

## MERMER KESİCİLERİNİN AŞINMA MEKANİZMALARI

### WEAR MECHANISM OF MARBLE CUTTERS

A. Ersoy, Ü. Atıcı

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

**ÖZET:** Mermer üretim maliyeti, büyük ölçüde kesici verimliliği tarafından kontrol edilmekte olup, bu durum kesici aşınma şartları tarafından çok önemli ölçüde etkilenmektedir. Kesilebilirliğin tahmini için, kesme işlevi, aşınma modu ve bunların kaya özellikleriyle ilişkisi belirlenmelidir. Kesicilerin aşınma tipi ve derecesi, ömrü ve verimliliği birçok kompleks faktör tarafından etkilenmektedir. Ancak, bu bildiride, gerek laboratuvar, gerekse arazi şartlarında, aşınma oranını veya miktarını tahmin etmede en önemli faktörler, kesici tasarımı, kesici çalışma ve kesilen kaya parametreleri olarak düşünülmüştür. Mermer kesicilerinin aşınmasından birinci derecede aşındırıcı aşınma sorumludur. Bu aşınma, kaya özelliklerinin; kesiciye uygulanan kesme yüklerinin; kesici ısısının, hızının ve özelliklerinin bir fonksiyonudur. Kesicilerin aşınma mekanizmaları dört aşınma bileşeni tarafından açıklanmaktadır: aşındırıcı aşınma, darbe veya çarpma şoku, yorulma, darbe, ani yüklenme ve ısı şoklarıdır. Kesici tasarım ve çalışma parametrelerinin, kaya tipine göre optimizasyonu kesme verimliliğini artırmakta, kesici ömrünü uzatmakta ve mermer üretim maliyetini düşürmektedir.

**ABSTRACT:** Cutter wear is a major factor in determining cutter life which significantly influences the cutting method and cost of marble production. Prediction of cuttability requires an understanding of the cutting action and the mode of wear and their interaction with the rock properties. Wear type and degree, cutting rate and life of the cutters depend on many complex interrelated factors. However, the important factors in predicting wear rates which are considered in this study are saw (cutter) design, cutter operating parameters and the characteristic of the cut rock under both laboratory and field conditions. Abrasive wear is mainly responsible for the wear of a marble cutter. It is a function of rock properties, the force applied to the cutter, cutter temperature, cutter velocity and cutter properties. A hypotheses for the wear mechanism of marble cutters may be based on four components: abrasion, impact shock and fatigue, impact loading and thermal shock. Optimisation of cutter design and operating parameters according to rock type can lead to increased cutting rate, prolong cutter life and reduced marble production cost.

### 1. GİRİŞ

Ülkelerin gelişmesi ve kalkınması endüstriyel hammadde ve maden kaynaklarının verimli bir şekilde değerlendirilmesi ve harekete geçirilmesi ile mümkündür. Gelişmiş ülkelerin kalkınmasında, bu kaynakların verimli olarak işletilmesinin önemli katkıları olmuştur.

Mermer, dünyada endüstriyel bir hammadde olup, iç ve dış dekorasyon, kaldırım taşı, dış cephe kaplamacılığı ve özellikle inşaat sektörü başta olmak üzere, seramik, kağıt ve boya endüstrisinde kullanılmaktadır. Mermer, kalker ve dolomitik kalkerin ısı ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak kristalleşmesi sonucu oluşmuş metamorfik bir kayadır. Ticari anlamda ise parlatıldığında iyi cila kabul ederek göze hoş görünen her kayaç mermer olarak tanımlanmaktadır. Mermer, metalik madenler gibi endüstrinin başlıca hammaddesini teşkil ederek

uygarlığın ilerlemesinde önemli derecede etken olmamış, ancak çağların yetiştirdiği büyük sanatkarların göz nuru ve emekleri, mermer üzerine işlenmiş ve insanoğlu mermerden mükemmel eserler çıkarmıştır. Ülkemizde önemli miktarlarda mermer rezervine sahip olup, yurt dışına da önemli miktarlarda ihraç edilmektedir. Her geçen gün de bu talep artmaya devam etmektedir. Mermerlerin seçimi ve kullanımı, mermerlerin kalite, güzellik ve güvenlik kriterlerine bağlıdır. Bu kriterlerin belirlenmesi ise mermerlerin jeolojik, mekanik ve fiziksel özelliklerinin bilinmesi ile mümkündür.

Türkiye'de ticari potansiyeli yüksek olan mermerin, ülkemizde ve dünyada işletilmesinde karşılaşılan en büyük problemlerden birisi, mermer kesiminde kullanılan kesicilerin ömürlerini kısa sürede tamamlayarak, mermer üretim maliyetinin büyük ölçüde artmasına neden olmasıdır. Kayaçlar için uygun tür ve yapıdaki kesicilerin belirlenmesi

mermer işleme maliyetinin azalmasında önemli bir yer tutmaktadır. Diğer yandan kayaçların kesiminde kullanılan kesicilerin çoğunun ithal edilmekte olduğu düşünülürse, sorunun önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Mermer üretim maliyeti, büyük ölçüde kesici verimliliği tarafından kontrol edilmekte olup, bu durum kesici aşınma şartları tarafından oldukça önemli şekilde etkilenmektedir.

Kesilebilirliğin tahmini için kesme işlevinin, aşınma modunun ve bu parametrelerin kaya karakteristikleriyle ilişkisini anlamak gerekmektedir. Kesicilerin aşınma tipi ve derecesi, kesici ömrü ve verimliliği birçok karmaşık faktör tarafından etkilenmektedir. Ancak bu çalışmada, gerek laboratuvar, gerek arazi şartlarında aşınma oranı ve miktarını tahmin etmede en önemli faktörler kesici tasarımı, kesici çalışma parametreleri ve kesilecek kayacın nitelikleri olarak düşünülmüştür. Bu çalışmanın amacı, kaya kesicilerinin aşınmalarına ve verimliliklerine etkili olan kesici dizayn, çalışma parametreleri ve kaya karakteristiklerini incelemektir. Ayrıca kayanın kesimi sırasında kesicinin elmas ve matriksinde oluşan aşınma mekanizmaları ve prosesleri açıklanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1 Verilerin Toplanması

Bu çalışmada deneysel verilerin toplanmasında iki yol izlenmiştir. Birincisi, kesme deneylerine ait ham datalar Jennings (1989) ve Ünver (1992)' den alınmıştır. İkincisi, kaya kesicilerinin dizayn ve çalışma parametrelerine ait veriler, kesici üretimi yapan Sonmak A.Ş., İB.ER (Niğde) ve İskenderun Akar Mermer İşletmelerinde, incelemeler ve çeşitli çalışmalar yapılarak elde edilmiştir. Bu verilerden ve işletmelerdeki gözlem ve çalışmalardan faydalanılarak gerekli değerlendirmeler ve yorumlamalar yapılmıştır.

Kesme deneyleri, dairesel Gregori kesici kullanılması, 350-4350 dev/dak dönme hızına sahip, 95 kW gücünde ve doğru akımla çalışan bir makina ile yapılmıştır (Jenning, 1989). Kesme deneyleri sırasında, yük dinometreleri kullanılarak kesme yükleri ölçülmüştür. Makina sabit ve çeşitli kesme hızlarına ayarlanabilmektedir. Test sırasında güç, kesme hızı ve dönme hızı elektronik data logger yardımı ile kaydedilmiştir (Jenning, 1989).

### 2.2. Kesici Testereleler

Mermer kesiminde katrak, dairesel veya disk türü testereleler ve tel kullanılmaktadır. Bu testerelele ilgili makinalara ait detaylı bilgiler, Şentürk ve diğerlerinin (1996) çalışmasında bulunabilir. Burada, özellikle dairesel veya disk testerelelerin (ST) dizayn özellikleri incelenecektir. Mermer atölyelerinde kesim aşamasında kullanılan ST, katrak, köprü kesme, dikey ve yatay yarma, baş kesme ve yan kesme gibi makinalarda kullanılan "elmaslı disk kesiciler"dir.

Dairesel kesici testerelelerin dizaynı üç ana kısımdan oluşmaktadır: Soket, matriks ve gövde. Soketler, suni veya doğal elmaslardan yapılmış olup, WC, Co, Br, Ni, Fe ve diğer ağır elementlerin belirli oranlarda ve tane boyutunda karışımından oluşan bir matriks içerisine oksijensiz ortamda yerleştirilmektedir. Soketler ve matriks ise çeşitli çelik ve ağır metal alaşımlarından imal edilen ana gövde üzerine yüksek sıcaklık (1000-1400 °C) ve yüksek basınçta (yaklaşık 70000 atm) sinterleme ve presleme prosesleri ile kaynatılmaktadır. Sinterleme ve presleme ile ilgili detaylı bilgiler Bilgin (1989)'da bulunabilir. Soket özellikleri ve seçimi, kesilecek malzemenin türü, mineralojik ve jeomekanik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

### 2.3. Kayaların Jeomekanik Özellikleri

Kesme deneylerinde kullanılan (Jennings, 1989 ve Ünver, 1992) dört adet granit türü, diorit, gabro ve kumtaşının jeomekanik özellikleri ve dairesel elmaslı testerelelerin birim aşınması ve kesme yükü Çizelge 1'de; mineral çeşitleri ve yüzdeleri Çizelge 2'de, verilmiştir.

Mineral tipi ve içeriği, polarisan mikroskop ve nokta sayacı kullanımı ile kayaların karot örneklerinden enine ve boyuna yapılmış ince kesitlerden belirlenmiştir. Dayanım ve indeks testleri, Brown (ISRM, 1981) tarafından tavsiye edilen yöntemlere göre gerçekleştirilmiştir.

### 2.4. Testerelelerin Çalışma Parametreleri

Elazığ Vişne, Söğüt Beji ve Niğde Beyazı mermerlerinin kesiminde elmaslı dairesel testerelelere ait kesme hızı, motorun çektiği enerji, güç ile kesilen mermer miktarı ile ilgili veriler Çizelge 3'de sunulmuştur. Bu veriler, çeşitli mermer işletmeleri ziyaret edilerek, veriler bizzat işletmede, bir takım çalışmalar sonucunda elde edilmiştir.

Çizelge 1. Dairesel testerelerin aşınma ve kesme kuvveti ile kayaların mekanik özellikleri (Jennings, 1989).

Dene Türü	Gri Granit	Pembe Granit	Kırmızı Granit	Diorit	Gabro	Kırmızı Granit	Kumtaşı
Birim Aşınması (mm/m <sup>2</sup> )	0.131	0.072	0.202	0.045	0.086	0.126	0.018
Kesme Kuvveti (kg)	100	79	110	70	85	93	30
Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	165	173	156	193	210	188	84
Çekme Dayanımı (MPa)	8	7.5	6.9	12	13	11	4.5
Shore Scleroscope Sertliği	90	93	96	81	82	96	43
NBC Konik Delici Sertliği	12	8	16	10	14	12	3
Mohs Sertliği	5.9	6.1	6.1	4.9	6.3	6.3	5.9
Cerchar Aşınma İndeksi	3.5	3.6	3.1	3.7	3.3	3.8	2.7

Çizelge 2. Kaya örneklerinin mineral içerikleri (Unver,1992).

Kaya türü	Kuars (%)	Feldispat (%)	Diğerleri (%)
Gri granit	15	75	10
Pembe granit	23	27	50
Kırmızı granit	30	60	10
Diorit	20	45	35
Gabro	-	50	50
Kırmızı granit	25	75	-
Kumtaşı	70	-	30 (çimento)

Çizelge 3. Elmaslı dairese testerelerin çeşitli mermer türlerindeki çalışma karakteristikleri.

Kaya cinsi	Kesme Hızı (cm <sup>2</sup> /dak)	Blok Boyu (cm)	Blok Yüksekliği (cm)	Kesme Süresi (dak)	Güç (Kw)
Elazığ Vişne	1774	207	20	2.20	1.034
	2070	207	20	2	1.013
	2366	207	20	1.45	0.998
Söğüt Beji (çap: 1000 mm)	2586	125	30	1.27	1.378
	3462	125	30	1.05	1.166
	4091	125	30	0.55	1.045
	3571	125	30	1.03	1.197
	3067	125	20	0.49	0.903
	4018	125	30	0.56	1.182
Söğüt Beji (çap: 1600 mm)	5268	120	30	0.41	0.909
	1689	180	61	6.30	0.692
	1253	178	61	8.40	0.817
	2102	178	61	5.10	0.933
Niğde Beyazı	2458	178	61	4.25	0.992
	2506	178	61	4.20	0.992
	2855	203	30	2.08	1.454
	1930	134	30	2.05	1.407
	3358	222	30	1.69	1.483
Niğde Beyazı	3852	199	30	1.33	1.824
	4783	2285	30	1.26	1.816
	3948	136	30	1.02	2.484

### 3. TESTERELERİN AŞINMA MEKANİZMALARI

Aşınma, kesici yüzey üzerindeki materyalin makroskopik ve mikroskopik olarak uzaklaşması, çatlaklar oluşması, çizilmesi, yuvarlaklaşması ile kesici ömrünün azalması veya yok olması olarak tanımlanabilir.

Testerelerin kesici bölümü iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar: matris (tungsten karbür, çelik alaşımlar veya ağır, sert metal alaşımlarının karışımı), elmas (suni veya doğal elmas, her ikisinin karışımı) tır. Bu nedenle, matrisin veya elmasın aşınma karakteristikleri birbirlerinden farklıdır. Elmaslar matris malzemesinden daha kırılabilir olup, kesme uçlarında oluşan gerilme ve makaslama kuvvetlerinden dolayı, kesici elmaslar tek başlarına matris desteği olmadan kesme işlevi yapamazlar.

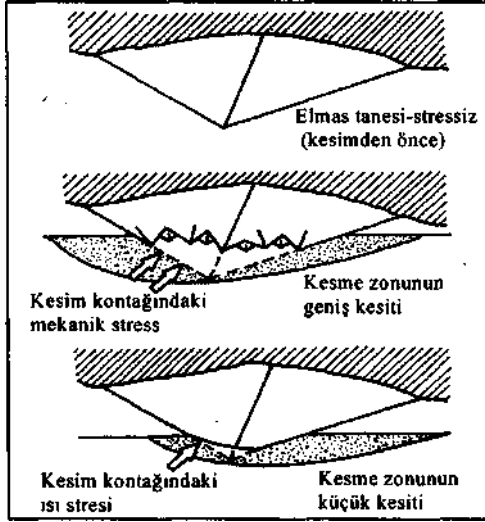
Testerelerde aşınma, yerinden yani kesici kısımdan fırlamış, aşınmış parçaların görünümünden veya aşınma mekanizmalarından ve aşınma şartlarından karakterize edilebilmektedir. Genellikle, bu tür sınıflamalar; yumuşak aşınma, sert aşınma, çentikleme ve çizme ile aşınma, sürtünme ile aşınma olup, aşınan parçaların dikkate alınması esasına dayanmaktadır. Ancak, diğer aşınma formları, aşınma prosesleri sırasındaki, kesici kısımdan uzaklaşan veya aşınan materyalin şartlarına bağlı olup, aşındırıcı (abrasiv), yapışıcı (adhesiv), erozyon yapıcı (erosiv), korozyon yapıcı (korrosiv) aşınmalar olarak sınıflandırılmaktadır. Kaya kesicileri için aşınma sınıflaması, aşınma mekanizmaları ve şartlara göre yapılması daha kullanışlıdır. Literatürde aşınma proseslerinin bir çok sınıflaması bulunmaktadır (Landsdown ve Price, 1986, Hutchings, 1992).

Bu sınıflamalar esas alınarak aşınma tipleri için aşınma mekanizmaları Çizelge 4'de özetlenmiştir. Çizelgedeki ilk beş tip aşınma mekanik, etkileşim sonucu oluşmakta, son aşınma tipi ise, çevre şartlarından etkilenmektedir. Testerelerde elmas tanelerinde meydana gelen tipik aşınma mekanizması Şekil 1 de gösterilmiştir. Testerelerdeki elmas taneleri üzerine gelen kesme yükleri, kaya dayanımını yendiği zaman, kaya kesilmekte yani kayadan parçalar ayrılmaktadır. Uzaklaşan kaya parçaları ile birlikte kayadan yeni yüzey açılmakta olup, elmas kesme derinliği düşmektedir. Kesici segmentlerin radyal aşınması ile kesici elmaslarda, yeni yüzeyler ortaya çıkmakta ve kesme işlevinin ileri aşamalarında kesici elmaslarda mikro çatlaklar

meydana gelmektedir. Elmasların tekrarlanmış mikro çatlaklarından ve elmas matriks erozyonu ile elmas taneleri kesici segmentlerden fırlamakta veya uzaklaşmaktadır. Düşük kesme yükleri ve kayaların yüksek aşınma aktiviteleri ile elmas tanelerinin kesme köşeleri devamlı olarak yuvarlaklaşmaktadır. Böylece elmas yüzeyleri üzerinde aşınma, yassılaşıma oluşarak, temizleme açıları düşmektedir. Bu durumda, gerek yan, gerek dikey kesme yüklerinin artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kesme yüklerinin artması ile matriks elmas tanelerini tutamamakta ve elmas yerinden çıkmaktadır.

**Cizelge 4. Aşınma çeşitlerinin sınıflaması.**

Aşınma tipi	Kontak türü	Hareket	Aşınma Mekanizması
Aşındırıcı	Elastik/plastik	Kayma	Aşınma
Yapıştırıcı	Elastik/plastik	Kayma	Yapışma
Erozyon	Elastik/plastik	Çarpma/ Kayma	Aşınma
Yenme yıpranma	Elastik/plastik	Sallanma	Aşınma/ Yapışma
Yorulma	Elastik/plastik	Yuvarlanma	Yorulma
Korozyon yapıcı	Elektrolitik	Elektrokimyasal	Kimyasal reaksiyon



**Şekil 1. Elmas tanesinin aşınma mekanizması (Ertingshausen, 1985).**

Kaya kesicilerinin aşınmasından, birinci derecede abrasiv aşınma sorumludur. Diğer yandan erozyon, korozyon ve yorulma türü aşınmalarda testerelerin aşınmasına katkıda bulunmaktadır. Kesme işlevi sırasında kayadan kopan ve soğutma suyu ile uzaklaşan büyük ve keskin kaya partikülleri, kesici elmasların erozyonuna neden olmaktadır. Sert mineral parçaları, yüksek hızlarda kesici ile teması

durumunda, kesici elmaslarda mikroskopik olarak çatlaklar, çizikler ve çentikler oluşturmaktadır. Testerelerin yorulma ile olan aşınmaları en kötü formlardaki aşınmadır. Gereğinden fazla kesici yüklere maruz kalan testereler, kaya yüzeyine ani darbelerle veya çarpmalarla yorulma türü aşınmalar oluşarak, elmaslar matriksteki kaynak yerinden fırlamakta veya kesici elmaslarda çatlaklar oluşmaktadır.

Testerelerin aşınan yüzeylerinin görünümü kompleks tribolojik davranışlar sunmaktadır. Kaya ile kesici yüzey arasında aşındırıcı, erozyon yapıcı, yüzey yorulmaları, çarpma aşınmaları, aynı anda etkili olabilmektedir. Aşındırıcı aşınma mikroskopik olarak kesici yüzey tabakalarında oluşmaktadır. Ancak, ileri aşınmalarda makroskopik olarak kendini göstermektedir.

Kaya kesicilerinin aşınma mekanizmaları aşağıdaki 4 aşınma hipotezi ile özetlenebilir:

- Aşındırma (abrasion)
- Darbe veya çarpma ve yorulma
- Darbe yüklemesi ve ani yükleme
- Isı şokları

Aşındırıcı aşınma, homojen aşınma şeklinde gelişmekte ve kesici ömrünü kademeli olarak bitirmekte, kesme hızını düşürmektedir. Bu aşınma türü, kaya özelliklerinin, kesiciye uygulanan kesme yüklerinin, kesici ısısının, kesme hızının ve kesici (elmas ve matriks) özelliklerinin bir fonksiyonudur. Yumuşak ve plastik davranış gösteren kayaların yüzeyleri düz bir açı ile aşınarak, kesici ile kaya yüzey kontağında küçük alanlar oluşmakta ve kesicinin keskin durumları korunmaktadır. Sert ve kırılğan kayaların yüzeyleri paralel olarak aşınmakta, kesiciler için kaya kontağında daha geniş alanlar oluşmakta ve daha yüksek kesici yükleri gerektirmektedir.

Yüksek kesici yükleri altında darbe şoklarına kalıntı (residual) stresler seljep olmaktadır. Kalıntı stresler, testerelerin imali sırasında sinterleme ve presleme proseslerindeki hatalardan oluşmaktadır. Darbe yorulmaları ise mekanik yorulmalar sonucu oluşmaktadır. Kalıntı stresleri küçük dahi olsa, yüksek darbe yüklerinin şoku makro kırılmalara neden olabilir. Çünkü, elmas matriks materyalinden çok daha serttir. Ancak, elmaslar matriksten daha az deforme olacak, destekleme bağı zayıflayarak gerilme streslerine maruz kalacaktır (Sneddon ve Hail, 1988). Elmas tanelerinin çatlakları, elmas yüzeyleri boyunca hareket eden şok dalgaları ile

darbe yüklerine maruz kalmaktadır.

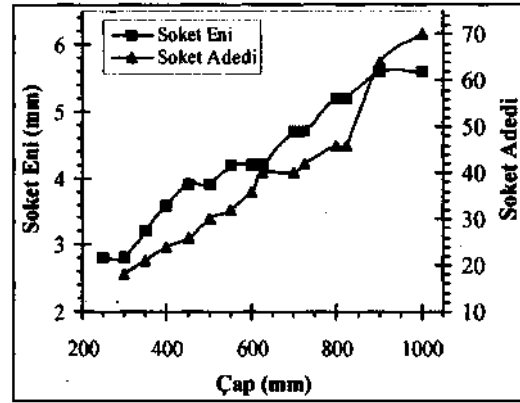
Kesicilerin sürtünmesi nedeniyle ısı artışları meydana gelmektedir. Bu ısı artışı direk olarak aşınma direnci ve ileri aşamalarda kesici yapısını etkilemektedir. Kesicilerin ısı 350 °C ulaştığında, aşınma dramatik olarak artmakta ve bu ısıdan sonra kesiciler kesme işlevinde başarısız olmaktadır. Bu nedenle bu ısı değeri "Kritik kesici ısı" olarak tanımlanmıştır (Glowka and Stone, 1984). Bu ısı değerinden sonra, elmas tanelerinin sertliği yoğun olarak azalmakta ve elmas tanelerinden mikroskopik parçacıklar uzaklaşmaktadır.

#### 4. TESTERELERİN AŞINMASINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Testerelerin aşınması, bir çok kompleks faktör tarafından etkilenmektedir. Bu faktörler, kaya özellikleri: dokusal, mekanik, yapısal, atmosferik; testere parametreleri: çalışma ve dizayn; sıvı ve ısı özellikleri; diğer parametreler sayılabilir (Ersoy and Waller, 1995, 1997). Ancak, abrasiv aşınma, testerelerin kaya kesimi sırasında, testerelerin aşınmasından sorumlu ana mekanizmadır. Bu aşınma, testerelerin dizayn ve çalışma, kesilen kaya özellikleri esas alınarak tesbit edilmektedir. Literatürde, testerelerin aşınma oranları ile kaya etkilerinin ilişkilerini içeren kantitatif (nicel) veri bulunmamaktadır.

##### 4.1. Testerelerin Dizayn Özelliklerinin Etkileri

Aşınmayı etkileyen testerelerin dizayn özellikleri soket, elmas ve matriks, çap, su kanalları ve flanş özellikleri olarak düşünülmüştür. Elmaslı dairesel kaya testerelerinde taşı aktif olarak kesen bölüm, zaman ve basınç kontrolü altında kaynak edilmiş "soket" olarak adlandırılan elmaslı plakettlerdir. Kaya kesmede en önemli faktörlerin başında soketlerin kesilecek olan taşta uygunluğu yer alır. Çünkü, soketlerin taşı aşındırarak kesmesi kadar, taşında soketi aşındırması gerekir. Bu şekilde körelen elmasların yerine yeni elmaslar yüzeye çıkar ve kesme işlemi devam eder. Testere çapı ile soket boyutu ve soket adedi arasındaki ilişki Şekil 2'de gösterilmiştir. Testere çapı arttıkça soket adedi ve soket boyutu artmaktadır. Disk çapı ile soket arasında hemen hemen lineer bir ilişki görülmektedir. Disk çapının sabit olması, soket adedinin azaltılması veya artırılması testerelerin aşındırarak kesim hızını düşürür ve testere gövdesinin eğilmesine neden olur. Ayrıca, kesilen taş yüzeyi bozulur ve maliyeti artırır.

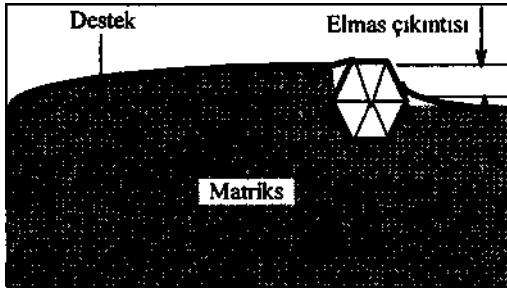


Şekil 2. Elmaslı dairesel testerelede çap ile soket eni ve soket adedi arasındaki ilişki.

Pratik olarak soketlerin testereden düşmesinin en büyük nedenleri; soketlerin gerektiği gibi sinterlenmediği, kesilen taşın tam yerine oturmadığı, yeterince soğutma suyunun gelmediği, testerenin kesim doğrultusunda olmadığı, testerenin kesilen taşta göre sert olduğu, flanşın hatalı olduğu ve testere gövdesinin bozulduğu gibi kriterler sayılabilir.

Soketin kalınlığı ile soketin kaynatıldığı gövdenin kalınlıkları farklıdır. Bunun nedeni soketin ön yüzden kesme işleminde, yanlardan da bu işleme yardımcı olmak ve testere gövdesinin hareket edeceği kanalı geniş tutarak, gövdenin mermer bloğu tarafından sıkıştırılmasını engellemektedir. Ancak, soket uçlardan aşınmakla birlikte, yan çeperlerden de aşınmaktadır. Bu aşınmayı önlemek için soket şekli dikdörtgen yerine, prizmatik şeklinde üretilmelidir. Bu durum soketlerin homojen ve dengeli olarak aşınmasını sağlayacaktır.

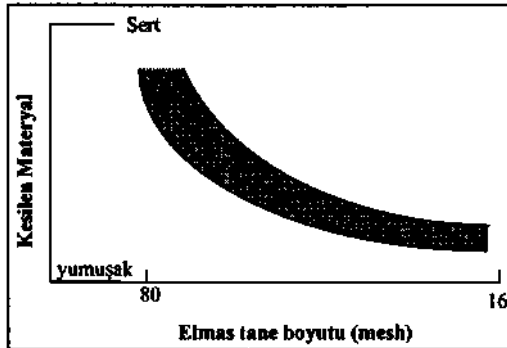
Matriks sertliğinin, kesilen kaya sertliğine uygun olması gerekmektedir. Eğer matriks kesilen malzemeden daha sert olursa, elmas kesme işlevini yaparken aşınacak, yani körelecektir. Matriks yeterli seviyede aşınmadığı için körelen elmas hala matriks tarafından tutulacak ve yeni elmas yüzeyleri kayaya temas edemediği için testerelerin kesim hızı düşerek, başarısız olacaktır. Bu nedenle, elmaslarla matriks eş zamanlı aşınması gerekmektedir. Testereler taş kesimi sırasında, sabit yönde dönmelidir. Bu nedenle, elmas ve matriksteki aşınmada aynı yönde olmaktadır, bu durum Şekil 3'de gösterilmiştir. Taş kesimindeki gözlemlerden, sert mermer kesimi için testerelerde göreceli olarak yumuşak matriks kullanılmalıdır.



Şekil 3. Testerenin sabit yönde dönmesinde elmas tanesinin çıkıntısı ve matriks desteği.

Testerelerde kullanılan elmasların tane boyutu kesilecek kayacın cinsine ve testerenin çapına göre değişmektedir. Elmas tane boyutu ile kesilecek malzeme arasındaki ilişki Şekil 4'te gösterilmiştir. Genellikle sert malzemeler için elmas tane boyutu küçük (tane sayısı fazla), yumuşak malzemeler için ise elmas tane boyutu büyük (tane sayısı az) olması istenmektedir. Eğer iri taneli elmaslar, sert malzeme kesimi için kullanılırsa, elmasın kayada ilerleme hızı minimumdur. Normal olarak elmas tanesi ya yerinden düşecek ya da körelecektir. Soket imali için gerekli elmas miktarı 1 cm<sup>3</sup> soket için 1 ile 6 karat arasında değişmektedir. 1 kg soket malzemesi içerisinde 25-120 gr arasında elmas kullanılmaktadır.

Flanş'ın görevi testereyi makinaya sıkı olarak sabitlemek ve testerenin yalpalı dönmesini önlemektir. Bu nedenle, flanşların alımları düzgün, temiz ve passız olması gerekmektedir. Flanşların durumu belli aralıklarla kontrol edilmelidir. Kesici testerenin iki yanındaki flanşların eşit olması, bunların diske bastırılan yüzeylerin pürüzsüz, temiz ve o diske göre uygun çapta olması gerekmektedir. Disk çapı ile flanş çapı arasında yaklaşık olarak doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.



Şekil 4. Elmas tane büyüklüğü ile kesilen kaya

arasındaki ilişki.

#### 4.2. Testere Çalışma Parametrelerinin Etkisi

Testere çalışma parametreleri kesme hızı, güç, kesme yükleri, çevresel hız, kesme derinliği ve su ihtiyacı olarak belirlenmiştir.

Kesme hızı, birim zamanda testerenin ilerleme hızı veya birim zamanda kesilen malzeme miktarı olarak tanımlanır. Birimi cm<sup>2</sup>/dakika veya m<sup>2</sup>/saat'tır. Kesim hızı pratikte aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$V = \frac{L \cdot H}{t} \quad [1]$$

Burada:

V : Kesim hızı (cm<sup>2</sup>/dak)

L : Blok boyu (cm)

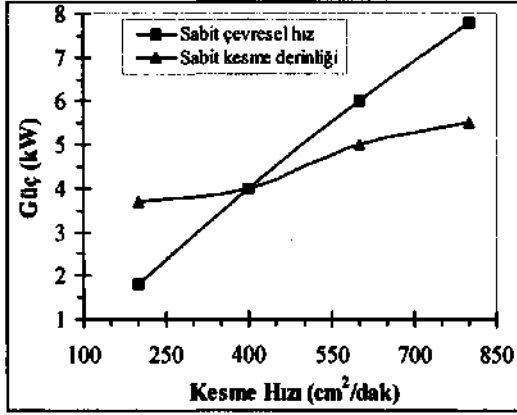
H : Blok yüksekliği (cm)

t : Kesim süresi (dak)

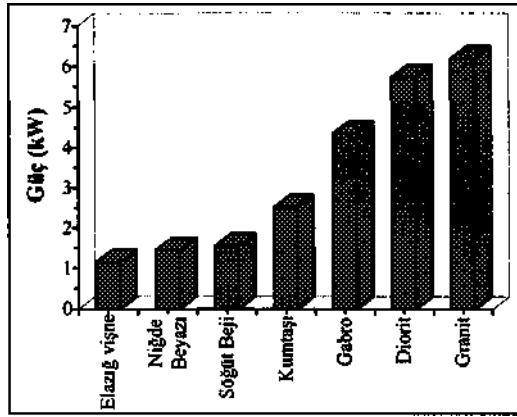
Kesme hızının yüksek olması, testerenin çabuk bitmesine, düşük olması ise testerenin körelmesine neden olur. Genellikle, testere ömrü düşük kesme hızlarında daha uzun olmaktadır. Kesme hızı, kesme derinliği ve çevresel hız tarafından kontrol edilmektedir. Yüksek çevresel hız, sıg kesme derinliğinin uygulanmasıyla, kesici üzerine gelen yükleri azalmaktadır. Kesme hızının çevresel hız ile artırılması, kesme derinliğinin sabit tutulması ile kesici yüklerini çok az etkilemektedir. Ayrıca, çevresel hızın sabit tutulması kesme derinliğinin artırılması, kesici yüklerini arttırmaktadır (Şekil 5).

Testerenin üzerine bağlandığı makina yeterli motor gücüne sahip olmalı ve mil tam olarak merkezlenmelidir. Çeşitli kaya kesimleri için gerekli ortalama güç tüketimleri Şekil 6'da sunulmuştur. Genelde, sert ve dayanımı yüksek olan memeler daha fazla güç gerektirmektedir. Kesimleri zor olan kayalar testereyi daha fazla aşındırmaktadır.

Testerenin çevresel hızı, kesilecek taşın sertliği, dayanımı ve aşındırıcılık özelliği göz önüne alınarak seçilmelidir. Çevresel hız, testere ömrünü önemli ölçüde etkiler. Farklı materyallerin kesimi için farklı çevresel hızlar gerekir. Çevresel hız, kesici ömrünün ve kesme hızının optimum olmasını kontrol etmektedir. Örneğin, yüksek kuvars içeren kesimi zor olan granitler düşük kesici devri (25 m/sn) gerektirirken, kumtaşı gibi kesimi kolay olan malzemeler daha yüksek devri (60 m/sn) gerektirmektedir.



Şekil 5. Sabit çevresel hız ve sabit kesme derinliğinde kesme hızı ile güç arasındaki ilişki.



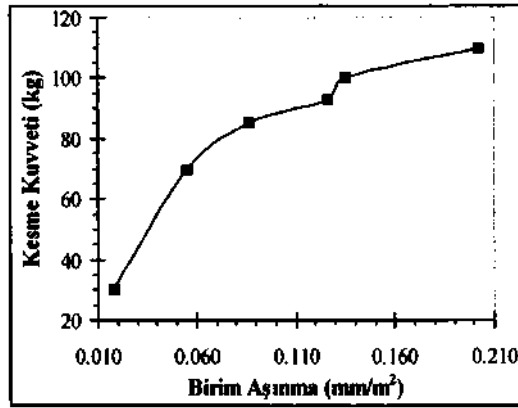
Şekil 6. Elmaslı dairesel testre ile çeşitli kaya kesimlerindeki ortalama güç tüketimi.

Testere kesici yüklerinin (yatay ve dikey), kesim sırasında oluşan kuvvetlerin yük algılayıcıları tarafından grafiksel veya sayısal olarak kaydedilmesi gerekmektedir. Kesme yükleri ile kesme hızı ve çevresel hız arasında bir ilişki mevcuttur. Kesme kuvvetleri, testere aşınmasını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu ilişki, Şekil 7'de verilmiştir.

Genelde, kesme kuvvetleri arttıkça, aşınma artmaktadır. Sert ve dayanımı yüksek olan malzemeler yüksek kesme kuvveti gerektirmektedir.

Mermer, traverten, alçıtaşı orta sertlikteki kayalarla, kumtaşı ve suni mermer gibi aşındırıcılık özelliğine sahip malzemelerin kesiminde kesme (bıçak) derinliği bir kesimde tamamen verilebilir. Ancak sert malzemelerin kesiminde (granit, diyabaz gib) kesilecek parçalar 3 cm'den derin ise kademeli

kesim yapılır. Kesim sert taşlarda 8 mm ve 20 mm'lik derinlik kademeleriyle yapılması gerekir. En son kesim aşamasında yine testerenin malzemenin altında en az 25 mm taşmasına dikkat edilmelidir. Kesim derinliği, malzeme sertliği, dayanımı ve kullanılan testerenin dizayn özelliklerine bağlıdır.



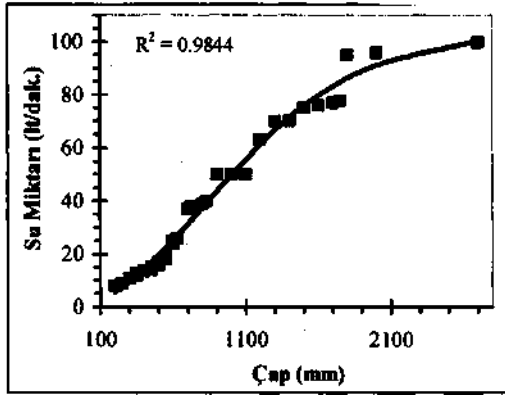
Şekil 7. Çeşitli kayaların kesiminde dairesel testere aşınması ve kesme yükleri ile ilişkisi.

Soğutma suyunun görevi testereyi soğutmak ve kesilen malzeme parçacıklarının kesme noktasından uzaklaştırmaktır. Soğutma suyu testere her iki yanından, flanşın hemen altından ve gerekirse testerenin tam karşısından bolca verilmelidir. Dairesel testere su ihtiyacı ile çapları arasındaki ilişki Şekil 8'de gösterilmiştir. Çap arttıkça verilen su miktarı da artmaktadır.

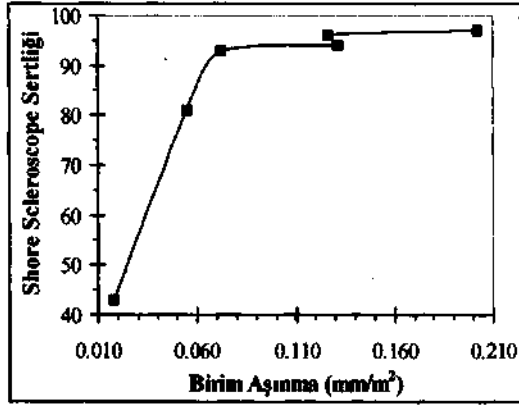
#### 4.3. Kaya Özelliklerinin Etkileri

Kaya özellikleri sertlik, aşındırıcılık, dayanım, mineral içeriği gibi parametreler testere aşınmasını ve verimini birincil derecede etkilemektedir. Çünkü, kesim sırasında, kaya ile testere sürekli kontak halindedir.

Kesilebilirlik ve testere aşınmalarında kaya sertliğini temsil etmek üzere özellikle çeşitli sert kayalar için Shore Scleroscope sertliğinin, testere aşınması üzerindeki etkisi Şekil 9'de gösterilmiştir. Şekilden açıkça görüldüğü gibi kayaların Shore sertliğinin artmasıyla, testere aşınması artmaktadır. Kayaların Mohs sertliği ile testere aşınması arasındaki iyi bir ilişki görülmektedir (Çizelge 1). Çünkü, Mohs sertliği kayada sadece minerallerin sertliğini ölçmüş olup, taneler arası bağ dayanımını, tane şeklini, çimentolanma derecesi gibi özellikleri önemsememektedir.



Şekil 8. Elmalı dairesel testerelerin çapları ile su ihtiyacı arasındaki ilişki.

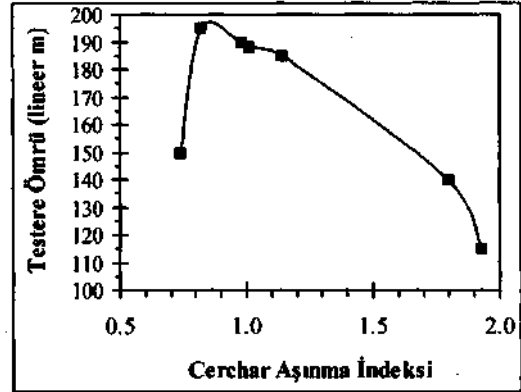


Şekil 9. Çeşitli kayalar için, Shore Scleroscope sertliğinin dairesel testerelerin aşınması ile ilişkisi.

Kayaların tek eksenli basma dayanımı ile çekme dayanımları arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğu görülmektedir (Çizelge 1). Kayaların tek eksenli basma dayanımları ile testerelerin aşınma miktarları arasında kuvvetli bir ilişki olmamasına rağmen, genel trend, dayanımın artması ile aşınmanın da artması şeklindedir. Bu durum, tek bir kaya özelliğinin kesilebilirliği ve testere aşınmasını modellenmediğini göstermektedir.

Mermerlerin aşındırıcılığını temsil etmek amacıyla, Cerchar Aşınma İndeksi ile testerelerin Ömrü arasındaki ilişki Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekilde de açıkça görüldüğü gibi, aşındırıcılık indeksinin artması, testere ömrünü azaltmaktadır. Cerchar Aşınma İndeks ölçümleri "mineral sertlikleri" ve "aşındırıcı mineral içerikleri" tarafından (toplam silisyum içeriği) önemli ölçüde etkilenmektedir. Sertlik faktörleri, magmatik kayaların Cerchar ölçümlerinde, "aşındırıcı mineral

içeriği" faktörü ise sedimanter kayaların Cerchar deneylerinde önemli rol oynamaktadır.



Şekil 10. Mermer kesimlerinde Cerchar Aşınma İndeksi ile testere ömrü arasındaki ilişki.

Genelde kayaların kuvars ve silikat içeriğinin artması (özellikle sert kayalar için) testerelerin aşınmasını hızlandırmaktadır (Çizelge 1 ve 2). Kuvars içeriği belirli bir dönem için testereleri keskinleştirmekte, bilelemekte ve kesme hızını arttırmaktadır. Ancak ileri aşamalarda testereleri aşındırarak ömürlerini bitirmektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın genel sonuçları aşağıdaki noktalar halinde özetlenebilir.

1. Taş kesicilerinin özellikle elmalı dairesel testerelerin tasarım parametreleri belirlenerek, bu parametrelere ait veriler ölçülmüştür.
2. Kesim sırasında, testerelerin çalışma parametrelerine ait veriler elde edilmiştir.
3. Testerelerin aşınması, bir çok fprmda görülmesine rağmen, kaya kesimi sırasında testerelerin aşınmasından en fazla sorumlu mekanizma aşındırıcı aşınmadır. Aynı zamanda, aşırı yükleme, çarpma yüklemesi, yorulma ve ısı şoku testerelerin aşınmasına katkıda bulunan diğer mekanizmalardır.
4. Testerelerin dizayn parametrelerinde testere çapı, soket ve soket yapımında kullanılan malzeme özellikleri, testere imalat prosesleri, flanş durumu testerelerin aşınmasında ve testerelerin verimliliğinde birincil faktörler olarak rol oynamaktadır.
5. Testere çalışma karakteristiklerinden, kesme hızı,



çevresel hız, motor gücü, kesici üzerine gelen kuvvetler ve soğutma suyu testere için hayati önem taşımakta olup, testerenin aşınma ve randıman performansını optimum yapmada en etkin parametrelerdir.

6. Kaya özelliklerinden özellikle sertlik, aşındırıcılık (aşındırıcı mineral içeriği), dayanımın, testere aşınmasında önemli etkileri bulunmuştur. Özellikle, Shore sertliği ve Cerchar aşınma indeksi ile testerelerin aşınma miktarları arasında kuvvetli ilişkiler bulunmaktadır.
7. Kesilebilirliğin ve aşınmanın modellenmesi için tek bir kaya özelliğinin ölçülmesi yeterli değildir. Kesilebilirliğin ve aşınmanın tanımlanması için bir çok kaya parametresinin belirlenmesi ve bu parametrelerin testerelerin aşınma ve çalışma parametreleri ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir.
8. Kesici kullanıcıları ile kesici üreticileri arasında mükemmel bir diyalogun olması gerekmektedir. Bu sayede, seçimler (makina, kesici tipi, kesme modu, temel çalışma parametreleri ve kaya özellikleri) doğru ve uygun seçilecektir.

Testere kullanımları için (özellikle elmalı dairesel testereler) aşağıdaki öneriler verilebilir.

- Testere kesilecek olan malzemeye uygun olmalıdır.
- Testere uygun kesim hızında ve motor gücünde kullanılmalıdır.
- Ana milin hatasız, yatakların bakımlı olması gerekir.
- Gerekli ve eşit çapta flanş kullanılmalıdır.
- Flanşlar, kirşiz, yağsız ve passız olmalıdır.
- Voltaj ayarı uygun olmalıdır.
- Testere üzerine aşırı kesme yükü verilmemelidir.
- Testerenin sürekli soğutulması gerektiğinden, testerenin her iki yüzünde de eşit miktarda temiz ve bol su kullanılmalıdır.
- Kesilecek malzeme kesim sırasında oynamayacak şekilde sıkıca bağlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Bilgin, N. 1989. *İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Brown, E.T. (ISRM, Editor) 1981. *Rock Characterisation Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods*. Pergamon Press, Oxford.
- Ersoy, A. ve Waller, M.D. 1995. *Wear Characteristics of PDC Pin and Hybrid Core Bits in Rock Drilling*. *Wear*. 188: 150-165.
- Ersoy, A. ve Waller, M.D. 1997. *Critical Review of Factors Influencing the Wear of Thermally Stable Diamond (TDS) Rock Drilling Bits*. Türkiye 15. Madencilik Kongresi. (6-9 Mayıs): 53-60. Ankara.
- Ertingshausen, W. 1985. *Wear Processes in Sawing Hard Stone*. *Industrial Diamond Review*, 45 (510): 254-258.
- Glwka, D.A. and Stone, C.M. 1984. *Effects of the Thermal and Mechanical Loading on PDC Bit Life*. Presented at Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the SPE, Houston, TX, 16-19 September. Society of Petroleum Engineers, Richardson, USA, SPE 13257.
- Hutchings, I.M. 1992. *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*. Edward Arnold, London.
- Jennings, M. 1989. *Guidelines for Sawing Stone*. *Industrial Diamond Review*. 49: 70-75
- Landsdown, A.R. and Price A.L. 1986. *Materials to Resist Wear. A guide to Their Selection and Use*. Pergamon Press, Oxford.
- Sneddon, M.V. and Hall D.R. 1988. *Polycrystalline Diamond: Manufacture Wear Mechanisms and Implications for Bit Design*. *Journal of Petroleum Technology*. 40(12): 1593-1601.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, L. ve Saruşık, A. 1996. *Mermer Kesiminde Kullanılan Elmalı Diskli Kesiciler*. Mermer Teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, İsparta.
- Ünver, B. 1992. *Kayaların Testerelerle Kesilebilirliğinin Pratik Olarak Belirlenebilmesi İçin İstatiksel Bir Yaklaşım*. *Madencilik Dergisi*. 26(3): 17-25.

