

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MERMER KESME MAKİNALARINDA
DAİRESEL TESTERELERDE KESME
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

Makine Mühendisi Orhan ÇALIŞ

**F.B.E. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

93 757

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Atilla BOZACI

Prof. Dr. Erhan ALTAN

Doç. Dr. Mesut ÖZGÜRLER

İSTANBUL, 2000

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Mermerin Tanımı.....	1
2. MERMERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1. Fiziksel Özellikler.....	3
2.1.1. Özgül ağırlık tayini.....	3
2.1.2. Birim hacim ağırlığı, ağırlıkça ve hacimce su emme oranı.....	4
2.1.3. Görünür porozite doluluk oranı, gerçek porozite.....	5
2.1.4. Sertlik, kesilebilme ve cilalama.....	7
2.2. Mekanik Özellikler.....	8
2.2.1. Basınç dayanım karakteristiği.....	8
2.2.2. Çekme dayanımı.....	18
2.2.3. Makaslama dayanımı.....	20
2.2.4. Eğilme dayanımı.....	21
2.2.5. Darbe dayanımı.....	22
2.2.6. Aşınma dayanımı.....	24
2.2.7. P-S dalga hızları ve dinamik elastisite katsayıları.....	25
2.2.8. Tabi don tesirine dayanım ve don sonu basınç dayanımı.....	27
2.2.9. Schmidt darbe çekici ile yüzey sertlik endeksi belirleme.....	28
3. ELMAS TESTERELERİN MİKRO YAPISI.....	31
3.1 Elmas Kesici Takımların Avantajları.....	31
3.2 Bağ Karakteristiği.....	31
3.3 Kesici Takım Dizaynı.....	32
4. KAYAÇLARIN DAİRESEL TESTERELERLE KESİLEBİLİRLİĞİNİN PRATİK OLARAK BELİRLENMESİ İÇİN İSTATİSTİKSELYAKLAŞIMLAR... 35	
4.1 Birinci Yaklaşım	35
4.2. İkinci Yaklaşım.....	40
4.3. Üçüncü Yaklaşım.....	40
4.3.1. Seçilen numuneler ve petrografik özellikleri.....	41

4.3.2.	Kayaç mekanik özelliklerinin bulunması.....	41
4.3.3.	Kesme deneyleri.....	42
4.3.4.	Dairesel bıçaklarda aşınma.....	43
4.3.5.	Deney sonuçlarının istatistiksel analizi.....	44
4.3.5.1.	Aşınma oranları ve kayaç özellikleri arasındaki ilişkinin istatistiksel faktör analizi ile bulunması.....	44
4.3.5.2.	Aşınma oranları ve kayaç mineralojik ve mekanik özellikleri arasındaki ilişki.....	44
4.3.5.3.	Kesme kuvvetine etki eden faktörler.....	47
4.3.6.	Kayaların kesilebilirliğinin tahmini için çok değişkenli regresyon analizi.....	48
4.3.6.1.	Aşınma oranlarının regresyon denklemleri ile tahmin edilmesi.....	48
4.3.6.2.	Gerekli olan kesme kuvvetinin regresyon denklemleri ile tahmin edilmesi.....	50
5.	SONUÇLAR.....	53
	KAYNAKLAR.....	54
	ÖZGEÇMİŞ.....	55



SİMGE LİSTESİ

C	Kohezyon
E	Mermerin elastisite modülü
G	Rijitlik modülü
ΔV	50 cm ² 'lik yüzeydeki hacim kaybı
α	Kırılma açısı
ϕ	İçsel sürtünme açısı
ν	Mermerin Poisson oranı
ρ	Birim hacim ağırlığı
τ	Kayma gerilmesi
σ	Basınç gerilmesi
σ_c	Mermerin tek eksenli basınç dayanımı
σ_{eg}	Mermerin eğilme dayanımı
σ_n	Normal basınç gerilmesi
σ_1	Düşey basınç gerilme değeri
σ_3	Mermerin yatay gerilme etkisi

KISALTMA LİSTESİ

TS	Türk Standartları
ISRM	International Society For Rock Mechanics
SEM	Scientific Electron Microscope
SDA	Synthetic Saw Diamond Abrasive



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Tek eksenli basınç gerilmesi- tipik yenilme konumları.....	9
Şekil 2.2 Tipik gerilme – genleşme karakteristiği.....	10
Şekil 2.3 Elastisite modülü hesaplama metotları.....	10
Şekil 2.4 Tek eksenli basınç dayanım deneyi için Mohr zarfı.....	11
Şekil 2.5 Üç eksenli deney düzeneği.....	13
Şekil 2.6 Üç eksenli basınç dayanım deneyi için Mohr zarfı.....	13
Şekil 2.7 Üç eksenli gerilme değerleri ilişkisi.....	14
Şekil 2.8 Hock-Brown kriteri.....	15
Şekil 2.9 Nokta yükleme deney türleri ve numune boyutlandırılması.....	17
Şekil 2.10 Çekme dayanımı deney düzeneği.....	19
Şekil 2.11 Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği.....	19
Şekil 2.12 Çevresel gerilmesiz makaslama dayanımı deney düzeneği.....	21
Şekil 2.13 Makaslama dayanım deney düzeneği.....	21
Şekil 2.14 Eğilme dayanımı deney düzeneği.....	22
Şekil 2.15 Darbe dayanımı deney düzeneği.....	23
Şekil 2.16 Böhme yüzeysel aşınma cihazı.....	25
Şekil 2.17 Ultrases hız ölçüm deneyi.....	26
Şekil 2.18 Schmidt darbe çekici ile ölçüm pozisyonları.....	29
Şekil 3.1 Kübik-oktahedral kristallerin sem görüntüsü.....	32
Şekil 3.2 Elmas yüzeyi ile elması çevreleyen matriks arasındaki kuvvetli bağları gösteren SEM görüntüsü.....	32
Şekil 3.3 SEM sıcak presleme sırasında sinterlemeden kalmış tozun SEM görüntüsü.....	33
Şekil 3.4 Elmas tanesinin malzeme ile teması sonrası zamanla aşınmasını gösteren SEM görüntüsü.....	34
Şekil 4.1 Aşağı kesme sırasında oluşan parametreler.....	35
Şekil 4.2 Kesme işlemi esnasında testere ve malzeme arasında oluşan mekanik etkileşim.....	36
Şekil 4.3 Sabit kesicili deney düzeneği ve yük algılayıcılarının konumu.....	43

Şekil 4.4	Aşınma oranı ile kuvars tane boyutu arasındaki ilişki.....	45
Şekil 4.5	Aşınma oranı ile Shore sertlik endeksi arasındaki ilişki.....	45
Şekil 4.6	Aşınma oranı ile plajiyoklaz tane boyutu arasındaki ilişki.....	47
Şekil 4.7	Aşınma oranı ile Mohs sertlik sayısı arasındaki ilişki.....	47
Şekil 4.8	Gerçek aşınma oranı değerleri ile 4.10 nolu regresyon denklemi ile bulunan aşınma oranı değerleri arasındaki ilişki.....	49
Şekil 4.9	Gerçek aşınma oranı değerleri ile 4.11 nolu regresyon denklemi ile bulunan aşınma oranı değerleri arasındaki ilişki.....	50
Şekil 4.10	Deneyler sırasında ölçülen ve 4.12 nolu regresyon denklemi ile bulunan kesme kuvveti değerleri arasındaki ilişki.....	51
Şekil 4.11	Deneyler sırasında ölçülen ve 4.13 nolu regresyon denklemi ile bulunan kesme kuvveti değerleri arasındaki ilişki.....	52



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Mermer analizi test programı numune boyutlandırması.....	4
Çizelge 2.2 Mohs sertlik sınıflaması.....	7
Çizelge 2.3 Taşların fiziksel ve mekanik özellikleri.....	30
Çizelge 4.1 Çaplarına göre testerelelerin geometrik özellikleri ve su ihtiyaçları.....	38
Çizelge 4.2 Mermerlerde testere çaplarına ve kesme derinliğine göre k_s katsayıları.....	39
Çizelge 4.3 Testere çaplarına göre motor gücü ve devirleri.....	39
Çizelge 4.4 Testere çapı ve kesme testere genişliğine bağlı motor güçleri.....	40
Çizelge 4.5 Numunelerin değişik petrografik özellikleri.....	41
Çizelge 4.6 Numune mekanik özelliklerinin özeti.....	42
Çizelge 4.7 İstatistiksel analiz sonucunda elde edilen değişkenler arasındaki doğrusal korelasyon katsayıları.....	46
Çizelge 4.8 Kesme kuvveti ile değişik parametreler arasındaki istatistiksel ilişki.....	47

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Dünya Mermer Üreticileri arasında, önemli üretim kapasitelerine sahip, iç piyasa tüketiminin yanı sıra, büyük ihracat potansiyeli olan ülkemizde, mermerin teknik olarak incelenebilmesi ve işleme teknolojilerinin araştırılması amacıyla yapılmıştır.

Ben mermerci bir ailenin ferdi olarak bu tezi hazırlarken, kendi mesleğimin teknik özelliklerinin yanı sıra, bu işte konuya bilimsel olarak bakabilmeyi ve konuya uzun vadede taklitçilikle değil, teknik olarak yaklaşabilecek altyapıyı kazanmayı amaçladım. Çünkü bugün Türkiye'deki mermer makinalarının imalatı Avrupa'nın eski teknolojilerini taklitten öteye geçmemektedir.

Elbette ki yaptığım bu çalışmayla yeni bir şeyler keşfetmedim, ama yine de bunu kendim ve bu konuyla ilgilenenler için bir başlangıç olarak görüyorum. Bunun sebebi ise, bu çalışmayı yaparken İstanbul'daki hiçbir bilimsel kurumda bu konuyla ilgili bilgi ve yardımın olmamasıdır.

Bu yüzden bu konuda bana çok yardımcı dokunan Hacettepe Üniversitesi, Maden Fakültesi öğretim görevlilerine, özellikle Sami EYÜBOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu tezi hazırlarken bu sonuca kadar gelmeme imkan tanıyan hocam Prof. Dr. Atilla BOZACI'ya ve bugüne kadar bana emeği geçen bütün hocalarıma ve bana her türlü maddi ve manevi desteği esirgemeyen aileme de teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Kayaların dairesel kesicili tezgahlarda kesilebilirliği konusu, işlenmiş taş ürünlerine olan talebin artması ile önem kazanmıştır. Mermer, granit, beton ve doğal taş endüstrisinde kullanılan dairesel kesiciler, yüksek üretim hızları ve işlenen ürünlerden daha iyi yüzey kalitesi nedeni ile çok geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Bu çalışmada mermerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirtilmiştir. Bu özelliklerin tespiti için seri deneyler T.S. 699 standardına uygun olarak yapılmıştır. Ayrıca elmas kesicili dairesel testerelerin mikro yapısı açıklanmış ve dairesel testerelerin kayaları kesmesi esnasında, kesmeye etki eden faktörler üç ayrı şekilde incelenmiştir.

Bu incelemelerde amaç, dairesel kesicili bir tezgah dizaynında, motor gücüne %99 güvenle ulaştırılan sonuçlarla, üreticinin direkt makine tasarımına geçebilmesinin sağlanmasıdır. Bunun sonucunda üretici, malzeme üzerinde ekstra deneyler yapmaktan kurtulmakta ve doğrudan kesme ve motor gücüne bağlı olarak malzeme dizaynına başlayabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mermer kesimi, dairesel kesiciler, elmas kesiciler, mermer kesme makinaları.



ABSTRACT

The increasing demand for stone products has inevitably increased the importance of stone cutting. Disc type cutting tools in marble, granite, concrete and natural stone cutting has become accepted as the most economical method of processing natural stone as a result of the everincreasing pressure for higher production rates and better surface textures in finished stone products.

In this study, the physical and mechanical characteristic of marble has determined. The experiments has made according to T.S.699 to establish the characteristic of marble. Also the microstructural design of disc type diamond cutting tools has explained. And important factors affecting stone cuttability while disc type of cutting tools are cutting the stone has examined in three ways.

The aim is finding the engine power that can be used for reliable prediction of rock cuttability in 99%. So, the producers can pass the machine design without losing time with cutting elements. As a result of this, the producers eliminate most of elementary experiments and directly concantrate on machine design.

Keywords: Marble cutting, disc type cutting tools, diamond cutting tools, marble cutting machines.



1. GİRİŞ

Yurdumuz mermer madeni açısından zengin ve kaliteli yataklara sahiptir. Ancak elimizde bulunan bu zenginliği bugüne kadar gerektiği şekilde değerlendirdiğimiz söylenemez, fakat şu da bir gerçektir ki , 1980 yılı öncesine oranla Türkiye'deki mermer sanayi büyük bir atılım içerisine girmiştir. Ocaklarda ve fabrikalarda üretim bugün dünya kalitesinde, en son teknolojiler kullanılarak yapılıp, dünyaya mermer ithal eder konumda bulunmaktayız. Ayrıca ülkemizde mermer üretimi yapmayı sağlayan makinalar, testereler ve aşındırıcılar da üretilmektedir. Ancak bu üretim teknolojik ve bilimsel araştırmalara dayanmayıp, taklitçilikten öteye gitmemekte ve dünya teknolojisini geriden takip etmemize sebep olmaktadır. Makina teknolojisinde ileri üretici konumuna geçebilmek içinse kesme teknolojisini iyi bilmek gerekmektedir. Bu konuda dünyada şu son 4-5 senedir, özellikle kesici malzemeler üreten firmalar bu konuda deneysel ve bilimsel araştırmalar yapmaktadır. Bugüne kadar dünyada kesme olayı mekanik bir formülasyona tam olarak oturtulmuştur. Ancak yapılan deneyler sonunda elde edilen sonuçlarla değişik şekillerde kesme olayı formülize edilerek, büyük oranda güvenli sonuçlara ulaşılmıştır. Ve araştırmalar sürekli sürmektedir. Türkiye de teknoloji üretiminde ileri geçmek istiyorsa bu konuda araştırmalara en kısa zamanda başlamalıdır.

1.1 Mermerin Tanımı

Mermer kalker veya dolomitik kalkerlerin basınç, sıcaklık veya kesme kuvveti etkisi altında metamorfizmaya (yeniden oluşum) uğraması sonucu kristallerin yeniden oluşmasıyla meydana gelen kayaçlardır. Mermerin bileşiminde %96 oranında CaCO_3 bulunmasıyla beraber bu yapı içine giren çinko, kurşun, mangan-demir veya demir oksitleri, magnezyum, stronyum, limotit, fluorit gibi yabancı mineraller mermere değişik özellikler kazandırır. Mermerin doğal yapısı bileşiminde bulunan CaCO_3 'tan ötürü beyazdır, fakat yukarıda sayılan maddeler mermerin rengine ve sertliğine etki ederek çeşitlenmesine sebep olur.

Mermerlerin, mikroskop altında incelendiğinde, kalsit kristallerinden meydana geldiğini ve bu kristallerin birbirlerine çok sıkı olarak bağlanmış olduğunu görürüz. Bahsedilen bu kristaller küçük boyutluysa mermerin sertliği, parlama kabiliyeti ve bozulmama yeteneği artar. Sertliğin artması işleme açısından zorluk yaratmasına rağmen yine de bu durum kalite açısından

istenmektedir. Kalsit kristalleri büyük taneli olursa mermerin mukavemeti düşer, yumuşak ve mat bir hal alır.

Yurdumuzda ve dünyada çok çeşitli renklerde mermerler vardır. Beyaz, kırmızı, kahverengi, yeşil, bal rengi, siyah, mavi bu renklerden bazılarıdır. Hatta bu renklerin harmonisi olan tarzlarda vardır. Mermerin rengini taşın bünyesinde bulunan oksit bileşikleri oluşturur. Genellikle mermerin bünyesinde çeşitli damarlara rastlanır. Bu damarların uyumlu olmaları halinde mermerin görünümü daha hoş olur ve piyasa değeri yükselir.

Mermer olarak işlem gören ve piyasada bu adla anılan traverten, onix ve granit gerçekte mermer gibi metamorfizmaya uğramış taşlar değildir. Travertenler maden sularının içerdikleri yüksek oranda CaCO_3 bileşiminin zamanla suyun aktığı bölgelerde çökmesi sonucu oluşan ve içinde çok miktarda boşluklar bulunan genellikle saman rengi taşlardır. Eğer maden sularının ısı düşükse çökme ve kristalizasyon daha geç olacağından, bu şekilde oluşan taşların kristal yapısı daha ince ve taneler birbirine daha sıkı bağlı olur. Bu şekilde meydana gelen taşlara onix denir. Onixler genellikle merkezden dışa doğru açılan halkalar şeklinde oluşurlar. Çok iyi cila kabul etmeleri ve renklerinin güzel olması dolayısıyla çok değerli taşlardır.

Granit magmatik esaslı kayalardır. Yeryüzüne çıkan veya toprağın altında kalmış mağmanın soğuması ile oluşur. Genel özellikleri çok sert, iyi cila kabul eden ve bozulma zamanı çok uzun olan taşlardan granitler, yüzlerce yıl, üzerlerindeki cilayı kaybetmeden kalabilirler ve aşınma dayanımları çok iyidir.

2. MERMERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

2.1 Fiziksel Özellikler

Mermerler için özgül ağırlık, birim hacim ağırlık ve hacimce su emme, porozite, doluluk oranı, sertlik, kenar köşe kesilmesi, cila alma durumu gibi fiziksel özelliklerin tespiti için bir seri deneyler TS 699 standardına uygun olarak yapılmaktadır.

2.1.1 Özgül ağırlık tayini

Özgül ağırlık tayini için Çizelge 2.1’de belirtilen numune standardına göre, mermer sahasının değişik yerlerinden alınan temsili 2 kg’lık numuneler, 0.2 mm açıklığı olan eleklerden geçecek şekilde öğütülür ve sabit ağırlığa gelene kadar 105 °C sıcaklıkta etüvde kurutularak, oda sıcaklığına kadar desikatör içinde soğutulur.

Piknometre ile 0,01 gram hassasiyetle tartılıp ağırlığı G_p olarak kaydedilir. Piknometre, oda sıcaklığında su ile doldurularak kapağı kapatılır ve üzerinde su zerrecikleri kurutma kağıdı ile kurutularak kapaktaki kılcal borudaki su seviyesi tespit edilerek 0,1 gram hassasiyetle tartılarak ağırlığı G_{ps} olarak kaydedilir.

Kurutulup soğutulmuş olan, öğütülmüş numuneden 250 gram kadar alınarak piknometreye konur ve 0,01 gram hassasiyetle tartılarak G_{pn} kütle değeri belirlenir. İçinde örnek bulunan piknometreye örnek seviyesini geçene kadar hacminin $\frac{1}{4}$ ne kadar su doldurulur ve 10-15 dakika kaynatılıp, su banyosunda oda sıcaklığında soğutulularak su ilavesi ile kapak kapatılır. Piknometre kurularak 0,01 gram hassasiyetle tartılarak G_{pns} ağırlığı belirlenir.

Deney bulguları ile mermerin özgül ağırlığı şu formülle hesaplanmaktadır.

$$d_o = \frac{G_{pn} - G_p}{(G_{pn} - G_p) - (G_{pns} - G_{ps})} \quad (2.1)$$

Burada;

d_o Özgül ağırlık, gr/cm^3

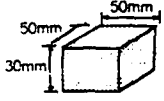
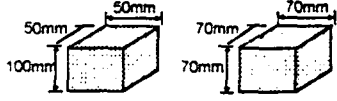
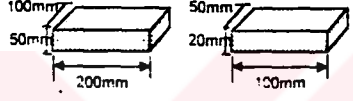
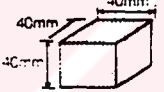

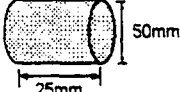

G_p Pinometre ağırlığı, gr

G_{pn} Piknometre + deney numunesi ağırlığı, gr

G_{ps} Su ile dolu piknometre ağırlığı, gr

G_{pns} Pinometre + deney numunesi + su ağırlığı, gr

Çizelge 2.1 Mermer analizi test programı numune boyutlandırması. (Şentürk vd.,1996)

Deney	Numune Şekil-Boyut	Adet
Birim Hacim Ağırlık, Ağırlıkça-Hacimce Su Emme		10 adet (Pirizmatik)
Basınç Dayanımı		80 adet (Pirizmatik) (Kübik)
Eğilme Dayanımı		10 adet (Pirizmatik)
Darbe Dayanımı		10 adet (Kübik)
Aşınma Dayanımı		5 adet (Kübik)
Çekme Dayanımı		5 adet (Silindirik)
Makaslama Dayanımı		5 adet (Silindirik)
Kimyasal Analiz Özgül Ağırlık		2 kg parça numune

2.1.2 Birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme oranı tayini

Mermerlerin, birim hacim ağırlığının tayini için Çizelge 2.1'de belirtilen numune standardı kullanılmaktadır. Hazırlanan küp numuneler yıkanıp etüve yerleştirilerek 105 °C de kurutulur ve ayrı ayrı 0,01 gram hassasiyetindeki terazide tartılır. Tartılan numuneler bir kaba konularak

numunelerin $\frac{1}{4}$ ü su içinde kalacak şekilde su ilavesi yapılır. 2 saat ara ile numunelerin $\frac{1}{4}$ ünü kaplayacak oranda su ilave edilir. Bu numuneler, tamamen üzerlerini örtecek miktarda su ilave yapıldıktan sonra iki gün su içinde bekletilirler.

Doygun hale gelen numuneler su içerisindeki Arşimet terazisiyle tartılarak, 0,01 gram hassasiyetle ölçüm değerleri yapılır. Bu tartım işleminden sonra deney numunesi üzerindeki su damlaları ıslak bir bezle alınır ve bekletilmeksizin havada 0,01 gram hassasiyetiyle tartılır. Bulunan sonuçlar aşağıdaki eşitlikte yerine konularak her bir numune için ayrı ayrı birim hacim ağırlığı belirlenir.

$$dh = \frac{Gk}{Gdh - Gds}$$

Burada;

- dh Mermerin birim hacim ağırlığı, gr/cm^3
 Gk Değişmez ağırlığa kadar kurutulmuş deney numunesi ağırlığı, gr
 Gdh Doygun haldeki deney numunesinin havadaki ağırlığı, gr
 Gds Doygun haldeki deney numunesinin su içindeki ağırlığı, gr

Mermerlerin su emme oranı, ağırlıkça ve hacimce su emme oranı olarak aşağıdaki formüllerle ayrı ayrı hesaplanabilir.

$$Sk = \frac{Gdh - Gk}{Gk} 100 \quad (2.3)$$

$$Sh = \frac{Gdh - Gk}{Gdh - Gds} 100 \quad (2.4)$$

Burada,

- Sk Mermerin ağırlıkça su emme oranı, %
 Sh Mermerin hacimce su emme oranı, %

2.1.3 Görünür porozite doluluk oranı, gerçek porozite

Mermerin görünür porozite değeri hacimce su emme oranından ya da hacim kütle ve kütlece su emme oranından hesaplanabilmektedir. Mermerin görünür porozite değeri hacimce su emme oranından şu eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$Pg = \frac{Gd - Gk}{Gd - Gds} 100 \quad (2.5)$$

Burada,

- Pg Mermerin görünür porozitesi, %
 Gd Mermerin doygun haldeki kütlesi, gr
 Gk Değişmez kütleye kadar kurutulmuş kütle, gr
 Gds Doygun halde su içindeki kütle, gr

Mermerin görünür porozite değeri hacim kütle ve hacimce su emme yardımı ile de hesaplanabilmektedir.

$$Pg = dh * Sk \quad (2.6)$$

Burada;

- Pg Mermerin görünür porozitesi, %
 dh Mermerin hacim kütlesi, gram/cm³
 Sk Mermerin kütlece su emme oranı, %

Doluluk oranı mermerin ortalama hacim ağırlığı ve özgül ağırlığından şu eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$k = \frac{dh}{do} 100 \quad (2.7)$$

Burada;

- k Mermerin doluluk oranı, %
 dh Mermerin ortalama hacim ağırlığı, gr/cm³
 do Mermerin ortalama özgül ağırlığı, gr/cm³

Gerçek porozite, mermerin ortalama hacim ağırlığı ve ortalama özgül ağırlığından aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmalıdır.

$$P = \left| 1 - \frac{dh}{do} \right| 100$$

veya

$$P = (1 - k)100 \quad (2.8)$$

Burada;

P Mermerin gerçek porozite oranı, %

k Doluluk oranı

2.1.4 Sertlik, kesilebilme ve cilalama

Mermerin sertliği, aşınmaya karşı gösterdiği dirençtir. Mohs sertlik sınıflaması standart 10 mineralin sertlikleri baz alınarak düzenlenmiş olup bu mineraller veya bunların özdeşi mineraller ile mermer üzerinde yapılacak çizme işlemine göre tayin yapılmaktadır. Mohs sertlik sınıflamasında yer alan 10 mineralin sertlik dereceleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Mohs sertlik sınıflaması. (Şentürk vd.,1996)

Mineral	Kimyasal bileşimi	Mohs Sertliği
Talk	$Mg_3(OH)_2Si_4O_{10}$	1
Jips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2
Kalsit	$CaCO_3$	3
Flüorit	CaF_2	4
Apatit	$Ca_5F(PO_4)_3$	5
Feldspat	$KAlSi_3O_8$	6
Kuvars	SiO_2	7
Topaz	$Al_2(F_2OH)_2SiO_4$	8
Korund	Al_2O_3	9
Elmas	C	10

Sertlik, mermer işletmeciliğinde son derece önemlidir. Mermerin, ocaktan çıkarılmasından atölyede kesilip cilalanmasına kadar sertlik olumsuz bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak pazarlama aşamasında ise sert mermerler aşınmaya karşı dayanıklılıklarının fazla olması ve iyi cila alarak, cilalarını uzun süre kaybetmemeleri nedeni ile tercih edilmektedir.

2.2 Mekanik Özellikler

2.2.1 Basınç dayanım karakteristiği

Basınç dayanımı, belirli boyutlardaki mermerlerin belirli ve farklı doğrultularda etkiyen gerilmeler karşısında davranışları ve kırılmaya karşı gösterdiği direnç karakteristiğidir. Mermerlerin basınç dayanım değerleri için yapılacak deneylerde Çizelge 2.1'de verilen numune standardı kullanılmaktadır. Deneyler üç farklı basınç gerilmesi altında yapılabilmektedir.

- Tek eksenli basınç gerilme etkisi
- Üç etkenli basınç gerilme etkisi
- Nokta yükleme gerilme etkisi

Tek eksenli basınç dayanımı, test prosedürü – veri analizi

Tek eksenli basınç dayanım deneyi için TS699 ve ISRM standartlarında, kenarları yaklaşık 70 mm olan küp deney numunelerinin kullanımı önerilmiştir. Ancak iri kristalli ve bünye yapısı değişik özellikler gösteren mermer türlerinde ise, küp deney numunelerinin kenarları ile silindirik deney numunelerinin çap ve yükseklikleri 100 mm olmalıdır.

Deneyler için en az 5'er adet numune seti hazırlanmalıdır. Tabakalı mermer yapılarında, deney numuneleri iki farklı doğrultuda hazırlanmalıdır.

- Tabakalaşma doğrultusuna dik
- Tabakalaşma doğrultusuna paralel

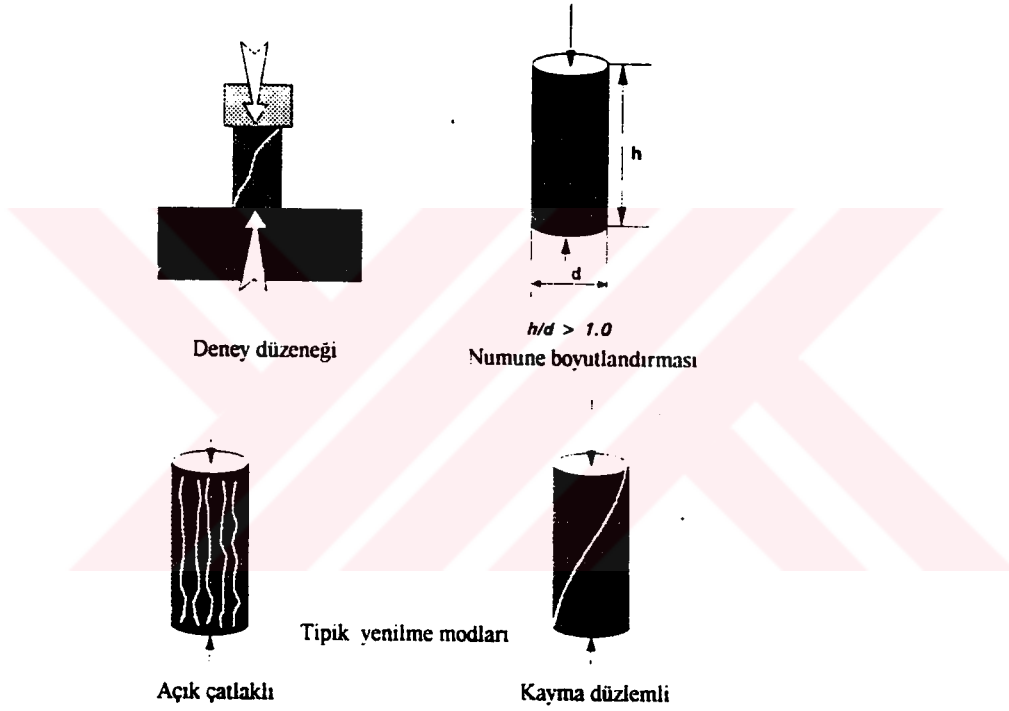
Deney numuneleri bir etüvde 105⁰c sıcaklıkta değişmez kütleye gelinceye kadar kurutularak, desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulur. Oda sıcaklığında ve %40-%60 bağıl nemli ortamda en az 48 saat süre ile kondisyonlanır. Kondisyonlanan numuneler, 0.1 mm hassasiyetle yüzey boyutları bir kumpas ile ölçülerek deney presi tablaları arasına yerleştirilir. Saniyede ortalama 10 kg/cm² – 12 kg/cm²'lik bir basınç gerilmesi altında deney numuneleri kırılincaya kadar yükleme yapılarak, her bir numunenin yenilme yük değeri ve yenilme şekli kaydedilir. Tek eksenli basınç dayanım değeri ise şu eşitlik yardımı ile hesaplanır:

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \quad (2.9)$$

Burada,

σ_c	Tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm ²
F_c	Numune yenilme yük değeri, kg
A	Numune yüzey alanı, cm ²

Deney düzeneği ve tipik yenilme şekilleri Şekil 2.1’de sembolize edilmiştir.

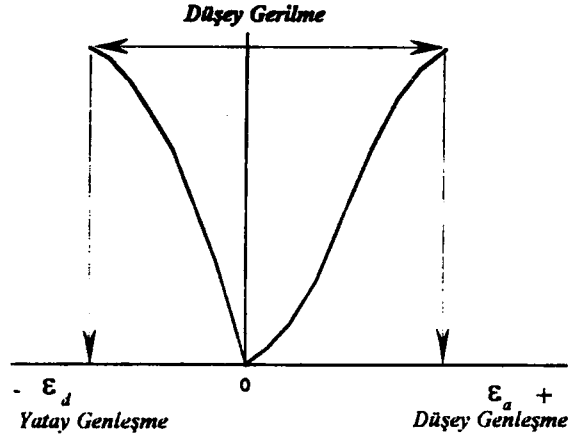


Şekil 2.1 Tek eksenli basınç gerilmesi- tipik yenilme konumları. (Şentürk vd.,1996)

Tek eksenli basınç dayanım deneylerinde, numuneler üzerine strain gauge yapıştırılmak suretiyle, deney numunelerine uygulanan tek eksenli basınç gerilmesine karşı yatay genişleme oranları belirlenebilmektedir. Bu veriler, mermerlerin Poisson oranını belirlemede kullanılmaktadır. Ayrıca, düşey genişleme oranlarının da ölçümü ile, mermer numuneleri için gerilme-genleşme diyagramları elde edilmekte ve buradan mermerin elastisite özellikleri (Young modülü) belirlenebilmektedir. Mermer gerilme-genleşme karakteristiğini sembolize eden tipik bir karakteristik eğrisi Şekil 2.2’de verilmiştir.

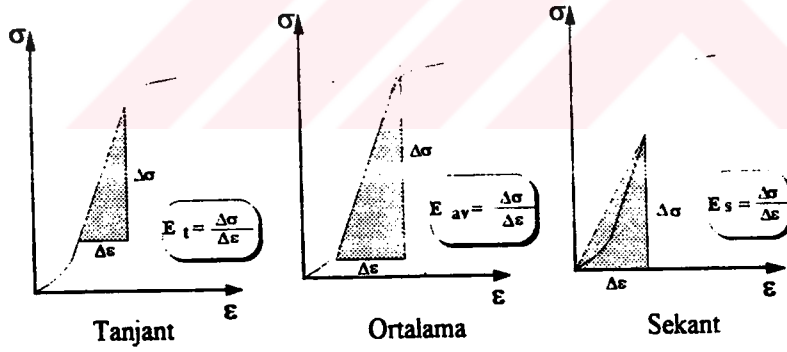
Elastisite modülü gerilme genleşme karakteristik eğrilerinden farklı pratik yaklaşımlarla belirlenebilmektedir. Genel olarak kullanılan yaklaşımlar:

- Tanjant elastisite modülü, E_t
- Ortalama elastisite modülü, E_{av}
- Sekant elastisite modülü, E_s



Şekil 2.2 Tipik gerilme – genleşme karakteristiği. (Şentürk vd.,1996)

Bu yaklaşımlar ve uygulama prensibi sembolik olarak Şekil 2.3’de görülmektedir.



Şekil 2.3 Elastisite modülü hesaplama metodları. (Şentürk vd.,1996)

Şekil 2.2 ve Şekil 2.3 kullanılarak Poisson oranı ise şu eşitlikler ile belirlenmektedir.

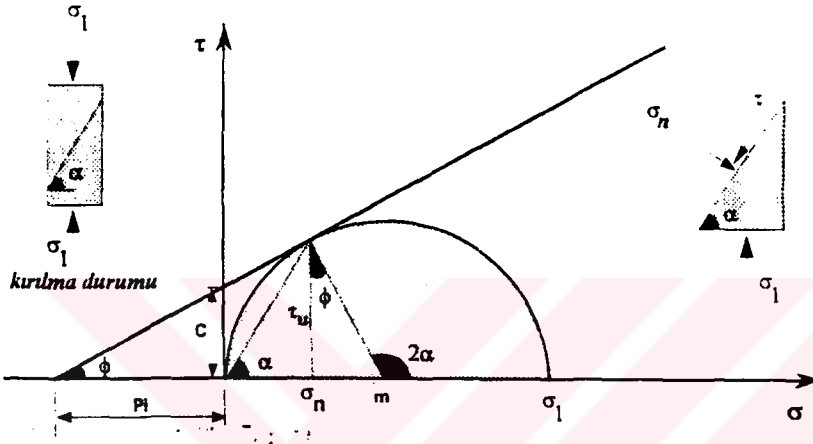
$$v = -\frac{m\alpha}{md} \quad \text{veya}$$

$$v = -\frac{E}{md} \quad (2.10)$$

Burada

- ν Mermerin Poisson oranı
- m_a (düşey gerilme-düşey genleşme) eğrisi eğimi
- m_d (düşey gerilme-yatay genleşme) eğrisi eğimi
- E Mermerin elastisite modülü, kg/cm^2

Tek eksenli basınç dayanım deneyleri bulgularından, mermerin diğer tekno-mekanik özelliklerinden kayma gerilmesi, kohezyonu ve içsel sürtünme açısı gibi parametreler de Mohr-Coulomb Kriterine göre teorik olarak belirlenebilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Tek eksenli basınç dayanım deneyi için Mohr Zarfi. (Şentürk vd.,1996)

Şekil 2.4'de sembolize edilen değişken parametreler;

- τ Kayma gerilmesi, kg/cm^2
- σ Basınç gerilmesi, kg/cm^2
- σ_1 Düşey basınç gerilme değeri, kg/cm^2
- σ_n Normal basınç gerilmesi, kg/cm^2
- α Kırılma açısı, derece
- C Kohezyon, kg/cm^2
- ϕ İçsel sürtünme açısı, derece

Buradaki bulgulara göre oluşturulabilecek Mohr zarfi eşitliği;

$$\begin{aligned} \tau_u &= C + \sigma_n \cdot \tan \phi && \text{ve} \\ \sigma_n &= \frac{\sigma_1}{2} \cdot (1 + \cos 2\alpha) && \text{ve} \\ 2\alpha &= \frac{\pi}{2} + \phi && (2.11) \end{aligned}$$

kullanılmaktadır. Bu eşitliklerden kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri;

$$\begin{aligned} \phi &= 2\alpha - \frac{\pi}{2} && \text{veya} \\ \tan \phi &= \frac{\tau}{\sigma_n + Pi} = \frac{\frac{\sigma_1}{2} - \sigma_n}{\tau} = f && (2.12) \end{aligned}$$

burada $Pi = C \cdot \cot \phi$ dir. Kohezyon değeri ise,

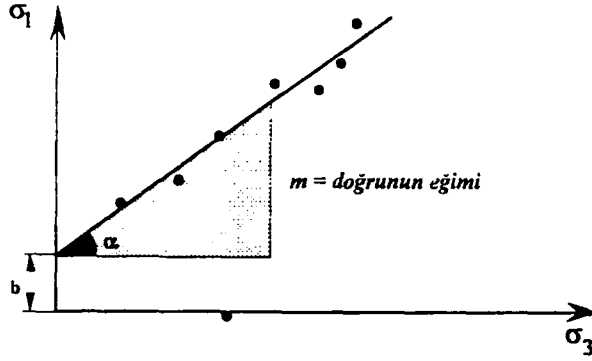
$$\begin{aligned} C &= \tau_u - \sigma_n \cdot \tan \phi && \text{veya} \\ C &= \tau_u \cdot \frac{Pi}{\sigma_n + Pi} && (2.13) \end{aligned}$$

eşitlikleri yardımı ile belirlenebilmektedir.

Üç eksenli basınç dayanımı, test prosedürü-veri analiz

Üç eksenli basınç dayanım deneylerinde, yukarıda özetle anlatılan tek eksenli basınç dayanım deneyi için kullanılan ve önerilen silindirik numune standardı ve numune kondisyonlama prosedürü aynen uygulanmaktadır. Kondisyonlanan silindirik deney numuneleri, basınç hücresi denilen bir çelik hücre içerisine yerleştirilir. Hücreye, önceden tatbik edilmesi düşünülen basınç değeri ölçüsünde hidrolik yağ yardımıyla bir yanal basınç uygulanır ve belirli bir süre bu basınç altında numunenin kondisyonlanması sağlanır. Daha sonra, saniyede ortalama $10 \text{ kg/cm}^2 - 12 \text{ kg/cm}^2$ 'lik bir basınç gerilmesi deney numunesi üzerine düşey olarak uygulanarak numunenin yenilme yük değeri belirlenir. Burada her bir mermer türü için en az 5 farklı yanal basınç etkisinde 5'er defa ayrı ayrı numuneler ile deneyler yapılır. Deneyler sonucunda tatbik edilen yanal basınç değerinde (σ_3), elde edilen üç eksenli basınç dayanım değerleri (σ_1) ayrı ayrı bir liste halinde kaydedilir (Şekil 2.5).

olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, deney bulgularından elde edilen basınç dayanım değerleri Şekil 2.7'de sembolize edilmiştir. En küçük kareler yöntemine göre elde edilecek doğru denkleminde yararlanarak mermerin içsel sürtünme açısı ve kohezyon parametreleri belirlenebilmekte olup, teorik yaklaşımla bu parametrelere bağımlı olarak da tek eksenli basınç dayanım değeri kestirilebilmektedir.



Şekil 2.7 Üç eksenli gerilme değerleri ilişkisi. (Şentürk vd.,1996)

İçsel sürtünme açısı (derece):

$$\phi = \arcsin \frac{m-1}{m+1} \quad (2.15)$$

Kohezyon (, kg/cm^2).

$$C = b \cdot \frac{1 - \sin \phi}{2 \cdot \cos \phi} \quad (2.16)$$

Tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm^2):

$$\sigma_c = \frac{2C \cdot \cos \phi}{1 - \sin \phi} \quad (2.17)$$

bağıntıları ile belirlenebilmektedir.

Üç eksenli basınç dayanım deneyi bulguları ile basınç gerilmeleri etkisinde mermer karakteristiğini belirlemede teorik olarak kullanılacak diğer bir yaklaşım ise Hock-Brown kriter yaklaşımıdır(Şekil 2.8).

Bu yaklaşıma göre mermer basınç dayanım karakteristiği;

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{\sigma_3 \cdot \sigma_c \cdot m + \sigma_c^2 \cdot s} \quad (2.18)$$

eşitliği ile tanımlanabilmektedir. Burada;

Burada;

$$x \quad \sigma_3$$

$$y \quad (\sigma_1 - \sigma_3)^2$$

n σ_1, σ_3 'lerin toplam veri sayısı.

Ancak, mermerde şiştözitenin fazla ve sık olarak görüldüğü durumlarda, alınan numunelerin tabakalı ve/veya heterojen bir ortama sahip olması halinde, mermerin tek eksenli basınç dayanım değeri (σ_c) öncelikle nokta yükleme deneyleri ile belirlenir ve m değeri yukarıdaki eşitlik ile belirlenerek s değeri;

$$s = \frac{\sum y / n - m \cdot \sigma_c \cdot \sum x}{\sigma_c^2} \quad (2.22)$$

formülü ile hesaplanır. Ancak s değerinin sıfıra çok yakın bir değer çıkması durumunda;

$$m = \frac{\sum y}{\sigma_c \cdot \sum x} \quad (2.23)$$

formülü ile yeniden hesaplanır.

Genel olarak, mermerin basınç dayanımı aşağıdaki değişkenlerin bir fonksiyonudur.

- Numune şekli
- Numune boyutu
- Numune şiştözite ve homojenlik durumu
- Yatay basınç gerilmeleri
- Numune nominal boy/çap oranları
- Yükleme oranı
- Numune porozite oranı
- Numunenin nem içeriği

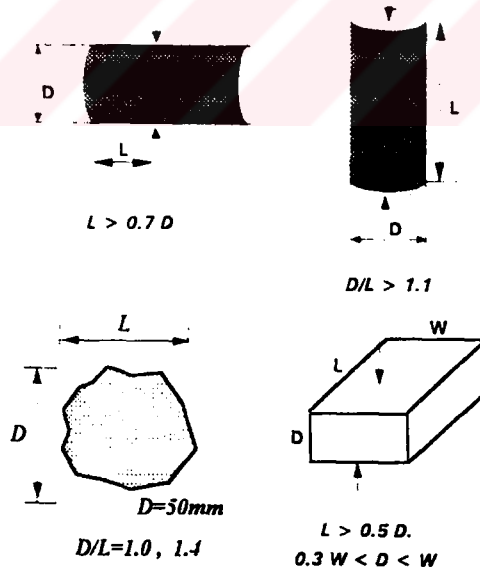
Nokta yükleme dayanımı

Nokta yükleme dayanım deneyleri, mermer türünün kayaç kalite sınıflandırmaları için kullanılan indeks değerini belirlemek için yapılır. Ancak, deney sonucunda, tek eksenli basınç dayanım değerini de tahmin edebilmek mümkün olmaktadır. Deneyler dört farklı numune boyutlandırması şeklinde yapılabilmektedir(Şekil 2.9).

- Çap deneyi
- Eksenel deney
- Blok deneyi
- Parça deneyi

Genel amaçlı ve sınıflama için yapılan deneylerde, numuneler ya doğal nem oranını korumalı ya da suya doymun hale getirilerek deney yapılmalıdır. Deneylerde her bir mermer türü için en az 10 adet deney numunesi kullanılmalıdır.

Deney numuneleri, düzenekteki baskı uçları arasına yerleştirilir. Numune üzerine devamlı bir yük etkisi verilerek, numunenin 10-60 saniye içerisinde kırılması sağlanır ve yenilme yük değeri kaydedilir.



Şekil 2.9 Nokta yükleme deney türleri ve numune boyutlandırılması. (Şentürk vd.,1996)

Deney bulgularına göre mermerin tek eksenli basınç dayanım değeri;

$$\sigma_c \cong 24.I_{s(50)} \quad (2.24)$$

formülü ile belirlenir. Burada;

σ_c	Tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm ²
$I_{s(50)}$	Nokta yükleme yenilme yük değeri.

2.2.2 Çekme dayanımı

Çekme dayanımı, mermerlerin çekme gerilmeleri karşısındaki direncidir. Çekme dayanımı için iki farklı deney yöntemi kullanılmaktadır.

- Direkt çekme dayanım deneyi
- Yarmada çekme dayanım deneyi

Direkt çekme dayanım deneylerinde, silindir şeklinde dış yüzeyleri düzgün ve nominal boy / çap oranı 2-2.5 arasında çapı 50 mm'den az olmayan en az 5 adet deney numunesi kullanılır. Deney numuneleri etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutularak, sonrasında oda sıcaklığına kadar soğutulur. Kondisyonlanan deney numuneleri, şekil 2.10'de görülen çelik başlıklara epoksi reçine tipi bir yapıştırıcı ile yapıştırılarak, numune üzerine sürekli bir çekme etkisi uygulanır ve 5-15 dakikalık bir sürede numunenin kırılması sağlanır. Numune yenilme değeri kaydedilerek;

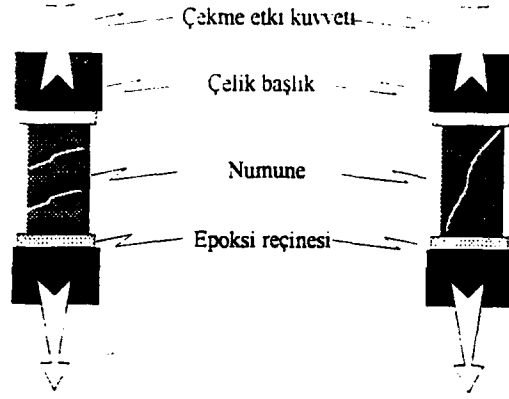
$$\sigma_t = \frac{Ft}{A} \quad (2.25)$$

eşitliği ile çekme dayanım değeri hesaplanır. Burada;

σ_t	Mermerin direkt çekme dayanımı, kg/cm ²
Ft	Mermerin yenilme yük değeri, kg
A	Mermer numunesinin yüzey alanı, cm ²

Yarmada çekme dayanım deneyinde ise, silindir şeklinde nominal boy/çap oranları 0.5-1 arasında olan, çapı 50 mm'den az olmayan düzgün yüzeyli mermer numuneleri kullanılır. Numuneler, standartlara uygun olarak kondisyonlandıktan sonra şekil 2.11'de görülen deney

düzeneğindeki gibi numuneler yerleştirilerek, çapsal yükleme yapılır ve yarılmının gerçekleştiği yük değeri kaydedilir. Mermer örneğinin yarmada çekme dayanım değeri;



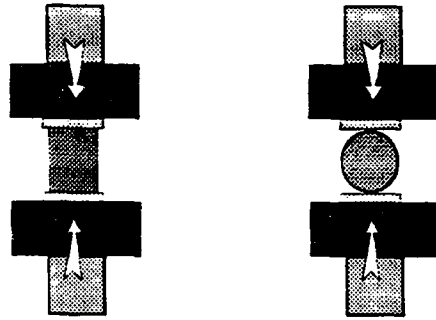
Şekil 2.10 Çekme dayanımı deney düzeneği. (Şentürk vd.,1996)

$$\sigma_t = \frac{2.Ft}{\pi.D.L} \quad (2.26)$$

eşitliği ile bulunur.

Burada

σ_t	Mermerin yarmada çekme dayanımı, kg/cm^2
F_t	Mermerin yarıma yük değeri, kg
D	Mermer numunesinin çapı, cm
L	Mermer numunesinin boyu, cm



Şekil 2.11 Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği. (Şentürk vd.,1996)

2.2.3 Makaslama dayanımı

Makaslama dayanımı, mermerin makaslama gerilmeleri karşısındaki direncidir. Makaslama dayanımında düzgün kenarlı silindirik veya dikdörtgen prizmatik mermer numuneleri kullanılabilir. Deney numuneleri, tek yönlü yüklemeleri ve/veya çevresel gerilme etkisi altında makaslama ve homojen yapıya sahip mermer türleri için tek yönlü yüklemeli makaslama dayanım deneyleri yeterli olabilmektedir. Bu tür deney için uygulanan dört farklı yöntem (Şekil 2.12) ve uygulama hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

- Tek Makaslama

$$\tau = \frac{F}{2.A} \quad (2.27)$$

- Çift Makaslama

$$\tau = \frac{F}{2.A} \quad (2.28)$$

- Kamalı Makaslama

$$\tau = \frac{F}{2.\pi.r.a} \quad (2.29)$$

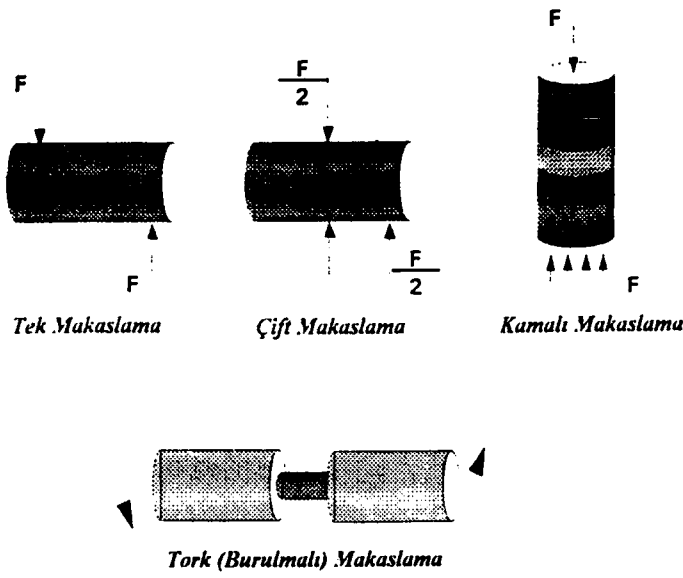
- Tork (Burulmalı) Makaslama

$$\tau = \frac{16.Mc}{\pi.D^3} \quad (2.30)$$

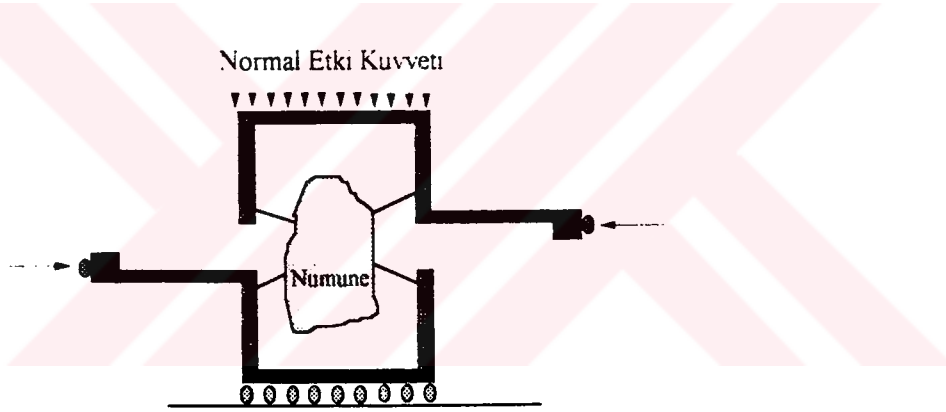
Burada,

τ	Mermerin makaslama dayanımı, kg/cm ²
F	Mermerin yenilme yük değeri, kg
A	Mermer numunesinin etki alanı, cm ²
r	Mermere etki edecek yarıçap, cm
a	Mermer numunesinin kalınlığı, cm
Mc	Uygulanan burulma momenti
D	Mermer numunesinin çapı, cm

Mermerde yapı itibarı ile farklı doğrultularda şistozite görülmekte ve heterojen bir yapı hakimse, genelde önerilen deney metodu, çevresel etki gerilmeli deney şekli Şekil 2.13'de görülmektedir.



Şekil 2.12 Çevresel gerilmesiz makaslama dayanımı deney düzeneği. (Şentürk vd.,1996)



Şekil 2.13 Makaslama dayanım deney düzeneği. (Şentürk vd.,1996)

2.2.4 Eğilme dayanımı

Eğilme dayanımı, standart boyutlardaki plaka mermerlerin belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdiği dirençtir. Mermerlerin kullanımı genellikle belirli boyut ve kalınlıkta plakalar şeklinde olduğundan eğilme direnci son derece önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü, plaka kalınlığı, plaka boyut ve destek boyutları arasındaki mesafe mermerin eğilme dayanımına göre tespit edilebilmektedir.

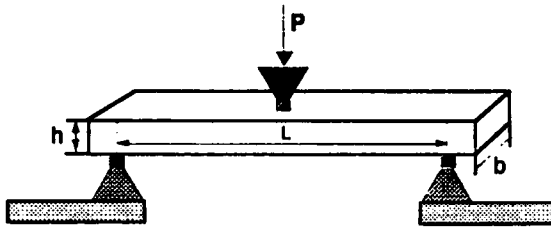
Eğilme dayanımının belirlenmesi için mermer bloklarından tabakalaşma yönü dikkate alınarak 50 mm x 100 mm x 200 mm boyutlarında numunelerden en az beş adet hazırlanmaktadır.

Deney numuneleri Şekil 2.14'de görülen deney düzeneğindeki gibi plaka şeklinde numuneler arası açıklık 180 mm olacak şekilde deney presi tablaları arasına, yükleme ortadan uygulanabilecek şekilde yerleştirilir. Deney numunesi üzerine yaklaşık 5 kg'lık bir yük verilerek mesnetlerin tam yerleşmesi ve kondisyonlanması sağlanır. Sonrasında yük artışı dakikada 450 kg'ı geçmeyecek şekilde artırılarak, kırılma anındaki yük değeri kaydedilir ve yükleme yüzeyi ile plaka kalınlığı çizgisinin oluştuğu noktada ölçülür. Bulunan sonuçlar aşağıdaki eşitlikte yerine konularak eğilme dayanım değeri hesaplanır.

$$\sigma_{eğ} = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \quad (2.31)$$

Burada,

$\sigma_{eğ}$	Mermerin eğilme dayanımı, kg/cm ²
P	Kırılmaya neden olan en büyük yük, kg
L	Deney numunesinin mesnetler arasındaki numunesi, cm
b	Deney numunesinin genişliği, cm
h	Deney numunesinin kalınlığı, cm



Şekil 2.14 Eğilme dayanımı deney düzeneği. (Şentürk vd.,1996)

2.2.5 Darbe dayanımı

Darbe dayanımı, standart boyutlardaki mermerin belirli bir doğrultuda gelen darbelere karşı gösterdiği dirençtir. Mermerin kullanım alanlarının belirlenmesinde darbe dayanımının bilinmesi önemli bir konu olarak görülmektedir.

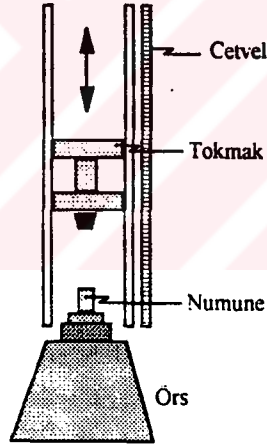
Mermerlerin darbe dayanımlarının belirlenmesi için şistozite düzlemine paralel veya dik konumda alınan 40 x 40 x 40 mm boyutlarındaki küp numuneler kullanılmaktadır. Darbe dayanımı deneyleri Şekil 2.15’de şematik görünümü verilen darbe dayanımı deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Örnek numuneler Şekil 2.15’de görülen darbe dayanımı deney düzeneğinde örsün üzerindeki örnek yuvasına yerleştirilir ve bunun üzerine çelik plaka konularak deney tokmağı aşağıdaki eşitlikten hesaplanan yükseklikten düşürülür.

$$H = 0.04.V \quad (2.32)$$

Burada,

H Tokmağın düşme yüksekliği,cm
V Deney numunesinin hacmi,cm³



Şekil 2.15 Darbe dayanımı deney düzeneği. (Şentürk vd.,1996)

Birinci darbeden sonraki takip eden her darbeye düşme yüksekliği, bir evvelki yüksekliğin, ilk düşme yüksekliği kadar arttırılması ile elde edilir.

Deney numunesi kırılıncaya kadar bu işleme devam edilir ve darbe sayısı tespit edilir. Düşme yüksekliğinin arttırılmasına rağmen geri sıçrama miktarı artmaz veya azalırsa, kırılma, çatlama veya pullanma olursa deney numunesi kırılmış sayılır. Bu son darbe, darbe sayısının hesaplanmasında dikkate alınmaz. Darbe dayanımı ise aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilmektedir.

$$D_n = n.(n+1) \quad (2.33)$$

Burada,

D_n	Mermerin dayanımı, kgcm/cm^3
n	Kırılmaya neden olan darbe sayısı

2.2.6 Aşınma dayanımı

Aşınma dayanımı, mermerin yüzeyindeki aşındırıcı maddelerle meydana getirilen aşınmaya karşı direncidir. Ticari tanım kapsamındaki her tür mermer için bilinmesi gereken sürtünme etkisi ile oluşan aşınma kayıpları, genellikle karbonatlı kayalarda yüksek, mineral içeriği ve içerdiği minerallerin özellikleri nedeni ile sert taş olarak nitelenen magmatik kökenli taşlarda ise düşüktür.

Mermerlerin aşınma dayanımlarının belirlenmesi için TS 699'a uygun olarak 71 mm ebatlarında küp numuneler hazırlanmaktadır. Bu numuneler önce 105°C 'de kurutularak tartılır ve tartım sonuçları kaydedilir. Daha sonra numuneler Şekil 2.16'da görülen Böhme yüzey aşındırma cihazında yüzey aşındırma deneyine tabi tutulur.

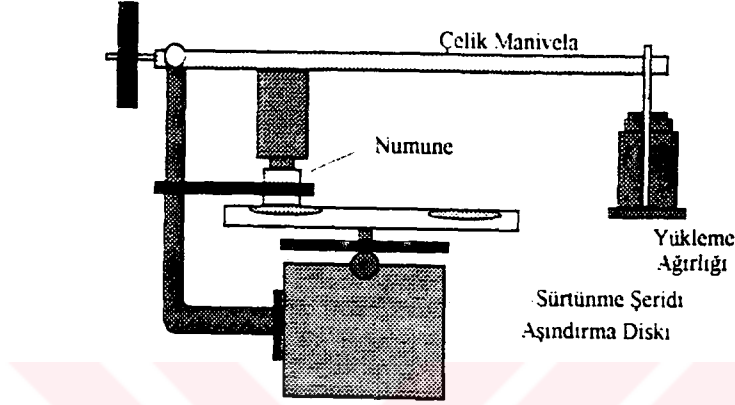
Deneyde kullanılan Böhme yüzey aşındırma cihazı, 30 dev /dak hızla dönmesi ayarlanabilen 750 mm çapında bir aşındırma diskinde sahiptir. Devir sayısını gösteren bir numaratör vardır. Her 22 devir sonunda disk otomatik olarak durmaktadır. Örneği tutacak ve 350 kg yük yükleyecek düzenek mevcuttur. Deneylerde 20 gr zımpara tozu sürtünme şeridi üzerine serpilir ve çelik manivela aracılığı ile 30 kg'lık yük uygulanarak deney örneğinin sürtünme şeridini 0.6 kg/cm^2 'lik bir basınçla bastırılması sağlandıktan sonra disk döndürülür. 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk üzerinden zımpara tozu ve örnek artıkları temizlenir. Yeniden zımpara tozu konulur ve örnek düşey eksen etrafında 90° çevrilir. Her örnek için 22 devirlik 20 aşınma periyodu uygulanır. Deneylerdeki ağırlık kaybından hareketle hacim azalması aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanır.

$$\Delta m = M_i - M_s \quad (2.34)$$

$$\Delta m = \frac{\Delta V}{dh} \quad (2.35)$$

Burada;

Δm	: 50 cm ² 'lik yüzeyde meydana gelen aşınma oranı, gr/cm ²
M_i	: Aşınma öncesi ağırlık, gr
M_s	: Aşınma sonrası ağırlık, gr
d_h	: Birim hacim ağırlığı, gr/cm ³
ΔV	: 50 cm ² 'lik yüzeydeki hacim kaybı, cm ³ /50cm ²



Şekil 2.16 Böhme yüzeysel aşınma cihazı. (Şentürk vd.,1996)

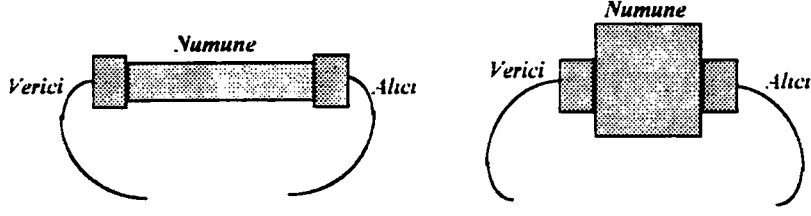
2.2.7 P-S dalga hızları ve dinamik elastisite katsayıları

Mermerlerin dinamik elastisite katsayıları, silindirik ve/veya kübik olarak hazırlanan deney numuneleri üzerinde ultra ses ölçüm deneylerinin analizi ile belirlenmektedir. Alt ve üst yüzeyleri hassas şekilde düzeltilmiş örnekler, bu yüzeylere gres sürülerek sismik analizatörü iki transdüsrü (alıcı-verici) arasına yerleştirilerek impuls'ın geçme süresine bağımlı olarak sismik hız ölçüm aletinin kalibrasyonu yapılır. Sonrasında, deney numuneleri her iki transdüsrü uçları arasına yerleştirilerek, P ve S dalga hızlarının örneği bir uçtan diğer uca geçmesi için gerekli net süreler belirlenerek kaydedilir (Şekil 2.17). Aşağıdaki ilişki yardımıyla da dalga hızları hesaplanır.

$$V = \frac{L}{t} \quad (2.36)$$

Burada,

V	: P ve S dalga hızı, m/sn
L	: Örnek kalınlığı, m
t	: Dalganın örneğe geçme zamanı, sn



Şekil 2.17 Ultrases hız ölçüm deneyi. (Şentürk vd.,1996)

Deney sonucu mermerlerin P (boyuna dalga boyu) ve S (enine dalga boyu) dalga hızları belirlenerek, dinamik elastisite modülü, rijitlik modülü, bulk modülü ve Poisson oranı aşağıdaki bağıntılar yardımı ile belirlenebilmektedir.

- Boyuna belirsiz ortam hızı;

$$Vp^2 = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)\rho} \quad (2.37)$$

- Dinamik elastisite modülü;

$$E = \rho Vp^2 \cdot \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad (2.38)$$

- Enine dalga hızı;

$$Vs^2 = \frac{E}{2(1+\nu)\rho} \quad (2.39)$$

- Rijitlik modülü (G);

$$E = 2 \cdot \rho \cdot Vs^2 \cdot (1+\nu)$$

$$2 \cdot E = (1+\nu)$$

$$G = \rho \cdot Vs^2 \quad (2.40)$$

- Poisson oranı

$$\nu = \frac{1}{2} \left| \frac{(Vp/Vs)^2 - 2}{(Vp/Vs)^2 - 1} \right| \quad (2.41)$$

Bu eşitliğe bağlı olarak dinamik elastisite modülü ve bulk modülü şu şekilde belirlenebilmektedir.

$$E = \rho.V_s^2 \left| \frac{3.(V_p/V_s)^2 - 4}{(V_p/V_s)^2 - 1} \right| \quad (2.42)$$

$$K = \rho.V_s^2 \left| \frac{V_p}{V_s} - \frac{4}{3} \right| \quad (2.43)$$

Burada,

V_p	: Belirsiz ortam şartında boyuna dalga hızı, m/sn
E	: Elastisite modülü, kg/cm ²
ν	: Poisson oranı
ρ	: Birim hacim ağırlığı, kg/m ³
G	: Rijitlik modülü, kg/cm ²
E	: Bulk modülü, kg/cm ²

2.2.8 Tabi don tesirine dayanım ve don sonu basınç dayanımı

Don tesirine dayanıklılık ve don sonu basınç dayanımı belirlenmesi amacıyla TS 699'a göre ilgili deney standardı belirlenmiştir.

Deney numuneleri değişmez ağırlığı gelinceye kadar kurutularak 0.1 gr hassasiyetle tartılır. Daha sonra deney örnekleri normal atmosferik şartlarda suya doymun hale getirilerek soğuk hava dolabına konur. Soğutma hızı yaklaşık 4 saatte -20°C'ye düşecek şekilde ayarlanmalıdır. Yaklaşık iki saat bu sıcaklıkta bekletilen deney örnekleri dolaptan çıkarılarak içinde yaklaşık 20°C ± 5°C sıcaklıkta su bulan kaba tamamen daldırılır ve en az iki saat bekletilerek buzların tamamen erimesi sağlanır. Bu işlem 25 kez tekrarlanır. Donma çözülme işlemleri sonunda deney örnekleri 110°C ± 5°C sıcaklıkta etüvde değişmez ağırlığa erişene kadar kurutulup 0.1 gr hassasiyetle tartılır.

Tabi don tesirine dayanım deneylerinde koparak ayrılan kısımların sebep olduğu kütle azalması (don kaybı) şu eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$Dk = \frac{G_o - G_k}{G_o} . 100 \quad (2.44)$$

Burada,

- Dk : Don kaybı, %
 Go : Örneğin deney öncesi kütlesi, gr
 Gk : Örneğin deney sonrası kütlesi, gr

Tabi don tesiri sonucu basınç dayanımında meydana gelen azalma ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir.

$$\Delta\sigma_{cd} = \frac{\sigma_c - \sigma_{cd}}{\sigma_c} \quad (2.45)$$

Burada;

- $\Delta\sigma_{cd}$: Tabi don tesiri ile basınç dayanımında meydana gelen azalma, %
 σ_c : Tabi don deneyi uygulanmamış mermerin tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm²
 σ_{cd} : Tabi don sonrası deneyi, mermerin ortalama tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm²

2.2.9 Schmidt darbe çekici ile yüzey sertlik endeks belirleme

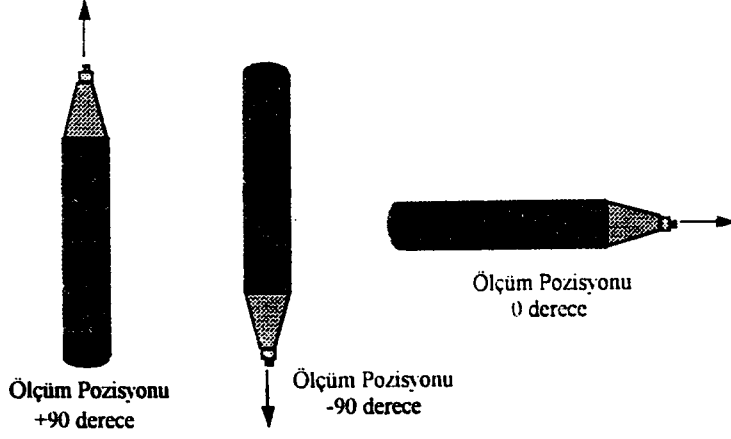
Schmidt darbe çekici, blok mermerler üzerinde mermerin yüzey sertlik endekslerini belirlemeye yarayan bir alettir. Endüstriyel olarak kullanılan L tipi ve N tipi Schmidt darbe çekici, üç farklı konumda (Şekil 2.18) mermer yüzeylerinde ölçüm değerleri, çekicinin skalasından okunur. Her tür çekicinin kendi üzerinde, yüzey sertlik endeks parametresine bağlı ilişki grafikleri bulunmaktadır. Bu grafik yardımıyla, tek eksenli basınç dayanım değeri yaklaşık olarak tahmin edilebilmektedir. Çekicinin düşey ekseninden okunan değer, mermerin ortalama tek eksenli basınç değerini vermektedir. Maksimum ve minimum üç değeri ise;

$$W_{\max} = Vm + \Delta$$

$$W_{\min} = Vm - \Delta$$

(2.46)

yaklaşımları ile belirlenebilmektedir.



Şekil 2.18 Schmidt darbe çekici ile ölçüm pozisyonları. (Şentürk vd., 1996)

Çizelge 2.3 Taşların fiziksel ve mekanik özellikleri.

Taşın Cinsi	Sertlik Mohs	Birim Hacim Ağırlığı gr/cm ³	Özgül Ağırlık gr/cm ³	Atm. Basıncında Su Emme %	Porozite %	Basıncı Direnci kgf/cm ²	Don Sonrası Basıncı Direnci kgf/cm ²	Darbe Direnci kgf/cm ²	Eğilme Direnci kgf/cm ²	Ortalama Aşınma Direnci cm ³ /50cm ²
Yunus Emre/Onyx	3	2,71	2,73	0,5	0,5	1053	890			28,5
Milas Leylak	3	2,72	2,74	0,2	0,2	1019	1019	23	141	17,7
Milas N.York	3	2,71	2,74	0,22	0,22	1019	1019	23	141	16,9
Marmara	3	2,7	2,7	0,13	0,2	740	690			6,5
Sazara Gri	3		2,73	0,13	0,36	1065	886			20,5
Ege Gül	3-4.	2,71	2,74	0,182	0,182	566	407	8,39	118	23,1
Yasemin	3-4.	2,73	2,79	0,4	0,4	1019	1019	4	174	18,7
Afrodit Siyah	3-4.	2,73	2,78	0,4	0,3	889	937	70	180	16
Süpren Salome	3-4.	2,73	2,79	0,4	0,4	1019	1019	4	174	18,7
Açık Rozalya	3-4.	2,68	2,74	0,49	0,49	1238	970	4	338	7,72
Ege Bordo	3-4.	2,75	2,77	0,2	0,6	738	727			22,52
Ege Füme	4	2,67	2,68	0,5	0,6	710	710	7	90	17
Hazar Pembe	4	2,7	2,72	0,5	0,5	1019	1019	4	170	14,1
Kütahya Kaplan P.	4	2,71	2,73	0,2	0,2	648	447	11	65	33,3
Kemer Beyaz	4	2,7	2,72	0,37	0,38	533	427	2	320	8,54
Gölpazarı Beji	4	2,74	2,74	0,1	0,4	1019	1019			12,2
Yatağan Beyaz	4		3,2		0,6	420	360			19,56
Antik Yeşil	6-7.		2,7	0,6		1300				7,65

3. ELMAS TESTERELERİN MİKRO YAPISI

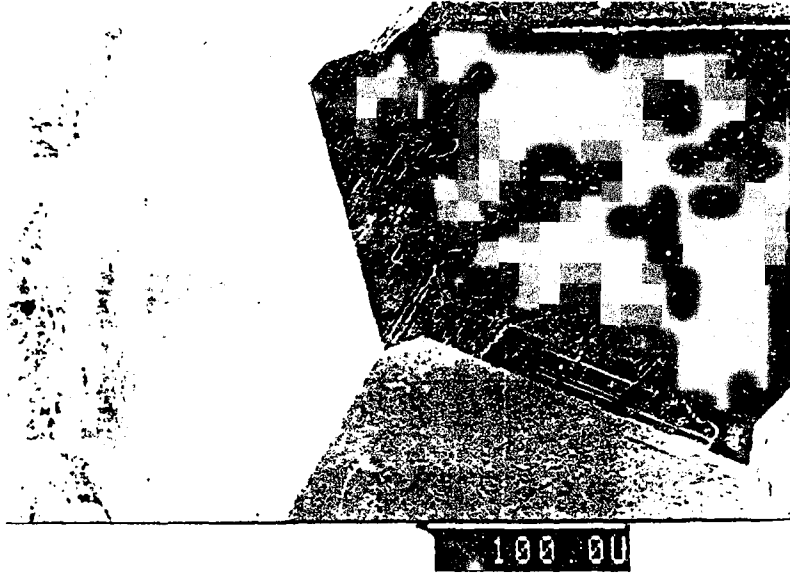
3.1 Elmas Kesici Takımların Avantajları

Elmas kesici takımların avantajları arasında, mükemmel iş parçası kalitesi ve azalan maliyet gösterilebilir. Bunun yanı sıra, azalan fire, artan prodüktivite, düşen tezgah duruş süresi ile elmaslı kesici takımlar tasarruf sağlarlar. Kesici takımların sertliğinin ve abrasif aşınmaya karşı direncinin yüksek olması sonucu, işleme yüzeyi çok kaliteli olmaktadır. Ayrıca uzun kesici takım ömrü ve kesintisiz çalışma olanağı ile iş parçasında yüksek boyutsal hassasiyet elde edilmektedir.

3.2 Bağ Karakteristiği

Elmas yüzeyi ile onu çevreleyen metal matriks arasında çoğunlukla bir reaksiyon olur. Bu reaksiyonun sürmesi, metal tozlarının bileşimini, partikül boyutuna ve dağılımına, proses sıcaklığına ve süreye bağlıdır. Elmaslı kesici takımın performansı ile işlem kalitesinin belirleyen önemli bir faktör, sıcak preslemede basınç, sinterleme sıcaklığı ve zamanın bir fonksiyonu olarak oluşan bağ karakteristiğidir. Zayıf elmas-matriks bağlantısı ile matriks içerisindeki oksit filmleri ve inklüzyonlar çoğunlukla çatlak başlatıcı rolünü üstlenir. Elmas tanecikleri de iç yapısal hatalarının yanı sıra boyut, şekil ve yer dağılımları ile hata olarak devreye girebilir. Kesilecek malzemeye göre elmasın doğru seçimi, kesici takımın performansı bakımından son derece önemlidir. Kesme işlemi üstlenen keskin yüzeyli kübik-oktahedral kristalin SEM görüntüsü Şekil 3.1'de görülmektedir. Kristalin yüzeyindeki pürüzlülük kuvvetli bağ oluşumuna işaretir. Bu tip elmaslar doğal taş kesimi için oldukça elverişlidir.

Elmas yüzeyi ile elması çevreleyen matriks arasındaki kuvvetli bağları gösteren SEM görüntüsü Şekil 3.2'de verilmiştir. 1000⁰C'den daha düşük sıcaklıklarda oluşturulan bağlar, elmasa herhangi bir zarar vermeden kesici takımın performansını üst düzeye taşıyabilmektedir. Bu sıcaklıkların üzerinde kesici takımdaki elmasın yüksek sıcaklıklarda grafitleşme ve böylece bozunma problemi ortaya çıkar. Bu nedenle daha sert evrelere ulaşmak dolayısıyla maksimum sertliği elde etmek uğruna elmasa gereksiz yere zarar vermemek için yüksek basınçta, düşük sıcaklıklar ve daha uzun sürelerle gidilir. Bu tip bağlar genellikle Co, Ni, Fe, Cu-Sn veya bu metallerin kombinasyonu ile oluşturulur.



Şekil 3.1 Kübik-oktahedral kristallerin sem görüntüsü

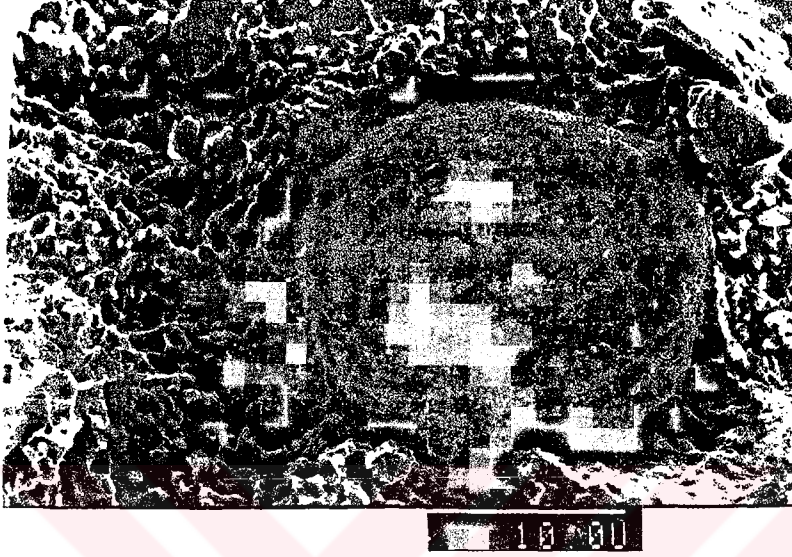


Şekil 3.2 Elmas yüzeyi ile elması çevreleyen matriks arasındaki kuvvetli bağları gösteren SEM görüntüsü.

3.3 Kesici Takım Dizaynı

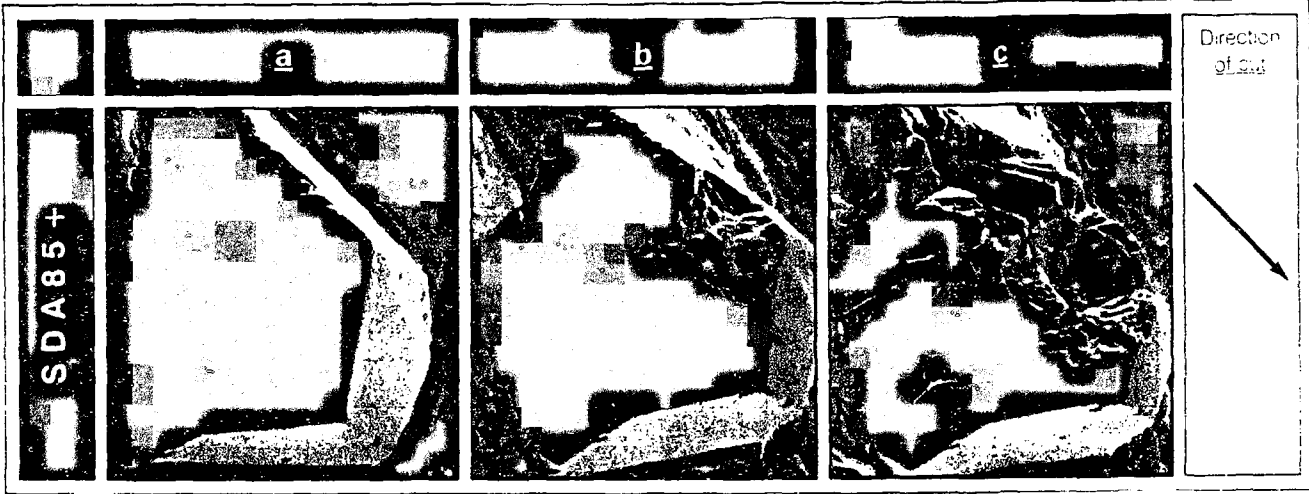
Başarılı bir elmaslı kesici takım dizaynı, yüksek kaliteli matriks tozları ile elmasların uygun seçimi ile başlar. Matriks herhangi bir zarar vermeden elmas taneleri sıkı bir şekilde tutmalıdır ve kesme süresince belirli bir aşınma göstererek, hem mikro düzeyde sabanlama yapan elmas tanesinin uç kısmının rahat işlem yapması, hem de talaş akışının rahat gerçekleşmesini sağlamalıdır. Takım performansı için elmas-matriks arasında bağ son derece etkindir. Toz metalürjisi teknikleri ile oluşturulan bu tip kesici-aşındırıcı malzeme yapılarında

dikkat edilmesi gereken en önemli faktör temizliktir (çalışma ortamının temizliği, kullanılan tozlar ile elmasların temizliği). Ayrıca teknolojik üretimde sıcak preslemede sinterlemenin, ideal matriksin mikroyapısal oluşumunu sağlaması gerekir. Şekil 3.3'de sıcak presleme karakteristiğinin uygun olmaması nedeni ile sinterlenmeden kalmış tozun SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.3 SEM sıcak presleme sırasında sinterlenmeden kalmış tozun SEM görüntüsü

Kesici takım üzerindeki elmasların, abrasif aşınmadaki mikro sabanlamaya karşı koyması gerekmektedir. Aksi halde elmasların kesici köşeleri mikro kırılmalarla körleşecek, dolayısıyla kesici takımın performansı son derece düşük olacaktır. Matriksin kesme işlemi sürecinde sürekli olarak aşınması sonucu değişik yüzey altı elmas tanecikleri yüzeye gelerek kesme işlemini sürdürür. Matriksin çok yumuşak olması, elmasların görevini tam olarak yapamadan yerinden çıkmasına neden olur. Çok sert bir matriks ise, yüzeydeki elmas tanelerin körlenmesine ve kesme işlemini sürdürmek üzere alttan gelecek yeni elmasların, sürekli olarak yeni kesici yüzeyler çıkarmasını engelleyecektir. Bir matriksin sertleşmesi kesici takımın ömrünü artırır, fakat kesme hızını düşürür. Buna karşılık, yumuşatılan bir matriksin ömrü düşerken kesme hızı artar. Bu nedenle, bu çelişkiler arasında bir optimum değer belirlenmelidir.

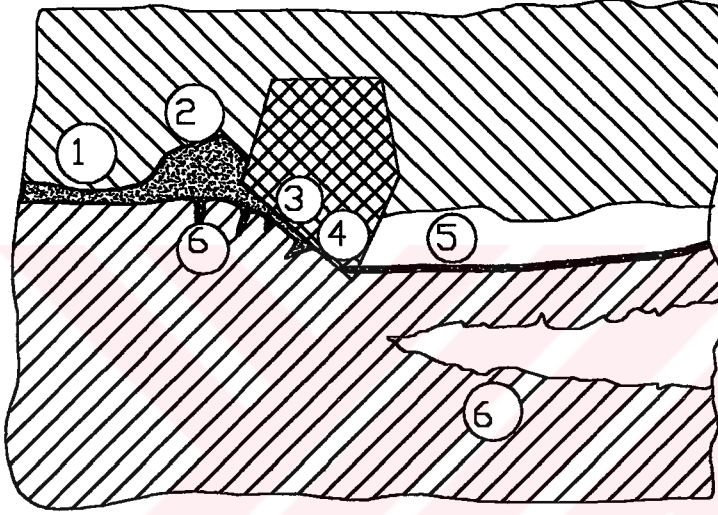


Şekil 3.4 Elmas tanesinin malzeme ile teması sonrası zamanla aşınmasını gösteren SEM görüntüsü.

4.1 ve 4.2 nolu eşitliklerden aşağıdaki eşitlik çıkarılabilir.

$$h_{eq} = a_e \cdot \frac{v_f}{v_c \cdot \lambda} \quad (4.3)$$

4.3 nolu denkleme dikkatle baktığımızda, yüksek kesme hızlarında talaş kalınlığının düştüğünü ve matriksdeki yüklenmenin azaldığını görürüz. Yüksek ilerleme hızlarında ise, talaş kalınlığı, kesme oranı ve matriksdeki yüklenme artmaktadır.



Şekil 4.2 Kesme işlemi esnasında testere ve malzeme arasında oluşan mekanik etkileşim.

Bu yüzden, optimum verimliliği başarabilmek için iki strateji uygulanabilir.

- İstenilen tam kesme derinliği, orta besleme oranında tek strokta başarılabilir.
- Ya da, düşük kesme derinliği ile yüksek besleme oranında birkaç strokta yapılabilir.

İkinci olasılık eğer karşılıklı kesme yapılmıyorsa pek tercih edilmez. Eğer aşağı kesim yapılıyorsa, en fazla verim tam kesme derinliğinde elde edilir. Ancak testerenin geri dönme zamanı olabildiğince azaltılması gerekir. Çok stroklu kesimler taşın sert olması ve matrikse kaldıracabileceğinden fazla yüklenme yapması sebebiyle, granit ve benzeri kayalarda uygulanır.

Buradan ortalama talaş kalınlığı yardımıyla, kesme kuvveti ve motor gücüne geçilebilir.

Kesme kuvveti;

$$F_s = z_e \cdot b \cdot h_{eq} \cdot k_s \quad (4.4)$$

Burada,

F_s	kesme kuvveti
z_e	kesmeye giren diş sayısı
b	matriks genişliği
h_{eq}	ortalama talaş kalınlığı
k_s	özgöl kesme katsayısı

$$z_e = z \cdot \frac{\alpha}{360} \quad (4.5)$$

Burada;

z	testeredeki matriks sayısı
α	kesme kavrama açısı

Formüllerdeki z ve b ölçüleri ve testere ile ilgili diğer bilgiler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Kesme kuvvetinden hareketle, motor gücü;

$$P_s = \frac{F_s \cdot V}{1000} \quad (4.6)$$

formülüyle bulunur. Burada,

P_s	motor gücü, Kw
V	talaş hacmi, cm^3/dak

$$V = \frac{a_e \cdot b \cdot v_{ft}}{1000} \quad (4.7)$$

Çizelge 4.1 Çaplarına göre testerelelerin geometrik özellikleri ve su ihtiyaçları

ÇAP mm	GÖVDE KALINLIĞI mm	SOKET ADEDİ	SOKET ÖLÇÜLERİ mm		GÖBEK ÇAPI mm	MIN. FLANŞ ÇAPI mm	GÖVDE AĞIRLIĞI kg	SU KANALI DERİNLİĞİ	SU KANALI GENİŞLİĞİ mm	MIN. SU İHTİYACI lt/dak
			BOY	EN YÜK						
200	1,2	15	30	2,2	7	30	0,3	12	3	6 10
250	1,6	18	30	2,2	7	30	0,6	14	3	6 10
300	1,8	21	40	2,8	7	60	1	14	3	10 15
350	2,2	25	40	3,3	7	60	1,6	14	3	10 15
400	2,5	28	40	3,7	7	60	2,5	14	3	10 15
450	2,8	32	40	4,1	7	60	3,5	14	3	15 22
500	2,8	36	40	4,1	7	60	4,3	14	3	15 22
600	3,5	42	40	5	7	60	7,7	14	3	20 30
800	4,5	46	40	6,2	7	100	17,7	14	12	30 45
900	5	64	24	7,2	7	100	25	18	18	40 60
1000	5	70	24	7,2	7	100	31	18	20	40 60
1200	5,5	80	24	8	8	100	49	18	22	50 75
1400	6	92	24	9,5	9	120	72	18	22	60 90
1600	7	104	24	10	9	120	110	18	22	60 90
1800	7	120	24	12	10	150	140	18	22	70 120
400ST	3,2	24	40	6,2	7	60	3,1	14	12	10 15
450ST	3,2	26	40	6,2	7	60	4	14	12	10 15
LAMA	3,5	*	20	5,2	7	*	5kg/mt	*	*	15 20

Yalnız 4.4. nolu formüldeki k_s katsayısı araştırdığım doküman ve kaynaklarda ulaşamadığı için, testere firmalarının, araştırmalar sonucu tablolar haline getirdiği, testerelecilerin çaplarına göre deneysel çalışmalar sonucu bulduğu motor güçlerinden geri dönüşüm yolu ile çıkartılmıştır ve değişik malzemeler için Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Mermerlerde testere çaplarına ve kesme derinliğine göre k_s katsayıları.

ÇAP (mm)	MOTOR GÜCÜ (kw)	KESME DERİNLİĞİ (mm)	KESME KUVVETİ (N)	ORTALAMA TALAŞ KALINLIĞI heq (mm)	ÖZGÜL KESME KUVVETİ k_s (N/mm ²)
200	2,94	5,5	1781,8182	3,8760	69,6529
250	2,94	7	1781,8182	4,0258	50,2959
300	7,36	8,5	3504,7619	3,0788	101,6381
350	7,36	10	2973,7374	3,0612	58,8740
400	7,36	12	2652,2523	3,1146	46,0297
450	11,04	14	3590,2439	3,0839	47,3251
500	11,04	16	3590,2439	3,0637	40,8312
600	14,72	20,5	3925,3333	3,1888	27,3552
800	29,44	28	5275,9857	4,6584	18,2674
900	29,44	32	4543,2099	6,1678	7,8697
1000	36,8	37	5679,0123	6,3025	8,3432
1200	44,16	44	6133,3333	6,6964	6,7346
1400	55,2	53	4842,1053	9,0580	2,8135
1600	55,2	60	4600,0000	8,7413	2,3920
1800	55,2	69	3833,3333	8,3333	1,4744

Çizelge 4.3 Testere çaplarına göre motor gücü ve devirleri.

ÇAP	QUARTZLI GRANİT		DÜŞÜK QUARTZLI GRANİT		MERMER		TRAVERTEN		KUM TAŞI	
	Beygir gücü HP	dev/dak	Beygir gücü HP	dev/dak	Beygir gücü	dev/dak	Beygir gücü	dev/dak	Beygir gücü HP	dev/dak
200	3	2600	3	3300	4	4300	4	5000	4	5200
250	3	2100	3	2700	4	3450	4	4000	4	4200
300	7,5	1700	7,5	2200	10	2900	10	3300	10	3500
350	7,5	1500	7,5	1900	10	2450	10	2800	10	3000
400	7,5	1300	7,5	1700	10	2150	10	2500	10	2600
450	15	1100	15	1500	15	1900	15	2200	15	2300
500	15	1000	15	1300	15	1700	15	2000	15	2100
600	20	850	20	1100	20	1400	20	1700	20	1800
800	30	650	30	800	40	1050	40	1250	40	1300
900	30	550	30	750	40	950	40	1100	40	1200
1000	40	500	40	650	50	850	50	1000	50	1100
1200	50	400	50	550	60	700	60	850	60	900
1400	75	350	75	500	75	600	75	700	75	750
1600	75	330	75	400	75	550	75	600	75	650
1800	75	300	75	375	75	500	75	550	75	600

4.2 İkinci Yaklaşım

Bir diğer araştırma sonucu, dairesel testerelele kesim yaparken, testerenin çapına ve testere genişliğine bağlı olarak, aşağıdaki formüllerle gerekli motor gücü için yaklaşımlarda bulunulabilmektedir. Bu formüller sonucunda testere çaplarına ve kesme derinliklerine göre motor güçleri Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

$$\text{Güçlü makinalarda} \quad P_s = 8.b + 0,2 \cdot \frac{D}{2} \quad (4.8)$$

$$\text{Normal güçlü makinalarda} \quad P_s = 3.b + 0,12 \cdot \frac{D}{2} \quad (4.9)$$

olarak verilmiştir.

Çizelge 4.4 Testere çapı ve kesme testere genişliğine bağlı motor güçleri.

ÇAP mm	200	250	300	350	400	450	500	600	800	900	1000	1200	1400	1600	1800
KESME DERİNLİĞİ cm	5,5	7	8,5	10	12	14	16	20,5	28	32	37	44	53	60	69
GÜÇLÜ MAKİNALARDA MOTOR GÜCÜ kw	4,6	5,85	7,1	8,4	10	12	13	17	23,2	26,5	30,6	36,4	43,8	49,6	57
NORMAL MAKİNALARDA MOTOR GÜCÜ kw	1,8	2,25	2,7	3,2	3,8	4,5	5,1	6,51	8,88	10,1	11,7	13,9	16,7	19	21,8

4.3 Üçüncü Yaklaşım

Bu yöntemde kayaların kesilebilirliğinin bulunması amacıyla Nottingham Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmanın sonuçları ve parametreler arasındaki istatistiksel ilişkiler sunulmaktadır. Pratik kesme deneyleri İngiltere'deki De Beers firmasının Elmas Bölümü Teknik Servisi'nde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar üzerinde yapılan istatistiksel faktör ve regresyon analizleri sonucunda kayaların kesilebilirliği hakkında hızlı ve güvenilir bir yöntem geliştirilmiştir(Cassapi, Ünver ve Singh 1987).

4.3.1 Seçilen numuneler ve petrografik özellikleri

Kesme deneyleri için 7 adet granit türü kaya ve 1 adet kumtaşı numunesi seçilmiştir. Seçilen numuneler ve değişik mineralojik ve sertlik özellikleri Çizelge 4.5.'de sunulmuştur. Numunelerin özellikle sağlam ve fiziksel ve kimyasal olarak aşınmamış olmasına özen gösterilmiştir. Numunelerden hazırlanan ince kesitler analiz edilerek, kayaların kesilebilirliğini etkilemesi açısından kuvars ve fedspat (plajiyoklaz ve ortoklaz) miktarları ve tane boyutları belirlenmiştir (Cassapi 1987).

Çizelge 4.5 Numunelerin değişik petrografik özellikleri.

Numune numarası	Ortalama Mohs Sertlik Sayısı	Kaya Türü	Kuvars		Plajiyoklaz		Ortoklaz		Diğer
			%	Tane Boyutu mm	%	Tane Boyutu mm	%	Tane Boyutu mm	%
1	5,85	Gri Granit	15	1-4.	40	1-5.	35	3-10.	10
2	6,05	Pembe Granit	20	0-5	20	0,7-2.			50
3	5,63	Larvekit					80	4-7.	20
4	6,05	Kırmızı Granit	30	3-8.	13	1-6.	50	1-1,5.	7
5	4,76	Diorit	20	0,1-0,4	45	0,5-1,5			35
6	6,38	Gabro			50	1-8.			50
7	6,32	Kırmızı Granit	25	0,5-3	20	1,5-5.	55	2-6.	
8	5,9	Kumtaşı	70	0,125-0,25	%30 bağlayıcı olarak				30

4.3.2 Kayaç mekanik özelliklerinin bulunması

Numunelerin petrografik ve ince kesit analizleri yapıldıktan sonra her numune üzerinde kesme deneyi ile birlikte çeşitli mekanik özelliklerin bulunması amacıyla bir dizi deney yapılmıştır. Çizelge 4.6'da aşağıda sıralanan deney sonuçları aşınma oranları ve kesme kuvvetleri ile birlikte verilmiştir. (Cassapi 1987; Cassapi, Ünver ve Singh 1987).

- Tek eksenli basma dayanımı deneyi,
- Tek eksenli çekme dayanımı deneyi,
- Shore Skeleroskop sertlik endeksi deneyi,
- NCB konik sertlik endeksi deneyi,
- Cerchar aşınma endeksi deneyi,
- Kesme kuvvetlerinin bulunması,

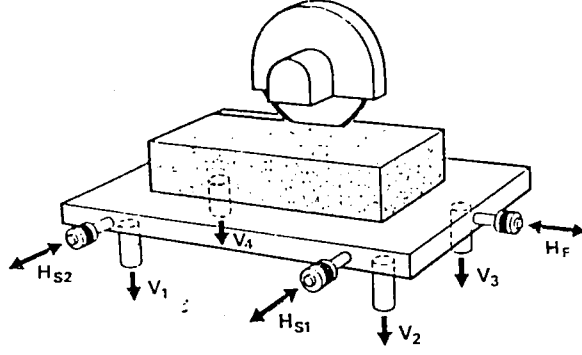
Numunelerin özellikle sağlam ve fiziksel ve kimyasal olarak aşınmamış olmasına özen gösterilmiştir. Numunelerden hazırlanan ince kesitler analiz edilerek, kayaların kesilebilirliğini etkilememesi açısından kuvars ve feldspat (plajiyoklaz ve ortoklaz) miktarları ve tane boyutları belirlenmiştir. (Cassapi 1987).

Çizelge 4.6 Numune mekanik özelliklerinin özeti.

Numune No	Birim Aşınma (mm/m ²)	Kesme Kuvveti (N)	Skleroskop Sertlik Endeksi	Konik Delici Sertlik Endeksi	Cerchar Aşınma Endeksi	Tek Eksenli Basma Dayanımı (Mpa)	Tek Eksenli Çekme Dayanımı (Mpa)
1	0.129	980	91.77	12.49	3.46	166.5	8.06
2	0.064	780	94.4	7.98	3.60	174.7	7.52
3	0.055	780	92.0	13.84	3.58	192.27	8.78
4	0.204	1075	98.90	16.04	2.84	158.88	6.87
5	0.030	700	81.08	9.89	3.75	194.77	11.89
6	0.085	830	82.00	14.04	3.32	211.80	12.51
7	0.124	915	97.10	12.43	3.98	190.06	10.89
8	0.019	300	42.5	2.77	2.12	83.68	4.52
Ortalama Değerler	0.08875	795	84.96	11.18	284	171.58	8.88

4.3.3 Kesme deneyleri

Kesme deneyleri Dairesel Gregori Testere'si kullanılarak yapılmıştır. (Cassapi 1987). Kesici tezgahı, 350-4350 devir/dakikalık bir dönüş hızına olanak veren 95 kW gücünde ve doğru akımla çalışan bir motorla tahrik edilmiştir. Kesme deneyleri yapılırken yük algılayıcıları kullanılarak kesme yükleri ölçülmüştür. (Cassapi 1987). Şekil 4.3'de yük algılayıcılarının yerleştiriliş düzenini göstermektedir.



Şekil 4.3 Sabit kesicili deney düzeneği ve yük algılayıcılarının konumu.

Kesme deneyleri sırasında oluşan kuvvetler doğru akıma bağlanmış olan birim deformasyonlu kuvvet algılayıcıları (sealed strain gauged force transducers) tarafından grafiksel kaydediciye gönderilmiştir. Düşey kuvvetler birbirlerine paralel olarak bağlanmış olan V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , yatay kuvvetler H_{s1} ve H_{s2} ve besleme kuvveti ise H_f algılayıcıları kullanılarak bulunmuştur.

Kesme deneyleri 600 mm çapında ve yüksek kaliteli sentetik elmas içeren bir dairesel testere kullanılarak yapılmıştır. Elmasların (SDA100) boyutu 30-40 meş olup bıçak üzerindeki konsantrasyonu 30'dur. (Konsantrasyon 100, kesici bıçak matrisinin bir cm^3 'ünde 4.4 karat elmasa eşittir). Dairesel testerenin çevresel kesme hızı 2100 m/dakika, kesme hızı 300 cm/dakika ve kesme derinliği 10 mm olarak seçilmiştir (Cassapi 1987).

4.3.4 Dairesel bıçaklarda aşınma

Taşların kesişmesinde kullanılan bıçaklardaki aşınma çevre boyunca dolgu malzemesinin ve elmas parçacıklarının aşınması eşit ve düzenli bir şekilde olmalıdır (Buttner 1974). Kesici bıçağın çevresi boyunca içinde elmas bulunan dolgunun aşınma oranı elmas parçacıklarının aşınma oranından daha fazla olduğu zaman elmas parçacıklarının dökülmesi nedeniyle aşınma erken olmaktadır. Buttner (1974), elmas parçacıklarının durumunu bıçağın ömrü boyunca dört aşamada incelemiştir:

- 1- Elmas parçacıklarının dolgu maddesi ile kaplı olması,
- 2- Dolgu maddesinin aşınması sonucunda elmas parçacıklarının kesilen taş ile temas etmesi,
- 3- Kesme işlemi sırasında elmas parçacıklarının aşınması,
- 4- Dolgu maddesinin aşınması ve elmas parçacıklarının yerinden koparılması.

4.3.5 Deney sonuçlarının istatistiksel analizi

Deneylerden elde edilen sonuçların istatistiksel analizini verimli bir şekilde yapabilmek için değişkenler bağımlı ve bağımsız olmak üzere iki gruba ayrılmıştır.

Aşınma oranı ve kesme kuvveti kesilecek kayacın petrografisine, mineralojisine ve değişik mekanik özelliklerine bağımlı olarak değişmektedir. Böylece aşınma oranı (specific wear rate mm/m^2) ile bağımsız değişkenler arasında ilişki kurulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, istatistiksel analiz yapılmasında aşağıdaki işlem sırası takip edilmiştir.

- 1- Yapılan her deney için ayrı ayrı aşınma oranları ile kayaç özellikleri arasındaki ilişkinin istatistiksel faktör analizi sonucu belirlenmesi,
- 2- Değişik mineralojik, petrografik, endeks ve kayaç mekanik özelliklerinin aşınma üzerindeki birleşik etkilerinin belirlenerek çok değişkenli regresyon analizinin yapılması,
- 3- Aşınma oranına en çok etki eden faktörler kullanılarak, aşınma oranlarının sağlıklı ve güvenilir bir şekilde önceden tahmin edilebilmesini sağlayacak olan çok değişkenli regresyon denklemlerinin bulunması.

4.3.5.1 Aşınma oranları ve kayaç özellikleri arasındaki ilişkinin istatistiksel faktör analizi ile bulunması

Mineralojik ve petrografik incelemeler ve değişik deneyler sonucu elde edilen sonuçlar ICL 3100 seri bir sistem bilgisayara yüklenmiş ve Penn State Üniversiteesi tarafından yazılmış olan "Minitab" adlı istatistiksel analiz paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. İlk olarak, aşınma oranları ile değişik kayaç özellikleri ile ilgili parametreler arasındaki ilişkiler bulunmuştur. Bağımlı değişken olan aşınma oranları ile diğer parametreler arasındaki ilişkiler bulunurken önce ilişki grafiksel olarak görülmüş ve baz olarak da korelasyon katsayıları alınmıştır. Çizelge 4.7.'de aşınma oranları ve diğer değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları toplu olarak verilmiştir. Çizelgeden de görülebileceği gibi aşınma oranı ile kuvars tane boyutu, plajiyoklaz tane boyutu, konik nokta sertliği, Shore Skeleroskop ve Mohs sertlik endeksleri arasında oldukça belirgin bir doğrusal korelasyon mevcuttur.

4.3.5.2 Aşınma oranları ve kayaç mineralojik ve mekanik özellikleri arasındaki ilişki

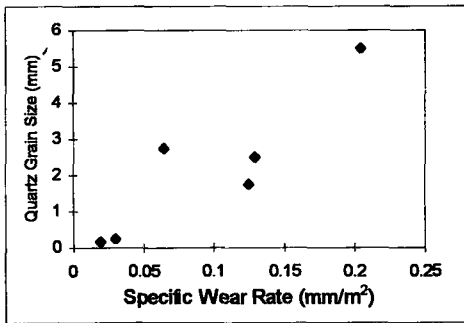
Çizelge 4.6.'da verilen değerler incelendiğinde en sert kayaç olan 4 nolu numune kırmızı granitin kesilmesindeki aşınma, ikinci sert kayaç olan 1 nolu gri granitin kesilmesindeki aşınmadan %58 daha fazla olarak gerçekleşmiştir. 8 nolu numune olan York kumtaşının

kesilmesindeki aşınma en sert numune olan kırmızı granite oranla %90 daha az olmuştur (Cassapi 1987).

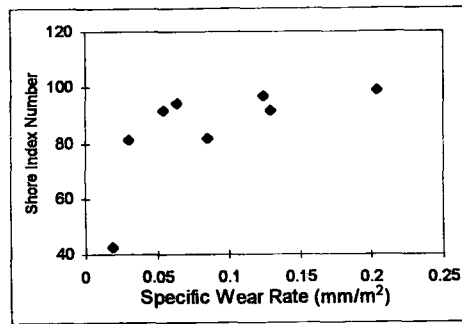
Değişik numunelerin kesilmeleri sırasında oluşan aşınma oranları arasında direkt bir ilişki bulunamamıştır. Bu sonuç, kaya kesimi endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ve kayaç kesilebilirliğinin kuvars içeriği ile açıklandığı ampirik yöntemle bağdaşmamaktadır.

Aşınma oranları ile ortalama kuvars tane boyutu, ortalama plajiyoklaz tane boyutu, Shore Sklerokop ve Mohs sertlik endeksleri arasındaki ilişkiler grafiksel olarak sırasıyla Şekil 4.4, 4.5., 4.6; ve 4.7'de verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi aşınma oranları ile adı geçen parametreler arasında anlamlı bir faktörel ilişki vardır. İstatistiksel olarak, değişik parametrelerin birleşik ilişkilerinin regresyon analizi sonucu bulunması ile çok yararlı bir aşınma oranı tahmin yöntemi geliştirmek mümkündür.

Yapılan faktör analizi sonucunda, tek eksenli basma ve çekme dayanımı deney sonuçlarının aşınma oranları ile anlamlı ilişkilerinin olmadığı gözlenmiştir. Buna karşılık tek eksenli basma ve çekme deney sonuçları ile kesme kuvveti değerleri arasında belirgin bir doğrusal ilişki olduğu anlaşılmıştır. Diğer taraftan, Cerchar aşındırıcılık endeksi değerleri ile aşınma oranları arasında belirgin bir ilişki bulunamamıştır. Bu durumun nedeninin Cerchar aşındırıcılık endeks değerlerinin büyük tane boyutlu kayaçlarda, kayacın genel aşındırıcılık karakteristiğinin bulunması yerine geneli temsil etmeyen tanelerin aşındırıcılık değerinin bulunması olduğu kanısına varmıştır.



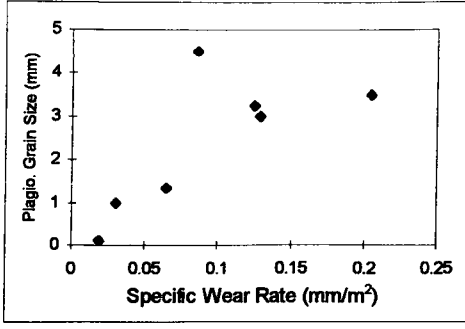
Şekil 4.4 Aşınma oranı ile kuvars tane boyutu arasındaki ilişki.



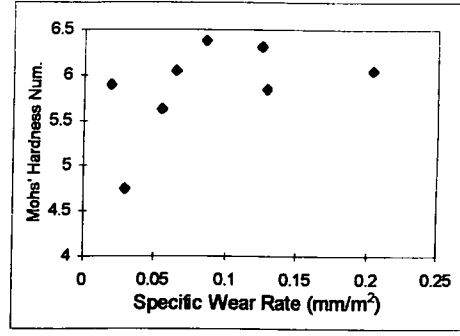
Şekil 4.5 Aşınma oranı ile Shore sertlik endeksi arasındaki ilişki.

Çizelge 4.7 İstatistiksel analiz sonucunda elde edilen, değişkenler arasındaki doğrusal korelasyon katsayıları

	Aşınma Oranı	Kesme Kuvveti	Shore Sertliği	Konik Nokta Sertliği	Carchar Aşındırma Endeksi	Tek Eksenli Basma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Mohs Sertliği	Kuvars Tane Boyutu	Kuvars Yüzdesi	Plajiyoklaz Tane Boyutu	Plajiyoklaz Yüzdesi	Ortoklaz Tane Boyutu
Kesme kuvveti	0,846												
Shore Sertliği	0,641	0,921											
Konik Nokta Sertliği	0,717	0,889	0,801										
Carchar Aşındırma Endeksi	0,064	0,532	0,737	0,457									
Tek Eksenli Basma Dayanımı	0,14	0,608	0,755	0,649	0,869								
Tek Eksenli Çekme Dayanımı	-0,04	0,347	0,401	0,484	0,735	0,834							
Mohs Sertliği	0,461	0,252	0,143	0,188	-0,15	-0,019	-0,312						
Kuvars Tane Boyutu	0,85	0,645	0,53	0,374	-0,078	-0,06	-0,363	0,287					
Kuvars Yüzdesi	-0,17	-0,629	-0,721	-0,741	-0,74	-0,919	-0,701	0,004	0,095				
Plajiyoklaz Tane Boyutu	0,723	0,703	0,475	0,637	0,213	0,41	0,447	0,474	0,412	-0,361			
Plajiyoklaz Yüzdesi	-0,22		-0,324	-0,181	-0,013	0,073	0,43	-0,145	-0,319	-0,006	0,367		
Ortoklaz Tane Boyutu	0,307		0,422	0,42	0,367	0,132	-0,007	0,063	0,06	0,361	-0,033	-0,345	
Ortoklaz Yüzdesi	0,048		0,361	0,348	0,457	0,24	0,122	0,047	-0,212	-0,394	-0,182	-0,561	0,854



Şekil 4.6 Aşınma oranı ile plajiyoklaz tane boyutu arasındaki ilişki.



Şekil 4.7 Aşınma oranı ile Mohs sertlik sayısı arasındaki ilişki.

4.3.5.3 Kesme kuvvetine etki eden faktörler

Kesme kuvvetine etki eden faktörler ve istatistiksel detaylar Çizelge 4.8.'da verilmiştir. Kesme kuvveti ile sertlik endeks değerleri, Cerchar aşındırıcılık endeksi, Plajiyoklaz ve kuvars tane boyutları arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.8 Kesme kuvveti ile değişik parametreler arasındaki istatistiksel ilişki.

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Doğrusal Korelasyon Katsayı	İstatistiksel Güvenilirlik %
Kesme Kuvveti	Shore Sertliği	0.921	99.95
	Konik Nokta Sertliği	0.889	99.95
	Plajiyoklaz Tane Boyutu	0.703	98.75
	Kuvars Tane Boyutu	0.645	98.0
	Tek Eks.Basma Day.	0.608	96.75
	Cerchar Aşındır.End.	0.532	92.50

4.3.6 Kayaların kesilebilirliğinin tahmini için çok değişkenli regresyon analizi

4.3.6.1 Aşınma oranlarının regresyon denklemleri ile tahmin edilmesi

Doğrusal faktör analizinin sonuçları değerlendirilerek aşınma oranına en çok etki eden aşağıdaki beş değişik faktör, çok değişkenli regresyon analizinde kullanılmıştır.

1. Shore sertlik endeksi,
2. Konik nokta sertlik endeksi,
3. Kuvars tane boyutu,
4. Plajiyoklaz tane boyutu,
5. Mohs sertlik endeksi.

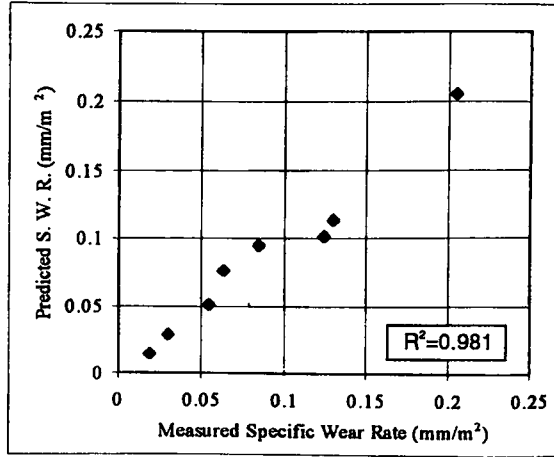
Tek eksenli basma ve çekme dayanımı deney sonuçları ile Shore ve konik nokta sertlik endeks değerleri arasında çok belirgin bir ilişkinin bulunması nedeniyle istatistiksel olarak abartılmış etkiden kaçınmak amacıyla tek eksenli basma ve çekme deneyi sonuçları regresyon analizinde kullanılmamıştır.

Aşınma oranlarının tahmin edilebilmesini sağlayan ve çok değişkenli regresyon analizi sonucunda bulunan formül aşağıdaki verilmiştir.

$$Y = -0.059 - 0.0008 \cdot X_1 + 0.0077 \cdot X_2 + 0.0138 \cdot X_3 + 0.0214 \cdot X_4 + 0.0054 \cdot X_5 \quad (4.10)$$

- | | |
|----------------|-----------------------------------|
| Y | Aşınma oranı (mm/m ²) |
| X ₁ | Shore sertlik endeksi |
| X ₂ | Konik nokta sertlik endeksi |
| X ₃ | Mohs sertlik endeksi |
| X ₄ | Kuvars tane boyutu (mm) |
| X ₅ | Plajiyoklaz tane boyutu (mm) |

Yukarıda verilen regresyon denkleminin korelasyon katsayısı 0.98'dir. Bu değer istatistiksel olarak 4.10 nolu eşitliğin kullanılmasıyla bulunan aşınma oranı değerlerinin %99.99 oranında güvenilir olduğunu belirtmektedir. 4.10 nolu regresyon eşitliğiyle bulunan değerler ile gerçek değerler arasındaki ilişki grafiksel olarak Şekil 4.8'de verilmiştir.



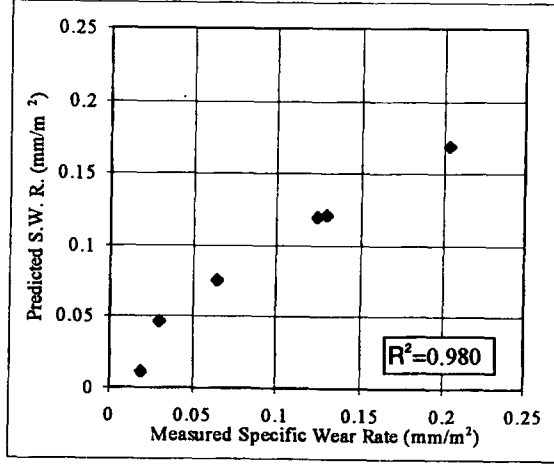
Şekil 4.8 Gerçek aşınma oranı değerleri ile 4.10 nolu regresyon denklemi ile bulunan aşınma oranı değerleri arasındaki ilişki.

4.10 nolu regresyon denkleminde kullanılan Shore sertlik, konik nokta sertlik ve Mohs sertlik endeksleri kayaç sertliği ölçüleridir ve birbirleri ile karşılıklı olarak bağımlıdır. Bu nedenle kayaç sertliğini temsilen konik nokta sertlik endeks değerinin kullanıldığı ve üç değişken ile yapılan regresyon analizi sonucu bulunan regresyon eşitliği aşağıda sunulmuştur.

$$Y = 0.00248 - 0.0018 \cdot X_1 + 0.0098 \cdot X_2 + 0.024 \cdot X_3 \quad (4.11)$$

- Y Aşınma oranı (mm/m²)
 X₁ Konik nokta sertlik endeksi
 X₂ Kuvars tane boyutu (mm)
 X₃ Plajiyoklaz tane boyutu (mm)

Yukarıda verilen regresyon denkleminin korelasyonu 0.967 olarak bulunmuştur. Bu değer istatistiksel olarak anlamı 4.11 nolu denklem ile bulunan aşınma oranı değerlerinin %99.95 oranında güvenilir olduğudur. Şekil 4.9'de 4.11 nolu regresyon denklemi ile bulunan değerler ile gerçek ölçülen değerler arasındaki bir ilişki verilmiştir.



Şekil 4.9 Gerçek aşınma oranı değerleri ile 4.11 nolu regresyon denklemi ile bulunan aşınma oranı değerleri arasındaki ilişki.

4.3.6.2 Gerekli olan kesme kuvvetinin regresyon denklemleri ile tahmin edilmesi

Doğrusal faktör analizinin sonuçları değerlendirilerek kesme kuvvetini en çok etki eden beş faktör, etkinin derecesine göre, aşağıda sıralandığı şekilde bulunmuştur.

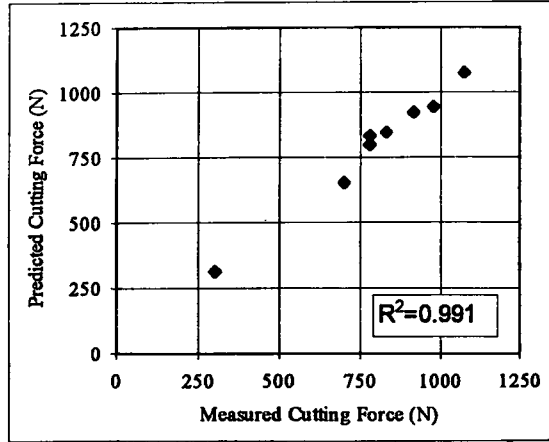
- 1- Shore sertlik endeksi
- 2- Konik nokta sertlik endeksi
- 3- Plajiyoklaz tane boyutu
- 4- Kuvars tane boyutu
- 5- Kuvars içeriği yüzdesi

Yukarıda sıralanan değişkenlerin kullanımı ile yapılan çok değişkenli regresyon analizi sonucu bulunan ve en yüksek korelasyonu olan regresyon denklemi aşağıda verilmiştir.

$$N=211+8.86.X_1+10.2.X_2-1.93.X_3+11.4.X_4-2.12.X_5+38.3.X_6 \quad (4.12)$$

- N Gereklili olan kesme kuvveti (N)
- X₁ Shore sertlik endeksi
- X₂ Konik nokta sertlik endeksi
- X₃ Tek eksenli basma dayanımı (Mpa)
- X₄ Kuvars tane boyutu (mm)
- X₅ Kuvars içeriği yüzdesi
- X₆ Plajiyoklaz tane boyutu (mm)

Yukarıda verilen regresyon denkleminin korelasyon katsayısı 0.993 olarak bulunmuştur. İstatistiksel olarak 4.12 nolu denklem ile %99.95 oranında güvenilir olarak kesme kuvveti tahmini yapılabilir. Şekil 4.10'de 4.12 nolu regresyon denkleminin kullanılması ile bulunan kesme kuvveti değerleri ile ölçülen kesme kuvveti değerleri arasındaki ilişki grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.10 Deneyler sırasında ölçülen ve 4.12 nolu regresyon denklemi ile bulunan kesme kuvveti değerleri arasındaki ilişki.

Kesme kuvveti bulunması işlemini kolaylaştırmak amacıyla Shore ve Konik Nokta Sertliği endeks değerleri olmak üzere iki değişkenli bir regresyon analizi yapılmış ve aşağıdaki regresyon denklemi bulunmuştur.

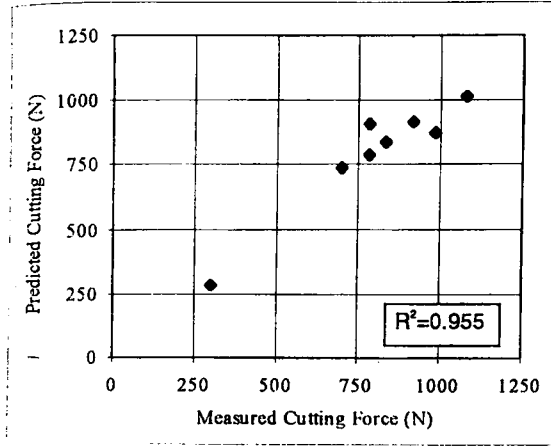
$$N = -98.6 + 7.44.X_1 + 23.4.X_2 \quad (4.13)$$

N Kesme kuvveti (N)

X₁ Shore sertlik endeksi

X₂ Konik nokta sertlik endeksi

Yukarıda verilen regresyon denklemi için korelasyon katsayısı 0.995 olarak bulunmuştur. İstatistiksel olarak 4.13 nolu denklem ile %99.95 oranında güvenilir olarak kesme kuvveti tahmini yapılabilir. Şekil 4.11'de 4.13 nolu regresyon denklemi kullanılarak bulunan kesme kuvveti değerleri ile ölçülen kesme kuvveti değerleri arasındaki ilişki grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.11 Deneyler sırasında ölçülen ve 4.13 nolu regresyon denklemi ile bulunan kesme kuvveti değerleri arasındaki ilişki.

5. SONUÇLAR

Kayaların tezgahlarda kesilmesi, birbirine bağı bir çok faktörün ortak etkileşimi sonucu oldukça karmaşık bir işlem olarak karşımıza çıkmaktadır. Yukarıdaki yaklaşımlara bakacak olursak, birinci yaklaşımda kesmeye etki eden faktörler, ortalama talaş kalınlığına bağı olarak, derinlik, ilerleme hızı, kesme hızı ve testere geometrisidir. İkinci yaklaşımda, testere genişliğı ve testere çapı etkili parametrelerdir. Üçüncü yaklaşımda, istatistiksel analiz sonucunda kesmeye etken en önemli parametreler kayaç sertliğı ve sert minerallerin tane boyutlarıdır. Bu yaklaşımda sert minerallerin tane boyutları arttıkça kesme işlemi güçleşmektedir.

Tüm bu yaklaşımlarda elde edilmiş sonuçlar, laboratuvar şartlarında yapılmış bilimsel deneylere dayandığı için, malzeme hakkında bilinen özellikler doğrultusunda, her bir yaklaşım ile elde edilecek değerler güvenilirlik sınırları içinde kabul edilebilir. Ancak yine de bu sonuçlar kesme olayını matematiksel bir modelleme ve formülasyona oturtmaya yeterli değildir. Fakat şu son birkaç yıl içinde, bu konuda yapılan araştırmalar, daha çok matematiksel sonuçlara ulaşılacağını göstermektedir.

KAYNAKLAR

Akkurt, M., (1996), "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları", Birsen Yayınevi, İstanbul.

Buttner, A., (1974), "Diamonds Tools and Stone, Industrial Diamond Review", Mart, 75-79.

Bozkurt, R., (1989), "Bazı Mermerlerimizin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri, Mermer", İstanbul Mermercilik Dergisi, Mart.

Cassapi, V.B., Ünver, B., Singh, R.N., (1987), "Statistical Assessment of Sawability of Rocks", De Beers firması için hazırlanan proje raporu, 53p.

De Beers , (1999), "STONE Dergisi", İngiltere.

İ.T.Ü. Kütüphanelerindeki Muhtelif Bitirme Ödevleri.

Mermer Dergisi, (1990-1999), "İstanbul Ticaret Odası Yayını", İstanbul.

Onargan, T, Köse, H., (1997), "Mermer", Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Sonmak, testere kataloğu.

Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y., Sarıışık, A., (1996), "Mermer Teknolojisi", Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, Isparta.

Töshoff, H.K., Asche, J., "Wear of Metal-bond Diamond Tools in the Machining of Stone", İngiltere.

Ünver, B.,(1992), "Madencilik Dergisi", TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Eylül, 17.

Yüzer, E., (1990), "Dünyada Blok Taş Üretimi", Türkiye'de Mermer Yapı ve Dekorasyon Dergisi, Sayı 13, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	5.12.1973	
Doğum yeri	Kastamonu	
Lise	1984-1991 1991-1993	Özel Ortadoğu Lisesi M.S.Ü. Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
Lisans	1993-1997	Y.T.Ü. Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1997-2000	Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı
Çalıştığı kurum		
	1997-	Çalış Mermer A.Ş.

