

**KATRAK MAKİNELERİNDE KULLANILAN  
ELMAS SOKETLERİN KIRILMA  
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS  
Mustafa İsmet ERSÖZ

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Kasım, 2014

Bu tez çalışması 12.FEN.BİL.21 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS**

**KATRAK MAKİNELERİNDE KULLANILAN**  
**ELMAS SOKETLERİN KIRILMA**  
**DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**Mustafa İsmet ERSÖZ**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Kasım, 2014**

## TEZ ONAY SAYFASI

Mustafa İsmet ERSÖZ tarafından hazırlanan “Katrak Makinelerinde Kullanılan Elmas Soketlerin Kırılma Davranışlarının İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 06/11/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

**Başkan** : Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ İmza  
Afyon Kocatepe Üniversitesi – Teknoloji Fakültesi,

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN İmza  
Afyon Kocatepe Üniversitesi – Teknik Eğitim Fakültesi,

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Sinan ULU İmza  
Afyon Kocatepe Üniversitesi – Teknoloji Fakültesi,

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

## **BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**

**Afyon Kocatepe 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.**

**17/10/2014**

**İmza**

**Mustafa İsmet ERSÖZ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KATRAK MAKİNELERİNDE KULLANILAN ELMAS SOKETLERİN KIRILMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Mustafa İsmet ERSÖZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

Katrak makineleri doğal taşların kesilmesinde kullanılmaktadır. Katrak makinelerinde asıl kesme işlemini üzerine bağlanan elmas soketler yapmaktadır. Elmas soketler değişik kuvvetlere maruz kalmakta ve bunun sonucunda istenilmeyen hasarlar meydana gelmektedir. Bu çalışmada, doğal taşların kesilmesi işleminde kullanılan elmas soketli lamaların kırılma davranışları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. İlk olarak, model bir katrak makinesinde kesme testleri yapılmış ve farklı kesme parametrelerine (ilerleme ve strok hızı) bağlı olarak kuvvetler ( $F_x$ ,  $F_y$ ) elde edilmiştir. Bununla birlikte, hasarlı elmas soket ve lamalar mikroskopik, mikroyapı, sertlik, malzeme kompozisyonu ve çekme testlerine tabi tutulmuştur. Nümerik çalışmada ise, elde edilen deneysel verilere göre sonlu elemanlar metodu ile Franc 2DL programında gerilme, kırılma ve yorulma analizleri yapılmıştır. Analizlerde farklı kesme parametreleri (ilerleme ve strok hızı) ve elmas soket yükseklikleri ele alınmıştır. Çalışma sonuçları göstermiştir ki, elmas soketin kırılması lehim ve lama olmak üzere iki önemli bölge meydana gelmektedir. Aşınmayla birlikte elmas soket yüksekliğinin azalması yorulma ömrüne olumlu bir katkı sağlamıştır.

**2014, xiii + 72 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Katrak makinesi, elmas soketli lama, Kırılma, Yorulma analizi, sonlu elemanlar metodu.

## **ABSTRACT**

M.Sc Thesis

### **INVESTIGATION OF FRACTURE BEHAVIORS OF DIAMOND SEGMENTS USED BAND SAW MACHINES**

Mustafa İsmet ERSÖZ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Assist. Prof. Dr. İsmail UCUN

Band saw machine are used for cutting natural stone. Band saw machine are connected on diamond -segment blades and cutting makes this tool. The diamond segments are forces various loads and undesirable damage to the diamond segment consequently occur. In this study, fracture behaviours of the diamond segmented band saw used in cutting process of natural stones are investigated as experimental and numerical studies. Firstly, cutting tests are make in the band saw machine and forces are obtained in depending on different cutting parameters (feed rate and cutting speed). Therefore, damaged diamond segment and bands are carried out test such as microscopy, microstructure, hardness, material composition and tensile test. In numerical studies, stress, fracture and fatigue analyses were performed the according to obtained experimental date Franc 2DL program based on finite element methods was used in the analyses. Different cutting parameters and diamond segment heights were considred in the analyses. In the conclusion of the study, diamond segment fracture occur in the two important region called brazed and band material. With the reduction in height of the diamond socket vaccine has made a positive contribution to the fatigue life.

**2014, xiii + 72 pages**

**Key Words:** Band saw machine, Diamond segment, Fracture, Fatigue analysis, Finite element method.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN'a, deneysel ve analiz çalışmalarının yapılmasında 12.FEN.BİL.21 kodlu proje ile maddi destek sağlayan Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğüne (BAPK), elmas soketli katrik lamalarının temini ve oluşan hasar tiplerinin görüntülenmesinde yardımlarını esirgemeyen HARTEK firmasına, numuneleri hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Grv. Melih ÖZÇATAL ve Ersan MERTGENÇ'e, analiz sonuçlarının yorumlamasında yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Sinan ULU'ya, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimine başlamamda ve bitirmemde bana desteklerini esirgemeyen Enstitü Sekreterimiz Uğur Hakan ERCAN'a ve değerli mesai arkadaşlarıma, benim günlere gelmemde çok büyük emekleri olan değerli aileme, çalışmalarım boyunca bana destek olup sıkıntılarımı paylaşan değerli eşim Gözde ERSÖZ'e şükranlarımı sunarım.

Mustafa İsmet ERSÖZ  
AFYONKARAHİSAR, 2014

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
RESİMLER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	3
3. GENEL BİLGİLER .....	12
3.1 Kesme Mekanizması.....	12
3.2 Katrak Makineleri .....	12
3.3 Lamalar ve Elmas Soketler.....	14
3.4 Eşdeğer Gerilme Kriteri .....	15
3.5 Kırılma Mekanığı.....	16
3.6 Gerilme Şiddet Faktörü.....	18
3.7 Gerilme Enerjisi Salıverme Oranın Hesaplanması .....	20
3.8 Sonlu Elemanlar Metodu.....	21
4. MATERYAL VE METOT.....	23
4.1 Kesme Deneylelerinin Gerçekleştirilmesi .....	23
4.2 Deneylelerde Kullanılan Elmas Soketli Lamalar .....	25
4.3 Kesme Kuvvetlerinin Belirlenmesi.....	31



4.4 Çekme Deneyi .....	34
4.5 Lehim Bölgesi Mikro Yapı Özellikleri .....	35
4.6 Katrak Lamasının Sonlu Elemanlar Modeli .....	36
4.6.1 Modelin Geometrik Özellikleri ve Sınır Koşulları .....	36
4.6.2 Modelin Mesh Yapısı.....	36
4.6.3 Modelin Sınır Koşulları.....	38
4.6.4 Modele Kuvvetlerin Uygulanması.....	38
4.6.5 Lama ve Elmas Soketlerin Malzeme Özellikleri .....	39
4.7 Yorulma Ömrü.....	39
5. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	41
5.1 Gerilme Analizi Sonuçları.....	41
5.2 Kayma Gerilmesinin Belirlenmesi.....	44
5.3 Elmas Soketli Lamanın Kırılma Analizi .....	46
5.3.1 Gerilme Şiddet Faktörlerinin Belirlenmesi .....	46
5.3.2 Yorulma Ömrü Hesabı .....	51
5.4 Lehim Bölgesinin Kırılma Analizi .....	52
5.4.1 Gerilme Şiddet Faktörlerinin Belirlenmesi .....	52
5.4.2 Enerji Salıverme Oranı.....	60
6. SONUÇ .....	64
7. KAYNAKLAR .....	66
7.1 İnternet Kaynakları .....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	72

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

$\theta$	Çatlak yönlenme açısı
$\varepsilon$	Şekil değiştirme vektörü
$\sigma_0$	Malzemenin akma gerilmesi
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Asal gerilmeler
$\sigma_{eş}$	Eşdeğer gerilme
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	x, y ve z yönlerindeki normal gerilmeler
$\mu$	Kesme modülü
$F_n$	Normal kuvvet (N)
$F_t$	Teğetsel kuvvet (N)
$F_x$	Yatay Kuvvet (N)
$F_y$	Düşey Kuvvet (N)
$G_d$	Enerji salıverme oranı
H	Soket yüksekliği (mm)
$K_{eff}$	Etkin gerilme şiddet faktörü
$K_I, K_{II}$	Mod I ve II ait gerilme şiddet faktörü değerleri
$L_c$	Kesme bölgesinin temas uzunluğu
R	Çatlak ucundan uzaklık
u, v	Çatlak ucundaki x ve y yönlerine ait deplasman değerleri
$V_c$	Strok kol hızı (cm/sn)
$V_f$	Strok iniş hızı (mm/dk)
A	Çatlak uzunluğu
V	Poisson oranı
$\delta$	Tepkisel kuvvetin etki açısı

### Kısaltmalar

---

MKEK	Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu
------	-----------------------------------

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Kırılma mekaniği problemlerinde karşılaşılan kırılma modları. ....	17
Şekil 3.2 Çatlak ucunda gerilme bileşenleri için koordinat sistemi. ....	18
Şekil 3.3 Gerilme şiddet faktörünün belirlenmesinde kullanılan kritik düğüm bölgesi. 20	20
Şekil 4.1 Kesme esnasında sokete etki eden hız ve kuvvetler. ....	24
Şekil 4.2 Hasarlı socketin bulunduğu lama bölgedeki sertlik değerleri. ....	29
Şekil 4.3 Sağlam socketin bulunduğu lama bölgedeki sertlik değerleri. ....	29
Şekil 4.4 Lama üzerinde EDX analizi yapılan bölgenin SEM görüntüsü. ....	30
Şekil 4.5 Lama bölgesinin EDX analiz değerleri. ....	31
Şekil 4.6 Lehim bölgesinin EDX analizi yapılan bölgenin kimyasal içerikleri. ....	35
Şekil 4.7 Katrak lamasının, elmas soket ve lehim bölgesinin geometrik modeli ve sınır koşulları (birim mm). ....	36
Şekil 4.8 Katrak lamasının sonlu elemanlar modeli. ....	37
Şekil 4.9 Kesme işlemi esnasında elma sokete etki eden kuvvetler. ....	38
Şekil 5.1 Soket ve lehim bölgesindeki eş değer gerilme dağılımı. ....	41
Şekil 5.2 Elmas soket yüksekliklerine bağlı eş değer gerilme dağılımı ( $V_f=2$ mm/dk). 42	42
Şekil 5.3 Elmas soket yüksekliklerine bağlı eş değer gerilme dağılımı ( $V_f=3$ mm/dk). 43	43
Şekil 5.4 Elmas soket yüksekliklerine bağlı eş değer gerilme dağılımı ( $V_c=40$ cm/s)... 43	43
Şekil 5.5 Farklı strok hızlarında elmas soket yüksekliklerine bağlı kayma gerilmelerinin değişimi ( $V_f=2$ mm/dk). ....	44
Şekil 5.6 Farklı strok hızlarında elmas soket yüksekliklerine bağlı kayma gerilmelerinin değişimi ( $V_f=3$ mm/dk). ....	45
Şekil 5.7 Farklı ilerleme hızlarında elmas soket yüksekliklerine bağlı kayma gerilmelerinin değişimi ( $V_c=40$ cm/s). ....	45
Şekil 5.8 Lama bölgesinde gerilme değerinin geldiği yer. ....	46
Şekil 5.9 Lama bölgesinde meydana gelen çatlak ilerlemesi. ....	47

<b>Şekil 5.10</b> Farklı soket yüksekliklerinde çatlak ilerlemesine bağlı $K_I/K_{IC}$ 'in değişimi ( $V_f=2$ mm/dk).....	48
<b>Şekil 5.11</b> Farklı soket yüksekliklerinde çatlak ilerlemesine bağlı $K_I/K_{IC}$ 'in değişimi ( $V_f=3$ mm/dk).....	49
<b>Şekil 5.12</b> Farklı soket yüksekliklerinde çatlak ilerlemesine bağlı $K_{II}$ 'in değişimi ( $V_f=2$ mm/dk).....	50
<b>Şekil 5.13</b> Farklı soket yüksekliklerinde çatlak ilerlemesine bağlı $K_{II}$ 'in değişimi ( $V_f=3$ mm/dk).....	51
<b>Şekil 5.14</b> Katrak lamasının soket yüksekliği ve ilerleme hızına bağlı yorulma ömrü değerleri. ....	52
<b>Şekil 5.15</b> Farklı soket yüksekliği değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi ( $V_f=2$ mm/dk).....	54
<b>Şekil 5.16</b> Farklı soket yüksekliği değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi ( $V_f=3$ mm/dk).....	55
<b>Şekil 5.17</b> Farklı strok hızı değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi. ....	56
<b>Şekil 5.18</b> Farklı strok hızı değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi. ....	56
<b>Şekil 5.19</b> Farklı soket yüksekliği değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi ( $V_f=2$ mm/dk).....	57
<b>Şekil 5.20</b> Farklı soket yüksekliği değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi ( $V_f=3$ mm/dk).....	58
<b>Şekil 5.21</b> Farklı strok hızı değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi ( $h=3$ mm).....	59
<b>Şekil 5.22</b> Lehim Bölgesinde Meydana Gelen Çatlak İlerlemesi.....	59
<b>Şekil 5.23</b> Farklı soket yüksekliği değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı enerji salıverme oranının ( $G_d$ ) değişimi ( $V_f=2$ mm/dk). ....	61
<b>Şekil 5.24</b> Farklı soket yüksekliği değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı enerji salıverme oranının ( $G_d$ ) değişimi ( $V_f=3$ mm/dk). ....	62

**Şekil 5.25** Farklı strok hızı değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı enerji salıverme oranı.  
..... 63

**Şekil 5.26** Farklı strok hızı değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı enerji salıverme oranı.  
..... 63

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 4.1</b> Kesme işleminde kullanılan parametre değerleri. ....	24
<b>Çizelge 4.2</b> Katrak lamasının kimyasal kompozisyonu (%). ....	31
<b>Çizelge 4.3</b> Elmas soket üzerine etki eden maksimum teğetsel ve radyal kuvvetler ile hesaplanan kuvvetler. ....	32
<b>Çizelge 4.4</b> Analizlerde kullanılan parametreler. ....	34
<b>Çizelge 4.5</b> Lama malzemesinin mekanik özellikleri. ....	35
<b>Çizelge 4.6</b> Soket yüksekliklerine bağlı düğüm ve eleman sayıları. ....	37
<b>Çizelge 4.7</b> Katrak laması, lehim bölgesi ve elmas soketin mekanik özellikleri (Ucun vd. 2008 ). ....	39
<b>Çizelge 4.8</b> Katrak Lama Malzemesinin C, m ve $K_{IC}$ parametre değerleri. ....	40

## RESİMLER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Resim 3.1</b> Katrak makinesi (Ucun 2007).....	13
<b>Resim 3.2</b> Elmas soketlerin doğal taşa teması. ....	14
<b>Resim 3.3</b> Katrak lamaları ve elmas soket. ....	15
<b>Resim 4.1</b> Bilgisayar kontrollü prototip katrak makinesi. ....	23
<b>Resim 4.2</b> Bilgisayar kontrollü prototip katrak makinesini kontrol eden programın ara yüzü. ....	25
<b>Resim 4.3</b> Elmas soketli katrak lamalar. ....	25
<b>Resim 4.4</b> Lama ve soket üzerinden kestirilen numuneler. ....	26
<b>Resim 4.5</b> Lama gövdesinden alınıp hazırlanan numune. ....	26
<b>Resim 4.6</b> Katrak lama gövde malzemesinin mikro yapı görüntüsü (500x).....	27
<b>Resim 4.7</b> Hasarlı soket gövde malzemesinin mikroyapı görüntüsü (500x). ....	27
<b>Resim 4.8</b> Sağlam soket gövde malzemesinin mikro yapı görüntüsü (500x). ....	28
<b>Resim 5.1</b> Elmas soketin lama bölgesinde koptuktan sonraki görüntüsü.....	47
<b>Resim 5.2</b> Elmas soketin lehim bölgesinde koptuktan sonraki görüntüsü. ....	60

## 1. GİRİŞ

Eski çağlardan beri doğal taşlar, süsleme ve yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Doğal taşlar (mermer, granit, traverten vb.) kullanılabilir hale gelmesi için bir takım işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Doğal taşları madenden çıkardıktan sonra, kullanıma hazır duruma getirmek için değişik kesme makineleri ve kesiciler ile kesilmektedir.

Türkiye doğal taş ve mermer potansiyelinde dünyada önemli bir yere sahiptir. Mevcut rezervlerin ve yeni bulunan ocakların en az maliyet ve malzeme kaybıyla işlenebilmesi için doğal taş, mermer ve granit kesme makinaları ve geliştirilmesine yönelik çok sayıda çalışma yapılmaktadır.

Doğal taşların kesiminde önemli bir yere sahip olan katrik kesme makinaları ile ilgili çalışmalar eski tarihlere dayanmaktadır. Günümüze kadar yapılan bu çalışmalar katrik makinesinin kesme performansını ve lamanın mekanik özelliğini artırmaya yönelik olmuştur. Katrik makinesi ve lama üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde kesme süresi, lama ömrü ve kesilen malzemenin kaybı önemli oranlarda azaltılmıştır. Katrik kesme makineleri üzerinde bulunan katrik lamalarını; lama gövdesi, elmas soketler ve bağlantı noktaları olmak üzere üç kısımdan oluşur.

Doğal taşlar, heterojen bir yapıya sahip olduğu için katrik lamaları kesme esnasında farklı kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Farklılık gösteren bu kesme kuvvetleri katrik lamasını zorlamakta ve bu zorlanma neticesinde lama veya lama üzerindeki soketlerde istenmeyen hasarlar meydana gelmektedir. Lama üzerine etki eden bu kuvvetlerin bilinmesi hasar analizi için önemlidir. Lama üzerine etki eden kuvvetleri bulmak oldukça zordur. Bu kuvvetlerin elde edilmesi genellikle teorik ve deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Sürtünme, soğutma sıvısının debisi, lamanın yapısı, soket özelliği, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği kuvvetlerin belirlenmesi için önemli parametrelerdir. Yapılacak olan deneysel çalışmalarda bu parametre değerlerinin hepsini değerlendirmek oldukça zor olduğundan bazı durumlar göz ardı edilmektedir. Kuvvetlerin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda kesme hızı, ilerleme ve talaş



derinliği gibi parametreler göz önüne alınmaktadır.

Katruk makineleri çeşitlerine göre üzerlerinde 40 ile 120 arası lama bulunmaktadır. Bu lamaların üretimi katruk makinesine ve kesilecek malzemenin özelliğine göre değişir. Lamaların üzerinde bulunan elmas soketler, lama üzerine önceden açılmış olan soket yuvalarına preslendikten sonra özel lehimle kaynatılmaktadır.

Katruk lamalarında, kesme esnasında, lama gövdesi, lama üzerindeki elmas soketlerde ve soketin lamaya bağlandığı lehim bölgelerinde çeşitli gerilmeler meydana gelmektedir. Katruk lamalarında gerilmeler genellikle soket gövdesi ve soketin lamaya bağlantı noktalarında yoğunlaşmaktadır. Bu gerilmeler neticesinde soketlerde kırılma, soket lehim bölgelerinde çatlama ve elmas soketlerde kopma gibi hasarlar meydana gelmektedir. Oluşan bu hasarlar neticesinde makine durmakta, hasarlı olan lama yenisi ile değiştirilmektedir. Makinenin durması ve lamanın değiştirilmesi zaman ve maddi kayıplara neden olmaktadır. Bu hasarların önüne geçmek ve kayıpları önlemek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Kesilen malzemeye uygun soket ve parametre değerlerinin belirlenmesi, kırılma davranışlarının incelenmesi ve yeni bir soket tasarımının yapılması bu hasarları önlemeye yönelik yapılan çalışmalardır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Söz konusu alanda yapılan çalışmalar genellikle, mermer kesme disklerinin davranışları veya doğal taş, mermer gibi malzemelerin kesilebilirliği üzerinedir. Katrak kesme lamalarının kırılma davranışları üzerinde yapılan çalışmalar oldukça azdır.

Bayram vd. (2003), yaptıkları çalışmada günümüzde mermer bloklarından levha üretiminde yaygın olarak kullanılan elmas lamalı katraklardaki soket aşınmalarını incelemişler ve kayaç özelliklerine göre karşılaştırmışlardır. Burada elmas soketlerde meydana gelen birim aşınmalarla kesim hızı arasında önemli bir ilişkinin olduğu, aynı zamanda birim aşınmalarla kayaç özelliklerinden darbe dayanımı, Schmidt sertliği, Shore sertliği ve elastisite modülü arasında da bağlantılarının olduğu tespit edilmiştir.

Eken (2013), tez çalışmasında, doğal taşları kesmek için prototip bir elmas lamalı mermer blok kesme makinesinin tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Daha sonra, makinenin kesme performansını belirlemek için değişik çalışma koşullarında kesme deneyleri yapılmıştır. Kesme deneylerinde tek bir elmas soket türü ile üç farklı doğal taş kullanılarak; güç tüketimi, kesme kuvvetleri, spesifik enerji, kesme sıcaklığı ve spesifik aşınmalar incelenmiştir.

Ersoy ve Atıcı (1999), yaptıkları çalışmada mermer üretim maliyeti, büyük ölçüde kesici verimliliği tarafından kontrol edilmekte olduğunu, bu durumun kesici aşınma şartları tarafından çok önemli ölçüde etkilendiğini ileri sürmüşlerdir. Kesilebilirliğin tahmini için, kesme işlevi, aşınma modu ve kayaç özellikleriyle ilişkisini belirlemişlerdir. Kesicilerin aşınma tipi ve derecesi, ömrü ve verimliliği birçok kompleks faktör tarafından etkilenmektedir. Ancak, bu çalışmada, gerek laboratuvar, gerekse arazi şartlarında, aşınma oranını veya miktarını tahmin etmede en önemli faktörler, kesici tasarımı, kesici çalışma ve kesilen kayaç parametreleri olarak düşünülmüştür. Bu aşınma, kayaç özelliklerinin, kesiciye uygulanan kesme yüklerinin, kesici hızının ve özelliklerinin bir fonksiyonudur. Kesici tasarım ve çalışma parametrelerinin, kayaç tipine göre optimizasyonu kesme verimliliğini artırmakta, kesici ömrünü uzatmakta ve mermer üretim maliyetini düşürmektedir.

Aslantaş ve Taşgetiren (2002), bu çalışmalarında, yüzeye etkiyen normal ve teğetsel yüklerden dolayı yüzey altında bulunan farklı uzunluktaki çatlakların ilerleme davranışlarını incelemiştir. Problemin çözümünde değişken olarak farklı çatlak boyları ve temas eden yüzeyler arasındaki farklı sürtünme katsayıları göz önüne alınmıştır. Çatlak yüzeyindeki deplasman değerlerinden faydalanılarak  $K_I$  ve  $K_{II}$  gerilme şiddet faktörleri hesaplanmıştır.

Ucun vd. (2007), üzerinde delik bulunan kesici diskin sonlu elemanlar metodu ile gerilme analizini yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada, doğal taş endüstrisinde kullanılan kesici diskin üzerine, farklı devirlerde, kuvvetler uygulayarak diskte meydana gelen eşdeğer gerilmeler belirlenmiştir.

Ucun ve Taşgetiren (2005), mermer kesme disklerinin sonlu elemanlar metodu ile zorlanmış titreşim analizini yapmışlardır. Zorlanmış titreşime maruz kalan mermer kesme diskini sönümsüz ve sönümlü olmak üzere iki farklı durumda incelemiştir. Sönümsüz durum için yapılan çalışmada, göbek çapında deplasman değeri minimum elde edilirken, diskin dış çapında deplasman değerleri maksimumdur. Bunun sonucu olarak diskin dış çevresinde oluşan salınım maksimum değere ulaşmıştır. Sönümlü durumda ise diskin dışında meydana gelen yer değiştirme sönümle etkisi ile azalma göstermektedir.

Taşgetiren ve Ucun (2004), mermer kesme diskinin sonlu elemanlar metodu ile doğal frekansları incelemiştir. Mermer kesme disklerinin çapı, kesme hızı ve ilerleme gibi parametre değerlerine bağlı olarak oluşabilecek olası rezonansın hangi durumlarda meydana geldiğini ve rezonansın nasıl korunulması gerektiğinden bahsetmişlerdir.

Ucun vd. (2009), elmas kesici disklerdeki kesme sıcaklığının belirlenmesi için yeni bir ölçüm sisteminin tasarımı ve imalatını yapmışlardır. Ölçüm işlemini, bilgisayar kontrollü bir blok kesme makinesinde ilerleme hızı, kesme derinliği ve soğutma sıvısı gibi farklı parametre değerlerinde kesme işlemi yapılmış, bu kesme işlemi esnasında oluşan sıcaklık değerleri termokupl tel yardımı ile ölçülmüştür. Çalışma sonucunda kullanılan soğutma sıvılarının önemi anlaşılmış, ayrıca farklı debi değerlerindeki

sıcaklıklar gözlenmiştir.

Caner ve Akarslan (2009), mermer kesme işlemlerinde spesifik enerji faktörünün ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System) ve YSA (Yapay Sinir Ağları) yöntemleri ile tahmini adlı çalışmayı yapmışlardır. Önceden yapılmış bir tezdeki mermer sertliği, kesme hızı ve testere dönüş hızı verilerinden faydalanarak, ANFIS ve YSA metotlarıyla spesifik enerji faktörünü tahmin etmişlerdir. Yapılan uygulamalarda ANFIS yönteminde 0,023 test hatası, YSA uygulamasında ise 0,04865 bağıl hata ortalaması elde edilmiştir. Her iki durum için tahmin sonuçları karşılaştırılmış YSA metodu ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Ersoy ve Atıcı (2004), spesifik kesme enerjisi ile spesifik deformasyon enerjisinin değerlendirmişlerdir. Kesme işleminde 16 kayaç türü için üç farklı testere kullanılmıştır. Kesme makinesi üzerine güç analizörü monte edilip, makinede özel bir yazılım kullanılarak bütün elektronik ve mekanik donanım bilgisayar ortamında kontrol edilerek güç, enerji tüketimi ve spesifik enerji değerleri elde edilmiştir.

Ucun vd. (2009), elmas soket aşınmasının belirlenmesinde lazer ölçüm sistemini kullanmışlardır. Bu çalışmada, elmas kesici diskte meydana gelen aşınmanın ölçümünü en doğru şekilde gerçekleştirebilmek için insan faktöründen ve ölçüm aletlerinin hassasiyetinden kaynaklanan hataları minimuma indirerek, yeni bir ölçüm sistemi geliştirmişlerdir.

Özbek (2008), Çankırı kahverengi mermerinin kesilebilirlik özellikleri ve elmas dairesel testerenin kesme performansını incelemiştir. Testerenin kesme hızı, kesme derinliği, çevresel hızı değiştirilerek kesme deneyleri yapılmıştır.

Büyüksağış ve Gökten (2001), yaptıkları çalışmada, doğal taşların plakalar halinde kesilmesinde kullanılan dairesel testere blok kesme makinalarının çalışma parametrelerini belirlemişlerdir.

Karpat (2013), çalışmasında, hafif betonların kesilmesi işleminde kullanılan elmas

kesici diskin kesme performansları deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Deneylede, dört farklı hafif beton blok numunesi ve beş farklı elmas soket kompozisyonu kullanılmıştır. Kesme deneylelerinde, teğetsel, normal ve kesme kuvvetleri, güç tüketimi, spesifik enerji değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, elmas soketlerin aşınması bir lazer ölçüm sistemi ile ölçülmüştür.

Işık (2004), talaş kaldırma işleminde kesici takımında meydana gelen gerilmeleri sonlu elemanlar metodu ile analiz etmiştir. Yapılan deneylelerde ölçülen kesme kuvvetleri zorlama değerleri olarak modele uygulanmıştır. Deneylelerde kesme kuvvetleri dinamometre ile ölçülmüştür. Modal analizde, kesici takım ve katerin modellenmesi ile mod şekilleri ve bu mod şekillerine ait doğal frekanslar bulunmuştur.

Büyüksağış (2003), çalışmasında uygun çalışma koşullarının belirlenmesinde talaş boyutu başlıca dikkate alınması gereken konulardandır. Talaş boyutu uygun matris-elmas özelliklerini belirlemede temel etkidir. Uygun talaş boyutunu sağlamada makine çalışma koşullarının (kesme hızı, kesme derinliği, çevresel hız) eş zamanlı olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Bu ise blok kesme makinelerinin, tamamen endüstriyel bilgisayarlar aracılığıyla yönlendirilmesi sağlanarak gerçekleştirilebilir.

Ucun vd. (2006), yaptıkları çalışmada, mermer endüstrisinde kullanılan yeni bir kesici elmas soket tasarımı toplam dizayn metodu kullanılarak yapılmıştır. Yeni tasarlanan soketin ilk olarak performans özellikleri saptanmıştır. Performans özelliklerine bağlı olarak tasarım için önemli olan değerlendirme kriterleri belirlenmiştir. Değerlendirme kriterleri ağırlık objektif yöntemi (weighted objective method) kullanılarak yapılmıştır. Düzenlenen bu veriler ile birlikte elmas soketin fonksiyon analizi yapılmış ve diğer çözümler ile karşılaştırılmıştır. Yeni tasarlanan kesici elmas soket ile firmanın iş gücü maliyeti ve sökölüp takılma zamanı azaltılmıştır.

Dikmen (2002), yaptığı çalışmada, kayaçların dokusal, bileşimsel ve mühendislik özelliklerinin özgül enerji üzerine etkisini incelenmiştir. Bu amaçla, kumtaşı örnekleri üzerinde ayrıntılı mineralojik- petrografik analizler, kaya mekaniği ve laboratuvar kayaç kesme deneyleleri yapılmıştır. Bu çalışmada, daha önceki çalışmalarda içerilmeyen

dokusal ve bileşimsel kayaç özellikleri de dikkate alınmıştır. Deneyleerde belirlenen 25 bağımsız değişkenin özgül enerji ile aralarındaki ilişkiler, daha sonra SPSS11 yöntemleri ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen modeller, doku katsayısının özgül enerjiye önemli ölçüde etki ettiğini göstermiştir. Ayrıca, tek eksenli basma ve çekme dayanımlarının, özgül enerjiyi etkileyen en önemli kayaç mühendislik özellikleri oldukları belirlenmiştir.

Eyüboğlu (2000), yaptığı çalışmada, kesme işlemleri sırasında, soketlerdeki aşınma miktarları, kesici makinanın kesme sırasında çektiği akım değerleri saptanarak bu parametrelerle kayacın fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Ayrıca, kesme sırasında makinada meydana gelen titreşim ölçülerek, kesme derinliği ile ilişkisi incelenmiştir. Bununla birlikte, soketlerde meydana gelen aşınma mekanizmalarının tespiti için ayrıntılı mikroskobik incelemeler yapılmıştır.

Atıcı (1999), yaptığı çalışmada, aşınma miktarının tahmin edilmesine yönelik çalışma parametreleri ve kayaç özellikleri dikkate alınmıştır. Elmas soketin aşınmasına kayacın dayanımı, sertliği, mineral yapısı, tane ve tane boyutu gibi özelliklere bağlı olduğu görülmüştür.

Zeren (1999), yaptığı çalışmada, doğal taş kesiminde kullanılan elmas kesici takımlarda genel hata karakterizasyonu ile mikroyapısal karakterizasyon yapılarak özelliklerin optimizasyonu sağlanmaya çalışılmıştır. Aşınma mekanizmasının saptanması ve aşınma altında elmas-matriks kompozisyonunun davranışının saptanması amacıyla aşınma yüzeyleri elektron mikroskobunda incelenmiştir. Genelde doğaltaş kesiminde kullanılan elmas kesici takımlarda ana aşınma mekanizmasının abrasiv aşınma olduğu görülmüştür. Kesme gücü açısından matriksin aşınma karakteristiği kadar elmas tanelerinin de kesme sürecinde oluşan basma ve kayma gerilmeleri altındaki tutumunun son derece önemli olduğu anlaşılmıştır. Böylece elektron metalografisi tekniklerinin uygulanmasıyla değişik tür elmas kesici takımlarda faz/fazlar karakteristiğinin özelliklere etkisi açık olarak ortaya konulabilmektedir.

Ucun vd. (2008), yaptıkları çalışmada, elmas kesiciler ile doğal taşların kesilmesi

işleminde güç tüketimi, spesifik enerji, kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Doğal taş türleri ve kesme parametreleri elmas kesicinin performansının belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Başka bir çalışmada ise, elmas soketlerin kesme performansında bor yağı katkılı soğutma sıvılarının etkisi incelenmiştir. Suya alternatif olarak kullanılan bor yağı katkılı soğutma sıvısının kesme performansı önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Su bor yağı katkılı soğutma sıvısının kullanılması ile güç tüketimi, kesme kuvvetleri ve spesifik enerjileri önemli ölçüde azalmıştır.

Güneş Yılmaz ve Göktan (2008), yaptıkları çalışmada, bilgisayar tabanlı bir yan-kesme makinası kullanılarak, kesme hızının kuvvet ve enerji gereksinimleri üzerindeki etkileri iki farklı granit örneği üzerinde incelenmiştir. Sonuç olarak, kesme hızının artırılması hedeflendiğinde, kesme derinliğinin azaltılıp ilerleme hızının artırılması şeklindeki bir uygulamanın kesme kuvvetleri, güç tüketimi ve özgül enerji gereksinimleri üzerinde daha olumlu bir rol oynadığı görülmüştür. Bununla birlikte, elde edilen bu avantajın büyüklüğü kesimi yapılan taşın mineralojik özelliklerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.

Yalçın vd. (2007), yaptıkları çalışmada, mermer endüstrisinde kesme amaçlı kullanılan dairesel testerelelerde oluşan kesme kuvveti bulanık mantık metoduyla modellenmiştir. Kesme esnasında testere üzerine değişik kuvvetler etki etmekte olup, kuvvetler etkisinde testere zorlanmakta ve istenilmeyen hasarlar oluşmaktadır. Bu kuvvetlerin izlenmesi-kontrolü tezgâh ve testere ömrü açısından önemli olmakla birlikte, kesilen yüzeyin kalitesini de etkilemektedir. Kesme işlemi sırasında kesme kuvvetlerinin kontrolü, ancak uzman ve elektronik sistemlerle sağlanabilmektedir. Elde edilen sonuçlar, bulanık mantık denetleyici ile kesme kuvvetinin tahminlerinin doğru olarak yapılabileceğini ortaya koymuştur.

Aslantaş vd. (2009), yaptıkları çalışmada, kesme performansı üzerinde mermer kesme işleminde kullanılan diskleri üzerindeki eksenel kuvvetlerin etkisini incelemiştirlerdir. Bu nedenle, farklı kesme parametreleri (çevresel hız, hareket hızı ve kesme derinliği) içine alarak, dairesel testere üzerindeki eksenel kuvvetleri bir dinamometre ile ölçülmüştür. Buna ek olarak, bir lazer deplasman ölçer kullanılarak, kesim esnasında her bir kesim

parametre için eksenel sapma miktarı belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre, kesme ilerleme hızı ve derinliğinin artması da önemli ölçüde kesme diskinin eksenel sapmasını artırmıştır. Ayrıca, testerenin kesim başladığında ilerleme hızı ve talaş derinliği ilk anda testerenin eksenel sapma üzerinde bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Güneş vd. (2010), yaptıkları çalışmada, farklı bölgelerden toplanan on farklı mermer türleri kesme oranları üzerindeki  $\text{SiO}_2$  ve toplam  $\text{CaO}$  içeriğinin etkisini incelemiştir. Mermer örnekleri sabit kesme parametreleri altında kesme makineleri iki ayaklı bir ST blok kesilerek elde edilmiş ve ortalama kesme oranları her mermer için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bununla birlikte  $\text{CaO}$  ve  $\text{SiO}_2$  toplam miktarını belirlemek için, kimyasal analizler yapılmıştır. Araştırma sonuçlarından elde edilen tüm bu veriler ışığında, mermer verimliliği kesme  $\text{CaO}$  ve  $\text{SiO}_2$  miktarı onlar gibi diğer parametreler (mineral bileşimi, tane boyutu ve dokusal yapısı, vb.) ne kadar etkili olduğunu göstermiştir.

Güvenç vd. (2011), yaptıkları çalışmada, doğrusal olmayan bir yapıya sahip olan mermer kesim süresi testere devir sayısına, ilerleme hızına ve zamana karşılık kesim miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu değişkenlere bağlı olarak daha önce laboratuvar ortamında yapılmış olan deneylerden elde edilen verilerin matematiksel olarak modellenmesi oldukça zordur. Bu çalışmada, mermer kesme işleminin bitiş süresine yönelik yapay sinir ağ (YSA) tabanlı bir modelleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Eğitim esnasında deney verilerinin %90'ı verilmiş olup %10'u test amaçlı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, gerçekleştirilen modellemenin uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Eyüboğlu vd. (2002), birbiriyle eş zamanlı, iki farklı çalışma yapmışlardır. İlk olarak, kayacın özellikleri ve segmentler üzerindeki aşınma arasındaki ilişkiler, istatistiksel olarak incelenmiştir. İkinci olarak segmentler üzerindeki aşınma mikroskobik olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar kullanılarak verimli bir kesme işlemi için istatistiksel bir denklem oluşturulmuştur. Mikroskobik incelemeler sonucunda aşınmanın, elmas kristal boyutunun yetersiz olması, matris içinde kristal dağılımı ve yüksek kesme hızı



nedeniyle kesicinin kırılmasına neden olabilir.

Sun vd. (2002), yaptıkları çalışmada, SiC içeren yeni bir elmas soketin dairesel testere geliştirilmiştir. Endüstride yapılan performans testlerinde, yeni geliştirilen testerenin diğer testerele göre yüksek kesme verimliliği ve uzun ömürlü olduğu görülmüştür. Polini ve Turchetta (2004), yaptıkları çalışmada, kesme kuvveti ve kesme enerjisinin kesme şartlarına etkisini incelemiştir. Başka bir çalışmada, Turchetta vd. (2004), kimyasal buhar kaplama (CVD) yöntemi kullanılarak elmas soketler kaplanmış ve performans testleri gerçekleştirilmiştir. Kaplanan elmas soketlerle, mermer bir levha üzerinde bir dizi doğrusal kesme işlemi için bir NC makineye sabitlenmiştir. Farklı kesme parametreleri ile kesme işlemi gerçekleştirilmiş ve kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile tungsten karbür uç sonuçları ile karşılaştırılmıştır. CVD kaplama işlemi ile kesme kuvvetleri önemli ölçüde azalmıştır.

Karagöz ve Zeren (2002), yapmış oldukları çalışmada, doğal taş kesmede kullanılan elmas soketlerin malzeme karakterizasyonunu araştırmışlardır. Kırılma testleri farklı matris ve elmas kompozisyonlar ile yapılmıştır. Kesici takımın verimliliğini ve kesicinin daha çabuk bozulmasını sağlayan toz kirliliği, sinterleme ve mikro kusurlar olduğu etkin olarak görülmüştür. Kesicinin mikro optimizasyonu elde etmek için, kusur karakterizasyonu ilk olarak tespit edilmelidir. Ancak bu yöntemle yüksek başlangıç maliyeti elmas kesiciler en iyi performansı gerçekleştirilebilir.

Xu vd. (2003), farklı granitler geniş bir kesme aralığında dairesel testere ile kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu kesme işleminde oluşan kuvvetler ve tüketilen güç değerleri incelenmiştir. Normal kuvvetin azaldığı teğetsel kuvvetin neredeyse sabit olduğu durumda kuvvet oranı artan kesme hızı ile doğrusal olarak arttığı görülmüştür. Uzun süreli yapılan kesme işlemlerinde ise; kuvvet oranı düşüş göstermiş ve buna bağlı olarak testere üzerindeki elmas soketlerde aşınmalar artmıştı.

Loui ve Karanam (2005), iki boyutlu geçici ısı transferi modeli sonlu elemanlar metodu kullanılarak geliştirilmiştir. Bu sayede sürekli kesme işlemi yapılırken, meydana gelen sıcaklık değişimi incelenmiştir. Sonlu elemanlar işleminde elde edilen sıcaklık değeri ile

deneysel sonuçlar ile elde edilen sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Deneysel veriler tam olarak simülasyon verilerini desteklemese de, düzeltmeler yapılabilir ve bu sayede oluşacak ara yüz sıcaklık tahmininde kullanılabilir.

Çonkar (2012), yaptığı çalışmada, elmas kesiciler ile doğal taşların delinmesi işleminde kesme performansı deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Kesme deneylerinde otomatik şanzımanlı matkap tezgâhı kullanılmıştır. Deneylerde beş farklı doğal taş (mermer, andezit, traverten) ve tek tip elmas kesici takım tercih edilmiştir. Doğal taşların fiziko mekanik ve kimyasal özellikleri deneysel olarak ayrıca belirlenmiştir. Farklı parametrelerde (çevresel hız, ilerleme) delme işlemleri yapılmış ve optimum parametre belirlenmiştir. Bu parametre ile beş farklı doğal taş delme işlemine tabi tutulmuş ve kesici takım performansı belirlenmiştir. Performans deneylerinde tek bir parametre ile çok sayıda deney yapılmış ve takımın güç tüketimi, spesifik enerji, aşınma ve delik hatası bulunmuştur. Son olarak, doğal taşlardan elde edilen fiziko mekanik özellikler ile delme deney sonuçları arasındaki ilişkiyi belirlemek için regresyon analizleri yapılmıştır. Sonuçta; doğal taşların bazı özellikleri kesme performansı üzerinde belirleyici faktör olarak görülmüştür.

### **3. GENEL BİLGİLER**

#### **3.1 Kesme Mekanizması**

Kesme yöntemleri yıllardır yapılan çalışmalar sonucunda geliştirilmiştir. Kesme yöntemlerinin farklılık göstermesi yöntemlerin dezavantajları ve yeni kesme yöntemlerinin arayışları olmuştur. Bulunan kesme yöntemleri beraberinde kesme mekanizmalarının oluşmasına ve geliştirilmesine imkan sağlamıştır.

Granit, mermer, traverten gibi kayaçların kesme mekanizması metal kesme mekanizmasından esinlenerek geliştirilmiştir. Kayaç kesme mekanizmasına benzer olarak, ilk geliştirilip kullanıma sunulan metal kesme mekanizması olmuştur. Nishimatsu (1972), kayaç kesme mekanizması üzerinde bir teori önermiş ve kayaç kesmedeki hasar süreçleri üzerindeki gözlemlerini rapor etmiştir. Kayaç kesimi için metal kesmedeki bilinen Merchant'ın formülü kullanılmıştır. Ortogonal kesme işleminde, elde edilen talaşlarda hiçbir plastik deformasyon gözlenmemiştir. Fakat bu gözlem daha ileri yıllardaki Tönshoff vd. (2003), tarafından farklı olarak değerlendirilip, kesme işleminde kayaç üzerinde plastik deformasyon bölgesinin oluştuğu vurgulanmıştır.

Kayaçların kesme işleminde kesme mekanizmasının tasarımında, kesmeyi olumsuz yönde etkileyen parametre değerleri mevcuttur. Kesme mekanizmasının oluşturduğu olumsuzluklar; kesici takımın belirlenmesi, kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme ve soğutma sıvısı gibi parametre değerlerinin doğru tayin edilmemesi kesici üzerine gelen kuvvet değerlerini ve sürtünmeyi arttırarak soket üzerinde aşınma ve hasar oluşturmaktadır.

#### **3.2 Katrak Makineleri**

Yapılan çalışmalarla kendini sürekli geliştiren makineler endüstride doğal taşların, kesilmesi ve parlatılmasında kullanılmaktadır. Büyük bloklar halinde çıkarılan doğal taşlar kullanıcının hizmetine sunulması için bir takım işlemlerden geçmektedir. Bu

alandaki kullanılan kataraklar bir şase üzerine monte edilmiş; elektrik motoru bu motorun döndürdüğü bir volan, volanın göbeğine bağlanan mafsala, mafsala bağlı bir kasa, bu kasa üzerine monte edilmiş lamalar, vagon, elektrik-elektronik sistem ve kontrol kumanda merkezinden oluşmaktadır. Resim 3.1’de bir katarak makinesi gösterilmiştir.



**Resim 3.1** Katarak makinesi (Ucun 2007).

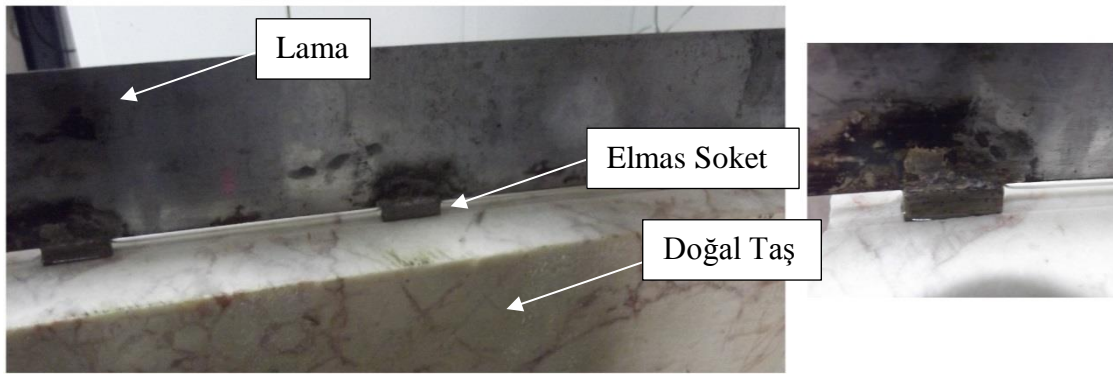
Blok kesme alanında kullanılan katarak makineleri, belirli sayıdaki lamaların yan yana bağlanıp ileri geri hareketiyle kesme işlemi yapan makinelerdir. Kataraklara çok testere kesme makineleri de denilmektedir. Katarak lamalarında asıl kesme işlemi lamaların uç kısımlarında belirli aralıklarda kaynatılmış elmas soketler yapmaktadır. Bazı doğal taşları kesme işlemlerinde ise elmas soketler yerine, kesme esnasında doğal taş ile lama arasına aşındırıcı granüller gönderilerek yapılır.

Kataraklar kesim şekline göre, yatay ve dikey kesim yapan kataraklar olarak gruplandırılır. Yatay kesim yapan kataraklar kesim şekline göre iki farklı yapıya sahiptir. Kesme işlemi, lamaların ileri-geri hareketinin yanı sıra, lamaların belirli bir hızla aşağıya hareketiyle sağlanır. Diğer işlem ise, lamalar ileri-geri hareket ederken vagonun yukarıya hareketiyle kesme işlemi gerçekleşir. Kataraklar için diğer sınıflandırma tipleri ise bloğun kesim için makineye yüklenme şekli, katarakların kesme hızları ve kesimde kullanılan testere durumuna göre yapılan sınıflamadır.

### 3.3 Lamalar ve Elmas Soketler

Katraklarda kullanılan lamalar yaklaşık olarak 3-5 mm kalınlığında 250-300 mm genişliğinde ve 3500-4200 mm uzunluğunda üretilir. Katrak lamalarında malzeme olarak özel alaşımlı çelikler kullanılır. Bir katrak makinasında, makina çeşitlerine göre üzerlerinde 60-80-120 adet katrak laması bulunur.

Katrak lamalı kesme işlemleri, lama üzerlerine kaynatılmış elmas soketlerin doğal taşa teması ile elmas soketlerin doğal taş üzerinden parça kaldırmasıyla gerçekleşir. Katrak lamaları üzerindeki soketler kesilecek doğal taşın özelliklerine göre çeşitli sertlik değerlerinde bulunmaktadır. Elmas soket ve doğal taşa uygun kesim hızının belirlenmesi soketin iş görmeden yanmasına hatta kırılma ve kopmaların meydana gelmesine neden olabilir. Doğru soketi seçerek, kesme hızını doğru tayin etmek maliyet ve üretim zamanını kısıltacaktır. Endüstride bulunan uzun ömürlü soketler, lama başına yaklaşık 950-1100 m<sup>2</sup> kesim yapabilmektedir. Resim 3.2’de elmas soketlerin doğal taşa teması görülmektedir.

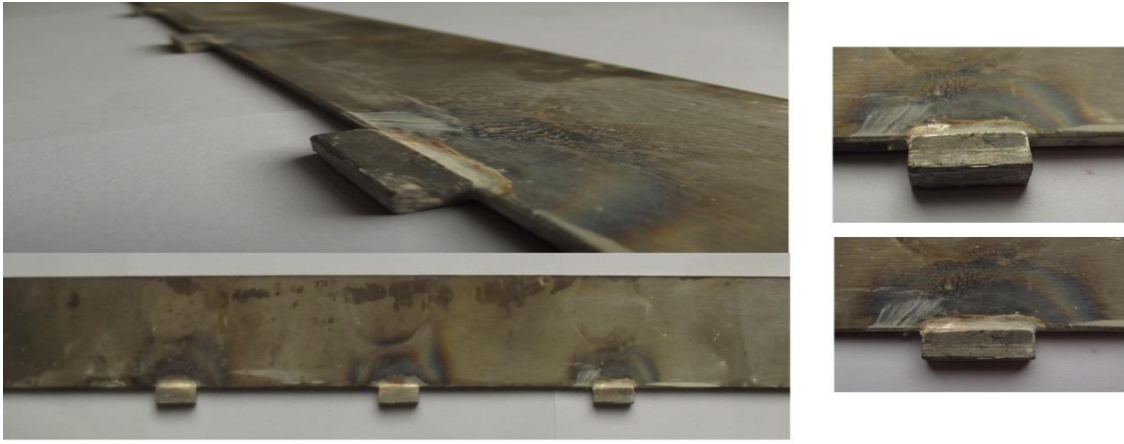


**Resim 3.2** Elmas soketlerin doğal taşa teması.

Katrak çerçevesine lamaların aralıklı dizilimi önemli bir konudur. İki veya üç bıçaklı gruplarla eşit olmayan bir aralıklı dizme, bıçakların titreşimini azaltır, kesilmiş plakaların yüzey kalitesini artırır ve bıçak ömrünü uzatır. Eğer aralıklı dizme çok küçük seçilmiş ise, bıçak göbeklerinin rijitliği ve tüm makinelerin gerekli temas basıncı yetersiz olacaktır. Diğer yandan aralıklı dizme lamalar, parçalaya aşırı yüklenecek ve elmas kristalleri yeterli iş yapmadan kırılacaktır. Soketler arası uzaklığın kesme verimine en iyi etkisi 10–15 cm aralıklarla monte edilmesiyle sağlanmaktadır (Polat

2008).

Soketlerle sürekli sert taş kesmek yerine, silisyum karbürlerin ortaya çıkması bakımından sert mermerden sonra yumuşak mermer kesme işlemi yapılarak sert mermerdeki kesme hızı artırılabilir. İşletmelerde genellikle traverten + kristalize mermer + bej mermer (yumuşak + orta sert + sert) türleri sırası veya bu sertlik sıralamasına uygun kesimler tercih edilmelidir (MEGEP 2008). Resim 3.3’de lamalara kaynatılmış elmas soketler görülmektedir.



**Resim 3.3** Katrak lamaları ve elmas soket.

### 3.4 Eşdeğer Gerilme Kriteri

Eşdeğer gerilme (Von-Mises veya Çarpılma Enerjisi) kriterine göre çok eksenli yüklemelerde, eş değer gerilme, malzemenin akma dayanımı değerine eşit veya fazla ( $\sigma_{eş} \geq \sigma_0$ ) olması durumunda, malzemede hasar meydana gelir. Çok eksenli gerilme durumunda;

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2) \right]} \quad (3.1)$$

Eşdeğer gerilme durumunu asal gerilme cinsinden yazarsak;

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]} \quad (3.2)$$

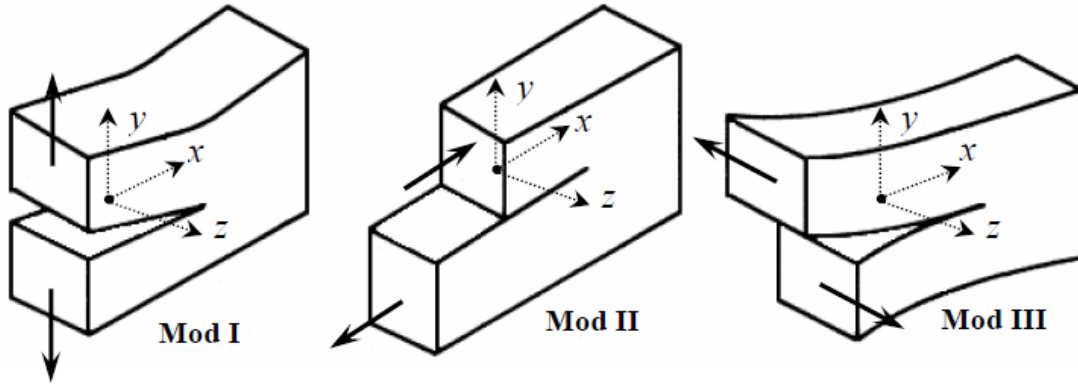
olur.

### 3.5 Kırılma Mekanîği

Makine parçaları çalışma koşullarına bağlı olarak statik veya dinamik kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu kuvvetler etkisinde makine parçalarında değişik hasarlar görülmektedir. Bu hasarlar genellikle bir bölgede oluşan çatlak olabildiği gibi, özellikle kırılma şeklinde de hasarlar meydana gelmektedir. Kırılma şeklinde görülen hasarlar sünek ve gevrek olmak üzere iki şekilde meydana gelebilmektedir. Kırılma açısından en tehlikeli olanı gevrek kırılmadır ve bu gibi kırılmaları önceden tahmin etmek oldukça zordur. Makine parçasının malzeme tokluğu, çatlak boyu ve gerilme seviyesi gevrek kırılmaya olan eğilimi artırmaktadır. Kırılma mekaniğinin temel sorunu; bir makine elemanı içerisinde var olan keskin çatlağın önündeki gerilme bölgesinin doğru analiz edilmesidir. Bu gerilme bölgesi gerilme yığılma (şiddet) faktörü olan K parametresi ile belirtilmektedir (Ucun 2009).

Kırılma mekaniği, malzemeyi hasara uğratan etkenlerin matematiksel olarak analiz edilmesidir. Kırılma mekaniği problemleri iki farklı kategoride incelenir. Plastik kırılma mekaniği (EPFM) ve lineer elastik kırılma mekaniği olmak üzere ikiye ayrılır. Lineer elastik kırılma mekaniğinin teorisi günümüze kadar oldukça iyi bir şekilde ortaya konmuş ve elastik plastik kırılma mekaniğinin temellerini teşkil etmiştir. Lineer elastik kırılma mekaniğinde, çatlak veya çatlağa benzeyen süreksizlikler etrafındaki gerilmeler ile parçaya uygulanan yükleme durumuna, çatlak büyüklüğüne, çatlağın geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlıdır (Aslantaş 2003).

Elastik bir cisim içerisindeki çatlağın gerilme durumları, malzemeye etki eden kuvvet durumlarına göre üç farklı kırılma modu ile tanımlanmıştır. Açılma, kayma ve yırtılma olan bu kırılma modları Sekil 3.1'de verilmiştir (Uğuz 1996, Bui 2006).



Şekil 3.1 Kırılma mekaniği problemlerinde karşılaşılan kırılma modları.

Mod I de deplasmanlar x-y ve x-z düzlemlerine göre simetrik olup açılma modu olarak adlandırılır. Burada çatlakın karşılıklı yüzeyleri birbirine göre ters yönde hareket eder. Kayma modu olan Mod II de ise deplasmanlar z-y düzlemine göre simetrik, x-z düzlemine göre ise vrida simetrisine sahiptir. Yüzeyler ters yönde yanlara doğru birbiri üzerinde kayarak hareket ederler. Mod III yırılma modu olup her iki düzleme göre vrida simetrisine sahiptir. Yüzeyler çatlak ucu çizgisine paralel olarak hareket ederler. Her çatlak modu farklı bir gerilme alanına karşılık gelmektedir. Eleman üzerinde çatlak modları tek tek ya da bu modların bir birleşimi olarak bulunurlar (Aslantaş 2003).

Bir düzlem içerisindeki çatlakın ilerlemesine yönelik yapılan çalışmalar, genellikle Mod I ve Mod II üzerinde yoğunlaşmaktadır. Mod I ve Mod II nin birlikte etkin olduğu durumlar mixed-mod (karışık mod) olarak adlandırılır. Irwin çatlak ucu bölgesinde meydana gelen gerilmeler için analitik bir metot geliştirmiştir. Şekil 3.2'de verilen sonsuz büyüklükteki bir plakada yer alan bir çatlak ucunda meydana gelen gerilme bileşenleri (Uğuz 1996; Saxena 1998; Bui 2006; Pook 2007);

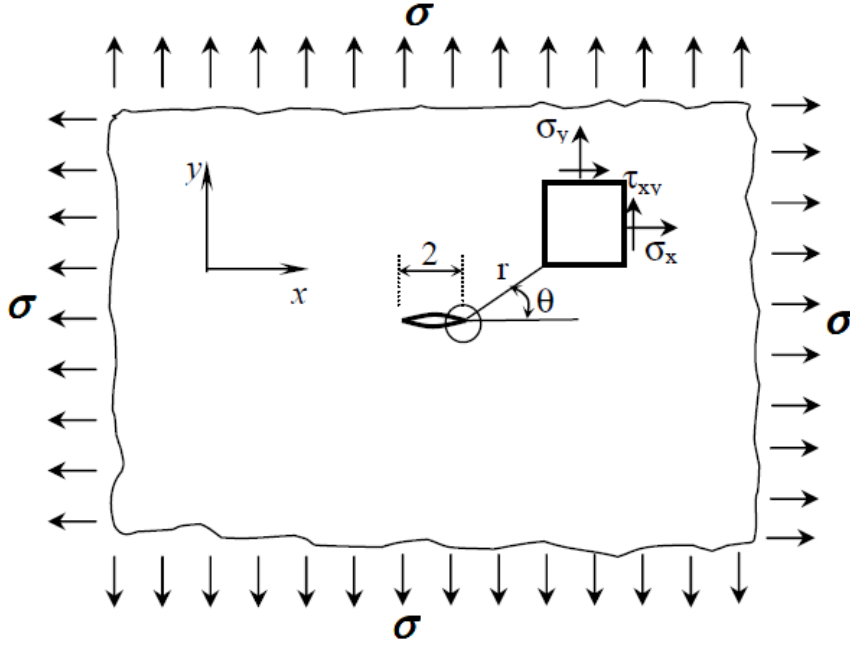
$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) - \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \left( 2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right) \quad (3.3)$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) + \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \quad (3.4)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} + \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \quad (3.5)$$

Şeklinde dir.





Şekil 3.2 Çatlak ucunda gerilme bileşenleri için koordinat sistemi.

Çatlak ucunda yani  $r = 0$  olduğu durumdaki gerilme denklemlerinden de görüleceği gibi gerilme değerleri sonsuz olmaktadır. Bu durum tam gevrek malzemeler için geçerlidir (Ucun 2007).

$$\begin{aligned} \text{Düzlem sekil değiştirme} \quad K &= 3 - 4\nu, \\ \text{Düzlem gerilme durumu} \quad K &= (3 - \nu)/(1 + \nu) \end{aligned} \quad (3.7)$$

şeklinde problemin düzlem gerilme ve düzlem sekil değiştirme şartlarına göre değişen bir katsayı olarak belirtilir.

### 3.6 Gerilme Şiddet Faktörü

Gerilme şiddet faktörü lineer elastik yapıya sahip malzemelerin çatlak bölgesindeki gerilmeleri düzenleyen temel bir büyüklük olarak tanımlanmaktadır. Gerilme şiddet faktörü çatlak ucundaki elastik alanın büyüklüğü olarak ifade edilir ve geometri, gerilme ve çatlak uzunluğuna bağlı olarak,

$$K = \delta\sigma\sqrt{\pi a} \quad (3.8)$$

ile gösterilir (Uğuz 1996, Aslantaş 2003). Burada  $\delta$  numunenin geometrik özelliğine bağlı boyutsuz bir parametre,  $a$  çatlak boyu ve  $\sigma$  ise elemana etki eden gerilmedir.

Çatlak ucunda meydana gelen  $K_I$  ve  $K_{II}$  gerilme şiddeti faktörlerini hesaplamak için çeşitli yöntemler kullanılmakla beraber, en çok kullanılan ve daha doğru sonuçlar veren çözüm düğüm deplasmanları metodudur. Düğüm deplasman metodu, genellikle sonlu elemanlar ve sınır elemanlar metodu gibi nümerik çözüm yöntemlerinde kullanılmaktadır (Aslantaş 2003).

Bu metoda göre; çatlaklı makine elemanı için yapılan nümerik çözümler sonucunda, çatlak yüzeyinde bulunan  $k$ ,  $l$ ,  $m$  ve  $n$  (Şekil 3.3) düğümlerinden alınan deplasman değerlerine bağlı olarak  $K_I$  ve  $K_{II}$  gerilme şiddet faktörü değerleri hesaplanabilmektedir. Çatlak yüzeyindeki deplasman değerleri ile gerilme şiddeti faktörü arasındaki ilişki (Tan and Gao 1990);

$$K_I = \frac{G}{K+1} \sqrt{\frac{2\pi}{L_c}} [4(v_k - v_m) + (v_n - v_l)] \quad (3.9)$$

$$K_{II} = \frac{G}{K+1} \sqrt{\frac{2\pi}{L_c}} [4(u_k - u_m) + (u_n - u_l)] \quad (3.10)$$

şeklinde verilmektedir.  $u_i$ , ve  $v_i$ ,  $x$  ve  $y$  yönlerindeki düğüm deplasman değerleri ve  $L_c$  ise çatlak ucunda kullanılan eleman boyudur.



poisson oranını ifade etmektedir. Çatlak uzunluğu boyunca gerilme enerjisi salıverme oranı (Leblond and Frelat 2004, Madani et al. 2007, Kim et al., 2009),

$$G_d = \frac{1}{4 \cos h^2 \pi \varepsilon} \left( \frac{1-\nu_1}{\mu_1} + \frac{1-\nu_2}{\mu_2} \right) (K_I^2 + K_{II}^2) \quad (3.13)$$

denklemleri ile hesaplanır ve denklemlerde kullanılan  $K_I$  ve  $K_{II}$  gerilme şiddet faktörü değerlerini ifade etmektedir.

### 3.8 Sonlu Elemanlar Metodu

Mühendislik uygulamalarında problemlerin karmaşıklığı nedeniyle genellikle kesin çözüm yerine yaklaşık çözümler tercih edilmektedir. Sonlu elemanlar, karmaşık olan problemleri kendi içerisinde alt problemlere ayırarak çözümün gerçekleştirildiği bir metottür. Karmaşık olan problemlerin kolay ve kısa bir sürede çözülmesi bu metodu popüler kılmıştır. Çeşitli metotlar kullanılarak yapılan sayısal çözümlerin hiçbirinde kesin bir çözüm elde etmek mümkün değildir. Kullanacağımız metoda bağlı olarak yaklaşık bir çözüm elde ederiz. Sonlu elemanlar metodu bize çözdüğümüz problem hakkında yaklaşık bir çözüm önerir (Topçu ve Taşgetiren 1998).

Bilgisayarla makine yada yapı elemanlarının dizayn ve optimizasyonu yanında çeşitli fiziksel olayların modellenmesi ve teknolojik olarak faydalı hale getirilmesinde kullanılan ve en etkin hesaplama tekniklerinden birisi olan Sonlu Elemanlar Metodu bütün dünyada mühendislerin kullandığı bir sayısal çözümlenme tekniğidir. Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Metodun üç temel niteliği vardır: İlk olarak, geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik olan basit alt bölgelere ayrılır. İkinci olarak her elemandaki sürekli fonksiyonların, cebirsel polinomların lineer kombinasyonları olarak tanımlanabileceği kabul edilir. Üçüncü kabul ise, aranan değerlerin her eleman içinde sürekli olarak tanım denklemlerinin düğüm noktalarındaki değerlerinin elde edilmesinin problemin çözümünde yeterli olmasıdır. Kullanılan yaklaşım fonksiyonları interpolasyon teorisinin genel kavramları kullanılarak polinomlardan seçilir. Seçilen

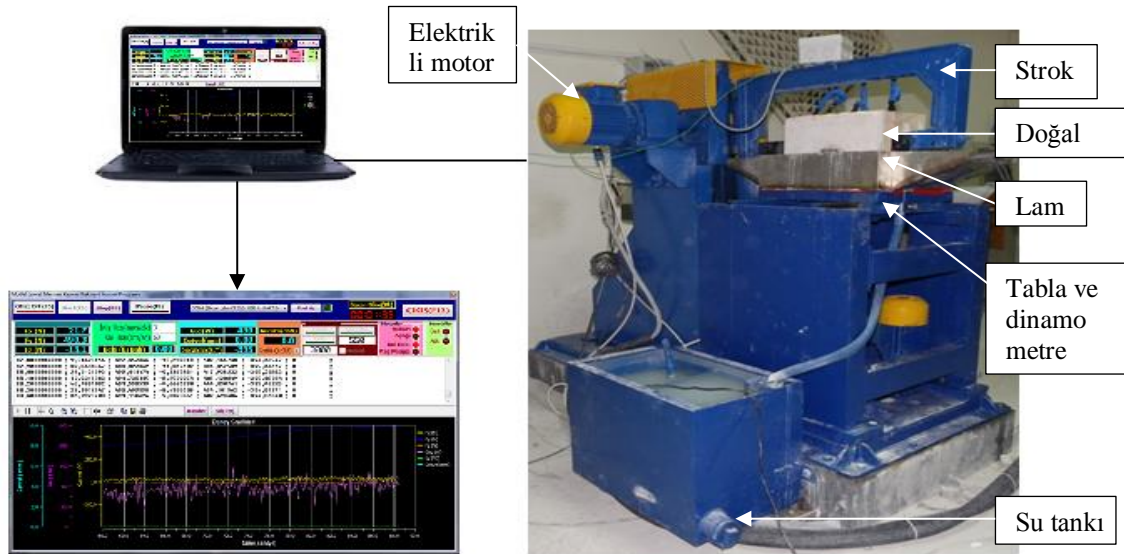
polinomların derecesi ise; çözülecek problemin tanım denkleminin derecesine ve çözüm yapılacak elemandaki düğüm sayısına bağlıdır. Sürekli bir ortamda alan değişkenleri (gerilme, yer değiştirme, basınç, sıcaklık vs.) sonsuz sayıda farklı değere sahiptir. Eğer sürekli bir ortamın belirli bir bölgesinin de aynı şekilde sürekli ortam özelliği gösterdiği biliniyorsa, bu alt bölgede alan değişkenlerinin değişimi sonlu sayıda bilinmeyen olan bir fonksiyonla tanımlanabilir. Bilinmeyen sayısının az yada çok olmasına göre seçilen fonksiyon lineer ya da yüksek mertebeden olabilir. Sürekli ortamın alt bölgeleri de aynı karakteristik özellikleri gösteren bölgeler olduğundan, bu bölgelere ait denklem takımları birleştirildiğinde bütün sistemi ifade eden denklem takımı elde edilir. Denklem takımının çözümü ile sürekli ortamdaki alan değişkenleri sayısal olarak elde edilir (Gürer vd. 2007).

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birlikte sonlu elemanlar yöntemi de hızlı bir şekilde gelişmiştir. Daha önceleri bu metot ile küçük problemler çözülebilenken, günümüzde sonlu elemanlar tabanlı ABAQUS, NASTRAN, PATRAN, ANSYS, Franc2DL gibi programların gelişmesiyle daha büyük ve karmaşık problemler kolayca çözülebilmektedir. Bu gibi programlar ile çok sayıda düğüm ve eleman sayılarında çözümler gerçekleştirilebilmektedir (Ucun 2009).

## 4. MATERYAL VE METOT

### 4.1 Kesme Deneylerinin Gerçekleştirilmesi

Analizlerde kullanılacak kuvvetlerin belirlenmesi için bilgisayar kontrollü prototip katrik makinesi kullanılmıştır. Resim 4.1’de makinenin görüntüsü verilmiştir. Prototip katrik makinesinde testere kolunun ileri geri hareketini sağlamak için 1,5 kW gücünde, taşın aşağı yukarı hareketi için ise, 0,37 kW gücünde AC motor kullanılmıştır. Kesme deneyinde 300x200x150 mm ebatlarında Bilecik söğüt tipi doğal taş kullanılmıştır. Tüm kesme işlemlerinde soğutma suyunun debisi 1,4 lt/dk olarak ayarlanmıştır. Kesme esnasında lama üzerinde bulunan üç adet soket taş yüzeyi ile sürekli temas halindedir. Kesme işleminde altı adet kesme parametresi kullanılmıştır. Kullanılan parametreler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Deneylerin güvenilir olması için her bir parametrede 3 kez tekrarlanmıştır.

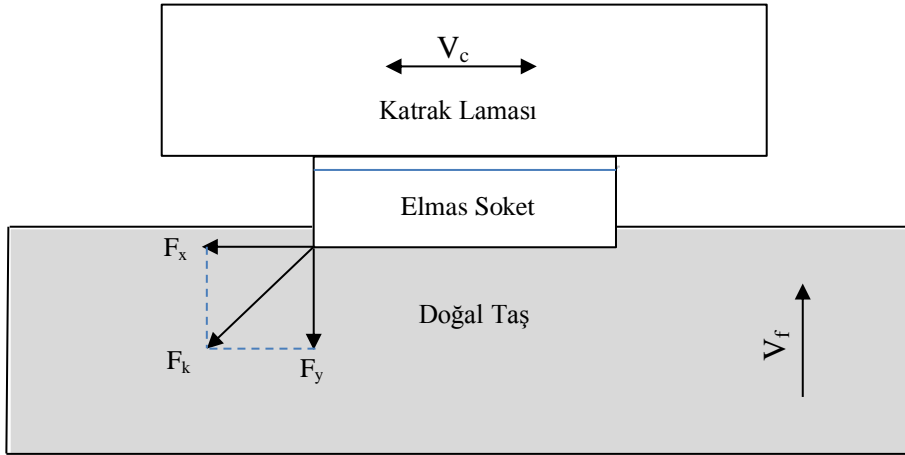


**Resim 4.1** Bilgisayar kontrollü prototip katrik makinesi.

**Çizelge 4.1** Kesme işleminde kullanılan parametre değerleri.

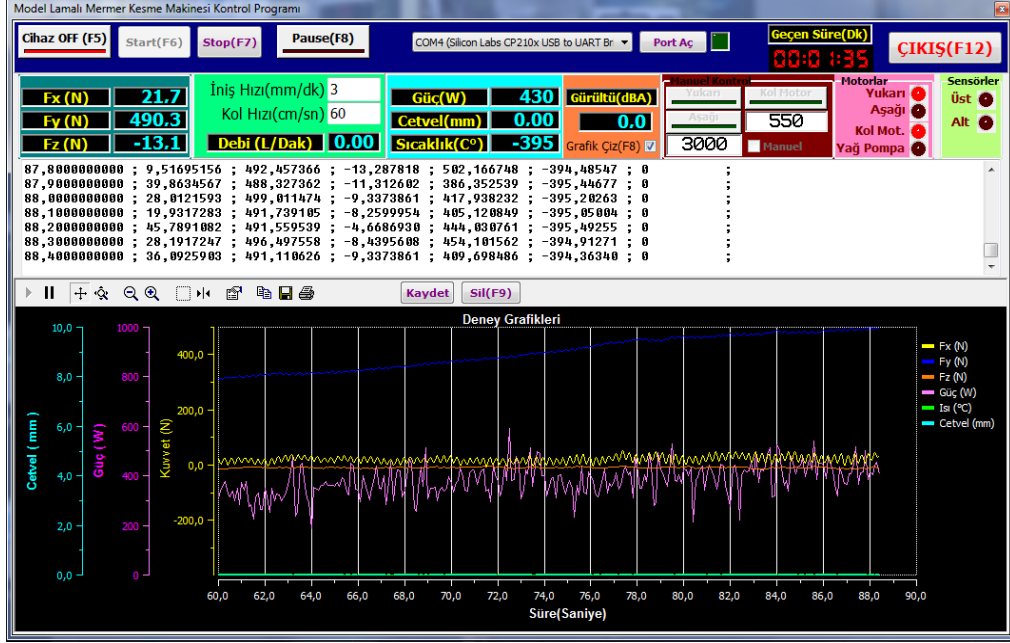
Parametre Sayısı	İlerleme Hızı ( $V_f$ ) (mm/dk)	Kol Hızı ( $V_c$ ) (cm/sn)
1	2	40
2	2	50
3	2	60
4	3	40
5	3	50
6	3	60

Kesme işleminde, elmas soketli lamaya bağlı olan kolun ileri geri hızı ( $V_c$ ), taşın yukarı ilerleme hızı ( $V_f$ ) olarak ele alınmıştır. Elmas soketlere yatayda kesme kuvveti ( $F_x$ ), dikeyde ise radyal kuvvet ( $F_y$ ) etki etmektedir. Bu kuvvetler, makine tablası üzerine bağlı olan üç yönlü bir dinamometre (ESİT) tarafından ölçülmüştür. Hız ve kuvvetlerin kesme esnasında lamaya göre yönleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1** Kesme esnasında sokete etki eden hız ve kuvvetler.

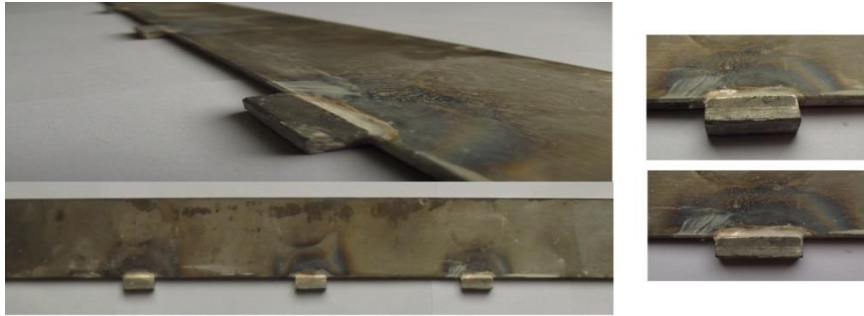
Kesme işleminde kullanılan makinenin kontrolü bilgisayar tarafından sağlanmaktadır. Bu sayede kullandığımız parametre verileri bilgisayar yardımı ile cihaza aktarılmaktadır. Sistem üzerinde bulunan yazılım yardımı ile kesme esnasında dinamometre ve enerji analizöründen veriler alınmaktadır. Bilgisayar kontrollü prototip katrak makinesini kontrol eden programın ara yüzü Resim 4.2’de verilmiştir.



Resim 4.2 Bilgisayar kontrollü prototip katrik makinesini kontrol eden programın ara yüzü.

#### 4.2 Deneylerde Kullanılan Elmas Soketli Lamalar

Mermer endüstrisinde kullanılan sağlam ve hasara uğramış katrik lamaları ve elmas soketler çalışma için temin edilmiştir. Bu lamalar üzerinde çekme testi, sertlik ve mikro yapı analizleri yapılmıştır. Resim 4.3’de elmas soketli katrik lamaları gösterilmiştir.



Resim 4.3 Elmas soketli katrik lamalar.

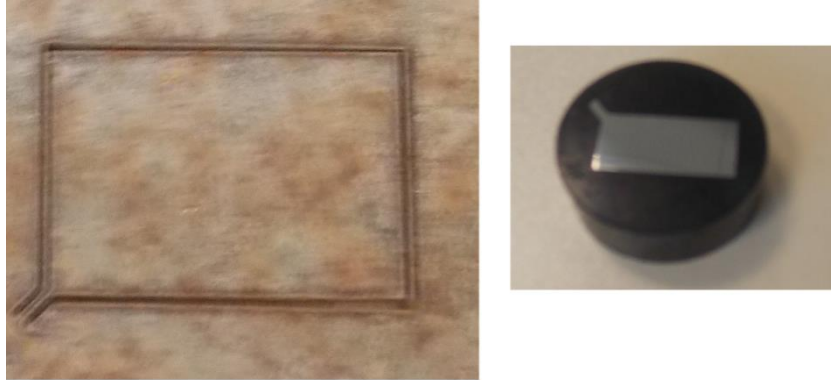
Önceden temin ettiğimiz lama ve soketlerimizin üzerinden alacağımız numunelerin, malzeme özelliklerinin değişmemesi için su jeti ile kesilmiştir. Lama ve soket üzerinden kestirilen numunelerimiz Resim 4.4’de verilmiştir.





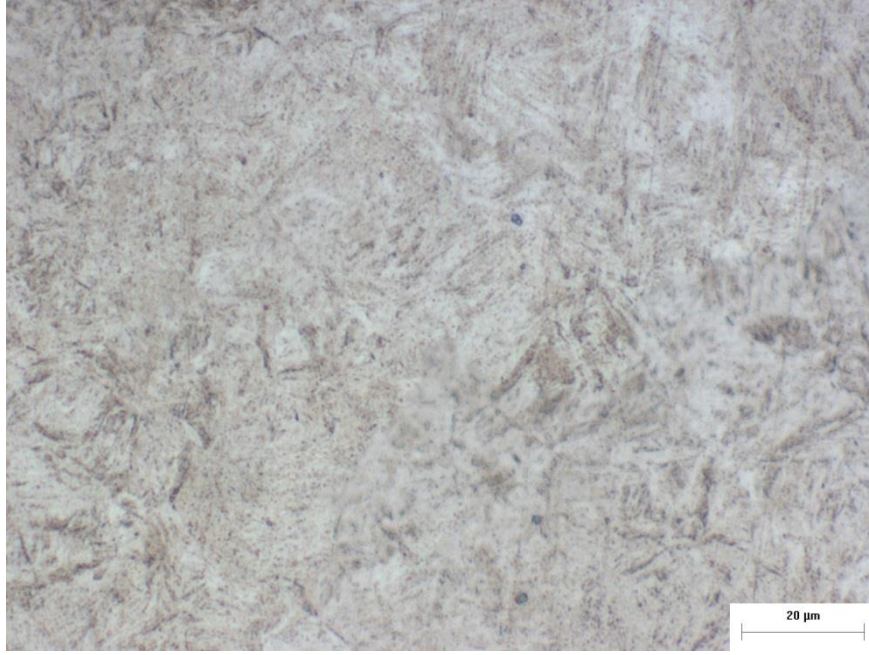
**Resim 4.4** Lama ve soket üzerinden kestirilen numuneler.

Lama gövdesi, hasarlı soket lama gövdesi ve sağlam soket lama gövdesinden alınan numuneler plastik kalıplara alınarak zımparalama/parlatma cihazlarında sırasıyla 80-150-180-240-320-400-600-800-1000-1200 zımpara taşlarıyla zımparalanmıştır. Daha sonra alümina ile parlatılarak alkolle temizlenen yüzeyler en son olarak mikro yapı analizleri için en çok kullanılan nital kimyasalı ile dağlanmıştır. Hazırlanan numunelerin görüntüleri Resim 4.5’de gösterilmiştir.

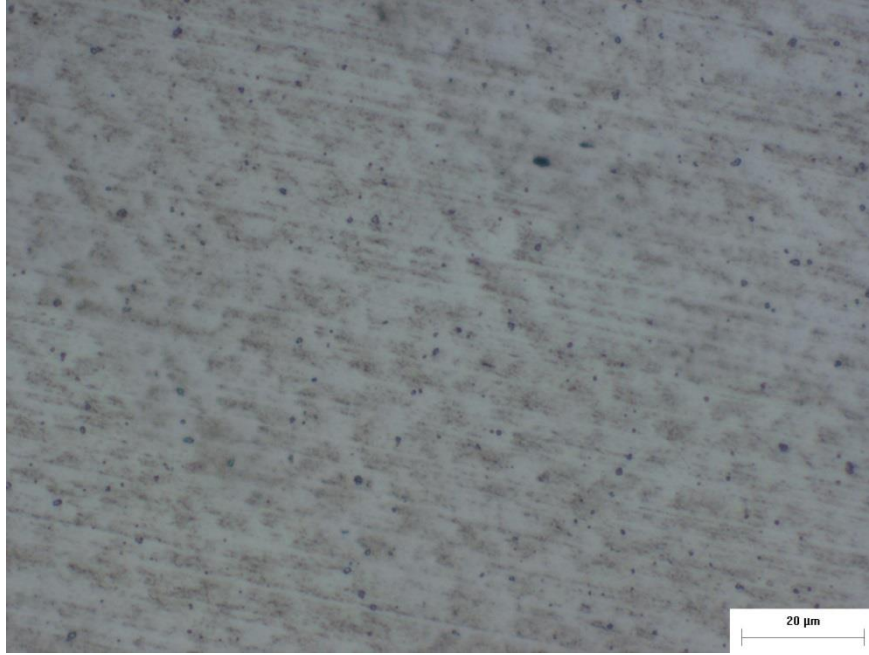


**Resim 4.5** Lama gövdesinden alınıp hazırlanan numune.

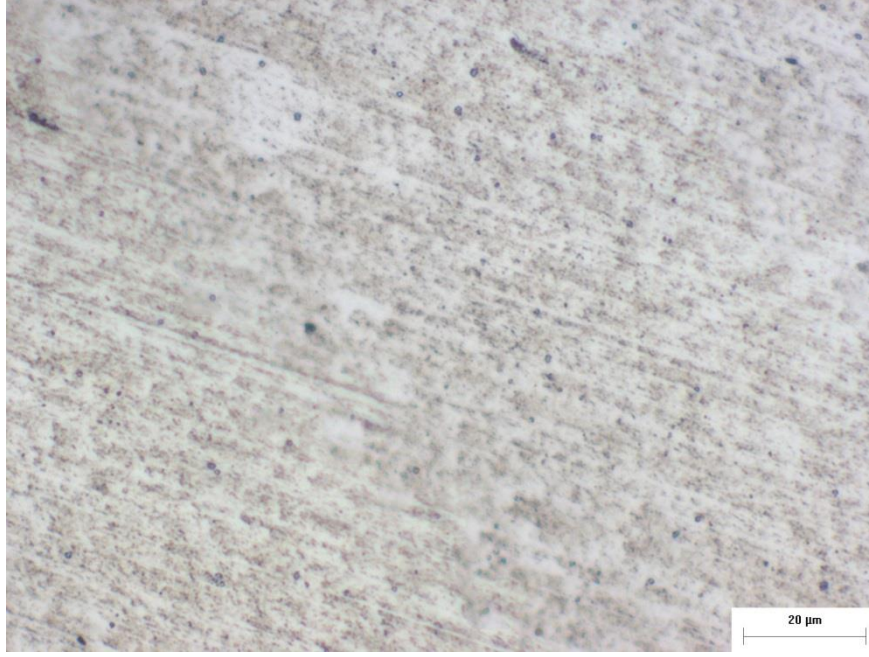
Daha önce hazırlanan lama, hasarlı soket lama gövdesi ve sağlam soket lama gövdesi numuneleri elektro mikroskop yardımı ile mikro boyutta gözlemlenmiştir. Mikroyapı görüntüleri Resim 4.6, 4.7 ve 4.8’de verilmiştir. Yapılan çalışmalarda AISIS-1070 malzemesinin mikro yapısının perlit yapıda olduğu göstermektedir (Viafara *et al.* 2005).



**Resim 4.6** Katrak lama gövde malzemesinin mikro yapı görüntüsü (500x).

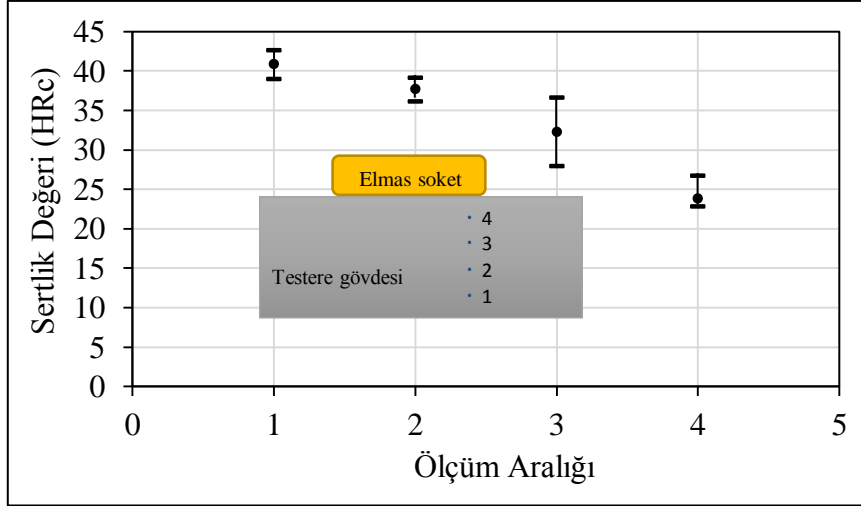


**Resim 4.7** Hasarlı soket gövde malzemesinin mikroyapı görüntüsü (500x).



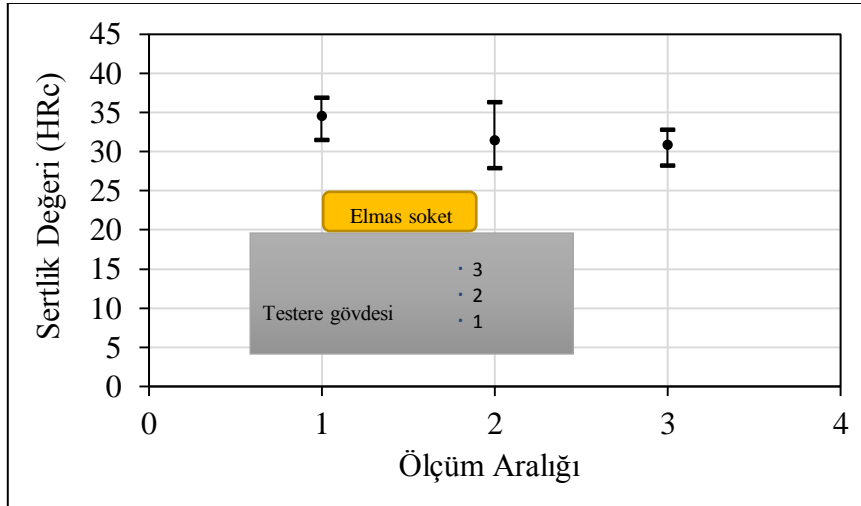
**Resim 4.8** Sağlam soket gövde malzemesinin mikro yapı görüntüsü (500x).

Her iki deney numunesinin sertlik ölçümleri, Rockwell sertlik ölçme aleti ile HRc-2 uc, 1471 N kuvvet ve t: 10 sn bekleme süresi, parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, hasarlı soketin bulunduğu lama bölgesinin sertlik değerlerini, elmas sokete en uzak noktadan başlayarak elmas sokete doğru dikey ekseninde 4 kademe ve her bir kademe için yatayda 4 noktadan ölçüm yaptık. Ölçüm aralığına bağlı sertlik değerleri HRc biriminde gösterimi Şekil 4.2’de göstermiştir. Şekil üzerinde ölçüm yapılan noktaların testre gövdesi üzerinde yatay doğrultuda numaralandırılması gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Hasarlı soketin bulunduğu lama bölgedeki sertlik değerleri.

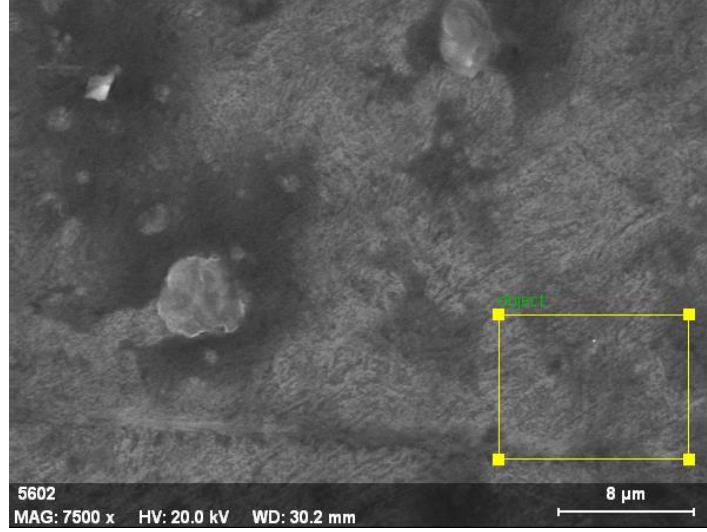
Hasara uğrayan elmas soketli lamada, elmas sokete uzak olan noktana sertlik değerinin yüksek olduğu ve elmas soketin bulunduğu noktaya yaklaştıkça lineer olarak bu değer azaldığı görülmektedir. İkinci olarak sağlam soketin bulunduğu lama gövdesinden alınıp hazırlana numunemizden, sokete en uzak noktadan başlayarak elmas sokete doğru 3 kademe ve her bir kademe için yatayda 4 noktadan ölçüm yaptık. Ölçüm aralığına bağlı sertlik değerleri HRc biriminde gösterimi Şekil 4.3’de verilmiştir.



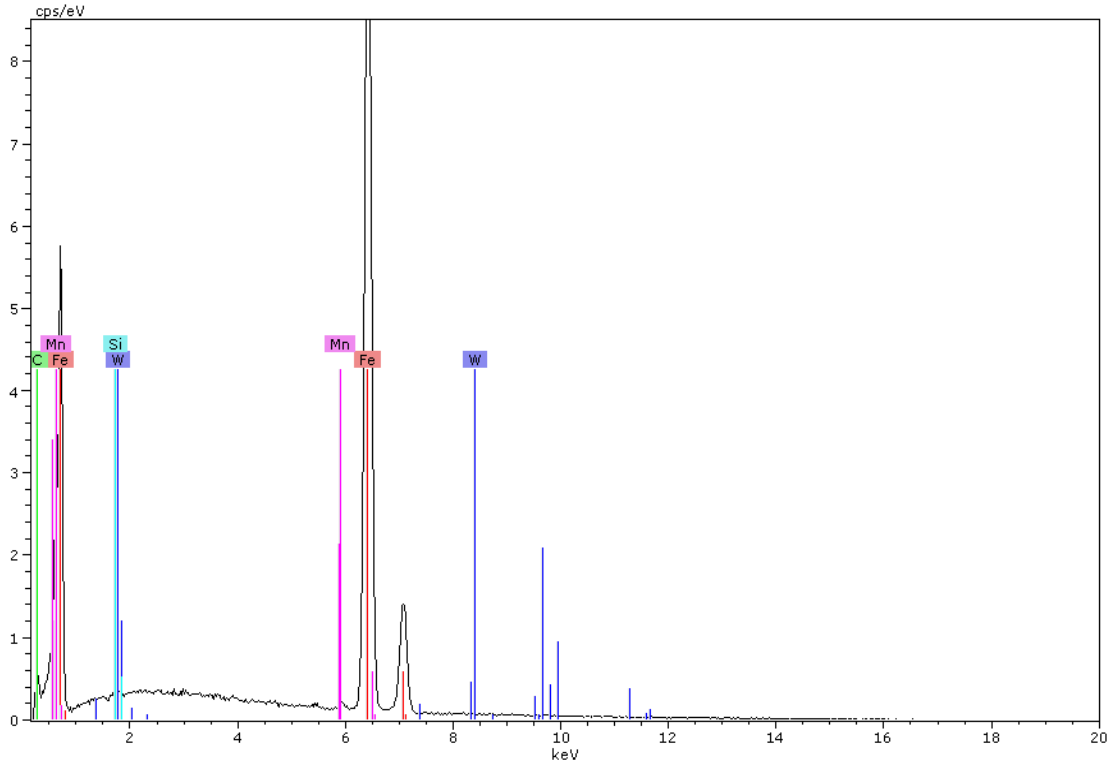
Şekil 4.3 Sağlam soketin bulunduğu lama bölgedeki sertlik değerleri.

Sağlam olan elmas soketli lama bölgesinde ise hasara uğrayan lama gövdesine göre malzeme sertlik değişimi çok az olmuştur. Bunun için lama malzemesinde hasar oluşması durumunda lama malzemesinin hasar bölgesinin sertlik değerinin sağlam

bölgeye göre daha düşük olabileceği söylenebilir. Soket malzemesinin kimyasal özelliklerini belirlemek için SEM ve EDX analizi yapılmıştır. SEM yardımı ile EDX analizi yapacağımız bölge görüntülenmiş, EDX ile o bölgenin matrislerinin kimyasal bileşenleri belirlenmiştir. EDX analizi yapılan bölgenin SEM görüntüsü ile EDX sonuçları Şekil 4.4 ve 4.5’de verilmiştir.



**Şekil 4.4** Soket üzerinde EDX analizi yapılan bölgenin SEM görüntüsü.



Şekil 4.5 Soket bölgesinin EDX analiz değerleri.

Lama malzemesinin kimyasal içeriklerinin belirlenmesi için spektrometre analizi yapıldı. Yapılan analizin kimyasal özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Elde edilen bu değerler çeliğimizin kalitesinin MKEK’de Ç-1070, SAE/AISI 1070 DIN normunda CK 67, DIN malzeme numarası 1.1231 ve TSE’de TS EN 10132-4 olduğu belirlenmiştir. Yüksek karbonlu bir malzemedir.

Çizelge 4.2 Katrak lamasının kimyasal kompozisyonu (%).

C	Mn	Cr	Mo	Ni	Si	Cu	Co	Fe
0.729	0.678	0.177	0.033	0.078	0.166	0.585	0.031	97.09

### 4.3 Kesme Kuvvetlerinin Belirlenmesi

Katrac laması ile kesme işlemi esnasında elmas soket üzerinde oluşan kuvvetler, kesme performansını ve üretim maliyetini etkiler. Katrac lamasıyla doğal taş kesme işlemi esnasında, lama üzerine etki eden toplam kuvvetler, özel olarak tasarlanıp üretilmiş bir dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen verilerin görüntülenmesi kuvvet

göstergesi ile sağlanmıştır. Bunların data verisi olarak elde edilmesini ise; özel olarak hazırlanan ara yüz yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu yazılımın ekran görüntüsü Resim 4.2’de verilmiştir.

Elmas soket üzerine etki eden maksimum teğetsel ( $F_x=F_t$ ) ve radyal ( $F_y=F_n$ ) kuvvetler, Çizelge 4.1’de verilen ilerleme hızı ( $V_f$ ) ile kol hızı ( $V_c$ ) parametre değerleriyle yapılan kesme işlemlerinde elde edilmiştir. Elmas soket üzerine etki eden maksimum teğetsel ve radyal kuvvetler ile hesaplanan kuvvet değerleri Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3** Elmas soket üzerine etki eden maksimum teğetsel ve radyal kuvvetler ile hesaplanan kuvvetler.

İlerleme Hızı (mm/dk)	Strok Hızı (cm/s)	Ölçülen Kuvvet Değerleri (N)		Hesaplanan Kuvvet Değerleri (N)
		Teğetsel $F_x$	Radyal $F_y$	Radyal $F_y$
2	40	157,299	671,843	62,920
2	50	82,600	573,890	33,040
2	60	62,668	480,247	25,067
3	40	208,116	845,572	83,246
3	50	82,420	713,861	32,968
3	60	95,529	614,023	38,211

Bir kesme işleminde genellikle en yüksek teğetsel kuvvetler ve daha sonra radyal kuvvetlerdir. Teğetsel kuvvetler asıl kesme işlemini yapmaktadır. Yapılan deneysel çalışmada, kesme kuvvetlerinin, radyal kuvvetlerden daha küçük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak, makinenin çalışma koşullarından kaynaklanmaktadır.

Yapmış olduğumuz deneysel ölçümlerde radyal kuvvet ( $F_y$ ), teğetsel kuvvetten ( $F_x$ ) daha yüksektir. Bunun nedeni ise; testere kol strok hızı ile taşın yukarı ilerleme hızı senkronizeli olarak çalışmamaktadır. İlerleme hızı ile taş sürekli yukarı doğru çıkmaktadır. Bu esnada, testere kolu geriye gelirken bile yüksek radyal kuvvetlere maruz kalmaktadır. Aslında, taş belirli bir ilerleme hızı ile yukarı kalktığında testere belirli bir strok hızı ile taşı kesmesi gerekmektedir. Testere kesme işlemini bitirdikten

sonra geri gelirken taşın sabit durması gerekmektedir.

Teorik olarak radyal kuvvetler ile teğetsel kuvvetler arasında bu ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki; (Akkurt 1996, Shaw 2005),

$$F_n = 0,4x F_t \quad (4.1)$$

şeklinde yazılır. Burada  $F_n$ , radyal kuvvet  $F_t$  ise teğetsel kuvveti göstermektedir.

Analizlerde soket yüksekliği, ilerleme hızı ve strok kol hızı olmak üzere üç farklı parametre kullanılmıştır. Elmas soket ile yapılan kesme işleminde kuvvetlerin etkisiyle soket aşınmaktadır. Analizlerde bu aşınma dikkate alınarak üç farklı soket yüksekliği tercih edilmiştir. Analizlerde kullanılan parametreler Çizelge 4.4'de verilmiştir.



**Çizelge 4.4** Analizlerde kullanılan parametreler.

<b>Analiz No</b>	<b>Soket Yüksekliği (h)(mm)</b>	<b>İlerleme Hızı (V<sub>f</sub>)(mm/dk)</b>	<b>Strok Hızı (V<sub>c</sub>)(cm/s)</b>
1	3		
2	7	2	40
3	11		
4	3		
5	7	2	50
6	11		
7	3		
8	7	2	60
9	11		
10	3		
11	7	3	40
12	11		
13	3		
14	7	3	50
15	11		
16	3		
17	7	3	60
18	11		

#### **4.4 Çekme Deneyi**

Malzeme seçimi yaparken malzemenin mekanik özellikleri göz önüne alınır. Mekanik özelliklerde malzeme iç yapısıyla ilgilidir. Isıl işlem yardımı ile malzemelerin iç yapı özellikleri değiştirilerek mekanik özellikleri üzerinde farklı özellikler edilebilir. Malzememizden istediğimiz mekanik özelliklere göre ısıl işlem uygulamalıyız. Testere lamasının mekanik özelliklerini belirlemek için tek eksenli çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi için shimadzu çekme cihazı kullanılmıştır.

Çekme deneyini, lama malzemesi üzerinden 8,3x3,3x250 mm ölçülerinde su jetiyle

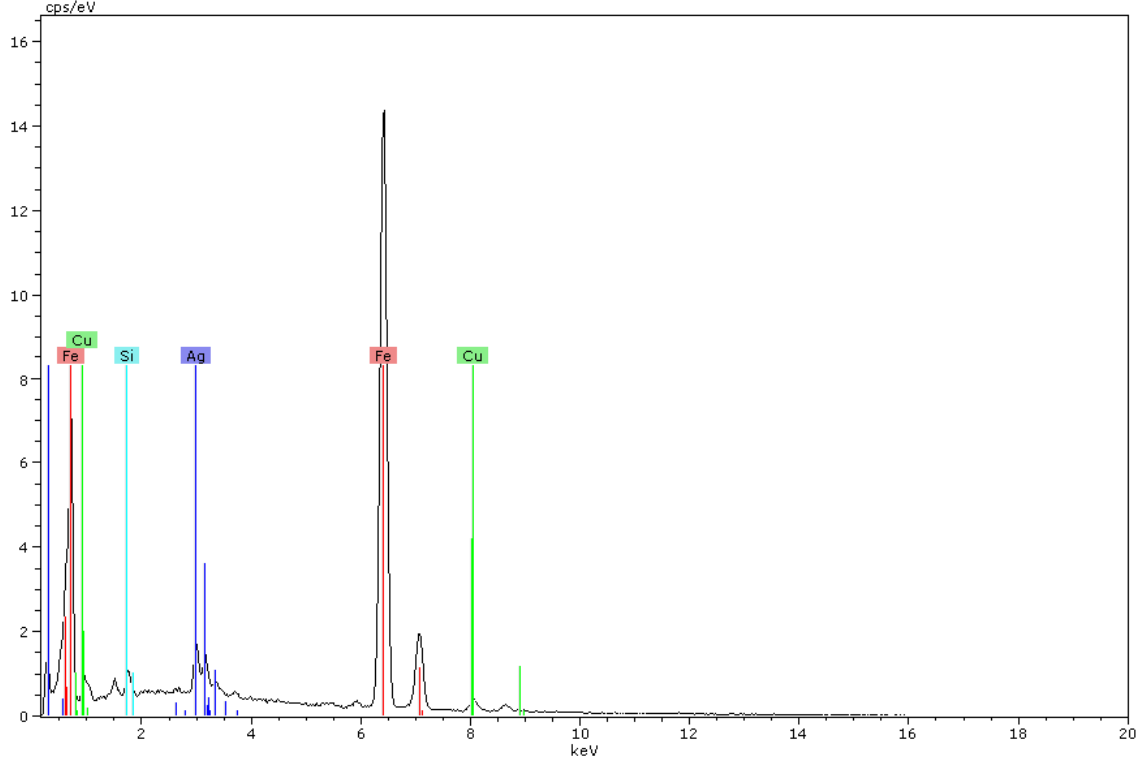
keserek hazırladığımız numunemizi, 2 mm/dk çekme hızıyla çekerek gerçekleştirdik. Çekme deneyi sonucunda lama malzemesi için elde edilen mekanik özellikler Çizelge 4.5’de verilmiştir.

**Çizelge 4.5** Lama malzemesinin mekanik özellikleri.

Akma Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
750	1158,16	3,6

#### 4.5 Lehim Bölgesi Mikro Yapı Özellikleri

Lehimleme işleminde gümüş kaynağı kullanılmıştır. Bununla birlikte, lehimleme esnasında oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı soket içerisinde yer alan Fe, Cu, Si gibi elementler lehim bölgesine difüzyon olmuştur. Bu yüzden, Şekil 4.7’de gösterilen EDX analizinde bu elementler görülmüştür.

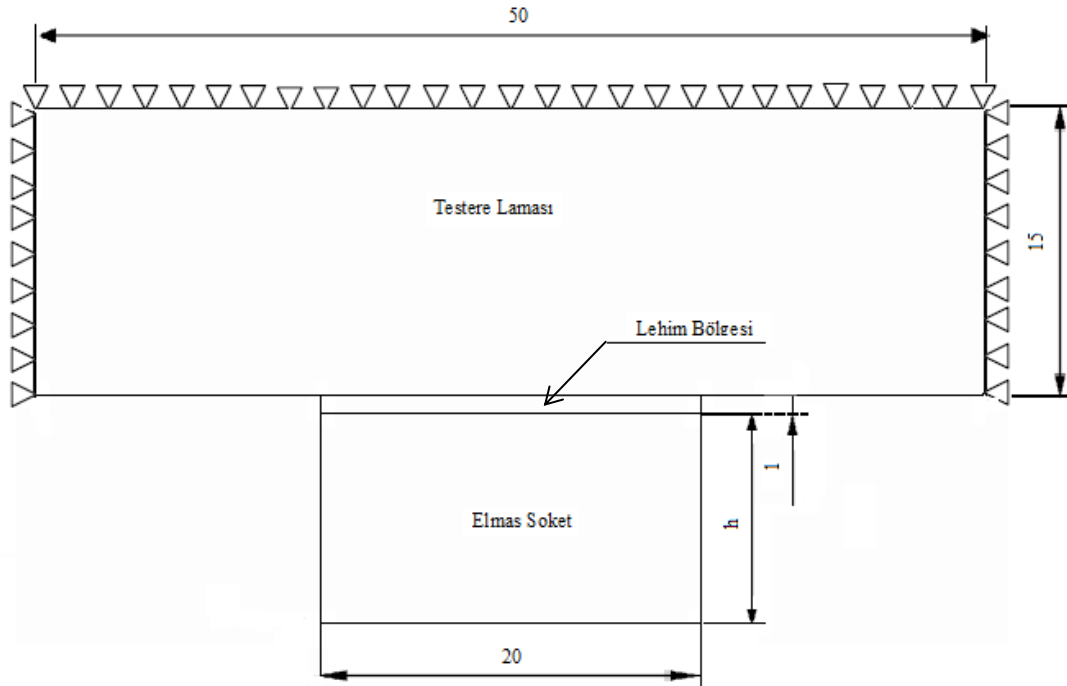


**Şekil 4.6** Lehim bölgesinin EDX analizi yapılan bölgenin kimyasal içerikleri.

## 4.6 Katrak Lamasının Sonlu Elemanlar Modeli

### 4.6.1 Modelin Geometrik Özellikleri ve Sınır Koşulları

Katrak laması ve elmas soket CASCA isimli programda iki boyutlu olarak modellenmiştir. CASCA, Franc 2DL altında çalışan bir modelleme ara yüz programıdır. Bununla birlikte, modelin lama bölgesi boyunca x ve y yönlerinde tutulu kabul edilmiştir. Testere laması ile lehim bölgesinin kalınlıkları  $t=5$  mm ve soket kalınlığı  $t=10$  mm olarak belirlenmiştir. Şekil 4.7’de modelin geometrik özellikleri ve sınır koşulları gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Katrak lamasının, elmas soket ve lehim bölgesinin geometrik modeli ve sınır koşulları (birim mm).

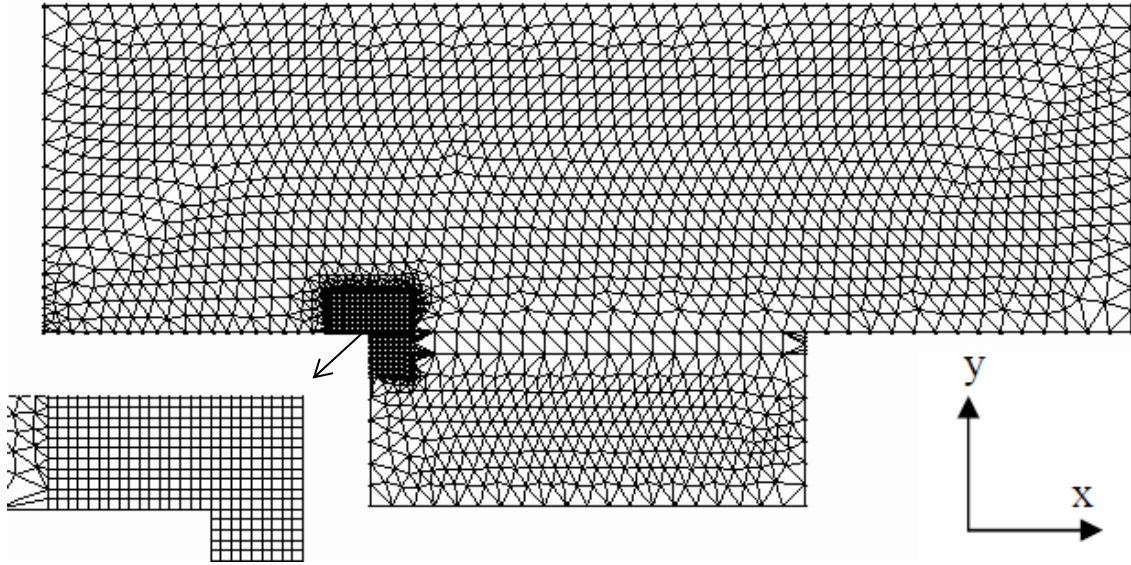
### 4.6.2 Modelin Mesh Yapısı

Boyut ölçülerini belirlenen parçanın geometrisini oluşturmak için CASCA programı kullanılmıştır. CASCA programıyla oluşturduğumuz problemin geometrisi ve mesh yapısı oluşturulduktan sonra, Franc 2DL analiz programında sonlu eleman metoduyla

çözümleri gerçekleştirilmiştir (İnt.Kyn.1). Elmas soket matrisi ve testere laması olmak üzere üç farklı malzemenin sonlu elemanlar modeli Şekil 4.7’de verilmiştir. Problemin sonlu elemanlar modelinde üçgen ve dörtgen elemanlar beraber kullanılmıştır. Problemin her bölgesi üçgen altı düğümlü elemanlar kullanırken, kritik bölge olan testere laması ve matrisin bir bölümü ile elmas taneciğin köşe noktalarında izoparametrik dörtgen elemanlar kullanılmıştır. İki boyutlu düzlem gerilme şartlarında bir model oluşturulmuştur. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, kritik olan bölgede daha yoğun mesh yapısı oluşturulmuştur. Problemin sonlu eleman modelinde soket yüksekliklerine bağlı olarak oluşan düğüm ve eleman sayıları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

**Çizelge 4.6** Soket yüksekliklerine bağlı düğüm ve eleman sayıları.

Soket yüksekliği (h)	Düğüm sayısı	Eleman sayısı
11	9811	4422
7	8947	3994
3	8163	3606



**Şekil 4.8** Katrak lamasının sonlu elemanlar modeli.

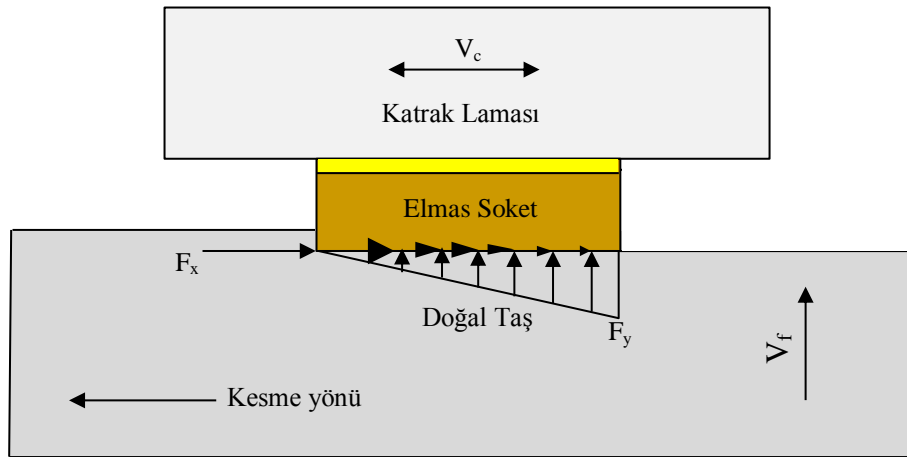
Kırılma analizlerinde katrak lamalarının, gerçek çalışma ortamlarında gerçekleşen iki tip hasarı üzerinde durulmuştur. Bunlardan birincisi elmas soketin lama bölgesinden kırılması diğeri ise; lehim bölgesinden kopmasıdır.

#### 4.6.3 Modelin Sınır Koşulları

Şekil 4.8’de modeli oluşturulan problemin üzerinde bulunan parçaların boyutları belirlenirken; elmas soket ve lehim bölgesinin ölçüleri gerçek bir lama üzerinden alınmış, testere laması ise prototip makinedeki lama ölçüleri kabul edilmiştir. Elmas soket üzerinde bulunan yükseklik değeri “h”, soketin aşınma durumuna göre sırasıyla 3, 7, 11 mm ölçülerinde modellenmiştir. Testere lamasının, teğetsel kuvvetlerin ( $F_x=F_t$ ) ve normal kuvvetlerin ( $F_y=F_n$ ) etkisi altında gerçek lama ebatlarında deforme olmayacağı için modeli oluşturulan lamanın yan kısımları ile üst kısmı ankastre olarak kabul edilmiştir.

#### 4.6.4 Modele Kuvvetlerin Uygulanması

Katnak laması üzerinde bulunan elmas soketler kesme işlemi yaparken değişik kuvvetlerin etkisine maruz kalmaktadır. Bu kuvvetlerin etkisi ile lama zorlanmaktadır. Kesme esnasında elmas soket üzerine etki eden kuvvetler Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Burada  $F_x$  yönünden teğetsel,  $F_y$  yönünden radyal kuvvetler etki etmektedir.



Şekil 4.9 Kesme işlemi esnasında elma sokete etki eden kuvvetler.

CASCA programında modeli oluşturulan problemin üzerinde bulunan elmas soketin taşa temas eden yatay yüzeyinde, eşit aralıkta 41 düğüm noktası oluşturulmuştur. Elmas soketin taşa temas ettiği ilk noktada bir düğüm noktası olmak üzere, ilk düğümünden başlanarak  $F_x$  değeri lineer azalan,  $F_y$  değeri lineer artan olarak yayılı yük şeklinde sokete uygulanmıştır. Modelde elmas soket içerisindeki elmas tanecikleri göz önüne

alınmıştır.

#### 4.6.5 Lama ve Elmas Soketlerin Malzeme Özellikleri

Doğal taş endüstrisinde kullanılan katraç lamaları AISI 1075 yüksek karbonlu çeliklerden imal edilmektedir. Bu çelikler, kaynaklanabilirlik özelliklerini iyileştirmek ve mukavemetini artırmak için ısıtım işlemlere tabi tutulmaktadır. Testere ve elmas soketlerin birleştirilmesi sert lehim (gümüş lehim) yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Analizlerde kullanılan katraç lamasının lehim bölgesi ve elmas soketin mekanik özellikleri Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.7** Katraç laması, lehim bölgesi ve elmas soketin mekanik özellikleri (Ucun vd. 2008 ).

	Elastisite Modülü (E) (GPa)	Poisson oranı ( $\nu$ )
Lama	200	0,3
Lehim	75,8	0,37
Elmas Soket	120	0,25

#### 4.7 Yorulma Ömrü

Kırılma mekaniğinde, çatlak ucunda gerilme şiddet faktörü, statik yük altında kırılma kriteri olarak kullanılır. Gerilme şiddet faktörü lineer elastik yapıya sahip malzemelerin çatlak bölgesindeki gerilmeleri düzenleyen temel bir büyüklüktür ve bu değer artan çatlak uzunluğu ile artmaktadır. Malzemede bir hasarın meydana gelmesinden önce absorbe edebildiği enerji miktarına, kırılma tokluğu denir. Artan çatlak uzunluğuyla beraber aratan gerilme şiddet faktörü malzeme için belirlenen kırılma tokluğu değerine ulaştığında parçamız hasar eğilimindedir. Çatlak belirli bir uzunluğa ulaştığında (gerilme şiddeti faktörü tokluk değerine ulaşır) ve parça hasar eğilimindedir. Yorulmalı davranışı Erdoğan-Paris denklemi ile ifade edilir (Ergun et al., 2006),

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad (4.2)$$

burada  $da/dN$  çatlak boyunun artış hızı,  $K$  gerilme şiddet faktörü,  $C$  ve  $m$  ise malzeme özellikleri ile ilgili sabitlerdir. Katrak lamasına ait malzeme özellikleri Çizelge 4.8’de verilmiştir (Glodez *et al.*, 2002).

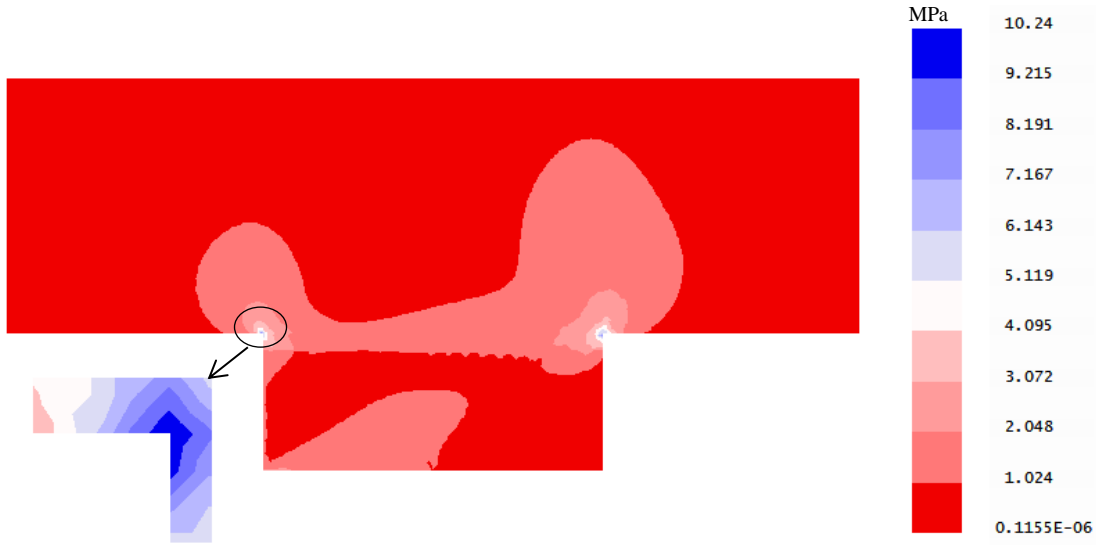
**Çizelge 4.8** Katrak Lama Malzemesinin  $C$ ,  $m$  ve  $K_{IC}$  parametre değerleri.

<b>Malzeme</b>	<b><math>C</math></b>	<b><math>m</math></b>	<b><math>K_{IC}</math> (MPa<math>\sqrt{mm}</math>)</b>
AISI 1070	$3,04 \times 10^{-2}$	5,44	85

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 5.1 Gerilme Analizi Sonuçları

Katrak lamaları ile kesme işlemi esnasında, lama üzerine etki eden kuvvetler lama üzerindeki elmas soketlere dağılmaktadır. Her bir sokete etki eden kesme kuvvetleri de soket içerisinde bulunan çok sayıda elmas taneciğe etki etmektedir. Elmas taneciklerin üzerine etki eden normal ve teğetsel kuvvetler, elmas taneciklerin farklı şekillerde zorlanmasına neden olmaktadır. Bu zorlanmalar sonucunda elmas tanecik ve onu tutan matrikste önemli gerilmeler meydana gelmektedir. Şekil 5.1’de bir elmas tanecik ve matriks üzerindeki eşdeğer gerilme (Von Misses) dağılımı verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi maksimum gerilmeler lama ve lehim bölgesi matriksinde meydana gelmektedir. Bu bölgeler kritik gerilme bölgeleridir. Ayrıca hasarın ilk olarak meydana gelebileceği yerlerdir.



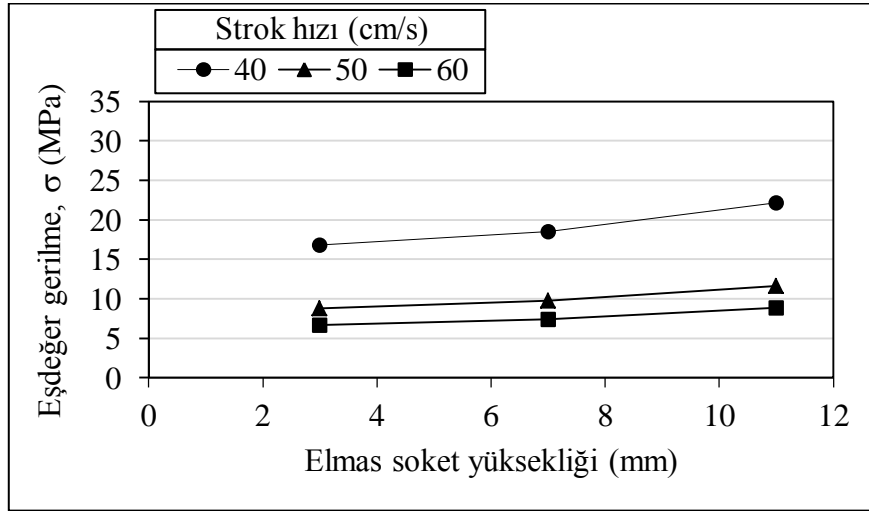
Şekil 5.1 Soket ve lehim bölgesindeki eşdeğer gerilme dağılımı.

Analizler Çizelge 4.4’de belirtilen parametre değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Bu gerilme değerleri, gerilme yoğunluğunun en fazla olduğu lama ve lehim bölgesi birleştiği kritik bölgeden alınmıştır. Şekil 5.2’de farklı strok hızı ve soket yüksekliklerine bağlı olarak eşdeğer gerilme değerleri verilmiştir.



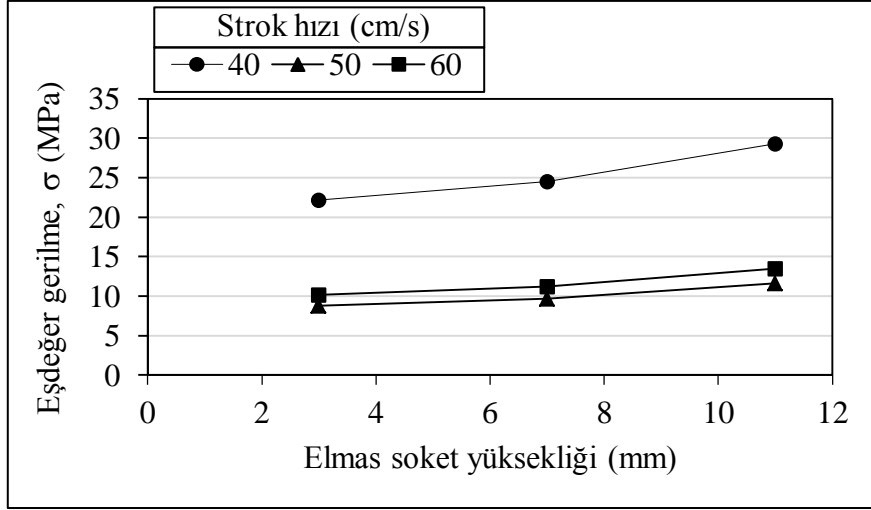
Elmas soket yüksekliklerinin artması ile eş değer gerilmeler artmaktadır. Maksimum eş değer gerilmeler elmas soket yüksekliğinin 11 mm olması durumunda elde edilmiştir.

Elmas soketler ile yapılan kesme işlemlerinde aşınmanın etkisi ile soket yüksekliği azalmaktadır. Bu azalmayla birlikte, elmas soketler ile kesme işlemi devam etmektedir. Bu açıdan ilk kullanılmaya başlanan elmas sokette daha büyük gerilmeler meydana gelmesinden dolayı olumsuz bir durum olarak görülebilir. Çalışmada, üç farklı strok hızı alınmıştır. Strok hızlarının artmasıyla, eş değer gerilmeler önemli ölçüde azalmaktadır. Strok hızının artmasıyla birim zamanda kesilen talaş hacmi azaldığında gerilme önemli ölçüde azalmıştır. Maksimum gerilmeler elmas soket yüksekliğinin en büyük olduğu durumda elde edilmiştir.



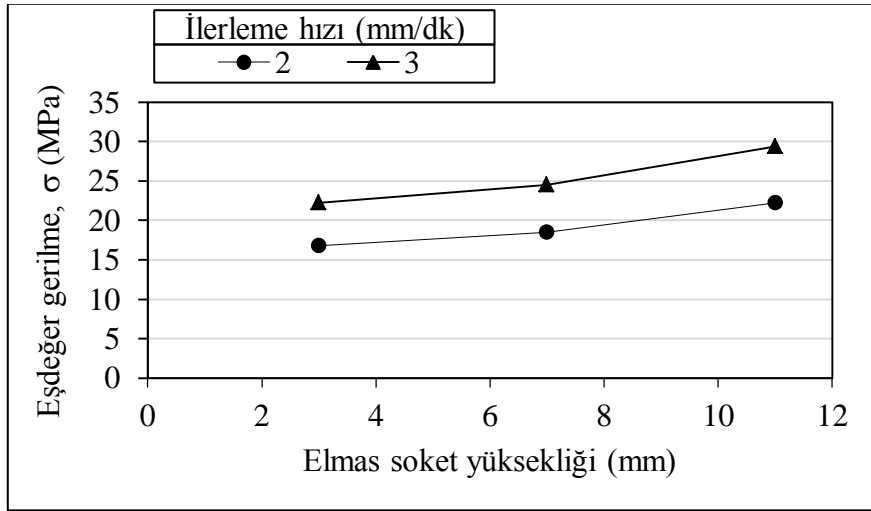
Şekil 5.2 Elmas soket yüksekliklerine bağlı eş değer gerilme dağılımı ( $V_f=2$  mm/dk).

Şekil 5.3’de elmas soket yüksekliklerine bağlı eş değer gerilme dağılımları verilmiştir. 2 mm/dk ilerleme hızındaki gibi, 3 mm/dk ilerleme hızında elde edilen eş değer gerilme dağılımlarında elmas soket yüksekliğinin artmasıyla gerilmeler artmıştır. Burada strok hızının elmas soket yüksekliklerine göre daha önemli olduğu görülmektedir. Elmas soket yüksekliğinde eş değer gerilme maksimum % 19,73 artarken, strok hızının azalmasıyla eş değer gerilmeler % 253,3 artmıştır. Bununla birlikte, elde edilen gerilmeler çok kritik değerlerde olmadığı görülmüştür.



Şekil 5.3 Elmas soket yüksekliklerine bağlı eş değer gerilme dağılımı ( $V_f=3$  mm/dk).

Şekil 5.4’de elmas soket yüksekliklerine bağlı farklı ilerleme hızlarında elde edilen eşdeğer gerilmeler verilmiştir. İlerleme hızının artmasıyla eş değer gerilmeler artmıştır. İlerleme hızının her artışında soketin, birim zamanda kesmesi gereken miktar arttığı için gerilmeler artmıştır. Ayrıca elmas soket yüksekliğinin artması ile eşdeğer gerilmeler artmıştır.

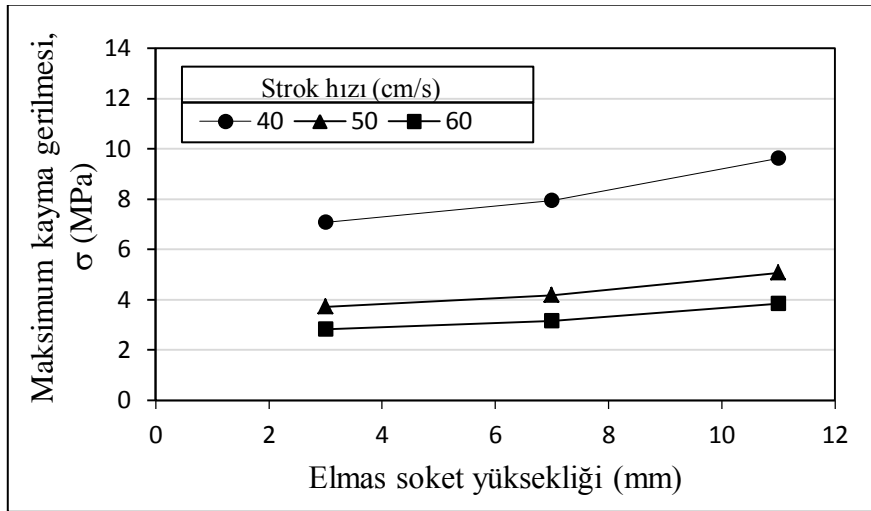


Şekil 5.4 Elmas soket yüksekliklerine bağlı eş değer gerilme dağılımı ( $V_c=40$  cm/s).

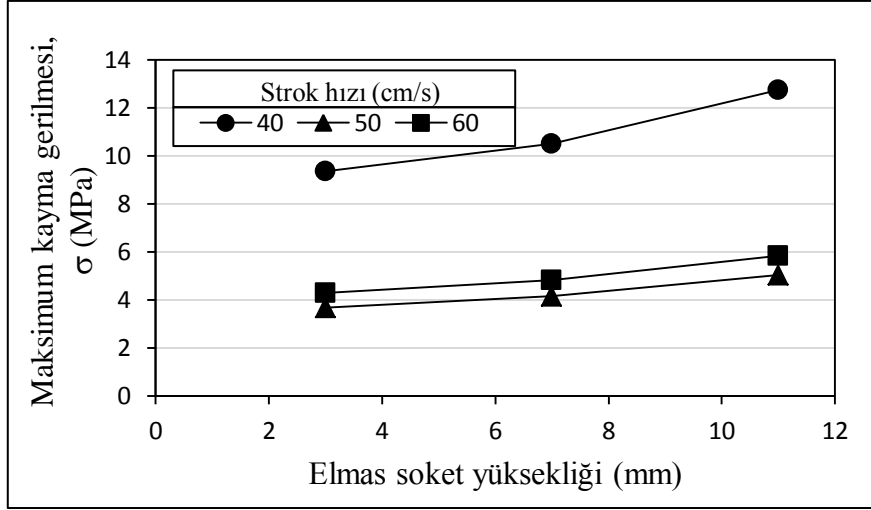
İlerleme hızının artmasıyla gerilmelerin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Yapılan analizlerde en yüksek eş değer gerilme değeri,  $V_f=3$  mm/dk strok iniş hızı,  $V_c=40$  cm/sn strok kol hızı ve  $h=11$  mm elmas soket yüksekliği parametre değerlerinde elde edilmiştir.

## 5.2 Kayma Gerilmesinin Belirlenmesi

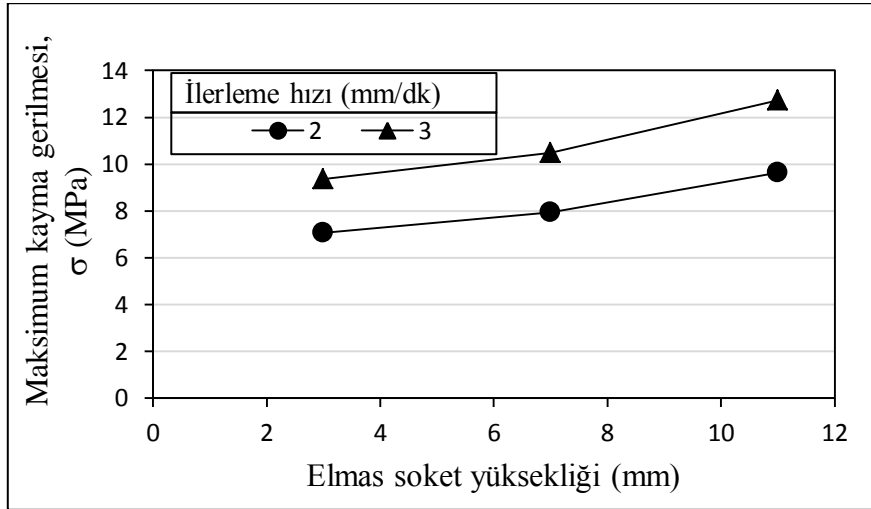
Katrak lamalarında, lama ile elmas soket arasında bulunan lehim bölgesi ara yüzey bağı oluşmaktadır. Lehim bölgesinin mukavemeti matris içerisindeki elementlere göre değişmektedir. Bu bölgenin özellikle kayma gerilmelerine karşı dirençli olması istenir. Kesme esnasında teğetsel ve normal kuvvetlerin etkisiyle, elmas soket ve lama arasında bulunan lehim bölgesinde önemli kayma gerilmeleri meydana gelmektedir. Elmas soket ve lama arasında bulunan bağ sürekli olarak kayma gerilmelerine maruz kalmakta ve bunun sonucunda lehim bölgesinde çatlak oluşumları meydana gelebilmektedir. Lehim bölgesinin kayma gerilmesine karşı dayanımının yüksek olması, kayma gerilmelerinden dolayı meydana gelebilecek bir hasarı önleyebilir. Analiz parametre değerlerinde elde edilen kayma gerilmeleri Şekil 5.5, 5.6 ve 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Farklı strok hızlarında elmas soket yüksekliklerine bağlı kayma gerilmelerinin değişimi ( $V_f=2$  mm/dk).



**Şekil 5.6** Farklı strok hızlarında elmas soket yüksekliklerine bağlı kayma gerilmelerinin değişimi ( $V_f=3$  mm/dk).



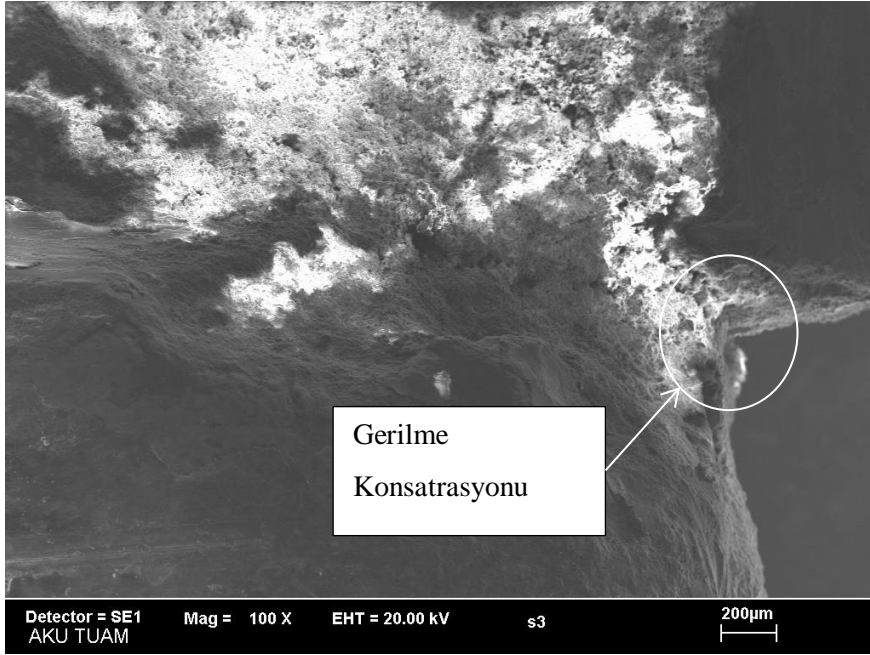
**Şekil 5.7** Farklı ilerleme hızlarında elmas soket yüksekliklerine bağlı kayma gerilmelerinin değişimi ( $V_c=40$  cm/s).

Eşdeğer gerilme analiz değerlerinde olduğu gibi soket yüksekliğinin büyük olması kayma gerilmelerini önemli miktarda artırmaktadır. Minimum kayma gerilmesi  $V_f=2$  mm/dk ilerleme hızında,  $V_c=60$  cm/s strok hızında ve  $h=3$  mm soket yüksekliğinde elde edilmiştir.

### 5.3 Elmas Soketli Lamanın Kırılma Analizi

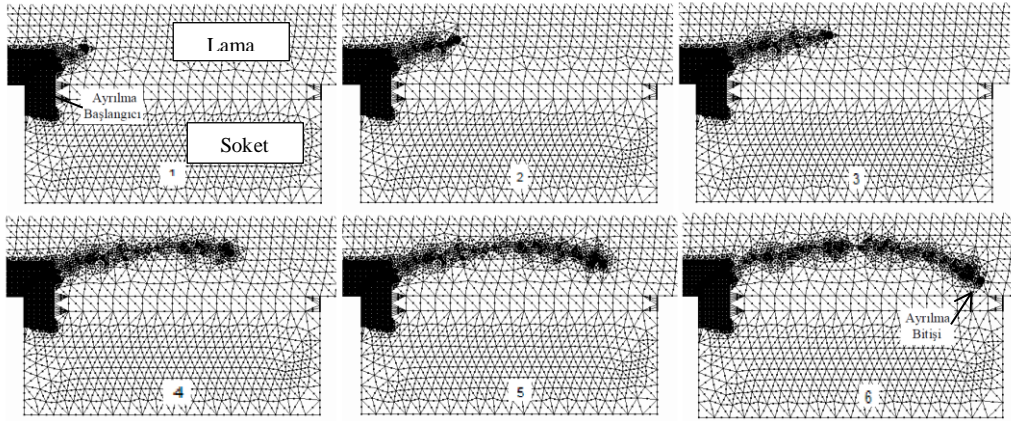
#### 5.3.1 Gerilme Şiddet Faktörlerinin Belirlenmesi

Lama ve elmas soket birleşimi olan lehim bölgesi Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Bu bölge kritik gerilme bölgesidir.



Şekil 5.8 Lama bölgesinde gerilme değerinin geldiği yer.

Yapılan analizlerde lama bölgesinde meydana gelen çatlak ilerlemesi Şekil 5.9’da verilmiştir. Lama bölgesine 0,1 mm’lik çatlak tanımlanmış ve sınır koşullarında çatlak ilerlemesi sağlanmıştır. Çatlak düzgün bir şekilde ilerlememiş ve bir yay gibi ilerleme davranışı göstermiştir. Elmas soketin, lama bölgesinden kırılmış hali Resim 5.1’de verilmiştir.

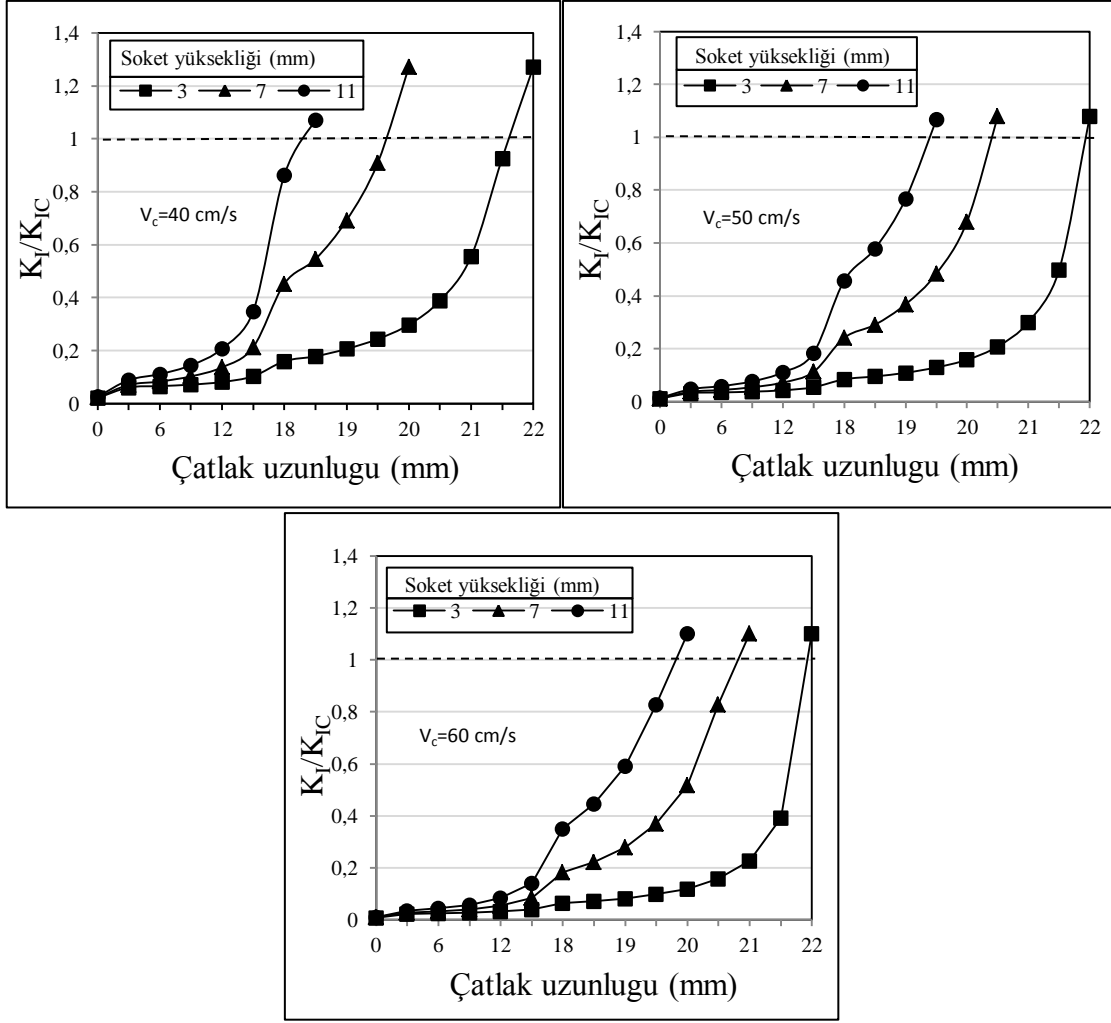


Şekil 5.9 Lama bölgesinde meydana gelen çatlak ilerlemesi.



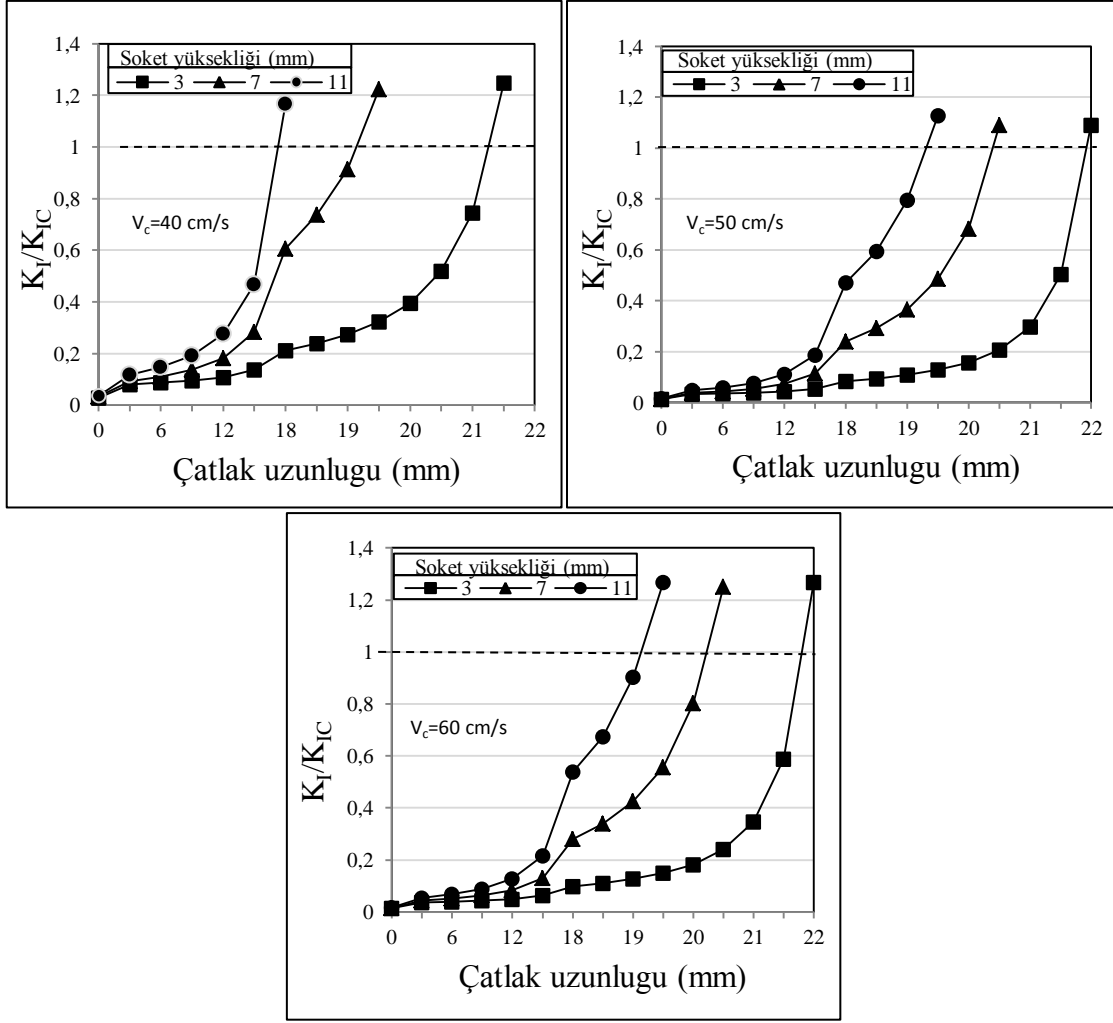
Resim 5.1 Elmas soketin lama bölgesinde koptuktan sonraki görüntüsü.

Çatlak uzunluğuna bağlı  $K_I/K_{IC}$  değeri Şekil 5.10'da verilmiştir. Çatlak uzunluğunun artmasıyla gerilme şiddet faktörü ( $K_I$ ) değerleri hızlı bir şekilde artmıştır. 2 mm/dk ilerleme hızında yapılan analizlerde, strok hızının artışı gerilme şiddet faktörüne olumlu şekilde yansımıştır. Bu artış ile elmas soket daha uzun çatlak uzunluğunda kopmaktadır. Strok hızın azalmasıyla elmas soket daha fazla zorlanmakta ve daha düşük çatlak uzunluğunda elmas soket kopmaktadır. Bununla birlikte, soket yüksekliğinin gerilme şiddet faktörünün belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Soket yüksekliklerinin artmasıyla gerilme şiddet faktörleri büyümekte ve soket kısa sürede kopmaktadır.



**Şekil 5.10** Farklı soket yüksekliklerinde çatlak ilerlemesine bağlı  $K_I/K_{IC}$ 'in değişimi ( $V_f=2$  mm/dk).

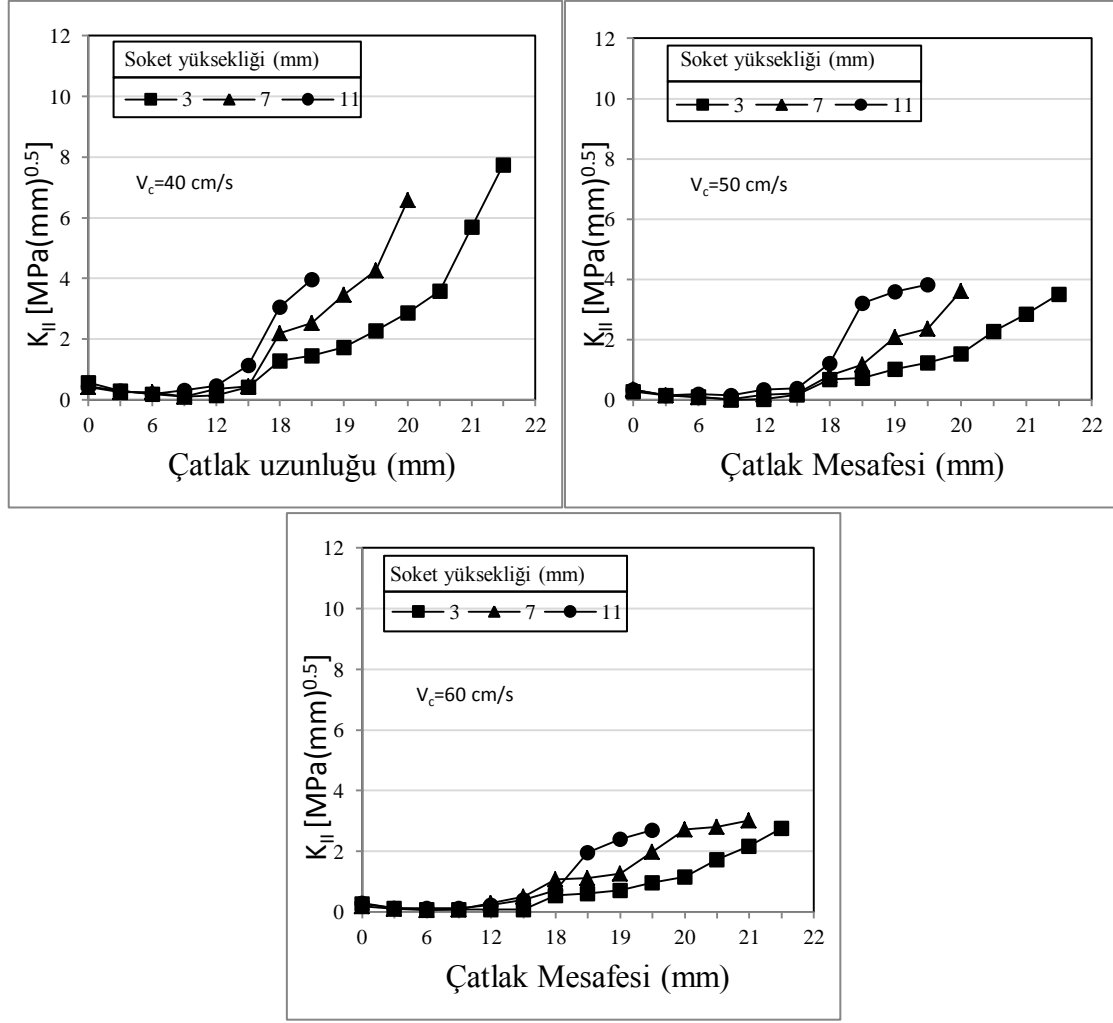
Şekil 5.11'de farklı soket yüksekliklerinde çatlak ilerlemesine bağlı  $K_I/K_{IC}$ 'nin değişimi verilmiştir. Analizlerde 3 mm/dk ilerleme hızında ve farklı strok hızları göz önüne alınmıştır. 2 mm/dk ilerleme hızında olduğu gibi, 3 mm/dk ilerleme hızında da strok hızlarına bağlı olarak maksimum gerilme şiddet faktörü değerleri elmas soket yüksekliğinin en fazla olduğu ( $h=11$  mm) durumunda elde edilmiştir. Ayrıca bu soket yüksekliğinde elmas soket daha kısa sürede kırılmaktadır. Aşınmayla birlikte soket yüksekliğinin azalması dezavantaj olarak görülsede, elmas socketin kırılma davranışı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.



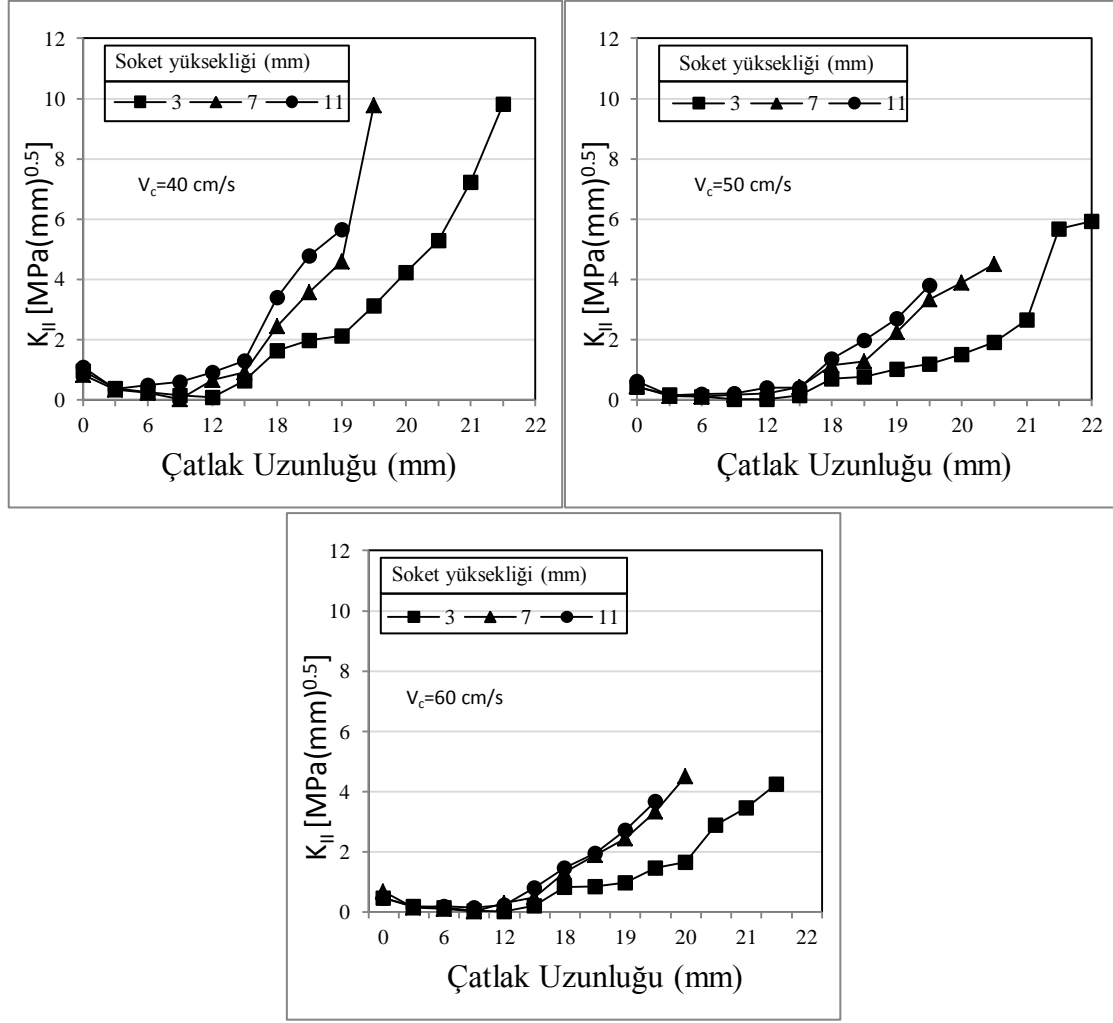
**Şekil 5.11** Farklı soket yüksekliklerinde çatlak ilerlemesine bağlı  $K_I/K_{Ic}$ 'in değişimi ( $V_f=3$  mm/dk).

$K_I$  değeri bir malzemenin kırılma durumu ile ilgili bilgi verirken,  $K_{II}$  değeri ise, meydana gelen bir çatlakın yönü hakkında bilgi verilmektedir. Farklı parametrelerde  $K_{II}$ 'nin değişimi Şekil 5.12 ve 13'de verilmiştir. Strok hızlarının artmasıyla  $K_{II}$  değerlerinde bir miktar azalma meydana gelmiştir. Bu durum  $K_I$  değerleri ile benzerlik taşımaktadır. Bütün grafiklerde  $K_{II}$  değeri belirli çatlak uzunluğuna kadar çok fazla değişmemekte ve ondan sonra artmaktadır. Bu durum çatlak yönü hakkında bilgi verilmektedir. Yapılan analizlerde çatlak oluşuktan sonra düz bir şekilde ilerlemekte ve belirli bir uzunluktan sonra yön değiştirerek yay gibi kırılmaktadır (Şekil 5.9).





Şekil 5.12 Farklı soket yüksekliklerinde çatlak ilerlemesine bağlı  $K_{II}$ 'in değişimi ( $V_f=2$  mm/dk).

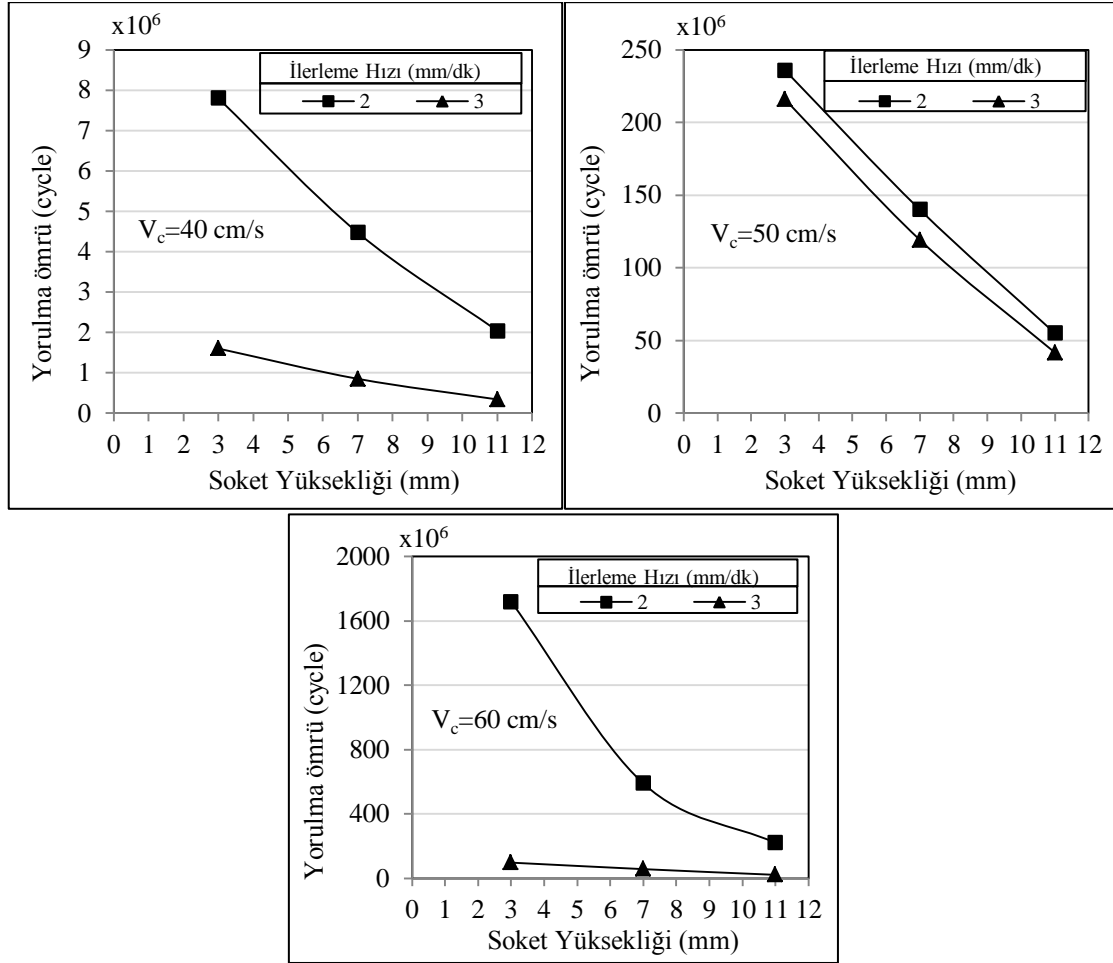


Şekil 5.13 Farklı soket yüksekliklerinde çatlak ilerlemesine bağlı  $K_{II}$ 'in değişimi ( $V_f=3$  mm/dk).

### 5.3.2 Yorulma Ömrü Hesabı

Kırılma mekaniğinde, gerilme, gerilme şiddet faktörü, korozyon ve çatlak gibi zamana bağlı olarak değişen hasar tipleri ömür hesabında kullanılan en önemli parametrelerdir. Çatlak öncesi ve çatlakın ilerlemesine bağlı olarak kırılmayla sonuçlanan iki farklı yorulma ömrü bulunmaktadır. Bu çalışmada 0,1 mm lik ilk çatlaktan sonra kırılma sürecine kadarki yorulma ömrü belirlenmiştir. Yorulma ömrünün hesaplanmasında Paris-Erdoğan denklemi kullanılmıştır. Katrak lamasının parametrelere (ilerleme hızı, soket yüksekliği ve strok hızı) bağlı olarak yorulma ömürleri Şekil 5.14'de verilmiştir. Bütün grafiklerde soket yükseklikleri arttıkça yorulma ömürleri önemli ölçüde azalmaktadır. Maksimum yorulma ömrü değerleri en düşük soket yüksekliğinde (3 mm) elde edilmiştir. Testere strok hızının artmasıyla yorulma ömrü önemli ölçüde

azalmaktadır. Strok hızının her artmasında soketin kesmesi gereken talaş miktarı azalmakta ve soket daha az zorlanmaktadır. Maksimum yorulma ömrü değerleri strok hızının en yüksek, ilerleme hızının düşük ve soket yüksekliğinin minimum olduğu durumda elde edilmiştir. Bununla birlikte, ilerleme hızının yorulma ömürlerine çok önemli etkisi bulunmaktadır. İlerleme hızının artması ile yorulma ömrü azalmaktadır.



Şekil 5.14 Katrak lamasının soket yüksekliği ve ilerleme hızına bağlı yorulma ömrü değerleri.

## 5.4 Lehim Bölgesinin Kırılma Analizi

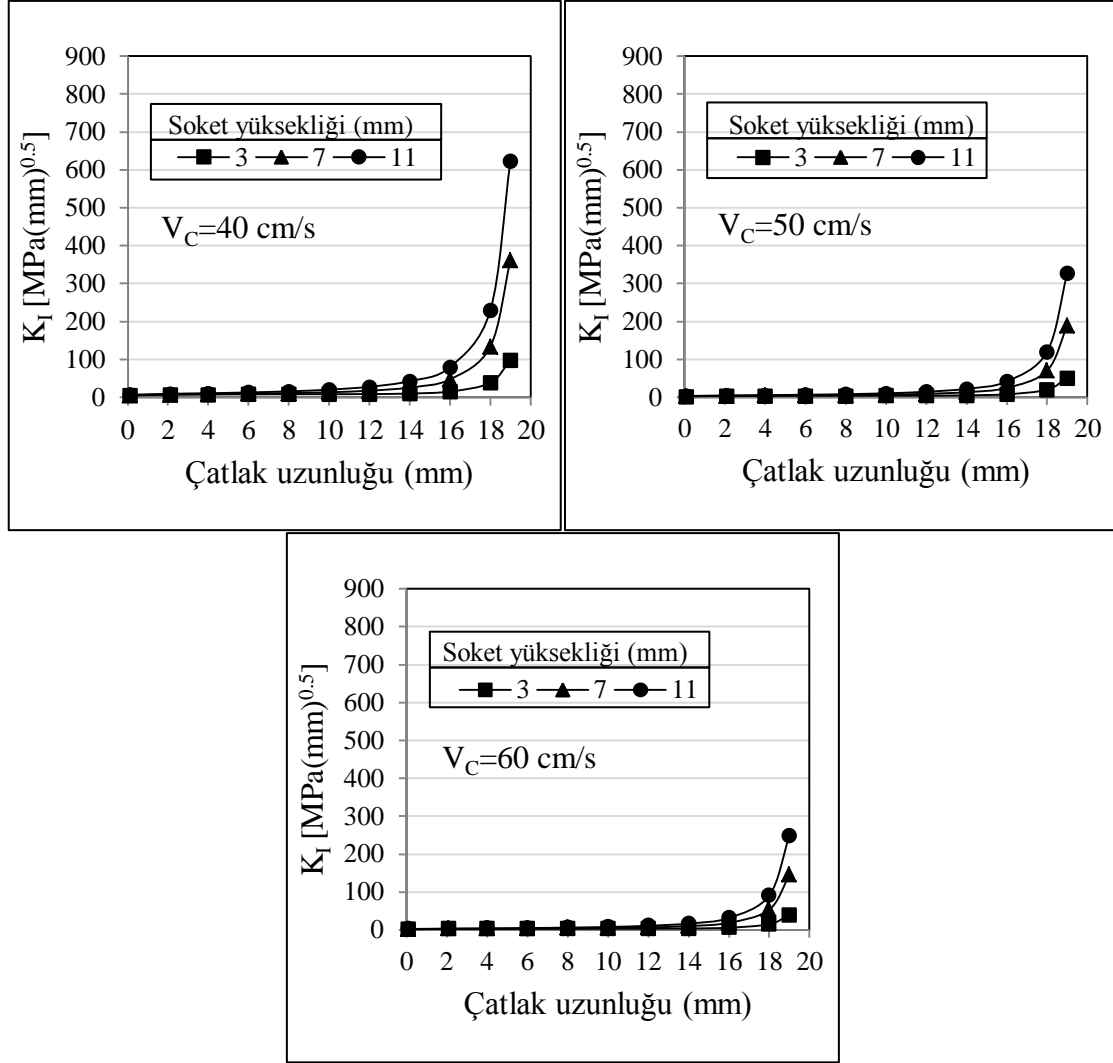
### 5.4.1 Gerilme Şiddet Faktörlerinin Belirlenmesi

Gerilmelerin en yüksek olduğu lama ve elmas soket arasında bulunana lehim bölgesi, hasar başlangıcı için kritik bir bölgedir. Hasarların büyük bir bölümü bu bölgede meydana gelmektedir. Soket yüksekliklerine bağlı olarak, lehim bölgesinde çatlak

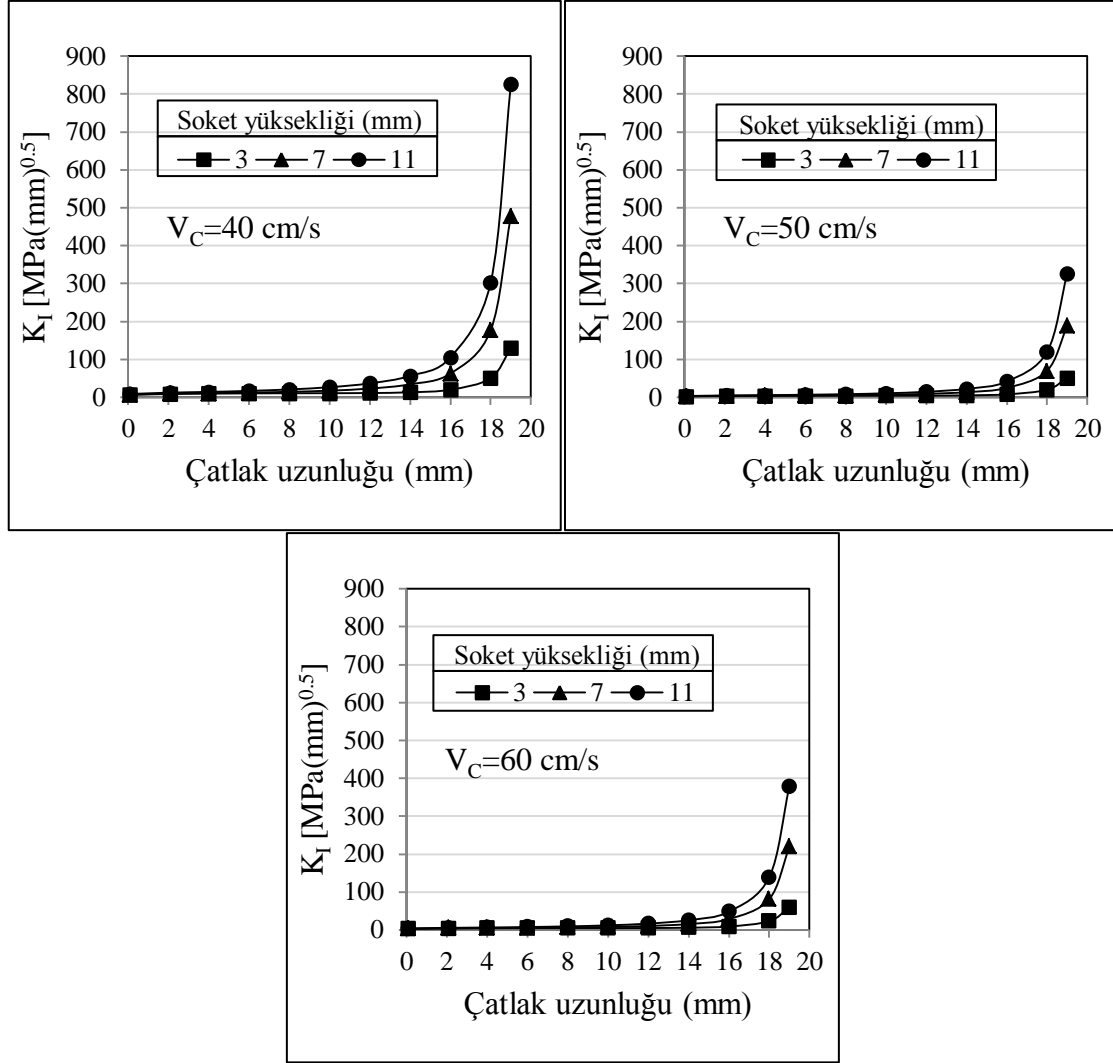
ilerlemesiyle değişen  $K_I$  gerilme şiddet faktörü değerleri Şekil 5.16 ve 5.17’de verilmiştir.

Gerilmeler kritik lehim bölgesinde yüksek elde edilmiştir. Lama bölgesi ile birlikte lehim bölgesi önemli hasar bölgesidir. Lehim ve lama ara bölgesinde hasar için çatlak oluşturulmuş ve çatlak ilerletilmiştir. Farklı ilerleme değerleri için çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörü değerleri Şekil 5.15 ve 5.16’da verilmiştir. Lamada meydana gelen çatlak ilerlemesinde olduğu gibi, lehim bölgesinde de soket yüksekliğinin artmasıyla gerilme şiddet faktörü değerleri önemli ölçüde artmaktadır. Bununla birlikte, strok hızının her artışı ile  $K_I$  değerleri azalmaktadır. Strok hızının artması lehim bölgesindeki gerilme şiddet faktörü değerlerinde önemli bir avantaja sahip olduğu görülmektedir. İlerleme hızının artışı ise, gerilme şiddet faktörleri önemli ölçüde artmıştır. İlerleme hızının artmasıyla birim zamanda daha fazla talaş hacmi kestiğinden, elmas soketleri daha fazla zorlamaktadır. Bu zorlanmanın etkisi ile gerilme şiddet faktörleri artmıştır.

Çatlak uzunluğunun artması ile gerilme şiddet faktörü sabit kalmaktadır. Belirli bir çatlak uzunluğundan sonra  $K_I$  değerleri hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu artış son çatlak uzunluğunda maksimum değerler almıştır. 19 mm son çatlak uzunluğu değeri alınmıştır ve bu değerden sonra  $K_I$  değerleri çok daha büyümetedir.

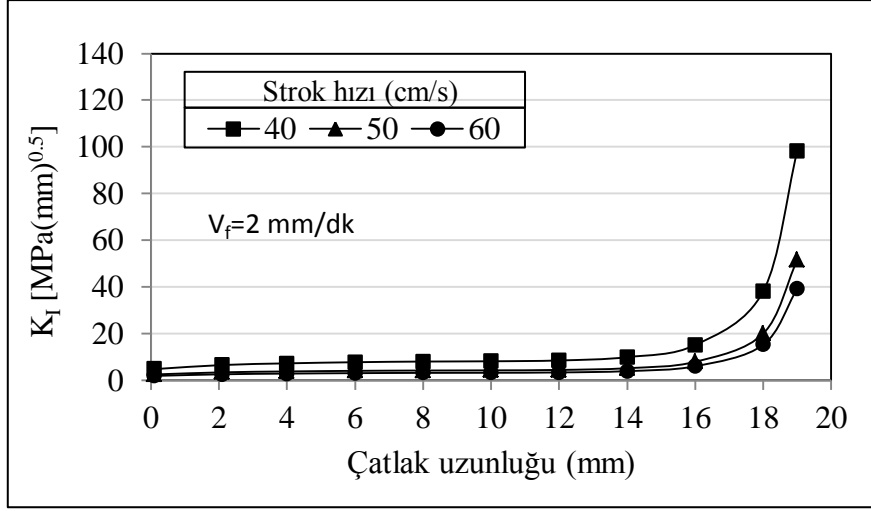


Şekil 5.15 Farklı soket yüksekliği değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi ( $V_f=2$  mm/dk).

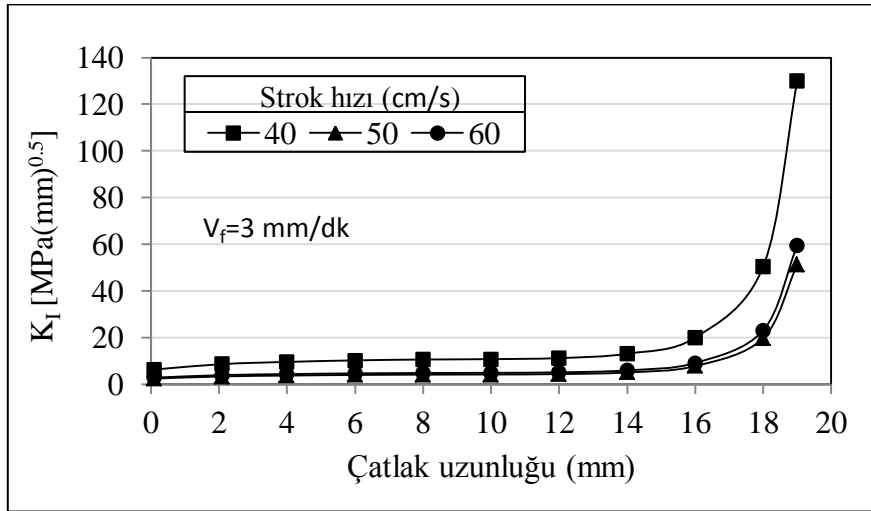


**Şekil 5.16** Farklı soket yüksekliği değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi ( $V_f=3$  mm/dk).

Strok hızına ( $V_C$ ) bağlı olarak, 3 mm soket yüksekliği için, lehim bölgesinde çatlak ilerlemesiyle değişen gerilme şiddet faktörü değerleri Şekil 5.17 ve 5.18'de verilmiştir. Gerilme şiddet faktörü belirli bir çatlak uzunluğuna kadar sabit kalmakta ve ondan sonra hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu artış özellikle 14 mm çatlak uzunluğundan sonra daha belirgin olarak görülmektedir. 3 mm/dk ilerleme hızında elde edilen gerilme şiddet faktörü değerleri, 2 mm/dk'dan daha büyüktür. İlerleme hızının artmasıyla belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu artış lamadaki çatlak ilerleme davranışı ile benzerlik göstermektedir.

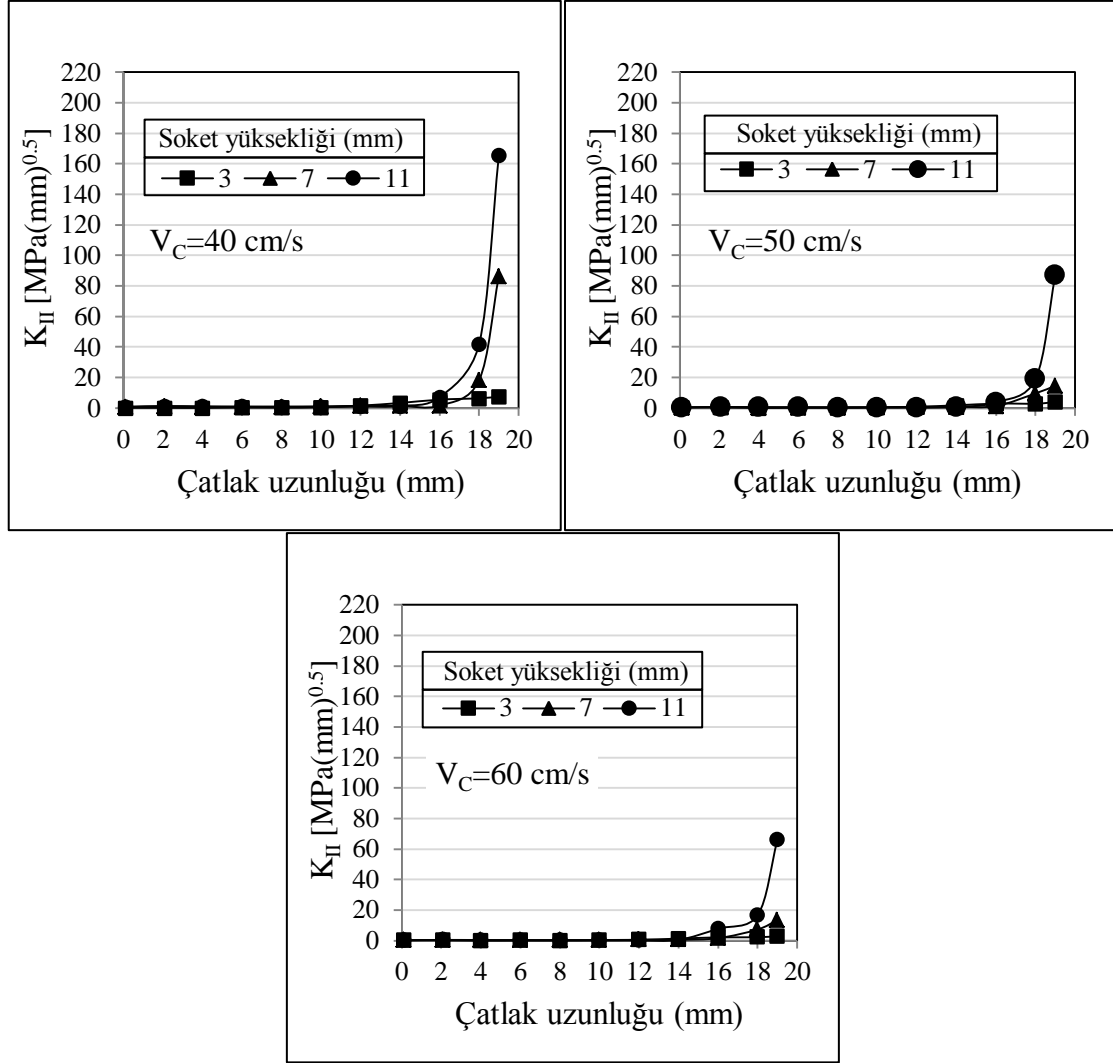


Şekil 5.17 Farklı strok hızı değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi.



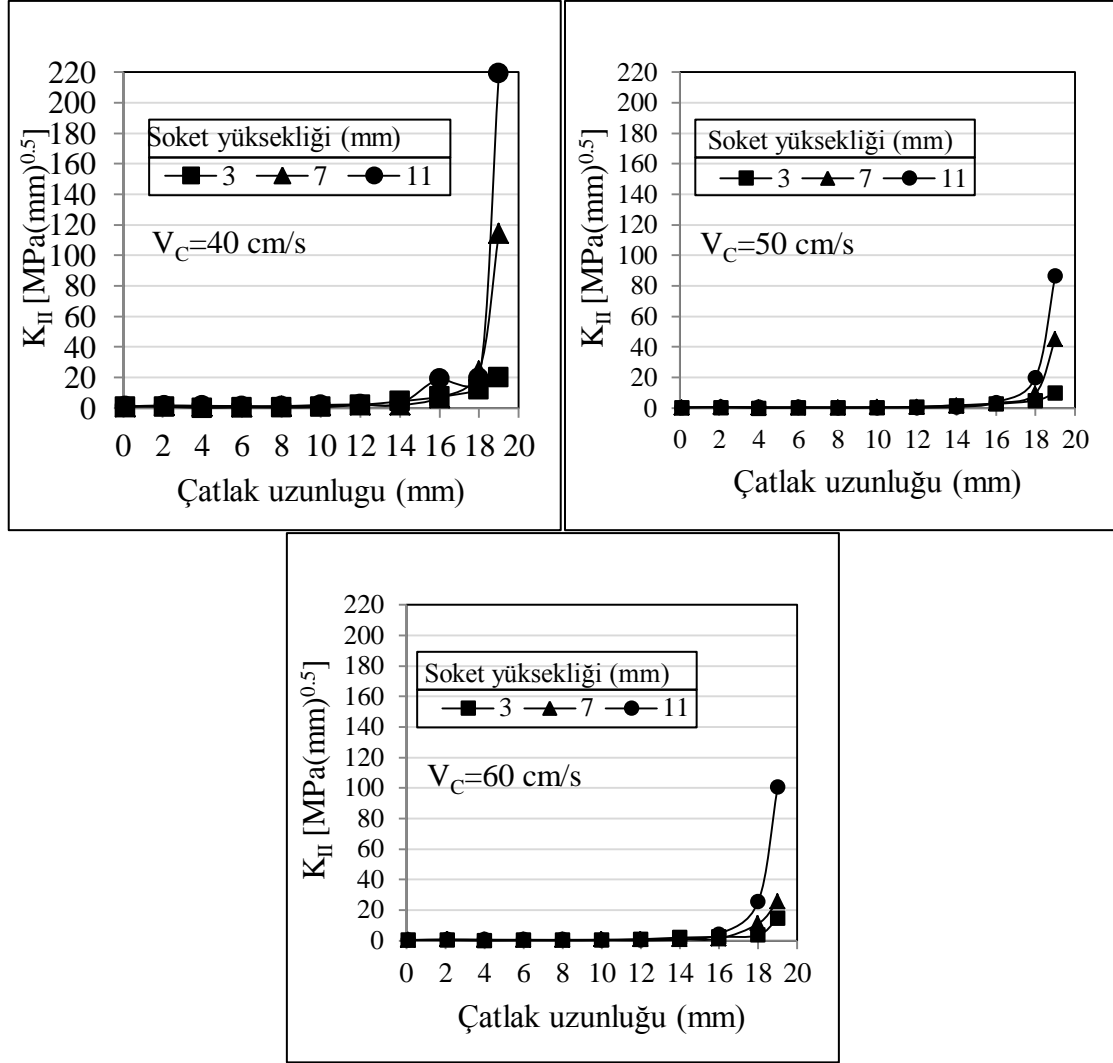
Şekil 5.18 Farklı strok hızı değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi.

Farklı ilerleme değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörü değerleri ( $K_{II}$ ) Şekil 5.19 ve 5.20’de verilmiştir. Elde edilen bütün grafiklerde  $K_{II}$ ’de yerlerinin belirli bir çatlak uzunluğunda kadar hiç değişmediği görülmektedir. Bununla birlikte özellikle son çatlak uzunluklarında önemli değişimler bulunmaktadır. Son çatlak uzunluklarında önemli ölçüde değişmesi çatlakın kırılma yönünde yön değiştirdiğini göstermektedir. Ayrıca,  $K_I$  değerlerinde olduğu gibi, özellikle soket yüksekliği ve testere kolu strok hızının önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.



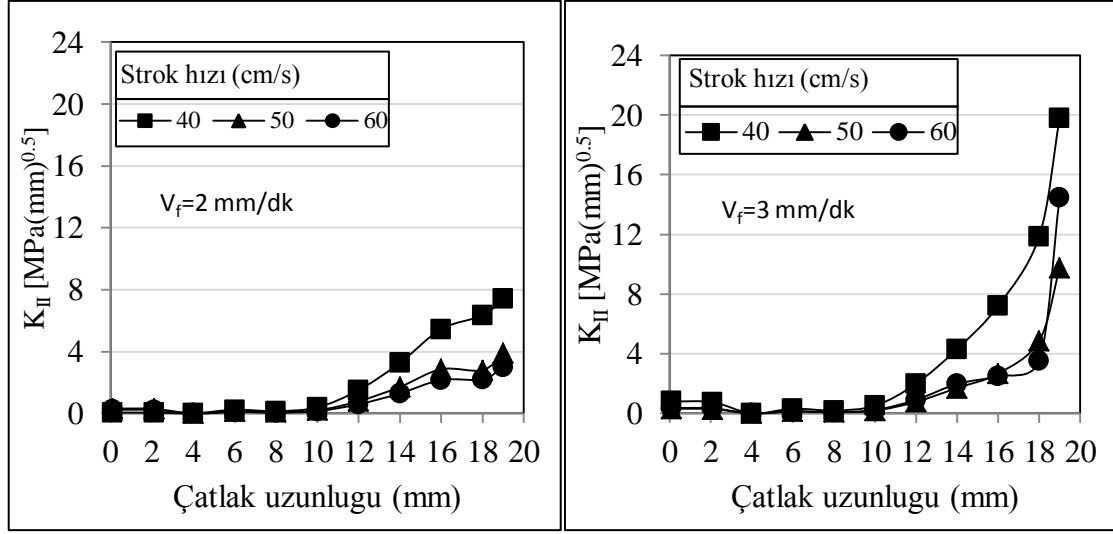
Şekil 5.19 Farklı soket yüksekliği değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi ( $V_f=2$  mm/dk).





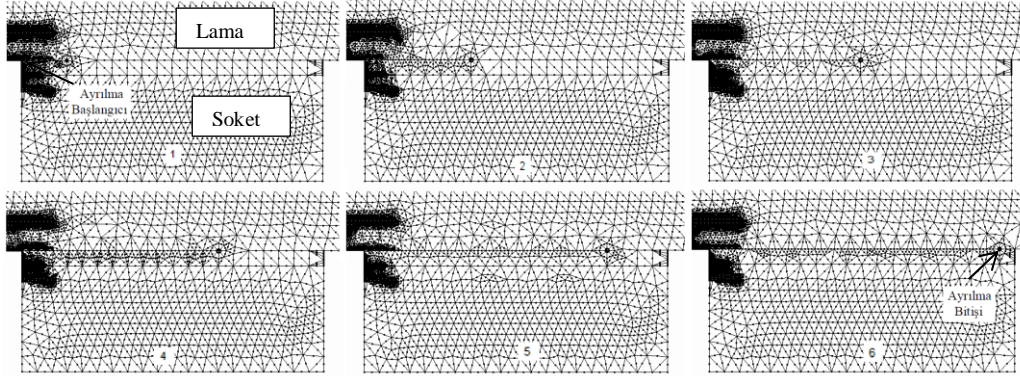
**Şekil 5.20** Farklı soket yüksekliği değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi ( $V_f=3$  mm/dk).

Farklı ilerleme hızına bağlı olarak çatlak uzunluğu bağlı  $K_{II}$  değerlerinin değişimi Şekil 5.21'de gösterilmiştir. Strok hızının artmasıyla  $K_{II}$  değerleri önemli ölçüde azalmıştır. Bu değişim özellikle son çatlak uzunluklarında daha belirgin olarak görülmektedir. Ayrıca ilerleme hızındaki artış  $K_{II}$  değerlerinde önemli ölçüde artışına neden olmuştur.

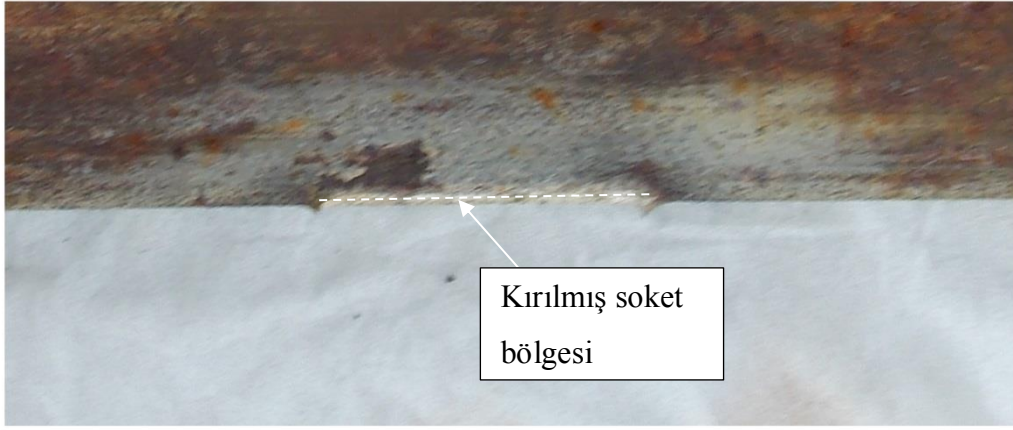


Şekil 5.21 Farklı strok hızı değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı gerilme şiddet faktörünün değişimi ( $h=3$  mm).

Lehim bölgesinde meydana gelen hasar oluşumları ve matriks ara yüzeyinde meydana gelen çatlak ilerlemesi Şekil 5.22’de gösterilmiştir. Elmas soketin lehim bölgesinden ayrılmasında Mode II olarak bilinen, yüzeylerin ters yönde yanlara doğru birbirini üzerinde kayarak hareketi neticesinde ayrılma gerçekleşir. Elmas soketin, lama bölgesinden kırılmış hali Resim 5.2’de, verilmiştir.



Şekil 5.22 Lehim Bölgesinde Meydana Gelen Çatlak İlerlemesi.

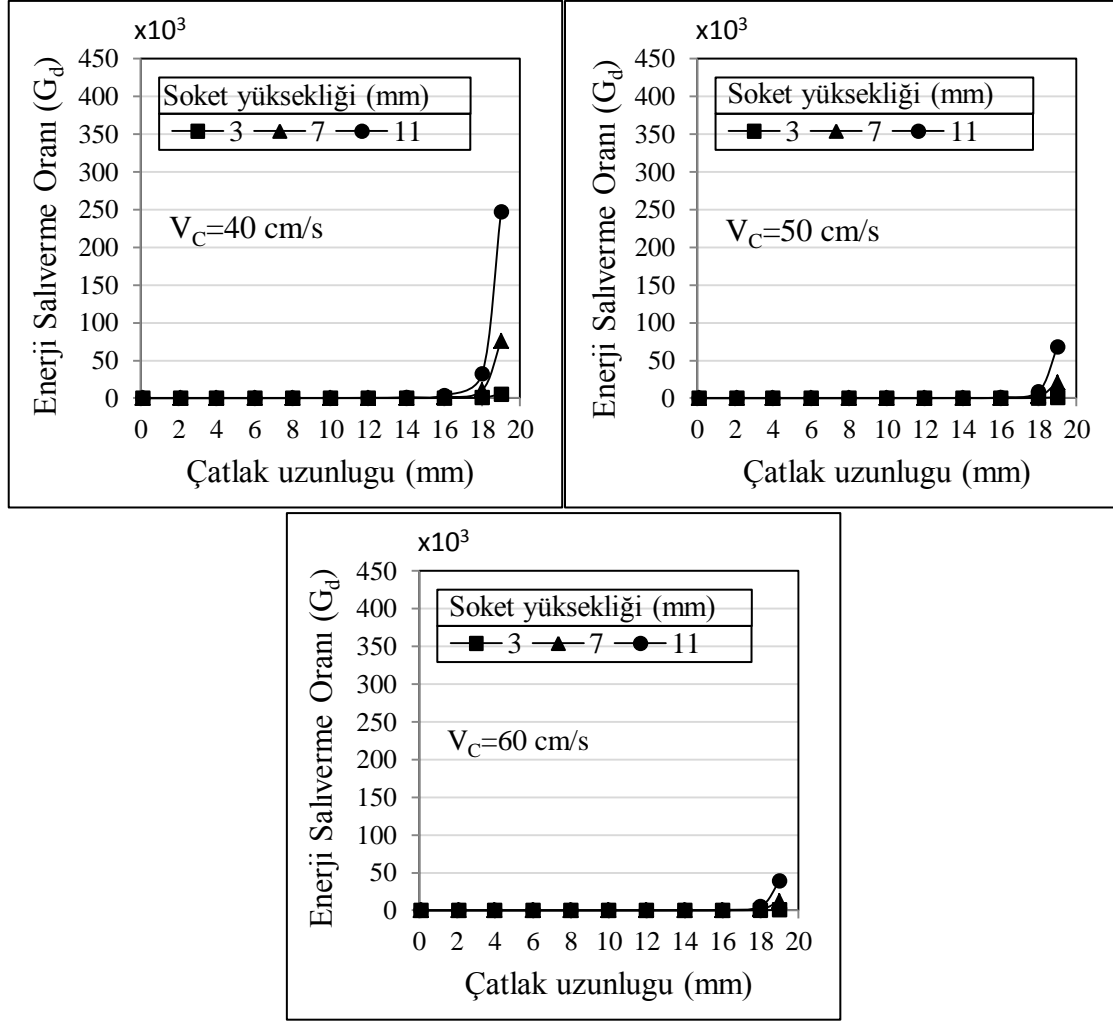


**Resim 5.2** Elmas socketin lehim bölgesinde koptuktan sonraki görüntüsü.

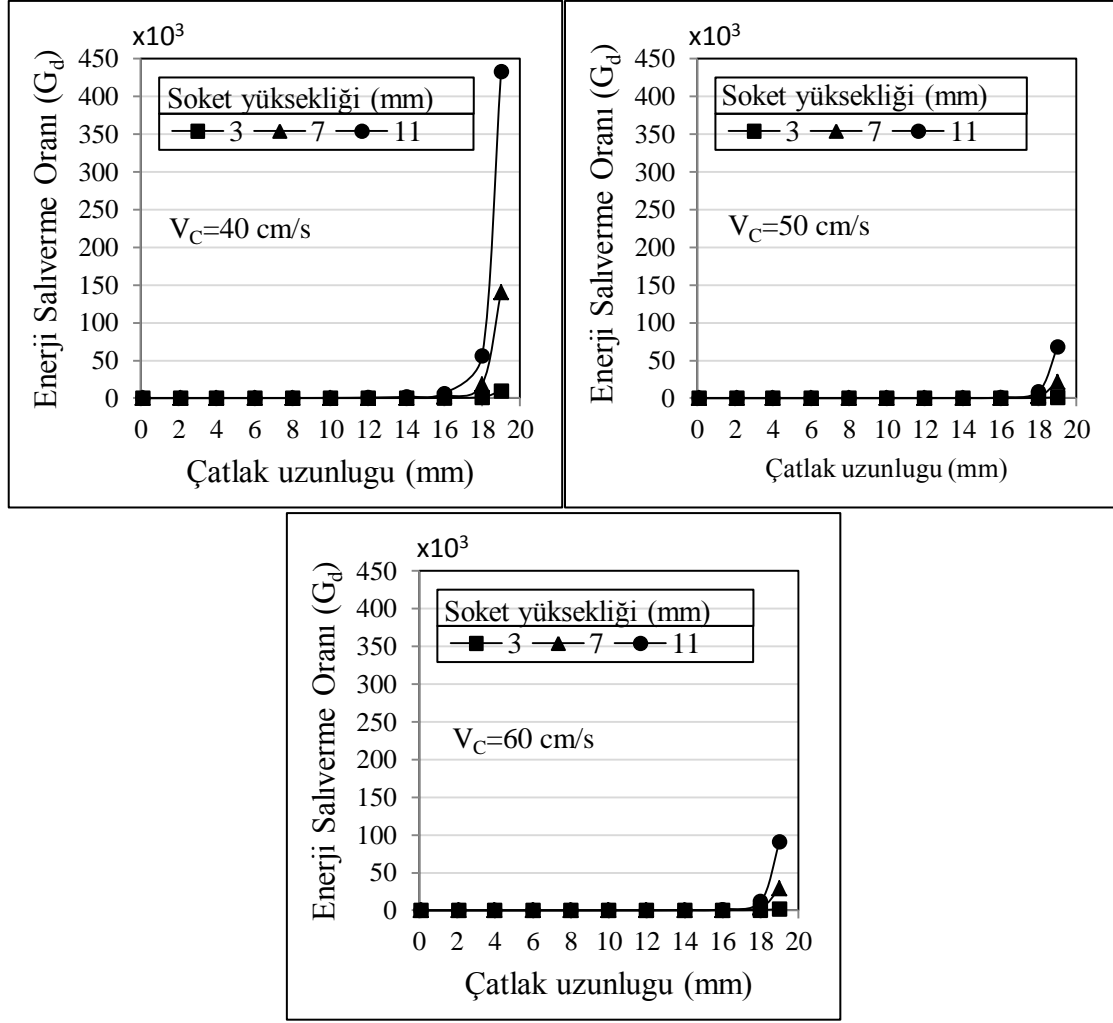
#### 5.4.2 Enerji Salıverme Oranı

Birbirine bağlanan lama ve lehim malzemelerinin kırılma davranışları incelemek için gerilme şiddet faktörüne ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, birbirine lehim gibi yöntemler ile bağlanan malzemelerin hasarlarının incelenmesi için ayrılma durumlarının bilinmesi gerekir. Lehim bölgesindeki ayrılmasının belirlenmesi için kullanılan yöntemlerden biride enerji salıverme oranıdır. Farklı ilerleme değerleri için elde edilen enerji salıverme oranları Şekil 5.23 ve 5.24’de verilmiştir. Enerji salıverme oranının artması ayrılma ile birlikte kırılmanın meydana geldiğini göstermektedir. Bütün grafiklerde belirli bir çatlak uzunluğuna kadar düşük ve sabit olarak kalmaktadır. Kırılmanın gerçekleşebileceği son çatlak uzunluklarında hızlı bir şekilde artmıştır.

Lehim bölgesinde oluşan çatlak ile birlikte, strok hızının artmasıyla özellikle son çatlak uzunluklarındaki (18 ve 19 mm) enerji salıverme oranı azalmaktadır. Benzer bir şekilde, socket yüksekliğinin artması ile enerji salıverme oranı önemli ölçüde artmıştır. Elmas socketin kesme işlemi ile birlikte sürekli aşınmakta ve bunun sonucu olarak elmas socket yüksekliği azalmaktadır. Aslında elmas socket yüksekliğinin azalmasıyla lehim bölgesinde meydana gelebilecek bir ayrılma ihtimalide azalmaktadır.

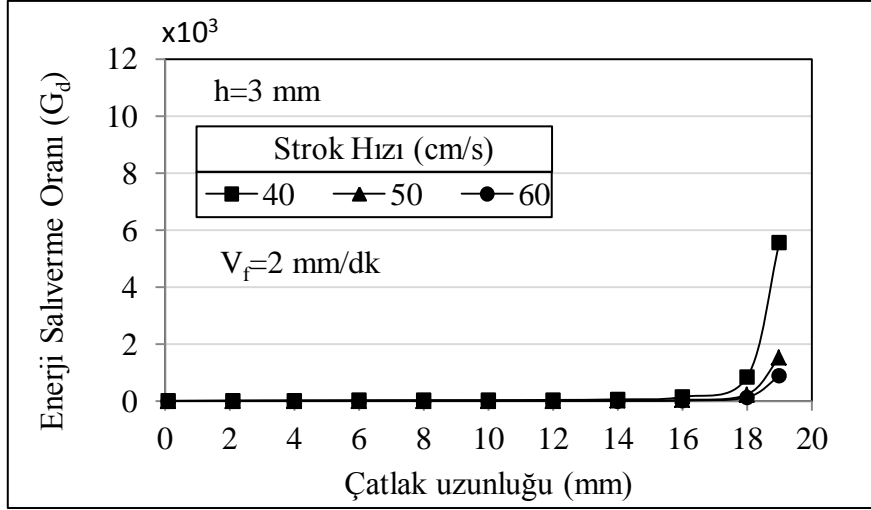


**Şekil 5.23** Farklı soket yüksekliği değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı enerji salıverme oranının ( $G_d$ ) değişimi ( $V_f=2$  mm/dk).

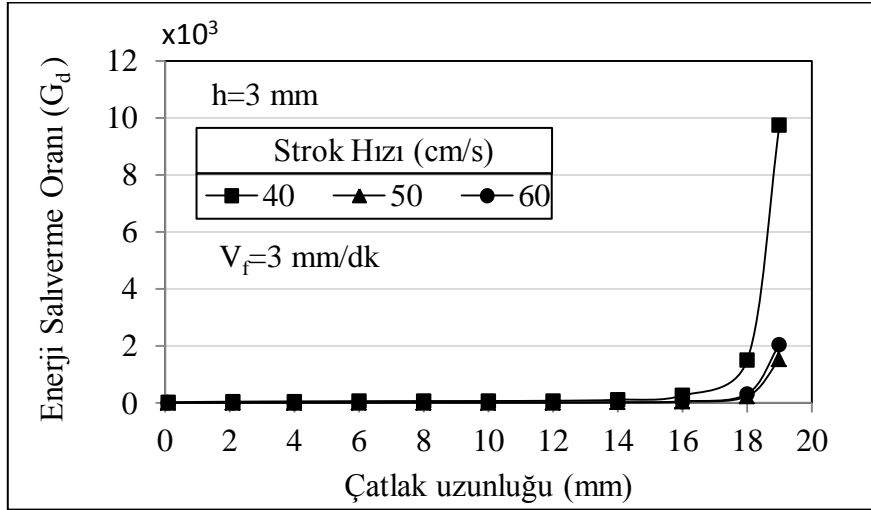


**Şekil 5.24** Farklı soket yüksekliği değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı enerji salıverme oranının ( $G_d$ ) değişimi ( $V_f=3$  mm/dk).

Farklı ilerleme değerlerine bağlı enerji salıverme oranları Şekil 5.25 ve 5.26'da verilmiştir. İlerleme değerinin artmasıyla birlikte enerji salıverme oranı önemli ölçüde artmıştır.



Şekil 5.25 Farklı strok hızı değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı enerji salıverme oranı.



Şekil 5.26 Farklı strok hızı değerlerinde çatlak uzunluğuna bağlı enerji salıverme oranı.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada, doğal taşların kesilmesi işleminde kullanılan elmas soketli lamaların kırılma davranışları değişik parametre değerleriyle deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. İlk olarak, model bir katrik makinesinde kesme testleri yapılmış ve farklı kesme parametrelerine (ilerleme ve strok hızı) bağlı olarak kuvvetler elde edilmiştir. Bununla birlikte, hasarlı elmas soket ve lamalar SEM’de incelenmiştir. Ayrıca, sertlik testleri, çekme ve kimyasal kompozisyon testleri yapılmıştır. Nümerik çalışmada ise, elde edilen deneysel verilere göre sonlu elemanlar metodu ile Franc 2DL programında gerilme, kırılma ve yorulma analizleri yapılmıştır. Analizlerde farklı kesme parametreler (ilerleme ve strok hızı) ve elmas soket yükseklikleri göz önüne alınmıştır.

Endüstride kullanılmış ve hasara uğramış elmas soketli lamalar temin edilmiştir. Bu malzemeler optik mikroskop, elektro mikroskop (SEM) ve görsel olarak incelenmiştir. Temin edilen bu malzemelere sertlik, mikro yapı ve çekme gibi farklı testler uygulanmıştır. Elde edilen bilgiler ile soket ve lama malzemesi hakkında bilgiler elde edilmiştir.

Elmas soketli katrik lamalarda, soket lehim bölgesi ve katrik lamasında olmak üzere iki farklı hasar meydana gelmektedir. Bu tez çalışmasında bu iki hasar göz önüne alınarak analizler yapılmıştır.

Farklı soket yüksekliği, ilerleme ve strok hızı değerlerinde gerilme analizi yapılmıştır. Soket yüksekliğinin artması ile gerilmeler önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte, gerilmeler ilerleme hızının artmasıyla artarken, strok hızının artmasıyla önemli ölçüde azalmıştır. Kritik gerilmeler soket ve lama bölgesinin köşe noktalarında elde edilmiştir. İlk çatlak oluşumu bu köşe noktalarında meydana gelmiştir.

Elmas soketli lama üzerinde hasar durumunu incelemek için lama bölgesine çatlak tanımlanmıştır. Bu çatlak, farklı parametrelere bağlı olarak ilerletilmiş ve gerilme şiddet faktörü değerleri ( $K_I$ ,  $K_{II}$ ) elde edilmiştir. Lamanın hasar durumunu değerlendirmek için elde edilen gerilme şiddet faktörü değerleri ile kırılma tokluğu değerleri

karşılaştırılmıştır.  $K_I$  değerinin  $K_{IC}$  değerine geldiğinde kırılma meydana geldiği kabul edilmiştir. Çalışmada kullanılan parametrelerin soket lamasının kırılmasında çok önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Elmas soket yüksekliğinin azalması ile lama daha büyük çatlak uzunluğunda kırılmaktadır. Bununla birlikte, strok hızının artması gerilme şiddet faktörü değerlerini azaltırken, ilerleme hızının artmasında ise önemli ölçüde artırmaktadır. Çatlak uzunluğu ve gerilme şiddet faktörlerine bağlı olarak yorulma ömrü hesaplanmıştır. Maksimum yorulma ömrü değerleri düşük ilerleme hızı, yüksek strok hızı ve minimum soket yüksekliklerinde elde edilmiştir.

Elmas soketlerin kırılması lama bölgesinde olabildiği gibi soket lama lehim bölgesinden de kırılmaktadır. Lehim bölgesinden ayrılma ayrıca analiz edilmiştir. Farklı parametrelere bağlı olarak lehim bölgesindeki gerilme şiddet faktörleri belirlenmiştir. Bu faktörlere bağlı olarak enerji salıverme oranları hesaplanmıştır. İlerleme miktarının artması ile enerji salıverme oranı artarken, strok hızının artmasında ise bu oran önemli ölçüde azalmıştır. Ayrıca, elmas soket yüksekliğinin artması ile enerji salıverme oranı artmıştır. Gerilme şiddet faktörleri ve enerji salıverme oranları belirli bir çatlak uzunluğuna kadar sabit kalırken, özellikle kopmaya yakın (18-19 mm) büyük bir artış meydana gelmiştir.



## 7. KAYNAKLAR

- Akkurt, M. (1996). Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları. Birsen Yayınevi.
- Aslantaş, K., Özbek O., Uzun İ. and Büyüksağış, İ.S. (2009). Investigation of the effect of axial cutting force on circular diamond sawblade used in marble cutting process. *Materials and Manufacturing Processes*, **24**: 1423–1430.
- Aslantaş, K. ve Taşgetiren, S. (2002). Bir yüzey altı çatlağın yayılma davranışının sonlu elemanlar yöntemi ile analizi. *Tübitak Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi*, **26**: 137-145.
- Aslantaş, K. and Taşgetiren, S. (2004). Modelling of spall formation in a plate made of austempered ductile iron having a subsurface-edge crack. *Computation Materials Science*, **29**, 29-36.
- Atıcı Ü. (1999). Mermer Kesme Makinalarındaki Kesicilerin Aşınma Mekanizmaları. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Bayram, F., Kulaksız, S. ve Özçelik, Y. (2003). Katraklarda Mermerlerin Fiziki-Mekanik Özelliklerinin ve Kesim Hızının Elmas Soketlerdeki Aşınmalara Etkisi. Türkiye 4. Mermer Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık, 1-13.
- Bui, H. D (2006), Fracture Mechanics. *Published by Springer*, Netherlands.
- Büyüksağış, İ. S. ve Gökten, R. M. (2001). Bilgisayar Kontrollü Mermer Kesme Deney Düzenine Tanıtılması. Türkiye III. Mermer Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 3-5 Mayıs, 277-287.
- Büyüksağış, İ.S. (2003). Doğaltaş kesmede kullanılan elmaslı dairesel testerelerin tanıtımı ve talaş oluşum mekanizması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **4** (1-2), 17-30.
- Büyüksağış, İ.S. and Gökten, R.M. (2005). Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter. *Journal of Materials Processing Technology*, **169**: 258–262.
- Caner, M. ve Akarşan, E. (2009). Mermer kesme işleminde spesifik enerji faktörünün anfiş ve ysa yöntemleri ile tahmini. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **15** (2): 221-226.
- Chen, H., Li, J., Spence, J. and Li, J. (2000). An ELID-cutting saw. *Journal of Materials Processing Technology*, **102**: 208-214.

- Çonkar F.E. (2012). Elmas Kesiciler ile Doğal Taşların Delinmesi İşleminde Kesme Performansının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Dikmen A.Ç. (2002). Kayaçların Dokusal Bileşimsel ve Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Eken M.S. (2013). Doğal Taşlar İçin Elmas Lamalı Model Makine Tasarımı İmalatı ve Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Ergun E., Aslantaş, K., Taşgetiren S. and Topçu M. (2006). Fracture analysis of resistance welded L-shaped and straight sheets. *Materials and Design*, **27**: 2-9.
- Ersoy, A. ve Atıcı, Ü. (1999). Mermer Kesicilerinin Aşınma Mekanizmaları. Türkiye 16. Madencilik Kongresi, Ankara, 15-18 Haziran, 107-115.
- Ersoy, A. ve Atıcı, Ü. (2004). Spesifik Kesme Enerjisi İle Spesifik Deformasyon Enerjisinin Değerlendirilmesi. VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Ankara, 21-22 Ekim, 101-109.
- Eyüboğlu A.S. (2000). Diskli Kesici Soketlerindeki Aşınmaların Ankara Andezitlerinde İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Güneş Yılmaz, N. ve Gökten, R. M. (2008). Effect Of Sawing Rate On Force and Energy Requirements in The Circular Sawing of Granites. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, **21-2**: 59-74.
- Güneş, A.N., GÜNDÜZ, V. and Altındağ, R. (2010). The Effects of Total SiO<sub>2</sub> and Total CaO Elements Content of Marbles on the Sawability Performance. *Journal of Natural and Applied*, **14-2**: 187-193.
- Gürer C., Akbulut H. ve Çetin S. (2003). Tek Açıklıklı Kemer Sistemli Rize Köprülerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi. I. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu, Antalya, 29-30 Kasım, 435-445.
- Güvenç, U., Dursun, M. ve Çimen, H. (2011). Mermer kesme işleminde kesim süresinin yapay sinir ağı tabanlı modellenmesi. *SDU International Technologic Science*, **3-2**: 9-16.

- Işık, Y. (2004). Talaşlı imalatta kesici takımların kırılma öncesi davranışlarının sonlu elemanlar yöntemi ile analizi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **9-1**.
- Karagöz, S. ve Zeren, M. (2002). Doğaltaş Kesiminde Kullanılan Elmas Kesici Takımların Aşınma Karakteristiği. Uluslararası Toz Metalürjisi Konferansı, Ankara, 4-8 Eylül, **517**: 17-23.
- Karpat O. (2013). Pomza Takviyeli Beton Blokların Kesilmesi İçin Yeni Soket Kompozisyonlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Kim J.B., Shin B., Lee W. and Rhee K.Y. (2009). Effect of virtual crack size on the crack deflection criterion at a bi-material interface under wedge loading. *Mech. Res. Communications*, **36**: 193-198.
- Leblond J.B. and Frelat J. (2004). Crack kinking from an initially closed, ordinary or interface crack in the presence of friction. *Eng. Fracture Mechanics*, **71-3**: 289-307.
- Loui, J. P. and Karanam U. M. (2005). Heat transfer simulation in drag-pick cutting of rocks. *Tunnelling and Underground Space Technology Science*, **20**: 263-270.
- Madani K., Belhouari M., Bouiadjra B.B., Serier B. and Benguediab M. (2007). Crack deflection at an interface of alumina/metal Joint: A numerical analysis. *Computational Mater. Science*, **38**: 625-630.
- Millî Eğitim Bakanlığı, “Katrakta Plaka Kesimi”, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi Makine Teknolojisi, Ankara, 2008.
- Nishimatsu, Y. (1972). The mechanics of rock cutting. *Int. J. Rock Mechanic & Mining Science*, **9**: 261-270.
- Özbek O. (2008). Çankırı Kahverengi Mermerinin Kesilebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Polat E. (2008). Doğal Taş Sektöründe Ebatlı Ürünlerin EN-TSE Standartlarına Uygunluğunun Araştırılması ve TEM-MER A.Ş. Ürünleri Üzerinde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar

- Polini, W. and Turchetta, S. (2004). Force and specific energy in stone cutting by diamond mill. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **44**: 1189–1196.
- Shaw M. C. (2005). *Metal Cutting Principles*. 2nd ed. Oxford University Press, New York.
- Sun, L., Pan, J. and Lin, C. (2002). A new approach to improve the performance of diamond sawblades. *Materials Letters*, **57**: 1010–1014.
- Şener, S. (2002). Fracture Toughness Tests on Brazilian Discs of Ankara Andesite. M.S. Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Tan, C. L. and Gao, Y.L. (1990). Treatment of bimaterial interface crack problems using the boundary element method. *Engineering Fracture Mechanics*, **36-6**: 919-932.
- Taşgetiren, S. ve Uçun, İ. (2004). Mermer Kesme Diskinin Sonlu Elemanlar Metodu İle Doğal Frekansların Belirlenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*. **4**: 9-16.
- Topçu, M. ve Taşgetiren, S. (1998). Mühendisler için Sonlu Elemanlar Metodu. Mühendislik Fakültesi Matbaası, Denizli.
- Tönshoff, H. K., Denkena, B. and Hillmann-Apmann, H. (2003). Diamond tools for wire sawing metal components. *Key Engineering Materials*, **250**: 33-40.
- Tönshoff, H.K. and Hillmann-Apmann, H. (2002). Diamond tools for wire sawing metal components. *Diamond and Related Materials*, **11**: 742–748.
- Turchetta, S., Carrino, L. and Polini, W. (2004). CVD diamond insert in stone cutting. *Diamond and Related Materials Science*. **14**: 641–645.
- Uçun, İ. ve Taşgetiren, S. (2005). Mermer Kesme Disklerinin Sonlu Elemanlar Metodu İle Zorlanmış Titreşim Analizi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **1**: 25-31.
- Uçun İ. (2004). Mermer Kesme Disklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilme ve Titreşim Analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Uçun İ. (2009), Doğal Taş Sanayinde Kullanılan Elmas Soketlerin Kesme Performansı ve Hasar Analizi Çerçevesinde İncelenmesi. Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

- Ucun, İ., Aslantaş, K. ve Büyüksağış, İ.S. (2008). Kayaç Kesme İşleminde Kullanılan Elmas Soketli Kesici Diskin Kesme Performansının İncelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **3**: 33-40.
- Ucun, İ., Aslantaş, K. ve Büyüksağış, İ.S. (2009). Elmas Kesici Disklerdeki Kesme Sıcaklığının Belirlenmesi İçin Yeni Bir Ölçüm Sisteminin Tasarım ve İmalatı. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 13-15 Mayıs.
- Ucun, İ., Aslantaş, K., Büyüksağış, İ. S. ve Taşgetiren, S. (2007). Üzerinde Delik Bulunan Kesici Diskin Sonlu Elemanlar Metodu İle Gerilme Analizi. 8. Uluslararası Kırılma Konferansı, İstanbul, 7 – 9 Kasım.
- Ucun, İ., Büyüksağış İ.S. ve Aslantaş, K. (2009). Mermer Kesme İşleminde Bor Yağı Katkılı Soğutma Sıvısının Disk Performansı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24-3: 435-441.
- Ucun, İ. ve Büyüksağış, İ.S. (2009). Elmas Soket Aşınmasının Belirlenmesinde Lazer Ölçüm Sisteminin Kullanılması. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 13-15 Mayıs.
- Ucun, İ., Gayretli A. ve Büyüksağış İ.S. (2006), Mermer Endüstrisi İçin Düşük Maliyetli ve Yüksek Performanslı Yeni Bir Kesici Elmas Soket Tasarımı. 12. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, Kuşadası, 05-08 Eylül.
- Uğuz, A. (1996). Kırılma Mekanikğine Giriş. Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa.
- Viafara, C.C., Castro, M.I., Velez, J.M. and Toro, A. (2005). Unlubricated sliding wear of pearlitic and bainitic steels. *Wear*, **259**: 405-411.
- Xu, X.P. and Li, Y. (2003). The effects of swarf in the diamond sawing of granite. *Key Engineering Materials*, **250**: 187-193.
- Xu, X., Li, Y. and Yu, Y. (2003). Force ratio in the circular sawing of granites with a diamond segmented blade. *Journal of Materials Processing Technology*, **139**: 281–285.
- Yalçın, B., Ucun İ.ve Kuru M. (2007). Mermer Kesme Testerelerinde Oluşan Kesme Kuvvetinin Bulanık Mantık (BM) Yöntemiyle Modellenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **22-2**: 329-336.
- Zeren M. (1999), Elmas Kesici Takımlarda Mikroyapısal Karakterizasyon Üzerinden Özelliklerin Optimizasyonu. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

## 7.1 İnternet Kaynakları

- 1- Franc2dL, "Finite element code user's manual",  
<http://www.cfg.cornell.edu/education/education.htm> ,18.10.2014

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa İsmet ERSÖZ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Çumra 14.11.1984  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0272 228 12 55-10338/miersoz@aku.edu.tr

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise	: Endüstri Meslek Lisesi	2001
Ön Lisans	: Tarım Alet ve Makinaları	2004
Lisans	: Talaşlı Üretim Öğretmenliği	2010
Lisans	: Makine Mühendisliği	2014

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

İyiçora Dişli Ltd. Şti.	2004
Naim Göncü Makine Sanayi	2009
Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2010-