

**BAZI TÜRK MERMERLERİNİN TR-I KIRILMA TOKLUĞU  
İLE ELMAS TELLİ KESME MAKİNELERİNİN  
PERFORMANSI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ANALİZİ**

**ANALYSIS OF RELATIONSHIPS BETWEEN MODE-I  
FRACTURE TOUGHNESS OF SOME OF THE TURKISH  
MARBLES AND PERFORMANCE OF DIAMOND WIRE  
CUTTING MACHINES**

**ULAŞ SÖNMEZ**

**Prof. Dr. YILMAZ ÖZÇELİK**  
**Tez Danışmanı**

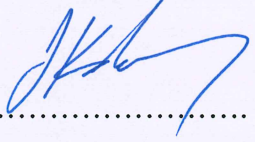
Hacettepe Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim – đretim ve Sınav Yönetmeliđinin  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı İçin ngrdđ  
YÜKSEK LİSANS Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır.

2018

**ULAŞ SÖNMEZ**'in hazırladığı “**Bazı Türk Mermerlerinin Tür-I Kırılma Tokluğu İle Elmas Telli Kesme Makinelerinin Performansı Arasındaki İlişkilerin Analizi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

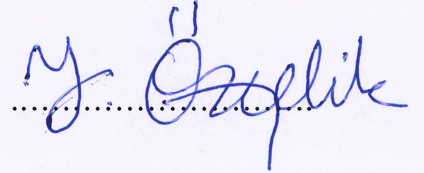
Prof. Dr. Sair KAHRAMAN

Başkan



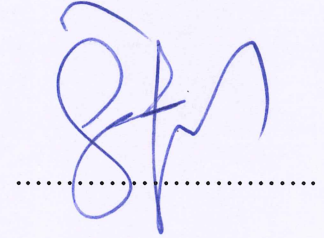
Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK

Danışman



Doç. Dr. İrfan Celal ENGİN

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/~~raporumun~~ tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- ☒ **Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

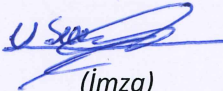
- ☐ **Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- ☐ **Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

- ☐ **Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

29 / 05 / 2018

  
(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı

ULUŞ SÖNMEZ



## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

29 / 05 / 2018



Ulaş SÖNMEZ

## ÖZET

### **BAZI TÜRK MERMERLERİNİN TÜR-I KIRILMA TOKLUĞU İLE ELMAS TELLİ KESME MAKİNELERİNİN PERFORMANSI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ANALİZİ**

**ULAŞ SÖNMEZ**

**Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. YILMAZ ÖZÇELİK**

**Mart 2018, 90 sayfa**

Bu çalışmada, ülkemizin farklı doğal taş ocaklarından seçilen 6 farklı mermerin (4 hakiki mermer, 2 kireçtaşı) tür-I kırılma tokluğu değerleri ile tektelli kesme makinesi (monotel) ve elmas telli kesme makinesinin performans parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Tür-I kırılma tokluğu değerlerini belirlemek için yarım-dairesel eğilme (SCB) test metodu kullanılmıştır. Performans parametreleri olarak tektelli kesme makinesi için birim aşınma ve birim enerji, elmas telli kesme makinesi için ise kesim hızı ve birim aşınma değerleri kullanılmıştır. Ayrıca mermerlerin fiziko-mekanik özellikleri belirlenerek, bu özellikler ile kırılma tokluğu ve performans parametreleri arasındaki ilişkiler de araştırılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, kırılma tokluğu ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasında  $R=0,91$ 'lik logaritmik bir ilişki, birim aşınma ile arasında ise  $R=0,56$ 'lık doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir. Kırılma tokluğu ile elmas telli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasında  $R=0,54$ 'lık doğrusal, kesim hızı ile arasında ise ters yönlü  $R=0,52$ 'lik doğrusal bir ilişki bulunmuştur.

Çalışmada kullanılan mermerlerin mekanik özelliklerinden shore sertlik indeksi, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, böhme yüzey aşınma dayanımı ve kırılma tokluğu ile elmas telli kesme makinelerinin performans parametreleri

arasında yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Benzer şekilde, kırılma tokluğu ile diğer mekanik özellikler arasında da anlamlı ilişkiler elde edilmiştir.

Bununla birlikte, elmas telli kesme makinelerinin performans parametreleri ile mermerlerin fiziksel özellikleri arasında ise birim hacim ağırlık hariç diğerlerinde düşük korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Ayrıca, kırılma tokluğu ile mermerlerin fiziksel özellikleri arasındaki tek anlamlı ilişki, birim hacim ağırlık ile elde edilmiştir.

Sonuç olarak, tür-I kırılma tokluğu değerlerinin madencilik sektöründe kullanımı hızla artan elmas telli kesme makinelerinin performans parametrelerinin güvenilir olarak tahmin edilmesinde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kırılma tokluğu, mermer, yarım dairesel eğilme, monotel, elmas telli kesme makinesi, fiziko-mekanik özellikler

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF RELATIONSHIPS BETWEEN MODE-I FRACTURE TOUGHNESS OF SOME OF THE TURKISH MARBLES AND PERFORMANCE OF DIAMOND WIRE CUTTING MACHINES**

**ULAŞ SÖNMEZ**

**Master of Science, Department of Mining Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. YILMAZ ÖZÇELİK**

**MARCH 2018, 90 pages**

In this study, relationships between mode-I fracture toughness values of 6 different marbles (4 real marble, 2 limestone) selected from different natural stone quarries of Turkey and performance parameters of monowire cutting machine (monowire) and diamond wire cutting machine were analyzed. Semi-circular bending (SCB) test method was used in order to determine mode-I fracture toughness values. As performance parameters, unit wear and unit energy for the monowire cutting machine; unit wear and cutting speed for the diamond wire cutting machine were used. And beside that, the physico-mechanical properties of marbles were determined and relationships between these properties and both fracture toughness values and performance parameters were also investigated.

With the help of the results obtained from these investigations, a logarithmic relationship with a coefficient of correlation of 0,91 between the fracture toughness and unit energy, which is the performance parameters of the monowire cutting machine, was determined. It was also found out that there is a linear relationship

with a coefficient of correlation of 0,56 between the fracture toughness and unit wear, which is the other performance parameter of the monowire cutting machine.

When the relationships between the performance parameters of diamond wire cutting machine and fracture toughness were examined, it was determined that there is a linear relationship with a coefficient of correlation of 0,54 with the unit wear; and an inverse linear relationship with a coefficient of correlation of 0,52 with cutting speed.

It was found that there are relationships with high correlation coefficient between the mechanical properties of the marbles used in the study, which are shore hardness index, uniaxial compressive strength, indirect tension strength, bohme surface abrasion strength, fracture toughness and the performance parameters of diamond wire cutting machines. Similarly, meaningful relationships between fracture toughness and other mechanical properties were also obtained.

Furthermore, relationships with low correlation coefficient between the performance parameters of the diamond wire cutting machines and the physical properties of the marbles were obtained except for the unit volume weight analysis. Likewise, the only meaningful correlation between fracture toughness and physical properties was obtained from the unit volume weight analysis.

As a result, it has been demonstrated that the mode-I fracture toughness values can be used in reliably predicting the performance parameters of diamond wire cutting machines, which are increasingly used in the mining industry.

**Keywords:** Fracture toughness, marble, semi-circular bending, diamond wire cutting machine, monowire, physico-mechanical properties



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında bilgi ve deneyimlerini bana aktaran, araştırma olanaklarını sağlayan tez danışmanım Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK'e,

Bölümün laboratuvar ve diğer imkanlarından faydalanmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Zafir Ekmekçi'ye,

Çalışmam süresince deneysel çalışmalarda ve tezin yazım aşamasında sağladığı katkılardan dolayı Dr. Öğr. Üyesi Emre YILMAZKAYA'ya,

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nün laboratuvar ve diğer imkanlarından faydalanmamı sağlayan başta Prof. Dr. Celal KARPUZ olmak üzere, bölümün diğer teknik ve akademik personeline,

Çalışmam süresince sınırsız maddi ve manevi destek gösteren ve her zaman yanımda olan aileme,

Bu çalışmada emeği geçen ismini sayamadığım herkese,

Teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖZET .....                                                                       | i   |
| ABSTRACT .....                                                                   | iii |
| TEŞEKKÜR .....                                                                   | v   |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                | vi  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                          | ix  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                            | xi  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                                    | xv  |
| 1. GİRİŞ .....                                                                   | 1   |
| 1.1. Çalışmanın Amacı .....                                                      | 2   |
| 1.2. Metodoloji .....                                                            | 2   |
| 1.3. Tezin İçeriği .....                                                         | 3   |
| 1.4. Literatür İncelemesi .....                                                  | 4   |
| 2. ELMAS TELLİ KESME MAKİNELERİ .....                                            | 8   |
| 2.1. Elmas Telli Kesme Makineleri Çeşitleri .....                                | 10  |
| 2.1.1. Tektelli Kesme Makineleri (Monoteller) .....                              | 10  |
| 2.1.2. Çoklu Elmas Telli Kesme Makineleri .....                                  | 11  |
| 2.1.3. Raylı veya Tekerlekli Elmas Telli Kesme Makineleri .....                  | 13  |
| 3. KIRILMA TOKLUĞU .....                                                         | 14  |
| 3.1. Kırılma Mekaniği ve Gelişimi .....                                          | 14  |
| 3.1.1. Gerilme Şiddet Faktörü ve Kırılma Tokluğu .....                           | 16  |
| 3.1.2. Lineer Elastik Kırılma Mekaniği ve Elastik Plastik Kırılma Mekaniği ..... | 17  |
| 3.1.3. Kırılma Türleri .....                                                     | 18  |
| 3.1.4. Kırılma Mekaniğinin Kayaçlarda Uygulama Alanları .....                    | 19  |
| 3.2. Kayaçların Tür-I Kırılma Tokluğu Deneyleri .....                            | 19  |
| 3.3. Yarım-Dairesel Eğilme (SCB) Test Metodu .....                               | 21  |

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.1. SCB Numunesi ve Deney Düzeniği .....                                                                                               | 22 |
| 3.3.2. Kırılma Tokluğu Hesaplamaları .....                                                                                                | 24 |
| 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....                                                                                                               | 26 |
| 4.1. Çalışmada Kullanılan Doğal Taşlar ve Hazırlık Çalışmaları .....                                                                      | 28 |
| 4.2. Doğal Taşların Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi.....                                                                       | 29 |
| 4.3. Doğal Taşların Tür-I Kırılma Tokluğu Değerlerinin Belirlenmesi.....                                                                  | 29 |
| 4.3.1. SCB Numunesinin Hazırlanması .....                                                                                                 | 29 |
| 4.3.2. Deney Düzeneğinin Kurulumu .....                                                                                                   | 33 |
| 4.3.3. SCB Numunesinin Kırıldıktan Sonraki Analizi .....                                                                                  | 35 |
| 4.3.4. SCB Numunelerinin Geometrisi.....                                                                                                  | 37 |
| 4.4. Çalışmada Kullanılan Doğal Taşların Tür-I Kırılma Tokluğu Sonuçları.....                                                             | 38 |
| 5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ .....                                                                                                     | 42 |
| 5.1. Elmas Telli Kesme Makinelerinin Performans Parametreleri.....                                                                        | 42 |
| 5.2. Tür-I Kırılma Tokluğu Değerleri ile Elmas Telli Kesme Makinelerinin<br>Performans Parametreleri Arasındaki İlişkilerin Analizi ..... | 43 |
| 5.2.1. Tektelli Kesme Makinesinin Performans Parametreleri ile Tür-I Kırılma<br>Tokluğu Arasındaki İlişkinin Analizi .....                | 43 |
| 5.2.2. Elmas Tel Kesme Makinesinin Performans Parametreleri ile Tür-I<br>Kırılma Tokluğu Arasındaki İlişkinin Analizi .....               | 45 |
| 5.3. Tür-I Kırılma Tokluğu Değerleri ile Fiziko-Mekanik Özellikler Arasındaki<br>İlişkilerin Analizi .....                                | 47 |
| 5.3.1. Tür-I Kırılma Tokluğu Değerleri ile Diğer Mekanik Özellikler Arasındaki<br>İlişkilerin Analizi .....                               | 47 |
| 5.3.2. Tür-I Kırılma Tokluğu Değerleri ile Fiziksel Özellikler Arasındaki İlişkilerin<br>Analizi.....                                     | 50 |
| 5.4. Elmas Telli Kesme Makinelerinin Performans Parametreleri ile Fiziko-<br>Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin Analizi .....      | 52 |
| 5.4.1. Tektelli Kesme Makinesinin Performans Parametreleri ile Fiziko-<br>Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin Analizi .....         | 52 |

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.4.2. Elmas Telli Kesme Makinesinin Performans Parametreleri ile Fiziko-Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin Analizi ..... | 61 |
| 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                                                                                                    | 69 |
| KAYNAKLAR.....                                                                                                                   | 72 |
| EKLER .....                                                                                                                      | 77 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                                                   | 90 |



## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 1. 1 Elmas telli kesme makinelerinde kesme performansına etki eden parametreler.....                                           | 1  |
| Çizelge 3. 1 SCB numunesi için önerilen geometrik boyutlar .....                                                                       | 23 |
| Çizelge 3. 2 Bazı kayaçların SCB metodu kullanılarak elde edilmiş $KIc$ değerleri                                                      | 25 |
| Çizelge 3. 3 Bazı mermerlerin farklı test metotları kullanılarak elde edilmiş $KIc$ değerleri .....                                    | 25 |
| Çizelge 4. 1 Çalışmada kullanılan doğal taşların ticari isimleri .....                                                                 | 28 |
| Çizelge 4. 2 Çalışmada kullanılan doğal taşların fiziko-mekanik özellikleri .....                                                      | 29 |
| Çizelge 4. 3 Muğla Beyaz mermerine ait numunelerin geometrik boyutları .....                                                           | 38 |
| Çizelge 4. 4 Muğla Beyaz mermerinin SCB testi ile elde edilen yenilme yükleri...                                                       | 39 |
| Çizelge 4. 5 Muğla beyaz mermerinin SCB testi ile elde edilen tür-I kırılma tokluğu değerleri.....                                     | 41 |
| Çizelge 4. 6 Çalışmada kullanılan doğal taşların SCB testi ile elde edilen tür-I kırılma tokluğu değerleri .....                       | 41 |
| Çizelge 5. 1 Tektelli (monotel) kesme makinesinin bu çalışmadaki doğal taşlar için optimum koşullardaki performans parametreleri.....  | 42 |
| Çizelge 5. 2 Elmas tel kesme makinesinin bu çalışmadaki doğal taşlar için optimum koşullardaki performans parametreleri.....           | 43 |
| Çizelge 5. 3 Tektelli kesme makinesinin performans parametreleri ile tür-I kırılma tokluğu değerleri.....                              | 44 |
| Çizelge 5. 4 Elmas tel kesme makinesinin performans parametreleri ile tür-I kırılma tokluğu değerleri.....                             | 46 |
| Çizelge 5. 5 Çalışmada kullanılan doğal taşların mekanik özellikleri ile kırılma tokluğu değerleri.....                                | 48 |
| Çizelge 5. 6 Çalışmada kullanılan doğal taşların fiziksel özellikleri ile kırılma tokluğu değerleri.....                               | 50 |
| Çizelge 5. 7 Hakiki mermer ve kireçtaşlarının mekanik özellikleri ve tek telli kesme makinesinin performans parametre değerleri .....  | 53 |
| Çizelge 5. 8 Hakiki mermer ve kireçtaşlarının fiziksel özellikleri ve tek telli kesme makinesinin performans parametre değerleri ..... | 57 |
| Çizelge 5. 9 Hakiki mermer ve kireçtaşlarının mekanik özellikleri ve elmas telli kesme makinesinin performans parametre değerleri..... | 61 |



|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 5. 10 Hakiki mermer ve kireçtaşlarının fiziksel özellikleri ve elmas telli kesme makinesinin performans parametre değerleri..... | 61 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2. 1 Elmas tel kesme yönteminin yanal şematik görünümü .....                                                   | 8  |
| Şekil 2. 2 Elmas telin dizilimi ve parçaları.....                                                                    | 9  |
| Şekil 2. 3 Granit türü sert kayaç kesiminde kullanılan elmas teller .....                                            | 10 |
| Şekil 2. 4 Doğal taş işletmeciliğinde kullanılan tek telli kesme makinesi (monotel)<br>.....                         | 11 |
| Şekil 2. 5 Çoklu elmas telli kesme makinesi.....                                                                     | 12 |
| Şekil 2. 6 Raylı elmas telli kesme makinesi.....                                                                     | 13 |
| Şekil 2. 7 Tekerlekli elmas telli kesme makinesi ve rampalı sayalama makinesi.                                       | 13 |
| Şekil 3. 1 Sünek ve gevrek (kırılgan) kırılma davranışları .....                                                     | 17 |
| Şekil 3. 2 Kırılma türleri .....                                                                                     | 18 |
| Şekil 3. 3 ISRM tarafından önerilmiş karot bazlı kırılma tokluğu numunelerinin<br>bazılarının şematik görünümü ..... | 20 |
| Şekil 3. 4 Karot örneğinden SCB numunesinin hazırlanışı .....                                                        | 22 |
| Şekil 3. 5 SCB örnek geometrisi ve şematik yükleme düzeni .....                                                      | 23 |
| Şekil 3. 6 SCB test metodunun deney düzeniği.....                                                                    | 24 |
| Şekil 4. 1 Çalışma izlenen yöntem ve yapılan çalışmalar .....                                                        | 27 |
| Şekil 4. 2 20cm*20cm*25cm ebatlarında boyutlandırılmış numunelerin bazılarının<br>görünümü .....                     | 28 |
| Şekil 4. 3 Karot alma makinesi ve karotiyer.....                                                                     | 30 |
| Şekil 4. 4 Doğal taşların karot aldıktan sonraki görüntüsü.....                                                      | 30 |
| Şekil 4. 5 Silindirik numuneler ve disk şeklinde dilimlenişi.....                                                    | 31 |
| Şekil 4. 6 Yarım-dairesel numuneler .....                                                                            | 31 |
| Şekil 4. 7 Dairesel testere ve çentikli numune .....                                                                 | 32 |
| Şekil 4. 8 Numune boyutlarının ve çentik kalınlığının belirlenmesi .....                                             | 32 |
| Şekil 4. 9 Yükleme noktalarının işaretlenmesi .....                                                                  | 33 |
| Şekil 4. 10 SCB testi yükleme düzeneği.....                                                                          | 34 |
| Şekil 4. 11 Hidrolik test cihazı (MTS).....                                                                          | 34 |
| Şekil 4. 12 Veri toplama modülü, sisteme bağlı bilgisayar ve genel amaçlı statik<br>veri toplama yazılımı .....      | 35 |
| Şekil 4. 13 SCB numunesinin çentik boyunca kırıdıktan sonraki görünümü .....                                         | 35 |
| Şekil 4. 14 Çatlak düzleminin elektronik kumpas ile çentik düzlemi ile arasında<br>olan mesafesinin ölçülmesi.....   | 36 |

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4. 15 SCB numunelerinin kırıldıktan sonraki görünüşleri .....                                                 | 36 |
| Şekil 4. 16 SCB numunesinin taslağı .....                                                                           | 37 |
| Şekil 4. 17 Muğla Beyaz mermeri için örnek yük-yer değiştirme eğrisi.....                                           | 40 |
| Şekil 5. 1 Tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma ile kırılma tokluğu ilişkisi .....  | 44 |
| Şekil 5. 2 Tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji ile kırılma tokluğu ilişkisi.....   | 45 |
| Şekil 5. 3 Elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma ile kırılma tokluğu ilişkisi ..... | 46 |
| Şekil 5. 4 Elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı ile kırılma tokluğu ilişkisi .....   | 47 |
| Şekil 5. 5 Shore sertlik indeksi ile kırılma tokluğu arasındaki ilişki.....                                         | 48 |
| Şekil 5. 6 TEBD ile kırılma tokluğu arasındaki ilişki .....                                                         | 49 |
| Şekil 5. 7 Dolaylı çekme dayanımı ile kırılma tokluğu arasındaki ilişki .....                                       | 49 |
| Şekil 5. 8 BYAD ile kırılma tokluğu arasındaki ilişki .....                                                         | 50 |
| Şekil 5. 9 BHA ile kırılma tokluğu değerleri arasındaki ilişki .....                                                | 51 |
| Şekil 5. 10 ASE ile kırılma tokluğu arasındaki ilişki .....                                                         | 51 |
| Şekil 5. 11 GG ile kırılma tokluğu arasındaki ilişki .....                                                          | 52 |
| Şekil 5. 12 SSİ ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki .....    | 53 |
| Şekil 5. 13 SSİ ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasındaki ilişki .....    | 54 |
| Şekil 5. 14 DÇD ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki.....     | 54 |
| Şekil 5. 15 DÇD ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasındaki ilişki .....    | 55 |
| Şekil 5. 16 TEBD ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki.....    | 55 |
| Şekil 5. 17 TEBD ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasındaki ilişki.....    | 56 |
| Şekil 5. 18 BYAD ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki.....    | 56 |
| Şekil 5. 19 BYAD ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden..                                      | 57 |
| birim enerji arasındaki ilişki.....                                                                                 | 57 |

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5. 20 BHA ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki .....  | 58 |
| Şekil 5. 21 BHA ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasındaki ilişki.....   | 58 |
| Şekil 5. 22 ASE ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki .....  | 59 |
| Şekil 5. 23 ASE ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasındaki ilişki .....  | 59 |
| Şekil 5. 24 GG ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki .....   | 60 |
| Şekil 5. 25 GG ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasındaki ilişki .....   | 60 |
| Şekil 5. 26 SSİ ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki.....  | 62 |
| Şekil 5. 27 SSİ ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden.. kesim hızı arasındaki ilişki ..... | 62 |
| Şekil 5. 28 DÇD ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki.....  | 63 |
| Şekil 5. 29 DÇD ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasındaki ilişki .....   | 63 |
| Şekil 5. 30 TEBD ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki..... | 64 |
| Şekil 5. 31 TEBD ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasındaki ilişki .....  | 64 |
| Şekil 5. 32 BYAD ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki..... | 65 |
| Şekil 5. 33 BYAD ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasındaki ilişki .....  | 65 |
| Şekil 5. 34BHA ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki.....   | 66 |
| Şekil 5. 35 BHA ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasındaki ilişki .....   | 66 |
| Şekil 5. 36 ASE ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki.....  | 67 |

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5. 37 ASE ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasındaki ilişki.....  | 67 |
| Şekil 5. 38 GG ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki..... | 68 |
| Şekil 5. 39 GG ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasındaki ilişki.....   | 68 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|            |                                                                              |
|------------|------------------------------------------------------------------------------|
| $\sigma_f$ | = Kırılma gerilmesi                                                          |
| $\gamma$   | = Yüzey enerjisi                                                             |
| $E$        | = Elastisite modülü                                                          |
| $\alpha$   | = Çatlak boyunun yarısı                                                      |
| $G$        | = Enerji salınım oranı                                                       |
| $d\Pi$     | = İç gerilme enerjisi ve dış kuvvetler tarafından sağlanan potansiyel enerji |
| $dA$       | = Çatlak bölgesindeki kademeli artış                                         |
| $K$        | = Gerilme şiddet faktörü                                                     |
| $\sigma$   | = Uygulanan gerilim                                                          |
| $\beta$    | = Geometri faktörü ( $a/R$ (çentik uzunluğunun numune yarıçapına oranı))     |
| $K_{Ic}$   | = Tür-I kırılma tokluğu                                                      |
| $Y'$       | = Boyutsuz (normalleştirilmiş) gerilim şiddet faktörü                        |
| $P_{max}$  | = Kırılma yükü                                                               |
| $a$        | = Çentik uzunluğu                                                            |
| $R$        | = Numune yarıçapı                                                            |
| $B$        | = Numune kalınlığı                                                           |
| $s$        | = İki destek çubuğu arasındaki mesafe                                        |

### Kısaltmalar

|      |                                      |
|------|--------------------------------------|
| SCB  | = Yarım-dairesel eğilme              |
| ISRM | = Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği |
| LEKM | = Lineer elastik kırılma mekaniği    |
| EPKM | = Elastik plastik kırılma mekaniği   |

# 1. GİRİŞ

Tüketimi son derece yaygın olan doğal taşın hayatımıza girişi, mermer ocaklarından blok halinde mermer kesimi yapılmasıyla başlamaktadır. Mermer yatırımının esasını ve birinci aşamasını ocak işletmesi oluşturmaktadır. Ocak işletmeciliğinde petrografik, mekanik ve fiziksel kayaç özelliklerinin gerektirdiği makine ve donanımla çalışılması hem üretim verimini arttırmakta, hem de malzeme sarfiyatını en düşük seviyede tutarak mermer ocağının ekonomik ömrünü uzatmaktadır [1].

Elmas telli kesme makineleri, küresel ekonomideki payı her geçen gün artan doğal taş işletmeciliğinde bir çok aşamada kullanılan, teknolojiye paralel olarak hızla gelişen vazgeçilmez bir ekipman konumuna yükselmiştir. Hem küresel ölçekte hem de ülkemizdeki yaygın kullanımı düşünüldüğünde, elmas telli kesme makinelerinin verimliliğini artıracak çalışmaların getireceği ekonomik avantajların boyutu ihmal edilemeyecek düzeyde olacağı görülecektir.

Elmas telli kesme makinelerinin kesim performansına bir çok parametre etki etmektedir. Bu parametrelerden başlıcaları ise kesilen kayaca ve makineye ait olan özelliklerdir. Ayrıca personel (operatör) ve çevre gibi etkenler de bulunmaktadır (Çizelge 1.1).

Çizelge 1. 1 Elmas telli kesme makinelerinde kesme performansına etki eden parametreler [2]

| Sabit Parametreler                                                                                                                                                                                  | Değiştirilebilir Parametreler                                                                                                                                                                                               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Kayaç Özellikleri                                                                                                                                                                                   | Elmas Telli Kesme Makinelerinin Özellikleri                                                                                                                                                                                 | Çalışma Koşulları                                                                   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>Fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler</li><li>Mineralojik ve petrografik özellikler</li><li>Süreksizlikler</li><li>Dokusal ve yapısal özellikler</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>Telin dönüş hızı</li><li>Telin aşağı iniş hızı</li><li>Tel gerilmesi</li><li>Elmas telin ve boncuğun yapısı</li><li>Motor gücü</li><li>Makine titreşimi</li><li>Su tüketimi</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>Kalifiye eleman</li><li>Ortam ısısı</li></ul> |

Elmas telli kesme metodunda kesim performansına etki eden kayacın mekanik özelliklerden biri olan kırılma tokluğu, madencilikte patlatma, tünel açma, hidrolik çatlatma, kayaçların sınıflandırılması ve cevher hazırlamada boyut küçültme gibi bir çok alanda da yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

### **1.1. Çalışmanın Amacı**

Elmas telli kesme makinelerinin performans parametreleri kullanılan makinenin çalışma prensiplerine bağlı olmakla birlikte, kesim sırasında kesimi gerçekleştiren boncuklardaki aşınma miktarı ve kesimi gerçekleştirmek için harcanan enerji, tüm elmas telli kesme metodları için ortak olan en önemli performans parametreleridir. Ayrıca kesim hızı (telin aşağı iniş hızı) da elmas telli kesme makinesinde önemli bir performans parametresi olarak değerlendirilebilmektedir.

Boncuklarda meydana gelen aşınma miktarları arttıkça kesme hızı düşmekte, metre başına kesilen alan olarak tariflenen tel verimliliği azalmakta, dolayısı ile üretilen mermerin metrekare başına maliyeti artmaktadır [4]. Kesim işleminin verimli olarak nitelendirilebilmesi için boncuklarda meydana gelen aşınmanın ve harcanan enerjinin en düşük, kesim hızının ise en yüksek seviyede gerçekleşmesi gereklidir. Bu sebeple, elmas telli kesmede en yüksek verimlilikteki çalışma koşullarını belirleyebilmek için performans parametrelerinin odak noktası olması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacını da elmas telli kesme makinelerinin verimliliğine etki eden en önemli performans parametreleri olan birim aşınma, birim enerji ve kesim hızının kırılma tokluğu ve diğer fiziko-mekanik özellikler ile olan ilişkilerinin incelenerek, performans parametrelerinin güvenilir olarak tahmin edilmesinde kayaçların bu özelliklerinin kullanılabilirliğinin araştırılması oluşturmaktadır.

### **1.2. Metodoloji**

Elmas telli kesme makinelerinin performansı ile kırılma tokluğu arasındaki ilişkileri incelemek için, ülkemizin farklı coğrafyalarındaki doğal taş ocaklarından seçilen 4 adet hakiki mermer, 2 adet kireçtaşı olmak üzere 6 farklı mermer kullanılmıştır.

Mermerlerin kırılma tokluğu değerlerini belirlemek için Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği'nin (ISRM) de önerdiği metotlardan olan yarım-dairesel eğilme (SCB) test metodu kullanılmıştır. Kırılma tokluğu değerleri ,Kuruppu vd. [5] tarafından önerilen



boyutsuz gerilme şiddet faktörünün ( $Y'$ ), sonlu elemanlar metodu kullanılarak belirlendiği formülasyon temel alınarak hesaplanmıştır.

Mermerlerin fiziko-mekanik özelliklerini belirlemek için shore sertlik indeksi, tek eksenli basınç deneyi ,Brazilian (dolaylı) çekme dayanımı ve Böhme yüzey aşınma dayanımı, birim hacim ağırlık, görünür gözeneklilik ve ağırlıkça su emme deneyleri Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda TSE 699 [6] ve ISRM [7] standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Tektelli kesme makinesi (monotel) ve elmas tel kesme makinesi olmak üzere iki farklı elmas telli kesme makinesinin performans parametreleri, iki farklı araştırmacının bu tez çalışmasındaki aynı mermerleri de kullanarak hazırladığı çalışmalardan alınmıştır. Tektelli kesme makinesinin (monotel) performans parametreleri olarak birim aşınma ve birim enerji parametreleri kullanılmış ve bu çalışmada kullanılan performans parametreleri değerleri Yılmazkaya'nın [2] yapmış olduğu çalışmadan alınmıştır. Elmas tel kesme makinesinin performans parametreleri olarak ise birim aşınma ve kesim hızı parametreleri kullanılmış ve bu çalışmada kullanılan performans parametreleri değerleri Kanbir'in [8] yapmış olduğu çalışmadan alınmıştır.

### **1.3. Tezin İçeriği**

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır:

Birinci bölümde çalışmanın amacı, kapsamı, sonuçlara ulaşmak için kullanılan yöntemler ve konu ile ilişkili literatürdeki çalışmalardan bahsedilmiştir.

İkinci bölümde, elmas telli kesme yöntemlerinden ve makine çeşitlerinden bahsedilmiş, bu makinelerin çalışma prensipleri ve mekanizmaları anlatılmış, ayrıca kullanım alanları belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde, kırılma mekaniğinin tarihçesi ve lineer elastik kırılma mekaniği (LEKM) sunulmuş, gerilme şiddet faktörü, çatlak ucu gerilme analizi prensipleri ve kırılma türleri açıklanmıştır. Daha sonra kayaçların kırılma tokluğunu belirlemek için kullanılan test metotları ve farklı kayaçların kırılma tokluğu değerleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sunulmuştur.

Beşince bölümde, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların analizi verilmiştir.

Altıncı ve son bölümde ise bu çalışmadan elde edilen tüm sonuçlar ve gelecekteki çalışmalara yardımcı olabilecek öneriler verilmiştir.

#### **1.4. Literatür İncelemesi**

Önceki çalışmalar incelendiğinde, elmas telli kesme makineleri, bu makinelerin performansına etki eden faktörlerin araştırılması ve kayaçların kırılma tokluğu ile ilgili ayrı ayrı birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, bu makinelerin performans parametreleri ile kesilen kayacın en önemli özelliklerinden kırılma tokluğu arasındaki ilişkinin bugüne kadar ortaya konulmadığı görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada kesilen kayacın kırılma tokluğunun elmas telli kesme makinelerinin kesme parametrelerine olan etkisi incelenerek bu konuda literatürde mevcut olan büyük bir boşluğun doldurulması amaçlanmaktadır.

Bir çok araştırmacı kırılma, parçalanma, kesilme ya da boyut küçültme gibi işlemler söz konusu olduğunda malzemelerin en önemli özelliklerinden biri olan kırılma tokluğunun gerçekleştirilen işlem üzerindeki etkisini araştırmıştır. Benzer şekilde, kırılma tokluğunun malzemenin diğer fiziko-mekanik özellikleri ile olan ilişkisi de bir çok çalışmada araştırılmıştır.

Elmas telli kesme makinesinin özelliklerinden motor gücü, telin çeşidi ve hızı, elmas boncuk dizaynı ve geometrisi, kesilen bloğun boyutu gibi kesilen malzemeye ve kesimi gerçekleştiren makineye bağlı parametrelerin kesim verimine etkisi, bir çok çalışmada farklı araştırmacılar tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Bu konularla ilgili olarak yapılan kaynak taramasında çalışmaya temel teşkil eden çalışmalar ile ilgili özet bilgiler aşağıda verilmiştir.

Şengün [9], kayaçların kırılma tokluğu ve gevrekliğinin, dairesel testereler ile kesme verimi üzerine etkilerini araştırmıştır. Kesme verimi kriteri olarak kullandığı özgül enerjinin kayaç özelliklerinden tahmin edilmesine yönelik analizler gerçekleştirmiş ve çalışmasındaki kesme koşullarında, kayaçların

kesilebilirliklerinin değerlendirilmesinde hangi kırılma tokluğu ve gevreklik belirleme yöntemlerinin daha anlamlı ilişkili olduğunu belirlemiştir.

Donovan [10] çalışmasında, çeneli kırıcıların kapasite, güç tüketimi ve ürün boyutunun tahmininde kırılma tokluğu temelli modelleri kullanmıştır. Gerçekleştirdiği bu çalışmasının sonucunda, bir kaya parçacığını belirli bir boyuta indirmek için gerekli özel boyut küçültme enerjisinin kırılma tokluğu ile arttığını göstermiştir.

Altındağ [11] gerçekleştirdiği çalışmasında, farklı orijinli kayaçların kırılma tokluğu değerlerini Brazilian diskı üzerinde tek kama çatlağı yöntemini (SECBĐ) kullanarak belirlemiş ve bu kayaçların mekanik özellikleri ile kırılma tokluğu değerleri arasındaki ilişkilerini incelemiştir. Çalışmasının sonucunda, kayaçların tek eksenli basınç dayanımları dikkate alınarak, incelenen kayaçların kırılma tokluğu değerleri hakkında bir ön fikir vermesi açısından önemli bir parametre olduğunu belirlemiştir.

Şengün ve Altındağ [12], onbeş farklı kayacın tür-I kırılma tokluk değerlerini V-Çentikli Brazilian Diski (CCNBD) yöntemini kullanarak belirlemişler ve bu kayaçların kırılma tokluk değerlerinin yanı sıra, diğer fiziksel ve mekanik özellikleri de ilgili standartlar ve önerilen yöntemler çerçevesinde tayin ederek kayaçların kırılma toklukları ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerini araştırmışlardır. Buna göre, Brazilian çekme dayanımı kullanılarak kayaçların kırılma tokluğunun daha pratik, hızlı, ekonomik ve gerçeğe en yakın bir şekilde tahmin edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Hanecioğlu [13] çalışmasında, model elmas tel kesme makinesini incelemiş ve üzerinde yaptığı laboratuvar çalışmaları ışığında makinenin hangi parametrelerden nasıl etkilendiğini aşınmayı temel alarak araştırmıştır. Bu sayede uygun kesim koşullarını belirlemeye çalışmıştır. Bu amaçla, farklı kasnak devri ve amperaj değerlerinde meydana gelen makinedeki titreşimlerin elmas tel kesmede kesim performansına (boncuk aşınması ve kesme hızı) etkisini incelemiş ve birim boncuk aşınması ve kesim hızının dengelendiği noktayı optimum çalışma noktası olarak değerlendirmiştir.

Özçelik [4] araştırmasında, mermercilikte elmas tel kesme makinalarının çalışma koşullarını incelemiştir. Çalışmasında elmas tel kesme makinelerinin çalışma parametreleri olarak düşünülen elmas telin yatayla yapmış olduğu kesme açısı,

kesilen alan, kesme zamanı ve elmas boncuklarda meydana gelen aşınmaların birbirlerini dengelediği optimum çalışma koşullarının belirlenmesine yönelik incelemeler gerçekleştirmiştir. Elmas boncuklarda meydana gelen aşınmaların nedenlerinin genel olarak, boncuktaki matriks seçiminin uygun yapılmamasından, elmas ile matriks arasındaki bağın güçlü olmamasından ve gerekli tane boyu ile miktar homojenliğinin sağlanmamasından kaynaklandığını tespit etmiştir.

Yüksel [14] çalışmasını, araştırdığı sahanın jeolojik özelliklerinin, üretilen mermerlerin mineralojik-petrografik, fiziko-mekanik özelliklerinin ve üretim sürecinin incelenmesi olarak üç ana bölümde gerçekleştirmiştir ve bulguları değerlendirerek üretim parametrelerine etkilerini saptamıştır. Gerçekleştirdiği çalışmaları sonucunda, farklı basamaklarda üretilen mermerlerin; basamaklardaki süreksizlik özelliklerinin, ortalama tane boyutlarının, sertliklerinin, tek eksenli basınç dayanımlarının, aşınmaya karşı gösterdikleri dirençlerinin blok verimine, delme performansına, elmas soket aşınma oranına ve elmas tel kesim performansına direkt etkide bulunduklarını saptamıştır.

Demirdağ ve Gündüz [15] çalışmalarında, sinterize elmas boncukların aşınma dinamiği ve tel kesme performanslarının belirlenmesine yönelik bulguları araştırmışlardır. Çalışmalarında Burdur Bej mermerine ait ocak kesim performans analizlerini tanımlamışlar ve saha analizlerinden elde ettikleri kesim verilerini, mühendislik yaklaşımları ile irdeleyerek, mermer türüne ait performans kriter tanımlamaları geliştirmişlerdir.

Yılmazkaya [2] çalışmasında, bilgisayar kontrollü tektel sistemi ile blok kesmede etken faktörleri incelemiş ve performans parametrelerinin değişimini araştırmıştır. Çalışması sonucunda, mermer ve kireçtaşı numuneleri için çevresel hız değerlerinin arttıkça birim aşınma değerlerinin belirli bir noktaya kadar azaldığını, bu noktadan sonra ise dönüş yaparak yükseldiğini tespit etmiştir.

Kanbir [8] kesme parametreleri ve boncuk özelliklerinin elmas tel kesme verimine etkisini araştırmıştır. Her bir hakiki mermer, kireçtaşı ve granit numunesi için optimum kesim koşullarını tespit etmiş ve elmas boncuklardaki elmas konsantrasyonunun kesme performansına etkisini de üç farklı konsantrasyona sahip boncuk için ayrı ayrı incelemiştir.

Aktaş [16] çalışmasında, farklı firmalara ait elmas teller ile kullanılan tel kesme makinalarını inceleyerek bir araştırma yapmış ve bu araştırma ile elmas tellerdeki aşınma-kesim performans değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirdiği incelemeler sonucunda elmas boncukların belirli bir aşınma değerinden sonra performansının düştüğünü tespit etmiştir.

Dilmaç [17] çalışmasında, elmaslı tel ile mermer üretiminde basamak geometrisinin kesme performansı üzerine etkilerini incelemiştir. Ayrıca elmaslı boncuklarda meydana gelen aşınmaları ölçmüş ve birim aşınma miktarlarını belirlemiştir.

Almasi vd. [18] çalışmalarında, üretim oranını ve kayaç özelliklerini temel alarak, elmas telli kesimde boncuk aşınmasının analizini gerçekleştirmişlerdir. Elmas boncuk aşınma oranı ve kayaç özelliklerini basit ve çoklu regresyon analizlerini kullanarak değerlendirmiş ve tahmin modellerini geliştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, elmas boncukların aşınma oranının geliştirilen modelin kullanılarak güvenilir bir şekilde tahmin edilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Özçelik vd. [19] çalışmalarında, dokusal özelliklerin elmas telli mermer kesimine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında dokusal özellikler ile aşınma oranı arasındaki ilişkiyi dikkate almışlar ve tane büyüklüğünün azalması ile aşınma oranının arttığını tespit etmişlerdir.

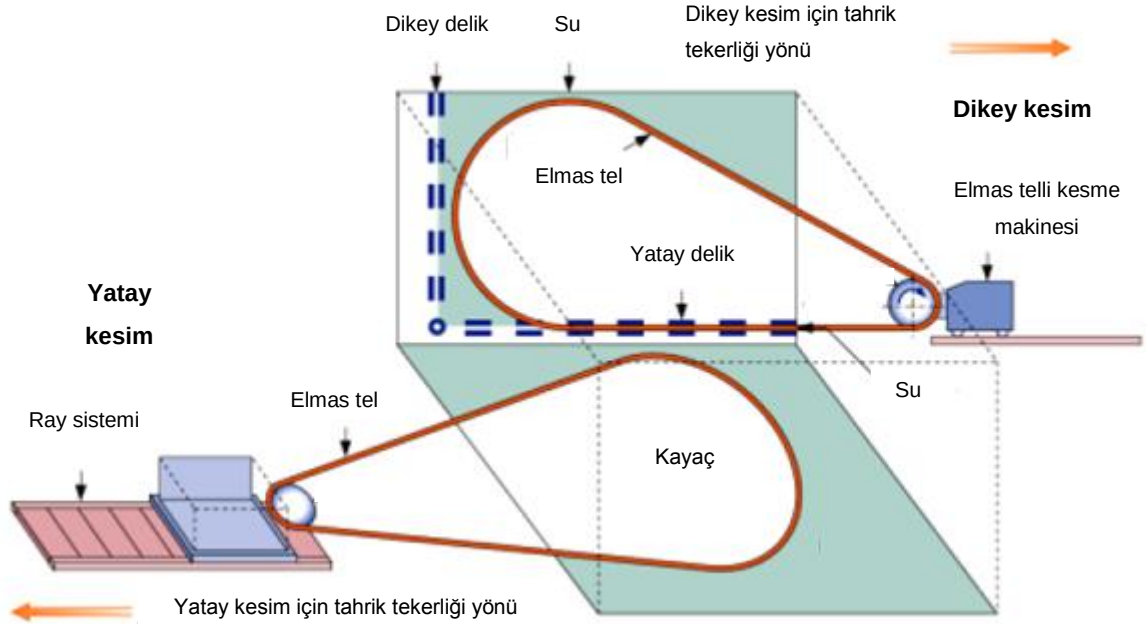
Ghaysari vd. [20] , elmas telli testerenin performans tahmininde kayaçların dokusal karakteristiklerini temel alarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kesme oranı ve dokusal özellikler arasındaki korelasyonu basit ve çoklu regresyon analizlerini kullanarak değerlendirmişlerdir.

Özçelik ve Yılmazkaya [21] çalışmalarında, kayaç anizotropisinin elmas telli kesme makinelerinin verimine olan etkisini incelemiştir. Çalışmaları sonucunda elmas telli kesmede kesim veriminin kayaç anizotropisine duyarlı olduğunu görmüşler ve ekonomik açıdan kesim işlemlerinin yataklanma düzlemlerine mümkün olduğu kadar paralel olması gerektiğini tespit etmişlerdir.

Günümüze kadar yapılan ve yukarıda kısa özeti verilen kaynak taraması incelendiğinde, elmas telli kesme makinelerinin performansı ile kırılma tokluğu arasındaki ilişkinin incelenmediği görülmüştür. Bu nedenle bu çalışma ile literatürdeki bu eksikliğin tamamlanması amaçlanmaktadır.

## 2. ELMAS TELLİ KESME MAKİNELERİ

Günümüzde mermercilik sektöründe kesmede en çok kullanılan yöntem elmas telli kesme yöntemidir (Şekil 2.1). Elmas tel kesme yönteminin mermercilikte kullanılabilirliğini sağlamak için yapılan ilk çalışmalar 1970 yılında başlamış ve 1985 yılından sonra da yöntemin uygulanmasında hızlı bir artış meydana gelmiştir. 1990 yılından itibaren ise elmas boncuk üretim teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak granit gibi tüm sert kayalarda da kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise yöntemin ve makinenin kullanımı gelişen teknolojilere bağlı olarak her geçen gün artmaktadır. [4].



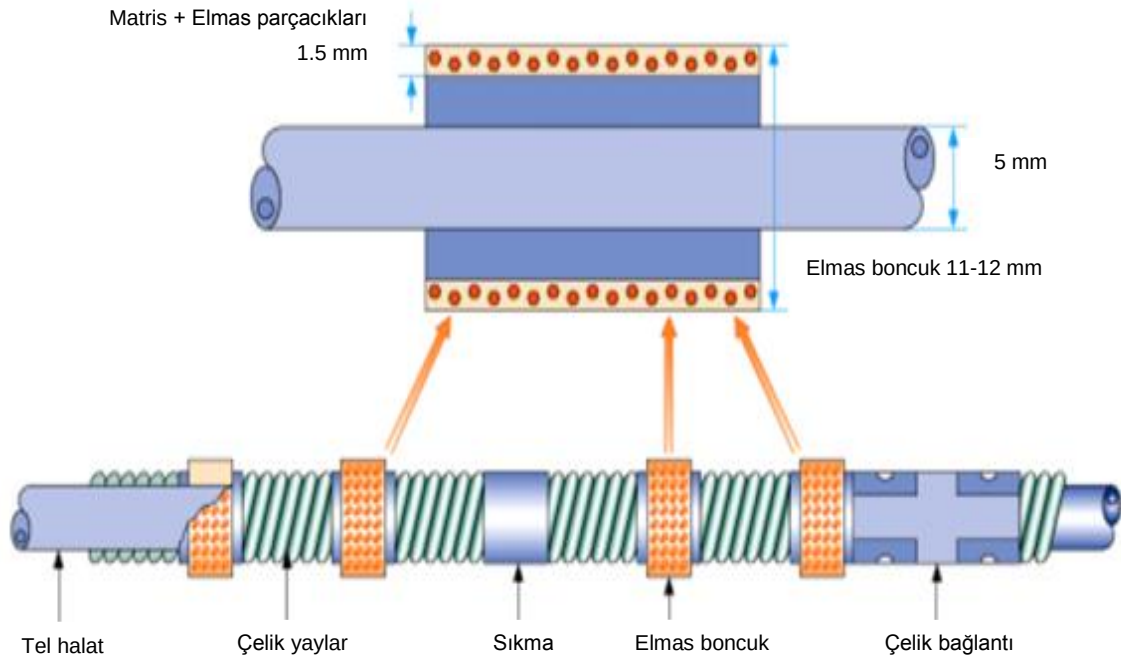
Şekil 2. 1 Elmas tel kesme yönteminin yanal şematik görünümü [4]

Elmas tel kesme yöntemi diğer kesim yöntemleriyle karşılaştırıldığında pek çok avantaja sahiptir. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır [22, 23, 24]:

- Başka yöntemlerle birlikte kullanılabilen esnek bir yöntemdir,
- 200 m<sup>2</sup>'den büyük boyutlu kesimlerin yapılabilmesine olanak sağlar,
- Yatırım maliyetleri düşüktür,
- Kesim sırasında daha az toz ve artık oluşturur,
- Kesim sırasında bloğa hasar vermeden daha az kayıp oluşturarak daha düzgün blok üretimi sağlar,
- İş yoğunluğu diğer yöntemlerden daha azdır, bu nedenle iş gücü daha verimli kullanılır,

- Üretim kapasitesini arttırmak için yüksek kesme hızlarına çıkılabilir.

Genel olarak elmas tel kesme yönteminde kullanılan elmas tel; çelik halat, elmas boncuklar, pullar, sıkmalar, yaylar ve bağlantı elemanından meydana gelmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2. 2 Elmas telin dizilimi ve parçaları [19]

Elmas telin parçaları aşağıdaki gibidir;

- Çelik Tel: Krom-nikel alaşımlı herbiri 19-61 telcikten oluşan 7 adet telin burulması ile elde edilmektedir [25].
- Yaylar: Paslanmaz çelik telin bükülüp özel ısı işleminden geçirilmesi yolu ile üretilmektedir. Kesim süresince telde olabilecek ani gerilmeleri azaltmak ve de boncukların tel üzerinde kaymasını önlemek için kullanılmaktadır [26].
- Sıkma: Elmas boncukların kesim süresinde tel üzerinde fazla miktarda kayarak bir tarafa toplanmalarını önlemek için kullanılmaktadır [4].
- Pul: Çelik yayları korumak için kullanılmaktadır [4].
- Elmas Boncuklar: Kesme işlemini gerçekleştiren parçadır.

Şekil 2.3’de granit kesiminde kullanılan elmas tel görülmektedir. Görüldüğü gibi granit tellerinde sıkma, pul ve yay bulunmamakta, granit türü sert kayaçların kesiminde çıkan aşındırıcı tozların tele zarar vermemesi için tel plastik veya kauçuk malzeme ile kaplanmaktadır.



Şekil 2. 3 Granit türü sert kayaç kesiminde kullanılan elmas teller

## 2.1. Elmas Telli Kesme Makineleri Çeşitleri

Doğal taş işletmeciliğinde elmas telli kesme makinesinin bir çok çeşidi olmakla beraber fonksiyonları ve kullanıldığı alanlar temelinde aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Tektelli kesme makineleri (monoteller)
- Çoklu elmas telli kesme makineleri
- Raylı veya tekerlekli elmas telli kesme makineleri
- Rampalı sayalama makinesi

### 2.1.1. Tektelli Kesme Makineleri (Monoteller)

Tek telli kesme makineleri mermer, granit ve kumtaşı bloklarını kübik hale getirmek (sayalamak) veya bu bloklardan kalın levhalar kesmek için tasarlanmıştır (Şekil 2.4). Bu makineler, raylı ya da rampalı telli kesme makinelerinden farklı bir kesme sistemine sahiptir [2].





Şekil 2. 4 Doğal taş işletmeciliğinde kullanılan tek telli kesme makinesi (monotel)  
[27]

Çalışma prensibini genel olarak özetlersek; arabalar üzerine yüklenen bloklar makinenin altına getirilerek sabitlenir. Makara yardımıyla belirli bir hıza ulaşan elmas boncuklu tel doğal taş blok üzerine kademeli olarak inerek kesim işlemini yapar. Sayalama işlemi bitene kadar ya da blok tamamıyla plakalara ayrılana kadar her plaka kesiminden sonra işlem tekrarlanır [2].

Tek telli kesme makinalarının en önemli avantajlarından bazıları aşağıdaki gibidir [2];

- Bu sistemde koparak kısalan elmas boncuklu teller kullanılabilir.
- Kesim sırasında elektrik motoru zorlandığında hızı düşürür. Bu sayede hızı otomatik olarak kendi ayarlar.
- Telin kopması durumunda makineyi otomatik olarak durduran emniyet sistemine sahiptir.

### 2.1.2. Çoklu Elmas Telli Kesme Makineleri

Çoklu elmas telli kesiciler, aynı anda çok sayıda elmas tel kullanarak blokların levhalara ve/veya kalın levhalara ayrılması için tasarlanmıştır. Tek telli makinaların yeni modelleri olan bu makinalarda bir çok elmas tel (60 adete kadar) yan yana çalıştırılır ancak her biri ayrı ayrı kontrol edilir, gerginleştirilir. Birçok çoklu tel makinaları üzerinde elmas telin gerginliğini teker teker sağlayan pnömomatik silindirler vardır. Makinenin her iki tarafında (genellikle iki) büyük çaplı kasknaklar ve küçük çaplı gerilim kasknakları yerleştirilmiştir [27]. Şekil 2.5'de çoklu elmas telli kesme makinesi görülmektedir.



Şekil 2. 5 Çoklu elmas telli kesme makinesi [28]

Çoklu elmas tellerin üretilmesi tekli tellerin gelişiminden sonra olmuştur. Burada en önemli faktör kullanılan bütün tellerin aşağıya doğru aynı hızda, aynı basınçta ve aynı gerilimde hareket etmeleridir.

İlk çoklu tel (bünyesinde 10 sıra elmas telin dizildiği) 1997 yılında İtalya'daki Wires Engine tarafından imal edilmiştir. Belirli bir süre sonra bu makina yine İtalya'daki Bide Seimpianti Snc. tarafından geliştirilerek çoklu tellerin daha ileri versiyonlarını piyasaya sürmüşlerdir. Birkaç yıl sonra aynı firma tarafından 50 telli ve kısa bir süre sonrada 58 telli makinalar tüketicilerin hizmetine sunulmuştur [2].

Çoklu elmas telli kesme makinalarının pek çok önemli avantajı bulunmaktadır [29]. Bunlar;

- Elmas tellerin türünde ve hızında değişiklik yapılarak hem mermer hem de granit kesiminde kullanılabilir.
- Elmas tellerin türü ve pozisyonları değiştirilerek farklı levha kalınlıklarında üretim yapılabilir.
- Levha kalınlığı levha maliyetini etkilemez.
- Kesim sonrası düzgün şekle sahip levhalar üretilir.
- Blokları kısmen kesebilme, farklı taşlardan bloklara uygun hale ayarlanabilme, farklı kalınlıklara çabuk ayarlanma, düşük durma zamanları gibi çok yönlü iş programları yapılabilir.
- Granit türü kayaç kesiminde son levha yıkama aşamasına gerek duyulmaz.
- Çamur oluşumu düşüktür (işlemeyi kolaylaştırma amaçlı).

### 2.1.3. Raylı veya Tekerlekli Elmas Telli Kesme Makineleri

Raylı elmas telli kesme makineleri doğal taş ocaklarında birincil kesim işleminde ve sayalama işleminde kullanılan kesme makineleridir. Bu makineler, yere kurulan raylar üzerinde geriye doğru hareket ederek kesim işlemini gerçekleştirebilmektedirler (Şekil 2.6) [2].



Şekil 2. 6 Raylı elmas telli kesme makinesi

Tekerlekli elmas telli kesme makineleri ise, ocaklarda sayalama işlemlerinde kullanılmaktadırlar. Raylı makinelere benzeyen modelleri ya da rampa üzerinde hareket eden tipleri bulunmaktadır (Şekil 2.7) [2].



Şekil 2. 7 Tekerlekli elmas telli kesme makinesi ve rampalı sayalama makinesi

[30]

### 3. KIRILMA TOKLUĞU

Kırılma, doğa veya insan ürünü farketmeksizin tüm yapılar için geçerli olan bir olaydır. Yapılar bir kuvvete maruz kalıp, dayanamayacağı noktaya geldikleri anda iki veya daha çok parçaya ayrılarak kırılma gerçekleşmektedir. Kırılmanın çeşidi, hızı ya da hangi kuvvetler altında gerçekleşeceği yapıların kimyasal, mineralojik, fiziksel, mekanik ve dokusal gibi özelliklerine, maruz kaldıkları kuvvetin çeşit, şiddet ya da hızına ve sıcaklık, nem gibi çevresel faktörlere bağlı olarak değişmektedir [31].

Tokluk ise, kırılmaya karşı yapıların sahip oldukları dayanma gücüdür ve kırılmadan önce sönümleyebileceği enerji kabiliyetidir. Bir yapının tokluk değerinin yüksek olabilmesi için hem güç hem de süneklik seviyesinin yüksek olması gerekmektedir. Seramik gibi materyaller güçlü olmalarına rağmen sünek olmadıklarından dolayı tokluk seviyeleri düşüktür. Çelik gibi materyaller ise hem güçlü hem de sünek olduklarından yüksek tokluk seviyelerine sahiptirler. Bir yapının ya da malzemenin tokluk seviyesinin yüksek olabilmesi için hem gerilmelere hem de deformasyonlara karşı dirençli olması gerekmektedir. Bir malzemenin gücü yalnız direnç gösterebileceği kuvvet miktarını gösterirken, tokluğu ise hem kırılmadan direnç gösterebileceği kuvvet miktarını hem de ne ölçüde deformasyona maruz kalabileceğini gösterir [31].

Kırılma tokluğu ise, çatlaklı veya kırıklı bir yapının kırılmaya karşı direncini gösteren mekanik bir özelliktir. Başka bir ifade ile, yapıların kaçınılmaz olarak önceden sahip oldukları kırık, çatlak, boşluk veya diğer kusurlarının yayılması veya gelişmesi için gerekli olan gerilme miktarının göstergesidir [32].

Bu özelliğinden dolayı, kırılma tokluğu bir çok alanda sıklıkla kullanılan ve her geçen gün gelişimini sürdüren önemli bir parametredir. Uygulama alanları arasında inşaat, uzay, jeoloji, mekatronik ve maden gibi mühendisliklerinin yanında çeşitli tıp bilimleri de bulunmaktadır.

#### 3.1. Kırılma Mekaniği ve Gelişimi

Kırılma mekaniğinin ilk çalışmaları, kırılmanın temel nedeni hakkında bazı ipuçları sağlayan Leonardo da Vinci tarafından birkaç yüzyıl önce gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirdiği çalışmada demir tellerin gücünü ölçmüş ve gücün tel uzunluğu ile

ters orantılı olarak değiştiğini, malzemedeki kusurların telin gücünü belirlediğini tespit etmiştir. Ancak elde ettiği sonuçlar sadece kalitatifdir [33].

Kırılmayla ilgili bir problemin ilk başarılı analizi 1920 yılında Griffith tarafından camlardaki gevrek çatlakların ilerleyişinin izlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Griffith, sistemin toplam enerjisindeki azalmayla önceden var olan bir çatlakın ilerlemeye başlayacağını formüle etmiştir. Griffith basit bir enerji dengesi öngörmüştür; gerilme altındaki bir sistemde çatlak ilerledikçe elastik germe enerjisinde bir azalma olur ki bu enerji de yeni çatlak yüzeylerinin oluşması için gerekli enerjidir. Bu teori, gevrek katılarda teorik mukavemetin tahminine yaradığı gibi kırılma mukavemetiyle hata boyutu arasındaki ilişkiyi de vermektedir [34].

Griffith gevrek bir malzemede çatlak bulunması halinde, malzemenin kırılmadan dayanabileceği gerilmeyi tayin eden ilk bağıntıyı aşağıdaki şekilde geliştirmiştir:

$$\sigma_f = \left( \frac{2\gamma E}{\pi \alpha} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

Burada;

$\sigma_f$  = Kırılma gerilmesi

$\gamma$  = Yüzey enerjisi

$E$  = Elastisite modülü

$\alpha$  = Çatlak boyunun yarısıdır.

Griffith'in teorisi, yukarıda belirtildiği gibi sadece kırılğan malzemeler için geliştirildiğinden, Irwin, 1940'larda teoriyi sünek malzemeler için genişletmiştir.

Irwin, sünek malzemeler için plastik deformasyondan kaynaklanan belirli bir enerji olduğunu ve bu enerjinin ilk olarak Griffith tarafından düşünülmüş gerilme enerjisine eklenmesi gerektiğini varsaymıştır [35].

Irwin, sünek malzemeler için, yüzey enerji teriminin plastik deformasyonla ilişkili enerjiyle karşılaştırıldığında çok küçük olduğunu ve ihmal edilebileceğini fark etmiştir [35].

1956 yılında Irwin,  $G$  olarak sembolize ettiği gerilim enerjisi salınım oranı kavramını geliştirmiş ve  $G$ 'yi doğrusal elastik malzemenin çatlak alanı yanındaki

potansiyel enerjideki değişim oranı olarak tanımlamıştır. Irwin tarafından formüle edilen denklem ise:

$$G = \frac{d\Pi}{dA} \quad (3.2)$$

Burada;

$G$  = Enerji salınım oranı

$d\Pi$ = İç gerilme enerjisi ve dış kuvvetler tarafından sağlanan potansiyel enerji

$dA$ = Çatlak bölgesindeki kademeli artışıdır.

Gerilim enerjisi salınım oranı kritik değere ulaştığında,  $G_c$ , çatlak büyümektedir.

Irwin, 1957 yılında enerji yaklaşımını gerilme yoğunluğu yaklaşımıyla eşdeğer tutarak kırılma mekaniğine yeni bir açılım getirmiştir. Buna göre, çatlak ucunda kritik bir gerilme dağılımına erişildiğinde kırılma başlamaktadır. Bünyesinde çatlak bulunan ve gerilmeye maruz kalan malzemede, çatlak ucunda gerilme yoğunlaşması olmaktadır. Bu gerilme yoğunlaşması artan gerilmeler karşısında artmakta olup, bu aşamada çatlak duraylıdır. Gerilme yoğunluğu kritik bir dengeye ulaşınca çatlak duraysız duruma geçerek ilerlemeye başlamaktadır. Çatlağın ucundaki gerilme yoğunluğu, gerilme şiddet faktörü ( $K$ ) olarak adlandırılır ve bunun kritik değeri ise kırılma tokluğu ( $K_c$ ) olarak tanımlanmaktadır. Gerilme şiddet faktörü çatlak ucundaki gerilmenin şiddetinin miktarıdır ve bir malzeme özelliğidir [36].

### 3.1.1. Gerilme Şiddet Faktörü ve Kırılma Tokluğu

Gerilme şiddet faktörü ( $K$ ), çatlak ucu yakınındaki gerilmelerin büyüklüğünü tanımlamaktadır. Gerilme şiddet faktörü, malzeme ya da yapının geometrisinin, içerdği çatlağın boyut ve şeklinin, aynı zamanda üzerine uygulanan gerilmelerin bir fonksiyonudur ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır [37]:

$$K = \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \cdot \beta \quad (3.3)$$

Burada;

$K$  = Gerilme şiddet faktörü ( $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ )

$\sigma$  = Uygulanan gerilim (MPa)

$\alpha$  = Çatlak uzunluğu (m)

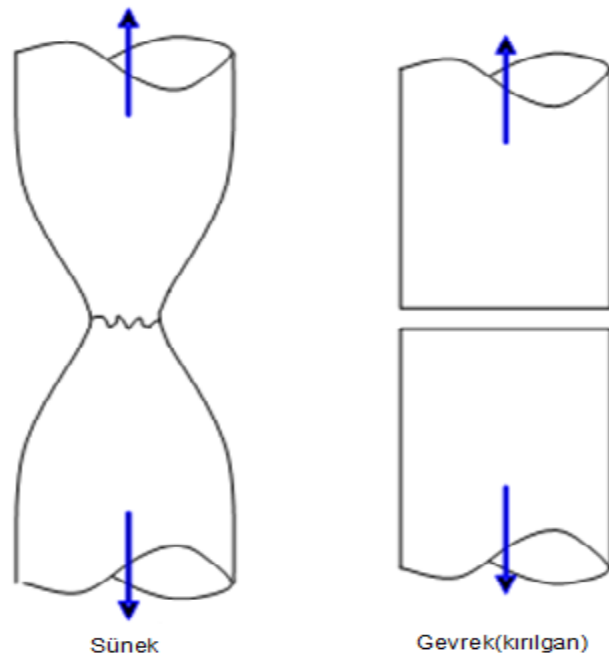
$\beta$  = Geometri faktörüdür.

Kırılma tokluğu ( $K_c$ ), gerilme şiddet faktörünün ( $K$ ) kritik bir değeridir ve malzeme ya da yapılardaki önceden var olan bir çatlakın yayılması için gerekli olan gerilme miktarının bir göstergesidir [37].

### 3.1.2. Lineer Elastik Kırılma Mekaniği ve Elastik Plastik Kırılma Mekaniği

Lineer Elastik Kırılma Mekaniği (LEKM) daha çok gevrek ya da kırılğan malzemelerde geçerli olan, çatlak ucu plastik bölgenin çatlak boyutundan daha küçük olduğu, izotropik ve lineer-elastik koşulları elastisite teorisi temelinde tanımlamak için uygulanmaktadır [35].

Malzemelerin kırılma noktasına kadar uğradığı plastik (elastik olmayan) deformasyon alanı fazla ise; başka bir ifade ile çatlak ucu plastik bölgenin boyutu fazla ise, elastik plastik kırılma mekaniği (EPKM) teorisi uygulanmaktadır [35]. Sünek ve gevrek (kırılğan) malzemenin kırılma davranışları Şekil 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3. 1 Sünek ve gevrek (kırılğan) kırılma davranışları

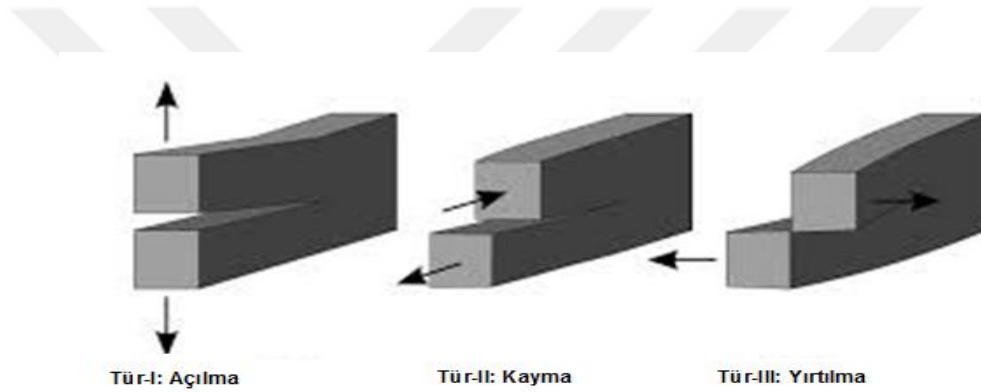
Gevrek (kırılgan) malzemelerde, kırılma noktasına kadar görülen plastik deformasyon ve sönümlenen enerji miktarı çok küçüktür.

Sünek malzemeler ise, kırılgan malzemelerin tersine, kırılmadan önce önemli ölçüde plastik deformasyona uğrar ve sönümlediği enerji miktarı fazladır [38].

### 3.1.3. Kırılma Türleri

Kırılma mekaniğinde, kırılma temel olarak tür-I-, tür-II ve tür-III şeklinde sınıflandırılmaktadır (Şekil 3.2) [39]:

1. Tür-I: Çatlak açılma deformasyon türü
2. Tür-II: Çatlak kayma deformasyon türü
3. Tür-III: Çatlak yırtılma deformasyon türü



Şekil 3. 2 Kırılma türleri

Tür-I kırılmada, çatlak düzlemi uygulanan gerilmenin normal bileşenine (çekme kuvveti) diktir. Çatlak ilerlemesi, çatlak düzlemi ile aynı yöndedir.

Tür-II kırılmada, çatlak yüzeyleri çatlak düzleminde birbirine göre hareket eder.

Tür-III kırılmada ise, çatlak yüzeyleri çatlak düzlemine paralel olarak kaydırılır.

Çatlağın ilerlemesi bu türlerden sadece birinin etkisiyle gerçekleşebileceği gibi, her hangi ikisinin veya üçünün beraber etkisi ile de olabilmektedir. Kayaçların çekme gerilmelerindeki dayanımı, sıkıştırma gerilmelerindeki dayanımına göre çok daha düşük olduğundan, kayaçlar açısından bu kırılma türlerinden en önemli olanı çatlak açılma deformasyon türüdür [39].



### 3.1.4. Kırılma Mekaniğinin Kayaçlarda Uygulama Alanları

Kayaçlar doğal olarak kırıklı, çatlaklı ya da boşluklu yapılar olduklarından, kırılma mekaniğinin özellikle madencilik olmak üzere bir çok disiplinde uygulama alanı bulunmaktadır [3]:

- Tünelcilik ve yer altı madenciliği duraylılık analizlerinde
- Cevher hazırlamada boyut küçültmede
- Kayaçların sınıflandırılmasında
- Kayaçların her türlü kesim işleminde ve patlatmalarda

Ayrıca, hidrolik çatlatma gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır.

### 3.2. Kayaçların Tür-I Kırılma Tokluğu Deneyleri

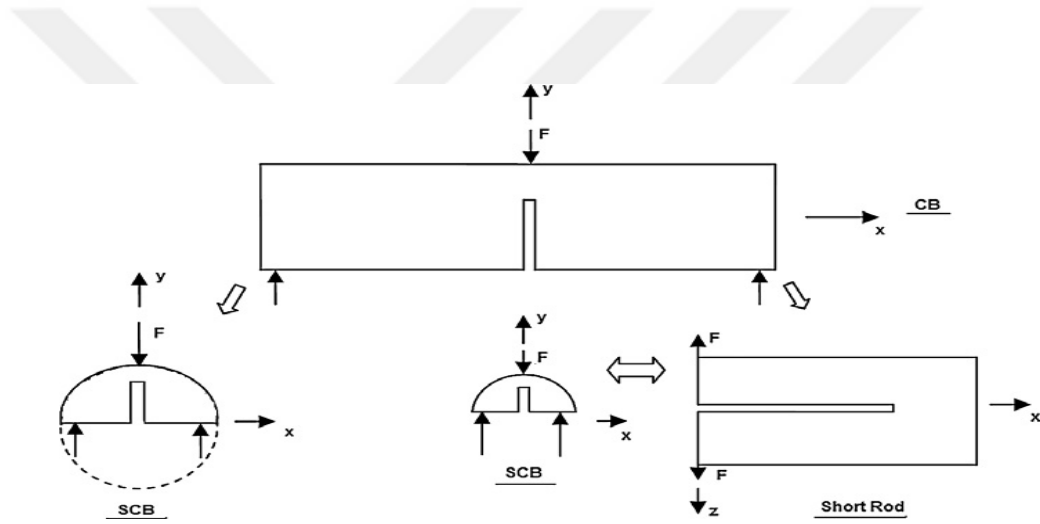
Kayaçlar diğer tüm kırılğan malzemeler gibi çekme gerilmelerinde zayıf dayanım göstermektedirler. Bundan dolayı çatlak açılma deformasyon türü (tür-I), kaya mekaniği uygulamalarında en önemli yükleme türüdür. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, tür-I kırılma tokluğunu belirlemek için bir çok araştırmacı tarafından, birbirlerinden farklı numune geometrisi ve yükleme koşullarına sahip tür-I test metodları önerilmiştir. Bunlardan bazılarının isimleri aşağıdaki gibidir [32]:

- Kısa Çubuk metodu (Short Rod, SR)
- Düz Çentikli Brazilian Diski metodu (Cracked Straight Through Brazilian Disc, CSTBD)
- Yarım-Dairesel Eğilme metodu (Semi-Circular Bending, SCB)
- V-Çentikli Brazilian Diski metodu (Cracked Chevron-Notched Brazilian Disc, CCNBD)
- Tek Kenar Çentikli Kiriş metodu (Single Edge Notch Beam, SENB)
- Modifiye Halka Testi metodu (Modified Ring Test, MRT)
- Düzleştirilmiş Brazilian Diski metodu (Flattened Brazilian Disc, FBD)
- V-Çentikli Eğilme metodu (Chevron Bend, CB)
- V-çentikli Yarım-Dairesel Eğilme metodu (Chevron Notched Semi-Circular Bending, CNSCB)
- Brazilian Diski Üzerinde Tek Kama Çatlağı metodu (Single Edge Crack Brazilian Disc, SECBD)
- Düz Çentikli Brazilian Diski metodu (Straight-Notched Brazilian Disc, SNBD)

Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM) ise, tür-I kırılma tokluğunu belirlemek için bugüne kadar çeşitli tarihlerde 4 farklı test metodu önermiştir [40]:

- Kısa Çubuk metodu (Short Rod, SR)
- Yarım-Dairesel Eğilme metodu (Semi-Circular Bending, SCB)
- V-Çentikli Brazilian Diski metodu (Cracked Chevron-Notched Brazilian Disc, CCNBD)
- V-Çentikli Eğilme metodu (Chevron Bend, CB)

ISRM tarafından önerilmiş karot bazlı kırılma tokluğu numunelerinin bazılarının şematik görünümü Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3. 3 ISRM tarafından önerilmiş karot bazlı kırılma tokluğu numunelerinin bazılarının şematik görünümü [41]

Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM) laboratuvar ölçümlerinde tutarlılık elde etmek için 1988 yılında ilk önce V-Çentikli Eğilme (CB) ve Kısa Çubuk (SR) metotlarını önermiştir. Bu standardizasyondan beri başka testler geliştirilmiş olmasına rağmen, önerilen yöntemler tarafından üretilmiş sonuçlar arasında 20-30 % civarında bir farklılık bulunmaktadır [42].

Bu farklılıklar için getirilmiş potansiyel açıklamalar arasında kayaç anizotropisi, numune boyut farklılıkları ve numune depolama koşulları bulunmaktadır. Fakat günümüze kadar, CB ve SR test metotları ile gerçekleştirilmiş deneylerinden çok azı birbirine denk kırılma tokluğu değerleri üretebilmiştir. 1995 yılında ise V-

Çentikli Brazilian Diski metodu (CCNBD), ISRM tarafından önerilen yöntemlerden biri olarak tanımlanmıştır [43].

CCNBD yöntemi; basit test prosedürü ve yüksek yenilme yüklerine sahip olması, çok çeşitli numune geometrisinin uygulanabilmesi, numune hazırlamak için daha küçük boyutlarda karota ihtiyaç duyması ve hem tür-I hem de karma-tür (mixed mod) kırılma türlerine uyarlanabilmesi gibi üstün özellikleri nedeniyle son yirmi yıldır yaygın olarak kullanılmaktadır [44].

Yarım-Dairesel Eğilme metodu (SCB) ise, ISRM tarafından yakın geçmişte hem dinamik hem de statik testler için önerilmiştir [45, 40].

Bu tez çalışmasında da, mermerlerin tür-I kırılma tokluğu değerlerini belirlemek için Yarım-Dairesel Eğilme metodu (SCB) kullanılmıştır.

### **3.3. Yarım-Dairesel Eğilme (SCB) Test Metodu**

SCB test metodunun sağladığı avantajlar aşağıda verilmiştir:

- Basit test prosedürü,
- Uygulanan çentiğin (çatlak) doğrusal olmasından dolayı uygulama kolaylığı,
- Tür-I, tür-II ve karma-tür (mixed mod) kırılma türlerine uyarlanabilmesi,
- Kullanılan numunelerin karot bazlı olması ve boyutlarının nispeten küçük olması gibi nedenlerden dolayı sağladığı kolaylık ve daha düşük maliyetli olması,
- Çekme gerilmesini dolaylı olarak sıkıştırma gerilmesinden elde ettiğinden dolayı geleneksel ve çoğu laboratuvarında bulunan ekipmanlarla kırılma tokluğunun belirlenebilmesidir.

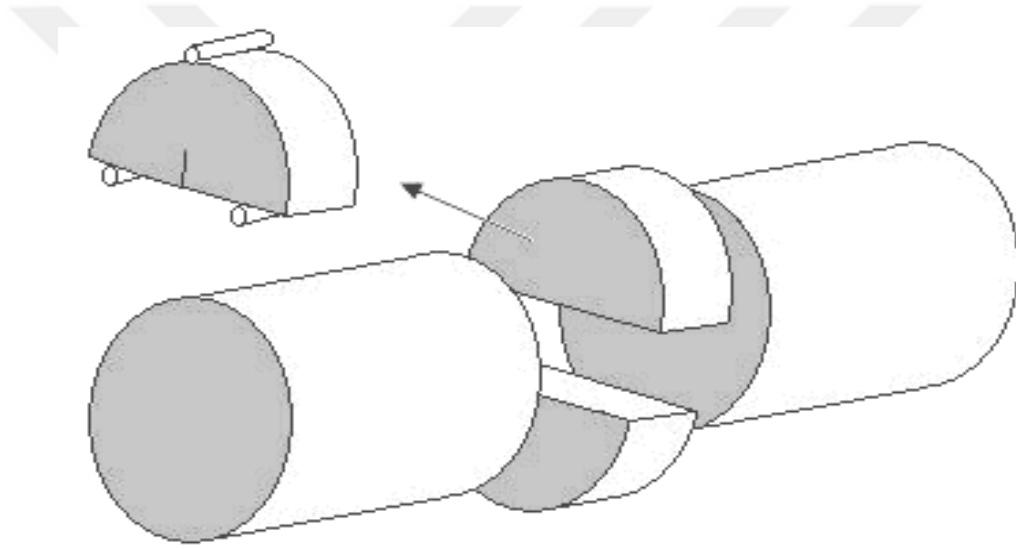
Yarım-dairesel test metodu (SCB) Chong ve Kuruppu [46] tarafından 1984 yılında önerilmiş ve ilk gelişmelerinin birçoğu Wyoming Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir [41, 47].

Günümüzde ise, sahip olduğu bir çok olumlu özellikten dolayı, dünya genelinde bir çok araştırmacı tarafından kullanılmakta ve geliştirilmeye devam etmektedir.

### 3.3.1. SCB Numunesi ve Deney Düzeniği

Yarım-dairesel eğilme test metodu numunesi, kayalardan alınan karot örneklerinin elmas kaplı dairesel testere ile disk şeklinde istenilen boyutta dilimlenmesi ve daha sonra bu disklerin çapı boyunca iki eşit parçaya bölünmesi ile elde edilmektedir.

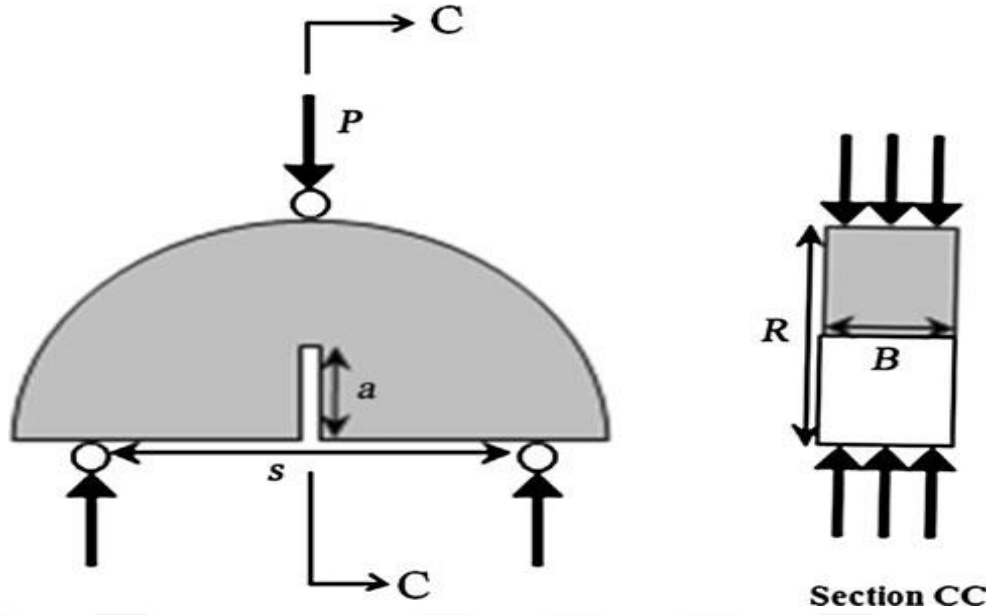
Daha sonra elde edilen yarım-dairesel disklere istenilen boy, kalınlık ve açıda çentikler açılmaktadır. Karot örneğinden SCB numunesinin hazırlanışı Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3. 4 Karot örneğinden SCB numunesinin hazırlanışı [35]

SCB numunesi hazırlanırken kullanılması gereken ekipmanlar, numune boyutları, depolama koşulları ve diğer önemli noktalar Kruppu vd. [40] tarafından hazırlanan çalışmada belirtilmiştir.

Tür-I kırılma tokluğunu belirlemek için, üç noktadan eğilme düzeneği üzerinden sıkıştırma yükü uygulanır ve dolaylı olarak çekme kuvvetleri oluşturularak numunenin kırılması gerçekleştirilir (Şekil 3.5). SCB numunesi için önerilen geometrik boyutlar Çizelge 3.1'de verilmiştir.

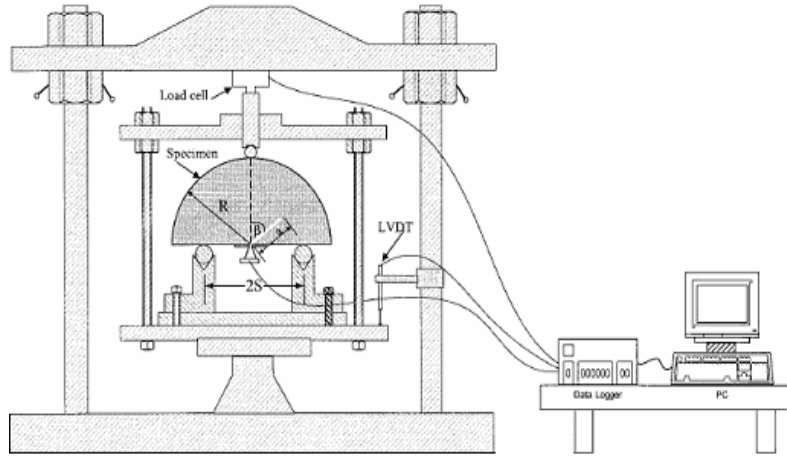


Şekil 3. 5 SCB örnek geometrisi ve şematik yükleme düzeni ( R numunenin yarıçapı, B kalınlığı, a çentik uzunluğu, s iki silindirik destek çubuğu arasındaki mesafe, P üç noktadan eğilme yüklemesinde merkezi silindirik çubuğuna uygulanan sıkıştırma (C) yükü)

Çizelge 3. 1 SCB numunesi için önerilen geometrik boyutlar [40]

| Numunenin Geometrik Boyutları           | Bulunması Gereken Aralık ya da Değerler                |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Çap (D)                                 | $\geq 76$ mm ya da $\geq 10 \times$ ortalama tane boyu |
| Kalınlık (B)                            | $\geq 30$ mm ya da $\geq 0.4D$                         |
| Çentik uzunluğu (a)                     | $0.4 \leq a/R \leq 0.6$                                |
| İki destek çubuğu arasındaki mesafe (s) | $0.5 \leq s/2R \leq 0.8$                               |

SCB testi, günümüzde bir çok kaya mekaniği laboratuvarında bulunan, sıkıştırma kuvveti uygulayabilen test cihazı ile uygulanmaktadır. Kırılma anındaki maksimum yükü ve bu noktaya kadar olan deformasyon miktarını ölçmek için yük hücresi ve transdüser (LVDT) kullanılmaktadır [40]. SCB test metodunun deney düzeniği Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3. 6 SCB test metodunun deney düzeniği [48]

SCB numunesi, üç noktadan eğilme koşullarının sağlanması için, önceden belirlenmiş mesafede konumlandırılan birbirine paralel iki silindirik destek çubuğu üstüne yerleştirilmektedir. Sıkıştırma yükü ise, bu iki silindirik destek çubuğuna eşit mesafede bulunan ve numunenin tepe noktasına yerleştirilen üçüncü bir silindir çubuk üzerinden uygulanmaktadır. Silindirik çubukların tümünün, açılan çentiğin düzlemine simetrik olarak konumlandırılması gerekmektedir [40].

### 3.3.2. Kırılma Tokluğu Hesaplamaları

Tür-I kırılma tokluğu ( $K_{Ic}$ ) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır [40]:

$$K_{Ic} = Y' \frac{P_{max} \sqrt{\pi a}}{2RB} \quad (3.4)$$

Burada;

$K_{Ic}$  = Kırılma tokluğu ( $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ )

$Y'$  = Boyutsuz( normalleştirilmiş) gerilim şiddet faktörü

$P_{max}$  = Kırılma yükü (MN)

$a$  = Çentik uzunluğu (m)

$R$  = Numune yarıçapı (m)

$B$  = Numune kalınlığı (m)

Boyutsuz (normalleştirilmiş) gerilim şiddet faktörü ( $Y'$ ), araştırmacılar tarafından çeşitli sayısal modellemeler kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu tez çalışmasında

ise, Kuruppu vd. [40] tarafından önerilen ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanan Eşitlik 3.5 kullanılmıştır:

$$Y' = -1.297 + 9.519(s/2R) - (0.47 + 16.457(s/2R))\beta + (1.071 + 34.401(s/2R))\beta^2 \quad (3.5)$$

Burada;

$s$  = İki destek çubuğu arasındaki mesafe (m)

$\beta = a/R$  (çentik uzunluğunun numune yarıçapına oranı)

Eşitlik 3.5'in geçerli olabilmesi için normalleştirilmiş uzunluk ( $\beta$ ),  $0.4 \leq \beta \leq 0.6$  aralığında olmalıdır [40]. Bazı kayaçların farklı araştırmacılar tarafından SCB test metodu kullanılarak belirlenmiş tür-I kırılma tokluğu değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3. 2 Bazı kayaçların SCB metodu kullanılarak elde edilmiş  $K_{Ic}$  değerleri [39]

| Kayaçlar     | Lokasyon ya da Tanımlama | $K_{Ic}$ (MPa $\sqrt{m}$ ) |
|--------------|--------------------------|----------------------------|
| Kumtaşı      | İri taneli               | 0.275                      |
| Kireçtaşı    | Suudi Arabistan          | 0.68                       |
| Mermer       | Yeosan                   | $0.871 \pm 0.154$          |
| Andezit      | Ankara, Gölbaşı          | $0.93 \pm 0.110$           |
| Bitümlü şeyl | Colorado                 | 1.020                      |
| Kuvarsit     | Sioux                    | $1.244 \pm 0.071$          |
| Granit       | Newhurst                 | 1.720                      |

Bazı mermerlerin farklı test metotları kullanılarak belirlenmiş tür-I kırılma tokluğu değerleri ise Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3. 3 Bazı mermerlerin farklı test metotları kullanılarak elde edilmiş  $K_{Ic}$  değerleri [49]

| Mermerler (Bölge ya da Tanımlama) | Test Metodu | $K_{Ic}$ (MPa $\sqrt{m}$ ) |
|-----------------------------------|-------------|----------------------------|
| Carrara                           | CB          | 1.38                       |
| İri taneli                        | BDT         | 1.12                       |
| Ekeberg                           | CB          | 1.76                       |
| İnce taneli                       | BDT         | 1.00                       |
| İzmir-Torbalı                     | SECBD       | 1.74                       |

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasının temel amacı, ülkemizin farklı bölgelerinden temin edilen farklı hakiki mermer ve kireçtaşlarının tür-I kırılma tokluğu değerleri ile elmas telli kesme makinelerinin performans parametreleri olan birim aşınma, birim enerji ve kesim hızı değerleri arasındaki ilişkinin incelenmesidir. Ayrıca, çalışmada kullanılan hakiki mermer ve kireçtaşlarının fiziko-mekanik özellikleri de belirlenerek bu özellikler ile kırılma tokluğu ve performans parametreleri arasındaki ilişkinin incelenmesi de amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda; tür-I kırılma tokluğu değerlerini belirlemek için yarım-dairesel eğilme (SCB) test metodunun kullanılmasına karar verilmiş ve numune hazırlık işlemleri ile testler, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Mermer Teknolojileri Laboratuvarı ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Fiziko-mekanik özelliklerin tayini için gerekli numune hazırlık işlemleri Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Mermer Teknolojileri Laboratuvarı'nda, testleri ise Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

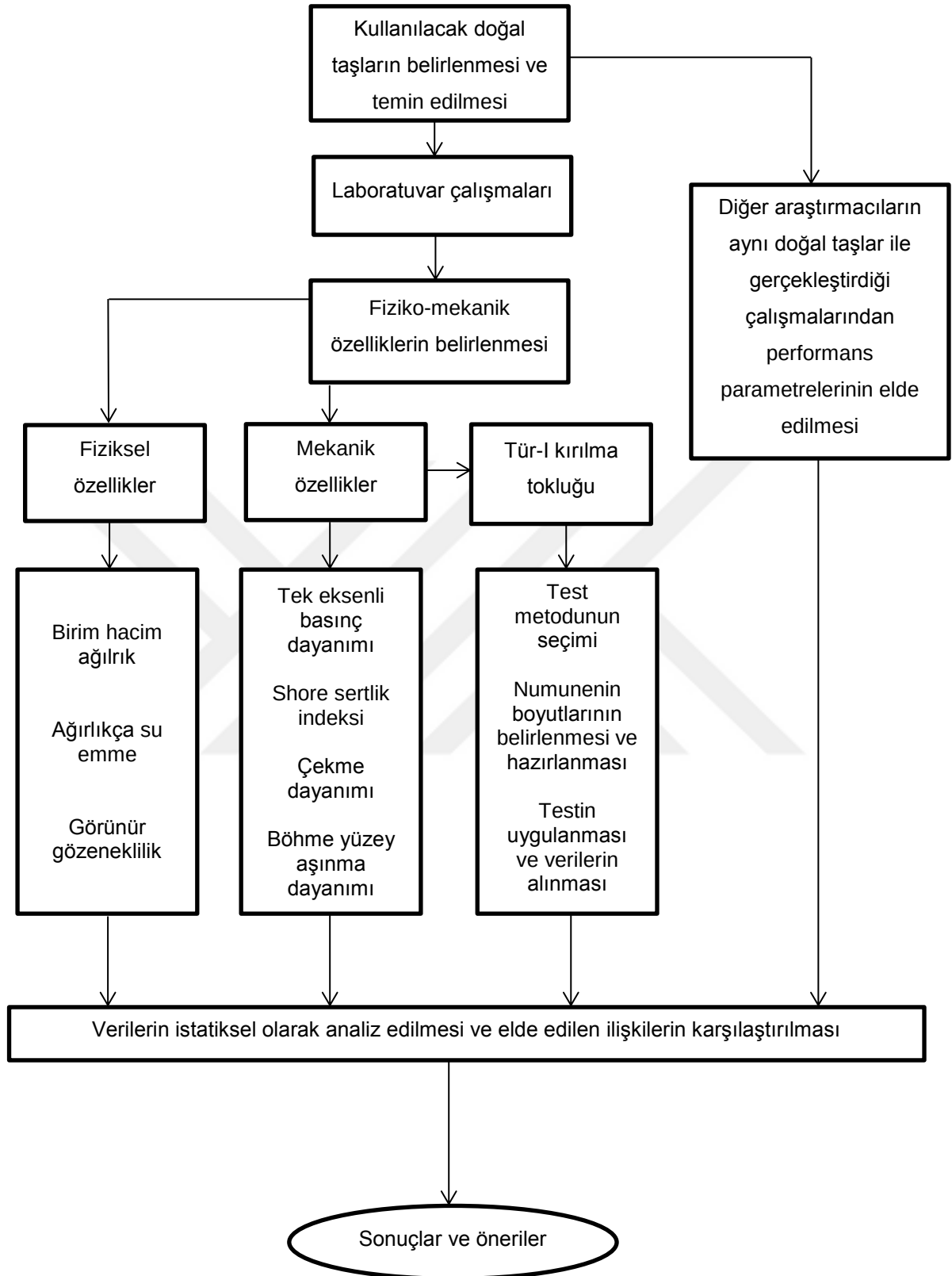
Mekanik özellikler olarak; shore sertlik indeksi, tek eksenli basınç dayanımı (UCS), Brazialian (dolaylı) çekme dayanımı ve Böhme yüzey aşınma dayanımı testleri, fiziksel özellikler olarak ise; birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme ve görünür gözeneklilik testleri gerçekleştirilmiştir.

Performans parametreleri ise, Yılmazkaya [2] ve Kanbir'in [8] gerçekleştirdiği çalışmalardan alınmıştır.

Daha sonra çalışmalardan elde edilen sonuçlar grafiksel olarak analiz edilmiş ve performans parametreleri ile kayaçların fiziko-mekanik özellikleri ve tür-I kırılma tokluğu değerleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.

Şekil 4.1'de çalışmada izlenen yöntem ve yapılan çalışmalar gösterilmiştir.





Şekil 4. 1 Çalışmada izlenen yöntem ve yapılan çalışmalar

#### 4.1. Çalışmada Kullanılan Doğal Taşlar ve Hazırlık Çalışmaları

Burdur, Kütahya, Afyon ve Muğla illerindeki doğal taş ocaklarından seçilen 6 farklı hakiki mermer ve kireçtaşı numuneleri arazide bloklar haline getirilmiş ve laboratuvara nakli gerçekleştirilmiştir.

Aşağıdaki Çizelge 4.1'de doğal taşların ticari isimleri, Şekil 4.2'de ise 20cm\*20cm\*25cm ebatlarında boyutlandırılmış numunelerin bazılarının görünümü verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Çalışmada kullanılan doğal taşların ticari isimleri

| Hakiki Mermerler | Kireçtaşları    |
|------------------|-----------------|
| Afyon Beyaz      | Burdur Açık Bej |
| Muğla Beyaz      | Burdur Koyu Bej |
| Kütahya Menekşe  |                 |
| Afyon Şeker      |                 |



Şekil 4. 2 20cm\*20cm\*25cm ebatlarında boyutlandırılmış numunelerin bazılarının görünümü

#### 4.2. Doğal Taşların Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışmada kullanılan doğal taşların fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Mermer Teknolojileri Laboratuvarı'nda numunelerden hem karotlar alınmış hem de 7cm\*7cm\*7cm ebatlarında küp numuneler hazırlanmıştır. Kayaçların fiziko-mekanik özellikleri Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda ISRM [7] ve TSE [6] standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 4. 2 Çalışmada kullanılan doğal taşların fiziko-mekanik özellikleri

| Doğal Taşlar    | BHA (g/cm <sup>3</sup> ) | ASE (%) | GG (%) | SSİ | TEBD (MPa) | DÇD (MPa) | BYAD (cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|--------------------------|---------|--------|-----|------------|-----------|--------------------------------------------|
| Muğla Beyaz     | 2.68                     | 0.16    | 0.43   | 42  | 65.31      | 4.77      | 30.85                                      |
| Afyon Şeker     | 2.72                     | 0.06    | 0.19   | 50  | 66.3       | 7.2       | 27.1                                       |
| Afyon Beyaz     | 2.69                     | 0.05    | 0.25   | 49  | 51.45      | 5.7       | 37.09                                      |
| Burdur Koyu Bej | 2.71                     | 0.53    | 1.41   | 61  | 62.72      | 5.95      | 22.41                                      |
| Burdur Açık Bej | 2.72                     | 0.13    | 0.35   | 59  | 88.06      | 7.23      | 20.77                                      |
| Kütahya Menekşe | 2.7                      | 0.13    | 0.35   | 50  | 87.02      | 6.8       | 28.75                                      |

(BHA: Birim Hacim Ağırlık; ASE: Ağırlıkça Su Emme; GG: Görünür Gözeneklilik; SSİ: Shore Sertliği İndeksi; TEBD: Tek Eksenli Basma Dayanımı; DÇD: Dolaylı Çekme Dayanımı; BYAD: Böhme Yüzey Aşınma Dayanımı)

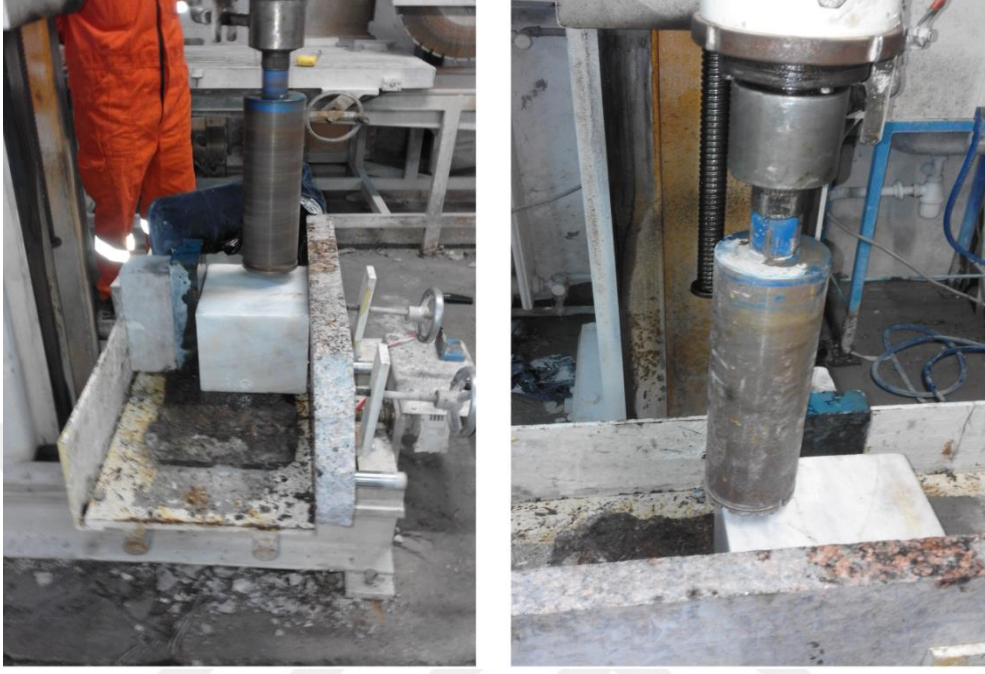
#### 4.3. Doğal Taşların Tür-I Kırılma Tokluğu Değerlerinin Belirlenmesi

Çalışmada kullanılan doğal taşların tür-I kırılma tokluğu değerlerinin belirlenmesi için, ISRM [40] tarafından önerilen test metotları arasında yer alan yarım-dairesel eğilme (SCB) test metodu kullanılmıştır.

##### 4.3.1. SCB Numunesinin Hazırlanması

Ülkemizin çeşitli bölgelerindeki doğal taş ocaklarından seçilen ve 20cm\*20cm\*25cm ebatlarında bloklar halinde getirilen 6 farklı hakiki mermer ve kireçtaşı numuneleri, dış çapı 107 cm iç çapı 100.50 cm olan karotiyer ile karot alma makinesinde yaklaşık olarak 100cm çapında silindirik numune haline getirilmiştir.

Şekil 4.3’de çalışmada kullanılan karot alma makinesi ve karotiyerin görüntüsü, Şekil 4.4’de ise laboratuvara bloklar halinde getirilen doğal taşların karot aldıktan sonraki görüntüsü verilmiştir.

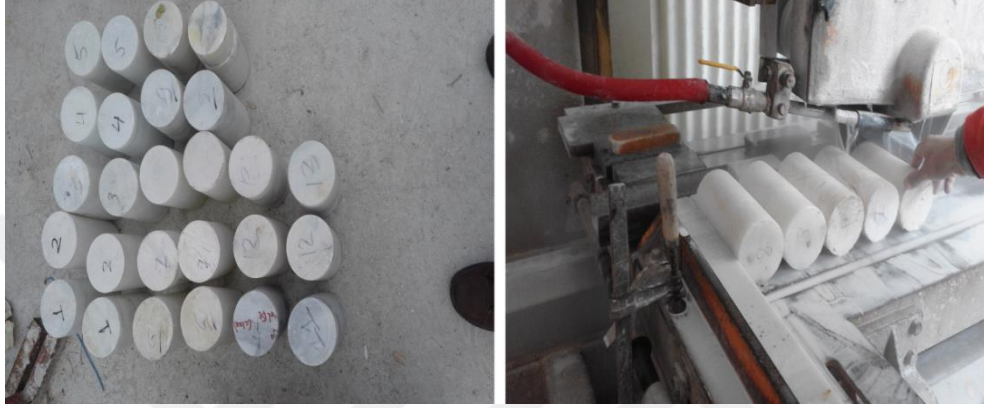


Şekil 4. 3 Karot alma makinesi ve karotiyer



Şekil 4. 4 Doğal taşların karot aldıktan sonraki görüntüsü

Silindirik numuneler elde edildikten sonra, 3mm kalınlığında elmas uçlu dairesel testere ile 50 mm kalınlığında disk şeklinde numuneler elde edilecek şekilde dilimlenmiştir. Daha sonra aynı kesici ekipmanla dilimlenmiş diskler iki eşit parçaya bölünmüş ve her bir doğal taş için 12 adet numune elde edilmiştir. Şekil 4.5’de silindirik numunelerin dilimlenişi, Şekil 4.6’da ise dilimlendikten sonra elde edilmiş yarım dairesel numunelerin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4. 5 Silindirik numuneler ve disk şeklinde dilimlenişi



Şekil 4. 6 Yarım-dairesel numuneler

Daha sonra ise, yarım dairesel numuneler üzerinde hassas cetvel yardımı ile çentik açılması gereken noktalar işaretlenmiş ve 0.68 mm kalınlığında elmas uçlu dairesel testere ile yaklaşık olarak 1mm kalınlığında çentikler açılmıştır. Şekil 4.7’de çentik açmakta kullanılan dairesel testere ve çentik açılmış yarım dairesel numune gösterilmiştir.





Şekil 4. 7 Dairesel testere ve çentikli numune

Çentikler açıldıktan sonra, üç noktadan eğilme ile yükleme yapılacak noktalar ve tüm yarım dairesel numunelerin boyutları elektronik kumpas ile işaretlenmiş ve ölçülmüştür. Ayrıca açılan her bir çentiğin kalınlığı ve numunelerin merkez noktasına göre doğrultusu da belirlenmiştir (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9).



Şekil 4. 8 Numune boyutlarının ve çentik kalınlığının belirlenmesi

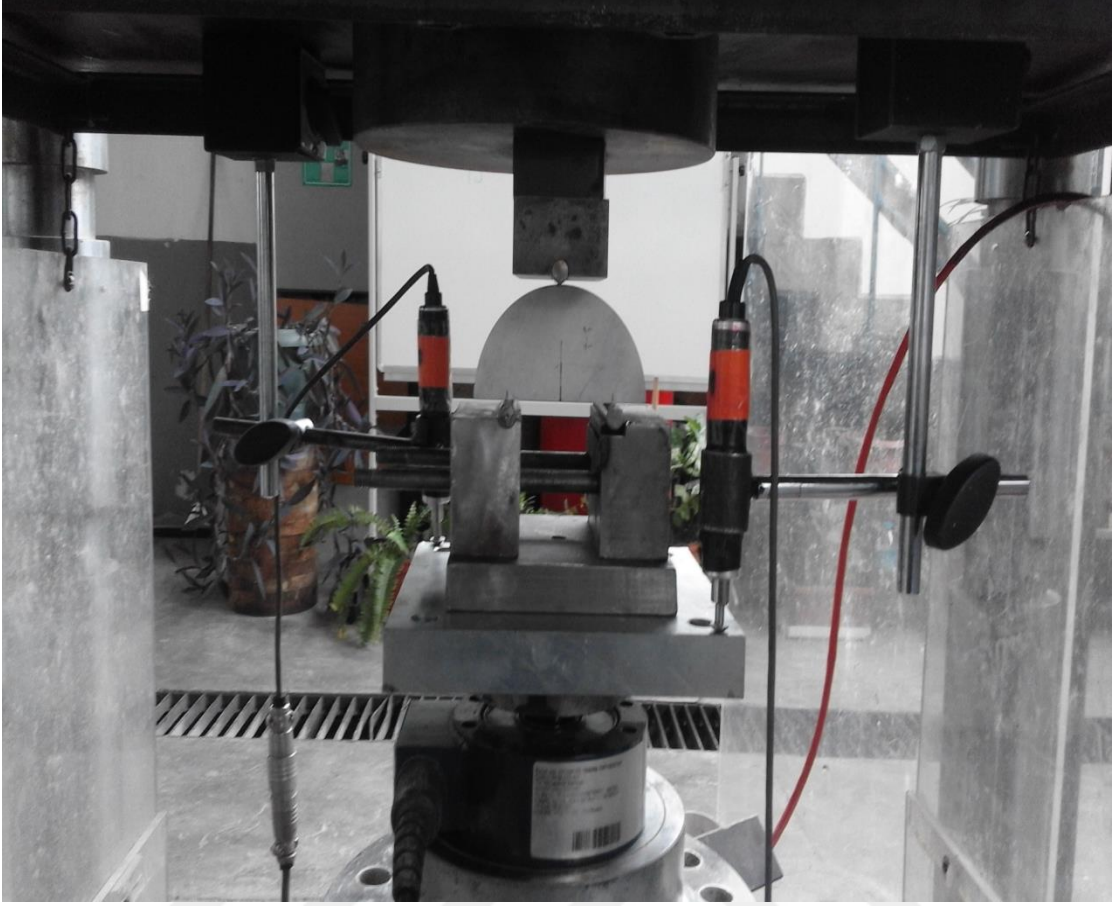


Şekil 4. 9 Yükleme noktalarının işaretlenmesi

#### 4.3.2. Deney Düzenekinin Kurulumu

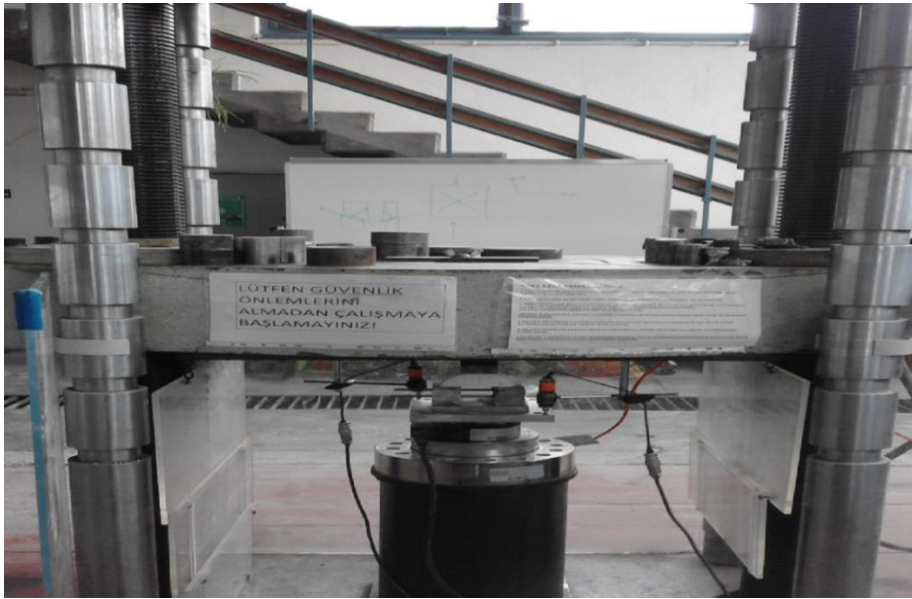
Yarım-dairesel eğilme (SCB) numunelerinin üç noktadan eğilme prensipleri ile yüklenmesini sağlayan silindirik çubukların üçünün de çapı 7.90mm'dir. Yarım dairesel numunenin altında bulunan ve destek çubukları olarak görev yapan iki silindirik çubuk, numuneye önceden işaretlenmiş noktaların hizasında yerleştirilmiştir. Numunenin üstünde bulunan ve sıkıştırma kuvvetinin uygulanmasını sağlayan silindirik çubuk ise, numunenin merkez doğrultusunda açılmış çentik ile aynı doğrultuda konumlandırılmıştır.

Yükü ölçmek için, sisteme  $\pm 0.25$  kN hassasiyete sahip 500 kN kapasiteli harici bir yük hücresi eklenmiştir. Dikey yer değiştirmeyi (deformasyon) ölçmek için,  $\pm 0.005$  mm hassasiyete sahip 10 mm kapasiteli iki harici lineer yer değiştirme transdüseri kullanılmıştır. Şekil 4.10'da SCB testi yükleme düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4. 10 SCB testi yükleme düzeneği

Yükleme sistemi olarak sıkıştırma yükü uygulayan hidrolik test cihazı (MTS) kullanılmıştır (Şekil 4.11). Numuneler, 0.03mm/dk'lık sabit yer değiştirme kontrollü bir şekilde yüklenmiştir.



Şekil 4. 11 Hidrolik test cihazı (MTS)



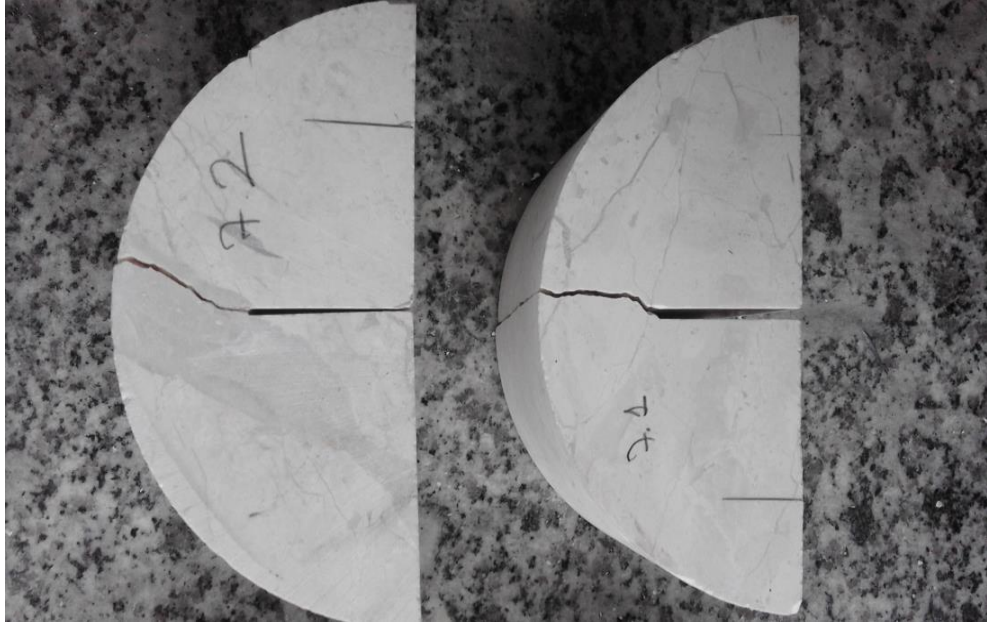
Transdüserlerin ve yük hücresinin sinyalleri veri toplama modülü tarafından işlenmiş ve sisteme bağlı bilgisayara gönderilmiştir. Testlab Basic isimli genel amaçlı statik veri toplama yazılımı ile tüm bu sinyaller sayısal veriler olarak işlenmiş ve gerekli bilgiler toplanmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4. 12 Veri toplama modülü, sisteme bağlı bilgisayar ve genel amaçlı statik veri toplama yazılımı

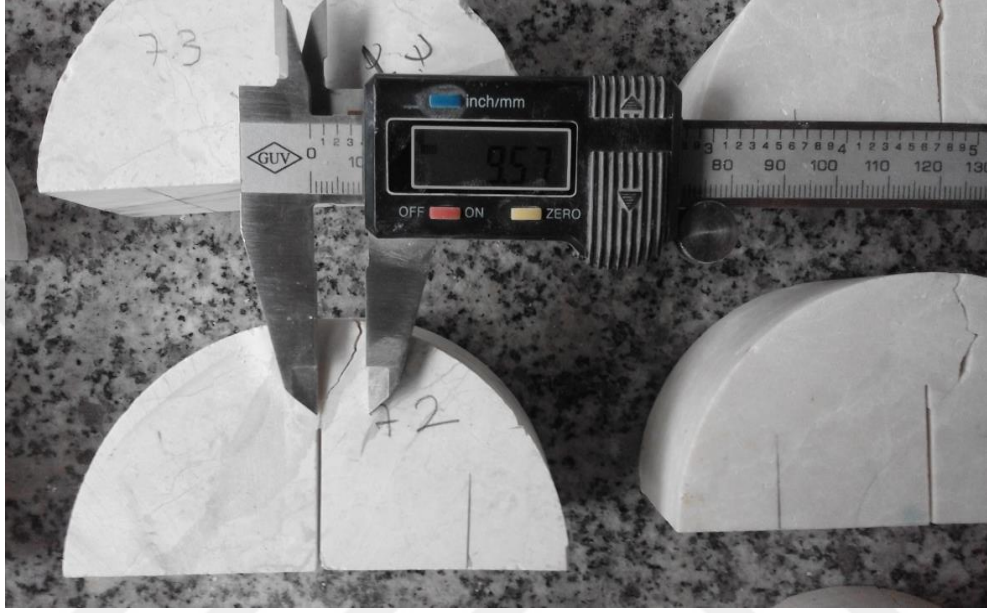
#### 4.3.3. SCB Numunesinin Kırıldıktan Sonraki Analizi

SCB numunesinin yenilme yüküne ulaştıktan sonra çentik boyunca kırılma görüntüsü Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4. 13 SCB numunesinin çentik boyunca kırıldıktan sonraki görünümü

Numune yenildikten sonra, çatlak düzlemi elektronik kumpas yardımı ile ölçülmüştür (Şekil 4.14). Bu ölçümlere göre; çatlak düzlemi bağı çentik düzleminden numunenin çapının yüzde beşinden fazla ( $0.05D$ ) sapıyorsa, sonuç geçersiz sayılmış ve hesaplamalara eklenmemiştir. SCB numunelerinin kırıldıktan sonraki görünüşleri Şekil 4.15’de verilmiştir.



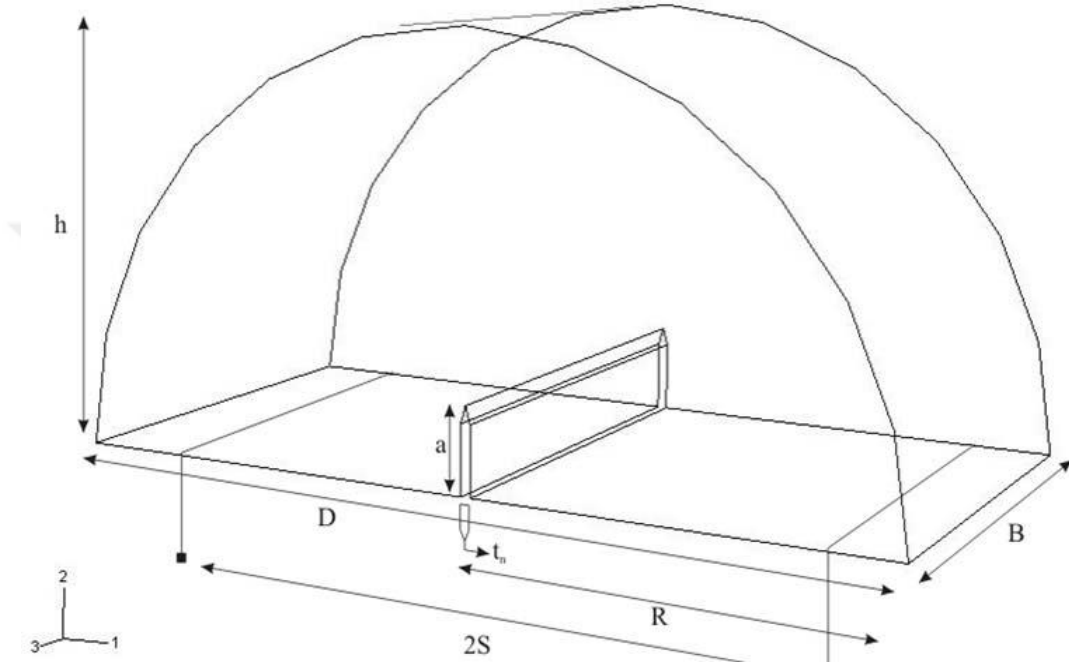
Şekil 4. 14 Çatlak düzleminin elektronik kumpas ile çentik düzlemi ile arasında olan mesafesinin ölçülmesi



Şekil 4. 15 SCB numunelerinin kırıldıktan sonraki görünüşleri

#### 4.3.4. SCB Numunelerinin Geometrisi

SCB testinden önce her bir numunenin yarıçapı ( $R$ ), çapı ( $D$ ), kalınlığı ( $B$ ), çentik kalınlığı ( $t$ ), çentik uzunluğu ( $a$ ) ve aynı zamanda alttaki iki silindirik destek çubuğu arasındaki mesafe ( $s$ ) ölçülmüştür (Şekil 4.16). Ölçümler, numunenin hem ön kısmından hem de arka kısmından alınan ölçümlerin ortalaması alınarak hesaplamalarda kullanılmıştır.



Şekil 4. 16 SCB numunesinin taslağı [49]

Çizelge 4.3’de Muğla Beyaz mermerine ait 12 adet SCB numunesinin geometrik boyutları verilmiştir. Bu 12 numune 1’den 12’ye kadar numaralandırılmıştır.

Numunelere ait bu numaraların yanındaki “\*” işareti, numune kırıldıktan sonra oluşan çatlak düzleminin çentik düzlemine göre kabul edilebilir seviyeden fazla saptığını (Numunenin çapının yüzde beşinden fazla ( $0.05D$ )) ve hesaplamalara dahil edilmediğini göstermektedir.

Bu şekilde hesaplamalara dahil edilmeyen numune sayısı Muğla Beyaz için 4, Burdur Açık Bej için 1, Burdur Koyu Bej için 1, Afyon Şeker için 2 adet olmuştur. Kütahya Menekşe ve Afyon Beyaz hakiki mermerleri için yapılan ölçümlere göre hesaplamalara dahil edilmeyen numuneleri olmamıştır.

Diğer doğal taşlara ait SCB numunesinin geometrik boyutlarını gösteren Çizelgeler Ek.1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 3 Muğla Beyaz mermerine ait numunelerin geometrik boyutları

| Numune Numarası | Çentik Kalınlığı( <i>t</i> ) (mm) | Çentik Uzunluğu( <i>a</i> ) (mm) | Numune Çapı ( <i>D</i> ) (mm) | Numune Kalınlığı( <i>B</i> ) (mm) | Numune Yarıçapı( <i>R</i> ) (mm) |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1*              | 1.02                              | 25.31                            | 99.68                         | 50.96                             | 48.96                            |
| 2*              | 1.00                              | 25.52                            | 98.70                         | 50.35                             | 47.81                            |
| 3               | 1.02                              | 25.57                            | 99.20                         | 50.14                             | 48.22                            |
| 4*              | 0.99                              | 24.94                            | 99.60                         | 50.56                             | 48.06                            |
| 5               | 0.96                              | 25.64                            | 99.38                         | 50.89                             | 48.02                            |
| 6*              | 1.06                              | 23.14                            | 99.60                         | 51.21                             | 48.70                            |
| 7               | 0.95                              | 24.80                            | 98.83                         | 51.30                             | 49.30                            |
| 8               | 0.98                              | 24.88                            | 99.38                         | 51.36                             | 48.94                            |
| 9               | 1.02                              | 24.92                            | 99.48                         | 51.65                             | 48.96                            |
| 10              | 0.97                              | 24.43                            | 99.26                         | 51.71                             | 48.70                            |
| 11              | 1.06                              | 25.67                            | 99.02                         | 51.90                             | 48.10                            |
| 12              | 0.97                              | 25.75                            | 99.30                         | 51.92                             | 50.16                            |

#### 4.4. Çalışmada Kullanılan Doğal Taşların Tür-I Kırılma Tokluğu Sonuçları

Bu çalışmada kullanılan doğal taşların tür-I kırılma tokluğu değerleri Eşitlik 3.4 ile hesaplanmıştır. Eşitlik 3.4'deki normalleştirilmiş gerilim şiddet faktörü, Kuruppu vd. [40] tarafından gerçekleştirilen çalışmadan türetilen Eşitlik 3.5 esas alınarak hesaplanmıştır. Aşağıda bu eşitlikler tekrar verilmiştir.

$$K_{Ic} = Y' \frac{P_{max}\sqrt{\pi a}}{2RB} \quad (3.4)$$

Burada;

$K_{Ic}$  = Kırılma tokluğu (MPa $\sqrt{m}$ )

$Y'$  = Boyutsuz( normalleştirilmiş) gerilim şiddet faktörü

$P_{max}$  = Kırılma yükü (MN)

$a$  = Çentik uzunluğu (m)

$R$  = Numune yarıçapı (m)

$B$  = Numune kalınlığı (m)

$$Y' = -1.297 + 9.519(s/2R) - (0.47 + 16.457(s/2R)) \beta + (1.071 + 34.401(s/2R)) \beta^2 \quad (3.5)$$

Burada;

$s$  = İki destek çubuğu arasındaki mesafe (m)

$\beta = a/R$  (çentik uzunluğunun numune yarıçapına oranı)

Kuruppu vd [40] gerçekleştirdiği analizlere göre, Eşitlik 3.5'in geçerli olabilmesi ancak aşağıda verilen sınırlarda çalışılması durumunda olmaktadır:

$$0.4 \leq \beta(a/R) \leq 0.6 \text{ ve } 0.5 \leq s/2R \leq 0.8$$

Bu çalışmada Eşitlik 3.5'in geçerli olabilmesi için yukarıdaki şartlar yerine getirilmiş ve aşağıda verilen oranlar kullanılmıştır.(Çalışmada çentik uzunluğu ( $a$ ) olarak yaklaşık 25mm, iki destek silindirik çubuk arasındaki mesafe ( $s$ ) ise 60 mm olarak seçilmiştir.)

$$\beta = a/R = 25\text{mm}/50\text{mm} = 0.5 \text{ ve } s/2R = 60\text{mm}/100\text{mm} = 0.6$$

Yukarıdaki  $\beta(=0.5)$  ve  $s/2R(=0.6)$  değerleri Eşitlik 3.5'de kullanıldığında;

$$Y' = -1.297 + 9.519(0.6) - (0.47 + 16.457(0.6)) 0.5 + (1.071 + 34.401(0.6)) 0.5^2 \\ = 4.668$$

Çalışmada kullanılan doğal taşların bütün numuneleri için aynı çentik uzunluğu, yarıçap ve deney düzeneği koşulları ( $s$ ) uygulandığından, gerçekleştirilen tüm kırılma tokluğu hesaplamalarında normalleştirilmiş gerilim şiddet faktörü ( $Y'$ ), 4.668 olarak kullanılmıştır.

Çizelge 4.4'de ise, Muğla beyaz mermerinin numuneleri için SCB testi ile elde edilen yenilme yükleri verilmiştir (Numunelerin 4 tanesi gerekli şekilde kırılmadığından hesaplamalara katılmamış ve Çizelge 4.4'de geri kalan 8 numunenin yenilme yükleri verilmiştir.) Diğer doğal taşların yenilme yükleri ise Ek.2'de verilmiştir.

Çizelge 4. 4 Muğla Beyaz mermerinin SCB testi ile elde edilen yenilme yükleri

| Numune Numarası | Yenilme Yüğü (N) |
|-----------------|------------------|
| 3               | 2370.60          |
| 5               | 2498.31          |
| 7               | 3763.05          |
| 8               | 2872.13          |
| 9               | 3417.27          |
| 10              | 3133.80          |
| 11              | 2750.64          |
| 12              | 3495.15          |
| Ortalama        | 3037.62          |

Örnek hesaplama olarak Muğla Beyaz mermerinin 3 numaralı numunesi için Çizelge 4.3'deki geometrik boyutları ve Çizelge 4.4'deki yenilme yükü kullanılarak tür-I kırılma tokluğu değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Yenilme yükü ( $P_{max}$ ) = 2370.60N

Numune kalınlığı ( $B$ ) = 50.14mm=0.05014m

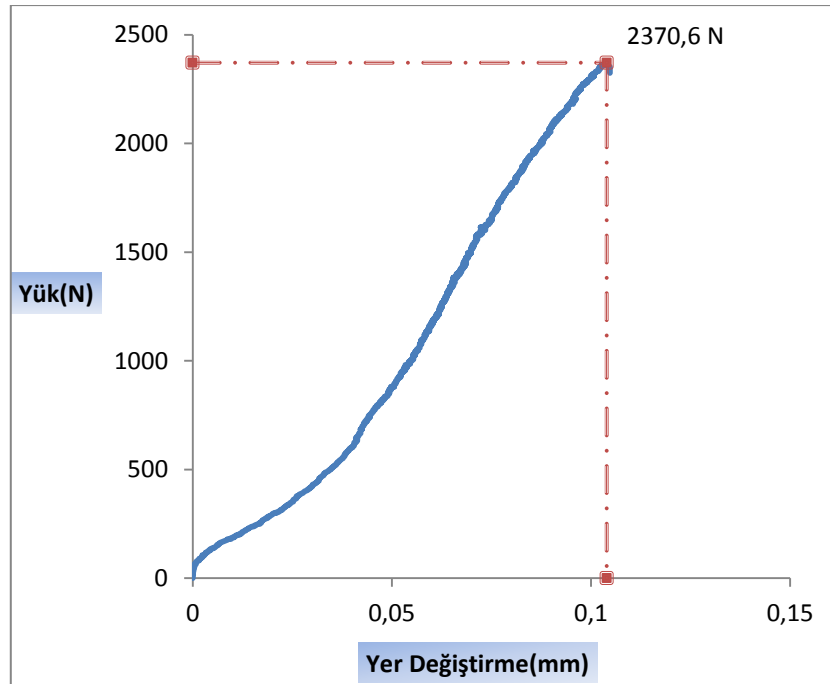
Numune yarıçapı ( $R$ ) = 48.22mm=0.04822m

Çentik uzunluğu ( $a$ ) = 25.57mm=0.02557m

$$K_{Ic} = Y' \frac{P_{max} \sqrt{\pi a}}{2RB}$$

$$= 4.668 \times \frac{2370.60N \times \sqrt{\pi \times 0.02557m}}{2 \times 0.04822m \times 0.05014m} = 648507.691 Pa \sqrt{m} = 0.6485 MPa \sqrt{m}$$

Şekil 4.17'de örnek olarak, Muğla Beyaz mermerinin 3 numaralı numunesi için yenilme noktasına kadar gösterdiği yük-yer değiştirme (deformasyon) davranışına ait eğrisi verilmiştir. Diğer doğal taşların yük-yer değiştirme (deformasyon) eğrileri için örnek grafikler ise Ek.3'de verilmiştir.



Şekil 4. 17 Muğla Beyaz mermeri için örnek yük-yer değiştirme eğrisi

Yukarıdaki işlemler Muğla Beyaz mermerinin diğer tüm numuneleri için de uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çalışmadaki diğer doğal taşların bütün numuneleri için kırılma tokluğu sonuçları ise Ek.4’de ayrı ayrı verilmiştir.

Çizelge 4. 5 Muğla beyaz mermerinin SCB testi ile elde edilen tür-I kırılma tokluğu değerleri

| Numune Numarası | Kırılma Tokluğu, $K_{Ic}(\text{MPa}\sqrt{m})$ |
|-----------------|-----------------------------------------------|
| 3               | 0.6485                                        |
| 5               | 0.6771                                        |
| 7               | 0.9692                                        |
| 8               | 0.7454                                        |
| 9               | 0.8823                                        |
| 10              | 0.8044                                        |
| 11              | 0.7302                                        |
| 12              | 0.8907                                        |
| Ortalama        | 0.7935                                        |
| Standart sapma  | 0.11                                          |

Çizelge 4.5’e göre Muğla Beyaz mermerinin SCB test metoduna göre tür- I kırılma tokluğu değeri  $0.7935 \pm 0.11$  olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.6’da ise bu çalışmada kullanılan tüm doğal taşların kırılma tokluğu sonuçları toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4. 6 Çalışmada kullanılan doğal taşların SCB testi ile elde edilen tür-I kırılma tokluğu değerleri

| Doğuş Taşlar    | $K_{Ic}(\text{MPa}\sqrt{m})$ | Standart Sapma |
|-----------------|------------------------------|----------------|
| Muğla Beyaz     | 0.7935                       | 0.11           |
| Afyon Şeker     | 0.9498                       | 0.11           |
| Afyon Beyaz     | 0.8722                       | 0.08           |
| Burdur Koyu Bej | 0.9982                       | 0.13           |
| Burdur Açık Bej | 1.0487                       | 0.08           |
| Kütahya Menekşe | 1.1179                       | 0.09           |

## 5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bu bölümünde yarım-dairesel eğilme (SCB) test metodu kullanılarak elde edilen doğal taşların (mermer ve kireçtaşı) tür-I kırılma tokluğu değerleri ile Yılmazkaya [2] ve Kanbir [8] tarafından gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen elmas telli kesme makinelerinin performans parametreleri arasındaki ilişkiler grafiksel olarak incelenmiştir. Ayrıca, benzer şekilde, kayaçların fiziko-mekanik özellikleri ile performans parametreleri ve tür-I kırılma tokluğu değerleri arasındaki ilişkiler de grafiksel olarak incelenmiştir.

### 5.1. Elmas Telli Kesme Makinelerinin Performans Parametreleri

Çizelge 5.1'de Yılmazkaya'nın [2] tektelli kesme makinesi ile, bu çalışma kapsamında kullanılan numuneler üzerinde gerçekleştirdiği kesme çalışmalarında elde ettiği birim aşınma ve birim enerji performans parametre değerleri verilmektedir. Bu parametreler Yılmazkaya [2] tarafından belirlenen optimum koşullarda gerçekleştirilen kesme çalışmalarından elde edilmiştir.

Çizelge 5. 1 Tektelli (monotel) kesme makinesinin bu çalışmadaki doğal taşlar için optimum koşullardaki performans parametreleri [2]

| Doğal Taşlar    | Çevresel Hız (m/sn) | Kesme Hızı (mm/dk) | Birim Aşınma ( $\mu\text{m}/\text{m}^2$ ) | Birim Enerji ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ) |
|-----------------|---------------------|--------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| Afyon Beyaz     | 30.99               | 18.09              | 1.14                                      | 11.76                                    |
| Muğla Beyaz     | 31.31               | 18.22              | 1.34                                      | 11.64                                    |
| Afyon Şeker     | 31.37               | 18.66              | 1.29                                      | 12.53                                    |
| Burdur Koyu Bej | 31.98               | 20.00              | 1.28                                      | 15.83                                    |
| Burdur Açık Bej | 30.97               | 20.00              | 1.62                                      | 17.01                                    |

Çizelge 5.2'de ise Kanbir [8] tarafından bu çalışma kapsamında kullanılan numuneler üzerinde elmas tel kesme makinesi ile yaptığı çalışmadan elde ettiği birim aşınma ve kesim hızı performans parametreleri değerleri verilmektedir. Bu parametreler Kanbir [8] tarafından belirlenen optimum koşullarda gerçekleştirilen kesme çalışmalarından elde edilmiştir.



Çizelge 5. 2 Elmas tel kesme makinesinin bu çalışmadaki doğal taşlar için optimum koşullardaki performans parametreleri [8]

| Doğal Taşlar    | Numune Devir Sayısı (d/dk) | Boncuk Devir Sayısı (d/dk) | Birim Aşınma ( $\mu\text{m}/\text{m}^2$ ) | Kesim Hızı ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| Afyon Beyaz     | 300                        | 2130                       | 0.556                                     | 0.351                                |
| Muğla Beyaz     | 271                        | 1676                       | 0.369                                     | 0.273                                |
| Küyahya Menekşe | 245                        | 1600                       | 1.003                                     | 0.259                                |
| Burdur Koyu Bej | 200                        | 1600                       | 0.227                                     | 0.149                                |
| Burdur Açık Bej | 251                        | 2200                       | 0.476                                     | 0.063                                |

## 5.2. Tür-I Kırılma Tokluğu Değerleri ile Elmas Telli Kesme Makinelerinin Performans Parametreleri Arasındaki İlişkilerin Analizi

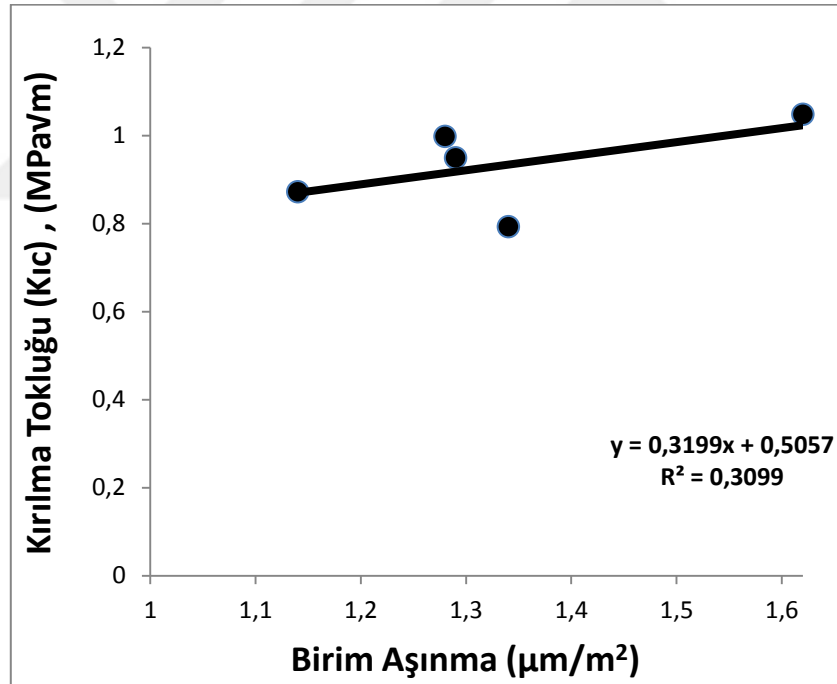
Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de verilen iki ayrı elmas telli kesme makinesine ait performans parametresi değerleri ile Çizelge 4.6’da verilen SCB testinden elde edilen tür-I kırılma tokluğu değerleri arasındaki ilişkiler grafiksel olarak incelenmiştir.

### 5.2.1. Tektelli Kesme Makinesinin Performans Parametreleri ile Tür-I Kırılma Tokluğu Arasındaki İlişkinin Analizi

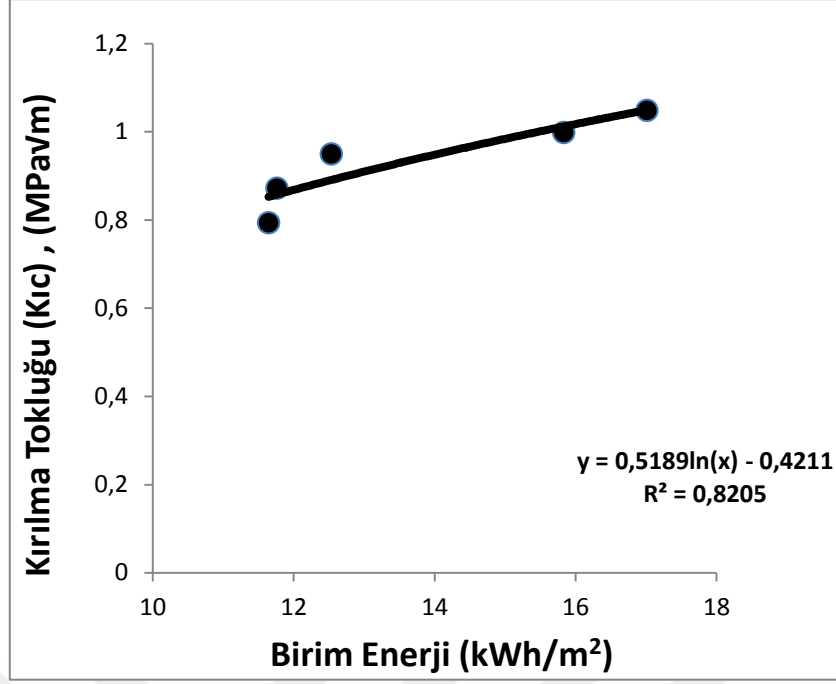
Çizelge 5.3’de, bu çalışma kapsamında kullanılan doğal taşlara ait tektelli kesme makinesi performans parametreleri ile kırılma tokluğu değerleri verilmiş, aralarındaki ilişkiler ise grafiksel olarak incelenerek elde edilen sonuçlar Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de verilmiştir

Çizelge 5. 3 Tektelli kesme makinesinin performans parametreleri ile tür-I kırılma tokluğu değerleri

| Doğal Taşlar    | Birim Aşınma ( $\mu\text{m}/\text{m}^2$ ) | Birim Enerji ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ) | Kırılma Tokluğu ( $K_{Ic}$ ) ( $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ) |
|-----------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Afyon Beyaz     | 1.14                                      | 11.76                                    | 0.8722                                                       |
| Muğla Beyaz     | 1.34                                      | 11.64                                    | 0.7935                                                       |
| Afyon Şeker     | 1.29                                      | 12.53                                    | 0.9498                                                       |
| Burdur Koyu Bej | 1.28                                      | 15.83                                    | 0.9982                                                       |
| Burdur Açık Bej | 1.62                                      | 17.01                                    | 1.0487                                                       |



Şekil 5. 1 Tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma ile kırılma tokluğu ilişkisi



Şekil 5. 2 Tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji ile kırılma tokluğu ilişkisi

Şekil 5.1 incelendiğinde, tür-I kırılma tokluğu ile birim aşınma arasında doğrusal bir ilişki ( $R=0,56$ ) tespit edilmiştir.

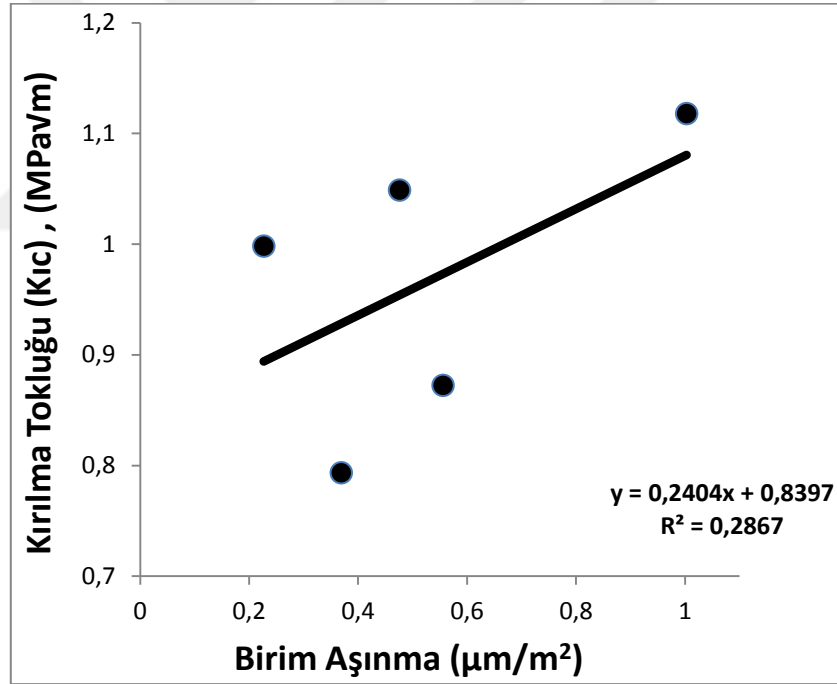
Şekil 5.2 incelendiğinde ise, kırılma tokluğu ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasında logaritmik artan güçlü bir ( $R=0,91$ ) ilişki bulunmuştur.

#### 5.2.2. Elmas Tel Kesme Makinesinin Performans Parametreleri ile Tür-I Kırılma Tokluğu Arasındaki İlişkinin Analizi

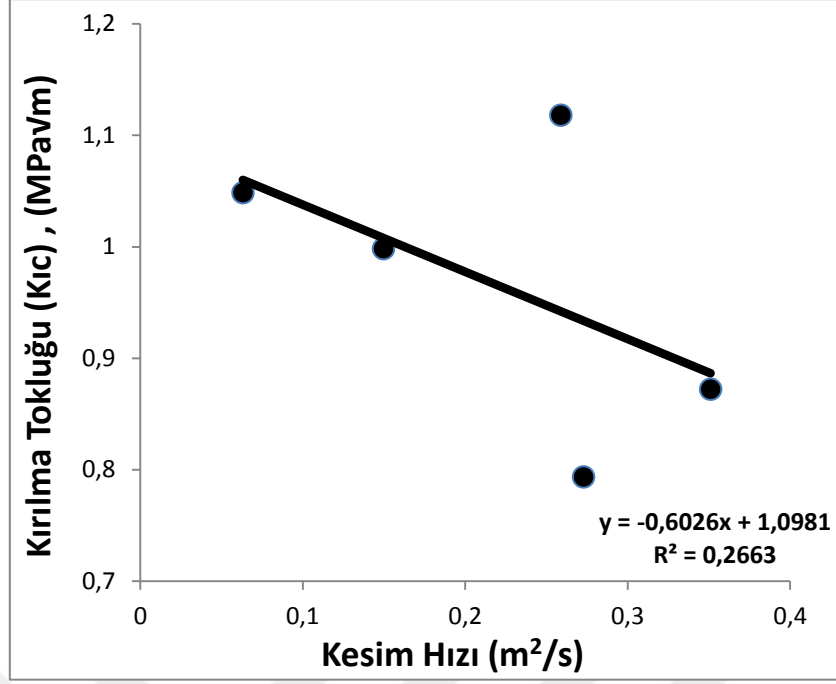
Çizelge 5.4'de, bu çalışma kapsamında kullanılan doğal taşlara ait elmas tel kesme makinesi performans parametreleri ile kırılma tokluğu değerleri verilmiş, aralarındaki ilişkiler ise grafiksel olarak incelenerek elde edilen sonuçlar Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5. 4 Elmas tel kesme makinesinin performans parametreleri ile tür-I kırılma tokluğu değerleri

| Doğal Taşlar    | Birim Aşınma ( $\mu\text{m}/\text{m}^2$ ) | Kesim Hızı ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) | Kırılma Tokluğu ( $K_{Ic}$ ) ( $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ) |
|-----------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Afyon Beyaz     | 0.556                                     | 0.351                                | 0.8722                                                       |
| Muğla Beyaz     | 0.369                                     | 0.273                                | 0.7935                                                       |
| Küyahya Menekşe | 1.003                                     | 0.259                                | 1.1179                                                       |
| Burdur Koyu Bej | 0.227                                     | 0.149                                | 0.9982                                                       |
| Burdur Açık Bej | 0.476                                     | 0.063                                | 1.0487                                                       |



Şekil 5. 3 Elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma ile kırılma tokluğu ilişkisi



Şekil 5. 4 Elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı ile kırılma tokluğu ilişkisi

Şekil 5.3 incelendiğinde, tür-I kırılma tokluğu ile birim aşınma arasında doğrusal bir ilişki ( $R=0,54$ ) tespit edilmiştir.

Şekil 5.4 incelendiğinde ise, kırılma tokluğu ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasında doğrusal ters yönlü bir ( $R=0,52$ ) ilişki bulunmuştur.

### 5.3. Tür-I Kırılma Tokluğu Değerleri ile Fiziko-Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin Analizi

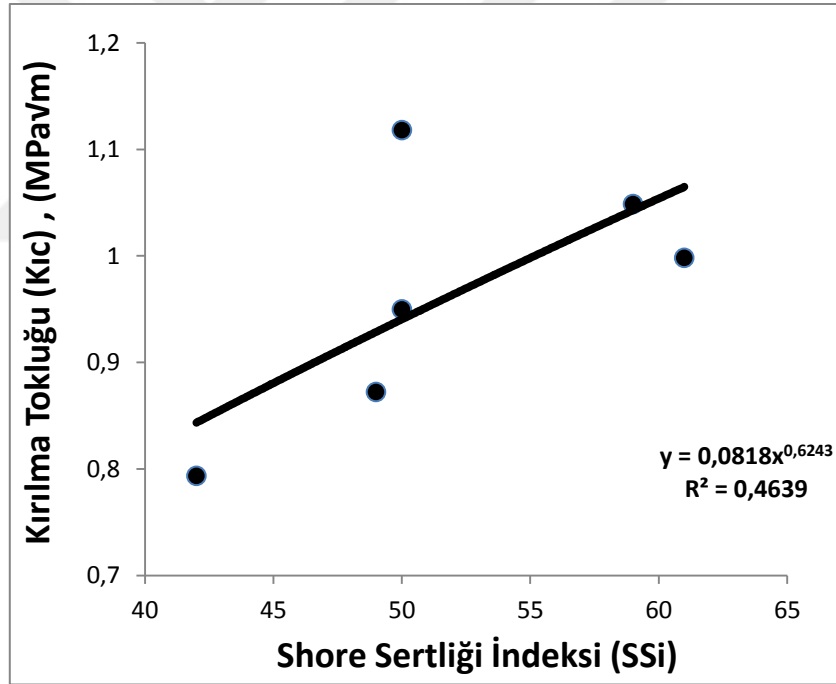
Çalışmanın bu bölümünde, hakiki mermer ve kireçtaşlarının mekanik ve fiziksel özellikleri (Çizelge 4.2) ile tür- I kırılma tokluğu (Çizelge 4.6) arasındaki ilişkiler grafiksel olarak incelenmiştir.

#### 5.3.1. Tür-I Kırılma Tokluğu Değerleri ile Diğer Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin Analizi

Hakiki mermer ve kireçtaşlarının mekanik özellikleri ve tür-I kırılma tokluğu değerleri toplu olarak Çizelge 5.5'de mekanik özellikler ile kırılma tokluğu arasındaki grafiksel ilişkiler ise Şekil 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8'de verilmiştir.

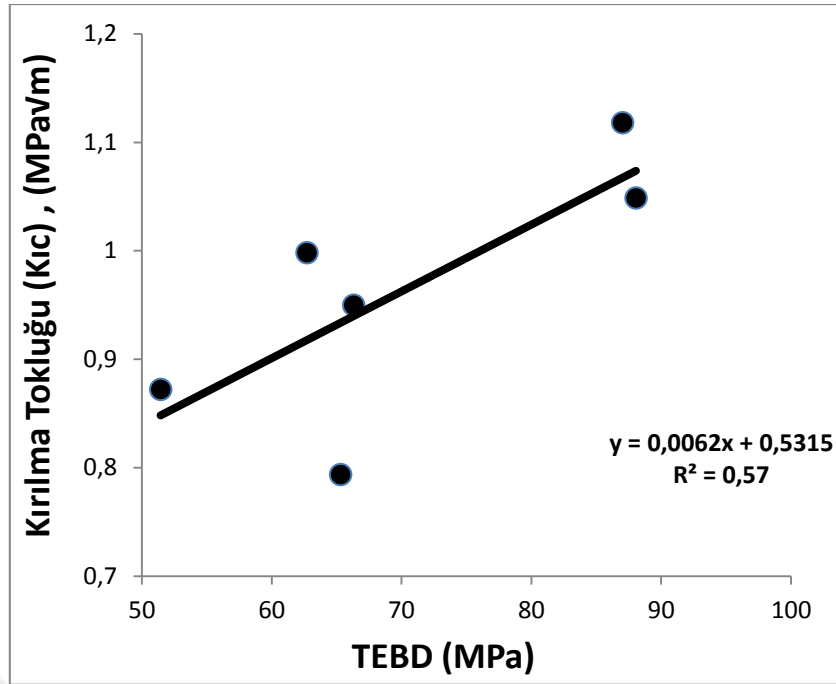
Çizelge 5. 5 Çalışmada kullanılan doğal taşların mekanik özellikleri ile kırılma tokluğu değerleri

| Doğal Taşlar    | SSİ | TEBD (MPa) | DÇD (MPa) | BYAD (cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> ) | Kırılma Tokluğu (K <sub>IC</sub> ) (MPa√m) |
|-----------------|-----|------------|-----------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Muğla Beyaz     | 42  | 65.31      | 4.77      | 30.85                                      | 0.7935                                     |
| Afyon Şeker     | 50  | 66.3       | 7.2       | 27.1                                       | 0.9498                                     |
| Afyon Beyaz     | 49  | 51.45      | 5.7       | 37.09                                      | 0.8722                                     |
| Burdur Koyu Bej | 61  | 62.72      | 5.95      | 22.41                                      | 0.9982                                     |
| Burdur Açık Bej | 59  | 88.06      | 7.23      | 20.77                                      | 1.0487                                     |
| Kütahya Menekşe | 50  | 87.02      | 6.8       | 28.75                                      | 1.1179                                     |



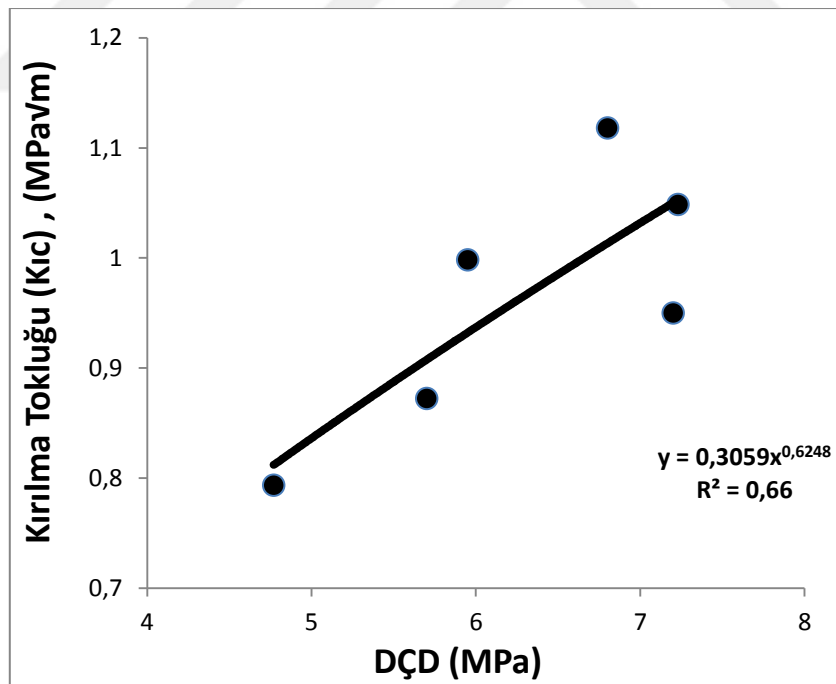
Şekil 5. 5 Shore sertlik indeksi ile kırılma tokluğu arasındaki ilişki

Şekil 5.5 incelendiğinde, shore sertlik indeksi ile kırılma tokluğu arasında artan üssel bir ilişki (R=0,68) olduğu görülmektedir.



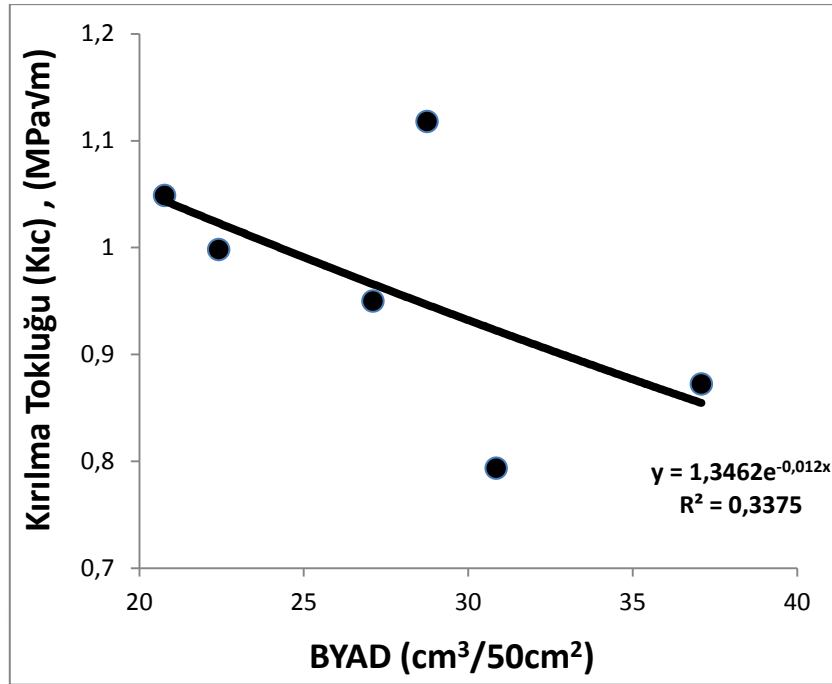
Şekil 5. 6 TEBD ile kırılma tokluğu arasındaki ilişki

TEBD ve kırılma tokluğu arasındaki ilişki incelendiğinde (Şekil 5.6), doğrusal artan ( $R=0,75$ ) bir ilişki olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 7 Dolaylı çekme dayanımı ile kırılma tokluğu arasındaki ilişki

Şekil 5.7 incelendiğinde, Brazilian (dolaylı) çekme dayanımı ile kırılma tokluğu arasında artan üssel bir ilişki ( $R=0,81$ ) tespit edilmiştir



Şekil 5. 8 BYAD ile kırılma tokluğu arasındaki ilişki

Şekil 5.8 incelendiğinde, BYAD ve kırılma tokluğu arasında üstel ters yönlü ( $R=0,58$ ) bir ilişki bulunmuştur.

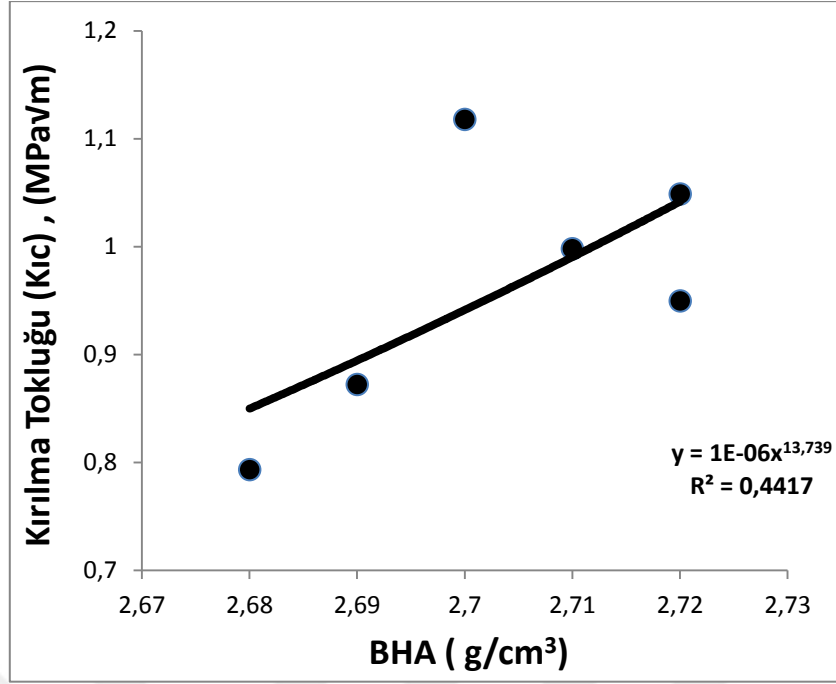
### 5.3.2. Tür-I Kırılma Tokluğu Değerleri ile Fiziksel Özellikler Arasındaki İlişkilerin Analizi

Hakiki mermer ve kireçtaşlarının fiziksel özellikleri ve tür-I kırılma tokluğu değerleri toplu olarak Çizelge 5.6'da, fiziksel özellikler ile kırılma tokluğu arasındaki grafiksel ilişkiler ise Şekil 5.9, 5.10 ve 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5. 6 Çalışmada kullanılan doğal taşların fiziksel özellikleri ile kırılma tokluğu değerleri

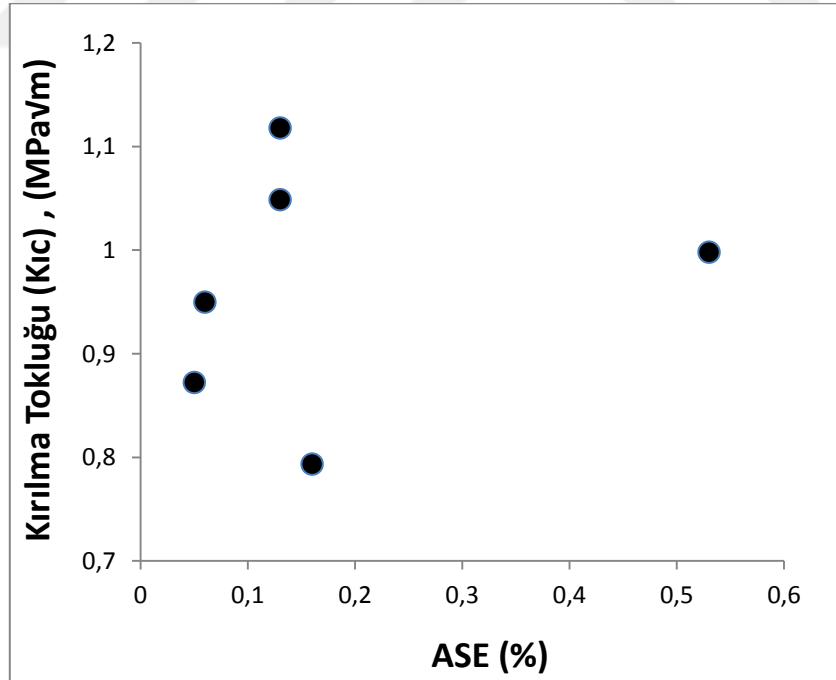
| Doğal Taşlar    | ASE (%) | GG (%) | BHA (g/cm³) | Kırılma Tokluğu ( $K_{Ic}$ ) (MPa√m) |
|-----------------|---------|--------|-------------|--------------------------------------|
| Afyon Beyaz     | 0.05    | 0.25   | 2.69        | 0.8722                               |
| Muğla Beyaz     | 0.16    | 0.43   | 2.68        | 0.7935                               |
| Küyahya Menekşe | 0.13    | 0.35   | 2.7         | 1.1179                               |
| Burdur Koyu Bej | 0.53    | 1.41   | 2.71        | 0.9982                               |
| Burdur Açık Bej | 0.13    | 0.35   | 2.72        | 1.0487                               |
| Afyon şeker     | 0.06    | 0.19   | 2.72        | 0.9498                               |





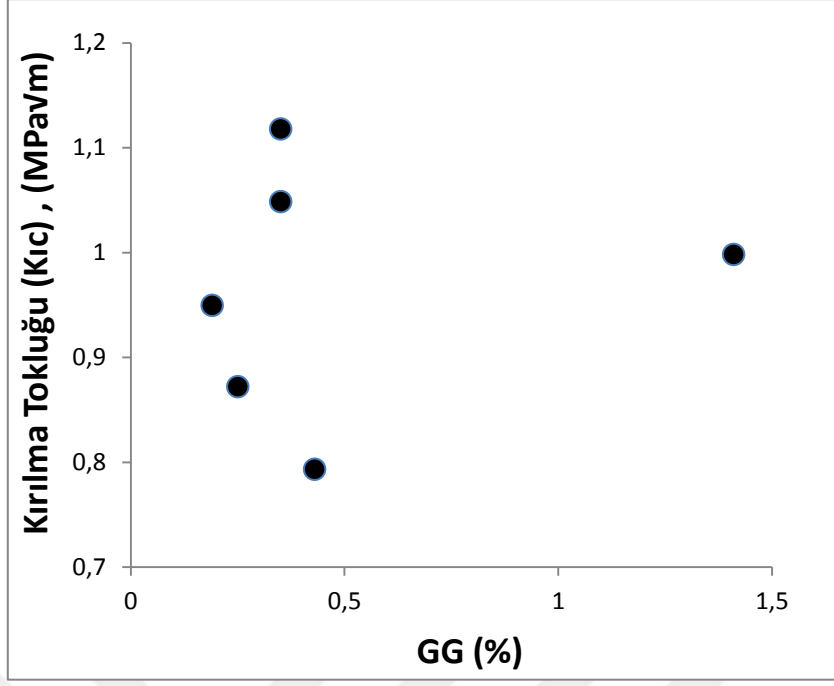
Şekil 5. 9 BHA ile kırılma tokluğu değerleri arasındaki ilişki

Şekil 5.9 incelendiğinde, BHA ile kırılma tokluğu arasında üssel artan ( $R=0,66$ ) bir ilişki tespit edilmiştir.



Şekil 5. 10 ASE ile kırılma tokluğu arasındaki ilişki

Şekil 5.10 incelendiğinde, ASE ile kırılma tokluğu arasında anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür.



Şekil 5. 11 GG ile kırılma tokluğu arasındaki ilişki

Şekil 5.11 incelendiğinde, görünür gözeneklilik (GG) ile kırılma tokluğu arasında anlamlı bir ilişki olmadığı tespit edilmiştir.

#### 5.4. Elmas Telli Kesme Makinelerinin Performans Parametreleri ile Fiziko-Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin Analizi

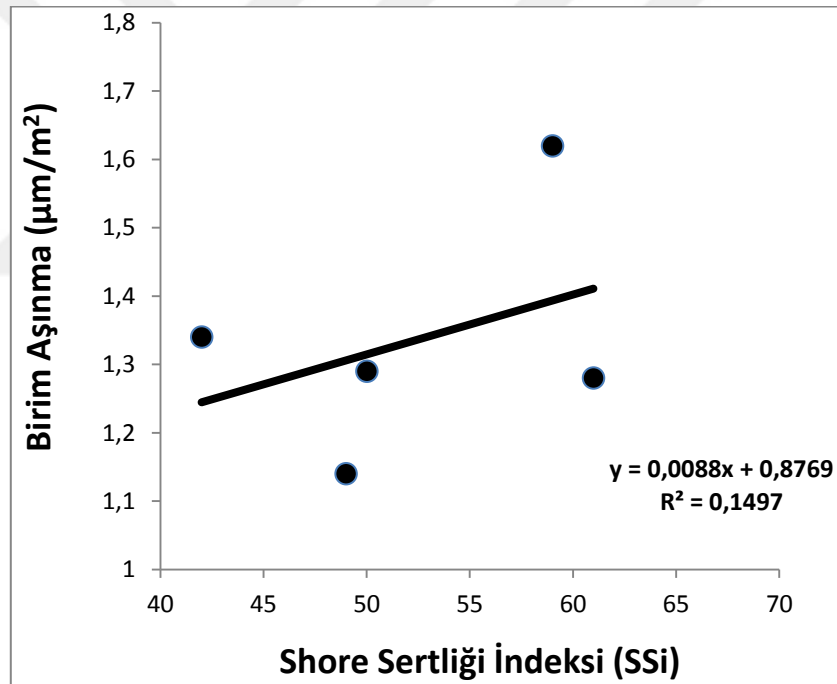
Çalışmanın bu bölümünde, bu çalışmada kullanılan hakiki mermer ve kireçtaşlarının mekanik ve fiziksel özellikleri (Çizelge 4.2) ile elmas telli kesme makinelerinin performans parametreleri (Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2) arasındaki ilişkiler grafiksel olarak incelenmiştir.

##### 5.4.1. Tektelli Kesme Makinesinin Performans Parametreleri ile Fiziko-Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin Analizi

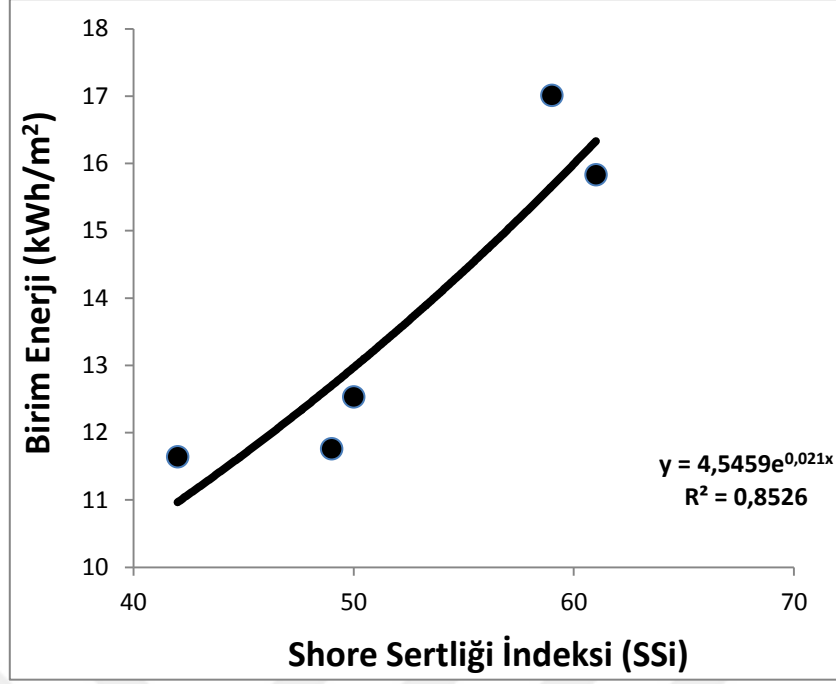
Hakiki mermer ve kireçtaşlarının mekanik özellikleri ve tektelli kesme makinesinin performans parametre değerleri toplu olarak Çizelge 5.7’de, mekanik özellikler ile performans parametreleri arasındaki grafiksel ilişkiler ise Şekil 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18 ve 5.19’da verilmiştir.

Çizelge 5. 7 Hakiki mermer ve kireçtaşlarının mekanik özellikleri ve tek telli kesme makinesinin performans parametre değerleri

| Doğal Taşlar    | Birim Enerji (kWh/m <sup>2</sup> ) | Birim Aşınma (µm/m <sup>2</sup> ) | SSİ | DÇD (MPa) | TEBD (MPa) | BYAD (cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----|-----------|------------|--------------------------------------------|
| Afyon Beyaz     | 11.76                              | 1.14                              | 49  | 5.7       | 51.45      | 37.09                                      |
| Muğla Beyaz     | 11.64                              | 1.34                              | 42  | 4.77      | 65.31      | 30.85                                      |
| Afyon Şeker     | 12.53                              | 1.29                              | 50  | 7.2       | 66.3       | 27.1                                       |
| Burdur Koyu Bej | 15.83                              | 1.28                              | 61  | 5.95      | 62.72      | 22.41                                      |
| Burdur Açık Bej | 17.01                              | 1.62                              | 59  | 7.23      | 88.06      | 20.77                                      |

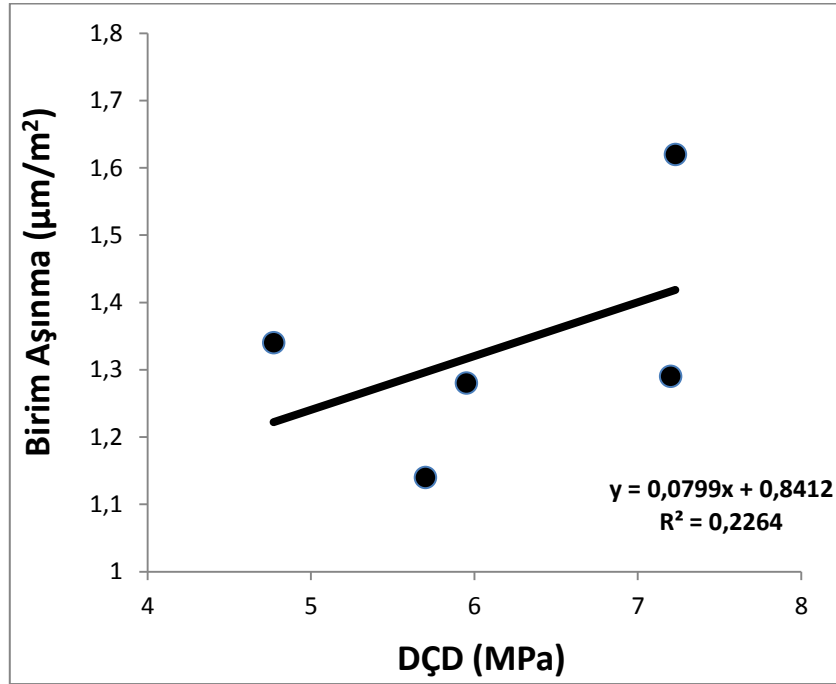


Şekil 5. 12 SSİ ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki

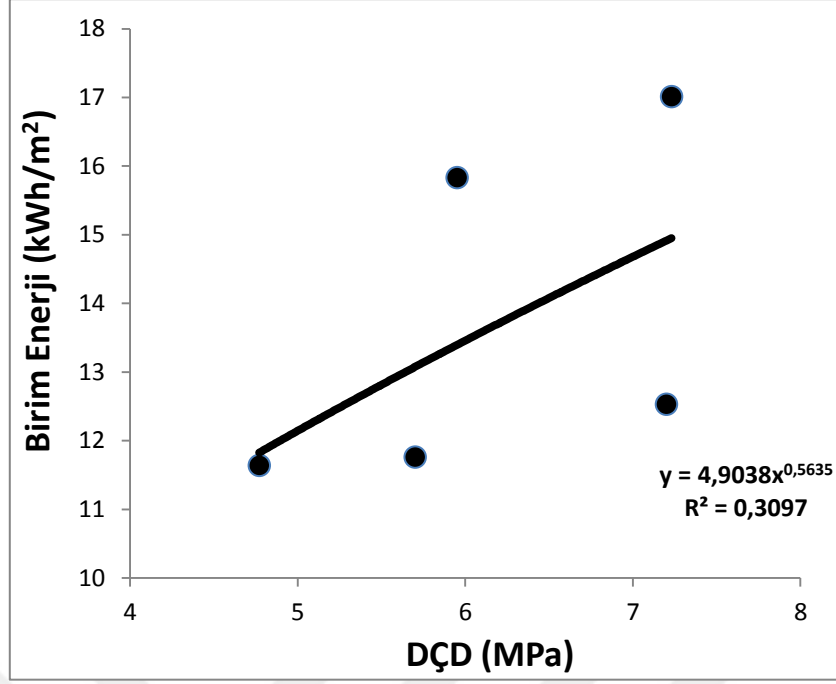


Şekil 5. 13 SSİ ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasındaki ilişki

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'den de görüleceği gibi, shore sertlik indeksi ile birim aşınma arasında doğrusal artan bir ilişki ( $R=0,39$ ), birim enerji ile arasında ise üstel artan yüksek bir ilişki ( $R=0,92$ ) tespit edilmiştir.

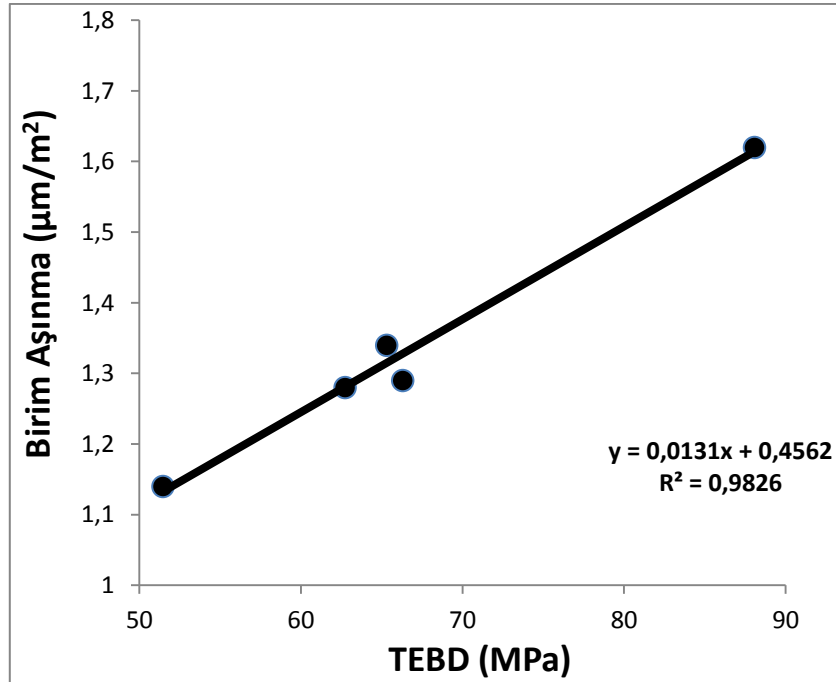


Şekil 5. 14 DÇD ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki

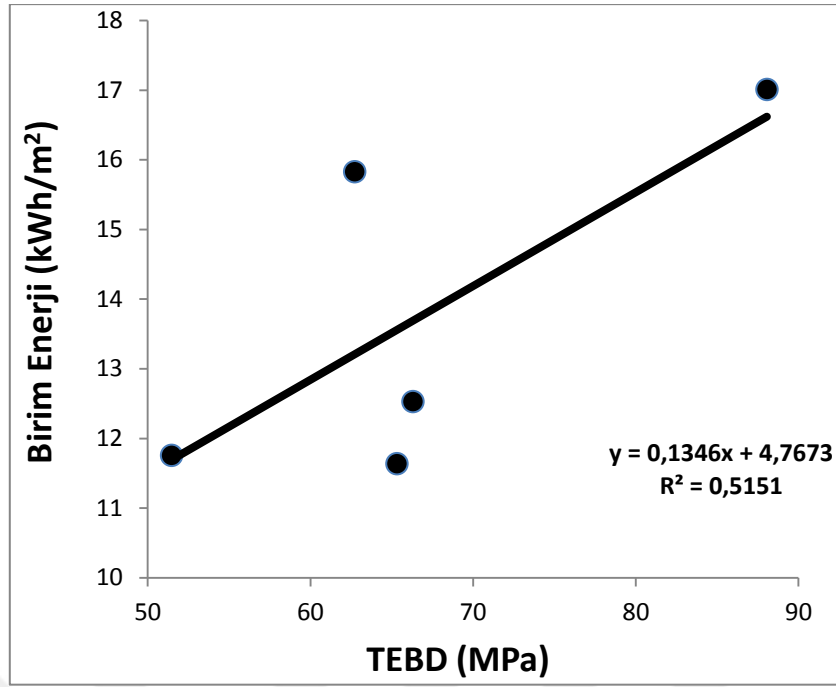


Şekil 5. 15 DÇD ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasındaki ilişki

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'den de görüleceği gibi, dolaylı çekme dayanımı ile birim aşınma arasında doğrusal artan bir ilişki ( $R=0,48$ ), birim enerji ile arasında ise üssel artan bir ilişki ( $R=0,56$ ) tespit edilmiştir.

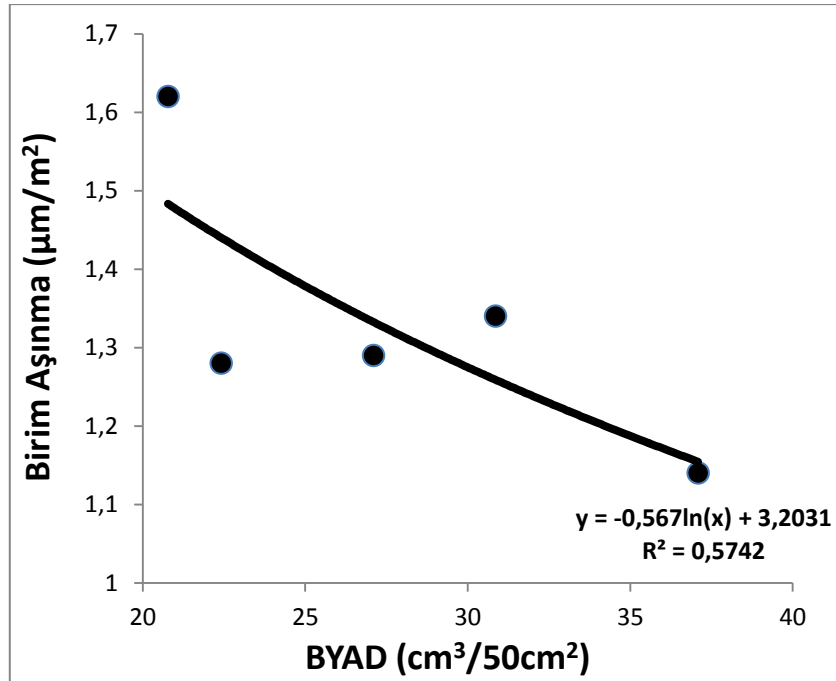


Şekil 5. 16 TEBD ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki

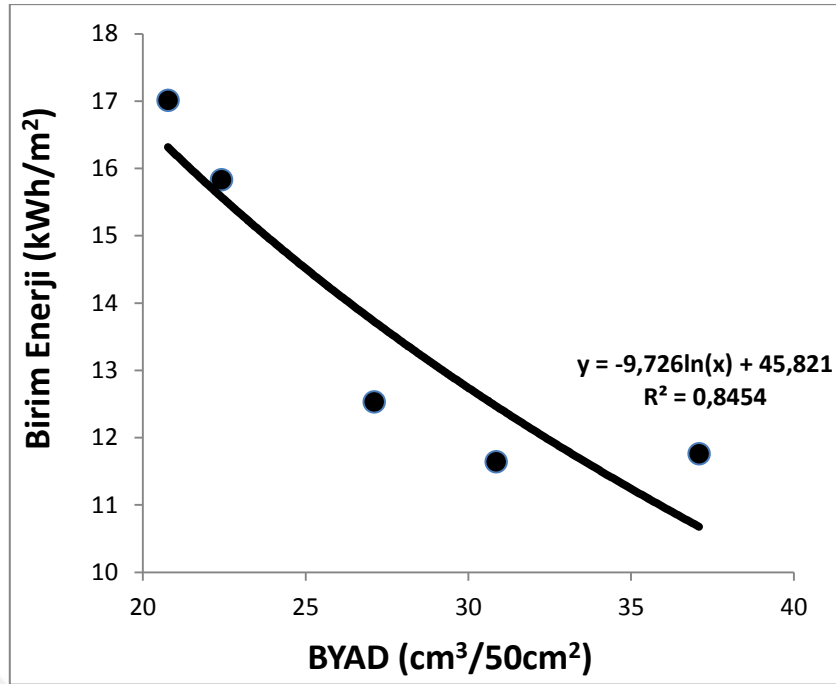


Şekil 5. 17 TEBD ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasındaki ilişki

Şekil 5.16 ve Şekil 5.17 incelendiğinde, tek eksenli basınç dayanımı ile birim aşınma arasında doğrusal artan anlamlı yüksek bir ilişki ( $R=0,99$ ), birim enerji ile arasında ise doğrusal artan bir ilişki ( $R=0,72$ ) tespit edilmiştir.



Şekil 5. 18 BYAD ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki



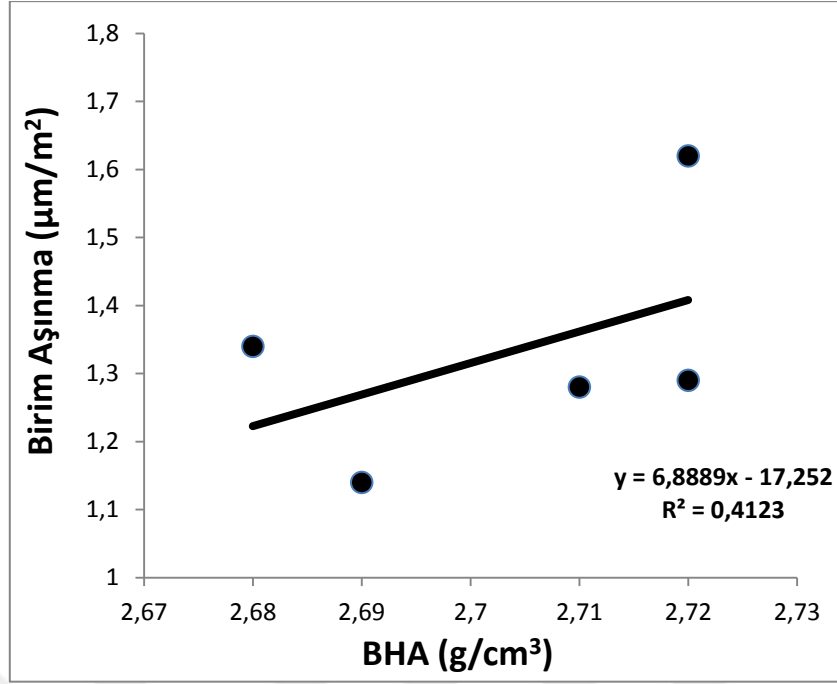
Şekil 5. 19 BYAD ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasındaki ilişki

Şekil 5.18 ve Şekil 5.19 incelendiğinde, böhme yüzey aşınma dayanımı ile birim aşınma arasında ters yönlü logaritmik bir ilişki ( $R=0,76$ ), birim enerji ile arasında ise yine benzer şekilde ters yönlü logaritmik yüksek bir ilişki ( $R=0,92$ ) tespit edilmiştir.

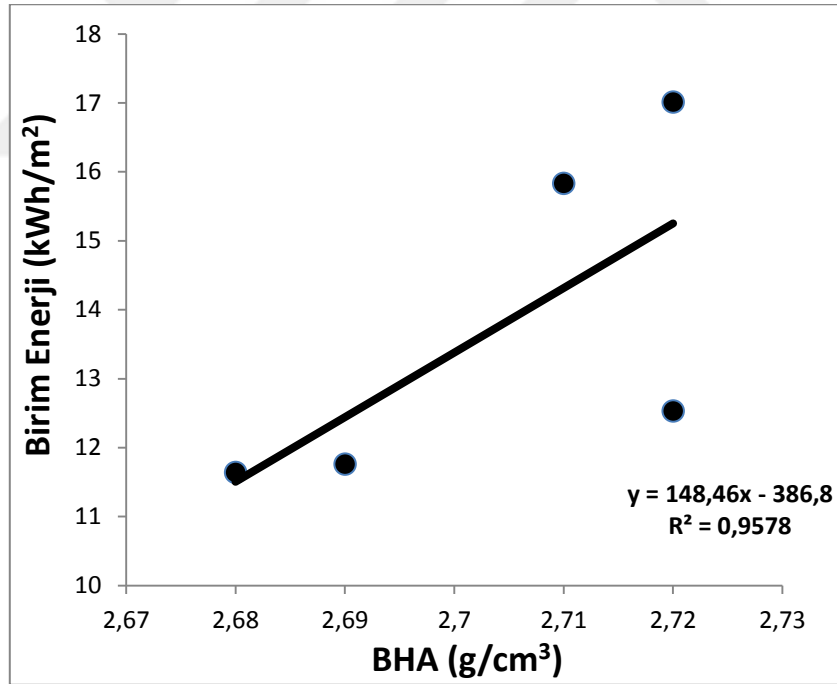
Hakiki mermer ve kireçtaşlarının fiziksel özellikleri ve tek telli kesme makinesinin performans parametre değerleri toplu olarak Çizelge 5.8'de, fiziksel özellikler ile performans parametreleri arasındaki grafiksel ilişkiler ise Şekil 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24 ve 5.25'de verilmiştir.

Çizelge 5. 8 Hakiki mermer ve kireçtaşlarının fiziksel özellikleri ve tek telli kesme makinesinin performans parametre değerleri

| Doğal Taşlar    | Birim Enerji (kWh/m²) | Birim Aşınma (µm/m²) | ASE (%) | GG (%) | BHA (g/cm³) |
|-----------------|-----------------------|----------------------|---------|--------|-------------|
| Afyon Beyaz     | 11.76                 | 1.14                 | 0.05    | 0.25   | 2.69        |
| Muğla Beyaz     | 11.64                 | 1.34                 | 0.16    | 0.43   | 2.68        |
| Afyon Şeker     | 12.53                 | 1.29                 | 0.06    | 0.19   | 2.72        |
| Burdur Koyu Bej | 15.83                 | 1.28                 | 0.53    | 1.41   | 2.71        |
| Burdur Açık Bej | 17.01                 | 1.62                 | 0.13    | 0.35   | 2.72        |



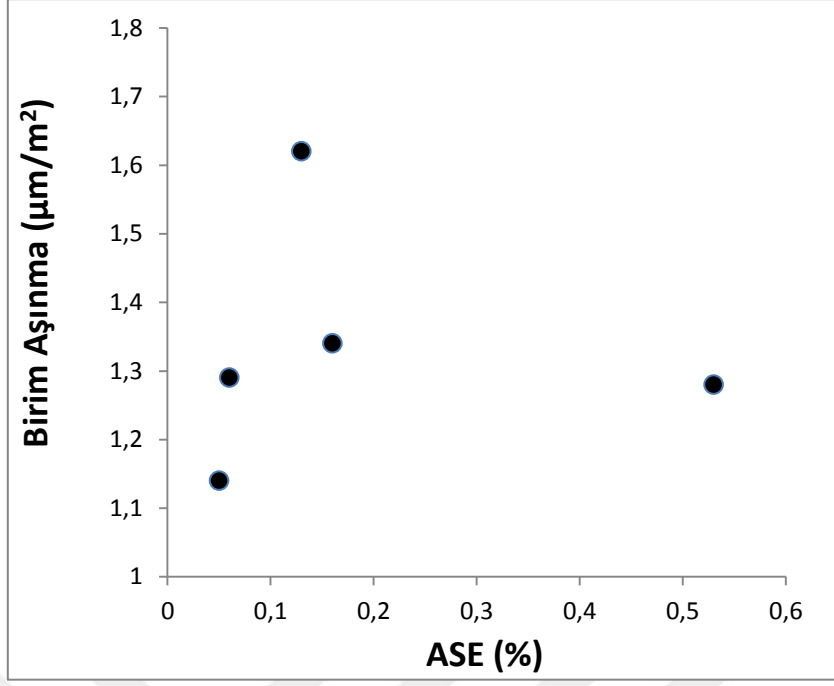
Şekil 5. 20 BHA ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki



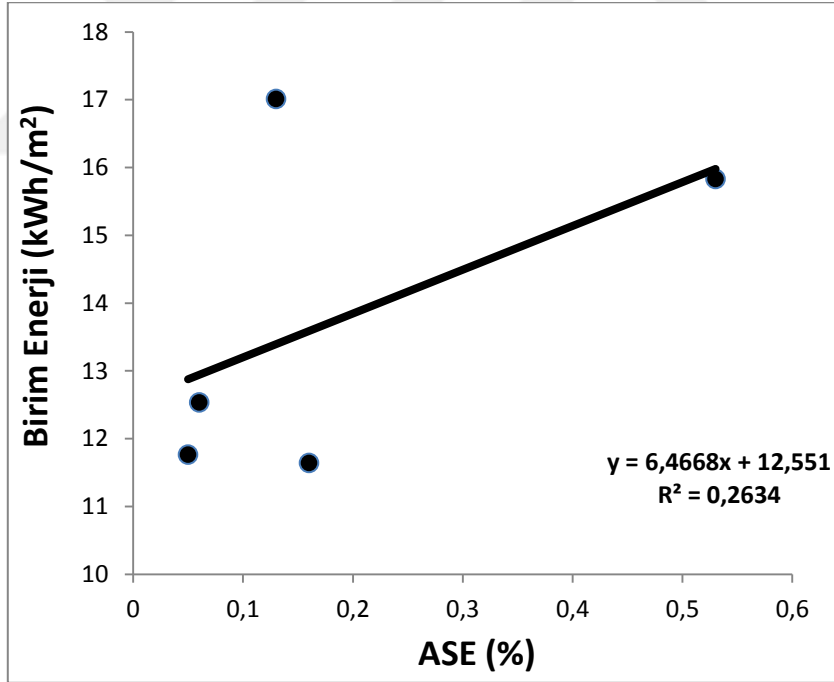
Şekil 5. 21 BHA ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasındaki ilişki

Şekil 5.20 ve Şekil 5.21 incelendiğinde, birim hacim ağırlık ile birim aşınma arasında doğrusal artan bir ilişki ( $R=0,64$ ), birim enerji ile arasında ise yine benzer şekilde doğrusal artan yüksek bir ilişki ( $R=0,98$ ) tespit edilmiştir.



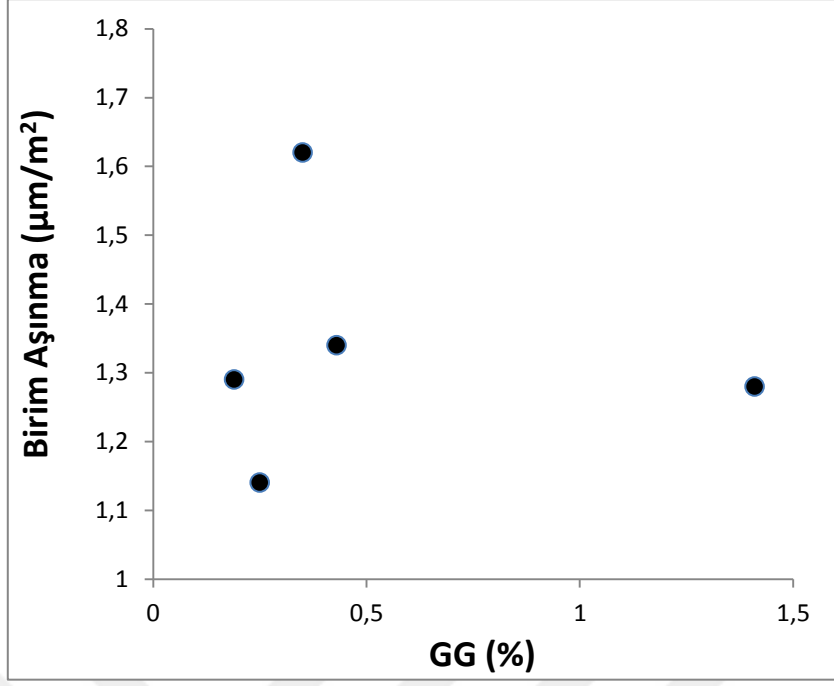


Şekil 5. 22 ASE ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki

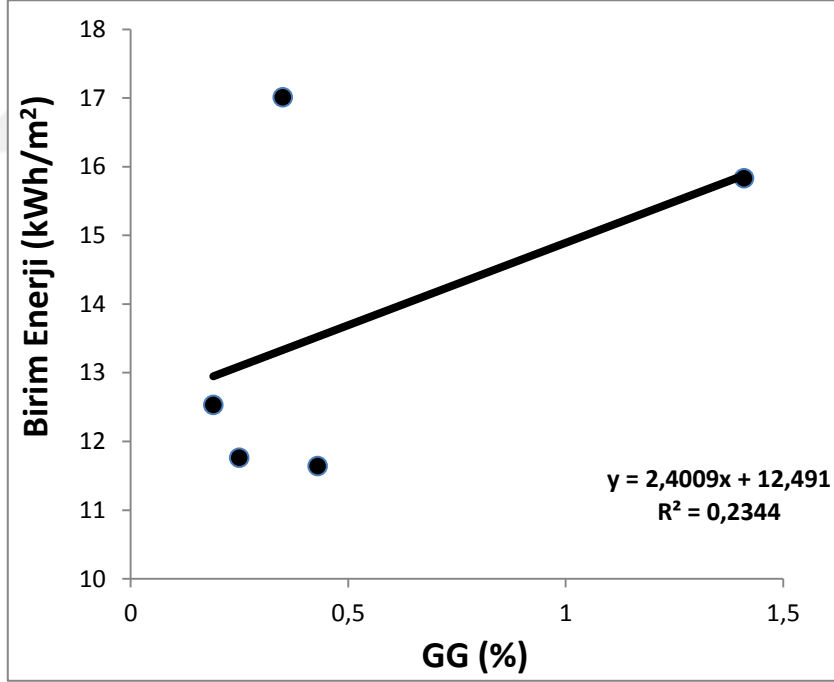


Şekil 5. 23 ASE ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasındaki ilişki

Şekil 5.22 ve Şekil 5.23 incelendiğinde, ağırlıkça su emme ile birim aşınma arasında anlamlı bir ilişki olmadığı, birim enerji ile arasında ise doğrusal artan bir ilişki ( $R=0,51$ ) tespit edilmiştir.



Şekil 5. 24 GG ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki



Şekil 5. 25 GG ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasındaki ilişki

Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'deki grafiklerden de görüleceği gibi, görünür gözeneklilik ile birim aşınma arasında anlamlı bir ilişki olmadığı belirlenmiştir. Birim enerji ile görünür gözeneklilik arasında ise doğrusal artan düşük bir ilişki ( $R=0,48$ ) tespit edilmiştir.

#### 5.4.2. Elmas Telli Kesme Makinesinin Performans Parametreleri ile Fiziko-Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin Analizi

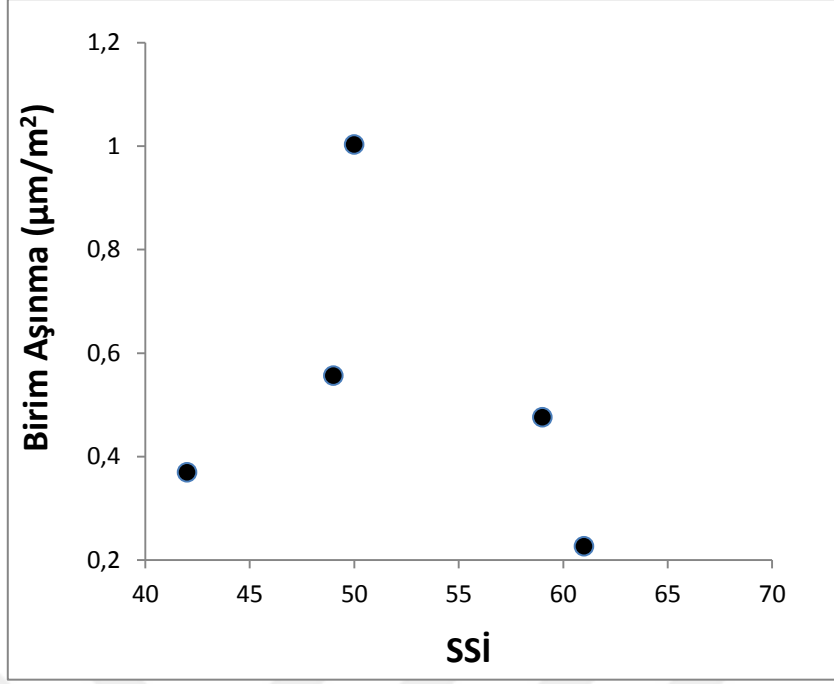
Hakiki mermer ve kireçtaşlarının mekanik ve fiziksel özellikleri ve elmas telli kesme makinesinin performans parametre değerleri toplu olarak sırasıyla Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da, mekanik özellikler ile performans parametreleri arasındaki grafiksel ilişkiler Şekil 5.26, 5.27, 5.28, 5.29, 5.30, 5.31, 5.32 ve 5.33'de fiziksel özellikler ile performans parametreleri arasındaki grafiksel ilişkiler ise Şekil 5.34, 5.35, 5.36, 5.37, 5.38 ve 5.39'da verilmiştir.

Çizelge 5. 9 Hakiki mermer ve kireçtaşlarının mekanik özellikleri ve elmas telli kesme makinesinin performans parametre değerleri

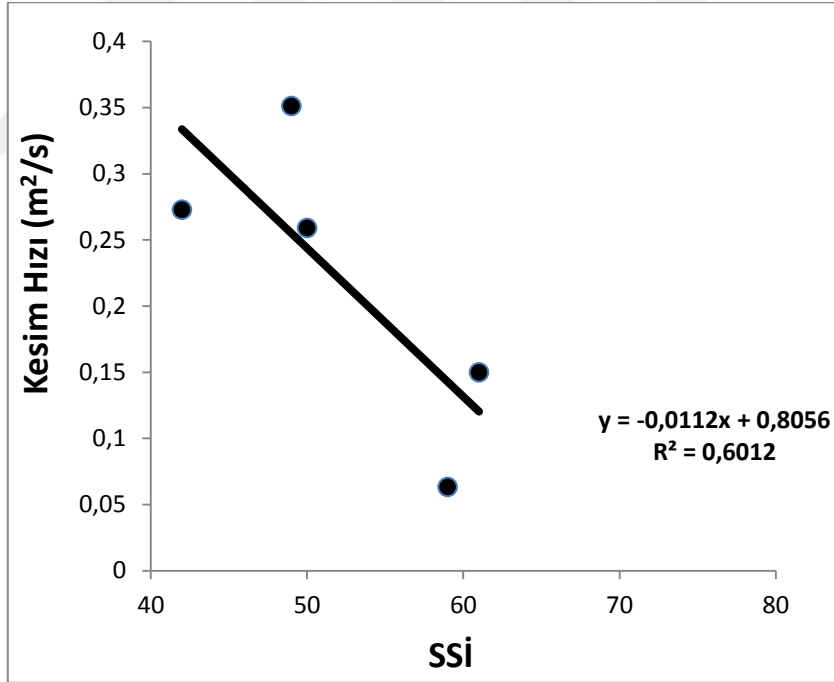
| Doğal Taşlar    | Kesim Hızı<br>(m <sup>2</sup> /s) | Birim Aşınma<br>(µm/m <sup>2</sup> ) | SSİ | TEBD<br>(MPa) | DÇD<br>(MPa) | BYAD<br>(cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----|---------------|--------------|-----------------------------------------------|
| Afyon Beyaz     | 0.351                             | 0.556                                | 49  | 51.45         | 5.7          | 37.09                                         |
| Muğla Beyaz     | 0.273                             | 0.369                                | 42  | 65.31         | 4.77         | 30.85                                         |
| Küyahya Menekşe | 0.259                             | 1.003                                | 50  | 87.02         | 6.8          | 28.75                                         |
| Burdur Koyu Bej | 0.149                             | 0.227                                | 61  | 62.72         | 5.95         | 22.41                                         |
| Burdur Açık Bej | 0.063                             | 0.476                                | 59  | 88.06         | 7.23         | 20.77                                         |

Çizelge 5. 10 Hakiki mermer ve kireçtaşlarının fiziksel özellikleri ve elmas telli kesme makinesinin performans parametre değerleri

| Doğal Taşlar    | Kesim Hızı<br>(m <sup>2</sup> /s) | Birim Aşınma<br>(µm/m <sup>2</sup> ) | BHA<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | ASE<br>(%) | GG<br>(%) |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| Afyon Beyaz     | 0.351                             | 0.556                                | 2.69                        | 0.05       | 0.25      |
| Muğla Beyaz     | 0.273                             | 0.369                                | 2.68                        | 0.16       | 0.43      |
| Küyahya Menekşe | 0.259                             | 1.003                                | 2.7                         | 0.13       | 0.35      |
| Burdur Koyu Bej | 0.149                             | 0.227                                | 2.71                        | 0.53       | 1.41      |
| Burdur Açık Bej | 0.063                             | 0.476                                | 2.72                        | 0.13       | 0.35      |

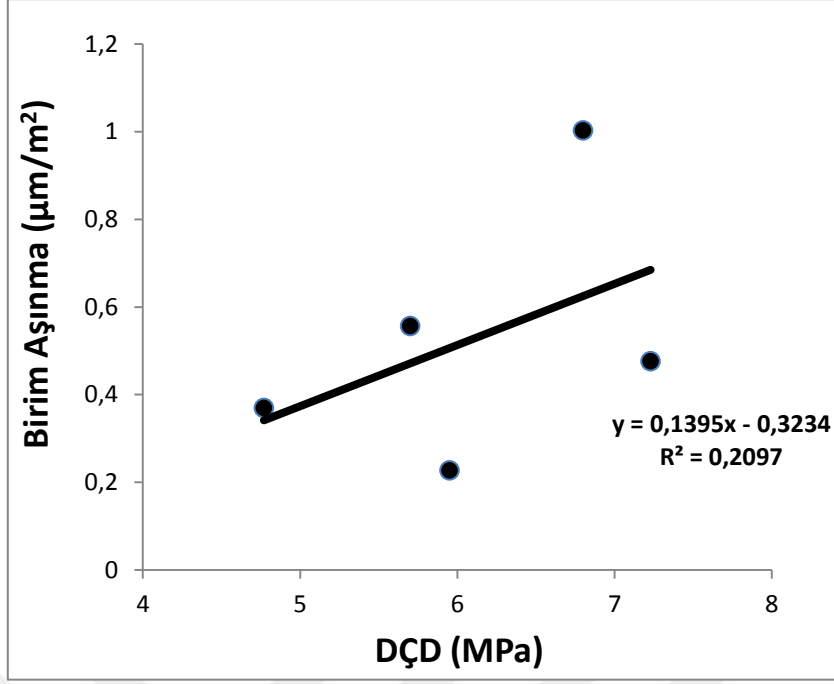


Şekil 5. 26 SSİ ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki

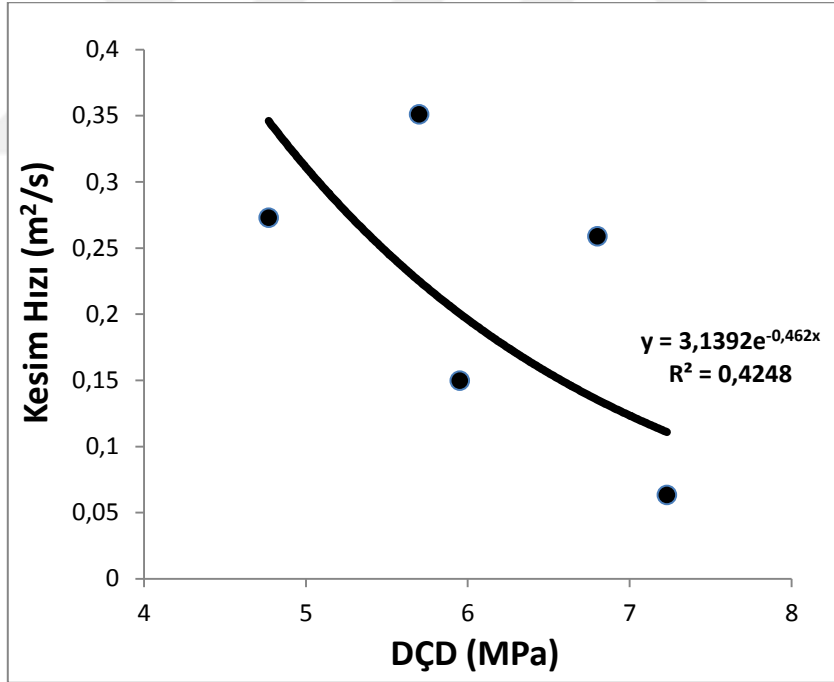


Şekil 5. 27 SSİ ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasındaki ilişki

Şekil 5.26 ve Şekil 5.27' deki grafiklerden de görüleceği gibi, shore sertlik indeksi ile birim aşınma arasında anlamlı bir ilişki olmadığı belirlenmiştir. Kesim hızı ile shore sertlik indeksi arasında ise doğrusal ters yönlü bir ilişki ( $R=0,78$ ) tespit edilmiştir.

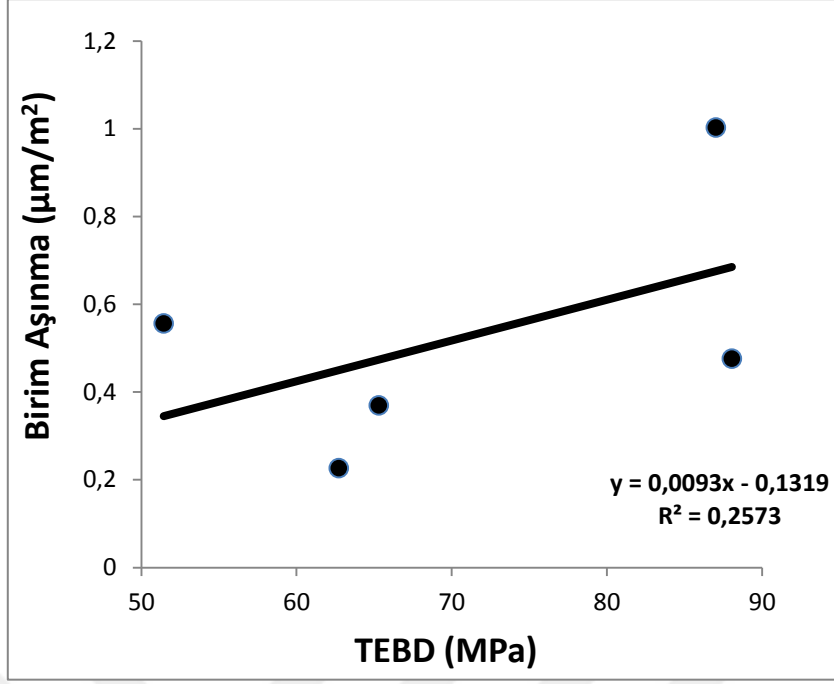


Şekil 5. 28 DÇD ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki

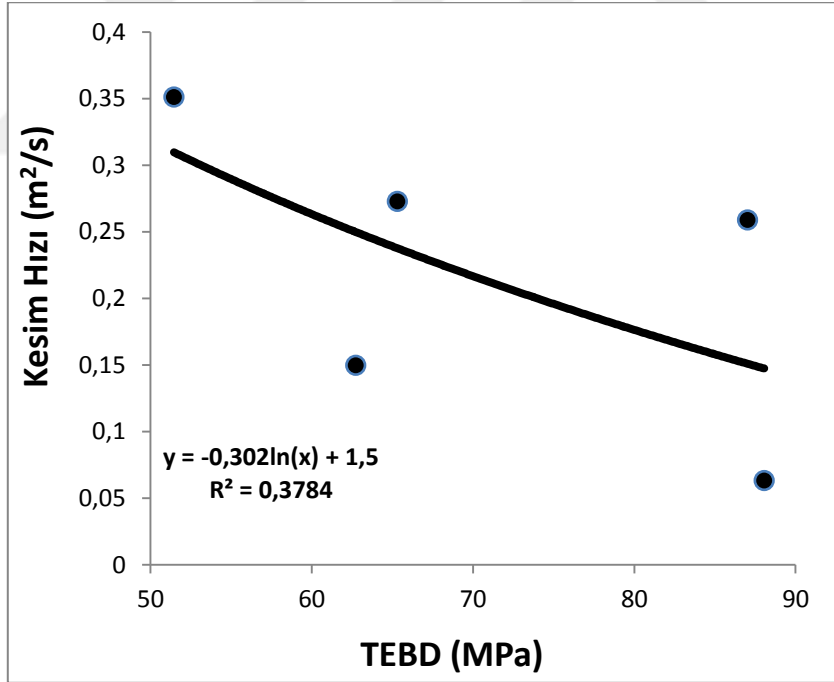


Şekil 5. 29 DÇD ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasındaki ilişki

Şekil 5.28 ve Şekil 5.29 incelendiğinde, dolaylı çekme dayanımı ile birim aşınma arasında doğrusal artan düşük bir ilişki ( $R=0,46$ ), kesim hızı ile arasında ise üstel azalan bir ilişki ( $R=0,65$ ) olduğu tespit edilmiştir.

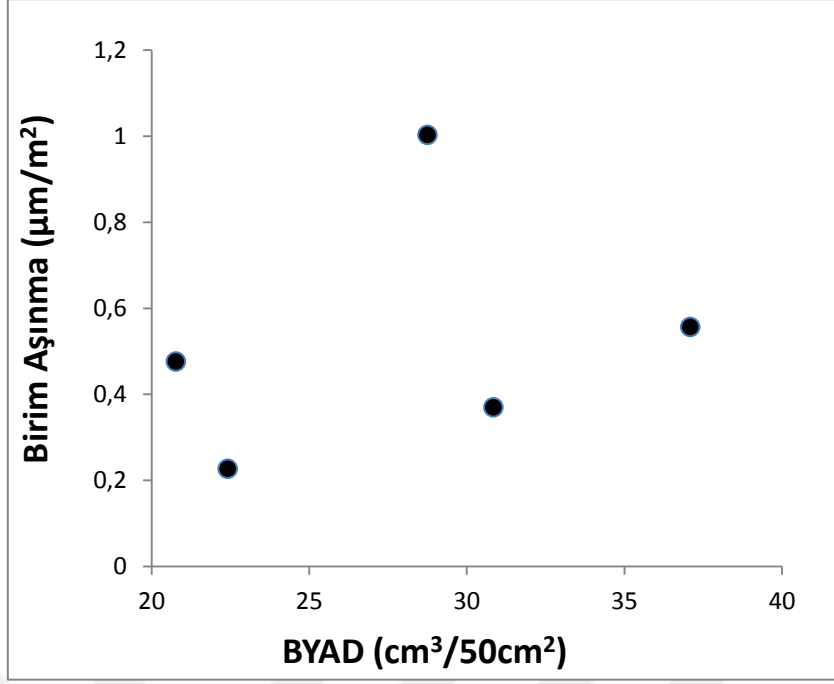


Şekil 5. 30 TEBD ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki

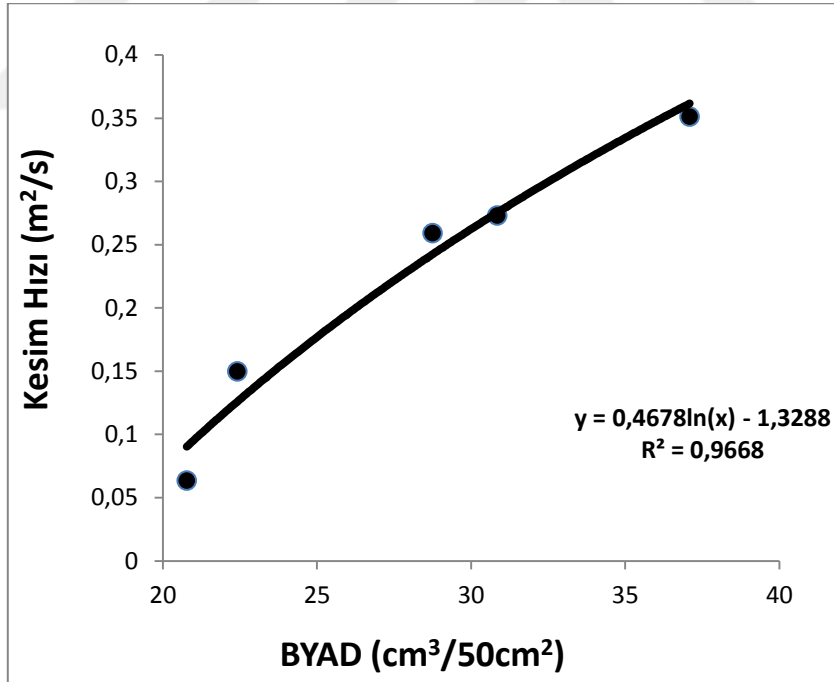


Şekil 5. 31 TEBD ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasındaki ilişki

Şekil 5.30 ve Şekil 5.31 incelendiğinde, tek eksenli basınç dayanımı ile birim aşınma arasında doğrusal artan bir ilişki ( $R=0,51$ ), kesim hızı ile arasında ise logaritmik azalan bir ilişki ( $R=0,62$ ) olduğu tespit edilmiştir.

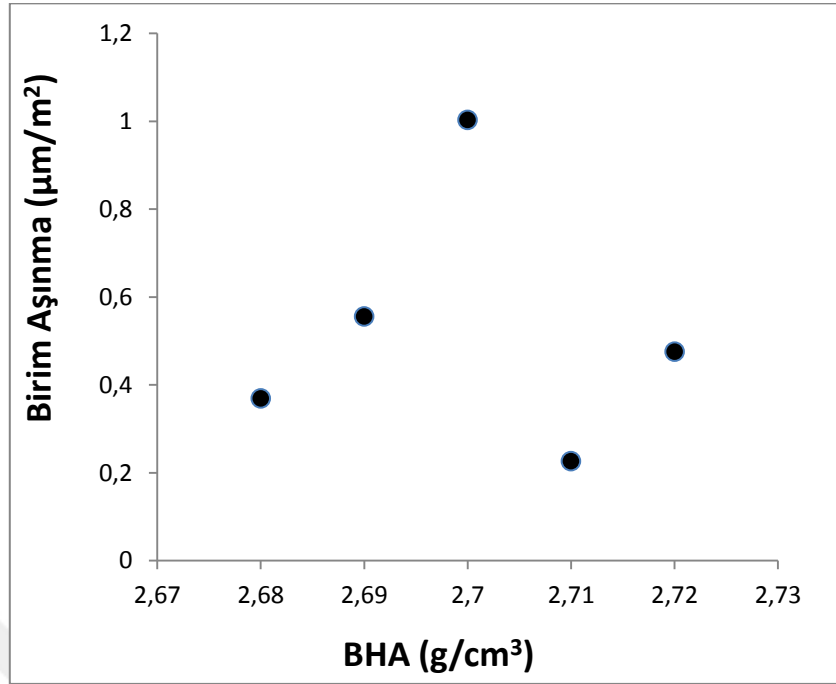


Şekil 5. 32 BYAD ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki

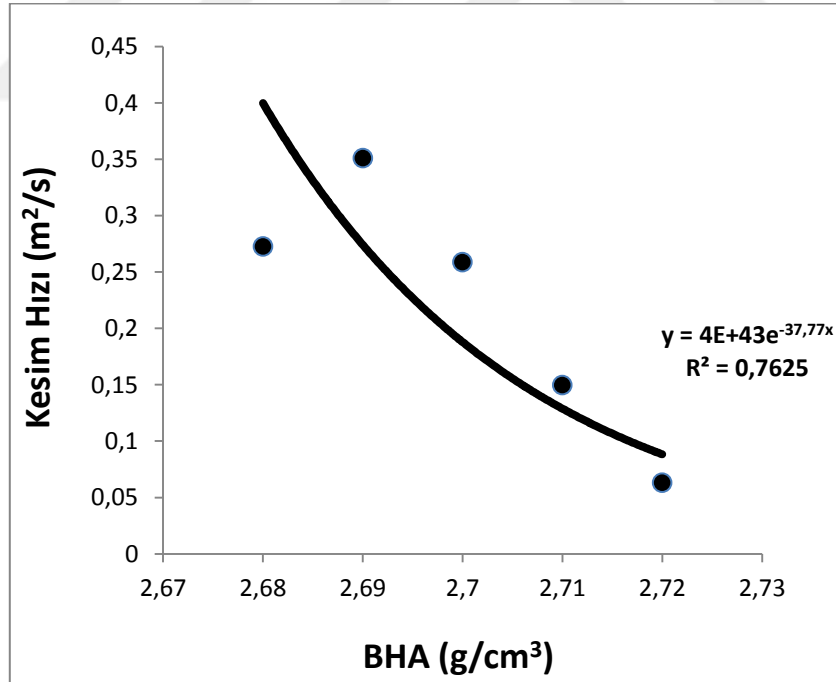


Şekil 5. 33 BYAD ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasındaki ilişki

Şekil 5.32 ve Şekil 5.33 incelendiğinde, Böhme yüzey aşınma dayanımı ile birim aşınma arasında anlamlı bir ilişki olmadığı, kesim hızı ile arasında ise logaritmik artan güçlü bir ilişki ( $R=0,98$ ) olduğu tespit edilmiştir.



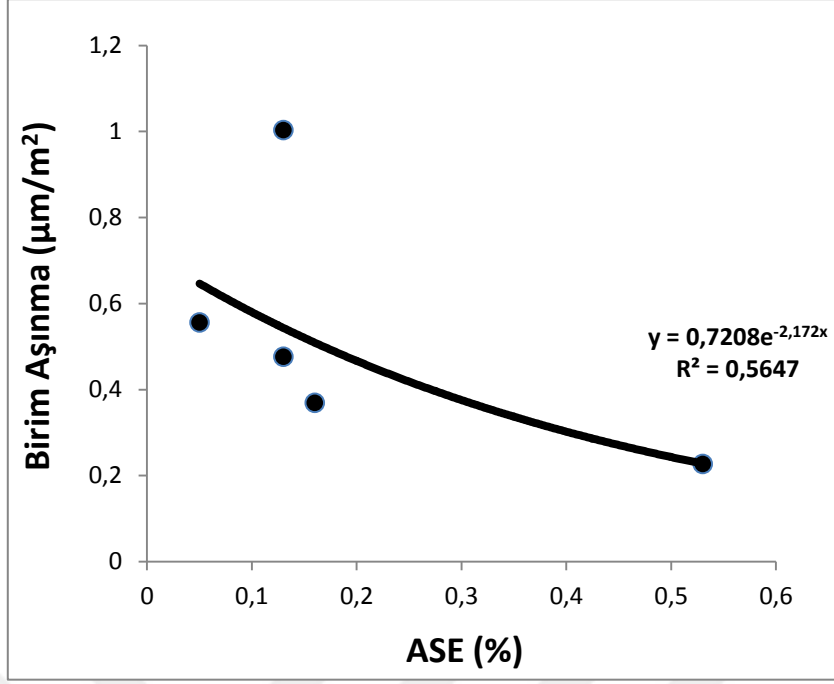
Şekil 5. 34 BHA ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki



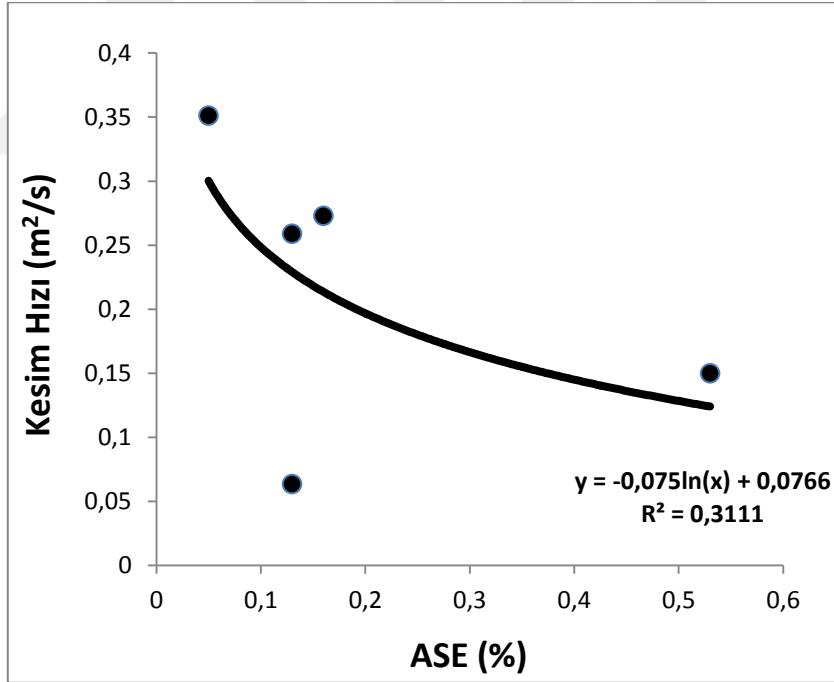
Şekil 5. 35 BHA ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasındaki ilişki

Şekil 5.34 ve Şekil 5.35 incelendiğinde, birim hacim ağırlık ile birim aşınma arasında anlamlı bir ilişki olmadığı, kesim hızı ile arasında ise ters yönlü üstel bir ilişki ( $R=0,89$ ) olduğu tespit edilmiştir.



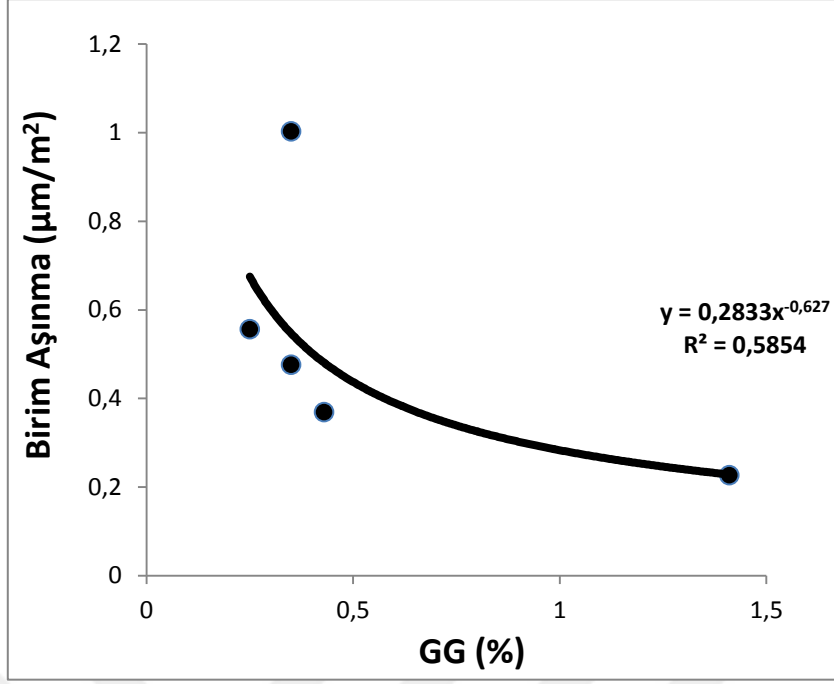


Şekil 5. 36 ASE ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki

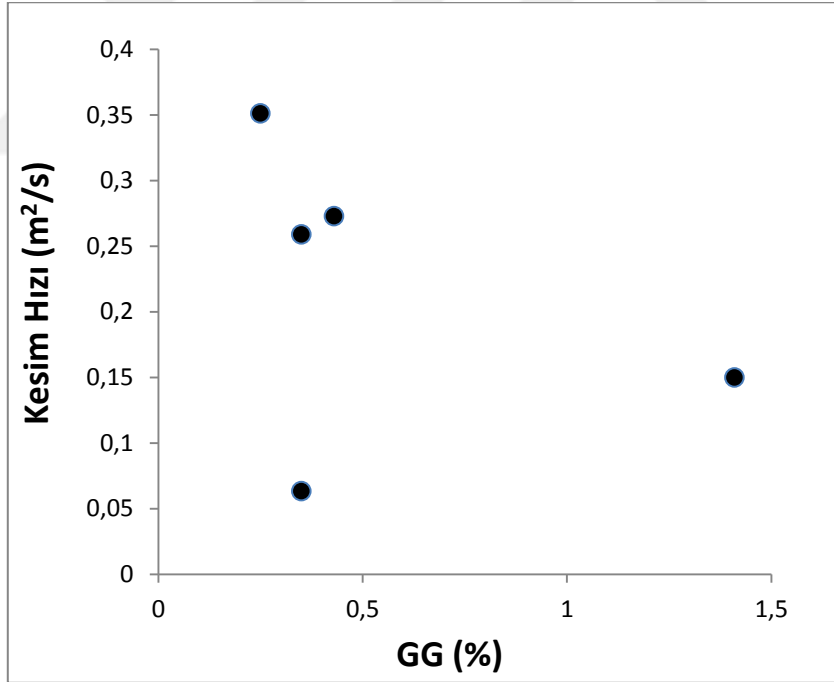


Şekil 5. 37 ASE ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasındaki ilişki

Şekil 5.36 ve Şekil 5.37 incelendiğinde, ağırlıkça su emme ile birim aşınma arasında üstel azalan bir ilişki ( $R=0,75$ ), kesim hızı ile arasında ise logaritmik ters yönlü bir ilişki ( $R=0,55$ ) olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. 38 GG ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasındaki ilişki



Şekil 5. 39 GG ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden kesim hızı arasındaki ilişki

Şekil 5.38 ve Şekil 5.39 incelendiğinde, görünür gözeneklilik ile birim aşınma arasında üssel azalan bir ilişki ( $R=0,76$ ), kesim hızı ile arasında ise anlamlı bir ilişki olmadığı tespit edilmiştir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğal taş madenciliği küresel ekonomideki payı her geçen gün artan sektörlerdendir. Elmas telli kesme makineleri ise bu sektörde en çok kullanılan ekipmanlar arasındadır. Bu açıdan doğal taş üretiminde elmas telli kesme makinelerinin verimli bir şekilde kullanılması ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Elmas telli kesme makinelerinin en önemli performans parametreleri, kesim sırasında elmas boncuklarda meydana gelen aşınma, harcanan enerji ve telin aşağı iniş hızını gösteren kesim hızıdır.

Bu çalışmada ise, tektelli kesme makinesi ve elmas tel kesme makinesi olmak üzere iki ayrı elmas telli kesme makinesinin aynı doğal taşlardan elde edilmiş performans parametreleri ile kesilen doğal taşların en önemli mekanik özelliklerinden olan tür-I kırılma tokluğu arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Ayrıca kesilen doğal taşların farklı fiziksel ve diğer mekanik özellikleri belirlenerek performans parametreleri ile aralarındaki ilişkiler de incelenmiştir. Sonuç olarak kesme maliyetini doğrudan etkileyen performans parametrelerinin ekonomik ve güvenilir olarak kayaçların belirlenen özelliklerinden tahmin edilmesinde elde edilen ilişkiler ile katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Çalışmada kullanılan doğal taşların kırılma tokluğu ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim enerji arasında logaritmik artan güçlü bir ilişki ( $R=0,91$ ), birim aşınma arasında ise doğrusal artan ( $R=0,56$ ) bir ilişki tespit edilmiştir. Doğal taşların kırılma tokluğu ile elmas tel kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasında doğrusal artan ( $R=0,54$ ), kesim hızı arasında ise doğrusal azalan ( $R=0,52$ ) bir ilişki bulunmuştur.
- Çalışmada kullanılan doğal taşların diğer mekanik özelliklerinden shore sertlik indeksi, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve Böhme yüzey aşınma dayanımı ile elmas telli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasında sırasıyla ters yönlü doğrusal ( $R=0,28$ ), doğrusal ( $R=0,51$ ), doğrusal ( $R=0,46$ ) ve doğrusal ( $R=0,29$ ) ilişkiler; kesim hızı arasında ise sırasıyla ters yönlü doğrusal

- ( $R=0,78$ ), ters yönlü logaritmik ( $R=0,62$ ), ters yönlü üstel ( $R=0,65$ ) ve logaritmik ( $R=0,98$ ) ilişkiler olduğu tespit edilmiştir.
- Doğal taşların diğer mekanik özelliklerinden shore sertlik indeksi, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve Böhme yüzey aşınma dayanımı ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasında sırasıyla doğrusal ( $R=0,39$ ), doğrusal ( $R=0,99$ ), doğrusal ( $R=0,48$ ) ve ters yönlü logaritmik ( $R=0,76$ ) ilişkiler; birim enerji arasında ise sırasıyla üstel ( $R=0,92$ ), doğrusal ( $R=0,72$ ), üssel ( $R=0,56$ ) ve ters yönlü logaritmik ( $R=0,92$ ) ilişkiler olduğu görülmüştür.
  - Kırılma tokluğu ile diğer mekanik diğer mekanik özelliklerinden shore sertlik indeksi, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve Böhme yüzey aşınma dayanımı arasında sırasıyla üssel ( $R=0,68$ ), doğrusal ( $R=0,75$ ), üssel ( $R=0,81$ ) ve ters yönlü üstel ( $R=0,58$ ) ilişkiler olduğu belirlenmiştir.
  - Doğal taşların fiziksel özelliklerinden birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme ve görünür gözeneklilik ile elmas telli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasında sırasıyla anlamsız ( $R=0,06$ ), ters yönlü üstel ( $R=0,75$ ) ve ters yönlü üssel ( $R=0,76$ ) ilişkiler; kesim hızı ile arasında ise sırasıyla ters yönlü üstel ( $R=0,89$ ), ters yönlü logaritmik ( $R=0,55$ ) ve ters yönlü logaritmik ( $R=0,43$ ) ilişkiler olduğu görülmüştür.
  - Doğal taşların fiziksel özelliklerinden birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme ve görünür gözeneklilik ile tektelli kesme makinesinin performans parametrelerinden birim aşınma arasında sırasıyla doğrusal ( $R=0,64$ ), anlamsız ( $R=0,02$ ) ve anlamsız ( $R=0,08$ ) ilişkiler; birim enerji arasında ise sırasıyla doğrusal ( $R=0,98$ ), doğrusal ( $R=0,51$ ) ve doğrusal ( $R=0,48$ ) ilişkiler olduğu tespit edilmiştir.
  - Kırılma tokluğu ile doğal taşların fiziksel özelliklerinden birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme ve görünür gözeneklilik arasında sırasıyla üssel ( $R=0,66$ ), anlamsız ( $R=0,16$ ) ve anlamsız ( $R=0,01$ ) ilişkiler olduğu belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmadan elde edilen veriler ışığında, konu ile ilgili aşağıdaki önerilerde bulunulmuştur:

- Çalışmada kullanılan doğal taşların 4 tanesi hakiki mermer, 2 tanesi kireçtaşıdır. Bu açıdan çalışmada kullanılan yöntem daha fazla sayıdaki doğal taşlar kullanılarak tekrarlanmalı sonuçlar geliştirilmelidir. Ayrıca farklı yapı, doku ve sertlikde olan doğal taşların çalışmaya eklenmesi, elde edilen sonuçların kapsamının genişletilmesi açısından önemli olacaktır.
- Çalışmada hakiki mermer ve kireçtaşlarının tür-I kırılma tokluğunu belirlemek için yarım-dairesel eğilme (SCB) test metodu kullanılmış olduğundan, farklı kırılma tokluğu test metotları ile çalışmanın tekrarlanılmasında ve elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında fayda vardır.



## KAYNAKLAR

- [1] Polat E., *Mermerlerin Elmas Tel ile Kesiminde Dokusal Özelliklerin Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2002**.
- [2] Yılmazkaya E., *Bilgisayar Kontrollü Tektel Sistemi İle Blok Kesmede Etken Faktörlerin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2013**.
- [3] ISRM, Suggested methods for determining the fracture toughness of rocks, *Int.J.Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.Abstr.*, Cilt 1, 271-96, **1988**.
- [4] Y. Özçelik, Investigation of the working conditions of diamond wire cutting machines in marble industry., PhD thesis, Hacettepe University, Ankara, **1999**.
- [5] Kuruppu, ISRM-Suggested Method for Determining the Mode I Static Fracture Toughness Using Semi-Circular Bend Specimen, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47, 270-273, **2013**.
- [6] TSE, Tabii Yapı Taşları- Muayene ve Deney Metotları, TS 699, *TSE Yayını*, 82, **1987**.
- [7] ISRM, Rock Characterization Testing and Monitoring, Suggested Methods, *Oxford*, 16, **1981**.
- [8] Kanbir, E. S., *Kesme Parametreleri Ve Boncuk Özelliklerinin Elmas Tel Kesme Verimine Etkisi*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2013**.
- [9] Şengün, N., *Kayaçların Kırılma Tokluğu ve Gevrekliğinin Dairesel Testereler ile Kesme Verimi Üzerine Etkileri*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta , **2009**.
- [10] Donovan, J. G., *Fracture Toughness Based Models For The Prediction Of Power Consumption, Product Size, And Capacity Of Jaw Crushers*, , Ph.D. Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, BLACKSBURG, **2003**.
- [11] Altındağ, R., *Kayaçalarda Kırılma Tokluğu Ve Diğer Mekanik Özellikler*

- Arasındaki İlişkiler, *Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2, 39-47, **2000**.
- [12] Şengün, N., Altındağ, R., Kayaçların Kırılma Tokluğu (Mod-I) ile Fiziko-Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkilerinin Değerlendirilmesi, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi*, 31, 127-140, **2010**.
- [13] Hanecioğlu, B., *Pilot Model Elmas Telli Kesme Makinesinde Bazı Makine Parametrelerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2006**.
- [14] Yüksel, Z., *İscehisar Aktaşören Mevkii Mermer Ocağında Sahanin Jeolojik Özelliklerinin Elmas Tel Kesme Performansına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, **2010**.
- [15] Demirdağ, S., Gündüz, L., Blok İşletmeciliğinde Elmas Tel ve Boncuk Performans Analizi, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem '2001) Bildiriler Kitabı*, Afyon, **2001**.
- [16] Aktaş, Ö., *Elmas Tel Kesme İle Mermer İşletmeciliğinde Elmas Tellerin Kesim Performanslarının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, **2012**.
- [17] Dilmaç, M. K., Elmaslı Tel İle Mermer Üretiminde Basamak Geometrisinin Kesme Performansı Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, **2009**.
- [18] Almasi, S. N., Bagherpour, R., Mikaeil, R., Özçelik, Y., Analysis Of Bead Wear In Diamond Wire Sawing Considering The Rock Properties And Production Rate, *Bull Eng. Geo. Environ.*, 76, 1593-1607, **2017**.
- [19] Özçelik, Y., Polat, E., Bayram, F., Ay, A.M., Investigation Of The Effects Of Textural Properties On Marble Cutting With Diamond Wire, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 41, 3, **2004**.
- [20] Ghaysari, N., Ataei, M., Sereshki, F., Mikaeil, R. Prediction Of Performance Of Diamond Wire Saw With Respect To Texture Characteristics Of Rock, *Arch. Min. Sci.*, 57, 887–900, **2012**.
- [21] Özçelik, Y., Yılmazkaya, E., The effect of the Rock Anisotropy On the Efficiency of Diamond Wire, *International Journal of Rock Mechanics &*

- Mining Sciences*, 48, 626–636, **2011**.
- [22] Hawkins, A.C., Antenen, A.P., Johnson. G., The Diamond Wire Saw in Quarrying Granite and Marble, *Dimensional Stone*, 44-50, **1990**.
- [23] Beckman, T.R., Hulick, R.M., Diamond Wire Sawing Speed Dam Project, *Industrial Diamond Review*, 6, 272-274, **1991**.
- [24] Wright, N., Marble and Granite Quarries Turn to Diamond Wire, *Stone World*, 77-80, **1992**.
- [25] Capuzzi, Q., Modern Technology and Machinery for Marble Quarrying, *Benetti Machine Press*, Roma, **1980**.
- [26] Şişman, N., Urhan, S., Blok Mermer Üretiminde Kullanılan Tel kesme Yönteminin Gelişim ve Önemi, *Madencilik Dergisi*, 31, 35-39, **1992**.
- [27] Kulaksız, S., Doğal Taş (mermer) İşletmeciliği ve İşletme Teknolojileri, *Maden Mühendisleri Odası Yayını*, Ankara, **2005**.
- [28] Pellegrini, [http://www.pellegrini.net/cataloghi/catalogo\\_Pentawire\\_05-2007\\_bis.pdf](http://www.pellegrini.net/cataloghi/catalogo_Pentawire_05-2007_bis.pdf), Pentawire Multiwire Cutting Machine, (Haziran, **2013**)
- [29] Primavori, P., Technological Developments and the State-of-the Art in Machinery and Installations For Extracting and Processing Stone Materials, *Marmomacchine Directory 2002*, *Associazione Italiana Marmomacchine*, 40-197, **2002**.
- [30] Kınaoğlu, A., <http://ahmetkinoaoglu.com.tr/blok-mermer-ayirma-ve-ebatlama/>, (Mart, **2018**)
- [31] Sarıbiyık, M. [http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/66618/46059/5\\_kirilma.pdf](http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/66618/46059/5_kirilma.pdf), ( Mayıs **2018**)
- [32] Whittaker, B.N., Singh, R.N., Sun, G., Rock Fracture Mechanics: Principles, Design and Applications, *Elsevier*, Amsterdam, **1992**.
- [33] Anderson, T. Fracture mechanics: Fundamentals and Applications, *CRC Press Inc.*, Florida, **1991**.
- [34] Özdemir, A., *Seramik Malzemelerin Kirilma Tokluğu Değerlerinin Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Teorik Olarak Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, **2006**.
- [35] Alkılıçgil, Ç., *Development Of A New Method For Mode I Fracture*



*Toughness Test On Disc Type Rock Specimens*, Yüksek Lisans Tezi ,The Graduate School of Natural and Applied Sciences Middle East Technical University, **2006**.

- [36] Köksal, N., Ankara andeziti kırılma tokluğunun araştırılması, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*, 403-416, Ankara, **1991**.
- [37] <https://www.ned.org/EducationResources/FractureToughness>(Mayıs,**2018**)
- [38] [https://www.uobabylon.edu./eprints/publication\\_11\\_5633639.pdf](https://www.uobabylon.edu./eprints/publication_11_5633639.pdf), (Mayıs, **2018**)
- [39] Alkılıçgil, Ç., *Development Of Specimen Geometries For Mode I Fracture Toughness Testing With Disc Type Rock Specimens*, Doctoral Dissertation, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University, **2010**.
- [40] Kuruppu, M. D., Ayatollahi, M. R., Chong, K. P., Funatsu, T., ISRM-Suggested Method for Determining the Mode I Static Fracture Toughness Using Semi-Circular Bend Specimen, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47, 267-74, **2014**.
- [41] Chong, K.P., Kuruppu, M.D., Kuszmaul, J.S., Fracture toughness determination of layered materials, *Engng Fract Mech*, 28, 43–54, **1987**.
- [42] Iqbal, M.J., Mohanty, B., Experimental calibration of ISRM suggested fracture toughness measurement techniques in selected brittle rocks, *Rock Mech. Rock Eng.*, 40, 453-75, **2007**.
- [43] Fowell, R.J., Suggested method for determining mode I fracture toughness using cracked chevron notched Brazilian disc (CCNBD) specimens, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 32, 1, 57-64, **1995**.
- [44] Fowell, R.J., Xu, C., Dowd, P.A., An update on the fracture toughness testing methods related to the cracked chevron-notched Brazilian disk (CCNBD) specimen, *Pure Appl Geophys*, 163, 1047-57, **2006**.
- [45] Zhou YX, Xia, K., Li, X.B., Li, H.B., Ma, W., Zhao, J. Suggested methods for determining the dynamic strength parameters and mode-I fracture toughness of rock materials, *Int J Rock Mech Min*, 49, 105-12, **2012**.
- [46] Chong, K.P., Kuruppu, M.D., New specimen for fracture toughness

- determination of rock and other materials, *Int J Fract*, 26, 59–62, **1984**.
- [47] Basham, K.D., *Nonlinear fracture mechanics using semi-circular specimens and tension softening behavior*, Ph.D. Dissertation , Dept. of Civil Eng.,The University of Wyoming, **1989**.
- [48] Khan, K., Al-Shayea, A., Effect of Specimen Geometry and Testing Method on Mixed Mode I-II Fracture Toughness of a Limestone Rock from Saudi Arabia, *Rock Mech. Rock Engng*, 33, 176-206, **2000**.
- [49] Het, K., *Effects Of Geometrical Factors On Fracture Toughness Using Semi-Circular Bending Type Specimens*, M.S. Thesis, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University, **2008**.

## EKLER

### EK 1.

#### **Çalışmada kullanılan diğer doğal taşların numunelerine ait boyutlarını gösteren çizelgeler**

Ek 1.1. Afyon Beyaz hakiki mermerine ait numunelerin boyutları

Ek 1.2. Burdur Koyu Bej kireçtaşına ait numunelerin ait boyutları

Ek 1.3. Burdur Açık Bej kireçtaşına ait numunelerin ait boyutları

Ek 1.4. Kütahya Menekşe hakiki mermerine ait numunelerin boyutları

Ek 1.5. Afyon Şeker hakiki mermerine ait numunelerin boyutları

Ek 1.1 Afyon Beyaz hakiki mermerine ait numunelerin boyutları

| Numune Numarası | Çentik Kalınlığı( $t$ ) (mm) | Çentik Uzunluğu( $a$ ) (mm) | Numune Çapı ( $D$ ) (mm) | Numune Kalınlığı( $B$ ) (mm) | Numune yarıçapı( $R$ ) (mm) |
|-----------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1               | 0,96                         | 25,56                       | 99,28                    | 51,9                         | 47,96                       |
| 2               | 0,99                         | 25,71                       | 98,58                    | 51,15                        | 47,98                       |
| 3               | 1,09                         | 25,65                       | 98,26                    | 51,36                        | 48,02                       |
| 4               | 1                            | 25,45                       | 98,78                    | 50,69                        | 48,08                       |
| 5               | 1,01                         | 25,9                        | 98,98                    | 50,52                        | 47,96                       |
| 6               | 1,03                         | 25,05                       | 99,05                    | 51,55                        | 48,18                       |
| 7               | 0,97                         | 25,61                       | 98,38                    | 50,55                        | 48,01                       |
| 8               | 0,98                         | 25,47                       | 98,58                    | 50,51                        | 47,98                       |
| 9               | 0,95                         | 25,49                       | 98,90                    | 51,52                        | 50,26                       |
| 10              | 0,96                         | 25,65                       | 98,66                    | 50,96                        | 48,31                       |
| 11              | 0,95                         | 25,05                       | 98,85                    | 51,4                         | 49,56                       |
| 12              | 0,98                         | 25,26                       | 98,56                    | 51,1                         | 50,02                       |

Ek 1.2 Burdur Koyu Bej kireçtaşına ait numunelerin ait boyutları

| Numune Numarası | Çentik Kalınlığı( $t$ ) (mm) | Çentik Uzunluğu( $a$ ) (mm) | Numune Çapı ( $D$ ) (mm) | Numune Kalınlığı( $B$ ) (mm) | Numune yarıçapı( $R$ ) (mm) |
|-----------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1               | 0,96                         | 25,89                       | 99,48                    | 51,02                        | 48,46                       |
| 2*              | 0,92                         | 25,83                       | 99,53                    | 51,31                        | 48,62                       |
| 3               | 0,98                         | 25,57                       | 99,52                    | 50,66                        | 48,26                       |
| 4               | 1,01                         | 25,71                       | 99,69                    | 51,12                        | 48,22                       |
| 5               | 0,97                         | 25,71                       | 99,6                     | 51,48                        | 48,45                       |
| 6               | 0,98                         | 25,86                       | 99,79                    | 51,32                        | 48,18                       |
| 7               | 0,96                         | 25,82                       | 99,91                    | 51,18                        | 48,74                       |
| 8               | 0,94                         | 25,77                       | 99,45                    | 49,95                        | 48,32                       |
| 9               | 0,98                         | 25,52                       | 99,67                    | 50                           | 48,83                       |
| 10              | 1,02                         | 25,68                       | 99,68                    | 50,31                        | 49,15                       |
| 11              | 0,96                         | 25,89                       | 99,44                    | 50,62                        | 48,12                       |
| 12              | 0,95                         | 25,91                       | 99,57                    | 51,45                        | 48,01                       |

Ek 1.3 Burdur Açık Bej kireçtaşına ait numunelerin ait boyutları

| Numune Numarası | Çentik Kalınlığı( $t$ ) (mm) | Çentik Uzunluğu( $a$ ) (mm) | Numune Çapı ( $D$ ) (mm) | Numune Kalınlığı( $B$ ) (mm) | Numune yarıçapı( $R$ ) (mm) |
|-----------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1               | 0,94                         | 25,98                       | 99,61                    | 50,42                        | 48,62                       |
| 2*              | 0,95                         | 25,74                       | 99,41                    | 51,02                        | 48,24                       |
| 3               | 0,92                         | 25,89                       | 99,01                    | 50,8                         | 48,02                       |
| 4               | 0,96                         | 25,88                       | 99                       | 50,73                        | 48,54                       |
| 5               | 0,98                         | 25,87                       | 99,23                    | 51,21                        | 48,68                       |
| 6               | 0,99                         | 25,55                       | 99,66                    | 50,98                        | 48,98                       |
| 7               | 0,97                         | 25,32                       | 99,56                    | 51,28                        | 48,36                       |
| 8               | 0,91                         | 26,14                       | 99,62                    | 51,42                        | 48,72                       |
| 9               | 0,93                         | 25,63                       | 99,19                    | 51,31                        | 48,21                       |
| 10              | 0,97                         | 25,44                       | 99,21                    | 51,24                        | 48,4                        |
| 11              | 0,99                         | 25,57                       | 99,6                     | 51,22                        | 48,6                        |
| 12              | 0,95                         | 25,96                       | 99,66                    | 51,18                        | 48,72                       |

Ek 1.4 Kütahya Menekşe hakiki mermerine ait numunelerin boyutları

| Numune Numarası | Çentik Kalınlığı( <i>t</i> ) (mm) | Çentik Uzunluğu( <i>a</i> ) (mm) | Numune Çapı ( <i>D</i> ) (mm) | Numune Kalınlığı( <i>B</i> ) (mm) | Numune yarıçapı( <i>R</i> ) (mm) |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1               | 1,03                              | 25,03                            | 99,12                         | 50,66                             | 48,02                            |
| 2               | 0,97                              | 25,66                            | 98,9                          | 50,6                              | 48,28                            |
| 3               | 1,02                              | 25,45                            | 99,02                         | 49,52                             | 48,18                            |
| 4               | 1                                 | 24,915                           | 98,94                         | 49,78                             | 48,24                            |
| 5               | 0,99                              | 25,61                            | 98,86                         | 52,01                             | 48,58                            |
| 6               | 0,99                              | 25,45                            | 98,8                          | 52,03                             | 47,96                            |
| 7               | 0,96                              | 25,43                            | 98,67                         | 52,05                             | 47,62                            |
| 8               | 1,02                              | 25,99                            | 98,7                          | 49,95                             | 47,99                            |
| 9               | 0,98                              | 25,34                            | 98,72                         | 50,22                             | 47,42                            |
| 10              | 0,95                              | 25,04                            | 97,77                         | 49,83                             | 47,97                            |
| 11              | 0,92                              | 25,5                             | 98,51                         | 50,6                              | 48,15                            |
| 12              | 1,05                              | 25,48                            | 98,83                         | 49,81                             | 49,44                            |

Ek 1.5. Afyon Şeker hakiki mermerine ait numunelerin boyutları

| Numune Numarası | Çentik Kalınlığı( <i>t</i> ) (mm) | Çentik Uzunluğu( <i>a</i> ) (mm) | Numune Çapı ( <i>D</i> ) (mm) | Numune Kalınlığı( <i>B</i> ) (mm) | Numune yarıçapı( <i>R</i> ) (mm) |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1               | 0,95                              | 24,95                            | 98,04                         | 49,56                             | 47,6                             |
| 2*              | 1,04                              | 25,05                            | 98,48                         | 50,08                             | 48,28                            |
| 3               | 0,96                              | 25,98                            | 99,26                         | 50,92                             | 48,67                            |
| 4*              | 1                                 | 24,95                            | 99,04                         | 50,38                             | 48,36                            |
| 5               | 1,01                              | 24,95                            | 98,63                         | 52,02                             | 48,18                            |
| 6               | 0,97                              | 24,75                            | 98,51                         | 50,15                             | 48,28                            |
| 7               | 0,96                              | 26,2                             | 99,04                         | 50,68                             | 48,34                            |
| 8               | 0,95                              | 25,67                            | 98,68                         | 50,89                             | 48,16                            |
| 9               | 1                                 | 25,48                            | 98,82                         | 50,55                             | 48,39                            |
| 10              | 0,97                              | 25,11                            | 98,59                         | 51,9                              | 47,98                            |
| 11              | 1,01                              | 25,76                            | 99,12                         | 50,81                             | 48,3                             |
| 12              | 0,99                              | 25,13                            | 98,74                         | 50,92                             | 48,38                            |

## EK 2.

### **Çalışmada kullanılan diğer doğal taşların numunelerine ait yenilme yüklerini gösteren çizelgeler**

Ek 2.1. Afyon Beyaz hakiki mermerine ait numunelerin yenilme yükleri

Ek 2.2. Burdur Koyu Bej kireçtaşına ait numunelerin yenilme yükleri

Ek 2.3. Burdur Açık Bej kireçtaşına ait numunelerin yenilme yükleri

Ek 2.4. Kütahya Menekşe hakiki mermerine ait numunelerin yenilme yükleri

Ek 2.5. Afyon Şeker hakiki mermerine ait numunelerin yenilme yükleri

Ek 2.1. Afyon Beyaz hakiki mermerine ait numunelerin yenilme yükleri

| Numune Numarası | Yenilme Yüğü (N) |
|-----------------|------------------|
| 1               | 3345,62          |
| 2               | 3594,83          |
| 3               | 3654,02          |
| 4               | 3230,36          |
| 5               | 3118,22          |
| 6               | 3205,45          |
| 7               | 3192,98          |
| 8               | 3230,36          |
| 9               | 3083,95          |
| 10              | 3143,14          |
| 11              | 3784,85          |
| 12              | 2697,68          |
| Ortalama        | 3273,46          |

Ek 2.2. Burdur Koyu Bej kireçtaşına ait numunelerin yenilme yükleri

| Numune Numarası | Yenilme Yüğü (N) |
|-----------------|------------------|
| 1               | 3186,75          |
| 2*              | 3946,84          |
| 3               | 3884,54          |
| 4               | 3784,85          |
| 5               | 3055,91          |
| 6               | 3862,73          |
| 7               | 4420,33          |
| 8               | 2800,48          |
| 9               | 4305,08          |
| 10              | 3632,21          |
| 11              | 3604,17          |
| 12              | 3990,45          |
| Ortalama        | 3706,2           |

Ek 2.3. Burdur Açık Bej kireçtaşına ait numunelerin yenilme yükleri

| Numune Numarası | Yenilme Yüğü (N) |
|-----------------|------------------|
| 1               | 3897,06          |
| 2*              | 2928,21          |
| 3               | 3797,32          |
| 4               | 3591,72          |
| 5               | 4062,10          |
| 6               | 4102,60          |
| 7               | 4407,88          |
| 8               | 3641,56          |
| 9               | 3794,20          |
| 10              | 37994,21         |
| 11              | 4467,06          |
| 12              | 3532,53          |
| Ortalama        | 3917,10          |

Ek 2.4. Kütahya Menekşe hakiki mermerine ait numunelerin yenilme yükleri

| Numune Numarası | Yenilme Yüğü (N) |
|-----------------|------------------|
| 1               | 3918,80          |
| 2               | 4065,21          |
| 3               | 3890,76          |
| 4               | 4688,23          |
| 5               | 3996,68          |
| 6               | 3981,10          |
| 7               | 4463,94          |
| 8               | 4062,10          |
| 9               | 3526,30          |
| 10              | 4180,47          |
| 11              | 4660,19          |
| 12              | 4111,94          |
| Ortalama        | 4128,81          |

Ek 2.5. Afyon Şeker hakiki mermerine ait numunelerin yenilme yükleri

| Numune Numarası | Yenilme Yüğü (N) |
|-----------------|------------------|
| 1               | 3710,09          |
| 2*              | 2619,80          |
| 3               | 3682,05          |
| 4*              | 3358,09          |
| 5               | 3691,39          |
| 6               | 4049,64          |
| 7               | 2579,30          |
| 8               | 3541,87          |
| 9               | 3099,52          |
| 10              | 3619,75          |
| 11              | 3619,72          |
| 12              | 3750,59          |
| Ortalama        | 3534,40          |



### **EK 3.**

#### **Çalışmada kullanılan diğer doğal taşların numunelerine ait örnek yük-yer değiştirme (deformasyon) eğrileri**

Ek 3.1. Afyon Beyaz hakiki mermerine ait numunelerin örnek yük-yer değiştirme (deformasyon) eğrisi

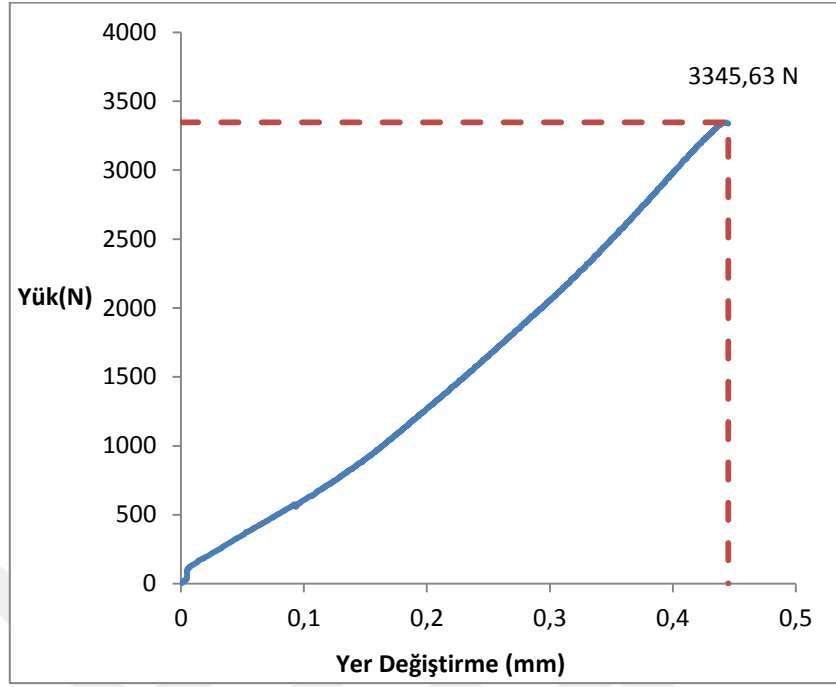
Ek 3.2. Burdur Koyu Bej kireçtaşına ait numunelerin örnek yük-yer değiştirme (deformasyon) eğrisi

Ek 3.3. Burdur Açık Bej kireçtaşına ait numunelerin örnek yük-yer değiştirme (deformasyon) eğrisi

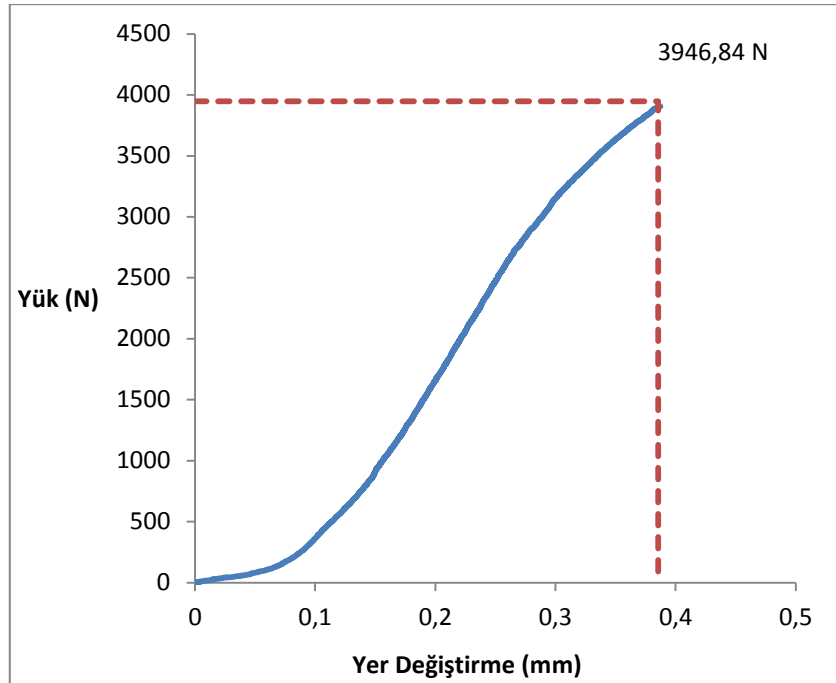
Ek 3.4. Kütahya Menekşe hakiki mermerine ait numunelerin örnek yük-yer değiştirme (deformasyon) eğrisi

Ek 3.5. Afyon Şeker hakiki mermerine ait numunelerin örnek yük-yer değiştirme (deformasyon) eğrisi

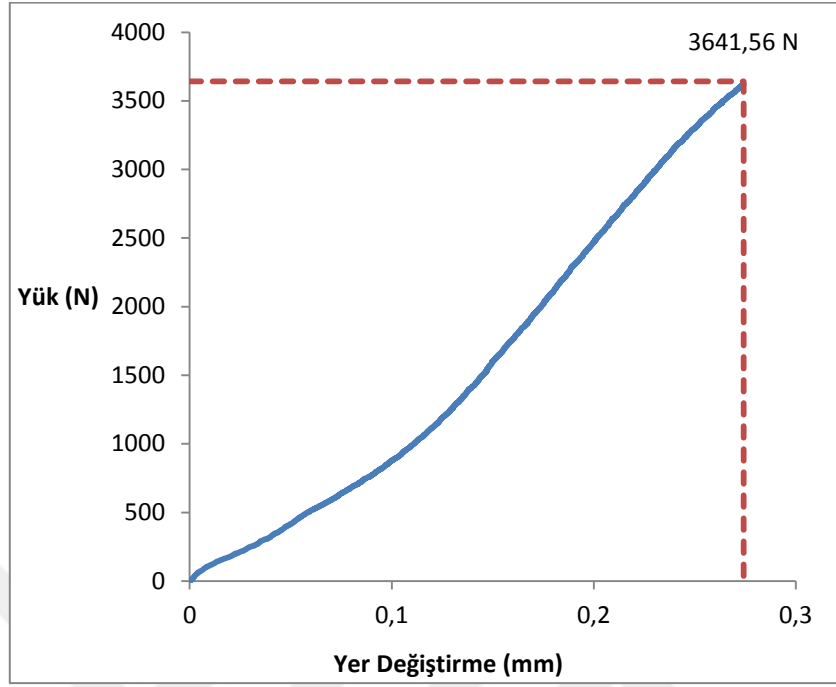
Ek 3.1. Afyon Beyaz hakiki mermerine ait numunelerin örnek yük-yer değiştirme (deformasyon) eğrisi



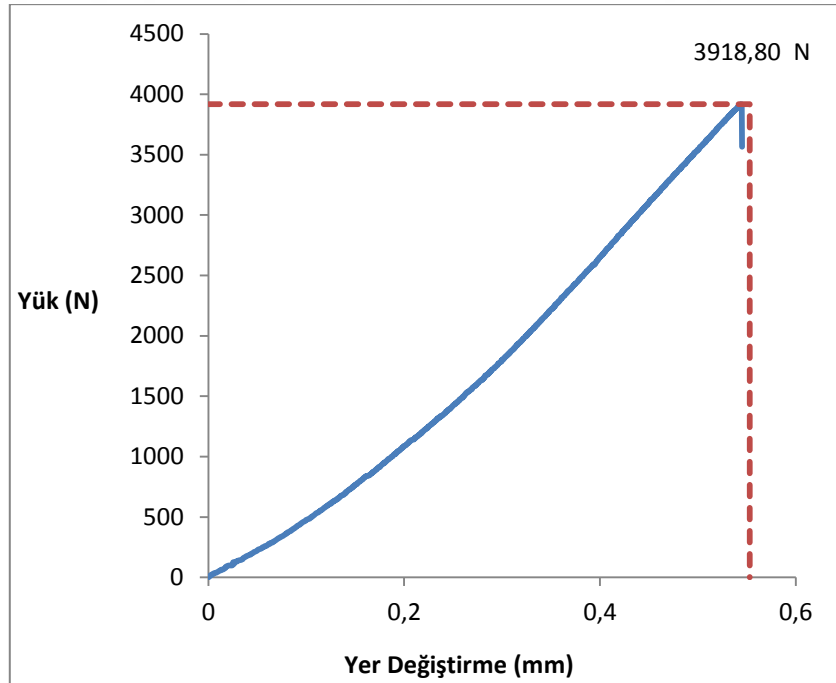
Ek 3.2. Burdur Koyu Bej kireçtaşına ait numunelerin örnek yük-yer değiştirme (deformasyon) eğrisi



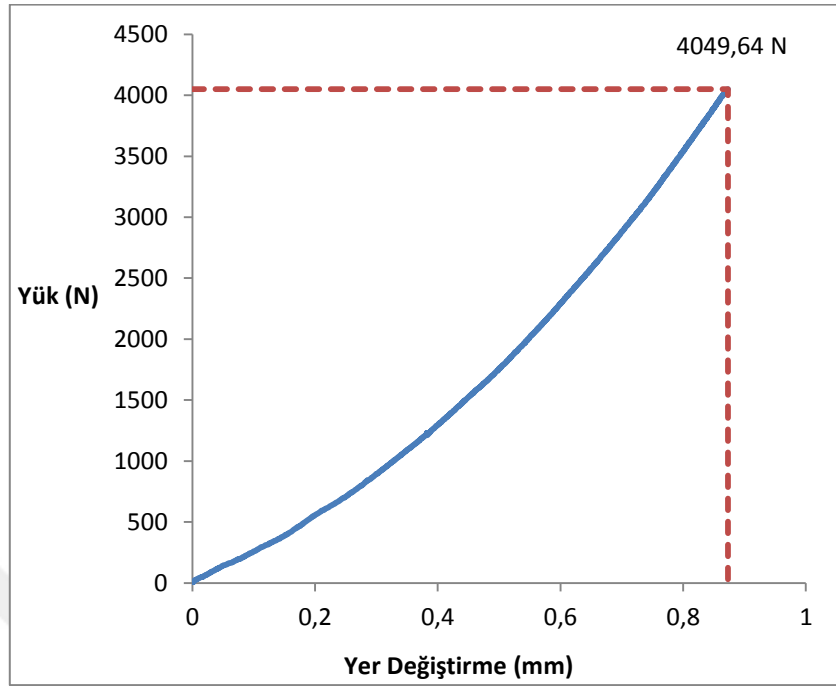
Ek 3.3. Burdur Açık Bej kireçtaşına ait numunelerin örnek yük-yer değiştirme (deformasyon) eğrisi



Ek 3.4. Kütahya Menekşe hakiki mermerine ait numunelerin örnek yük-yer değiştirme (deformasyon) eğrisi



Ek 3.5. Afyon Şeker hakiki mermerine ait numunelerin örnek yük-yer değiştirme (deformasyon) eğrisi



## EK 4.

### Çalışmada kullanılan diğer doğal taşların numunelerine ait kırılma tokluğu sonuçlarını gösteren çizelgeler

Ek 4.1. Afyon Beyaz hakiki mermerine ait numunelerin kırılma tokluğu sonuçları

Ek 4.2. Burdur Koyu Bej kireçtaşına ait numunelerin kırılma tokluğu sonuçları

Ek 4.3. Burdur Açık Bej kireçtaşına ait numunelerin kırılma tokluğu sonuçları

Ek 4.4. Kütahya Menekşe hakiki mermerine ait numunelerin kırılma tokluğu sonuçları

Ek 4.5. Afyon Şeker hakiki mermerine ait numunelerin kırılma tokluğu sonuçları

Ek 4.1. Afyon Beyaz hakiki mermerine ait numunelerin kırılma tokluğu sonuçları

| Numune Numarası | $K_{Ic}(MPa\sqrt{m})$ |
|-----------------|-----------------------|
| 1               | 0,88                  |
| 2               | 0,97                  |
| 3               | 0,98                  |
| 4               | 0,87                  |
| 5               | 0,85                  |
| 6               | 0,84                  |
| 7               | 0,87                  |
| 8               | 0,87                  |
| 9               | 0,78                  |
| 10              | 0,84                  |
| 11              | 0,97                  |
| 12              | 0,69                  |
| Ortalama        | 0,87                  |
| Standart sapma  | 0,08                  |

Ek 4.2. Burdur Koyu Bej kireçtaşına ait numunelerin kırılma tokluğu sonuçları

| Numune Numarası | $K_{Ic}(MPa\sqrt{m})$ |
|-----------------|-----------------------|
| 1               | 0,85                  |
| 2*              | 1,05                  |
| 3               | 1,05                  |
| 4               | 1,01                  |
| 5               | 0,81                  |
| 6               | 1,03                  |
| 7               | 1,17                  |
| 8               | 0,77                  |
| 9               | 1,16                  |
| 10              | 0,97                  |
| 11              | 0,98                  |
| 12              | 1,07                  |
| Ortalama        | 0,99                  |
| Standart sapma  | 0,13                  |

Ek 4.3. Burdur Açık Bej kireçtaşına ait numunelerin kırılma tokluğu sonuçları

| Numune Numarası | $K_{Ic}(MPa\sqrt{m})$ |
|-----------------|-----------------------|
| 1               | 1,05                  |
| 2*              | 0,78                  |
| 3               | 1,03                  |
| 4               | 0,97                  |
| 5               | 1,08                  |
| 6               | 1,08                  |
| 7               | 1,16                  |
| 8               | 0,97                  |
| 9               | 1,01                  |
| 10              | 1,00                  |
| 11              | 1,18                  |
| 12              | 0,94                  |
| Ortalama        | 1,05                  |
| Standart sapma  | 0,08                  |

Ek 4.4. Kütahya Menekşe mermerine ait numunelerin kırılma tokluğu sonuçları

| Numune Numarası | $K_{Ic}(MPa\sqrt{m})$ |
|-----------------|-----------------------|
| 1               | 1,05                  |
| 2               | 1,10                  |
| 3               | 1,07                  |
| 4               | 1,27                  |
| 5               | 1,04                  |
| 6               | 1,05                  |
| 7               | 1,18                  |
| 8               | 1,13                  |
| 9               | 0,97                  |
| 10              | 1,14                  |
| 11              | 1,26                  |
| 12              | 1,10                  |
| Ortalama        | 1,11                  |
| Standart sapma  | 0,09                  |

Ek 4.5. Afyon Şeker hakiki mermerine ait numunelerin kırılma tokluğu sonuçları

| Numune Numarası | $K_{Ic}(MPa\sqrt{m})$ |
|-----------------|-----------------------|
| 1               | 1,02                  |
| 2               | 0,70                  |
| 3               | 0,98                  |
| 4               | 0,90                  |
| 5               | 0,96                  |
| 6               | 1,08                  |
| 7               | 0,70                  |
| 8               | 0,95                  |
| 9               | 0,83                  |
| 10              | 0,95                  |
| 11              | 0,97                  |
| 12              | 0,99                  |
| Ortalama        | 0,95                  |
| Standart sapma  | 0,11                  |

## ÖZGEÇMİŞ

### Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Ulaş Sönmez

Doğum Yeri: Ankara

Medeni Hali: Bekar

E-posta: ulas\_sonmez\_@hotmail.com

Adresi: Yiğitler Sitesi No:8 Çayyolu /Çankaya / Ankara

### Eğitim

Lise: Dr. Binnaz Ege Dr. Rıdvan Ege Anadolu Lisesi

Lisans: Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği (2008-2014)

Yüksek Lisans: Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği (2014-2018)

### Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce: Okuma (İleri), Yazma (İleri), Konuşma (İleri)

### İş Deneyimi

05.2017-11.2017: Maden Mühendisi (Eyyüpoğlu Mad. San. Ltd. Şti.)

11.2017-.....: Maden Mühendisi (Teyda A.Ş- YDA A.Ş- Kıbrıs A.Ş Anonim Ortaklığı)

### Deneyim Alanları

Yeraltı Maden İşletmeciliği, Elmas Telli Kesme Yöntemi, Açık Ocak İşletmeciliği, Mermer Teknolojileri

### Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

### Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

### Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-





HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 29/05/2018

**Tez Başlığı / Konusu:** Bazı Türk Mermerlerinin Tür-I Kırılma Tokluğu İle Elmas Telli Kesme Makinelerinin Performansı Arasındaki İlişkilerin Analizi

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 72 sayfalık kısmına ilişkin, 29/05/2018 tarihinde ~~şahım~~/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Ulaş Sönmez  
Öğrenci No: N14124232  
Anabilim Dalı: Maden Mühendisliği  
Programı: Maden Mühendisliği  
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

29.05.2018

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Yılmaz Özçelik