

78445

**DAİRESEL TESTERELİ
BLOK KESME MAKİNALARINDA
MERMERLERİN KESİLEBİLİRLİK
ANALİZLERİ**

DOKTORA TEZİ

İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

Danışman: Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN

EYLÜL 1998

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**DAİRESEL TESTERELİ
BLOK KESME MAKİNALARINDA
MERMERLERİN KESİLEBİLİRLİK
ANALİZLERİ**

İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

**Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Maden İşletme Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.**


78445

Danışman: Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN

EYLÜL 1998

İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ 'in doktora tezi olarak hazırladığı
“ Dairesel Testereli Blok Kesme Makinalarında Mermerlerin
Kesilebilirlik Analizleri ” başlıklı bu çalışma, jürimizce Lisansüstü
Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul
edilmiştir.

Üye: Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN



Üye: Prof. Dr. M. Rifat BOZKURT



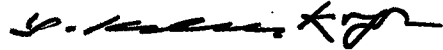
Üye: Doç. Dr. Can AYDAY



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu 'nun ...15-12-1998
ve ...98-19/1..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

Prof. Selami KILIÇKAYA



TEŞEKKÜR

Doktora çalışmamda tez danışmanlığımı kabul ederek çalışmalarımı yönlendiren ve beni pozitif bilimle uğraşmaya sevk eden Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN' a, yüksek lisans ve doktora çalışmalarımda unutamayacağım olumlu katkıları olan ve bizlere mermer sevgisini aşıl原因an Prof. Dr. M. Rifat BOZKURT' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tezimin hayata geçirilebilmesi için yürütücüsü bulunduğu projelerden destek sağlayan ve beni uygulamalı çalışmalara yönlendiren Prof. Dr. Ö. Faruk EMRULLAHOĞLU' na, DPT projesinin koordinatörü Prof. Dr. Kemal GÜLEÇ' e ve istatistiksel analizlerin yapılmasında destek olan Yrd. Doç. Dr. İsmet DOĞAN' a da teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bilgilerine başvurduğum Prof. Dr. Nuh BİLGİN' e, literatür temininde ve çalışmalarımda yol göstererek yardımcı olan Doç. Dr. Bahtiyar ÜNVER , Prof. Dr H. K. TÖNSHOFF, Dr. Dip. İng. J. ASHE ile Diamant Winter yetkilisi A. BÜTTNER' e de teşekkür ederim.

Çalışmalarımda değişik bakış açısı kazandırarak yeni çalışma fikirleri veren Prof. Dr. Galip SAİD' e , Afyon Kocatepe Üniversitesi Afyon Meslek Yüksek Okulu idarecilerine, Otomasyonel deney setinin tasarımılandırılması ve montajında yardımcı olan Öğr. Grv. Mustafa NARTKAYA, Öğr. Grv. Nuri BAYANA , Makine Yük. Müh. Celalettin GÜREL' e ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Araştırma Fon Saymanlığı yetkililerine, mermer numunelerinin temini konusunda yardımcı olan DEMMER A.Ş. Yön. Krl. Bşk. Şuayp DEMİREL' e de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, doktora çalışmalarım boyunca bana her zaman destek ve yardımcı olan eşim Arş. Grv. Aysel BÜYÜKSAĞIŞ 'e de teşekkür ederim.

ÖZET

Bu çalışmada, blok kesme makinalarının çalışma prensiplerine uygun olarak tasarımılandırılan laboratuvar ölçekli bir mermer kesme deney seti kullanılarak hakiki mermerler grubuna ait 7 değişik mermer örneğinin kesilebilirlik özellikleri incelenmiştir.

Bölüm 2 'de, mermer kesme yöntemleri, makinaları, kesiciler ve bunların genel özelliklerinden bahsedilmiştir. Bu bölümde kesme araçlarına göre (lamalar, dairesel testereleler, elmas teller) sınıflandırma yapılarak bu araçların kullanıldığı makinalar tanıtılmış ve çalışma yöntemleri açıklanmıştır.

Bölüm 3 'te, mermer kesiminde kullanılan kesicilerin - aşındırıcıların yapıları ve teknik özellikleri hakkında bilgiler verilmektedir. Bu kesici malzemeler; aşındırıcı tozlar ve özel alaşımlı çelik granüller, elmas bocuklar ve elmas soketler (segmentler) olarak sınıflandırılmıştır. Bunların üretim teknolojileri ve kesme mekanizmaları tanıtılmıştır.

Bölüm 4 'te, diskli kesicilerle mermer kesme üzerine daha önce yapılan deneysel ve kuramsal çalışmalara yer verilmiştir.

Bölüm 5 'te, kayaçların kesimine etki eden özelliklerin belirlenmesinde kullanılan fiziko - mekanik deney yöntemlerinden, Bölüm 6 'da ise örnekleme yapılan numuneler (Muğla Beyaz, Uşak Gri, Uşak Yeşil, Afyon Çizgili Şeker, Manyas Beyaz, Afyon Kaplan Postu, Kütahya Menekşe mermerleri) üzerinde yapılan mineralojik, fiziko - mekanik deney sonuçlarından bahsedilmektedir.

Bölüm 7 'de, diskli kesme makinalarının kesme işlemi parametrelerine değinilmektedir. Kayacın, makinanın, dairesel testere ve elmas soketin özellikleri ve kesme işlemi üzerindeki etkileri açıklanılmaktadır. Ayrıca, kesme prosesinin kinematiksel yapısı da ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Bölüm 8 'de, kesme deneylerinin yapılacağı laboratuvar tipi deney setinin hazırlanması ve kullanılması anlatılmaktadır. Makinanın tasarımılandırılması, otomasyonel hale getirilmesi, özel yazılım programının kullanımı ve elde edilen verilerin nasıl işlendiği ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Bölüm 9 'da, standart kesme parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla kurulan deney setinde gerçekleştirilen ön kesme deneyleri yer almaktadır.

Bölüm 10 'da, değişik mermer türlerinde deneysel kesme parametrelerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Uygun şartlarda her örnek için beşer deney yapılarak, bunlardan elde edilen bilgilerin aritmetik ortalamaları alınmış, kesme kuvveti, spesifik enerji, kesme kuvvetleri oranı değerleri karşılaştırılmıştır.

Bölüm 11 'de, mermerlerin dairesel testerele kesilebilirliklerinin pratik olarak belirlenebilmesi için istatistiksel analiz yapılmıştır. Ortalama kesme kuvveti değerleri ile kayaç özellikleri arasında korelasyon katsayıları bulunarak, çok değişkenli regresyon denklemleri kurulmuş, bu değerler arasındaki etkileşimler ve pratik olarak kullanılacak ampirik eşitlikler elde edilmiştir. Ayrıca, bu modellerin geçerlilikleri t , F , Rezidü testleri ile kontrol edilmiştir.

Bölüm 12 'de, bu çalışmalar sonucu elde edilen bilgiler değerlendirilerek, gelecekte yapılacak çalışmalar için bazı önerilerde bulunulmuştur. Özellikle, kesmeyi kolaylaştıran - zorlaştıran parametrelerin neler olabileceği irdelenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler:

- Mermerlerin kesilebilirliği
- Dairesel testereler
- Otomasyon
- Spesifik enerji

SUMMARY

In this study, cuttability of seven different types of marbles were analyzed by using a laboratuary scale block cutting machine which was full automated designed.

In the second chapter, marble cutting methods, machines, cutters and their common characteristics were given. Classification of cutting machines was done according to the used cutter tools (blade, diamond disc, diamond wire), and their operational principles were explained.

In the third chapter, detailed information was given about cutters and abrasives used in marble cutting. These cutter materials were classified as; abrasive powders, special alloy steel granules, diamond wire and diamond segments. Production technologies and cutting mechanisms were also explained.

In the forth chapter, theoretical and experimental studies previously made by other researchers on cutting marble with disc cutters were reviewed.

In the fifth chapter, physico - mechanical test related with the determination of sawability of rocks were explained, and the sixth chapter the results of the physico - mechanical tests conducted on Muğla White, Uşak Grey, Uşak Green, Afyon Sugar wiht Lines, Afyon Tigerskin, Manyas White and Kütahya Violet marbles were given.

In the seventh chapter, parameters of cutting process with disc cutters were explained. Characteristics of rocks, machine, disc cutter, diamond segment and their effect on cutting process were explained. In addition, kinematical structure of cutting process was explained in detail.

In the eighth chapter, information about the design of the experimental cutting machine used in this study were given. Also, the software used in the evaluation of experimental data was introduced.

In the ninth chapter, variation experiments of the designed cutting machine operational parameters were explained. Operational variables and obtained results from cutting experiments conducted on Uşak Grey and Uşak Green marbles were explained.

In the tenth chapter, determination of cutting parameters of different marble's was studied. Under the determined test conditions, five cutting experiments were done for each sample, and their arithmetic means were calculated; Cutting Force, Specific Energy, Cutting Forces Ratio values were compared.

In the eleventh chapter, a statistical models were established for practical determination of sawability of the examined marble types. Empirical equations were constructed by using statistical relationships. The validity of the provided models were checked by using t, F and residual tests.

In the twelfth chapter, obtained results from the experimental studies were evaluated and some suggestions were made for future studies.

Key Words:

- Sawability of Marbles
- Diamond Discs
- Automation
- Specific Energy

İÇİNDEKİLER (devamı)

Sayfa

3. MERMER KESİMİNDE KULLANILAN KESİCİ -	
AŞINDIRICILARIN YAPILARI VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ	20
3.1. Aşındırıcı Tozlar ve Çelik Granüller	20
3.2. Elmas Boncuklar	22
3.3. Elmas Soketler (Segmentler)	23
4. DİSKLİ KESİCİLERLER ÜZERİNE YAPILAN ÖNCEKİ	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
4.1. Kayaç Sertlik ve Aşınma İndeksinin Kayaç Kazı Ekipmanı	
Seçimine Uygulanması	30
4.2. Kayaç Kesme Kılavuzu	35
4.3. Kayaçların Kesilmesinde Dairesel Testereli Kesme	
Makinalarının Çalışma oranları	40
4.4. Literatür Tartışması	49
5. KAYAÇLARIN MİNERALOGİK VE FİZİKO - MEKANİK	
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN	
DENEY YÖNTEMLERİ	52
5.1. Mineralojik Analiz	52
5.2. Fiziko - Mekanik Özellikler	54
5.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı	54
5.2.2. Endirekt çekme dayanımı	56
5.2.3. Sertlik Özellikleri	57
5.2.3.1. Mohs sertlik indeksi	58
5.2.3.2. Shore scleroscope sertlik indeksi	59
5.2.3.3. N.C.B. konik nokta sertlik indeksi	60
5.2.3.4. Cerchar aşınma indeksi	61
5.2.3.5. Schmidt hammer (çekici) sertlik indeksleri	62
5.2.3.6. Knoop sertlik indeksi	63

İÇİNDEKİLER (devamı)

Sayfa

6.DENEYLERDE KULLANILAN ÖRNEKLERİN MİNERALojİK, FİZİKO - MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ	65
6.1. Mineralojik Analiz	66
6.1.1. Afyon Çizgili Şeker	66
6.1.2. Afyon Kaplan Postu	66
6.1.3. Uşak Gri	67
6.1.4. Uşak Yeşil	67
6.1.5. Muğla Beyaz	67
6.1.6. Manyas Beyaz	68
6.1.7. Kütahya Beyaz	68
6.2. Fiziko - Mekanik Özellikler	72
6.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı ölçümleri	72
6.2.2. Endirekt çekme dayanımı ölçümleri	72
6.2.3. Sertlik ölçümleri	73
6.2.3.1. Mohs sertlik indeksi ölçümleri	73
6.2.3.2. Shore scleroscope sertlik indeksi ölçümleri	74
6.2.3.3. NCB konik nokta sertlik indeksi ölçümleri	74
6.2.3.4. Cerchar sertlik indeksi ölçümleri	76
6.2.3.5. Schmidt hammer sertlik indeksi ölçümleri	76
6.2.3.6. Knoop sertlik indeksi ölçümleri	78
7. DİSKLİ KESME MAKİNALARI KESME PROSESİ PARAMETRELERİ	79
7.1. Kayaç Özellikleri	79
7.2. Makina Özellikleri	80
7.3. Dairesel Testere ve Elmas Soket Özellikleri	81
7.4. Kesme İşlemi Kinematığı	84

İÇİNDEKİLER (devamı)

Sayfa

8. ÇALIŞMADA KULLANILAN DİSKLİ KESİCİ DENEY SETİNİN TASARIMLANDIRILMASI	89
8.1. Makinanın Mekanik Tasarımı	89
8.2. Makinanın Otomasyonel Tasarımı	93
8.3. Deney Parametrelerinin Saptanması ve Verilerin Sayısal İşlenişi	99
8.3.1. Deneylede kullanılacak numune boyutlarının belirlenmesi	99
8.3.2. Deney parametrelerinin belirlenmesi	100
8.3.3. Sayısal verilerin elde edilmesi ve işlenmesi	101
9. DAİRESEL TESTERELİ KESME MAKİNALARI ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN VARYASYON DENEYLERİ	103
9.1. Kesme Derinliğinin Değişim Etkisi	108
9.2. Kesme Hızının Değişim Etkisi	111
9.3. Çevresel Hız Değişiminin Etkisi	114
9.4. Birim Zamanda Kesilen Alan Miktarının (Qw') Değişiminin Etkisi	116
9.5. Spesifik Enerji	118
10. MERMERLER İÇİN UYGUN KESME DENEYİ ŞARTLARININ BELİRLENMESİ VE KESİLEBİLİRLİK ANALİZLERİ	123
10.1. Standart Kesme Deneyi Şartlarının Belirlenmesi	123
10.1.1. Değişik mermer türleri için kesme kuvvetlerinin ölçülmesi	124
10.1.2. Değişik mermer türleri için spesifik enerjinin belirlenmesi	126
10.1.3. Değişik mermer türleri için kesme kuvvetleri oranının (μ) hesaplanması	128
10.2. Değişik Mermer Türlerinde Elde Edilen Kesme Kuvveti , Spesifik Enerji ve Kesme Kuvvetleri Oranlarının Değerlendirilmesi	129

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
11. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER	132
11.1. Kesme Kuvveti ile Mineralojik ve Fiziko - Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler	132
11.2. Spesifik Enerji ile Mineralojik ve Fiziko - Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler	139
11.3. Mermerlerin Kesilebilirliğini Tahmin İçin Çok Değişkenli Regresyon Analizi	144
11.3.1 Çok değişkenli regresyon	144
11.3.2. Çok değişkenli regresyonda kullanılan terimler	145
11.4. Kesme Kuvvetinin Tahmini İçin Geliştirilen Modeller	147
11.5. Spesifik Enerjinin Tahmini İçin Geliştirilen Modeller	151
11.6. Geliştirilen Modellerin Doğruluk testleri	154
11.6.1. t testi	155
11.6.2. F testi	156
11.6.3. Rezidü (fark) analizi	157
12. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	161
13. KAYNAKLAR DİZİNİ	168

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Monolama makinası	4
2.2. Katrak (açık kasa) makinası	6
2.3. Yukarı vagon deplasmanlı katrak makinası	7
2.4. Düşey lamalı katrak makinası	8
2.5. İki kolonlu S/D makinası	10
2.6. Dört kolonlu S/D makinası	11
2.7. Baş kesme makinası	12
2.8. Çok diskli ebatlama makinası	12
2.9. Yan kesme makinası	13
2.10. Köprü kesme makinası	13
2.11. Düşey yarma makinası	14
2.12. Yatay yarma makinası	15
2.13. Elmas tel ve parçaları	16
2.14. Elmas tel kesme makinası	16
2.15. Sayalama makinası	17
2.16. Mono-tel kesme makinası	18
2.17. Elmas telli katrak makinası	19
3.1. Antik devirlerde kumlu katrakla blok kesme çalışması	21
3.2. Çelik granüllerle kesim yapan geleneksel katrak	22
3.3. Elmas soket üretim makinası	24
3.4. Elmas soketin sert ve yumuşak mermerlere uygun yapısı	27
3.5. Değişik şekillerdeki elmas soket çeşitleri	28
4.1. Cassapi tarafından kullanılan deney seti	31
4.2. Aynı ve zıt yönlü kesme işleminde kesme gelişim şekli	36
4.3. Sabit kesme hızı ve sabit kesme derinliklerinde güç tüketimi	37
4.4. Kesilen kayaç sertliği ve elmas tane boyutu arasındaki ilişki	39
4.5. Mermer kesme prosesinde talaş oluşum mekanizması	41
4.6. Kesme işlemi sonucu oluşan talaşların şekilleri	42

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.7. Elmas tanelerinin aşınma şekilleri	44
4.8. Talaş oluşumunda enerji tüketiminin oransal dağılım şeması	44
5.1. Polarizan mikroskobu	53
5.2. Tek eksenli basınç dayanımı test presi	55
5.3. Endirekt çekme dayanımı test aparatı	57
5.4. Shore scleroscope sertlik ölçme cihazı	59
5.5. NCB konik nokta sertlik ölçme cihazı	60
5.6. Cerchar aşınma sertlik ölçme cihazı	61
5.7. Schmidt çekici sertlik ölçme cihazı	63
5.8. Knoop sertlik ölçme cihazı	64
5.9. Knoop sertlik ölçme cihazının yüzey üzerinde bıraktığı iz	64
6.1. Afyon Çizgili Şeker mermerinin ince kesit görüntüsü	68
6.2. Afyon Kaplan Postu mermerinin ince kesit görüntüsü	69
6.3. Uşak Gri mermerinin ince kesit görüntüsü	69
6.4. Uşak Yeşil mermerinin ince kesit görüntüsü	70
6.5. Muğla Beyaz mermerinin ince kesit görüntüsü	70
6.6. Manyas Beyaz mermerinin ince kesit görüntüsü	71
6.7. Kütahya Menekşe mermerinin ince kesit görüntüsü	71
6.8. Knoop sertlik cihazının mermer yüzeyi üzerinde bıraktığı iz şekli	78
7.1. Dairesel testere çeşitleri	84
7.2. Kesme işlemi kinematiği (Aynı Yönlü Kesme)	84
7.3. Kesme işlemi kinematiği (Zıt Yönlü Kesme)	85
8.1. Mermer kesme deney aygıtı mekanik yapısı	91
8.2. Mermer kesme deney aygıtının mekanik yapısı	92
8.3. Mermer kesme deney aygıtının otomasyonel şeması	95
8.4. Deney setinin kontrolünü ve iletişimi sağlayan bilgisayar yazılım programının ana menüsü	96
8.5. Deney setinin kontrolünü ve iletişimi sağlayan bilgisayar yazılım programının manuel yardımcı menüsü	97

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.6. Deneysel setinin kontrolünü ve iletişimi sağlayan bilgisayar yazılım programının veri yardımcı menüsü	98
8.7. Deneysel setinde kullanılan numune boyutları	99
8.8. Deneysel setinde kullanılan elmas testere boyutları	100
8.9. Verilerin işlendiği Microsoft Excel'de (Versiyon 5.0) hazırlanmış şablon dosyasının görünüşü	102
8.10. Kesme deneyleri esnasında elde edilen kuvvet değerlerinin zamana karşı değişimleri	102
9.1. Uşak Gri mermerinde kesme derinliği ve kesme hızı değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi	109
9.2. Uşak Yeşil mermerinde kesme derinliği ve kesme hızı değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi	109
9.3. Uşak Gri mermerinde kesme derinliği ve kesme hızı değişiminin F_K üzerindeki etkisi	110
9.4. Uşak Yeşil mermerinde kesme derinliği ve kesme hızı değişiminin F_K üzerindeki etkisi	110
9.5. Uşak Gri mermerinde kesme hızı ve kesme derinliği değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi	113
9.6. Uşak Yeşil mermerinde kesme hızı ve kesme derinliği değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi	113
9.7. Uşak Gri mermerinde çevresel hız değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi	115
9.8. Uşak Gri mermerinde birim zamanda kesilen alan miktarı değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi	117
9.9. Uşak Yeşil mermerinde birim zamanda kesilen alan miktarı değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi	117
9.10. Uşak Gri mermerinde kesme derinliği ve kesme hızı değişiminin SE üzerindeki etkisi	119

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
9.11. Uşak Yeşil mermerinde kesme derinliği ve kesme hızı değişiminin SE üzerindeki etkisi	119
9.12. Uşak Gri mermerinde birim zamanda kesilen alan miktarı değişiminin SE üzerindeki etkisi	120
9.13. Uşak Yeşil mermerinde birim zamanda kesilen alan miktarı değişiminin SE üzerindeki etkisi	120
10.1. Değişik tür mermerlerde spesifik enerjinin kesme derinliğine bağlı değişimi	127
10.2. Değişik tür mermerlerde spesifik enerji ve kesme kuvvetleri oranı değişimi	129
10.3. Değişik tür mermerlerde spesifik enerji ve kesme kuvvetleri oranı değişimi	131
11.1. Kesme kuvveti ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki	135
11.2. Kesme kuvveti ile endirekt çekme dayanımı arasındaki ilişki	135
11.3. Kesme kuvveti ile Shore scleroscope sertlik indeksi arasındaki ilişki	136
11.4. Kesme kuvveti ile Schmidt hammer sertlik indeksi arasındaki ilişki	136
11.5. Kesme kuvveti ile NCB konik nokta sertlik indeksi arasındaki ilişki	137
11.6. Kesme kuvveti ile Cerchar aşınma sertlik indeksi arasındaki ilişki	137
11.7. Kesme kuvveti ile Knoop sertlik indeksi arasındaki ilişki	138
11.8. Kesme kuvveti ile Mohs sertlik indeksi arasındaki ilişki	138
11.9. Kesme kuvveti ile ortalama kalsit tane boyutu arasındaki ilişki	139

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
11.10. Spesifik enerji ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki	140
11.11. Spesifik enerji ile endirekt çekme dayanımı arasındaki ilişki	140
11.12. Spesifik enerji ile Shore scleroscope sertlik indeksi arasındaki ilişki	141
11.13. Spesifik enerji ile Schmidt hammer sertlik indeksi arasındaki ilişki	141
11.14. Spesifik enerji ile NCB konik nokta sertlik indeksi arasındaki ilişki	142
11.15. Spesifik enerji ile Cerchar aşınma sertlik indeksi arasındaki ilişki	142
11.16. Spesifik enerji ile Knoop sertlik indeksi arasındaki ilişki	143
11.17. Spesifik enerji ile Mohs sertlik indeksi arasındaki ilişki	143
11.18. Spesifik enerji ile ortalama kalsit tane boyutu arasındaki ilişki	144
11.19. Gerçek kesme kuvveti değerleri ile (11.2) nolu regresyon denkleminin sonucu bulunan kesme kuvveti değerleri arasındaki ilişki	149
11.20. Gerçek kesme kuvveti değerleri ile (11.3) nolu regresyon denkleminin sonucu bulunan kesme kuvveti değerleri arasındaki ilişki	149
11.21. Gerçek spesifik enerji değerleri ile (11.4) nolu regresyon denkleminin sonucu bulunan spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki	153
11.22. Gerçek spesifik enerji değerleri ile (11.5) nolu regresyon denkleminin sonucu bulunan spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki	153
11.23. (11.3) nolu denklemin tahmin edilen kesme kuvveti için rezidü grafiği	159

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
11.24. (11.3) nolu denklemin tek eksenli basınç dayanımı için rezidü grafiği	159
11.25. (11.5) nolu denklemin tahmin edilen spesifik enerji için rezidü grafiği	160
11.26. (11.5) nolu denklemin tek eksenli basınç dayanımı için rezidü grafiği	160



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Dairesel testerelerde lazer ve pirinç kaynağının karşılaştırılması	26
4.1. Kesme prosesi elemanlarının etkileşimleri	41
4.2. Soket bileşiminin ve makina düzenleme ölçü büyüklüklerini birbirine uyarlama stratejisi	49
5.1. Mohs sertlik indeksi skalası	58
5.2 Suana'ya göre bazı minerallerin ve mono mineralli kayaların CAI değerleri	61
5.3. Atkinson ve arkadaşlarına göre kayaların CAI değerleri	62
6.1. Deneilerde kullanılacak mermerlerin isimleri ve renkleri	66
6.2. Mermer örneklerine ait tek eksenli basınç dayanımları	72
6.3. Mermer örneklerine ait endirekt çekme dayanımları	73
6.4. Mermer örneklerine ait ortalama mohs sertlik indeksi değerleri	74
6.5. Mermer örneklerine ait Shore scleroscope sertlik indeksi değerleri	75
6.6. Mermer örneklerine ait NCB konik nokta sertlik indeksi değerleri	75
6.7. Mermer örneklerine ait Cerchar sertlik indeksi değerleri	76
6.8. Mermer örneklerine ait Schmidt çekici sertlik indeksi değerleri	77
6.9. Mermer örneklerine ait Knoop sertlik indeksi değerleri	78
9.1. Kesme parametreleri deneyleri varyasyon sırası	104
9.2. Uşak Gri mermeri varyasyon deney sonuçları	106
9.3. Uşak Yeşil mermeri varyasyon deney sonuçları	107
10.1. Değişik mermer türlerinde ölçülen ortalama Normal Kuvvetleri	125
10.2. Değişik mermer türlerinde ölçülen ortalama Teğetsel Kuvvetleri	125

ÇİZELGELER DİZİNİ (devamı)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
10.3. Değişik mermer türlerinde ölçülen Kesme Kuvvetleri	124
10.4. Değişik mermer türleri için Spesifik Enerji değerleri	125
10.5. Değişik mermer türleri için Kesme Kuvvetleri Oranı	127
11.1. Değişik tür mermerlerde kesme kuvveti - spesifik enerji, mineralojik, fiziko - mekanik özelliklerinin değişimi	133
11.2. İstatistiksel analiz sonucunda elde edilen, değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları	134
11.3. Kesme kuvveti ile bağımsız değişkenler arasındaki regresyon denklemleri	150
11.4. Spesifik Enerji ile bağımsız değişkenler arasındaki regresyon denklemleri	154

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

F_H	= Yatay kuvvet (N)
F_V	= Düşey kuvvet (N)
F_R	= Kesme Kuvveti (N)
T.E.B.D.	= Tek eksenli basınç dayanımı (kgf/cm ²)
E.Ç.D.	= Endirekt çekme dayanımı (kgf/cm ²)
Q_w	= Birim zamanda kesilen hacim miktarı (mm ³ /sn)
Q_w'	= Birim zamanda kesilen alan miktarı (mm ² /sn)
SE	= Spesifik enerji (Nm/mm ³ veya MJ/m ³)
K_D	= Testere diskinin kalınlığı (mm)
n_s	= Testere üzerindeki elmas soket miktarı (adet)
G_s	= Elmas soketin genişliği (mm)
L_s	= Elmas soketin boyu (mm)
Y_s	= Elmas soketin yüksekliği (mm)
L_D	= Testerenin kayaçla temas uzunluğu (mm)
n_{mot}	= Motor devir sayısı (dev/dk)
$\emptyset_{disk\ kas.}$	= Disk miline bağlı kasnak çapı (mm)
$\emptyset_{mot. kas.}$	= Motor miline bağlı kasnak çapı (mm)
S	= Testerenin bir devrine karşılık gelen ilerleme (mm/dev)
S_z	= Bir elmas soketin bir devrine karşılık gelen ilerleme (mm/diş . dev)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devamı)

V_k	= Bir dakikaya karşılık gelen ilerleme hızı (mm/dk)
n_{dev}	= Diskin devir sayısı (dev/dk)
h_m	= Kesme işlemi sırasında oluşan talaşların ortalama boyutu (mm)
A_S	= Ortalama talaş kesiti (mm^2)
n_{AKT}	= Kesmeye katılan aşındırıcı elmas tane sayısı (adet).
h_{eq}	= Birim zamanda koparılan eşdeğer talaş kalınlığı
q	= Kesme hızları oranı
σ_c	= Tek eksenli basınç dayanımı (kgf/cm^2)
F_c	= Numunenin yenilme (kırılma) yük değeri (kgf)
A	= Numunenin yüzey alanı (cm^2)
σ_t	= Endirekt çekme dayanımı (kgf/cm^2)
F_t	= Numunenin yarılma yük değeri (kgf)
D	= Numunenin çapı (cm)
L	= Numunenin boyu (cm)
KDD	= Koni delici değeri
M_1	= İlk mikrometre okuma değeri
M_2	= Son mikrometre okuma değeri
PD	= Kayacın % plastisite değeri
$\$D_1$	= Schmidt çekici ile birinci ölçme değeri
$\$D_{20}$	= Schmidt çekici ile yirminci ölçme değeri
CAI	= Cerchar aşınma sertlik indeksi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ(devamı)

H_K	= Knoop sertlik indeksi
F	= Uygulanan yük (N)
d	= İzin diagonal uzunluğu (mikron)
K_a	= Kalsit minerali
K_u	= Kuvars minerali
E_p	= Epidot minerali
F_X	= Disk kesme yönünde oluşan yatay (x) kuvvet (N)
F_Y	= Disk kesme yönünde oluşan düşey (y) kuvvet (N)
F_Z	= Disk kesme yönüne dik oluşan eksenel (z) kuvvet (N)
F_N	= Normal (Radyal) kuvvet (N)
F_T	= Teğetsel (tanjantiyel) kuvvet (N)
F_K	= Kesme kuvveti (N)
H_k	= Testerenin kesme derinliği (mm)
V_k	= Testerenin kesme (ilerleme) hızı (m/dk)
$V_ç$	= Testerenin çevresel (dönüş) hızı (m/sn)
\emptyset_D	= Testere çapı (mm)
ϕ_k	= Diskin kayaçla temas (kavrama) açısı (Derece)
α	= Normal kuvvetin etki (aşındırma) açısı (Derece)
w	= Aşındırma açısına ait faktör (= 0,7)
μ	= Kesme kuvvetleri oranı
P_c	= Gerekli motor kuvveti (KW veya HP)
P_m	= Motor gücü (KW veya HP)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ(devamı)

ξ	= Motor gücü verimi (%)
T =	= Tork
Y	= Bağımlı değişken
X_1, X_2, X_n	= Bağımsız değişkenler
a	= Sabit
b_1, b_2, b_n	= X_1, X_2, X_n 'in katsayıları
R	= Korelasyon katsayısı
R^2	= Determinasyon katsayısı
R^2_{adj}	= Düzeltilmiş Determinasyon katsayısı
N	= Örnek sayısı
k	= Modeldeki bağımsız değişken sayısı

1. GİRİŞ

Eskilerden günümüze kadar her türlü kesme işleminde, kesmenin gerçekleşmesi göreceli olarak daha sert olan malzemenin kendisine oranla daha yumuşak olanı ayırması şeklinde yorumlana gelmiştir.

Eskiden kayaçların kesilmesi, aşındırıcı toz - kumların, daha yumuşak sayılabilecek yüzeylere uzun tahta - metal lataların su ile birlikte sürtünmesi ile sağlanırdı. 19. ve 20 yüzyıllara gelindiğinde, sanayileşme ile birlikte değişik kesici materyaller ve yöntemler de geliştirilerek daha pratik hale getirilmiştir.

Yeni geliştirilen kesiciler; suni elmas, tungsten karbür, nitrür, borür, seramikler gibi malzemelerdir. Bunların kaya kesme - kazı işlemlerinde endüstriyel boyutlarda kullanımı daha çok suni elmaslar yönünde gelişmiştir. Suni elmasların özel alaşımlı matriks malzemesi ile karıştırılarak birlikte sinterlenmesi ile elmas soketler (segmentler) üretilmiştir.

Bu tür kesicilerle kesme işleminin sağlıklı olarak gerçekleşebilmesi, kesici - kayaç - makina arasındaki etkileşime bağlıdır. Günümüzde kayaçların yapı kaplama malzemesi olarak, belirli boyutlarda ve düzgün geometrik şekildeki ürün haline getirilmelerinde Katrak ve S/D makinaları kullanılmaktadır. Bu makinalarla kesme işlemi kesici olarak özel alaşımlı çelik granüller - elmas soketler - elmas boncukların kullanımıyla sağlanılmaktadır.

Özellikle, belirli boyutlarda ve düzgün geometrik şekilli malzemelerin üretiminde, S/D (Block Cutter) adı verilen blok kesme makinaları daha fazla kullanılmaktadır. Bu makinalarda kesme işlemi ise dairesel testerelerle yapılmakta olup, bunların çevresi boyunca

belirli aralıklarla elmas soketler kaynak edilmiş olup soketler arasında kanallar bulunmaktadır.

Kesme işleminde testerenin dönüş hızı (çevresel hız), testerenin kayaç içerisinde ilerleme hızı (kesme hızı), testerenin kesme derinliği, soketin yapısı, kayacın yapısı ve makinanın gücü kesme işlemini etkileyen büyüklüklerdir.

1997 yılı verilerine göre, Türkiye 'nin toplam mermer ihracat değeri 116 milyon USA \$ ve yaklaşık yıllık üretimi de 400 - 450 milyon USA \$ değerinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu üretim değerlerinin ortalama maliyeti % 60 civarında olduğu düşünüldüğünde 250 milyon USA \$ olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu maliyet değeri içerisinde kesme işleme maliyetleri ise % 20 civarında oluşmakta ve yaklaşık 50 milyon USA \$ olarak gerçekleşmektedir. Bu maliyet içerisinde yurtdışından getirilen malzemeler ve teknolojiler de oldukça önemli bir yer tutmaktadır (İMMİB, 1988). Mermer kesme işlemlerinde yapılacak % 5 - 10 'luk bir iyileştirmenin bile yaklaşık 5 milyon USA \$/yıl kazanç sağlayacağı dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada, Türkiye 'deki " Hakiki Mermerler " grubuna giren 7 tür mermer üzerinde laboratuvar düzeyinde kesilebilirlik deneyleri yapılmıştır. Bu amaçla, otomasyonlu laboratuvar tipi Dairesel Testerele Kesme Deney Seti geliştirilerek, mermerlerin kesilebilirliğini etkileyen hakim parametreler üzerinde istatistiksel analizler yapılmıştır. Yapılan bu analizlerin sonucunda pratiğe yönelik bazı bağıntılar önerilmiştir.

2. MERMER KESME YÖNTEMLERİ, MAKİNALARI, KESİCİLER VE ÖZELLİKLERİ

2.1. Lamalarla Kesme

Lamalar özel alaşımlı çelikten imal edilmiş olup genelde 25 - 30 cm genişliğinde 3,5 - 4,0 m boyunda ve 4 -5 mm kalınlığında olan metal kesme gereçleridir. Dayanımını arttırmak ve kullanım yerine uygun hale getirmek için değişik alaşımlarda ve boyutlarda üretilmektedir.

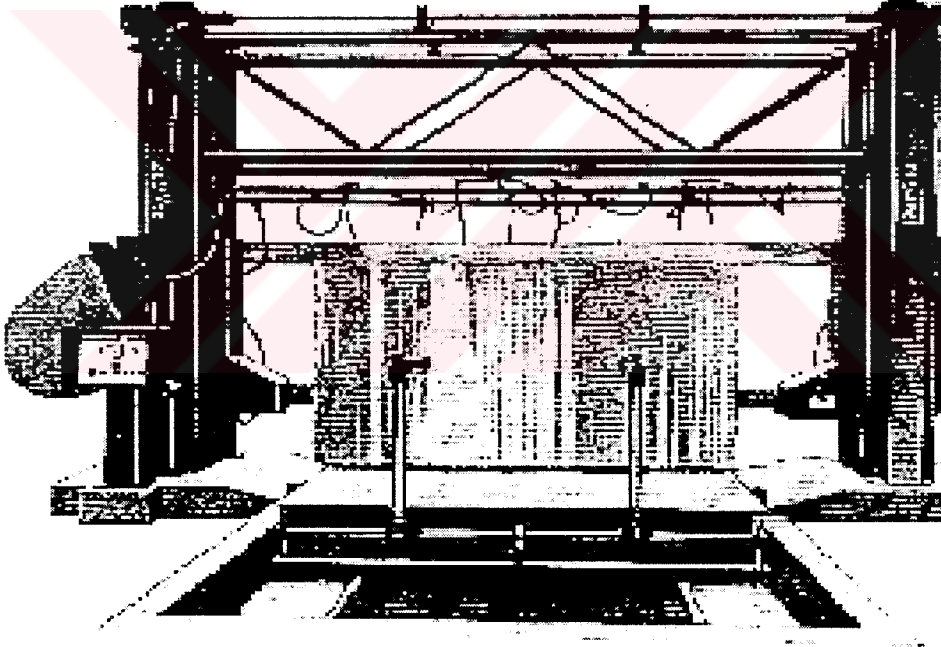
Genelde kesme işleminde lamalar yatay doğrultuda belirli bir strok (ileri - geri hareket) boyu içerisinde, görece büyük bir yarı çapa sahip sarkaç hareketi yaparlar. Kesme işlemi, lama üzerine su ile beslenen zımpara kumu / metal granüller veya lamaların alt kısmına belirli aralıklarla kaynak edilmiş kesici uçlar tarafından yapılır.

Lamalarla kesme işlemi yapan makinalara Monolama veya Katrak (Cut - Rock veya Gangsaw) adı verilir. Bunların mekanik yapıları ve çalışma ile kesme yöntemleri aşağıda açıklanılmıştır.

2.1.1. Monolama Makinaları

Adından da anlaşılacağı gibi tek bir lamaya sahip makinalardır. Dış şekli geometrik olarak düzgün olmayan blok yüzeylerinin düzleştirilmesi veya istenilen boyutlardan daha büyük ebattaki blokların küçültülmesinde kullanılır. Yapıları ise; metalden yapılmış iki adet kolon ve bu kolonlarda bulunan dişli millere özel yatak sistemiyle monte edilmiş bir lama bulunur, bu lamanın her iki ucunda da hidrolik pistonlar yer alır. Pistonların karşılıklı senkronizeli

olarak yatay düzlemde itme - çekme hareketi ile lama yatay düzleme dik olarak yatay düzlem boyunca hareket ederler. Bu kolonların altından geçen raylara oturtulmuş vagonun üzerine kesilecek olan blok sıkıca yerleştirilir ve kesilecek düzlem lamanın altına kadar getirilir. Lama, dişli miller yardımı ile kesilecek yüzeye önce elle kumanda edilerek düşey düzlemde aşağı doğru hareket ettirilerek yaklaştırılır ve daha sonra belirli bir hızla otomatik olarak bloğa doğru ilerletilir. Lamanın alt kısmına belirli aralıklarla kaynak edilmiş kesici elmas uçların su ile yüzey üzerinde sürtünmesi sonucunda kesim gerçekleşir (Şekil 2.1).



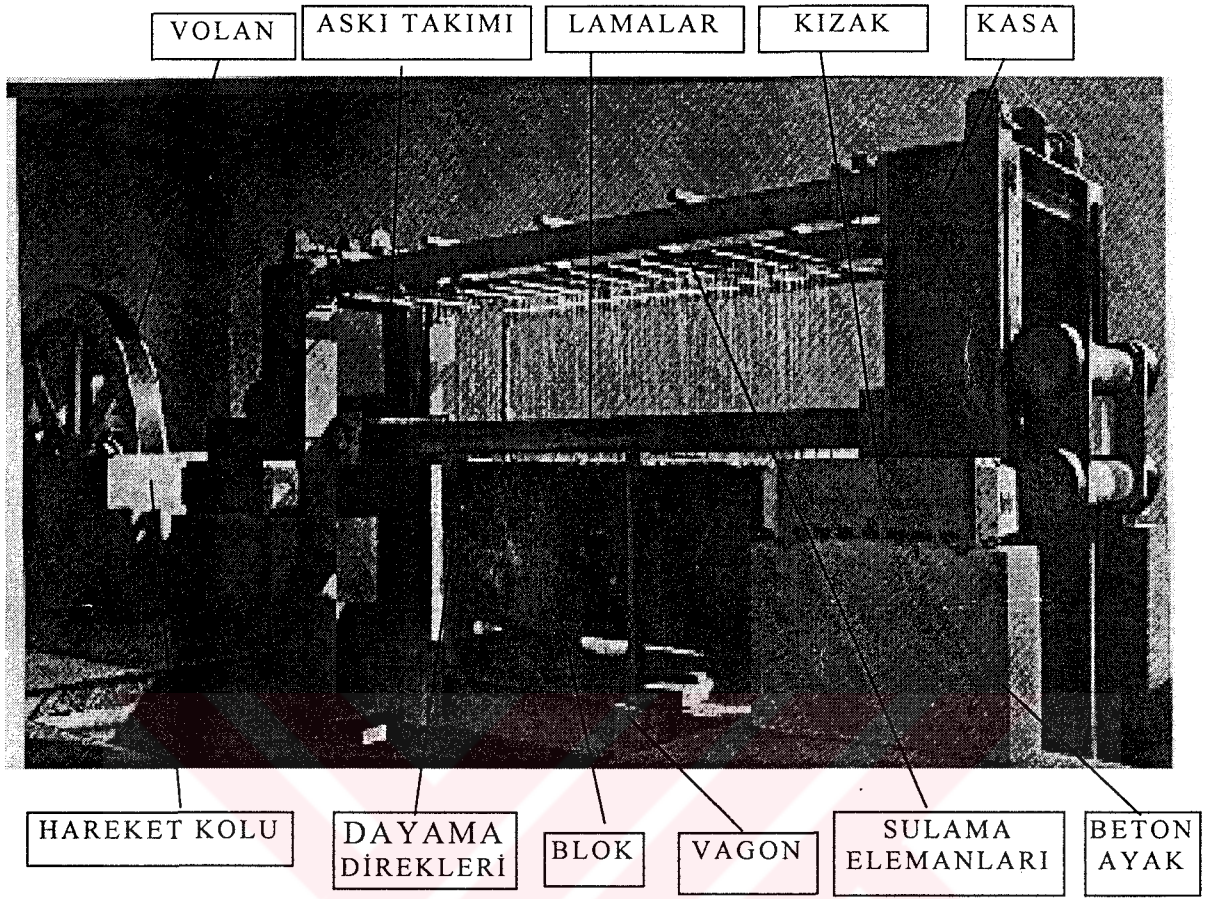
Şekil 2.1. Monolama makinası.

2.1.2. Katraklar

Bloklardan levha elde edilmesinde kullanılan üretim makinalarıdır. Katrak makinalarının yapıları ise bir güç ünitesi tarafından döndürülen ve çapı 4,5 - 5,0 m kadar olan bir ana volan, buna eksantrik bir yatakla bağlanılan bir veya iki adet hareket iletici kol, bu kolların diğer uçlarına bağlı olan kasa, kasaya bağlı olan lama askı ünitesi, kasanın dört ucunda bulunan ve onun zemin üzerinde hareket etmesini sağlayan kızaklardan oluşur. Amaca ve kesilecek bloğun cinsine bağlı olarak, çalışma prensipleri farklı olan katrak modelleri geliştirilmiş olup bunlara ait ayrıntılı bilgiler sonraki bölümlerde verilmiştir.

2.1.2.1. Blok sabit - yatay lama hareketli katraklar

Her tür kayaç için kullanılabilen en yaygın modeldir. Bu katraklarda; blok vagon aracılığı ile lamaların altına getirilerek sabitlenmekte, kasa ve buna bağlı lamalara (15 - 120 adet) yatay düzleme dik durumda belirli bir strok boyu içerisinde yatay olarak ileri - geri hareket sağlanılmaktadır. Kasanın dört ayağında bulunan dişli millere özel bir yatak sistemiyle monte edilmiş lama askı takımı ve lamalar, bu dişlilerin dönüş hareketi sayesinde düşey düzlemde yukarıdan - aşağıya doğru indirilerek lamaların üzerinde su ile beslenen zımpara kumu / metal granüller veya lamaların alt kısmına belirli aralıklarla kaynak edilmiş elmas uçların yüzey üzerinde sürtünmesiyle bloğun kesme işlemi gerçekleştirilir (Şekil 2.2). Kasanın etrafında kolların olmadığı tiplerine *açık kasa*, kolların bulunduğu tiplerine de *kapalı kasa* katrak adı verilir. Blok girişi açık kasalarda yan taraftan, kapalı kasalarda ise yan veya ön taraftan olur.



Şekil 2.2. Katrak (açık kasa) makinası.

2.1.2.2. Yatay lama - yukarı blok hareketli katraklar

Mermer sanayinde daha az kullanılan bir modeldir. Bu katraklarda ise; kasa ve lama grubu (60 - 120 adet) yerden yaklaşık 4,5 - 5,0 m kadar yüksekte bulunmaktadır. Bu modelin farkı lamalar sabit konumda ve yatay düzlemde ileri - geri hareket ederken, bloğun üzerinde bulunduğu vagon düşey düzlemde yukarıya lamalara doğru hidrolik veya mekanik olarak hareket ettirilerek, lamaların alt kısmına belirli aralıklarla kaynak edilmiş elmas uçun yüzey üzerinde su ile sürtünerek kesimin sağlanmasıdır. Ancak, burada dikkat edilmesi gereken nokta bloğun lamalara doğru yükseltme (kesme) hızının oldukça dikkatli ayarlanmasıdır. Gereğinden yüksek hızlarda mekanik yapıları veya lamalar zarar görebilmektedir. Bu modellerin en büyük avantajları, lamaların blok yüzeyi ile sürekli temas halinde olmasından dolayı elmas uç ömrünün artması ve tüm lama boyunca eşit

zamanda aşınmalarıdır. Birim zamanda kesim miktarının yüksek olmasına rağmen, büyük blokların yukarı kaldırılmalarının oldukça zor oluşu ve karşılaşılan mekanik arızalardan dolayı kullanım alanları daralmaktadır (Şekil 2.3).

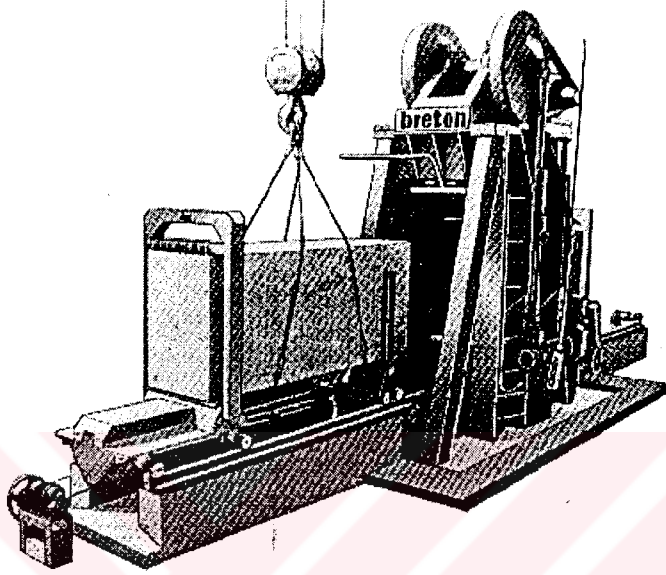


Şekil 2.3. Yukarı vagon deplasmanlı katarak makinası.

2.1.2.3. Düşey konumlu lama - yatay blok hareketli kataraklar

Mermer sanayinde yaygın kullanılmayan, orta sertlikteki (3,5 - 4 Mohs) ve kırılkan karakterli doğal kayalar ile suni blokların kesiminde tercih edilen katarak modelidir. Bu kataraklarda; lamalar yatay düzlemle 80° - 85° 'lik açı yapacak şekilde konumlandırılmış kasa tipinde dizayn edilmiştir. Lamalar düşey düzlemle 5° - 10° 'lik dar bir açı ile düşey düzlemde yukarı - aşağı hareket ederken özel bir vagon / kızak / tambur sistemi yardımıyla blok yatay düzlem üzerinde lamalara doğru ittirilmektedir (Şekil 2.4). Bu ilerletme hızının oldukça dikkatli ayarlanması gerekli olup, gereğinden yüksek hızlarda lamalar ve mekanik yapı zarar görürken, gerekenden düşük hızlarda ise

kesme verimi azalmaktadır. Lamaların sürekli olarak ve daha geniş bir yüzey boyunca temas etmesi nedeni ile, kesim verimlerinin yüksek olması ve kesici elmas ömrünün bu nedenle artması da avantaj sağlar.



Şekil 2.4. Düşey lamalı katarak makinası.

2.2. Dairesel Testerelerle Kesme

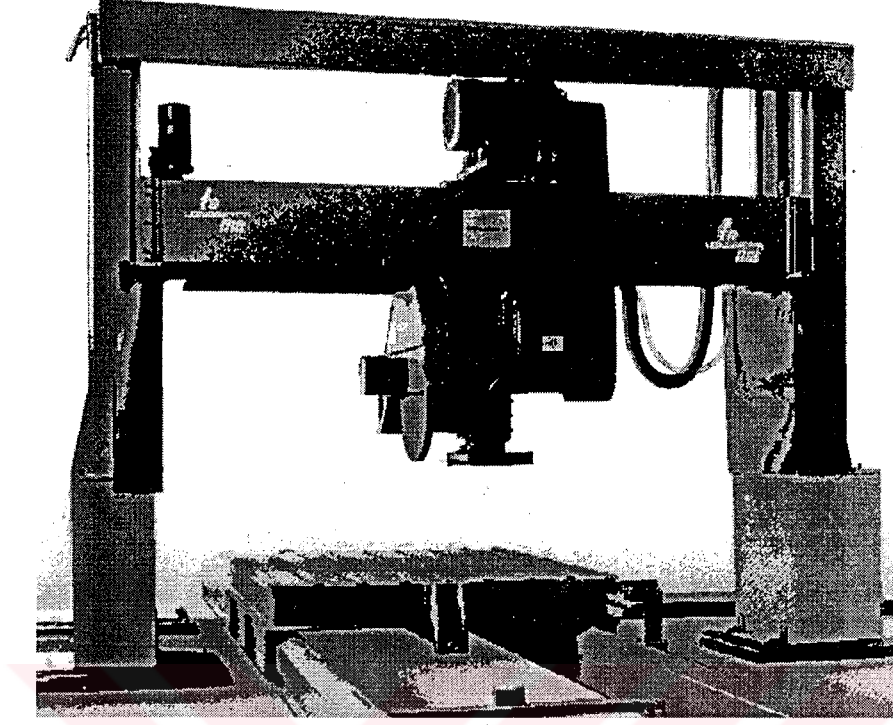
Dairesel testereler, özel alaşımlı çelikten imal edilen, çapı 200 - 3000 mm ve kalınlığı 3 - 10 mm kadar olabilen kesme araçlarıdır. Diskin ortasından geçen mil, dönüş hareketini bir elektrik motorundan alır. Diskin bu mil üzerine sağlamca oturtulması ve sağa - sola yalpalamaması için, diskine çapına uygun çapta seçilen flanşlar, diskine her iki tarafına sıkıştırılır.

Dairesel testerelerin etrafında belirli aralıklarda boşluklar ve dişler bulunmakta ve dişler üzerine kesici uçlar kaynak edilmiş bulunmaktadır. Bloklardan plaka (strip) üretilmesinde veya bunların boyutlandırılmalarında kullanılırlar. Dairesel testerelerle kesim yapan makina türleri ve teknik özellikleri takip eden bölümlerde verilmiştir.

2.2.1. S/D makinaları (Block Cutters)

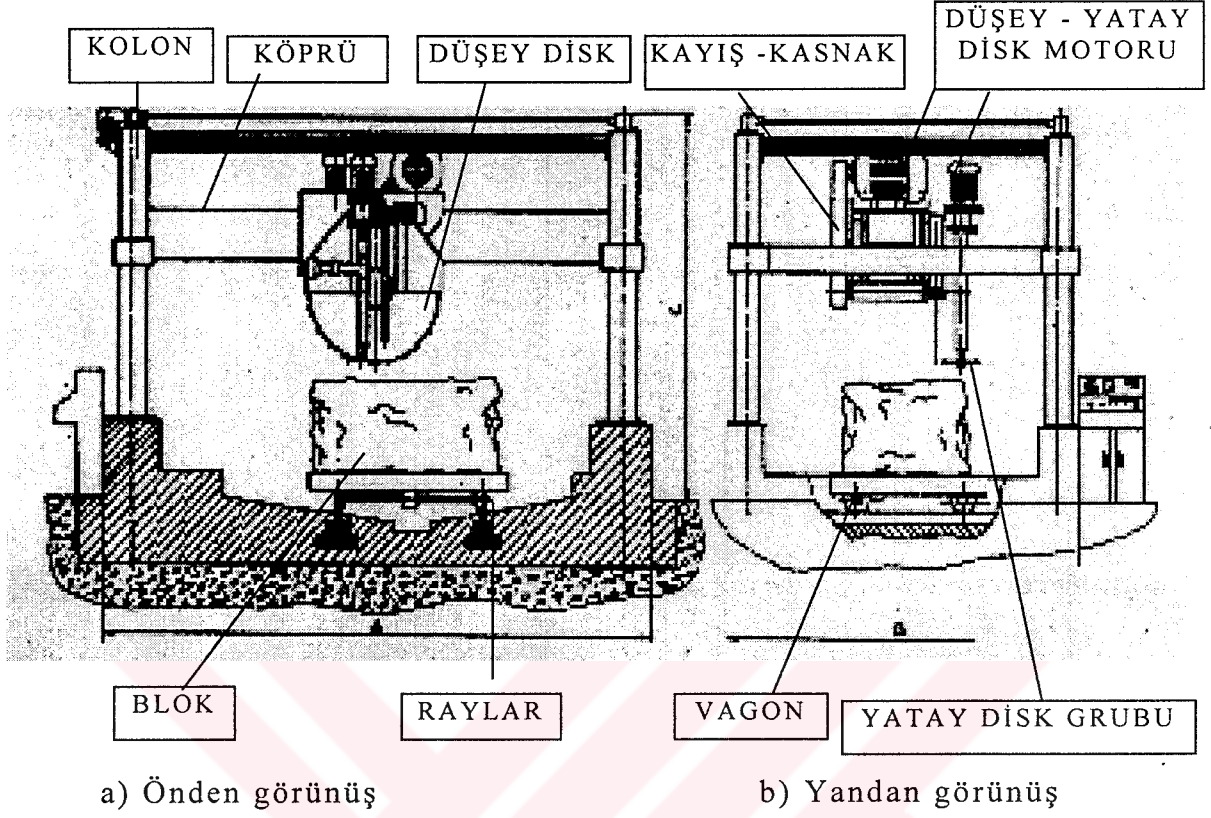
Bu makinalar blok ve molozlardan plaka üretilmesinde yaygınca kullanılırlar. İki veya dört kolonlu olmak üzere iki farklı yapıda olabilmektedir.

İki kolonlularda: kesme ünitesinin yatay düzlemde sağa - sola hareketini sağlayan köprü ünitesi bu iki kolon üzerine monte edilmiştir. Ayrıca köprü ünitesi bu kolonlarda bulunan dişli miller yardımıyla düşey düzlemde yukarı - aşağı hareket eder. Kolonların arasında bulunan raylara oturtulmuş vagon üzerine blok sağlamca yerleştirilir ve vagonun disk kesme düzlemine dik olarak ileri - geri hareketiyle kesilecek plakanın kalınlığı ayarlanır. Köprü ünitesinin üzerinde bulunan kesme ünitesinde; çapı 1000 - 1600 mm olan bir veya iki adet büyük düşey disk ve çapı 400 - 450 mm olan küçük yatay disk ile bunlara ait birer motor, ayrıca büyük diske ait kasnak grubu ve küçük yatay diskin yukarı - aşağı hareketini ve açılıp kapanmasını sağlayan hidrolik ünite yer almaktadır (Şekil 2.5). Kesme ünitesinin köprü üzerindeki hareketi kramayer dişli grubu ile sağlanmakta ve hareketin hızı genelde hidrolik olarak düzenlenmektedir. Düşey disk düşey düzlemde, yatay disk ise yatay düzlemde dönüş hareketi yapar. Düşey diskin görevi bloğu istenilen kalınlıklarda ve genişliklerde (derinliklerde) dilimlere ayırmaktır. Yatay diskin görevi ise düşey disk tarafından dilimlere ayrılmış kısmın alt kenarlarını keserek bloktan tamamen ayırmaktır. Bahsedilen bu iki işlem aynı anda yapılabildiği gibi, önce dilimleme sonra alt kenar kesimi de yapılabilmektedir.



Şekil 2.5. İki kolonlu S/D makinası.

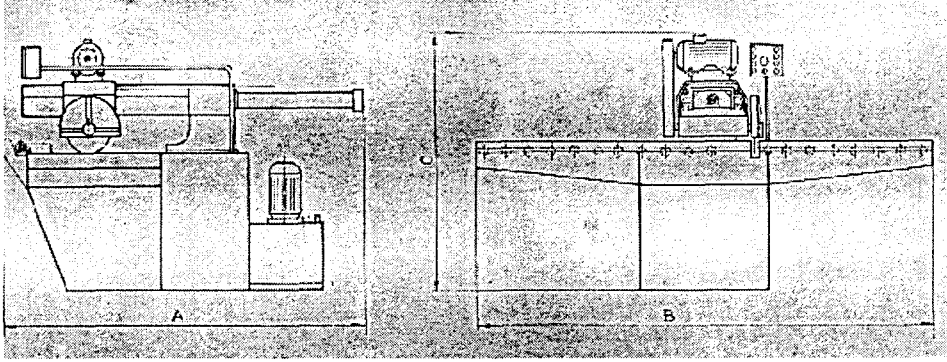
Dört kolonlu modellerde ise; blok kolonların alt kısmında sabit olarak kalmakta, köprü ünitesi ise bu kolonların üzerinde düşey olarak yukarı - aşağı ve ileri - geri, kesme ünitesi de köprü ünitesinin üzerinde yatay düzlemde sağa - sola hareket etmektedir (Şekil 2.6). Bloğun sabit kalarak kesme ünitesinin üç boyutlu hareket edebilmesi sayesinde, kesilen plakaların yüzeyleri daha düzgün ve kalınlıkları ölçü toleransları dahilinde daha az hatalı olarak alınabilmektedir. Bu sayede, plakaların sonraki işlem adımlarında daha az yüzey işleme prosesinden geçirilmesi nedeniyle maliyetler azalacaktır. Köprü ünitesi üzerinde çapı 1000 - 1600 mm olan 1 veya 32 adet düşey disk yer alabilir.



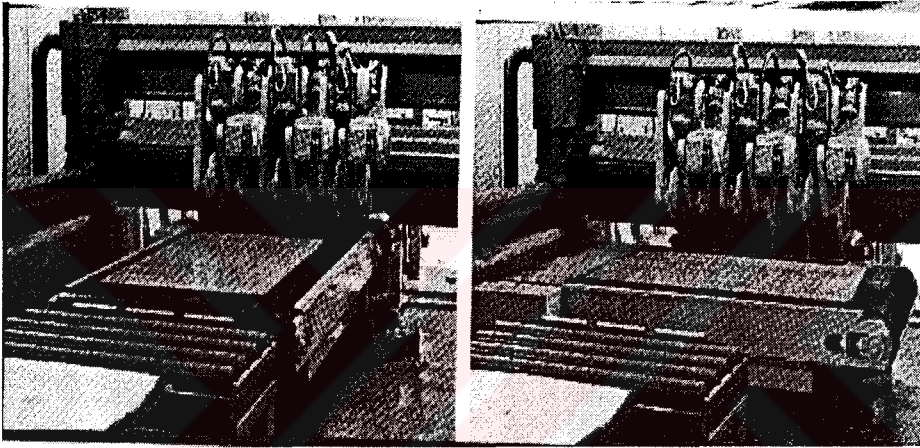
Şekil 2.6. Dört kolonlu S/D makinası.

2.2.2. Baş kesme - çoklu ebatlama makinaları

Bu makinaların görevi ebatsız olan veya kenarları düzgün şekle sahip olmayan plakaların baş kısımlarını keserek ebatlama yapmaktır. Çapı 350 - 600 mm olan bir veya sekiz adet disk istenilen aralıklarla birbirine paralel konumlandırılmış bir şekilde düşey düzlemde dönmektedir (Şekil 2.7 ve Şekil 2.8). Kesilecek plaka ya sabit konumda dururken disk / diskler plakaya doğru hareket etmekte veya disk / diskler sabit konumda dururken plaka bunlara doğru ilerletilerek kesim yapılmaktadır. Plakanın hareket (besleme) yönü diskin kesme düzlemine dik yönde olup hareket kayış bantlar veya tamburlar üzerinde sağlanır.



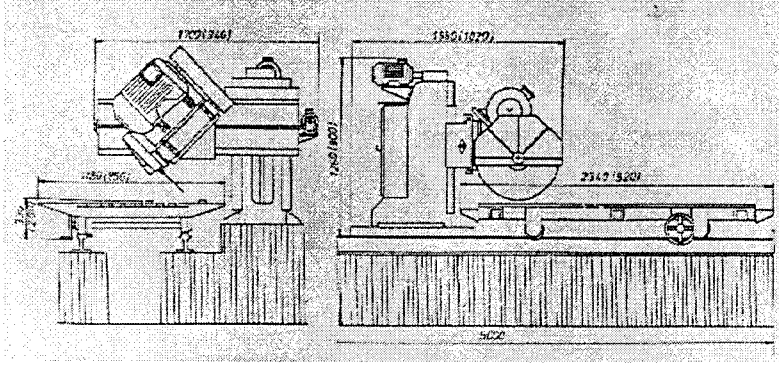
Şekil 2.7. Baş kesme makinası.



Şekil 2.8. Çok diskli ebatlama makinası.

2.2.3 Yan (Boy) kesme makinaları

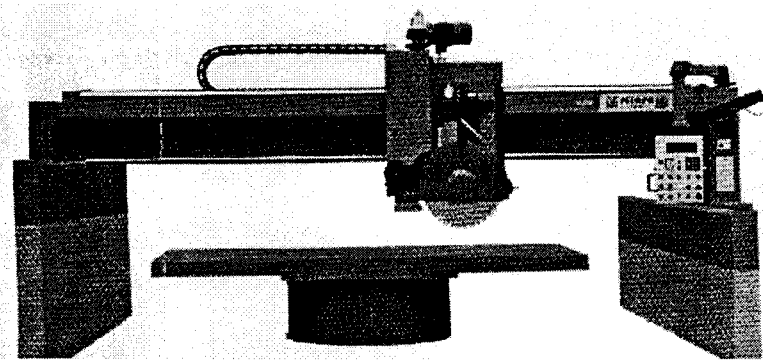
Genelde plakaların uzun kenarlarının kesilip düzeltilmesinde ve ebatlanmalarında veya levhaların istenilen boyuttaki plakalara ebatlanmalarında kullanılır. Çapı 400 - 450 mm olan düşey bir diske sahiptir. Bu disk, metal bir kolon üzerinde kızaklandırılmış yataklar üzerinde yukarı - aşağı ve ileri geri hareket edebilmektedir. Bu kolonun ön kısmında ya metal şase veya beton ayaklar üzerine konulan raylarda hareket eden bir araba (tabla) bulunur. Bu tablanın üst yüzeyinde belirli aralıklarla yerleştirilmiş kanallar bulunmakta olup arabanın hareketi mekanik bir kolla veya hidrolik olarak sağlanabilmektedir. Kesilecek plaka / levha bu tablanın üzerine yatırılmakta ve diskin dönüş yönünde diske doğru ilerletilerek kesim gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Yan kesme makinası.

2.2.4. Köprü kesme makinaları

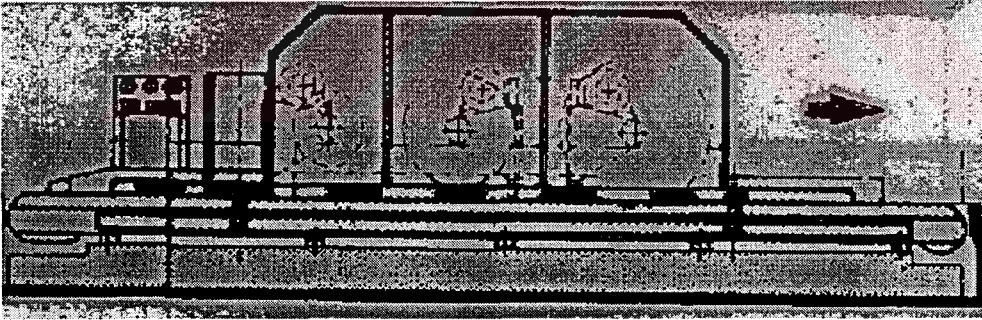
Bu makinalar genelde levhaların kenarlarının düzleştirilmesinde ve ebatlanmalarında kullanılır. Köprü ünitesi iki adet beton perde kolon üzerinde yatay düzlemde ileri - geri hareket etmektedir. Bu köprünün üzerinde bulunan kesme ünitesi ise köprü üzerinde sağa - sola hareket etmektedir. Kesme ünitesinde çapı 450 - 800 mm olan düşey bir disk ve motor ile kayış - kasnak grubu yer alır. Köprü ünitesinin alt kısmında zemin üzerinde hidrolik olarak düşey düzlemde yukarı - aşağı kalkıp - inebilen yatay tabla bulunmaktadır. Levha / levhalar bu tabla üzerine elle veya vinçler yardımıyla önce dik olarak konulmakta daha sonra tabla yatay düzleme yatırılmaktadır. Disk ön kenarın kesimini yaptıktan sonra köprü geriye alınarak arka kenarın kesimini yapar, geri kalan diğer kenarların kesimi için tabla yatay düzlemde 90^0 döndürülerek aynı kesim işlemleri bu kenarlarda da yapılır. Kesilecek olan doğrultunun saptanması için lazer tabancalı modelleri de geliştirilmiştir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Köprü kesme makinası.

2.2.5. Düşey yarma makinaları

S/D makinalarından alınan, kalınlığı 15 - 20 cm olan ve *kütük* olarak isimlendirilen parçaların, kalınlıkları 1 - 2 cm olan plakalar haline getirilmesinde kullanılan makinalardır. Bu makinaların asıl kullanım amacı birim zamandaki plaka üretim miktarını arttırmaktır. Yapıları ise; aynı doğrultuda farklı çapa sahip üç adet disk grubu belirli aralıklarla artarda sıralanmıştır. Her disk grubunda plaka kalınlığı kadar aralıklarla yan yana 5 - 10 adet disk yer alır. Artarda bulunan disklerden çapı 600 mm olan küçük diskler önce kütüğü belirli derinliğe (5 - 10 cm) kadar dilimler, bunların arkasında yer alan çapı 725 mm olan diğer diskler ise dilimlenmiş olan kısmın derinliğini yine belirli bir derinliğe (5 - 10 cm) kadar dilimler ve çapı 900 mm olan büyük diskler kütüğün geri kalan tüm derinliği boyunca kesimi tamamlar. Kütük, disklerin kesim yönünde tamburların üzerinde ilerletilerek, her disk grubu sayesinde kademeli olarak kesim gerçekleşir (Şekil 2.11).

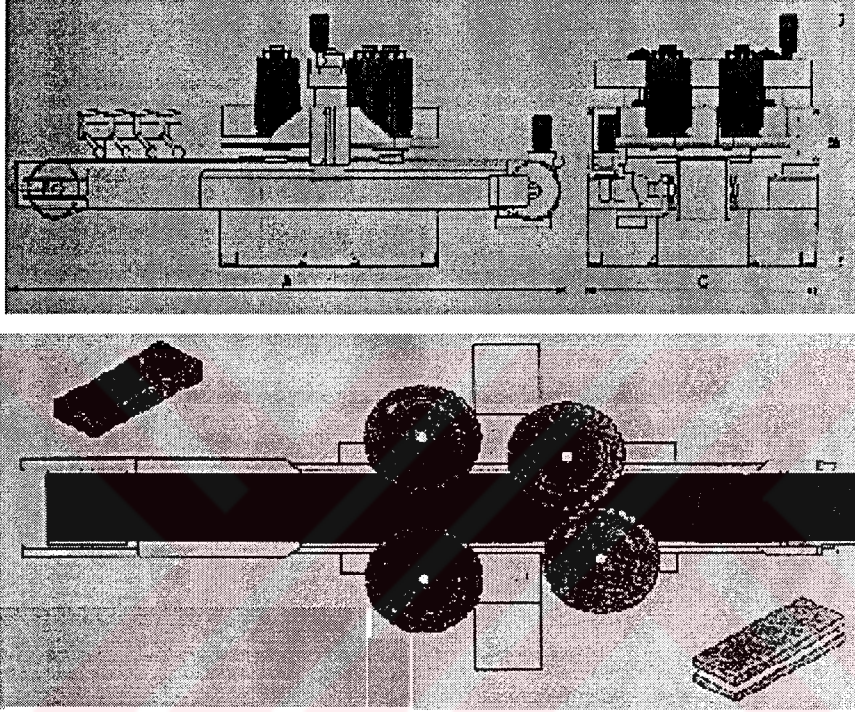


Şekil 2.11. Düşey yarma makinası.

2.2.6. Yatay yarma makinaları

S/D makinalarından alınan kalınlığı yaklaşık 3 cm olan plakaların iki adet 1 cm kalınlığındaki plakalara (strip) dönüştürülmesinde kullanılırlar. Makina üzerinde çapı 600 mm olan dört adet disk bulunur. Bu diskin iki tanesi önde iki tanesi de arkada ancak, eksenleri farklı doğrultularda olacak şekilde yatay konumda yer

alırlar. Plaka, makinanın ön kısmından beslenir. Öndeki diskler plakanın sağ ve sol yanından plaka kalınlığının 1/4 'ü kadar, diğer geride kalan diskler ise 1/2 'si kadar kesim yaparak plaka ortasından tamamen ikiye ayrılmış olur. Böylece, 3 cm kalınlığında giren plaka 1 cm kalınlığında iki adet plaka haline getirilir (Şekil 2.12).

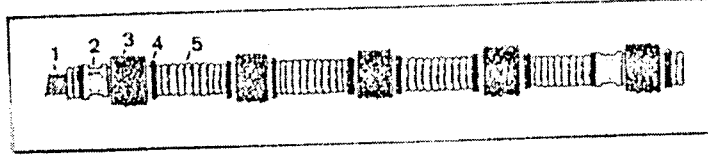


Şekil 2.12. Yatay yarma makinası.

2.3. Elmas Tellerle Kesme

2.3.1. Elmas tel kesme makinası

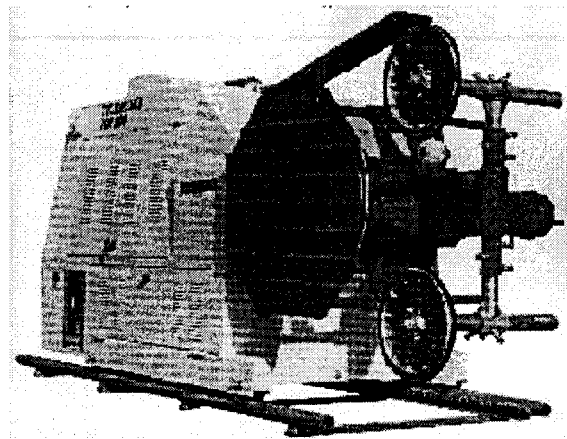
Bu makinalar daha çok ana kütleden belirli boyutlarda blokların kesilip çıkarılmasında kullanılır. Kalınlığı 1 mm olan, 7 - 8 adet ince çelik telin özel olarak birbiri üzerinde burulması ile çelik tel hazırlanır. Çelik telin üzerine ise kesmeyi sağlayan elmas boncuklar dizilmiştir. Elmas boncukların aralarında ise yaylar, pullar ve sıkmacık yer alır (Şekil 2.13). Telin iki ucu bir araya getirilip, sıkmacığın hidrolik presle preslenerek sağlamca birleştirilmesiyle tel sonsuz dönümlü hale getirilir.



Elmastel dizimi 1) Çeliktel 2) Sıkmacık 3) Boncuk 4) Pul 5) Yay

Şekil 2.13. Elmas tel ve parçaları.

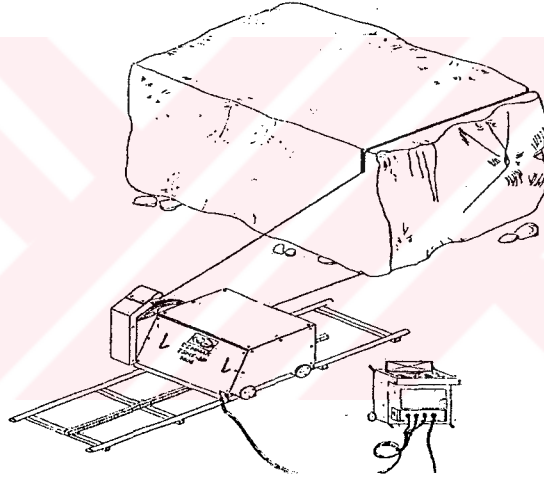
Elmas tel kesme makinasının ana ünitesi üzerinde bir adet ana motor, ana volan, iki adet yönlendirme - germe makarası ve bir adet DC hareket motoru bulunur. Ana ünite zemine yerleştirilen iki adet ray üzerinde oturtulur. Rayların ortasında bulunan kramayer dişli, hareketi sağlayan motorun dişlisine oturtulup istenilen hız ayarlanılarak ileri - geri hareket sağlanır (Şekil 2.14). Elmas tel, kesilecek blok kenarlarına açılmış deliklerden geçirilerek iki ucu birleştirilir, sonra ana volan ve yardımcı makaralardan dolaştırılır, ana motorun döndürülmesi ile tel de döndürülmüş olur. Telin blok üzerinde sürtünmesi sırasında su verilir. Kesimin sürekli ve düzgün olabilmesi için telin belirli bir gerginlikte olması gerekir. Bu nedenle, kesim yapıldıkça telin gerginliğini sağlamak için, makinanın kesilen bloğa göre geriye doğru ötelenmesi dikkatlice yapılmalıdır. Gereğinden düşük hızlar kesim hızının düşmesine, gereğinden yüksek hızlar ise telin sıkışarak kopmasına neden olur.



Şekil 2.14. Elmas tel kesme makinası.

2.3.2. Sayalama (mini elmas tel kesme) makinası

Bu makinalar elmas tel kesme makinasının küçültülmüş bir modelidir. Daha çok ana kütleden koparılan blokların kenarlarının düzeltilmesinde veya belirli boyutlara küçültülmesinde kullanılırlar. Yapıları benzerlik göstermekte olup, bir rampa üzerinde kesim yaptıkça kendi ağırlığıyla kendini geriye öteleyebilen tipleri de mevcuttur. Kesme kapasiteleri büyük modellerine göre daha düşük olmasına karşılık, hafif ve kolay taşınabilir olması nedeniyle yaygınca kullanılmaktadırlar (Şekil 2.15).

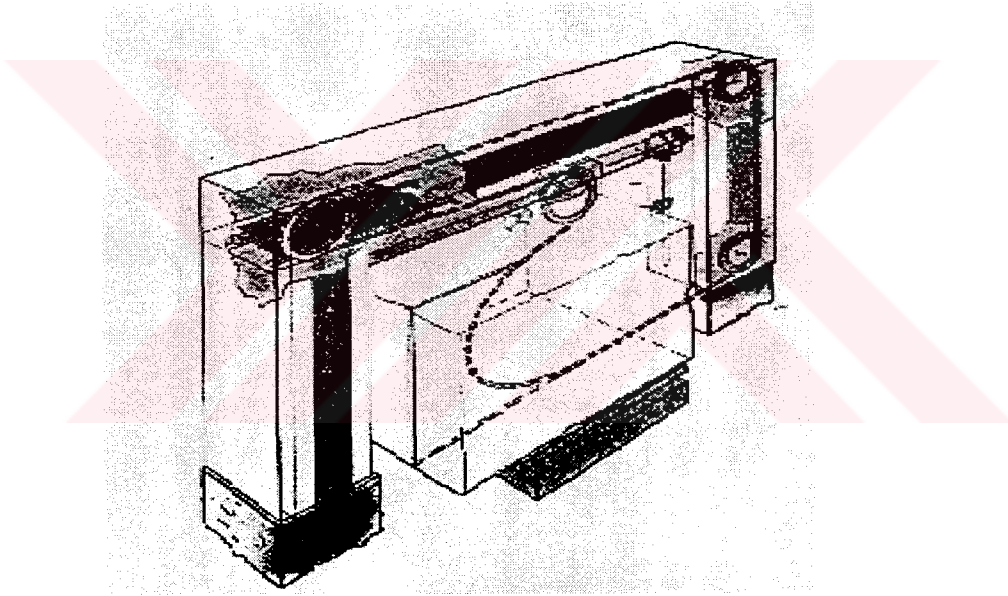


Şekil 2.15. Sayalama makinası.

2.3.3. Mono-tel kesme makinası

Bu makinaların kullanım amacı kenarları düzgün olmayan blokların kenarlarını düzeltmek, belirli boyutlara küçültmek veya belirli şekillerde kalın takozlar kesmektir. Bu makinalarda kesme işleminde yine elmas tel kullanılır. Yapıları kısmen monolama makinalarına benzemektedir. İki adet metal kolon, bu kolona yataklandırılmış iki adet ana volan, telin gerginliğini ve yönlendirilmesini sağlayan 2 -3 adet yardımcı makara bulunmaktadır.

Elmas telin uzunluğu 10 - 12 m kadar olup bu volanlardan ve makaralardan geçirilerek iki ucu birleştirilir. Kolonlar arasında bulunan raylar üzerindeki vagona blok sağlamca yerleştirilerek kesilecek doğrultusu telin altına getirilir. Dönen telin yukarıdan - aşağıya doğru hareketi sağlanarak kesim gerçekleştirilir. Bazı modellerde ise tel, bloğun altından dolaştırılarak makinanın st kısmında bulunan yardımcı makaradan geçirilir. Bu makaranın soldan - sağa doğru hareket ettirilmesi ile tel yukarı doğru gerdirilerek kesme işlemi gerçekleşir (Şekil 2.16). Monolama makinalarına göre daha ucuz ve kullanımlarının pratik olması avantaj sağlar.

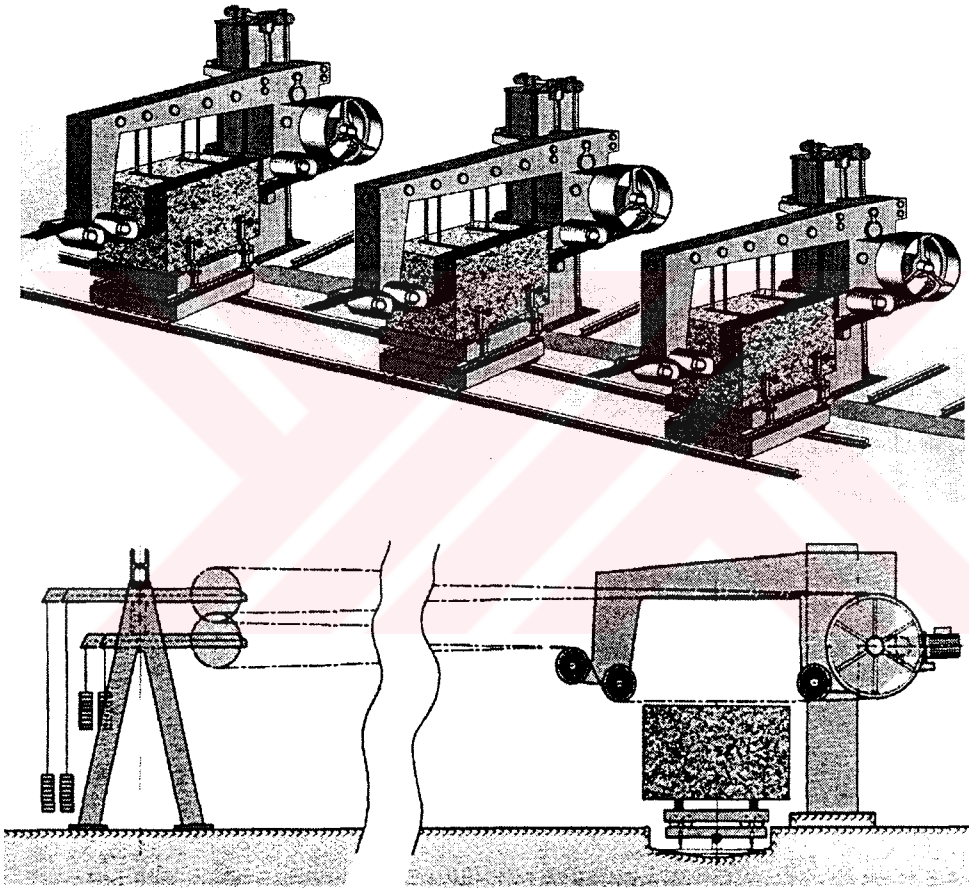


Şekil 2.16. Mono-tel kesme makinası.

2.3.4. Elmas telli katraklar

Bu makinalar yapı olarak kısmen mono-tel kesme makinasına benzer. Ancak, bunlardaki volanlar daha geniş olup aynı anda on adet tel geçirilebilir. Yaklaşık 650 m uzunluğundaki elmas tel 8 mm kalınlığa sahip olup sonsuz dönümlü olarak aynı yönde çevrilir.

Makinanın 30 m kadar yan kısmında ise bu tellerin gergin durmasını sağlayan gergi makaraları ve 250 kg kadar olan karşı denge ağırlıkları bulunur (Şekil 2.17). Bloklardan levha (1 - 5 cm kalınlığında) veya daha kalın takozların kesilmesi amacıyla kullanılır. Özellikle sert karakterli kayalarđın (granit vb.) kesilmesinde ekonomik üretim yaparlar.



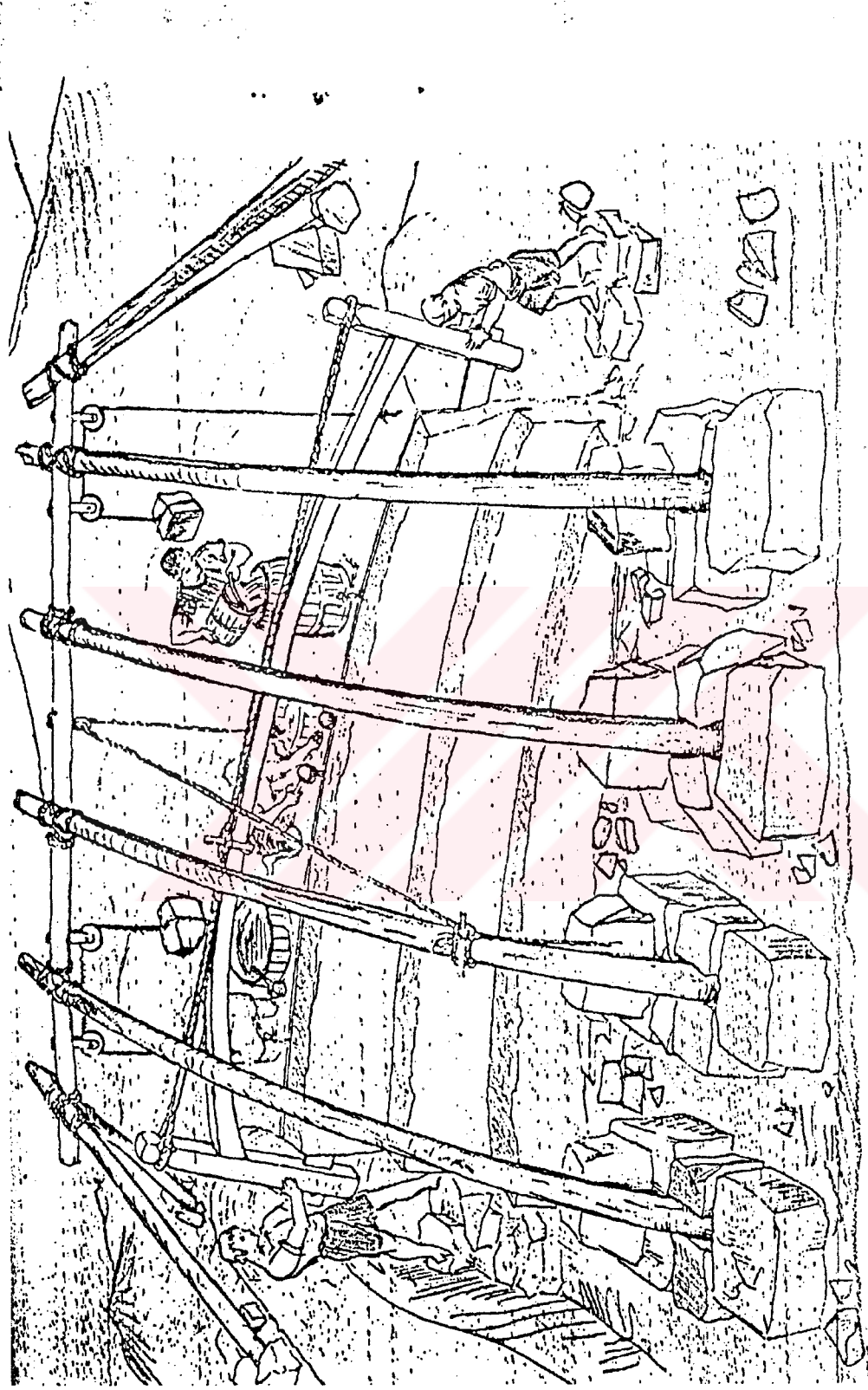
Şekil 2.17. Elmas telli katrak makinası.

3. MERMER KESİMİNDE KULLANILAN KESİCİ - AŞINDIRICILARIN YAPILARI VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ

3.1. Aşındırıcı Tozlar ve Çelik Granüller

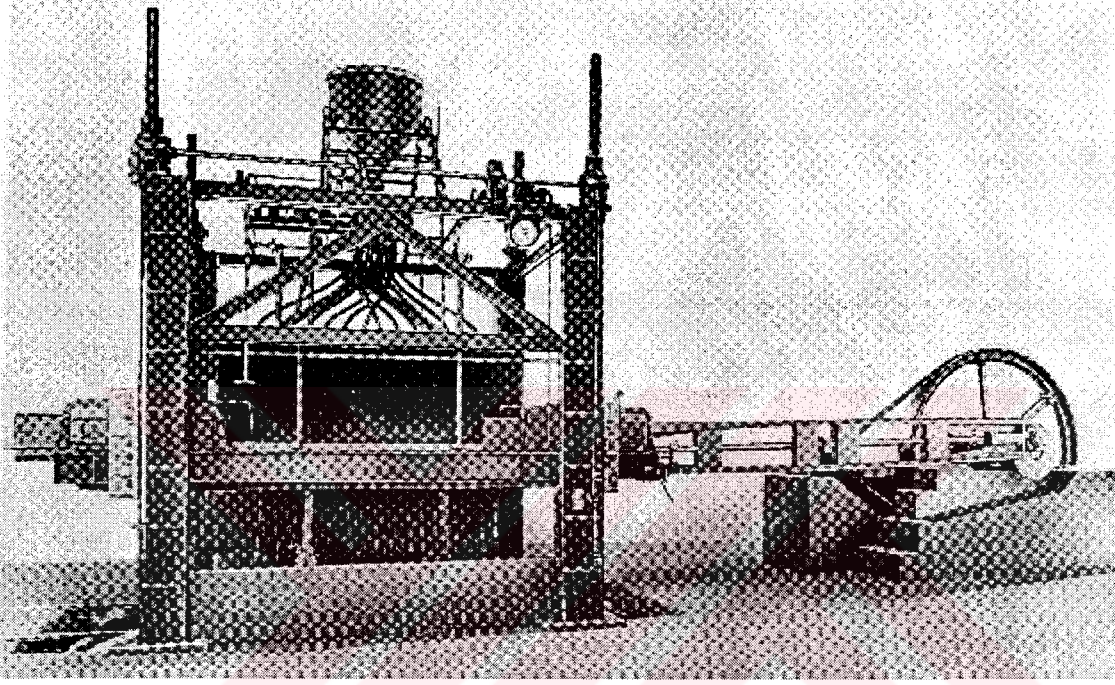
Bu tür malzemeler *Kumlu Katrak* olarak anılan geleneksel katraklarda kullanılır. Aşındırıcı toz olarak genelde belirli boyutlardaki *silis kumu* kullanılmaktadır. Kum, su ile birlikte karıştırılarak belirli miktarlarda ve sürekli olarak lama üzerinden kesilecek yüzeye besleme yapılır. Lamanın yatay hareketi sırasında bu malzemeler lama ile kesilecek yüzey arasına girerek sürtünmekte ve yüzeyden tanecikler koparmakta, aşındırarak kesme sağlamaktadır. Genelde bu tür aşındırıcılarla kesme işlemi, görece yumuşak sayılabilecek (Hakiki mermerler, kireçtaşları vb.) kayaçların kesiminde yaygınca kullanılmış olan ve düşük üretim hızları nedeniyle terkedilmiş yöntemdir (Şekil 3.1).

Günümüzde, istenilen yüksek üretim hızlarına ulaşmak ve sert kayaçların kesilmesini sağlayabilmek için silis kumu yerine *çelik granüller* kullanılmaktadır (Şekil 3.2). Bu granüller özel alaşımlı çeliklerin görece küresel şekilli ve yüzeyi girintili çıkıntılı olarak üretilmesiyle elde edilirler. Kesme işlemine yardımcı olarak yine su kullanılmaktadır. Bu tür malzemelerle kesilen kayaçların genelde yüksek SiO_2 (> % 65) içermesi nedeniyle kesim sonucu çıkan talaşlar suya asidik özellik katarlar. Bu nedenle suyun dolaştığı sistemlerde korozyona uğrama tehlikesi bulunur. Bunun önlenmesi için suyun pH'nın nötr hale getirilmesi amacıyla suya bazik karakter taşıyan kireç ilave edilir. Kirecin diğer bir yararı da su ve çelik granül karışımının hazırlandığı haznenin viskozitesini yükselterek, karışım içerisindeki tanelerin hızla çökmesini, lama üzerine yoğun olarak tane düşmesini önlemesidir. Bu şekilde, kesilecek yüzey üzerine karışım homojen olarak beslenecek ve kesim sağlıklı olarak yapılacaktır.



Şekil 3.1. Antik devirlerde kumlu katarakla blok kesme çalışması (Texier,1923),

Bu tür aşındırıcılar yalnızca kesilecek yüzeyi aşındırmakla kalmaz, aynı zamanda çelik lamanın da aşınmasına neden olurlar. Lamalar genişliklerinin 2/3 'nü kaybettiklerinde, mekanik dayanımları azalacağı için mutlaka yenisi ile değiştirilmek zorundadır.



Şekil 3.2. Çelik granüllerle kesim yapan geleneksel katrağ.

3.2. Elmas Boncuklar

Teknolojinin ilerlemesine bağlı olarak sentetik sanayi elmasları kesme işlemlerinde yaygın kullanım alanı bulmuştur. Sentetik elmaslar grafitin yüksek basınçlarda (69 kbar) ve çok yüksek sıcaklıklarda (2200 °C) bazı işlemlerden geçirilmesi sonucu üretilirler (Akkurt, 1996).

Sentetik elmaslar ya elektroliz yöntemiyle ya da sinterleme yöntemiyle metal matriks içerisine yerleştirilmektedir. Elektroliz yönteminde elmas boncuğun metal kısmı elektroliz kabına daldırılmakta, matriks kısmı oluşturan metal tozları elektrolize olarak

boncuğun ve elmas tanelerinin üzerine sıkıca yapışmaktadır. Bu tür boncukların ilk kesme anında verim oldukça yüksek olmasına rağmen zamanla aşınmasından dolayı kesme verimi hızla düşer.

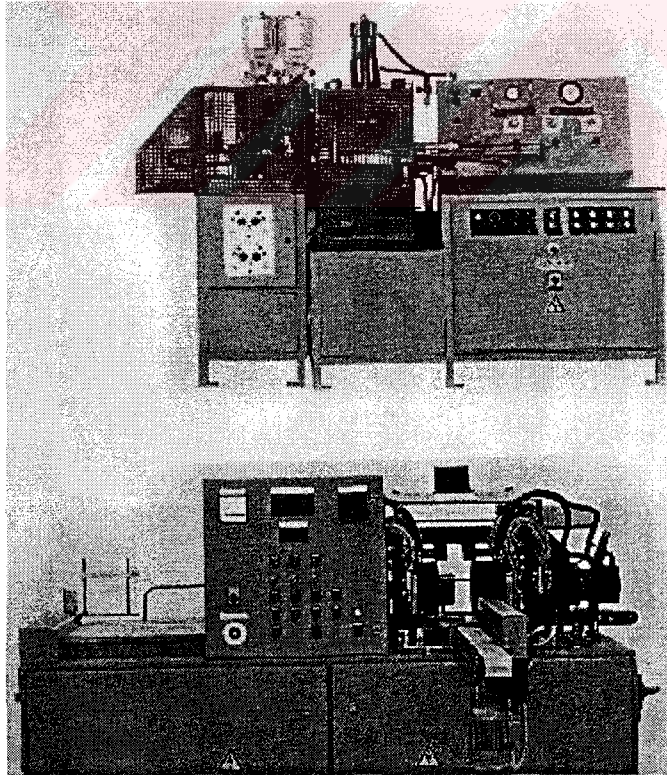
Elektroliz telin bu dezavantajı nedeniyle sinterleme yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde, kalıp içerisine boncuk yerleştirilmekte ve bunun etrafına elmas taneleri, matriksi oluşturacak metal tozları belirli miktarlarda ve konsantrasyonlarda karıştırılmış halde ilave edilerek sıcak preslemeye tabi tutulurlar. Isının ve basıncın etkisi ile şekillenmiş boncuklar daha sonra vakumlu, yüksek sıcaklıklara çıkabilen sinterleme fırınlarına konularak, karmaşık işlemler sonucu sinterleme tamamlanır. Elde edilen sinterize elmas boncuklarda elmas taneler metal matriks tarafından tamamen kaplanmış olduğundan, kullanım öncesi bilenerек elmas tanelerinin açığa çıkması sağlanmalıdır. Bu nedenle, sinterize elmas tellerin ilk kesme verimleri düşük olmakta, elmas tanelerinin yüzeye çıkmasından sonra ekonomik ömrü boyunca yüksek verimli olarak devam etmektedir.

3.3. Elmas Soketler (Segmentler)

Lamalarla kesme işlemlerinde zımpara kumu ve çelik granüllerin kesme hızlarının düşük olması ve sentetik elmasların kullanım olanaklarının artması sonucu elmas soketler (segmentler) üretilmeye başlanılmış ve dairesel testerelede uygulama alanı bulmuştur.

Elmas soketlerin üretimi elmas boncukların üretim tekniğine benzemekle beraber, toz metalurjisi yöntemiyle yapılan sinterize soketlerin kullanımı oldukça yaygındır. Sinterleme işleminde amaç, matriks kısmı oluşturan metal tozlarının ergiyerek elmas tanelerinin etrafını tamamen ve sıkıca sarmasıdır. Belirli oranlardaki ve

boyutlardaki metal tozları (Cu, Sn, Co, Cr, Ni, W, Ti) ile belirli boyutlardaki (500 μ - 50 μ) ve belirli konsantrasyonlardaki elmas taneleri önce karıştırılmakta, sonra istenilen şekilde hazırlanmış kalıplar içerisinde ısı yardımıyla izostatik olarak preslenilmektedir. Bu kalıptan çıkarılan soketlerin sinterlenmesi için iki farklı yöntem geliştirilmiştir. Birinci yöntemde, preslenmiş soketlerin aralarına grafit tabletler konularak özel kalıplar içerisinde sıkıştırılmaktadır. Daha sonra bu kalıplar yüksek elektrik ark makinalarına konulmaktadır. Kalıplar üzerinden yüksek elektrik akımı geçirilerek elde edilen yüksek ısı sayesinde metal tozlarının yüzeyleri ergiyerek birbirlerine kenetlenirler ve aralarında bulunan elmas tanelerinin de yüzeyini sıvayarak sıkıca kavrarlar. Bu işlemi gerçekleştiren sürekli (continuous) tip makinalar bulunmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Elmas soket üretim makinası.

Diğer sinterleme yöntemi ise yüksek ısıli sinterleme fırınlarıdır. Bu fırınlar vakumlu olarak inert gaz ortamında sinterleme yapmaktadır. Kalıptan çıkarılan soketler fırın içersine yerleştirilmekte ve sonra fırının içindeki hava vakumlanarak içersine oksidasyonu önleyici çözünmüş azot gazı ilave edilmektedir. Isının yükselmesi ile birlikte metal tozlar eriyerek sıvı faza geçmekte ve böylece tümü karışarak alaşım oluşturulmaktadır. Alaşım ise elmas tanelerini tamamen sararak onları sıkıca kavrar. Vakumlu ortamlarda sıvı faz sinterlemesinde taneler arasında boşluk kalmamakta, bu ise poroziteyi azaltarak matriksin darbelere karşı dayanımını daha da arttırmaktadır. Sinterleme tamamlandıktan sonra fırının ısısı yavaş bir şekilde düşürülerek soketler soğutulmaktadır. Bu şekilde ani soğuma ile oluşacak çatlaklar ve şekil deformasyonları önlenmiş olmaktadır. Bu proses de oldukça karmaşık ve özel bir uzmanlık gerektiren konudur (Metals Handbook, 1984).

Üretilen elmas soketlerin lamalara ve dairesel testerelele kaynak edilmesi için iki yöntem bulunmaktadır. İlk yöntem klasik oksijen kaynağıdır, yaygın olarak kullanılır ve pratik olması nedeniyle tercih edilir. Bu yöntemde, soket kaynak edileceği yüzeye ufak bir mengene ile sıkıca tutturulur. Nişadıra batırılan pirinç tel oksijen alevi ile birlikte kaynak edilecek tüm yüzey boyunca (lehim yapılır gibi) gezdirilir. Pirinç tel yüksek ısı etkisi ile eriyerek, kaynak edilecek yüzey ile elmas soket arasına girerek birbirlerine sıkıca yapışmalarını sağlar. Elmas soketin kaynak edilen yüzeyindeki kısımda elmas taneleri bulunmamakta ve yalnızca metalden oluşmaktadır, bu altta kalan kısma *soket yatağı* denilir. Bu sayede yüksek ısıdan dolayı elmas tanelerinin gereksiz yere yanmaları önlenilmiş olur. Bu yöntemin basit, ucuz olması, aynı yüzeye birkaç kere yeniden yapılabilmesi ve büyük çaplı dairesel testerelele de kolayca uygulanabilmesi avantajı iken, darbelere ve yüksek ısıya karşı dayanıksız olması dezavantajıdır.

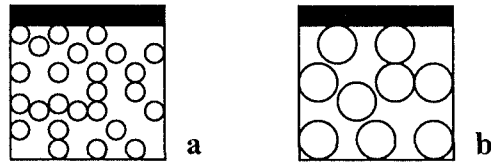
Diğer bir kaynak yöntemi ise lazer kaynağı olup bu yöntemde yüksek ısı kaynağı lazer ışınıdır. Elmas soket ve kaynak edilecek yüzey yine aynı şekilde tutturulur ve kaynak edilecek yüzeyler boyunca lazer ışını gezdirilir. Lazer ışını elmas soketin ve lama / dairesel testerenin kaynak yüzeylerinin metalleri ergiterek birbirlerine yapışmalarını sağlar. Sistemin pahalı , karmaşık olması ve yalnızca ilgili atölyelerde yapılabilmesi yanı sıra, kaynak edilen yere yalnızca bir defa bu işlemin yapılabilmesi ve küçük çaplı disklerde uygulanmasının daha ekonomik olması kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Yapılan kaynağın darbelere ve yüksek ısıya karşı dayanımlarının oldukça yüksek olması ve yüksek devirlerde soket fırlama riskinin düşük olması avantajıdır. Bu iki yöntemin birbirlerine karşı avantajları ve dezavantajları Çizelge 3.1 'de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Dairesel testelerde lazer ve pirinç kaynağının karşılaştırılması (Wobker and Przywara, 1994)

LAZER KAYNAĞI	PİRİNÇ KAYNAĞI
<i>Avantajı</i>	<i>Dezavantajı</i>
Soket kaynağında yüksek mekanik dayanım	Düşük makaslama dayanımı
Yüksek ısı dayanımı (kuru kesimler için uygun)	Kesim işlemi sırasında soğutucu gerekli
Küçük ısı etki bölgesi, çekme (büzülme) yok	Testerede hafif çekme (büzülme) var
Yüksek kaynak hızı	Düşük kaynak hızı
<i>Dezavantajı</i>	<i>Avantajı</i>
Yalnızca küçük çaplı testelere uygun	Büyük çaplı testelerde de uygun
Yüksek maliyet (Lazerden dolayı)	Düşük maliyet
Taşıyıcı bünyede tolerans aralığı yüksek	Tolerans aralığı yüksek değil
Karbonlu çelikten imal testere malzemelerine ön gerilim takviyesi gerekli	Her tür testere malzemesi için uygun
Soket malzemesi özel olarak seçilmeli	Her tür soket malzemesi için uygun
Sokette elmassız alt kısım (yatak) gerekli	Her tür soket şekli için uygun
Daha az teknik yardım	Testereye daha fazla teknik yardım

Sert ve aşındırıcı karakterdeki kayaların (granit, bazalt, gabro, siyenit, diabaz, diorit, gnays, kumtaşı vb.) kesilmesinde kullanılan soketlerde; elmas tane boyutları küçük, diğer bir ifade ile konsantrasyonu (birim hacimdeki miktar) yüksek olmalı, matriks malzemesi ise kesilen kayaca göre yumuşak olmalıdır. Tanelerin iri olması durumunda matriksin çabuk aşınmasından dolayı soket yüzeyinde tanelerin büyük bir kısmı açıkta kalacak ve yoğun darbeler sonucunda kolayca kırılacaktır. Matriksin sert malzemeden yapılması durumunda, düşen veya aşınan tanenin yerine yeni bir elmas yüzeyinin çıkması geç aşınmadan dolayı gerçekleşemeyecek, soket körelecektir.

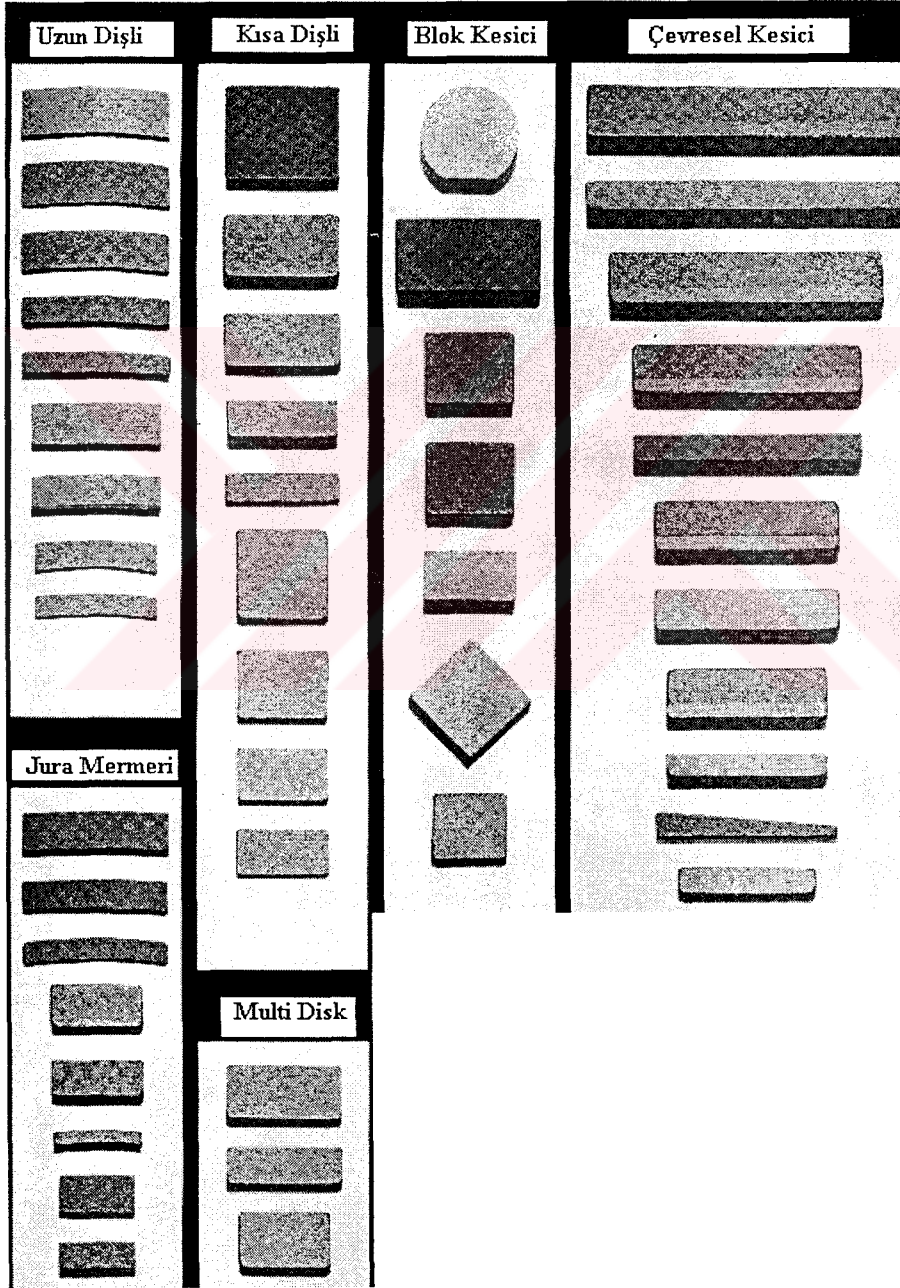
Yumuşak ve aşındırıcı olmayan kayaların (mermer, kireçtaşı, traverten vb.) kesiminde kullanılan elmas soketlerde ise elmas taneleri iri boyutta, konsantrasyonu seyrek, matriks malzemesi kesilen kayaca göre sert olmalıdır. Kesilen kayacın yumuşak olmasından dolayı kesme işlemi kolaylaşacağından, birim zamandaki üretim artışı ancak iri boyutlu elmas tanelerinin kullanılması ile sağlanılabilir. Ancak iri boyutlu elmas tanelerinin kolayca kırılıp düşmemeleri için matriksin taneyi sıkıca kavraması ve ona destek olması ancak sert özellik taşımasıyla sağlanabilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Elmas soketin sert (a) ve yumuşak (b) mermerlere uygun yapısı (Sonmak elmas ekipmanları kullanım kılavuzu).

Soketlerde matriks yapısının ve elmas tanelerinin boyutu kadar soketin şekli de önemlidir. Elmas soketler genelde dikdörtgensel prizma şeklinde imal edilmekle birlikte, yeni araştırmalar sonucu farklı şekiller de geliştirilmiştir. Özellikle, kesme bölgesine daha fazla suyun gelmesi ve oluşan talaşların hızla ortamdan uzaklaştırılabilmesi için soket yüzeyleri üzerine kanallar ve yivler konulmuştur. Ayrıca, özellikle dairesel testerelerde tek yönde dönüş

olduğundan, dönüş yönündeki ön kenar daha fazla aşınırken arkadaki kenarın daha az aşındığı gözlenilmektedir. Bu nedenle, aşınmanın az olduğu kısma gereksiz malzeme kullanımının önlenmesi amacıyla yarım ay şeklindeki elmas soketler üretilmiştir. Bu yeni tasarımlar sayesinde hem soketin ömrü daha da artmakta hem de gereksiz malzeme kullanımı azaltılarak maliyetler düşürülmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Değişik şekillerdeki elmas soket çeşitleri (Diabü elmas ekipmanları katalogu).

Elmas soketlerde kullanılan elmas taneleri değişik firmaların isimlendirdiği şekilde standardize edilmiştir (Wright and Jennings, 1989). Bunlara ait bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

a) *SDA Serisi*: De Beers firmasının ürettiği SDA serisinde tüm elmas taneleri 60 US mesh 'den daha iridir ve elmas tanelerinin kristal yapıları kübik - oktahedraldir. Bu maksimum aşınma ve dayanım direci için ideal bir şekildir. SDA100+ (Plus) ve SDA 100 serisi sert karakterli taşların ve yüksek kesme hızlarının gerektirdiği durumların dışında kullanılır. SDA85+ ve SDA85 geniş bir aralıkta kesim için genel amaçlı bir abrasivdir. Bununla birlikte SDA+ ve SDA orta sertlikte ve altındaki sertliklerde aşınan malzemelerin kesiminde tercih edilir.

b) *MDA Serisi*: Bu boyutlar SDA sınıflandırmalarındaki şekil ve dayanım özelliklerine benzer özellikler taşır. Ancak, 60 US mesh 'den daha küçük boyutlarda da bulunurlar. Bu nedenle daha ince yüzey işlemleri gerektiren taşlama, öğütme işlemlerinde de kullanılabilirler.

c) *Doğal Boyutlar*: Doğal elmas aşındırıcılarının sentetik elmas aşındırıcılara göre birçok avantajları vardır. Örneğin; daha yüksek kalıcı bağ yapabilme, daha keskin kesme uçları (serbest kesme takımları için yararlıdır), daha yüksek termal kararlılık ve elektro kaplama için daha uygundur. EMB ve EMBS doğal elmasların kırılması ile üretilirler ve 60 US mesh 'in üzerindeki ölçülerle gruplandırılır. SNDMB şekil ve dayanım özellikleri EMB/EMBS 'ye benzerdir ancak, 60 US mesh 'den çok daha küçük boyutlarda bulunabilirler. EDC; EMB ile benzer şekil özellikleri gösteren kırılmış sentetik boyuttur, mükemmel bağ kalıcılığı ve serbest kesme işlevine sahiptir. Bazı uygulamalarda bu sınıflardaki boyut SDA 'nın yerine tercih edilebilir.

4. DİSKLİ KESİCİLERLER ÜZERİNE YAPILAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Diskli kesicilerin ilk üretimine ve kullanımına 1854 'te Paris 'te başlanmıştır. 1863 'te Amerika 'da yapılan çalışmalar başarısız olurken 1885 'te Fransa 'da ilk başarılı çalışma gerçekleştirilmiştir (Wright and Jennings, 1989). Bu diskin çapı 2 m kadar olup çelikten üretilmiş ve soketteki elmaslar 0,8 karattan büyük seçilmiştir. Elmas taneleri bakır soketlerin içerisine açılan deliklere yerleştirildikten sonra elektrik arkı ile sinterlenmiştir. Soketlerde 0,75 mm 'lik elmaslar yüzeyde kalarak kesmeyi sağlıyordu. Ancak, soketlerin kesme işlemi sırasında koparak fırlaması tehlike yaratıyordu. 1930 'lu yıllarda, toz metalurjisi tekniklerinin geliştirilmesi ile birlikte sinterize soketlerin üretimi ve diskli kesicilerin kullanımı daha da artmıştır (Wright and Jennings, 1989).

Diskli kesicilerin ilk üretiminden günümüze kadar geçen 150 yıllık süreç sonunda, mekanik dayanımları daha yüksek diskler ve kayaç türlerine uygun yüksek ömür ve verimlilikte soketler ile daha dayanımlı kesme makinaları geliştirilmiştir. Takip eden bölümlerde konu ile ilgili yapılan önceki çalışmalar yayın başlıkları verilerek özetlenmiştir.

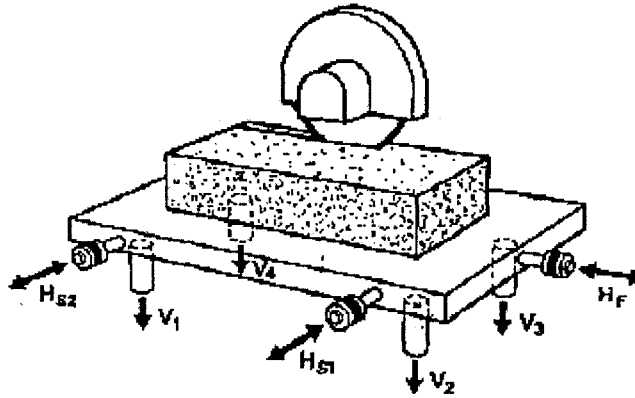
4.1. Kayaç Sertlik ve Aşınma İndeksinin Kayaç Kazı Ekipmanı Seçimine Uygulanması

Bu çalışma 1987 'de Nottigham Üniversitesi 'nde V. B. Cassapi tarafından doktora tezi olarak İngiltere'de yapılmıştır. Çalışmada genel olarak kayaçların kazılması - kesilmesi - delinmesini etkileyen mineralojik, fiziko - mekanik özellikleri ve kesici uç seçimi üzerinde durulmuştur. Mermer kesme kuvvetleri ile bu parametreler arasında regresyon analizleri yapılarak, ampirik bağıntılar elde edilmiştir.

Yukarıda anılan literatürün 5. Bölümü “ Factors influencing the sawability of stone ” başlığını taşımaktadır. Bu bölümde, dünyanın önde gelen suni elmas üreticilerinden De Beers firmasının ARGE ünitesi ve Nottingham Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünün ortak yürüttükleri, dairesel diskli kesicilerin kesme koşullarını etkileyen parametrelerin saptanılmasına ilişkin çalışmalara yer verilmiştir.

Çalışmada, dairesel diskin kesme işlemi sırasında kayaçla etkileşmesi nedeniyle oluşan kuvvetlerin ölçülmesi için, 7 adet *Load Cell* (yük hücresi) Gregori marka köprü kesme makinasına monte edilmiştir (Şekil 4.1). Şekil 4.1 'de kullanılan simgelerden V_1 , V_2 , V_3 ve V_4 oluşan düşey yükleri; H_{S1} ve H_{S2} diskin kesme yönüne dik oluşan yatay yükleri; H_F ise diskin kesme yönünde oluşan yatay (besleme) yüklerini ölçen load cell 'leri göstermektedir. Burada, diskin kesme yönünde oluşan yatay kuvvet F_H ile düşey kuvvet F_V 'nin bileşkesi olan kesme kuvveti F_R aşağıdaki bağıntıyla saptanmaktadır;

$$F_R = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} \quad (4.1)$$



Şekil 4.1. Cassapi (1987) tarafından kullanılan deney seti.

Bu deneylerde; çapı 600 mm olan disk üzerinde bulunan soketlerde SDA 100 (30 / 40 US mesh) türü konsantrasyonu 30 (konsantrasyon 100 = 4,4 karat / cm³) olan yüksek kalitede sentetik elmas kullanılmıştır. Diskin çevresel dönüş hızı 35 m/sn , kesme (ilerleme) hızı 3 m/dk ve kesme derinliği 10 mm olarak sabit tutulmuştur. Diskin dönüş hızı DC elektrik motoru (95 KW) yardımıyla 350 - 4350 dev/dak arasında düzenlenebilmektedir.

Anılan deneylerde toplam 8 farklı kayaç örneği kullanılmış olup dört tanesi granit, diğerleri ise larvekit, diorit, gabro ve kumtaşıdır. Seçilen örnekler genelde magmatik kökenli sert kayaçlar olup kuvars, plajiyoklas ve ortoklas mineralleri içermektedir. Seçilen kayaçların en önemli özellikleri oldukça sert ve çok aşındırıcı olmalarıdır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, her kayaç örneği için elde edilen mineralojik, fiziko - mekanik ve spesifik aşınma özellikleri arasında ilişkiler kurulmaya çalışılmıştır. Spesifik aşınmayı etkileyen parametreler çok değişkenli regresyon analizi yardımıyla ile ampirik olarak;

$$Y = - 0,059 - 0,0008 X_1 + 0,0077 X_2 + 0,0138 X_3 + 0,0214 X_4 + 0,0054 X_5 \quad (4.2)$$

bağıntısıyla verilmiş olup, korelasyon katsayısı = 0,981' dir.

Burada;

Y= Spesifik aşınma oranı (mm / m²)

X₁ = Shore scleroscope sertlik indeksi

X₂ = NCB konik delici sertlik indeksi

X₃ = Ortalama mohs sertlik indeksi

X₄ = Ortalama kuvars tane boyutu (mm)

X₅ = Ortalama plajiyoklas tane boyutu (mm) 'dur.

Bağıntı 4.2 'de kullanılan Shore scleroscope, NCB konik delici, Mohs sertlik indeksleri kayaç sertliği ölçüleri olup birbirleri ile karşılıklı olarak bağımlıdır. Bu nedenle, kayaç sertliğini temsilen NCB konik delici sertlik indeksi değerleri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucu

$$Y = 0,00248 + 0,0018 X_1 + 0,0098 X_2 + 0,024 X_3 \quad (4.3)$$

bağıntısı elde edilmiş olup, korelasyon katsayısı = 0,980' dir.

Burada;

Y= Spesifik aşınma oranı (mm / m²)

X₁ = NCB konik delici sertlik indeksi

X₂ = Ortalama kuvars tane boyutu (mm)

X₃ = Ortalama plajioklas tane boyutu (mm) 'dur.

Bağıntı 4.3 , spesifik aşınma oranının sertlik indekslerine, ortalama kuvars ve plajioklas tane boyutlarına bağımlı olduğuna işaret etmesi bakımından dikkat çekicidir.

Ayrıca, mermer kesme kuvvetinin bağımlı olduğu parametreler için yapılan çok değişkenli regresyon analizi sonucu

$$N = 211 + 8,86 X_1 + 10,2 X_2 - 1,93 X_3 + 11,4 X_4 - 2,21 X_5 + 38,3 X_6 \quad (4.4)$$

bağıntısı elde edilmiş olup, korelasyon katsayısı 0,991' dir.

Burada;

N = Gerekli olan kesme kuvveti (N)

X_1 = Shore scleroscope sertlik indeksi

X_2 = NCB konik delici sertlik indeksi

X_3 = Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

X_4 = Ortalama kuvars tane boyutu (mm)

X_5 = Kuvars miktarı (%)

X_6 = Ortalama plajiolklas tane boyutu (mm) 'dur.

Kesme kuvvetinin bulunmasını kolaylaştırmak amacıyla Shore scleroscope ve NCB konik delici sertlik indeks değerleri olmak üzere iki değişkenli bir regresyon analizi yapılarak

$$N = - 98,6 + 7,44 X_1 + 23,4 X_2 \quad (4.5)$$

bağıntısı elde edilmiş olup, korelasyon katsayısı = 0,995' tir.

Burada;

N = Gerekli olan kesme kuvveti (N)

X_1 = Shore scleroscope sertlik indeksi

X_2 = NCB konik delici sertlik indeksi ' dir.

Bu istatistiksel analizler sonucunda, spesifik aşınma oranları ile kayaç sertlik indeksleri arasında doğrudan bir ilişki bulunamamış olup kayaç kesim sanayinde yaygın olarak kullanılan ve kayaç kesilebilirliğinin kuvars içeriği ile açıklandığı ampirik yöntemle bağdaşmamaktadır. Ayrıca, kayaç kesilebilirliği açısından en önemli faktörlerin genel kayaç sertliği ve sert minerallerin tane boyutları

olduğu görülmüştür. Sert minerallerin tane boyutları arttıka kesme işleminin zorlaştığı Bağıntı 4.4' ten anlaşılmaktadır. Özellikle kuvars, plajiolklas ve ortaklas tane boyutlarının miktarlarının kritik faktörler olduğu tespit edilmiştir (Cassapi, 1987). Bu bulgular nver (1992 ve 1996) tarafından da yayımlamıştır.

4.2. Kayaç Kesme Kılavuzu

Wright ve Jennings (1989) mermer kesme makinalarının çalışma koşulları ve kesici elemanların özelliklerini inceleyen bir ARGE alışması yapmışlardır.

Bu çalışmada, diskli kesicilerin ilk kullanıma başlamasından günümüze kadar gelişimi özetlenmiştir. V. B. Cassapi ile ortak yürütülen çalışmada amaç, elmas soket aşınma sresinin (mrnn) uzatılması için gerekli çalışma parametrelerinin ve kesme hızı ile enerji tüketimi arasındaki ilişkinin saptanmasıdır. Ayrıca, kesme sürecini etkileyen parametreler de tanımlanmış olup buna göre kesme şekli, diskin çevresel hızı, kesme hızı, makina durumu, operatörün tecrübesi, kesicinin özellikleri (soketin yapısı ve elmas tipi - boyutu - konsantrasyonu) kesme işlemini etkileyen başlıca parametrelerdir.

Genel olarak bu çalışma özetlenecek olursa;

Kesme şekli iki türdür. Birinci durum diskin dönüş yönü ile kesme (ilerleme) yönünün aynı olduğu, ikinci durum ise bunun tersi yani disk dönüş yönü ile kesme yönünün zıt olduğu durumdur. Zıt yönlü kesime göre aynı yönlü kesme durumunda oluşan düşey kuvvetler büyük, yatay kuvvetler düşüktür. Zıt yönlü kesme işleminde disk kesilen parçayı yukarı kaldırmaya çalışırken, aynı yönlü kesmede ise parçayı tablaya bastırmaya çalışacaktır.

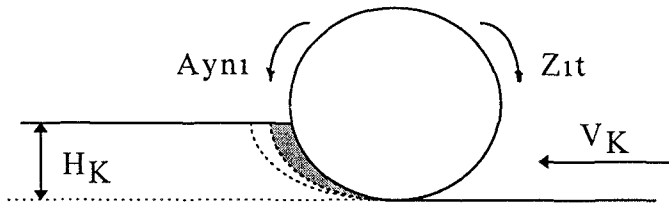
Bu kesme türleri Akkurt (1996) tarafından da karşılaştırılmıştır. Zıt ve aynı yönlü kesmenin birbirlerine göre bazı üstün ve olumsuz yönleri şunlardır:

a) Zıt yönlü kesmede, başlangıçta kesme kuvveti sıfır olup kademeli olarak yükselmektedir. Ancak parçayı (kayacı) yukarı doğru kaldırmaya çalışması ve titreşime neden olması, kesim yüzeyinin düzgün olmaması dezavantajıdır.

b) Aynı yönlü kesmede, başlangıçta kesme kuvveti maksimum olup kademeli olarak azalmaktadır. Kesilen parçayı (kayacı) bastırması ise titreşimin oluşmasını azaltacak ve kesilen yüzeyin kalitesini arttıracaktır.

c) Aynı yönlü kesmede, disk kayaca ani olarak temas etmekte ve büyük bir hacmi kesmeye çalışmaktadır. Özellikle sert kayaların kesilmesinde bu durum elmas soketin ömrünü azaltacak, çatlamasına ve düşmesine neden olacaktır.

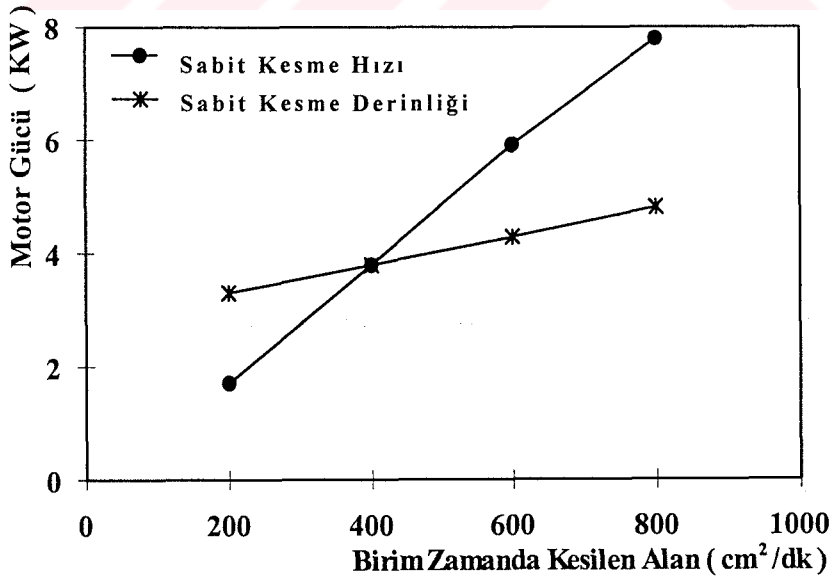
d) Zıt yönlü kesmede, disk öncelikle küçük bir hacim kesmeye çalışmakta bu nedenle sokete uygulanan gerilim de düşük olmaktadır. Bu soket ömrünün artmasını sağlayacağından sert kayaların kesimi için alternatif bir yöntemdir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Aynı ve zıt yönlü kesme işleminde kesme gelişim şekli (Akkurt, 1996).

Disk in çevresel hızı değişik kayaç cinsleri için ayarlanması gereken en önemli parametrelerdendir. Çünkü, soket ömrünün ve kesme veriminin çevresel hızla ilişkisi büyüktür. Kuvars oranı yüksek sert kayalarda çevresel hız düşük (25 m/sn), kumtaşı gibi yumuşak kayalarda ise çevresel hız yüksek (60 m/sn) olmalıdır. Bunun için disk hızlarının düzenlenebildiği makinalara ihtiyaç vardır. Disk hızının düzenlenmesinde istenilen kesme derinliği her zaman mevcut disk çapı ile elde edilemeyebilir.

Kesme oranı (miktarı) soket ömrünü etkileyen diğer bir önemli parametredir. Kesme oranı kesilen kayacın kesme derinliği ve diskin veya kayacı taşıyan tablanın ilerleme hızının çarpımı ile bulunur. Düşük mermer kesme kuvveti, sığ kesme derinliklerinde ve yüksek kesme hızlarında oluşur. Sabit kesme derinliklerinde kesme oranının ve kesme hızının artışı küçük kesme kuvveti değişikliğine neden olur. Sabit kesme hızında ise kesme derinliğinin artışı kesme kuvvetinin oldukça artmasına neden olur (Şekil 4.3). Diğer önemli bir faktör ise derin kesimlerde kesme kuvvetinde oldukça yüksek kesme kuvvetinin meydana gelmesidir.



Şekil 4.3. Sabit kesme hızı ve sabit kesme derinliklerinde güç tüketimi (Wright and Jennings, 1989).

Kayaç kesme endüstrisinde makinanın yapısal durumu çok önemli olmasına rağmen gerçekte buna verilen önem yetersizdir. Etkili ve düzenli makinalaşmaya devam edildikçe hatta uygun soket (disk) seçimi yapılmış olsa dahi en uygun sonuç almak mümkün değildir. Etkin makina verimi için makina parçalarından flanşların, rulmanların, kızakların, kasnakların, hareketli parçaların kullanımına dikkat edilmelidir.

Wright ve Jennings (1989) kesme diski üzerinde titreşim etkisinin miktarını saptamak için değişik çalışmalar yapmışlardır. Disk geriliminin yüksek oluşunun, kesme yönünden sapmalara ve güç tüketimini arttırarak verimin düşmesine neden olduğunu gözlemlemişlerdir.

Operatörün tecrübesi disk performansı üzerinde gözle fark edilir bir etkiye sahiptir. Yukarıda anılan parametreler içerisinde oldukça büyük bir önem taşır. Operatörün görevi makina performansındaki değişimleri anında fark edip makina yönlendirmesini yaparak üretimin daha verimli olmasını sağlamaktır.

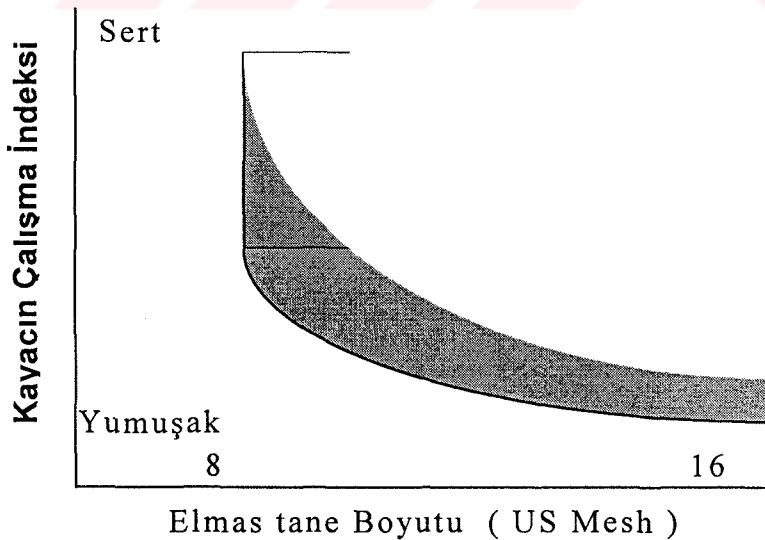
Kesme parametrelerinden oldukça önemlisi kesilen kayacın fiziksel özellikleridir. Farklı tipteki kayaçların sıra ile kesilmesi hem soket ömrünü hem de verimi arttırır. Bu işlem karmaşık olmasına rağmen aynı soketle farklı kombinasyonlar yapılarak sert, yumuşak aşındırıcı veya göreceli olarak aşındırıcı olmayan kayaçların kesimi disk performansını ve ömrünü arttırır. Diğer taraftan, yumuşak bir kesme diski önce aşındırıcı bir malzeme kesilerek açılmalıdır (bilenmelidir). Aynı taşın sürekli kesilmesi yerine farklı tipteki taşların belirli bir düzen ile kesilmesi disk ömrünü daha da arttırır.

İşletmeler elmas soketlerde kullanılan elmasın ve matriks cinsinin soket ömrü ve disk performansı üzerindeki önemini göz ardı etmemektedirler. Önemli olan elmas soket üreticisi ve kullanıcısı arasındaki işbirliğidir. Bu sayede yakın zamanlarda geliştirilen elmas soketler öncekilerden daha iyi sonuçlar vermektedir. Taş kesme endüstrisinde kullanılan soketlerde aşındırıcı olarak sentetik elmaslar

tercih edilmektedir. Kullanım amacına yönelik kontrollü üretim şartları ile spesifik elmas tipleri üretimi mümkündür.

Wright ve Jennings (1989) 'e göre elmas tanesinin boyutu, onun bağ yüzeyindeki çıkıntısını belirler ve kesme bölgesindeki talaşın temizlenmesini düzenler. Elmas tane boyutu ile kesicinin çevresel hızı ve kesme hızı arasındaki ilişki gözlenmiştir. Kesicinin çevresel hızı sabit kalırken kesme hızı artarsa, elmas boyutunun da artması gereklidir. Çünkü, her bireysel tane her disk dönüşünde kayaktan daha büyük hacimde tane kopartacak, bunun sonucunda talaş seçimini optimize etmek için daha büyük temizliğe ihtiyaç duyulacaktır.

Bununla birlikte, elmas tane boyutu ile kesilen taşın cinsi arasında da bir ilişki bulunmaktadır. Genel olarak sert malzemelerin kesimi için daha yumuşak malzemelere göre daha küçük elmas boyutlarına gerek vardır (Şekil 4.4). Çünkü, tane başına düşen yük yumuşak malzemeler için düşen yükten daha fazladır ve talaş için daha büyük boşluk gereklidir. Bunun aksi durumlarda, eğer büyük elmas boyutları sert malzemelerde kullanılırsa; elmasın batması sınırlandırılarak aşırı miktarda elmas tane çıkması veya elmas tanesi üzerinde büyük aşınma düzlükleri meydana gelir.



Şekil 4.4. Kesilen kayaç sertliği ve elmas tane boyutu arasındaki ilişki (Wright and Jennings , 1989).

Wright ve Jennings (1989)'a göre elmas konsantrasyonu dikkate alındığında verilen şartlar altında yüksek soket ömrü ancak yüksek konsantrasyonlarda beklenir. Eğer, SDA85+ veya SDA100+ gibi dayanıklı elmaslar seçilirse her elmas tanesini keskin bir şekilde tutmak için gerekli olan kuvvet de yüksek olacaktır. Eğer, yeterli güç yoksa elmaslar parlamış vaziyete gelecek, soket kesmeyecek ve bilenmesi gerekecektir. Bununla birlikte, mutlaka yüksek kesme hızları gerekiyorsa ve bunun için yüksek konsantrasyonlar kullanılıyorsa, serbest kesimi koruyabilmek için yüksek güç de gerekmektedir.

Elmas soketin optimum seçimi ve kullanımı birbirine bağlı birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerin karmaşıklığından dolayı, bu diskleri kullanan kişilerin ihtiyaçlarını karşılayabilmek için tüm sınıflarda elmas aşındırıcıların üretilmesi gerekmektedir. Tatmin edici sonuçların alınabilmesi için üretici ile kullanıcıların arasında sıkı bir diyalog olmalı, spesifik işleme ihtiyaçları, makinanın cinsi, kesme modu ve basit işlem parametreleri belirtilmelidir (Wright and Jennings, 1989).

4.3 Kayaçların Kesilmesinde Dairesel Testereli Kesme Makinalarının Çalışma Oranları

Tönshoff ve arkadaşları (1993 ve 1994) 'nın 1970 'li yıllardan bugüne kadar yaptıkları bir seri çalışmanın genel sonuçları verilmektedir. Dairesel testerelerle kayaç kesme işleminde kesimi etkileyen parametrelerin tanımlamasına, talaş oluşum mekanizmasına ve kesme parametreleri varyasyon deneylerine ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

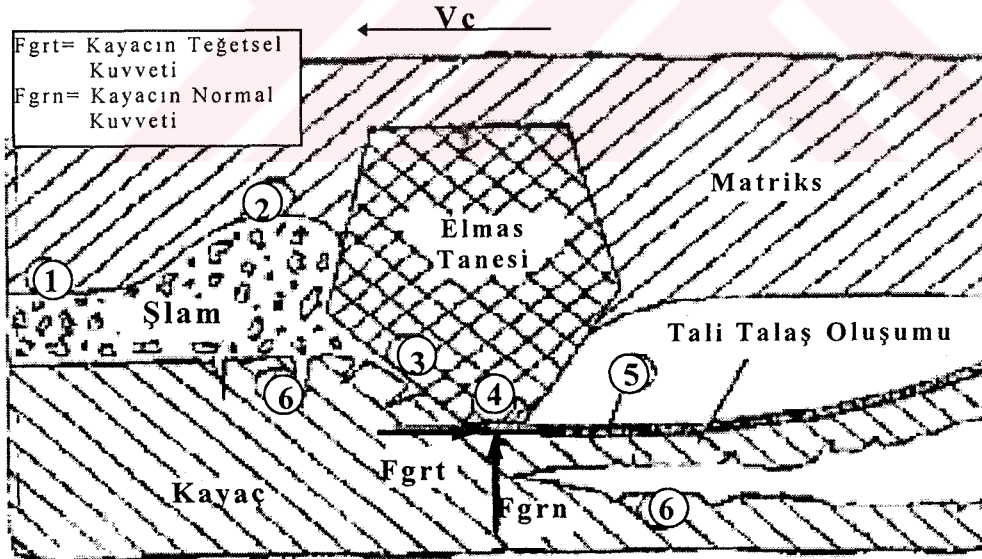
Genel olarak bu çalışma özetlenecek olursa:

Teknolojik olarak kesme prosesi Çizelge 4.1 'de belirtilen kayaç, makina, kesici arasındaki etkileşime bağlıdır.

Çizelge 4.1. Kesme prosesi elemanlarının etkileşimleri (Tönshoff et al. 1993).

Giriş Miktarı	KAYAÇ		MAKİNA		TESTERE	
	Materyal		Yapı	Soğutucu	Soket	Disk
	* Tane büyüklüğü	* Sertlik	* Dayanım	* Basınç	* Geometri	* Geometri
	* Gevreklik		* Titreşim oranı	* Akış Miktarı	* Yapı	* Montaj
			Çalışma Ayarları		* Tane cinsi	* Ön gerilim
	Geometri	* Kesme derinliği		* Tane boyutu	* Gerilim	
	* Tespit(Bağlama)	* Kesme hızı	* Çevresel hız	* Konsantrasyon		
İşleme Değerleri	* Kuvvet oluşumu		* Kesilen parçanın titreşimi			
	* Kontak bölgelerinden ısı dağılımı		* Makinanın titreşimi			
	* Statik disk burulması		* Diskin titreşimi			
Çalışma Sonuçları	KAYAÇ		TESTERE			
	Dış Yüzey	Ölçü Hassasiyeti	Soket		Disk	
	* Pürüzlülük	* Yüzey Düzlüğü	* Elmas tane aşınması		Gerilim durumu	
	* Kenar Pürüzlüğü	* Paralellik	* Matriks aşınması			

Diskli kesicilerle kayaç kesme işlemi sırasında kayaç yüzeyinden tanecik koparma (talaş oluşumu) olayı kesici uç (soket) ile kayaç yüzeyi arasındaki mekanik darbelerin etkisiyle meydana gelir (Şekil 4.5).

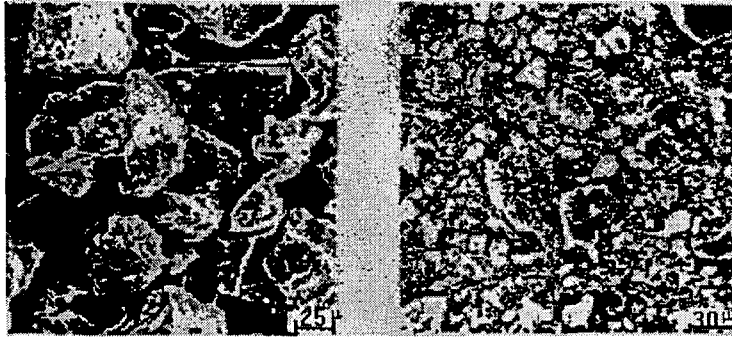


- 1) Talaş ve matriks arasındaki sürtünme
- 2) Şlam ve talaşın matriksi aşındırması (erozyon)
- 3) Birincil talaş oluşumu
- 4) Kayaç ve elmas tanesi arasındaki sürtünme
- 5) Plastik deformasyon
- 6) Elastik deformasyon

Şekil 4.5. Mermer kesme prosesinde talaş oluşum mekanizması (Tönshoff et al. 1993).

Şekil 4.5 'de görüldüğü gibi kayaç yüzeyi ile yalnızca elmas tanesi / taneleri temas etmektedir, talaş oluşumu sırasında matriks kısmı asla yüzeye temas etmemelidir. Yüksek kesme hızlarında ($V_c \geq 65$ m/sn) bilenmiş soketlerle kesmede, kuvvetin etkisiyle kesici elmas ucunun ön kısmında çatlaklar oluşur, ince kayaç partikülleri (talaş) kayaçtan parçalanarak ayrılır, buna “ *primer çatlak oluşumu* ” denilir. Kesici ucun alt kısmında ise yüksek basınç yığılması oluşurken, kesici ucun arka kısmında basıncın boşaldığı (kalktığı) bölgede çekme gerilimi oluşur, böylece kayacın dış yüzeyinde çatlaklar ve lokal tahribatlar meydana gelir buna da “ *sekonder çatlak oluşumu* ” denilir (Tönshoff et al. 1993 ; Bienert, 1978).

Talaş oluşumunda elmasların keskin olması için belirli bir ortalama talaş kalınlığı gereklidir, bunun altındaki boyutlarda hidrostatik gerilim oluşumundan dolayı malzemenin plastik akması gerçekleşir. Mermer ve granit gibi metamorfik ve derinlik kayaçlarında kesme prosesinde oluşan talaşlar, kayaçların tanelerine göre daha küçüktür. Bunun temel nedeni, kayaçları oluşturan minerallerin tane içleri boyunca (transkristalen) çatlamların oluşumudur (Purtscheller ve Hausberger, 1991). Metamorfik olmayan kumtaşı gibi kayaçlarda ise mekanik yönden zayıf olan tane sınırları boyunca (interkristalen) çatlamlar oluşmaktadır (Şekil 4.6).

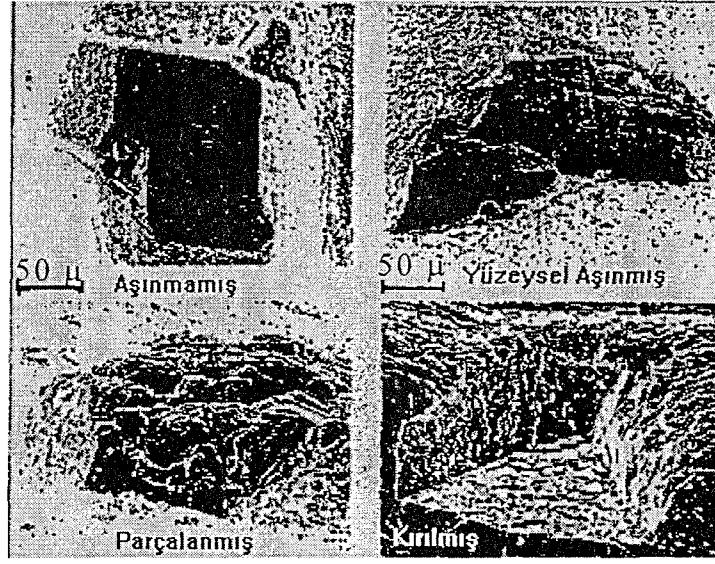


Şekil 4.6. Kesme işlemi sonucu oluşan talaşların şekilleri (Tönshoff et al. 1993).

Oluşan talaşlar soğutma suyuna karışarak talaş oluşum ortamından uzaklaştırılır. İnce taneli aşındırıcı şlamların etkisiyle soketin metalik matriks kısmı aşınmaya (erozyona) uğrar. Oluşan taneler aktif haldeki elmas tanelerinin ön ve yan kısımlarında taşınırlar. Elmas tanelerin arka kısmında hemen hemen hiç talaşa rastlanmaz. Bu elmas taneler onları destekleyen bağlayıcı kuyruk kısmı tarafından tutulur. Kesme işlemi sırasında oluşan gerilimler esnasında elmas taneleri birçok termo - mekanik zorlanmalarla karşılaşılırlar. Bunlar:

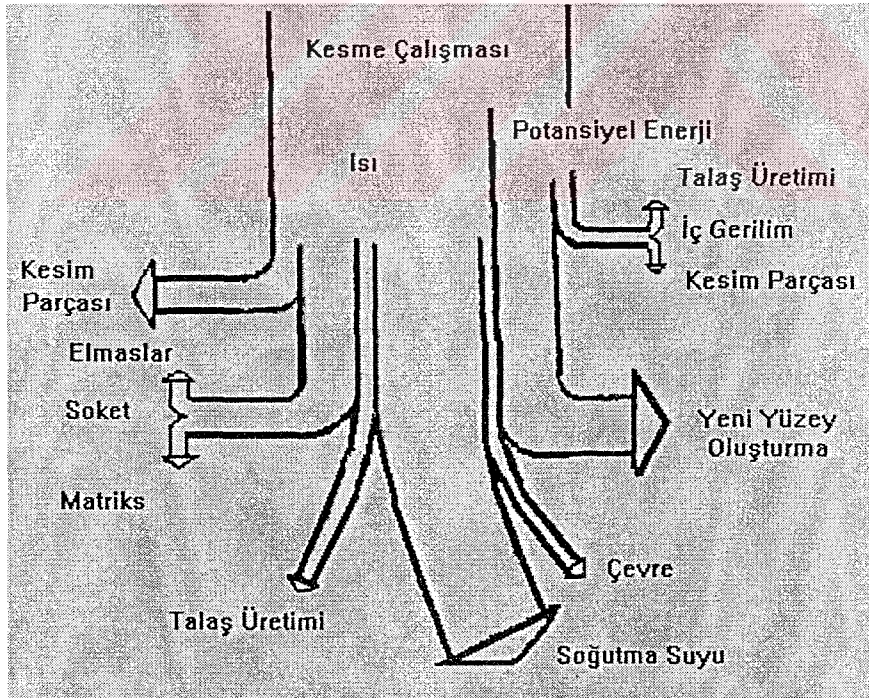
- * Aynı yönlü kesme durumunda; kesme başlangıcında *mekanik çarpma zorlanması*,
- * Talaş kalınlığına bağlı *mekanik zorlanma*,
- * Kontak bölgesinde sürtünmeden dolayı oluşan *termik zorlanma*, kontak bölgesinde soğutucunun etkisiyle oluşan *ani ısı değişimi(şok) zorlanmasıdır*.

Bu zorlanma türleri çeşitli tipte tane aşınmalarına neden olur, bunlar yüzeysel aşınmış, aşınmamış, parçalanmış ve kırılmış haldedirler (Şekil 4.7). Kesilen kayaç tipine bağlı olarak sanki statik saldırı şartlarında olduğu gibi uygun makina değerlerinde çalışan kesicinin elmas taneleri ve matriksi aynı hızda aşınır. Eğer, bağ aynı hızda aşınmamışsa, elmas bu durumda optimum kullanılamaz. Aksi durumda talaş taşıma boşluğu azalacak ve yeterli düzeyde talaş uzaklaştırılması mümkün olmayacak, bundan dolayı testere sık sık bilenme zorunda kalacak ve oluşan zaman kayıpları verimliliği düşürecektir.



Şekil 4.7. Elmas tanelerinin aşınma şekilleri (Tönshoff et al. 1993).

Talaş oluşumu esnasında niteliksel olarak enerji tüketimi Şekil 4.8 'de olduğu gibi gerçekleşmektedir.



Şekil 4.8. Talaş oluşumunda enerji tüketiminin oransal dağılım şeması (Tönshoff et al. 1993).

Mermer kesme işlemindeki oluşan talaş şekli metal kesme prosesine benzer özellikler taşır. Makina çalışma büyüklüklerinin talaş şeklini etkilemesi şöyledir:

- Yüksek kesme derinliği ve düşük kesme hızlarında teorik olarak uzun ve dar tanecikler,
- Yüksek kesme hızı ve düşük kesme derinliklerinde teorik olarak kısa ve kalın tanecikler meydana gelir (Wobker, Przywara, 1994 ; Malkin,1989).

Tönshoff et al. (1993) elmas soketli testerelerle kaya kesme prosesini etkileyen başlıca parametreler olan: Kesme Derinliği (H_k), Kesme Hızı (V_k), Çevresel Hız ($V_ç$), Birim Zamanda Kesilen Alan (Q_w) ve Spesifik Enerji (SE) 'nin saptanmasına ilişkin bir seri varyasyon deneyleri yapmışlardır. Kesme parametreleri varyasyon deneylerinde kesme hızı, kesme derinliği ve çevresel hız faktörlerinden sırayla ikisi sabit tutulurken biri değiştirilmekte ve kesme işlemi esnasında normal ve teğetsel kuvvet etkileşimleri gözlenilmekte olup Bölüm 9 'da varyasyon deneylerinden ayrıntılı olarak bahsedilmektedir.

Ayrıca, birim zamanda kesilen alan ve spesifik enerji 'yi diskin çapı (\varnothing_D), diskin kalınlığı (K_D), elmas soket sayısı (n_s), soketin genişliği (G_s), soketin boyu (L_s), soketin yüksekliği (Y_s), diskin kayaçla temas uzunluğu (L_D) gibi testere ile ilgili parametreler de etkilemektedir.

Kesme hızı ve kesme derinliği doğrudan bilinmekle beraber, devir sayısı kayış - kasnak sistemi ile düzenlenen diskin çevresel hızı;

$$V_{\zeta} = \pi \cdot \varnothing_D \cdot n_{\text{mot}} \cdot \frac{\varnothing_{\text{mot. kas.}}}{\varnothing_{\text{disk kas.}}} \quad (\text{ m/sn }) \quad (4.6)$$

bağıntısı yardımıyla bulunur (Tönshoff et al. 1993).

Burada;

n_{mot} = Motor devir sayısı (dev/dk)

$\varnothing_{\text{disk kas.}}$ = Disk miline bağlı kasnak çapı (mm)

$\varnothing_{\text{mot. kas.}}$ = Motor miline bağlı kasnak çapı (mm) 'dir.

Birim zamanda kesilen alan ise birim zamanda kesilen hacmin (Q_w), soket genişliğine (G_s) oranıdır;

$$Q'_w = \frac{Q_w}{G_s} \quad (\text{ cm}^2/\text{dk}) \quad (4.7)$$

Birim zamanda kesilen alanın diğer bir ifadesi ise;

$$Q'_w = V_k \cdot H_k \quad \text{'dir} \quad (4.8)$$

Kesme işleminde kayaç içerisinde ilerleme üç şekilde ifade edilebilir. Bunlar, testerenin bir devrine karşılık gelen ilerleme S (mm/dev), bir tek elmas soketin bir devrine karşılık gelen ilerleme S_z (mm/diş . dev) ve bir dakikaya karşılık gelen ilerleme hızı V_k (mm/dk) 'dır (Akkurt, 1996) .

$$S_z = \frac{S}{n_s} = \frac{V_k}{n_{\text{dev.}n_s}} \quad (\text{ mm/diş . dev }) \quad (4.9)$$

$$S = S_z \cdot n_s \quad (\text{mm/dev}) \quad (4.10)$$

$$V_k = S_z \cdot n_s \cdot n_{\text{dev}} \quad (\text{mm/dk}) \quad (4.11)$$

Burada;

$$n_{\text{dev}} = V_{\dot{\varphi}} = \text{Diskin devir sayısı} \quad (\text{dev/dk}) \quad (4.12)$$

Kesme işlemi sırasında oluşan talaşların ortalama boyutları (h_m) ise bir yay boyunca değiştiği düşünülürse;

$$h_m = \frac{360}{\pi \cdot \varphi} \cdot \frac{H_k}{\Phi D} \cdot S_z \quad (\text{mm}) \quad (4.13)$$

Eğer $H_k / \Phi D$ oranı = 0,2 olursa;

$$h_m = S_z \cdot \sqrt{\frac{H_k}{\Phi D}} \quad (4.14)$$

olarak alınabilir (Akkurt, 1996) .

Ortalama talaş kesiti ise;

$$A_S = h_m \cdot G_s \quad (\text{mm}^2) \text{ 'dir} \quad (4.15)$$

Birim zamanda kesilen hacim yukarıdaki bilgiler yardımıyla şöyle hesaplanabilir (Tönshoff et al. 1993);

$$Q_w = A_S \cdot L_D \cdot n_{\text{AKT}} \cdot \frac{V_{\dot{\varphi}}}{\pi \cdot \Phi D} \quad (4.16)$$

$$Q'_w = A_S \cdot L_D \cdot n_{AKT} \cdot \frac{V_{\zeta}}{G_S \cdot \pi \cdot \Phi D} \quad (4.17)$$

Burada;

n_{AKT} = Kesmeye katılan aşındırıcı elmas tane sayısı (adet).

Birim zamanda koparılan eşdeğer talaş kalınlığı (h_{eq}) ise;

$$h_{eq} = A_S \cdot n_{AKT} \cdot \frac{L_D}{G_S \cdot \pi \cdot \Phi D} \quad (\text{mm}) \quad (4.18)$$

olarak bulunur. Ayrıca, bu bağıntılardan yararlanılarak aşağıdaki bağıntılara da geçiş yapılabilir;

$$Q'_w = h_{eq} \cdot V_{\zeta} \quad (4.19)$$

$$h_{eq} = \frac{V_k \cdot H_K}{V_{\zeta}} = q \cdot H_K \quad (4.20)$$

$$q = V_k / V_{\zeta} \quad (4.21)$$

$$F_T = S_E \cdot G_S \cdot h_{eq} \quad (4.22)$$

Burada;

F_T = Kesme sırasında oluşan teğetsel kuvvet (N)

Wobker ve Przywara (1994)'ya göre soket bileşiminin makina kesme parametreleri ile birbirine senkronizasyon stratejisi aşağıdaki Çizelge 4.2 'de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.2. Soket bileşiminin ve makina düzenleme ölçü büyüklüklerini birbirine uyarlama stratejisi (Wobker and Przywara 1994).

Belirti		* Tanımlanır elmas aşınımı yok *Matriksten kullanılmamış tanelerde düşme			*Tane yanlarında kuvvetli alan * Kesme kapasitesinde kayıp		
Arıza arama		Testere Yüksüz (Boşta)			Testere Aşırı Yüklü		
Çözüm		Ölçü	Etkileşim	Yarar/Zarar	Ölçü	Etkileşim	Yarar/Zarar
Soket Bileşim	Elmas Cinsi (dayanımı)	↓	Parçalanma	+ Fiyat ↓	↑	Aşınma Dayanımı↑	- Fiyat
	Tane Büyüklüğü	↑	As ↑ Parçalanma↑ Talaş Atımı↑	+ Qw' ↑ - Fiyat ↑	↓	As ↓	+ Fiyat ↓ - Qw' ↓
	Konsantrasyon	↓	As ↑	+ Fiyat ↓ - Qw' ↓	↑	As ↓	- Fiyat ↑ -Talaş atımı ↓
	Matriks Sertliği	↑	+ Aşınma Dayanımı ↑	+Dayanım Süresi ↓ - Talaş atımı ↓	↓	Aşınma ↑ Yeni elmaslar	- Dayanım Süresi↓
Makina Parametreleri	İlerleme Hızı (V _K)	↑	As ↑	+ Qw' ↑ - Tane parçalanması ↑	↓	As ↓	- Qw' ↓
	Çevresel Hız (V _Ç)	↓	As ↑	- Talaş atımı ↓ - Qw' ↓	↑	As ↓	+ Isının Aşırı Artışı ↑

4.4. Literatür Tartışması.

İncelenen literatürlerde görülmektedir ki araştırmalar daha çok makina çalışma büyüklüklerinin düzenlenmesi ve kesici uç özelliklerinin kesilen kayaç yapısına uygun hale getirilmesi konuları üzerine yoğunlaşmaktadır. Ayrıca, kayacın kesilmesini etkileyen mineralojik ve fiziko - mekanik özellikler arasında istatistiksel yaklaşımlar ortaya konulmaktadır.

Cassapi (1987), Wright ve Jennings (1989) deneylerinde yalnızca mağmatik kökenli sert kayaçlar ile kum taşı gibi çok sert ve oldukça aşındırıcı özellikler taşıyan kayaçlar üzerinde çalışmışlardır. Ancak, diğer mermer grupları (hakiki mermerler, kireçtaşları, traverten ve oniksler) zerinde deneyler yapılmamıştır. Ayrıca, makina çalışma büyüklüklerinin (parametrelerinin) optimizasyonu yönünde deneyler yapılmayarak, sadece birim zamanda kesilen alan değişiminin g tüketimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kesme işleminde kesme derinliği yalnızca 10 mm olarak sabit alınmış ve her kayaç için bu durumdaki kesici elmas soketin spesifik aşınma miktarları ölçülmüştür. Kesme ortamına ait kinematiksel tanım yalnızca kesme düzlemindeki yatay ve dikey kuvvetleri kapsamakta olup, aksenal kuvvet ile bu kuvvetlere bağlı oluşan diğer kuvvetlerin kayaç kesme mekanizması üzerindeki etkileri tam olarak açıklanamamıştır. Kayaçların mineralojik ve fiziko - mekanik özellikleri ile kesicinin spesifik aşınma oranı - kesme kuvveti arasındaki etkileşimin istatistiksel yöntemler yardımıyla tanımlanmış olması önem taşımaktadır. Ancak, elde edilen ampirik yaklaşımlar yalnızca deneylerde kullanılan mağmatik kökenli sert kayaçlar için geçerli olup, gelecekte yapılacak çalışmalara yol gösterici - yardımcı olması bakımından dikkate değerdir.

Tönshoff ve arkadaşları (1993 ve 1994), Wobker ve Przwara (1994) tarafından yapılan çalışmalarda makina - kesici uç - kayaç arasındaki etkileşim mekanizmaları tanımlanarak, makina çalışma büyüklüklerinin optimizasyonu, talaş oluşum mekanizması ve çalışma büyüklüklerine göre şekilsel değişimleri incelenmiş, kesilen kayaç için en uygun kesicinin belirlenmesi konuları araştırılmıştır. Bu alışmalar dairesel testerelerle kayaç kesme prosesine oldukça önemli açıklıklar getirmekte ve uygun makina çalışma şartlarının ve kesici seçiminin nasıl yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Tönshoff ve arkadaşları (1993) tarafından yapılan kesme deneyleri tüm kayaç gruplarından en az birer örneği üzerinde uygulanmış olup spesifik enerji (SE) ve kesme kuvvetleri oranı (μ) 'nın bu kayaç gruplarındaki değişimleri gözlenmiştir. Ayrıca, kesme işlemi sonucu kesilen kayaç yüzeyinde oluşan pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve pürüzlülüğün az olduğu kayaçların daha zor kesilirken pürüzlülüğü çok olan kayaçların daha kolay kesildiği saptanılmıştır.

Ancak, kayaç yapıları ile ilgili yalnızca mineralojik özelliklerden mineral cinsleri, % miktarları, mohs sertlik değerleri, kristal kafes sistemleri, zayıflık düzlemleri ve yoğunlukları dikkate alınırken, fiziko - mekanik özellikler çalışmada yer almamıştır.

Yukarıda özetlenilmeye çalışılan araştırmalarda kesici makina olarak endüstriyel ölçekli makinalar (S/D ve Köprü Kesme Makinası) kullanılmış olup, deneyler esnasında sistemler operatör tarafından kumanda edilmiştir. Bu ise olası operatör hatalarının da dikkate alınmasını gerektirmiştir.

Bu çalışmalardan sonra yapılacak çalışmaların daha çok deneyleri yapılmamış mermer gruplarının, makina kesme büyüklüklerinin optimizasyonu üzerinde yoğunlaşması ve bunların kesimini etkileyen kayaç özelliklerinin tanımlanarak sistemin otomasyonel hale getirilmesi yönünde olması gerekmektedir. Ayrıca, her mermer türü için en uygun kesici soket seçimi bu çalışmalardan sonuç almada en önemli basamağı oluşturmaktadır. En uygun kesici seçimi yapılmadan yürütülen çalışmalar başarısız olacaktır.

5. KAYAÇLARIN MİNERALOJİK VE FİZİKO - MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN DENEY YÖNTEMLERİ

Kayaçların yapısal özellikleri kesimlerinin kolay veya zor olmasına etki eder. Bu özelliklerin matematiksel büyüklükler olarak tanımlanabilmesi için sayısal değerlerinin bulunması, matematiksel modelinin çıkarılması gerekir. Bu parametrelerin sayısal değerler olarak ifade edilebilmesi için de mineralojik ve fiziko - mekanik özelliklerinin saptanması gereklidir. Bu amaçla yapılan deneylerin uygulanış şekilleri ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

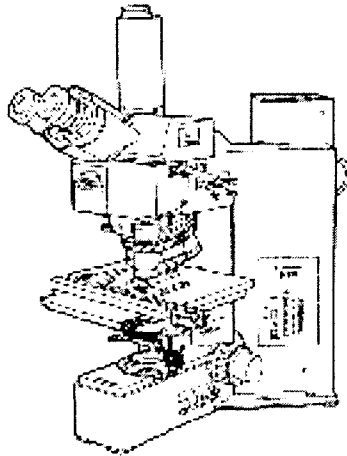
5.1. Mineralojik Analiz

Kayaçlar yalnızca tek bir mineralden oluşabildikleri gibi bir kaç mineralden veya mineral grubundan da oluşabilirler. Bu minerallerin cinsleri, % miktarları, tane boyutları, tanelerin dokusal ilişkileri, dilinimi vb. özellikleri kayaç transparant minerallerden oluşmuş ise “ *ince kesitleri* ”, opak minerallerden oluşmuş ise “ *parlak kesitleri* ” yapıp, incelenerek tanımlanabilir (Bozkurt, 1989).

Ancak, yapı ve kaplama malzemeleri sanayinde kullanılan kayaçlar içerisinde opak mineral miktarının düşük olması ince kesitlerinin yapılmasını kolaylaştırır. İnce kesit işlemi için numunenin, varsa tabakalanma düzlemine dik ve paralel olmak üzere iki farklı düzlem boyunca 1 - 2 mm kalınlığında kesitleri, diskli numune kesme makinaları ile hassasça kesilir. Bu kesitlerin bir yüzünün, önce 220 / 300 US mesh'lik zımpara tozu ve su ile aşındırma diskinde pürüzleri alınır. Sonra 600 US mesh'lik zımpara tozu ile bir cam yüzeyi üzerinde parlatılır. Daha sonra ise su ile karıştırılmış 1000 US mesh'lik alümina tozu (Al_2O_3 - korund) veya elmas pasta ile kadife yüzeyli hassas parlatma diski üzerinde iyice parlaması sağlanır. Ayrıca, mikroskop incelemesinde kullanılan cam lamelin bir yüzeyi 600 US mesh 'lik zımpara tozu ile hafifçe pürüzlendirilir, bunun amacı numunenin yüzeye daha iyi yapışabilmesini sağlamaktır. Daha sonra

ısıtılmış olan Kanada Balsamı vb. yapıştırıcılar cam lamelin yüzeyine sürülerek, numune parlak yüzeyi üzerine yapıştırılıp hava kabarcıklarının kalmaması için hafifçe sıkıştırılır ve kurumaya bırakılır. Kuruma sağlandıktan sonra 1 - 2 mm kalınlığında ve cam lamel üzerine yapıştırılmış olan bu numunenin diğer yüzeyi önce 220 - 300 US mesh 'lik zımpara tozu ile aşındırma diskinde sulu olarak 100 mikron kalınlığına inceltilir. Daha sonra bir cam yüzeyi üzerinde 600 US mesh 'lik zımpara tozu ile parlatma ve 30 mikron kalınlığa kadar inceltme yapılır. Bu işlemden sonra ise hassas parlatma diski üzerinde 1000 US mesh'lik sulu alümina tozu damlatılarak yüzeyin iyice parlatılması sağlanır. Diğer bir cam lamelin yüzeyi de hafifçe pürüzlendirildikten sonra, numune yüzeyinin kirlenip yağlanmaması için Kanada Balsamı ile yapıştırılır. Böylece ince kesit hazırlanmış olur ancak bu işlemler zaman alıcı olup uzmanlık gerektirir (Bozkurt, 1989).

İnce kesitler mineraloji mikroskobu da denilen *polarizan mikroskobu* 'nda incelenir (Şekil 5.1). Bu tür mikroskoplarda; ışık kaynağından çıkan ışınlar numunenin alt kısmından gelir, ince kesitten geçtikten sonra okülere ulaşır. Bu okülerden bakıldığında ise numuneyi oluşturan mineral taneleri oldukça net bir şekilde görülebilir. Minerallerin tane boyutları ise oküler üzerinde bulunan ölçü skalası yardımıyla ve okülerin büyütme katsayısıyla hesaplanarak bulunabilir.



Şekil 5.1. Polarizan mikroskobu.

5.2. Fiziko - Mekanik Özellikler

Kayaçların fiziko - mekanik özellikleri; tek eksenli basınç dayanımı, endirekt çekme dayanımı, eğilme dayanımı, kayma dayanımı, kesme dayanımı, sertlik vb. 'dir. Ancak, diskli kesicilerle kaya kesmeyi etkileyen fiziko - mekanik özelliklerden yalnızca tek eksenli basınç dayanımı, endirekt çekme dayanımı ve sertlik indekslerine yer verilecektir. Bu deneylerde kullanılacak numuneler masif ve sağlam kütle - bloktan alınmalıdır.

5.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi için TS 699 (1978) ve ISRM (1978) standartlarında belirtilen kenarları 70 x 70 x 70 mm olan küp numunelerin kullanılması önerilmektedir. Bu numuneler sulu kaya kesme diskleri ile hassas bir şekilde kesilir, yüzeyleri birbirine paralel olmalıdır. Ancak kenarları 50 mm 'den küçük olmayan küp numuneler ile nominal boy/çap oranı 1/1 'den küçük olmayan ($h/d = 2/1$ veya $3/1$) silindirik deney numunelerinin de kullanılabileceği belirtilmektedir. İri kristalli ve bünye yapısı değişik özellikler gösteren mermer türlerinde ise küp deney numunelerinin kenarları ile silindirik deney numunelerinin çap ve yükseklikleri yaklaşık 100 mm olmalıdır.

Deneyler en az beşer adet numune üzerinde yapılmalıdır. Tabakalı (şistozite) mermer yapılarında, iki farklı doğrultuda (dik - paralel) numune grupları hazırlanmalıdır.

Deney numuneleri bir etüvde 105°C sıcaklıkta değişmez kütleye gelene kadar kurutularak desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulur. Oda sıcaklığında ve % 40 - 60 bağıl nemli ortamda en az 48 saat süre ile bekletilir. Kumpas yardımı ile bu numunelerin kenar uzunlukları 0,1 mm hassasiyetle ölçülerek kaydedilir.

Deneyin yapılmasında ise tek eksenli basınç presi kullanılır (Şekil 5.2). Bu presin alt kısmında sabit bir tabla bulunmaktadır ve numune bu tablanın ortasına yerleştirilir. Bu tablanın üst kısmında ise hidrolik bir piston yer almaktadır. Piston sayesinde numune yüzeyi üzerine sürekli olarak kesintisiz sabit bir hızla (0,5 - 1 MPa/sn) yük uygulanarak numunenin kırılması gözlenir (Köse,1993 ve Bozkurt, 1986). Bir elektronik algılayıcı ile verilen yük miktarı mekanik veya elektronik skaladan gözlenir. En son kırılma yükü skalada sabit olarak kalır. Bu yük değeri numunenin kırılma kuvvetidir (F_c). Numunenin tek eksenli basınç dayanımı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

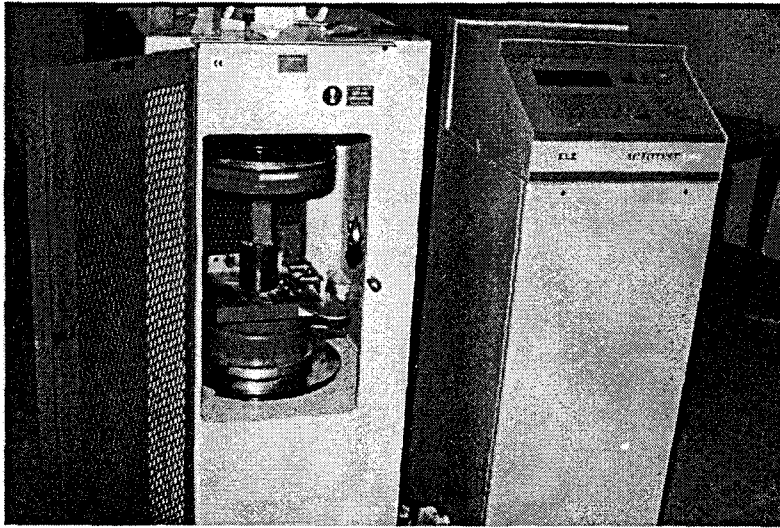
$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (5.1)$$

Burada;

σ_c = Tek eksenli basınç dayanımı (kgf/cm^2)

F_c = Numunenin yenilme (kırılma) yük değeri (kgf)

A = Numunenin yüzey alanı (cm^2) 'dir.



Şekil 5.2. Tek eksenli basınç dayanımı test presi.

5.2.2. Endirekt çekme dayanımı (Brazilian deneyi)

Kayaçların çekme dayanımları direkt veya endirekt (Brazilian) çekme deneyleri ile ölçülebilmektedir. Direkt çekme deneyi uygulamalarında karşılaşılan değişik zorluklar nedeniyle endirekt çekme deneyi tercih edilir.

ISRM (1978)' e ve TS 699' a göre deneylerde kullanılacak olan silindirik numune çapı en az NX (54 mm) boyutunda ve yükseklik/çap oranı (L/D) 1 - 0,5 arasında olmalıdır. Numuneler tek eksenli basınç dayanımı deneyinde olduğu gibi önce kondisyonlanmalıdır (Şentürk vd., 1996).

Bu deneyde de tek eksenli basınç presi kullanılmaktadır. Ancak, numune Şekil 5.3 'te görüldüğü gibi özel olarak kavislendirilmiş alt ve üst plakaların arasına yerleştirilip piston ile devamlı sabit hızla (0,2 kN/sn) yük uygulanır. Burada düşey yük numune kesitine yatay yönde çekme kuvveti uygulanmasını sağlar ve kırılması gözlenir. Kırılma yükü (F_t) kaydedilir. Endirekt çekme dayanımı aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır (Bozkurt, 1989);

$$\sigma_t = \frac{2.F_t}{\pi.D.L} (\text{kgf/cm}^2) \quad (5.2)$$

Burada;

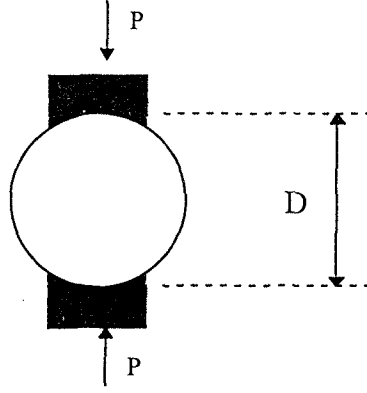
σ_t = Endirekt çekme dayanımı (kgf/cm^2)

F_t = Numunenin yarıлма yük değeri (kgf)

D = Numunenin çapı (cm)

L = Numunenin boyu (cm) 'dir.

Bu bağıntıdan bulunan değer gerçek çekme dayanımından daha büyük çıkmaktadır ancak laboratuvar ortamında yapılması oldukça kolay ve basittir (Köse, 1993).



Şekil 5.3. Endirekt çekme dayanımı test aparatı

5.2.3. Sertlik özellikleri

Sertliğin bir çok tanımı olmasıyla birlikte, bir cismin yüzeyine başka bir cismin batmasına, kanal açmasına karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanır (Köse, 1993). Kayaçların kazılmasını - delinmesini - kesilmesini belirleyebilmek için kayacın sertlik indeksleri arasında ilgi olduğu bilinmektedir. Sertlik indekslerinin yüksek olması kazılmalarını - delinmelerini ve mağmatik kökenli derinlik kayaçlarının kesilmelerini zorlaştırdığı önceki çalışmalardan anlaşılmaktadır (Cassapi, 1987). Kayaçların yüzey sertliklerinin belirlenmesinde birbirinden farklı - aynı özellikler taşıyan deneyler geliştirilmiştir. Bu sertlik deneyleri; Mohs sertlik, Shore scleroscope sertlik, NCB konik delici, Cerchar, Schmidt Hammer ve Knoop sertlik indeksleridir. Bunların detaylı tanımlamaları ileriki bölümlerde verilmiştir.

5.2.3.1. Mohs sertlik indeksi

Bu sertlik indeksi *Moh* tarafından geliştirilmiş göreceli bir karşılaştırmayı ifade eder. Mineralleri temel olarak 1 'den 10 'a kadar bir sıralama yapmıştır (Çizelge 5.1). Buna göre;

Çizelge 5.1 Mohs sertlik indeksi skalası

MİNERAL	SERTLİK DEĞERİ	
Talk	1	Tırnakla çizilir
Jips	2	Tırnakla çizilir
Kalsit	3	Çakıyla çizilir
Florit	4	Çakıyla çizilir
Apatit	5	Çakıyla çizilir
Feldspat	6	Camı çizer
Kuvars	7	Camı çizer
Topaz	8	Camı çizer
Korund	9	Camı çizer
Elmas	10	Camı çizer

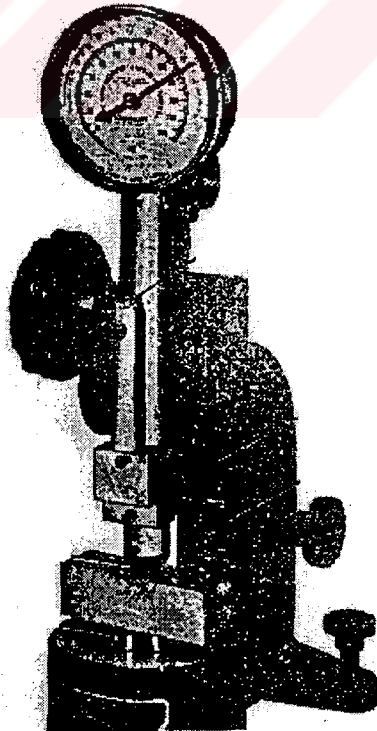
Bu sıralamada sertlik değeri yüksek olan kendinden öncekilerini çizebilir. Bu çizme işlemi yüzey üzerinde kanal açma şeklinde oluşur. Kaba ve göreceli - karşılaştırmalı bir indeks olmasına karşılık basit olması ve yaklaşık bir fikir vermesi açısından yaygınca kullanılır.

Ancak, kayaçların tek bir mineralden oluşmayacağı düşünülürse bunun uygulaması biraz farklı olarak saptanmaktadır. Buna göre ince kesiti incelenen kayaçtaki tüm minerallerin % miktarları belirlenmekte ve sertlik değeri ile çarpılarak bunların toplamları bulunmakta ve bunların aritmetik ortalamaları alınmakta, bu bulunan değerde *ortalama Mohs sertlik indeksi* olarak dikkate alınmaktadır (Cassabi, 1987).

5.2.3.2. Shore scleroscope sertlik indeksi

Bir cam boru içerisinde 2,6 gr ağırlığındaki elmas veya sertleştirilmiş metalden yapılmış uca sahip bir çubuk, sabit bir yükseklikten numune yüzeyi üzerine düşürülmektedir (Şekil 5.4). Yüzeyde küçük bir deformasyon oluşturarak numunenin yapısına göre enerjisinin bir kısmını kaybederek zıplar. Ancak, yerçekimi etkisiyle tekrar düşmesi önlenerek sıkıştırılır ve durur. Ucu zıplama yüksekliği cam boru üzerindeki 100 eşit bölmeye ayrılmış skala üzerinden okunur. Bunun ibreli skalaları da mevcuttur. Bu uç sert cisimlerde daha yükseğe zıplar, plastik özellik taşıyan yumuşak cisimlerde daha az zıplar, burada ölçülen sertlikten ziyade elastikiyettir (Baydur, 1989).

Deneylerde 76 x 76 x 50 mm boyutlarında numuneler kullanılıp sağlıklı sonuç almak için numune yüzeyinde 40 adet okuma yapılarak bunların aritmetik ortalamaları alınır. Bu elde edilen değere Shore scleroscope sertlik indeksi denir (Köse, 1993 ve Bilgin, 1989).



Şekil 5.4. Shore scleroscope sertlik ölçme cihazı.

5.2.3.3. N.C.B. konik sertlik indeksi

İngiltere *National Coal Board* tarafından geliştirilmiş konik sertlik indeksidir. Deneylerde kullanılan aletin ana yapısı 175 mm uzunluğunda çelik bir çerçeve, çerçevenin iki ucuna tutturulmuş bir levha kiriş, üstte komparatör, mikrometre ve mikrometreye bağlı olarak da 40° uç açılı tungsten karbid deliciden ibarettir (Şekil 5.5).

Deneylerde 24 x 12 x 6 mm boyutlarında numuneler kullanılır. Bu numune konik uç ve levha kiriş arasına yerleştirilir, komparatörden sıfır ayarı yapılır ve sonra komparatörden 0,635 mm değeri okunana kadar mikrometre döndürülür. Bu değer 40 N 'luk bir basma kuvvetine eşdeğerdir. Koni delici değeri aşağıda verilen bağıntı yardımıyla hesaplanır (Bilgin, 1989).

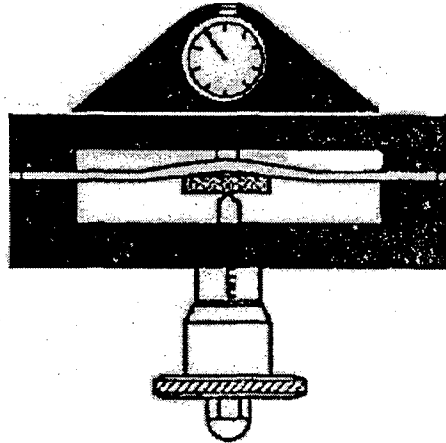
$$KDD = \frac{0,635}{(M_1 - M_2) - 0,635} \quad (5.3)$$

Burada;

KDD = Koni delici değeri

M₁ = İlk mikrometre okuma değeri

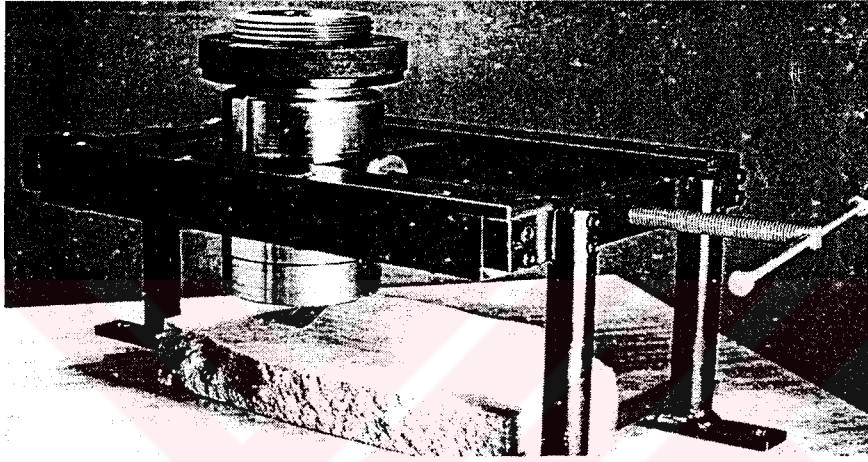
M₂ = Son mikrometre okuma değeri 'dir.



Şekil 5.5. NCB konik delici sertlik ölçme cihazı.

5.2.3.4. Cerchar aşınma indeksi

160 kgf/cm² çekme dayanımı olan 90⁰ tepe açılı konik bir uç 7 kgf bastırma kuvveti ile gayri muntazam numune üzerinde 1 cm çekilmekte ve uçta oluşan aşınma yüzeyinin çapı binoküler ile 1/10 mm hassasiyetle ölçülür (Şekil 5.6). Bu değer Cerchar aşındırıcılık indeksini (CAI) verir (Bilgin, 1989).



Şekil 5.6. Cerchar aşınma sertlik ölçme cihazı.

Suana'ya göre bazı minerallerin ve mono mineralli kayaların CAI değerleri Çizelge 5.2 'deki gibi değişmektedir. Atkinson ve arkadaşlarının CAI 'ni esas alarak kayaları aşındırıcılıklarına göre sınıflandırmaları Çizelge 5.3 'te verilmiştir.

Çizelge 5.2 Suana'ya göre bazı minerallerin ve mono mineralli kayaların CAI değerleri (Bilgin, 1989).

Kayaç ve Mineral	CAI	Kuvarsa göre izafi CAI (%)
Kuars, kuvarsit Feldspat (K, Na, Ca)	5,6 - 6,0	100
Anortosit	4,2 - 4,8	70 - 80
Olivin (Mg, Fe), Dünit	3,4 - 3,6	50 - 60
Piroksen, Piroksenit	3,0 - 3,2	47 - 53
Amfibol	2,8 - 3,2	47 - 53
Serpantin	1,4 - 1,8	23 - 30
Kireçtaşı, Dolomit	1,0 - 2,0	17 - 34
Kiltaşı	... 2,5	0 - 41

Çizelge 5.3. Atkinson ve arkadaşlarına göre kayaçların CAI değerleri
(Bilgin, 1989).

Sınıflama	CAI	Kayaç Tipi
Çok aşındırıcı	4,5	Hornblend, Gnays, Pegmatit, Granit
Oldukça aşındırıcı	4,25 - 4,5	Amfibol, Granit
Aşındırıcı	4,0 - 4,25	Granit, Gnays, Şist, Piroksen, Kumtaşı
Orta aşındırıcı	3,5 - 4,0	Kumtaşı, Silttaşı
Biraz aşındırıcı	2,5 - 4,0	Dolorit
Az aşındırıcı	1,25 - 2,5	Portland kumtaşı
Çok az aşındırıcı	1,2	Kireçtaşı

5.2.3.5. Schmidt hammer (çekici) sertlik indeksleri

Kayaçların zıplama (rebound) sertliğini belirlemede kullanılan Schmidt darbe çekici N ve L olmak üzere iki tiptedir. Schmidt çekici silindirik kapalı bir kutu içinde bulunan yay, çekiç ve çekici kurma düzeneğinden oluşur (Şekil 5.7). Kurma işlemi yapıldıktan sonra çekiç ya kayaç üst yüzeyine 90° dik veya yanal yüzeyine dik olarak bastırılır. Yay ile hareket kazanan çekiç (A) darbeyi kayaca ileten uca çarpar ve geri zıplar. Zıplama mesafesi yüzeyin sertliğine bağlı olarak çekicinin üzerindeki skaladan okunur (Köse, 1993 ve Bilgin, 1989).

ISRM (1978) standardına göre kayaç yüzeyi pürüzsüz olmalı numunenin şekli silindirik ise boyutu NX veya daha büyük, blok ise 152 x 76 mm olmalıdır, ölçüm sırasında çekicinin hangi konumda olduğu kaydedilmelidir. Bir numune üzerinde en az 20 ölçüm yapılmalıdır, zira belirli bir noktadan sonra sabit kalmaktadır. Sertlik değeri olarak 20. ölçüm alınır. Kayacın plastisite değeri ise 20. değer ile ilk değer arasındaki yüzde farkıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$PD = \frac{\$D_{20} - \$D_1}{\$D_{20}} \cdot 100 \quad (5.4)$$

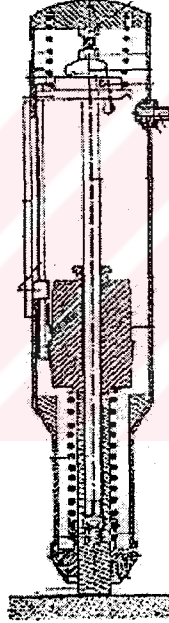
Burada;

PD = Kayacın % plastisite değeri

ŞD₁ = Birinci ölçme değeri

ŞD₂₀ = Yirminci ölçme değeri

Sağlam bloklar üzerinde daha önce yapılan çalışmalar Schmidt çekici sertliği ile basınç dayanımı arasında çok yakın bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Arazilerde kolay uygulanabilmesi kullanım alanını geliştirmiştir (Bilgin, 1989 ve Köse, 1993).



Şekil 5.7. Schmidt çekici sertlik ölçme cihazı.

5.2.3.6. Knoop sertlik indeksi

Daha çok metaller için yapılan bir deney olmakla birlikte mineraller için de yapılabilmektedir. Mikro sertlik ölçme cihazı adı verilen deney setinin uç kısmına tepe açısı $172^{\circ} 30'$ olan elmas uç takılır (Şekil 5.8). Cihaz hidrolik veya elektromanyetik yöntemle itmiş olduğu kolu ve kolun uç kısmında bulunan indenterini numune üzerine 0,025 - 10 kgf'lik bir yükü 10 - 30 sn zaman aralığında

batırarak yüzeyin üzerinde bir iz bırakır (Şekil 5.9). Bu iz uzun bir baklava dilim şeklinde olup uzun kenarlar arasındaki mesafe 1 mikron hassasiyetle cihazın mikroskobu aracılığıyla ölçülerek aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır (Baydur, 1989);

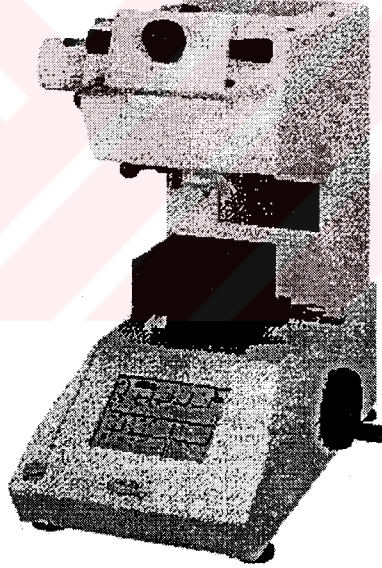
$$H_K = 1,451 \cdot \frac{F}{d^2} \quad (5.4)$$

Burada;

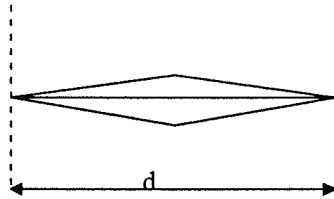
H_K = Knoop sertlik indeksi

F = Uygulanan yük (N)

d = İzin diagonal uzunluğu (mikron)



Şekil 5.8. Knoop sertlik ölçme cihazı.



Şekil 5.9. Knoop sertlik ölçme cihazının yüzey üzerinde bıraktığı iz.

6.DENEYLERDE KULLANILAN ÖRNEKLERİN MİNERALojİK VE FİZİKO - MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Kesme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla; yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan (mağmatik kökenli sert taşlar, hakiki mermerler, kireçtaşları, travertenler ve oniksler) kayaçlardan yalnızca *hakiki mermerler* grubundan örnekleme yapılmıştır.

Bunun nedeni,deneysel çalışmaların yürütüldüğü Afyon Kocatepe Üniversitesinin Afyon - İncehisar mermer yatakların yakınında olması, Devlet Planlama Teşkilatı tarafından desteklenen “ Afyon ve Kütahya Yöresi Mermerlerinin Kesilebilme Teknolojilerinin Geliştirilmesi ” konulu proje kapsamında finans sağlanmasıdır. Ayrıca, yalnız bir grubun çeşitlendirilerek onun tam karakterize edilmesi, o gruba ait daha anlamlı ve açıklayıcı sonuçların elde edilmesini sağlayacağı düşünülmüştür.

Örnekleme yapılırken Türkiye’de oldukça büyük pazar payına sahip mermerlerin yanı sıra, kesme zorlukları nedeniyle işlenmeden atıl olarak kalan mermerler de dahil edilmiş, mineralojik yapı, renk, sertlik, görünür tane boyutları da dikkate alınmıştır.

Hakiki mermer grubuna dahil toplam 7 adet mermer belirlenmiş ve ocaklarda çıkarılmış masif, sağlam yapılı bloklardan deneyler için gerekli özel boyutlarda örnekler alınmıştır. Bu 7 adet mermerin isimleri ve renkleri Çizelge 6.1 ’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deneylerde kullanılacak mermerlerin isimleri ve renkleri

MERMERİN İSMİ	RENK
Afyon Çizgili Şeker	Beyaz - kahverengi çizgiler
Afyon Kaplan Postu	Gri - siyah hareler
Uşak Gri	Gri - beyaz dalgalar
Uşak Yeşil	Som yeşil - siyah kırçıklar
Muğla Beyaz	Beyaz - mor çizgiler
Manyas Beyaz	Beyaz
Kütahya Menekşe	Beyaz - sarı ve mor dalgalar

6.1. Mineralojik Analiz

Örnekleme yapılan 7 adet mermerin, kesme deneyleri sonucunda kesme yönünde alınan parçalardan ince kesitleri Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Böl. mineraloji laboratuvarlarında Bölüm 5.1 'de anlatıldığı gibi hazırlanmış ve polarizan mikroskopunda mineral tanımlamaları, tane boyutları, yapı - doku ilişkileri incelenmiş ve bunların görüntüleri Afyon Kocatepe Üni. Seramik Mühendisliği Bölümü Metalografi laboratuvarlarında fotoğraflanmıştır. Bu örneklerin mineralojik tanımları takip eden bölümlerde açıklanmıştır.

6.1.1. Afyon Çizgili Şeker

Ortalama $20 \times 25 \mu = 0,500 \text{ mm}$ boyutlu kalsit kristallerinin aynı düzen içinde sıkı kenetlenmesiyle oluşmuştur. Yer yer $40 \times 25 \mu = 1,0 \text{ mm}$ ile $5 \times 25 \mu = 0,125 \text{ mm}$ arasında değişen boyutlarda kalsit (Ka) kristallerine de rastlanmıştır (Şekil 6.1).

6.1.2. Afyon Kaplan Postu

Yer yer $120 \times 25 \mu = 3,0 \text{ mm}$ uzunluk, $30 \times 25 \mu = 0,750 \text{ mm}$ genişlik gösteren kalsit kristalleri ile $3 \times 25 \mu = 0,075 \text{ mm}$ boyutlu

kalsit kristallerine rastlanılmıştır. Ortalama $20 \times 25 \mu = 0,500 \text{ mm}$ boyutlu kalsit (Ka) kristallerinden oluşmuştur (Şekil 6.2).

6.1.3. Uşak Gri

Genelde kataklastik dokulu ortalama $25 \times 25 \mu = 0,625 \text{ mm}$ boyut gösteren kalsit (Ka) kristalleri sıkı kenetlenmişlerdir. Kalsit kristalleri kayma okuzlarına sahiptirler.

Ayrıca, $15 \times 25 \mu = 0,375 \text{ mm}$ 'ye kadar ufalabilen ve $50 \times 25 \mu = 1,250 \text{ mm}$ 'ye kadar büyüyebilen kalsit kristalleri de mevcuttur (Şekil 6.3).

6.1.4. Uşak Yeşil

Genelde $2 \times 25 \mu = 0,050 \text{ mm}$ 'den $20 \times 25 \mu = 0,500 \text{ mm}$ boyuta kadar büyüklük gösteren özşekilsiz kuvars (Ku) kristalleri ve $10 \times 25 \mu = 0,250 \text{ mm}$ ortalama boyutlu epidot (Ep) kristalleri de mevcuttur.

Ortalama $40 \times 10 \mu = 0,400 \text{ mm}$ boyutlu, kayma çokuzları içeren kalsit kristalleri sıkı dokulu yapı gösterirler (Şekil 6.4).

6.1.5. Muğla Beyaz

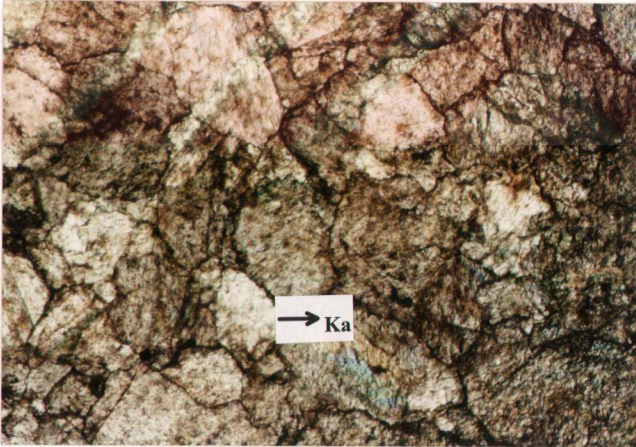
Genelde ortalama $20 \times 25 \mu = 0,500 \text{ mm}$ boyutlu kalsit kristalleri düzenli ve sıkı kenetli bir yapı gösterirler. Kristal boyutları tabakalanmaya dik olarak değişir. Kesit boyutunda $10 \times 25 \mu = 0,250 \text{ mm}$ boyutunda kalsit (Ka) kristallerinin sıkı dokulu olduğu tabaka seviyeleri ölçülmüştür (Şekil 6.5).

6.1.6. Manyas Beyaz

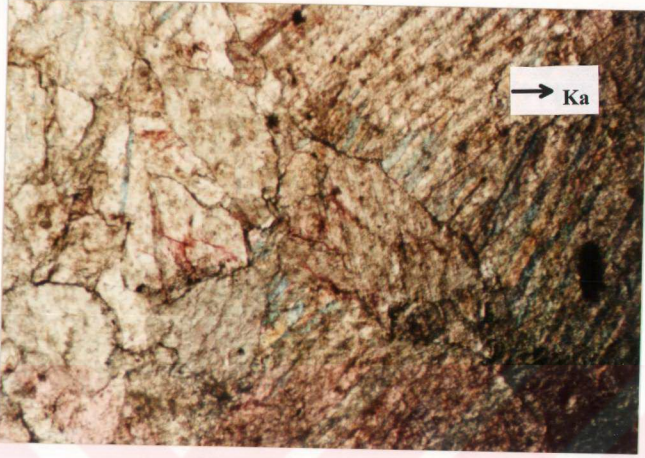
Genel olarak 5 mm 'ye kadar varan boyutlarda makrokristalli kalsitler (Ka) kayma çokuzları ve gelişmiş dilinimleri ile gözlenir. Kalsit kristalleri ve dilinimleri arasında kılcal ayrılmalar mevcuttur. Bu sınırlardan kolaylıkla ayrılabilirler (Şekil 6.6).

6.1.7. Kütahya Menekşe

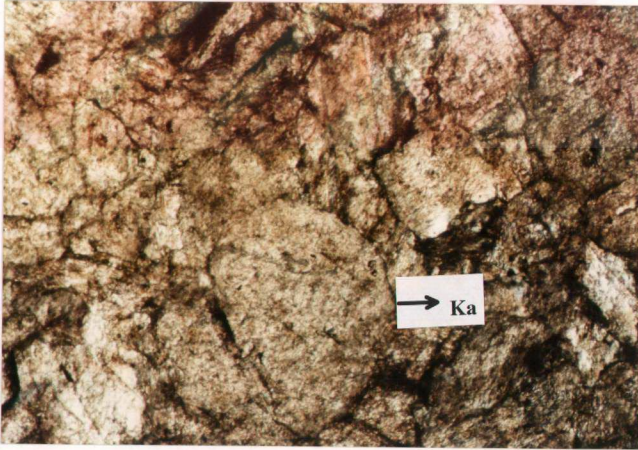
Genelde $40 \times 25 \mu = 1,0 \text{ mm}$ ile $5 \times 25 \mu = 0,125 \text{ mm}$ boyutlu kalsit kristallerinin sıkı kenetlenmesiyle oluşan bir yapıya sahiptir. Kalsit (Ka) kristallerinin de yer yer kayma çokuzları vardır. Kristallerde kısmen yönlenme gösterir ki başkalaşım esnasında basınç etkisinde kaldığını gösterir. Kesit alanında az sayıda ortalama $3 \times 25 \mu = 0,075 \text{ mm}$ boyutlu kuvars (Ku) tanelerine de rastlanılır (Şekil 6.7).



Şekil 6.1. Afyon Çizgili Şeker mermerinin ince kesit görüntüsü.

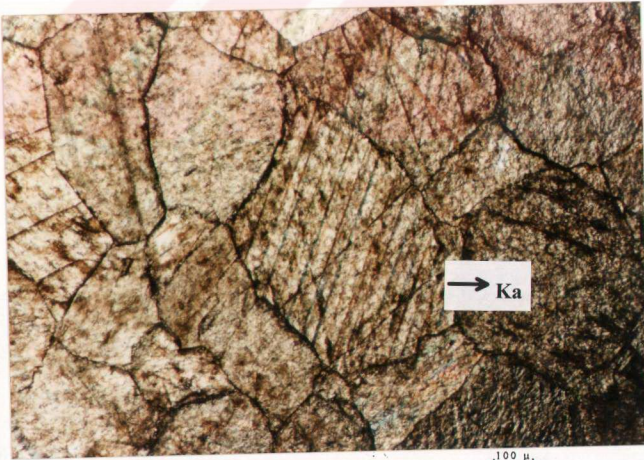


Şekil 6.2. Afyon Kaplan Postu mermerinin ince kesit görüntüsü. 100 μ

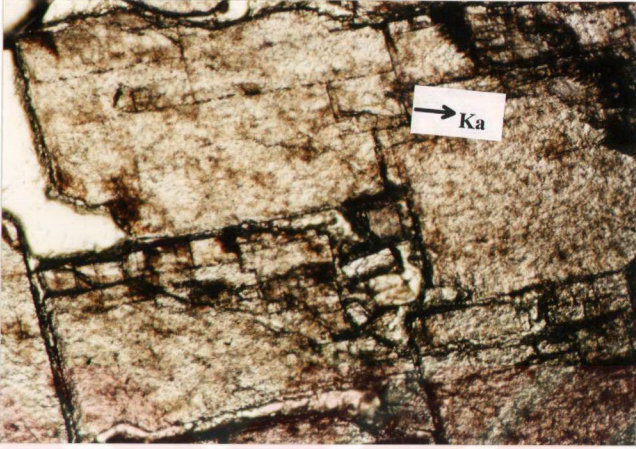


Şekil 6.3. Uşak Gri mermerinin ince kesit görüntüsü. 100 μ

Şekil 6.4. Uşak Yeşil mermerinin ince kesit görüntüsü. 100μ



Şekil 6.5. Muğla Beyaz mermerinin ince kesit görüntüsü. 100μ



Şekil 6.6.Manyas Beyaz mermerinin ince kesit görüntüsü.



Şekil 6.7. Kütahya Menekşe mermerinin ince kesit görüntüsü.

6.2. Fiziko - Mekanik Özellikler

Kesme deneylerinde kullanılacak mermer örneklerinden alınan birer parçaya ait fiziko - mekanik özelliklerinin deneyleri, İstanbul Tek. Üniv. Maden Fak. Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği laboratuvarlarında, D.P.T. tarafından desteklenen “ Afyon ve Kütahya Yöresi Mermerlerinin Kesilebilme Teknolojilerinin Geliştirilmesi ” konulu proje kapsamında yaptırılmıştır. Bu bölümde yer alan değerler ilgili analiz raporlarından alınmıştır.

6.2.1 Tek eksenli basınç dayanımı ölçümleri

Deneylerde çapı NX (54 mm), boy/çap oranı 2 olan numuneler hazırlanmış ve bu numuneler üzerinde 3.000 KN yükleme kapasiteli ELE test aleti ile 1 MPa/sn yükleme hızında tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Çizelge 6.2 'de her bir mermer örneğine ait numunelerin σ_c değerlerinin aritmetik ortalaması kgf/cm^2 cinsinden verilmiştir.

Çizelge 6.2. Mermer örneklerine ait tek eksenli basınç dayanımları

SIRA NO	MERMER TÜRÜ	σ_c (kgf/cm^2)
1	Manyas Beyaz	400
2	Uşak Grili	509
3	Muğla Beyaz	541
4	Afyon Çizgili Şeker	554
5	Afyon Kaplan Postu	647
6	Uşak Yeşil	762
7	Kütahya Menekşe	888

6.2.2. Endirekt çekme dayanımı ölçümleri

Çapı NX (54 mm), L/D oranı 1 olan numuneler hazırlanmış ve bu numuneler üzerinde 3000 kN yükleme kapasiteli ELE test aleti ile 0,2 kN/sn hızında endirekt çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Çizelge 6.3 'te her bir mermer örneğine ait numunelerin σ_t değerlerinin aritmetik ortalaması kgf/cm^2 cinsinden verilmiştir.

Çizelge 6.3. Mermer örneklerine ait endirekt çekme dayanımları

SIRA NO	MERMER TÜRÜ	σ_t (kgf/cm ²)
1	Muğla Beyaz	38
2	Uşak Yeşil	38
3	Uşak Gri	42
4	Manyas Beyaz	45
5	Afyon Çizgili Şeker	48
6	Afyon Kaplan Postu	49
7	Kütahya Menekşe	67

6.2.3. Sertlik Ölçümleri

Sertlik indekslerinden Mohs sertlik indeksi Osmangazi Üniversitesi Jeoloji Müh. Böl. Mineraloji laboratuvarlarında yapılan ince kesitler incelemelerinden, Knoop sertlik indeksi Afyon Kocatepe Üni. Müh. Fak. Seramik Müh. Böl. Metallografi laboratuvarlarında yapılan numune ölçümlerinden, diğer sertlik indeksleri ise DPT tarafından desteklenen “ Afyon ve Kütahya Yöresi Mermerlerin Kesilebilme Teknolojilerinin Geliştirilmesi ” başlıklı proje kapsamında İ.T.Ü. Maden Fak. Maden Müh. Böl. Kazı Mekanizasyonu ve Teknolojisi ABD laboratuvarlarında yaptırılan analiz raporlarından alınmıştır.

6.2.3.1. Mohs sertlik indeksi ölçümleri

İMMİB (1994) tarafından yayımlanan Mermer Envanterinde, Türkiye 'de ticari pazar bulan mermerlere ait mineralojik, fiziko - mekanik özellikleri verilmiş olup, bu envanterden alınan ilgili mermerlere ait mohs sertlik değerleri Çizelge 6.4 'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Mermer örneklerine ait mohs sertlik indeksi değerleri

Mermer Türü	Mohs Sertliği
Muğla Beyaz	3
Afyon Çiz. Şeker	3
Uşak Gri	3
Manyas Beyaz	3
Uşak Yeşil	4
Afyon K Postu	4
Kütahya Menekşe	4

6.2.3.2. Shore scleroscope sertlik indeksi ölçümleri

Model C - 2 tipindeki Shore scleroscope aleti ile pürüzsüz yüzeylere sahip çapı NX (54 mm), boyu 50 mm olan karotlar üzerinde deneyler yapılmıştır. Alet yüzeye dik tutularak her bir numunenin üç ayrı noktasından yaklaşık 11 kez olmak üzere toplam 33 ölçüm yapılmaya çalışılmıştır. Her bir noktada yapılan ölçümlerin ilk değerlerinin aritmetik ortalaması (SH_1) ile belirli bir vuruştan sonra (yaklaşık 7) sabitleşen değerlerin (SH_5) aritmetik ortalamaları alınmış ve bu değerler Çizelge 6.5 'te verilmiştir.

6.2.3.3. NCB konik sertlik indeksi ölçümleri

Deneyler NCB Howards Engineering konik delici aleti ile her bir numunenin iki örneği üzerine Bölüm.5.3.3 'te anlatılan standartlara uygun olarak yaklaşık 40 N 'luk bir bastırma kuvveti uygulanarak yapılmış ve bu I_s değerlerinin ortalamaları Çizelge 6.6 'da verilmiştir.

Çizelge 6.5. Mermer örneklerine ait Shore scleroscope sertlik indeksi değerleri

Mermer Türü	I. Nokta	II. Nokta	III. Nokta	SH ₁ - SH _s
Muğla Beyaz	27-35-38- 45-48-51- 54-48-44- 38-38-38	33-39-41- 47-53-57- 49-53-57- 57-57	30-37-46- 52-58-48- 46-42-40- 40-40	30 - 39
Afyon Çiz. Şeker	35-42-48- 51-54-55- 51-48-42- 42-42	34-39-44- 47-51-56- 52-46-44- 44-44	33-40-42- 47-51-54- 52-46-40- 40-40	34 - 42
Uşak Gri	41-47-49- 53-56-59- 61-57-54- 54-54	36-41-44- 44-46-49- 51-52-52-52	38-44-51- 52-54-54- 56-58-61- 60-58-54- 54-54	38 - 53
Afyon K. Postu	41-51-53- 54-62-61- 58-46-44- 44-44	40-46-56- 57-61-58- 58-59-59-59	39-44-48- 52-56-57- 53-48-47- 47-47	40 - 50
Manyas Beyaz	43-50-48- 50-55-57- 60-57-50- 50-50	43-45-46- 47-46-48- 48-50-52- 52-52	42-44-45- 50-50-52- 50-55-52- 52-52	43 - 51
Uşak Yeşil	42-45-52- 55-57-58- 58-54-54-54	44-47-50- 54-48-46- 53-55-55-55	46-49-51- 53-48-48- 54-57-59- 59-59	44 - 56
Kütahya Menekşe	48-51-59- 63-66-68- 64-58-54- 52-58-58-58	45-46-48- 55-56-51- 49-53-57- 57-57	48-50-52- 56-48-48- 42-49-53- 59-59	47 - 58

Çizelge 6.6. Mermer örneklerine ait NCB konik sertlik indeksi değerleri.

Mermer Türü	I _s
Uşak Yeşil	3,7
Afyon Çiz. Şeker	3,9
Uşak Gri	4,2
Kütahya Menekşe	4,5
Afyon K. Postu	4,6
Manyas Beyaz	4,6
Muğla Beyaz	4,9

6.2.3.4. Cerchar sertlik (aşındırıcılık) indeksi ölçümleri

Bölüm 5.3.4. 'te anlatılan standartlara uygun olarak yapılmış deneylerin sonuçları Çizelge 6.7 'de verilmiştir.

Çizelge 6.7.Mermer örneklerine ait Cerchar sertlik indeksi değerleri

Mermer Türü	CAI
Muğla Beyaz	2
Manyas Beyaz	2
Uşak Gri	2
Uşak Yeşil	2
Afyon K. Postu	2
Afyon Çiz. Şeker	2,5
Kütahya Menekşe	2,5

6.2.3.5. Schmidt hammer (çekici) sertlik indeksi ölçümleri

Deneyler L tipi Schmidt çekici ile pürüzsüz yüzeylere sahip 30 cm uzunlukta küp şeklindeki bloklar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her bir numunenin iki ayrı yüzeyinde ölçüm alınmıştır. Numunenin önce bir yüzeyine dik tutulan Schmidt çekici ile dört ayrı noktada birer okuma daha sonra bir noktada 10 okuma yapılmıştır. Numunenin yan yüzeyinde de aynı işlem tekrarlanmıştır. Çizelge 6.8 'de bu değerler ve bunların aritmetik ortalaması (10 okumanın yapıldığı ölçümlerde ortalama alınırken ilk değer dikkate alınmamıştır) verilmiştir.

İstatistiksel regresyon analizlerinde A konumundaki değerler dikkate alınmıştır. Aynı noktada 10 kez yapılan okumada mineraller önce kırılmakta sonra yavaş yavaş sıkışarak sertliği olduğundan daha yüksek görünmesine neden olmaktadır.

Çizelge 6.8. Mermer örneklerine ait Schmidt çekici sertlik indeksi değerleri

Mermer Türü	A \downarrow		B \downarrow		C \rightarrow		D \rightarrow	
	Data	Ort.	Data	Ort.	Data	Ort.	Data	Ort.
Manyas Beyaz	47-51 50-52	50	49-53-50 54-54-54 53-52-54 52	53	48-50 53-52	51	51-54-54 50-54-56 55-54-56 55	54
Muğla Beyaz	50-50 52-48	50	52-52-56 58-56-54 52-52-54 52	54	54-52 52-54	53	60-58-60 54-54-56 54-58-54 54	56
Afyon Çiz. Şeker	52-54 50-52	52	54-58-56 54-52-56 54-52-52 54	54	56-52 58-54	55	56-56-60 58-54-56 52-56-56 58	56
Afyon K. Postu	56-54 56-54	55	54-58-54 52-58-58 54-56-56 56	56	54-58 56-56	56	54-54-56 54-56-52 56-56-52 58	55
Uşak Gri	58-56 56-56	57	58-58-56 61-56-60 62-62-54 62-60	59	60-59 60-60	60	62-60-60 58-61-65 58-60-65 63-66	62
Uşak Yeşil	58-62 58-62	60	58-52-56 60-60-62 62-62-60 60	59	56-58 62-60	59	56-58-60 54-60-60 62-58-60 60	59
Kütahya Menekşe	64-62 62-64	63	58-66-64 60-66-66 64-66-66 66	65	62-60 62-60	61	60-62-64 58-66-64 62-62-58 56	61

(A- B = Çekiç düşey konumda, C - D = Çekiç yatay konumda)

6.2.3.6. Knoop sertlik indeksi ölçümleri

Deneylerde Schimadzu Marka HMV - 2L serisi mikro sertlik cihazı kullanılmış olup 100 gr yük 15 sn ile uygulanmıştır. Deneylerde düzgün - parlatılmış yüzeyli numuneler üzerinde toplam 10 okuma yapılmış ve bunların aritmetik ortalamaları alınarak Çizelge 6.9 'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Mermer örneklerine ait Knoop sertlik indeksi değerleri

Mermerin İsmi	Ölçüm Değeri	Ort.HK
Manyas Beyaz	144-144-109-108-146-128-118-140-161-106	130
Uşak Grili	136-121-149-150-128-151-170-139-116-131	139
Afyon Çiz. Şeker	134-144-117-116-175-159-159-139-155-152	145
Muğla Beyaz	189-121-160-129-117-154-135-194-171-184	155
Afyon K. Postu	173-128-174-175-137-163-171-155-151-130	156
Uşak Yeşil	157-135-143-154-126-158-148-300-113-176	161
Kütahya Menekşe	124-144-351-143-260-117-174-184-197-197	189

Ayrıca, Afyon Kaplan Postu mermerinde yapılan deney sonucu yüzeyinde oluşan izin görünümü Şekil 6.8.'de görülmektedir.

Şekil 6.8. Knoop sertlik cihazının mermer yüzeyi üzerinde bıraktığı iz şekli.

7. DİSKLİ KESME MAKİNALARI KESME PROSESİ PARAMETRELERİ

Dairesel testerelele kaya kesme işlemlerinde kayaç, makina ve testere arasında karşılıklı etkileşimler meydana gelerek kesme gerçekleşmektedir. Bu parametrelerin her birinin ayrı özellikler taşıması bu işlemi daha da karmaşık bir hale getirmektedir. Bu parametrelerin kesme işlemi üzerinde oynadıkları roller aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

7.1. Kayaç Özellikleri

Kayaçlar yalnızca tek bir mineralden veya birkaç mineralin bir araya gelmesinden oluşmakta ve bu minerallerin tüm özellikleri buldukları oran ölçüsünde kayaca da yansımaktadır.

Minerallerin cinsleri, % miktarları, tane boyut dağılımları, dokusal ilişkileri, gevrekliği, basınç - çekme dayanımları, çimento malzemesinin cinsi ve çimentolanma derecesi kayaçların kesilmesini etkileyen önemli özelliklerindedir.

Yapılan önceki çalışmalar (Cassapi, 1987) ve pratikte edinilen deneyimlerden, içerisinde kuvars vb. mineral bulunan veya bunlardan oluşan iri taneli grift yapılı, yüksek basma - çekme dayanımına sahip olan mermerler zor kesilirken, içerisinde kalsit vb. mineral bulunan veya bundan oluşan ince taneli, gevrek, düşük basınç - çekme dayanımlı mermerlerin kesilmesi görece daha kolay olduğu bilinmektedir.

7.2. Makina Özellikleri

Makinanın en önemli özelliği yapısal konstrüksiyonudur. Makinanın temel parçalarının mümkün olduğunca sağlam dökme demirden veya ısıtılmış çeliklerden imal edilmesi gerekir. Makinada istenilmeyen titreşimlerin oluşmaması için mümkün olduğunca az hareketli parçalar bulunmalıdır. Makina zemine iyice oturtulmalı ve oturduğu zeminin etrafı titreşim önleyici malzemelerle (strafor) çevrilmelidir. Bu sayede bir makinanın oluşturduğu titreşimin diğer bir makinaı etkilemesi önlenmiş olacaktır.

Makinanın tüm hareketli ünitelerinin hareket düzlemlerine tam paralel olarak hareket etmeleri sağlanmalıdır. Sürekli hareket eden ünitelerin, sürtünmeden dolayı oluşan aşınmalara karşı dayanımlı olmaları gereklidir. Makinadaki zamanla aşınmış veya bozulmuş parçalar değiştirilmelidir. Çünkü, göz ardı edilen küçük bir bozuk parça, zamanla buna bağlı diğer büyük parçaların da bozulmasına neden olabilir.

Makinanın motor gücü kesilecek kayacın gerektirdiği güç tüketimini karşılayabilir olmalıdır. Sert bir kayacı yetersiz motor gücü ve zayıf konstrüksiyonla kesmek ekonomik olmayacağı gibi, yumuşak bir kayaç için gereğinden fazla motor gücüyle kesmek de ekonomik olmayacaktır (Tönshoff vd., 1993).

Kesme işleminde diğer önemli nokta da kayaç bloğunun taşıyıcı vagona sıkıca sabitlenmesidir. Eğer sıkı bir şekilde sabitlenmemiş ise, oluşacak kuvvetlerin etkisiyle blok sallanacak ve hem makina ile testereye hem de kesilen yüzeye zarar verecektir. Bundan dolayı, blok mutlaka vagona hiç sallanmayacak şekilde sabitlenerek oluşabilecek titreşimler önlenmelidir.

Diğer taraftan, kesilen kayacın yüzey düzgünlüğü de testerenin ömrü açısından önemlidir. Kayaç yüzeyi ne kadar şekilsiz ve çok köşeli ise elmas soketlerin bu köşelere ve yüzey çarpmasından dolayı ömrü azalacak veya kırılarak düşecektir. Düzgün yüzeylere ve az sayıda köşeye sahip blokların kesimi testere ömrünü olumlu yönde arttıracaktır (Tönshoff vd., 1993).

Makina hareketleri mümkün olduğunca operatör müdahalesinden bağımsız kontrol edilebilir olmalıdır. Ne kadar az operatör müdahalesine gerek olursa makina işlemleri o ölçüde çabuk ve hassas yapılabilecektir. Son zamanlarda, mermer kesme ve işleme makinalarında otomasyona geçilerek, endüstriyel bilgisayarlar ile kontrol edilebilen ve kesme hızları invertörlerle düzenlenen makinalar sayesinde, üretim miktarlarında ve ürün kalitelerinde artış gözlenmiştir.

7.3. Dairesel Testere ve Elmas Soket Özellikleri

Dairesel diskler ısıl işlemden geçirilmiş özel alaşımlı çeliklerden üretilirler. Bu diskler darbelere karşı dayanımlı, elastikiyet yetenekleri yüksek olmalı ve yeterince ön gerilim verilmelidir.

Diskin çapı motor gücüne uyumlu olmalıdır. Gereğinden düşük güçlü motorlarla çalışmak diskin kesme verimini ve dayanımını düşürecektir. Ayrıca, diskin mil üzerine tam oturmasını sağlayan flanşların çapları da toleranslar dahilinde, disk çapına uygun olmalıdır. Gereğinden küçük flanş çapları diskin mekanik dayanımını azaltacak ve istenilmeyen titreşimlere neden olacaktır. Gereğinden büyük flanş çapları ise kesilebilecek derinlik miktarını azaltacaktır.

Ayrıca diskin, flanşın ve milin yüzeyleri daima temiz, düzgün ve passız olmalıdır. Bunun için belirli peryotlarla temizlenip yağlanmalıdır ve aşınan veya kırılan parçalar mutlaka yenisi ile değiştirilmelidir (Sonmak ve Diamond Board, elmas ekipmanları kullanım kılavuzları).

Dairesel diskin çevresel hızı genelde motor ve disk miline bağlı kayış - kasnak grupları ile düzenlendiğinden bunların daima gergin ve sağlam olmaları sağlanmalıdır. Devir ayarlamalarında uygun kasnak çapları doğru seçilmeli ve kayışların yıprananları yenileri ile değiştirilmelidir. Kasnakların rulmanları periyodik olarak yağlanmalı bozulanları yenilenmelidir.

Elmas soketler ise kesmeyi gerçekleştiren en önemli parçadır. Soketin verimi işlemin başarısı için gereklidir. Elmas soketler, elmas taneleri ve matriks kısmı oluşturan metal alaşım kısımlarından oluşmaktadır.

Elmas tanelerinin cinsleri, yüzey şekilleri, % miktarları, tane boyutları kesimi etkileyen önemli parametrelerdendir. Kesme verimini arttırmak için mümkün olduğunca yüksek kaliteli, kübik - oktahedral kristal yapılı, keskin köşelere sahip yüzeyleri bulunan elmaslar tercih edilmelidir. Sert kayalarda ince taneli ve yüksek konsantrasyonlu, yumuşak kayalarda ise iri taneli ve düşük konsantrasyonlu elmas taneleri kullanılmalıdır (Wright and Jennings, 1989).

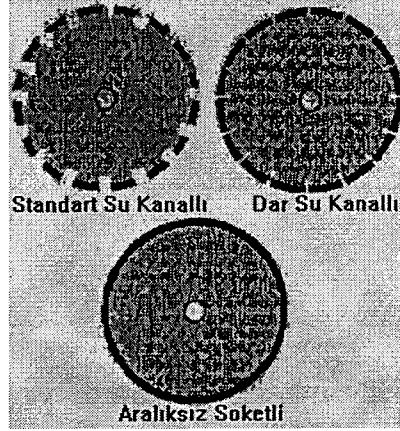
Matriksi oluşturan metallerin cinsleri, % miktarları, yüzey şekilleri, tane boyutları, sinterleme sıcaklıkları, korozyona karşı dayanımları, ısı iletim yetenekleri, elmas tanelerinin ömrünü ve kesimin verimini etkileyen parametrelerdendir. Genellikle matriks malzemesi olarak Cu, Sn, Co, W, Ni, Cr, Ti gibi metal tozları

kullanılır. Bu metal tozlarının boyutları 5 - 20 μ arasında olup küresel şekillidir. Yüzeyleri girintili - çıkıntılı, düşük sinterleme sıcaklıklarında ergiyebilen, korozyona ve aşınmaya karşı dayanımlı, yüksek sıcaklıklarda ısı iletkenliği fazla olan metaller tercih edilirler (Wright and Jennings, 1989).

Ayrıca, kesme sırasında diskin ve elmas soketin üzerinde sürtünme sonucu oluşan ısının azaltılması için mutlaka yeterli miktarda su ile soğutulmaları gerekir. Su, kesme sonucu oluşan talaşları ortamdan uzaklaştırır ve malzemelerin yüzeylerinde oluşan ısının azaltılmasını sağlar. Su, diskin her iki yüzeyine eşit miktarda verilmelidir. Aksi durumda suyun az geldiği elmas soket yüzeyi daha çabuk aşınacaktır. Suyun az gelmesi ise oluşan talaşların ortamda kalmasına, tekrar elmas soketlerle temas ederek onların gereksiz yere aşınmalarına neden olacağı gibi, oluşan yüksek ısı nedeniyle elmas tanelerinin yanmalarına, soket - çelik diskin temas alanındaki kaynağın erimesine ve hatta çelik diskin dayanım özelliğinin azalmasına neden olacaktır. Gereğinden fazla miktarda ve basınçta su kullanılması durumunda, su tabakası kesilen kayaç yüzeyi ile kesici elmas yüzeyi arasında bir yastık görevi görerek diskin kayaç yüzeyi üzerinde patinaj yapmasına neden olacak veya dönmesini zorlaştıracaktır. Bu olaylar hem kesimin gerçekleşmesini engeller hem de gereksiz enerji tüketimine neden olur (Tönshoff et al., 1993).

Dairesel disk üzerindeki elmas soketlerin aralarında belirli kanallar bulunmaktadır. Bu kanallar dar veya geniş olabilir. Sert ve aşındırıcı karakterli kayaç kesimlerinde geniş kanallı diskler kullanılır. Zira, oluşan talaşların bu boşluklara girerek kesme ortamından alınıp dışarıya kolayca atılmaları ve gereksiz aşınmaya neden olmamaları sağlanır. Dar kanallı diskler genelde yumuşak ve kırılğan karakterli kayaçlarda düzgün yüzey elde etmede kullanılır (Wright and Jennings, 1989). Ayrıca, daha hassas kesim gerektiren, pürüzsüz düzgün yüzeyler için ve ince kesimlerde aralıksız (sonsuz)

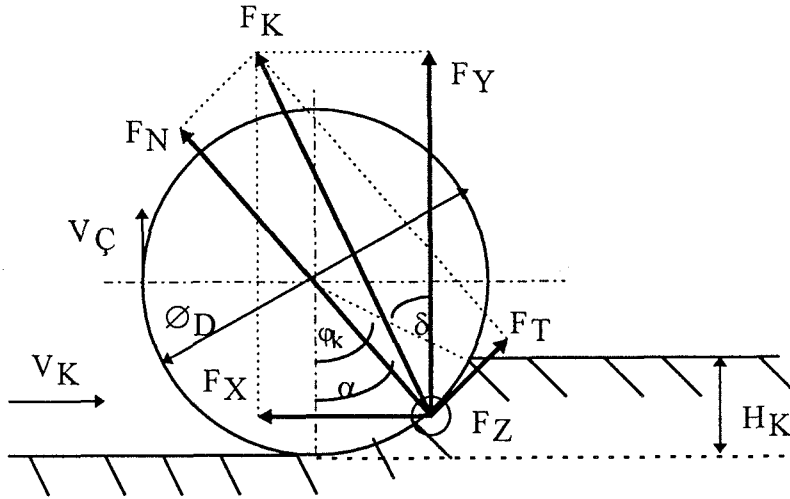
tip diskler de mevcuttur. Ancak, bunların çapı maksimum 600 mm kadar olmakta ve yüksek devirli kesme işlemlerinde kullanılabilirler (Şekil 7.1).



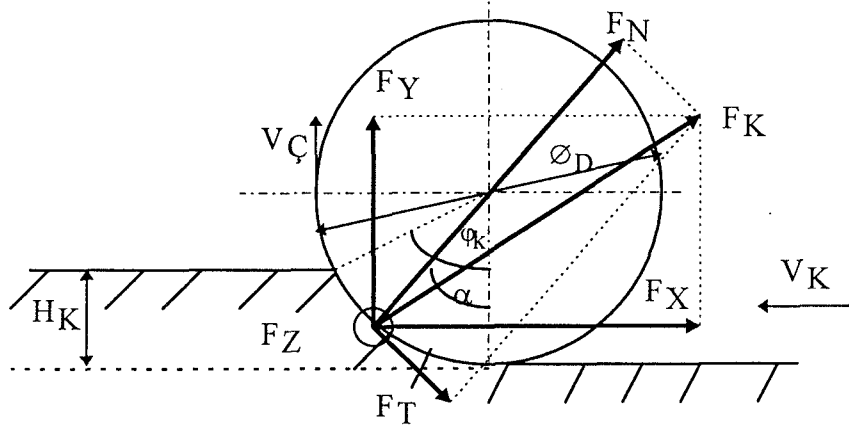
Şekil 7.1. Dairesel testere çeşitleri.

7.4. Kesme İşlemi Kinematığı

Diskli kesicilerle kayaç kesme prosesinde, diskin kayacı kesmesi esnasında mekanik etkileşimler sonucu Şekil 7.2 - 7.3 'te görülen kuvvetler ve bileşenleri oluşur (Tönshoff et al., 1993).



Şekil 7.2. Aynı yönlü kesme için kesme işlemi kinematığı (Tönshoff et al., 1993).



Şekil 7.3. Zıt yönlü kesme için kesme işlemi kinematığı (Tönshoff et al., 1993).

Burada;

F_X	= Disk kesme yönünde oluşan yatay (x) kuvvet	(N)
F_Y	= Disk kesme yönünde oluşan düşey (y) kuvvet	(N)
F_Z	= Disk kesme yönüne dik oluşan aksenal (z) kuvvet	(N)
F_N	= Normal (Radyal) kuvvet	(N)
F_T	= Teğetsel (tanjantiyel) kuvvet	(N)
F_K	= Kesme kuvveti	(N)
V_C	= Diskin çevresel hızı	(m/sn)
V_K	= Kesme (ilerleme) hızı	(m/sn)
\varnothing_D	= Disk (testere) çapı	(mm)
H_K	= Kesme derinliği	(mm)
φ_K	= Diskin kayaçla temas (kavrama) açısı	(Derece)
α	= Normal kuvvetin etki (aşındırma) açısı	(Derece)

Yatay (F_X) , Düşey (F_Y) , Aksenal (F_Z) kuvvetler ölçümler sonucu bulunan kuvvetlerdir. Bu kuvvetlerin yardımıyla aynı yönlü

kesme işlemleri için aşağıdaki bağıntılar kullanılarak Normal, Teğetsel ve Kesme kuvvetleri de hesaplanabilir (Tönshoff et al., 1993).

$$\cos\delta = \frac{F_Y}{F_K} \quad , \quad \sin\delta = \frac{F_X}{F_K} \quad (7.1)$$

$$F_N = F_K \cdot \cos(\alpha - \delta) \quad (7.2)$$

$$F_N = F_K \cdot \left(\cos\alpha \cdot \frac{F_Y}{F_K} + \sin\alpha \cdot \frac{F_X}{F_K} \right) \quad (7.3)$$

$$F_N = F_Y \cdot \cos\alpha + F_X \cdot \sin\alpha \quad (7.4)$$

$$F_T = F_K \cdot \sin(\alpha - \delta) \quad (7.5)$$

$$F_T = F_K \cdot \left(\sin\alpha \cdot \frac{F_Y}{F_K} - \cos\alpha \cdot \frac{F_X}{F_K} \right) \quad (7.6)$$

$$F_T = F_Y \cdot \sin\alpha - F_X \cdot \cos\alpha \quad (7.7)$$

$$F_K = (F_N^2 + F_T^2)^{1/2} \quad (7.8)$$

Zıt yönlü kesme durumunda Normal Kuvvet (F_N) ve Teğetsel Kuvvet (F_T) için

$$F_N = F_Y \cdot \sin\alpha + F_X \cdot \cos\alpha \quad (7.9)$$

$$F_T = F_X \cdot \cos\alpha - F_Y \cdot \sin\alpha \quad (7.10)$$

bağıntıları yazılabilir.

Diskin kayacı kavrama açısı (φ_k) ve normal kuvvetin etki açısı (α) Bağıntı 7.11 ve 7.12 yardımıyla hesaplanabilir;

$$\varphi_k = \arccos \left(1 - \frac{2Hk}{\varnothing D} \right) \quad (7.11)$$

$$\alpha = w \cdot \varphi_k \quad (7.12)$$

Aşındırma açısına ait w faktörünün Tobias (1965) tarafından kayalar için $w = 0,7$ olarak alınması önerilmiştir (Tönshoff, 1993).

Bir diskin kesme işlemini gerçekleştirebilmesi için gerekli motor kuvveti (P_c)

$$P_c = F_T \cdot V_{\check{C}} \quad (7.13)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

Birim zamanda kesilen hacim için harcanan enerji miktarı *Spesifik Enerji* (SE) olarak tanımlanır ve

$$SE = \frac{P_c}{Q_w} = \frac{F_T \cdot V_{\check{C}}}{Hk \cdot G_s \cdot V_k} \quad (7.14)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

Burada;

G_s : Elmas soket genişliğidir.

Bir elektrik motor gücünün tam verimle kullanılmadığı düşünülürse, gerekli motor kuvveti aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanabilir (Saçkan, 1981).

$$P_c = P_m \cdot \xi \quad (7.15)$$

Burada;

$$P_m = \text{Motor gücü (KW , HP)}$$

$$\xi = \text{Motor gücü verimi (\%)}$$

Teğetsel kuvvetin (F_T), normal kuvvete (F_N) oranına Kesme Kuvvetleri Oranı (μ) olarak tanımlanır ve Bağıntı 7.16'da görüldüğü gibi ifade edilir;

$$\mu = \frac{F_T}{F_N} \quad (7.16)$$

Kesme hızının disk çevresel hızına oranı kesme hızları oranı (q) olarak anılır ve

$$q = \frac{V_K}{V_Ç} \quad (7.17)$$

bağıntısıyla ifade edilir.

8. ÇALIŞMADA KULLANILAN DİSKLİ KESİCİ DENEY SETİNİN TASARIMLANDIRILMASI

Diskli kesicilerle yapılan önceki çalışmalarda (Cassapi , 1987 ; Tönshoff ve arkadaşları, 1993) mermer kesme deneylerinin genel olarak endüstriyel boyutlu Blok Kesme Makinası veya Köprü Kesme Makinası yardımı ile yapıldığı görülmüştür. Bu tür makinaların yatırım maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle bu çalışmada, aynı fonksiyonları görebilecek laboratuvar ölçekli diskli kesme makinasının kullanılması uygun bulunmuştur. Diğer yandan, operatör faktörünü en aza indirebilmek amacıyla, deney seti tamamen bilgisayarla kumanda edilecek şekilde tasarımılandırılmıştır.

8.1. Makinanın Mekanik Tasarımı

Elmas soketli dairesel testerelerin endüstriyel boyutta en yoğun kullanıldıkları makinalar S/D (Blok Kesme Makinaları) 'lerdir. Bu tür makinalarda düşey testere çevresel hızının, kesme (ilerleme) hızının ve kesme derinliğinin uygun olarak seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Yatay testerelerin kesme prosesi üzerindeki etkisi düşey testere kadar değildir. Bu nedenle, üzerinde yalnızca düşey testerenin bulunduğu bir makinanın tasarımılandırılması uygun görülmüştür.

Özellikle iki kolonlu S/D makinalarında, düşey testere düşey düzlemde yukarı - aşağı ve sağa - sola hareket ederken, dilim kalınlığı üzerinde bloğun bulunduğu vagonun yatay düzlemdeki ileri - geri hareketi sayesinde ayarlanabilmektedir. Bu çalışmanın amaçlarına uygun olarak tasarımılandırılan makinada kesme derinliğini ayarlayabilmek için, düşey düzlemde yukarı - aşağı hareket etmesi ve kesilen dilim kalınlığını ayarlayabilmek için ise yatay düzlemde ileri - geri hareket etmesi düşünülmüştür. Diğer taraftan, kesme işleminin

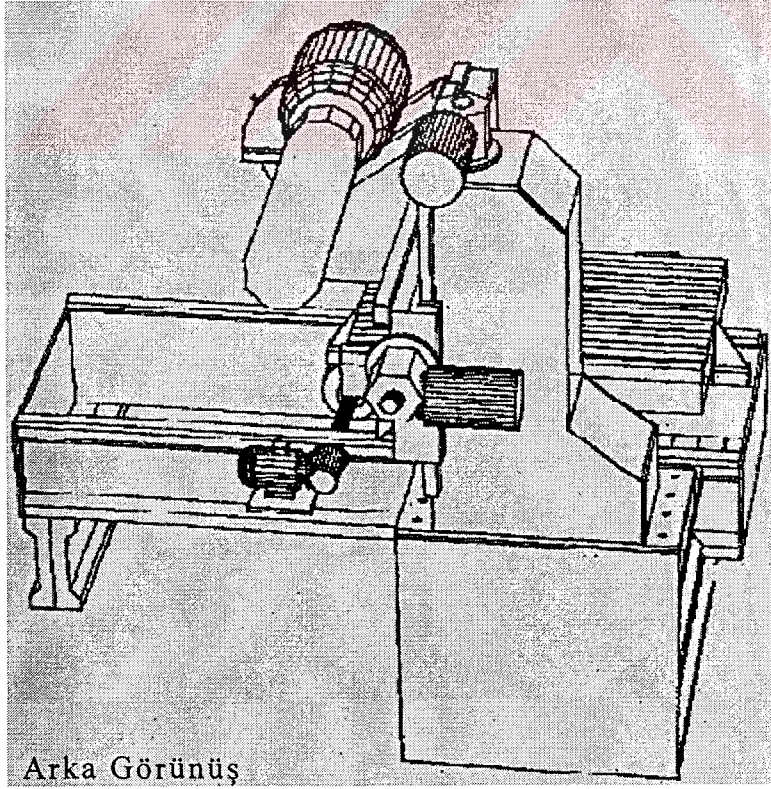
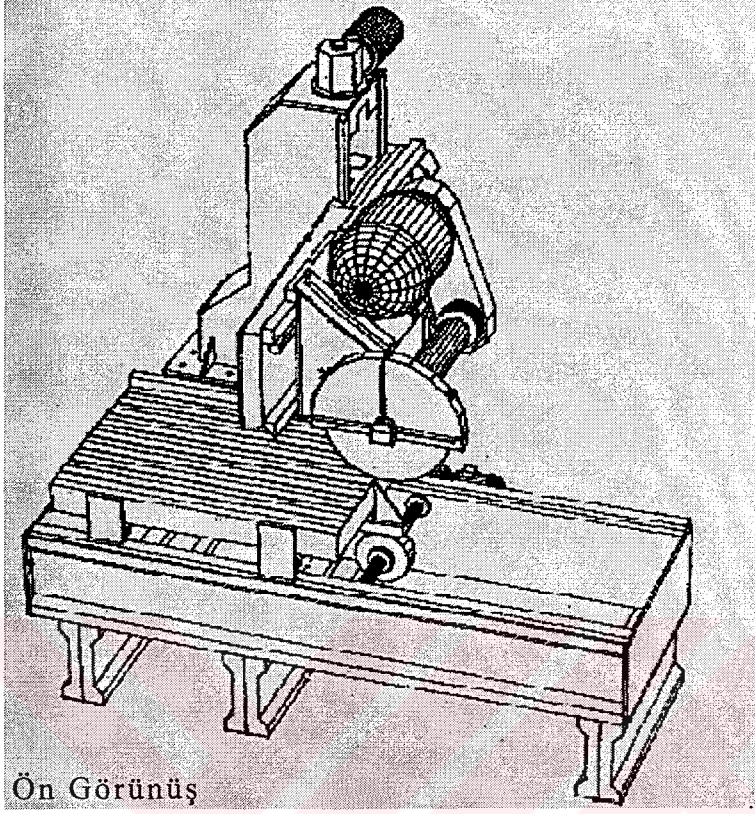
gerçekleşmesi için testerenin düşey düzlemde sağa - sola hareketi yerine, kesilecek parçanın (ergonomik boyutlarda olacak şekilde) hareket ettirilmesi makinanın daha kolay tasarımılandırılmasına yardımcı olacağı düşüncesiyle tercih edilmiştir.

Yukarıda mekanik hareketler açısından taşınması gereken özellikleri verilen makinanın finansmanı Afyon Kocatepe Üniversitesi Araştırma Fon Saymanlığı tarafından desteklenen “ Mermercilik Sektöründe Kullanılan Elmas Soketlerin Dizaynı - İmali ve Verimlilik Analizlerinin Yapılması ” başlıklı proje kapsamında sağlanılarak, GÜRMAS marka *Mini Yan Kesme Makinası* satın alınmıştır (Şekil 8.1).

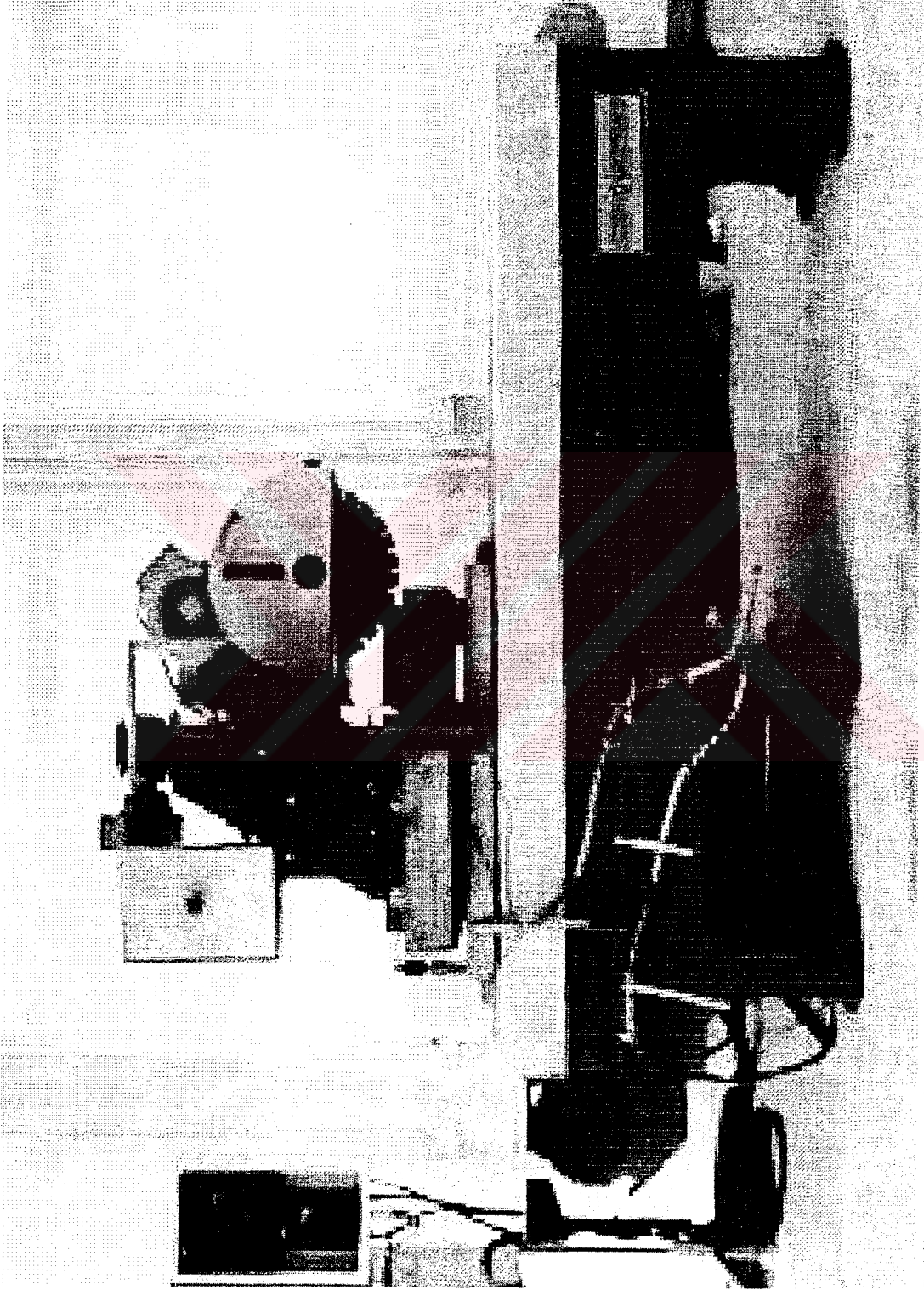
Bu makinada kesilecek numunenin konulduğu arabanın alt bölümüne özel olarak tasarımılandırılan bir zincir - dişli çark düzeneği kurularak, arabanın kesme kursu boyunca olan hareketi mekanik olarak sağlanılmıştır. Böylece, hareketin düzgün ve darbesiz olması temin edilmiştir.

Kesme grubu makinadaki kolon üzerine kızaklarla yataklanmış olup, testerenin yatay düzlemde ileri - geri ve düşey düzlemde yukarı - aşağı hareketi iki adet 0,75 KW (1 HP) lık AC motorla sağlanılmıştır.

Makina üzerine maksimum $\phi = 400$ mm çaplı bir testere takılması mümkün olup, bunun için ilgili kataloglarda (Sonmak, Diamant Board elmas ekipmanları kullanım kılavuzu) önerilen 4 KW (5 HP) - 3000 dev/dk 'lık bir AC motor monte edilmiştir. Araba hareketi kesme kursunun baş ve son kısmına konulan iki adet çarktan baş kısımdaki çarka redüktörle bağlanmış 0,75 KW (1 HP) 'lık bir AC motorla sağlanılmıştır. Böylece makinanın mekanik tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 8.2).



Şekil 8.1. Mermer kesme deney aygıtı mekanik yapısı.



Şekil 8.2 Mermer kesme deney setinin mekanik yapısı.

8.2. Makinanın Otomasyonel Tasarımı

Mekanik olarak tasarımılandırılması ve montajı tamamlanan makinanın otomasyonel tasarımılandırılmasına geçilmiştir. Otomasyon işlemi için DPT tarafından desteklenen “ Afyon ve Kütahya Yöresi Mermerlerin Kesilebilme Teknolojilerinin Geliştirilmesi ” başlıklı projeden finansman sağlanılmıştır.

Otomasyonda amaç, makinanın tüm hareketlerinin bilgisayar aracılığı ile kontrolü ve düşey testerenin çevresel hızı ve arabanın ilerleme hızının istenen sınırlarda kademersiz olarak düzenlenmesidir.

Bu hızların düzenlenmesinde invertörlerden (hız kontrol cihazları) yararlanılması düşünülmüştür. Bu cihazlar, frekansın değiştirilmesi suretiyle AC motorların devir kontrollerinde kullanılmaya başlanılmış olup kullanımları hızla yaygınlaşmaktadır. Testerenin ve arabanın hızını kontrol amacıyla, Siemens marka Micromaster serisi 5 HP ve 1 HP 'lik iki adet hız kontrol cihazı seçilmiştir. Bu hız kontrol cihazları sayesinde motor devirlerinde 0 - 5000 dev/dk 'lık bir sınır aralığında düzenleme sağlanılmıştır.

Diğer önemli bir konu ise, testerenin düşey ve yatay düzlemdeki hareketi ve araba hareketinin başlangıç - bitiş noktalarının elektronik olarak belirlenmesidir. Bu amaçla, sınır noktalarına toplam 6 adet metal algılayıcı sınır anahtarı (endüktif sensör) yerleştirilmiştir. Ayrıca, testerenin yatay ve düşey düzlemdeki konumunu sayısal olarak belirlemek için, iki adet sensör de bu hareketi sağlayan motorların miline bağlı kanatların alt kısımlarına monte edilmiştir. Bu kanatların her aralığı 1 mm ilerlemeye karşılık gelmektedir.

Testerenin dönüş hızının istenilen hız ayarına uygun olup olmadığını denetlemek için, elektronik hız ölçme takometresi (Encoder) ve arabanın ilerleme (kesme) hızının uygunluğunu kontrol etmek için ise takogeneratör kullanılmıştır.

Invertörler sayesinde testerenin çevresel hızını 0 - 85 m/sn, araba ilerleme hızını ise 0 - 6 m/dk arasında istenilen kademelerde ayarlamak mümkün olmuş, encoder ve takogeneratörle de bunların doğruluk ve hassasiyeti kontrol edilmiştir.

Kesme işlemi sırasında oluşan üç boyutlu (düşey - yatay - eksenel) kuvvetlerin ölçülmesinde Load Cell'ler (yük hücresi) kullanılmıştır. Düşey yükün büyüklüğü dikkate alınarak ESİT marka 100 kgf (1 kN) 'lık platform tip (single point) load cell tercih edilmiştir. Bunun en büyük avantajı, platformun çeşitli noktalarından uygulanabilecek yüklerin tam orta noktadan algılanabilmesidir. Yatay ve eksenel yüklerin ölçülmesinde ise Esit marka L tip 50 kgf (500 N) 'lık birer load cell kullanılmıştır.

Taşıyıcı arabanın üst kısmına düşey yük ölçmede kullanılacak tartma platformu monte edilmiştir. Bu platformun üzerine numunenin sürtünme kuvvetini en aza indirmek amacıyla 30 cm boyunda, özel alaşımlı çelikten imal edilmiş üç adet silindirik ($\phi = 10 \text{ mm}$) tambur yataklanmıştır. Ayrıca, numuneye yanal destek vermesi amacıyla sürtünme kuvvetini de en aza indirecek 2 adet tekerlek 20 cm aralıklarla platforma dik olarak yerleştirilmiştir. Bunların yanı sıra, kesme düzlemine dik ve paralel olacak şekilde L tip yük hücreleri de arabanın ön ve yan kısımlarına monte edilmiştir.

Otomasyonun ana birimlerinden birisi de makina üzerine yerleştirilmiş olan tüm motorların, sensörlerin, load cellerin, encoder, takogeneratörün kontrol - kumandasını sağlayacak PC (kişisel bilgisayar) ve endüstriyel kontrol kartlarıdır. Bu amaçla IBM Aptiva marka 486SX mikro işlemcili 16 MB ön bellekli bir PC kullanılmıştır. Otomasyonun en önemli donanımlarından olan Dijital I/O kartı ise, 16 dijital giriş, 16 dijital çıkış ve 16 analog giriş, 2 analog çıkış ile bir counter (sayıcı) girişine sahiptir. Mermer kesme deney setinin otomasyonel şematik görünümü Şekil 8.3 'te görülmektedir.

Bütün mekanik ve elektronik donanımın PC ile iletişimini ve kumanda kontrolünü sağlayan software (bilgisayar yazılım) programıdır. Bu amaçla DPT tarafından desteklenen “ Afyon ve Kütahya Yöresi Mermerlerin Kesilebilme Teknolojilerinin Geliştirilmesi ” başlıklı projeden finansman sağlanılarak, yapılması istenilen tüm fonksiyonları yerine getiren bir yazılım programı özel bir şirkete yazdırılmıştır. Şekil 8.4 'te bu programın ana menüsü görülmektedir.

OTOMASYON PROGRAMI

MERMER TEST PROGRAMI

Kuvvetler (Kg)	Olması İstlenen Normal Değerler	Otomatik Kesme Değerleri		
X Yönü 01.2	İlerleme Hızı (m/dak) <input type="text" value="1"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Y Yönü -04.3	Disk Dönüş (m/sn) <input type="text" value="20"/>	İlerleme Hızları	Disk Hızları	Kesme Derinlikleri
Z Yönü 00.1	Kesme (mm) Derinliği <input type="text" value="20"/>	1 0.4	65	10
İlerleme Hızı (m/dak) <input type="text" value="0"/>	Kesme (mm) Genişliği <input type="text" value="30"/>	2 0.5	70	30
Disk Dönüş (m/sn) <input type="text" value="0"/>	Testere Çapı (mm) <input type="text" value="400"/>	3 0.6	75	50
Kesme Derinliği (mm) <input type="text" value="0"/>		4 0.7	80	70
		5 0.8	85	90

Otomasyon Durumu	Kesilen Mermerin İsmi
STOP	UŞAK GRİ

Sayıcı <input type="text" value="0"/>	ON	OTOMATİK	RESET
ACIL STOP	STOP	MANUEL	GEN

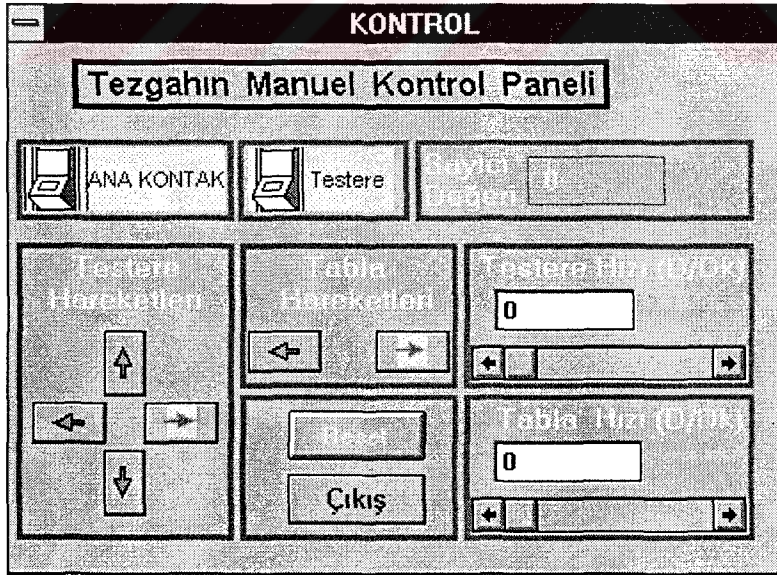
Şekil 8.4. Deney setinin kontrolünü ve iletişimi sağlayan bilgisayar yazılım programının ana menüsü.

Ana menüde kesme sırasında oluşan yükler, diskin konumu ve otomasyonun durumu her an gözlenebilmektedir. Ayrıca, ana menü içerisindeki bölümlerde deneylerde kullanılacak olan kesme parametrelerinin alması gereken değerler klavye aracılığıyla düzenlenebilmektedir. Bu bölümlerden ilki deneyin hangi sabit

değerlerde yapılacağını gösteren bölüm, diğeri ise değiştirilecek olan testere dönüş hızı (çevresel hız), ilerleme (kesme) hızı ve kesme derinliklerinin alması gereken değerleri gösteren bölümdür.

Deneylerin yapılmasında istenilen sabit değerler önceden menüye girilmekte, hangi parametre değişken olarak alınacaksa menüdeki ilgili bölümün üzerindeki kutucuk x işareti ile seçilmektedir. Bu sayede, yapılan deneylerde değişken parametre olması istenilen değerleri sıra ile değiştirirken, sabit değerler değişmeden kalacak ve bir seri deney tamamlandığında makina kendisini otomatik olarak durduracaktır.

Ana menüye bağlı manuel (el ile) kontrol ve veri menüleri bulunmaktadır. Manuel kontrol yardımcı menüsünde diskin ve arabanın konumu istenilen noktaya el kumandası ile getirilebilmekte, testerenin ve arabanın hızı istenilen değere manuel olarak ayarlanabilmektedir (Şekil 8.5).



Şekil 8.5. Deney setinin kontrolünü ve iletişimi sağlayan bilgisayar yazılım programının manuel yardımcı menüsü.

Veri yardımcı menüsünde ise kesilen taşın cinsi ve her deneye ait değerlerin yanı sıra, kesme sırasında her yarım saniyede bir oluşan Düşey (F_y), Yatay (F_x), Eksenel (F_z) kuvvetlerin sayısal değerleri kgf cinsinden % 0,1 hassasiyetle gözlenebilmekte ve data dosyası olarak kaydedilip istenildiğinde geri çağırılabilir (Şekil 8.6).

C:\OTOMAS\UGRIDENE.DAT			
Dosya Aç		Dosya Kaydet	
Yükü Gözetim Sil		Kapat	
Mermer İsmi : uşak gr1			
Testere Devri = 40 m/sn İlerleme Hızı = 0.4 m/dk Derinlik = 20 mm			
Fx	Fy	Fz	
-00.9	-00.1	-00.4	
-00.3	-00.4	00.2	
-01.0	00.4	01.1	
00.0	00.8	00.4	
-01.9	-00.7	00.5	
00.6	03.8	00.1	
-02.4	-02.5	01.4	
-02.7	-28.9	00.5	
01.0	15.0	00.7	
00.3	05.7	01.0	
01.2	07.5	00.0	
01.4	06.3	00.6	
-02.1	-01.4	00.5	
-02.2	00.8	00.4	
-02.5	00.1	00.9	
-02.6	02.5	00.2	

Şekil 8.6. Deney setinin kontrolünü ve iletişimi sağlayan bilgisayar yazılım programının veri yardımcı menüsü.

Ana menüdeki diğer yardımcı butonlar ise reset, otomatik ve stop butonlarıdır. *Reset* butonu, testere ve araba hangi konumda olursa olsun, ilk başlangıç (sıfır) konumlarına getirmede kullanılır. *Otomatik* butonu ise ana menü üzerinden istenilen düzenlemeleri yapılmış deneylerin 5 'er adetini otomatik olarak operatör kumandasına gerek kalmaksızın yapılmasını sağlar. *Stop* butonu ise herhangi bir nedenle makinanın durdurulması gerektiğinde tüm fonksiyonların durmasını sağlar. Otomasyon programından çıkılmada ise *Çıkış* butonu kullanılır.

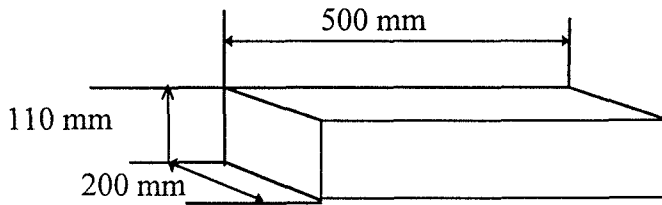
8.3. Deney Parametrelerinin Saptanması ve Verilerin Sayısal İşlenişi

8.3.1. Deneylerde kullanılacak numune boyutlarının belirlenmesi

Kesme diski çapının $\phi = 400$ mm ve motor gücünün 5 HP olması kesme derinliğini belirleyen en önemli parametrelerdir. Bu disk ile yapılan kesimlerde flanş çapı ve emniyet açıklığı dikkate alındığında, maksimum 90 mm derinliğinde kanal açılabilceğinden hareketle, numunenin alt kısmında 20 mm 'lik bir pay bırakılarak toplam numune yüksekliğinin 110 mm olmasına karar verilmiştir.

Testerinin kestiği dilimler arasındaki mesafenin 18 mm olması ve her numune üzerinde 10 adet deney yapılarak toplam numune genişliğinin 200 mm olması düşünülmüştür.

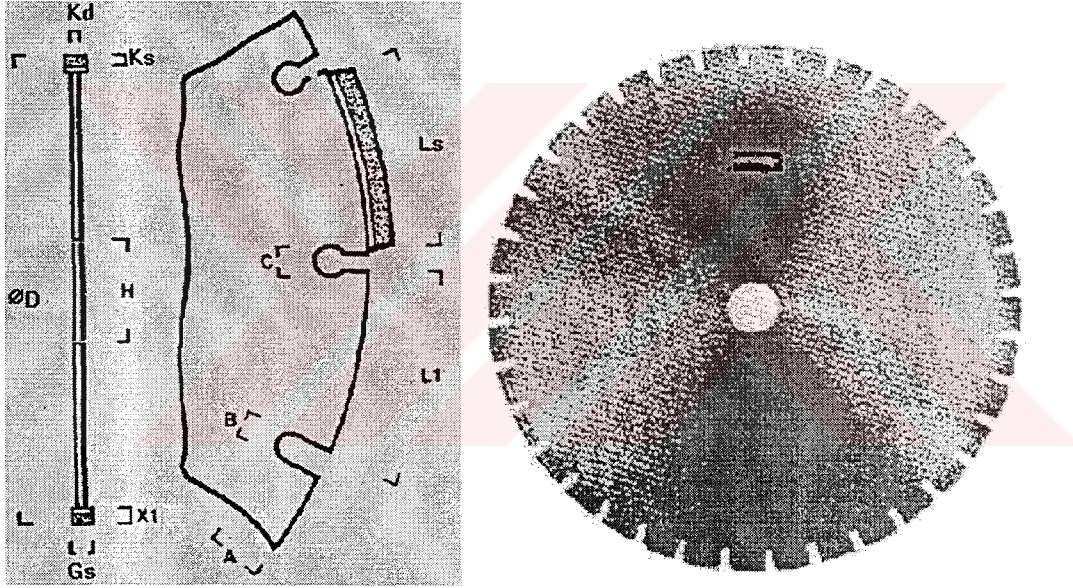
Testerinin keseceği dilim (numune) uzunluğu ise 500 mm seçilmiştir. Böylece numune boyutları 110 x 200 x 500 mm olarak belirlenmiş olmaktadır (Şekil 8.7). Bu ölçülerdeki bir mermer numunesinin yaklaşık olarak 28 - 30 kg ağırlıkta olacağı düşünüldüğünde, ergonomik olarak bu numunenin makina yüksekliğine (110 cm) kaldırılıp - indirilmesi sağlanabilecektir. Bu ölçülerden daha büyük değerlerdeki numunelerin indirilip - kaldırılması pratik olmayacaktır.



Şekil 8.7. Deneylerde kullanılan mermer numunesi boyutları.

8.3.2. Deney parametrelerinin belirlenmesi

Kesme deneylerinde disk olarak, seçilen hakiki mermer grubuna uygun SONMAK marka $\phi = 400$ mm'lik testere kullanılmıştır. Bu testerenin elmas soketlerinde SDA85 tipi ve konsantrasyonu 35 (Konsantrasyon 100 = 4,4 karat elmas/cm³) olan elmaslar bulunmaktadır (Şekil 8.8). Testere üzerinde toplam 28 adet (n_s) soket bulunmakta olup soket genişlikleri (G_s) 4 mm , soket boyları (L_s) 40 mm ve soket yükseklikleri (Y_s) 7 mm'dir. Deneylerde kullanılan su miktarı 10 - 12 lt/dk olacak şekilde sabit tutulmuştur.



Şekil 8.8. Deneylerde kullanılan elmas testere boyutları.

Cassapi (1987), Tönshoff ve arkadaşları (1993) tarafından daha önce yapılan çalışmalar ve bu konuyla ilgili katologlar (Sonmak, Diamant Board elmas ekipmanları kullanım kılavuzu) dikkate alınarak, yapılan bazı ön kesme deneyleri sonucunda, hakiki mermer grubunda 400 mm 'lik disk çapı için kesme derinliklerinin (H_k) 10 / 30 / 50 / 70 mm , kesme hızlarının (V_k) 0,4 / 0,5 / 0,6 / 0,7 / 0,8 m/dk ve çevresel hızın ($V_ç$) 60 / 65 / 70 / 75 / 80 m/sn aralıklarında tutulması uygun görülmüştür.

Bu değerlerin altındaki çalışmalarda kesme veriminin oldukça düştüğü, bu değerlerin aşılması durumunda ise disk motorunun aşırı zorlanarak testerenin sıkıştığı ve soketlerin çok hızlı bir şekilde aşındığı gözlenilmiştir.

8.3.3. Sayısal verilerin elde edilmesi ve işlenmesi

Kesme deneyleri sırasında saniyede iki adet değer alınarak elde edilen Düşey (F_Y), Yatay (F_X), Eksenel (F_Z) kuvvetlerin oluşturduğu gruplar Bölüm 8.2 'de bahsedilen bilgisayar yazılım programı yardımıyla data (veri) dosyası olarak kaydedilmektedir.

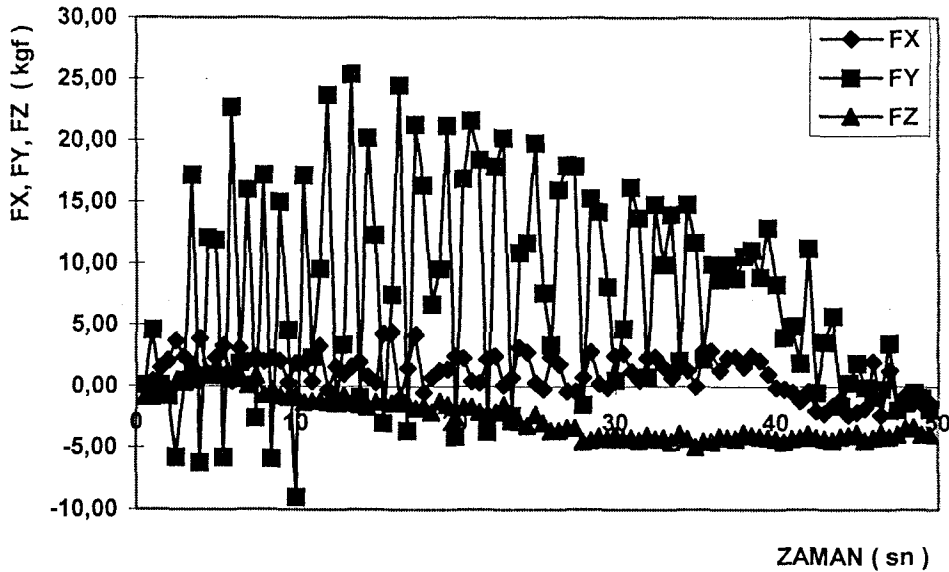
Daha sonra, bu veri dosyaları bir kelime işlem programı olan Microsoft Word 'da (versiyon 6.0) salt metin dosyalarına dönüştürülmekte ve her bir deney, tablolar haline getirilmektedir. Bu tablolar daha sonra, bir sayısal işlem - grafik programı olan Microsoft Excel 'de (versiyon 5.0) zel olarak hazırlanmış şablon tablolara yerleştirilmektedir (şekil 8.9).

Bu şablon tablolara her yarım saniyede bir olacak şekilde alınan datalar stnlar halinde yerleştirildikten sonra bu veriler yardımıyla diğer parametreler (F_K , F_N , F_T , SE , μ) matematiksel işlemler sayesinde hesaplanarak tablodaki ilgili yerlerine program tarafından yerleştirilmektedir. Daha sonra bu stnların aritmetik ortalamaları alınarak, deney sonuçları olarak kaydedilmiştir.

101

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		VÇ	VK	Hk	q				
2		65	0,6	70	0,55				
3	T	FX	FY	FZ	FK	FN	FT	SE	MÜ
4	0,5	0,10	0,10	-0,90	0,141421	0,14	-0,03	-0,00464	-0,18316
5	1	0,4	4,6	-0,9	4,617359	4,01	2,28	0,416165	0,56926
6	1,5	1,50	0,10	-0,50	1,50333	0,93	-1,18	-0,21454	-1,26011
7	2	2,1	-0,8	-0,2	2,247221	0,53	-2,18	-0,39765	-4,0816
8	2,5	3,70	-5,80	0,40	6,87968	-2,67	-6,34	-1,15507	2,373796
9	3	2,40	0,50	0,30	2,45153	1,78	-1,69	-0,30807	-0,95265
10	3,5	1,50	17,20	0,50	17,26528	15,01	8,54	1,555443	0,568928
11	4	3,90	-6,20	0,90	7,324616	-2,89	-6,73	-1,22646	2,332286
12	4,5	1,00	12,10	0,90	12,14125	10,53	6,05	1,102517	0,574943
13	5	2,3	11,9	1,2	12,12023	11,10	4,87	0,886911	0,43859
14	5,5	3,3	-5,8	0,9	6,67308	-2,90	-6,01	-1,0951	2,074071
15	6	0,40	22,70	0,60	22,70352	18,91	12,57	2,289653	0,664684
16	6,5	3,1	1,9	0,8	3,635932	3,32	-1,47	-0,26811	-0,44261

Şekil 8.9. Verilerin işlendiği Microsoft Excel 'de (versiyon 5.0) hazırlanmış şablon dosyasının görünüşü.



Şekil 8.10. Kesme deneyleri esnasında elde edilen kuvvet değerlerinin zamana karşı değişimleri.

9. DAİRESEL TESTERELİ KESME MAKİNALARI ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN VARYASYON DENEYLERİ

Dairesel testereli kesme makinaları çalışma parametrelerinin varyasyon deneylerinde Tönshoff et al. (1993) tarafından izlenen, “ aynı yönlü kesme ” deney yöntemi esas alınmıştır. Anılan çalışmada kesme derinliği (H_K), kesme hızı (V_K), çevresel hız ($V_Ç$) değerlerinden iki tanesi sabit tutulurken diğer parametre değiştirilmek suretiyle Rosa Portugal mermerinde toplam 36 adet varyasyon deneyi yapılmıştır. Seçilen deney aralıkları ise;

$$\text{Kesme Hızı (} V_K \text{)} = 0,8 / 1,0 / 1,2 / 1,4 \text{ m/dk}$$

$$\text{Kesme Derinliği (} H_K \text{)} = 100 / 150 / 200 / 250 / 300 \text{ mm}$$

$$\text{Çevresel Hız (} V_Ç \text{)} = 63,5 / 73,3 / 81,1 \text{ m/sn}$$

olup, bu parametrelerin etkileşimleri sonucu oluşan Normal Kuvvet (F_N), Teğetsel Kuvvet (F_T) ve Spesifik Enerji (SE) değerlerinin değişimleri grafiksel olarak ifade edilip yorumlanmıştır.

Bu çalışmanın kapsamındaki sistematik kesme deneylerinde kullanılacak olan kesme derinliği (H_K), kesme hızı (V_K) ve çevresel hız ($V_Ç$) değerlerinin sınır aralıkları önce Uşak Gri mermerinde yapılan bazı ön deneyler yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır. Bu ön deneylerde daha önce yapılan çalışmalar (Tönshoff et al., 1993) ve ilgili katalogların (Sonmak ve Diamant Board elmas ekipmanları kullanım kılavuzları) önerileri dikkate alınmış olup, buna göre ;

$$H_K = 10 / 30 / 50 / 70 \text{ (mm)}$$

$$V_K = 0,4 / 0,5 / 0,6 / 0,7 / 0,8 \text{ (m/dk)}$$

$$V_Ç = 65 / 70 / 75 / 80 / 85 \text{ (m/sn)}$$

olarak belirlenmesine ve toplam 32 adet kesme deneyi yapılmasına karar verilmiştir. Sistematik kesme deneylerinde izlenen sıra Çizelge 9.1 'de gösterilmiştir.

Çizelge 9.1. Kesme parametreleri deneyleri varyasyon sırası

Sıra No	Çevresel Hız (m/sn)	Kesme Hızı (m/dk)	Kesme Derinliği (mm)	Sıra No	Çevresel Hız (m/sn)	Kesme Hızı (m/dk)	Kesme Derinliği (mm)
1	65	0,4	10	21	70	0,4	30
2	65	0,5	10	22	75	0,4	30
3	65	0,6	10	23	80	0,4	30
4	65	0,7	10	24	85	0,4	30
5	65	0,8	10	25	70	0,6	50
6	65	0,4	30	26	75	0,6	50
7	65	0,5	30	27	80	0,6	50
8	65	0,6	30	28	85	0,6	50
9	65	0,7	30	29	70	0,8	70
10	65	0,8	30	30	75	0,8	70
11	65	0,4	50	31	80	0,8	70
12	65	0,5	50	32	85	0,8	70
13	65	0,6	50				
14	65	0,7	50				
15	65	0,8	50				
16	65	0,4	70				
17	65	0,5	70				
18	65	0,6	70				
19	65	0,7	70				
20	65	0,8	70				

1 - 20 nolu deneylerde çevresel hız 65 m/sn sabit olarak tutulurken; Kesme Derinliği (H_K) = 10 / 30 / 50 / 70 mm değerlerinde, Kesme Hızı (V_K) = 0,4 / 0,5 / 0,6 / 0,7 / 0,8 m/dk değerlerinde değiştirilerek oluşan yatay (F_X), düşey (F_Y), aksenal (F_Z) kuvvetler ölçülmüş ve Bağıntı 7.9 , 7.10 ,7.14 yardımıyla Normal Kuvvet (F_N), Teğetsel Kuvvet (F_T) ve Spesifik Enerji (SE) değerleri hesaplanmıştır. Bu deneyler Uşak Gri ve Uşak Yeşil mermerinde tekrarlanmıştır.

21 - 32 sıra nolu deneylerde ise kesme hızı / kesme derinliği sırasıyla 0,4 m/dk / 30 mm ; 0,6 m/dk / 50 mm ve 0,8 m/dk / 70 mm değerlerinde tutularak 70 / 75 / 80 / 85 m/sn 'lik çevresel hızlarda kuvvet değişimleri ölçülmüştür. Tönshoff ve arkadaşları (1993) 'nın Rosa Portugal mermeri üzerinde yapmış oldukları kesme deneyleri ile bu çalışmada Uşak Gri ve Uşak Yeşil mermerleri üzerinde yapılan 1 - 20 nolu kesme deneylerindeki kesme derinliği - kesme hızı değişimlerine karşı normal - teğetsel kuvvetlerin aldıkları değerlerin yer aldığı grafiklerde oluşan doğrular arasında paralellik gözlenilmiş olup, zaman kazanmak açısından 21 - 32 nolu deneylerin yalnızca Uşak Gri mermerinde yapılması uygun görülmüştür.

Yapılan bu deneyler sonucu elde edilen kuvvetlere (F_X , F_Y , F_Z), bunların bileşenlerine (F_N , F_T , F_K), spesifik enerji (SE) ve kesme kuvveti oranlarına (μ) ait değerler, Uşak Gri mermeri için Çizelge 9.2 'de, Uşak Yeşil mermeri için ise Çizelge 9.3 'te verilmiştir.

Çizelge 9.2 Uşak Gri mermeri varyasyon deneyleri sonuçları

Çevresel Hız (VÇ) m/sn	Kesme Hızı (VK) m/dk	Kesme Derinliği (Hk) mm	X Eksenindeki Kuvvet (FX) N	Y Eksenindeki Kuvvet (FY) N	Z Eksenindeki Kuvvet (FZ) N	Kesme Kuvveti (FK) N	Normal Kuvvet (FN) N	Teğetsel Kuvvet (FT) N	Spesifik Enerji (SE) Nm/mm ³	Kesme Kuvvetleri Oranı (μ)
65	0,4	10	-9,03	16,87	-1,47	19,13	14,52	12,56	2,44	0,86
65	0,4	30	-5,89	36,98	-23,64	37,47	31,98	19,42	1,26	0,61
65	0,4	50	-0,69	55,72	-7,75	55,72	48,36	27,57	1,08	0,57
65	0,4	70	6,67	73,08	-3,24	73,38	63,96	36,00	1,00	0,56
65	0,5	10	-9,52	19,82	-2,55	21,97	17,27	13,64	2,12	0,79
65	0,5	30	-5,79	46,60	-25,11	46,89	40,91	22,96	1,19	0,56
65	0,5	50	0,69	66,61	-12,65	66,61	58,66	31,69	0,99	0,54
65	0,5	70	11,18	86,13	-6,08	86,82	77,20	39,73	0,89	0,51
65	0,6	10	-9,91	22,56	-4,22	24,62	19,82	14,62	1,90	0,74
65	0,6	30	-5,30	56,31	-25,02	56,51	50,13	26,29	1,14	0,52
65	0,6	50	3,83	78,68	-9,61	78,77	70,63	34,73	0,90	0,50
65	0,6	70	14,81	96,33	-4,61	97,51	87,70	42,58	0,79	0,48
65	0,7	10	-9,12	29,53	-5,69	31,00	26,78	15,50	1,72	0,68
65	0,7	30	-5,00	66,61	-17,66	66,81	59,74	29,82	1,11	0,50
65	0,7	50	4,91	85,84	-6,38	86,03	77,50	37,28	0,83	0,48
65	0,7	70	17,95	104,87	-4,81	106,44	96,53	44,83	0,71	0,46
65	0,8	10	-10,59	32,47	6,97	34,14	29,33	17,46	1,70	0,60
65	0,8	30	-4,12	74,46	-22,66	74,65	67,39	32,08	1,04	0,48
65	0,8	50	7,16	93,98	-6,87	94,18	85,64	39,24	0,76	0,46
65	0,8	70	20,70	113,89	-4,71	115,76	105,46	47,68	0,66	0,45
70	0,4	30	-5,40	34,04	-1,67	34,53	29,53	17,85	1,25	0,61
70	0,6	50	2,94	71,22	7,85	63,77	63,77	31,98	0,89	0,50
70	0,8	70	19,13	105,65	9,32	107,32	97,81	44,24	0,66	0,45
75	0,4	30	-5,00	31,20	-4,61	31,59	27,08	16,48	1,23	0,61
75	0,6	50	2,75	65,73	7,95	65,83	58,86	29,53	0,88	0,50
75	0,8	70	16,97	92,12	7,75	93,69	85,35	38,55	0,62	0,45
80	0,4	30	-4,51	28,45	0,88	28,74	24,62	14,91	1,19	0,61
80	0,6	50	2,55	59,94	5,00	60,04	53,66	26,78	0,86	0,50
80	0,8	70	15,60	84,56	8,63	86,03	78,48	35,22	0,60	0,45
85	0,4	30	-4,02	25,60	-1,96	25,90	22,17	13,44	1,14	0,61
85	0,6	50	2,26	53,56	0,69	53,56	47,97	23,94	0,81	0,50
85	0,8	70	14,03	76,13	0,39	77,40	70,63	31,69	0,58	0,45

Çizelge 9.3 Uşak Yeşil mermeri varyasyon deneyleri sonuçları

Çevresel Hız (VÇ) m/sn	Kesme Hızı (VK) m/dk	Kesme Derinliği (Hk) mm	X Eksenindeki Kuvvet (FX) N	Y Eksenindeki Kuvvet (FY) N	Z Eksenindeki Kuvvet (FZ) N	Kesme Kuvveti (FK) N	Normal Kuvvet (FN) N	Teğetsel Kuvvet (FT) N	Spesifik Enerji (SE) Nm/mm ³	Kesme Kuvvetleri Oranı (μ)
65	0,4	10	-4,12	19,52	1,96	19,91	18,15	8,24	1,61	0,46
65	0,4	30	-1,18	36,79	-3,92	36,69	33,55	15,01	0,98	0,45
65	0,4	50	5,00	52,78	-6,47	52,97	48,56	21,19	0,83	0,44
65	0,4	70	12,36	66,02	-33,55	67,10	61,31	27,27	0,76	0,44
65	0,5	10	-6,38	26,39	2,06	27,08	24,33	11,97	1,87	0,49
65	0,5	30	-0,88	46,21	-6,97	46,21	42,48	18,34	0,95	0,43
65	0,5	50	7,46	65,14	-5,40	65,53	60,63	25,02	0,78	0,41
65	0,5	70	16,28	78,97	-39,93	86,52	74,26	31,49	0,7	0,42
65	0,6	10	-5,89	32,67	2,06	33,16	30,61	12,95	1,68	0,42
65	0,6	30	-0,49	53,86	-7,06	53,86	49,64	20,90	0,91	0,42
65	0,6	50	7,95	73,87	-0,69	74,26	68,47	28,84	0,75	0,42
65	0,6	70	20,60	91,43	-40,61	93,78	87,01	35,12	0,65	0,4
65	0,7	10	-5,10	39,63	1,57	39,83	37,47	13,73	1,53	0,36
65	0,7	30	-0,59	61,12	-6,87	61,12	56,41	23,64	0,88	0,42
65	0,7	50	8,73	82,21	0,98	82,50	76,03	32,08	0,72	0,42
65	0,7	70	20,99	99,08	-40,12	101,14	93,39	39,04	0,62	0,42
65	0,8	10	-4,91	43,56	0,69	43,75	41,40	14,32	1,4	0,35
65	0,8	30	0,10	69,65	-6,67	69,65	64,55	26,29	0,86	0,4
65	0,8	50	10,40	93,10	-1,08	93,59	86,43	36,00	0,7	0,42
65	0,8	70	23,54	108,40	-42,08	110,95	102,61	42,18	0,59	0,41

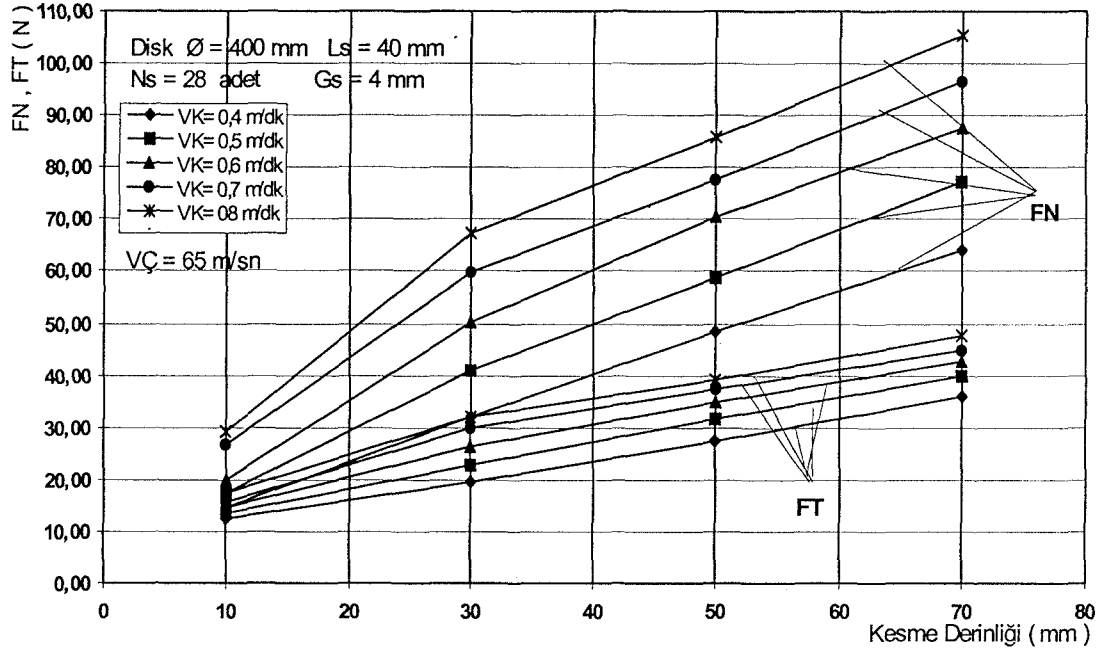
9.1. Kesme Derinliğinin Değişim Etkisi

Kesme deneyleri sonuçlarının yer aldığı Çizelge 9.2 ve Çizelge 9.3 'ten yararlanılarak, sabit çevresel hız değerinde (65 m/sn) kesme derinliğinin ve kesme hızının değişimi ile oluşan normal - teğetsel kuvvet etkileşimleri Uşak Gri mermeri için Şekil 9.1 ve Uşak Yeşil mermeri için de Şekil 9.2 'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Ayrıca, normal ve teğetsel kuvvetlerin bileşkesi olan kesme kuvveti etkileşimi de Uşak Gri mermeri için Şekil 9.3 'te ve Uşak Yeşil mermeri için de Şekil 9.4 'te grafiksel olarak gösterilmiştir.

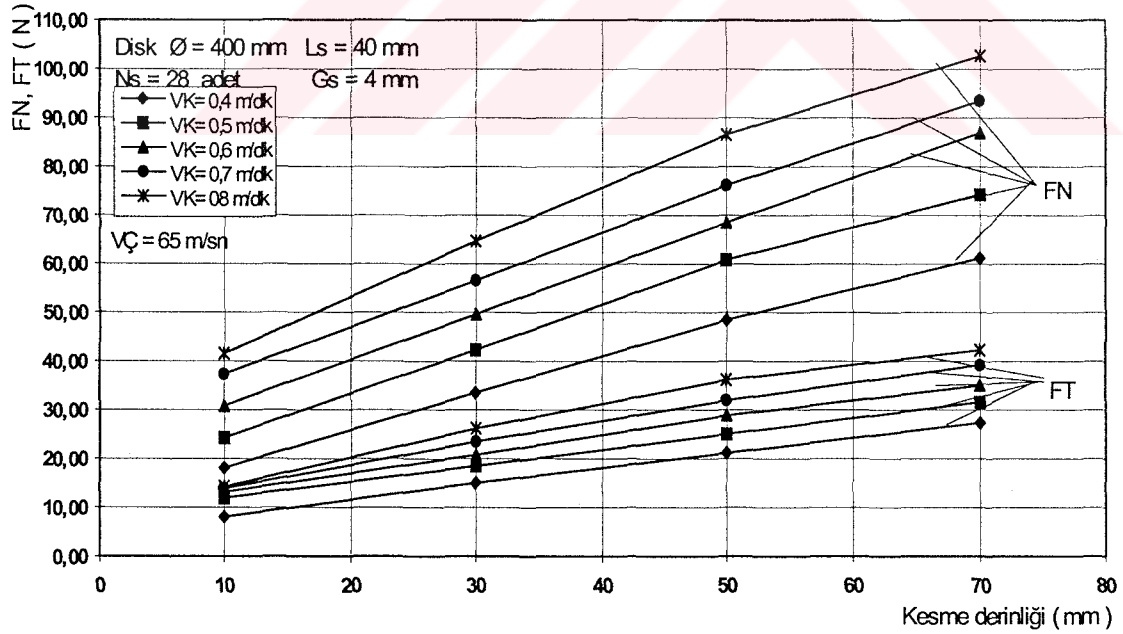
Şekil 9.1 - Şekil 9.4 incelendiklerinde kesme derinliğindeki artışın normal, teğetsel ve kesme kuvveti 'nin de doğrusal olarak artışına neden olduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca, her iki kayaçta da aynı kesme derinliklerinde normal kuvvetteki artış oranının teğetsel kuvveteğine göre daha fazla olduğu fark edilmektedir. Özellikle < 30 mm 'lik kesme derinliklerinde, Uşak Gri mermerinde kesme kuvvetinin oluşturduğu doğruların eğimi Uşak Yeşil mermerinden görece daha yüksektir. Bu ise Uşak Gri mermerinin Uşak Yeşil mermerine görece daha zor kesilebileceğine işaret etmektedir.

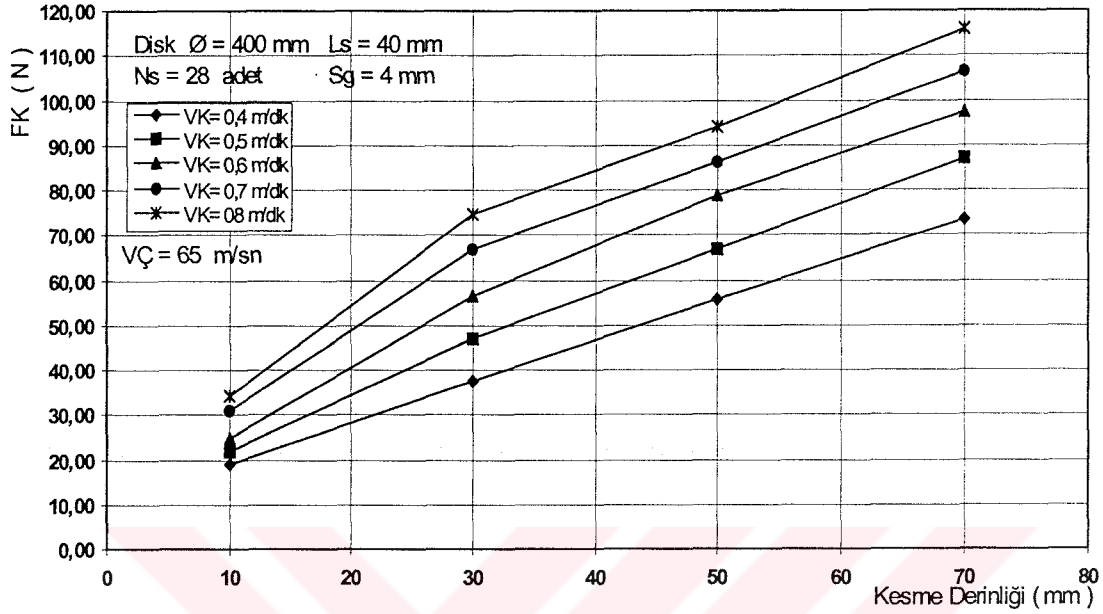
Bu deneylerden çıkarılan genel sonuç ise diskin kesme derinliğinin artması, diğer bir ifade ile diskin kayaca daha fazla miktarda batırılmaya çalışılması, daha yüksek normal kuvvet gerektirmekte olduğudur. Bu nedenle, derin kesme şartlarındaki çalışmalarda daha büyük motor gücüne gereksinim duyulacaktır.



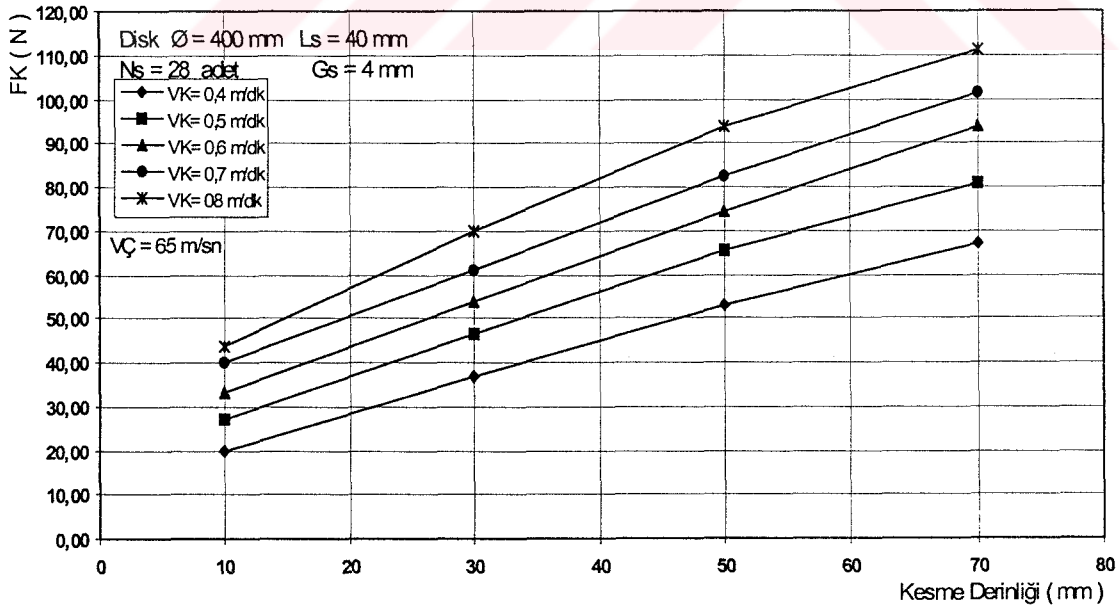
Şekil 9.1. Uşak Gri mermerinde kesme derinliği ve kesme hızı değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi.



Şekil 9.2. Uşak Yeşil mermerinde kesme derinliği ve kesme hızı değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi.



Şekil 9.3. Uşak Gri mermerinde kesme derinliği ve kesme hızı değişiminin F_K üzerindeki etkisi.



Şekil 9.4. Uşak Yeşil mermerinde kesme derinliği ve kesme hızı değişiminin F_K üzerindeki etkisi.

9.2. Kesme Hızının Değişim Etkisi

Kesme deneyleri sonuçlarının yer aldığı Çizelge 9.2 ve Çizelge 9.3 'ten yararlanılarak, sabit çevresel hız değerinde (65 m/sn) kesme hızının ve kesme derinliğinin değişimi ile oluşan normal - teğetsel kuvvet etkileşimleri Uşak Gri mermeri için Şekil 9.5 'te ve Uşak Yeşil mermeri için de Şekil 9.6 'da grafiksel olarak gösterilmiştir.

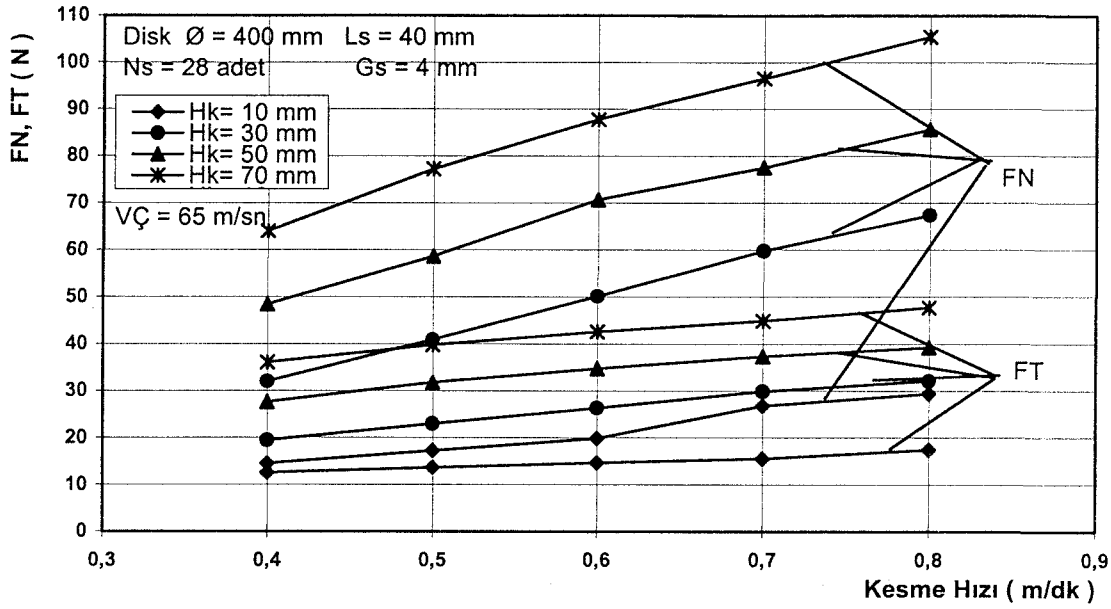
Anılan grafikler incelendiğinde, kesme hızındaki artışa bağlı olarak normal ve teğetsel kuvvette doğrusal bir artış görülmektedir. Aynı kesme hızlarındaki kesme derinliği artışlarında ise, normal ve teğetsel kuvvetlerde daha fazla bir artış olduğu göze çarpmaktadır.

Uşak Gri mermerinde sığ kesme derinliğinde (10 mm) normal ve teğetsel kuvvet değerleri Uşak Yeşil mermerine göre birbirine oldukça yakın olduğu fark edilmektedir. Buradan, Uşak Yeşil mermerinin sığ derinliklerde de zor kesildiği anlaşılmaktadır.

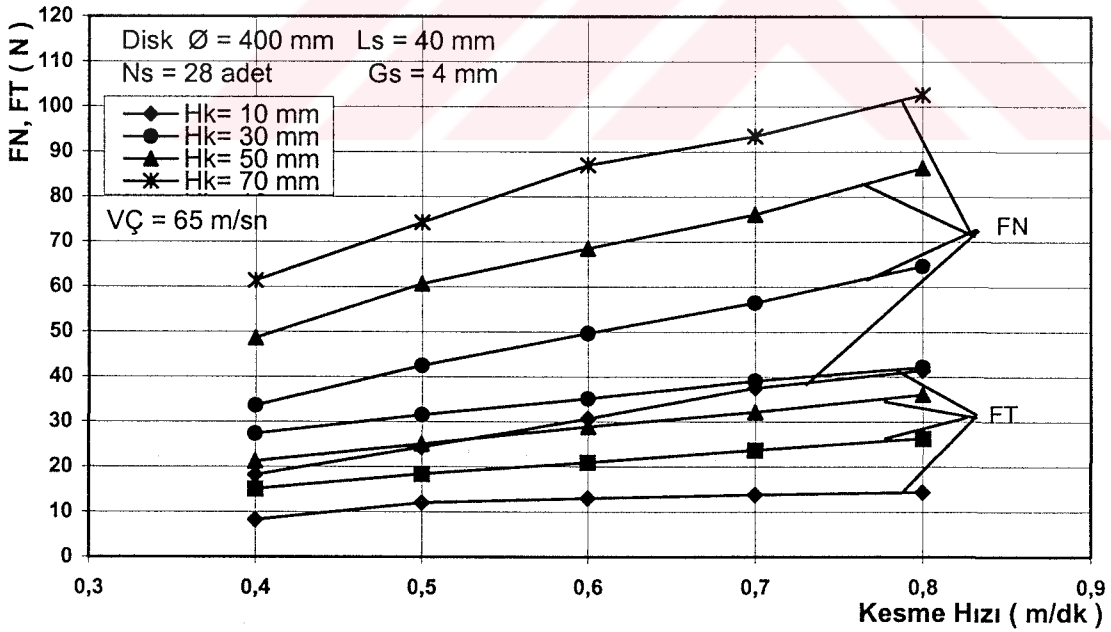
Şekil 9.1 ile Şekil 9.5 ve Şekil 9.2 ile Şekil 9.6 karşılaştırıldıklarında; sabit çevresel hızlarda, kesme derinliğinin artırılmasının normal ve teğetsel kuvvetler üzerindeki etkisi kesme hızının artırılmasına göre oldukça fazla olduğu fark edilmektedir. Diğer bir ifade ile testerenin kayaç içerisindeki ilerlemesi için gereken kuvvet, testerenin kayaca batması için gerekli kuvvetten daha azdır. Elde edilen bu deneysel bulgular, birim zamanda üretim miktarının veya kesilen alanın (Q_w) artırılabilmesi için, kesme derinliğinin artırılması yerine kesme hızının artırılmasının daha az kuvvet harcanarak sağlanabileceği şeklinde yorumlanabilir.

Endüstriyel uygulamalarda, blok kesme makinalarında (S/D) kesilen plakalar belirli kesme derinliklerinde istenildiğinden, kesme işlemi esnasında kesme derinlikleri sabit alınmakta ve kesme hızları değiştirilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca, uygulamada granit gibi sert kayaların kesilmesi esnasında, kesme derinliğinin bir defada değil de kademeli olarak gerçekleştirilmesi bu yaklaşımı doğrulamaktadır.





Şekil 9.5. Uşak Gri mermerinde kesme hızı ve kesme derinliği değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi.



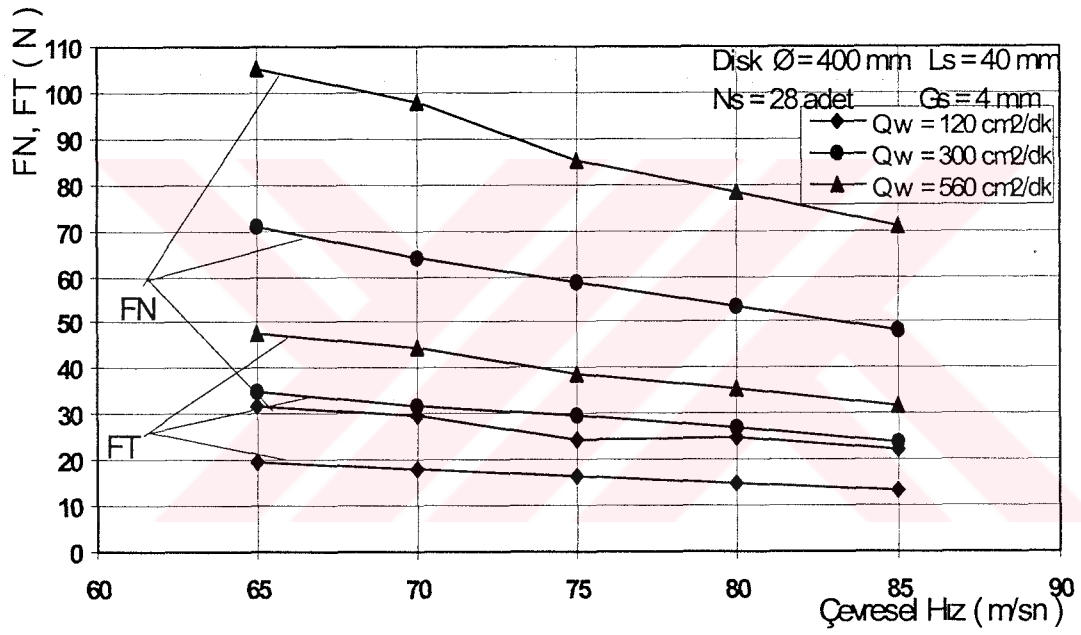
Şekil 9.6. Uşak Yeşil mermerinde kesme hızı ve kesme derinliği değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi.

9.3. Çevresel Hız Değişiminin Etkisi

Uşak Gri mermeri üzerinde yapılan deneylerde dairesel testerenin çevresel hızı sırası ile 65 / 70 / 75 / 80 / 85 m/sn değerlerinde değiştirilirken her bir değer için, kesme hızı / kesme derinliği sırasıyla 0,4 m/dk / 30 mm ; 0,6 m/dk / 50 mm ve 0,8 m/dk / 70 mm değerlerinde değiştirilerek, belirli bir birim zamanda kesilen alan miktarında ($Qw' = 120 / 300 / 560 \text{ cm}^2/\text{dk}$) oluşan normal ve teğetsel kuvvet değişimleri Şekil 9.7'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Bu şekil incelendiğinde, çevresel hız artışının kesme işlemi sırasında oluşan normal ve teğetsel kuvvetleri azalttığı görülmektedir. Bunun nedeni ise her bir kesici elmas socketin birim zamanda kesmesi gereken kayaç miktarı azalmakta ve birim zamanda daha az bir iş görmesi gerekmektedir. Birim zamanda daha az bir alan kesilmesi de oluşan normal ve teğetsel kuvvetleri azaltmaktadır. Özellikle endüstriyel uygulamalarda birim zamanda kesilen alan miktarının (Qw') daha çok arttırılması istenildiği düşünülürse mutlaka çevresel hızın da senkronizeli olarak arttırılması gerekmektedir.

Ancak, belirli bir hız limitinin aşılmasında ise her bir elmas socket başına düşen birim zamanda kesilen kayaç miktarı (Sz) oldukça azalır, artık socketler yüzeyden tanecik koparamaz ve kayaç yüzeyi üzerinde patinaj yapmaya başlarlar. Bu ise socketlerin üzerindeki elmas tanelerinin kopmasına ve socketin körelerek iş göremez hale gelmesine neden olur. Diğer taraftan çevresel hızın belirli bir limit hızın altına düşmesi durumunda ise testere üzerindeki her bir elmas socket başına düşen birim zamanda kesilen kayaç miktarı (Sz) o kadar artar ki elmas taneler çok kısa sürede aşınarak socket körelir ve testere kayaç içerisinde sıkışıp kalabilir. Bu nedenle çevresel hız mutlaka kontrollü bir şekilde sürekli değiştirilmelidir.



Şekil 9.7. Uşak Gri mermerinde çevresel hız değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi.

9.4. Birim Zamanda Kesilen Alan Miktarı (Qw') Değişiminin Etkisi.

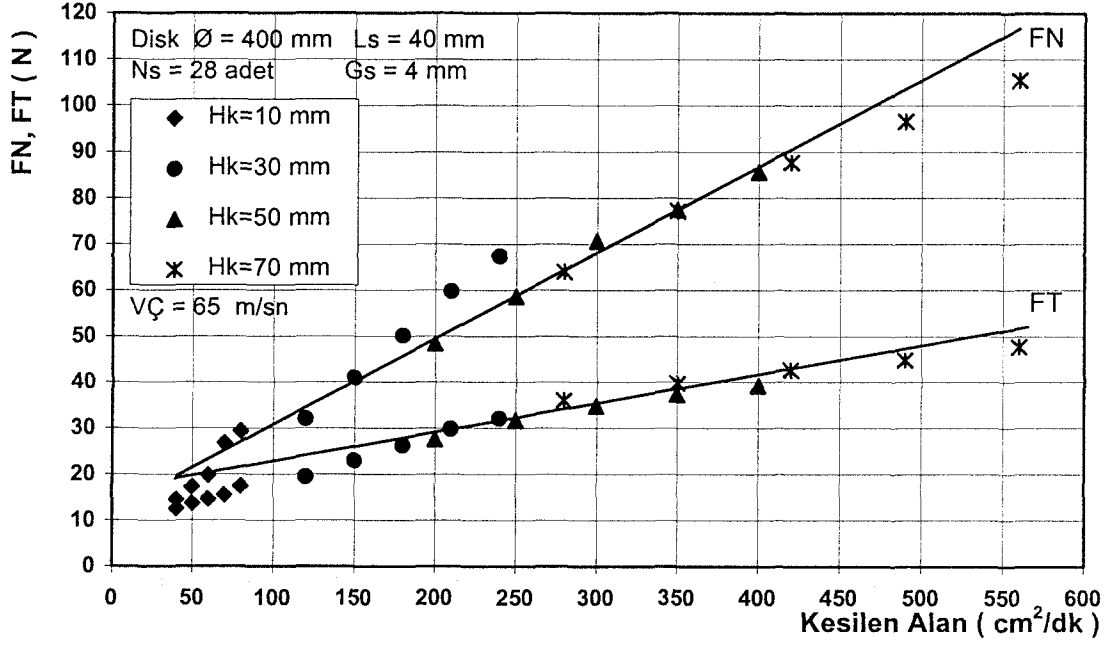
Çizelge 9.2 ve Çizelge 9.3 'ten yararlanılarak, belirli kesme derinliklerinde (10 / 30 / 50 / 70 mm) birim zamanda kesilen alan miktarındaki değişiminin normal ve teğetsel kuvvetler üzerindeki etkisi Uşak Gri mermeri için Şekil 9.8 'de ve Uşak Yeşil mermeri için ise Şekil 9.9 'da grafiksel olarak gösterilmiştir.

Anılan grafikler incelendiğinde, kesme derinliğinin ve kesme hızının artışına bağlı olarak artan birim zamanda kesilen alan miktarına paralel olarak normal ve teğetsel kuvvetlerde doğrusal şekilde artmakta olduğu anlaşılmaktadır.

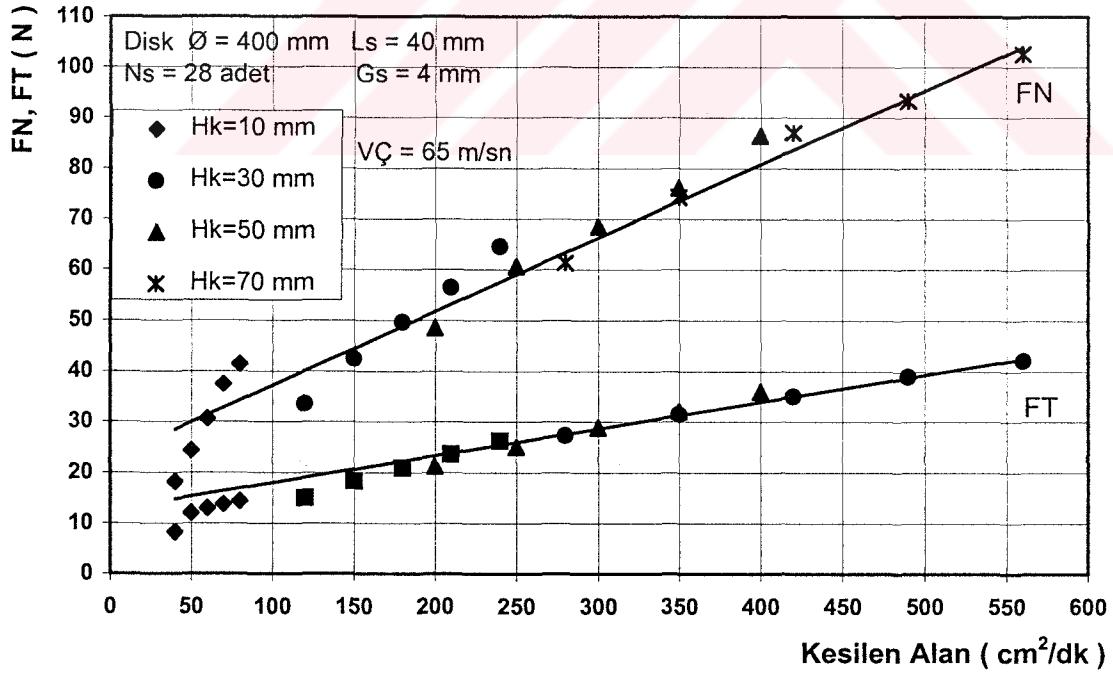
Uşak Gri mermerindeki oluşan doğrunun eğiminin Uşak Yeşil mermerinin eğimine oranla daha fazla olması Uşak Gri mermerinin kesilmesinin daha fazla enerji gerektireceğini göstermektedir.

Endüstriyel uygulamalarda amaç, birim zamanda kesilen alan - hacim miktarının yani üretim miktarının arttırılmasıdır. Ancak, bu değer genellikle motor gücü ile sınırlanmaktadır.

Diğer taraftan ise, motor kapasitesinden maksimum düzeyde yararlanabilmek için kesme derinliğinin ve kesme hızının arttırılması, ancak çevresel hızın arttırılmasıyla veya diğer bir ifade ile kesme hızları oranının ($q = V_K/V_C$) düzenlenilmesi ile sağlanabilir.



Şekil 9.8. Uşak Gri mermerinde birim zamanda kesilen alan miktarı değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi.



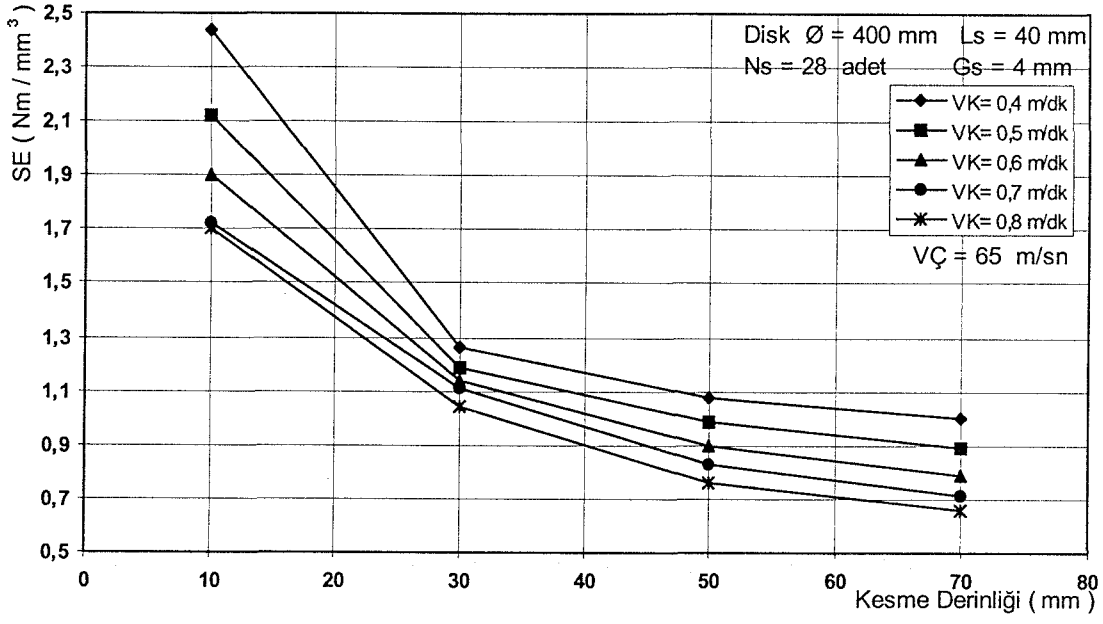
Şekil 9.9. Uşak Yeşil mermerinde birim zamanda kesilen alan miktarı değişiminin F_N ve F_T üzerindeki etkisi.

9.5. Spesifik Enerji

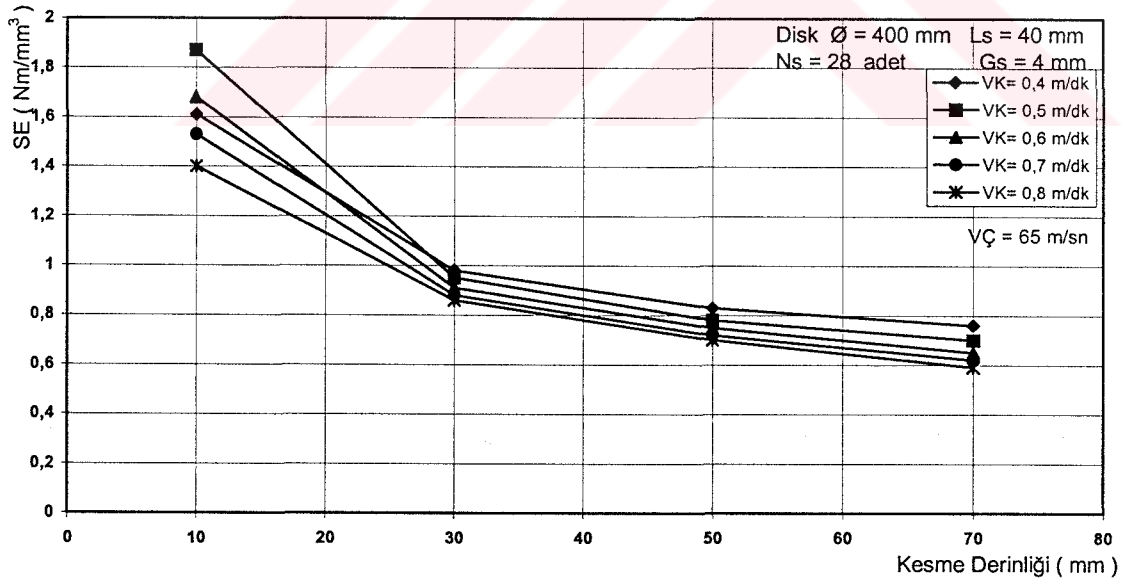
Spesifik Enerji (SE), Bağıntı 7.14 'te verilen hesap yöntemiyle bulunmakta olup birim zamanda kesilen alan için gerekli enerji miktarı olarak ifade edilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda her ne kadar birim zamandaki üretim miktarının arttırılmasına dikkat edilse de bu işlem için harcanan enerji tüketimi görece göz ardı edilmektedir. Ancak, kesme işleminin ekonomik olabilmesi birim zamanda en çok üretimin ve en az enerji tüketiminin sağlanmasına bağlıdır.

Çizelge 9.2 ve Çizelge 9.3 'ten yararlanılarak, sabit çevresel hızlarda (65 m/sn), belirli kesme derinliklerinde (10 / 30 / 50 / 70 mm) kesme hızının değişiminin spesifik enerji (SE) üzerindeki etkisi Uşak Gri mermeri için Şekil 9.10 'da ve Uşak Yeşil mermeri için ise Şekil 9.11 'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

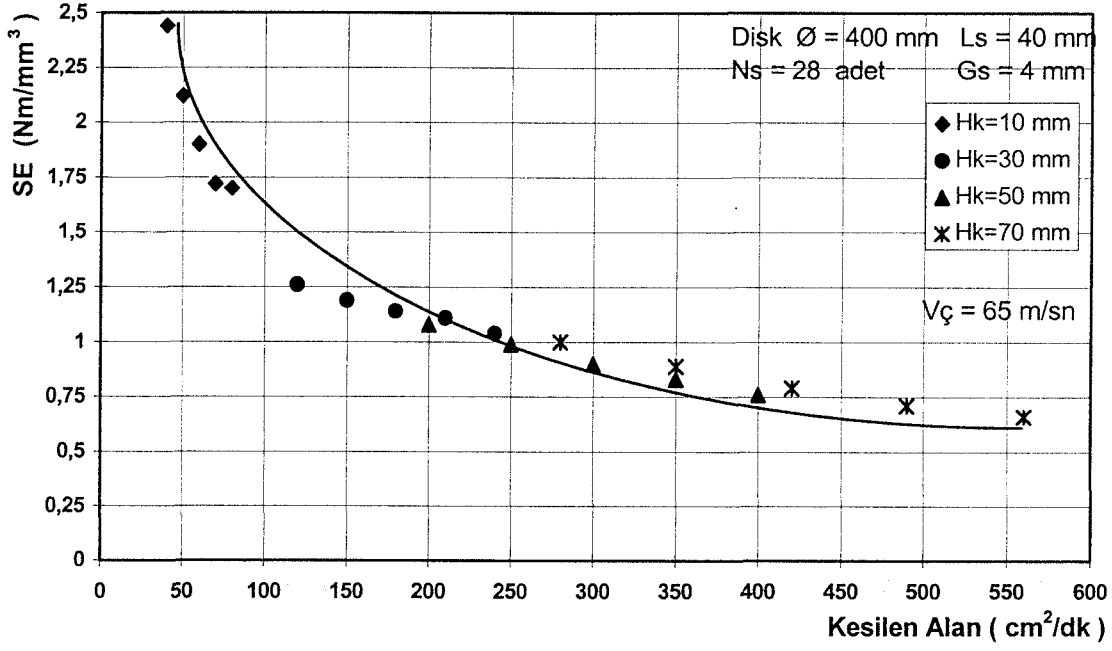
Ayrıca, yine sabit çevresel hızlarda (65 m/sn), belirli kesme derinliklerinde (10 / 30 / 50 / 70 mm), birim zamanda kesilen alan miktarının değişimine bağlı olarak spesifik enerjinin almış olduğu değerler Uşak Gri mermeri için Şekil 9.12 'de ve Uşak Yeşil mermeri için ise Şekil 9.13 'te grafiksel olarak gösterilmiştir.



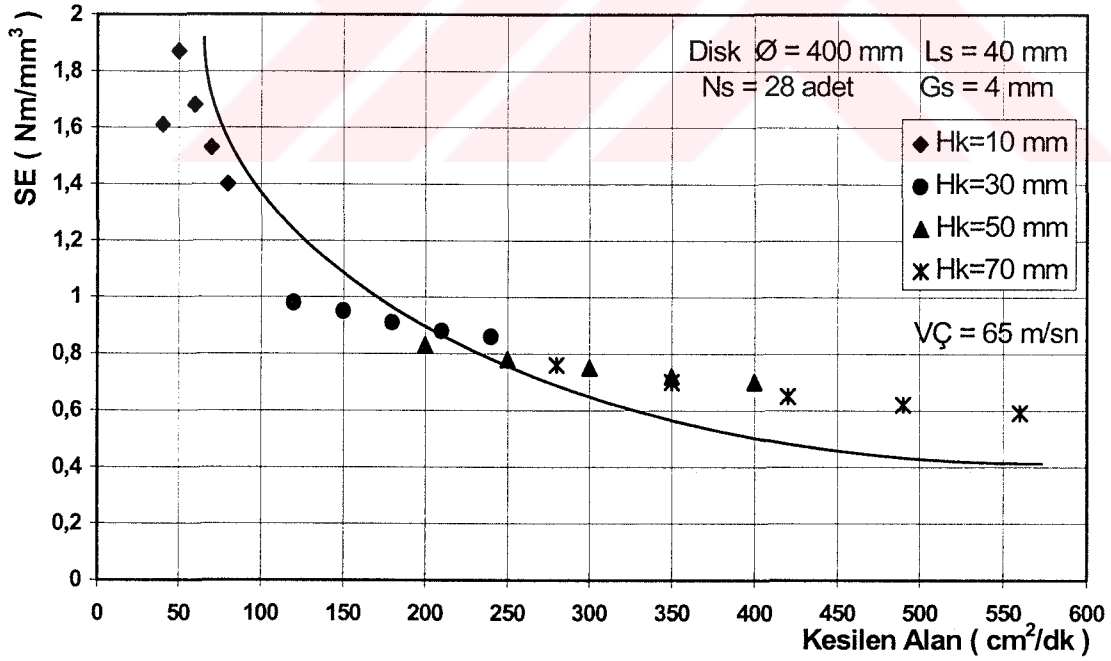
Şekil 9.10. Uşak Gri mermerinde kesme derinliği ve kesme hızı değişiminin SE üzerindeki etkisi.



Şekil 9.11. Uşak Yeşil mermerinde kesme derinliği ve kesme hızı değişiminin SE üzerindeki etkisi.



Şekil 9.12. Uşak Gri mermerinde birim zamanda kesilen alan miktarı değişiminin SE üzerindeki etkisi.



Şekil 9.13. Uşak Yeşil mermerinde birim zamanda kesilen alan miktarı değişiminin SE üzerindeki etkisi.

Şekil 9.10 - 9.13 incelendiğinde, kesme derinliği ve kesme hızı arttığında veya diğer bir ifade ile birim zamanda kesilen alan miktarı arttığında spesifik enerji azalmakta olduğu görülmektedir. Özellikle sıg kesme derinliği (10 mm) şartlarında oldukça yüksek enerji tüketimi gerçekleşirken, kesme derinliği arttıkça daha az bir enerji tüketimi gerekmekte, belirli bir derinlikten sonra aradaki farkların azaldığı gözlenilmektedir. Aynı kesme derinliklerinde kesme hızının artması da spesifik enerji miktarını azaltmaktadır.

Endüstriyel uygulamalarda amaç her ne kadar birim zamandaki üretim miktarını arttırmaksa da bunun en az enerji tüketimiyle gerçekleştirilmesi yapılan işin ekonomikliliği için zorunludur.

Bağıntı 7.14 'ten spesifik enerjinin (SE) birim zamanda kesilen hacme ($Q_w = H_K \times G_s \times V_K$) , diskin çevresel hızına ($V_Ç$) ve kesme esnasında oluşan teğetsel kuvvete (F_T) bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Amaç en düşük spesifik enerji tüketimini elde etmek olduğuna göre, birim zamanda kesilen hacim miktarının arttırılması zorunludur. Ancak, bu motor gücü (P_c) ile sınırlandırılmakta olup daha fazla güç sağlanamadığında maksimum hacim kesimi ancak çevresel hız değerinin arttırılması ile elde edilebilir. Fakat çevresel hız da motorun gücü ve torku (T) ile sınırlıdır (Saçkan, 1981).

$$P_m = V_Ç \cdot T \quad (9.1)$$

Daima $F_T < T$ şartı bulunmaktadır. Bu şart yerine gelmezse yani $F_T > T$ olursa motorun torku yetersiz kalacak ve disk sıkışıp duracaktır.

Şekil 9.10 ve 9.11 'den çıkarılan diğer bir sonuç ise kesme hızları oranı (q) arttıkça normal ve teğetsel kuvvetlerde artmakta hatta buna bağlı olarak da spesifik enerji belirli bir değere kadar azalmaktadır. Bu esnada oluşan teğetsel kuvvet (F_T) artışı T 'ye yaklaşmakta veya aşmakta bu nedenle de motor aşırı zorlanmaktadır. Kesme hızları oranının düşmesi durumunda ise normal ve teğetsel kuvvetleri düşürmekte bu ise spesifik enerjinin düşmesini sağlamakta ancak, belirli bir değerden sonra çevresel hızın artması diskin körelmesine neden olduğundan, birim zamanda kesilen hacim miktarı artarak spesifik enerjinin tekrar düşmesine neden olmaktadır.



10. MERMERLER İÇİN UYGUN KESME DENEYİ ŞARTLARININ BELİRLENMESİ VE KESİLEBİLİRLİK ANALİZLERİ

10.1. Standart Kesme Deneyi Şartlarının Belirlenmesi

Bu bölümde, daha önce mineralojik ve fiziko - mekanik özellikleri verilen Muğla Beyaz, Uşak Yeşil, Uşak Gri, Afyon Çizgili Şeker, Manyas Beyaz, Afyon Kaplan Postu ve Kütahya Menekşe olarak bilinen mermerlerin kesilebilirlik özelliklerinin laboratuvar kesme deneyleri yardımıyla belirlenmesi amaçlanmıştır. Kazı mekaniğinin diğer alanlarda olduğu gibi, laboratuvarında yapılan kayaç kesilebilirlik deneyleri genel olarak kesici elemana gelen kuvvetlerin ve birim hacimdeki kayacı kesme için gerekli olan Spesifik Enerjinin ölçülmesi prensibine dayanır. Spesifik Enerji, yapılan kesme işleminin verimliliği konusunda fikir verebilmektedir. Spesifik Enerji 'nin azalması daha verimli bir kesme işlemine işaret eder (Bilgin, 1989).

Değişik türlerdeki mermerlerin kesilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi ve birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için, kesme deneylerinin standart deney koşullarında yapılması gerekir. Ancak, mermerler için önerilmiş ve uluslararası kabul görmüş herhangi bir standart kesme deneyi prensibi bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın amaçlarına uygun olarak, hakiki mermerler için uygun deney şartlarının (Kesme Derinliği, Kesme Hızı, Çevresel Hız) belirlenmesi gerekmiştir. Bu amacı gerçekleştirmek için, Bölüm 9 'da açıklanan ön kesme deneylerinin bulgularından ve literatürdeki diğer araştırma sonuçlarından yararlanılmıştır.

Bölüm 9 'daki Şekil 9.10 ve Şekil 9.11 incelendiğinde, gerek Uşak Gri ve gerekse Uşak Yeşil mermerlerinde spesifik enerji değerlerinin 10 mm 'lik sığ kesme derinliğinde en yüksek durumda iken kesme derinliğinin artışına paralel olarak azalmakta olduğu görülmektedir. Özellikle 50 mm ve 70 mm 'lik kesme derinliklerinde spesifik enerjinin oldukça düştüğü gözlenilmektedir. Ancak, 50 mm ve 70 mm 'lik kesme derinliklerinde göreceli olarak birbirine yakın değerler göstermesi, derinliğin bu değerlerden daha fazla arttırılması durumunda spesifik enerjinin de daha fazla azaltılamayacağını ortaya

koymaktadır. Bu nedenle, ortalama değerler göz önüne alındığında, kesme derinliğinin (H_K) 50 mm olarak alınması uygun görülmüştür.

Uşak Gri ve Uşak Yeşil mermerleri için deneysel olarak elde edilen Kesme Derinliği - Kesme Hızı ilişkileri incelendiğinde (Şekil 9.10 - 9.11) 50 mm 'lik kesme derinliğine karşılık olarak, ortalama 0,6 m/dk 'lık bir Kesme Hızı 'nın (V_K) deneylerde kullanılabileceği düşünölmüştür. Böylece, birim zamanda kesilen mermer yüzeyi alanı (Q_w') = 300 cm²/dk olarak belirlenmiştir.

Wobker and Przywara (1994) , Sonmak ve Diamant Board firmalarının elmas ekipmanları kullanım kılavuzları incelendiğinde, mermer grubu kayalar için en uygun çevresel hızın ($V_Ç$) 65 m/sn olacağı anlaşıldığından, bu değerin esas alınmasına karar verilmiştir.

Belirlenen optimum kesme büyüklüklerinde örnekleme yapılan her bir mermer cinsi için beşer adet kesme deneyi yapılmış ve elde edilen kesme kuvvetleri, spesifik enerji ve kesme kuvvetleri oranlarına ait veriler devam eden bölümlerde verilmiştir. Kesme deneylerinde elmas soketin daima bilenmiş olmasına özen gösterilmiştir.

10.1.1. Değişik mermer türleri için kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

Değişik mermer türlerinde ortalama kesme kuvvetlerinin belirlenebilmesi amacıyla diskin çevresel hızı 65 m/sn, kesme derinliği 50 mm , kesme hızı 0,6 m/dk değerlerinde olmak üzere 5 adet kesme deneyi yapılmış, bu deneylerden elde edilen Normal Kuvvet - Teğetsel Kuvvet - Kesme Kuvveti değerlerinin aritmetik ortalamaları (F_{Nort} - F_{Tort} - F_{Kort}) bulunarak Çizelge 10.1 - 10.3 'te verilmiştir.

Çizelge 10.1. Değişik mermer türlerinde ölçülen ortalama Normal Kuvvetleri

Mermer Cinsi	FN1 (N)	FN2 (N)	FN3 (N)	FN4 (N)	FN5 (N)	FNort (N)
Muğla Beyaz	67,98	67,91	66,51	60,57	60,45	64,68
Uşak Yeşil	66,13	67,86	66,52	66,24	60,45	65,44
Uşak Gri	76,75	70,43	71,74	68,13	66,97	70,08
Afyon Çiz. Şeker	80,70	68,43	70,90	69,00	71,34	72,07
Manyas Beyaz	106,68	73,36	74,74	69,43	73,25	79,50
Afyon K. Postu	99,04	85,94	77,49	83,30	79,67	85,09
Kütahya Menekşe	109,99	102,54	101,92	87,07	81,25	96,56

Çizelge 10.2. Değişik mermer türlerinde ölçülen ortalama Teğetsel Kuvvetleri

Mermer Cinsi	FT1 (N)	FT2 (N)	FT3 (N)	FT4 (N)	FT5 (N)	FTort (N)
Muğla Beyaz	30,38	30,77	31,92	31,92	31,54	31,42
Uşak Yeşil	32,69	35,77	31,92	32,69	31,54	33,84
Uşak Gri	33,84	34,61	36,15	34,61	35,77	36,40
Afyon Çiz. Şeker	41,92	41,15	39,23	40,00	39,23	40,36
Manyas Beyaz	35,77	35,77	36,54	36,15	35,77	36,34
Afyon K. Postu	48,46	47,31	42,31	45,38	43,85	45,37
Kütahya Menekşe	46,92	44,62	46,92	40,77	37,69	43,36

Çizelge 10.3. Değişik mermer türlerinde ölçülen ortalama Kesme Kuvvetleri

Mermer Cinsi	FK1 (N)	FK2 (N)	FK3 (N)	FK4 (N)	FK5 (N)	FKort (N)
Muğla Beyaz	74,46	74,56	73,77	68,47	68,18	71,91
Uşak Yeşil	73,77	76,71	73,38	73,87	70,73	73,67
Uşak Gri	83,88	78,48	80,34	76,42	75,93	78,97
Afyon Çiz. Şeker	90,94	79,85	81,03	79,76	81,42	82,60
Manyas Beyaz	112,52	81,62	83,19	78,28	81,52	87,41
Afyon K. Postu	110,26	98,10	88,29	94,86	90,94	96,43
Kütahya Menekşe	119,58	111,83	112,23	96,14	89,57	105,85

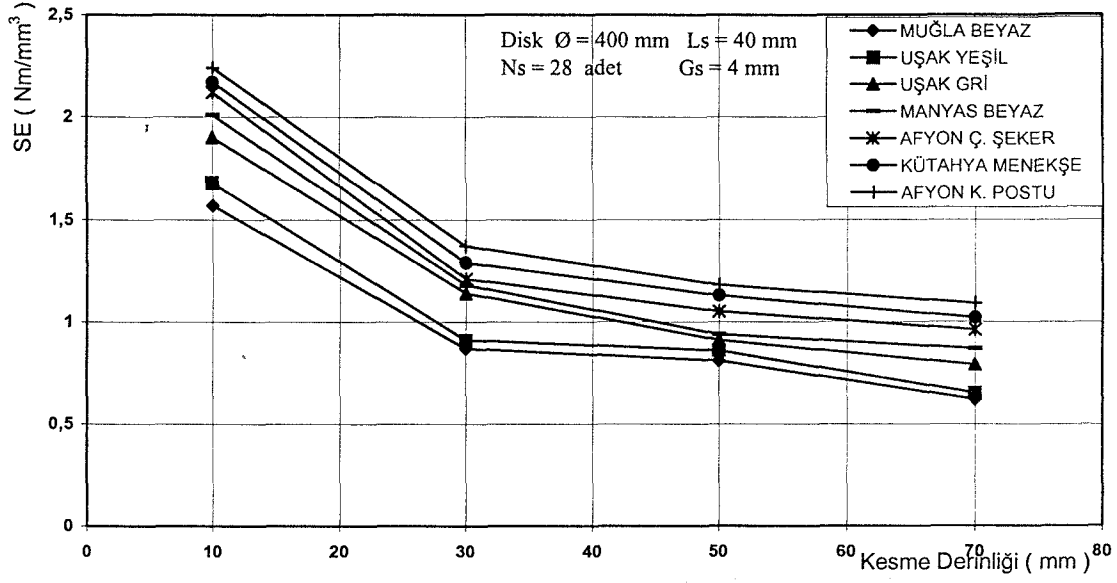
10.1.2. Değişik mermer türleri için spesifik enerjinin belirlenmesi

Değişik mermer türlerinde ortalama spesifik enerjinin belirlenebilmesi amacıyla, diskin çevresel hızı 65 m/sn, kesme derinliği 50 mm, kesme hızı 0,6 m/dk değerlerinde 5 adet kesme deneyi yapılmış, bu deneylerden elde edilen spesifik enerji değerlerinin aritmetik ortalamaları (SE_{ort}) hesaplanarak Çizelge 10.4 'te verilmiştir.

Ayrıca, örnekleme yapılan yedi farklı mermer cinsi için spesifik enerji değişimlerini gözlemleyebilmek amacıyla disk çevresel hızı 65 m/sn , kesme hızı 0,6 m/dk, kesme derinlikleri sırasıyla 10 / 30 / 50 / 70 mm değerlerinde değiştirilerek dörder deney yapılmış ve bu deneyler sonucu elde edilen veriler Şekil 10.1 'de gösterilmiştir.

Çizelge 10.4. Değişik mermer türleri için spesifik enerji değerleri

Mermer Cinsi	SE ₁	SE ₂	SE ₃	SE ₄	SE ₅	SE _{ort}
	Nm/mm ³	Nm/mm ³	Nm/mm ³	Nm/mm ³	Nm/mm ³	Nm/mm ³
Muğla Beyaz	0,79	0,80	0,83	0,83	0,82	0,81
Uşak Yeşil	0,85	0,93	0,83	0,85	0,82	0,86
Uşak Gri	0,88	0,90	0,94	0,90	0,93	0,91
Manyas Beyaz	0,93	0,93	0,95	0,94	0,93	0,94
Afyon Çiz. Şeker	1,09	1,07	1,02	1,04	1,02	1,05
Kütahya Menekşe	1,22	1,16	1,22	1,06	0,98	1,13
Afyon K. Postu	1,26	1,23	1,10	1,18	1,14	1,18



Şekil 10.1. Değişik tür mermerlerde spesifik enerjinin kesme derinliğine bağlı değişimi.

Şekil 10.1 incelendiğinde tüm mermerler için en yüksek spesifik enerjinin 10 mm 'lik sığ kesme derinliklerinde oluşmakta olduğu görülmektedir. Bu sığ derinliklerin tüm mermerler için en verimsiz çalışma koşulu olduğu anlaşılmaktadır.

Ancak, kesme derinliği değerleri arttıkça (30 / 50 / 70 mm) tüm mermerlerin spesifik enerji değerleri azaldığı görülürken, 50 mm ile 70 mm kesme derinliklerinde oluşan spesifik enerji değerleri arasındaki fark da azalmaktadır. Buradan, belirli bir derinliğe kadar kesimin verimli olduğu ve belirli bir derinlik değerinden sonra ise spesifik enerjinin daha fazla azalmadığı anlaşılmaktadır.

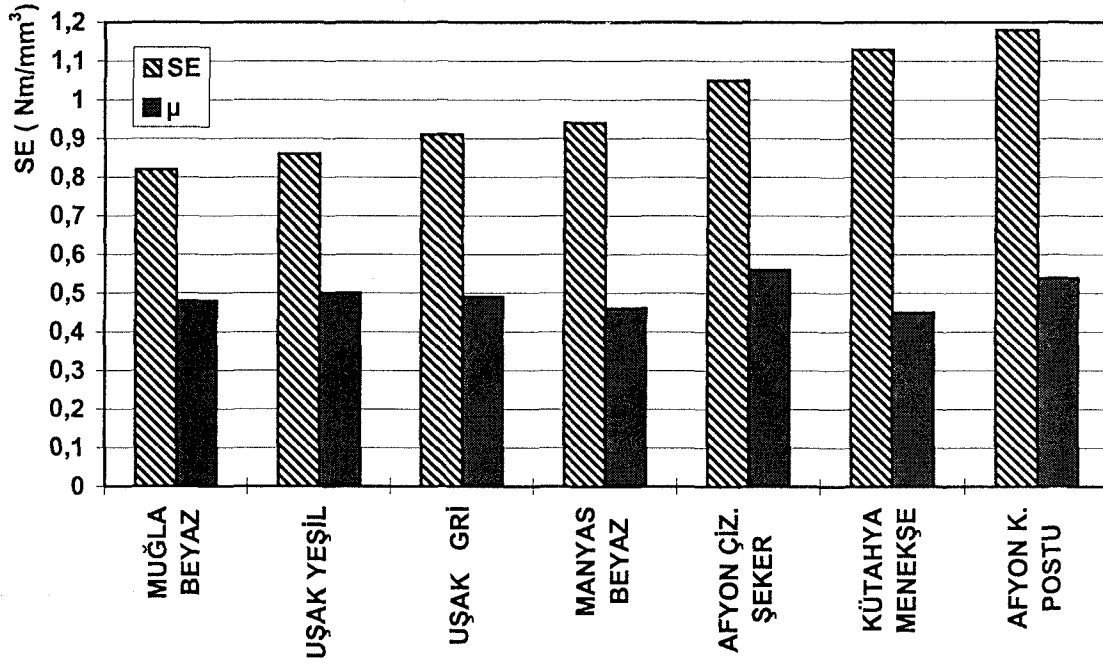
10.1.3. Değişik mermer türleri için kesme kuvvetleri oranının (μ) hesaplanması

Değişik mermer türlerinde ortalama kesme kuvvetleri oranının (μ) belirlenebilmesi amacıyla diskin çevresel hızı 65 m/sn, kesme derinliği 50 mm, kesme hızı 0,6 m/dk değerlerinde 5 adet kesme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri oranı değerlerinin aritmetik ortalamaları (μ_{ort}) hesaplanarak Çizelge 10.5'te verilmiştir.

Ayrıca, örnekleme yapılan her bir mermer cinsi için ortalama spesifik enerji değerlerinin karşılaştırılması Şekil 10.2 'de verilmiştir. Buradan, spesifik enerji değerleri yükselirken bu grup mermerlerde kesme kuvvetleri oranı (μ) çok fazla değişmemekle birlikte kısmen azalma eğiliminde olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 10.5. Değişik mermer türleri için kesme kuvvetleri oranları

Mermer Cinsi	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_{ort}
Kütahya Menekşe	0,43	0,44	0,46	0,47	0,46	0,45
Manyas Beyaz	0,33	0,49	0,49	0,52	0,49	0,46
Muğla Beyaz	0,45	0,45	0,48	0,53	0,52	0,48
Uşak Gri	0,44	0,49	0,50	0,51	0,53	0,49
Uşak Yeşil	0,49	0,53	0,48	0,49	0,52	0,50
Afyon K. Postu	0,49	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54
Afyon Çiz. Şeker	0,52	0,60	0,55	0,58	0,55	0,56



Şekil 10.2. Değişik tür mermerlerde spesifik enerji ve kesme kuvvetleri oranı değişimi.

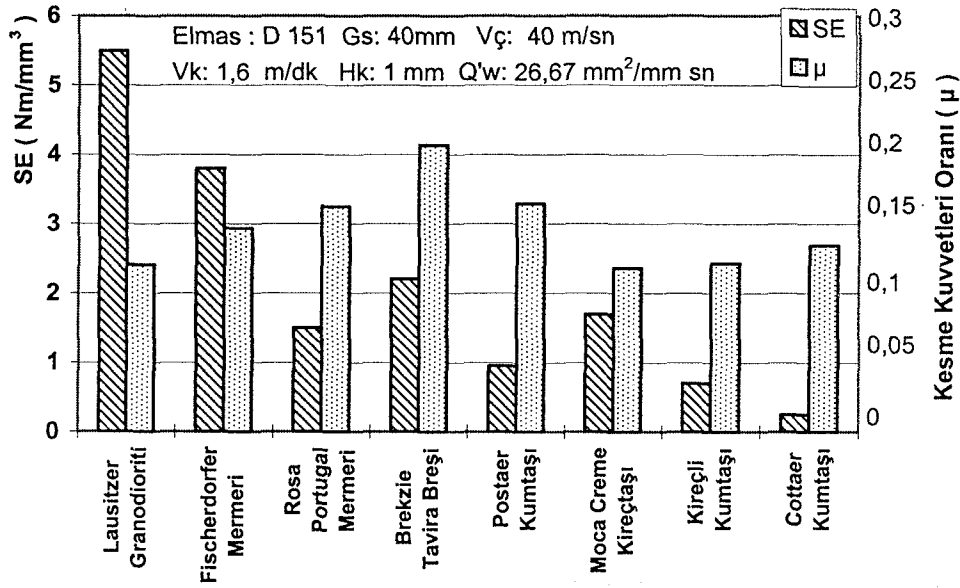
10.2. Değişik Mermer Türlerinde Elde Edilen Kesme Kuvveti, Spesifik Enerji ve Kesme Kuvveti Oranlarının Değerlendirilmesi.

Bölüm 10.1 'de açıklanan deneysel şartlarda yapılan kesme deneyleri sonucunda, ortalama kesme kuvvetleri (F_{Kort}) esas alındığında, Muğla Beyaz ve Uşak Yeşil mermerlerinin diğer mermer türlerine göre daha kolay kesilebileceği anlaşılmaktadır. Kütahya Menekşe mermeri ise bu çalışmada incelenen mermer türleri arasında en zor kesim özelliği gösteren tür olmaktadır (Çizelge 10.3).

Şekil 10.1 incelendiğinde ise, tüm mermer türleri için 10 mm sığ kesme derinliğinin en yüksek spesifik enerji değerlerine sahip olduğu, diğer bir ifade ile en verimsiz kesme koşulu olduğu anlaşılmaktadır. Kesme derinliğindeki artışa paralel olarak spesifik enerji değerleri

düşüş göstermektedir. Ancak, deneylerin yapıldığı deney seti koşullarında geçerli olmak üzere 50 mm - 70 mm kesme derinliği arasında fazla bir değişim farkı oluşmadığı göze çarpmaktadır. Buradan spesifik enerji değerinin belirli bir derinlikten sonra daha fazla düşürülemeyeceği anlaşılmaktadır. Diğer dikkat edilmesi gereken konu ise en verimli kesmenin Muğla Beyaz mermerinde, en verimsiz kesimin Afyon Kaplan Postu mermerinde oluştuğudur. Ancak, Çizelge 10.1 'de verilen kesme kuvvetleri değerleri dikkate alındığında, Afyon Çizgili Şeker mermerinin - Manyas Beyaz mermerine göre; Afyon Kaplan Postu mermerinin Kütahya Menekşe mermerine göre daha kolay kesilmesine rağmen daha verimsiz kesildikleri dikkat çekicidir. Buradan çıkarılan genel sonuç ise, kesimin *zor* veya *kolay* olarak karşılaştırılması yerine, *verimli* veya *verimsiz* olarak değerlendirilmesinin daha uygun olacağıdır. Zor kesilen mermerlerde, kesme parametrelerinin uygun koşullara göre düzenlenmesi ve uygun kesici seçimi ile verimli kesme ortamı sağlanabilir.

Kesme kuvvetleri oranları (μ) karşılaştırıldığında, Kütahya Menekşe ve Manyas Beyaz mermerlerinde düşük, Afyon Kaplan Postu ve Afyon Çizgili Şeker mermerlerinde ise görece yüksek değerler gözlenilmektedir (Çizelge 10.5). Şekil 10.2 incelendiğinde ise, Spesifik Enerji artışına karşılık kesme kuvvetleri oranında önemli bir değişim görülmemekle birlikte, görece bir azalma olduğu izlenmektedir. Tönshoff ve arkadaşlarının (1994) bantlı aşındırıcılarla değişik kayaç türlerinde yapmış oldukları deneylerde, Spesifik Enerji ve Kesme kuvvetlerinin değişimleri analiz edilmiştir (Bkz. Şekil 10.3).



Şekil 10.3. Değişik kayaç türlerinde spesifik enerji ile kesme kuvvetlerinin değişimi (Tönshoff et al., 1994).

Şekil 10.3 incelendiğinde, granodiyorit gibi sert kayaçlarda spesifik enerji değeri oldukça yüksek - kesme kuvveti oranı görece düşük olurken; kireçtaşı ve kumtaşı gibi görece yumuşak kayaçlarda spesifik enerji değeri oldukça düşük - kesme kuvveti oranı görece yüksek olduğu fark edilmektedir. Buradan, yumuşak karakterli kayaçların kesiminin daha verimli ve kolay olduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca, Kütahya Menekşe ve Manyas Beyaz mermerlerinin ortalama kalsit tane boyutları sırasıyla 1 / 5 mm olup, görece yüksek değerler oluşu ve tane boyutu iri olan mermerlerde kesme kuvveti oranınının (μ) düşük olması dikkat çekicidir. Buradan, kesicinin iri taneli kayaçlara batırılması için ihtiyaç duyulan Normal Kuvvet (F_N) miktarınının görece yüksek olması gereği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan Afyon K. Postu ve Afyon Çiz. Şeker mermerlerinde, ortalama kalsit tane boyutları sırasıyla 0,5 / 0,5 mm olup, kesme kuvvetleri oranınının görece yüksek olması, kesicinin ince taneli kayaçlara batırılması için daha düşük Normal Kuvvet 'e ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır.

11. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

Bu bölümde, kesme deneyleri yapılan mermerlerin Kesme Kuvveti ve Spesifik Enerji değerlerinin mermerlerin mineralojik ve fiziko - mekanik özellikleri ile olan ilişkileri istatistiksel yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Daha sonra, Kesme Kuvveti ve Spesifik Enerji kestirimine yönelik çok değişkenli regresyon analizleri yapılarak, anılan büyüklüklere ait regresyon bağıntıları elde edilmiştir. Elde edilen bağıntıların geçerlilikleri istatistiksel yöntemlerle kontrol edilmiştir.

11.1. Kesme Kuvveti ile Mineralojik ve Fiziko - Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler

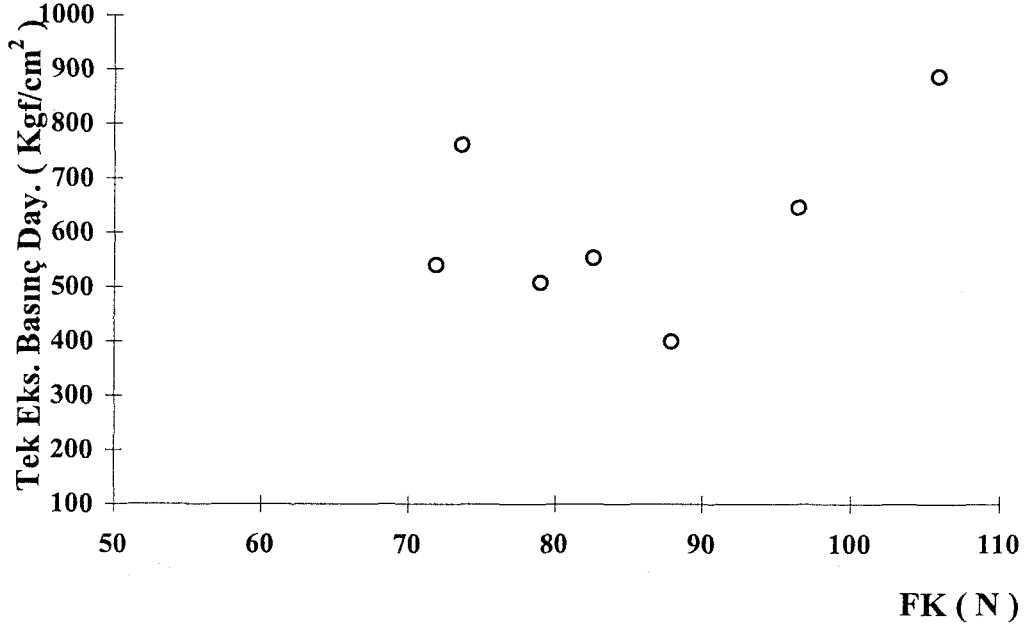
Deneylerde kullanılan 7 çeşit mermer numunesinin kesme kuvveti ile bunu etkileyen diğer parametreler arasındaki ilişkilerin saptanması için korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Burada, hakiki mermerler grubu için kesme kuvveti ile kayaçların mineralojik, fiziko-mekanik özellikleri arasında ilişkilerin gözlemlenerek kurulacak olan istatistiksel modeldeki kesme kuvvetini etkileyen önemli bağımsız değişkenlerin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Çizelge 11.2 'de kesme kuvvetleri ve spesifik enerji ile diğer parametreler arasındaki korelasyon katsayıları yer almaktadır. Şekil 11.1 - Şekil 11.9 'da kesme kuvveti ile diğer parametreler arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir.

Çizelge 11.1. Kesme deneyleri yapılan mermerlerin mineralojik ve fiziko - mekanik özellikleri

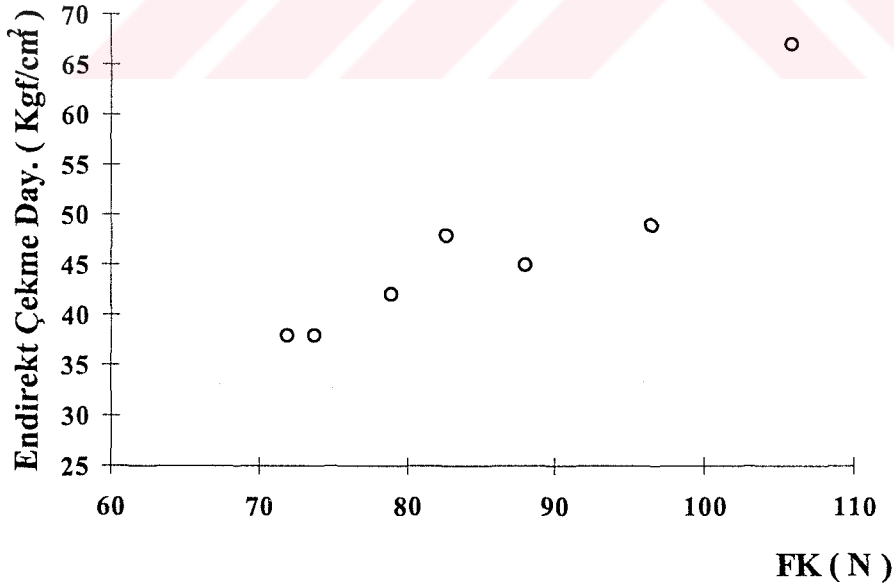
Mermer Türü	Kesme Kuvveti (N)	Spesifik Enerji (Nm/mm ³)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)	Endirekt Çekme Dayanımı (kgf/cm ²)	Shore Scleroscope Sertlik İndeksi	Schmidt Hammer Sertlik İndeksi	NCB Konik Delici Sertlik İndeksi	Cerchar Sertlik İndeksi	Knopp Sertlik İndeksi	Mohs Sertlik İndeksi	Ortalama Tane Boyutu (mm)
Muğla Beyaz	71,91	0,81	541	38	30	50	4,9	2	155	3	0,500
Uşak Yeşil	73,67	0,86	762	38	44	60	3,7	2	161	4	0,400
Uşak Gri	78,97	0,91	509	42	38	57	4,2	2	139	3	0,625
Afyon Çiz. Şeker	82,60	1,05	554	48	34	52	3,9	2,5	145	3	0,500
Manyas Beyaz	87,41	0,94	400	45	43	50	4,6	2	130	3	5,0
Afyon K. Postu	96,43	1,18	647	49	40	55	4,6	2	156	4	0,500
Kütahya Menekşe	105,85	1,13	888	67	47	63	4,5	2,5	189	4	1,0

Çizelge.1.1.2. Değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları

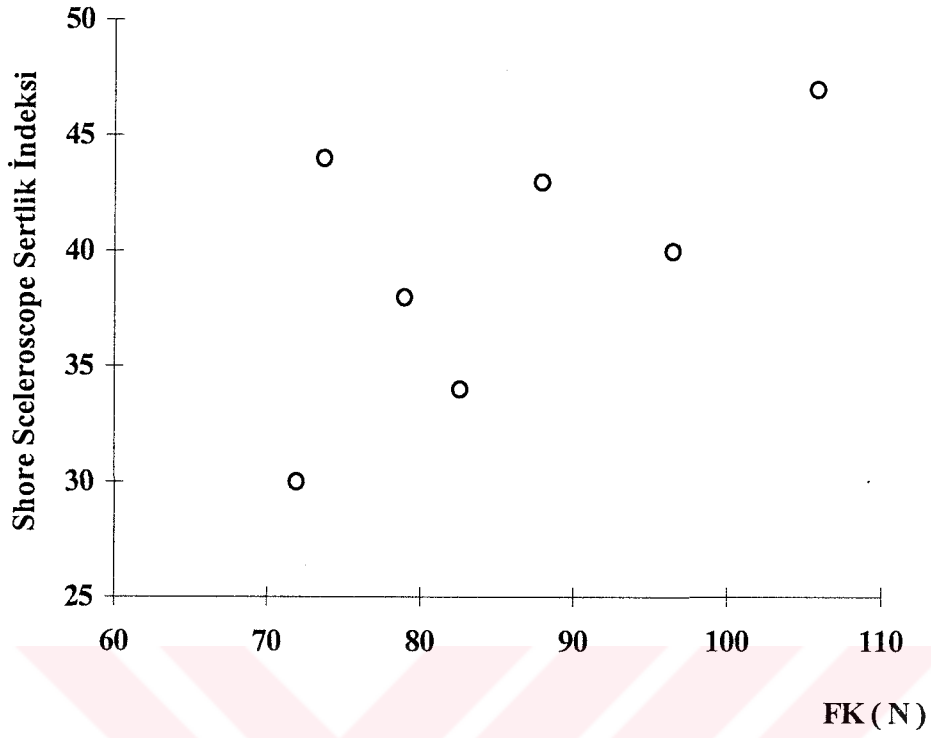
	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Endirekt Çekme Dayanımı	Shore Sceleroscope Sertlik İndeksi	Schmidt Hammer Sertlik İndeksi	NCB Konik Delici Sertlik İndeksi	Cerchar Sertlik İndeksi	Knopp Sertlik İndeksi	Ortalama Tane Boyutu	Mohs Sertlik İndeksi	Spesifik Enerji
Kesme Kuvveti (FK)	0,45	0,92	0,61	0,42	0,28	0,49	0,50	0,18	0,50	0,88
Tek Eksenli Basınç Dayanımı		0,58	0,54	0,87	-0,23	0,44	0,95	-0,51	0,86	0,39
Endirekt Çekme Dayanımı			0,54	0,52	0,16	0,74	0,66	0,03	0,43	0,78
Shore Sceleroscope Sertlik İndeksi				0,70	-0,22	0,12	0,40	0,32	0,67	0,36
Schmidt Hammer Sertlik İndeksi					-0,39	0,30	0,75	-0,40	0,75	0,30
NCB Konik Nokta Sertlik İndeksi						-0,23	0,04	0,30	-0,17	0,09
Cerchar Sertlik İndeksi							0,48	-0,19	0,09	0,52
Knopp Sertlik İndeksi								-0,48	0,74	0,39
Ortalama Tane Boyutu									-0,33	-0,09
Mohs Sertlik İndeksi										0,49



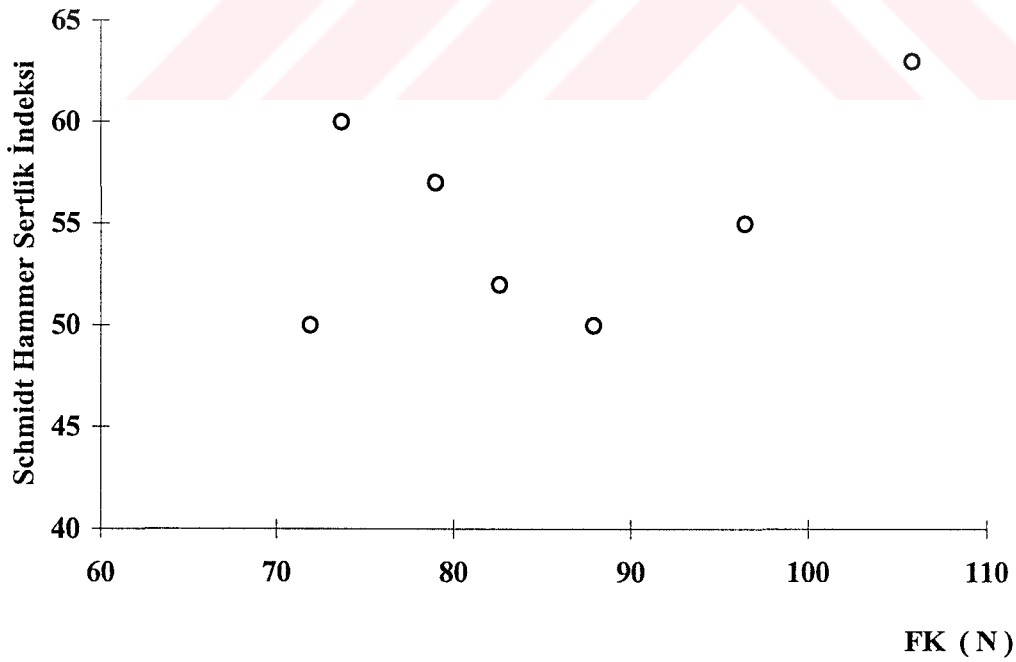
Şekil 11.1. Kesme kuvveti ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki.



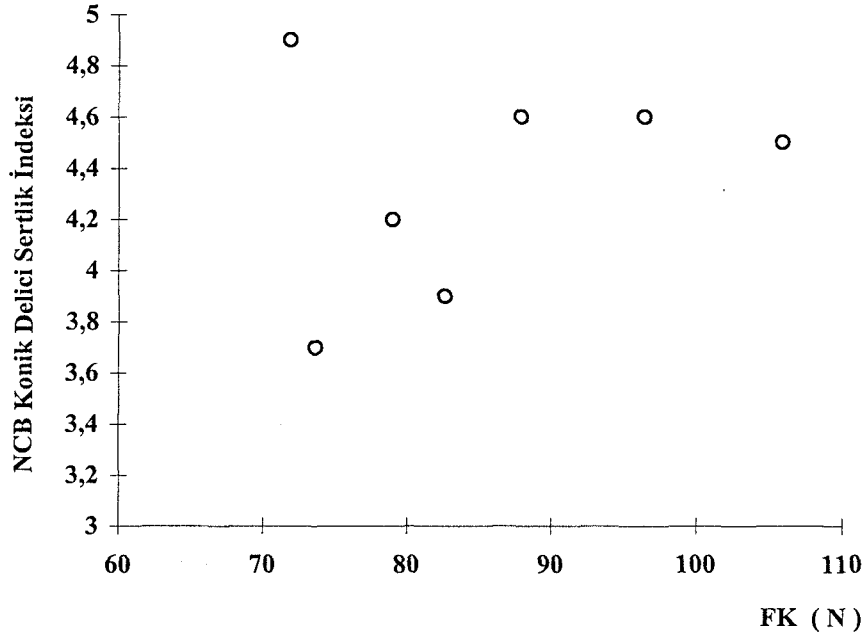
Şekil 11.2. Kesme kuvveti ile endirekt çekme dayanımı arasındaki ilişki.



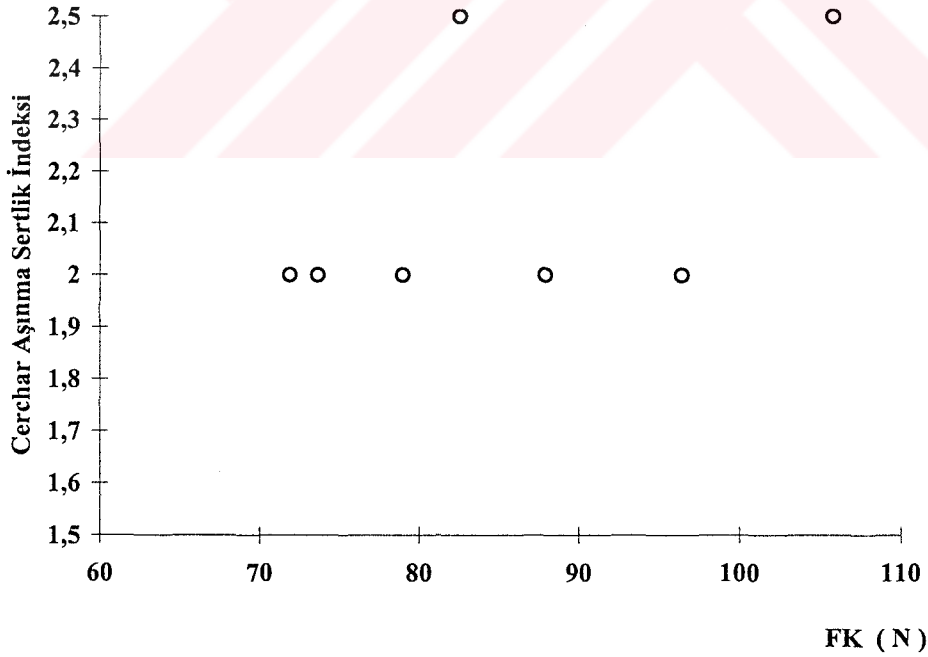
Şekil 11.3. Kesme kuvveti ile Shore sceleroscope sertlik indeksi arasındaki ilişki.



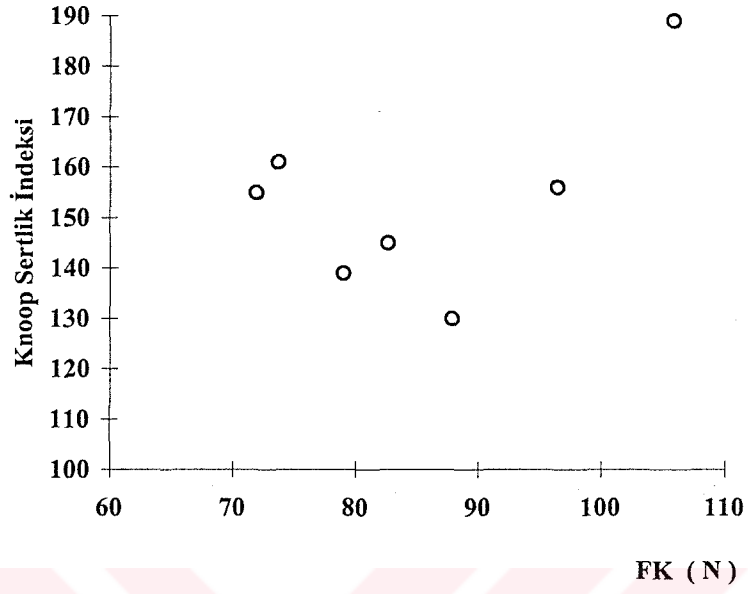
Şekil 11.4. Kesme kuvveti ile Schmidt hammer sertlik indeksi arasındaki ilişki.



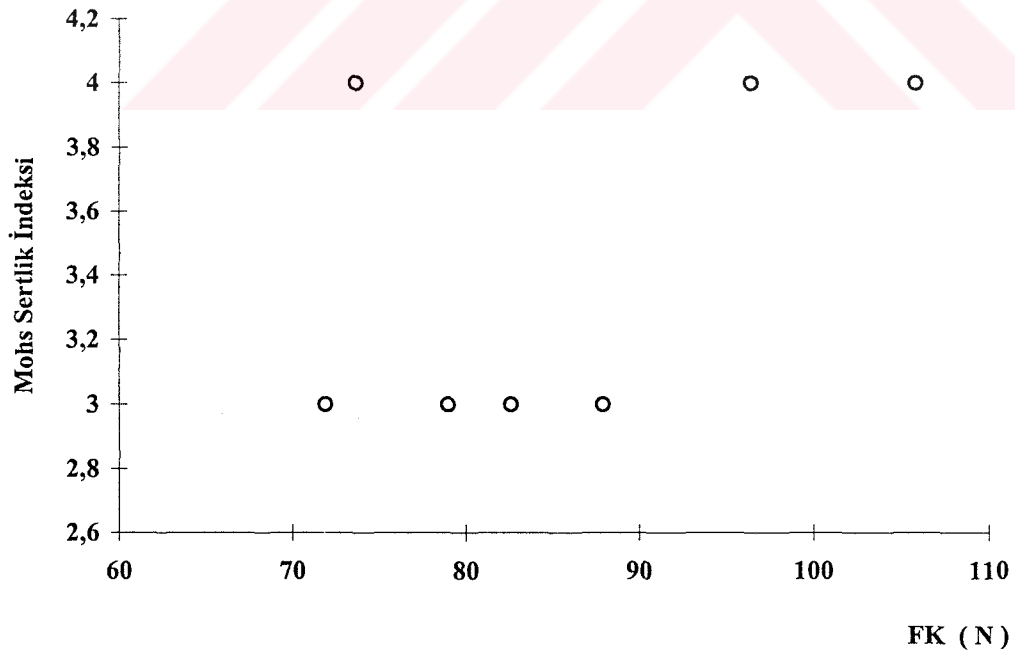
Şekil 11.5. Kesme kuvveti ile NCB konik Delici sertlik indeksi arasındaki ilişki.



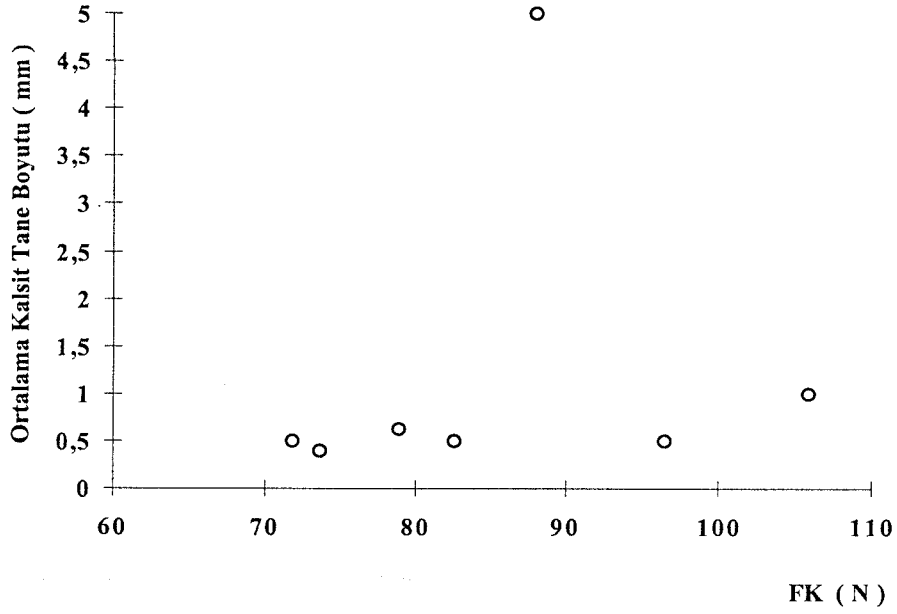
Şekil 11.6. Kesme kuvveti ile Cerchar aşınma sertlik indeksi arasındaki ilişki.



Şekil 11.7. Kesme kuvveti ile Knoop sertlik indeksi arasındaki ilişki.



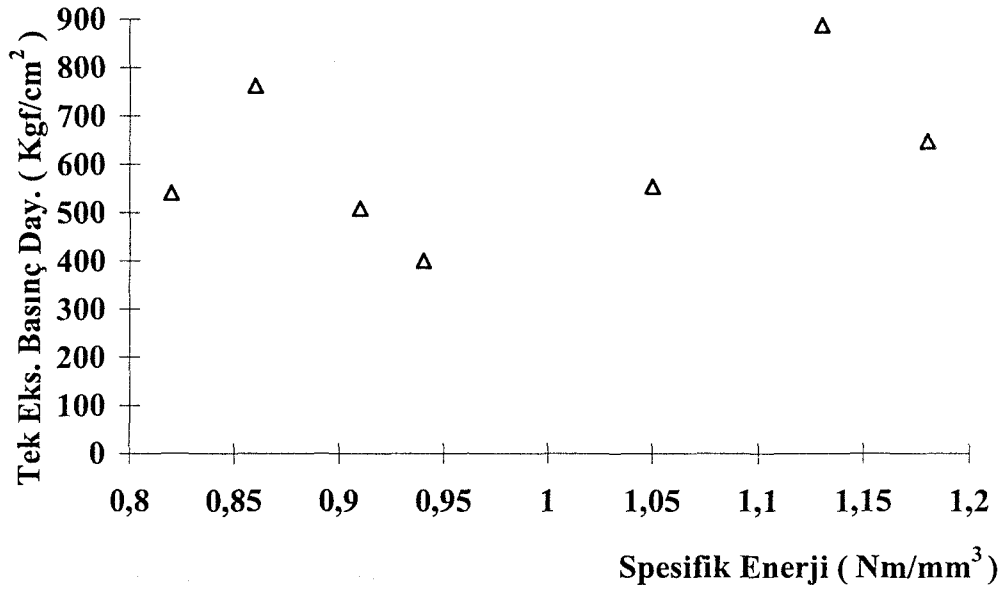
Şekil 11.8. Kesme kuvveti ile Mohs sertlik indeksi arasındaki ilişki.



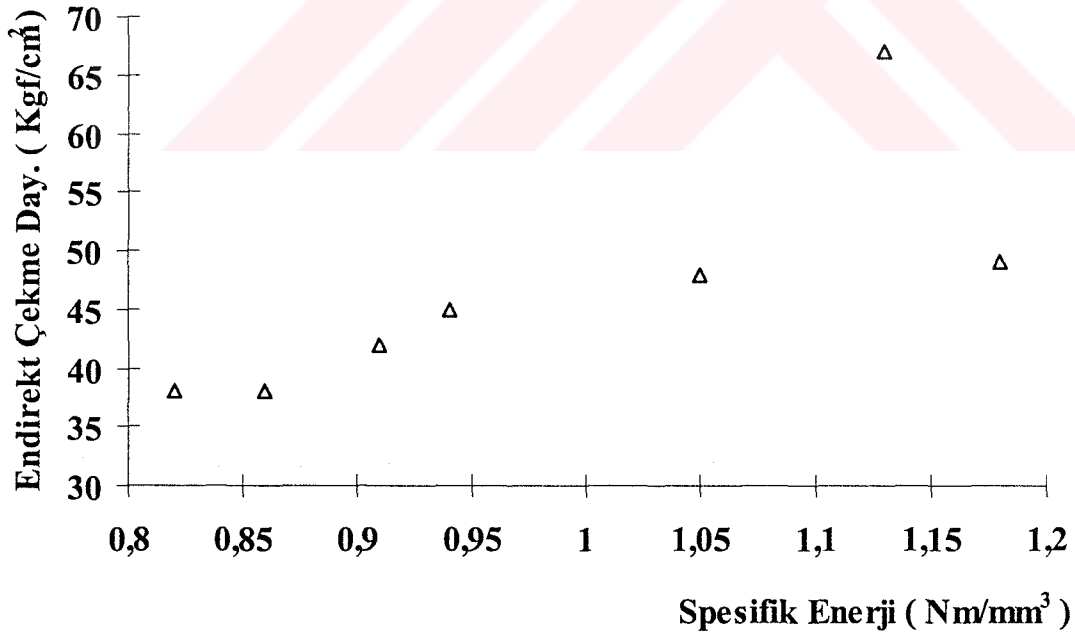
Şekil 11.9. Kesme kuvveti ile ortalama kalsit tane boyutu arasındaki ilişki.

11.2. Spesifik Enerji ile Diğer Parametreler Arasındaki Korelasyon Katsayılarının Hesaplanması

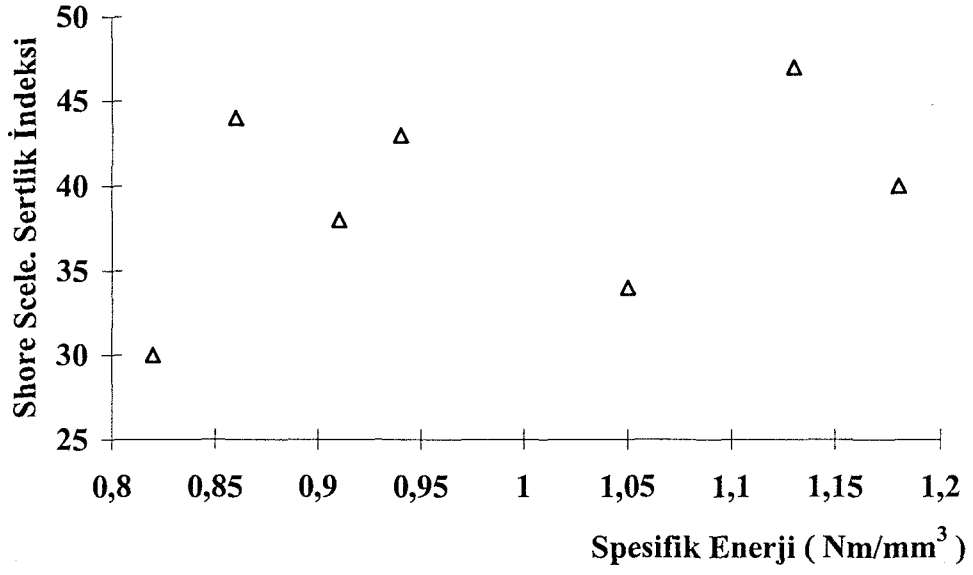
Deneyleerde kullanılan 7 çeşit mermer numunesinin, spesifik enerjileri ile bunu etkileyen diğer parametreler arasındaki ilişkilerin saptanması için korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Burada, hakiki mermerler grubu için spesifik enerjileri ile kayaçların mineralojik ve fiziko - mekanik özellikleri arasında ilişkilerin gözlemlenerek kurulacak olan istatistiksel modeldeki spesifik enerjiyi etkileyen önemli bağımsız değişkenlerin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Şekil 11.10 - Şekil 11.18 'de ise spesifik enerji ile diğer parametreler arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir.



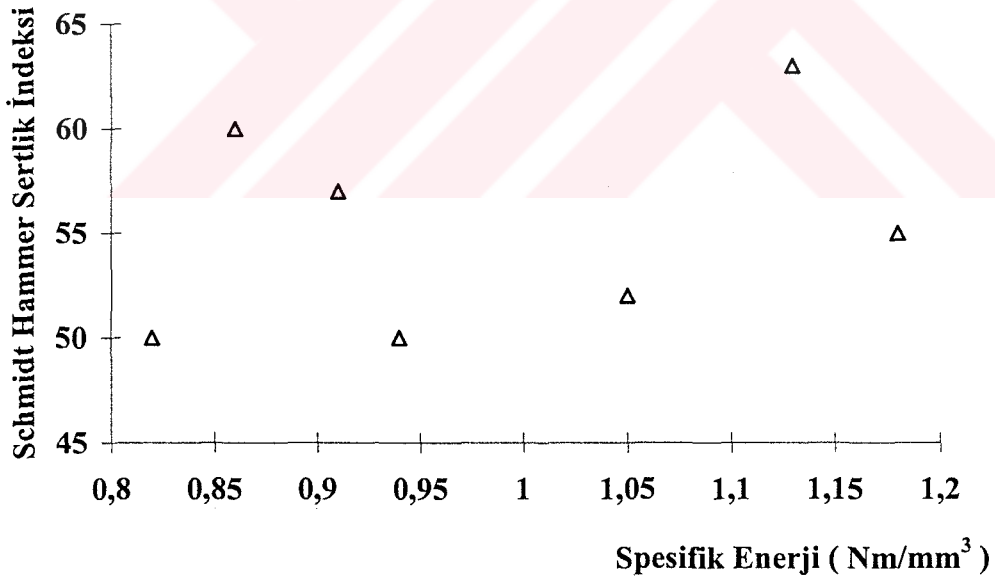
Şekil 11.10. Spesifik Enerji ile Tek Eksenli Basınç Dayanımı arasındaki ilişki.



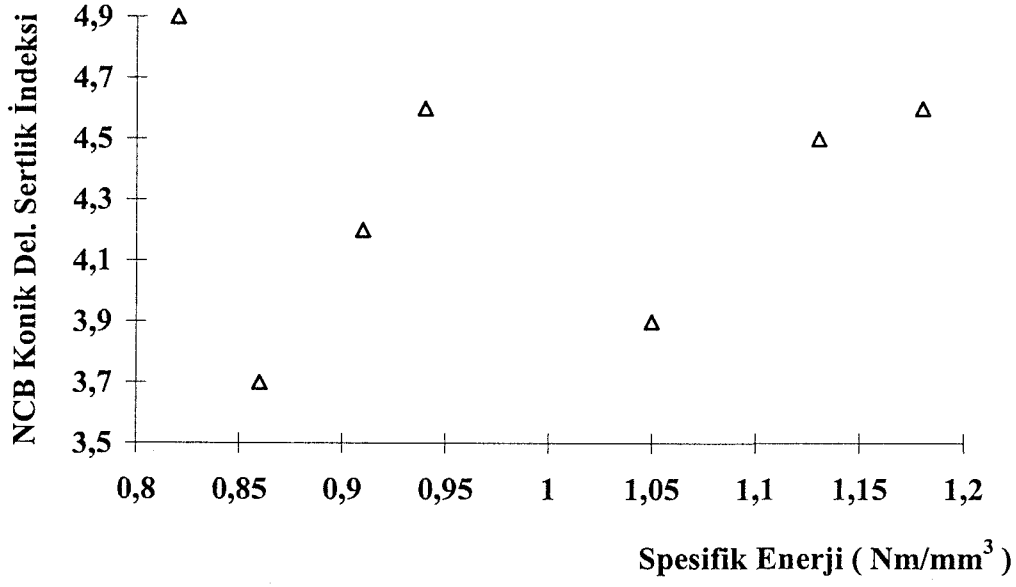
Şekil 11.11. Spesifik Enerji ile Endirekt Çekme Dayanımı arasındaki ilişki.



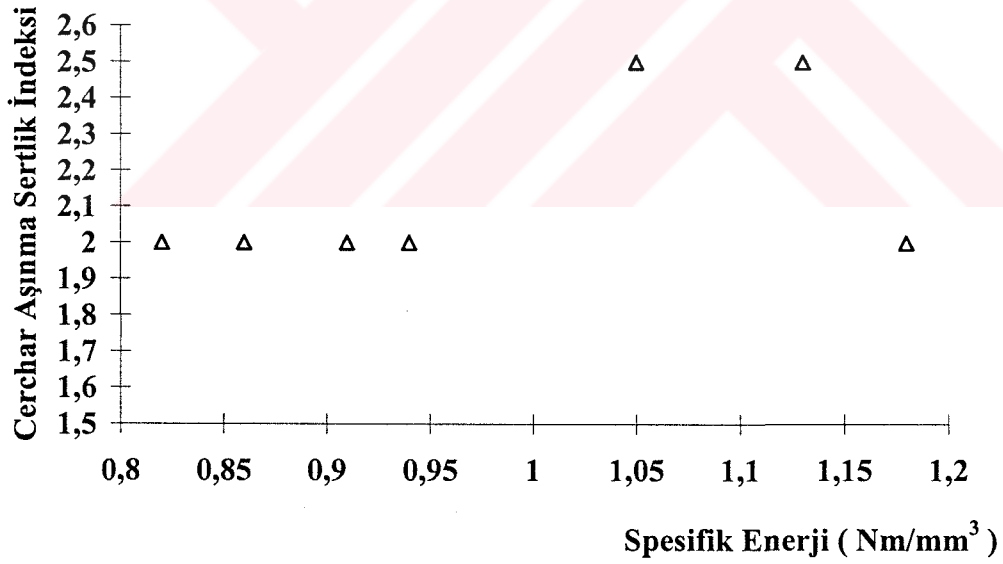
Şekil 11.12. Spesifik Enerji ile Shore Sceleroscope sertlik indeksi arasındaki ilişki.



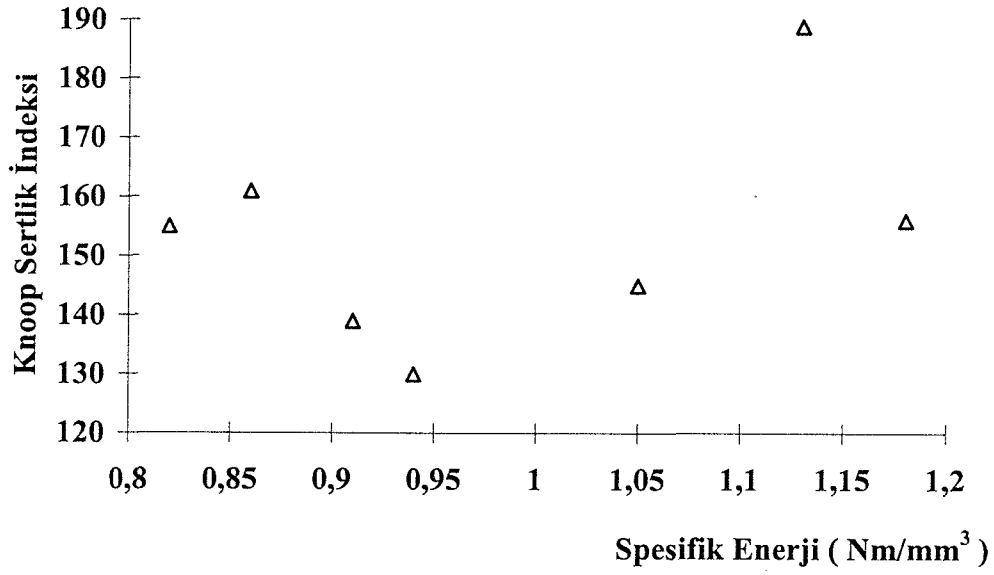
Şekil 11.13. Spesifik Enerji ile Schmidt Hammer sertlik indeksi arasındaki ilişki.



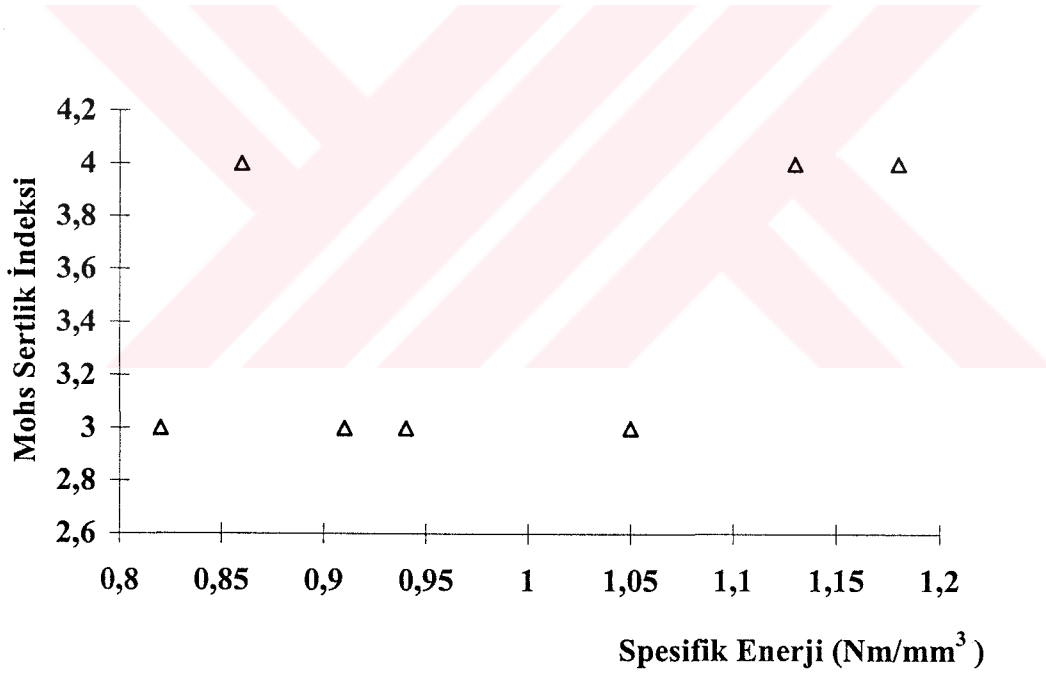
Şekil 11.14. Spesifik Enerji ile NCB Konik Delici sertlik indeksi arasındaki ilişki.



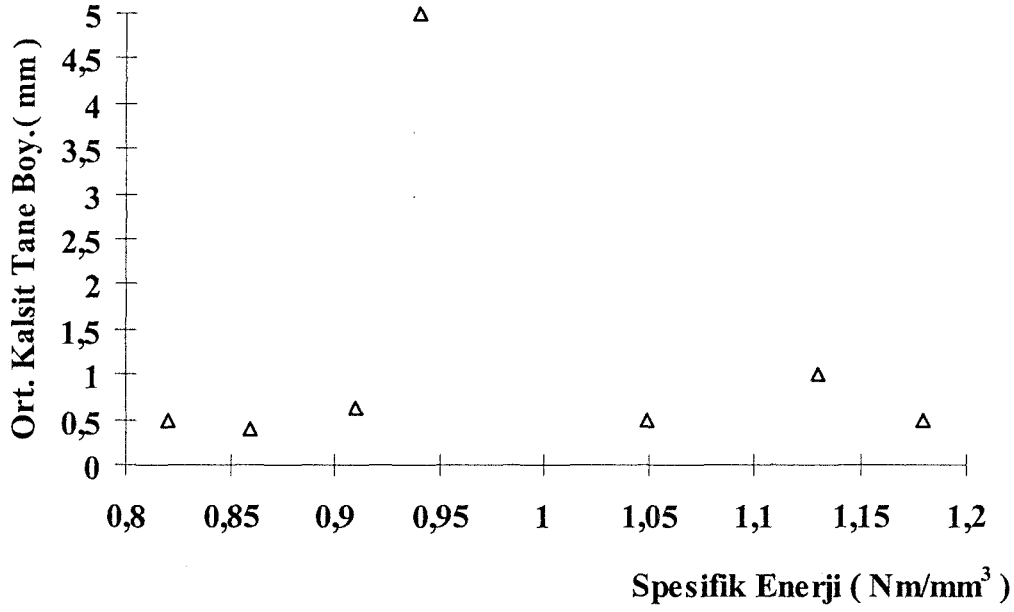
Şekil 11.15. Spesifik Enerji ile Cerchar Aşınma sertlik indeksi arasındaki ilişki.



Şekil 11.16. Spesifik Enerji ile Knoop sertlik indeksi arasındaki ilişki.



Şekil 11.17. Spesifik Enerji ile Mohs sertlik indeksi arasındaki ilişki.



Şekil 11.18. Spesifik Enerji ile Ortalama Kalsit Tane Boyutu arasındaki ilişki.

11.3. Mermerlerin Kesilebilirliğini Tahmin İçin Çok Değişkenli Regresyon Analizi

11.3.1 Çok değişkenli regresyon

Kaya kesme performansı öncelikle kayaç özellikleri ve makina çalışma büyüklükleri olmak üzere birçok faktörden etkilenmektedir. Kesme performansını etkileyen birden fazla bağımsız değişken olduğu için basit regresyon analizi veya grafik yöntemi kullanılamaz, analiz çok değişkenli regresyon ile yapılabilir. Çok değişkenli regresyon analizinde yöntemler, doğrusal yöntemler ve doğrusal olmayan yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılabilir (Kahraman, 1997; İnal vd., 1982). Bu çalışmada doğrusal regresyon modeli kullanılmıştır;

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \quad (11.1)$$

Burada;

Y = Bağımlı değişken

X_1, X_2, X_n = Bağımsız değişkenler

a = Sabit

b_1, b_2, b_n = X_1, X_2, X_n 'in katsayıları 'dır.

11.3.2. Çok değişkenli regresyonda kullanılan terimler

Çok değişkenli regresyon analizinde birçok istatistiksel terim kullanılmaktadır. Determinasyon katsayısı, korelasyon katsayısı, düzeltilmiş determinasyon katsayısı, standart hata, regresyon katsayısının standart hatası, güven düzeyi, güven aralıkları ve güven sınırları, anlamlılık düzeyi, t dağılımı, F dağılımı ve rezidü (İşcil,1977 ; İnal ve Günay, 1982 ; Köksal, 1985) aşağıda özetlenmiştir.

Determinasyon katsayısı (R^2), açıklanabilir varyansın toplam varyansa oranıdır. Regresyon analizinin tutarlılığının göstergelerinden biri R^2 'nin yüksek olmasıdır. Fakat R^2 'yi tek belirleyici olarak kullanmak hatalıdır. Korelasyon ise iki veya daha çok sayıda değişken arasındaki ilişkiyi gösterir, ilgi miktarı korelasyon katsayısı ile belirlenir, işareti (+) ise iki değişken arasında ilişki doğru orantılı, işareti (-) ise iki değişken arasındaki ilişki ters orantılıdır. Düzeltilmiş determinasyon katsayısı (R^2_{adj}) serbestlik derecesine göre R^2 'nin düzeltilmişidir. Modele yeni değişkenlerin eklenmesi ile R^2 artarken R^2_{adj} değeri artmaz, belirli bir limitte sabit kalır.

Standart hata veya standart sapma, gözlenen değerlerin tahmin edilen regresyon doğrusundan farklarının genel ve ortalama ölçüsüdür. Regresyon katsayısının standart hatası ise, örneklerin regresyon katsayılarının, tahmininin regresyon katsayısı etrafındaki değişimleri gösteren bir ölçüdür.

Bir tahminin doğruluk derecesinin belirlenmesine güven düzeyi denilmektedir. Tahminlerde genellikle % 90 , % 95 ve % 99 güven düzeyleri kullanılır. Yüksek güven düzeyi her ne kadar yüksek hassasiyet gösteriyor gibi görünse de pratikte böyle değildir. Çünkü, yüksek güven düzeyleri büyük güven aralıkları meydana getirir ki bu da hassas değildir. Güven aralıkları, tahminin hangi değer aralığında olduğunu gösterir. Güven aralıklarının alt ve üst limitleri ise güven sınırları olarak tanımlanır.

Anlamlılık düzeyi, belirli bir limitin altında kalması gereken ve sıfır hipotezini doğrulayan bir değerdir.

Student dağılımı olarak da adlandırılan t dağılımında serbestlik derecesi ($N - k$) ve güven düzeyi parametre olarak kullanılmaktadır. Burada, N örnek sayısı, k modeldeki bağımsız değişken sayısıdır. Her istatistik kitabının sonunda t dağılımını veren tablolar verilmektedir.

F dağılımında, payın serbestlik derecesi ($k - 1$) ve paydanın serbestlik derecesi ($N - k$) olmak üzere iki parametre kullanılır. F dağılım tablosu da istatistik kitapları sonunda bulunmaktadır.

Rezidü (Fark analizi), gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farktır. Eğer regresyon modeli doğru ise rezidüler sıfır doğrusu etrafında rasgele dağılırlar.

11.4. Kesme Kuvvetinin Tahmini İçin Geliştirilen Modeller

İstatistiksel model kurma işleminde kesme kuvveti (FK) bağımlı değişken olarak alınırken, diğer mineralojik ve fiziko - mekanik özelliği değerleri bağımsız değişken olarak alınmıştır.

İstatistiksel faktör analizleri için tüm veriler Pentium 200 serisi microişlemcili bir bilgisayara yüklenilmiş ve “ *SPSS for Windows Release 5.0* ” adlı paket program kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu istatistik paket programı yardımıyla yapılan regresyon analizleri sonucunda en yüksek anlamlılık ve güvenilirlik taşıyan çok değişkenli regresyon denklemi elde edilmiş ve aşağıda verilmiştir;

$$Y = - 163,755677 + 50,945425 (X_1) + 31,001305 (X_2) \\ + 13,310960 (X_3) - 4,810731 (X_4) + 2,129066 (X_5) \\ - 0,771233 (X_6) \quad (11.2)$$

Burada;

Y = Tahmin edilen kesme (FK) kuvveti (N)

X₁ = Cerchar aşınma indeksi

X₂ = NCB konik delici sertlik indeksi

X₃ = Mohs sertlik indeksi

X₄ = Ortalama kalsit tane boyutu (mm)

X₅ = Shore scleroscope sertlik indeksi

X₆ = Knoop sertlik indeksi 'dir.

Yukarıda verilen regresyon denkleminin korelasyon katsayısı 1 olup bu değer bu eşitlik kullanılarak elde edilen kesme kuvvetleri değerlerinin % 100 oranında güvenilir olduğunu ifade etmektedir.

Kesme kuvvetinin daha kolay belirlenebilmesi amacıyla, bağımsız değişken sayısı üçe indirilerek ayrı ayrı yapılan regresyon analizleri sonucunda bulunan regresyon denklemleri içerisinde, en yüksek anlamlılık ve güvenilirlik taşıyan çok değişkenli regresyon denklemi elde edilmiş ve Bağıntı 11.3 'te verilmiştir;

$$Y = 64,1640040 - 22,505592 (X_1) + 1,55917 (X_2) - 0,791328 (X_3) \quad (11.3)$$

Burada;

$Y =$ Tahmin edilen kesme (F_K) kuvveti (N)

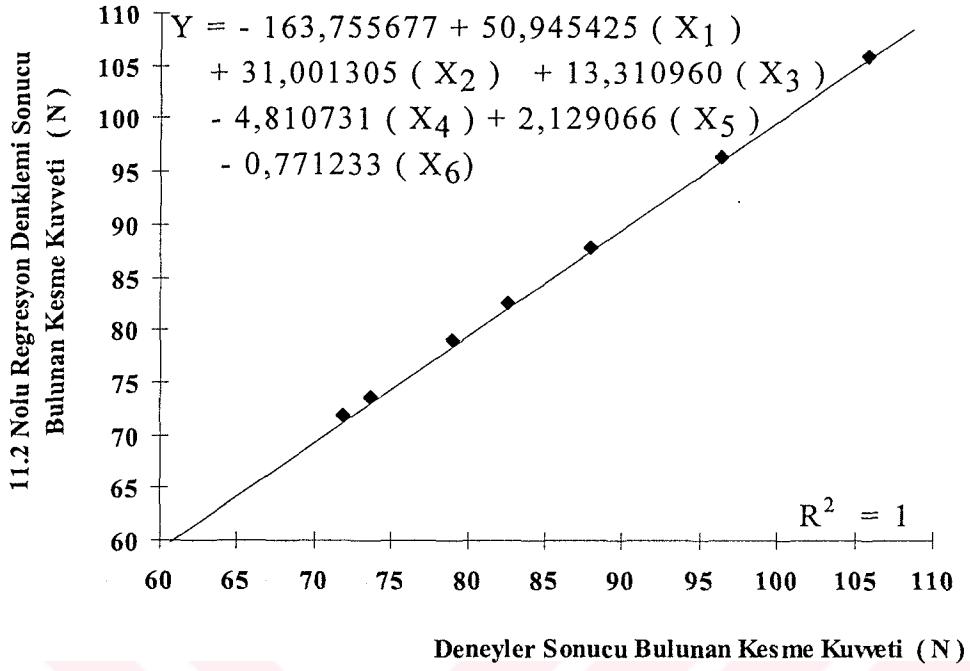
$X_1 =$ Cerchar aşınma sertlik indeksi

$X_2 =$ Endirekt çekme dayanımı (kgf/cm^2)

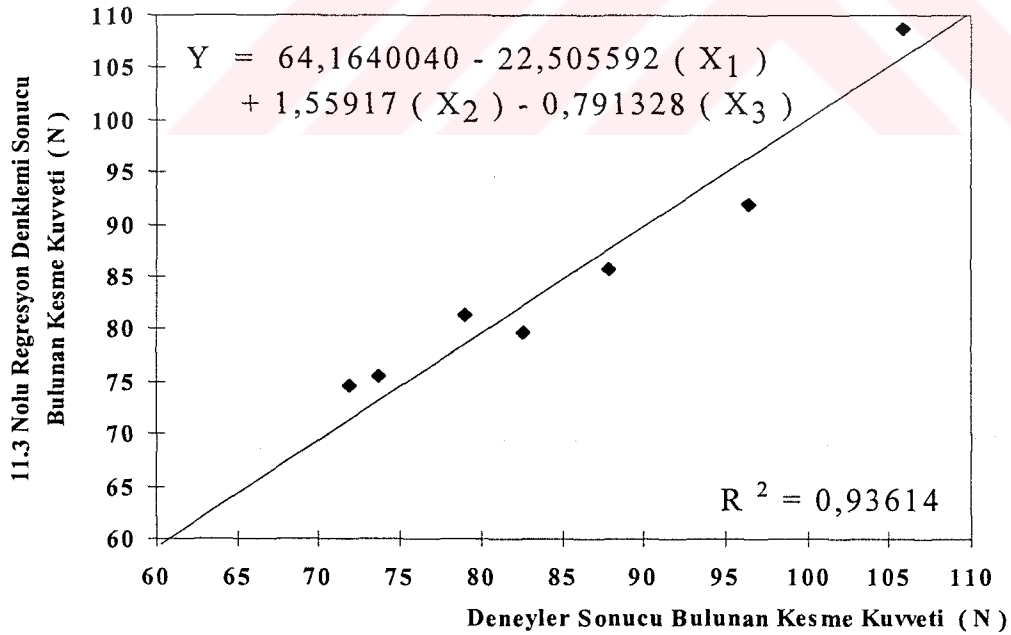
$X_3 =$ NCB konik delici sertlik indeksi 'dir.

Yukarıda verilen regresyon denkleminin korelasyon katsayısı 0,96754 olup bu değer bu bağıntı kullanılarak elde edilen kesme kuvvetleri değerlerinin % 93,614 oranında güvenilir olduğunu ifade etmektedir.

(11.2) ve (11.3) nolu bağıntılarla bulunan tahmini kesme kuvvetleri ile deneyler sonucu bulunmuş gerçek kesme kuvvetleri değerleri arasındaki ilişki Şekil 11.19 ve Şekil 11.20 'de gösterilmiştir.



Şekil 11.19. Gerçek kesme kuvveti değerleri ile (11.2) nolu regresyon denklemi sonucu bulunan kesme kuvveti değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 11.20. Gerçek kesme kuvveti değerleri ile (11.3) nolu regresyon denklemi sonucu bulunan kesme kuvveti değerleri arasındaki ilişki.

Bağımlı değişken kesme kuvveti (F_K) ile diğer herbir bağımsız değişken arasındaki regresyon denklemleri, korelasyon katsayıları (r), düzeltilmiş determinasyon katsayıları (R^2_{adj}), denklemin istatistiksel güvenilirlik % 'si Çizelge 11.3 'te gösterilmiştir.

Çizelge 11.3. Kesme kuvveti ile bağımsız değişkenler arasındaki regresyon denklemleri

Bağımlı Değişken (Y)	Bağımsız Değişken (X_1)	Regresyon Eşitliği	Korelasyon Katsayısı (r)	R^2_{adj}	İstatistiksel Güvenilirlik (%)
Kesme Kuvveti	Tek Eksenli Bas. Day.	0,033 (X_1) + 64,617	0,45	0,044	69,03
	Endirekt Çekme Day.	1,146 (X_1) + 31,801	0,92	0,825	99,71
	Shore Scler. İndeksi	1,266 (X_1) + 35,393	0,60	0,245	85,35
	Schmidt Ham. Sert İndeksi	1,027 (X_1) + 28,533	0,41	0,009	64,92
	NCB Kon. Delici Sert İnd.	8,087 (X_1) + 50,210	0,28	- 0,106	45,70
	Cerchar Aşın. Sert. İndeksi	24,898 (X_1) + 31,980	0,49	0,090	73,78
	Knoop Sert. İndeksi	0,325 (X_1) + 35,315	0,50	0,100	74,72
	Mohs Sert. İndeksi	11,638 (X_1) + 45,430	0,50	0,104	75,09
	Ort. Kalsit Tane Boyutu	1,313 (X_1) + 83,732	0,17	- 0,161	29,84

11.5. Spesifik Enerjinin Tahmini İçin Geliştirilen Modeller

İstatistiksel model kurma işleminde spesifik enerji (SE) bağımlı değişken olarak alınırken, diğer mineralojik ve fiziko - mekanik özelliği değerleri bağımsız değişken olarak alınmıştır.

Yapılan regresyon analizleri sonucunda en yüksek anlamlılık ve güvenilirlik taşıyan çok değişkenli regresyon denklemi elde edilmiş ve Bağıntı 11.4 'te verilmiştir;

$$Y = - 2,012299 + 0,798827 (X_1) + 0,412793 (X_2) \\ + 0,349236 (X_3) - 0,035004 (X_4) - 0,015291 (X_5) \\ - 0,013454 (X_6) \quad (11.4)$$

Burada;

Y = Tahmin edilen Spesifik Enerji (SE) (Nm/mm³)

X₁ = Cerchar aşınma indeksi

X₂ = Mohs sertlik indeksi

X₃ = NCB konik delici sertlik indeksi

X₄ = Ortalama kalsit tane boyutu (mm)

X₅ = Knoop sertlik indeksi

X₆ =Schmidt çekici sertlik indeksi 'dir.

Yukarıda verilen regresyon denkleminin korelasyon katsayısı 1 olup bu değer bu eşitlik kullanılarak elde edilen kesme kuvvetleri değerlerinin % 100 oranında güvenilir olduğunu ifade etmektedir.

Spesifik Enerjinin daha kolay belirlenebilmesi amacıyla, bağımsız değişken sayısı üçe indirilerek ayrı ayrı yapılan regresyon

analizleri sonucunda bulunan regresyon denklemleri içerisinde, en yüksek anlamlılık ve güvenilirlik taşıyan çok değişkenli regresyon denklemi elde edilmiş ve Bağıntı 11.5'te verilmiştir;

$$Y = - 1,000195 + 0,588396 (X_1) + 0,439445 (X_2) - 0,001274 (X_3) \quad (11.5)$$

Burada;

Y = Tahmin edilen spesifik enerji (SE) (Nm/mm³)

X₁ = Cerchar aşınma sertlik indeksi

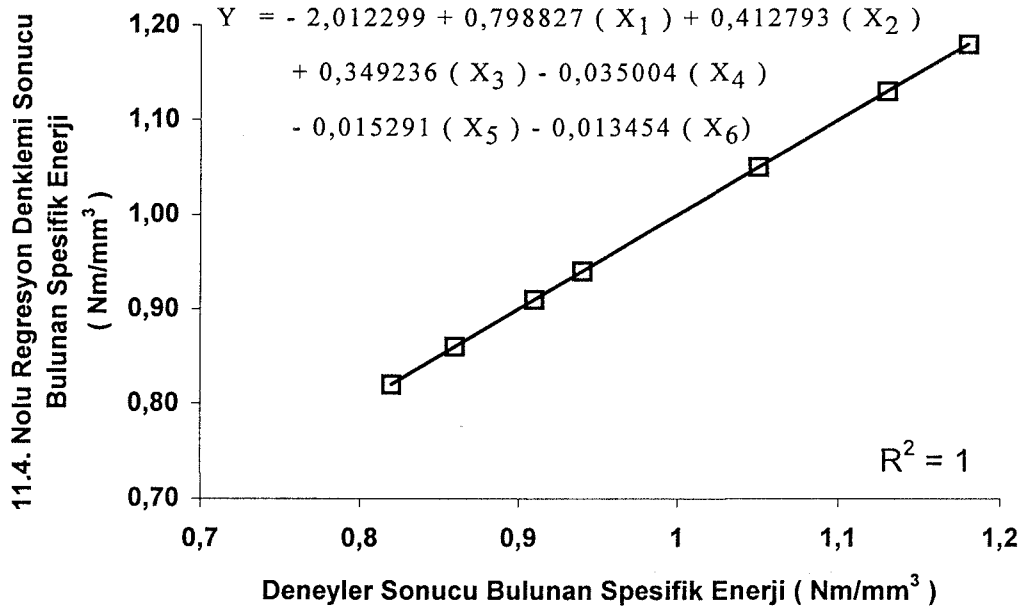
X₂ = Mohs sertlik indeksi

X₃ = Tek eksenli basınç dayanımı (kgf/cm²) 'dır.

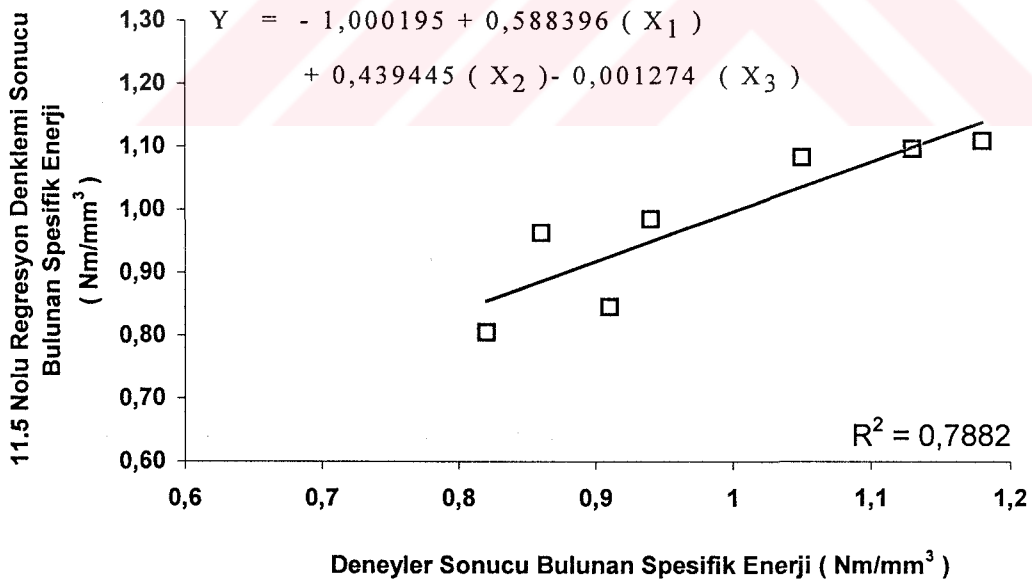
Yukarıda verilen regresyon denkleminin korelasyon katsayısı 0,88781 olup bu değer bu bağıntı kullanılarak elde edilen spesifik enerji değerlerinin % 78,821 oranında güvenilir olduğunu ifade etmektedir.

(11.4) ve (11.5) nolu bağıntılarla bulunan tahmini spesifik enerji değerleri ile deneyler sonucu bulunmuş gerçek spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki Şekil 11.21 ve Şekil 11.22 'de gösterilmiştir.

Bağımlı değişken spesifik enerji (SE) ile diğer her bir bağımsız değişken arasındaki regresyon denklemleri, korelasyon katsayıları (r), düzeltilmiş determinasyon katsayıları (R²_{adj}), denklemin istatistiksel güvenilirlik % 'si Çizelge 11.4 'te gösterilmiştir.



Şekil 11.21. Gerçek spesifik enerji değerleri ile (11.4) nolu regresyon denklemi sonucu bulunan spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki



Şekil 11.22. Gerçek spesifik enerji değerleri ile (11.5) nolu regresyon denklemi sonucu bulunan spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki

Çizelge 11.4. Spesifik enerji ile bağımsız değişkenler arasındaki regresyon denklemleri

Bağımlı Değişken (Y)	Bağımsız Değişken (X ₁)	Regresyon Eşitliği	Korelasyon Katsayısı (r)	R ² _{adj}	İstatistiksel Güvenilirlik (%)
Spesifik Enerji	Tek Eksen Bas. Day.	3,2546 (X ₁) +0,784	0,39	-0,016	61,40
	Endirekt Çek. Day.	0,010 (X ₁) + 0,479	0,78	0,532	96,20
	Shore Scler. İnd.	0,008 (X ₁) + 0,651	0,36	-0,040	57,80
	Schmidt Ham. Sert. İndeksi	0,008 (X ₁) + 0,531	0,29	-0,092	48,50
	NCB Kon. Delici Sert İndeksi	0,028 (X ₁) +0,858	0,08	-0,190	15,20
	Cerchar Aşın. Sert. İndeksi	0,296 (X ₁) + 0,350	0,52	0,130	77,30
	Knoop Sert. İnd.	0,002 (X ₁) + 0,554	0,38	-0,021	60,70
	Mohs Sert. İnd.	0,126 (X ₁) + 0,550	0,49	0,090	73,80
	Ort. Kalsit Tane Boy.	- 0,007 (X ₁) + 0,993	-0,08	-0,190	15,00

11.6. Geliştirilen Analizlerin Doğruluk Testleri

En doğru analizin seçiminde şu kriterler kullanılmıştır;

- * Determinasyon (belirlilik) katsayısı (R²) ve düzeltilmiş determinasyon katsayıları (R²_{adj})
- * t testi
- * F testi
- * Rezidü (artık) analizi.

(11.2) , (11.3) , (11.4) ve (11.5) nolu bağıntıların determinasyon katsayıları (R^2) sırasıyla 1,0 / 0,93 / 1,0 / 0,78 'dir. Görüldüğü gibi modellerin determinasyon katsayıları oldukça yüksektir. (11.2) ve(11.4) nolu bağıntılar oldukça yüksek anlam taşımakta ve % 100 güvenilir olduğundan bu testlerden geçirilmesi gereksiz olmakla beraber, (11.3) ve (11.5) nolu bağıntıların en iyi model olduğunu ifade etmek için de yeterli değildir. Bu modellerin en iyi olup olmadığı ancak t testi, F testi ve rezidü analizi ile anlaşılabilir. Bu testlerin yapılışı takip eden bölümlerde anlatılmaktadır.

11.6.1. t testi

Bu testte, tablodan bulunan t değeri ile hesaplanan t değerlerinin karşılaştırılması yapılır. Karşılaştırma sonucu modelin geçerli olup olmadığına hipotez testi yardımıyla karar verilir. Test edilecek hipotez sıfır hipotezi olup, H_0 ile gösterilir. Diğer bir hipotez H_1 ile ifade edilen alternatif hipotez olup;

* $H_0 : b = 0$ ise sıfır hipotezi kabul edilir ki, bu modelin geçersiz olduğu anlamına gelir.

* $H_1 : b \neq 0$ ise sıfır hipotezi reddelir ki, bu modelin geçerli olduğu anlamına gelir.

Sonuç olarak; hesaplanan t değeri tablodan bulunan t değerine eşitse veya küçükse sıfır hipotezi kabul edilir, aksi durumda sıfır hipotezi reddedilir.

Yazınca
1998

t testinin uygulanışı aşağıda verilmiştir;

(11.3) nolu bağıntının örnek sayısı 7 olup modele giren değişken sayısı 3 olduğundan (N - k)'dan serbestlik derecesi 4 olarak bulunur. % 95 güven düzeyi ve 4 serbestlik derecesi için tablodan t değeri $\pm 2,13$ olarak bulunur. Örneğin, endirek çekme dayanımı için hesaplanan t değeri 4,999 olup tablodan bulunan t değerinden büyük olmasından dolayı sıfır hipotezi reddedilir. Dolayısıyla model t tesiti açısından geçerlidir.

(11.5) nolu bağıntının örnek sayısı 7 olup modele giren değişken sayısı 3 olduğundan (N - k)'dan serbestlik derecesi 4 olarak bulunur. % 95 güven düzeyi ve 4 serbestlik derecesi için tablodan t değeri $\pm 2,13$ olarak bulunur. Örneğin, ortalama Mohs sertlik indeksi için hesaplanan t değeri 2,612 olup tablodan bulunan t değerinden büyük olmasından dolayı sıfır hipotezi reddedilir. Dolayısıyla model t testi açısından geçerlidir.

11.6.2. F testi

F testi de t testine benzemekte olup varyans dikkate alınmaktadır. Tablodan bulunan F değeri ile hesaplanan F değeri karşılaştırması yapılır. Karşılaştırma sonucu modelin geçerli olup olmadığına hipotez testi yardımıyla karar verilir. Test edilecek hipotezler sıfır hipotezi (H_0) ve alternatif hipotez (H_1) olup;

* $H_0 : b_1 = b_2 = b_3 = 0$ ise sıfır hipotezi kabul edilir ki, bu modelin geçersiz olduğu anlamına gelir.

* $H_1 : b_1 \neq b_2 \neq b_3 \neq 0$ ise sıfır hipotezi reddedilir ki, bu modelin geçerli olduğu anlamına gelir.

Sonuç olarak; hesaplanan F değeri tablodan bulunan F değerine eşitse veya küçükse sıfır hipotezi kabul edilir, aksi durumda sıfır hipotezi reddedilir.

F testinin uygulanışı aşağıda verilmiştir;

(11.3) nolu bağıntının örnek sayısı 7 olup modele giren değişken sayısı 3 olduğundan payın serbestlik derecesi ($k - 1$) 'den 2 , paydanın serbestlik derecesi ($N - k$) 'dan 4 olarak bulunur. Bu serbestlik dereceleri ve % 95 güven düzeyine göre tablodan F değeri 6,94 olarak bulunur. Bu modelin F değeri ise 14, 65993 olup tablodan bulunan F değerinden büyük olduğundan sıfır hipotezi reddedilir. Buna göre model F testi açısından geçerli olmaktadır.

(11.5) nolu bağıntının örnek sayısı 7 olup modele giren değişken sayısı 3 olduğundan payın serbestlik derecesi ($k - 1$) 'den 2 , paydanın serbestlik derecesi ($N - k$) 'dan 4 olarak bulunur. Bu serbestlik dereceleri ve % 95 güven düzeyine göre tablodan F değeri 6,94 olarak bulunur. Bu modelin F değeri ise 3,721 olup tablodan bulunan F değerinden küçük olduğundan sıfır hipotezi kabul edilir. Buna göre model F testi açısından geçersiz olmaktadır. Bu analizin başarısız olduğu ve bu modele fazla güvenilemeyeceği anlaşılmaktadır.

11.6.3. Rezidü (Fark) analizi

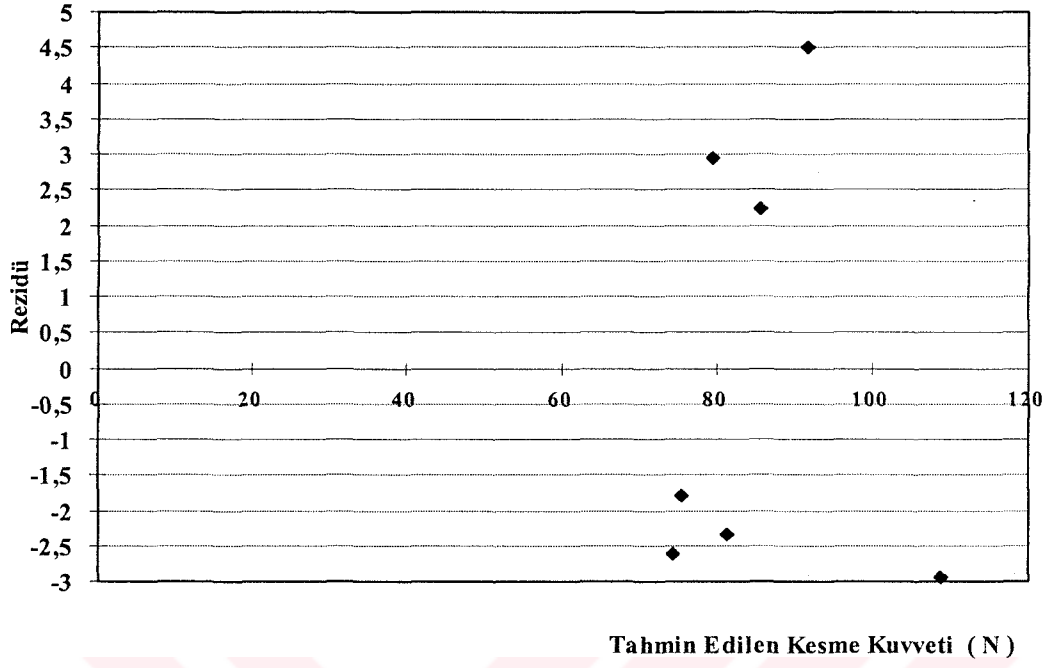
Geçerli modellere ait gerçek kesme kuvvetleri ile tahmin edilen kesme kuvvetleri değerlerinin grafikleri Şekil 11.19 ve Şekil 11.20 'de, spesifik enerji ile tahmin edilen spesifik enerji değerlerinin grafikleri Şekil 11.21 ve Şekil 11.22 'de verilmiştir.

Görüldüğü gibi Şekil 11.19 - 11.22 'de noktalar orijinden geçtiği varsayılan doğru etrafında dağılmaktadır. Bu da modellerin geçerli olduğuna işarettir. (11.3) ve (11.5) nolu bağıntılar için determinasyon katsayısının kontrolü ve çeşitli hipotez testlerinin yapılmasıyla regresyon analizi tamamlanmış sayılmaz. Rezidülerinin de incelenmesi gerekmektedir. Gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki fark olan rezidülerin grafiksel olarak incelenmesi kolay bir yöntemdir. Eğer model doğru ise rezidüler sıfır doğrusu etrafında rasgele dağılırlar. Rezidü grafikleri üç grupta toplanabilir;

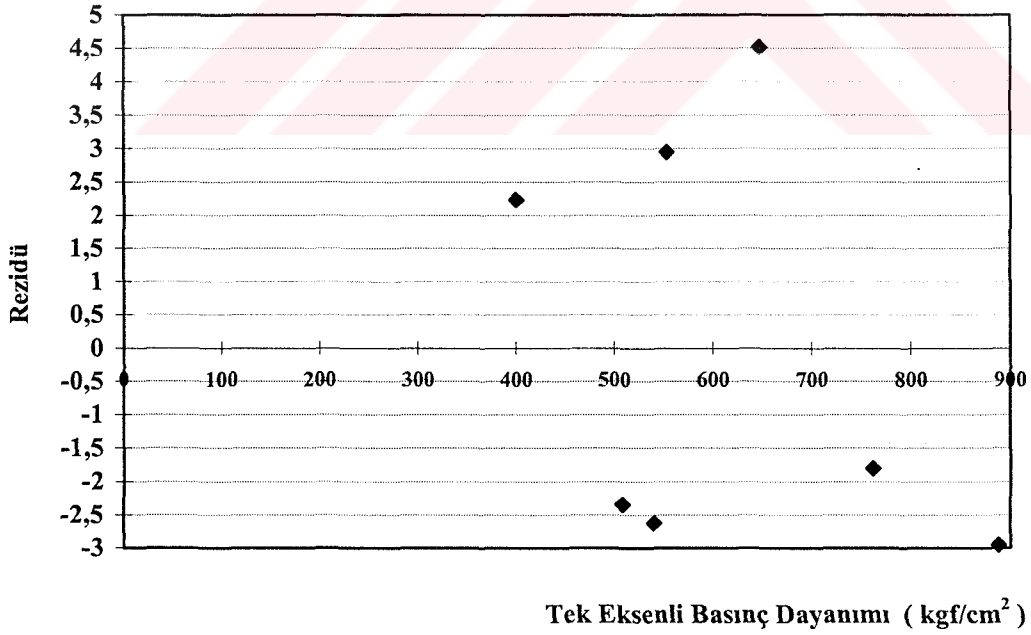
- * Bağımlı değişkenin rezidü grafiği
- * Bağımsız değişkenlerin rezidü grafikleri
- * Rezidülerin normal olasılık grafiği

Bağımlı değişken kesme kuvveti için; rezidü grafiği Şekil 11.23 'te, bağımsız değişkenlerden yalnızca tek eksenli basınç dayanımının ise Şekil 11.24 'te görüldüğü gibi rezidüler sıfır doğrultusu etrafında rasgele dağılmaktadır.

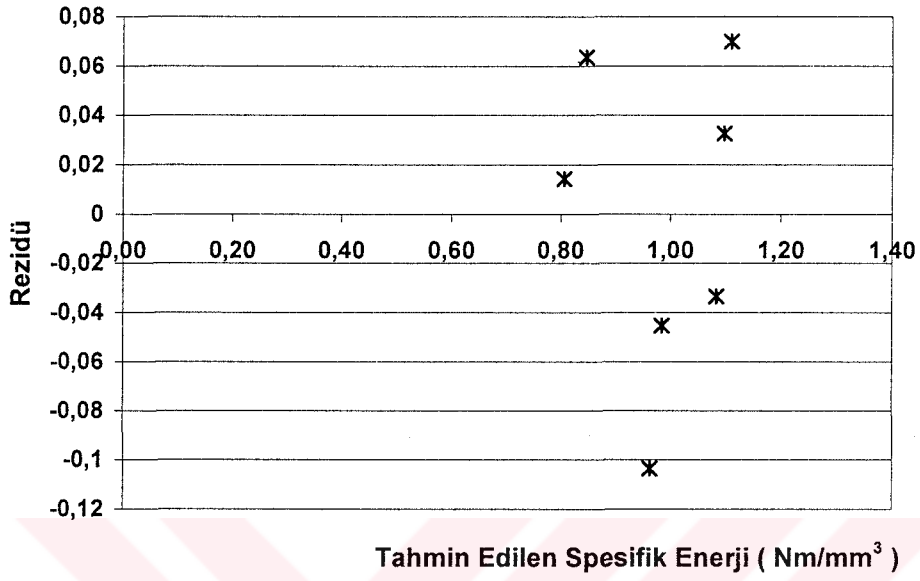
Bağımlı değişken spesifik enerji için; rezidü grafiği Şekil 11.25 'te, bağımsız değişkenlerden yalnızca indirekt çekme dayanımının ise Şekil 11.26 'da görüldüğü gibi rezidüler sıfır doğrultusu etrafında rasgele dağılmaktadır.



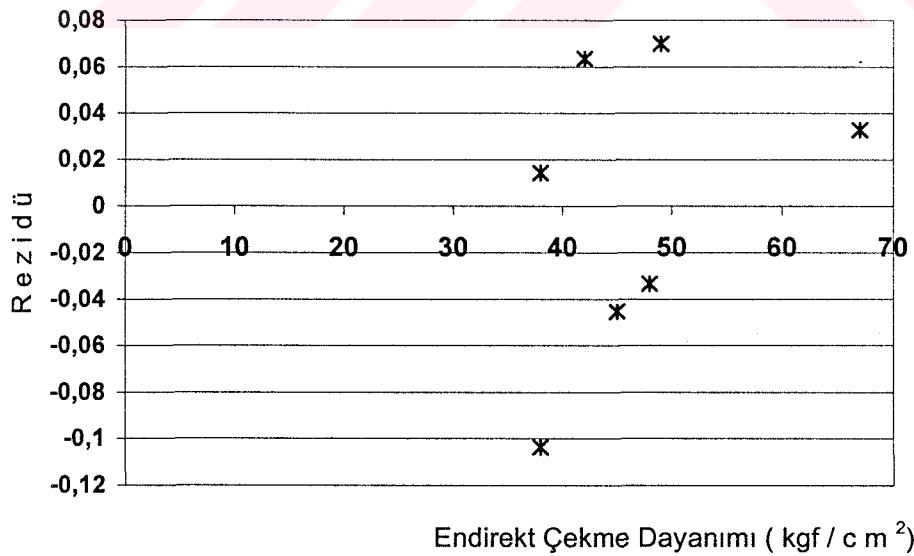
Şekil 11.23. (11.3) nolu denklemin tahmin edilen kesme kuvveti için rezidü grafiği.



Şekil 11.24. (11.3) nolu denklemin tek eksenli basınç dayanımı için rezidü grafiği.



Şekil 11.25. (11.5) nolu denklemin tahmin edilen spesifik enerji için rezidü grafiği.



Şekil 11.26. (11.5) nolu denklemin endirekt çekme dayanımı için rezidü grafiği.

12. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Laboratuvar ölçekli ve tam otomasyonel olarak kurulan bir diskli kesici ile *hakiki mermerler* grubuna giren 7 farklı mermer örnekleri üzerinde kesme deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada belirlenen uygun kesme şartları altında aşağıda değinilen genel sonuçlar elde edilmiştir.

Deneylerde, kesme derinliğinin artması ile birlikte normal kuvvetin teğetsel kuvvete göre daha fazla arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni testerenin kayaca batırılabilmesi ve elde edilen kesme derinliğinin korunabilmesi için daha fazla normal kuvvete (baskı) gereksinim olduğu şeklinde açıklanabilir.

Birim zamanda kesilen alanın arttırılabilmesi için, kesme derinliği yerine testerenin kayaç içerisindeki ilerleme hızının arttırılmasıyla bunun sağlanabileceği anlaşılmıştır. Pratikte, sert kayaçların (granit, gabro, diyabaz, siyenit vb.) kademeli olarak kesilmesi yukarıdaki bulguyu desteklemektedir.

Yapılan kesme deneyleri sonucunda, kesimi yapılan mermer türleri için geçerli olmak üzere kesme derinliğinin artmasıyla birlikte spesifik enerjinin azaldığı, fakat bu azalmanın yaklaşık 50 - 70 mm' lik kesme derinliğinden sonra belirgin bir değişiklik göstermediği gözlenmiştir. Bu nedenle, enerji tüketimi dikkate alındığında, yukarıda anılan kesme derinliği sınırlarında laboratuvar ölçekli araştırmalar için uygun bir değer olarak alınabileceği görüşü getirilmiştir.

Hakiki mermerler üzerinde yapılan laboratuvar çalışmalarında çevresel hız için 65 m/sn' nin uygun bir değer olacağı anlaşılmıştır. Birim zamanda kesilen miktar sabit tutulduğunda çevresel hızın artması ile birlikte enerji tüketiminin azalmakta olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada, açıklanan istatistiksel yöntemle kayaç kesilebilirlik tahmini, denenen örnek sayısının az olmasına rağmen istatistiksel ilişkilerin kuvvetli ve anlamlı olması dolayısıyla güvenilirlik sınırları içerisinde yapılabileceği anlaşılmıştır.

Deneyleri yapılan mermer türleri için geçerli olmak üzere, oluşturulan çok değişkenli regresyon denklemlerinde kesme kuvvetinin Cerchar aşınma indeksi, NCB konik delici sertlik indeksi, Mohs sertlik indeksi, ortalama kalsit tane boyutu, Shore scleroscope sertlik indeksi ve Knoop sertlik indeksi yardımıyla istatistiksel olarak yüksek güvenilirlikte kestirilebileceği (tahmin edilebileceği) anlaşılmıştır. Bağımsız değişken sayısı azaltıldığında, kesme kuvvetinin Cerchar aşınma indeksi, NCB konik delici sertlik indeksi ve Endirekt çekme dayanımı yardımıyla güvenilir olarak kestirilebileceği gösterilmiştir.

Yapılan çok değişkenli regresyon analizinde spesifik enerjinin Cerchar aşınma indeksi, Mohs sertlik indeksi, NCB konik delici sertlik indeksi, ortalama kalsit tane boyutu, Knoop sertlik indeksi ve Schmidt çekici sertlik indeksi yardımıyla yüksek güvenilirlikte kestirilebileceği anlaşılmıştır. Bağımsız değişken sayısı azaltıldığında spesifik enerjinin göz önüne alınan bağımsız değişkenler yardımıyla istatistiksel anlamda güvenilir olarak kestirilemeyeceği görülmüştür.

Genel olarak *hakiki mermerler* grubunda kayaç kesimini etkileyen parametrelerin kayacın genel yüzey sertliği, endirekt çekme dayanımı ve ortalama kalsit tane boyutu olduğu yapılan regresyon analizleri sonucu görülmüştür. Endirekt çekme dayanımı ve Cerchar aşınma sertlik indeks değerleri düşük ve ortalama tane boyutu küçük olan mermerler kolay kesilebilirken, Endirekt çekme dayanımı ile içerisinde kuvars minerali bulunması nedeniyle Cerchar aşınma sertlik indeksi değerleri yüksek ve ortalama kalsit tane boyutu iri olan mermerlerin kesilmesinin zor olacağı düşünülebilir.

Örnekleme yapılan her kayacın kesilebilirliği ayrı - ayrı değerlendirilecek olursa;

Muğla Beyaz mermerinin Endirekt çekme dayanımı, Shore scleroscope, Cerchar aşınma ve Mohs sertlik indeksleri örnekler içinde en düşük değerdir. Bu nedenle düşük kesme kuvvetine ihtiyaç duyulduğu söylenebilir. Ancak, ortalama kalsit tane boyutlarının görece iri olması yanı sıra, NCB konik delici ve Knoop sertlik indeksleri ile Tek eksenli basınç dayanımı kolay kesilebilen diğer kayalara göre bir miktar yüksek olduğu görölmektedir.

Uşak Yeşil mermerinde ise, ortalama kalsit tane boyutu, NCB konik delici, Cerchar aşınma sertlik indeksleri ve Endirekt çekme dayanımı oldukça düşük değerlerdir. Bu nedenlerden dolayı, bu kayacın görece kolay kesilebildiği söylenebilir. Aynı zamanda, mineralojik yapısında kuvars ve epidot minerallerinin varlığı Shore scleroscope, Schmidt çekici, Knoop sertlik indeks değerleri ile Tek eksenli basınç dayanımı kolay kesilebilen diğer kayalara oranla büyük çıkmıştır.

Uşak Gri mermerinde, Muğla Beyaz ve Uşak Yeşil mermerine göre daha fazla kesme kuvvetine ihtiyaç göstermesine rağmen, kesimi kolay bir kayaktır. Tek eksenli basınç dayanımı, Endirekt çekme dayanımı, Shore scleroscope, NCB konik delici, Cerchar aşınma, Knoop sertlik indekslerinin görece düşük olması kolay kesilme nedenini açıklamakla birlikte ortalama kalsit tane boyutunun Muğla Beyaz ve Uşak Yeşil mermerine oranla iri olmasından dolayı Schmidt çekici sertlik indeksi değerı görece yüksek çıkmıştır.

Afyon Çizgili Şeker mermerinde ise, Tek eksenli basınç dayanımı, Endirekt çekme dayanımı, Cerchar aşınma sertlik indeksi

değerleri örneklenen diğer kayaçlar içerisinde daha yüksek olması kayaç kesimini görece zorlaştırmaktadır. Ancak, Shore scleroscope, NCB konik delici, Knoop sertlik indeksi değerleri düşük olması dikkat çekicidir.

Manyas Beyaz mermerinde, Tek eksenli basınç dayanımı en düşük değerdir. Ancak, ortalama kalsit tane boyutunun , Shore scleroscope, NCB konik delici sertlik indeksleri ve Endirekt çekme dayanımı değerlerinin oldukça yüksek olması bu kayacın diğerlerine oranla zor kesilmesine neden olduğu söylenebilir. İnce kesit incelemeleri dikkate alındığında mineral bağlarının görece zayıf çatlaklı olması, Tek eksenli basınç dayanımı, Cerchar aşınma, Knoop, Schmidt çekici sertlik indeksi değerlerinin düşük çıkmasına neden olmaktadır. Bu kayaç kesiminde tabakalanma dikkate alınmalı ve kesim yönü buna göre belirlenmelidir, darbelere karşı dayanımsız ve kenar - köşeleri çabuk kırılabilmektedir.

Afyon Kaplan Postu mermerinde, tüm parametreler diğer kolay kesilen kayaçlara oranla oldukça yüksek çıkmıştır. İçerisinde az miktarda bulunan kuvars minerallerinin varlığı sertliği arttırıcı unsurdur. Ancak, Cerchar aşınma sertlik indeksi değeri diğerleri gibi normal olduğu fark edilmektedir. Ayrıca, tanelerin oldukça sıkı kenetlenmesi de kesimi zorlaştırıcı bir etkidir.

Kütahya Menekşe mermerinde ise, tüm parametreler örnekleme yapılan kayaçlar içerisinde en yüksektir. Ayrıca, bu kayacın Ortalama kalsit tane boyutu Manyas Beyaz mermeri haricinde diğer kayaçlara oranla daha iridir. Fiziko - mekanik dayanım değerlerinin yüksek olmasından dolayı da kesilebilirliği oldukça zorlaşmakta ve aşındırıcı özellik göstermektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda dikkate alınması gereken konular ve geliştirilebilecek yeni çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

* Yapı ve kaplama malzemesi olarak kullanılabilen kayaç gruplarının kesilebilirliğine ilişkin çalışmalar, mağmatik kökenli sert ve aşındırıcı kayaçlar için daha önce yapılırken bu çalışma ile de hakiki mermerler grubu tanımlanmıştır. Ancak, kireçtaşları ile travertenler - oniksler gibi gruplara ait henüz bu düzeyde bir çalışma yapılmadığı görülmektedir. Bu gruplara ait kesme deneyleri ve kayaç özellikleri araştırmaları dikkate alınarak, çok değişkenli regresyon analizleri yardımıyla pratik kesilebilirlik tahminleri yapılabilir. Bu çalışmalar, bu yöndeki büyük eksikliği dolduracaktır.

* Tabakalı yapı gösteren sedimanter kayaçların, tabaka yönlerine göre farklı açılardan yapılacak kesme deneyleri ile en verimli kesme açısının saptanması mümkündür. Böylece, en uygun kesme açısı ve en kısa zamanda, en az enerji tüketimi ile yüksek üretim miktarları elde edilebilir.

* Kesme işlemini etkileyen en önemli konulardan birisi de uygun testere seçimidir. Bunun için, her mermer cinsinde uygun çalışma koşullarında, önerilen farklı karakterde (elmas cinsi, elmas tane boyutu, elmas konsantrasyonu, matriks malzemesinin cinsi, tane boyutları % miktarları, sinterleme koşulları) üretilmiş testerele kesme deneyleri yapılarak, en uygun testerenin seçilmesi yönünde çalışmalar yapılmalıdır. Bu sayede, gereksiz ve yanlış testere kullanımı önlenmiş, üretim miktarı da arttırılmış ayrıca, kesme zorlukları nedeniyle atıl olarak kalan rezervler de ekonomiye kazandırılmış olacaktır.

* Bu çalışmada, kesme yönüne dik aksenal kuvvetin kesme prosesi ve kesici seçimindeki rolü üzerine ayrıntılı analiz yapılmamış olup, ileriki çalışmalarda bu konuya değinilmesi uygun olacaktır.

* Teknolojinin hızlı gelişimine paralel olarak otomasyon sistemlerinin endüstriyel boyutlarda kullanımları artmakta ve yaygınlaşmaktadır. Bu sayede operatör müdahalesine gerek kalmaksızın, makine çalışma büyüklükleri sürekli endüstriyel bilgisayarlar tarafından düzenlenmelidir. Blok kesme makinalarının (S/D), düşey disklerinin çevresel hızları halen kayış - kasnak sistemleri ile düzenlenilmektedir. İstenilen kademe aralıklarının her zaman düzenlenilememesi sorunu, ancak AC elektronik hız kontrol üniteleri (inverterler) kullanılarak çözülebilecektir. Halen bu iş için kullanılabilir inverterlerin oldukça pahalı (yaklaşık makina fiyatının % 20 'si kadar) olması ve büyük alan kaplaması nedeniyle kullanımları henüz yoktur. Teknolojinin gelişimine paralel olarak fiyatlarda azalma görüldüğü durumlarda, bunların endüstriyel boyutlarda kullanımı da oldukça kolaylaşacaktır.

*Katraklar gibi lamalarla kesim yapan makinaların, elmas tel kesme makinaları gibi ocak makinalarının çalışma büyüklüklerinin belirlenmesi ve kesme kinematiklerinin açıklanmasına yönelik bilimsel bir çalışmaya rastlanmamış olup, bu konuda büyük eksiklikler hissedilmektedir.

* Kesilebilirliği ifade edebilecek ve daha kolay uygulanabilecek deney yöntemlerinin geliştirilmesi mümkündür. Özellikle kesilebilirlik ile kayacın yapısında oluşan kırılmaların ve kopmaların nasıl olarak oluştuğu ve kesme kuvvetinin kayacın hangi içsel parametrelerin bağlı olduğu ve bunun matematiksel eşitlik haline getirilmesi yönünde çalışmaların da yapılması gerekmektedir.

* Zıt yönlü kesme yöntemi, özellikle sert kayalar için alternatif bir çözüm olarak görülmekle birlikte, pratikte bu tür kesme yöntemi kullanılmamaktadır. Bu yöntem sayesinde kesici ömrü ve verimliliğinin arttırılması mümkün görülmektedir. Gelecekte magmatik kökenli sert kayalar için zıt yönlü kesme yönteminin uygulanması ile ilgili bilimsel deneylerin yapılarak endüstriyel hayata aktarılması mümkündür.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akkurt, M., 1996, “ Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları ”, Birsen Yayınevi, 348 sf, İstanbul.
- Baydur, G., 1989, “ Malzeme ”, Türk Hava Kurumu Basımevi, 406 sf, Ankara.
- Bienert, P., 1978, “ Kreissägen von Beton mit Diamantwerkzeugen ”, Dr. - Ing. Dissertation, Universität Hannover, Deutschland.
- Bilgin, N., 1989, “ İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği ”, Birsen Yayınevi, 192 sf, İstanbul.
- Bozkurt, R., 1989, “ Mermer ve Elmas Tel Kesme ile Ocak İşletmeciliği ”, Anadolu Üniversitesi M.M.F. Yayını, Yayın No:98, 83 sf, Eskişehir.
- Bruins - Drager, 1972, “ Werkzeuge und Werkzeugmaschinen ”, Carl Hanser Verlag, München.
- Buttner, A., 1974, “ Diamond Tools and Stone ” Industrial Diamond Review, pp 75 - 79.
- Cassapi, V. B., 1987, “ Application of rock hardness and abrasive indexing to rock excavating equipment selection ” Ph. D. Thesis, University of Nottigham, p. 362, U.K.
- Dennis, P., Schmieden, W. V., 1989, “ Präzisionsbearbeitung mit vorgespannten Diamantwerkzeugen ”, Werkstattstechnik 79, Nr 1, S 80 ff.
- Diamond Board , “ Elmas ekipmanları kullanım kılavuzu ”
- Ersümer, A., 1969, “ Toz Metalujisi ”, 277 sf, İstanbul.
- Ertinghausen, W., 1985, “ Zerspannung von Granit mit Diamanttrennschleifscheiben ”, Dr.-Ing.Dissertation, Universität Hannover, Deutschland.
- Ferronato, S., 6/1988, “ Increasing Use of Flexible Diamond Tools ”, Industrial Diamond Review, S 261 ff.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Göktan, R. M., 1992, “ Kayaç kırılma oranı ve darbeli delme performans analizlerinde kullanılabilirliği ”, Anadolu Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, C. VIII , S 1, 88-99 sf, Eskişehir.
- Hafner, T., 1991, “ Lärmgedämpfte Hartmetallsägeblätter für Stahlbearbeitung ”, Stahl und Eisen, Nr 10, Seite 95, Deutschland.
- ISRM, 1978, “ Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness of Rocks ”, Int. J. Rocks Mech. Min. Sci. And Geomechanics, Abstract, V. 15, p. 89 - 98.
- İnal, H. C., Günay, S., 1982, “ Olasılık ve Matematiksel İstatistik ”, Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi Basımevi, 468 sf, Ankara.
- İstanbul Metal ve Maden İhracatçılar Birliği, 1994, “ Türkiye Mermerleri ”, Sanat Matbaacılık A.Ş., 193 sf, İstanbul.
- İstanbul Metal ve Maden İhracatçılar Birliği, 1998, “ 1997 Yılı Çalışma Raporu ”, Mart Matbaacılık San. Ltd. Şti., 45 sf, İstanbul.
- İşçil, N., 1977, “ Örneklem Yöntemleri ”, Kalite Matbaası, 242 sf, Ankara.
- Kahraman, S., 1997, “ Açık işletmelerde optimum delme - patlatma şartlarını veren bir modelin geliştirilmesi ” Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 210 sf, İstanbul.
- Karagöz, Ş., Zeren, M., 1996, “ The microstructural design of the diamond cutting tools ”, 1.st International Powder Metallurgy Congress, Gazi University, p 459, Ankara.
- Konstanty, J., 1991, “ The materials science of stone sawing ”, Industrial Diamond Review, No 542, p 27.
- Köksal, B. A., 1985, “ İstatistik Analiz Metotları ”, Çağlayan Kitapevi, 530 sf, İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Köse, H., 1993, “ Kaya Mekaniği ”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 274 sf, İzmir.
- Lee, P. W., (Editor), 1984, “ Metall Handbook - Powder Metalurgy ”, 9. Ed., V 7, pp 25.1-25.24, American society for Metals, Metal Park, OH., USA.
- Lutz, G., 1978, “ Einfluß der Schnittgeschwindigkeit beim Sägen von Hartgestein ”, Steinkolloquium, IFW Eigenverlag, S 63 ff, Hannover.
- Malkin, S., 1989, “ Grinding Technology - Theory and Application of Machining with Abrasives ” Chichester.
- Nord Deutsche Affinerie, 1986, “ Metall Pulver ”, Brillant Ofset, S 176, Hamburg.
- Pai, D. M., 1987, “ A fundamental study on the diamond sawing of rock ” Ph. D. Thesis, Arizona State University, USA.
- Palovchik, S. T., 1975 “ Das Sägen von bewehrtem Beton mit Diamantsägeblättern ”, Concret and Drilling Association, New Orleans.
- Purtscheller, F., Hausberger , P., 115/1991, “ Bearbeitungsverhalten von Naturstein beim Sägen mit Diamant ”, Schleifen und Trennen, Seite 4 - 11, Deutschland.
- Reed, J. R., 1973, “ Applying metal bond diamond blades - art or science ? ” Industrial Diamond Review, pp. 291 - 296.
- Reichard, A., 1978, “ Fertigungstechnik 1 ” Handverk u. Technik Verlag, Deutschland.
- Saçkan, A. H., 1981, “ Elektrik makinaları - III ”, Milli Eğitim Basımevi, 246 sf, İstanbul.
- Salje, E., 1968, “ Elemente der Spanende Werkzeugmaschinen ”, Carl Hanser Verlag, München.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Schajer, L., 1989, " Circular saw tensioning - what it is, why it matters ", World Wood, No. 5, p. T14/T16.
- Show, M. C., 1982, " Tool Materials ", Oxford series on advanced, Manufacturing 3, pp 333-367, U.K.
- Sonmak A.Ş. , " Elmas ekipmanları kullanım kılavuzu "
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, İ., Sarıışık, A., 1996, " Mermer Teknolojisi " Tuğra Ofset, 242 sf, Isparta.
- Texier, C., 1923, " Küçük Asya ", 378 sf, İstanbul
- Tobias, S. A., 1965, " Machine tool vibration ", Blackie & Son Ltd., London.
- Tönshoff, H. K., 1978, " Zur theorie der Steinbearbeitung " Steinkolloquium, IFW Eigenverlag, S 52, Hannover.
- Tönshoff, H. K., Schulze, R., 13/1979, " Kräfte und Verschleiß bei der Bearbeitung von Hartgestein ", Industrie Diamanten Rundschau, Nr 1, Seite 14, Deutschland.
- Tönshoff, H. K., Münz, U. V., Ahlborn, D., Przywara, R., 1/1993, " Schwingungsvorgänge beim Trennschleifen von Gestein ", S 15, Industrie Diamanten Rundschau.
- Tönshoff, H. K., Wobker, H. G., Przywara, R., 3/1993, " Das Arbeitsverhalten von Werkzeugen zum Trennschleifen von Gestein ", S 198-205 ff, Industrie Diamanten Rundschau.
- Tönshoff, H. K., Buchholz, W., Przywara, R., 3/1994, " Bandschleifen von Gestein mit Diamantwerkzeugen ", S 165-169, Industrie Diamanten Rundschau.
- TS 699, 1978, "Doğal Yapı Taşlarının Muayane ve Deney Metotları ", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Witte, H., 1972, " Werkzeugmaschinen ", Vogel Verlag, Würzburg.
- Uygur, E. M., 1984, " Alümina asıllı seramik kesicilerin üretimi ", Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, S 299 - 306 , İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Uygur, E. M., 1984, “ Seramik metal (sermet) kesici uçların sıcak presleme yöntemiyle üretimi ”, Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, S 307- 314 , İstanbul.
- Ünver, B., 1992, “ Kayaların testerele kesilebilirliğinin pratik olarak belirlenebilmesi için istatistiksel bir yaklaşım ”, Madencilik Dergisi, V XXXI, No 3, S 17 -25, Ankara.
- Ünver, B., 1996, “ A statistical method for practical assessment of sawability of rocks ”, Eurock'96 ISRM International Symposium, pp 59-65, Torino.
- Wobker, H., 1991, “ Schleifen keramische Schneidstoffe ”, Dr.-Ing. Dissertation, Universität Hannover, Hannover.
- Wobker, H. G., Przywara, R., 1994, “ Trennschleifen von Beton und Naturstein ”, Bauverfahrenstechnik, Februar, S 9 - 13.
- Wright, D. N., Jennings, M., 2/1989, “ Guidelines for sawing stone ” Industrial Diamond Review, pp 70 -75.
- Zsolnay, L. M., 3/1977, “ Selection of diamonds for segmental saws ”, Industrial Diamond Review, No 444, p 382.

172

ÖZGEÇMİŞ

1970' de Bolvadin' de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Afyon'da tamamladı. 1992' de Anadolu Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Maden Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Anadolu Üniversitesi Fen Bil. Enst. Maden İşletme Anabilim Dalında master öğrenimine başladı. 1994' te “ Mermer İşleme Tesisleri Atıksularının Arıtılması ” konulu tezini tamamlayarak Yüksek Mühendis oldu. Master öğrenimi boyunca özel bir mermer işletmesinde maden mühendisi olarak görev yaptı. 1994 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Afyon Meslek Yüksek Okulu Mermer Programında Öğretim Görevlisi olarak akademik hayata girdi. Aynı yıl Osmangazi Üniversitesi Fen Bil. Enst. Maden İşletme Anabilim Dalında doktora öğrenimine başladı. 1997 Türkiye II. Mermer Sempozyumu Düzenleme Kurulu'nda görev aldı. Halen evli olup, TMMOB Maden Müh. Odası Afyon İl Temsilci Yardımcısıdır.