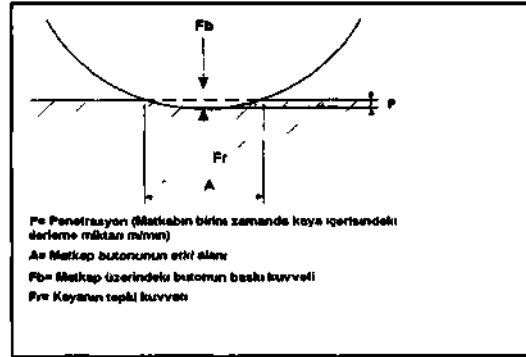
Delici takımdaki tüm materyeller bu darbe basıncı altında sıkışmaktadır. 38mm tij, 1200mm lik şok dalga boyu altında 24.5 tonluk yük oluşmaktadır. Bu da tij in 1.2mm sıkışmasına sebep olur. Başka bir deyişle şok dalgası tijin 1.2mm kışalmasına neden olmaktadır. Hacim sabit olacağından delici takım Şekil 10. daki gibi genişlemektedir. Şok dalgası matkap ucundan çıktığında delici takım orijinal boyuna gelmektedir. Sonuçta delici takım şok dalgası geçtikten sonra 1.2mm uzamaktadır. Bu uzama saniyenin 1000'de 0.23 kadar bir sürede gerçekleşir ve bu zaman sürecinde matkap butonları kayacı parçalamaktadır.



Şekil 10. Darbe Basıncıyla Oluşan Şok Dalgası

Şok dalgasının delici takımında yaptığı uzatma kayacın sertliği göz önüne alınmaksızın yapılabilecek maksimum ilerlemeyi vermektedir. Yumuşak bir kayacda delme yapacak olan delici tabanca uzun bir piston ile dizayn edilir. Böylece uzun şok dalga boyu elde edilebilir.

76mm'lik 12 butonlu bir matkapla basmakta çalışırken maksimum 24.5 tonla çalışıldığı düşünülürse, her butona yaklaşık 2 tonluk bir şok dalgası düşecektir. Delinen kayac aynı büyüklükteki dayanımı verene kadar belirli bir miktarda ilerlemeye izin verecektir.



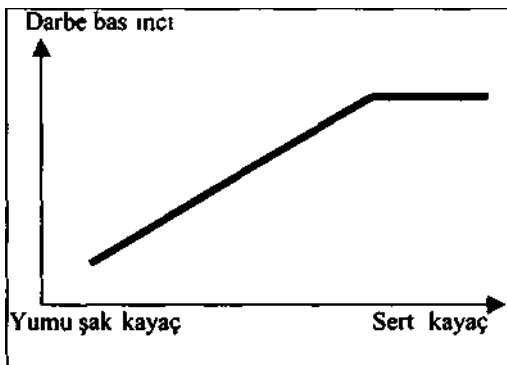
Şekil 11. Matkap Butonunun Kayaca Teması

$F_{buton} = 2$  ton olduğu varsayılırsa ve A'nın,  $F_r$  (kayaç)  $\sim 2$  tona ulaşacak genişlikte olduğu düşünülürse buton ilerlemesi = P durur.

Örnek olarak yumuşak bir kayacın delme yapılması sırasında kayacın yumuşak yapısı nedeniyle maksimum ilerlemenin kolayca sağlanabildiği bir durumda kayacın dayanımı  $F_{buton}$  az ve ilerleme  $i = i_{max} = 1.2$ mm olmaktadır. Bu örnekteki kayacın dayanımı 1.2 ton ve  $F_{bu,ton} = 2$  ton olduğu varsayıldığı bu durumda, delici takımında gerilim oluşmaktadır. Bu da  $F_{buton}$  ve  $F_r$  (kayaç) arasındaki farka eşittir ( $2.0 - 1.2 = 0.8$  ton). Bu farkı buton sayısı ile çarparsak  $12 \times 0.8 = 9.6$  ton elde edilmektedir.

Mümkün olan en uygun takım ömrünü yakalamak için darbe basıncı değiştirilerek  $F_{buton}$  kayacın dayanımına uygun bir hale getirilmelidir. Bu durumda bu değer 1.2 tona getirilmelidir. Başka bir deyişle  $F_s$  yaklaşık 24 tondan yaklaşık 14 tona getirilmelidir. Bu da darbe basıncı azaltılarak yapılabilir.

Sonuç olarak sadece yeterince sert olan kayalar için maksimum vuruş enerjisinden faydalanılmaktadır. Yumuşak kayalarda darbe basıncı (darbe enerjisi) azaltılmalıdır. Böylece kayaca alabildiği kadar enerji verip geriye yansıyan enerji fazlasının delici takımında oluşturacağı gerilim azaltılabilir (Şekil 12).

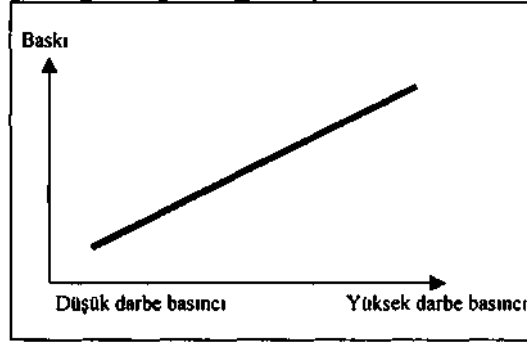


Şekil 12. Kayaç Sertliğine Göre Darbe Basıncı

#### 4.2. Baskı Kuvveti

Baskı kuvvetinin amacı matkabın kaya ile yakın temasını sağlamaktır. Bunun yanında matkap dönmesine devam edebilmelidir. Baskı kuvveti her zaman için darbe basıncını uygun olmalıdır. Yüksek darbe basıncı yüksek baskı, düşük darbe basıncı düşük darbe basıncı gerektirmektedir. Baskı kuvveti kullanılan delici

tabancaya bağlı olarak normalde 500-1500 kg alınır. Şekil 13 bu ilişkiyi açıklamaktadır.

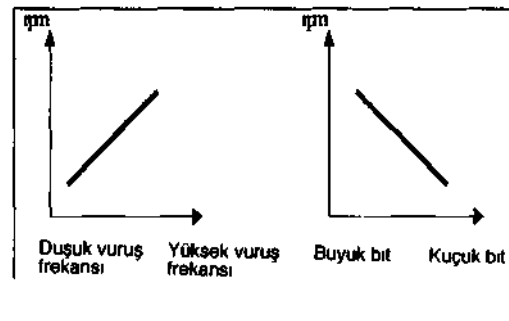


Şekil 13. Darbe Basıncı ile Baskı Arasındaki Orantı.

#### 4.3. Rotasyon

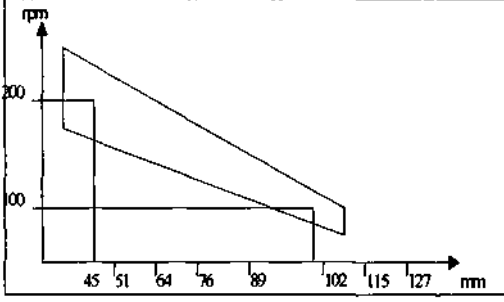
Rotasyonun amacı matkabı bir sonraki darbe için uygun noktaya getirmektir. Buton tip matkaplarda genellikle tavsiye edilen matkaba her darbe arasında 10mm lik bir dönüş verilmesidir (dönüş miktarı matkap çapına göre değişir). Örnek verirsek 76mm bir matkap çevresi  $76 \times 3.14 = 240$ mm dir. Ve her darbede matkap 10mm dönerse  $240/10 = 24$  darbede bir dönüşü tamamlayacaktır.

Eğer darbe frekansı 3000 darbe/dk ise (Atlas Copco Cop 1238) bu bize  $3000/24 = 125$ rpm rotasyon verir. Eğer darbe frekansı 1800 darbe/dk ise (bu pnömatik bir delici için ortalama bir hızdır), bu bize  $1800/24 = 75$  rpm rotasyon verir. Buradan da gözüktüğü gibi yüksek darbe frekansı ve düşük matkap çapında rotasyon hızı arttırılmalıdır (Şekil 14).



Şekil 14. Rotasyon ile Darbe Basıncı ve Matkapların Boyu Arasındaki İlişki

Şekil 15, matkap çapının dakikadaki dönüş sayısı (rpm) ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Bu grafik 3000 darbe/dk yapan hidrolik deliciler için geçerlidir.



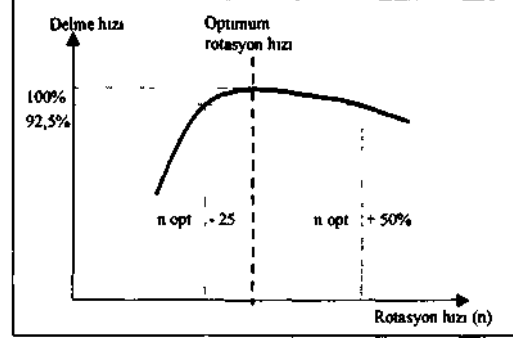
Şekil 15. Matkap Çapının Fonksiyonu Olarak Rotasyon Hızı.

Pratikte uygulanan prosedür delici operatörünün deliciyi kayacın alabileceği darbe basıncına ayarlaması ve daha sonra rotasyonun bu darbe frekansı ve matkap çapına göre ayarlamasıdır. Operatör delme işlemine başladıktan sonra baskı ve rotasyonu delicinin titremesini önleyecek düzgün bir konuma ayarlar. Bu operatöre, baskının doğru ayarlandığını belirtir. Eğer başarısız olursa ki bu kendini şank ömrünün kısa olmasıyla gösterecektir, yeni bir deneme yaparak darbe basıncını azaltıp istediği rotasyonu ve baskıyı bulacaktır.

Şanka bağlı olan masonun ısı kontrol edilerek delme parametrelerinin doğru olup olmadığı anlaşılabilir. Delme işleminden hemen sonra ısı ölçülmelidir. Kuru delme işleminde ısı 60-70°C (max. 100°C), yaş delme işleminde yaklaşık 40°C olmalıdır (max. 60°C).

Daha önce bahis edildiği gibi şank, operatöre delme parametrelerinin uygun olup olmadığı hakkında hemen bilgi verecektir. Bu da genelde dişli kısımdaki hatalardan oluşan kısa şank ömrü olarak görülecektir. Bu durumda tüm parametrelerin ayarlanması zorunlu değildir. Rotasyonun artırılması sorunu çözebilir. Bu sayede delici takımdaki bağlantı noktaları sıkılarak sorun ortadan kaldırılabilir. Rotasyondaki değişikliğin delme hızına etkisi fazla olmayacaktır (Şekil 16).

X-matkap kullanıldığında rotasyonun ne olacağı konusunda görüşler farklılık göstermektedir. Fakat genel görüş rotasyonun yaklaşık %25 daha hızlı olması yönündedir. Başka bir deyişle buton matkabın çevresi her vuruşta 10mm hareket ediyorsa, X matkabının ki 12.5mm hareket etmelidir.



Şekil 16. Rotasyon Hızı ve Delme Hızı Arasındaki İlişki

#### Kaynaklar

- [1] Atlas Copco, RDT, "Geology / Drilling Theory"
- [2] Atlas Copco RDE, "Atlas Copco Surface Drilling Catalogue" First Edition, 2003