

**BİLGİSAYAR KONTROLLÜ TEKTEL SİSTEMİ İLE BLOK  
KESMEDE ETKEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF EFFECTIVE PARAMETERS ON  
COMPUTER CONTROLLED MONOWIRE BLOCK  
CUTTING SYSTEM**

**EMRE YILMAZKAYA**

**Prof.Dr. YILMAZ ÖZÇELİK**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

DOKTORA TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2013

*Canım kuzenim Onur ÇİLİNGİR'in anısına*

# ETİK

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

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

beyan ederim.

26 / 06 / 2013

Emre YILMAZKAYA

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. A. Hakan BENZER'e teşekkür ederim.

Çalışma süresince yaptığı katkılarla çalışmanın sonuca ulaştırılmasında ve karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında bana olan yardımlarından ve katkılarından dolayı danışmanım Prof.Dr. Yılmaz ÖZÇELİK'e içtenlikle teşekkür ederim.

Yapılan izleme toplantılarında desteğinden ve göstermiş olduğu ilgiden dolayı Sayın Prof. Dr. Bahtiyar ÜNVER'e, tezin son aşamasına gelmesinde ve tez sonuçlarının yorumlanmasında fikirleriyle destek olan Sayın Prof. Dr. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tezin yazım aşamasında sağladığı katkılardan dolayı Yrd. Doç. Dr. İrfan Celal ENGİN'e ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN'a teşekkür ederim.

Öğrenimim süresince ve tezimin tamamlanması süresince, bana her konuda destek olan sevgili dostum Araş. Gör. Okay ALTUN'a, yapmış olduğum çalışmalarda ve tez yazımında fikir alışverişinde bulunduğum değerli dostum Ediz Sadık KANBİR'e ve tüm arkadaşlarıma gönülden teşekkür ederim. Çalışma boyunca desteklerini esirgemeyen Sayın Mustafa YILMAZ ve Sayın Işın ASLIYÜKSEK'e teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarımda desteğiyle çalışmanın tamamlanmasında önemli yer sahibi olan HARTEK firmasının Yönetim Kurulu Başkanı Sn. Zafer HARMANDAL'a çok teşekkür ederim.

Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi 013 T06 604 005 numaralı "Bilgisayar Kontrollü Monotel Blok Kesme Sisteminin Oluşturulması ve Kesmede Etken Faktörlerin İncelenmesi" isimli proje ile çalışmaya destekte bulunmuştur. Bu destekten dolayı tüm yetkililere teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarım süresince her türlü desteğini bir an olsun esirgemeyen annem A. Tülây YILMAZKAYA, babam Yüksel YILMAZKAYA, ablam Ç. Zeynep GÜRSES ve göstermiş olduğu sabır, destek, hoşgörü ve yardımları için eşim Elçin YILMAZKAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

# BİLGİSAYAR KONTROLLÜ TEKTEL SİSTEMİ İLE BLOK KESMEDE ETKEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

**EMRE YILMAZKAYA**

**Doktora, Maden Mühendisliği Bölümü**

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

**Haziran 2013, 110 sayfa**

Tektelli blok kesme makineleri doğal taş bloklarının sayılanması işleminde ve bloklardan levha kesme işlemlerinde kullanılabilir. Kesim işleminin yapıldığı tesislerde mümkün olan en düşük maliyetle ve istenen kalitede ürünün üretilmesi amaçlanmaktadır. Tektelli blok kesiminde kesim ekonomisini etkileyen en önemli performans parametreleri, kesim sırasında harcanan enerji ve kesimi gerçekleştiren elmas boncuklarda kesim sırasında meydana gelen aşınmalardır. Bu nedenle, tektelli kesim makinelerinde kesme performanslarının kesilen kayaç özelliklerine ve çalışma parametrelerine bağlı olarak ayrıntılı bir biçimde incelenmesi gerekmektedir. Böyle bir çalışmada ancak bilgisayar kontrollü hassas bir makine ile mümkündür.

Bu sebeple bu tez çalışmasının iki temel amacı bulunmaktadır. Bu amaçlardan birincisi, bilgisayar kontrollü tam otomatik tektelli kesme sisteminin geliştirilmesidir. İkinci amaç ise, öncelikle tektelli kesim makinesinin tel dönüş hızının (çevresel hız) ve telin aşağı iniş hızının (kesme hızı), tektelli kesmede kesme performans parametreleri olan birim enerji ve birim aşınmaya,, telde oluşan titreşime ve tele etkileyen kuvvetlere olan etkilerinin araştırılmasıdır. Daha sonra elde edilen sonuçlar

kullanılarak birim aşınma ve birim enerji değerleri temel alınarak her bir doğal taş için ve her bir doğal taş cinsi için ayrı ayrı kesilebilirlik abaklarının oluşturulması ve kesim optimizasyonlarının gerçekleştirilmesidir. Bu amaçlara ulaşmak için öncelikle Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde bilgisayar kontrollü, tam otomatik, üç boyutlu kesim yapabilen tektelli kesme makinesi geliştirilmiştir. Daha sonra, ülkemizdeki doğal taş ocaklarından seçilen 8 farklı doğal taş (mermer ve kireçtaşı) örneği üzerinde tektelli blok kesme makinesiyle kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda tektelli blok kesim makinelerinde kesimi gerçekleştirilen doğal taşlar için kesilebilirlik abakları oluşturulmuş ve optimum çevresel hız ve kesim hızı değerleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak, doğal taş ocaklarında tektelli kesme yönteminde bu şekilde bir çalışma bugüne kadar yapılmaması sebebiyle bu çalışmada oluşturulan abaklar, doğal taş sektöründe tektelli kesme makinelerinin daha verimli kullanılmasına katkıda bulunacaktır. Çalışma, tektelli blok kesme makinelerinin kullanımı konusunda literatürde var olan büyük bir boşluğu doldurmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Tektelli kesim makinesi; elmas telli kesme; birim aşınma; özgül enerji; kesilebilirlik abakları, optimizasyon.

## **ABSTRACT**

# **DEVELOPMENT OF COMPUTER CONTROLLED MONOWIRE CUTTING SYSTEM AND INVESTIGATION OF SOME FACTORS EFFECTING BLOCK CUTTING**

**EMRE YILMAZKAYA**

**Philosophy of Doctorate, Mining Engineering Department**

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

**June 2013, 110 pages**

Monowire block cutting machines can be used for natural stone block squaring operations and slab cutting operations from natural stone blocks. The plants where the cutting operations are performed demand high product quality with minimum operational costs. The major parameters influencing the economy of the operation are; the energy consumed and the wear occurred on the diamond beads during cutting process. For this reason, a detailed examination is needed by considering the stone properties and operating conditions. Such a study can be realized by using a computer controlled advanced machine.

The thesis study had two main objectives. Initial aim was to develop a monowire cutting machine that was fully-automated with a computer controlled system. Secondly, investigating the influences of operating parameters such as wire rotation speed (peripheral speed) and wire downward movement speed (cutting speed) on performance parameters (specific energy, unit wear), vibrations occurred and forces exerted on wire were aimed. The obtained results were then used to develop cuttability charts for each natural stone and each natural stone type based on unit

wear and unit energy and also perform cutting optimization. For this purpose, the full automatically servo controlled monowire cutting system which can cut blocks in three dimensions were developed in Hacettepe University Mining Engineering Department. Within the context of the study, 8 different natural stones (real marble and limestone) selected from different regions of Turkey were subjected to cutting operations with monowire cutting system. At the end of the cutting operations and evaluation of the data obtain from cutting operations, cuttability charts for each natural stone were developed separately and optimum peripheral speed and cutting speed values were determined.

As a conclusion, owing to the lack of monowire cutting studies on natural stone quarries, the cuttability charts developed in this study will provide the effective use of monowire cutting machines in natural stone industry. Also, it fills an important space in literature about the use of monowire block squaring machines.

**Keywords:** Monowire cutting machine; diamond wire cutting; unit wear; specific energy; cuttability charts; optimization.



# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	v
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Literatürdeki Çalışmalar .....	4
2. ELMAS TELLİ KESME YÖNTEMİ VE MAKİNELERİ .....	9
2.1. Elmas Telli Kesme Yöntemi .....	9
2.2. Elmas Telli Kesme Makineleri .....	10
2.2.1. Raylı veya Tekerlekli Elmas Telli Kesme Makineleri .....	12
2.2.2. Çoklu Elmas Telli Kesme Makineleri .....	12
2.2.3. Tektelli Kesme Makineleri (Monoteller) .....	16
2.3. Tektelli Kesmede Kesime Etki Eden Parametreler .....	20
3. BİLGİSAYAR KONTROLLÜ TAM OTOMATİK TEKTELLİ KESME SİSTEMİNİN TANITILMASI.....	21
3.1. Mekanik Birim .....	22
3.1.1. Motorlar ve Dişli Kutuları .....	23
3.1.2. Vidalı Miller .....	24
3.2. Hidrolik Birim.....	24
3.2.1. Kesim Tablası (Vagonu) .....	24
3.2.2. Tel Germe Sistemi .....	26
3.3. Elektrik ve Elektronik Birim.....	26
3.3.1. Yük Hücreleri (Yük Ölçerler) .....	27
3.3.2. Titreşim Sensörü.....	28
3.3.3. Debi Ölçer.....	28

3.3.4. Sonlandırma Şalterleri .....	29
3.3.5. Kontrol Paneli .....	30
3.3.6. Enerji Analizörü.....	30
3.4. Otomasyon Birimi.....	31
3.4.1. Otomasyon Programının Tanıtılması .....	31
3.5. Makinenin İmalatı Süresince ve Deneyler Sırasında Karşılaşılan Problemler .....	34
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	39
4.1. Numunelerin Belirlenmesi ve Nakliyesi .....	39
4.2. Kayaç Özelliklerinin Belirlenmesi .....	41
4.3. Kesim Parametrelerinin Belirlenmesi.....	43
4.4. Kesim Deneylerinin Gerçekleştirilmesi ve Veri Analizleri .....	51
4.5. İstatistiksel Analizler .....	55
4.5.1. Design Expert 7.1 Programının Tanıtılması .....	55
4.5.2. Kesme Deneylerinin Tasarımı.....	56
4.6. Sonuçların Değerlendirilmesi .....	56
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	57
5.1. Kesim Parametrelerine Bağlı Olarak Birim Enerji Değişimleri.....	57
5.2. Kesim Parametrelerine Bağlı Olarak Birim Aşınma Değişimleri .....	58
5.3. Kesim Parametrelerine Bağlı Olarak Tepkisel Kuvvetlerin Değişimleri .....	59
5.4. Kesim Parametrelerine Bağlı Olarak Titreşim Değişimleri .....	61
6. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMELER .....	64
6.1. Tasarım Özetlerinin Oluşturulması .....	65
6.2. Kesim Verilerinin Analizi.....	68
6.2.1. Kesme Deney Verilerinin Birim Aşınmayla İlgili İstatistiksel Değerlendirmeleri .....	69
6.2.2. Kesme Deney Verilerinin Birim Enerjiyle İlgili İstatistiksel Değerlendirmeleri .....	71

6.3. Optimizasyon .....	75
6.4. Hakiki Mermerler ve Kireçtaşları İçin En Uygun Kesim Koşullarının Bulunması .....	79
6.5. Doğal Taş Cinsine Göre En Uygun Kesim Noktalarının Bulunması ve Kesim Abaklarının Oluşturulması.....	80
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	84
8. KAYNAKLAR .....	88
EKLER.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	110

# 1. GİRİŞ

Doğal taşlar tarihleri boyunca yapıların tamamında ya da bu yapıların süslenmesinde kullanılmıştır. İnsanoğlu taşa el emeği göz nuru ile ruh verirken, gerek temel işlerde gerekse süslemede çevre ile uyumluluk içinde ve doğada yaşama katkıda bulunacak tarzda boyutlandırma ve şekillendirme yaptığını da görebilmekteyiz. Geçmişten günümüze kadar gelen çeşmelerde, tapınaklarda ve diğer mimari yapılarda bu tarz mimari unsurlara sıkça rastlamak mümkündür [1]. Tarih boyunca insanlar tarafından yaygın olarak kullanılan doğal taşlar, günümüzde de hem ülkemizde hem de dünyada süs eşyası, döşeme ve kaplama malzemesi, inşaat sektörü gibi farklı alanlarda önceliğini sürdürmektedir.

Tüketimi son derece yaygın olan doğal taşın hayatımıza girişi, mermer ocaklarından blok halinde mermer kesimi yapılmasıyla başlamaktadır. Mermer yatırımının esası ve birinci aşamasını ocak işletmesi oluşturmaktadır. Ocak işletmeciliğinde petrografik, mekanik ve fiziksel kayaç özelliklerinin gerektirdiği makine ve donanımla çalışılması hem üretim verimini arttırmakta, hem de malzeme sarfiyatını en düşük seviyede tutarak mermer ocağının ekonomik ömrünü uzatmaktadır [2].

Elmas telli kesme yöntemi, doğal taş ocaklarında blok üretiminden nihai ürüne kadar olan birçok aşamadaki makinelerde kullanılan vazgeçilmez ekipmanlardır. Doğal taş ocaklarının % 90'ından fazlasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntem, kullanıcıların talepleri doğrultusunda geçmişten günümüze kadar sürekli gelişim göstermiştir. Elmas telli kesme makinelerinin ocaklarda kullanımının yaygınlaşması, doğal taş madenciliğinde yeni bir dönem açmıştır [3].

Doğal taş ocağından üretimi gerçekleştirilen büyük ebatlardaki veya düzensiz boyutlardaki blokların ticari boyutlara indirgenmesi veya düzensiz boyutlu blokların küp veya dikdörtgen prizması şeklinde düzenlenmesine blok boyutlandırma (sayalama) adı verilir. Mermer ve kireçtaşı üretimi yapılan ocaklarda alınan blokların sayalanması işleminde çeşitli makineler kullanılmaktadır [1]. Bu makinelerden bir tanesi de monotelli (tektelli) kesme makinesidir (Şekil 1.1). Tektelli blok kesme makineleri doğal taş bloklarının sayalanması işleminde ve bloklardan levha kesme işlemlerinde kullanılabilen önemli makinelerdir. Üzerinde bulunan iki adet kasnaktan bir tanesi teli döndürmeye yararken, diğeri ise telin gerilmesini sağlar. Kasnakların bağlı olduğu sistem aşağı doğru inerek kesimin gerçekleştirir.



Şekil 1.1. Doğal taş işletmeciliğinde kullanılan tektelli kesme makineleri (monoteller) [4]

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Kesim işleminin yapıldığı tesislerde mümkün olan en düşük maliyetle ve istenen kalitede ürünün üretilmesi amaçlanmaktadır. Tektelli blok kesiminde kesim ekonomisini etkileyen en önemli performans parametreleri, kesim sırasında harcanan enerji ve kesimi gerçekleştiren elmas boncuklarda kesim sırasında meydana gelen aşınmalardır. Kesim sırasında meydana gelen yüksek aşınmalar sonucunda kesim verimliliği düşmekte ve bu da tel ömrünün kısalmasına sebep olmaktadır [5]. Bu nedenle, tektelli kesim makinelerinde kesme performanslarının kesilen kayaç özelliklerine ve çalışma parametrelerine bağlı olarak ayrıntılı bir biçimde incelenmesi gerekmektedir. Böyle bir çalışmada ancak bilgisayar kontrollü hassas bir makine ile mümkündür.

Bu çalışmanın iki temel amacı bulunmaktadır. Bu amaçlardan birincisi bilgisayar kontrollü tam otomatik tektelli blok kesme sisteminin geliştirilmesidir. İkinci amaç ise öncelikle tektelli kesim makinesinin tel dönüş hızının (çevresel hız) ve telin aşağı iniş hızının (kesme hızı), tektelli kesmede kesme performansı parametreleri olan birim aşınma ve birim enerjiye, telde oluşan iki yönlü titreşime ve tepkisel iki yönlü kuvvetlere olan etkilerinin araştırılmasıdır. Daha sonra elde edilen sonuçlar

kullanılarak birim aşınma ve birim enerji değerleri temel alınarak her bir doğal taş için ve her bir doğal taş cinsi için ayrı ayrı kesilebilirlik abaklarının oluşturulması ve kesim optimizasyonlarının gerçekleştirilmesidir. Bu amaçlara ulaşmak için, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde bilgisayar kontrollü, tam otomatik ve üç boyutlu kesim yapabilen tektelli kesme makinesi geliştirilmiştir. Daha sonra ise ülkemizdeki doğal taş ocaklarından seçilen 8 farklı doğal taş (mermer ve kireçtaşı) örneği üzerinde tam otomatik bilgisayar kontrollü tektelli blok kesim makinesiyle kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kesimler sonucunda telin çevresel hızı ve kesim hızı değişiminin kesme performansı parametrelerine, telde oluşan iki yönlü titreşime ve iki yönlü tepkisel kuvvetlere olan etkileri ortaya konmuştur. Elde edilen verilerin istatistiksel analizleri sonucunda geliştirilen tektelli blok kesim makinesinde kesim işlemleri yapılan her doğal taş için ve taş cinsleri (mermerler ve kireçtaşları) için kesim abakları oluşturulmuş ve birim aşınma ve birim enerjiye göre optimum kesim noktaları belirlenmiştir. Doğal taş sektöründe böyle bir optimizasyon çalışmasının eksikliği, işletmelerde kesilen kayalara uygun parametrelerde kesimlerin yapılmamasına neden olmaktadır. Bu optimizasyon çalışmasıyla, kesilecek kayaca uygun kesim parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Böylece doğal taş sektöründe bu tip makinelerin daha verimli kullanılmasına katkıda bulunulmuştur.

Yedi bölümden oluşan bu tez çalışmasının birinci bölümünde çalışmanın amacı ve yapıma sebepleri ortaya konmuş, elmas telli kesme yöntemi ve tektelli kesme makineleri ile günümüze kadar yapılan bazı çalışmalar ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

İkinci bölümünde elmas telli kesme yöntemi ve elmas telli kesme makineleri anlatılmış, bu makinelerin uygulamalarından bahsedilmiş ve elmas telli kesme yönteminde kesim verimliliğine etki eden parametreler açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, bu çalışmada geliştirilen tektelli kesme makinesinin özellikleri ve parçaları ayrıntılı olarak tanıtılmış, makine parçaları birimlerine göre sınıflandırılmış ve detaylı bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan ve bu çalışmalar yapılırken izlenen yöntemlerden bahsedilmiş, çalışmalar ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların değerlendirilmesi verilmiştir.

Çalışmalardan elde edilen sonuçlar üzerinde yapılan istatistiksel analizler ve değerlendirmeler altıncı bölümde verilmiş, bu değerlendirmeler doğrultusunda elde edilen sonuçlar ve ileride yapılacak çalışmalara ışık tutacak öneriler ise yedinci ve son bölümde sunulmuştur.

## **1.2. Literatürdeki Çalışmalar**

Günümüze kadar, doğal taş ocaklarında elmas telli kesme yöntemiyle üretim, sayalama ya da levha kesmede kullanılan büyük ve küçük elmas telli kesme makineleri, sayalama makineleri veya elmas telli kesme yöntemi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmış ancak tektelli kesme makinesiyle bu şekilde ayrıntılı bir çalışma bugüne kadar gerçekleştirilmemiştir. Bu sebeple bu çalışma, mermercilik sektöründe tektelli kesme makinesiyle yapılan blok kesim işleminde etken parametrelerin kesim üzerindeki etkilerini ortaya koymakta ve tektelli blok kesme makinelerinin kullanımı konusunda literatürde var olan büyük bir boşluğu doldurmaktadır.

Elmas telli kesme sistemleri yaygın olarak doğal taş bloklarının kesiminde, yapı endüstrisinde beton kesiminde, büyük binalar, tren yolu köprüleri ve barajlar gibi büyük yapıların sökümünde, seramik kesiminde, metal kesiminde ve hatta silikon devre levhalarının kesiminde bile kullanılmaktadır [6-9]. Elmas telli kesme yönteminin su altında metal boru kesimi [10], Avustralya'da bir barajın 96 m<sup>2</sup> lik güçlendirilmiş betondan oluşan bir bölümünün kesimi [11], Japonya'da erozyonun kontrolü amacıyla yapılmış bir barajda biriken kum-çakıl karışımının temizlenmesi amacıyla yapılan kesim [12], Hamburg havalimanında bulunan beton bir bölümün genişletme amacıyla kesimi [13], 2. Dünya Savaşı'ndan kalma bir geminin sergileme amacıyla iki parçaya bölünmesi [14], 27000 tonluk batık bir dev yük gemisinin su yüzeyine çıkartılması amacıyla dokuz parçaya bölünmesi [15], bir itfaiye aracının inceleme amaçlı parçalara ayrılmasında kullanılması gibi ilginç kullanım örnekleri literatürde mevcuttur [16].

Günümüze kadar birçok araştırmacı elmas boncuklar ve elmas teller, farklı tiplerdeki elmas telli kesme makineleri, kesilen malzeme özellikleri ve kesimde kullanılan makine parametreleri üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Bazı araştırmacılar;

elmas boncuk aşınmasının [17, 18], motor gücü ve tel hızının [19, 20], telin yapısının ve teldeki boncuk sayısının [5, 17], kesilecek mermer bloğu boyutlarının [21, 22], kesim esnasındaki kesme geometrisinin [17, 18], boncuğun yapısının [17, 18, 22, 24, 25, 26] ve elmas telli kesimin bilgisayarlı modellemesinin [23, 27, 28] yöntem üzerine etkilerini araştırmışlardır.

Polat [2] yaptığı çalışmada elmas telle blok mermer üretiminde dokusal ve bileşimsel kayaç özelliklerinin ve kayaçların doku katsayısı değerlerinin, kesim sırasında elmas boncuklarda meydana gelen aşınmalara etkisini ve mermerlerin elmas tel ile kesiminde dokusal özelliklerin etkisini ortaya koymuştur.

Elmas boncukların yapısıyla, boncuk tipleriyle ve farklı tipteki elmas tellerle ilgili olarak yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır:

Fang [29], yaptığı çalışmada elmas boncuk üretmek için yeni ve çok daha ucuz demir tabanlı bir bileşik kullanmıştır. Fang et al. [30], bu demir tabanlı boncukların üretim koşullarının elmas boncuğun özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada sıkıştırma basıncı, bekleme süresi, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi parametreleri incelenmiştir.

Kanbir [31] ve Ozcelik [32] tek boncuk test cihazını üretmiş, bu cihazı kullanarak elmas telli kesme yönteminde etken faktörlerin belirlenmesi konusunda çalışmalar gerçekleştirmiş ve kesilecek mermere en uygun yük, boncuk ve mermer numunesi motoru devir hızının belirlenmesi işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Özçelik ve Yılmazkaya [33], tek boncuk test cihazını kullanarak yaptıkları çalışmada bir elmas boncuğun kullanım ömrü boyunca aşınmasının, ağırlık kaybının ve kesim hızının değişimlerini incelemişler ve elmas boncuğun kesme kapasitesinin ömrü boyunca üç farklı şekilde davrandığını ortaya koymuşlardır.

Özçelik vd. [34], tek boncuk test cihazı ile 30 farklı kayaç türünde kesme deneyleri yaparak kesilebilirlik abakları oluşturmuşlardır. Araştırmacılar ayrıca tek boncuk test cihazıyla yapılan kesimin sayısal modellemesini de gerçekleştirmişlerdir.

Bir diğer çalışmada da Risso et al. [35] yeni bir şekle sahip (çift çıkıntılı) elmas boncuk üretilip bu tipteki elmas tel ile tektelli kesme sistemi kullanarak kesim deneyleri gerçekleştirmiştir. Köprü iniş motoru 11 kW değerinde sabit tutulduğu durumda elmas tel tam olarak aşınana kadar kesimler gerçekleştirilmiştir. Bu koşulda, yeni üretilen boncukların oluşturduğu elmas telin kesim hızı 1.65 m/saat



olarak başlamış ve telin bitiminde 1.2 m/saat e düşmüştür. Geleneksel elmas tel ise 0.7 m/saat ile başlamış ve telin bitiminde 1.2 m/saat e yükselmiştir. Geleneksel tel ile toplam 1300 m<sup>2</sup> kesim yapılmış, araştırmacıların ürettiği tel ile ise 1000 m<sup>2</sup> kesim yapılabilmektedir. Araştırmacılar kesim hızlarındaki bu farkı temas yüzeyindeki basınç farklılığı ile açıklamışlardır. Çalışma sonunda yazarlar, yüksek kesim hızları ve % 15'e varan blok kesim maliyet kazancı sağlanabileceğini belirlemişlerdir.

Literatürde, elmas telle ilgili pek çok çalışma yapılmasına rağmen tektelli kesme makineleri üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Tektelli kesme sistemini kullanarak yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir:

Butler-Smith et al. [36], granitler üzerinde yaptıkları çalışmada elmas tek telli kesme makinesinin çalışma koşullarını incelemiş ve tek boncuk test cihazı ile elmas telin performansını etkileyen parametreler üzerine araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, araştırmacılar telin çevresel hızını, tel gerdirmesini ve su akış hızını sabit tutmuşlar, kesme hızı, iniş hızı, elmas tipi ve test edilen kayacın uzunluğunu ana değişkenler olarak almışlardır. Çalışma sonunda, kesim hızının artması ile tele uygulanan normal ve yatay kuvvetlerin arttığını ve en yüksek kuvvetlerin en uzun blokta görüldüğünü tespit etmişlerdir.

Huang et al. [37] yaptıkları çalışmada lehimli elmas boncuklu teller kullanılarak yapılan kesimlerde görülen elmas kırılmalarını, elmas boncukların yapım aşamasından itibaren incelemişlerdir. Bu kırılmaların sebeplerini farklı lehimleme sıcaklıklarında elmas tanelerinin tek eksenli basınç dayanımı gibi mekanik özelliklerindeki ve görünümlerindeki değişikliklerle ilişkilendirmişlerdir. Bu tipteki elmas tanelerin kök bölümünden gevrek bir kırılma ile kırıldığını tespit etmişlerdir.

Huang and Xu [38] yaptıkları çalışmada, tektelli kesme makinesinde lehimlenmiş ve sinterlenmiş elmas boncuklarla kesimler gerçekleştirmişler ve kesme performanslarını karşılaştırmışlardır. Her iki tipteki tellerde, sabit kesim hızı ve sabit kesme kuvveti durumlarında araştırmacılar tarafından denenmiştir. Çalışma sonunda, lehimli elmasların sinterlenmişlere göre daha düşük kuvvetlerde kesim gerçekleştirdiklerini, daha düşük güç harcadıklarını, elmas telin taşa temas yüzeyinin tele etkileyen daha düşük miktardaki normal kesme kuvvetinden dolayı daha iyi olduğunu belirlemişlerdir.

Liu et al. [39], elmas telli kesimde telin taşın içindeki yörüngesini ve mekanizmasını teorik olarak analiz etmişler ve mermer ve granit örnekleri üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirip sonuçları teorik analizleriyle karşılaştırmışlardır.

Zhang and Wang [40], tektelli kesme makinesiyle granit kesiminde elmas telin aşınmasını ve kesme kuvveti, tel dönüş hızı ve telin iniş hızı ile olan ilişkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda araştırmacılar aşınmaya direnç olarak niteledikleri kavramın (elmas tel kullanılarak kesilen blok alanı/bu alanı keserken boncuklarda görülen aşınma miktarı) telin aşağı iniş hızı ile doğrudan bir ilişkisi olduğunu ve iniş hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin yükseldiğini ve bu oranın düştüğünü belirlemişlerdir.

Huang and Xu [41] tektelli kesme sistemiyle elmas telli kesmede karşılaşılan önemli problemlerden biri olan kesim sırasından elmas telin kopması konusunda bir çalışma gerçekleştirmiş ve tesislerden topladıkları kopmuş tel örneklerini makro ve mikro boyutlarda incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, tel kopmalarının asıl sebebinin yorulmadan kaynaklı yenilme olduğunu ve kopma olayının kesimde kullanılan çalışma parametrelerine hassas olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, kopmaların iki temel noktada görüldüğünü belirlemişler ve bu noktaların boncukla yayın geçiş ara yüzeyi ve sıralı iki boncuk arasındaki orta bölüm olduğunu belirtmişlerdir. Buna ek olarak, araştırmacılar farklı tel gerilme değerlerinde kesimler gerçekleştirmişler, yüksek ve düşük gerilme değerlerinde yaptıkları kesimlerde tel kopmalarının daha hızlı görülmeye başladığını belirlemişlerdir. Bu nedenle, çok yüksek ya da çok düşük olmayan bir gerilme değerinin seçilmesini tavsiye etmişlerdir. Ayrıca, araştırmacılar kesme hızının artmasıyla tel kopmalarıyla daha hızlı karşılaşıldığını belirlemişlerdir.

Ge et al. [42] ve Gao et al. [43], karmaşık elektro-kaplama yolu ile elmas aşındırıcı parçaları çelik matriks üzerine nikel kaplamayla sabitledikleri bir elmas tel üretmiş ve üretilen bu tel ile tektelli kesme sistemini kullanarak granit örnekleri üzerinde kesimler gerçekleştirmişlerdir. Ürettikleri bu tele sonsuz elmas tel adını vermişlerdir. Yaptıkları deneylerde elmas tane boyutunun, tel hızının ve yük değerlerinin, kesimi gerçekleştirilen granitin yapısının ve soğutucu suyunun kesime olan etkilerini incelemişlerdir. Buna göre telin dönüş hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin düştüğü ve iniş yükü arttıkça kuvvetlerinde arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, elde ettikleri sonuca göre kullandıkları bu sistem sayesinde kesim sonrasında elde edilen ürünün

herhangi bir işleme tabi tutulmadan direk olarak yüzey parlatmasının yapılabileceğini ve bununla üretilebilirliğe olumlu bir etkisinin olacağını öne sürmüşlerdir.

Huang et al. [44], tektelli kesim sistemiyle granit örneklerinin kesiminde tel hızının, kesme hızının ve su beslemesinin elmas telin ve kesim ortamının sıcaklığına etkilerinin incelenmesi ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, ortam sıcaklığının tel dönüş hızındaki artışla yükseldiğini ancak kesme hızı ile sıcaklık arasında belirli bir ilişki olmadığını tespit etmişlerdir. En yüksek ortam sıcaklığının düşük kesim hızında yani telin aşağı iniş hızının düşük olduğu durumda kesimin ön bölgesinde telin taşla ilk temas ettiği bölgede görüldüğünü belirlemiştir.

Elmas tel ve elmas telli kesme sistemi, asıl olarak doğal taşların kesimi için üretilmişlerdir, ancak güçlendirilmiş beton ve metal yapıların kesiminde de kullanılabilirlerdir. Denkena et al. [45], tektelli kesme makinesiyle beton kesimi üzerine bir araştırma gerçekleştirmişler ve buldukları sonuçlarla kesme mekanizmasını incelemişlerdir. Deneysel sonuçlarda araştırmacılar kesim kuvvetlerinin aşağı iniş basıncının artması ile arttığını ve aynı etkinin aşınmada da görülebileceğini tespit etmişlerdir. Buna ek olarak, kesme hızının artması ile kesim kuvvetlerinin ve aşınmanın düştüğünü belirlemişlerdir. Bu çalışmadan farklı olarak, Denkena et al. [46] yaptıkları çalışmada geleneksel tel kesme aletlerinin saf çelik yapılarında kullanımını incelemişlerdir. Çalışmada, sinterlenmiş, elektrolitik kaplanmış ve lehimlenmiş elmas boncukları denemişlerdir. Çalışma sonunda, çok katmanlı ve metalik bağlı elmas boncukların çelik kesimine uygun olmadığını tespit etmişlerdir.

Literatürde tektelli kesme sistemi ile alakalı olarak yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde bilgisayar kontrollü bir makinenin mevcut olmadığı ve tektelli kesme sistemi kullanılarak yapılan kesimlerde etken olan parametrelerin (çevresel hız ve kesme hızı) farklı değerlerinde yürütülen kesim işlemlerinden elde edilen birim aşınma ve birim enerji değerlerini temel alarak yapılan bir kesim optimizasyonunun yapılmadığı görülmektedir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasıyla, literatürde bulunan eksikliğin giderilmesi ve hızla gelişen doğal taş sektörüne bilimsel ve teknolojik açıdan katkıda bulunulması düşünülmüştür.

## 2. ELMAS TELLİ KESME YÖNTEMİ VE MAKİNELERİ

### 2.1. Elmas Telli Kesme Yöntemi

Günümüzde Türkiye’de ve Dünya’da doğal taş ocaklarında blok üretiminde en yaygın olarak kullanılan yöntem elmas telli kesme yöntemidir.

Elmas telli kesme yönteminde elmas boncuk yapısı oluşturma düşüncesi ilk defa 1969 yılında değerlendirilmiştir [47]. Bu düşünce üzerine yapılan çalışmalar sonucu oluşturulan elmas tel 1969 ve 1970 yıllarında sergilenmiş ve ilk olarak elektrolitik kaplamalı tel ile kesme ekipmanları ocaklarda mermer çıkartımı için denenmiş, ancak büyük çekme ve eğilme gerilmelerine maruz kalan tellerin mekanik dirençlerinde sorunlar çıkmıştır [48]. Elmas telli kesme yöntemi mermer işletme sektöründe ise ilk defa 1970’li yıllarda, mermer fabrikalarında blokların sayılanmasında kullanılmış, ancak aynı yıllarda ortaya çıkan monolamalar bu makinelerin yaygın bir biçimde kullanılmasına olanak vermemiştir [49].

Bu ön çalışmalar ile birlikte bir takım girişimler artarak birbirini takip etmiş ve elektrolitik boncukların yer aldığı telleri daha verimli kullanabilecek çeşitli makine kombinasyonları ile blok üretimi sağlamak amacıyla bir takım testler yapılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde 1978-1979 yılları arasında, ocaklarda elmas tel kullanımı kesin olarak başlamıştır. Bugün yalnız blok üretim amaçlı değil, blok işleme aşamalarında da önemini hissettiren elmas tel uygulamaları sayesinde, silindirik, konik ve kompleks taslaklar, konveks ve konkav yüzeyler gibi isteklere göre şekillendirilebilen parçaların üretimi sağlanmıştır [47].

Elmas telli kesme yönteminin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir;

- Her türlü yeraltı ve yerüstü yapıların kesilmesinde kullanılabilmesi,
- Başka yöntemlerle birlikte kullanılabilen esnek bir yöntem olması,
- Doğal taş madenciliğinde büyük boyutlu kesimlerin yapılabilmesine olanak sağlaması (200 m<sup>2</sup>’den büyük),
- İlk yatırım maliyetlerinin düşük olması,
- Makine ve ekipmanın kendini amorti etme süresi daha kısa olması,
- Daha az toz ve artık oluşturması,
- Daha az kayıpla daha düzgün blok üretimine olanak sağlaması ve bloğa hasar vermemesi,

- İş yoğunluğu diğer yöntemlerden daha az olduğundan, iş gücünün daha verimli kullanılmasına imkan tanınması,
- Yüksek kesme hızlarında üretim kapasitesini artırmanın mümkün olması,
- Doğal taş işletmeciliği dışında farklı alanlarda da rahatlıkla kullanılabilmesi [50-52].

Elmas teller kullanıldıkları yere göre farklı özelliklere sahip olmaktadır. Elmas telin 3 farklı şekilde dizilimi yapılmaktadır. Bunlar; yaylı dizilim, plastik enjeksiyon ile dizilim ve kauçuk enjeksiyonla dizilimdir. Genel olarak elmas tel; çelik halat, elmas boncuklar, pullar, sıkımlar, yaylar ve bağlantı elemanından oluşmaktadır. Bu çalışmada plastik kaplamalı elmas teller kullanılmıştır (Şekil 2.1). Bu tipteki tellerde sıkma ve pul bulunmamaktadır [1].



Şekil 2.1. Plastik kaplamalı elmas teller [53]

## 2.2. Elmas Telli Kesme Makineleri

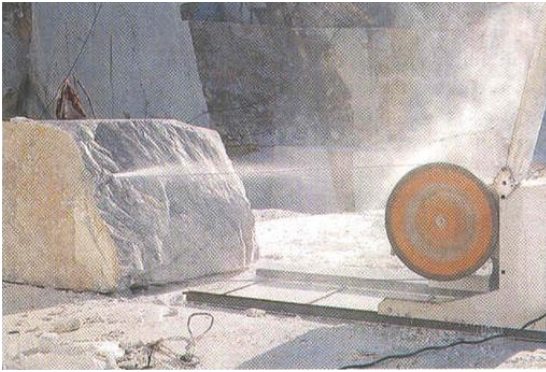
Elmas telli kesme makineleri doğal taş ocaklarının büyük çoğunluğunda blok üretimi, sayalama ve levha üretimi işlemleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu makinelerin çalışmaları için özel bir kapalı alana ve tesise ihtiyaç yoktur. Dolayısıyla doğal taş ocak sahasında, yükleme ve stok alanına yakın bir yerde kurulması idealdir. Kesimde ocakta kullanılan yıpranmış eski elmas boncuklu teller de kullanılabilir. Yüksek kesme hızı ve kolay pozisyon sağlaması ve bakım-onarım kolaylığı açılarından çok kullanışlıdır. Ocaklarda elmas telli kesme yöntemini kullanarak kesim işlemini gerçekleştiren çeşitli elmas telli kesme makineleri mevcuttur (Şekil 2.2) [1].



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2.2. Elmas telli kesme makineleri (Tek telli kesme makinesi (a) [54], Rampalı sayalama makinesi (b) [55], Raylı elmas telli kesme makinesi (c) [1], Çoklu telli kesme makinesi (d) [56]

Geleneksel elmas telli kesme makineleri uygulamalarında yalnız bir kesitte çalışılır; blok, üzerine oturtulduğu platformda kesilir ya da parçalara ayrılır. Bu modellerin başlıca kullanımı:

1. Bloktan tek bir büyük (veya bazı durumlarda daha çok) levhayı diğer amaçlar için uygun boyuta indirmek.
2. Blok kesici makinalar için bloğun kenarlarını şekillendirmek.
3. Blokları kalın parçalara ayırmak
4. Blokları katrik ile kesim için hazırlamak (bu sayede katrik hacimsel olarak daha iyi doldurulmuş olur)

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

Raylı elmas telli kesme makineleri doğal taş ocaklarında birincil kesim işleminde ve sayalama işleminde kullanılan kesme makineleridir (Şekil 2.3). Bu makineler, yere kurulan raylar üzerinde geriye doğru hareket ederek kesim işlemini gerçekleştirebilmektedirler.



Şekil 2.3. Raylı elmas telli kesme makineleri [57]

Tekerlekli elmas telli kesme makineleri, ocaklarda sayalama işlemlerinde kullanılmaktadırlar. Raylı makinelere benzeyen modelleri ya da rampa üzerinde hareket eden tipleri mevcuttur (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Tekerlekli elmas telli sayalama makineleri [1, 55]

### 2.2.2. Çoklu Elmas Telli Kesme Makineleri

Çoklu elmas telli kesiciler (Şekil 2.5), aynı anda çok sayıda elmas tel kullanarak blokların levhalara ve/veya kalın levhalara ayrılması için tasarlanmıştır. Tek telli makinaların yeni modelleri olan bu makinalarda bir çok elmas tel (60 adete kadar) yan yana çalıştırılır ancak her biri ayrı ayrı kontrol edilir, gerginleştirilir. Birçok çoklu tel makinaları üzerinde elmas telin gerginliğini teker teker sağlayan pnömomatik silindirler vardır. Makinenin her iki tarafında (genellikle iki) büyük çaplı kasnaklar ve küçük çaplı gerilim kasnakları yerleştirilmiştir (Şekil 2.6) [1].



Şekil 2.5. Çoklu elmas telli kesme makineleri [58]



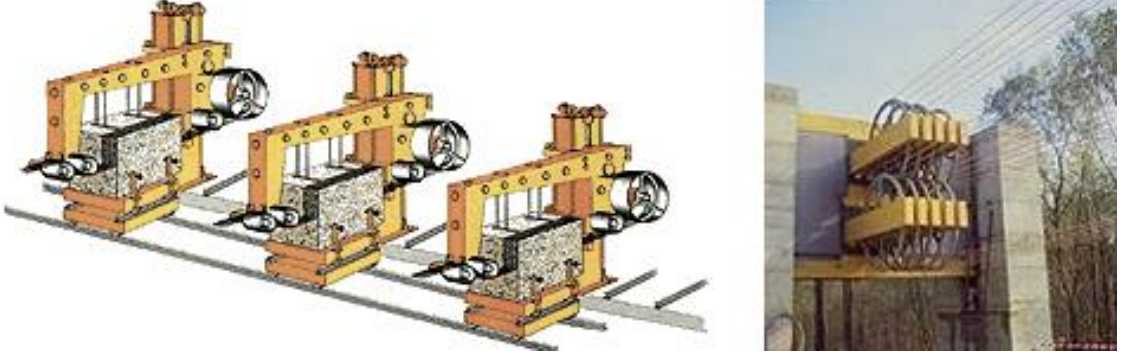
Şekil 2.6. Elmas tellerin gerilimini koruyan mekanizma [1]

Levhanın genişliği makina üzerindeki gerilim kasnaklarının arasındaki mesafe tarafından ayarlanır. Genellikle levhaların kalınlığı (gerilim kasnaklarının arasındaki mesafe) 20 mm'dir.

Çoklu elmas tellerin üretilmesi tekli tellerin gelişiminden sonra olmuştur. Burada en önemli faktör kullanılan bütün tellerin aşağıya doğru aynı hızda, aynı basınçta ve aynı gerilimde hareket etmeleridir. İlk çoklu tel (bünyesinde 10 sıra elmas telindizildiği) 1997 yılında İtalya'daki Wires Engine tarafından imal edilmiştir. Belirli bir süre sonra bu makina yine İtalya'daki Bide Seimpianti Snc. tarafından geliştirilerek çoklu teller daha ileri versiyonlarını piyasaya sürmüşlerdir. Birkaç yıl sonra aynı firma tarafından 50 telli ve kısa bir süre sonrada 58 telli makinaları tüketicilerin hizmetine sunmuştur.



İki türü vardır: İlkinde iki ana ünite bulunur; “kesme ünitesi” büyük çaplı motorize bir tamburdan oluşur, bunun yanı sıra küçük çaplı üç tambur daha vardır (Şekil 2.7). Diğeri de “gergi ünitesi”dir, elmas telleri germek için kılavuzluk yapan kasnak ve bunu taşıyan bir şasiden ibarettir. Makinada ayrıca kontrol paneli, blok taşıyıcı ve çamur kontrolü için kapalı bir sistem mevcuttur. Elmas teller 8-20 mm çapındadır, germe ve çalıştırmayı, kapalı bir devre halinde çalışarak gücü aktaran büyük tambur, küçük tambur ve gergi kasnakları sağlar. Her bir telin uzunluğu 60 metredir.



Şekil 2.7 Çoklu elmas telli kesme makinası çeşitleri [1]

İkinci tip, tek telli makinanın gelişmiş şeklidir, her kenarda hareket ve gergi kasnakları vardır. Tel uzunlukları ilk modelden daha azdır (yaklaşık 25 metre). İlginç olan yönleri, çift gergi mekanizması ile kenardan kenara uzayan teller ile birçok bağımsız tek telli model gibi çalışmasıdır; her birinde tel uzunluğu diğerlerinden bağımsızdır. Aradaki mesafeden dolayı birbirinden en uzakta bulunan iki tel homojen olmayan taşlarda problemsiz çalışabilir (Şekil 2.8). Çoklu telleri tel sayılarına göre de sınıflandırmak mümkündür. Teknolojinin gelişimiyle birlikte tel sayısı da artmaktadır [1].



Şekil 2.8 Çoklu elmas telli kesme makinası ve parçaları [1]

Çoklu elmas telli kesme makinalarının önemli avantajları aşağıda sıralanmaktadır [59];

- Elmas tellerin türü ve hızı değiştirilerek hem mermer hem de granitte çalıştırılabilir
- Elmas tellerin türü ve pozisyonları değiştirilerek levha kalınlıkları değiştirilebilir
- Levha maliyeti levha kalınlığına bağlı değildir
- Levhalar kesim sonrası iyi şekle sahip olurlar
- Çok yönlü iş programları (blokları kısmen kesebilme, farklı taşlardan bloklara uygun hale ayarlanabilme, farklı kalınlıklara çabuk ayarlanma, düşük durma zamanları, vb.)
- Son levha yıkama aşamasına gerek duyulmaz (granit)
- Çamur oluşumu düşüktür (işlemeyi kolaylaştırma amaçlı)

### 2.2.3. Tektelli Kesme Makineleri (Monoteller)

Tek elmas telli kesme makineleri (Şekil 2.9); mermer, granit ve kumtaşı bloklarını kübik hale getirmek (sayalamak) veya bu bloklardan kalın levhalar kesmek için tasarlanmıştır. Bu makineler, raylı ya da rampalı telli kesme makinelerinden farklı bir kesme sistemine sahiptir.



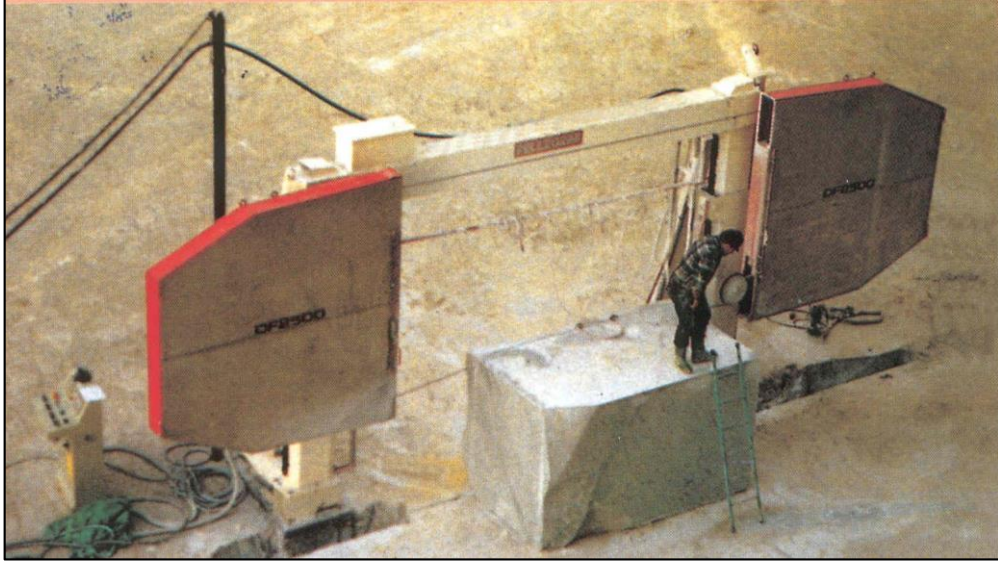
Şekil 2.9. Doğal taş işletmeciliğinde kullanılan elmas tek telli kesici (monotel) [1]

Makina iki adet yukarı aşağı hareket eden güçlü kasnak taşıyıcı bölümler, bir adet ara kiriş ve iki adet kutu şeklinde tasarlanmış kolonlardan meydana gelmiştir, maksimum kesim hassasiyeti sağlayabilmek için kolonların dört yüzeyi de hassas bir şekilde kızak yüzeyi olarak işlenmiştir (Şekil 2.10). Kasnaklar, elmas boncuklu teldeki gerilmeleri en azına indirerek telin dönmesini sağlamak ve titreşimleri en aza indirmek için 2 m çapında üretilirler. Elmas boncuklu telin gerilim kuvveti hava basıncı yardımıyla 200 ile 500 kg arasında ayarlanabilir. İki adet 2 m çapındaki kasnaktan birisi 900 mm boyundaki bir kızak üzerinde bir hava pistonu yardımı ile elmas boncuklu telin gerilmesini sağlar. Tek telli kesme makinalarının en önemli avantajlarından bazıları aşağıdaki gibidir;

- Bu sistemde koparak kısalan elmas boncuklu teller kullanılabilir.
- Kesim sırasında elektrik motoru zorlandığında hızı düşürür. Bu sayede hızı otomatik olarak kendi ayarlar.

- Telin kopması durumunda makinayı otomatik olarak durduran emniyet sistemine sahiptir.

Tek testereli kesim makinasıyla (monolama) aynı amaç için kullanılan elmas telli kesicilerin tek farkı elmas boncuklu telle kesim yapmasıdır. Ancak bu makinaların aynı zamanda granit bloklarının kesiminde de kullanım olanağı vardır. Elmas telli kesicilerle kayaç, üzeri lastikle kaplanmış makaralarla yönlendirilen elmas boncuklu tel ile kesilir.



Şekil 2.10. Metal ayaklar üzerine monte edilmiş elmas telli kesme makinesi [1]

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

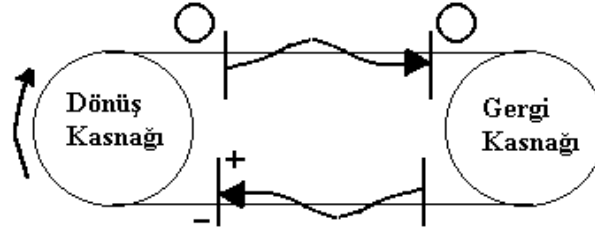
Tektelli kesicilerde tel dönüşünün kontrolü önemlidir. Tektelli kesicilerde tel dönüşünün statik kontrolü mandal yöntemi ile yapılmaktadır. Bu yöntemde;

- Teli döndüren ana kasnağın kapağı açılarak telin kasnak yardımıyla birkaç tur dönmesi sağlanır.
- Gerilim kasnağının önüne alttaki tel üzerine bir mandal yerleştirilir. Tel, dönüş kasnağı yardımıyla döndürülerek iki kasnak arasındaki dönüş yönü ve sayısı kontrol edilmelidir.

- Mandal dönüş kasnağının çıkışına yerleştirerek aynı işlemle üstteki telde kontrol edilmelidir.

Elmas tek telli kesicilerde tel dönüşünün dinamik kontrolü ise boyama yöntemi ile yapılmaktadır. Bu yöntemde ise;

- Tel, eklemenin yanından itibaren 50-60 cm boyunca çabuk kuruyan sarı boya ile tek taraflı boyanır.
- Kesim başlatılır ve boyanan kısım gözlenir. Eğer tel üzerinde düzgün bir burkulma varsa boyalı kısım her ilerlemede değişik konumda görünecektir. Bu metot ile telin dönüşü herhangi bir zamanda kontrol edilebilir: kesim parametreleri üzerindeki değişiklik, kesim geometrisini ve su vermenin telin dönüşü üzerine etkisini de kontrol etmek mümkündür. Aynı zamanda halatın ömrünü tamamladığı ve telin yeniden plastiklenmesi gerektiğinin kontrolü de yapılabilir. Şekil 2.11'de üst ve alt telde dönüş yönünün kontrolü şematik olarak gösterilmektedir [1].



Şekil 2.11. Üst ve alt telde dönüş yönünün kontrolü

Elmas tek telli kesicilerde kesilecek blok boyutları bazı parametrelere göre belirlenir. Teorik olarak blok yüksekliğini ana kasnak çapı belirler. Örneğin, 2000 mm çap için 2 m, 2500 mm çapı için 2,5 m blok yüksekliğinden fazlası seçilemez.

Pratikte telde oluşan eğim nedeniyle, ara sıra teller arasındaki mesafeyi arttıran küçük yardımcı makaralar kullanılarak kesimler yapılabilir. Bu ayrıca bloğun vagon üzerine montajına bağlıdır. Her ne şekilde olursa olsun üst telin kesimin içine girmesi engellenmektedir. Çünkü;

- Üstteki tel su demetlerini kesebilir.
- Su demetleri kesim içerisinde yanal yönde hareket etse bile alt tel üzerine gelen su miktarı düşer.

- Kasnaklar en alt seviyeye ulaşıp kesimi tamamladığında alt tel üzerinde gerilim kaybolur ve çökme oluşur. Bu durumda üst telde titreşim başlar ve kesim yüzeyinde genişleme oluştuğundan levha yüzeyinde bozulmalar oluşur.
- Üst ve alt teller birbirine paralel değilse veya aynı dikey yüzeyde değilse (kasnaklar eğimli duruyorsa) üst tel blok üzerinde ikinci bir kesim oluşturur.

Blok uzunluğu göz önüne alındığında optimum kesme şartları blok uzunluğunun 1,5 m ile 3,5 m arasında olduğu durumdur. Daha kısa veya daha uzun bloklar kesim emniyeti ve verimliliği açısından kesime uygun değildir (telde eğilme, çevresel hız, kesim hızı ve su verme problem yaratabilir). Eğer 2,5 m'den uzun blok kesilecekse küçük yardımcı makara gerilim kasnağının çıkışına yerleştirilir. Bloğun giriş veya çıkışını yardımcı makara yerleştirdiğiniz zaman iyi monte edilmiş olduğuna dikkat edilmelidir. Her hangi bir yanal yöndeki oynama kesimin çapraz başlamasına ve levha yüzeyinin düzgün olmamasına neden olur [1].

Elmas tek telli kesicilerde bloğun sabitlenmesi işlemi genellikle göz ardı edilen fakat telin ömrünü etkileyen önemli faktörlerden bir tanesidir. Elmas tel, kesimin sonunda tahta içerisine girebildiğinden ötürü bloğu yaş tahta üzerine koymaktan kaçınmak gerekmektedir. İdeal olarak blok mermer veya kireçtaşı bir kütük üzerine yerleştirilmelidir. Bloğun mükemmel bir şekilde sabitlenmesi kesimin düzgün bir şekilde yapılabilmesi için önemlidir. Blok düzgün olarak yerleştirilip sabitlendiğinde, peş peşe kesimler ya da programlanabilir makine ile değişik kalınlıklarda kesimler yapılırken makine başında operatör bulunmasına gerek kalmaz.

Bloğun tabanı, uzunluğu ve genişliği boyunca çabuk kuruyan çimento ile sabitlenmelidir. Bu işlem;

- Telin kesim içinde sıkışmasını, levhanın hareket etmesi ile birlikte kesim sonunda plastik kısmının bozulmasını ve iç halatın kırılmasını,
- Kasnaklar en alt seviyeye indiğinde telin levhanın altında sıkışmasını,
- Telin levha yüzeyinde iz bırakmasını engeller.

Blok çok iyi sabitlenmiş olsa bile iç gerilmeler nedeniyle kısmi süreksizlikler oluşarak telin kesim içerisinden rahatlıkla çıkmasını engeller [1].

### 2.3. Tektelli Kesmede Kesime Etki Eden Parametreler

Literatürde tek telli kesme sistemi üzerine yapılan çalışmalar ve bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen kesim deneyleri göz önüne alındığında tektelli kesme makinesiyle yapılan kesimlerde, kesme performansını etkileyen çeşitli parametrelerin bulunduğu görülmektedir. Bu parametreler sabit parametreler ve değiştirilebilir parametreler olarak iki başlık altında toplanabilir. Bunlardan sabit yani değiştirilemeyecek parametreler, ortam kayaç parametrelerini, kayaçların fiziki, mekanik, mineralojik-petrografik vb. özelliklerini nitelendirmektedir. Değiştirilebilir parametreler ise kesme ekipmanının özellikleri ve çalışma koşulları ile ilgili özelliklerdir. Tektelli kesme sisteminde kesme performansını etkileyen parametreler Çizelge 2.1’de verildiği şekilde oluşturulmuştur.

Çizelge 2.1 Tektelli kesme sisteminde kesme performansına etki eden parametreler

Sabit Parametreler		Değiştirilebilir Parametreler		
Kesilecek Özellikleri	Kayaçın	Kesme Özellikleri	Ekipmanının	Çalışma Koşulları
<ul style="list-style-type: none"><li>Fiziksel ve mekanik özellikler</li><li>Kimyasal özellikler</li><li>Mineralojik özellikler</li><li>Petrografik özellikler</li><li>Tane-yönlenmesi ve dolgulu süreksizlikler</li><li>Dokusal özellikler</li><li>Yapısal özellikler</li><li>Bozulma karakteristiği</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>Telin dönüş hızı (çevresel hız)</li><li>Telin aşağı iniş hızı (kesme hızı)</li><li>Tel gerilmesi</li><li>Elmas telin ve boncuğun yapısı</li><li>Motor gücü</li><li>Kesilen bloğun boyutları</li><li>Telin kayaç içerisindeki eğimi</li><li>Makine titreşimi</li><li>Kesmede oluşan kuvvetler</li><li>Su tüketimi</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>Kalifiye eleman</li><li>Ortam ısısı</li></ul>

### **3. BİLGİSAYAR KONTROLLÜ TAM OTOMATİK TEKTELLİ KESME SİSTEMİNİN TANITILMASI**

Tektelli blok kesme makineleri doğal taş bloklarının sayılanması işleminde ve bloklardan levha kesme işlemlerinde kullanılabilir. Kesim işleminin yapıldığı tesislerde mümkün olan en düşük maliyetle ve istenen kalitede ürünün üretilmesinin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu makinede kesme işlemi elmas tel kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Elmas telli kesme yönteminin kullanıldığı bir ocakta elmas telin verimli bir biçimde kullanımı düşük miktarda elmas tel aşınmasını, telin daha uzun ömürlü olmasını ve yüksek kesim hızlarıyla kesim yapılabilmesini sağlamaktadır ve bu da işletme maliyetlerini düşürmektedir. Elmas telli kesme yöntemi kullanılarak yapılan kesim işlemlerinde birçok değişken parametre bulunmaktadır. Yatırım maliyetleri oldukça yüksek olan tektelli kesme makinalarının kesme sistemlerinin ayrıntılı bir biçimde incelenip anlaşılması, verimli bir şekilde kullanılabilmesini sağlayacak ve doğal taş işleme tesislerinin verimliliklerini artırıp üretim maliyetlerini düşürecektir. Bu nedenle, tektelli kesme makinesi tasarımı yapılırken endüstride kullanılan tektelli kesme makinelerinden farklı olarak, kesimde önemli rol oynayan bazı parametrelerin izlenebilmesi amacıyla çeşitli sensörler ve ölçüm cihazlarıyla donatılmıştır.

Tasarımı yapılan ve imal ettirilen bilgisayar kontrollü tam otomatik tektelli blok kesim makinesinin görünümü Şekil 3.1'de; boyutları ise Şekil 3.2'de verilmiştir. Makineyle, 1,2 m yüksekliğindeki ve 1,2 m genişliğindeki bloklar kesilebilmektedir.

Tasarımı yapılan ve imal ettirilen tektelli blok kesim makinesi dört ana birimden oluşmaktadır:

- Mekanik birim
- Hidrolik birim
- Elektrik ve elektronik birim
- Otomasyon birimi





Şekil 3.1. Tektelli blok kesme makinesinin genel görünümü



Şekil 3.2. Tektelli kesim makinesinin boyutları

### 3.1. Mekanik Birim

Tektelli kesim makinesi, elmas telli bir blok kesim makinesidir. Makinanın mekanik olarak düşey düzlemde tel hareketini sağlayan yukarı-aşağı köprü hareketi ve yatay düzlemde kesim hizasını ayarlayan sağa-sola vagon hareketi bulunmaktadır.

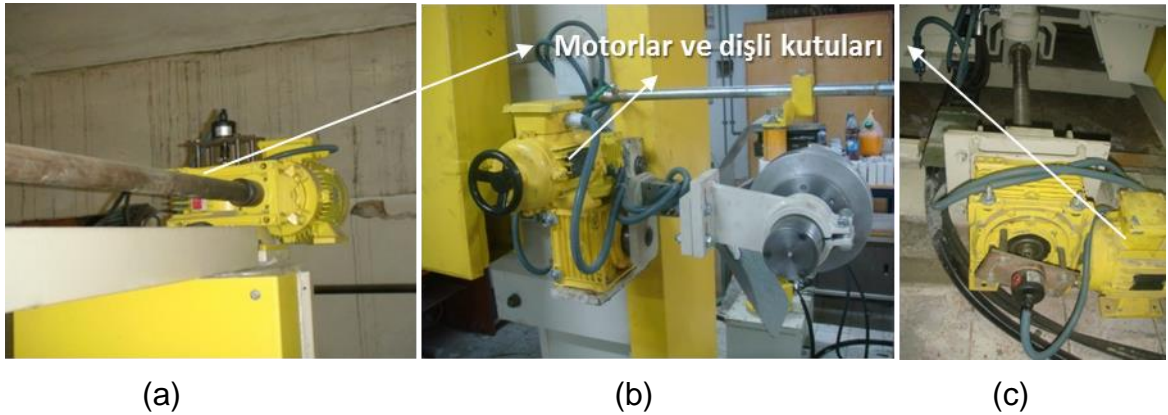
Kesme işlemi, köprünün aşağı doğru hareketiyle sağlanmaktadır. Mekanik birim; motorlar-dişli kutuları ve vidalı millerden oluşmaktadır.

### 3.1.1. Motorlar ve Dişli Kutuları

Makinede, tele döndürme hareketini veren bir adet, kasnakların olduğu köprü sisteminin yukarı-aşağı hareket etmesini sağlayan bir adet (Şekil 3.3-a), germe kasnağının sağa-sola hareket etmesini sağlayan bir adet, yardımcı kasnaklara açı vermeye yarayan iki adet (Şekil 3.3-b), yardımcı kasnakların sağa-sola hareketini sağlayan iki adet ve vagon sistemini ileri-geri hareket ettiren bir adet (Şekil 3.3-c) olmak üzere toplam sekiz adet AC motor bulunmaktadır.

Bunlardan, tele döndürme hareketini veren ana motor 11 kW, kasnakların olduğu köprü sisteminin yukarı-aşağı hareket etmesini sağlayan motor 2,2 kW, germe kasnağının sağa-sola hareket etmesini sağlayan motor 1,1 kW, yardımcı kasnaklara açı vermeye yarayan motorlar 0,25 kW, yardımcı kasnakların sağa-sola hareketini sağlayan motorlar 0,37 kW ve vagon sistemini ileri-geri hareket ettiren motor ise 1,1 kW gücündedir. Motorların hepsi pik döküm, ayaklı ve flanşlıdır.

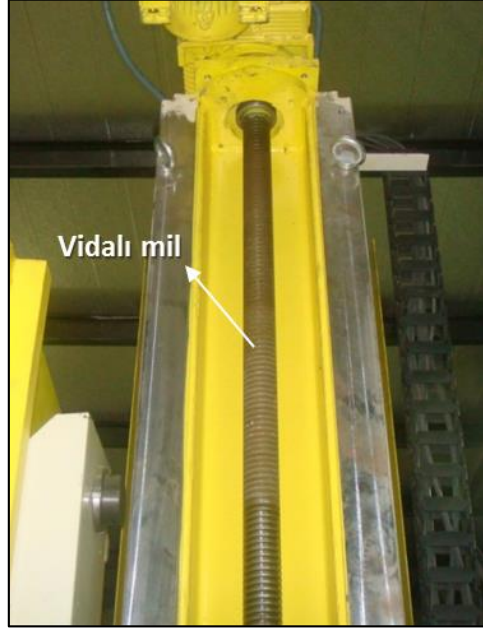
Motorlardan gelen tahrik gücünün, tektelli kesme sisteminin aşağı-yukarı, sağa-sola ve vagonun ileri-geri hareketine aktarılabilmesi için dişli kutuları (redüktörler) kullanılmıştır. Bunların sayesinde motor hareketi, doğrusal şekilde ve istenilen güçte aktarılabilmiştir. Dişli kutuları için "YILMAZ REDÜKTÖR" marka EN serisi modeller kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Kasnakların yukarı-aşağı hareketini sağlayan motor ve dişli kutusu (a), yardımcı kasnaklara açı vermeye yarayan motor ve dişli kutusu (b), vagonun ileri-geri hareketini sağlayan motor ve dişli kutusu (c)

### 3.1.2. Vidalı Miller

Tektelli blok kesim makinesinde kasnakların aşağı-yukarı hareket sistemi için DFU 3210-4 ve DFU 4010-4 tipinde COMTOP marka vidalı miller kullanılmıştır (Şekil 3.4). Bu miller, kasnakların blok boyutuna bağlı olarak istenilen yüksekliğe getirilmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 3.4. Tektelli blok kesim makinesinde kullanılan vidalı mil sistemi

### 3.2. Hidrolik Birim

Makinede, elmas telin gerginliğini sağlama ve tablayı ekseni etrafında döndürmek amaçlarıyla hidrolik sistemler kullanılmaktadır.

#### 3.2.1. Kesim Tablası (Vagonu)

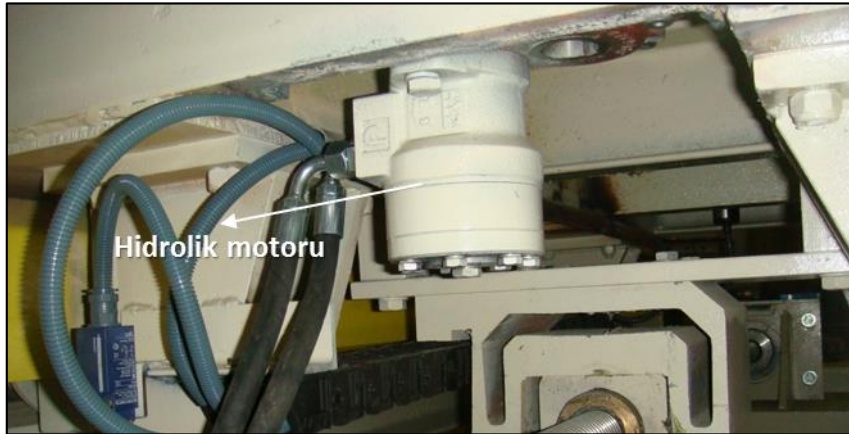
Kesim tablası ya da kesim vagonu, kesim deneyi gerçekleştirilecek bloğun koyulduğu bir taşıyıcıdır (Şekil 3.5-a). Kesim tablasının ileri-geri hareket edebilme ve kendi ekseni etrafında 360° dönebilme özelliği mevcuttur. Bu sayede üzerine yüklenen blok istenilen yönden kesilebilmektedir. Bu makineyle, vagonun hareket kabiliyeti nedeniyle 3 boyutlu kesim gerçekleştirilebilmektedir. Tablanın kendi ekseni etrafında dönmesini sağlamak için hidrolik tankının (Şekil 3.5-b) pompaladığı hidrolik yağ kullanılmaktadır. Vagonun alt kısmında bulunan motor aracılığıyla kesim tablası istenilen yönde ve açıda döndürülebilmektedir (Şekil 3.5-c).



(a)



(b)

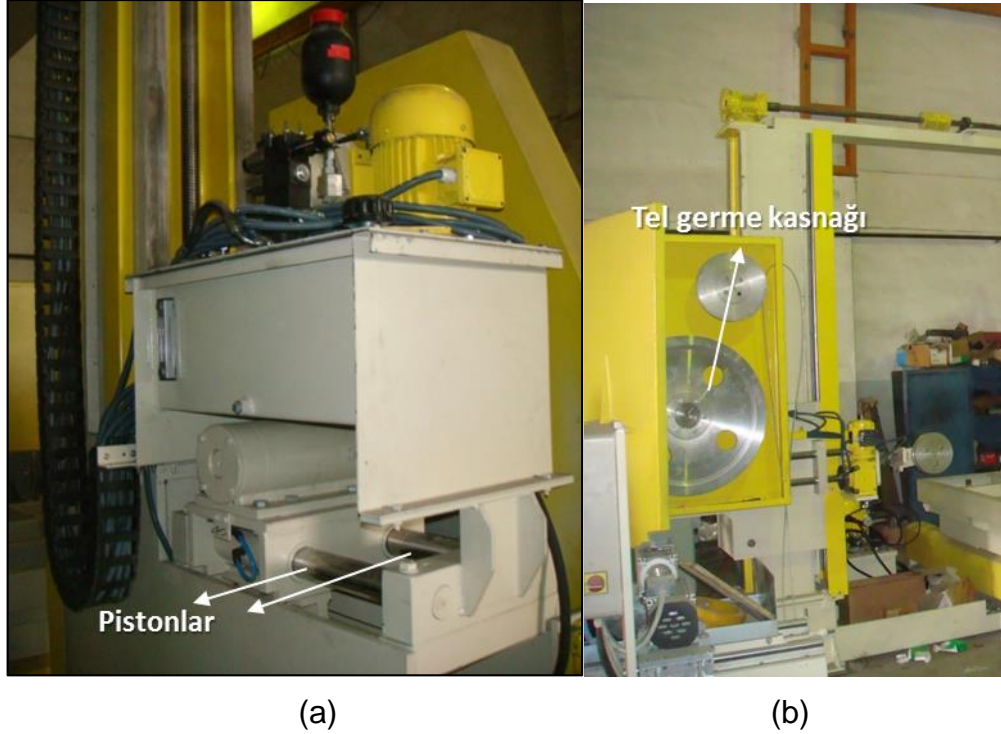


(c)

Şekil 3.5. Kesim tablası (a), Vagona hidrolik sağlayan ve dönme hareketini veren hidrolik tankı (b), Kesim tablasının dönmesini sağlayan hidrolik motoru (c)

### 3.2.2. Tel Germe Sistemi

Bu sistemde, germe kasmağının arkasında bulunan hidrolik muhafazasında bulunan hidrolik yağı, bilgisayardan girilen değere uygun olarak gerdirme mekanizmasına pompalanmakta ve pistonu hareket ettirmektedir (Şekil 3.6-a). Pistonun hareketi ile germe kasmağı (Şekil 3.6-b) da hareket etmekte ve tele gerginlik vermektedir. Germe kasmağı, tüm kesimlerde aynı basınç değerinde gerilmiş ve bu değer sabit tutulmuştur.



Şekil 3.6. Germe kasmağını hareket ettiren pistonlu mekanizma (a), germe kasmağı (b)

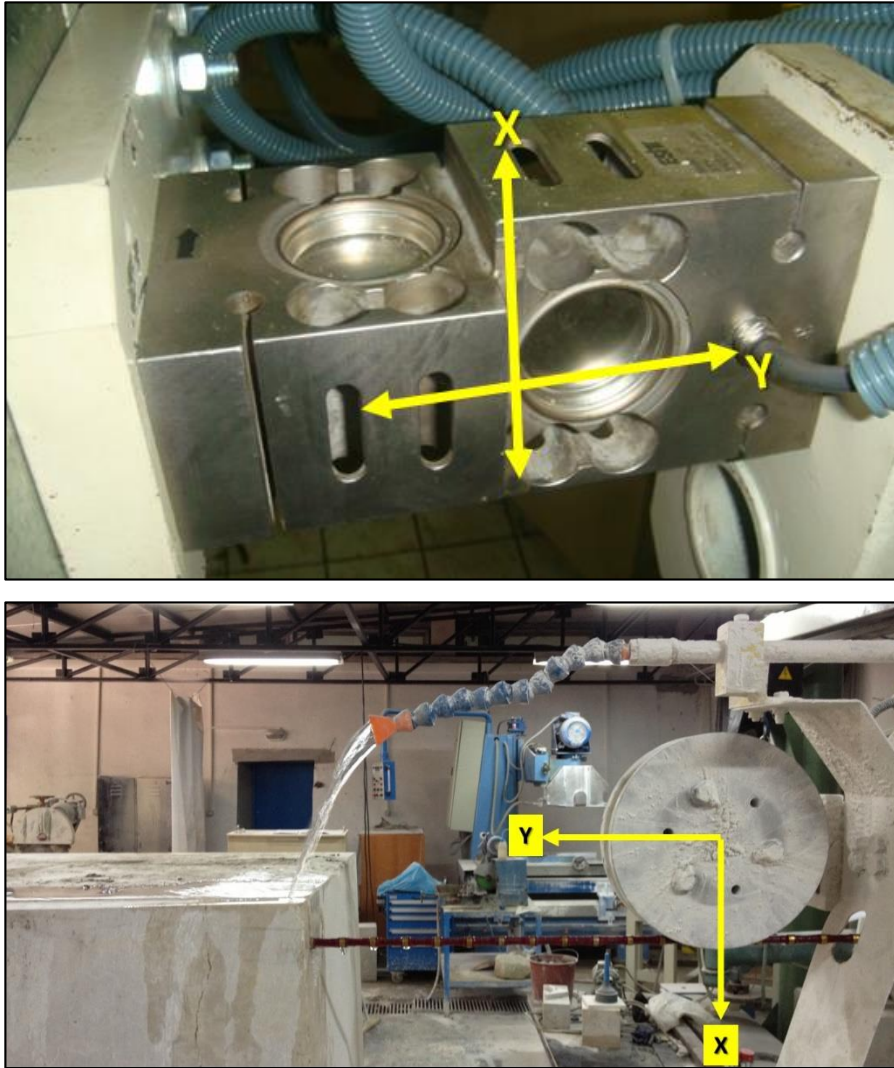
### 3.3. Elektrik ve Elektronik Birim

Makine, kesimler sırasında uygulanmak istenen kesim koşullarının düzgün şekilde makineye iletilmesi ve kesim sırasında belirlenmesi istenen parametrelerin doğru ve hassas şekilde ölçülmesine uygun elektrik ve elektronik donanımda üretilmiştir. Tektelli blok kesim makinesinin elektrik ve elektronik tasarımında aşağıdaki ekipmanlar kullanılmıştır;

- Yük hücreleri
- Titreşim ölçerler
- Debi ölçer
- Sonlandırma şalterleri
- Kontrol paneli

### 3.3.1. Yük Hücreleri (Yük lerler)

Kesme işlemi sırasında oluşan iki boyutlu tepkisel kuvvetlerin ölçümü, yardımcı kasnakların yan taraflarına yerleştirilen özel yük hücreleri (şekil 3.7) sayesinde yapılmaktadır. Bu sistemde yatay ve dikey tepkisel kuvvetlerin (X ve Y yönündeki) belirlenmesi için her bir kasnağın yanına ikişer tane yk ölçer olmak üzere toplam 4 adet yk ölçer kullanılmıştır. Tepkisel kuvvetlerin belirlenmesi için kullanılan 4 yük ler, PWI serisinde 250 kg kapasiteli ESİT marka yk ölçerlerdir. Yük lerler  $\pm 0,01$  kg hassasiyetle ölçümler yapabilmekte ve saniyede 50 adet veriye kadar alabilmektedir. Çalışmada, her yük lerden saniyede 1 adet kuvvet değeri alınmıştır.



şekil 3.7. Kuvvet ölçümlerinde kullanılan yük hücreleri ve ölçüm yönleri

### 3.3.2. Titreşim Sensörü

Tektelli blok kesim makinesinde kesim sırasında telde oluşan X ve Y eksenlerindeki titreşimleri ölçmek için SPM marka iki adet titreşim ölçer (Şekil 3.8) kullanılmıştır. Titreşim ölçer SLD733C tipindedir. Kesimlerde makinede oluşan titreşimler, makine üzerindeki sensörler aracılığıyla “Hz” birimli olarak ölçmektedir. Çalışmada, saniyede 1 adet titreşim değeri kayıt edilmiştir.



Şekil 3.8. Makine üzerindeki titreşim sensörleri

### 3.3.3. Debi Ölçer

Tektelli blok kesim makinasında kesim ortamına verilen su miktarının ölçümü ve kontrolü için sensörlü su sayacı kullanılmaktadır (Şekil 3.9). Cihaz, hem üzerinde bulunan analog gösterge kullanılarak ( $m^3$  cinsinden) hem de tektelli kesme makinesine bağlanarak otomasyon programı sayesinde (lt/dk cinsinden) kesim ortamına verilen suyun belirlenmesini sağlamaktadır. Otomasyon programına model makine aracılığıyla veri gönderen sensör, sayacın kanalından geçen suyun oluşturduğu basınçtan yararlanarak suyun debisinin belirlenmesini sağlamaktadır. Makinede kullanılan debi ölçer BAYLAN marka TK-1E çok hüzmeli kuru tipte sayaçtır.



Şekil 3.9. Harcanan su miktarını belirlemede kullanılan debi ölçer

Suyun, kesim ortamına ulaşmasını ve telin soğutulmasını sağlamak için su püskürtme uçları kullanılmıştır (Şekil 3.10).

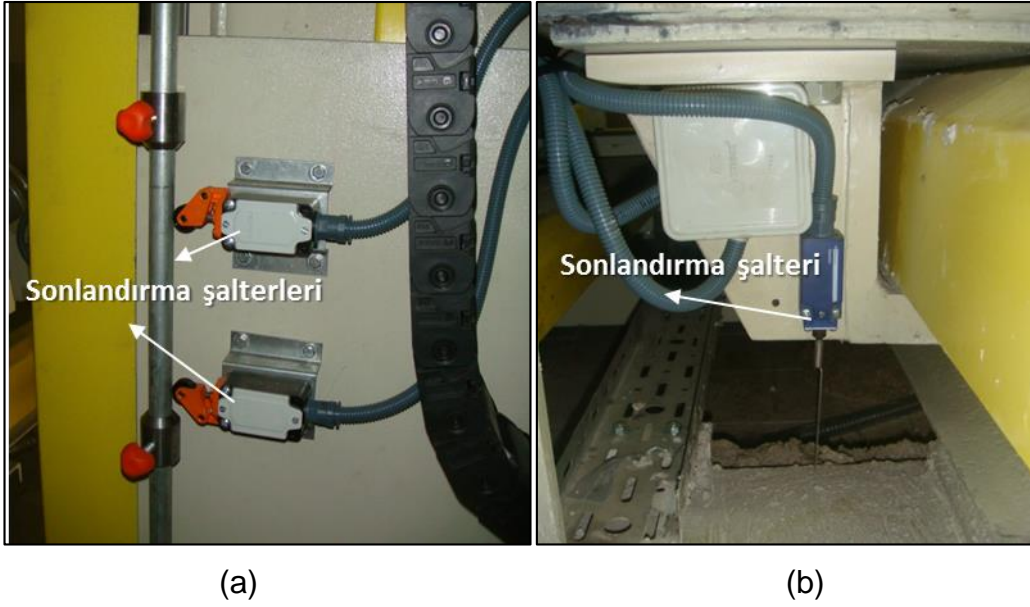


Şekil 3.10. Su püskürtme ucu

#### 3.3.4. Sonlandırma Şalterleri

Tektelli blok kesme makinesinde, vagonun ileri-geri ve köprünün yukarı-aşağı hareketlerini sonlandırmak için doğrusal hareketli kafaya sahip sonlandırma şalterleri kullanılmaktadır. Makinede OSISWITCH ve SIEMENS marka şalterler kullanılmıştır. Makinenin dikey vidalı mil ve yatay vagon sistemlerinde ikişer adet olmak üzere toplam 4 adet sonlandırma şalteri kullanılmıştır (Şekil 3.11).





Şekil 3.11. Köprü hareketini (a) ve vagon hareketini (b) sonlandırmada kullanılan sınır şalterleri

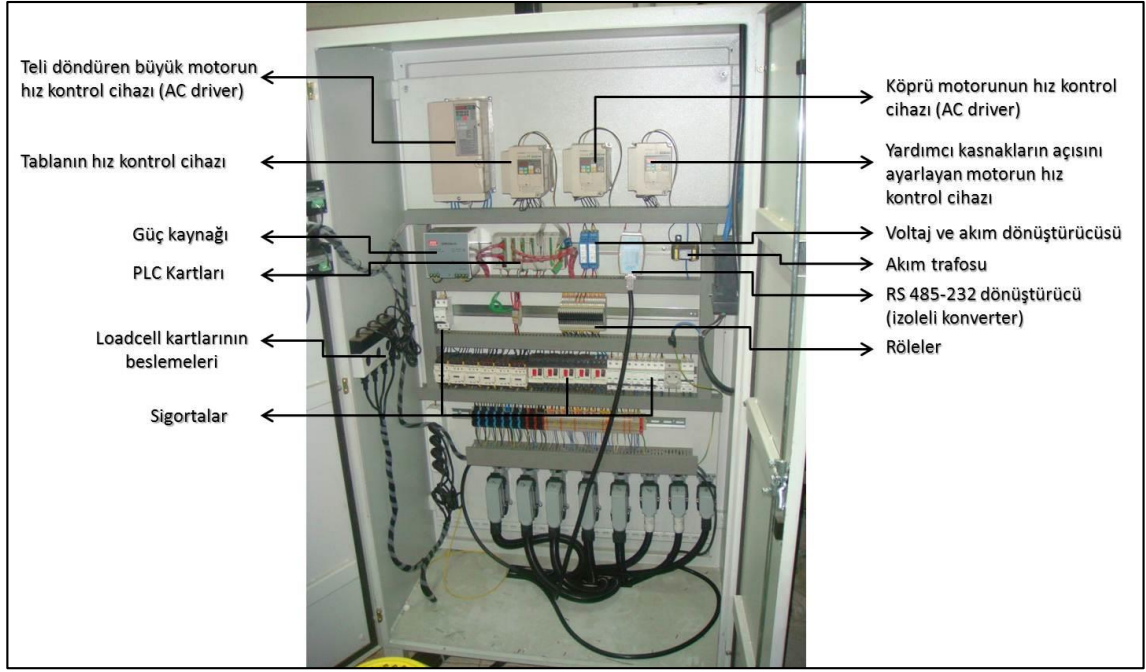
### 3.3.5. Kontrol Paneli

Tektelli blok kesim makinesinde kesim sırasında makine üzerinde oluşan tüm veriler, özel tasarlanmış ana kontrol panelinin içinde bulunan mikro işlemcili analizörlere gelmektedir (Şekil 3.12).

Analizörlere gelen dijital sinyaller bilgisayar üzerine seri bağlantıyla yerleştirilmiş karta aktarılmaktadır. Bu kart, gelen dijital sinyalleri sayısal verilere çevirerek bilgisayar ortamında kaydedilmesini sağlamaktadır. Bu çevrim işlemi ve verilerin görüntülenip kaydedilebilmesi DELPHI 5.0 programı kullanılarak yazılımı yaptırılan otomasyon programı ile yapılabilmektedir. Makina üzerindeki veriler 100 milisaniye (msn) aralıklarla kaydedilebilmektedir. Bu otomasyon programıyla aynı zamanda makina kesim parametreleri doğrudan makinaya aktarılmakta ve kesim makinasının tüm hareketleri bilgisayar üzerinden kontrol edilebilmektedir. Ayrıca program sayesinde kesim sırasında oluşan verilerin grafiksel takibi de sağlanabilmektedir.

### 3.3.6. Enerji Analizörü

Makinada elektrik şebekesine ait, elektrik şebekesinde oluşan akım, voltaj, güç gibi parametrelerin belirlenmesi amacıyla ENTES marka MPR-53S tipinde mikroişlemcili bir analizör kullanılmıştır. Ölçülen parametreler seri haberleşme özelliğiyle bilgisayar ortamına aktarılabilmektedir. Bu analizör sayesinde kesim sırasında kullanılan anlık enerji ölçülebilmekte ve bilgisayar ortamına aktarılabilmektedir.



Şekil 3.12. Tektelli blok kesim makinesinin ana kontrol paneli

### 3.4. Otomasyon Birimi

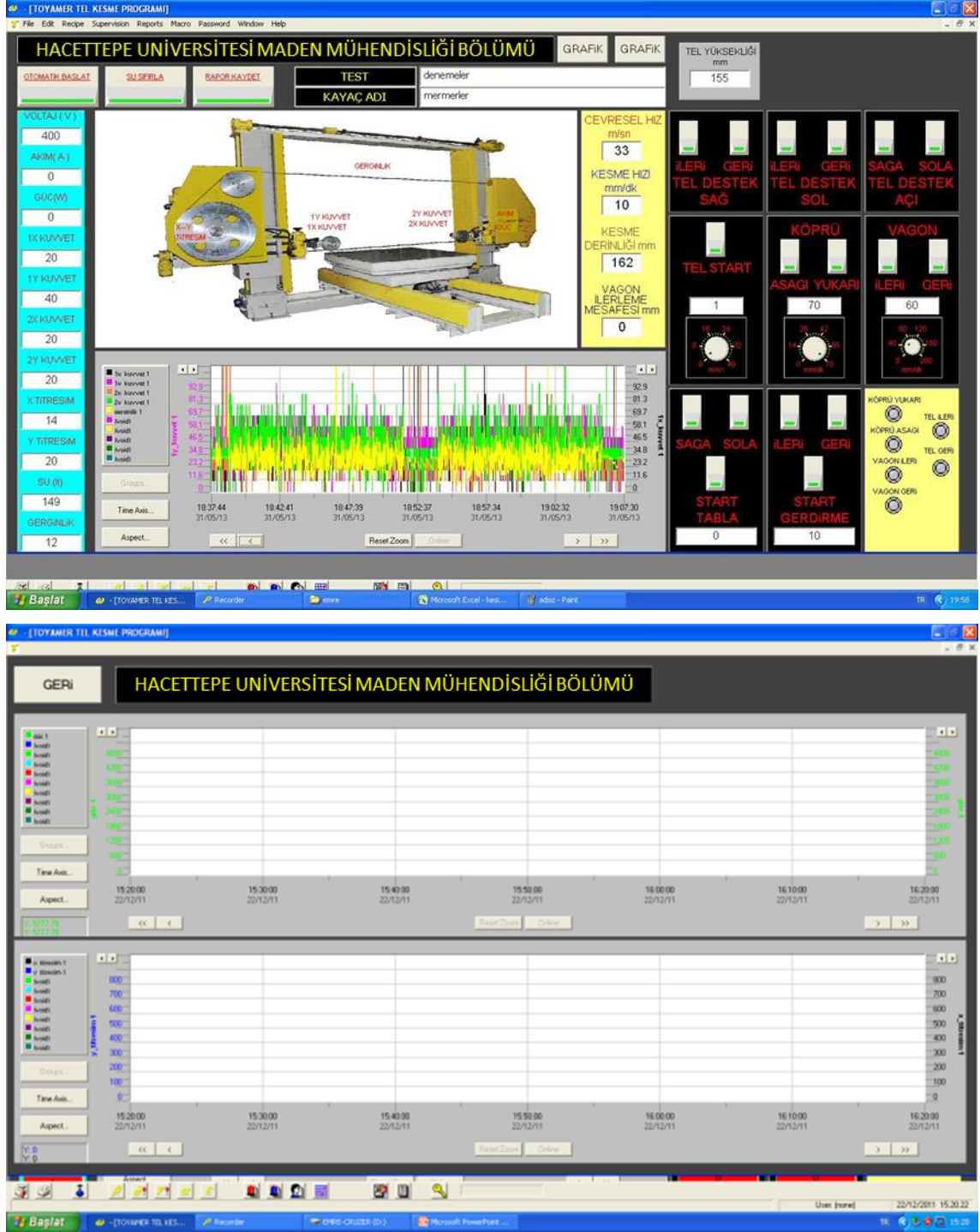
Tektelli blok kesim makinesinin bilgisayar üzerinden otomatik olarak kontrol edilebilmesine olanak sağlayan bir otomasyon birimi mevcuttur.

#### 3.4.1. Otomasyon Programının Tanıtılması

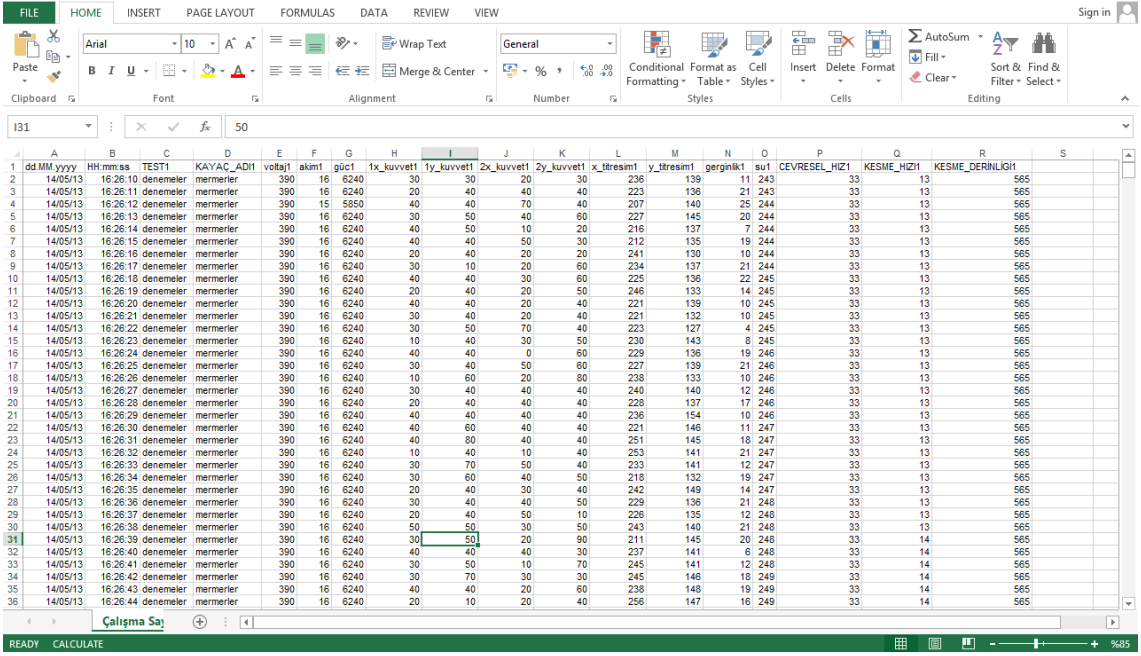
Kesim sırasında gerekli parametrelerin (kasnak germe basıncı, telin dönüş hızı, yardımcı kasnakların kesim açısı değerleri ve iç-dış hareketleri, kesme derinliği, kesim sayısı, köprü aşağı-yukarı iniş-çıkış hızları (kesme hızları), vagon ileri-geri hareket hızları vb.) makineye bilgisayar vasıtasıyla iletilmesi ve bu parametrelerle yapılan kesimler sırasında oluşacak verilerin (iki yönlü tepkisel kesme kuvvetleri, kullanılan enerji, telde oluşan titreşim, kullanılan su miktarı vb.) görüntülenmesi amacıyla bir otomasyon programı geliştirilmiştir. Programda, 1 saniye aralıklarla sensörlerden gelen verilerin anlık olarak incelenmesi ve kaydedilmesi işlemleri yapılabilmektedir (Şekil 3.13). Bu kesimlerden elde edilen sonuçlar “dat” uzantılı bir veri dosyasına aktarılmıştır.

Şekil 3.13’de gösterilen değerler, belirlenen zaman aralıklarında kaydedilebildiği ve ekranda grafiksel olarak anlık olarak değişimleri gözlemlenebildiği gibi, programdan elde edilen veriler başka programlara da (örn. Microsoft Excel, SPSS vs.) aktarılabilmektedir (Şekil 3.14).

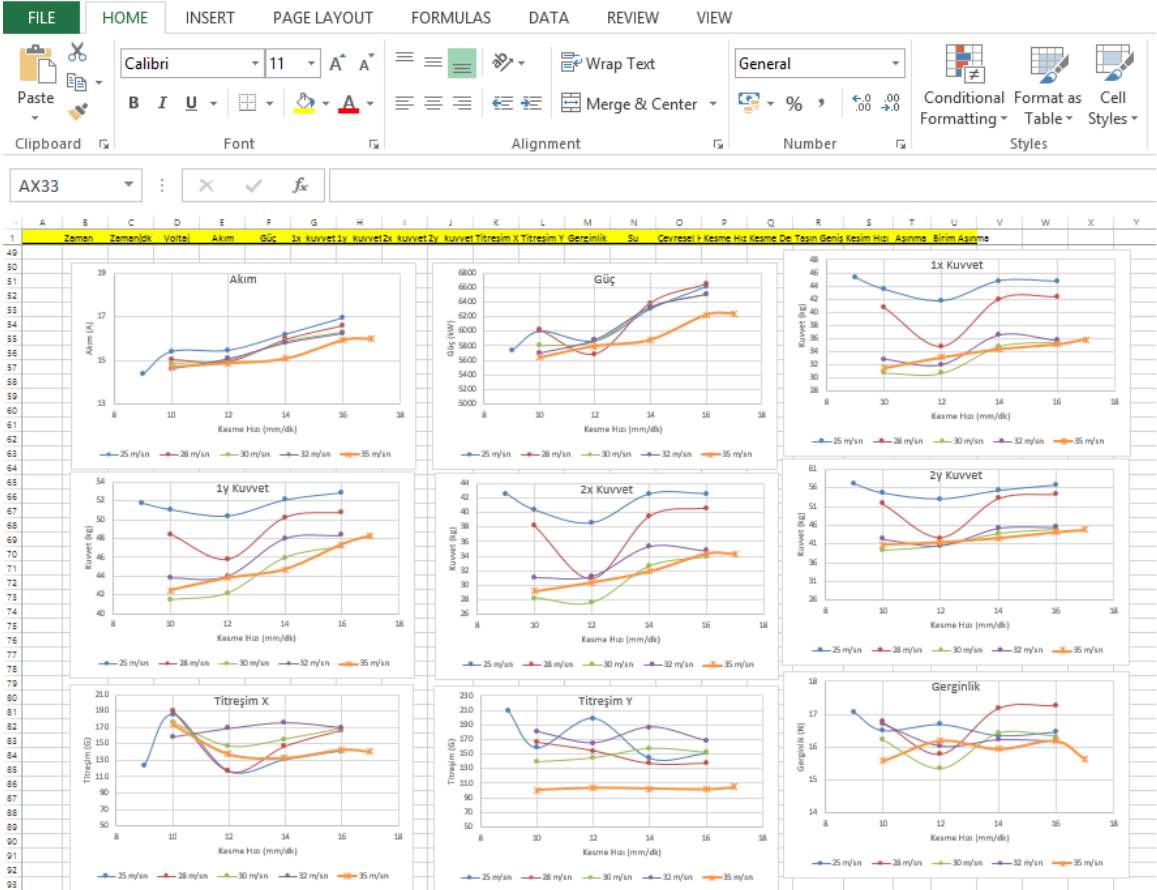
Aktarılan verilerle istenilen istatistiksel analizler yapılabilmekte ve tüm parametreler arasındaki ilişkiler incelenebilmektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.13. Geliştirilen otomasyon programı



Şekil 3.14. Kesim sırasında alınan verilerin MS Excel yazılımındaki görüntüsü



Şekil 3.15. Kaydedilen verilerden parametreler arasındaki ilişkilerin incelenmesi

Otomasyon programı, bilgisayar üzerinden aktif hale getirilmektedir. Otomasyon programı çalıştırıldığında, ekranda tektelli kesme sistemi üzerinde bulunan

sensörlerin aldığı veriler anında görülebilmektedir. Otomasyon programının ana ekranında, seçilen değişkenlerin zamana bağlı olarak değişimlerini gösteren grafikler gerçek zamanlı olarak çizilmektedir. Kesim sırasında olabilecek ani değişiklikler izlenebilmekte ve anında müdahale edilebilmektedir. Kesim sırasında alınan verilerin kayıt edilebilmesi için kesim öncesinde otomasyon programının ana ekranında “Rapor Kaydet” butonunun aktif hale getirilmesi gerekmektedir. Kesim deneyinin gerçekleştirileceği “Çevresel Hız”, “Kesme Hızı”, “İniş Mesafesi” ve “Germe Basıncı” değerleri girildikten sonra “Otomatik Başlat” seçeneğine tıklanıldığında tektelli kesme sistemi kesim deneyine başlar. Kesim deneyi ilerlerken, girilen iniş mesafesine göre kalan kesim uzunluğu ekranda görülebilmektedir. İniş mesafesinin sonuna gelindiğine, köprü otomatik olarak kesime başladığı noktaya döner. Gerekli veriler alındıktan sonra otomasyon programının ana ekranındaki “Rapor Kaydet” butonuna tekrar tıklanır ve veri kaydı sonlandırılmış olunur.

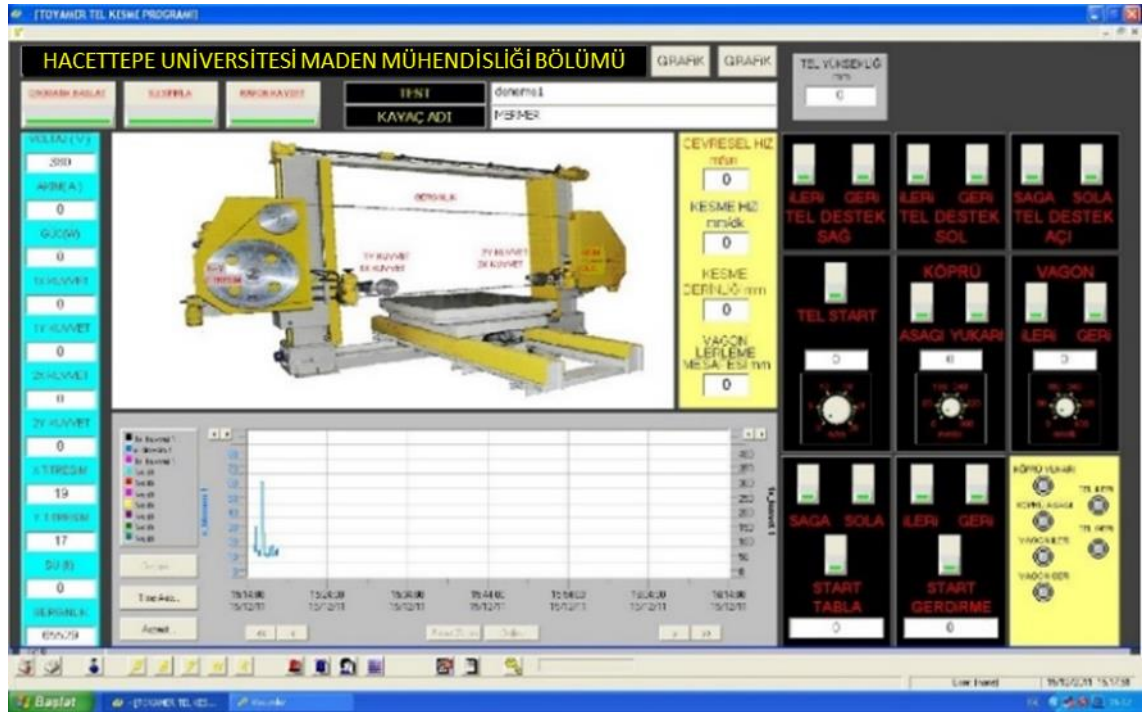
### **3.5. Makinenin İmalatı Süresince ve Deneyler Sırasında Karşılaşılan Problemler**

Tasarımı gerçekleştirilen tektelli kesme makinesi, üretici firma tarafından Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarına getirilmiş ve kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kurulum sonrasında makinedeki aksaklıkları görmek için deneme kesimleri yapılmıştır. Makine üzerinde yapılan kesimlerde, yüksek hızlarda kesim yapılırken aniden durma sorunu, yük hücrelerinde yaşanan negatif yöndeki verileri alamama problemi, kesim sırasında teldeki titreşimin çok fazla artması sorunu ve otomasyon sistemindeki eksiklikler tespit edilmiş ve üretici firmaya bu eksiklikler belirtilmiştir.

Bu nedenle, firma ana motoru (teli döndüren motoru) sökmüş ve daha yüksek kapasiteli bir motor ve redüktör ile değiştirmiş, otomasyon programı ile ilgili gerekli değişiklikleri gerçekleştirmiş (Şekil 3.16), yük hücrelerinin yönlerini (Şekil 3.17) ve kasnakların içindeki plastikleri değiştirmiştir (Şekil 3.18).



(a)



(b)

Şekil 3.16. Makinenin eski (a) ve yeni (b) otomasyon programlarının ekran görüntüleri



Şekil 3.17. Yönleri değiştirilen yük hücreleri



(a)

(b)

Şekil 3.18. Kasnakların içindeki lastiklerin sökülmesi (a) ve yenileri ile değiştirilmesi (b)

Yapılan tüm bu değişimler ve düzenlemeler sonucunda tektelli kesme makinesi sorunsuz bir biçimde çalışır hale getirilmiştir.

Kesimler sırasında en çok karşılaşılan sorun elmas telin kopmasıdır. Şekil 3.19'de, kopmuş bir telin görünümü verilmiştir. Kopma durumu olduğunda (eğer bağlantı elemanından kopmuş ise) makine durdurulmakta ve tel kasnaklardan düzgün bir şekilde geçirilip burguları atıldıktan sonra bağlantı elemanı kullanılarak tekrar

birleştirilmektedir. Ancak yorulmadan kaynaklı telin kopması durumun oluştuysa plastik kaplamalı tel kullanıldığından yeni tel sipariş edilmiştir.



şekil 3.19. Kesim sırasında kopan bir elmas tel görüntüsü

Elmas telin uzun süreli kullanımında elmas boncuklar ve plastik kaplamalar önemli hasarlar görebilmektedir. Makine laboratuvara geldiğinde yapılan deneme kesimlerinde kullanılan elmas telin plastik kaplamaları ve elmas boncukları belirli bir noktadan sonra önemli hasarlar almışlardır. Elmas tel üzerinde görülen hasarlar şekil 3.20'de gösterilmiştir.





Şekil 3.20. Deneme kesimlerinde elmas telde görülen hasarlar

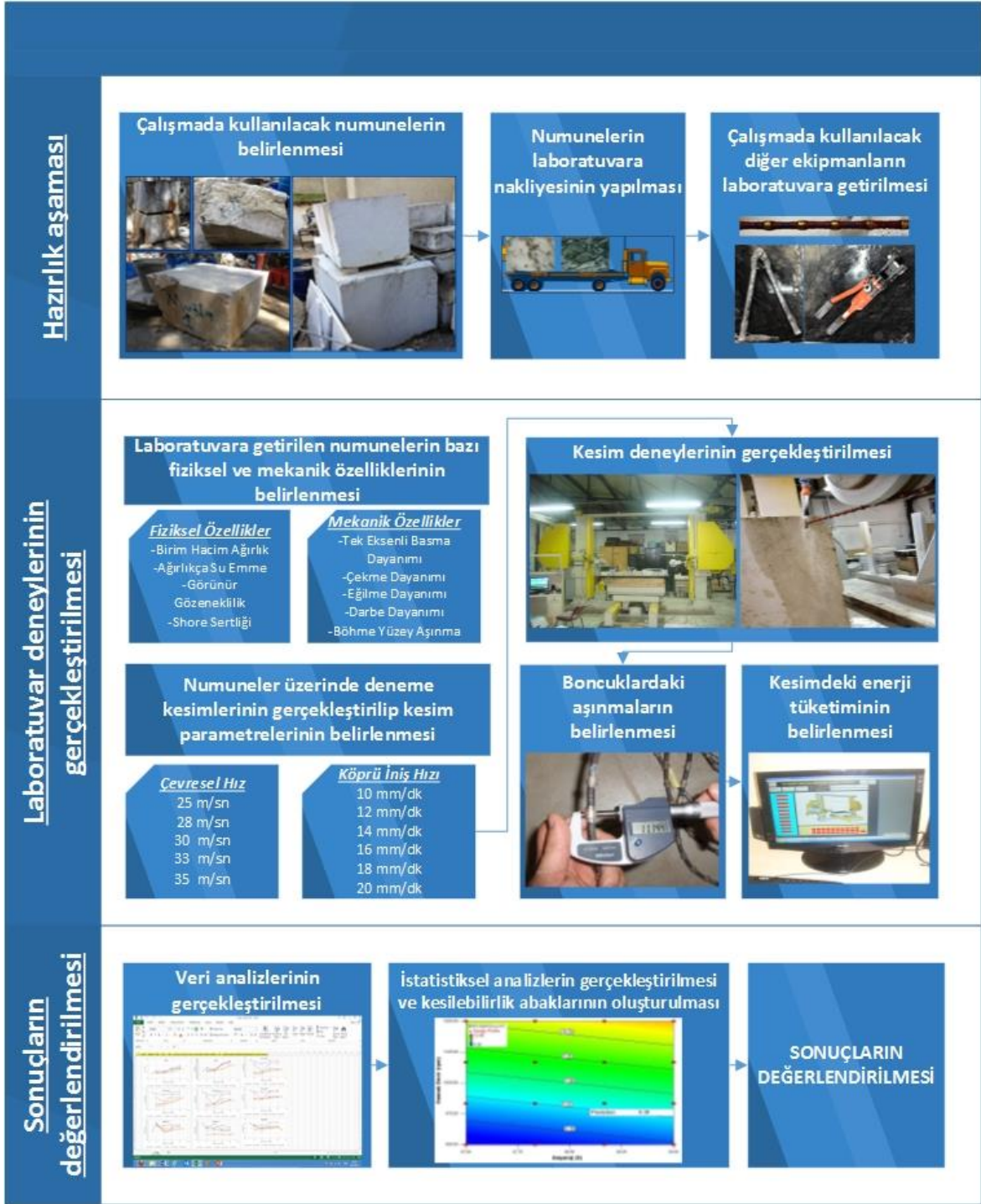
## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasının temel amaçlarından bir tanesi farklı hakiki mermer ve kireçtaşlarının bilgisayar kontrollü tektelli kesme sistemiyle kesiminde oluşan birim aşınma ve birim enerji değerleri temel alınarak kesilebilirlik abaklarının geliştirilmesi ve kesim optimizasyonunun gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla, Afyon, Burdur ve Muğla'dan getirilen doğal taşların, tektelli kesme makinesiyle farklı çevresel hız ve farklı kesme hızlarında kesimleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan kesimlerde elmas boncuklarda meydana gelen aşınmalar ve kesim sırasında tüketilen enerji değerleri baz alınarak her bir doğal taş için kesim abakları oluşturulmuştur. Çalışmada takip edilen yöntem Şekil 4.1'de verilmiştir.

Çalışma kapsamında yapılan işlemler altı ana başlık altında toplanmıştır. Çalışmaya başlarken numuneler belirlenip laboratuvara naklieleri gerçekleştirilmiş ve getirilen kayaçların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra, kesimlerde kullanılacak parametreler deneme kesimleri ile belirlenmiş ve buna bağlı olarak kesim deneyleri gerçekleştirilmiştir. En son aşamada ise istatistiksel analizler yapılmış, kesilebilirlik abakları geliştirilmiş, optimizasyon yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

### 4.1. Numunelerin Belirlenmesi ve Nakliyesi

Çalışmanın ilk aşamasında, tektelli kesme sistemi ile yapılacak kesim deneylerinde kullanılacak hakiki mermer ve kireçtaşı örnekleri tespit edilmiştir. Laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere Afyon, Burdur ve Muğla illerinden toplam 8 farklı özellikteki hakiki mermer ve kireçtaşı bloklarından düzgün şekilli olanlar ve kenar uzunlukları en az 1 m X 1 m X 1 m (en az 1 m<sup>3</sup>) boyutundaki örnekler laboratuvara getirilmiştir. Çalışmada kullanılan doğal taş örneklerinin ticari isimleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışmada takip edilen yöntem

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan doğal taş örneklerinin ticari isimleri

<b>Hakiki Mermerler</b>	<b>Kireçtaşları</b>
Afyon Beyaz	Burdur Açık Bej
Afyon Şeker	Burdur Koyu Bej
Afyon Sarı	
Muğla Leylak	
Muğla Sedef	
Muğla Beyaz	

#### **4.2. Kayaç Özelliklerinin Belirlenmesi**

Kesim deneylerinde kullanılacak doğaltaşların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kayaçlardan numuneler alınmış ve Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında kayaçların TS 699 [60] ve ISRM [61] standartlarına uygun olarak fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca mineralojik ve petrografik özellikleri de ince kesit çalışmalarıyla belirlenmiştir. Belirlenen fiziko-mekanik özellikler Çizelge 4.2’de, doku, modal bileşimleri ve oluşum şekilleri gibi mineralojik ve petrografik özellikleri ise Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan numunelerin bazı fiziko-mekanik özellikleri

Numune Adı	BHA (g/cm <sup>3</sup> )	ASE (%)	GG (%)	SSİ	TEBD (MPa)	ÇD (MPa)	ED (MPa)	DD (MPa)	BYAD (cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> )
Afyon Beyaz	2,70	0,05	0,15	49	51,45	6,22	12,93	3,0	37,09
Muğla Leylak	2,73	0,09	0,23	54	89,1	8,50	14,20	3,0	13,26
Muğla Sedef	2,72	0,03	0,06	53	100,4	7,00	14,87	3,6	11,01
Muğla Beyaz	2,70	0,16	0,43	42	65,31	4,77	15,02	3,0	30,85
Burdur Açık Bej	2,69	0,13	0,35	59	88,06	7,23	6,90	1,6	20,77
Burdur Koyu Bej	2,64	0,53	1,41	61	62,72	4,95	5,21	2,0	22,41
Afyon Sarı	2,71	0,16	0,44	46	77,83	6,79	12,21	3,0	33,64
Afyon Şeker	2,72	0,06	0,25	50	66,3	4,78	12,8	3,0	27,10

BH: Birim Hacim Ağırlık; ASE: Ağırlıkça Su Emme; GG: Görünür Gözeneklilik; SSİ: Shore Sertliği İndeksi; TEBD: Tek Eksenli Basma Dayanımı; ÇD: Dolaylı Çekme Dayanımı; ED: Eğilme Dayanımı; DD: Darbe Dayanımı; BYAD: Böhme Yüzey Aşınma Dayanımı

Çizelge 4.3. Örneklerin doku, modal mineralojik bileşimleri ve oluşum şekilleri

KAYAÇ	DOKU / KAYA ADI	OLUŞUM	MİNERAL BİLEŞİMİ
Burdur Açık Bej	Sparitik Sparitik Kireçtaşı	Sedimanter	Orta kristalli kalsit matriksi içerisinde kılcal rekristalize kalsit damarları içermektedir. Az oranda opak mineral içermektedir.
Burdur Koyu Bej	Mikritik Mikritik Kireçtaşı	Sedimanter	Mikritik karbonat matriksi içerisinde kılcal rekristalize kalsit damarları içermektedir. Az oranda opak mineral içermektedir.
Muğla Beyaz	Granoblastik Mermer	Metamorfik	Basınç ikizli iri rekristalize kalsit, ortalama tane tane boyu 0.7mm
Afyon Beyaz	Granoblastik Mermer	Metamorfik	Orta kristalli kalsit matriksi içerisinde kılcal rekristalize kalsit damarları içermektedir. Az oranda opak mineral içermektedir. Ortalama tane boyu 0.5mm
Muğla Sedef	Granoblastik Mermer	Metamorfik	Basınç ikizli iri rekristalize kalsit, ortalama tane boyu: 0.1mm
Muğla Leylak	Granoblastik Mermer	Metamorfik	Basınç ikizli iri rekristalize kalsit, ortalama tane boyu: 0.3mm
Afyon Sarı	Granoblastik Mermer	Metamorfik	Basınç ikizli iri rekristalize kalsit, ortalama tane boyu 0.4mm
Afyon Şeker	Granoblastik Mermer	Metamorfik	Basınç ikizli iri rekristalize kalsit, ortalama tane boyu 0.4mm

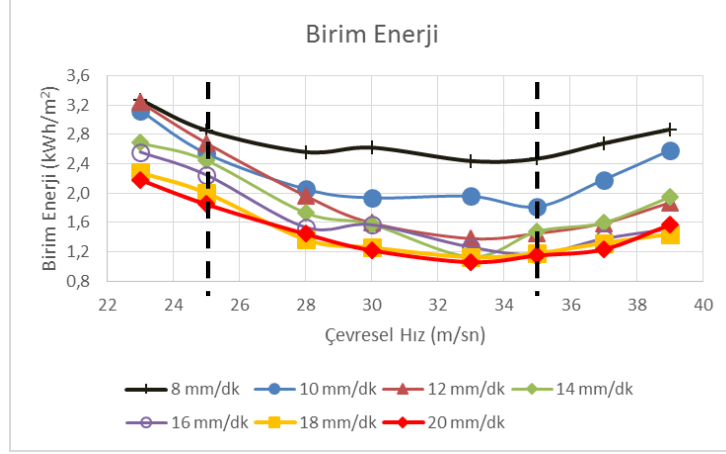
#### 4.3. Kesim Parametrelerinin Belirlenmesi

Çalışmaya başlarken, ilk olarak kesimlerin gerçekleştirileceği parametrelerin değerlerinin belirlenmesi işlemi yapılmıştır. Bu aşamada, literatürde daha önce yapılmış olan çalışmalarda kullanılmış çevresel hız ve kesme hızı değerleri, endüstride kullanılan makinelerdeki hız değerleri ve bu çalışma için geliştirilen makinenin sınırları göz önünde bulundurulmuş ve deneme kesimleri buna uygun parametrelerde yapılmıştır. Deneme kesimleri 1 hakiki mermer bloğu ve 1 kireçtaşı bloğu üzerinde 8 farklı çevresel hız ve 7 farklı kesme hızı değeri olmak üzere toplam 56 farklı kesim parametresinde ve 2 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Deneme kesimlerinde kullanılan parametreler Çizelge 4.4'de verilmiştir.

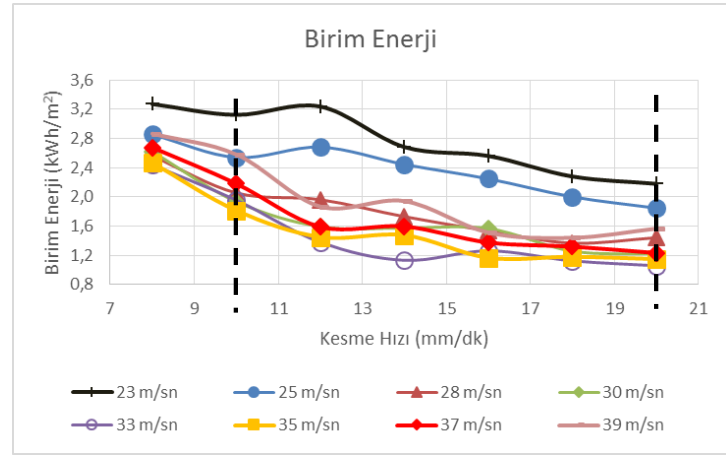
Çizelge 4.4. Deneme kesimlerinde kullanılan kesim parametreleri

		Kesme Hızı (mm/dk)					
		8	10	12	14	16	18
Çevresel Hız (m/sn)	23	<b>56 FARKLI KESİM PARAMETRESİ</b>					
	25						
	28						
	30						
	33						
	35						
	37						
	39						

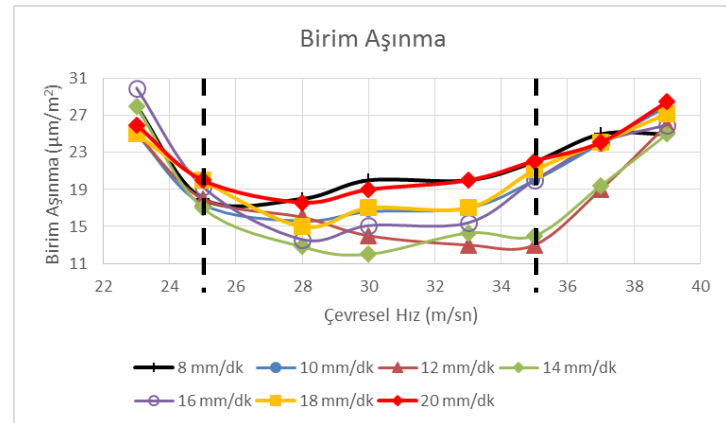
Deneme kesimleri yapıldıktan sonra kesimlerde belirlenen telin gösterdiği tepkisel kuvvet değerleri, teldeki titreşim miktarları ve kesim performans parametreleri olan birim aşınma ve birim enerji değerleri göz önünde tutularak çalışmada kullanılacak kesim parametreleri belirlenmiştir. Kesim parametrelerinin belirlenmesi için yapılan deneme kesimlerinde elde edilen farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak birim enerji değişimi Şekil 4.2’de, farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak birim enerji değişimi Şekil 4.3’te, farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak birim aşınma değişimi Şekil 4.4’te, farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak birim aşınma değişimi ise Şekil 4.5’te gösterilmiştir. Deneme kesimleri sonucunda belirlenen sınır kesim parametreleri grafikler üzerinde işaretlenmiştir.



Şekil 4.2. Deneme kesimleri sonucunda elde edilen farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak birim enerji değişimi grafiği

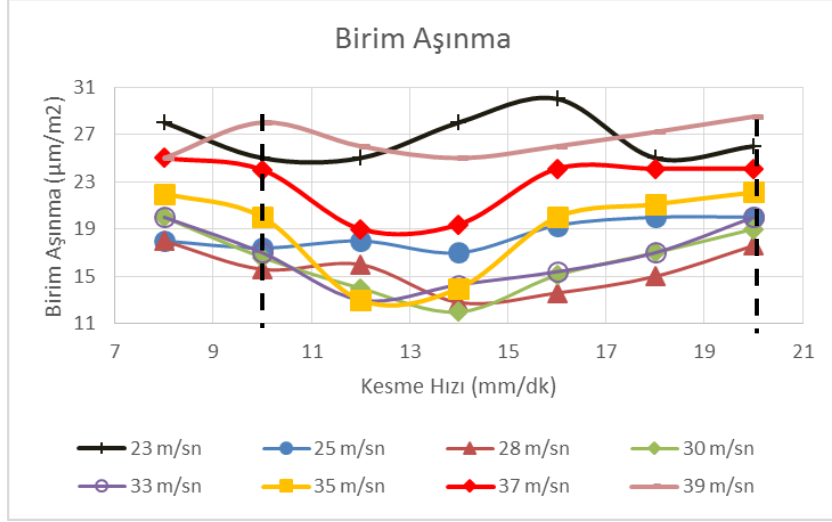


Şekil 4.3. Deneme kesimleri sonucunda elde edilen farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak birim enerji değişimi grafiği



Şekil 4.4 Deneme kesimleri sonucunda elde edilen farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak birim aşınma değişimi grafiği

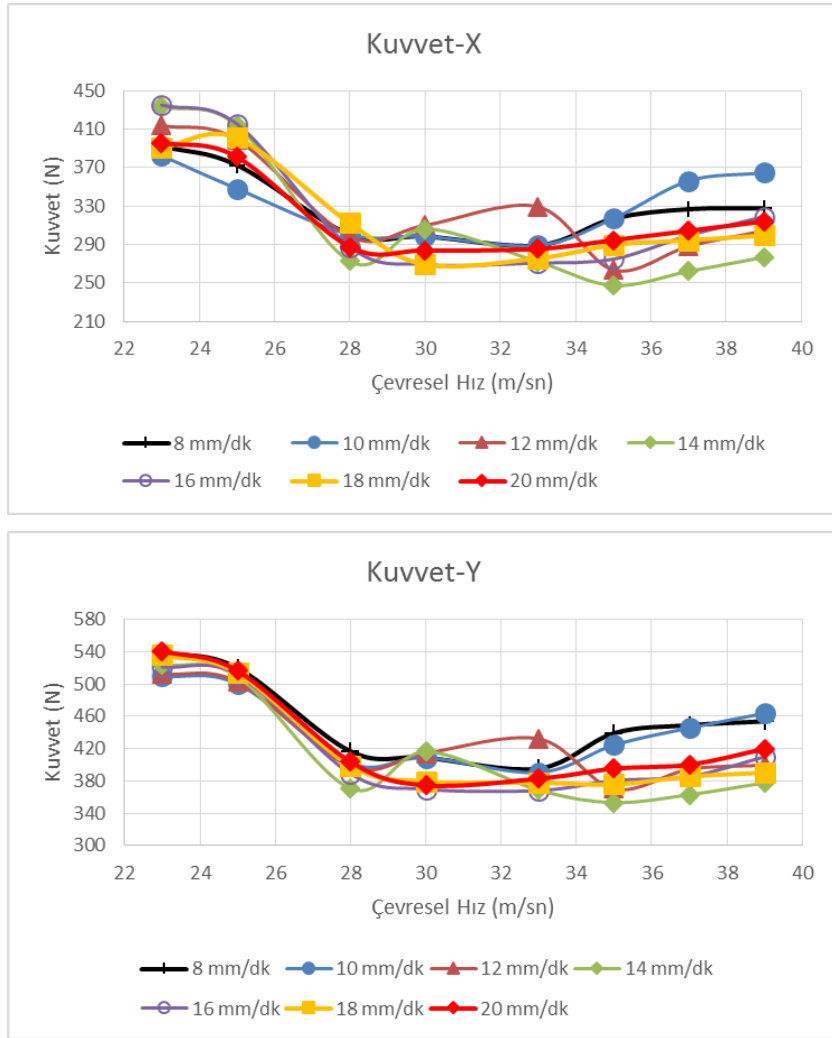




Şekil 4.5. Deneme kesimleri sonucunda elde edilen farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak birim aşınma değişimi grafiği

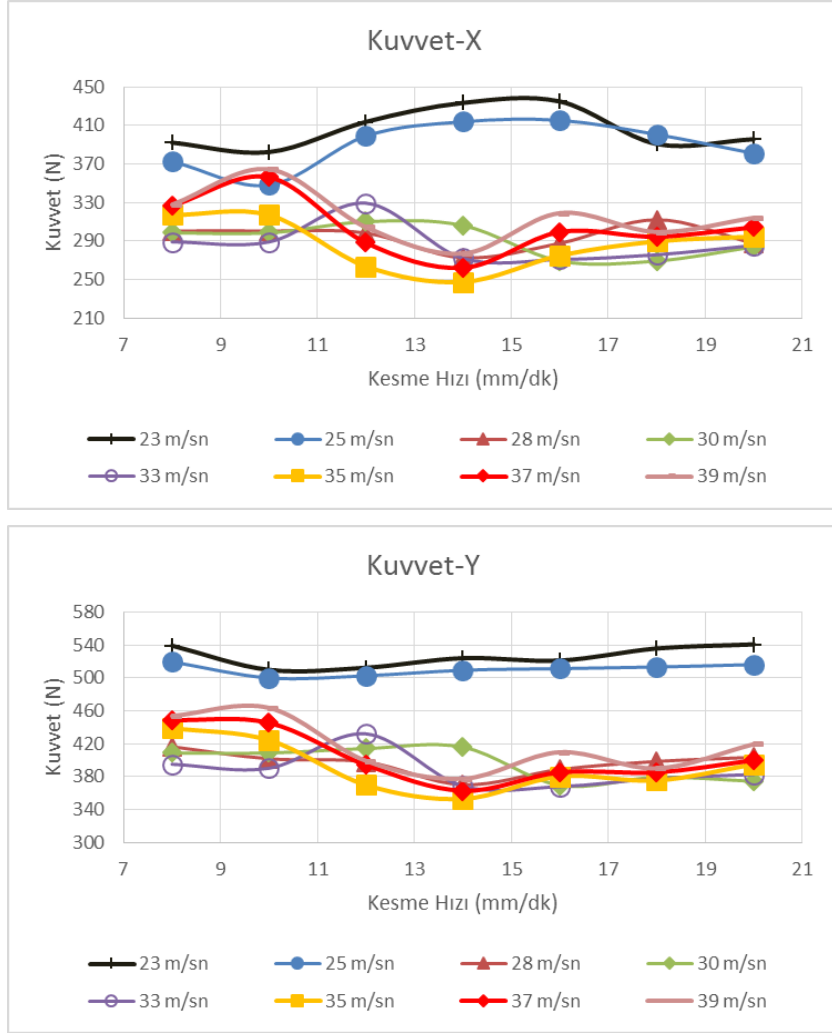
Şekil 4.2 ve Şekil 4.4 değerlendirildiğinde çevresel hız değeri arttıkça birim enerji ve birim aşınma değerlerinde düşüş olduğu ancak bir noktadan sonra bu değerlerin yükseldiği görülmektedir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.5 değerlendirildiğinde ise kesme hızının yükselmesiyle birim aşınma ve birim enerjinin düştüğü, belirli bir noktadan sonra ise yükselmeye başladığı görülmektedir. Zira ana motor belirli bir noktadan sonra aşırı zorlanmakta ve ısınmakta bu nedenle daha fazla enerji tüketmeye başlamaktadır. Grafikler birlikte değerlendirildiğinde birim enerji ve birim aşınma değerlerinin düşük ve yüksek çevresel hız ve kesim hızı değerlerinde oldukça yükseldiği, 25 m/sn – 35 m/sn çevresel hız aralığında ve 10 mm/dk-20 mm/dk kesme hızı aralığında ise düşük seviyede ve düzenli bir eğilimde seyrettiği görülmektedir.

Yapılan deneme kesimlerinde elde edilen, farklı kesme hızlarında çevresel hızla bağlı olarak iki yönlü tepkisel kuvvetlerin değişimleri Şekil 4.6'da, farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak iki yönlü tepkisel kuvvetlerin değişimleri Şekil 4.7'de, farklı kesme hızlarında çevresel hızla bağlı olarak iki yönlü titreşim değişimleri Şekil 4.8'de ve farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak iki yönlü titreşim değişimleri ise Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Deneme kesimleri sonucunda elde edilen farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri

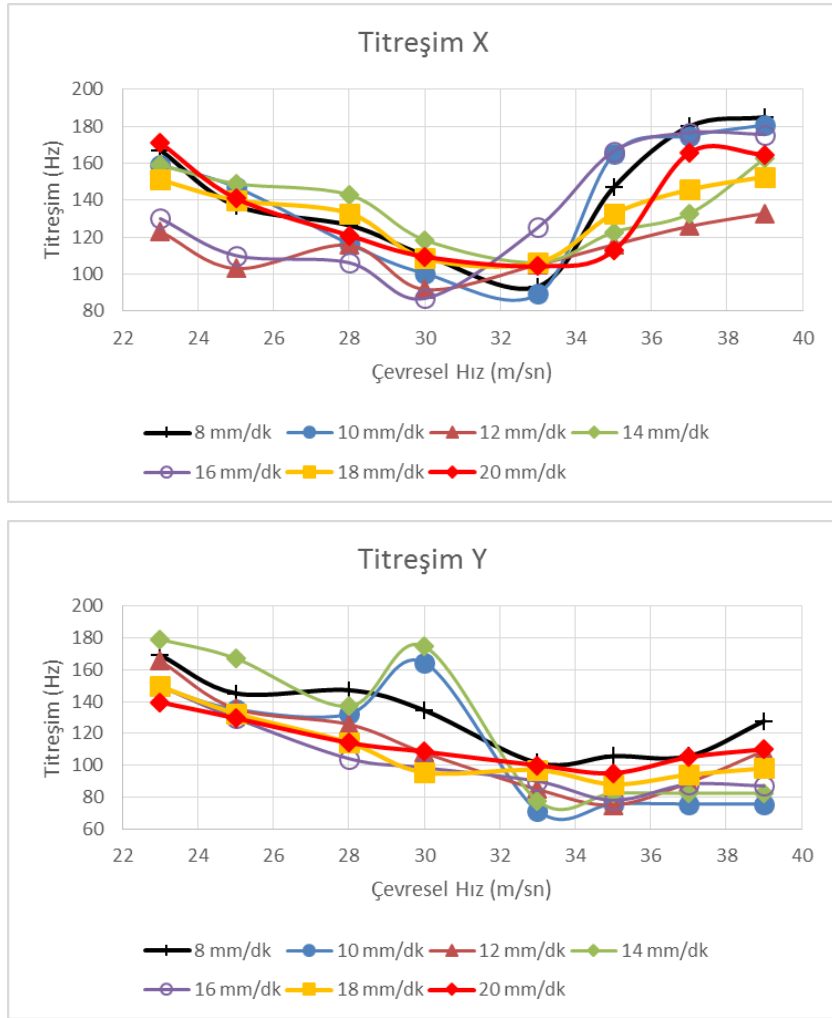
Şekil 4.6 incelendiğinde 23 m/sn ve 25 m/sn çevresel hız değerlerinde, X ve Y yönlerindeki tepkisel kuvvet değerlerinin en yüksek seviyelerinde olduğu görülmektedir. Zira düşük çevresel hızlarda her bir elmas boncuğun birim zamanda kesmesi gereken talaş boyutu daha iri olmakta ve bu talaşların kayaç yüzeyinden kaldırılması (kesilmesi) esnasında boncuklar daha fazla tepkisel kuvvete maruz kalmaktadırlar.



Şekil 4.7. Deneme kesimleri sonucunda elde edilen farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri

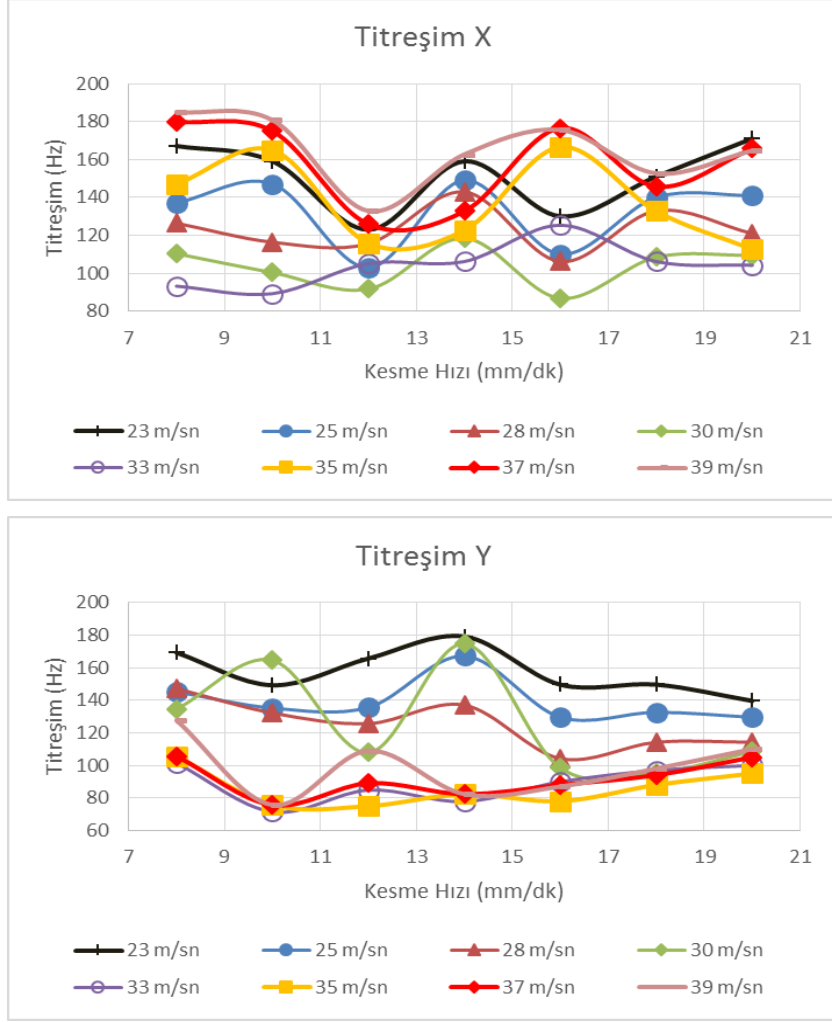
Şekil 4.7 incelendiğinde kesme hızı değerleri yükseldikçe X ve Y yönlerinde görülen tepkisel kuvvetlerin düşüş eğiliminde olduğu ancak belirli bir kesim hızı değerinden sonra yükseldiği görülmektedir.

Deneme kesimleri sonucunda farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak X ve Y yönlerinde görülen ortalama titreşimler Şekil 4.8'de; farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak X ve Y yönlerinde görülen ortalama titreşimler ise Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Deneme kesimleri sonucunda elde edilen farklı kesme hızlarda çevresel hıza bağlı olarak X ve Y yönlerinde görülen ortalama titreşim değişimleri

Şekil 4.8 incelendiğinde, X ve Y yönündeki titreşim değerlerinin çevresel hızın yükselmesiyle düştüğü ancak 33 m/sn çevresel hızından sonra yükselmeye başladığı görülmektedir. Zira hem çevresel hızın hem de kesme hızının artırılması ile elmas tel birim zamanda kayaktan daha fazla tanecik koparmaya çalışmakta, makine aşırı zorlanmakta bu ise hem telin hem de makinenin titreşmesine neden olmaktadır.

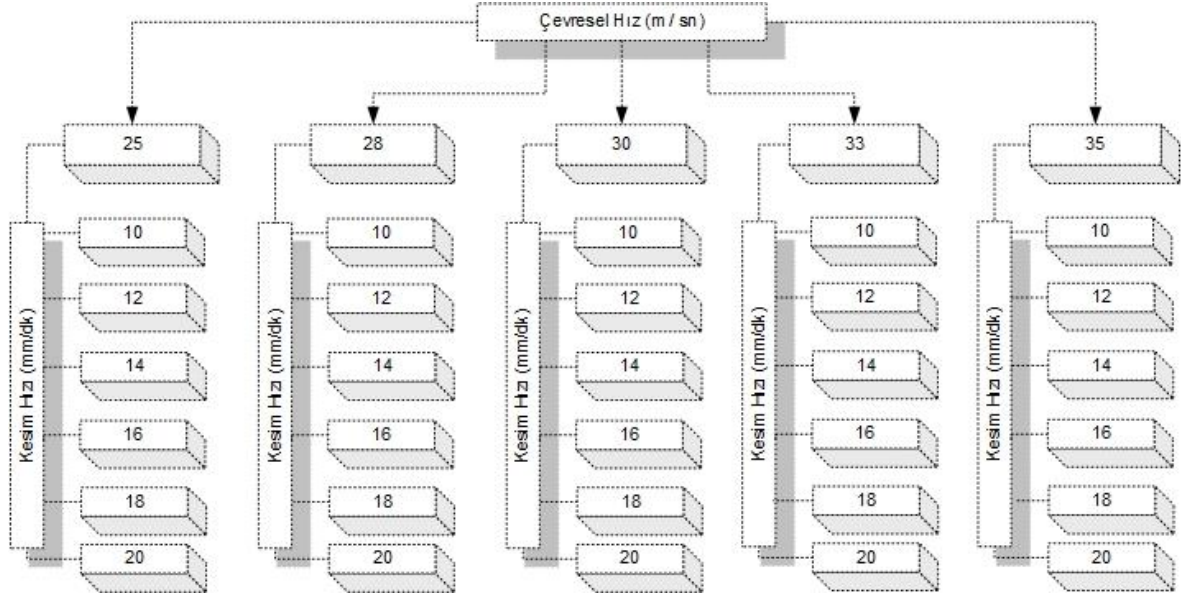


Şekil 4.9. Deneme kesimleri sonucunda elde edilen farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak X ve Y yönlerinde görülen ortalama titreşim değişimleri

Düzensiz kesimler sırasında alt ya da üst tel silkeleme (yalpalama) hareketi yapabilmektedir. Verilerin incelenmesi sonucunda bu yalpalama hareketinin titreşim değerlerinin yükselmesine neden olduğu tespit edilmiştir. Telin bu düzensiz hareketi, bağlantı elemanı üzerinde normalde olduğundan daha fazla bir gerilme oluşturmakta ve kesim sırasında uzun süreli tekrar ettiğinde telin kopmasıyla sonuçlanmaktadır. Kesim sırasında tel dönüş hızı 37 m/sn nin üzerine çıkarıldığında, teldeki titreşimlerin artması ve telin silkelene hareketi yapmasından dolayı telde ısınma olmakta ve bu olay kesim sırasında tekrarlı olmaya başladığında ise telin kopmasına sebep olmaktadır.

Tüm bu incelemeler sonucunda, çalışmada tel dönüş hızı olarak 25-35 m/sn aralığı, kesme hızı olarak ise 10-20 mm/dk aralığı seçilmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen

deneylerde kullanılan çalışma parametreleri her bir kayaç için Şekil 4.10'da verilmiş olan düzene göre yapılmıştır.



Şekil 4.10. Kesimlerin gerçekleştirildiği çevresel hız ve kesme hızı değerleri

#### 4.4. Kesim Deneylerinin Gerçekleştirilmesi ve Veri Analizleri

Bu aşamada, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Mermer Teknolojileri Laboratuvarı'nda kurulumu gerçekleştirilen bilgisayar kontrollü tektelli kesim sistemi kullanılarak, laboratuvara getirilen 8 farklı doğal taş numunesi üzerinde, belirlenen kesim parametrelerinde kesim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kesimlerde HRK firmasının ürettiği CC250/4 kodlu yaylı, plastik kaplamalı ve 12 metre uzunluğunda elmas tel kullanılmıştır (Şekil 4.11). Özçelik ve Yılmazkaya [33], elmas boncuklar üzerinde yaptıkları çalışmada elmas boncuğun ömrü boyunca performansının 3 farklı davranış gösterdiğini belirlemişlerdir. Çalışmada boncuk çapının 10600 mm değerinin altına düştüğünde elmas boncuğun farklı davranış göstermeye başladığını ve kesme performansının düştüğünü belirlemişlerdir. Bu nedenle bu çalışmada da elmas telde ölçümü yapılan boncukların çapları 10600 mm değerinin altına düştüğünde elmas tel aynı özellikteki yeni bir elmas tel ile değiştirilmiş ve kesimlere sürekli olarak yeni tel ile devam edilmiştir.



Şekil 4.11. Deneylerde kullanılan elmas telin görüntüsü

Kopma ya da elmas telin kesilmesi gerektiği durumlarda Şekil 4.12’de gösterilmiş olan tel kesme makası kullanılmış, elmas telin uçlarını birleştirmek için Şekil 4.13a’da gösterilen bağlantı elemanları kullanılmıştır. Bağlantı elemanını sıkıştırmak için ise hidrolik sıkma makası kullanılmıştır (Şekil 4.13b).



Şekil 4.12. Tel kesme makası



(a)



(b)

Şekil 4.13. Çalışmada kullanılan bağlantı elemanları (a) ve hidrolik sıkma makası (b)

Yapılan tüm kesim işlemleri sırasında ölçülen makine parametreleri aşağıda verilmiştir;

- Her iki kılavuz kasnakta X yönündeki tepkisel kesme kuvveti (N)
- Her iki kılavuz kasnakta Y yönündeki tepkisel kesme kuvveti (N)
- Gerginlik (MPa)
- Güç (W)
- Titreşim (Hz) (X ve Y yönlerinde)
- Su tüketimi (lt/dk)

Kesme sırasında tepkisel kesme kuvvetleri, yük ölçerler kullanılarak ölçülmüştür. Tepkisel kesme kuvvetlerinin makine üzerindeki gösterimi Şekil 3.7'da verilmiştir. Kesim sırasında kullanılan anlık enerji ölçümü için makine üzerindeki enerji analizörü, elmas telde oluşan titreşimleri ölçmek için makineye sabitlenen titreşim ölçerler (Şekil 3.8) ve kesimde kullanılan su miktarı ölçümü için debi ölçer kullanılmıştır. Kesimlerde kullanılan su miktarı ortalama olarak 6-8 lt/dk arasında sabit tutulmuştur. Yapılan kesimlerde germe kasnağının germe pistonu (Şekil 3.6a) 1 MPa değerinde gerilmiş ve bu değer tüm kesimlerde sabit tutulmuştur. Kesilen kayaçların genişliği 1 metredir. Kesimler 45 dk uzunluğunda yapılmıştır.

Çalışmada, kesim deneylerinin performanslarını değerlendirirken birim aşınma ve birim enerji değerleri incelenmiş ve yorumlanmıştır. Birim aşınma değeri, birim alan başına boncukta meydana gelen çapsal aşınma miktarıdır ( $\mu\text{m}/\text{m}^2$ ). Aşınma ölçümleri yapılırken mikrometre cihazı (Şekil 4.14) kullanılmıştır. Kesimler öncesinde elmas tel üzerinde 20 adet boncuk belirlenmiş ve bu boncuklar spreyci boya ile işaretlenmiştir (Şekil 4.15). Kesim sonunda boncukların üzerindeki boya silinmekte ancak plastik üzerindeki boyalar silinmemektedir. Plastikler üzerindeki boya izlerinden işaretli boncuklar rahatlıkla belirlenebilmektedir. Belirlenen bu 20 boncuğun çapları her kesime başlamadan önce 5 farklı yönden mikrometre cihazı ile Şekil 4.16'da gösterilen A-A', B-B', C-C', D-D' ve E-E' noktalarından ikişer kez ölçülmüş ve iki ölçümün ortalama değeri alınmıştır. Kesim sonunda işaretli boncukların çapları yine ikişer kez ölçülmüş, her boncuk için yapılan bu iki ölçümlerinde ortalaması alınmıştır. Kesim sonundaki çap değerleri ile kesim öncesindeki ortalama çap değerlerinin arasındaki farkların ortalaması o kesim için elmas boncuklardaki ortalama aşınma miktarını vermiştir. Kesilen alan ve kesim süresine bağlı olarak aşınma değerleri farklı kesim parametrelerinde çok yüksek ya



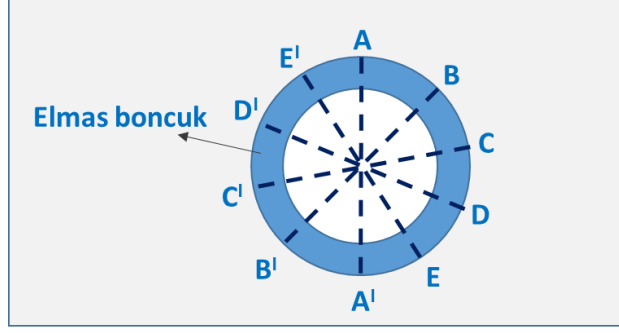
da çok düşük olarak bulunabilmektedir. Farklı kesimlerde görülen bu aşınma değerlerini birbirleriyle karşılaştırabilmek için aşınma miktarları her bir kesimdeki alan değerlerine bölünmüş ve birim alanı keserken boncuklarda görülmüş olan aşınma yani birim aşınma değerleri bulunmuştur.



Şekil 4.14. Boncuk çapı ölçümlerinde kullanılan mikrometre cihazı



Şekil 4.15. Sprey boya ile işaretlenmiş olan boncuklar



Şekil 4.16. Elmas boncuk üzerinde ölçüm alınan 5 farklı noktanın gösterimi

Çalışmada kullanılan birim enerji terimi, birim alandaki kayacı kesmek için gerekli enerji miktarını ifade etmektedir ( $kWh/m^2$ ). Tektelli kesme sisteminin panelinde bulunan enerji analizörü aracılığıyla elde edilen makine tarafından çekilen net güç değerlerinin ortalamasının süreyle çarpımının, kesilen yüzey alanına bölünmesiyle bulunmuştur. Bu çalışmadaki hesaplamalarda kullanılan güç değerleri, makine üzerindeki güç analizörü yardımı ile kesme sırasında kaydedilmektedir. Birim enerji hesaplamalarında her bir kesimde makine çalışırken elmas tel kesime girmeden önceki ortalama güç değerleri belirlenmiş ve kesim sırasındaki ortalama güç değerinden çıkarılmıştır. Bu sayede birim enerji değişimleri net enerji değerlerinin üzerinden belirlenmiştir.

#### 4.5. İstatistiksel Analizler

Çalışmada, yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel analizleri için Design Expert 7.1 programı kullanılmıştır.

##### 4.5.1. Design Expert 7.1 Programının Tanıtılması

Deneyssel optimizasyon işlemleri için geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılan bir programdır. Ürün ve işlemlerin optimizasyonunda kullanılmakla birlikte deneylerin etkin bir biçimde en uygun şekilde farklı yöntemlere göre tasarımını da yapmaktadır. Belirlenen tasarıma göre deneyler yapıldıktan ve elde edilen sonuçlar programa girildikten sonra bağımlı değişkenler için (yanıtlar) en uygun model eşitlikler türetmekte ve türetilen eşitlikler yardımıyla en uygun noktaların belirlenmesi işlemini yapabilmektedir.

Design Expert 7.1 programı deneylerden elde edilen sonuçların (yanıtların) görüntülenmesi için 3 boyutlu döndürülebilir grafiklerin çizilebilmesini sağlamaktadır. Ayrıca fare kullanarak 2 boyutlu grafikler üzerindeki sınır çizgilerin görülebilmesine de olanak sağlamaktadır. En uygun noktaların koordinatlarının (en

uygun çalışma noktaları) ve bu noktalarda yapılacak deneyler sonucunda elde edilebilecek tahmini sonuçları (yanıtları) görüntülemekte bu programla mümkündür [62].

Design-Expert, Myers ve Montgomery tarafından “arzu” (desirability) olarak adlandırılan çoklu yanıt yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntem, amaç fonksiyonu  $D(X)$  kullanır ve “arzu fonksiyonu” (desirability function) olarak adlandırılır. Her bir yanıt ( $d_i$ ) için arzu edilen aralıkları yansıtır. Arzu edilen aralıklar 0 ile 1 (sırasıyla en çok tercih edilenden itibaren) arasındadır. Eşzamanlı amaç fonksiyonu tüm dönüştürülen yanıtların bir geometrik ortalamasıdır ve aşağıdaki formül ile açıklanmaktadır (Eşitlik 4.1).

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n)^{\frac{1}{n}} = \left( \prod_{i=1}^n d_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.1)$$

Burada  $n$ , ölçü tepkilerinin sayısıdır. Yanıtlardan veya faktörlerden herhangi biri kendi arzu aralığının dışına düşerse, genel fonksiyon sıfır olur [34].

#### 4.5.2. Kesme Deneylerinin Tasarımı

Design Expert 7.1 programı kullanılarak yapılacak olan deney programı 2 faktöriyel deney tasarım modeli kullanılarak oluşturulmuş ve tüm doğal taşlar üzerinde (6 hakiki mermer ve 2 kireçtaşı) kesme deneyleri bu programa göre gerçekleştirilmiştir. Burada her bir numune için, 5 farklı çevresel hız ve 6 farklı kesim hızı olmak üzere toplam 30 farklı kesim parametresinde deney yapılmıştır.

#### 4.6. Sonuçların Değerlendirilmesi

Elmas telli kesme yönteminde kesme performansı belirleme parametreleri olarak kesim hızı, boncuklardaki birim aşınma miktarı ve özgül enerji kullanılmaktadır.

Elmas telli kesme yönteminde yüksek kesme performansı için kesime etki eden parametrelerin maksimum kesim hızı, minimum aşınma ve minimum enerji tüketimini sağlayacak şekilde ayarlanması gerekmektedir.

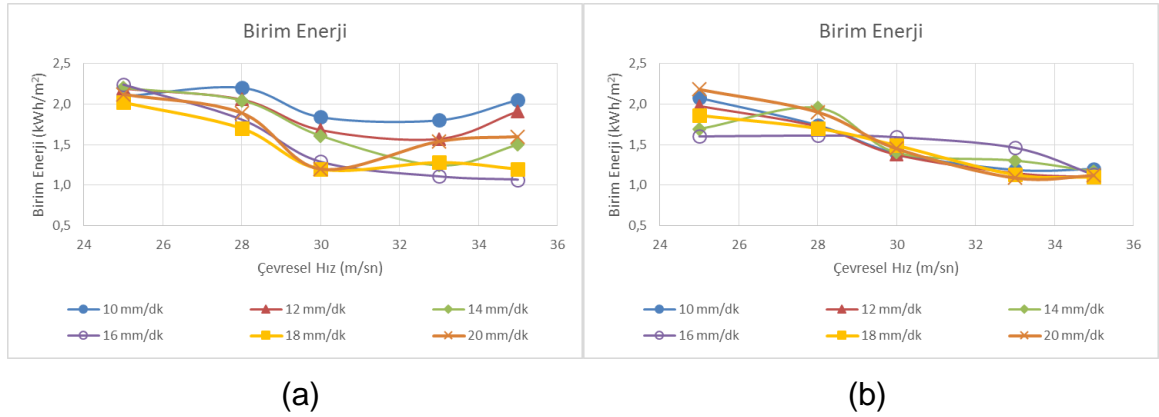
Bu parametrelerde yapılan değerlendirmenin amacı, kesim koşulları aynıken belirli bir parametre değişiminin birim aşınmayı ve özgül enerjiyi ne şekilde etkilediğini ve en düşük aşınma değerinin ve enerji sarfiyatının hangi çalışma koşulunda olduğunu ortaya koymaktır.

## 5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

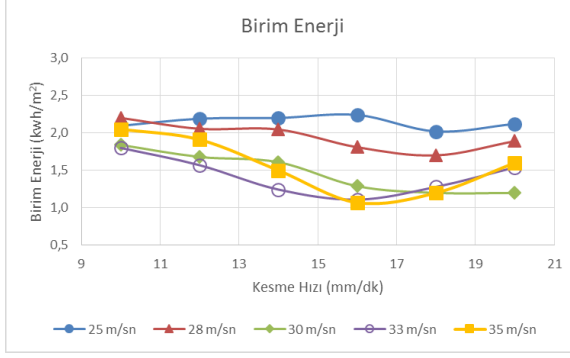
Çalışmada 6 farklı mermer ve 2 farklı kireçtaşı numunesi olmak üzere toplam 8 farklı doğal taş örneği üzerinde deneyler gerçekleştirilmiş, deneyler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak tektelli kesme makinesinde tel dönüş hızının ve kesme hızının, elmas telli kesme yönteminde kesme performansı parametrelerine (elmas boncuklardaki birim aşınma ve kesmede harcanan enerji), makinede oluşan iki yönlü titreşime ve iki yönlü tepkisel kuvvetlere etkileri incelenmiştir. Bu bölümde sadece Afyon Beyaz ticari isimli hakiki mermer ve Burdur Koyu Bej isimli kireçtaşı örneklerinin deneylerinden elde edilen veriler sunulmuştur. Bu kayaçlar dışındaki hakiki mermerlerin ve kireçtaşlarının grafikleri EK1 ve EK2 bölümlerinde verilmiştir.

### 5.1. Kesim Parametrelerine Bağlı Olarak Birim Enerji Değişimleri

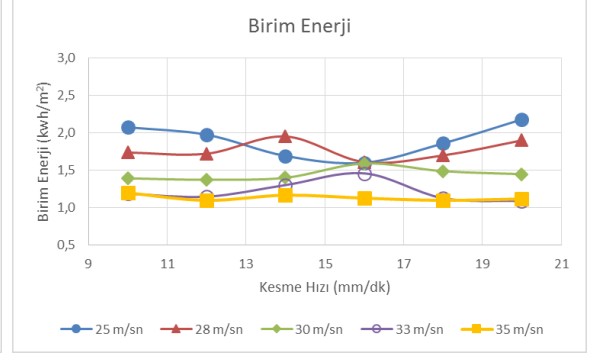
Afyon Beyaz ticari isimli hakiki mermer ve Burdur Koyu Bej ticari isimli kireçtaşı örnekleri için farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak birim enerji değişimlerini ve farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak birim enerji değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Afyon Beyaz (a) ve Burdur Koyu Bej (b) ticari isimli doğal taş örnekleri için farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak birim enerji değişimleri



(a)



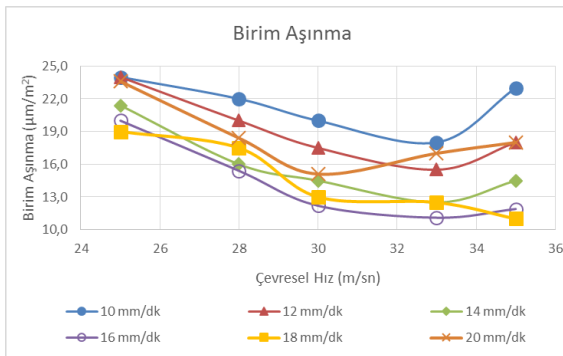
(b)

Şekil 5.2. Afyon Beyaz (a) ve Burdur Koyu Bej (b) ticari isimli doğal taş örnekleri için farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak birim enerji değişimleri

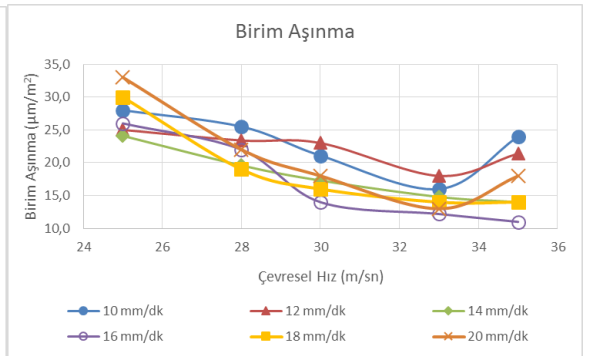
Şekil 5.1 incelendiğinde Afyon Beyaz numunesi için çevresel hız değerleri yükseldikçe birim enerji değerlerinin azalma eğiliminde olduğu ancak belirli bir noktadan sonra enerji değerlerinin tekrar yükseldiği görülmektedir. Burdur Koyu Bej numunesi için ise çevresel hız arttıkça birim enerji değerlerinin azaldığı ve 33 m/sn çevresel hız değerinden sonra bu azalmanın durduğu görülmektedir. Şekil 5.2 incelendiğinde ise Afyon Beyaz numunesi için 25 m/sn nin üzerindeki kesimlerde kesme hızı yükseldikçe birim enerjinin azaldığı ve belirli bir noktadan sonra bu azalmanın durup yükselmenin başladığı görülmektedir. Burdur Koyu Bej için böyle bir ilişki tespit edilmemiştir.

## 5.2. Kesim Parametrelerine Bağlı Olarak Birim Aşınma Değişimleri

Farklı kesme hızlarında çevresel hızla bağlı olarak birim aşınma değişimlerini ve farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak birim aşınma değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te verilmiştir.

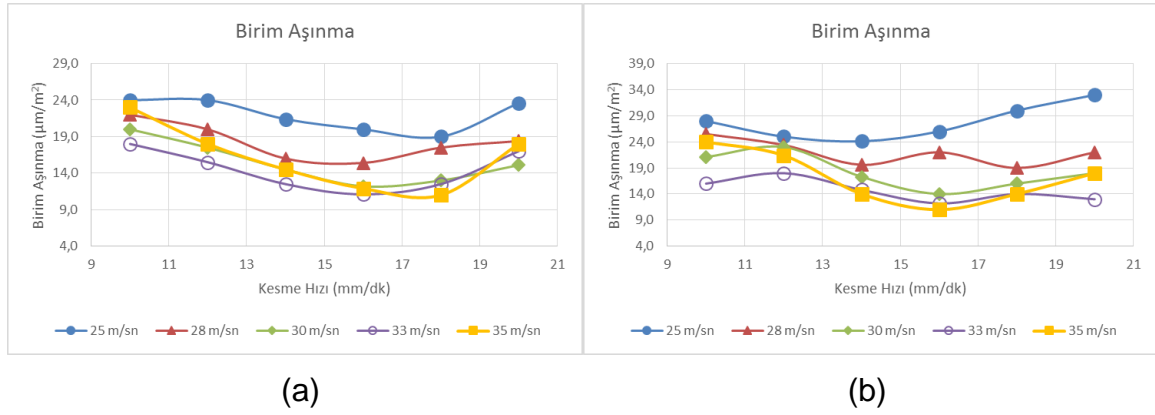


(a)



(b)

Şekil 5.3. Afyon Beyaz (a) ve Burdur Koyu Bej (b) ticari isimli doğal taş örnekleri için farklı kesme hızlarında çevresel hızla bağlı olarak birim aşınma değişimleri

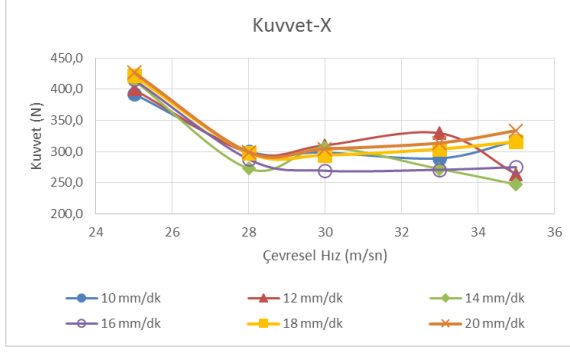


Şekil 5.4. Afyon Beyaz (a) ve Burdur Koyu Bej (b) ticari isimli doğal taş örnekleri için farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak birim aşınma değişimleri

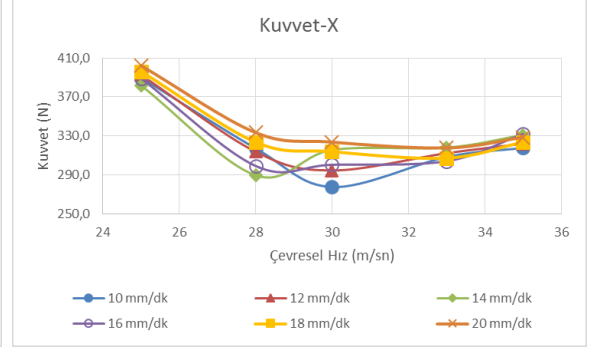
Şekil 5.3 incelendiğinde Afyon Beyaz numunesi için çevresel hız değerleri arttıkça birim aşınma değerlerinin 33 m/sn değerine kadar azaldığı, 18 mm/dk değerinde yapılan kesimler dışında bu noktadan sonra ise dönüş yaparak arttığı görülmektedir. Burdur Koyu Bej numunesi için ise çevresel hız değerleri arttıkça birim aşınma değerlerinin yine 33 m/sn değerine kadar azaldığı, bu noktadan sonra ise 16 mm/dk değerinde yapılan kesimler dışında dönüş yaparak arttığı görülmektedir. EK1 ve EK2 de sunulmuş olan çevresel hız-birim aşınma ilişkilerini gösteren grafikler incelendiğinde birim aşınma değerlerinin genellikle 30-33 m/sn çevresel hızı değerine kadar azalma eğiliminde olduğu bu noktada ise dönüş yaparak yükselme eğilimine geçtiği görülmektedir. Şekil 5.4 incelendiğinde ise tüm kesimler için kesme hızı arttığında birim aşınma değerlerinde azalma olduğu ancak her kesim için farklı olmak üzere belirli bir kesme hızının üzerine çıkıldığında birim aşınma değerlerinin arttığı görülmektedir. EK1 ve EK2 de sunulmuş olan kesme hızı-birim aşınma ilişkilerini gösteren grafikler incelendiğinde ise birim aşınma değerlerinin mermerlerde genellikle 14-16 mm/dk, kireçtaşlarında ise 12-14 mm/dk kesim hızı değerine kadar azalma eğiliminde olduğu bu noktada ise dönüş yaparak yükselme eğilimine geçtiği görülmektedir.

### 5.3. Kesim Parametrelerine Bağlı Olarak Tepkisel Kuvvetlerin Değişimleri

Farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak X ve Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da; farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak X ve Y yönlerindeki tepkisel kuvvet değişimlerini gösteren grafikler ise Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de verilmiştir.

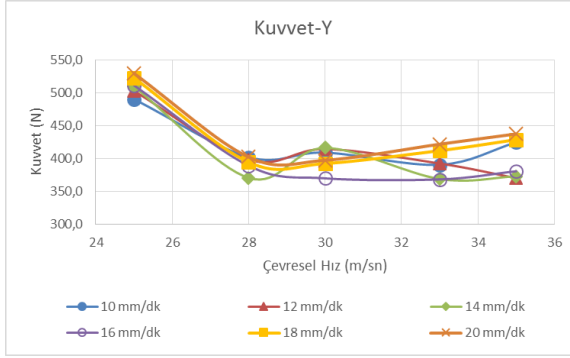


(a)

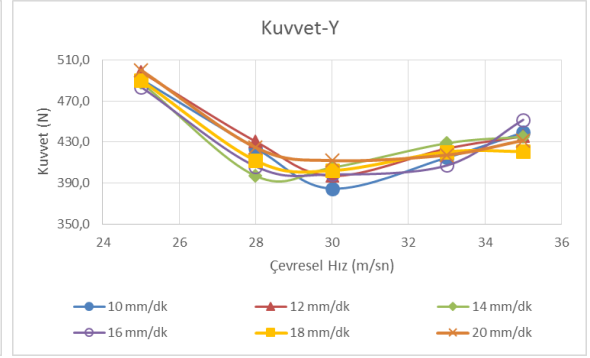


(b)

Şekil 5.5. Afyon Beyaz (a) ve Burdur Koyu Bej (b) ticari isimli doğal taş örnekleri için farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri

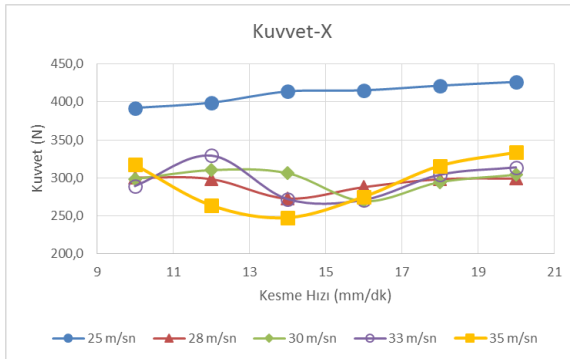


(a)

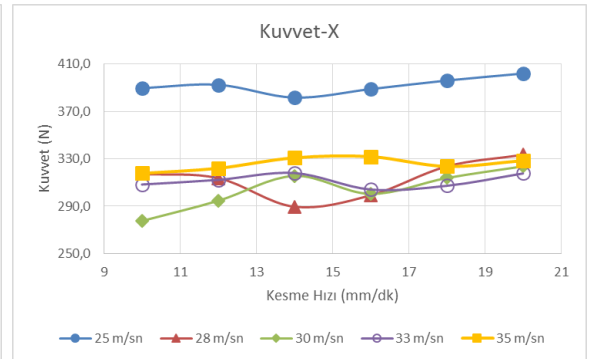


(b)

Şekil 5.6. Afyon Beyaz (a) ve Burdur Koyu Bej (b) ticari isimli doğal taş örnekleri için farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri

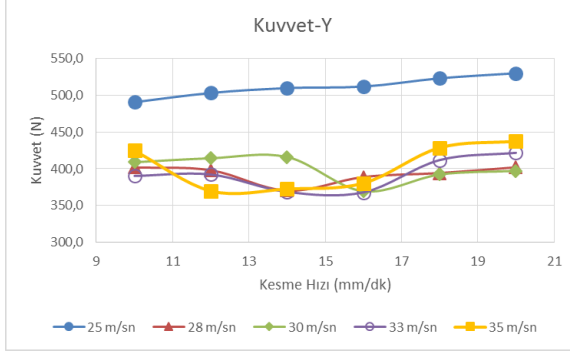


(a)

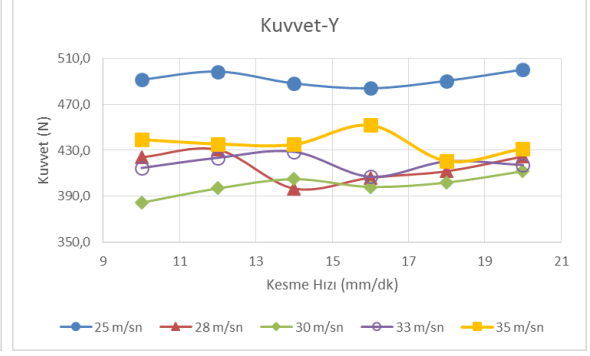


(b)

Şekil 5.7. Afyon Beyaz (a) ve Burdur Koyu Bej (b) ticari isimli doğal taş örnekleri için farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri



(a)



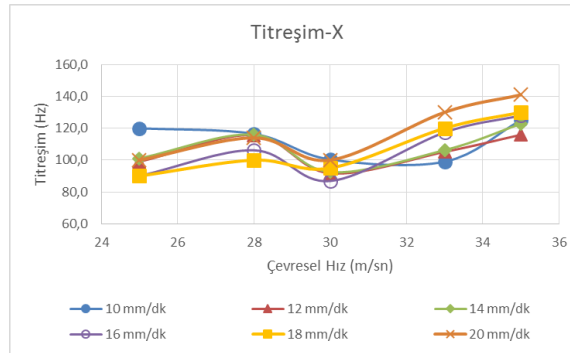
(b)

Şekil 5.8. Afyon Beyaz (a) ve Burdur Koyu Bej (b) ticari isimli doğal taş örnekleri için farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri

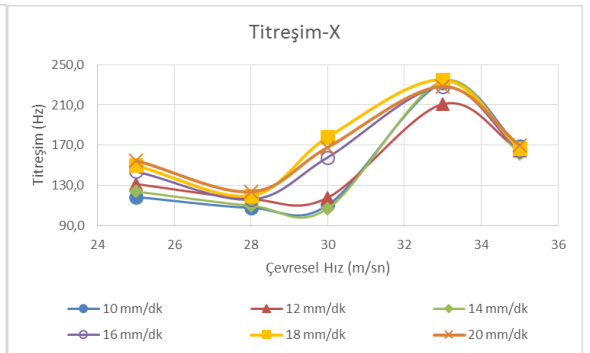
Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 incelendiğinde en düşük çevresel hız olan 25 m/sn değerindeki tüm kesme hızı değerlerinde X ve Y yönlerindeki tepkisel kuvvet değerlerinin en yüksek değerinde olduğu görülmektedir. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 incelendiğinde ise farklı çevresel hızlarda kesme hızı değerleri yükseldikçe X ve Y yönlerindeki tepkisel kuvvet değerlerinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca, en yüksek kuvvet değerlerinin 25 m/sn çevresel hızında yapılan kesimlerde elde edildiği görülmektedir.

#### 5.4. Kesim Parametrelerine Bağlı Olarak Titreşim Değişimleri

Farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak X ve Y yönündeki titreşim değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da; farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak X ve Y yönlerindeki tepkisel kuvvet değişimlerini gösteren grafikler ise Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmiştir.



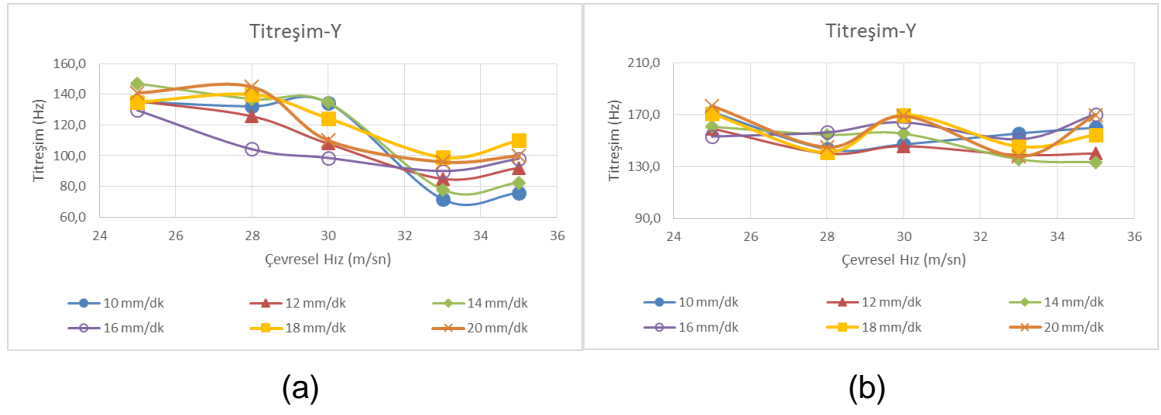
(a)



(b)

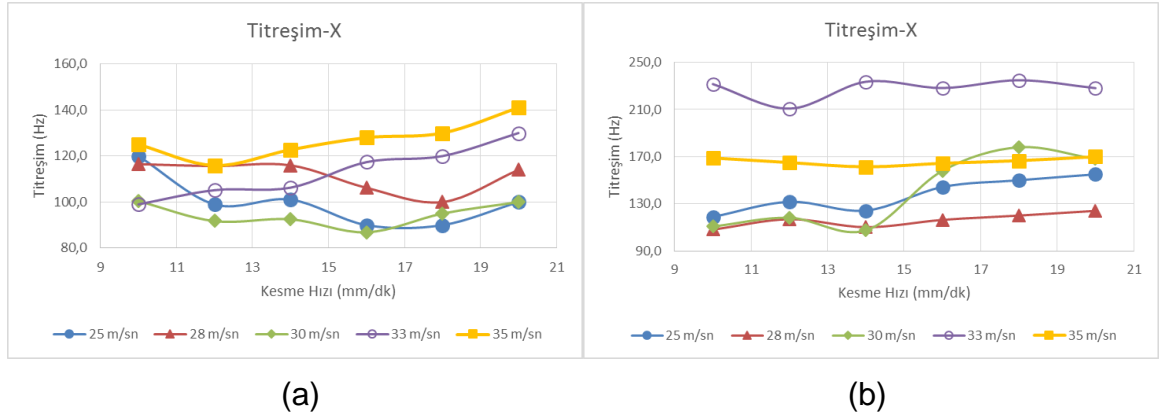
Şekil 5.9. Afyon Beyaz (a) ve Burdur Koyu Bej (b) ticari isimli doğal taşlar için farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki titreşim değişimleri



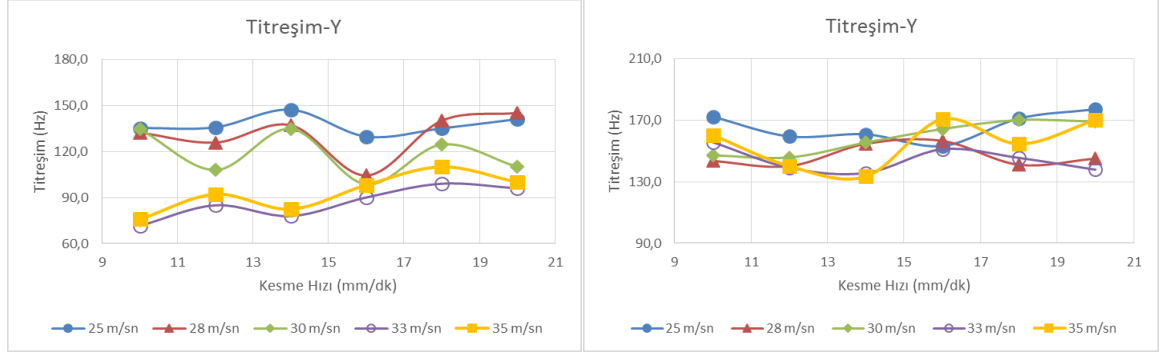


Şekil 5.10. Afyon Beyaz (a) ve Burdur Koyu Bej (b) ticari isimli doğal taşlar için farklı kesme hızlarında çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki titreşim değişimleri

Şekil 5.9 incelendiğinde Burdur Koyu Bej numunesi için 10 mm/dk, 12 mm/dk ve 14 mm/dk kesme hızları için 30 m/sn'ye kadar çevresel hız değerleri yükseldikçe X yönündeki titreşim değerleri azaldığı, daha sonra ise yükseldiği görülmektedir. Afyon Beyaz numunesi için belirgin herhangi bir ilişki tespit edilememiştir.



Şekil 5.11. Afyon Beyaz (a) ve Burdur Koyu Bej (b) ticari isimli doğal taş örnekleri için farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak X yönündeki ortalama titreşim değişimleri



(a)

(b)

Şekil 5.12. Afyon Beyaz (a) ve Burdur Koyu Bej (b) ticari isimli doğal taş örnekleri için farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki ortalama titreşim değişimleri

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 incelendiğinde X ve Y yönündeki titreşim değerlerinin kesme hızı yükseldikçe artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde anlaşılmaktadır ki; çevresel hız arttıkça Y yönünde elmas telin salınımı azalmakta ve kesme yönünde daha düzgün titreşimsiz hareket etmektedir. Ancak elmas tel birim zamanda kayalık yüzeyine daha az temas etmekte ve daha az tanecik koparttığından X yönünde titreşerek (sıçrayarak) ilerlemektedir.

Kesme hızı arttığında ise elmas tel X yönünde daha fazla dalmakta ve daha iri tane kopartmakta olup kesim hızı yükseldikçe kesme yönünden kaçmaya çalışmakta bu da salınımın daha artmasına neden olmaktadır. Y yönünde de aynı şekilde sağa-sola salınımına neden olmaktadır. Kesme hızı artışının çevresel hız artışına oranla titreşime olan etkisi daima daha fazladır.

## 6. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMELER

Çalışmanın bu bölümünde, çalışma kapsamında yapılan istatistiksel değerlendirmeler verilmektedir. Tez çalışmasında kesimlerin gerçekleştirileceği sınır kesim hızı ve çevresel hız değerleri deneme kesimleri ile belirlendikten sonra, çalışma kapsamında gerçekleştirilecek kesim deneylerinin ne şekilde ve hangi sırada yapılacağı belirlenmiştir.

Deneylerin sırasının belirlenmesi, deney tasarımı teknikleriyle yapılabilmektedir. Deney tasarımı teknikleri sadece istatistiksel bir yaklaşım değil, tüm araştırma-geliştirme faaliyetlerinde kullanılabilir, kaliteyi artıran, maliyetleri düşüren, sonuçların güvenilirliğini sağlamlaştıran ve tamamlayan tekniklerdir [62].

Çalışmanın istatistiksel değerlendirme aşamasında, kesim deneylerinin tasarımı, kesimlerden elde edilen verilerin analizlerini yapmak, hakiki mermer ve kireçtaşı numuneleri için elmas telli kesme yönteminde kesme performansının belirlenmesinde optimizasyon kriteri olarak kabul edilen birim aşınma ve birim enerji değerlerinin temel olarak kesimlerde kullanılacak çevresel hız ve kesme hızının optimizasyonunu gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Bu çalışmaları yapmak için özel bir istatistiksel analiz programı olan **Design Expert 7.1** programı kullanılmıştır.

Bu çalışmada 6 farklı mermer ve 2 farklı kireçtaşı numunesi olmak üzere toplam 8 farklı doğal taş örneği üzerinde deneyler gerçekleştirilmiş, her kayaç için ve her kayaç cinsi için ayrı ayrı olarak deney sonuçlarının istatistiksel değerlendirmeleri yapılarak kesilebilirlik abakları geliştirilmiş ve optimum kesim noktaları belirlenmiştir. Ancak bu bölümde sadece Afyon Beyaz ticari isimli hakiki mermer numunesi üzerinde yapılan tüm istatistiksel çalışmalar ayrıntısı ile verilmiş, kayaç cinsleri için yapılmış olan kesilebilirlik abakları ve optimum kesim noktaları gösterilmiştir. Afyon Beyaz numunesi dışındaki hakiki mermerlerin ve kireçtaşlarının kesilebilirlik abakları EK3 ve EK4 bölümlerinde verilmiştir. Afyon Beyaz ticari isimli hakiki mermer numunesi için, tasarlanan deney setine göre yapılan kesim deneylerinden elde edilen birim aşınma ve birim enerji sonuçları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Yapılan kesme deneylerinde uygulanan deney programı ve Afyon Beyaz ticari isimli hakiki mermer numunesi için deney sonuçları

DENEY SIRASI	FAKTÖR 1 A:ÇEVRESEL HIZ (m/sn)	FAKTÖR 2 B:KESME HIZI (mm/dk)	YANIT 1 BİRİM ENERJİ (kWh/m <sup>2</sup> )	YANIT 2 BİRİM AŞINMA (µm/m <sup>2</sup> )
1	28,00	12,00	2,06	20,00
2	33,00	16,00	1,11	11,10
3	28,00	18,00	1,70	17,50
4	30,00	14,00	1,61	14,50
5	33,00	12,00	1,57	15,50
6	30,00	20,00	1,20	15,10
7	35,00	10,00	2,05	23,00
8	28,00	14,00	2,05	16,00
9	33,00	10,00	1,80	18,00
10	35,00	14,00	1,50	14,50
11	30,00	10,00	1,84	20,00
12	30,00	12,00	1,68	17,50
13	33,00	20,00	1,54	17,00
14	35,00	12,00	1,91	18,00
15	25,00	20,00	2,12	23,60
16	33,00	18,00	1,28	12,50
17	35,00	18,00	1,20	11,00
18	25,00	18,00	2,02	19,00
19	25,00	10,00	2,09	24,00
20	28,00	20,00	1,89	18,40
21	25,00	12,00	2,19	24,00
22	28,00	16,00	1,81	15,40
23	33,00	14,00	1,24	12,50
24	25,00	16,00	2,24	20,00
25	35,00	20,00	1,60	18,00
26	25,00	14,00	2,20	21,40
27	28,00	10,00	2,20	22,00
28	30,00	16,00	1,29	12,20
29	35,00	16,00	1,07	11,90
30	28,00	18,00	1,20	13,00

### 6.1. Tasarım Özetlerinin Oluşturulması

İstatistiksel değerlendirmelere geçmeden önce faktörler ve yanıtlarla ilgili her bir değişkene ilişkin özellikleri yansıtan bilgiler analiz edilmiştir. Bu bilgiler değişkenlere ilişkin dağılımları betimlemek için ortalama ve standart sapma gibi bilgilerden ve ayrıca modelleme çalışmalarında kullanılacak yöntem ve modellerin tanımlanmasından oluşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan tasarım özellikleri Çizelge

6.2’de, faktör ve yanıtlarla ilgili betimsel (tanımlayıcı) istatistiksel bilgiler ise sırasıyla Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4’te verilmiştir.

Çizelge 6.2. Çalışmada kullanılan istatistiksel tasarım özellikleri

ÇALIŞMA TİPİ	FAKTÖRİYEL
Başlangıç Tasarım	En Uygun Tasarım, Nokta Değişimli
Tasarım Modeli	2 Faktöriyel (2FI)
Deney Sayısı	30

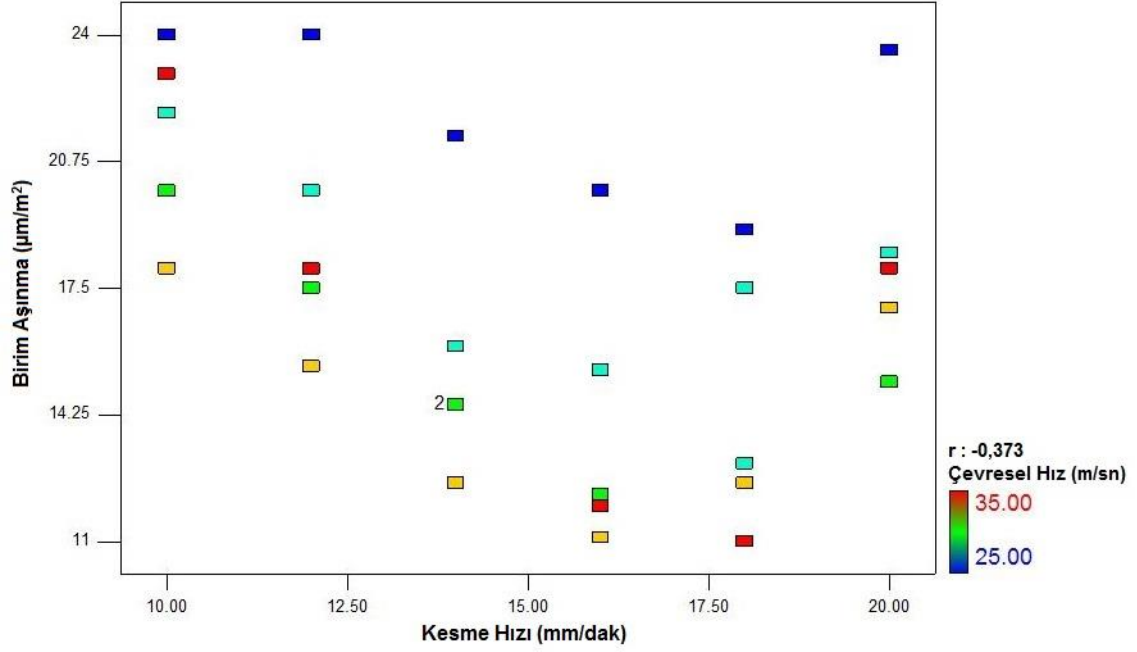
Çizelge 6.3. Faktörlere ait tanımlayıcı istatistiki bilgiler

FAKTÖR	ADI	BİRİMİ	TİPİ	MİN.	MAKS.	ORTALAMA	STD. SAPMA
A	Çevresel Hız	m/s	Sayısal	25,00	35,00	30,13	3,57
B	Kesme Hızı	mm/dak	Sayısal	10,00	20,00	15,00	3,42

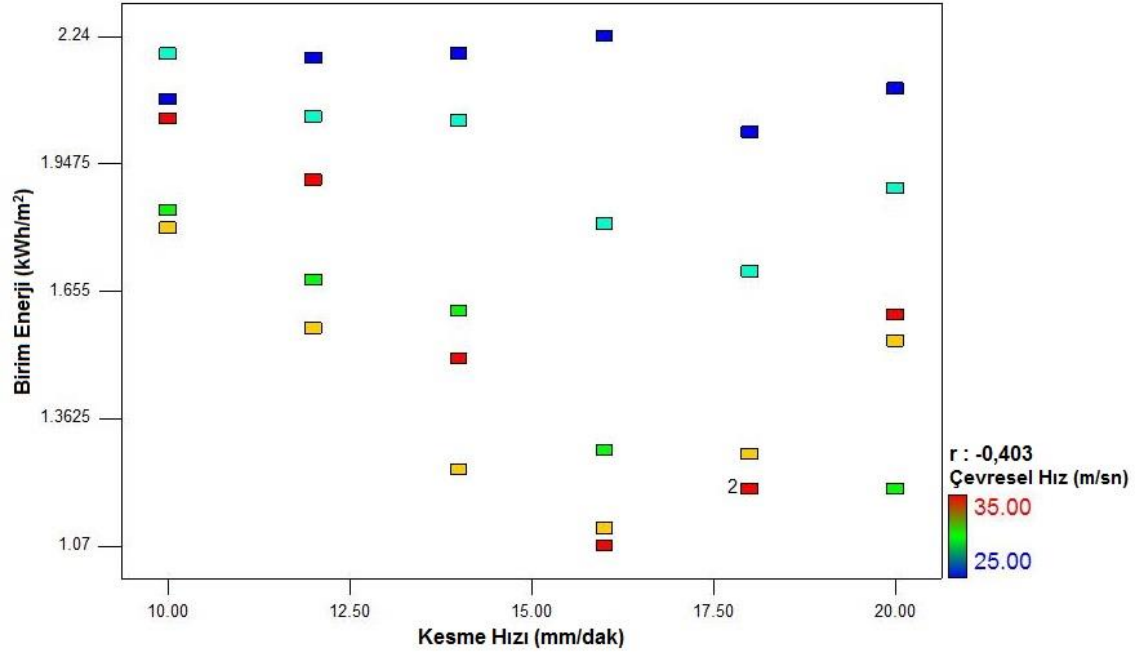
Çizelge 6.4. Yanıtlara ait tanımlayıcı istatistiki bilgiler

YANIT	ADI	BİRİMİ	VERİ SAY.	ANALİZ	MİN.	MAKS	ORT.	STD SAP	ORAN	MODEL
Y1	Birim Enerji	kWh/m <sup>2</sup>	30	Poli.	1.07	2.24	1.71	0.37	2.09	Kübik
Y2	Birim Aşınma	µm/m <sup>2</sup>	30	Poli.	11.00	24.00	17.22	3.90	2.18	Kübik

Tanımlayıcı istatistiklere ilaveten birim aşınma ve birim enerji ile kesim hızı arasındaki birebir ilişkiler farklı çevresel hızlarda incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de verilmiştir. Farklı çevresel hızlarda kesme hızı ile birim aşınma ve birim enerji arasında düşük ilişkiler söz konusudur.



Şekil 6.1. Farklı çevresel hızlarda kesme hızı ile birim aşınma ilişkisi



Şekil 6.2. Farklı çevresel hızlarda kesme hızı ile birim enerji ilişkisi

Çoğu bilimsel mekanizmanın karmaşıklığı yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen önemli çıktılarının (yanıtların) tahmin edilebilmesindeki güçlükten kaynaklanmaktadır. Bu amaçla genellikle basit veya çoklu regresyon modelleri kullanılmaktadır. Regresyon analizi için kurulan model, bağımlı (açıklanan) değişken ve bağımsız (açıklayan) değişkenleri içeren bir modeldir. Böyle bir modelde; bağımlı

değişkendeki değişim, bağımsız değişkenler ile açıklanmaya çalışılır. Belirtme katsayısı ( $R^2$ ) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise modeldeki açıklama miktarının açıklanamayan miktara olan oranıdır. Regresyon katsayısı ise, ilgili bağımsız değişkendeki bir birimlik artışın bağımlı değişkende yaratacağı değişim miktarıdır. Basit veya çoklu regresyon modellerinin kurulmasında ilk aşama modeli oluşturan katsayıların belirlenmesi, daha sonra, model geçerliliğinin varyans analizi ile istatistiksel testidir.

Buradaki varyans analizinden kastedilen, modeldeki değişimin (toplam varyansın) bileşenlerine ayrılması suretiyle değişimin kaynaklarının araştırılmasıdır. Buradan elde edilen sonuçların sergilendiği çizelgeler ANOVA (Analysis of Variance) (varyans analizi) çizelgeleri adı verilmektedir. Çizelgelerde her bir değişim kaynağı serbestlik dereceleri ile beraber F istatistiğinin ihtiyaç duyduğu değerler yer almaktadır.

ANOVA çizelgelerindeki amaçlardan biri, bileşenlere ilişkin varyansları ve her iki varyansın oranı olan F değerini belirlemektir. Çizelgelerdeki kareler ortalaması, ait olduğu bileşenin varyansını vermektedir. Çizelgelerden elde edilen F değeri genel modelin geçerliliği için test edilecek değerdir. Regresyon analizinde ve diğer modellerde F değeri ve ANOVA sonuçları, kurulan modelin geçerliliğini yani sistemi temsil edebilirliğini göstermektedir.

## **6.2. Kesim Verilerinin Analizi**

Çalışmanın amacına uygun olarak Çizelge 6.1’de belirtilen deney programına göre yapılan kesme deneylerinde kesme performansının belirlenmesinde iki temel parametre kullanılmıştır. Bunlar, kesim sırasında elmas boncuklarda meydana gelen birim aşınma ve kesim sırasında harcanan birim enerjidir. Bu nedenle, bu kısımda istatistiksel analizler yapılırken her iki parametre de ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki aşamasında bu parametrelere bağlı olarak en uygun çalışma noktalarının belirlenebilmesi için, kesme hızları ve çevresel hızlar kullanılarak bu parametrelere ait istatistiksel model eşitliklerin türetilmesi ve deney yapılmayan noktaların bu model eşitlikler kullanılarak belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmanın güvenilirliği açısından farklı türde modeller kullanılarak farklı istatistiksel model eşitlikler türetilmiş ancak istatistiksel açıdan en anlamlı olan model bu parametreler için en uygun model olarak seçilmiştir.

### 6.2.1. Kesme Deney Verilerinin Birim Aşınmayla İlgili İstatistiksel Değerlendirmeleri

Kesme hızı ve çevresel hızlar kullanılarak birim aşınmaların tahmin edilmesi amacıyla öncelikle Çizelge 6.5'te verilen farklı modeller için analizler yapılmış ve çizelgeden de görüldüğü gibi  $R^2$  değeri en yüksek olan Kübik model aşınmanın tahmin edilmesi için en uygun istatistiksel model eşitliğin türetilmesinde kullanılmıştır.

Çizelge 6.5. Birim aşınma model seçimi için yapılan istatistiksel analiz sonuçları

MODEL	STANDART SAPMA	$R^2$	DÜZELTİLMİŞ $R^2$	TAHMİNİ $R^2$	SONUÇ
Doğrusal	3.03	0.4550	0.4146	0.2969	
2FI	3.08	0.4589	0.3965	0.1438	
Kuadratik	1.56	0.8714	0.8446	0.7628	
<u>Kübik</u>	<u>1.16</u>	<u>0.9411</u>	<u>0.9146</u>	<u>0.8473</u>	Önerilen

Daha sonra Kübik model kullanılarak model katsayılarının belirlenmesi amacıyla çoklu regresyon analizi yapılmış ve birim aşınma model eşitliği elde edilmiştir. Kurulan modelin (Kübik model) geçerliliği ise varyans analizi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7'de verilmiştir.



Çizelge 6.6. Birim aşınmaya ait çoklu regresyon analizi sonuçları

FAKTÖR	KATSAYI KESTİRİMİ	SERBESTLİK DERECESİ	STANDART HATA
Sabit	13.07	1	0.42
Çevresel Hız (ÇH)	-5.58	1	0.98
Kesme Hızı (KH)	-5.33	1	0.96
(ÇH) (KH)	-0.58	1	0.44
(ÇH) <sup>2</sup>	3.61	1	0.52
(KH) <sup>2</sup>	5.10	1	0.53
(ÇH) <sup>2</sup> (KH)	0.13	1	0.74
(ÇH) (KH) <sup>2</sup>	2.08	1	0.75
(ÇH) <sup>3</sup>	1.65	1	1.02
(KH) <sup>3</sup>	3.78	1	1.01

Çizelge 6.6'da verilen regresyon katsayılarına bağlı olarak kurulan model %99 ( $\alpha=0,01$ ) güvenilirlik seviyesinde ( $*P=0,0001<\alpha=0,01$ ) istatistiksel olarak anlamlıdır. Belirtme katsayısı ( $R^2$ ) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise 0,99 gibi oldukça yüksek bir değerdir. Bu nedenle bu model eşitlik kullanılarak rahatlıkla deney yapılmayan kısımlardaki noktaların kestirimi yapılabilir.

Çizelge 6.6'ya göre kurulan birim aşınmaya ait kübik modelin eşitlik formülü ise aşağıdaki gibi bulunmuştur;

$$\text{Birim Aşınma} = +13,07 - 5,58 * (\text{ÇH}) - 5,33 * (\text{KH}) - 0,58 * (\text{ÇH}) * (\text{KH}) + 3,61*(\text{ÇH})^2 + 5,10 * (\text{KH})^2 + 0,13 * (\text{ÇH})^2*(\text{KH}) + 2,08 * (\text{ÇH}) * (\text{KH})^2 + 1,65 * (\text{ÇH})^3 + 3,78 * (\text{KH})^3$$

Çizelge 6.7. Birim aşınmaya ait çoklu regresyon modelinin varyans analizi

KAYNAK	KT	SD	OK	FD	O	S
Model	428,40	9	47,60	35,51	< 0,0001	Anlamlı
Çevresel Hız (ÇH)	43,25	1	43,25	32,27	< 0,0001	
Kesme Hızı (KH)	41,61	1	41,61	31,04	< 0,0001	
(ÇH) (KH)	2,37	1	2,37	1,76	0,1990	
(ÇH) <sup>2</sup>	65,36	1	65,36	48,76	< 0,0001	
(KH) <sup>2</sup>	123,72	1	123,72	92,30	< 0,0001	
(ÇH) <sup>2</sup> (KH)	0,038	1	0,038	0,028	0,8681	
(ÇH) (KH) <sup>2</sup>	10,43	1	10,43	7,78	0,0113	
(ÇH) <sup>3</sup>	3,46	1	3,46	2,58	0,1236	
(KH) <sup>3</sup>	18,85	1	18,85	14,06	0,0013	
Artık	26,81	20	1,34			
Toplam	455,21	29				

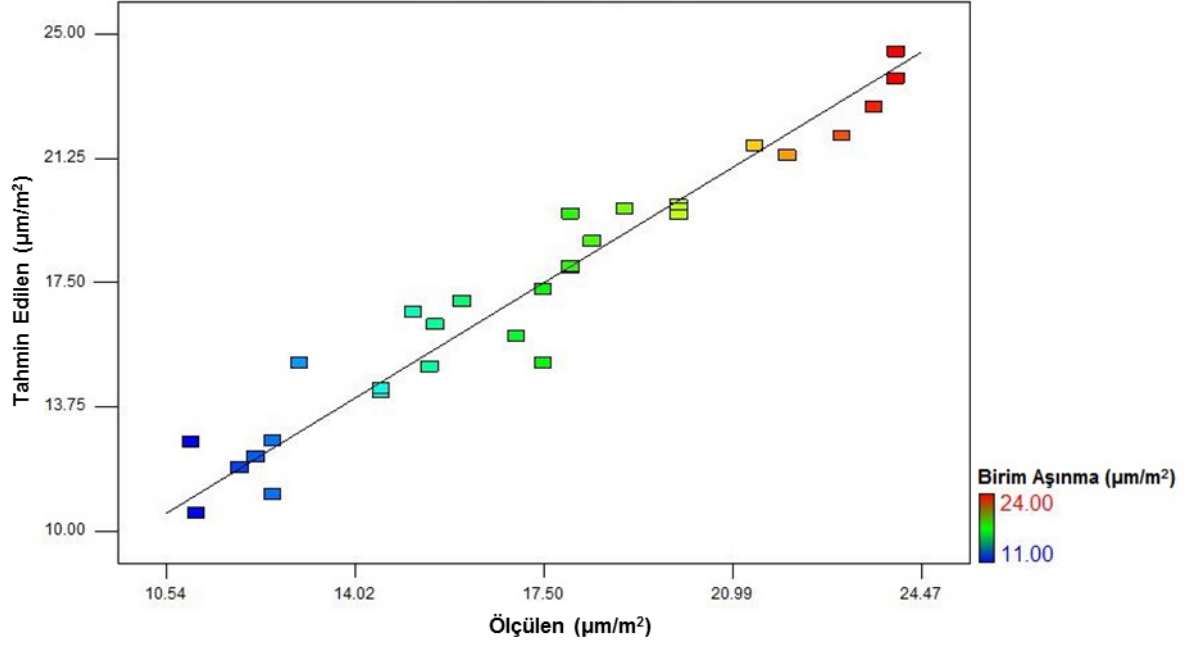
(KT: Karelerin Toplamı, SD: Serbestlik Derecesi, OK: Ortalamanın Karesi, FD: F Değeri, O:Olasılık, S: Sonuç)

Bir regresyon modelinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını varyans analizi yöntemiyle test etmek mümkündür. Bununla birlikte aynı amaca hizmet eden değişik yaklaşımlar da söz konusudur. Bunlardan birisi de deneysel çalışmalardan elde edilen ölçüm sonuçları ile modelden elde edilen sonuçlar arasındaki saçılım grafiğine bakmaktır. Bu amaçla birim aşınma için elde edilen grafik Şekil 6.3'te verilmiştir. Şekil 6.3 incelendiğinde modelden elde edilen sonuçların ölçüm sonuçlarını oldukça iyi bir şekilde yansıttığı görülmektedir.

### 6.2.2. Kesme Deney Verilerinin Birim Enerjiyle İlgili İstatistiksel Değerlendirmeleri

Kesme hızı ve çevresel hızlar kullanılarak birim enerjilerin tahmin edilmesi amacıyla öncelikle Çizelge 6.8'de verilen farklı modeller için analizler yapılmış ve çizelgeden

de görüldüğü gibi  $R^2$  değeri en yüksek olan Kübik model birim enerjinin tahmin edilmesi için en uygun istatistiksel model eşitliğin türetilmesinde kullanılmıştır.



Şekil 6.3. Birim aşınma için tahmin edilen-ölçülen değerler arasındaki ilişki

Çizelge 6.8. Birim enerji model seçimi için yapılan istatistiksel analiz sonuçları

MODELLER	STANDART SAPMA	$R^2$	DÜZELTİLMİŞ $R^2$	TAHMİNİ $R^2$	SONUÇ
Doğrusal	0,26	0,5599	0,5273	0,4457	
2Fl	0,26	0,5764	0,5275	0,3927	
Kuadratik	0,21	0,7341	0,6787	0,5446	
<u>Kübik</u>	<u>0,16</u>	<u>0,8723</u>	<u>0,8148</u>	<u>0,7398</u>	Önerilen

Daha sonra, Kübik model kullanılarak model katsayılarının belirlenmesi amacıyla çoklu regresyon analizi yapılmış ve birim enerji model eşitliği elde edilmiştir. Kurulan Kübik modelin geçerliliği ise varyans analizi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Birim enerjiye ait çoklu regresyon analizi sonuçları

FAKTÖR	KATSAYI KESTİRİMİ	SERBESTLİK DERECESİ	STANDARD HATA
Sabit	1,45	1	0,059
Çevresel Hız (ÇH)	-0,75	1	0,14
Kesme Hızı (KH)	-0,58	1	0,13
(ÇH) (KH)	-0,10	1	0,061
(ÇH) <sup>2</sup>	0,30	1	0,072
(KH) <sup>2</sup>	0,23	1	0,074
(ÇH) <sup>2</sup> (KH)	0,13	1	0,10
(ÇH) (KH) <sup>2</sup>	0,33	1	0,10
(ÇH) <sup>3</sup>	0,31	1	0,14
(KH) <sup>3</sup>	0,36	1	0,14

Çizelge 6.10. Birim enerjiye ait çoklu regresyon modelinin varyans analizi

KAYNAK	KT	SD	OK	FD	O	S
Model	3,58	9	0,40	15,18	< 0,0001	Anlamlı
Çevresel Hız (ÇH)	0,79	1	0,79	30,22	< 0,0001	
Kesme Hızı (KH)	0,50	1	0,50	19,15	0,0003	
(ÇH) (KH)	0,08	1	0,08	2,98	0,0999	
(ÇH) <sup>2</sup>	0,46	1	0,46	17,65	0,0004	
(KH) <sup>2</sup>	0,24	1	0,24	9,29	0,0063	
(ÇH) <sup>2</sup> (KH)	0,04	1	0,04	1,60	0,2202	
(ÇH) (KH) <sup>2</sup>	0,25	1	0,25	9,71	0,0055	
(ÇH) <sup>3</sup>	0,12	1	0,12	4,75	0,0415	
(KH) <sup>3</sup>	0,17	1	0,17	6,53	0,0189	
Artık	0,52	20	0,03			
Toplam	4,10	29				

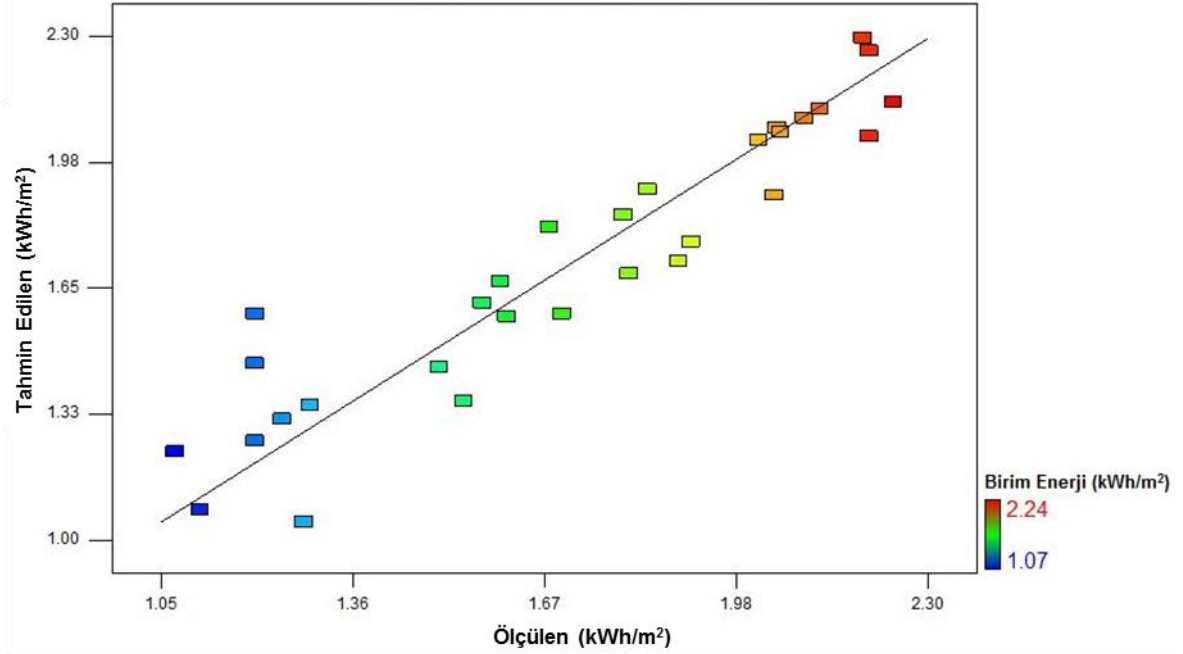
(KT: Karelerin Toplamı, SD: Serbestlik Derecesi, OK: Ortalamanın Karesi, FD: F Değeri, O:Olasılık, S: Sonuç)

Çizelge 6.9’da verilen regresyon katsayılarına bağlı olarak kurulan kübik model %99 ( $\alpha=0,01$ ) güvenilirlik seviyesinde (\* $P=0,0001<\alpha=0,01$ ) istatistiksel olarak anlamlıdır. Belirtme katsayısı ( $R^2$ ) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise 0,99 gibi oldukça yüksek bir değerdir. Bu nedenle bu model eşitlik kullanılarak rahatlıkla deney yapılmayan kısımlardaki noktaların kestirimi yapılabilir.

Çizelge 6.9’a göre kurulan birim enerjiye ait kübik modelin eşitlik formülü ise aşağıdaki gibi bulunmuştur;

$$\text{Birim Enerji} = + 1,45 - 0,75 * (\text{ÇH}) - 0,58 * (\text{KH}) - 0,10 * (\text{ÇH}) * (\text{KH}) + 0,30 * (\text{ÇH})^2 + 0,23 * (\text{KH})^2 + 0,13 * (\text{ÇH})^2 * (\text{KH}) + 0,33 * (\text{ÇH}) * (\text{KH})^2 + 0,31 * (\text{ÇH})^3 + 0,36 * (\text{KH})^3$$

Bununla birlikte deneysel çalışmalardan elde edilen birim enerji ölçüm sonuçları ile modelden tahmin edilen sonuçlar arasındaki saçılım grafiği Şekil 6.4'da verilmiştir. Bu saçılım grafiği incelendiğinde, modelden elde edilen sonuçların ölçüm sonuçlarını oldukça iyi bir şekilde yansıttığı görülmektedir.



Şekil 6.4 Birim enerji için tahmin edilen-ölçülen değerler arasındaki ilişki

### 6.3. Optimizasyon

Bu çalışmanın temel amacı, farklı doğal taş numunelerinin tektelli kesme makineleri ile kesiminde birim aşınma ve birim enerji değerlerini en düşük seviyede tutacak en uygun kesme hızı ve çevresel hız değerlerinin belirlenmesidir. Bu amaçla diğer analizlerde olduğu gibi optimizasyon işlemine de **Design Expert 7.1** istatistik analiz programı kullanılmıştır. Bir optimizasyon işlemine temel olay optimizasyonun neye göre yapılacağı, yani kısıtlamaların neler olduğunun tanımlanmasıdır. Bu nedenle burada öncelikle tasarım sınırlamaları tanımlanmıştır. Burada optimizasyon iki türlü yapılmıştır. Birincisi sayısal optimizasyon, ikincisi ise grafiksel optimizasyondur. Bu şekilde iki farklı optimizasyon yapılmasının sebebi tamamen kontrol amaçlıdır. Afyon Beyaz doğal taş numunesi için en uygun noktaların belirlenmesinde kullanılan tasarım sınırlamaları Çizelge 6.11'de verilmiştir.

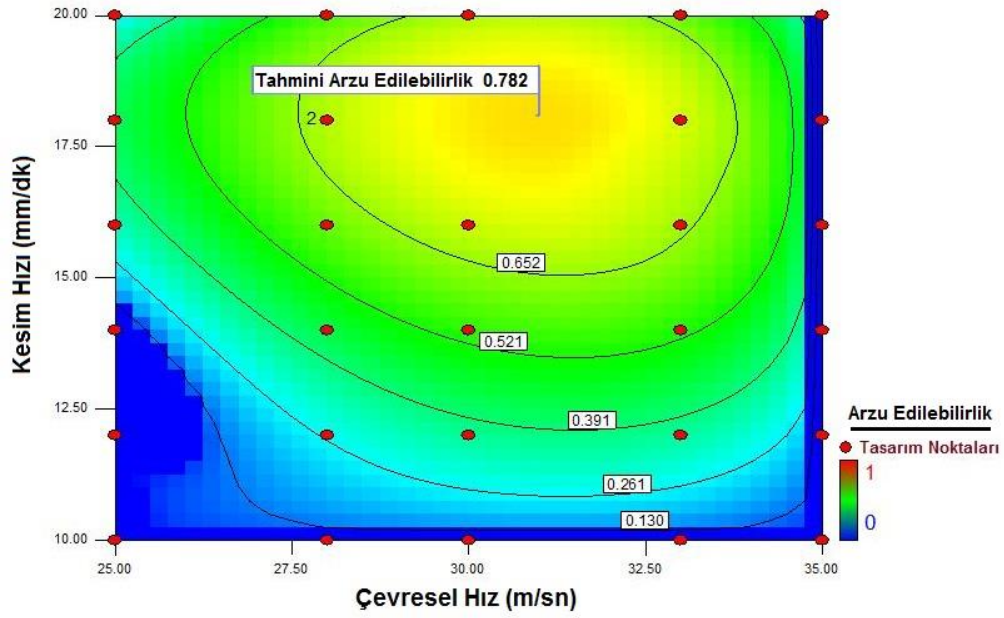
Çizelge 6.11. Afyon Beyaz için en uygun noktaların belirlenmesinde kullanılan tasarım sınırlamaları

PARAMETRE ADI	HEDEF	ALT LİMİT	ÜST LİMİT	ÖNEMLİLİK
Çevresel Hız (m/sn)	En Düşük	25	35	3
Kesme Hızı (mm/dak)	En Yüksek	10	20	5
Birim Aşınma ( $\mu\text{m}/\text{m}^2$ )	En Düşük	11	24	5
Birim Enerji ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ )	En Düşük	1,07	2,24	5

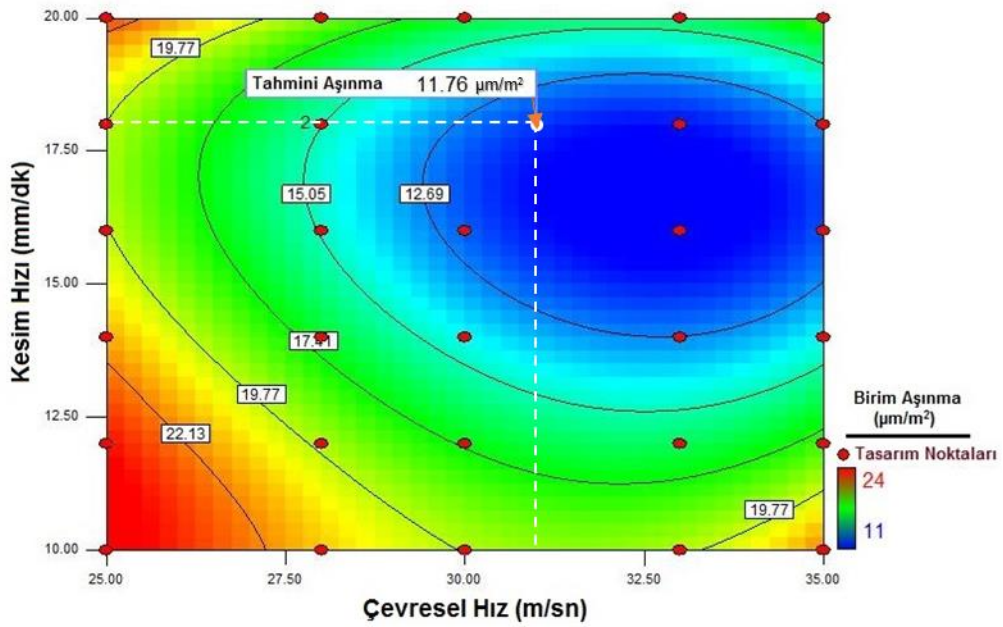
**Design Expert 7.1** istatistik programı kullanılarak Çizelge 6.11’de belirtilen tasarım sınırlamaları göz önüne alınarak Afyon Beyaz doğal taş numunesi için sayısal yöntemle belirlenen en uygun noktalar Çizelge 6.12’de, en uygun noktaların arzu edilebilirlik düzeyinde gösterimi Şekil 6.5’de, birim aşınmaya göre kesilebilirlik abağı Şekil 6.6’da, birim enerjiye göre kesilebilirlik abağı ise Şekil 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.12. Afyon Beyaz doğal taş numunesi için en uygun çalışma koşulları

ÇEVRESEL HIZ (m/sn)	KESME HIZI (mm/dk)	BİRİM AŞINMA ( $\mu\text{m}/\text{m}^2$ )	BİRİM ENERJİ ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ )	ARZU EDİLEBİLİRLİK DÜZEYİ
30,99	18,09	1,14	11,76	0,782

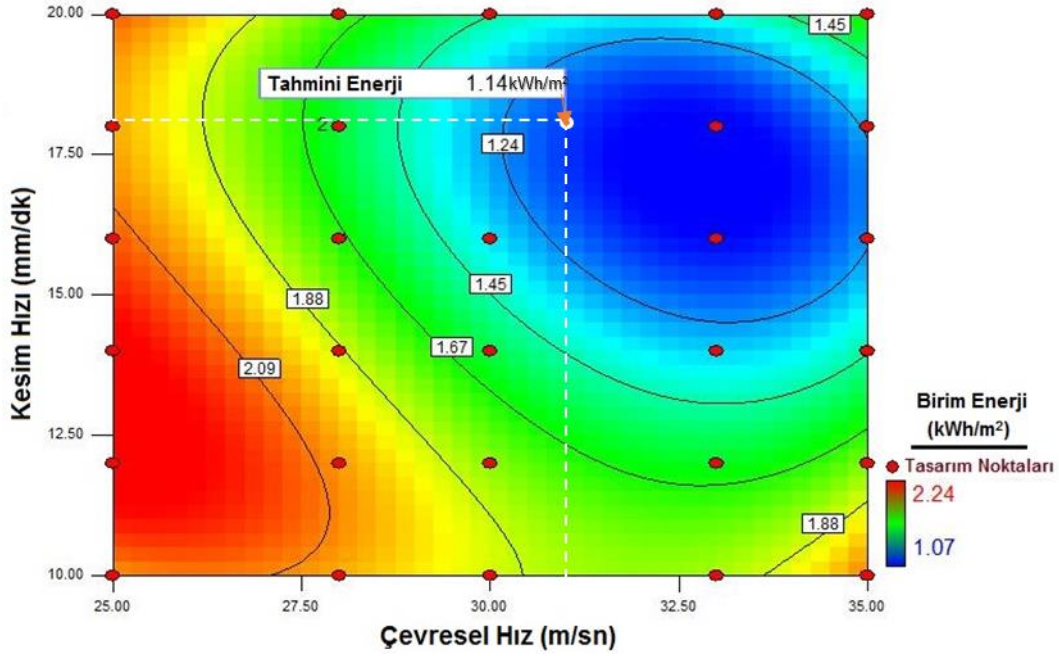


Şekil 6.5. En uygun noktaların arzu edilebilirlik düzeyinde gösterimi



Şekil 6.6. Afyon Beyaz numunesi için birim aşınmaya göre kesilebilirlik abağı





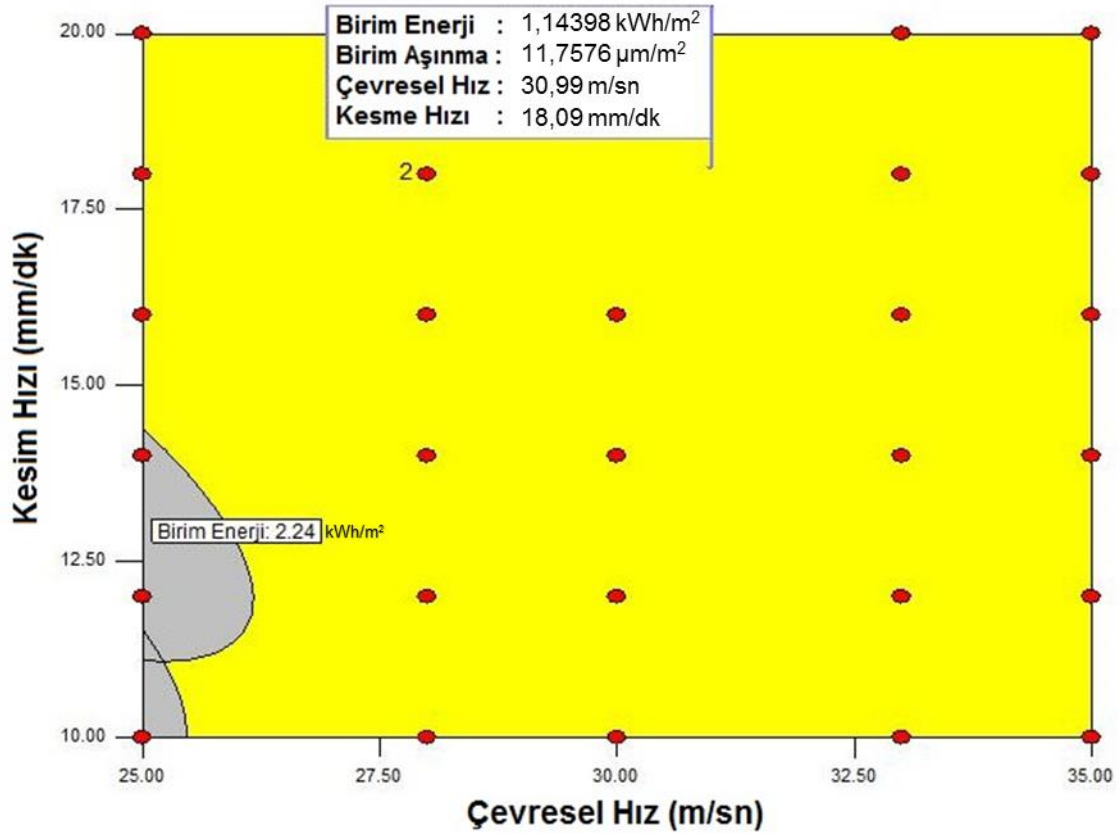
Şekil 6.7. Afyon Beyaz numunesi için birim enerjiye göre kesilebilirlik abağı

Yukarıda verilen Afyon Beyaz doğal taşı için birim aşınma ve birim enerjiye göre kesilebilirlik abaklarına göre, farklı koşullarda (farklı çevresel hızlarda ve farklı kesme hızlarında) yapılacak olan kesimlerde karşılaşılabilecek birim aşınma ve birim enerji değerleri belirlenebilecektir. Bu tip abakların oluşturulmasıyla tektelli kesim sistemini kullanan doğal taş işleme tesislerinde, uygulanacak çalışma koşullarında karşılaşılabilecek birim aşınma ve birim enerji değerleri önceden kestirilebilecektir. Bu da kesim maliyetlerinin önceden tespitine imkân sağlayacaktır. Aynı zamanda, önceden kestirilecek olan birim aşınma değerleri uygulanacak kesim koşulunda elmas telin ömrünün belirlenmesini de sağlayacaktır. Böylece işletme sahipleri, yapacakları hızlı üretim için elmas tellerinin ne kadar kesim yapacaklarını önceden kestirebileceklerdir. Şekil 6.6 ve Şekil 6.7 incelendiğine Afyon Beyaz numunesi için istenen kesim hızı ve çevresel hız değerlerinde yapılan kesimlerde elde edilecek birim aşınma ve birim enerji değerleri abaklardan bulunabilmektedir.

Yapılan kesim abaklarında optimum noktalarda yapılacak kesimlerde tahmini birim aşınma ve birim enerji değerleri de verilmiştir. Bu değerler aşınma, enerji, kesme hızı ve çevresel hızın birlikte değerlendirilip bulunduğu denge (en uygun kesim) noktasıdır. Mermer ocak işletmelerinde yapılan kesim işlemlerinde en önemli konu, kesilecek kayaca en uygun çalışma parametrelerinin seçilmesidir. Çalışma

koşullarının belirlenmesi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Geliştirilmiş olan kesilebilirlik abakları sayesinde, bu koşulların belirlenmesin rahatlıkla yapılabilir.

Bununla birlikte, sayısal yöntemle elde edilen sonuçların kontrolü amacıyla grafiksel yöntem kullanılarak en uygun kesim koşullarının belirlenmesi çalışması da yapılmış ve elde edilen sonuç grafiği Şekil 6.8'da verilmiştir. Burada sadece tasarım noktalarındaki birim aşınma ve birim enerji değerleri kullanılarak en uygun kesim noktasının grafiksel tespiti yapılmıştır. Çizelge 6.12 ve Şekil 6.8 karşılaştırıldığında aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle bundan sonra diğer numuneler için yapılacak optimizasyon işlemlerinde sadece sayısal optimizasyon işleminin yapılmasının yeterli olacağı söylenebilir.



Şekil 6.8. Grafiksel yöntem kullanılarak en uygun kesim koşullarının belirlenmesi

#### 6.4. Hakiki Mermerler ve Kireçtaşları İçin En Uygun Kesim Koşullarının Bulunması

Yukarıda anlatılan ve Afyon Beyaz hakiki mermer numunesi için yapılan tüm istatistiksel çalışmalar, Afyon Beyaz'dan başka 5 hakiki mermer ve 2 kireçtaşı numunesi için aynı sıra takip edilerek yapılmıştır.

Sayısal optimizasyon yöntemi ile elde edilen en uygun kesim koşulları ile bu koşullarda kesim yapıldığı taktirde elde edilecek birim aşınma ve birim enerji değerleri, arzu edilebilirlik düzeyleri ile birlikte hakiki mermer numuneleri için Çizelge 6.13'te, kireçtaşları için ise Çizelge 6.14'te verilmiştir.

Çizelge 6.13. Hakiki mermer numunelerine ait optimizasyon sonuçları

ÖRNEK ADI	ÇEVRESEL HIZ (m/sn)	KESME HIZI (mm/dk)	BİRİM AŞINMA (mm/m <sup>2</sup> )	BİRİM ENERJİ (kWh/m <sup>2</sup> )	ARZU EDİLEBİLİRLİK DÜZEYİ
Muğla Sedef	30,73	19,73	1,23	19,13	0,779
Muğla Beyaz	31,31	18,22	1,34	11,64	0,690
Muğla Leylak	31,22	18,27	1,41	17,62	0,693
Afyon Sarı	31,49	19,12	1,47	14,28	0,711
Afyon Şeker	31,37	18,66	1,29	12,53	0,726

Çizelge 6.14. Kireçtaşı numunelerine ait optimizasyon sonuçları

ÖRNEK ADI	ÇEVRESEL HIZ (m/sn)	KESME HIZI (mm/dk)	BİRİM AŞINMA (mm/m <sup>2</sup> )	BİRİM ENERJİ (kWh/m <sup>2</sup> )	ARZU EDİLEBİLİRLİK DÜZEYİ
Burdur Koyu Bej	31,98	20,00	1,28	15,83	0,725
Burdur Açık Bej	30,97	20,00	1,62	17,01	0,756

### 6.5. Doğal Taş Cinsine Göre En Uygun Kesim Noktalarının Bulunması ve Kesim Abaklarının Oluşturulması

Yapılan çalışmalarda her bir doğal taş numunesi için ayrı ayrı en uygun kesim noktalarının belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır. Burada ise her bir doğal taş cinsi için (hakiki mermer ve kireçtaşı) tüm veriler kullanılarak en uygun noktalar

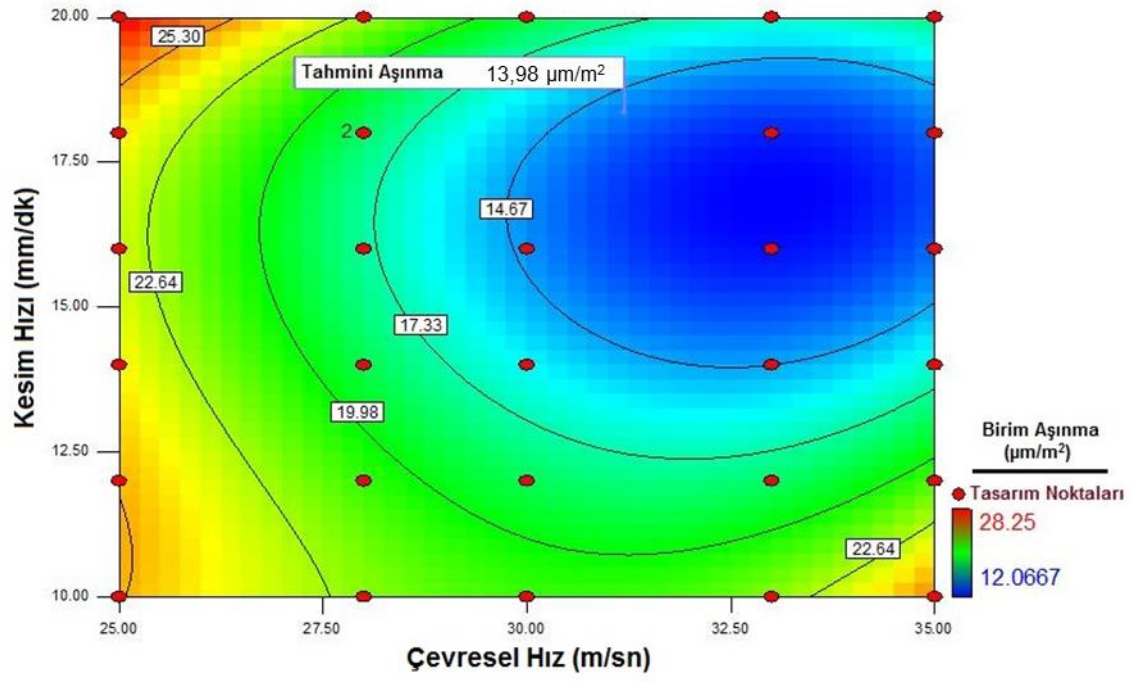
belirlenmiş ve kesim abakları oluşturulmuştur. Yapılan optimizasyon çalışmalarında, yine yukarıda Afyon Beyaz numunesi için ayrıntılı olarak anlatılan istatistiksel yöntem kullanılmıştır.

Burada yapılan işlemde temel amaç; tektelli kesim makinalarıyla farklı doğal taş kesimi yapan işletmelerde hangi tür hakiki mermer veya hangi tür kireçtaşı numunesi olursa olsun ortak kullanılacak en uygun kesim noktalarının bulunmasıdır. Bunun yanında, işletme sahibinin isteğine veya o anki piyasa şartlarına göre hangi kesim koşulunda çalışılırsa ne gibi sonuçlarla karşılaşılacağı (birim aşınma ve birim enerji bakımından) görülmesi açısından bu abakların oluşturulması hedeflenmiştir. Böylelikle tektelli kesim makinesiyle kesim yapacak işletmelerin çalıştıkları noktada ne gibi sonuçlarla karşılaşacaklarını belirleme imkânları olacaktır.

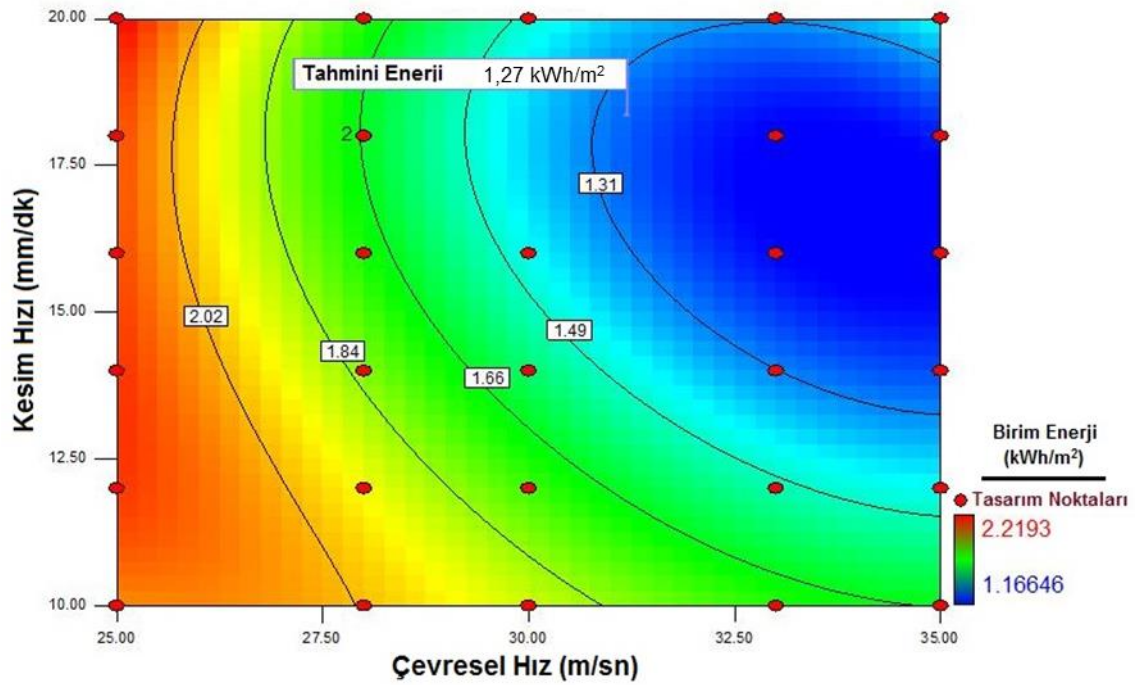
Yukarıdaki amaca uygun olarak hakiki mermer ve kireçtaşı cinslerine ait belirlenen en uygun kesim noktaları Çizelge 6.15'te verilmiştir. Ayrıca hakiki mermerlere ait kesim abakları Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'de, kireçtaşları için ise Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.15. Hakiki mermer ve kireçtaşlarına ait genel optimizasyon sonuçları

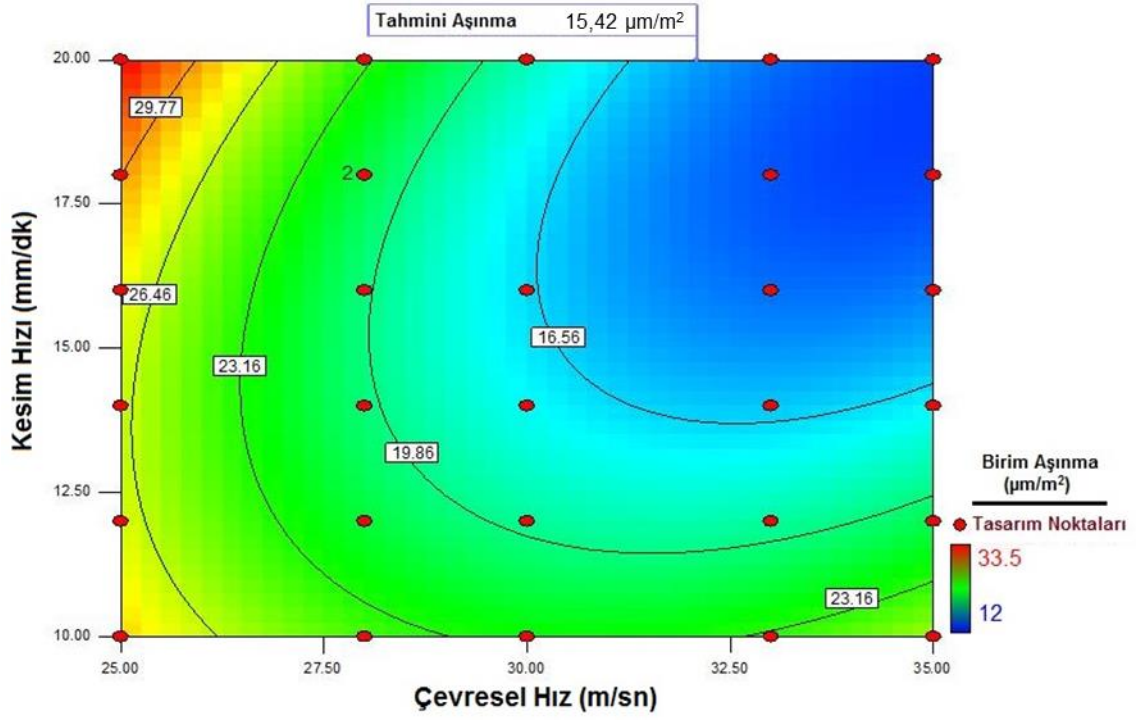
ÖRNEK ADI	ÇEVRESEL HIZ (m/sn)	KESME HIZI (mm/dk)	BİRİM AŞINMA (mm/m <sup>2</sup> )	BİRİM ENERJİ (kWh/m <sup>2</sup> )	ARZU EDİLEBİLİRLİK DÜZEYİ
Hakiki Mermer	31,19	18,36	1,27	13,98	0,759
Kireçtaşı	32,09	20,00	1,43	15,42	0,724



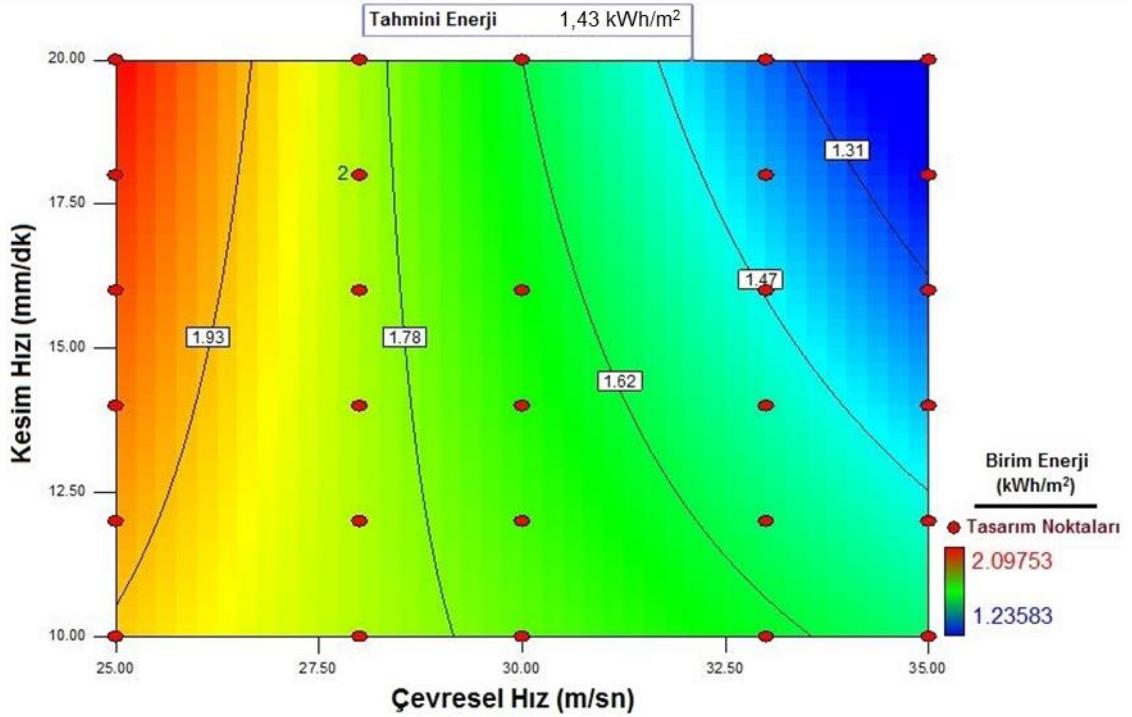
Şekil 6.9. Hakiki mermer cinsi için birim aşınmaya göre hazırlanan kesim abağı



Şekil 6.10. Hakiki mermer cinsi için birim enerjiye göre hazırlanan kesim abağı



Şekil 6.11. Kireçtaşı cinsi için birim aşınmaya göre hazırlanan kesim abağı



Şekil 6.12. Kireçtaşı cinsi için birim enerjiye göre hazırlanan kesim abağı

## 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Elmas telli kesme yöntemi, doğal taş ocaklarında blok üretiminden nihai ürüne kadar olan birçok aşamadaki makinelerde kullanılan vazgeçilmez ekipmanlardır. Doğal taş sektöründe kullanılan tektelli kesme sisteminde kesime etki eden parametrelerin ayrıntılı bir şekilde incelenememesi ve optimum çalışma koşullarının belirlenmesine yönelik çalışmaların eksikliği, işletmelerde kesilen kayalara uygun parametrelerde kesimlerin yapılmamasına neden olmaktadır. Literatürde yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde bilgisayar kontrollü tam otomatik tektelli kesme makinesinin mevcut olmadığı görülmektedir. Bu şekilde kapsamlı ölçümler alabilen bir makinenin eksikliği kesimde etken parametrelerin ayrıntılı olarak incelenememesine neden olmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında makine tasarımının ve üretiminin yapılması ve gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasıyla, kesilecek kayaca uygun kesim parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Böylece doğal taş sektöründe bu tip makinelerin daha verimli kullanılmasına katkıda bulunulmuştur. Çalışmada gerçekleştirilen testler 25-35 m/sn çevresel hız aralığında ve 10-20 mm/dk kesme hızı aralığında yapılmıştır. Çalışmada elde edilen veriler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Bilgisayar kontrollü tam otomatik tektelli blok kesme makinesinin tasarımı başarı ile gerçekleştirilmiştir.
- Mermer ve kireçtaşı numuneleri için çevresel hız değerleri yükseldikçe birim enerji değerlerinin belirli bir çevresel hız değerine kadar azalma eğiliminde olduğu ancak bu noktadan sonra enerji değerlerinin değişmediği ya da tekrar yükseldiği tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise, ana motorun belirli bir noktadan sonra aşırı zorlanması ve ısınması bu nedenle de daha fazla enerji tüketmeye başlamasıdır.
- Mermer ve kireçtaşı numuneleri için çevresel hız değerleri arttıkça birim aşınma değerlerinin belirli bir noktaya kadar azaldığı, bu noktadan sonra ise dönüş yaparak yükseldiği tespit edilmiştir. Birim aşınma değerlerinin genellikle 30-33 m/sn çevresel hızı değerlerine kadar azalma eğiliminde olduğu bu noktalarda ise dönüş yaparak yükselme eğilimine geçtiği tespit edilmiştir.
- Birim aşınma değerlerinin, mermer numunelerinde genellikle 14-16 mm/dk, kireçtaşı numunelerinde ise 12-14 mm/dk kesim hızı değerlerine kadar

azalma eğiliminde olduğu bu noktada ise dönüş yaparak yükselme eğilimine geçtiği tespit edilmiştir.

- Yapılan kesimlerde iki yönlü en yüksek tepkisel kuvvetlerin en düşük çevresel hız değeri olan 25 m/sn'de görüldüğü belirlenmiştir. Bunun nedeni, düşük çevresel hızlarda her bir elmas boncuğun birim zamanda kesmesi gereken talaş boyutunun daha iri olması ve bu talaşların kayaç yüzeyinden kaldırılması (kesilmesi) esnasında boncukların daha fazla tepkisel kuvvete maruz kalmalarıdır.
- Titreşim ile ilgili yapılan incelemeler sonucunda, hem çevresel hızın hem de kesme hızının arttırılması ile elmas telin birim zamanda kayaçtan daha fazla tanecik koparmaya çalıştığı, makinenin belirli bir noktadan sonra aşırı zorlandığı bunun ise hem telin hem de makinenin titreşmesine neden olduğu tespit edilmiştir.
- X ve Y yönündeki titreşim değerlerinin kesme hızı yükseldikçe artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir.
- Çevresel hız değeri arttıkça Y yönünde elmas telin salınımı azalmakta ve tel kesme yönünde daha düzgün titreşimsiz hareket etmektedir. Ancak elmas tel birim zamanda kayaç yüzeyine daha az temas etmekte ve daha az tanecik koparttığından X yönünde titreşerek (sıçrayarak) ilerlemektedir. Kesme hızı arttığında ise elmas tel X yönünde daha fazla dalma hareketi yapmakta, daha iri tane kopartmakta ve kesim hızı daha da yükseldikçe kesme yönünden kaçmaya çalışmakta bu da salınımın daha fazla artmasına neden olmaktadır. Y yönünde de, X yönündeki gibi telin sağa-sola salınımına neden olmaktadır. Kesme hızı artışının çevresel hız artışına oranla titreşime olan etkisi daima daha fazladır.
- Tektelli kesim makinasıyla yapılan kesimler neticesinde elde edilen sonuçlarla her bir doğal taş ve her bir doğal taş cinsi (hakiki mermer ve kireçtaşı) için kesim abakları oluşturulmuştur. Bu kesim abaklarıyla, kesimlerdeki birim aşınma ve birim enerji değerlerine dayalı bir optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.
- Kesim koşullarına göre aynı özellikteki bir elmas tel kullanılarak yapılacak kesim sonucunda oluşacak birim aşınma ve birim enerji değerleri kesim öncesinde bu abaklardan tahmin edilebilmektedir. Yapılan bu çalışma temel



alınarak farklı doğal taşlar için de benzer kesim abaklarının oluşturulabileceği gösterilmiştir.

- Yapılan kesimler sonucunda elde edilen birim aşınma ve birim enerji ile kesme hızı arasındaki birebir ilişkiler farklı çevresel hızlarda her kayaç için incelenmiştir.
- Yapılan kesimler sonucunda her bir hakiki mermer ve kireçtaşı numunesi için en uygun kesim koşulları tespit edilmiştir. En uygun kesim koşulları belirlenirken en düşük birim enerji, birim aşınma ve çevresel hız ile uyumlu en yüksek kesme hızı hedeflenmiştir. Hakiki mermerler ve kireçtaşları için bulunan en uygun kesim koşulları Çizelge 7.1’de verilmiştir.
- Aynı şekilde her bir doğal taş cinsi için de en uygun kesim koşulları tespit edilmiştir. Bu koşullar Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Hakiki mermer numunelerine ait en uygun kesim koşulları

ÖRNEK ADI	ÇEVRESEL HIZ (m/sn)	KESME HIZI (mm/dk)
Muğla Sedef	30,73	19,73
Muğla Beyaz	31,31	18,22
Muğla Leylak	31,22	18,27
Afyon Sarı	31,49	19,12
Afyon Şeker	31,37	18,66
Afyon Beyaz	30,99	18,09
Burdur Koyu Bej	31,98	20,00
Burdur Açık Bej	30,97	20,00

Çizelge 7.2. Hakiki mermer ve kireçtaşı numunelerine ait en uygun kesim koşulları

ÖRNEK ADI	ÇEVRESEL HIZ (m/sn)	KESME HIZI (mm/dk)
Hakiki Mermer	31,19	18,36
Kireçtaşı	32,09	20,00

Bu çalışma kapsamında yapılan inceleme ve değerlendirmeler sonucunda araştırmanın geliştirilmesi ve yöntemin daha etkin bir biçimde uygulanabilmesi için aşağıdaki öneriler yapılmıştır;

- Bu çalışma hakiki mermer ve kireçtaşları için gerçekleştirilmiş olup benzer çalışmaların granit gibi sert ve kesimi sıkıntılı olan doğal taşlar için de yapılması gerekmektedir.
- Kullanılan örnek sayısı arttırılarak daha fazla sayıda örnek ile daha da geniş kapsamlı abaklar oluşturulmalıdır.
- Farklı çaplardaki ve farklı özelliklerdeki elmas tellerle kesim deneyleri gerçekleştirilmelidir.
- Kasnak çapı değiştirilerek kesim performansının değişimi incelenmelidir.

## 8. KAYNAKLAR

- [1] Kulaksız, S., Edt., *Doğal Taş (Mermer) İşletmeciliği ve İşletme Teknolojileri*, Maden Mühendisleri Odası Yayını, 102, Ankara, **2005**.
- [2] Polat, E., *Mermerlerin Elmas Tel ile Kesiminde Dokusal Özelliklerin Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2002**.
- [3] Ozcelik, Y., Yilmazkaya, E., Bayram, F., Yasitli, N. E., Kanbir E. S., Investigation of Effects of Bead Number per Meter to Cutting Performance of Diamond Wire, *Proceedings of 2nd International Industrial Diamond Conference*, B.1.3., **2007**.
- [4] Pellegrini Meccanica, [http://www.pellegrini.net/INGLESE/storia\\_ING.html](http://www.pellegrini.net/INGLESE/storia_ING.html) (Haziran, 2013)
- [5] Yilmazkaya E., *Elmas Telli Kesme Yöntemiyle Blok Üretimine Etki Eden Bazı Faktörlerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2007**.
- [6] Hardin, C.W., Qu J., Shih A.J., Fixed Abrasive Diamond Wire Saw Slicing of Solids, *Journal of American Ceramic Society*, 90, 3, 885- 892, **2007**.
- [7] Sung, C.M., Brazed diamond grid: a revolutionary design for diamond saws, *Diamond and Related Materials*, 8,1, 540-541, 543, **1999**.
- [8] Teomete, E., Mechanics of wire saw machining process: Experimental analyses and modeling, (Ph.D Thesis), Iowa State University, Ames, Iowa, **2008**.
- [9] Huang G., Xu, X., Sawing performance comparison of brazed and sintered diamond wires, *Chinese Journal Of Mechanical Engineering* 26, 1, **2013**.
- [10] Molfino, R.M., Zoppi, M., A robotic system for underwater eco–sustainable wirecutting, *Automation in Construction*, 24, 3, 213–223, **2012**.
- [11] Berry, G., Australian dam cut to shape with diamond wire, *Industrial Diamond Review*, 64, 601, 14-18, **2004**.
- [12] Jennings, M., Versatility of diamond wire saws in the construction industry, *Industrial Diamond Review*, 64, 602, 16-18, **2004**.
- [13] Draeger, J., Partial demolition of the approachway apron at Hamburg Airport, *Industrial Diamond Review*, 64, 602, 53-56, **2004**.

- [14] Jennings, M., U-boat sawn up with diamond wire, *Industrial Diamond Review*, 68, 617, 14-15, **2008**.
- [15] Vogt, B., Wreck of the Tricolor cut into nine sections with diamond wire, *Industrial Diamond Review*, 64, 603, 65-66, **2004**.
- [16] Category Archives: Wire Sawing  
<http://www.aggregatetechnologies.com/service/wire-sawing/> (Nisan, 2013)
- [17] Özçelik, Y., *Mermercilikte Elmas Tel Kesme Makinalarının Çalışma Koşullarının İncelenmesi*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1999**.
- [18] Özçelik Y., Kulaksız S. and Çetin M.C., Assessment of the Wearing on Diamond Beads in the Cutting of Different Rock Types by the Ridge Regression, *Journal of Materials Processing Technology*, 127/3, 392-400, **2002**.
- [19] Hawkins A.C., Antenen, A.P. ve Johnson, G., The Diamon Wire Saw in Quarrying Granite and Marble, *Dimensional Stone*, September, 44-50, **1990**.
- [20] Wright, N. D., Marble and Granite Quarries Turn to Diamond Wire, *Stone World*, October, 77-80, **1992**.
- [21] Berry, P. ve ark., Optimum Use of Diamond Wire Equipment in Stone Quarrying, *21st APCOM*, Las Vegas, 351-365, **1989**
- [22] Özçelik, Y. ve Bayram, F., Blok Boyutlarının Elmas Tel Kesme Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi, *Mermer*, 46-54, **2004**.
- [23] Özçelik, Y., Optimum working conditions of diamond wire cutting machines in marble industry, *Industrial Diamond Review*, 65, 58-64, **2005**.
- [24] Cappuzi, Q., Diamond Wire Cutting Tecnology in Granite Quarry, *ACIMM for Marble*, November-December, **1989**.
- [25] Biasco, G., Diamond Wire for Quarrying Hard Rocks, *Industrial Diamond Review*, 5, 252-255, **1993**.
- [26] Cook, M. ve Smith, B.A., A Study of Diamond Wire Bead Rotation, *Industrial Diamond Review*, 2, 79-81, **1993**.
- [27] Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P. ve Massacci, G., Simulation and Optimization of Rock Cutting with Diamond Wire, *XXII. International Symposium APCOM*, Berlin, 163-176, **1990**.

- [28] Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P. ve Massacci, G., Computer Simulation of Diamond-Wire Cutting of Hard Rock and Abrasive Rock, *IMM*, Vol. 103, 55-128, **1994**.
- [29] Fang, N., On diamond wire sawing technology in quarrying and machining granite, Research report in Nanjing University of Aero/Astronautics, Nanjing, p. 68, **1996**.
- [30] Fang, N., Liu, K. and Zuo, D., Influence of processing conditions on properties of beads of diamond wire saws, *Journal of Materials Science Letters*, 7, 69-71, **1998**.
- [31] Kanbir, E.,S., *Tek Boncuk Test Cihazında Kesmede Etken Faktörlerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2007**.
- [32] Ozcelik, Y., Development of a single diamond bead test machine for marble cutting, *Industrial Diamond Review*, 68. 56-62, **2008**.
- [33] Özçelik, Y., Yılmazkaya, E., *Elmas Telli Kesme Yönteminde Elmas Boncukların Kesme Performansının Boncuk Ömrü Boyunca Değişiminin İncelenmesi*, Proje No: 0601602008, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Bilimi, **2010**.
- [34] Özçelik, Y, Kadioğlu, Y.K., Bayram, F., Yaşitli, N.E., Elmas Tel Kesme Yönteminde Kesilebilirlik Abaklarının Oluşturulması ve Elmas Boncuk Kesme Mekanizmasının Sayısal Modellemesi, **Proje No: 109M106**, 2013.
- [35] Risso, L., Vicenzi, B. ve Bernieri, S., *Proceedings of 2nd International Industrial Diamond Conference*, B.1.1., **2007**
- [36] Butler-Smith, P.W., Gryzagoridis, J., Davis, P.R., A Single Bead Test for Assessing Diamond Wire Performance, *Industrial Diamond Reiview*, 2/99, 93-101, **1999**.
- [37] Huang, H., Guo, L., Xu, X.P., Experimental Investigation of Temperatures in Diamond Wire Sawing Granite, *Key Engineering Materials*, 404, 185-191, **2009**.
- [38] Huang, G., Xu, X., Sawing Performance Comparison of Brazed and Sintered Diamond Wires, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 26, 1, **2013**.
- [39] Liu, B.C., Zhang, Z.P., Sun, Y.H., Sawing trajectory and Mechanism of Diamond Wire Saw, *Key Engineering Materials*, 259-260, 395-400, **2004**.

- [40] Zhang, J.S., Wang, Z., Technical Parameters and Wear Resistibility of Diamond Wire-saw in Granite Cutting, *Key Engineering Materials*, 259-260, 122-126, **2004**.
- [41] Huang, G.Q., Xu, X.P., Analysis of the Breakage of Diamond Wire Saws in Sawing of Stone, *Key Engineering Materials*, 304-305, 123-126, **2006**.
- [42] Ge, P.Q. Zhang, L., Gao, W., Liu, Z.C., Development of Endless Diamond Wire Saw and Sawing Experiments, *Materials Science Forum*, 471-472, 481-484, **2004**.
- [43] Gao, W., Ma, B., Cao, T., Liu, Z., Researching and Manufacturing of Endless Diamond Wire Saws and the Cutting Experiment, *Key Engineering Materials Vols. 359-360*, 445-449, **2008**.
- [44] Huang, G., Huang, H., Xu, X., Analysis on the Fracture Failure of Brazed Diamonds in Wire Sawing, *Key Engineering Materials*, 389-390, 436-441, **2009**.
- [45] Denkena, B., Seiffert, L.L.F., Process Influences in the Wire Cutting of Concrete, *Advanced Materials Research*, 126-128, 70-76, **2010**.
- [46] Denkena, B., Köhler, J., Ermisch, A., Wire Cutting Tool Concepts for Steel Machining, *Advanced Materials Research*, 325, 238-243, **2011**.
- [47] Primavori, P., 20 Over Years of Diamond Wire, Marmomacchine Directory 2001, *Associazione Italiana Marmomacchine*, **2001**.
- [48] Kızıltepe, T., Elmas Tel Kesme Makinelerinin Kullanımında Bazı Püf Noktalar, *Türkiye’de Mermer Yapı ve Dekorasyonu*, 11, 26-28, **1990**.
- [49] Mannoni, L., Mannoni, T., Le Marble, Sagep Yayınevi, Cenova, Italy, 270 s., **1984**.
- [50] Werland, W., Railway Bridge Cut in Two, *Industrial Diamond Review*, February, 65-66, **1990**.
- [51] Hayes, D., Demolition-the Modern Method, *Industrial Diamond Review*, February, 69, **1990**.
- [52] Beckman, T.R., Hulick, R.M., Diamond Wire Sawing Speed Dam Project, *Industrial Diamond Review*, June, 272-274, **1991**.
- [53] Hartek, Elmas Teller, <http://www.hartek.com.tr/Syf/urun-c/A-1/B-51> (Haziran, 2013)
- [54] Wires Engineering, F101 Monowire Machine, <http://www.cofiplast.it/en/3-wires-f101.html>), (Haziran, 2013)

- [55] Dilmer Makine, Sayalama Makineleri  
<http://dilmermakina.com/urunler/4/sayalama-makinalari/108/hidrolik-sayalama-makinesi.aspx> (Haziran, 2013)
- [56] Pellegrini, Pentawire Multiwire Cutting Machine,  
[http://www.pellegrini.net/cataloghi/catalogo\\_Pentawire\\_05-2007bis.pdf](http://www.pellegrini.net/cataloghi/catalogo_Pentawire_05-2007bis.pdf)  
(Haziran, 2013)
- [57] Benettin Macchine, Wire Quarry Machines,  
<http://www.benettimacchine.it/uk/wire-quarry-machines/vip-914.asp>  
(Haziran, 2013)
- [58] Pellegrini, Polywire Multiwire Cutting Machine,  
[http://www.pellegrini.net/allegati/POLYWIRE\\_5-34.pdf](http://www.pellegrini.net/allegati/POLYWIRE_5-34.pdf) (Haziran, 2013)
- [59] Primavori, P., Technological Developments and the State-of-the Art in Machinery and Installations For Extracting and Processing Stone Materials, *Marmomacchine Directory 2002*, Associazione Italiana Marmomacchine, pp.40-197, **2002**.
- [60] TSE, Tabii Yapı Taşları- Muayene ve Deney Metotları, TS 699, *TSE Yayını*, 82, **1987**.
- [61] ISRM, Rock Characterization Testing and Monitoring; Suggested Methods, *Oxford*, 16, **1981**.
- [62] Bayram F, Karbonat kökenli doğal taşların dairesel testere ile kesilmesinin optimizasyonu, (Doktora Tezi), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2008**.

## **EKLER**

### **EK 1**

#### **Hakiki mermerler için çevresel hıza ve kesme hızına bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri**

EK 1.1. Muğla Sedef doğal taşı için çevresel hıza ve kesme hızına bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri

EK 1.2. Muğla Beyaz doğal taşı için çevresel hıza ve kesme hızına bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri

EK 1.3. Muğla Leylak doğal taşı için çevresel hıza ve kesme hızına bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri

EK 1.4. Afyon Sarı doğal taşı için çevresel hıza ve kesme hızına bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri

EK 1.5. Afyon Şeker doğal taşı için çevresel hıza ve kesme hızına bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri



EK 1.1. Muğla Sedef doğal taşı için çevresel hıza ve kesme hızına bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri



**EK 1.2. Muğla Beyaz doğal taşı için çevresel hıza ve kesme hıza bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri**



EK 1.3. Muğla Leylak doğal taşı için çevresel hıza ve kesme hıza bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri



EK 1.4. Afyon Sarı doğal taşı için çevresel hıza ve kesme hızına bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri



EK 1.5. Afyon Şeker doğal taşı için çevresel hıza ve kesme hızına bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri



## **EK 2**

**Kireçtaşları için çevresel hıza ve kesme hızına bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri**

EK 2.1. Burdur Açık Bej doğal taşı için çevresel hıza ve kesme hızına bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri

EK 2.1. Burdur Açık Bej doğal taşı için çevresel hıza ve kesme hızına bağlı olarak birim enerji, birim aşınma ve iki yönlü tepkisel kuvvet değişimleri



## **EK 3**

### **Hakiki mermerler için oluşturulan kesilebilirlik abakları**

EK 3.1. Muğla Sedef doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 3.2. Muğla Beyaz doğal taşı için kesilebilirlik abakları

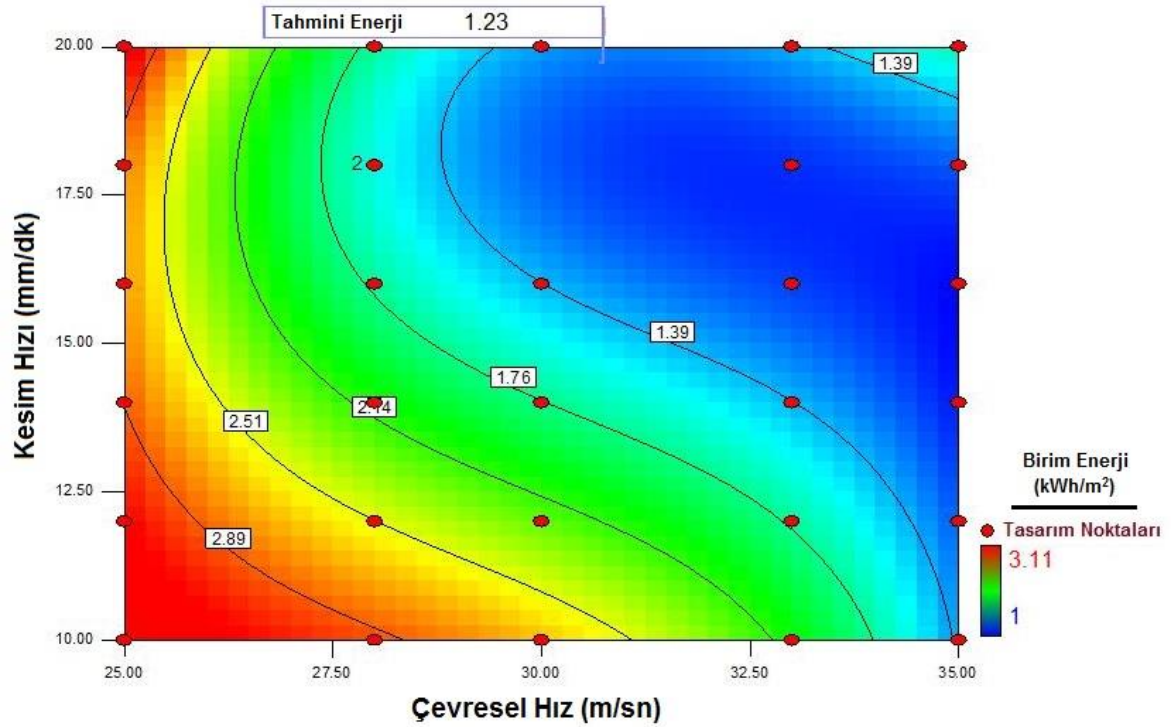
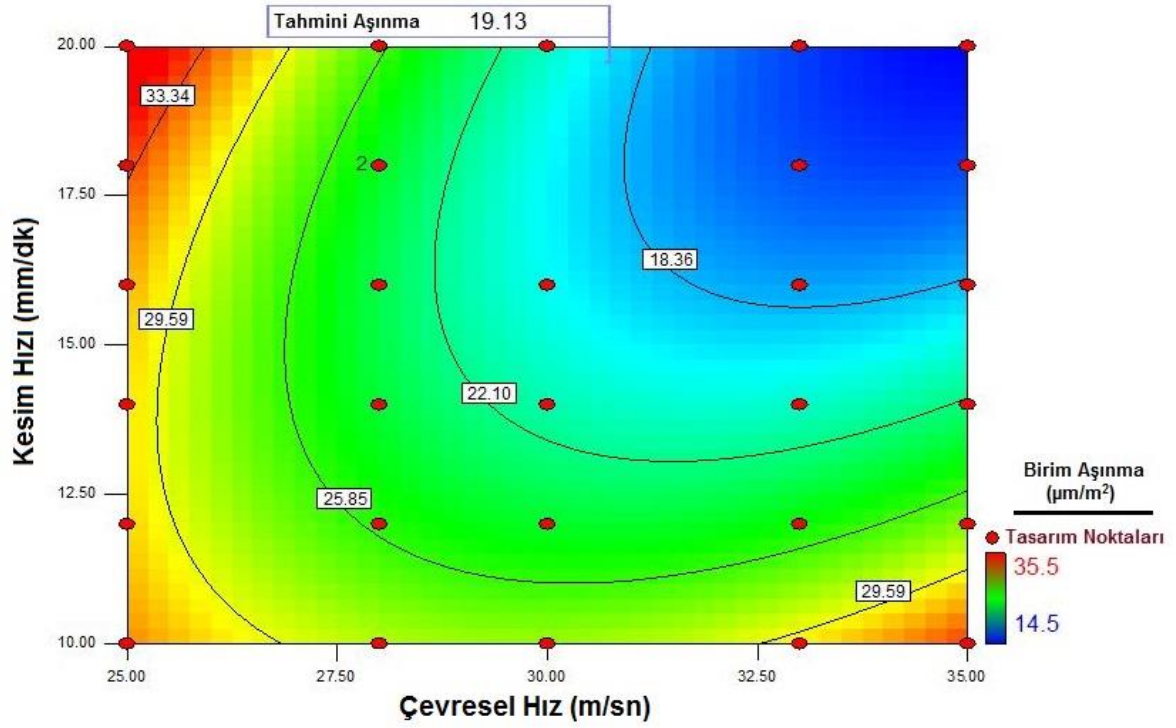
EK 3.3. Muğla Leylak doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 3.4. Afyon Sarı doğal taşı için kesilebilirlik abakları

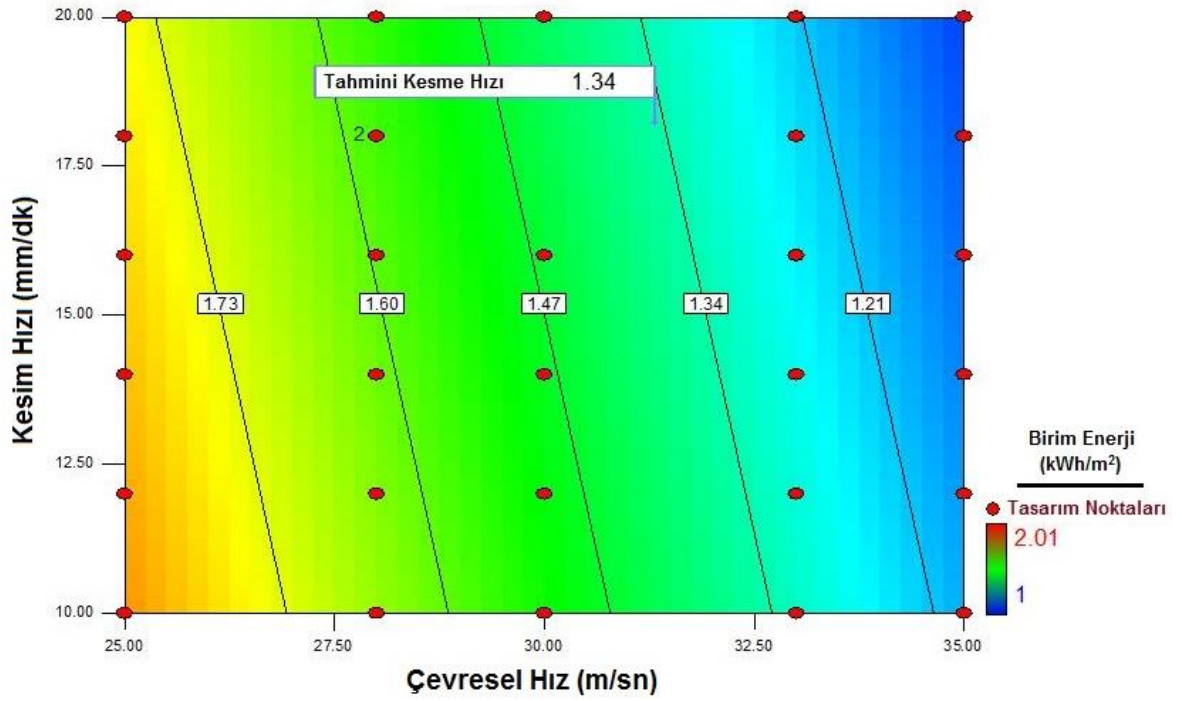
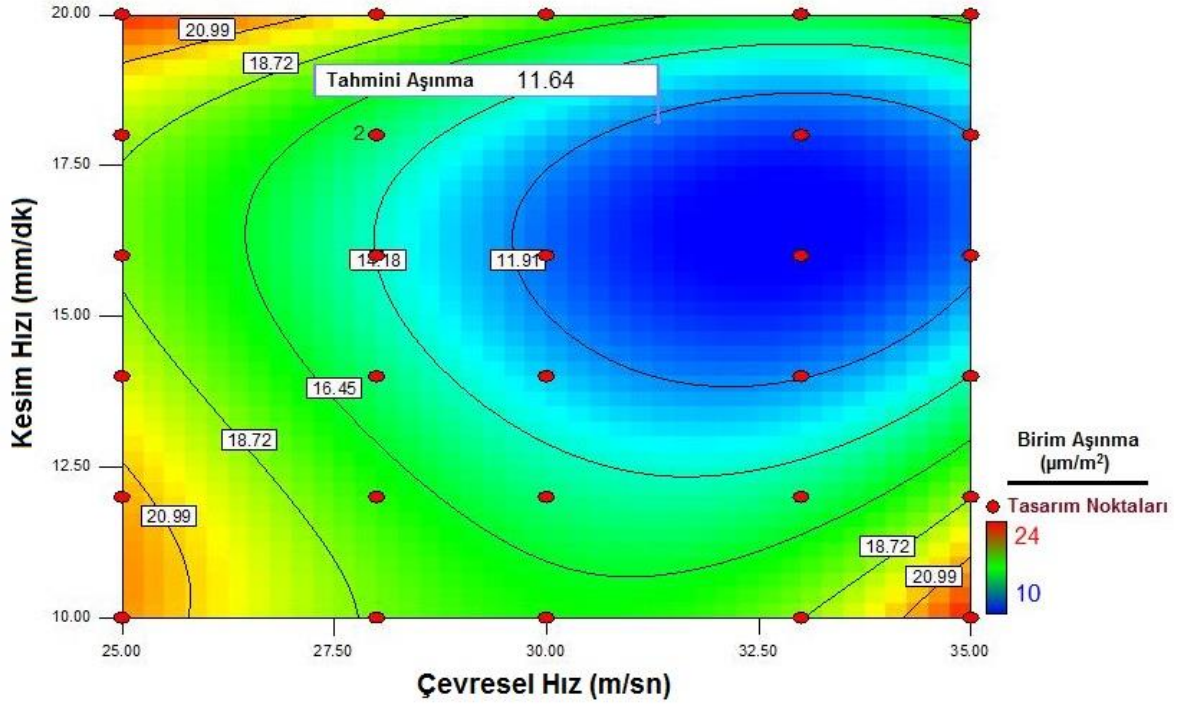
EK 3.5. Afyon Şeker doğal taşı için kesilebilirlik abakları



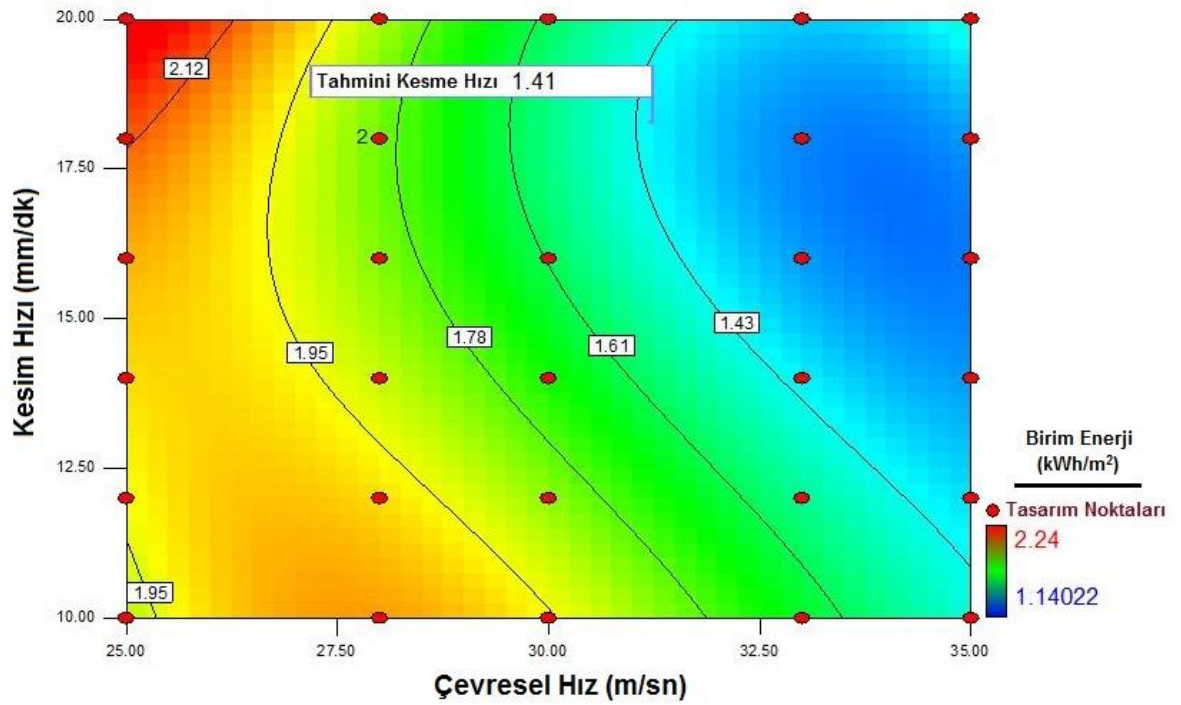
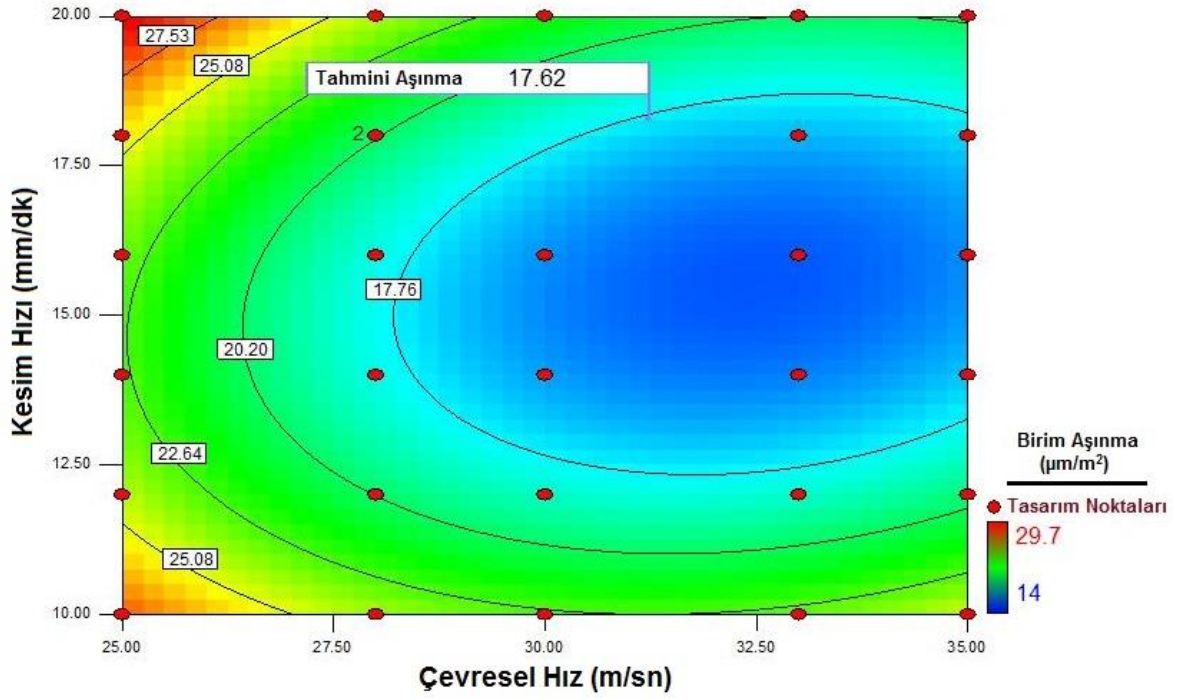
### EK 3.1. Muğla Sedef doğal taşı için kesilebilirlik abakları



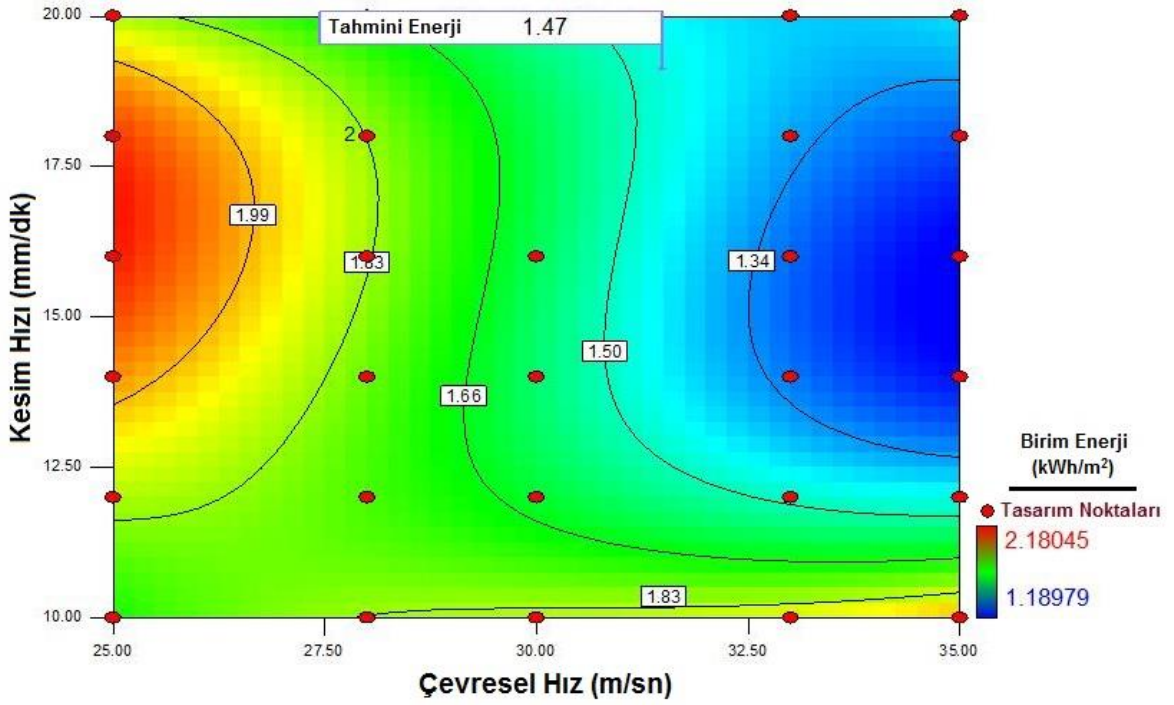
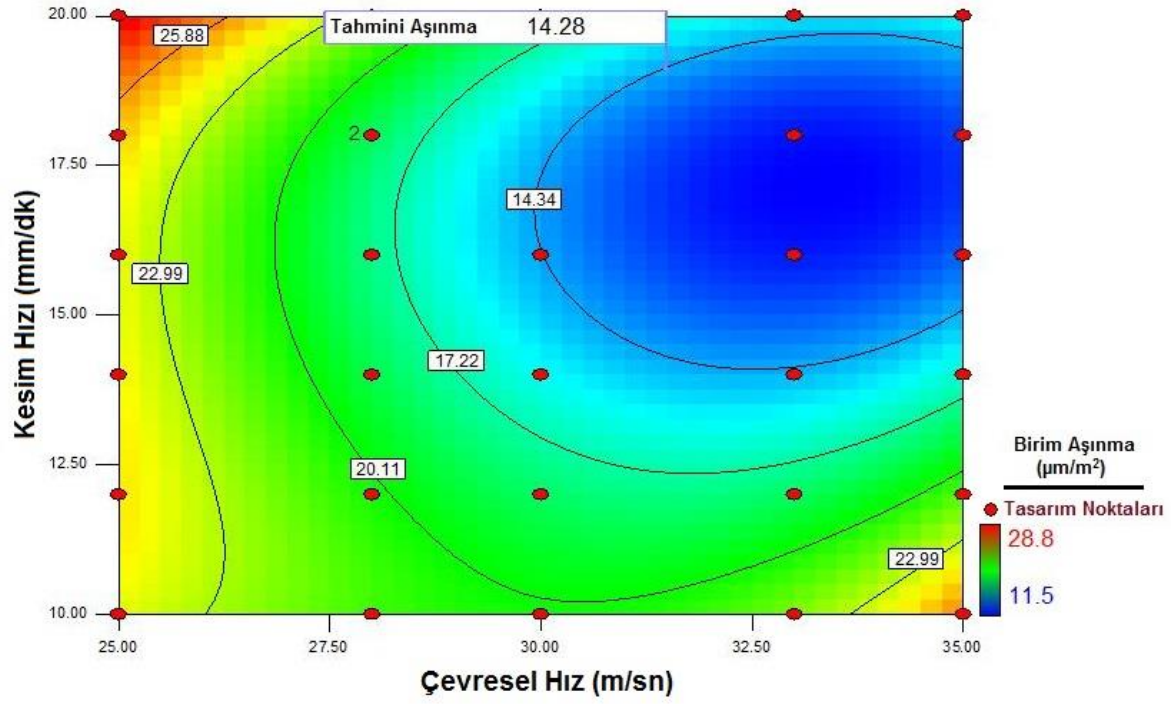
### EK 3.2. Muğla Beyaz doğal taşı için kesilebilirlik abakları



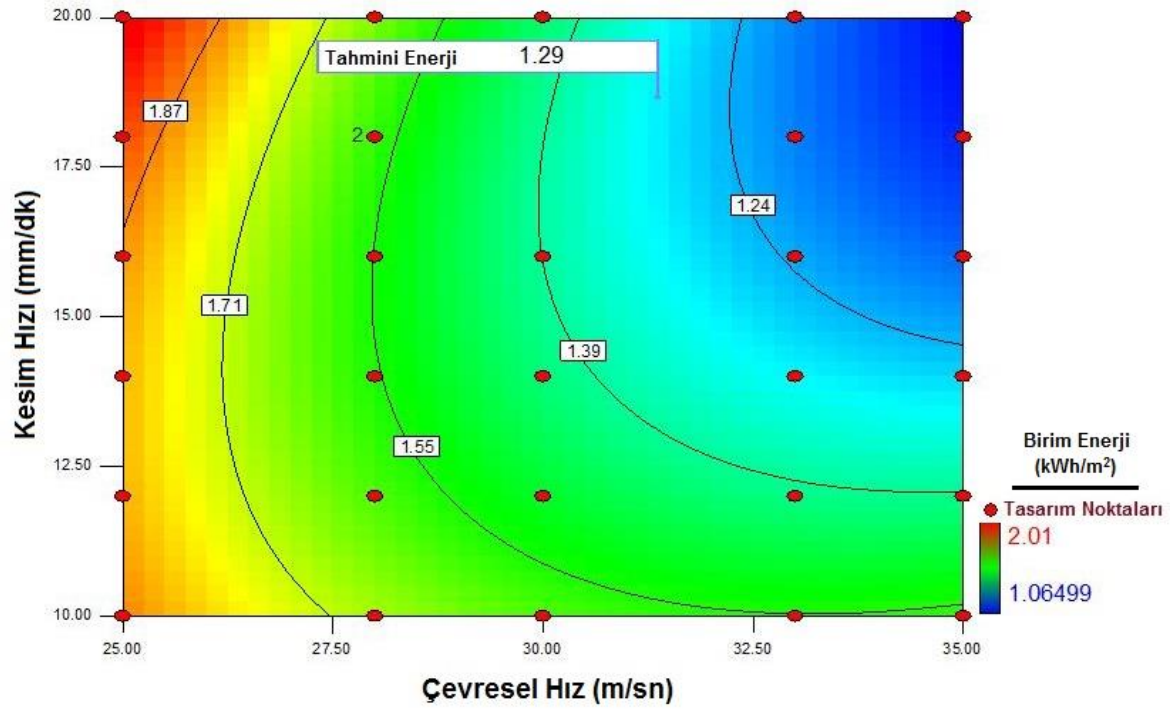
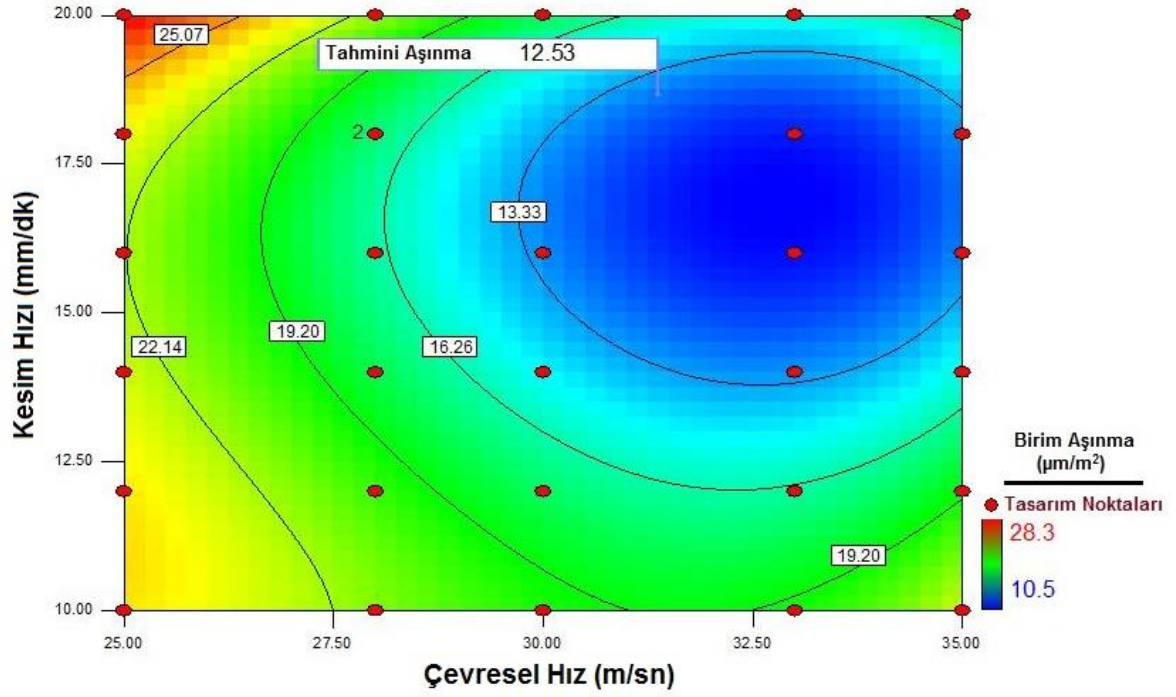
### EK 3.3. Muğla Leylak doğal taşı için kesilebilirlik abakları



### EK 3.4. Afyon Sarı doğal taşı için kesilebilirlik abakları



### EK 3.5. Afyon Şeker doğal taşı için kesilebilirlik abakları



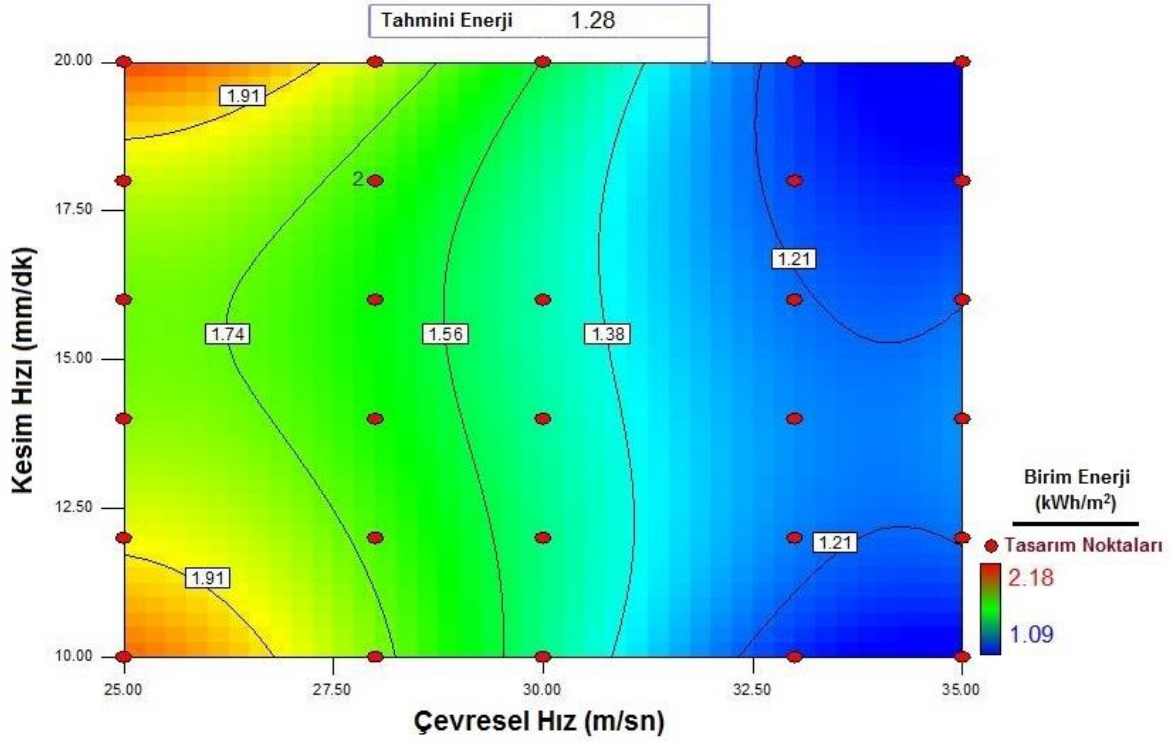
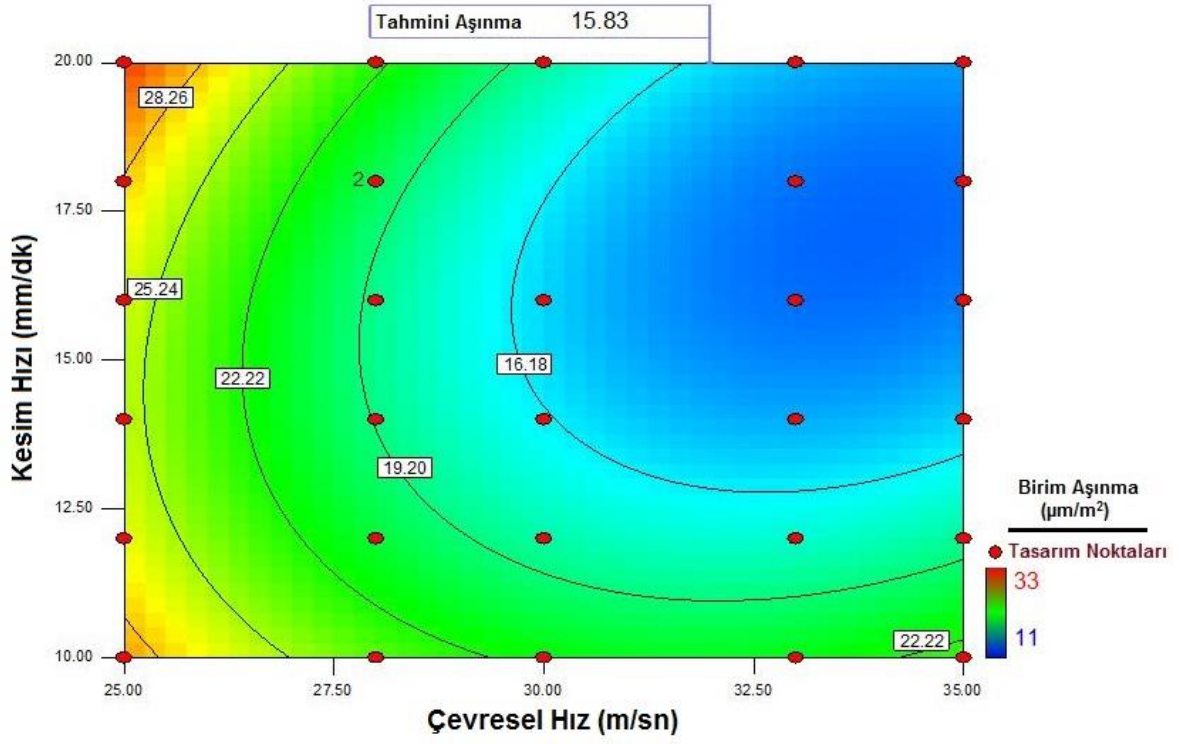
## **EK 4**

### **Kireçtaşları için oluşturulan kesilebilirlik abakları**

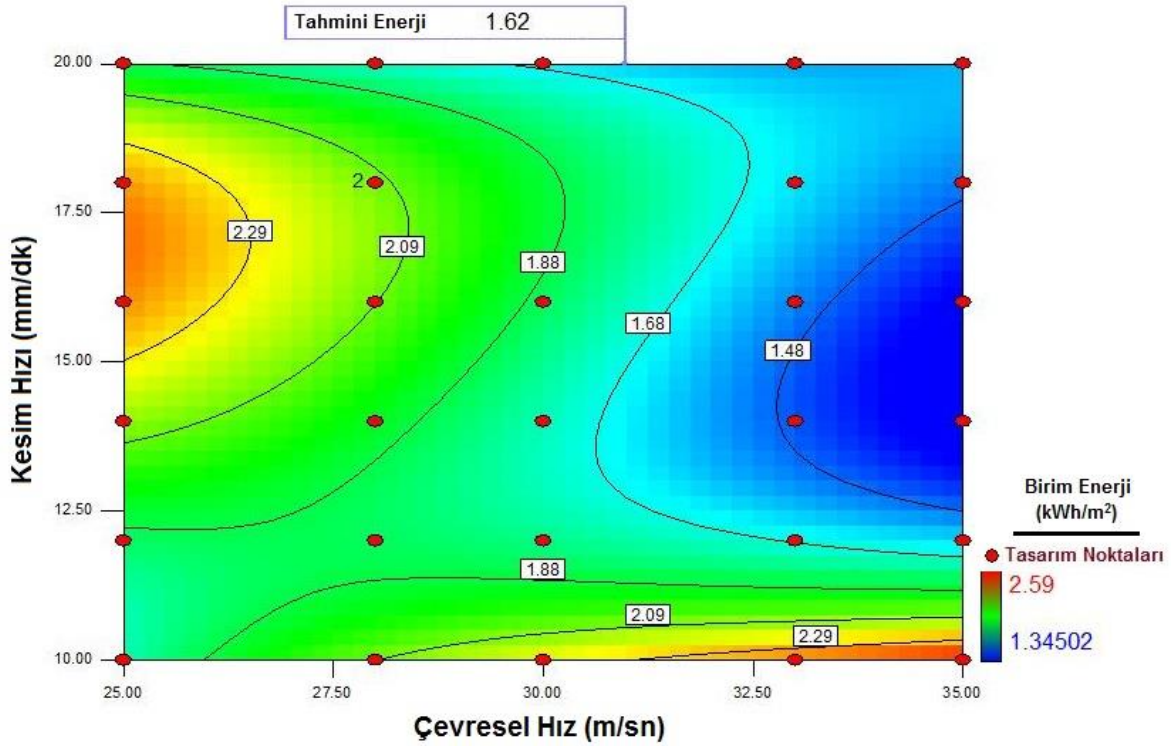
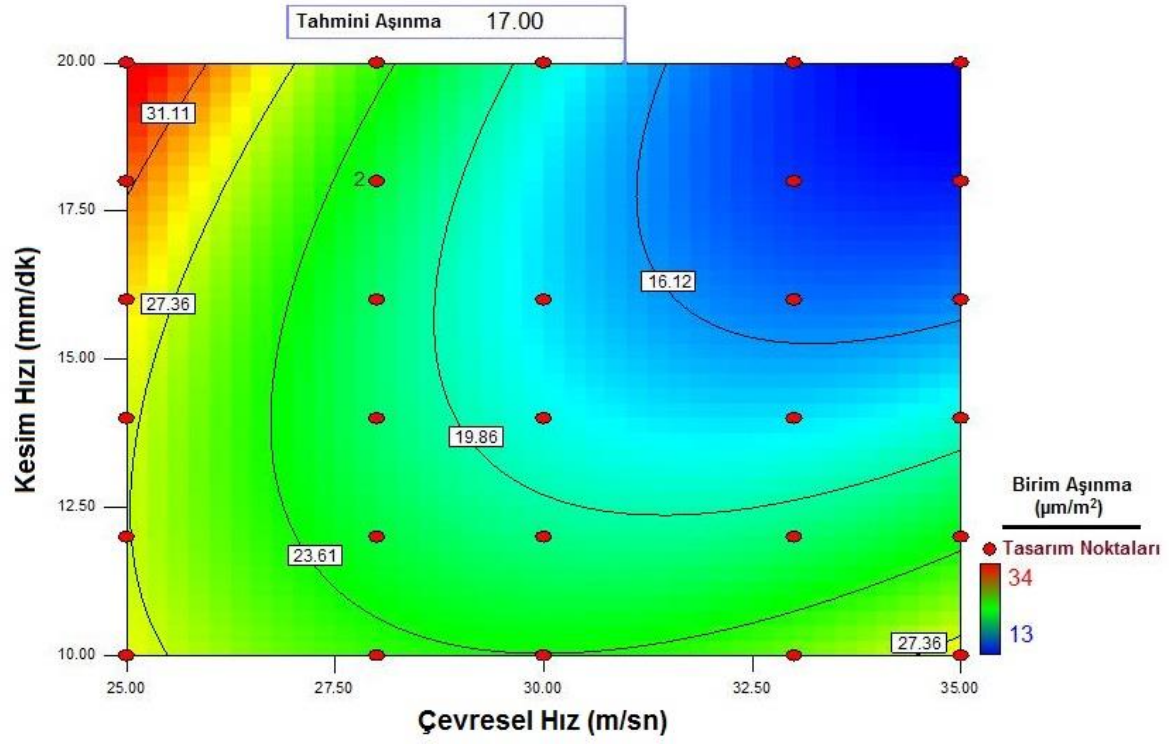
EK 4.1. Burdur Koyu Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 4.2. Burdur Açık Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları

#### EK 4.1. Burdur Koyu Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları



#### EK 4.2. Burdur Açık Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları





## ÖZGEÇMİŞ

### Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Emre YILMAZKAYA

Doğum Yeri : Ankara

Medeni Hali : Evli

E-posta : emreyil@hacettepe.edu.tr

Adresi : Tezel Sokak, 9/14 Yukarı Ayrancı Çankaya/ANKARA

### Eğitim

Lise : 1996-1999 Çankaya Lisesi

Lisans : 1999-2004 Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : 2004-2007 Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Doktora : 2007-2013 Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

### Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce, 75 - ÜDS

### İş Deneyimi

07/2004 – 09/2004 : Maden Mühendisi, Park Teknik Çayırhan Elektrik Madencilik Sanayii ve Ticaret A.Ş.

12/2004 - ..... : Araştırma Görevlisi, Hacettepe Üniversitesi

Maden Mühendisliği Bölümü

### Deneyim Alanları

Elmas Telli Kesme Yöntemi, Açık Ocak İşletmeciliği, Mermer Teknolojileri

### Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

### Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

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

-