

**DOĞAL TAŞLAR İÇİN ELMAS LAMALI
MODEL MAKİNE
TASARIMI, İMALATI VE PERFORMANS ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Said EKEN

DANIŞMAN

Prof. Dr. İsmail Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAYIS, 2013

Bu tez çalışması 110M559 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOĞAL TAŞLAR İÇİN ELMAS LAMALI MODEL MAKİNE
TASARIMI, İMALATI VE PERFORMANS ANALİZİ

Muhammed Said EKEN

DANIŞMAN

Prof. Dr. İsmail Sedat BÜYÜKSAGİŞ

ANABİLİM DALI

MAYIS, 2013

TEZ ONAY SAYFASI

Muhammed Said EKEN tarafından hazırlanan “Doğal Taşlar için Elmas Lamalı Model Makine Tasarımı, İmalatı ve Performans Analizi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca/...../..... 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 :Prof. Dr. İsmail Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

Başkan	: Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ Afyon Kocatepe Üniversitesi - Teknoloji Fakültesi,	İmza
Üye	:Prof. Dr. İsmail Sedat BÜYÜKSAĞIŞ Afyon Kocatepe Üniversitesi - Mühendislik Fakültesi,	İmza
Üye	:Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN Afyon Kocatepe Üniversitesi - Teknik Eğitim Fakültesi,	İmza

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

.....
Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- 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.

10/07/2013

İmza

Muhammed Said EKEN

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**DOĞAL TAŞLAR İÇİN ELMAS LAMALI MODEL MAKİNE TASARIMI,
İMALATI VE PERFORMANS ANALİZİ**

Muhammed Said EKEN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İsmail Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

Elmas soketli lamalı blok kesme makineleri (katrak) doğal taş bloklarını levhalar halinde kesmek için kullanılmaktadır. Elmas soketlerin kesme performansını belirlemek için aşınma, enerji tüketimi ve kesme kuvvetlerinin bilinmesi gerekir. Endüstride kullanılan katrak makineleri oldukça büyük boyutlarda olup, bunların kesme performanslarını hassas bir şekilde belirlemek oldukça zordur.

Bu tez çalışmasında, doğal taşları kesmek için prototip bir elmas lamalı mermer blok kesme makinesinin tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. 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.

Sonuçta, endüstriyel boyutlu katrak makineleri ile çalışma koşulları ve soket seçimi testleri yerine, bu amaçla imalatı yapılan laboratuvar ölçekli prototip bir makine ile kesme performans deneyleri daha ucuza ve daha hassas şekilde yapılabilmektedir.

2013, x + 53 sayfa

Anahtar Kelimeler: Katrak makinesi, Elmas soket, Çelik lama, Makine tasarım ve imalatı, Elmas soket aşınması.

ABSTRACT
M.Sc Thesis

DESIGNING, MANUFACTURING AND PERFORMANCE ANALYSIS OF MODEL
BLOCK CUTTING MACHINE WITH DIAMOND BLADE FOR
NATURAL STONES

Muhammed Said EKEN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İsmail Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

The gangsaw machines are used for cutting of natural stones in the form of slabs. It requires to know wear, energy consumption and cutting forces cutting in order to determine the performance of diamond segments. The industrial gangsaw machines are so huge that it is difficult to indicate the cutting performance of these machines sensitively.

In this thesis; a prototype monolama machine with diamond segmented was designed and manufactured for cutting of small size natural stone blocks. Then, cutting experiments were realized under different cutting conditions for the determination of cutting performance of this machine. In these experiments, power consumption, cutting forces, specific energy, cutting temperature and specific wear were investigated using single type diamond segments and three different type natural stone.

In condusion, the cutting performance experiments were realized in a cheaper and more sensitive way with prototype machine which is laboratory scale in stead of determination test to cutting conditions and selection of segments of industrial gangsaw machines.

2013, x + 53 pages

Key Words: Gang saw, Diamond segment, Steel blade, Machine design-manufacturing, Diamond Segment wear.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusunun belirlenmesi, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Prof. Dr. İsmail Sedat BÜYÜKSAĞIŞ'e, araştırma ve yorumların yazımı süresince yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN, Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ, Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN'a, deney setinin otomasyon sisteminin kurulması aşamasında büyük katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. S. Mahmut ÇINAR ve Öğr. Grv. Mustafa NARTKAYA'ya, içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerde kullanılan elmas soketlerin üretilmesinde katkıda bulunan HARTEK A.Ş.'ne, model makinenin tasarım ve imalatındaki katkılarından dolayı da GÜRMAŞ A.Ş.'ne, çalışmamız süresince her türlü maddi imkânı sağlayan TUBİTAK'a da teşekkür ederim.

Benim bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan değerli aileme de içten şükranlarımı sunarım.

Muhammed Said EKEN
AFYONKARAHİSAR, 2013

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
3. GENEL BİLGİLER.....	6
3.1 Doğal Taş Endüstrisinde Kullanılan Kesici Takımlar.....	6
3.1.1 Elmas Soketli Dairesel Testerelele Kesme	6
3.1.2 Elmas Boncuklu Tellerle Kesme	8
3.1.3 Elmas Soketli Lamalarla Kesme	9
3.2 Elmas Soketli Lamalarla Kesme Mekanizması.....	10
3.2.1 Elmas Soketli Lamaların Üzerine Etki Eden Kuvvetler	10
3.2.2 Bir Elmas Tanecik Üzerine Etki Eden Kuvvetler	11
3.2.3 Elmas Soketli Lamalarda Spesifik Enerjinin Hesaplanması.....	11
3.2.4 Elmas Soketli Lamalarda Spesifik Aşınma Hesaplanması	12
4. MATERYAL VE METOT	13
4.1 Makinenin Tasarımı ve İmalatı	13
4.2 Kesme Kuvvetlerinin Ölçümünde Kullanılan Cihazlar	19
4.3 Aşınma Deney Düzenegi.....	21
4.4 Sıcaklık Ölçüm Düzenegi.....	23
4.5 Deney Numunelerinin Fiziko-Mekanik ve Kimyasal Özellikleri	25
5. BULGULAR	27
5.1 Varyasyon Deneyleri.....	27
5.1.1 Güç Tüketiminin Ölçülmesi.....	27
5.1.2 Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi.....	31
5.1.3 Spesifik Enerjinin Belirlenmesi	35
5.1.4 Spesifik Aşınmasının Belirlenmesi.....	36

5.2 Soğutma Sıvısı Miktarının Kesme Performansına Etkisi.....	38
5.2.1 Güç Tüketiminin Ölçülmesi.....	38
5.2.2 Kesme Kuvvetlerin Ölçülmesi.....	39
5.2.3 Spesifik Enerjinin Belirlenmesi	40
5.2.4 Spesifik Aşınmanın Belirlenmesi	41
5.3 Elmas Soket Sıcaklığının Belirlenmesi	41
5.3.1 Suyun Elmas Soket Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi.....	42
5.3.2 Kuru Kesme Koşullarının İncelenmesi.....	42
5.4 Elmas Soket Matriksinin Özelliği	45
5.5 Elmas Soket Aşınmalarının SEM İncelemeleri.....	46
6. TARTIŞMA ve SONUÇ	49
7. KAYNAKLAR.....	51
7.1 İnternet Kaynakları.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	53

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A_n	Temas bölgesindeki elmas tanecik sayısı (adet)
F_k	Kesme kuvveti (N)
F_x	Yatay kuvvet (N)
F_y	Düşey kuvvet (N)
F_z	Yanal kuvvet (N)
L	Soket uzunluğu (mm)
b	Elmas soket genişliği (mm)
H_f	Bir strok hareketi sonucu düşey iniş mesafeleri (mm)
L_c	Kesme bölgesinin temas uzunluğu (mm)
L_k	Soketler arasındaki boşluk mesafesi (mm)
P	Güç tüketimi (W)
Q_w	Birim zamanda kesilen doğal taş miktarı (cm^2/dk)
V_c	Kesme hızı (m/s)
V_f	Besleme hızı (cm/h)
L_1	Lama toplam uzunluğu
L_2	Soket uzunluğu (genelde 20 mm)
L_3	Bölme (soket sayısı parametrelere göre belirlenir)
L_4	Toplam soket uzunluğu
T	Soket kalınlığı
H	Soket yüksekliği
S	Yan fazlalık
F	Gövde yüksekliği
E	Gövde kalınlığı
G	Kırlangıç genişliği
Y	Toplam kırlangıç ve gövde kalınlığı
V	Kırlangıç açısı 60°

Kısaltmalar

SE	Spesifik enerji (Nm/mm^3)
SW	Spesifik aşınma (mm/m^2)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Kesici lamalara etki eden kuvvetler.....	10
Şekil 3.2 Bir elmas tanecik üzerine etki eden kuvvetler (Ucun 2009'dan düzenlenmiştir).	11
Şekil 4.1 Tasarımı yapılmış bilgisayar kontrollü katraş makinesi.....	14
Şekil 4.2 Makinenin kesme mekanizmasının tasarımı (mm).	15
Şekil 4.3 Makine tablasının tasarımı (mm).	16
Şekil 4.4 Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan deneysel düzeneğin şematik görünümü.	24
Şekil 5.1 Kesme hızına bağı olarak elde edilen güç tüketim değerleri.	28
Şekil 5.2 Kesme hızına bağı olarak güç tüketimi.	29
Şekil 5.3 P değerinin V_c ve V_f 'ye bağı değişimi, a) Elazığ vişne, b) Salem Gold, c) Crema Diva	30
Şekil 5.4 F_x değerinin V_c ve V_f 'ye bağı değişimi, a) Elazığ vişne, b) Salem Gold, c) Crema Diva	32
Şekil 5.5 F_y değerinin V_c ve V_f 'ye bağı değişimi, a) Elazığ vişne, b) Salem Gold, c) Crema Diva	33
Şekil 5.6 F_k değerinin V_c ve V_f 'ye bağı değişimi, a) Elazığ vişne, b) Salem Gold, c) Crema Diva.	34
Şekil 5.7 SE değerinin V_c ve V_f 'ye bağı değişimi, a) Elazığ vişne, b) Salem Gold, c) Crema Diva.	36
Şekil 5.8 SW değerinin V_c ve V_f 'ye bağı değişimi, a) Elazığ vişne, b) Salem Gold, c) Crema Diva	37
Şekil 5.9 Salem Gold doğal taşında P değerinin soğutma suyu miktarına bağı değişimi.....	38
Şekil 5.10 Salem Gold doğal taşının soğutma suyu miktarına bağı F kuvvetlerinin değişim değerleri.....	40
Şekil 5.11 Salem Gold doğal taşının soğutma suyu miktarına bağı SE değişim değerleri.	40

Şekil 5.12 Salem Gold doğal taşının soğutma suyu miktarına bağlı SE değişim değerleri.	41
Şekil 5.13 Salem Gold doğal taşının sulu kesmede soket yüzeyinde oluşan sıcaklığın V_f ve V_c 'ye bağlı değişimi.	42
Şekil 5.14 Salem Gold doğal taşında kuru kesmede soket yüzeyinde oluşan sıcaklığın V_f ve V_c 'ye bağlı değişimi.	43
Şekil 5.15 Salem Gold taşının V_f için değişik V_c 'lerdeki sıcaklık değişimleri.....	44
Şekil 5.16 Elmas soket matriksinde EDX analizi yapılan alanın SEM görüntüsü.....	45
Şekil 5.17 Elmas soket matriksine yapılan EDX analiz.....	45
Şekil 5.18 Matriks aşınmaları ve elmas taneciklerde meydana gelen kırılmalar	47
Şekil 5.19 Elmas soket matriks üzerinde meydana gelen abrasiv aşınma	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Bilgisayar kontrollü katrak makinesini oluşturan parça listesi.....	18
Çizelge 4.2 Bilgisayar kontrollü katrak makinesini oluşturan parça listesi.....	21
Çizelge 4.3 Doğal taşların kimyasal özellikleri.....	26
Çizelge 4.4 Doğal taşların fiziko-mekanik ve petrografik özellikleri.....	26
Çizelge 5.1 Elmas soket matriksine yapılan EDX analiz sonuçları.....	46

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Dört sütunlu blok kesme makinesi (İnt. Kyn. 1)	6
Resim 3.2 İki sütunlu blok kesme makinesi (İnt. Kyn 2)	7
Resim 3.3 Blok kesme işleminde kullanılan elmas soketli dairesel testereleler (İnt. Kyn 3).....	7
Resim 3.4 Elmas tel (İnt. Kyn 4).	8
Resim 3.5 Tel kesme makinesi (İnt. Kyn 4).	8
Resim 3.6 Elmas soketli katrik makinesi.	9
Resim 3.7 Çelik lamalar ve geometrik özellikleri (İnt. Kyn 5).	10
Resim 4.1 Deneilerde kullanılacak model lama ve soketlerin görünüşü.	15
Resim 4.2 Bilgisayar kontrollü prototip katrik makinesi.	17
Resim 4.3 Bilgisayar kontrollü prototip katrik makinesini kontrol eden ara yüz programı.....	19
Resim 4.4 Kesme deneilerinde kullanılan enerji analizörü (İnt. Kyn 6).....	19
Resim 4.5 Kesme deneyinde kullanılan dinamometrenin tasarımı (mm) ve imalatı.	20
Resim 4.6 Kesme deneilerinde kullanılan indikatör (İnt. Kyn 7).	20
Resim 4.7 Deneilerde kullanılan elmas soket aşınma cihazı.	21
Resim 4.8 Aşınma cihazının CNC programı ara yüzü.....	22
Resim 4.9 Aşınmaların ölçülmesinde kullanılan lazer sensör (İnt. Kyn 8).	23
Resim 4.10 Lazer cihazında kullanılan programın ara yüzü.	23
Resim 4.11 Termokupl bağlanmış elmas soketli katrik laması ve ADAMS Kart.	24
Resim 4.12 Deneilerde kullanılan doğal taşların kesildikten sonraki görüntüsü (birim mm). ..	25
Resim 4.13 Deneilerde kullanılan doğal taşların görüntüsü a) Elazığ vişne, b) Salem gold c) Crema diva.	25

1. GİRİŞ

Dünya doğal taş blok üretim miktarı yaklaşık 100 milyon ton/yıl (Montani, 2011) olup, bunun yaklaşık 10 milyon tonu ülkemizde üretilmektedir ve ülkemiz önemli bir karbonatik kökenli doğal taş üretici ve ihracatçısıdır. Söz konusu doğal taş bloklar elmaslı kesicilerle kesilerek levha ve plaka haline getirilmektedir. Tüm kesme işlemleri sonucu elmaslı kesicilerden kaynaklı yaklaşık % 35-50 oranında talaş oluşumu meydana gelmekte ve gerek hammadde kaybı olarak, gerekse çevreye atık olarak atılması ekonomik kayba neden olmaktadır.

Elmaslı kesme teknolojisini kullanan blok kesme makineleri; lamalı kesiciler, dairesel testereli blok kesme makineleri ve elmas telli blok kesicilerdir. Blok kesme makineleri arasında katrik makineleri yaklaşık olarak % 40-50 oranında endüstride kullanılmaktadır. Elmas lamalı kesiciler blok kesimlerinde ise levha kalınlığına bağlı olarak yaklaşık % 35-50 oranında talaş oluşumu meydana gelmektedir. Bunun sonucunda ise lamalı kesiciler dünyada yıllık yaklaşık 10 ile 25 milyon ton arasında, ülkemizde ise 1 ile 2,5 milyon ton doğal taşın hem hammadde kaybına hem de çevreye atık olarak zarar vermesine neden olmaktadır.

Bu çalışmada, doğal taş bloklarından levha elde edilmesinde kullanılan lamalı kesme makinelerinin daha yüksek verimlilikle çalıştırılabilmesi için kesme performansları deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Çalışma aşağıdaki kısımları kapsamaktadır;

- 1) Karbonatik kökenli doğal taş gruplarına (hakiki mermerler, kireçtaşları, travertenler) uygun, endüstriyel uygulamalara yönelik bir prototip katrik makinesi modeli oluşturulması,
- 2) Kesme parametrelerinin doğal taşların fiziksel, fiziko-mekanik ve mineralojik özelliklerine göre belirlenmesi,
- 3) Üç farklı doğal taş grubunda varyasyon deneylerinin yapılarak; güç tüketimi, kesme kuvvetleri, spesifik enerji ve spesifik aşınma değerleri ile optimum kesme koşullarının belirlenmesi,

- 4) Salem Gold doğal taşında soğutma sıvısı miktarının kesme deneyleri üzerindeki etkilerinin gözlenmesi, tek tip elmas kesici ile farklı soğutma sıvısı miktarlarında kesme performans deneyleri yapılması, güç tüketimi, kesme kuvvetleri, spesifik enerji ve spesifik aşınmaların belirlenmesi,
- 5) Son olarak, kesme esnasında elmas soket yüzeyine etki eden kesme sıcaklığı deneysel olarak belirlenmesi ve bunun için yeni bir deney düzeneği tasarlanarak ve hem sulu hem de kuru kesme koşullarındaki kesme sıcaklığı belirlenmesidir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Mermer ve doğal taş kesme ve işleme teknolojileri üzerine yapılan uluslar arası çalışmalar özellikle son 10-15 yıldır artış göstermiştir. Bu çalışmalar incelendiğinde daha çok dairesel testereleli blok kesme makinelerinin optimum çalışma koşullarının belirlenmesine, uygun kesici seçimine, daha az enerji ve yüksek kesme verimliliğiyle üretimin arttırılmasına yönelik yayınlar olduğu göze çarpmaktadır. Ancak, elmas lamalı blok kesme makineleri üzerine bazı doktora tezleri ve makaleler bulunmakla beraber, diğer mermer kesme makinelerine oranla çok fazla bilimsel araştırma yapılmadığı görülmektedir.

Ülkemizde elmas lamalı blok kesme makineleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde ise Büyüksağış (1998) tarafından elmas lamalı blok kesme makinelerinin mekanik yapıları tanıtılmış, çalışma parametreleri, elmas soketlerin ve çelik lamaların özellikleri ile optimum çalışmaları için kullanma koşulları ve teknolojik özellikleri ayrıntılı olarak belirlenmiştir. Ayrıca, yine Büyüksağış (2003) tarafından özellikle hem granitlerin kesiminde kullanılan kumlu kataraklar hem de elmas lamalı kataraklar incelenmiş, kesici metal granüllerin ve elmas soketlerin malzemeleri tanıtılmış ve üretim süreçlerinden bahsedilmiştir. Bayram vd. (2003) tarafından mermerler üzerinde endüstriyel bir katarak makinesinde soket aşınması ile kesme hızı ve doğal taşların özellikleri arasında ilişkiler araştırılmıştır. Köse ve Onargan (1997) ile Kulaksız (2007) tarafından da elmas soketli lamalı blok kesme makinelerinin tanıtım ve kullanım koşullarına dair bilgiler verildiği görülmektedir. Engin ve Özkan (2008) ise elmas soketli lamalı blok kesme işleminde enerji tüketimini etkileyen parametreleri incelemiş, kesme hızının enerji tüketimi üzerine etkilerini tanımlamış ve üretim hızı ile birim kesme alanı için kullanılan enerji arasındaki ilişkiyi ortaya koymaya çalışmıştır. Ayrıca, bu çalışmada elmas soketli dairesel testerelele ile elmas soketli lamalı kesiciler enerji tüketimleri, birim zamanda kesme miktarları, blok verimlilikleri açısından karşılaştırma yapılarak elmas soketli lamalı kesicilerin daha avantajlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Konstanty (1991) ise elmas soketli lamalı kesicilerin doğal taşla etkileşimi ve talaş oluşum süreci hakkında detaylı bilgiler vermiştir. Kesim sırasında oluşan plastik

deformasyonunu (kesme) tanımlamış, elmas soket içindeki elmas tanelerinin aynı seviyede dizildiği varsayımıyla kesme tüm soket boyunca aynı olduğunu kabul etmiştir. Ayrıca, testere sistemiyle kesim işleminin kinematığı ile ilgili çalışmalar yapmış, testerenin hareketiyle ilgili bazı parametreleri açıklamıştır. Konstanty (2003), kayacın ince, elmas soketli lamalı kesicilerle kesilmesinde, soketlerin tek sıra, aynı genişlikte ve yüksekliğe sahip eşit aralıkla dizildiğini kabul etmiştir. Testerenin yatay hızını kasnağın pozisyonuna bağlı olarak tanımlamış, ortalama testere hızını formülize etmiştir. Ayrıca, elmas soketli lamalarla kesme işleminde talaş oluşumu ve talaş boyutlarını inceleyerek, en büyük, ortalama ve eşdeğer talaş kalınlıklarının hesaplanmasına yönelik eşitlikler önermiştir.

Wang ve Clausen (2002) ise elmas soketli lamalı kesicilerle kesme işleminde talaş oluşum süreçlerini incelemişler ve Konstanty'nin (2003) varsayımın aksine elmas soket içindeki elmas tanelerinin aynı seviyede dizilemediğini ve kesme tüm soket boyunca aynı olmadığını şematik olarak göstermişlerdir. Elmas soketin kesim işlemi, farklı kesim derinliklerinde çok noktadan kesim yapan kesici şeklinde tanımlanmıştır. Elmasın çentik oluşturma, çentik gelişimi ve kesişimleri ile bunun sonucu kayacın parçalanması ortaya konulmuştur. Kesme plastik deformasyon ve kayacın kırılması; kesme derinliği, soğutma işlemi, kesici aletin şekli ve kayacın özelliklerine bağlı olarak değiştiği ifade edilmiştir. Ayrıca, lamaların ve elmas soketlerin hareket uzunluğu, hızı ve ivmesi üzerine de araştırmalar yapmışlar, belirli bir kesim süreci sonundaki yatay hızı ve ivmeyi ortaya koyan eşitlik geliştirmişlerdir.

Clausen ve Stangenberg (1998, 2000) de ise elmas soketli lamalı kesme makinesine benzeyen model bir deney seti oluşturmuşlardır. Bir planya tezgâhına 1 ve 3 adet elmas soket bulunan çelik lama monte ederek, bir dinamometrenin üzerine monte edilmiş mermer bloğun kesimini gerçekleştirmişlerdir. Bu model makinede, lama kesme işlemi esnasında yukarıdan aşağıya indirilirken mermer yerinde sabit durmaktadır. Normal bir katrik makinesinde elmas soketli bir lamanın bir strok hareketi sonucunda elmas soketlerin izlediği yol çizilerek en büyük ve ortalama talaş kalınlığının bununla ilintisi gösterilmiştir. Aynı şekilde tek ve üç elmas soketli lamalar içinde bu gösterimler

yapılmıştır. Kesim denemeleri sonucunda normal bir katrik makinesinin laması ile model makinede denenen tek ve üç soketli lamaların ortalama besleme (ilerleme) kuvvetleri (F_f) ve kesme kuvvetleri (F_c), bir strok hareketi sonucu düşey iniş mesafeleri (H_f) ile doğal taşla temas halindeki ortalama soket yüzey alanları (A_c) karşılaştırılmıştır. Sonuçta tek soketli lamanın normal bir katrik makinesinin lamasının temsilinde kuvvetler ve aşınmanın tanımlanmasında kullanılamayacağını, ancak 3 elmas soketli lama ile bunun kesme sürecini tanımlamanın mümkün olabileceğini ifade etmektedirler.

Wang ve Clausen (2003)'te ise daha önce oluşturdukları model makine üzerinde bilgisayar simülasyonu yaparak elmas soketli lamalı kesicilerin kesme süreçleri tanımlanmaya çalışılmıştır. Önce elmas soketli lamalı kesici makinelerin (katriklar) kesme prensipleri açıklanarak, kesme sürecine doğrudan etkisi olan elmas soket, kesilen doğal taş, kesme makinesinin etkin parametrelerine kısmen değinilmiştir. Endüstriyel bir elmas soketli lamalı kesme makinesi esas alınarak, 30 adet soketin bir kesme stroku esnasında aldığı yol gösterilmiştir. Elmas soketlerin kesme işleminde geçirdikleri aşınma evreleri tanımlanmıştır. Thassos (dolomitik kireçtaşı) ve JuraGelb (kireçtaşı) taşları üzerinde toplam üç ayrı soket çeşidi ile kesme deneyleri yapılarak soketlerdeki aşınma tiplerinin % dağılımları incelenmiştir. Teorik olarak birim alandaki elmas soket üzerindeki elmas tanelerinin sayıları modellenmiştir. Söz konusu soket çeşitleri için doğal taşla soketin temas alanları kesme süresince grafikte gösterilmiştir. Ayrıca, kesme işlemine dâhil olan elmas uçların sayısı kesme süresine göre grafikte verilerek, kesme süresince soket başına gelen kesme kuvvetleri ve ilerleme kuvvetleri değişimi gösterilmiştir.

3. GENEL BİLGİLER

3.1 Doğal Taş Endüstrisinde Kullanılan Kesici Takımlar

Doğal taşlar ocaklardan çıkarılıp günümüzde işlemden geçirilerek yaşantımızın birçok alanında kullanılmaktadır. Taşların kesimi esnasında kullanılan birden fazla kesici takım türü olup bunlar elmas soketli dairesel testereler, elmas boncuklu teller ve elmas soketli çelik lamalardır.

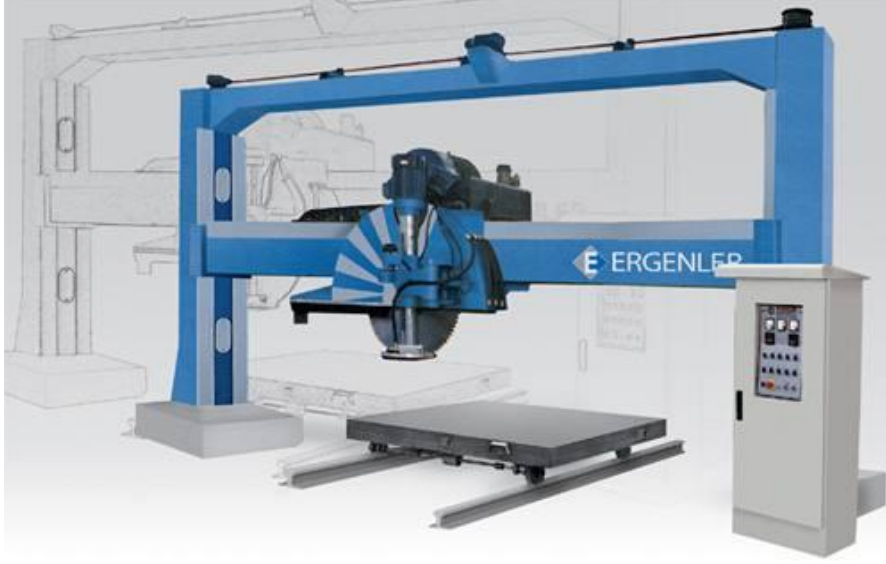
3.1.1 Elmas Soketli Dairesel Testerelerle Kesme

Maden ocaklarında blok halinde çıkartılan doğal taşlar, işlenmek için fabrikalara götürülmektedir. Dairesel testereli blok kesme makineleri büyük kütlelerdeki doğal taşların belirli boyutlara ayrılması için kullanılmaktadır. Dairesel testereli blok kesme makinesi endüstride iki ve dört sütunlu olmak üzere iki farklı blok kesme makinesi kullanılmaktadır. Dört sütunlu blok kesme makinesinde ileri-geri, sağa-sola ve yukarı-aşağı hareketleri elektrik motoru yardımıyla otomasyon sistemiyle kontrol edilmektedir (Ucun 2009). Resim 3.1’de dört sütunlu blok kesme makinesi görülmektedir.



Resim 3.1 Dört sütunlu blok kesme makinesi (İnt. Kyn. 1)

İki sütunlu blok kesme makinesinde ise, sadece testere başlığı sağa-sola ve yukarı-aşağı hareket etmektedir. Bloğun yerleştirildiği tabla ise ileri ve geri yardımıyla kesim işlemi yapılmaktadır. Resim 3.2’de iki sütunlu blok kesme makinesi görülmektedir.



Resim 3.2 İki sütunlu blok kesme makinesi (İnt. Kyn 2)

Doğal taşların kesimlerinde kullanılan farklı ölçülerde testere çapları bulunmaktadır. Blok kesimleri için genellikle 900-1700 mm çapında testere kullanılmaktadır. Blok kesimi sonrasında taşların parçalara ayrılmasında kullanılan testere çapları 300-600 mm arasında küçük testere kullanılmaktadır (Ucun 2009). Resim 3.3’te blok kesme ve ayırma işleminde kullanılan dairesel testere görülmektedir.



Resim 3.3 Blok kesme işleminde kullanılan elmas soketli dairesel testere (İnt. Kyn 3)

3.1.2 Elmas Boncuklu Tellerle Kesme

Doğal taşlar maden ocaklarından blok halinde çıkarılmakta en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Kalınlığı 1 mm olan, 7-8 adet ince çelik telin birbiri üzerine burulması ile çelik tel hazırlanır. Çelik telin üzerinde ise kesmeyi sağlayan elmas boncuklar monte edilmiştir. Her bir elmas boncuğun arasında ise yaylar, pullar ve sıkmacık bulunmaktadır (Resim 3.4). İki ucun birleştirilmesinde telin uçları bir araya getirilip, sıkmacığın presle birleştirilmesi sonucu tel sonsuz dönümlü hale getirilir (Büyüksağış 1998).



Resim 3.4 Elmas tel (İnt. Kyn 4).

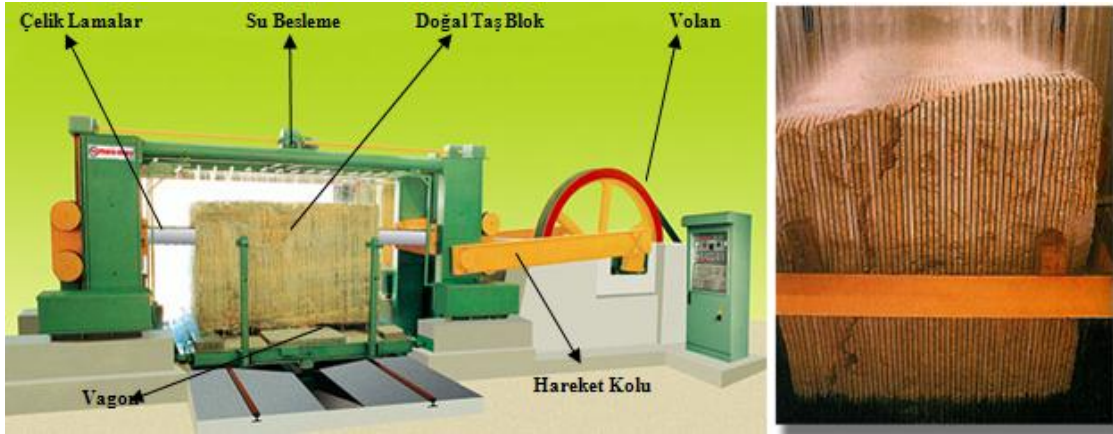
Elmas tel kesme ve sayalama (mini tel kesme) makineleri tel kesme için kullanılan makinelerdir. Elmas tel kesme makinelerinde kullanılan kesiciler çelik tel üzerine birbiri ardına sıralanmış elmas boncuklardır. Elmas tel kesme makinesi üzerinde motor, volan, gergi makaraları ve hareket motoru bulunmaktadır (Resim 3.5). Tel kesme makinesi iki adet ray üzerinde hareket etmektedir (Ucun 2009).



Resim 3.5 Tel kesme makinesi (İnt. Kyn 4).

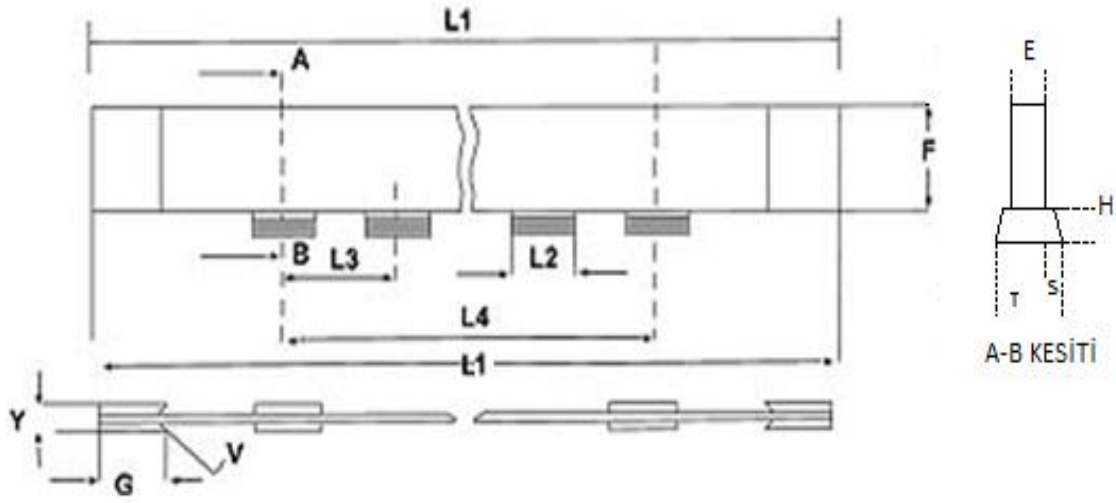
3.1.3 Elmas Soketli Lamalarla Kesme

Bu makineler ile genellikle daha büyük hacimdeki bloklar kesilmektedir. Resim 3.6’da doğal taş endüstrisinde kullanılan katrik makinesi gösterilmiştir. Bu endüstride kullanılan katrik makinelerinde büyük güce sahip bir elektrik motoru ve bu motora kayış-kasnak sistemi ile bağlanmış bir volan bulunmaktadır. Volanın üzerinde eksantrik olarak bağlanmış hareket kolu yer almaktadır. Hareket kolu da makineyi oluşturan gövdeye bağlanmaktadır. Gövde üzerine ise belirli mesafelerde yerleştirilmiş çok sayıda elmas lamalar bulunmakta ve asıl kesme işlemini lamalar sağlamaktadır. Volan üzerine eksantrik olarak bağlı olan hareket kolları aldığı dairesel hareketi doğrusal harekete dönüştürmektedir. Bu sayede ileri-geri hareket ederek kesme işlemini yapmaktadır. Makine üzerine 35 ile 120 arasında elmas lama monte edilmektedir. Bu lamaların kalınlığı 3,5 mm civarındadır. Çelik lamaların boyları standart olmayıp makineye göre değişmektedir. Bu lamalar sayesinde doğal taş bloklar kesilerek dilimlenmektedir.



Resim 3.6 Elmas soketli katrik makinesi.

Çelik lamalar genellikle 75Ni8 veya DIN 25CrMo4 malzemesinden yapılmaktadır ve üzerlerine belirli sayılarda elmas soketler bağlanmaktadır. Resim 3.7’de çelik lamalar ve geometrik özellikleri gösterilmiştir. Elmas soketler içerisine Co, Fe, WC, Sn, Cu gibi metal tozlarının karıştırılması ile elde edilen metal matrisli kompozit bir malzemedir. Kesilecek olan doğal taşın türüne bağlı olarak elmas soketin kompozisyonu ve özellikleri değişmektedir.

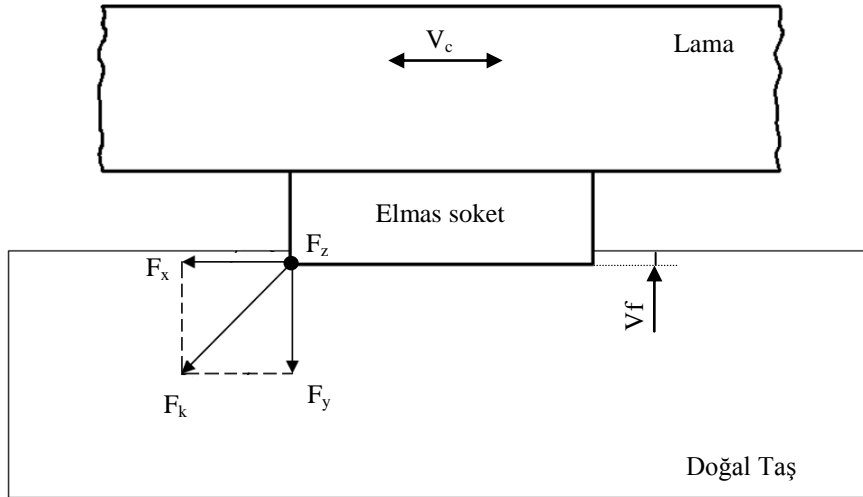


Resim 3.7 Çelik lamalar ve geometrik özellikleri

3.2 Elmas Soketli Lamalarla Kesme Mekanizması

3.2.1 Elmas Soketli Lamaların Üzerine Etki Eden Kuvvetler

Kesici lamalar ile kesme işlemi esnasında lama üzerine değişik kuvvetler etki etmektedir. Bu kuvvetler etkisinde lama zorlanmaktadır. Kesici lamalara etki eden kuvvetler Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Kesici lamalara etki eden kuvvetler.

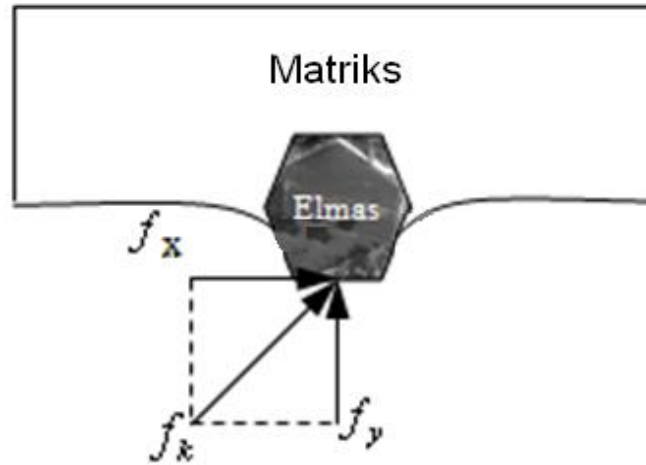
Bileşke kuvvet,

$$F_k = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (3.1)$$

şeklinde hesaplanır.

3.2.2 Bir Elmas Tanecik Üzerine Etki Eden Kuvvetler

Elmas kesici lamalar ile kesme işlemi yaparken elmas soket değişik kuvvetler tarafından zorlanmaktadır. Elmas soketlerde asıl kesme işlemi soket içersinde belirli sayılarda yerleştirilmiş elmas tanecikler yapmaktadır. Katrak makineleri ile kesmede bir elmas soket kesme işlemi yaparken kesme yönüne bağlı olarak değişik kuvvetlere maruz kalmaktadır. Şekil 3.2’de ise bir elmas taneciğinin tek yönlü kesme işlemi boyunca maruz kaldığı kuvvetler gösterilmiştir. Bu açıdan bir elmas tanecik üzerine gelen kuvvetlerin bilinmesi soketin tasarım ve optimizasyonu açısından oldukça önemlidir (Ucun 2009).



Şekil 3.2 Bir elmas tanecik üzerine etki eden kuvvetler (Ucun 2009’ dan düzenlenmiştir).

3.2.3 Elmas Soketli Lamalarda Spesifik Enerjinin Hesaplanması

Spesifik enerji (SE), birim zamanda birim hacmi kesmek için gerekli olan enerji miktarını ifade etmektedir. Denklem 3.2 ile birlikte SE (Nm/mm^3 veya J/mm^3),

$$SE = \frac{P}{Q_w} \quad (3.2)$$

olarak tanımlanır. Burada P tüketilen toplam enerji (Nm), Q_w birim zamanda kesilen doğal taş hacmidir (mm^3).

3.2.4 Elmas Soketli Lamalarda Spesifik Aşınma Hesaplanması

Aşınma; elmas soketlerin doğal taş üzerinde kesme sonucunda oluşan elmas soketlerdeki malzeme kaybıdır. Spesifik aşınma (SW) ise doğal taşın birim alanını kesme sonucunda elmas soket matrisinde oluşan toplam yükseklik kaybıdır ve aşağıda verildiği gibi

$$SW = \frac{\text{Toplam Soket Yüksekliği Kaybı}}{Q_w} \quad (\text{mm}/\text{m}^2) \quad (3.3)$$

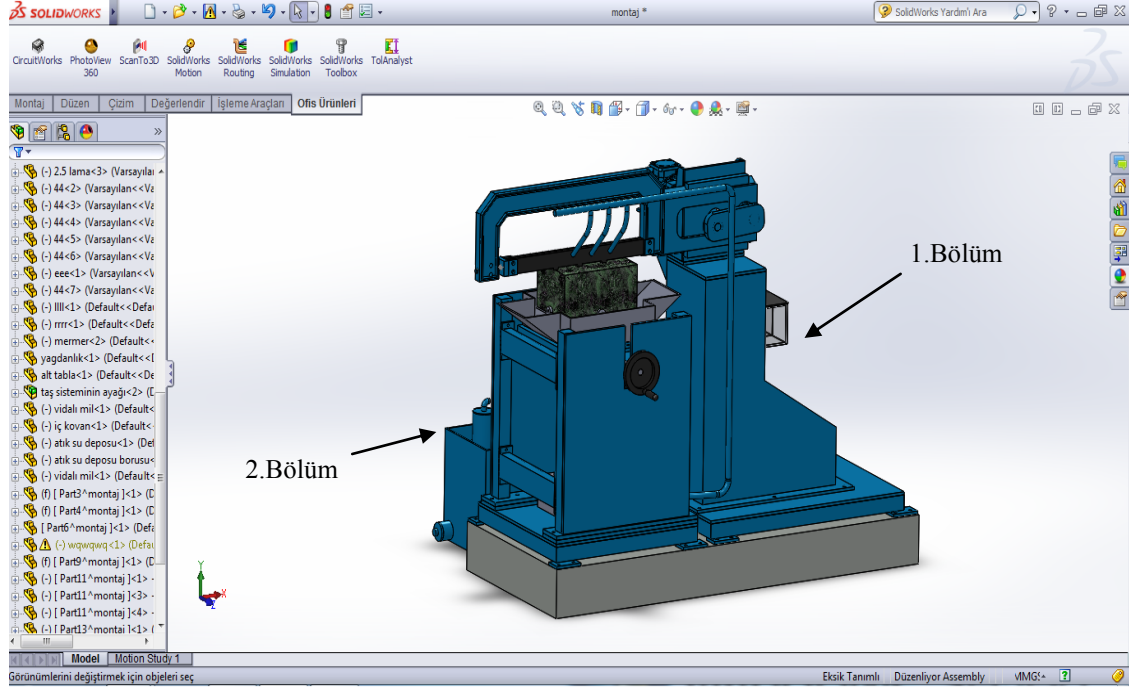
olarak hesaplanır.

4. MATERYAL VE METOT

Makineyi oluşturan bütün parçalar SolidWorks programının 2012 versiyonuyla tasarlanmıştır. Tasarım sürecinde makineyi oluşturan gövde ve bazı parçalar AISI 1020 çeliğinden seçilmiştir. AISI 1020 çeliği endüstride oldukça çok kullanılmaktadır. Makine üzerinde bulunan motorlar ve redüktörler makinenin kapasitesine ve çalışma parametrelerine bağlı olarak seçilmiş ve hazır olarak alınmıştır. Makede kullanılan rulman, cıvata, segman gibi makine elemanları standartlara uygun olarak belirlenmiştir. Makinenin imalatında ise freze, matkap, torna tezgâhı gibi talaşlı imalatta yer alan takım tezgâhları kullanılmıştır. İmalatı yapılan parçalar cıvatalı veya kaynaklı birleştirme yöntemleri ile birleştirilmiştir.

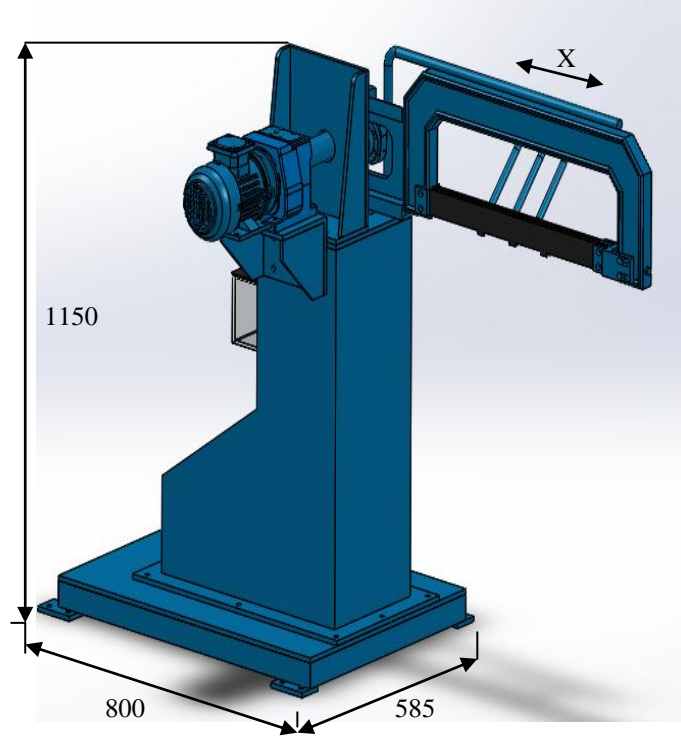
4.1 Makinenin Tasarımı ve İmalatı

İlk olarak, tasarımı düşünülen katrik makinesinin taslak çizimleri oluşturulmuştur. Daha sonra, prototip katrik makinesi SolidWorks programında üç boyutlu olarak tasarlanmıştır (Şekil 4.1). Makine iki bölüm olarak tasarlanmış olup, birinci bölümde, makinenin çalışma ve hareket mekanizması bulunmaktadır. İkinci bölümde ise, dinamometre ve doğal taş bloğunun yerleştirildiği makine tablası yer almaktadır. Bu iki bölümün ayrı olmasının sebebi, çalışma esnasında oluşacak titreşimlerden dinamometrenin etkilenmemesi ve iyi bir kesme ortamının oluşmasıdır. Tasarımdan sonra makinenin her parçası imalat için ölçülendirilmiş ve makinenin yaklaşık boyutları ortaya çıkmıştır. Lamanın kurs (strok) boyunun 100 mm olması hedeflenmiştir. Prototip katrik makinesinin çalışma parametrelerinin endüstriyel boyutlu katrik makinelerine uygun olarak tasarlanmıştır.

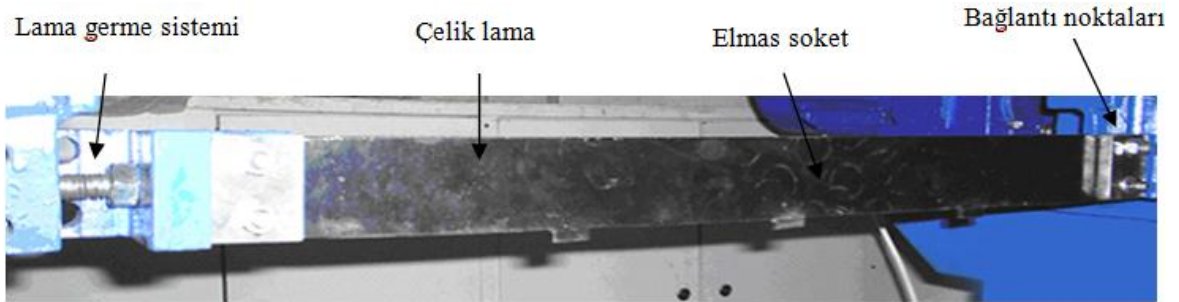


Şekil 4.1 Tasarımı yapılmış bilgisayar kontrollü katarak makinesi.

Prototip katarak makinesinin birinci bölümünde kolun ileri geri hareketi için 1,5 kW gücünde bir AC motor kullanılmıştır. Bu kolun hareketinde redüktör ve eksantrik kızıktan yararlanılmıştır. Kol, redüktör ve eksantrik kızıklar bir kolun üzerine yerleştirilmiştir. Makinenin birinci bölümünde yer alan kesme mekanizmasının tasarımı (Şekil 4.2)'de verilmiştir. Bu kızık sisteminin sürekli yağlanması için bir yağlama sistemi tasarlanmıştır. Bu yağlama sistemi kolonun arkasında yer almaktadır. Kesilecek doğal taş numunelerinin ölçülerinin 300 x 200 x 150 mm olmasından dolayı, lama boyunun 600 mm, genişliğinin 50 mm ve kalınlığının ise 3 mm olarak belirlenmiştir (Resim 4.1). Lama üzerine üç adet elmas soket oksijen kaynağı ile sabitlenmiştir. Katarak makinesinde kesilen talaşın ortamdaki uzaklaştırılması ve elmas soketlerde meydana gelen sıcaklığın önlenmesi için soğutucu olarak su kullanılması düşünülmüştür. Su, tasarlanan bir tanktan pompa vasıtasıyla kesme ortamına gönderilecektir. Su tankı, atık suyu dinlendirmek için üç kademeli olarak yapılmıştır. Son gözden alınan arıtılmış su pompa vasıtasıyla kesme ortamına yeniden gönderilmektedir.



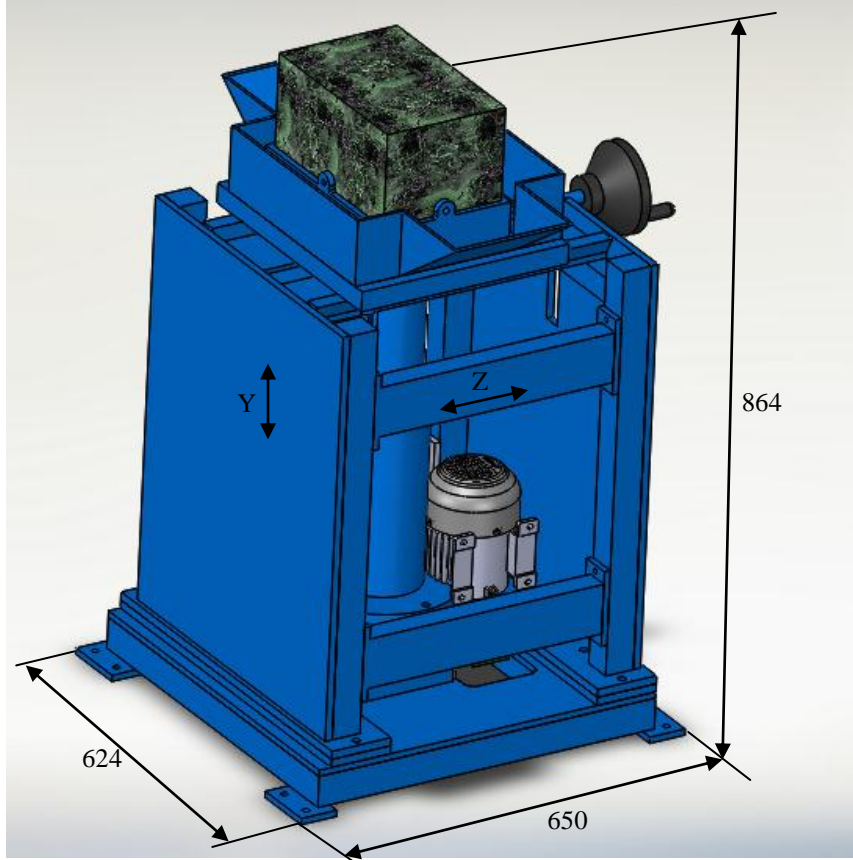
Şekil 4.2 Makinenin kesme mekanizmasının tasarımı (mm).



Resim 4.1 Deneylede kullanılacak model lama ve soketlerin görünüşü.

Makinenin ikinci bölümünde, iş parçası olarak doğal taşın ve dinamometrenin yerleştirildiği tabla yer almaktadır. Bu sistemde oldukça hassas bilyeli sonsuz mil ve kovanın içine yatak grubu yerleştirilmiştir. Bu yatak, ayağın üstüne konulan kovana monte edilerek, tablanın üzerine sağa-sola hareket edebilen bir kızak konulmuştur. Bu kızığın üzerine ise kesme esnasında oluşacak kuvvetleri (F_x , F_y , F_z) ölçmek için 200 x 100 x 80 mm boyutlarında bir dinamometre (ESİT) yerleştirilmiştir. Dinamometre bu makine için özel olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu dinamometrenin üzerine kesimi yapılacak doğal taş numunesi konulmuştur. Kolonun alt kısmına ise 0,37 kW

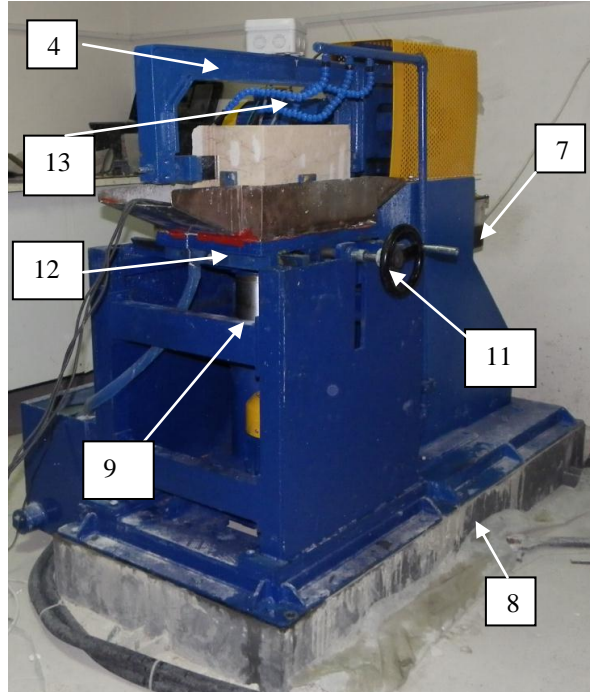
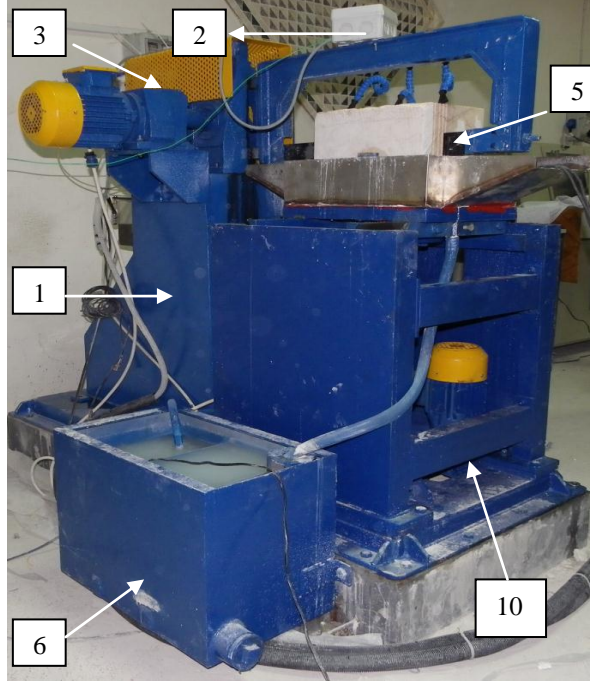
gücünde bir AC motor ve redüktör grubu yerleştirilmiş ve kolona hassas 5 hatveli vidalı mil grubunun yukarı aşağı (Y eksen) hareketi sağlanmıştır (Şekil 4.3). Tablanın Z eksenindeki hareketi elle (manuel) sağlanmaktadır.



Şekil 4.3 Makine tablasının tasarımı (mm).

Prototip katrik makinesinin bütün tasarım aşamaları bittikten sonra imalatı yapılmıştır. İmalatı yapılan bilgisayar kontrollü prototip katrik makinesi Resim 4.2’de görülmektedir. Makineyi oluşturan parçaların listesi Çizelge 4.1’de verilmiştir. Makinenin imalatı tasarım aşamasında olduğu gibi iki bölümde gerçekleştirilmiştir. Birinci bölümde, testere kolunun ileri geri yatay strok hareketinin hızı OMRON marka 1,5 kW’lık hız kontrol ünitesiyle sağlanmıştır. Ayrıca, beslenen suyun miktarının ayarlanabilmesi için 24V’luk bir küçük su pompası seçilmiş ve bir elektronik sürücü ile devri kontrol edilmiştir. İkinci kısımda ise, doğal taşın aşağı yukarı hareketinin hızı da OMRON marka 1,5 kW’lık hız kontrol ünitesiyle belirlenmiştir. Mermer bloğun yukarı

hareketinin anlık olarak ölçülebilmesi için çok hassas bir dijital cetvel seçilmiştir. Tasarımda olduğu gibi imalat aşamasında bazı sorunlarla karşılaşmıştır. Bu sorunları gidermek için imalat esnasında tasarıma yeniden dönülerek değişiklikler yapılmıştır.



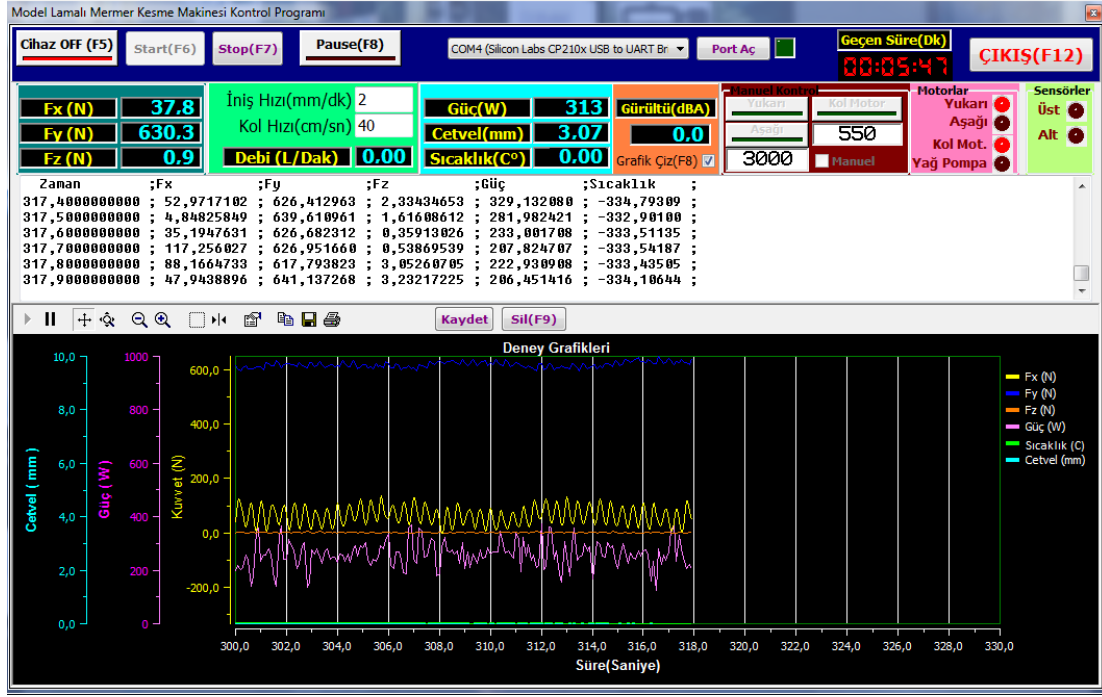
Resim 4.2 Bilgisayar kontrollü prototip katrik makinesi.

Çizelge 4.1 Bilgisayar kontrollü katraş makinesini oluşturan parça listesi.

Parça No	Parçanın Adı	Parça No	Parçanın Adı
1	Kolon	8	Beton temel
2	ADAMS kart	9	Kovan ve vidalı mil
3	Eksantrik kol, kızak ve elektrik motoru	10	Düşey hareket motoru ve redüktörü
4	Hareketli kol	11	Yatay kızak hareket kolu
5	Lama	12	Tabla, dinamometre ve kafes
6	Su deposu	13	Su besleme
7	Eksantrik kolu yağlama ünitesi		

Makinede kullanılan alt ayaklar, kalınlığı 10 mm olan çelik plakalardan oluşmaktadır. Bu plakalar kaynatılarak birleştirilmiştir. Katrak lamasının bağlandığı kol dövme yöntemiyle imal edilmiştir. Elmas soketli lamayı kolun üzerine bağlamak için bir aparat yapılmıştır.

Bütün elektrikli cihazların ve elektronik donanımın bilgisayar tarafından kontrol edilebilmesi için endüstriyel bir IO kartı seçilmiştir. Bu kart sayesinde elde edilen değerlerin bilgisayara aktarılması ve istenilen deney parametreleriyle de makinenin kontrol edilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen ara yüz yazılımı ile sistemin açılıp kapatılması, kesme parametrelerinin (besleme hızı, kesme hızı) ve makinenin kontrolü ile gereken diğer işlemler de yapılabilir. Ayrıca, sisteme montajı yapılan bazı cihazlar ile üç yönlü kesme kuvvetleri, titreşim, enerji tüketimi ve gürültü değerleri hassas olarak ölçülebilmektedir. Elde edilen bu değerler bilgisayara veri olarak kaydedilmektedir. Makineyi kumanda eden ve bazı verilerin toplanmasını sağlayan ara yüz programı Resim 4.3'te verilmiştir.



Resim 4.3 Bilgisayar kontrollü prototip katra makinesini kontrol eden ara yüz programı.

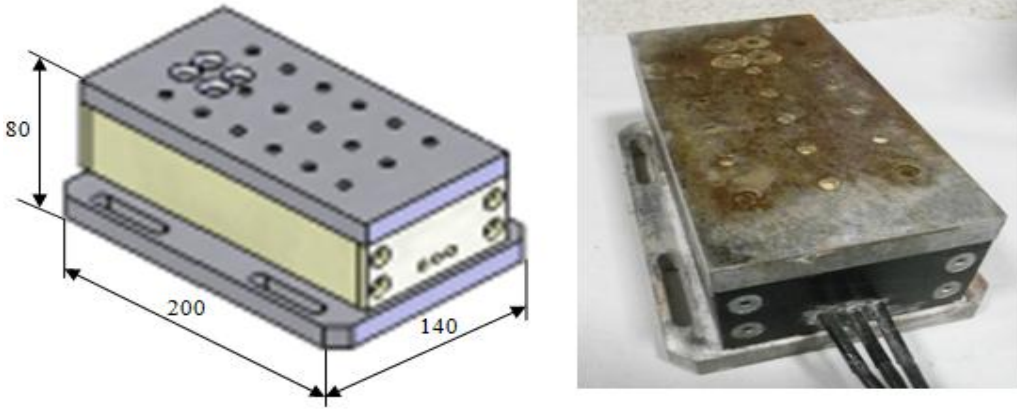
4.2 Kesme Kuvvetlerinin Ölçümünde Kullanılan Cihazlar

Enerji analizörü; kesme kolunu hareket ettiren motorunun elektrik enerjisi tüketimini saptamak için enerji besleme sistemine bağlanmış bir elektronik cihazdır. Lama motoru bir hız kontrol ünitesi (invertör) ile kontrol edilmektedir. Resim 4.4'te deneylerde kullanılan enerji analizörünün görünüşü verilmiştir.



Resim 4.4 Kesme deneylerinde kullanılan enerji analizörü (İnt. Kyn 5).

Makinenin doğal taşı kesme esnasında taş ile kesici arasında oluşan tepkisel kuvvetlerin ölçümü ESİT firması tarafından özel olarak tasarlanıp imal edilen bir adet üç boyutlu yük ölçer (dinamometre) ile gerçekleştirilmiştir. Dinamometrenin tasarımı ve imalatı bitmiş görünümü Resim 4.5'te verilmiştir.



Resim 4.5 Kesme deneyinde kullanılan dinamometrenin tasarımı (mm) ve imalatı.

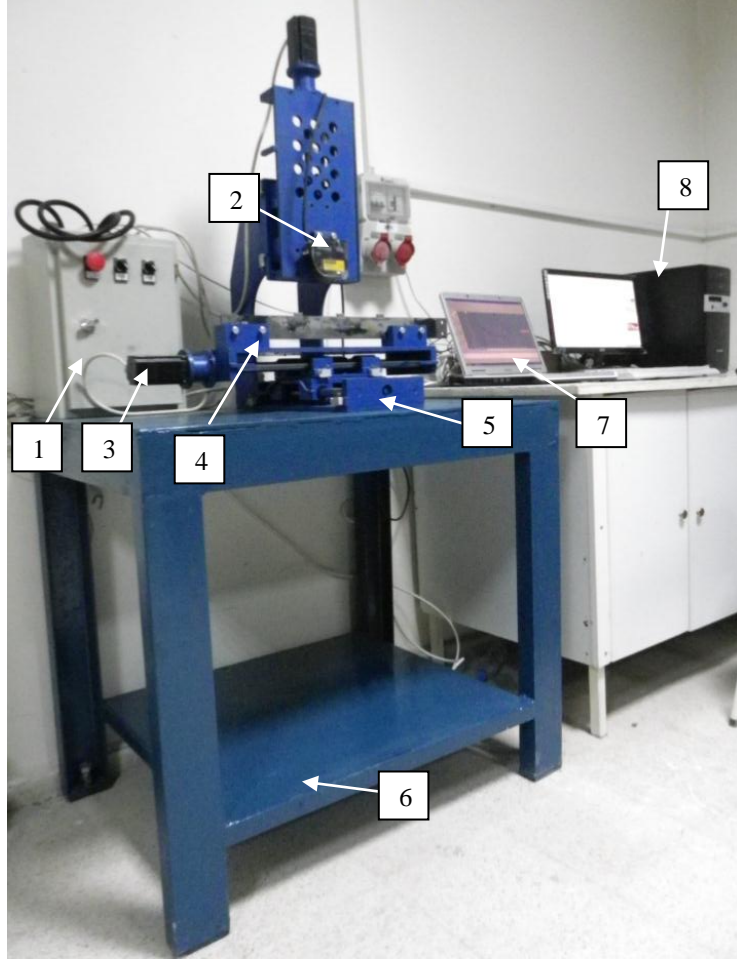
Doğal taşların kesimi esnasında kesme kuvvetlerinin görüntülenmesi için ESİT firmasının PWI-P modeli kuvvet göstergeleri (indikatör) kullanılmıştır. Bu göstergeler anlık gelen yüklere duyarlı, hızlı ve doğruluğu yüksek olan kuvvet ve basınçları ölçmek için kullanılır (Özbek 2008). Resim 4.6'da deneylerde kullanılan indikatörün görünüşü verilmiştir.



Resim 4.6 Kesme deneylerinde kullanılan indikatör (İnt. Kyn 6).

4.3 Aşınma Deney Düzeneği

Elmas soketlerin matriksinde oluşan yükseklik kayıplarının (aşınma) ölçülmesi amacıyla CNC olarak hareket edebilen bir aşınma ölçüm cihazı tasarlanıp imal edilmiştir (Resim 4.7).

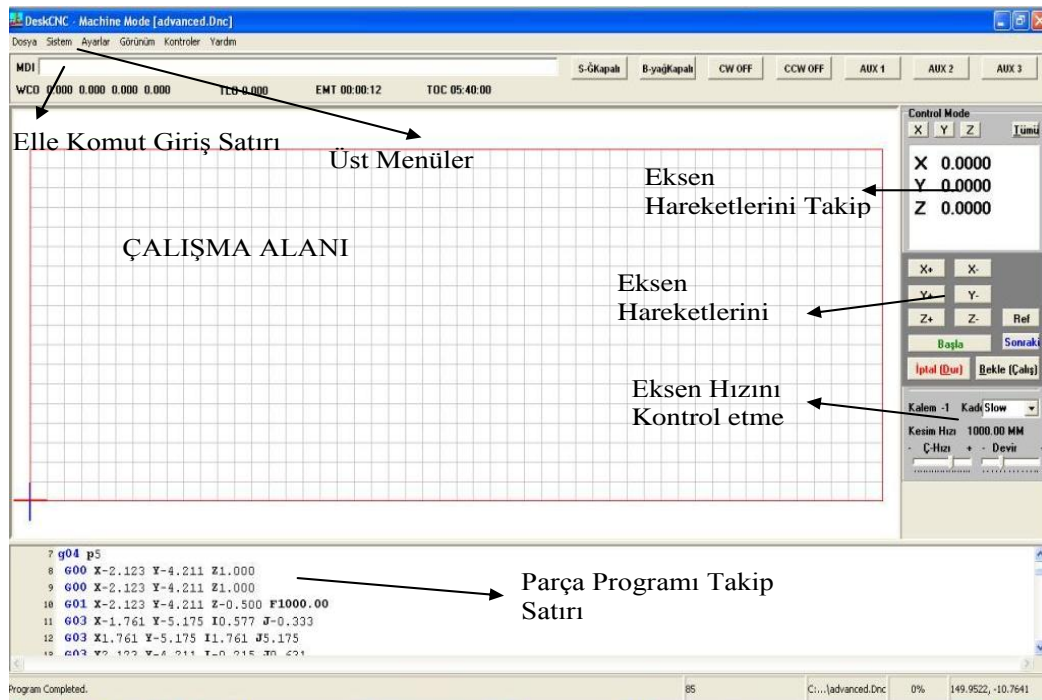


Resim 4.7 Deneylerde kullanılan elmas soket aşınma cihazı.

Çizelge 4.2 Bilgisayar kontrollü katrik makinesini oluşturan parça listesi.

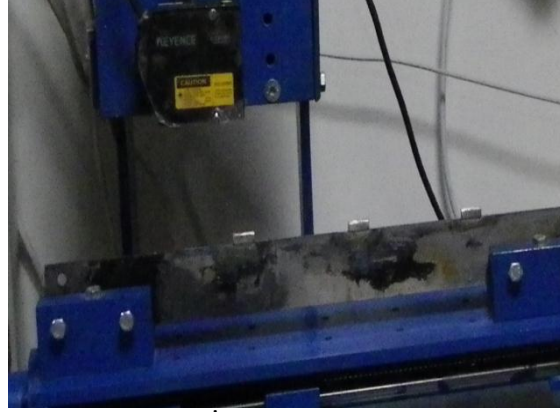
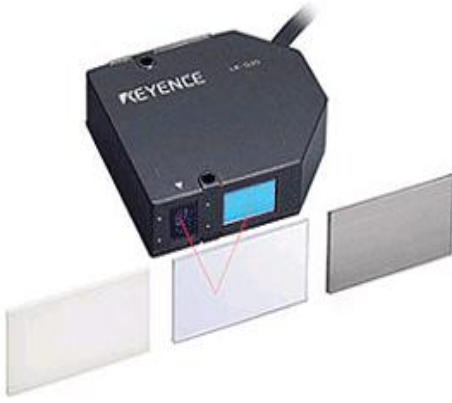
Parça No	Parçanın Adı	Parça No	Parçanın Adı
1	Aşınma cihazı panosu	5	Yatak sistemleri
2	Lazer	6	Aşınma cihazının altlığı
3	Step motor	7	Lazer sisteminin kontrolü
4	Laması bağlama düzeneği	8	Aşınma cihazının kontrolü

Program kontrol ünitesi ile uyumlu bir şekilde çalışmaktadır. Programın amacı, operatörün istekleri doğrultusunda G kod sistemine göre programı oluşturmaktır. Oluşturulan programlar yazılım programı yardımıyla bilgisayarların seri haberleşme girişleri (port) kullanılarak kontrollerdeki seri haberleşme portuna gönderilir. Bu programları yorumlayan kontroller sistemi harekete geçirerek makinenin çalışmasını sağlar. Program kullanımı kolay bir ara yüz programıdır. Program dilinin Türkçe olması ise, programın öğrenilmesini oldukça kolaylaştırmaktadır. Resim 4.8’de ara yüz programının ana ekranı görülmektedir.

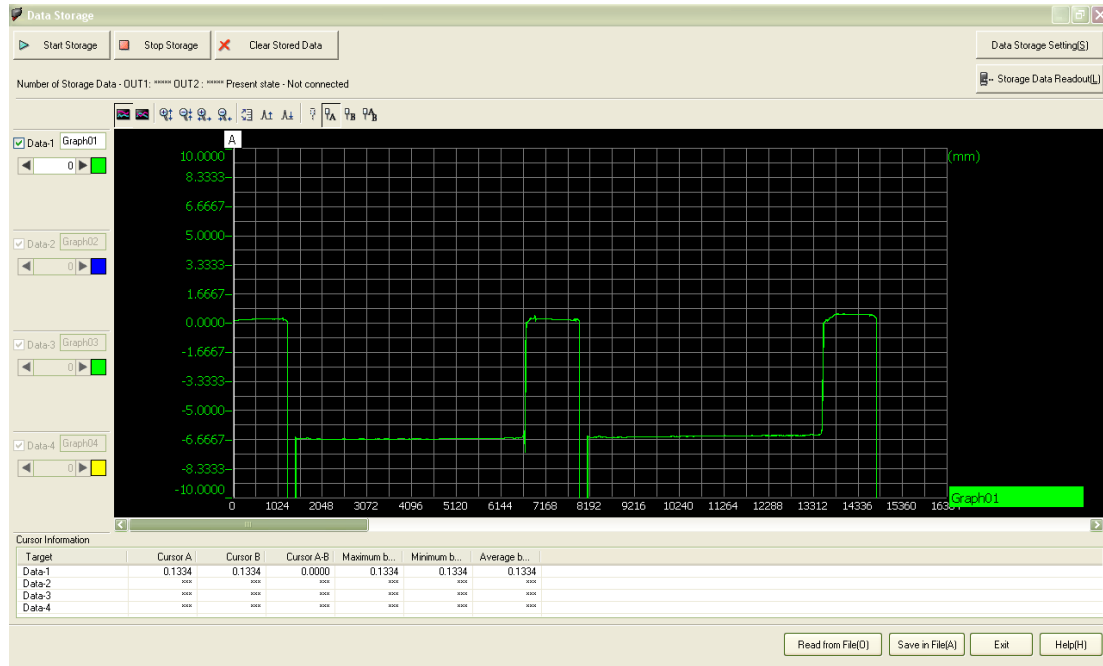


Resim 4.8 Aşınma cihazının CNC programı ara yüzü.

Elmas sokette meydana gelen aşınmaları belirlemek için KEYENCE Navigatör marka bir lazer ölçüm cihazı kullanılmıştır (Resim 4.9). Lazer cihazı saniyede 55.000 veri alma kapasitesine sahip olup, 0.2 µm kadar hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Deney öncesinde kesici lama Resim 4.7’de verilen düzeneğe yerleştirilerek, lazer ünitesi ile lama arasındaki mesafesi ölçülmektedir. Bu işlem lamanın sabit hızda ilerletilmesiyle yapılmıştır. Lazer ölçüm cihazı alınan verilerin işlendiği yazılımın ara yüz görüntüsü Resim 4.10’da verilmiştir.



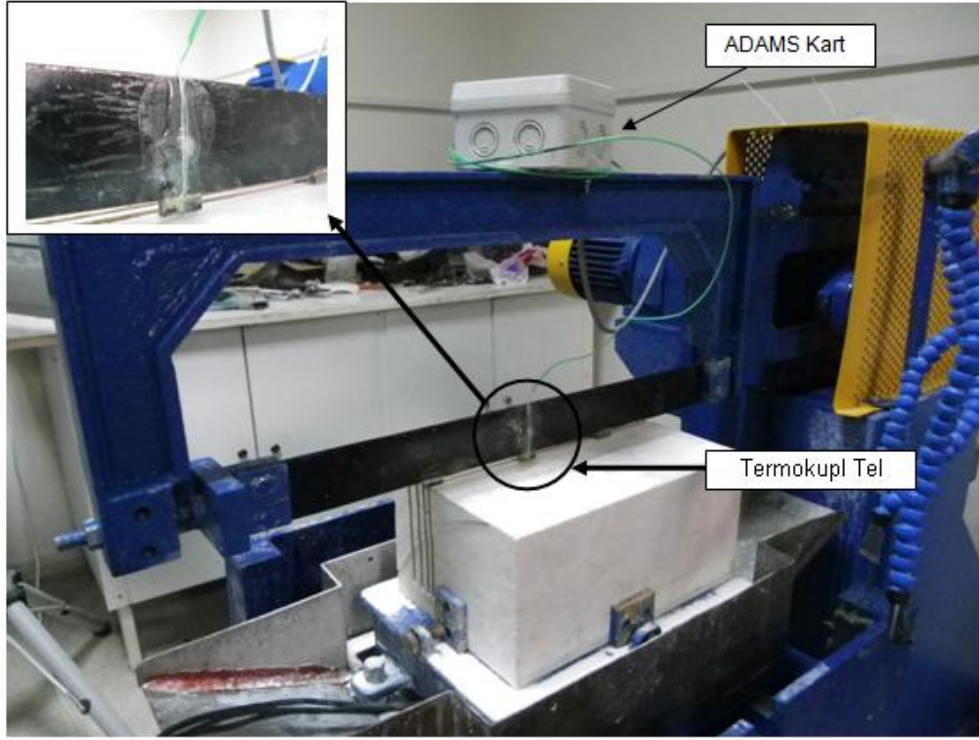
Resim 4.9 Aşınmaların ölçülmesinde kullanılan lazer sensör (İnt. Kyn 7).



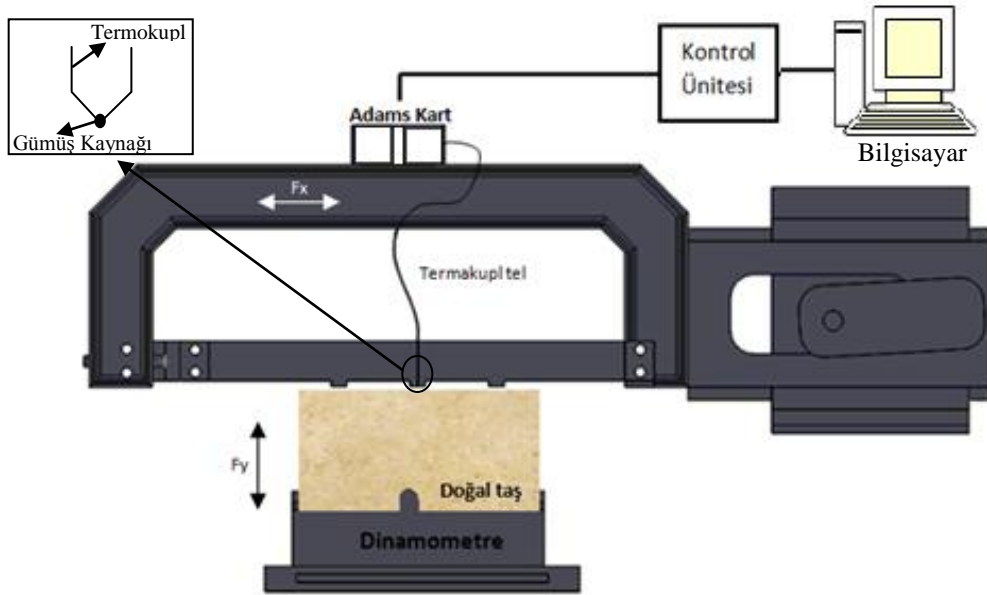
Resim 4.10 Lazer cihazında kullanılan programın ara yüzü.

4.4 Sıcaklık Ölçüm Düzeneği

Kesme sıcaklığını anlık ölçmek için elmas sokete bir kanal açılmış ve bu kanal içerisine bir termokupl tel bağlanmıştır. Resim 4.11’de elmas soket üzerine bağlanmış termokupl tel görülmektedir. Termokupl tel aldığı sinyali elektronik bir karta (ADAMS 3011) iletmektedir. Bu kart rastgele gelen bu sinyalleri sıcaklık değerlerine dönüştürüp, bilgisayara aktarmaktadır. Bilgisayara aktarılan bu bilgiler geliştirilen bir program ile toplanıp ve kayıt edilmektedir. Sıcaklık ölçümünde kullanılan deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 4.4’te verilmiştir.



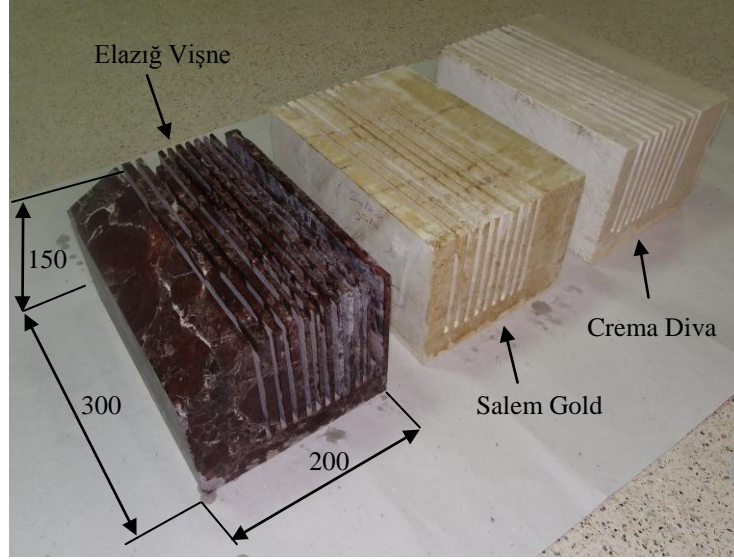
Resim 4.11 Termokupl bağlanmış elmas soketli katrak laması ve ADAMS Kart.



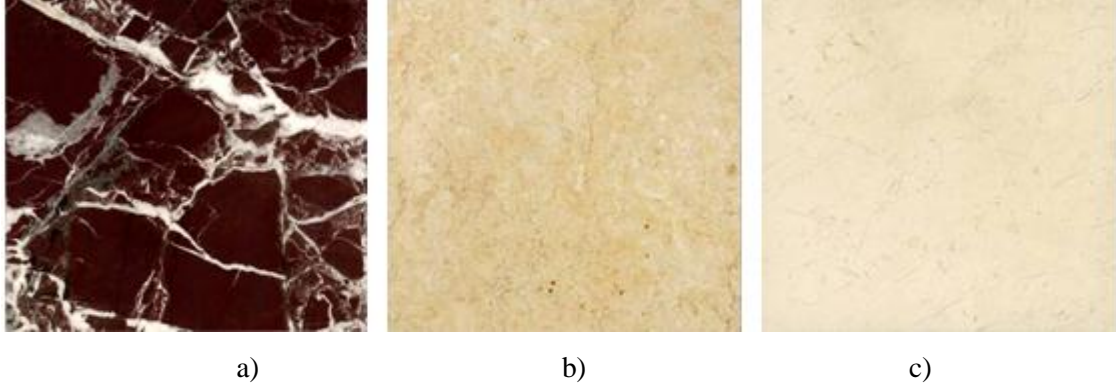
Şekil 4.4 Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan deneysel düzeneğin şematik görünümü.

4.5 Deney Numunelerinin Fiziko-Mekanik ve Kimyasal Özellikleri

Deneylerde kullanılan Elazığ Vişne, Salem Gold ve Crema Diva taşlarının boyutları 300 x 200 x 150 mm olarak belirlenmiştir. Resim 4.12’de doğal taşların kesilmiş görüntüleri verilmiştir. Doğal taşlar dinamometre üzerine sıkı bir şekilde sabitlenerek kesimleri sağlanmıştır. Doğal taşların parlak yüzey görüntüsü Resim 4.13’te verilmiştir.



Resim 4.12 Deneylerde kullanılan doğal taşların kesildikten sonraki görüntüsü (birim mm).



Resim 4.13 Deneylerde kullanılan doğal taşların görüntüsü a) Elazığ vişne, b) Salem gold
c) Crema diva.

Varyasyon deneylerinin daha iyi yorumlana bilmesi için deneylerde kullanılan doğal taşların kimyasal ve fiziko-mekanik analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Akredite

Doğal taş Analiz Laboratuvarında yaptırılmıştır. Yapılan standart analizler sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Doğal taşların kimyasal özellikleri.

Doğal Taşlar	SiO₂ (%)	Al₂O₃ (%)	Fe₂O₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K₂O (%)	Ateş Kaybı (%)	Diğer (%)
Elazığ Vişne	21,2	0,1	7,8	23,8	21,2	0,4	24,69	0,81
Salem Gold	0,8	0,21	0,19	54,3	0,53	0,21	43,58	0,18
Crema Diva	0,03	0,03	0,02	55,7	0,31	0,22	43,62	0,07

Çizelge 4.4 Doğal taşların fiziko-mekanik ve petrografik özellikleri.

Kayaç Özelliği	Elazığ Vişne	Crema Diva	Salem Gold
Basınç Dayanımı (MPa)	75,48	83,85	114,98
Eğilme Dayanımı (MPa)	8,56	10,04	17,8
Aşınma Dayanımı	18,89	16,98	16
Schmidt Sertlik İndeksi (L Tip)	65	68	52
Knoop Sertlik İndeksi	144	181	178
Ses Hızı (km/s)	4,94	6,1	5,02
Özgül Kütle (kg/m ³)	2,7097	2,6913	2,7233
Görünür yoğunluk (kg/m ³)	2614	2685	2639
Toplam Gözeneklilik (%)	3,53	1,46	3,10
Açık Gözeneklilik (%)	1,92	0,21	0,20
Petrografik Tanımlama	Serpantin	Kireçtaşı	Fosilli Kireçtaşı

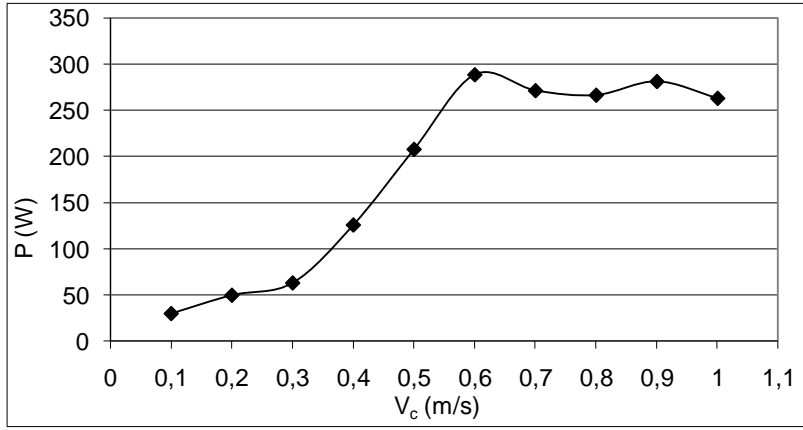
5. BULGULAR

5.1 Varyasyon Deneyleri

Tasarımı ve imalatı yapılan prototip makinede, optimum kesme parametrelerin belirlenmesi için farklı kesme şartlarında Elazığ Vişne, Salem Gold ve Crema Diva taşlarında, HARTEK firması tarafından bu doğal taş türleri için önerilen sanayi amaçlı elmas soketler kullanılarak varyasyon deneyleri yapılmıştır. Varyasyon deneylerinde soğutma sıvısı miktarı (0,5 lt/dk) sabit alınarak, kesme hızı ve besleme hızları sırası ile değiştirilmiş, her parametrede üç tekrarlı sistematik deneyler yapılmıştır. Deney esnasında oluşan anlık güç tüketimi, kesme kuvvetleri ve spesifik enerji değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, elmas soketin aşınma miktarlarının saptanması için aşınma deney düzeneğinde, her parametrede üç tekrarın başında ve sonunda ölçüm yapılmıştır.

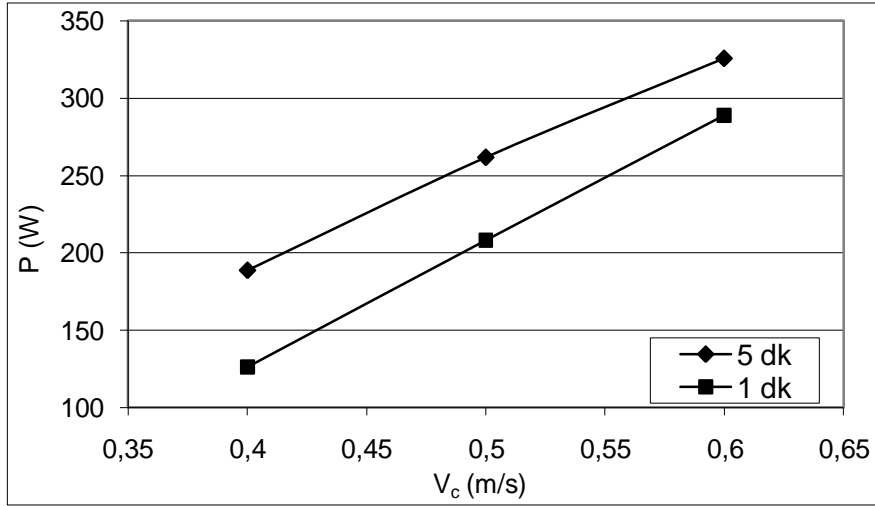
5.1.1 Güç Tüketiminin Ölçülmesi

Kesme işlemine başlamadan önce ilk olarak makinenin boşta harcadığı güç tüketim değerleri ölçülmüştür. Makinenin lamayı hareket ettiren kol motorunun boşta iken harcadığı anlık güçler 0,1 m/s'den 1,0 m/s'ye kadar 0,1 m/s adımlarla tek tek bir dakika boyunca ölçülerek veriler elde edilmiştir. Buradaki amaç; makinenin boşta iken ne kadar güç tükettiği ve ayrıca doğal taşların kesimi esnasında harcadığı güç ile farkının belirlenmesi içindir. Şekil 5.1 incelendiğinde kesme hızının (V_c) artışına bağlı olarak bir dakikada boştaki harcanan ortalama güçte 0,6 m/s 'ye kadar artmakta daha sonra ise hafif azalarak sabit kalmaktadır.



Şekil 5.1 Kesme hızına bağlı olarak elde edilen güç tüketim değerleri.

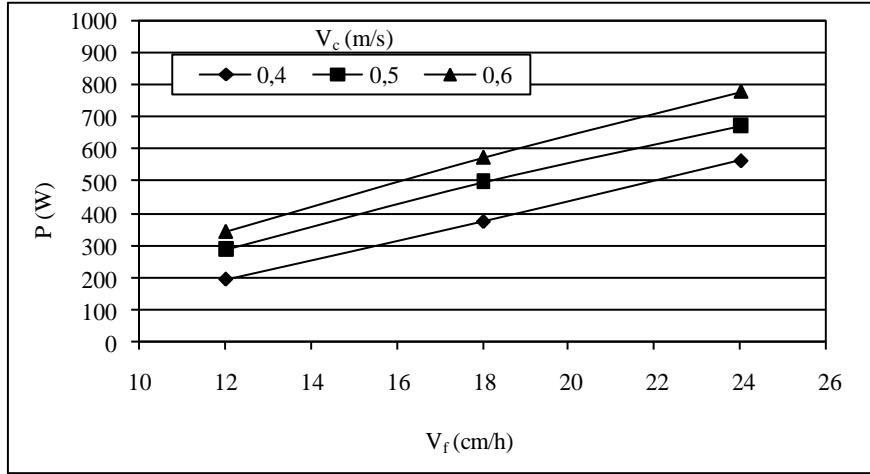
Ayrıca 0,4 - 0,5 - 0,6 m/s için de 5 dk süresince ölçülmüş ve aritmetik ortalamaları alınarak Şekil 5.2' de verilmiştir. Buna göre; V_c : 0,4 - 0,5 - 0,6 m/s için 5 dk süresince harcanan gücün 1 dk için harcanan güçten daha fazla oldu anlaşılmaktadır. Özellikle lamayı hareket ettiren motorun belirli bir süreye kadar çalışma sırasında ısınmaya bağlı daha fazla güç çektiği, daha sonra ise sabit kaldığı gözlenmektedir. Özellikle Elazığ Vişne, Crema Diva ve Salem Gold taşlarında V_c : 0,4 - 0,5 - 0,6 m/s için yapılan varyasyon deneylerinde harcanan gücün büyük bir bölümünün aslında makinenin lama kolunu hareket ettirmesi için harcandığı anlaşılmaktadır. Özellikle düşük besleme ve kesme hızlarında (V_f ve V_c) harcanan güç, oluşan talaş boyutunun küçük olması nedeniyle makineyi zorlayamazken, yüksek besleme ve kesme hızlarında (V_f ve V_c) harcanan güç, talaş boyutunun artmasında ve kolun hızının artırılması için kullanılmaktadır.



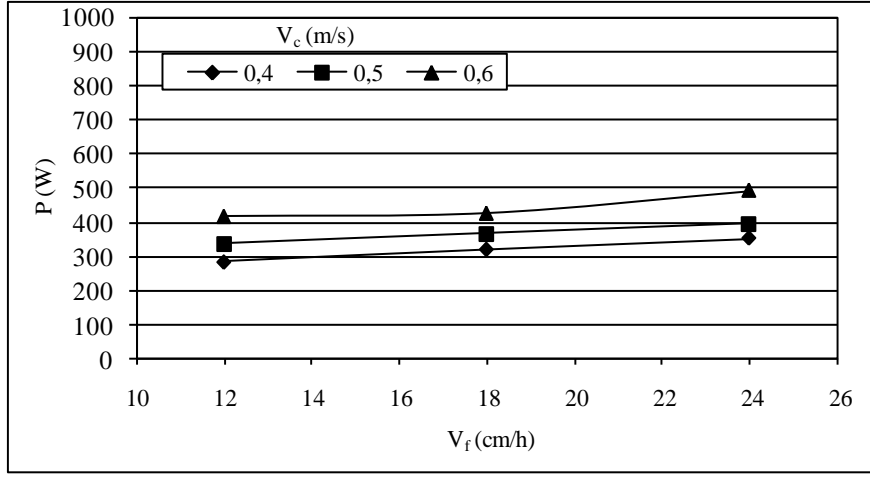
Şekil 5.2 Kesme hızına bağlı olarak güç tüketimi.

Kesme deneylerinde güç tüketimini anlık ölçebilmek için enerji analizörü kullanılmıştır. Deneylerde her bir ayrı kesim için toplam kesme derinliği 120 mm olarak belirlenmiştir ve üç tekrarlı deneyler yapılmıştır. Lamanın bağlı olduğu kesme koluna bağlı motorun güç tüketim değerleri kesim boyunca alınmıştır. Bu değerler elmas soketlerin kesme esnasında ne kadar güç harcadığını göstermektedir. Düşük besleme hızında makine çok fazla zorlanmamakla birlikte, besleme hızının artması ile gücün de arttığı görülmektedir. Eğer, kesme hızı da arttırılır ise güç önemli ölçüde artmaktadır. Farklı kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı güç tüketiminin değişimi Şekil 5.3'te verilmiştir.

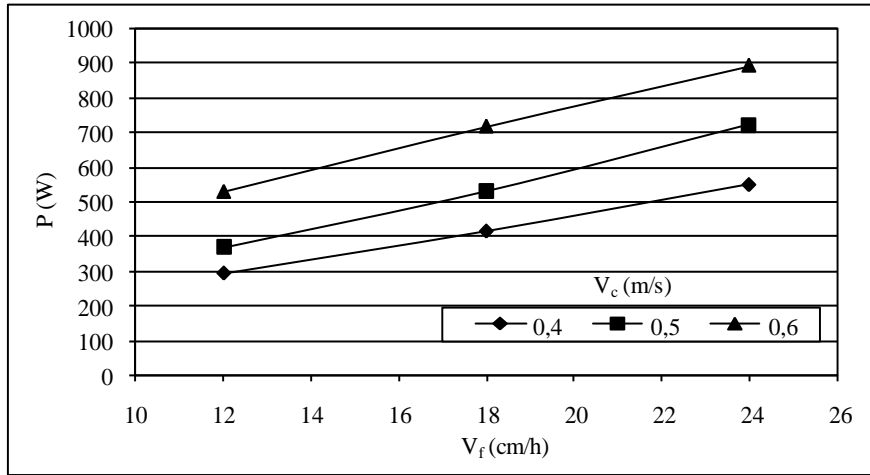
Örneklenen doğal taşlar içerisinde en fazla güç tüketimi Crema Diva'da olmuştur. Bunun nedeni ise Crema Diva'nın diğer taşlara göre fiziko-mekanik ve kimyasal özelliklerinin elmas soketin matris yapısına uygun olmadığından, kesme esnasında makine zorlanmakta ve fazla güç harcanmasına neden olduğu şeklinde yorumlanabilir. Diğer taraftan örneklenen doğal taşların hepsinde kesme hızının 0,4 m/s ve ilerleme hızının 12 cm/h olduğu koşullarda makinenin daha az güç harcadığı görülmektedir.



a)



b)

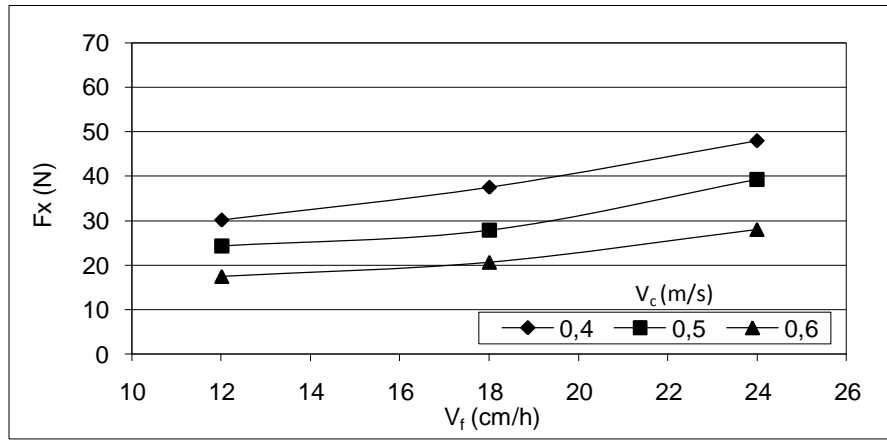


c)

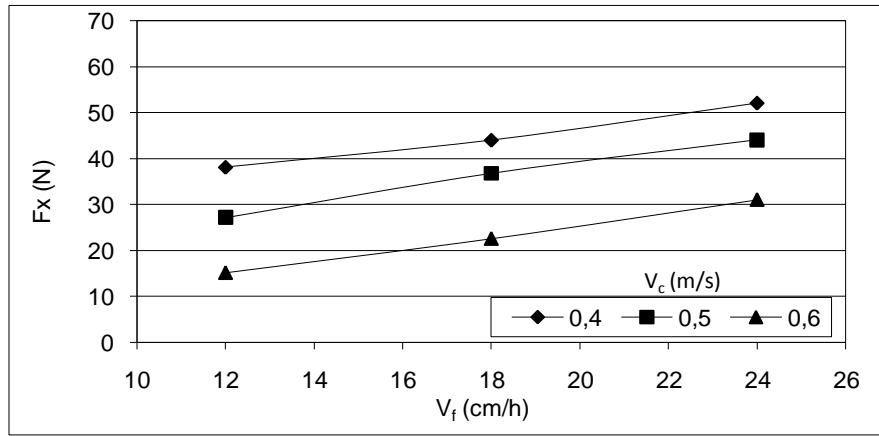
Şekil 5.3 P değerinin V_c ve V_f 'ye bağlı değişimi, a) Elazığ vişne, b) Salem Gold, c) Crema Diva

5.1.2 Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

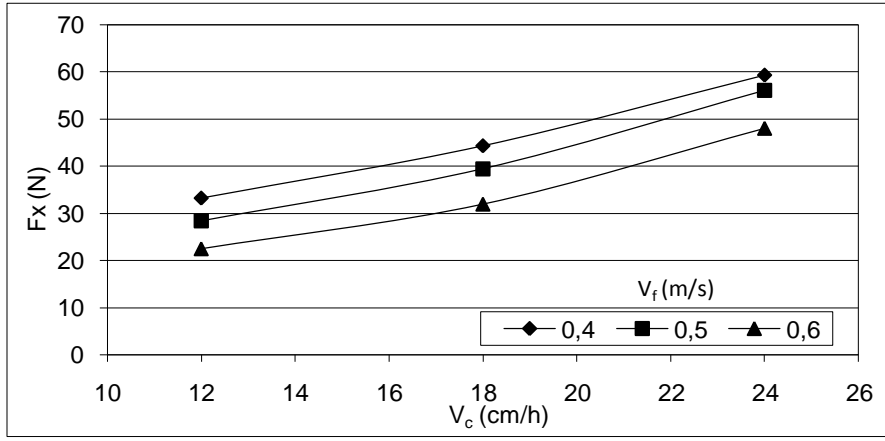
Örneklenen doğal taşlarda kesme sırasında oluşan F_x kuvvetinin kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı değişimi Şekil 5,4'te verilmiştir. Buna göre; besleme hızı (V_f) arttıkça birim zamanda kesilen talaş hacmi artmakta, kesme yönünde oluşan kuvvetler (F_x) de artarken, kesme hızının (V_c) artışına bağlı birim zamanda oluşan talaş hacmi küçüldüğünden soket doğal taş tarafından daha az zorlanmakta ve bunun sonucunda kesme yönündeki kuvvet (F_x) azalmaktadır.



a)



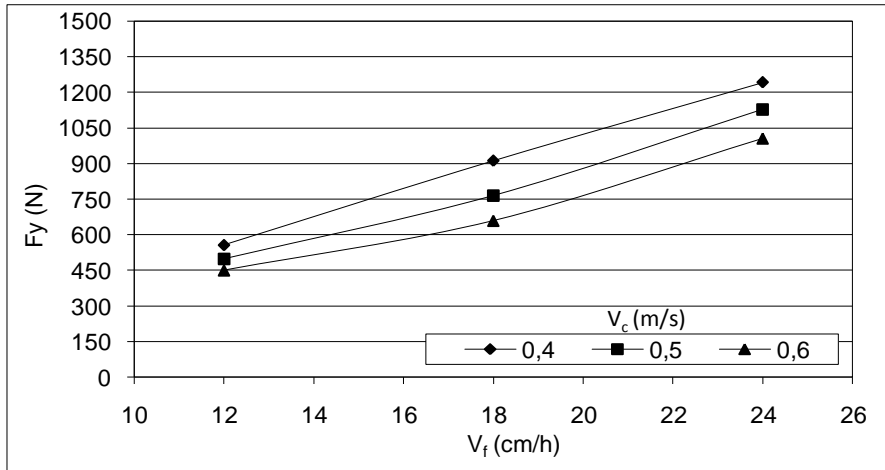
b)



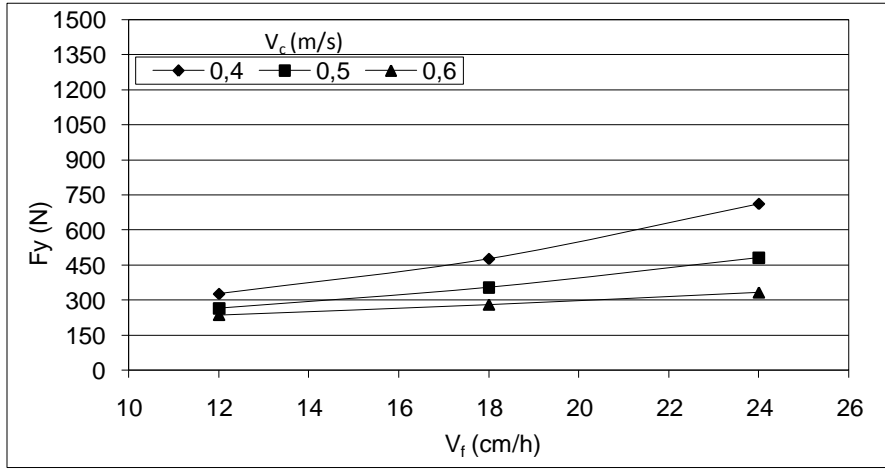
c)

Şekil 5.4 F_x değerinin V_c ve V_f 'ye bağlı değişimi, a) Elazığ vişne, b) Salem Gold, c) Crema Diva.

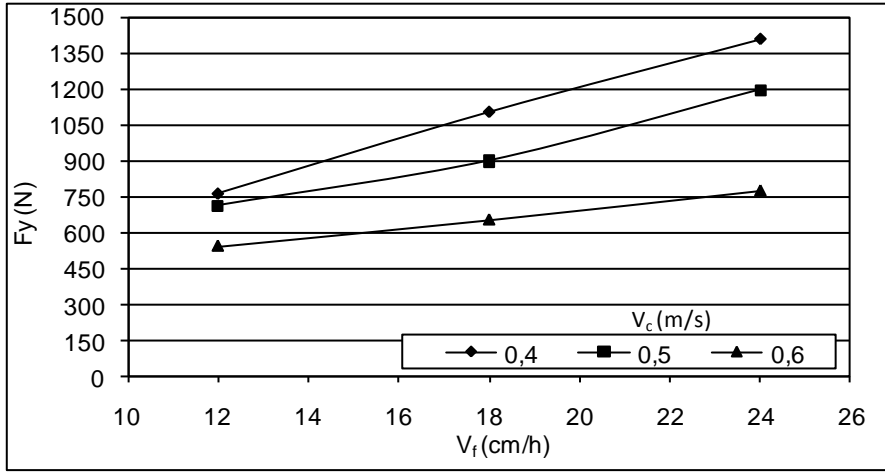
Örneklenen doğal taşlarda kesme sırasında oluşan F_y kuvvetinin V_c ve V_f ye bağlı değişimi Şekil 5.5'te verilmiştir. Buna göre besleme hızı (V_f) artışına bağlı F_y kuvveti artarken, kesme hızı (V_c) artışına bağlı azalmaktadır. Zira birim zamanda kesilen talaş hacmi arttıkça kesme yönünde oluşan düşey kuvvetler (F_y) de artarken, kesme hızının (V_c) artışına bağlı birim zamanda oluşan kesme yönündeki düşey kuvvet (F_y) azalmaktadır.



a)



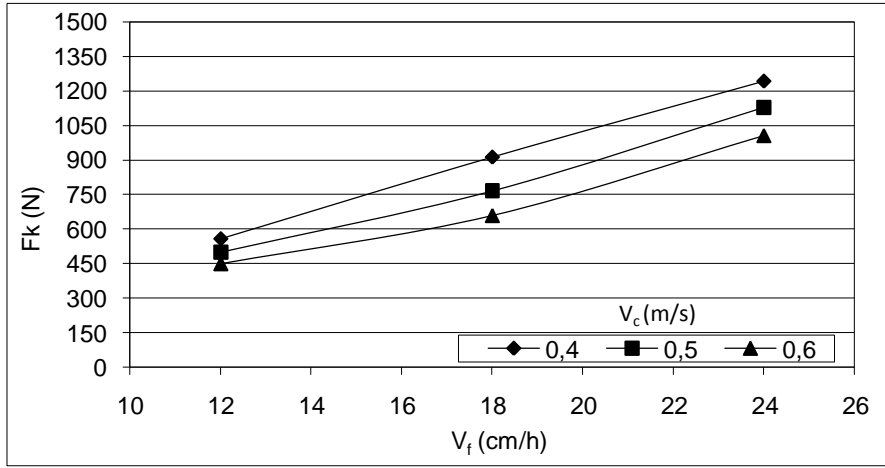
b)



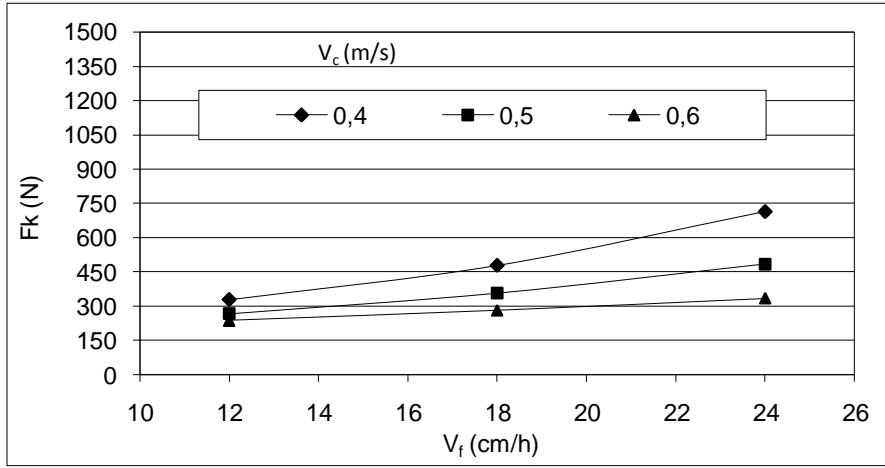
c)

Şekil 5.5 F_y değerinin V_c ve V_f 'ye bağlı değişimi, a) Elazığ vişne, b) Salem Gold, c) Crema Diva.

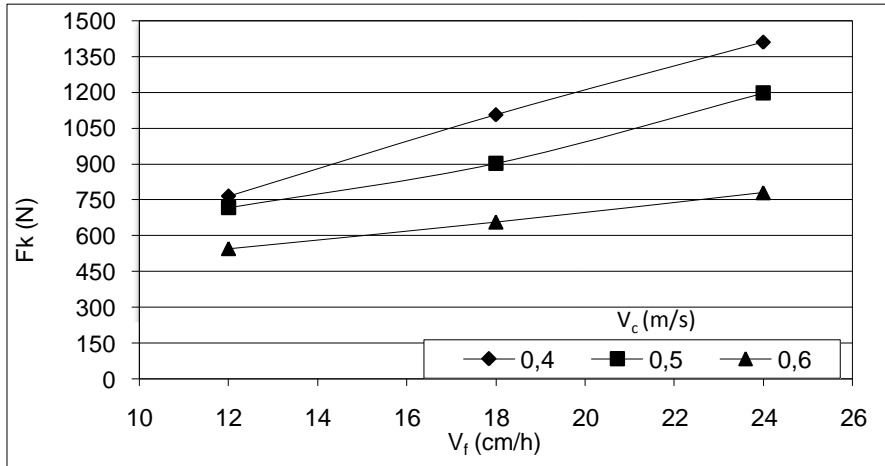
Örneklenen doğal taşlarda kesme sırasında oluşan F_x ve F_y kuvvetinin bileşkesi olan F_k kuvvetinin ($F_k^2 = F_x^2 + F_y^2$), V_c ve V_f ye bağlı değişimi Şekil 5.6'da verilmiştir. Buna göre besleme hızı (V_f) artışına bağlı F_k kuvveti artarken V_c artışına bağlı azalmaktadır. Zira birim zamanda kesilen talaş hacmi arttıkça kesme yönünde oluşan kuvvetler (F_k) de artarken, kesme hızının (V_c) artışına bağlı birim zamanda oluşan talaş hacmi küçüldükçe, kesme yönündeki kuvvet (F_k) de azalmaktadır.



a)



b)

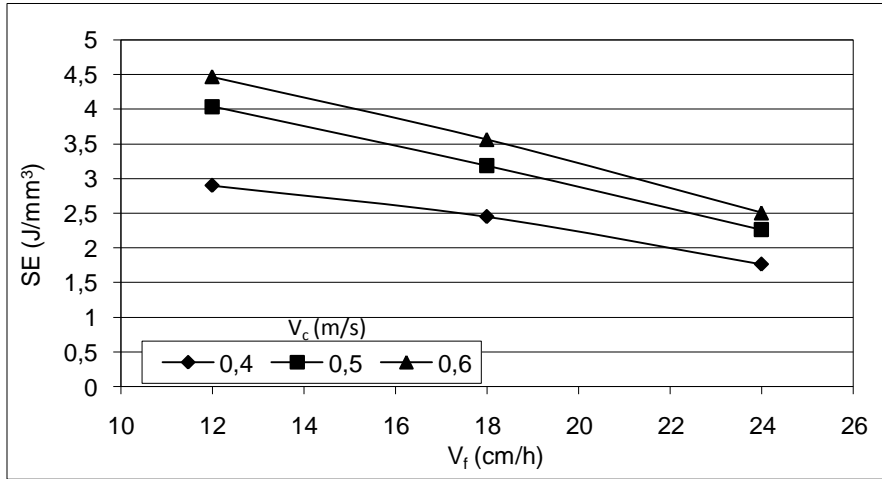


c)

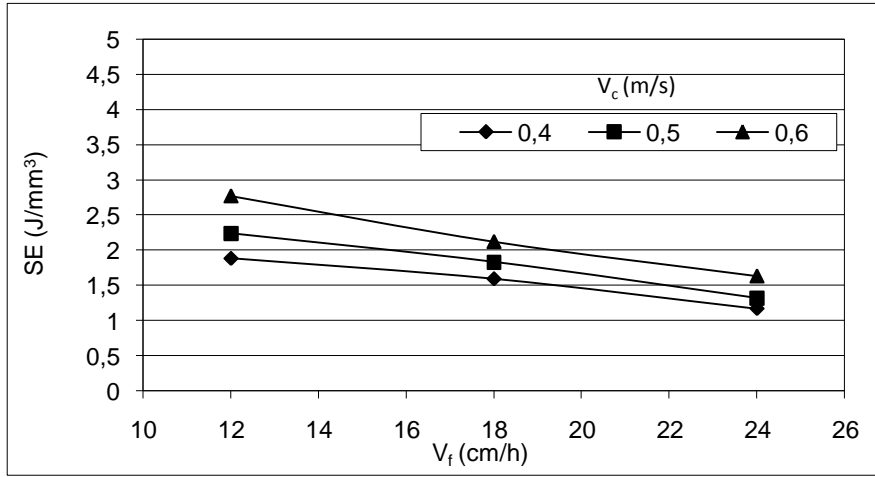
Şekil 5.6 F_k değerinin V_c ve V_f 'ye bağlı değişimi, a) Elazığ vişne, b) Salem Gold, c) Crema Diva.

5.1.3 Spesifik Enerjinin Belirlenmesi

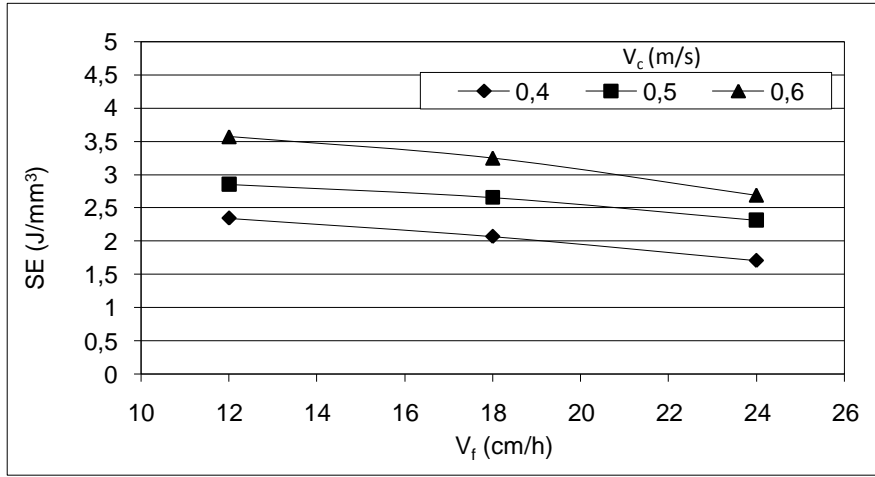
Spesifik enerji, kesme sırasında tüketilen toplam enerjinin kesim esnasında kesilen/boşaltılan toplam hacme orantısı ile hesaplanmaktadır. Kesme sırasında her deneyde mermer numunesi toplam 12 cm kesildiği ve numune uzunluğu 30 cm olduğu, soket kalınlığının da 5 mm olduğu ve her deney 3 kez tekrarlandığı hesaplandığında yaklaşık toplamda 540.000 mm^3 hacim kesildiği görülmektedir. Toplam tüketilen enerji miktarı ise kesme süresince oluşan anlık güç miktarının aritmetik ortalaması ile toplam kesme süresinin (s) çarpılması ile hesaplanmaktadır. Buna göre hesaplanmış olan spesifik enerji değerlerinin (Ws/mm^3 veya J/mm^3), V_c ve V_f ye bağlı değişimi Şekil 5.7’de verilmiştir. Buradan birim zamanda kesilen hacme bağlı olarak SE değerinin de düştüğü görülmektedir. Besleme hızının (V_f) artışı ile birim zamanda kesilmesi gereken talaş hacmini artırmakta ve daha fazla enerji tüketimine neden olmakta ancak, toplamda kesilen hacmin fazla olması daha az SE tüketimine neden olmaktadır. Diğer taraftan ise lamanın hareket hızının (V_c) artmasının ana motorun asıl tükettiği enerjinin artmasına neden olduğu ve bununla SE’nin önemli miktarda artmasına neden olduğu anlaşılmaktadır.



a)



b)



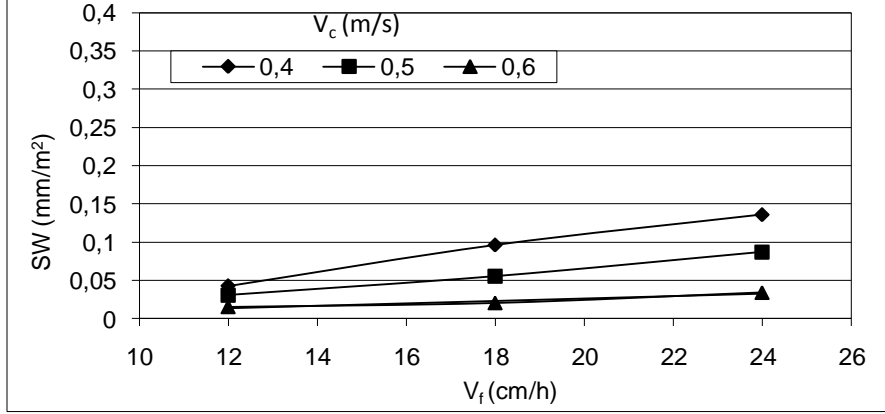
c)

Şekil 5.7 SE değerinin V_c ve V_f 'ye bağlı değişimi, a) Elazığ vişne, b) Salem Gold, c) Crema Diva.

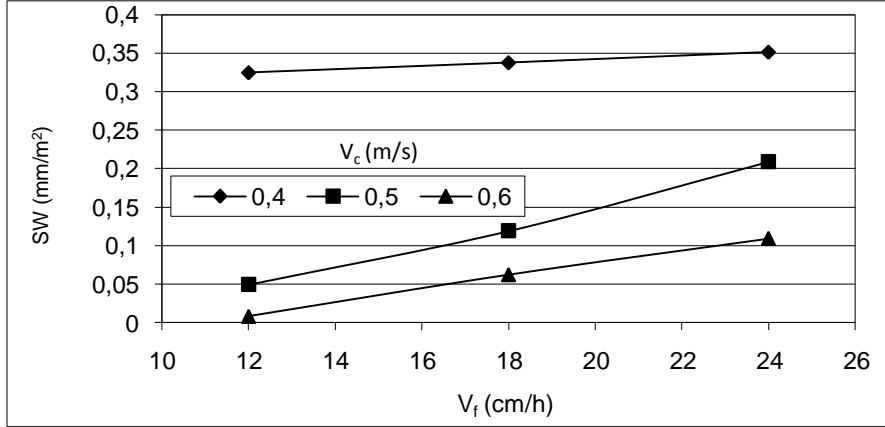
5.1.4 Spesifik Aşınmasının Belirlenmesi

Kesme deneylerinde her varyasyon şartında üç tekrar yapılmış ve her deney öncesi ve sonrası elmas soket üzerinde oluşan aşınma miktarları lazerli aşınma ölçüm cihazı ile oldukça hassas olarak ölçülmüştür. Spesifik aşınma miktarı (SW) ise toplam 1 m² kesilen taş için gerçekleşecek elmas soketin mm cinsinden aşınma miktarıdır ve örneklenen doğal taşlar için bulunan SW değerlerinin V_c ve V_f ye bağlı değişimleri Şekil 5.8'de verilmiştir. Buna göre V_f 'nin artması ile birim zamanda oluşan talaş boyutu da artmakta ve bu ise aşınma miktarında da artışa neden olduğu görülmüştür. Diğer taraftan ise V_c 'nin artışına bağlı olarak SW değerinin düştüğü ve V_f 'ye oranla daha fazla

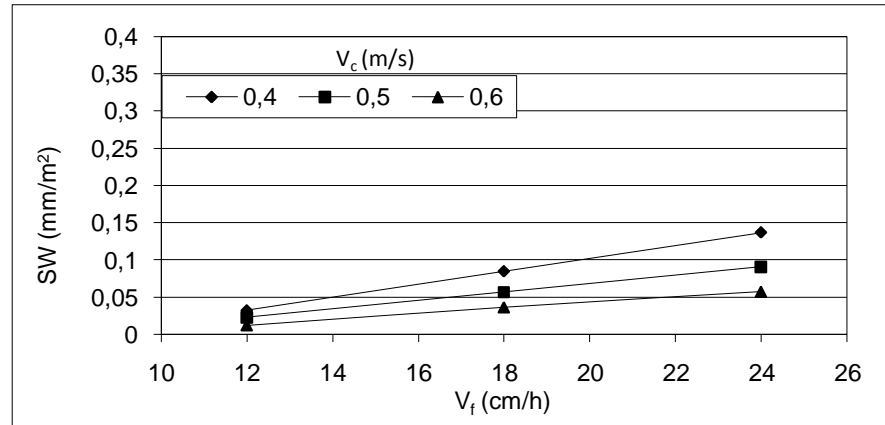
etkili olduğu görülmektedir. Özellikle lama hareket hızının (V_c) artması ile birim zamanda oluşan talaş boyutu daha fazla küçülmekte ve bu ise elmas socketin aşınmasını azaltmaktadır.



a)



b)



c)

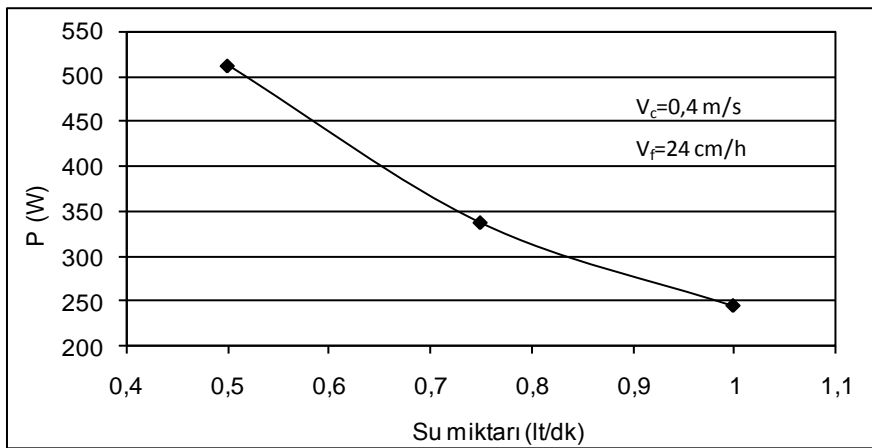
Şekil 5.8 SW değerinin V_c ve V_f ' ye bağlı değişimi, a) Elazığ vişne, b) Salem Gold, c) Crema Diva.

5.2 Soğutma Sıvısı Miktarının Kesme Performansına Etkisi

Bilindiği gibi soğutma sıvısının kullanım amacı; hem kesme ortamındaki oluşan talaşların uzaklaştırılması hem de kesme sırasında elmas soketlerdeki sürtünme sonucu oluşan ısının ortamdaki uzaklaştırılıp kesici ömrünün artırılmasıdır. Kesme esnasında soğutma amaçlı kullanılan suyun miktarı da önemlidir. Zira az miktarda kullanmak kesme verimini düşürmekte ve kesici ömrünü düşürmektedir. Fazlası ise kesme ortamından hızla atılmadığından kesici ile kesilen yüzey arasında sıkışarak kesme hızını düşürmektedir. Soğutma sıvısının etkisini deneysel olarak gözlemlemek amacıyla Salem Gold doğal taşında, varyasyon deneyleri sonucunda en fazla aşınmanın görüldüğü kesme hızı (V_c) 0,4 m/s ve besleme hızı (V_f) 24 cm/h olacak şekilde sırasıyla 0,5-0,75-1,0 lt/dk su beslenmesiyle, kesme esnasında oluşan güç tüketimi (P), tepkisel kuvvetler (F_x , F_y , F_k), spesifik enerji (SE) ve spesifik aşınma miktarı (SW) değişimleri gözlenmiştir.

5.2.1 Güç Tüketiminin Ölçülmesi

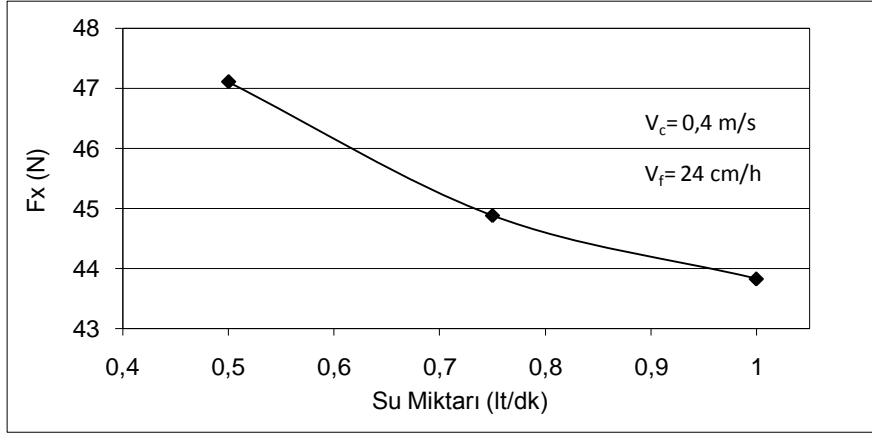
Su miktarının değişimine bağlı güç (P) değişimi ise Şekil 5.9'da görülmektedir. Su miktarının 0,5 lt/dk tan 1,0 lt/dk ya yükseltilmesi ile yaklaşık % 50 oranında düşüşler gözlenmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki su miktarının artması ile elmas soketin önü boşalmakta ve kesme işlemi oldukça kolaylaşmaktadır.



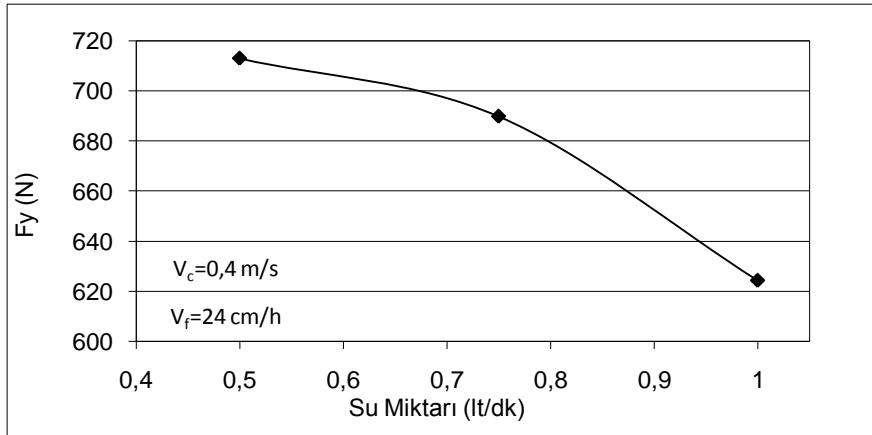
Şekil 5.9 Salem Gold doğal taşında P değerinin soğutma suyu miktarına bağlı değişimi.

5.2.2 Kesme Kuvvetlerin Ölçülmesi

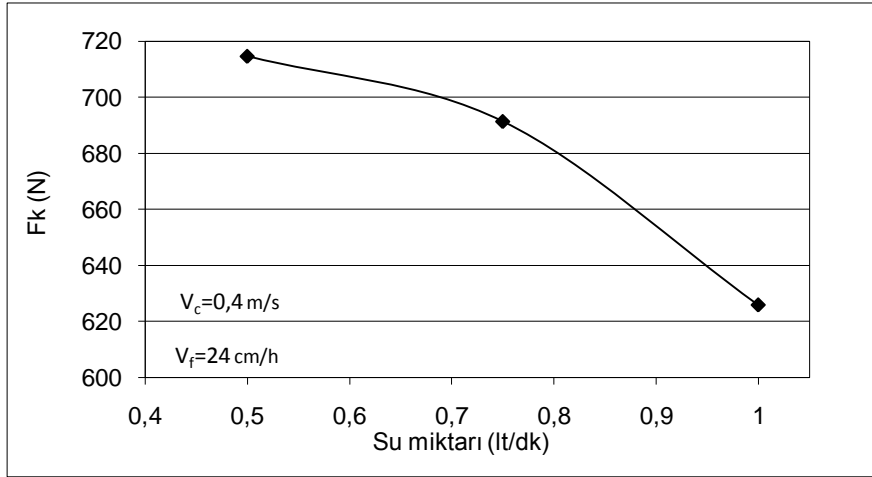
Tepkisel yüklerin (F_x , F_y , F_k) su miktarına bağlı değişimleri Şekil 5.10'da görülmektedir. Su miktarının 0,5 lt/dk tan 1,0 lt/dk ya yükseltilmesi ile tüm tepkisel yüklerde yaklaşık % 10 oranında düşüşler gözlenmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki su miktarının artması ile kesme ortamında oluşan talaşlar daha hızlı bir şekilde atılarak elmas soketin önü tamamen temizlenmekte, elmaslar her seferinde yeni taze bir yüzeye temas ederek daha kolay kesme gerçekleşmektedir. Bu sayede elmas soketlerin üzerine gelen baskı kuvvetinin de azaldığı söylenebilir.



a)



b)

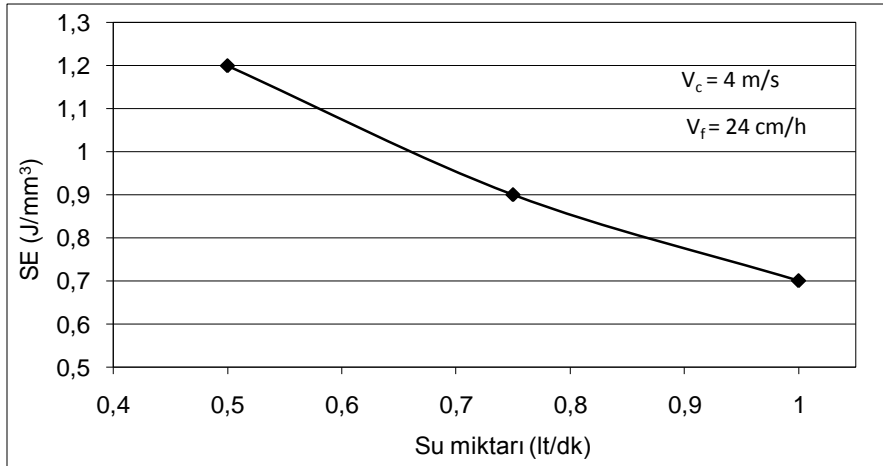


c)

Şekil 5.10 Salem Gold doğal taşının soğutma suyu miktarına bağlı F kuvvetlerinin değişim değerleri.

5.2.3 Spesifik Enerjinin Belirlenmesi

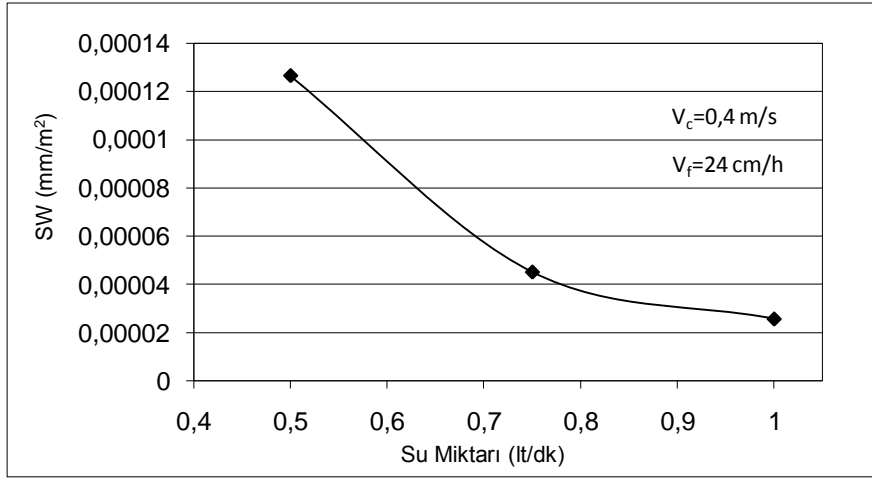
Su miktarının değişimine bağlı spesifik enerji (SE) değişimi ise Şekil 5.11’de görülmektedir. Su miktarının 0,5 lt/dk tan 1,0 lt/dk ya yükseltilmesi ile yaklaşık % 50 oranında düşüşler gözlenmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki su miktarının artması ile kesme işlemi oldukça kolaylaşmaktadır ve daha düşük enerji tüketimi sağlamaktadır.



Şekil 5.11 Salem Gold doğal taşının soğutma suyu miktarına bağlı SE değişim değerleri.

5.2.4 Spesifik Aşınmanın Belirlenmesi

Su miktarının değişimine bağlı olarak spesifik aşınmanın (SW) değişimi ise Şekil 5.12’de görülmektedir. Su miktarının 0,5 lt/dk tan 1,0 lt/dk ya yükseltilmesi ile spesifik aşınmada büyük oranda düşüşler gözlenmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki, su miktarının artması ile kesme ortamında oluşan talaşlar elmas socketin etrafından hızla uzaklaştığından yeniden elmas socketle temas etmediğinden socketin aşınmasına katkıda bulunamamaktadır. Diğer taraftan kesme kuvvetlerinin düşmesi ile de elmas socketlerin üzerinde oluşan aşırı baskı da azalmakta bunun sonucu elmas socketin aşınmasını azaltmaktadır.



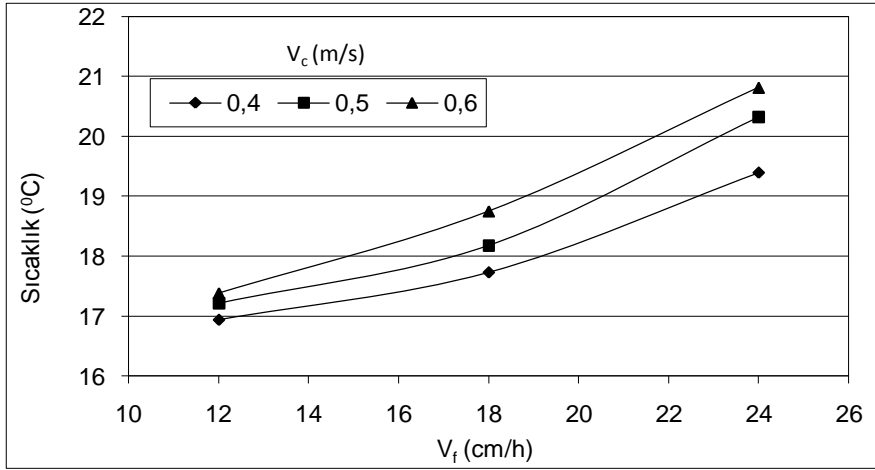
Şekil 5.12 Salem Gold doğal taşının soğutma suyu miktarına bağlı SE değişim değerleri.

5.3 Elmas Soket Sıcaklığının Belirlenmesi

Kesme deneyleri sırasında elmas socket üzerinde oluşan sıcaklığın ölçülmesi için bir elmas socket üzerine termokupl tel ve ADAMS kart kullanılarak veriler okunmuş, ara yüz programı yardımıyla da grafiğe alınmıştır. Kuru ortamın ve soğutma suyunun başlangıç sıcaklığı 16 °C olup, yapılan deneylerin sonuçları aşağıda irdelenmiştir.

5.3.1 Suyun Elmas Soket Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi

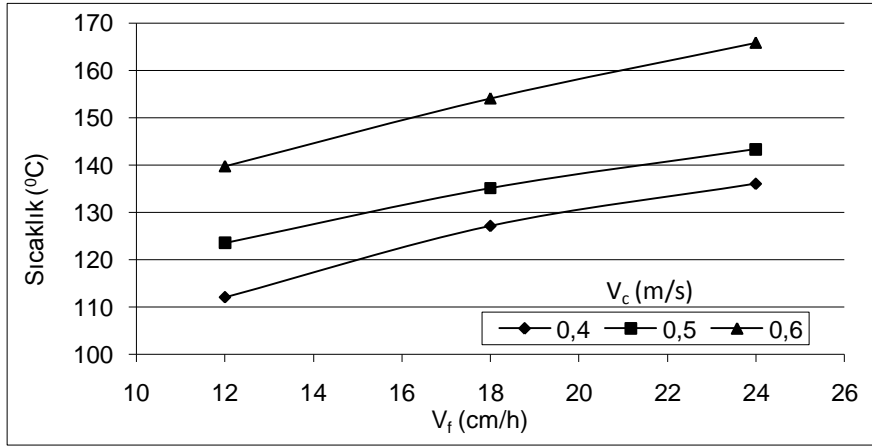
Sulu kesme koşulunda Salem Gold doğal taşında sırası ile 0,4-0,5-0,6 m/s kesme hızında (V_c) ve 12-18-24 cm/h besleme hızında (V_f) bir seri kesme deneyleri yapılmış, her koşulda yapılan üç tekrarlı deneylerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen sonuçlar grafiğe aktarılmıştır (Şekil 5.13). Buna göre soğutma suyu nedeniyle kesme sırasında elmas soket yüzeyinde çok fazla sıcaklık artışı oluşmadığı görülmektedir. V_f 'nin 24 cm/h' lik hızlı kesme koşulunda diğer koşullara oranla daha fazla sıcaklık oluşurken, aynı durumda V_c 'nin artışıyla da sıcaklık artışı görülmüştür. Diğer V_f ve V_c koşullarında yaklaşık 2,5-3 $^{\circ}\text{C}$ 'lık çok az bir sıcaklık değişimi görülmektedir.



Şekil 5.13 Salem Gold doğal taşının sulu kesmede soket yüzeyinde oluşan sıcaklığın V_f ve V_c 'ye bağlı değişimi.

5.3.2 Kuru Kesme Koşullarının İncelenmesi

Kuru kesme koşulunda Salem Gold doğal taşında sırası ile 0,4 - 0,5 - 0,6 m/s lama kesme hızında (V_c) ve 12 - 18 - 24 cm/h besleme hızında (V_f) bir seri kesme deneyleri yapılmış, her koşulda yapılan üç tekrarlı deneylerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen sonuçlar grafiğe aktarılmıştır (Şekil 5.14). Kesme esnasında oluşan talaşların kesme ortamından temizlenmesi için bir vakum ünitesi kullanılmıştır.

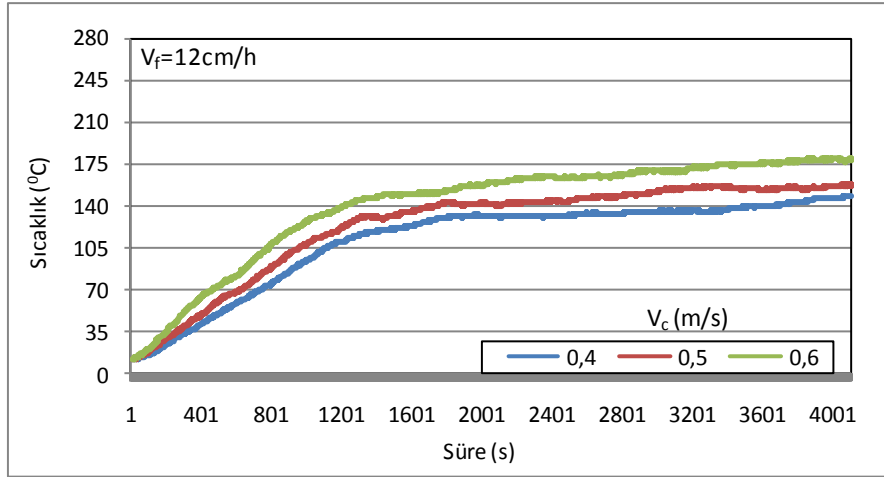


Şekil 5.14 Salem Gold doğal taşında kuru kesmede soket yüzeyinde oluşan sıcaklığın V_f ve V_c 'ye bağlı değişimi.

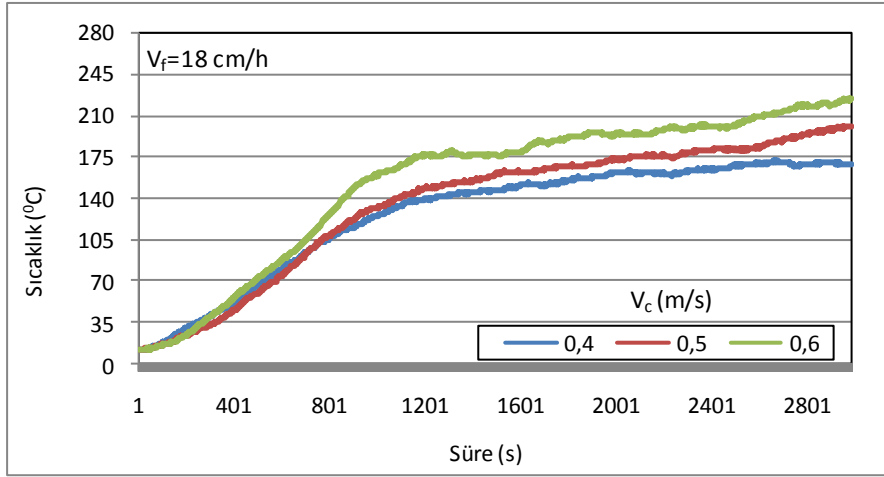
Şekilden de kolayca anlaşıldığı gibi kesme esnasında elmas soket yüzeyinde oluşan sıcaklık lama hızının (V_c) artışıyla artmaktadır. Buna göre lamanın ileri geri hareketinin artması doğal taş üzerinde oluşan sürtünmeyi de arttırmakta bu ise soket yüzeyinde oluşan sıcaklığı da arttırmaktadır.

Diğer taraftan besleme hızı (V_f)'nin artışıyla da oluşan sıcaklığın arttığı görülmektedir. Zira besleme hızının artışı lamanın doğal taş içerisine dalma hızını arttırmakta ve birim zamanda daha fazla talaş kopartmak zorunda kalmaktadır. Elmas soket talaş boyutunun artmasına bağlı olarak daha fazla sürtünmekte ve bu ise soket yüzeyinde oluşan sıcaklığı arttırmaktadır.

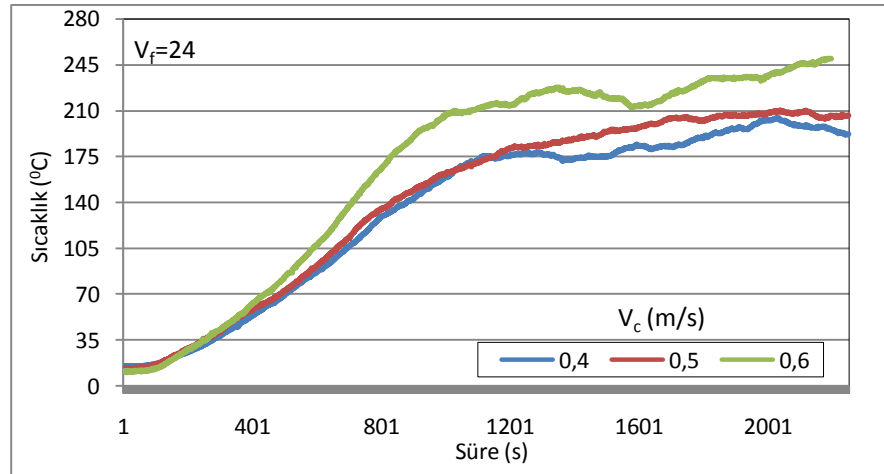
Ayrıca, kesme süresi boyunca elmas soket yüzeyinde oluşan sıcaklığın besleme hızının (V_c) ve lama hızının (V_f) değişimine bağlı değişimi Şekil 5.15'te görülmektedir. Buna göre soketin doğal taş yüzeyine ilk temasıyla sıcaklık artmakta, lamanın 2-3 cm doğal taş içerisine dalıncaya kadar sıcaklık kademeli olarak artmakta, daha sonra ise yaklaşık olarak aynı düzeylerde kalmaktadır. Özellikle 0,6 m/s lama hızında sıcaklık 250 °C'ye kadar çıktığı görülmektedir.



a)



b)

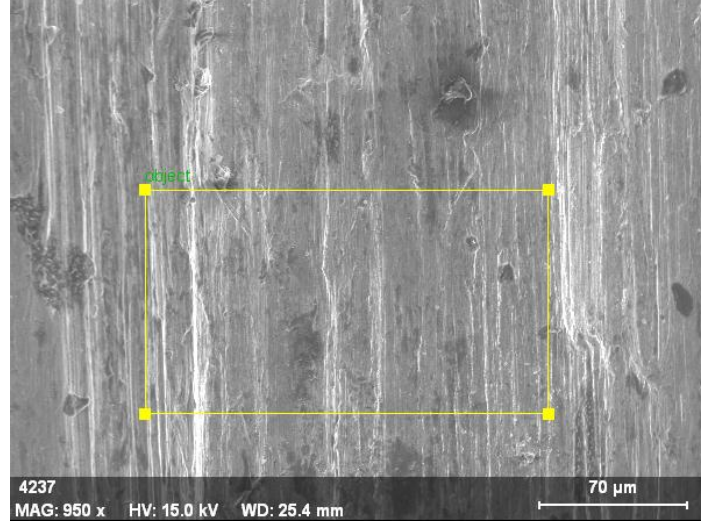


c)

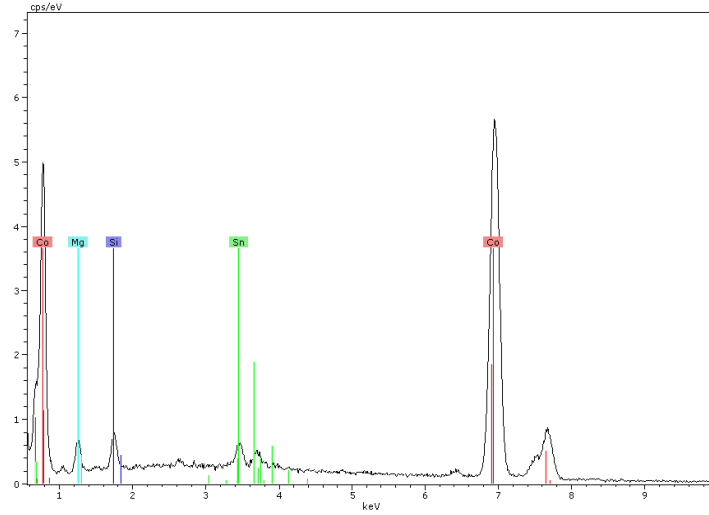
Şekil 5.15 Salem Gold doğal taşının V_f için değişik V_c 'lerdeki sıcaklık değişimleri.

5.4 Elmas Soket Matriksinin Özelliği

Elmas soketlerin özelliklerinin öğrenilmesi için elmas soketlere EDX ve SEM analizleri yapılmıştır. Elmas soket matrislerinin kimyasal bileşimlerini belirlemek için matris üzerinde, alan EDX analizi yapılmıştır. Elmas soket matrisinde alan EDX analizlerinin yapıldığı yerlere örnek olarak SEM görüntüsü Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16 Elmas soket matrisinde EDX analizi yapılan alanın SEM görüntüsü.



Şekil 5.17 Elmas soket matrisine yapılan EDX analiz

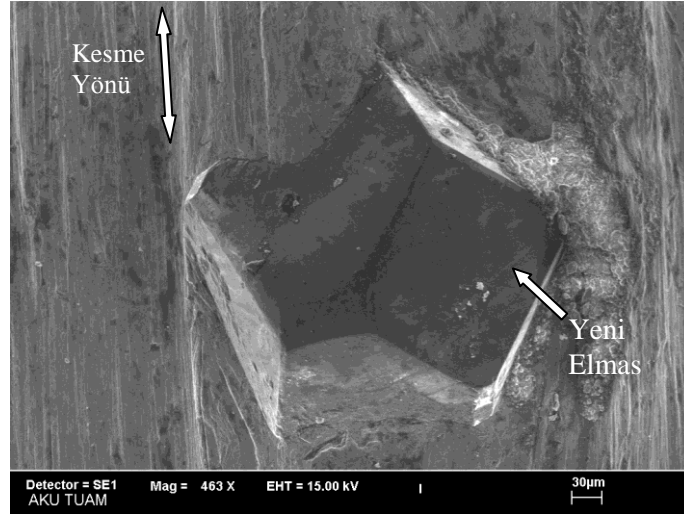
Çizelge 5.1 Elmas soket matrisine yapılan EDX analiz sonuçları.

Elementler	Seriler	Net (unn)	C norm. [wt.-%]	C Atom [wt.-%]	C [at.-%]
Magnezyum	K Serisi	1960	1,55	1,37	3,28
Silisyum	K Serisi	2363	1,27	1,12	2,32
Kobalt	K Serisi	64918	105,9	93,22	92,28
Kalay	L serisi	7062	4,88	4,3	2,11
Toplam Yüzde Miktarı			113,6	100,01	99,99

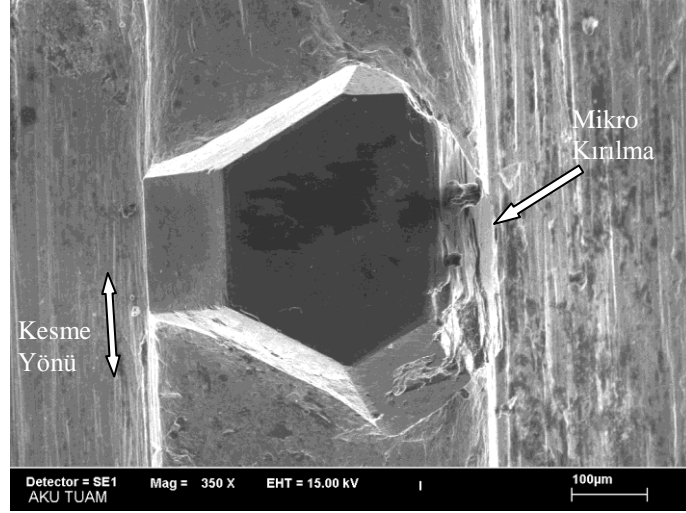
Deneylerde kullanılan elmas soket matrisinin EDX analizleri incelendiğinde soketin % 92,28 oranında Kobalt (Co) bileşimli (temelli) olduğu ve bunun yanı sıra az miktarda kalay, silisyum ve magnezyum içerdiği görülmektedir. Piyasada sert ve aşındırıcı özellikli doğal taşlar için bu tür elmas soketlerin kullanıldığı zaten bilinmektedir.

5.5 Elmas Soket Aşınmalarının SEM İncelemeleri

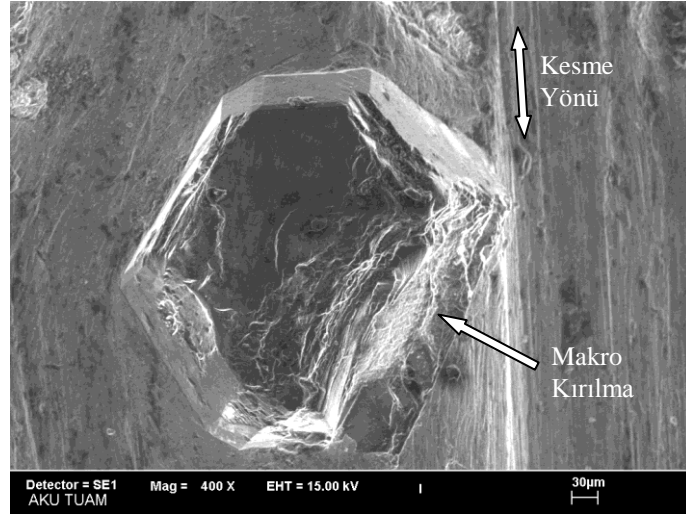
Deneylerde kullanılan elmas soketlerden bir örnek lama üzerinden alınarak taramalı elektron mikroskobunda (SEM) matris aşınması ve elmas tanelerin yüzey şekillerinin incelemesi yapılmış bazı görüntüler Şekil 5.18’de verilmiştir.



a)



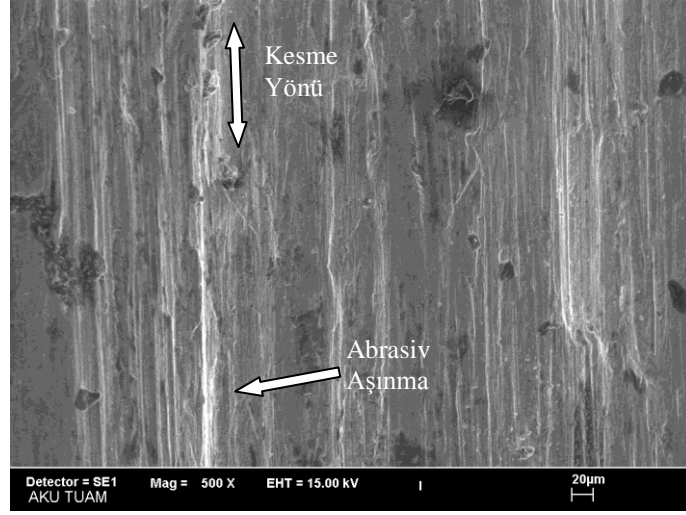
b)



c)

Şekil 5.18 Matriks aşınmaları ve elmas taneciklerde meydana gelen kırılmalar.

Şekil 5.18 incelendiğinde a'da elmas soketin bilenmiş ve elmas taneciğinin yüzeye tamamen çıkıp elmas tanenin sağlam olduğu görülmekte iken b'de elmas tanenin sağ tarafından darbe aldığı ve kısmen kenarı boyunca kırılmalar oluştuğu, c'de ise elmas tanenin daha fazla darbe alarak neredeyse tüm kenarları boyunca makro kırılmaların olduğu görülmektedir. Şekil 5.19'da ise matriks üzerinde kesme yönü ile metal yüzeyde oluşan aşınma izleri görülmektedir.



Şekil 5.19 Elmas soket matrisinde meydana gelen abrasiv aşınma.

6. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, İlk olarak bilgisayar kontrollü prototip katraç makinesinin ön tasarımı yapılarak boyutlandırılmış, bir bilgisayar programı yardımıyla çiziminden sonra imalatı yapılmıştır. Daha sonra, bir elektronik kart, hassas sensörler, dinamometre, enerji analizörü gibi donanımlarla tam otomasyonel hale getirilmiştir ve geliştirilen bir program yardımıyla makine tam otomatik olarak kontrolü sağlanmıştır. Sonuçta, endüstri şartlarına yakın koşullarda çalışabilen, ancak daha hassas bir prototip mono lama makinesi yapılmıştır.

Tarafımızdan tasarlanıp üretilen prototip lamalı mermer blok kesme makinesinde ve örneklenen doğal taş koşullarında geçerli olmak üzere;

* Kesme sırasında oluşan F_x ve F_y kuvvetleri besleme hızı (V_f) artışına bağlı F_y kuvveti artarken, kesme hızı (V_c) artışına bağlı azalmaktadır. Zira birim zamanda kesilen talaş hacmi arttıkça kesme yönünde oluşan düşey kuvvetler (F_y) de artarken, kesme hızının (V_c) artışına bağlı birim zamanda oluşan talaş hacmi azaldığından kesme yönündeki düşey kuvvet (F_y) azalmaktadır.

* F_x ve F_y kuvvetinin bileşkesi olan F_k kuvveti ise besleme hızının arttırılmasına bağlı olarak artan talaş hacmiyle birlikte daha fazla artmaktadır. Zira daha derin kesme yapmak istedikçe taşın içsel yapısından dolayı makine daha fazla zorlanmaktadır.

*Kesme esnasında elmas soketli lamanın bağlı olduğu ana motorun birim zamanda tükettiği enerji değerleri incelendiğinde, besleme hızının (V_f) artışıyla hızla enerji tüketimi artarken, lamanın yatak hareket hızı (V_c) arttıkça oluşan talaş boyutu azaldığından makine rahat kesim yapmakta ve enerji tüketimi azalmaktadır. Oluşan kuvvetlerle tüketilen enerji arasında benzer ilişki olduğundan sistemde oluşan kuvvetlerin ölçülmesi için kullanılan dinamometre ile enerji tüketiminin ölçülmesi için kullanılan enerji analizörünün doğruluğu hassas şekilde karşılıklı doğrulanmıştır.

* Örneklenen doğal taşlarda yapılan varyasyon deneylerinin verimliliğini saptamak için Spesifik Enerji dikkate alınmıştır. Besleme hızının artışına bağlı olarak birim zamanda kesilen talaş hacminin de artmasıyla spesifik enerji azalırken, lamanın yatay hızı (V_c) arttıkça, ana motorun tükettiği enerji artmasıyla spesifik enerji değerleri de yükselmektedir.

* Örneklenen doğal taşlar için halen sanayide kullanımı önerilen elmas soketlerin varyasyon deneylerinde oluşan spesifik aşınma (SW) değerleri incelendiğinde ise besleme hızını artmasıyla soket aşınma hızı da artarken, lamanın yatay hızı artarken bu değer düşmektedir. Buradan, talaş boyutunun artması ile elmas soket matriksinin aynı oranda hızla aşındığı anlaşılmaktadır. Ancak, burada önemli olan soket aşınma hızına bağlı soket ömrünün azalmasından ziyade, elmas taneleri ile metal matriks aşınma hızının uyumlu olması ve soket yüzeyin hem bilenmiş kalması hem de elmas tanelerinin kırılmaması veya düşmemesi daha önemlidir. Zira birim zamandaki matriks aşınma süreci sağlıklı gelişmez ise soketin körelmesi sonucu kısa aralıklarla yeniden bilenmesi gerekecek, bu ise bloğun toplam kesim süresini uzatacak blok kesme verimini düşürecektir.

* Salem Gold doğal taşında farklı kesme sıvısı miktarının kesme performansı gözlemlendiğinde su miktarı arttıkça kesme kuvvetleri, spesifik enerji ve spesifik aşınma değerlerinde önemli düşüşler gözlenmiştir. Kesilen talaş parçacıkları kesme ortamından ne kadar çabuk uzaklaştırılırsa, o kadar kesme verimi sağlanmakta ve soket ömrü uzamaktadır bu da hem literatürü hem pratik uygulamaları doğrulamaktadır.

* Bir elmas soket üzerinde oluşan sıcaklığın ölçülmesi için yeni bir sistem tasarlanmış ve elmas soket üzerine uygulanmış kuru ve sulu kesme koşullarında denemeler yapılmıştır. Sulu kesme koşullarında 2-3 $^{\circ}\text{C}$ 'lik fark oluşurken, kuru kesme koşullarında soket taş yüzeyine temasla birlikte sıcaklık artışı başlamakta, soket 1,5-2 cm kadar girince 150-200 $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar yükselip yatay seyir izlemektedir. Kuru kesme koşullarında elmas soketlerde parlama ve aşırı deformasyon gözlenmiştir.

7. KAYNAKLAR

- Bayram, F., Kulaksız, S., Özçelik, Y. (2003). Katraklarda Mermerlerin Fiziki-Mekanik Özelliklerinin ve Kesim Hızının Elmas Soketlerdeki aşınmalara Etkisi. *Türkiye 4. Mermer Semp. Bild. Kitabı* : 1-13.
- Büyüksağış, İ.S., (1998). Dairesel Testerele Blok Kesme Makinalarında Mermerlerin Kesilebilirlik Analizleri”, *Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* : 199.
- Büyüksağış,İ.S., (2003). Doğal taş Kesme Araçları-Yöntemleri ve Kesicilerin Özelliklerinin Tanıtımı. *Mermer Dergisi* :32-37.
- Clausen R., Stangenberg J., (1998). Frame sawing—basic and technology, in: Proceeding of the fifth Conference on Stone Machining, *Guangzhou*, 7: 67–71.
- Clausen R., Stangenberg J., (1998). Grundlagen zur Prozessbeurteilung beim Gattersagen, *Industrie Diamanten Rundschau* 32 (4) :57–64.
- Engin, İ.C., Özkan, E., (2008). Blok Kesme Makinelerinin Enerji Tüketimlerinin İncelenmesi. *Türkiye 6. Mermer Semp. Bild. Kitabı*, 140-148.
- Konstanty, J., (1991). The Materials Science of Stone Sawing, *Industrial Diamond Review*, 27-31.
- Konstanty, J., (2003). Factors Affecting Diaomond Retention in Stone Sawblade Segments, *Key Engineering Materials*, 13-20.
- Konstanty, J., (2003). Production of Diamond Sawblades for Stone Sawing Applications, *Key Engineering Materials*, 1-12.
- Kulaksız, S., (2007). Doğal taş Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri. *TMMOB Maden Müh. Odası Yay.*, 634.
- Montani, C., (2011). Stone 2010, World Marketing Handbook. *Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.p.A.*, 221.
- Onargan, T., Köse, H., (1997). Mermer, *Dokuz Eylül Üniv. Müh. Fak. Yay.* 209.

- Özbek, O., (2008). Çankırı Kahverengi Mermerlerin Kesilebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*. 52.
- Stangenberg J., (2000). Prozeßfassung und Simulation beim Gattersagen. Doctoral Dissertation. *TU Hamburg-Harburg*,
- Ucun, I., (2009). Doğal Taş Sanayinde Kullanılan Elmas Soketlerin Kesme Performansı ve Hasar Analizi Çerçevesinde İncelenmesi, *Doktora tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 148.
- Wang C.Y., Clausen R., (2002). Marble Cutting With Single Point Cutting Tool and Diamond Segments. *International Journal of Machine Tool and Manufacture*, **9**: 1045-1054.
- Wang C.Y., Clausen R., (2003). Computer Simulation Of Stone Frame Sawing Process Using Diamond Blades. *International Journal of Machine Tool and Manufacture*, **43**: 559-572.

7.1 İnternet Kaynakları

1. <http://www.mks.com.tr>
2. <http://www.actmakine.com>
3. <http://www.hartek.com.tr/>
4. <http://www.tummer.org.tr>
5. <http://www.entekotomasyon.com.tr>
6. <http://www.esitscale.com>
7. <http://www.digitest.com>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Muhammed Said EKEN
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara / 25,08,1988
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : saideken@hotmail.com, seken3@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Sivas Kongre Lisesi 2005
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü,
Makine Resim ve Konstrüksiyon Öğretmenliği
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Makine Mühendisliği

Yayınları (SCI ve diğer) :

Uluslararası Bildiriler

Eken, M. S., Uçun İ., Büyüksağış İ, S., ‘‘Bilgisayar Kontrollü Prototip Katrak Makinesinin Tasarımı ve İmalatı’’, UMTİK 2012, s. 1259-1269.

Ulusal Bildiriler

Büyüksağış İ,S., Aslantaş K., Eken, M. S.,Uçun İ., Taşgetiren S., ‘ Model Lamalı Mermer Blok Kesme Makinesinde Performans Analizi ’’, 4. Maden Makinaları Sempozyumu 2013, s. 125-132.

Hakemli Makaleler

Eken, M. S., Yavuz, İ., Mutlu İ., Ergin, H., ‘‘Emniyet Kemerini Çarpma Simülasyon Cihazı Tasarım ve İmalatı’’ Mühendis Makine Dergisi Kabul edildi. (Basım aşamasında)

Projeler :

Karbonatik Doğal taşların Elmaslı Lamalarla Kesim Parametrelerinin Optimizasyonu ve İnce Lama-Soket Kullanımının Araştırılması 110M559 no’lu TÜBİTAK projesi, Görevi: Bursiyer, 2011 - 2013.

Emniyet Kemerini Similatörü ve Çarpma Testi Cihazı Tasarımı ve İmalatı, DÜNYA SAĞLIK ÖRGÜTÜ projesi, Görevi: Tasarımcı, 2012.