

**ST VE KATRAKLARLA KESİMİ PROBLEMLİ OLAN DOĞAL
TAŞLARIN TEKTELLİ BLOK KESME SİSTEMİYLE KESİMİNİN
İNCELENMESİ**

**INVESTIGATING THE CUTTING WITH MONOWIRE SYSTEM OF
NATURAL STONES HAVING PROBLEMATIC CUTTING WITH ST
AND FRAME SAW**

MAHMUD ESAD ULUER

Prof. Dr. YILMAZ ÖZÇELİK

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2018

MAHMUD ESAD ULUER'in hazırladığı “ST ve Katraklarla Kesimi Problemlili Olan Doğal Taşların Tektelli Blok Kesme Sistemiyle Kesiminin İncelenmesi” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK

Başkan/Danışman



Dr. Öğr. Üyesi Emre YILMAZKAYA

Üye



Dr. Öğr. Üyesi Ediz Sadık KANBİR

Üye



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

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

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

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

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

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

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

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

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

- ☐ **Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

28 / 05 / 2018
..... / /

(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı

Mahmud Ebad Uluer

M. Uluer

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.

28/05/2018



Mahmud Esad ULUER

ÖZET

ST VE KATRAKLARLA KESİMİ PROBLEMLİ OLAN DOĞAL TAŞLARIN TEKTELLİ BLOK KESME SİSTEMİYLE KESİMİNİN İNCELENMESİ

MAHMUD ESAD ULUER

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. YILMAZ ÖZÇELİK

Mayıs 2018, 65 sayfa

Tektelli blok kesim makinelerinden, üretimi yapılmış olan doğal taş kütlelerinin sayılanması aşamasında ve bu bloklardan plaka üretme aşamasında yararlanılmaktadır. Üretimin gerçekleştirildiği saha ve fabrikalarda amaç en ekonomik ve en yüksek kalitede üretim yapılmasıdır. Tektelli makinalarla blok üretiminde kesim maliyetlerini etkileyen en önemli parametrelerden ilki; kesim esnasında harcanan enerji, bir diğeri ise kesimin yapıldığı elmas boncuklardaki aşınmadır. Elmas telli kesim yöntemiyle üretim yapılan bir tesiste elmas boncuklarda kesim aşamasında ciddi aşınmalar meydana gelmekte, bu da kesim verimliliğini düşürmekte ve tel ömrünü kısaltmaktadır. İşletme ekonomisinin bu durumdan fazla etkilenmemesi için kesme sisteminin çok iyi anlaşılması gerekmektedir.

Bu çalışma ST ve Katrak türü makineler kullanılarak yapılmaya çalışılan levha üretiminde kesim esnasında kesimi gerçekleştiren makineden kaynaklanan taş yüzeyinde oluşan çizik ve kırıklar gibi çeşitli problemler yaşanan doğal taşların tektelli blok kesim yöntemi ile kesilebilirliğinin araştırılmasını amaçlamaktadır. Bu tezde Sivas'ta elmas telli kesim makinalarıyla üretim yapan bir doğal taş (kireç taşı) sahasından alınan numunelerde tektelli blok kesme yöntemiyle kesim deneyleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan taşın seçilme nedeni kireçtaşı türü olan bu doğal taşın ST ve Katrak türü makinalar kullanılarak yapılan

kesimlerde blok veriminin çok az olması ve blok iyileştirme işlemleri yapılmaksızın plaka/levha kesiminin kesinlikle yapılamamasıdır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde geliştirilmiş olan bilgisayar kontrollü tam otomatik tektelli kesim makinesi kullanılmıştır. Deneylerde 3 farklı çap değerinde bulunan elmas boncuklardan oluşmuş elmas teller kullanılmıştır. Boncuk çapları sırasıyla 7,3 mm, 8,5 mm ve 11 mm'dir. Çalışmalarda ayrıca 3 farklı tel dönüş hızında (28, 30 ve 33 m/sn), 3 farklı kesim hızı değerinde (12, 16 ve 20 mm/dk) ve farklı kesme kalınlıklarında (2, 3, 4, 5, 6 cm) kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma bitiminde saptanmış olan tüm veriler bir araya getirilerek boncuk aşınması ve kesimde tüketilen enerji ile ilişkilendirilmek suretiyle bulgular yorumlanmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda plakalarda herhangi bir kırılma tespit edilmemiş olup 2 cm'lik plaka kalınlığına rahatlıkla erişilebildiği belirlenmiştir. Sivas Beji kireçtaşı numunesi için optimum kesim koşulları belirlenmiştir. Optimum kesim koşulları tespit edilirken en az birim enerji, birim aşınma ve de çevresel hız ile uyum içerisinde olan en fazla kesme hızının sağlanması amaçlanmıştır. En uygun kesim performansı 30 m/sn çevresel hız, 20 mm/dk kesme hızı ve 8,5 mm boncuk çapına sahip telle yapılan kesimlerde elde edilmiş ve farklı kalınlıklarda gerçekleştirilen kesimlerin plakaların verimine bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tektelli kesim; problemlı doğal taşlar; elmas telli kesme; boncuk çapı; birim aşınma; özgül enerji.

ABSTRACT

INVESTIGATING THE CUTTING WITH MONOWIRE SYSTEM OF NATURAL STONES HAVING PROBLEMATIC CUTTING WITH ST AND FRAME SAW

MAHMUD ESAD ULUER

Master of Science, Mining Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. YILMAZ ÖZÇELİK

May 2018, 65 pages

Monowire block cutting machines are used to squaring natural stone masses and to produce plates from these blocks. The aim is to produce the most economical and highest quality production in the quarries and factories where the production is carried out. One of the most important parameters affecting the cutting costs in block production is the energy consumed during cutting, and the other one is the wear on the diamond beads by which the cut is made. Wearing on diamond bead is occurring severely during the cutting process which reduces cutting efficiency and shortens the wire's life. A very good understanding of the cutting system is required so that the operation economy is not greatly affected by this situation.

This study aims to investigate the cutability of natural stones used by monowire cutting method which has various problems in slab production using ST and Gang Saw type machines. In this thesis, samples were taken from a natural stone (limestone) field in Sivas where the slab production is done by using diamond wire cutting machines. The reason why choosing of this kind of limestone is that when the stone is cut by using ST and Gang Saw type machines, the block efficiency is very low and the slab cutting can not be done without block improvement implications. Within the scope of the thesis, computer controlled fully automatic monowire cutting machine which is developed at Hacettepe University Mining

Engineering Department was used. In the experiments, three different diameters of diamond beads were used. Bead diameters are 7,3 mm, 8,5 mm and 11 mm, respectively. The experiments were carried out at three different peripheral speeds (28, 30 and 33 m/sec), three different cutting speeds (12, 16 and 20 mm/min) and different cutting thicknesses (2, 3, 4, 5, 6 cm). All the data determined at the end of the study were brought together and the results were interpreted by associating with bead wear and energy consumed in the cutting processes.

As a result of the study, no fracture was detected on the plates and it was determined that the plate thickness of 2 cm could be easily reached. Optimum cutting conditions were determined for Sivas Beji limestone sample. When optimum cutting conditions are determined, it is aimed to provide the maximum cutting speed which is in harmony with minimum unit energy, unit wear and peripheral speed. Optimum cutting performance was obtained in wire cuts with a peripheral speed of 30 m / sec, a cutting speed of 20 mm / min and a bead diameter of 8,5 mm, and cuts of different thicknesses were observed to have no effect on the yield of the plates.

Key words: Monowire cutting; problematic natural stones; diamond wire cutting; bead diameter; unit wear; specific energy.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli katkı ve görüşleriyle yol gösteren danışmanım Sayın Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK'e, sürekli olarak benden görüş ve önerilerini esirgemeyen ve her görüşmemizde beni sabırla dinleyen ve yapıcı yorumlarıyla tezimin ilerleyişi ve gelişimine büyük katkıları olan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Emre YILMAZKAYA'ya, beni her türlü imkanlarını sunarak yetiştiren ve vizyonumu sürekli olarak geliştirmeme yardımcı olan babam Sayın Prof. Dr. İhsan ULUER ve annem Sayın Öğretmen Hatice ULUER'e ve yoğun çalışmalarım esnasında sosyal hayattaki eksikliklerimi hissettirmemek için elinden geleni yapan, çalışmamın her aşamasında fikir alışverişinde bulunduğum ve bu süreçte bana maddi ve manevi her türlü desteği gösteren, eşim Sayın Cansu ULUER ve canım oğlum Sayın Muhammed Emir ULUER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı.....	2
1.2. Tez Çalışmasının Kapsamı	2
1.3. Araştırma Yöntemleri	3
1.4. Literatür Özeti.....	4
2. DOĞAL TAŞ MADENCİLİĞİNE GENEL BAKIŞ.....	8
2.1. Doğal Taşların Tanımlanması	8
2.2. Doğal Taş Madencilik İşlemleri	8
2.3. Mermer Bloklardan Plaka Üretimi ve Kesim Yöntemleri.....	9
2.4. Bloktan Plaka Üretiminde Faydalanılan Makineler	12
2.4.1. Dairesel Testereler	13
2.4.2. Düz Testereler.....	14
2.4.2.1. Katraklar	15
2.4.2.2. Elmas Çoklu Tel Kesme Makinası	16
2.4.2.3. Elmas Kemerli Kesme Makinası	16
2.4.2.4. Elmas Tek Telli Kesme Makinası	17
2.5. Doğal Taşların İşlenmesi Esnasında Meydana Gelen Problemler.....	20
2.5.1. Testere İzleri	20
2.5.2. Taş yüzeyinde oluşan çizik ve kırıklar	21
2.5.3. Çatlak ve Kırıklar	22
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	24
3.1. Yöntem	24
3.2. Bilgisayar Kontrollü Tam Otomatik Tektelli Kesme Sisteminin Tanıtımı	27

3.2.1. Mekanik Birim.....	29
3.2.2. Hidrolik Birim	29
3.2.3. Elektrik ve Elektronik Birim	29
3.2.4. Otomasyon Birimi	29
3.3. Tez Kapsamında Kullanılan Kireçtaşı Türü Kayacın Teknik Özellikleri	30
3.4. Kesim Deneylerinin Gerçekleştirilmesi ve Veri Analizleri.....	32
3.5. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	37
3.5.1. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Kesme Hızlarında Çevresel Hıza Bağlı Birim Enerji Değişimleri	37
3.5.2. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Çevresel Hızlarda Kesme Hızına Bağlı Birim Enerji Değişimleri	39
3.5.3. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Kesme Hızlarında Çevresel Hıza Bağlı Birim Aşınma Değişimleri.....	41
3.5.4. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Çevresel Hızlarda Kesme Hızına Bağlı Birim Aşınma Değişimleri.....	42
3.5.5. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Kesme Hızlarında Çevresel Hıza Bağlı Olarak Tepkisel Kuvvetlerin Değişimleri	44
3.5.6. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Çevresel Hızlarda Kesme Hızına Bağlı Olarak Tepkisel Kuvvetlerin Değişimleri	48
3.5.7. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Kesme Hızlarında Çevresel Hıza Bağlı Olarak Titreşim Değişimleri.....	51
3.5.8. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Çevresel Hızlarda Kesme Hızına Bağlı Olarak Titreşim Değişimleri.....	53
4. TARTIŞMA ve SONUÇ	57
5. KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	65

ŞEKİLLER TABLOSU

Sayfa

Şekil 1.1. Doğal taş ocaklarında kullanılan tektelli kesme makinası	1
Şekil 2.1. Doğal taş madencilik işlemleri	9
Şekil 2.2. Üretimi gerçekleştirilmiş doğal taş plakaları.....	12
Şekil 2.3. Sayılanmış blokların plakalara ayrılması işlemi	13
Şekil 2.4. Dairesel testereli kesim makinası (S/T)	14
Şekil 2.5. Elmaslı katrak	15
Şekil 2.6. Elmas çoklu tel kesme makinası	16
Şekil 2.7. Üretilen plakada testere izleri.....	21
Şekil 2.8. Üretimi esnasında taş yüzeyinde oluşan çizik ve kırıklar.....	22
Şekil 2.9. Üretimi esnasında kırılan plaka.....	23
Şekil 3.1. Çalışmada takip edilen yöntem	26
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan tektelli kesme makinesinin genel görünümü	27
Şekil 3.3. Bilgisayar kontrollü tektelli kesim makinesinin boyutları	28
Şekil 3.4. Otomasyon programı arayüzü	30
Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan kireçtaşı (Sivas Antik Bej)	31
Şekil 3.6. Kesim işleminde kullanılan elmas telden bir görüntü	33
Şekil 3.7. Tel kesiminde kullanılan makas	33
Şekil 3.8. Bağlantı malzemeleri	34
Şekil 3.9. Hidrolik makas	34
Şekil 3.10. Kesimde boncuk çaplarının ölçümde yararlanılan mikrometre cihazı	36
Şekil 3.11. Sprey boya kullanılarak işaretlenen boncuklar	36
Şekil 3.12. Elmas boncukta ölçülen 5 farklı nokta	37
Şekil 3.13. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneydeki birim enerji değişimi	38
Şekil 3.14. Sivas bej taşının 8,5 mm boncuk ile yapılan deneydeki birim enerji değişimi ..	38
Şekil 3.15. Sivas bej taşının 11 mm boncuk ile yapılan deneydeki birim enerji değişimi ..	38
Şekil 3.16. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneyde farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı birim enerji değişimi	39
Şekil 3.17. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneyde farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı birim enerji değişimi	40
Şekil 3.18. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneyde farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı birim enerji değişimi	40

Şekil 3.19. Sivas bej doğal taşının 7,3 mm çapındaki tel ile kesiminde çevresel hıza bağlı birim aşınma değişimleri	41
Şekil 3.20. Sivas bej doğal taşının 8,5 mm çapındaki tel ile kesiminde çevresel hıza bağlı birim aşınma değişimleri	41
Şekil 3.21. Sivas bej doğal taşının 11 mm çapındaki tel ile kesiminde çevresel hıza bağlı birim aşınma değişimleri	42
Şekil 3.22. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneyde farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı birim enerji değişimi	43
Şekil 3.23. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneyde farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı birim enerji değişimi	43
Şekil 3.24. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneyde farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı birim enerji değişimi	44
Şekil 3.25. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesiminde çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri	45
Şekil 3.26. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesiminde çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri	45
Şekil 3.27. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesiminde çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri	46
Şekil 3.28. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesiminde çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri	46
Şekil 3.29. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesiminde çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri	47
Şekil 3.30. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesiminde çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri	47
Şekil 3.31. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesiminde kesme hızına bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri	48
Şekil 3.32. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesiminde kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri	48
Şekil 3.33. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesiminde kesme hızına bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri	49
Şekil 3.34. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesiminde kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri	49
Şekil 3.35. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesiminde kesme hızına bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri	50
Şekil 3.36. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesiminde kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri	50
Şekil 3.37. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesimde çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki titreşim değişimleri	51

Şekil 3.38. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesimde çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki titreşim değişimleri	51
Şekil 3.39. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesimde çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki titreşim değişimleri	52
Şekil 3.40. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesimde çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki titreşim değişimleri	52
Şekil 3.41. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesimde çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki titreşim değişimleri	52
Şekil 3.42. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesimde çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki titreşim değişimleri	53
Şekil 3.43. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesimde kesme hızına bağlı olarak X yönündeki titreşim değişimleri	53
Şekil 3.44. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesimde kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki titreşim değişimleri	54
Şekil 3.45. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesimde kesme hızına bağlı olarak X yönündeki titreşim değişimleri	54
Şekil 3.46. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesimde kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki titreşim değişimleri	55
Şekil 3.47. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesimde kesme hızına bağlı olarak X yönündeki titreşim değişimleri	55
Şekil 3.48. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesimde kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki titreşim değişimleri	56

ÇİZELGELER TABLOSU

Sayfa

Çizelge 2.1. Ocaklardan tesislere gelen doğal taş bloklarının işleme aşamaları.....	11
Çizelge 2.2. Dairesel testere, Katrak ve Elmas Tektelli Kesme yöntemleri kullanılarak yapılan kesimlerde kesim verimine etkiyen faktörler.....	19
Çizelge 3.1. Tez Kapsamında Kullanılan Kayacın Teknik Özellikleri	31
Çizelge 4.1. Sivas Beji kireçtaşına ait optimum kesim koşulları	59



1. GİRİŞ

İnsanoğlu var olduğundan beri doğal taşları kullanmış ve onlardan faydalanmıştır. Önceleri avlanma ve kendini koruma amacıyla çeşitli düzenekler geliştirmiş tarihin ilerleyen evrelerinde ise yaşam amaçlı barınakların inşasında kullanmaya da başlamıştır. Tarih boyunca doğal taşlar bir yapının tamamının oluşturulmasında ayrıca bunun yanında bu yapıların sanatsal olarak geliştirilmesinde de boyutlandırılarak ve şekillendirilerek kullanılmıştır [1].

Doğal taşlar bulundukları doğal ortamlarından blok halinde kesilerek yerinde yapılan belirli işlemlerin ardından işlenmek üzere tesislere nakliye edilir. İşletmelerde üretimi yapılan doğal taşın doğal ve düzensiz boyutlarından ticari ebatlara getirmek için yapılan işleme blok boyutlandırma (sayalama) denilir. Kireçtaşı ve mermer üretiminde üretilen blokların sayalama işlemlerinde farklı makinelerden yararlanılmaktadır [1]. Monotel (tektelli) kesme makinesi bu amaç için kullanılan makinelerden biridir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Doğal taş ocaklarında kullanılan tektelli kesme makinası [2]

Doğal taş ocaklarının büyük bir kısmında kullanılan elmas telli kesme yöntemi hem ocaklarda sayalama maksadıyla, hem de işleme tesislerinde plaka üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada konunun muhtevası gereği işleme tesislerindeki kullanımı üzerinde durulacaktır.

Tektelli kesme makineleri taş bloklardan levha eldesi ve blokların sayalanması işinde oldukça sık kullanılan bir makinedir. Makinenin üzerinde iki adet kasnak bulunmakta olup bu kasnaklardan biri telin dönme hareketini sağlar, ikinci kasnak ise telde gerekli gerginliğin oluşmasını sağlar. Bu iki kasnak hareket edebilen bir sisteme bağlıdır. Bu sistemin dikey yönlü hareketi ile kesim gerçekleşmiş olur [3].

1.1. Tez Çalışmasının Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, ST ve Katrak türü makinalarla yapılmaya çalışılan levha üretiminde kesim esnasında kesimi gerçekleştiren makineden kaynaklanan taş yüzeyinde oluşan çizik ve kırıklar gibi çeşitli problemler yaşanan doğal taşların tektelli blok kesme makinesi ile kesilebilirliğinin araştırılmasıdır.

Konu ile ilgili literatürde bir çalışmanın olmaması sebebiyle çalışmanın önemi daha da artmaktadır. Yapılacak bu çalışma ile ST ve Katrak ile blok üretiminde kesim esnasında söz konusu sorunlarla karşılaşılan doğal taşların tektelli kesme sistemiyle kesilebilirliği net bir şekilde ortaya konulacaktır. Böylece bu tür doğal taşlardan blok üretimi esnasında önceden blok tamir işlemlerinin yapılmaması plaka maliyetlerini daha da aşağıya çekecektir.

1.2. Tez Çalışmasının Kapsamı

ST ve Katrak türü makinalarla plaka üretiminde zorluk yaşanan doğal taşların tektelli blok kesme makinesi ile kesilebilirliğinin araştırılması bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Çalışmalarda belirlenen kireçtaşı cinsinin (Sivas Antik Beji) seçilmesinin sebebi bu taşla Katrak ve ST makinaları ile fabrikada gerçekleştirilen kesimlerin tamamen başarısız olması ve hiçbir şekilde kırksız verimli bir kesim yapılamamasıdır. Bu konu kapsamında yapılacak işler genel olarak aşağıda verilmiştir;

a. Sivas ilinde elmas telli kesme yöntemiyle üretim yapan bir doğal taş ocağından (kireçtaşı türü) numunelerin laboratuvara getirilmesi, kesme deneyleri için ortam koşullarının hazırlanması,

b. 3 farklı çap değerine sahip elmas tellerle (7,3 mm, 8,5 mm ve 11 mm) ve farklı kesme kalınlıklarında (2, 3, 4, 5, 6 cm) daha önce kireçtaşı için önerilen optimum tel dönüş hızı ve kesim hızı değerlerinde kesim deneyleri gerçekleştirilmesi ve kesim sırasında elmas boncuklardaki birim aşınma ve kesmede harcanan birim enerji değerlerinin belirlenmesi.

c. Kesimi gerçekleştirilecek en düşük kesim kalınlığı değerleri ve optimum performans parametrelerini veren boncuk çapı değeri için 3 farklı tel dönüş hızı (28, 30 ve 33 m/sn) ve 3 farklı kesim hızı (12, 16 ve 20 mm/dk) değerinde kesimler gerçekleştirilerek boncuk aşınması ve kesimde tüketilen enerjiye bağlı grafikler üretilerek bunların yorumlanmasıdır.

1.3. Araştırma Yöntemleri

Çalışmanın laboratuvar deneyleri aşaması aşağıdaki aşamalarla gerçekleştirilecektir;

a. Sivas ilinde elmas telli kesme yöntemiyle üretim yapan bir doğal taş ocağından (kireçtaşı türü) kesme deneylerinin yapılması ve kayaç özelliklerinin belirlenmesi için numunelerin laboratuvara getirilmesi. Kesimler için en az 1x1x1 m³ boyutunda ve her boncuk çapı için yapılacak kesimlerde 2'şer adet (toplam 6 adet), aşınma ve enerji grafiklerinin eldesi için 2 adet olmak üzere toplam 8 adet blok numune olacaktır.

b. Kesimi gerçekleştirilecek doğal taşın fiziki ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için gerekli numuneler hazırlanacaktır.

c. Belirlenen ve laboratuvara getirilen numunelerin kesim deneylerini gerçekleştirmek için endüstride kullanılan boncuk çapları 7,3 mm, 8,5 mm ve 11 mm olan elmas teller temin edilecektir.

d. 3 farklı çap değerine sahip elmas tellerle (7,3 mm, 8,5 mm ve 11 mm) ve farklı kesme kalınlıklarında (2, 3, 4, 5, 6 cm) daha önce kireçtaşı için önerilen optimum tel dönüş hızı ve kesim hızı değerlerinde kesim deneyleri gerçekleştirilecek ve kesim sırasında elmas boncuklardaki birim aşınma ve kesmede harcanan birim enerji değerleri belirlenecektir.

e. Daha sonra kesimi gerçekleştirilecek en düşük kesim kalınlığı değerleri ve optimum performans parametrelerini veren boncuk çapı değeri için 3 farklı tel dönüş hızı (28, 30 ve 33 m/sn) ve 3 farklı kesim hızı (12, 16 ve 20 mm/dk) değerinde kesimler gerçekleştirilerek boncuk aşınması ve kesimde tüketilen enerjiye bağlı grafikler üretilerek bunların yorumlanacaktır.

1.4. Literatür Özeti

Bugüne dek pek çok araştırmacı elmas telli kesme makinalarının değişik modelleri, kesim değişkenleri, kesimi yapılan maddenin nitelikleri, elmas boncuklar ve teller ve bunun yanında kesimi yapılacak olan taş karakteristiklerinin [4, 5, 6], makine gücü, elmas telin hızı ve telin titreşim karakteristiğinin [7, 8], telin çeşidi ve boncuk miktarının [9, 10], boncuk aşınmasının, kesme kuvvetlerinin ve kesme geometrisinin [10- 16], boncuk özelliklerinin [5, 10, 11, 17, 18, 19] ve kesim işleminin bilgisayar kullanarak yapılan modellemesinin [20-23] kesim üzerindeki tesiri hakkında araştırmalar gerçekleştirmişlerdir.

Şimdiye kadar yapılmış çalışmalarda elmas telli kesim yöntemi ile alakalı bir hayli çalışma bulunmaktadır. Ancak tek telli kesim makinaları hakkında yapılmış ve literatüre geçen araştırmalar bir hayli azdır. Tek telli kesim yöntemi ile yapılmış araştırmaların bazıları şunlardır:

Yılmazkaya [3], yapmış olduğu çalışmada bilgisayar kontrollü tam otomatik tektelli kesme sistemi tasarlamıştır. Çalışmasında, kireç taşı ve mermerden oluşan çeşitli özelliklere sahip ve birbirinden farklı 8 adet doğal taş numunesi ile tektelli kesme makinesi yardımı ile çeşitli kesimler yapmış ve çevresel hız olarak tabir edilen telin dönme hızının ve kesme hızı olarak tabir edilen telin dikey yönlü iniş hızının, birim aşınmaya, birim enerjiye, tel titreşimine ve tel üzerindeki kuvvetlere olan etkilerini belirterek, birim aşınma ve birim enerji temelli olmak üzere farklı özelliklerdeki doğal taşlar için birbirinden farklı kesilebilirlik abakları meydana getirmiş ve kesim optimizasyonlarını yapmıştır.

Yılmazkaya vd. [24] yapay sinir ağları ve regresyon modellerini kullanarak tek telli kesme makinası performans parametrelerinin tahmini üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada tek telli kesme işlemlerinde performans parametrelerinin en önemli ikisi olan birim aşınma ve birim enerjiyi öngörmek için yapay sinir ağı ve regresyon modellerini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda birim aşınma ve birim enerji için en iyi tahmin performansını, yapay sinir ağı modellerinden elde etmişlerdir.

Butler-Smith vd. [25], yaptıkları çalışmada, elmas tek telli kesme makinesini kullanarak granit taşlar üzerinde kesim deneyleri yapmış, makinenin çalışma koşullarını araştırmış ve elmas telin kesim performansına etki gösteren parametreler ile alakalı incelemeler gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar, kesme hızındaki artışın tele uygulanan normal ve yatay kuvvetleri arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Liu vd. [26] yaptıkları çalışmada, elmas boncuklu teli teorik incelemesini gerçekleştirmişler ve çıkan sonuçları mermer ve granit taşlar üzerinde gerçekleştirdikleri deneylerin ampirik sonuçları ile kıyaslamışlardır.

Zhang ve Wang [27] yaptıkları çalışmada, granit taş üzerinde yaptıkları tek telli kesim makinasıyla kesme deneyleri ile elmas tel aşınmasının ve kesim kuvvetinin, tel dönüş ve iniş hızıyla olan ilişkisini analiz etmişlerdir. Çalışmanın nihayetinde, “kesimi yapılan blok alanının, bu alanı kesen boncuklarda meydana gelen aşınma miktarına oranı” aşınmaya direnç olarak tabir edilmiş olup, bu değerin telin iniş hızı ile ters orantılı bir ilişkisinin olduğu saptanmıştır.

Huang vd. [28] yaptıkları çalışmada, tek telli kesim makinesi ile granit numuneleri üzerinde kesme deneyleri yapmış, bu deneyler ile tel hızı, kesme hızı ve soğutma suyunun kesim ortamının ısısına ve elmas tele olan etkilerini gözlemlemişlerdir. Deneyin gerçekleştirildiği yerin sıcaklığının telin dönüş hızının artması ile arttığını buna rağmen ortam sıcaklığı ile kesim hızı arasında tam bir ilişkiden söz etmenin mümkün olmadığını gözlemlemişlerdir.

Brach vd. [12] yaptıkları çalışmada bir dinamometre ile ölçülen kesme kuvvetlerinden kesme işlemi için gereken enerjiyi hesaplamışlardır.

Tönshoff ve Warnecke [23] yaptıkları çalışmada elmaslı kesim için bir model geliştirmişlerdir. Yazarlar modeli tam olarak doğrulamamışlardır, ancak bu model yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu modelde taş levha ve düzenek arasındaki mekanik etkileşim açıklanmıştır. Bu etkileşim, kesme abaklarının hem elastik hem de plastik deformasyonları ile ilişkilendirilmiştir. Buna ek olarak bu etkileşim, levha ile matriks arasında, levha ile elmas boncuklar arasında ve çentikler ile matriks arasında ortaya çıkan bağlantı noktası sürtünmesi ile ilişkilendirilmiştir.

Elmas boncuk kullanılarak yapılan bir kesme işlemi Wang ve Clausen [13] tarafından incelenmiş olup, çalışmada oluk geometrisi ile kesme kuvveti eğilimi arasında bir benzerlik bulunmuştur.

Turchetta [14] yaptığı çalışmada elmas aşınmasının farklı seviyelerde olduğu durumlarda kesme kuvvetlerini öngören bir model geliştirmiştir.

Özçelik vd. [11, 29] yaptıkları çalışmada elmas tel kesme için en uygun proses parametrelerini inceleyerek boncuk aşınması için uygun bir makine tasarlamışlardır. Bunlara

ek olarak mermer kesiminde dokusal özelliklerin üzerine [30] ve andezitik kayaların kesilmesi esnasındaki aşınmalar üzerine [31] çeşitli araştırmalar yapmışlardır.

Huang vd. [32, 33] yaptıkları çalışmada elmas tel kırılmasının proses koşullarıyla ilgisini analiz etmiş olup, başka bir çalışmalarında sinterlenmiş elmas tel ile lehimli elmas telin davranışlarını karşılaştırmışlardır.

Yılmazkaya vd. [6] yaptıkları çalışmada taş karakteristiklerinin ve proses parametrelerinin bir fonksiyonu olarak tek telli kesme makinelerinin kesme performansını araştırmış olup, farklı türde taşların işlenebilirlik grafiklerini ve bunların optimizasyonunu elde etmek üzere incelemelerde bulunmuşlardır.

Sun vd. [15] yaptıkları çalışmada, katrak ile kesim esnasında kayaç aşınması üzerine incelemelerde bulunmuşlardır. Çalışmalarının sonucunda kazıyıcı aşınmanın ve darbe aşınmasının sırasıyla matrisin ve elmas parçacıkların temel aşınma mekanizmaları olduğunu bulmuşlardır.

Turchetta vd. [16] yaptıkları çalışmada, doğal taşlarda elmas tel kesme işlemini analiz ederek, elmas tel kesiminde boncuklara etki eden kuvvetlerin analizi için bir yöntem geliştirmişler ve boncukların eşit bir şekilde aşınmalarını sağlamak ve telin kesme düzleminden sapmasını azaltmak için boncukları eksenlerinin etrafında döndüren tork faktörü ile ilgili çalışmalar yapmışlardır.

Elmas tel kesme makineleri mermer ocaklarında ve mermer işleme tesislerinde çok yoğun bir şekilde kullanılmalarına rağmen, akademik yayınlarda elmas tel kesme makineleri ile ilgili sınırlı sayıda çalışma mevcut olup elmas tel kesme teknolojisinde hala çözülmesi gereken birçok sorun bulunmaktadır.

Kullanılan telde çok sayıda kopma yaşanması, zayıf yüzeylerde karşılaşılan problemler, düşük verimlilik, kesim operasyonunun riskleri ve kesim işleminin yüksek maliyeti bu işlemin temel teknolojik sınırlarıdır.

Konu ile ilgili yapılmış çalışmalarda genel itibariyle kesimi gerçekleştiren makinelerin hızı, devri, gücü ve benzeri özelliklerinin birbiriyle ilişkilerinin yanı sıra, elmas boncuk karakteristiği, aşınması, özgül enerji ve diğer performans özelliklerinin kesim sonrası gösterdikleri değişimler incelenmiştir.

Bununla birlikte, ST ve Katraklarla blok üretimi yapılırken çeşitli sıkıntılarla karşılaşılan doğal taş türlerinin tektelli kesme sistemini kullanarak kesim işlemlerinin araştırılmasına

yönelik bir çalışma literatürde yer almamaktadır. Bu tez çalışmasının sonunda elde edilen bulguların mermercilik ve doğal taş sektöründe tektelli kesim sistemi ile yürütülen faaliyetlerde kolaylık sağlayabileceği, bunun yanında ST ve Katrak türü makinelerle blok iyileştirme çalışmaları yapılmaksızın kesimi gerçekleştirilemeyen doğal taşların tektelli kesim sistemi ile yapılabilirliğinin ortaya konulabileceği değerlendirilmektedir. Böylece, bu çalışma ile literatürde var olan önemli bir boşluk doldurulacaktır.



2. DOĞAL TAŞ MADENCİLİĞİNE GENEL BAKIŞ

2.1. Doğal Taşların Tanımlanması

Günümüzde doğal taş kavramı dolomit, kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve sert taşları adlandırmak maksadıyla kullanılmaktadır.

Petrografik tanımını incelemek gerekirse: doğal taş; kalker yani kireçtaşı, dolomitik kalker veya bu yapıların farklı oranlarından meydana gelen karbonatlı taşların farklı sıcaklık ve basınç altında başkalaşıma maruz kalarak, yeniden kristalleşmesinin akabinde meydana gelen yeni doku ve de yapıya sahip olan başkalaşmış kalsit kristallerinden meydana gelen kayaçları adlandırırken kullanılan genel ifadedir.

Endüstride kullanıldığı anlamıyla doğal taş; ekonomik bir şekilde, istenen boyutlarda blok halinde kesilerek üretilebilen ve ardından istenilen ebatla kesilerek talep doğrultusunda cilalanarak parlatılan kayaçlar şeklinde ifade edilmektedir. Yani ekonomik anlamda belirli bir değer taşıyan her kayaç ticari anlamda doğal taş şeklinde ifade edilmektedir.

Bu tez kapsamında doğal taş terimi traverten ve oniksler dışında kalsit (CaCO_3) veya dolomit [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] minerallerinden meydana gelen karbonatlı kayaçları ifade etmek için kullanılmaktadır.

2.2. Doğal Taş Madencilik İşlemleri

Madencilik işlemlerinin yapılabilmesi için üretilmek istenen kayaçların belirli aşamalardan geçmesi gerekmektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir (Şekil 2.1);

A. Doğal taş madenciliği öncesi; arama evresi sondaj yaparak örnekler alma ve bölge jeolojisini, kayaç jeofiziğini ve jeokimyasını sentezleme işlemlerinden meydana gelmektedir. Tetkik ise sistematik sondajlama işlemleri yaparak kuyu veya tünel yarma ve değerlendirme işlemlerine denilmektedir. Madenciliğin öncesinde son olarak planlama yani doğal taş madenciliği metodu ve malzeme seçimi yapılarak sahanın tasarlanması ve mühendislik faaliyetleri uygulanır ve ardından kazı ve geliştirme işlemlerine geçilerek gerekli olan yer altı ve yer üstü yapıların inşaatı tamamlanır.

B. Doğal taş madenciliği sırasında madencilik faaliyetlerinin, yani blok üretme ve ebatlama faaliyetlerinin yanı sıra jeoloji örnekleme, detay haritalama, kazı duraylılığını tesis etme, örtü kütesini kaldırma, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili tedbirler alma, havalandırma, su kontrolü, nakliye, enerji/güç ayarlaması ve maliyet kontrolü işlemleri yapılmaktadır.

C. Doğal taş madencilik faaliyetlerinin sonrasında ise ocakta üretilen ve ebatlandırılan doğal taşların fabrikaya nakliyesi, fabrikada boyut düzenleme işlemleri, levha ve plaka kesim ve üretim işlemleri, parlatma, cilalama, boyutlandırma, köşe ve kenar pah kırma işlemleri yapılır. Ardından malzeme bilimi ve teknolojisinden faydalanılarak gerekli olan ve istenilen özellikteki standartlara erişebilmek adına kalite kontrolü sağlanır ve ambalajlanarak tüketiciye ulaştırılır.



Şekil 2.1. Doğal taş madencilik işlemleri

Bu tez çalışması kapsamında doğal taşın işlenmesi evresinde plaka üretimi ve bu amaçla kullanılan tektelli elmas kesme makinesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Doğal taş ocaklarının büyük bir kısmında kullanılan elmas telli kesme yöntemi hem ocaklarda sayalama maksadıyla, hem de işleme tesislerinde plaka üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalarda konunun muhtevası gereği makinanın işleme tesislerindeki kullanımı üzerinde durulacaktır.

2.3. Mermer Bloklardan Plaka Üretimi ve Kesim Yöntemleri

Doğal taş bloğundan levha/plaka boyutlandırılması işlemi modern tesislerde (fabrika, atölye vb.) gerçekleştirilmektedir. Kullanım sahalarına göre doğal taş ve doğal kütle üretimi yapılmaktadır. Kullanım alanına göre doğal taş blokların işlenip işlenmemesine karar verilir. Doğal taş işletmeciliğinin temel kriterleri; taşın kullanım alanı, petrografi-ticari olarak isimlendirilmesi, tesislerdeki makine ve teçhizatın planlanmasıdır.

Atölyeler ve fabrikalar doğal taş malzemesinin son ürün haline getirildiği alanlardır. Taş işletmeciliğinde tesisi tanımlayan yönler ve projelerin kriterleri açıklanmalıdır. Tesisin

anlaşılabilirliğini arttırmak için ilk olarak kullanılan teknolojinin ve akım şemasının başlangıçta belirtilmesi gerekir. Bu açıklamanın günümüzde kullanılan iki grupta yapılması pratiklik açısından önem taşır.

- Metamorfik ya da non-metamorfik karbonatlı taşlar: Mermer işlemeciliği
- Aşındırıcılık özelliği yüksek silikatlı taşlar: Granit işlemeciliği

Tesislerde kullanım alanlarına ve istenilen boyutlara göre farklı kalınlıklarda ve ebatlarda levhalar/plakalar kesilmektedir. Bu levhalar cilalama, köşe kenar çekme (pah kırma), parlatma işlemlerinden geçirilerek düzgün yüzeyli veya kumlama veya çekiçleme yapılmış doğal taş ürünleri oluşturulur.

Elde edilen ürünler genellikle yüzey arası kalınlıkları 1-4 cm, boyu taş ebadına bağlı olmakla birlikte asgari 100-200 cm olur. Çoğunlukla 240-330 cm boyutundaki yarı mamul taş ürünleri levha (slab) olarak adlandırılmaktadır. Levhalar genellikle eni belli, uzunluğu belirsiz ve dikdörtgen şekilli olurlar. 8 cm'den kalın levhalara kalın levha adı verilir.

Genişliği (eni) 15-65cm arasında olan, uzunluğu ise blok boyu ile sınırlı olan levhalara ise plaka (strip) adı verilir, bunlar da levha olarak geçen ürünlerdir; bu nedenle bu tezde levha/plaka terimi kullanılmıştır. Bu yapılar genellikle doğal taş bloklarının kesiminden oluşurlar ve yer fayansı olarak kullanılacak azami boyutları 61*61cm²'dir.

Doğal taş işlemeciliği alanında piyasa tarafından en fazla talep edilen ürünler aşağıda belirtilmiştir [34].

- Boyutlu/boyutsuz kesilmiş levha/plaka
- Yüzeyine eskitme işlemi uygulanmış ya da cilalanmış levha/plaka
- Yapıların dekorasyonunda kullanılan karo (mermer fayanslar)
 - Yer döşemesi
 - Bina iç ve dış cephe giydirmesi
 - Bina iç ve dış duvar kaplaması
- Yapılardaki eşikler, pervazlar, basamaklar vs.
- Dekorasyon eşyaları
- Sanat eserlerinin yapımları, heykel yapımı
- Yüzeyleri işlenmiş ve/veya çekiçlenmiş taşlar

Doğal taş işlemeciliği faaliyetlerinde işleme yöntemi, ocaktan alınan ham taşların fiziki durumlarına göre belirlenir. Bu yöntemin belirlenmesinde taşların boyutları, kırıklarının olup olmaması, çatlakların varlığı önem taşır. Tesislere ürünler 3 farklı şekilde gelmektedir [34]:

- Düzgün boyutlara sahip bloklar
- Şekilsiz veya yarı şekilli bloklar
- Blok halini almamış iri taş parçaları

Tesislere gelen çeşitli ürünlerin üretim aşamaları genellikle Çizelge 2.1’deki gibidir.

Çizelge 2.1. Ocaklardan tesislere gelen doğal taş bloklarının işleme aşamaları [34]

Düzgün boyutlara sahip bloklar için işleme aşamaları	Şekilsiz veya yarı şekilli bloklar için işleme aşamaları
-Sayalama -Katraklar ile veya tektelli/çoklu elmas telli kesim makineleri ile levha üretimi - Ebatlama - Yüzey düzeltme faaliyetleri - Son ürün haline getirme	- ST’ler ile (dairesele testereli blok kesme) veya tektelli/çoklu elmas telli kesim makineleri ile levha üretimi - Düşey veya yatay yarma - Ebatlama - Yüzey düzeltme işlemleri - Kenar-köşe işleme işlemleri

Çizelge 2.1.’de verilen aşamalar tesislerde belirli ve sıralı bir düzen içinde gerçekleştirilmektedir.

Tesislerdeki akım şeması baz alınarak doğal taş işleme aşamaları (ham üründen nihai ürüne kadar) aşağıdaki gibidir;

- Ocakta sayalama
- Bloktan plaka üretimi
- Boyutlandırma
- Yüzey düzenleme faaliyetleri
- Son ürün haline getirme

Sayılan işlemler işletmelerin isteğine bağlı değişiklikler gösterebilir. Talebe göre birçok şekil ve ebatta plakalar üretilebilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Üretimi gerçekleştirilmiş doğal taş plakaları [35]

2.4. Bloktan Plaka Üretiminde Faydalanılan Makineler

Ocaklardan tesislere getirilen doğal taş bloklarından levha/plaka üretimi amacıyla tesislerde çeşitli makineler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları telli kesme makineleri iken bazıları kesme düzeneklere sahip tezgâhlardır. Klasik tezgahlar bir operatörün yardımıyla çalışırlar. Tezgahlardaki bütün işlemler, kesim ve ilerleme hızları operatör tarafından idare edilir ve blokların kesilmesinde hız, boyutlama, işlemin ilerlemesi operatörün bilgi ve yeteneklerine bağlıdır. Böyle sistemlerde ya parça hareketli düzenek sabit ya da düzenek hareketli parça sabittir [34].

Bir blok kesme düzeneğinde (ticari adlandırmasıyla; yan kesme, baş kesme vb.);

- a) motor (güç kaynağı),
- b) ana mil,
- c) ana mile kesme takımı (örneğin; dairesel testereler),

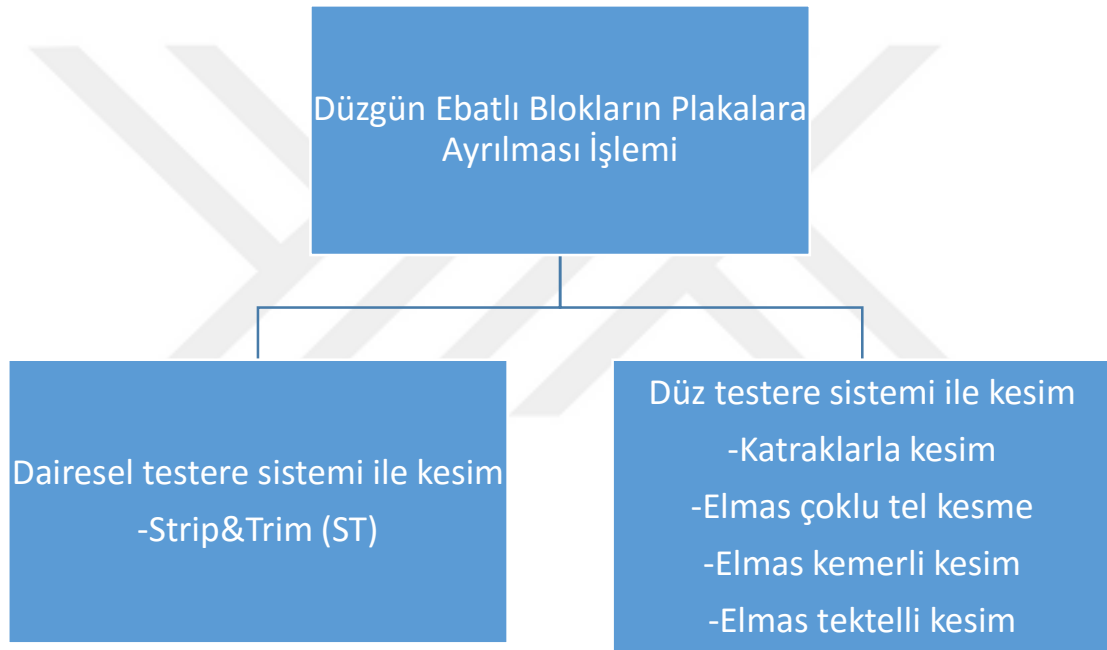
d) kesimi gerçekleştirilecek olan bloğun üzerinde bulunduğu sabitlenmiş vagon veya hareketli masa gövdesi,

e) motor ve mili taşıyan, ilerleme hareketlerini sağlayan kızaklar ve sabit ayaklardan meydana gelmektedir.

Şekilsiz, yarı şekilli veya sayalanmış doğal taş bloklarının plakalara/levhalara ayrılması işleminde temel olarak aşağıdaki kesim yöntemleri kullanılmaktadır (Şekil 2.3).

a) Dairesel testere sistemi ile kesim

b) Düz testere sistemi ile kesim



Şekil 2.3. Sayalanmış blokların plakalara ayrılması işlemi

2.4.1. Dairesel Testereler

Dairesel testereli kesim makineleri genellikle düzensiz olan doğal taş bloklarından levha/plaka üretimi ile boyutlandırılmış ürünler almak için kullanılır (Şekil 2.4). Yöntemin ve kullanılan teknolojinin avantajları aşağıda sayıldığı gibidir [34];

1. Makinenin ilk yatırım maliyetlerinin düşük oluşu,
2. Blok kesim makinesinin çok amaçlı kullanılabilir oluşu,
3. Boyutları düzensiz olmayan blokların verimli kesilebilmesini sağlıyor oluşları,

4. Az miktarda üretime yönelik olup, bu tür işlemlerde ekonomik olması,
5. Çıktıları yarı mamul veya mamul olarak elde edilebiliyor oluşu,
6. Dairesel testere ve blok tablasının hareket kabiliyetinden dolayı beş eksenle kesim yapabilme özelliği,
7. Farklı kalınlıklarda levha kesilmesine olanak sağlıyor oluşu bu yöntemin kullanılmasının avantajlarından.

Bu makinelerde her türlü kayacın kesimi gerçekleştirilebilmektedir bu yönüyle çok lamalı blok kesme makinelerinden ayrılır.



Şekil 2.4. Dairesel testereli kesim makinası (S/T)

2.4.2. Düz Testereler

Elmas telli kesici, tek telli kesim makinesi veya sayalama makinesi yardımıyla yapılan sayalama sonucunda düzgün şekilli doğal taş bloklarından istenilen boyutlardan parçalar elde edilmesi esnasında kullanılan düz testere sistemine sahip makinelerdir. Bu aşamada

katraklar, elmas çoklu tel kesme makinesi, elmas kemerli kesme makinesi veya elmas tektelli kesme makinesi kullanılır.

2.4.2.1. Katraklar

Bu tip makineler çok testereli kesim makineleri olarak da adlandırılır ve bu makineler ocaklardan gelen bloklardan aynı zamanda birden çok levha/plaka elde edebilirler (Şekil 2.5). Bunlar kesme yöntemine, cinsine ve kesim yönüne göre adlandırılırlar. Eski zamanlardan çağımıza kadar bu makineler geliştirilerek kullanılmıştır. Günümüzde elektrik motorları yardımıyla hareket eden çelik testerelerle ya da testere eklenmiş elmas soketler yardımıyla kesim işlemi yapılmaktadır.

Düz taş hızzarları veya çok testereli taş kesim makineleri olarak da adlandırılan katraklar genellikle dökme demir malzemedan imal edilirler [34].



Şekil 2.5. Elmaslı katra

2.4.2.2. Elmas Çoklu Tel Kesme Makinası

Çok sayıda elmas tel ile kesim işlemini yapan bu kesiciler, birden fazla elmas boncuklu telin aynı anda hareketi ile kesimi gerçekleştirirler (Şekil 2.6). Bloklardan plaka üretimi sağlamak için kullanılmaktadırlar. Bu makinalar tek telli makinelerin yeni modelleridir. Bu sistemde 2-60 arası sayıdaki elmas boncuk tel ayrı ayrı kontrol edilmekte ve gerginleştirilmekte olup, bu teller yan yana çalıştırılır. Çoklu tel makinelerinin üstünde elmas tellerinin gerginliklerini ayrı ayrı sağlayan pnömatik silindirler bulunmaktadır. Makinenin iki tarafında da katraklarınkine benzer büyüklükte çapa sahip kasnaklar ve bunlardan daha küçük çaplarda gerilim kasnakları vardır. Bu makinalar, tek telli makinelerin en gelişmiş halleridir [34].



Şekil 2.6. Elmas çoklu tel kesme makinası [36]

2.4.2.3. Elmas Kemerli Kesme Makinası

Tek parça halinde kesimler yapan elmas kemerli kesiciler yalnızca kalker ya da kalker kökenli kayalar da veya benzer sertliklere sahip farklı kayalar da kullanılabilir. Makinede telli kesicilerle benzeşen yapıda iki adet makara ve bunların çevresine

yerleştirilmiş hareket eden elmas bir kemer vardır. Bloğu vagon taşımaktadır. İşlem sırasında kemer aşamalı olarak aşağı yönlü hareketini gerçekleştirmekte ve bu şekilde plakaların üretimi yapılmaktadır. Bu sistem bir hayli verimli ve gayet düz yüzeylere sahip levhalar oluşturacak şekilde kesimler gerçekleştirmektedir. Buna rağmen kesim esnasında çok fazla su tüketimi yapmakta ve kesim kalınlığı yeteri kadar ince olamamaktadır [34].

2.4.2.4. Elmas Tek Telli Kesme Makinası

Doğal taşlar bulundukları ocaklardan çıkarılırken genelde elmas telli kesim yöntemi kullanılır. Mermer sahalarında da mermer bloklar bu yöntem ile çıkarılmaktadır. Geçmiş uygulamalara bakıldığında kesici yapıdaki telin belirli bir düzenek üzerine monte edilmiş bir ray doğrultusu boyunca hareketini sağlayan bir makineye kurulduğu görülmektedir. Şimdiki uygulamalara bakıldığında ise kesici yapıdaki telin sabit ve hareketsiz bir makina üstüne kurulduğu görülmektedir. Kullanılmakta olan bu makinalara bir tane veyahut bir taneden daha fazla sayıda tel takılarak kullanılabilir. Üstünde 1 metrede 30 ile 40 adet arasında silindirik yapıda elmas boncuk bulunduran çelik tele elmas tel denilmektedir. Elmas tele kesim işleminin öncesinde işlem esnasında eksenel dönme hareketini sağlayabilmesi adına ön büküm uygulanmaktadır. Bu metot işlenen plakanın yüzey kalitesine etki edebilecek olan asimetrisi önlemekte ve böylece boncukların düzgün bir şekilde aşınmasını sağlamaktadır.

Tektelli kesim makinaları üretimi henüz yapılmış doğal taş blokların sayılanmasında ve bu bloklardan levha/plaka üretme aşamalarında kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında makinenin plaka üretiminde kullanılması aşaması üzerinde yoğunlaşmıştır. Kesimin gerçekleştirildiği fabrikalarda amaç oluşabilecek en az maliyetle ve istenen kaliteye sahip ürün elde etmektir.

Tektelli kesim makinesinde kesim işlemi elmas tel vasıtasıyla yapılmaktadır. Elmas telli kesme metodu kullanılarak üretim yapılan bir tesiste elmas tel maksimum verimle çalıştırıldığı zaman, elmas tel aşınması minimuma indirilmiş ve böylece telin ömrünün uzun olması ve yüksek kesim hızlarında kesme işleminin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Bu durum işletme giderlerini olabildiğince azaltarak işletme ekonomisine katkı sağlamaktadır. Elmas telle kesim metoduyla gerçekleştirilen kesme işlemlerine etkiyen birçok değişken parametre vardır. İlk yatırım maliyeti diğer makinalarla karşılaştırıldığında daha yüksek olan tektelli kesim makinelerinin kesim sistemlerinin detaylı şekilde irdelenerek, verimli bir biçimde kullanılmaları doğal taş işleme fabrikalarının üretim verimliliklerine ve dolayısıyla üretim maliyetlerinin düşmesine katkı sağlayacaktır.

Doğal taşların işletilmesinde kullanılması amacıyla tasarlanan elmas teller 5 mm çapında çelik malzemeden üretilmişlerdir. Bu tellerin üzerinde paslanmaz çelik yaylar vardır ve bu yayların aralarına elmas boncuklar yerleştirilmiştir. Bunlara ilaveten bir bağlantı elemanı ile tel iki ucundan birbirine bağlanırken, elmas boncuk ve yayların arasında ufak çaplı pullar bulunmaktadır.

Elmas boncuklar kullanılacakları yerler ve üretim tekniğine göre değişik çap değerlerinde üretilmektedirler:

Elmas boncukların dış yüzeylerinin çapları 7,3, 8, 8,5, 10, 10,5, 11 ve 12 mm arasında değişiklik göstermektedir.

Boncuk çapları 7, 8 ve 8,5 mm arasında değişiklik göstermektedir.

Boncuk içi çapları 4,2 ve 5,1 mm arasında değişiklik göstermektedir.

Çelik halat çapları 4, 4,8 ve 4,9 mm arasında değişiklik göstermektedir.

Yumuşak ile orta sertliğe sahip kayaçların kesimlerini yapmak için kullanılan elmas boncukların matriks yapılarının hacimlerini hesapladığımız zaman en yüksek matriks oranının 11 mm çap büyüklüğüne sahip elmas boncuklarda olduğu görülmektedir. Çapların küçülmesiyle bu oran düşmektedir. Buradan çıkarımla aynı özellikte matriks yapısına sahip iki farklı çap değerine sahip elmas boncuklar karşılaştırıldığında çap büyüklüğü fazla olan elmas boncuktan daha fazla performans alınmaktadır.

Çizelge 2.2’de dairesel testere sistemi ile kesim ve düz testere sistemi ile kesim yöntemlerinde kesim verimine etkiyen parametreler verilmiştir. Minimum maliyet ile maksimum verimin sağlanacağı blok kesimine imkan sağlanabilmesi için, belirtilen faktörlerin dikkatli bir biçimde değerlendirilerek ayarlanması gerekmektedir.

Çizelge 2.2. Dairesel testere, Katrak ve Elmas Tektelli Kesme yöntemleri kullanılarak yapılan kesimlerde kesim verimine etkiyen faktörler [34]

Değişmeyen Özellikler	Müdahale Edilebilir Değişkenler			
Kesimi Yapılacak Olan Kayacın Sabit Parametreleri	ST'lerin Sahip Olduğu Değişken Parametreler	Elmas Lamalı Katrakların Sahip Olduğu Değişken Parametreler	Tektelli Elmas Kesme Yönteminde Kullanılan Ekipmanların Özellikleri	Ortam Koşulları
• Fiziksel özellikler • Kimyasal özellikler • Mineralojik özellikler • Petrografik özellikler • Tane-yönlenmesi ve dolgulu süreksizlikler • Dokusal özellikler • Yapısal özellikler • Bozunma karakteristiği	• Testere çapı • Soket durum • Metalurjik matriks yapı • Tolerans limitleri • Elmas tipi ve oluşumu • Testerelerdeki aşınma şekilleri • Çevresel hız	• Kesme hızı • Soketler arasındaki mesafe • Soketlerin yapısı • Su miktarı ve basıncı • Suyun temizliği ve pH'ı • Kesilen blok boyutları • Makinaların yapısı, motor gücü • Testere boyutları, yapısı ve sayısı • Kesimde testerelerdeki basınç dağılımı • Elmas taneleri ile doğal taş arasındaki kuvvetler • Titreşim	• Motor gücü ve telin dönüş hızı • Telin yapısı • Elmas boncukların yapısı • Kesimi gerçekleştirilen blok ebatları • Kesim süresince telin kesim geometrisi • Makina titreşimi • Su tüketimi • Metrede bulunan boncuk sayısı • Kasnağın çapı • Gerdirme amperajı • Kasnak devir hızı	• Besleme kuvveti özellikleri • Su miktarı • İlerleme hızı • Motor devri • Çevresel hız • Kesme derinliği • Kullanılan kesme yöntemi • Teknik personel

2.5. Doğal Taşların İşlenmesi Esnasında Meydana Gelen Problemler

Doğal taşların işlenmeleri sırasında yanlış makine kullanımı, kesim parametrelerinin iyi belirlenememiş olması ve çalışma ortamından kaynaklanan nedenlerden dolayı bir çok problem meydana gelmektedir. Bu problemler genel hatlarıyla aşağıda sıralanmaktadır [38]. Bu tezde makine seçiminin kesimi problemleri kayaçlarda ne denli önemli olduğu belirlenmiştir.

2.5.1. Testere İzleri

Kesilen kayacın dış görünüşünü bozarak, ticari değerini düşüren ve olumsuz anlamda etki eden en önemli problemlerden bir tanesi testere ve kalibre izleridir (Şekil 2.7). Bu izlerin ortaya çıkışında birden fazla etkiyen parametre bulunmaktadır. Bu probleme yol açan hususlardan bazıları şöyledir:

- Kayaç özelliğine uygun makine seçimi yapılmaması,
- ST makinasının ayarının bozuk olması,
- Kesilen kayacın değişken ebatlı olması,
- Cila makinasında yaşanan problemler,
- Yanlış kesici malzeme seçimi,
- Yanlış kalibre ve basınç ayarları,
- Kesim işlemi sırasında beklenmeyen duraklamalar.

Bahsedilen kusurların giderilebilmesi adına özellikle ST ve katraktan elde edilmiş olan levha ve plakaların kalınlıklarında belirli standartların yakalanmış olması önem taşımaktadır. Söz konusu kalınlıklarda belirli bir standart oluşturulamaz ise sonraki işlem aşamalarında bu problemlerin telafisi güçleşmektedir. İşleme aşamasındaki kayıplar üretim hızında düşüş yaşanmasına ve verimliliğin düşmesine sebep olmaktadır. Üretimde yaşanan düşüşlere bağlı olarak daha fazla basınca muhatap kalan taşlar ise kırılabilmektedir.



Şekil 2.7. Üretilen plakada testere izleri [39]

2.5.2. Taş yüzeyinde oluşan çizik ve kırıklar

Farklı işlemlerden geçirilerek son ürün haline getirilen doğal taşlara, bu süreçlerde uygulanan işlemler esnasında yüzeylerinde meydana gelen istenmeyen çizik ve kırıklardır (Şekil 2.8). Bu kusurlar son ürünün kalitesini düşürerek verimliliği olumsuz etkilemektedir.

Bu tür problemlerle karşılaşmamak adına bazı tedbirlerin alınması elzemdir. Bu tedbirler şu şekilde sıralanabilir;

- Kesim esnasında soğutucu suyunun ayarı iyi yapılmalıdır,
- Kesilecek olan taşta en uygun makine ve ekipman seçimi yapılmalıdır,
- Kesilecek olan blok kütlesinin makine boyutlarıyla uyumlu olması sağlanmalıdır,
- Kesimi yapan ekipmanın taş ile temas ettiği yüzeylerinin düzenli olarak kontrolü sağlanmalıdır.



Şekil 2.8. Üretimi esnasında taş yüzeyinde oluşan çizik ve kırıklar [38]

2.5.3. Çatlak ve Kırıklar

Doğal taşların yapılarına ve dokusal niteliklerine bağlı olarak hem üretim aşamasında hem de üretimden sonra işlenme aşamalarında muhatap kaldıkları basınçlar ile birlikte ortaya çıkan çatlak ve kırık oluşumları gözlemlenebilmektedir (Şekil 2.9). Bu tür problemler üretimin verimliliğini düşürdüğü için ticari açıdan arzu edilmeyen hususların başında gelmektedir. Doğal taşın yapısında ve dokusunda kırılabilirlik mevzubahis ise kesim akabinde epoksi işlemi uygulanır. Böylece taşın güçlendirilmesine yardımcı olunur. Ancak bu işlem maliyetleri artıracığı için çok fazla tercih edilmez, bunun yerine üretimde doğru makine ve ekipman seçimi yapılarak söz konusu kusurların ve problemlerin oluşmasının önüne geçilmesi gerekir. Kayaçlarda oluşan bu problemleri azaltmak için süreç esnasında uygulanan işlemlerde kayacın maruz kaldığı basınçların uygun bir şekilde ayarlanması çok önemlidir. Bununla birlikte üretim esnasında kırılmalar mevzubahis olduğunda üretimin durdurularak yapılması gerekenlerin bu esnada tasarlanması ve uygulanması meydana gelebilecek başka kırılmaların önüne geçecektir.

Kırılabilirlik özelliği bulunan taşlar için en uygun makinenin belirlenmesinde çeşitli faktörler rol oynamaktadır. Bu faktörlerin belirlenmesi için literatürde bulunmayan daha bir çok çalışmanın yapılması ve bunların endüstri ile paylaşılması üretimde verimliliğin artırılması adına ve kesimde doğru taş için doğru makinenin seçilmesi noktasında çok büyük önem taşımaktadır.



Şekil 2.9. Üretimi esnasında kırılan plaka [40]

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tektelli blok kesme makineleri doğal taş bloklarının sayılanması işleminde ve bloklardan levha kesme işlemlerinde kullanılabilmektedir. 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. Elmas telli kesme yönteminin kullanıldığı bir tesiste, işletme ekonomisini etkileyen faktörlerden bir tanesi de elmas boncuklarda kesim sırasında meydana gelen yüksek aşınmalar sonucunda kesim verimliliğinin düşmesi ve bunun sebep olduğu tel ömrünün kısalmasıdır. Bu yüzden kesme sisteminin anlaşılması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, ST ve Katrak türü makinalarla plaka üretiminde zorluk yaşanan doğal taşların tektelli blok kesme makinesi ile kesilebilirliğinin araştırılmasıdır. Bu hedef doğrultusunda, Sivas'dan getirilen kayacın Bilgisayar Kontrollü Tam Otomatik Tektelli Kesme Sistemi ile farklı çevresel hız ve farklı kesme hızlarında kesim deneyleri yapılmıştır.

Çalışmada Sivas ilinde elmas telli kesme yöntemiyle üretim yapan bir doğal taş ocağından (kireçtaşı türü) getirilen blok örnekleri üzerinde tektelli blok kesim makinesiyle kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu doğal taşın seçilmesinin sebebi bu taşın ST ve Katrak türü makinalarla blok kesiminde blok veriminin çok düşük olması ve blok iyileştirme çalışmaları yapılmadan kesinlikle plaka üretiminin gerçekleştirilememesidir. Bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde geliştirilen bilgisayar kontrollü ve tam otomatik tektelli kesme makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 3 farklı çap değerine sahip elmas tellerle (7,3 mm, 8,5 mm ve 11 mm) ve farklı kesme kalınlıklarında (2, 3, 4, 5, 6 cm) daha önce kireçtaşı için önerilen optimum tel dönüş hızı ve kesim hızı değerlerinde kesim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra en düşük kesim kalınlığı değerleri ve optimum performans parametrelerini veren boncuk çapı değeri için 3 farklı tel dönüş hızı (28, 30 ve 33 m/sn) ve 3 farklı kesim hızı (12, 16 ve 20 mm/dk) değerinde kesimler gerçekleştirilerek boncuk aşınması ve kesimde tüketilen enerjiye bağlı grafikler üretilerek bunlar yorumlanmıştır.

3.1. Yöntem

Tez çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen faaliyetler beş temel maddede özetlenmiştir.

i. İlk olarak tektelli blok kesme makinesinde kesilecek doğal taş türü belirlenmiştir. Bu deneyde kullanılmak üzere Sivas Beji kireçtaşı numunelerinden kesime uygun düzgün şekilli olanları ve boyutları minimum 1m*1m*1m (1 m³) olanları seçilerek laboratuvara getirilmiştir. Kullanılan taş Sivas bej ticari isimli kireçtaşıdır.

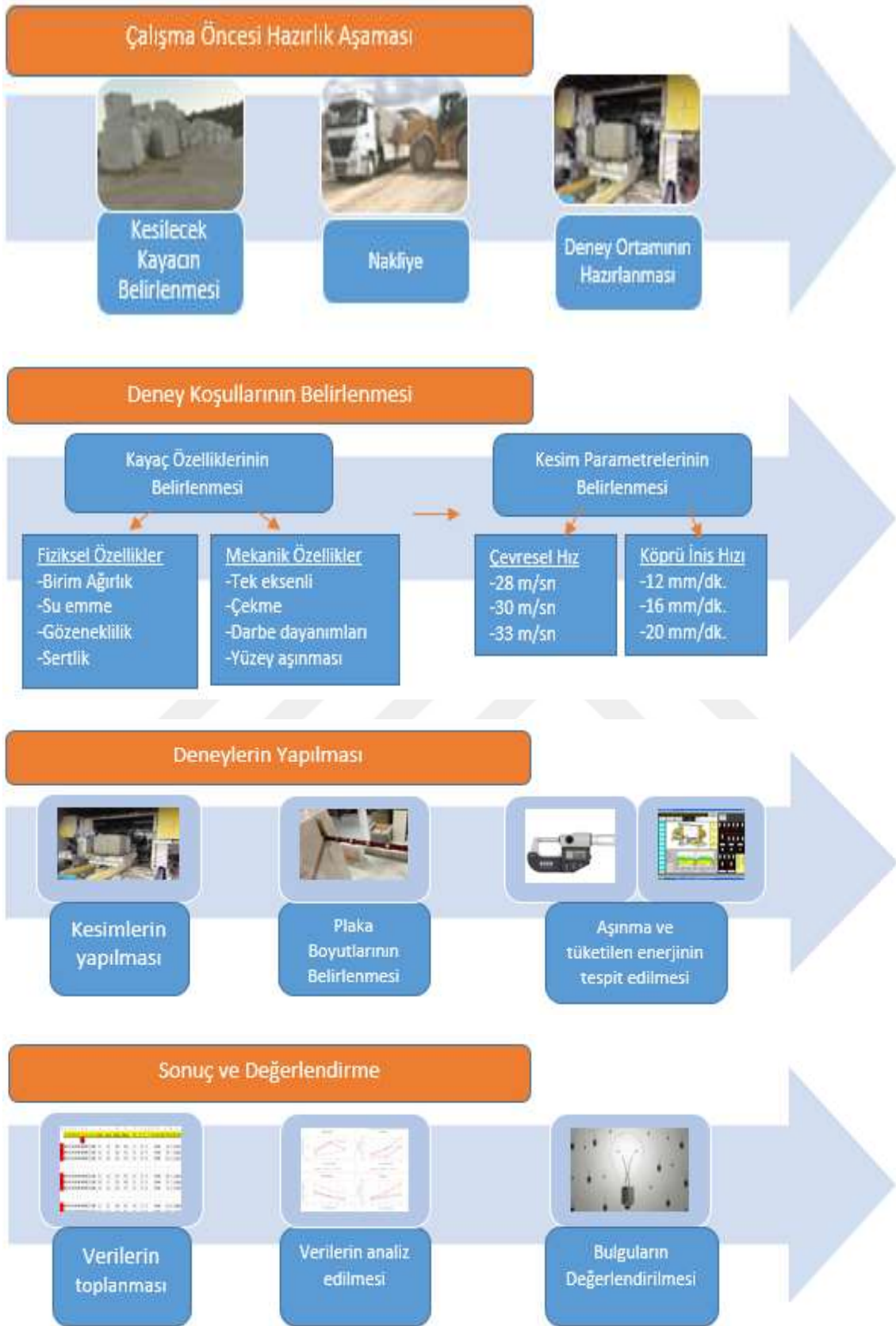
ii. Deneyde kullanılmak üzere 3 farklı çap boyutunda (7,3 mm, 8,5 mm ve 11 mm) tel tedarik edilmiştir.

iii. Numune üzerinde tektelli kesme makinesi kullanılarak 3 farklı dönüş hızı (28, 30 ve 33 m/sn) ve 3 farklı kesim hızı (12, 16 ve 20 mm/dk) ile kesimler yapılmıştır. Numunenin kesimine başlamadan farklı çaplardaki boncuklarla (7,3 mm, 8,5 mm ve 11 mm) ve farklı kesim kalınlıklarında (2, 3, 4, 5, 6 cm) kesimler gerçekleştirilmiş; plakların kırılmadan alınabildiği belirlenen en uygun kalınlık olan 2 cm'lik plaka kalınlığı kullanılmıştır. Çalışma süresinde 2 cm aralarla kesimler yapılmıştır.

iv. Denek üzerinde makinedeki iki yönlü titreşim, çevresel hız (tel dönüş hızı), elmas tel üzerindeki iki yönlü kuvvet, kesim hızı (köprü iniş hızı), akım ve tel gerginliği değişkenleri incelemeye tabi tutulmuştur. Bunlara ek olarak performans kriteri olarak değerlendirilen kesimde harcanan enerji ve elmas boncuklardaki aşınma değerleri de incelenmiştir.

v. Deneyin sonucunda tektelli kesme makinesinde 7,3 mm, 8,5 mm ve 11 mm çapındaki boncuklar kullanılarak sorunlu bir kayaç olarak nitelendirilen Sivas bej üzerinde birim aşınma ve birim enerji deneyleri yapılarak incelemelerde bulunulmuş ve genel bir sonuç değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışmada takip edilen yöntem şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada takip edilen yöntem

3.2. Bilgisayar Kontrollü Tam Otomatik Tektelli Kesme Sisteminin Tanıtımı

Bu tez kapsamında Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliğince geliştirilen bilgisayar kontrollü tam otomatik tektelli kesme makinası kullanılmıştır. Bu makine endüstride kullanılan tektelli kesim makinalarından biraz daha farklıdır. Bu farklılıklar genel olarak kesimde ciddi öneme sahip bazı parametrelerin efektif bir şekilde izlenilebilmesi amacıyla tele ve makinanın belirli bölümlerine yerleştirilmiş farklı sensörler ve ölçüm aletleridir.

Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliğince tasarımı yapılarak ürettirilen bilgisayar kontrollü tam otomatik tektelli blok kesme makinasının görüntüsü Şekil 3.2’de; boyutları ise Şekil 3.3’de verilmiştir. Bu makine vasıtasıyla 1,2 m yüksekliğe ve 1,2 m genişliğe sahip bloklar rahatlıkla kesilebilmektedir.

Bahsedilen tektelli blok kesme makinası dört ana birimden meydana gelmektedir:

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



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan tektelli kesme makinesinin genel görünümü



Şekil 3.3. Bilgisayar kontrollü tektelli kesim makinesinin boyutları [3]

3.2.1. Mekanik Birim

Tektelli kesim makinası bir elmas telli blok kesim makinasıdır. Makinede dikey aşağı yönlü tel hareketini yapmasına imkan tanıyan yukarı-aşağı köprü hareketi ve yatay düzlemde kesim hizasına gerekli ayarı veren sağa-sola vagon hareketi vardır. Kesim köprüünün düşey yönlü hareketiyle yapılmaktadır. Mekanik birim motorlar, dişli kutuları ve vidalı millerden meydana gelmektedir.

3.2.2. Hidrolik Birim

Tektelli kesim makinasında elmas telin gerginliğini ayarlama ve tablayı kendi ekseninde çevresinde dönme hareketini sağlama amaçlarıyla hidrolik sistemlerden faydalanılmaktadır. Kesim tablası ve tel germe sistemi hidrolik sistemlerin kullanıldığı bölümlerdir.

3.2.3. Elektrik ve Elektronik Birim

Tektelli kesim makinası kesimler esnasında gerçekleştirilmek istenen kesim şartlarının yanlışsız bir şekilde makineye ulaştırılması ve kesim esnasında saptanması beklenen parametrelerin yanlışsız ve duyarlı bir biçimde ölçülmesi amacıyla uygun elektrik/elektronik donanımla tasarlanmıştır. Makinenin elektrik/elektronik donanımında kullanılan ekipmanlar sırasıyla; yük hücreleri, titreşim ölçerler, debi ölçer, sonlandırma şalterleri ve kontrol panelidir.

3.2.4. Otomasyon Birimi

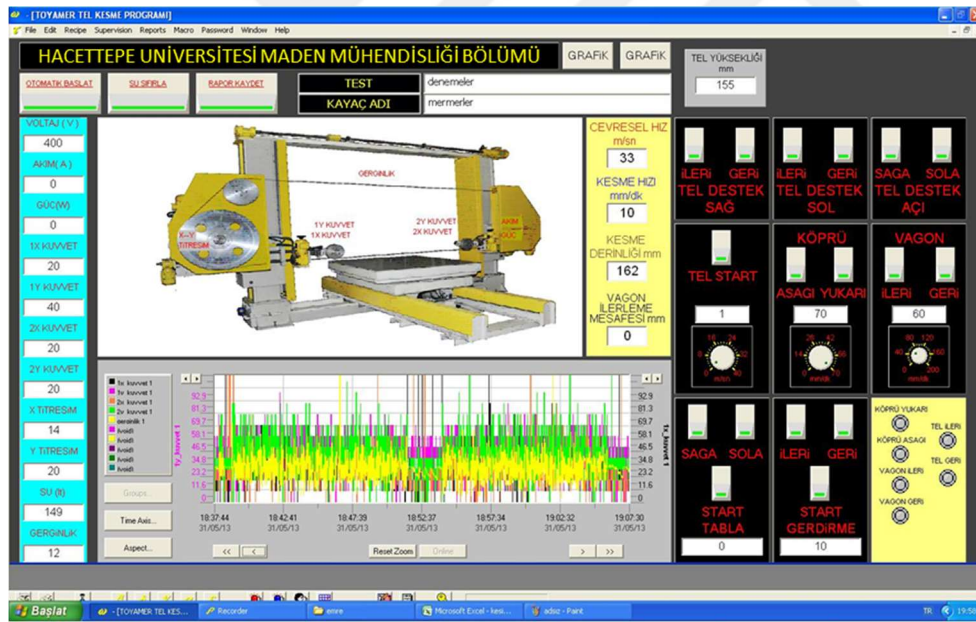
Makinenin bilgisayarla kontrol edilmesini sağlayan birimdir. Tektelli blok kesme makinesi de bu yolla kontrol edilebilmektedir (Şekil 3.4).

Söz konusu otomasyon programı kesim yapılmasını sağlayan çeşitli değişkenlerin (telin dönüş hızı, kesme derinliği, kasnak germe basıncı, yardımcı kasnakların kesim açısı değerleri, vagon ileri-geri hareket hızları vb.) makineye bilgisayar aracılığıyla ulaştırılması ve sayılan değişkenlerle yapılan kesimler esnasında oluşacak olan bulguların (telde oluşan titreşim, iki yönlü tepkisel kesme kuvvetleri, su miktarı, kullanılan enerji vb.) izlenmesini sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Program bir saniyelik aralıklarla oluşan verileri kaydederek verilerin kolayca incelenmesine olanak sağlar.

Program sayesinde veriler belirli aralıklarla kaydedilebilmekte ve grafiksel olarak incelenebilmektedir. Aynı zamanda bu veriler Microsoft Excel ve SPSS gibi başka

programlara da aktarılabilmektedir. Aktarılan veriler sayesinde tüm değişkenler arasındaki ilişkiler incelenebilmekte ve istatistiksel analizleri yapılabilmektedir.

Bilgisayar aracılığıyla çalışan otomasyon programı sayesinde tektelli kesme sistemi üzerinden alınan veriler anında bilgisayar ekranında görüntülenebilmektedir. Programın ekranında seçilmiş olan parametreler ile elde edilen veriler aynı anda grafik halinde ekrana yansıtılabilmektedir. Kesim anında gerçekleşebilecek ani değişiklikler görülebilmekte ve bunlara müdahale edilebilmektedir. Kesim sırasında elde edilen verilerin kaydedilebilmesi amacıyla kesim öncesi ana ekrandaki “raporu kaydet” butonu aktif hale getirilmelidir. Kesimin gerçekleştirileceği kesme hızı, germe basıncı, çevresel hız, iniş mesafesi değerleri girilip, otomatik başlat butonuna basıldığında makina kesim işlemine başlar. Tektelli makine kesimi gerçekleştirirken, girilmiş olan iniş mesafesine göre kalan kesim uzunluğu ekrandan takip edilebilmektedir. İniş mesafesinin bitiminde köprü kendiliğinden başlangıç noktasına döner. Nihayetinde işlem bitişinde gerekli veriler alınarak ve raporu kaydet tuşuna tıklanarak alınan veriler kaydedilir [3].



Şekil 3.4. Otomasyon programı arayüzü

3.3. Tez Kapsamında Kullanılan Kireçtaşı Türü Kayacın Teknik Özellikleri

Tez çalışmalarında kullanılmış olan kayaç Sivas yöresinden getirilmiş olup, ticari ismi Sivas Antik Bej’dir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan kireçtaşı (Sivas Antik Bej)

Kayacın mineralojik ve dokusal özelliklerinden dolayı ST ve Katrak türü makineler vasıtasıyla plaka üretimi esnasında çeşitli problemler oluşmaktadır. Söz konusu teknik özellikler Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Tez kapsamında kullanılan kayacın teknik özellikleri [41]

Sertlik (Mohs)	3,5	Tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm ²)	933,74
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2,72	Kohezyon (kg/cm ²)	202,24
Gözeneklilik %	0,195	İçsel sürtünme açısı (O)	49,73
Nem oranı %	0,109	Elastisite modülü (GPa)	35,37
Suya dayanım indeksi %	99,75	Poisson oranı	0,316
Darbe dayanım (kg/cm ²)	3,44	Nokta Yüklü Dayanımı (kg/cm ²)	57,59
Dolaylı çekme dayanımı (kg/cm ²)	74,1	Doluluk Oranı %	99,8
Eğilme dayanımı (kg/cm ²)	141,28		

Çalışmanın başlangıcında numune belirlenerek laboratuvara naklieleri sağlanmış ve bu kayaç üzerinde kesim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kesimler bitirildikten sonra veriler toplanarak analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.4. Kesim Deneylerinin Gerçekleştirilmesi ve Veri Analizleri

Deneyin bu kısmı Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Mermer Teknolojileri Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiş ve tektelli bilgisayar kontrollü kesim sistemi kullanılmıştır. Deney boyunca getirilen numune üzerinde farklı değişkenlere kesim gerçekleştirilmiştir. Kesim deneyleri yapılırken HRK firması tarafından üretilen plastik kaplamalı ve 12 metre uzunluğunda elmas teller kullanılmıştır(Şekil 3.6). Özçelik ve Yılmazkaya [42], yaptıkları çalışmada; elmas bocukların kullanım ömürleri boyunca 3 farklı davranış gösterdiğini belirlemişlerdir. Elmas boncuk çapı 10,6 mm'nin altına düştüğünde hem farklı davranış göstermeye başlar hem de kesme performansında düşme gözlemlenir. Bu düşmenin yaşanmaması için bu çalışma boyunca elmas teli çapı 10,6 mm'nin altına düştüğünde her defasında elmas tel değiştirilmiş ve çalışma yeni tel kullanılarak sürdürülmüştür.

Bu tez kapsamında yapılmış olan deneysel çalışmaların geliştirilmesi için Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü ve laboratuvarının araştırma olanakları, geçmişte yayınlanmış olan yol gösterici niteliğe sahip doktora tezleri, yayınlar ve sektörün tecrübeli isimlerinin deneyimlerinden faydalanılmıştır. Bu deneylerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan en büyük donanım Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında mevcut bulunan bilgisayar kontrollü tam otomatik tektelli kesme makinesidir.



Şekil 3.6. Kesim işleminde kullanılan elmas telden bir görüntü

Deney sırasında elmas teli değiştirmek veya koparmak için Şekil 3.7’deki tel kesim makası kullanılmıştır. Elmas tellerin uçlarını birleştirmek amacıyla kullanılan bağlantı malzemeleri Şekil 3.8’de gösterilirken bağlantı malzemelerini sıkmada kullanılan hidrolik makas Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Tel kesiminde kullanılan makas [43]



Şekil 3.8. Bağlantı malzemeleri [44]



Şekil 3.9. Hidrolik makas [45]

Kesim boyunca kullanılan bütün değişkenler aşağıda belirtilmiştir;

- 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)

Gerçekleştirilen kesimler boyunca yük ölçerler yardımıyla tepkisel kesim kuvvetleri ölçülmüştür. Makinedeki enerji analizörü anlık enerjiyi ölçmek için, titreşim ölçer teldeki titreşimleri ölçmek için, debi ölçer ise kullanılan su miktarını ölçmek için kullanılmıştır. Kesim boyunca kullanılan su miktarı 6-8 lt/dk miktarıyla sınırlandırılmıştır. Germe kasnağında bulunan germe pistonu 1 MPa değerinde sabit tutularak deney gerçekleştirilirken kesilen kayaç genişliği 1m ve deney süreleri 45'er dakikadır.

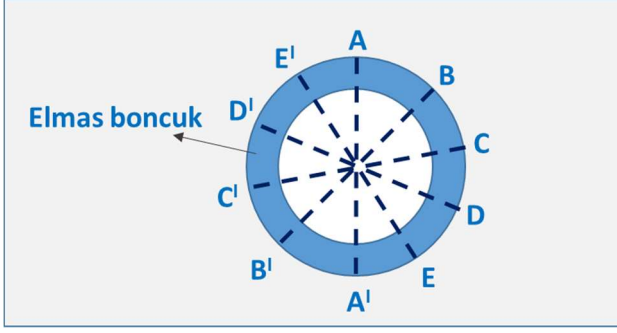
Yapılan deney performans açısından değerlendirilmiş, birim aşınma ve birim enerji incelenmiştir. Birim alan başına boncukta oluşan çapsal aşınma miktarına birim aşınma değeri ($\mu\text{m}/\text{m}^2$) denir. Deneyde aşınma ölçümlerini yapmak için mikrometre cihazından yararlanılmıştır.(Şekil 3.10). Numune üzerinde kesim yapılmadan önce tel üzerindeki 20 adet boncuk seçilmiş ve spreyl boya ile işaretleme yapılmıştır(Şekil 3.11). Kesim deneylerinin sonuna gelindiğinde boncuk üzerindeki boyalar silinirken plastik üzerindeki boyalar silinmemekte ve böylece seçili boncuklar rahatlıkla seçilebilmektedir. Seçilmiş bu boncukların çapları her kesim başında ikişer kez ölçülmüş ve mikrometre kullanılarak beş farklı yönden (Şekil 3.12) A-AI, B-BI, C-CI, D-DI ve E-EI ölçülmüştür. Nihayetinde yapılan 2 ölçümün ortalaması alınmıştır. Deney sonunda boyalı boncukların çapları tekrar ikişer kez ölçülerek, her 2 ölçümün ortalaması alınmıştır. Kesimde kullanılan elmas boncuklardaki aşınma miktarını hesaplamak için kesim öncesi ve sonrasındaki çap farklarının ortalaması alınmıştır. Kesim parametreleri kesilen alan ve kesim süresine göre farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılıkları karşılaştırmak amacıyla aşınma değerleri her bir kesimde oluşan alan miktarına bölünmüş ve birim aşınma bulunmuştur. Birim aşınma; birim alanı keserken boncuklarda meydana gelen değerdir.



Şekil 3.10. Kesimde boncuk çaplarının ölçümde yararlanılan mikrometre cihazı [46]



Şekil 3.11. Sprey boya kullanılarak işaretlenen boncuklar [3]



Şekil 3.12. Elmas boncukta ölçülen 5 farklı nokta [3]

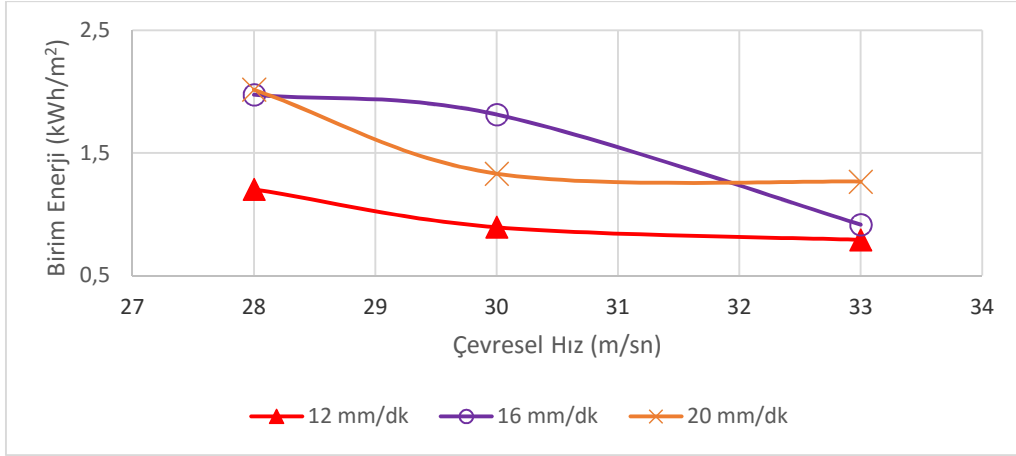
Birim alandaki kayacı kesmek için gereken enerji miktarına birim enerji denir (kWh/m^2). Birim enerji; enerji analizörü ile ölçülen net güç değerlerinin ortalamasının süreyle çarpılarak kesim yapılan yüzeyin alanına bölünerek bulunur. Gerçekleştirilen deneydeki güç değerleri güç analizörü ile hesaplanarak kaydedilmiştir. Her bir kesimden önce elmas telin kesim öncesi değeri kesim sırasındaki değerinden çıkarılarak birim enerji hesaplanmıştır. Bu işlem net enerji değerini hesaplamak amacıyla yapılmıştır.

3.5. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

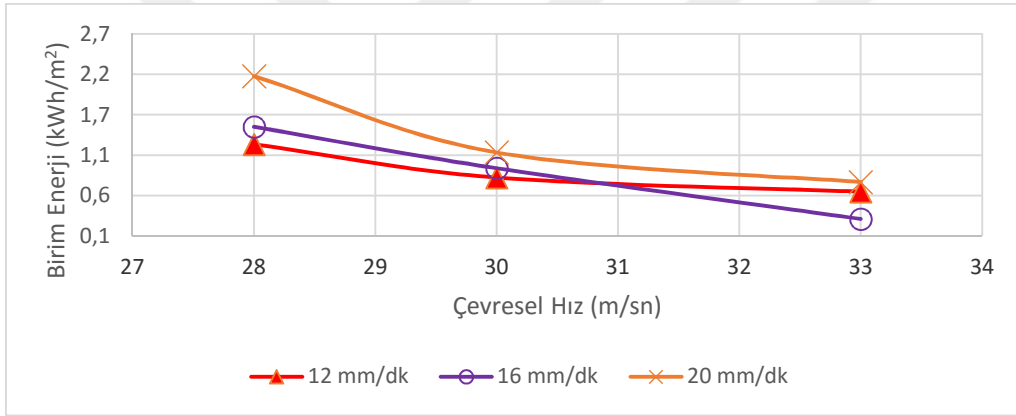
Gerçekleştirilen çalışmada Sivas antik bej ticari isimli doğal taş üzerinde kesme deneyleri yapılmıştır. Çalışmada tektelli kesme makinesi farklı kesme hızları ve farklı tel dönüş hızlarında kullanılmıştır. Yapılan çalışmaların akabinde elde edilen veriler kullanılarak, doğal taşın farklı kesme ve dönüş hızında iki yönlü titreşim ve iki yönlü tepkisel kuvvetlere verdiği tepki elmas telli kesme yönteminin kesim değişkenleri (harcanan enerji ve birim aşınma) hesaplanarak incelenmiştir.

3.5.1. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Kesme Hızlarında Çevresel Hıza Bağlı Birim Enerji Değişimleri

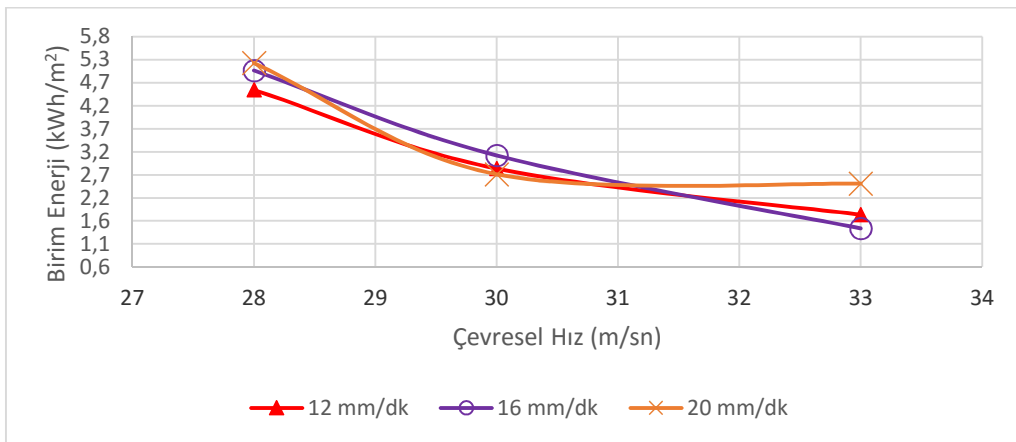
Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de çalışmada kullanılan doğal taşın farklı boncuk çaplarında çevresel hıza bağlı olarak birim enerjilerindeki grafiksel değişim gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneydeki birim enerji değişimi



Şekil 3.14. Sivas bej taşının 8,5 mm boncuk ile yapılan deneydeki birim enerji değişimi

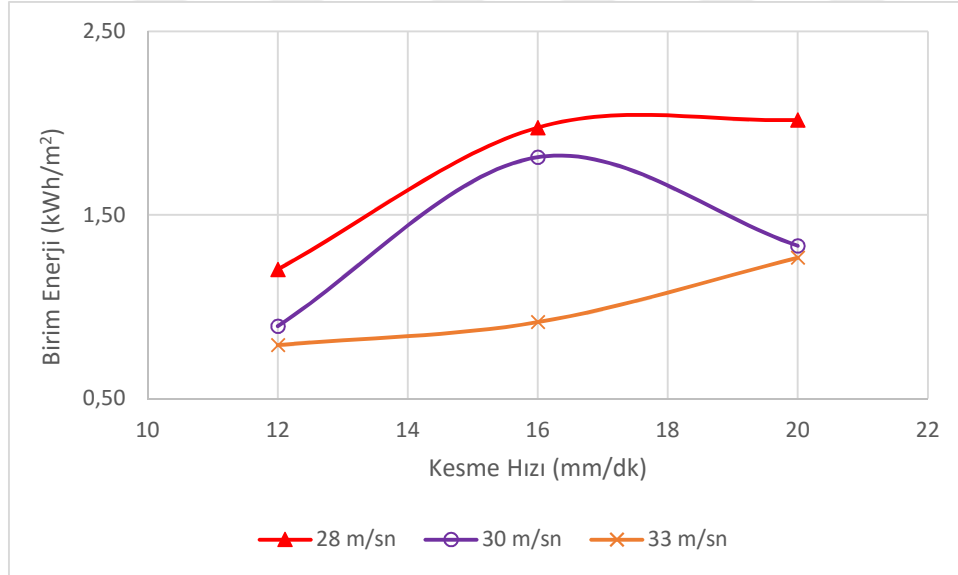


Şekil 3.15. Sivas bej taşının 11 mm boncuk ile yapılan deneydeki birim enerji değişimi

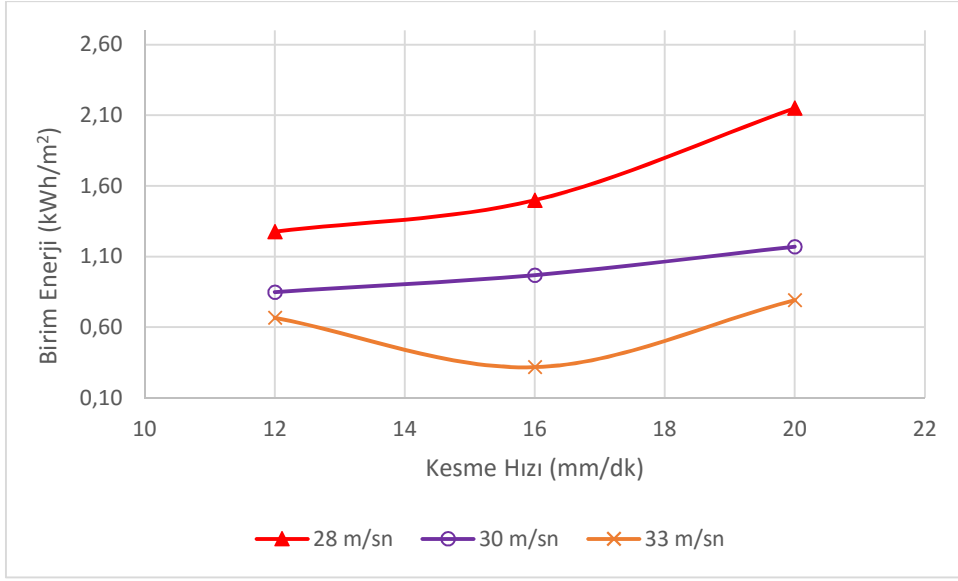
Grafikler incelendiğinde Şekil 3.13'deki boncukların çapı 7,3 mm olan elmas telle yapılan kesimde çevresel hız artarken birim enerjinin düştüğü gözlenmiştir. En yüksek birim enerji değerleri 28 m/s çevresel hızla yapılan kesimlerde gözlemlenmiştir. Şekil 3.14 ve Şekil 3.15 grafiklerine bakıldığında ise 8,5 mm ve 11 mm boncuk çapına sahip elmas teller kullanılarak yapılan kesimlerde de aynı şekilde çevresel hız değeri artarken birim enerjide yaşanan azalma gözlemlenebilmektedir.

3.5.2. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Çevresel Hızlarda Kesme Hızına Bağlı Birim Enerji Değişimleri

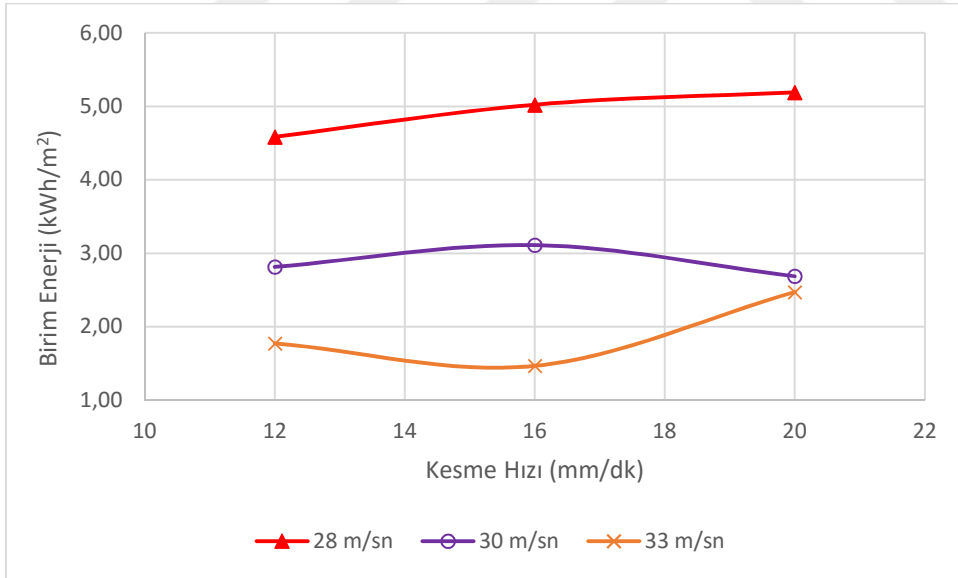
Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de çalışmada kullanılan doğal taşın farklı boncuk çaplarında kesme hızına bağlı olarak birim enerjilerindeki grafiksel değişim gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneyde farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı birim enerji değişimi



Şekil 3.17. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneyde farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı birim enerji değişimi



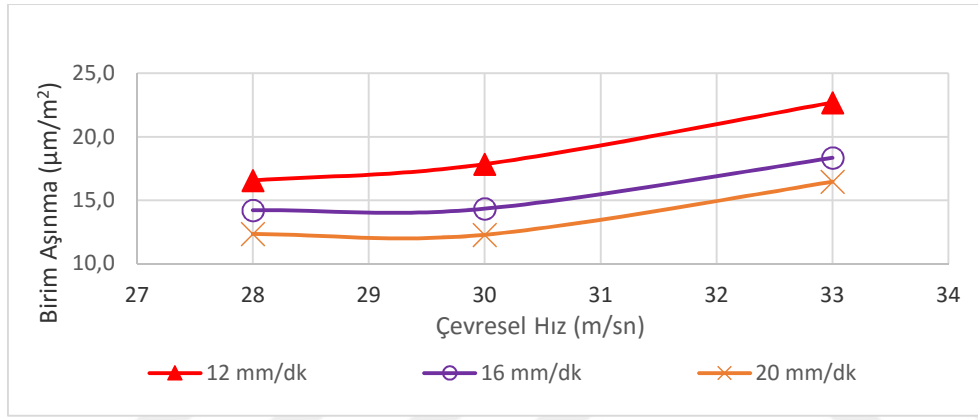
Şekil 3.18. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneyde farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı birim enerji değişimi

Grafikler incelendiğinde Şekil 3.16'daki boncukların çapı 7,3 mm olan elmas telle yapılan kesimde çevresel hız-birim enerji ilişkisinin aksine kesme hızı artarken birim enerjinin de

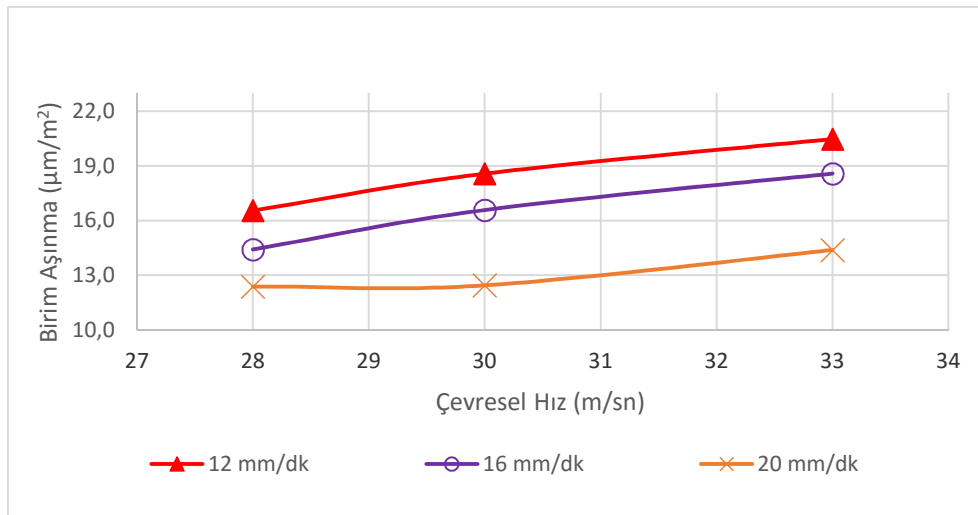
genel itibariyle artma eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Maksimum birim enerji değerleri 20 mm/dk kesme hızıyla yapılan kesimlerde gözlemlenmiştir. Şekil 3.17 ve Şekil 3.18 grafiklerine bakıldığında ise 8,5 mm ve 11 mm boncuk çapına sahip elmas teller kullanılarak yapılan kesimlerde de aynı şekilde kesme hızı artarken birim enerjinin genel itibariyle artma eğiliminde olduğu gözlemlenebilmektedir.

3.5.3. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Kesme Hızlarında Çevresel Hıza Bağlı Birim Aşınma Değişimleri

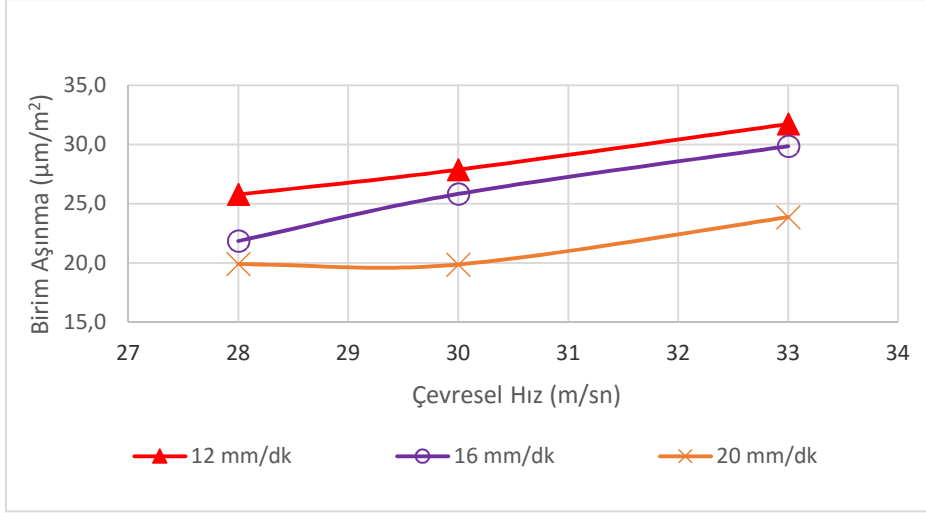
Farklı çaplarda boncuklarla yapılan deneylerde çevresel hıza bağlı olarak birim aşınmada görülen değişimler Şekil 3.19-3.21 aralığında gösterilmektedir.



Şekil 3.19. Sivas bej doğal taşının 7,3 mm çapındaki tel ile kesiminde çevresel hıza bağlı birim aşınma değişimleri



Şekil 3.20. Sivas bej doğal taşının 8,5 mm çapındaki tel ile kesiminde çevresel hıza bağlı birim aşınma değişimleri

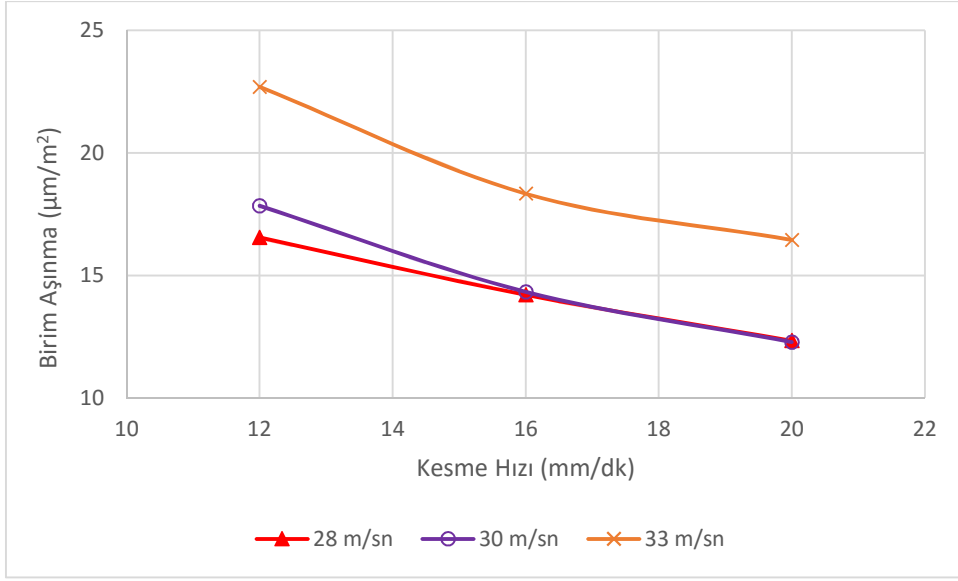


Şekil 3.21. Sivas bej doğal taşının 11 mm çapındaki tel ile kesiminde çevresel hıza bağlı birim aşınma değişimleri

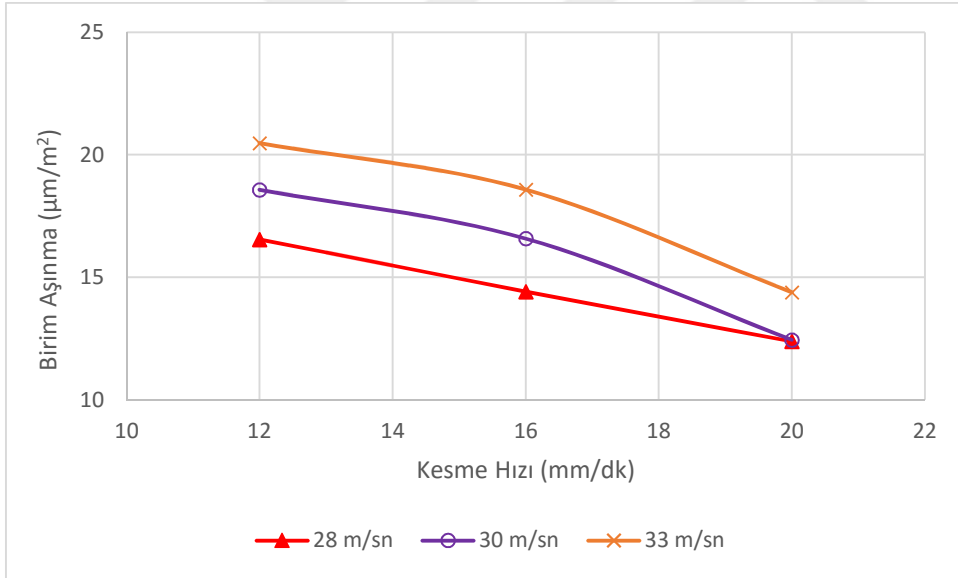
Yapılan kesimler incelendiğinde 7,3 mm çaplı elmas telli kesimde çevresel hız değeri artarken birim aşınma değerinin de arttığı görülmektedir. Bu değer maksimum noktasına 33 m/s de ulaşmıştır. Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de yer alan grafiklere bakıldığında da aynı doğru orantı görülmekte ve çevresel hız artarken birim aşınma değerleri de genel itibariyle artmaktadır.

3.5.4. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Çevresel Hızlarda Kesme Hızına Bağlı Birim Aşınma Değişimleri

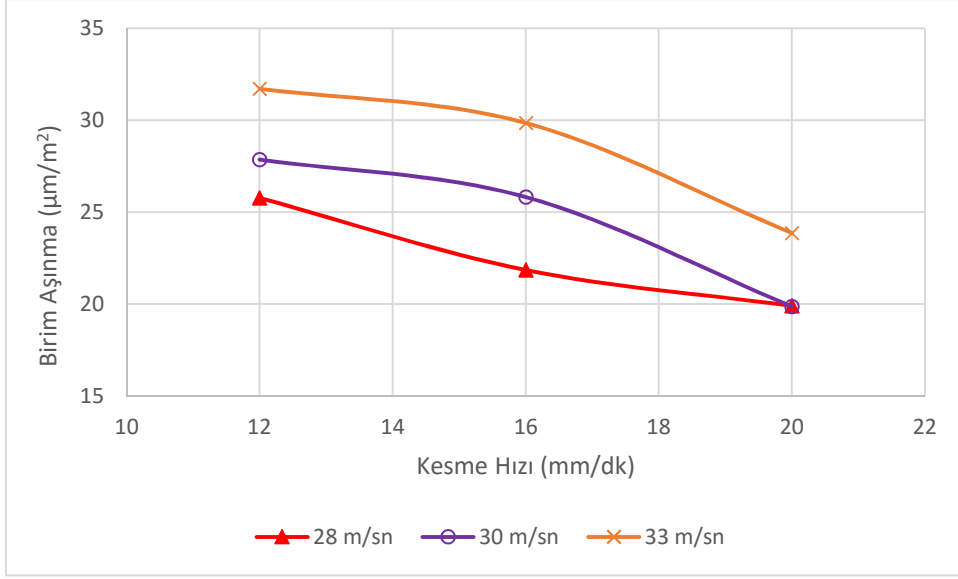
Farklı çaplarda boncuklarla yapılan deneylerde kesme hızına bağlı olarak birim aşınmada görülen değişimler Şekil 3.22-3.24’de gösterilmektedir.



Şekil 3.22. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneyde farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı birim enerji değişimi



Şekil 3.23. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneyde farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı birim enerji değişimi

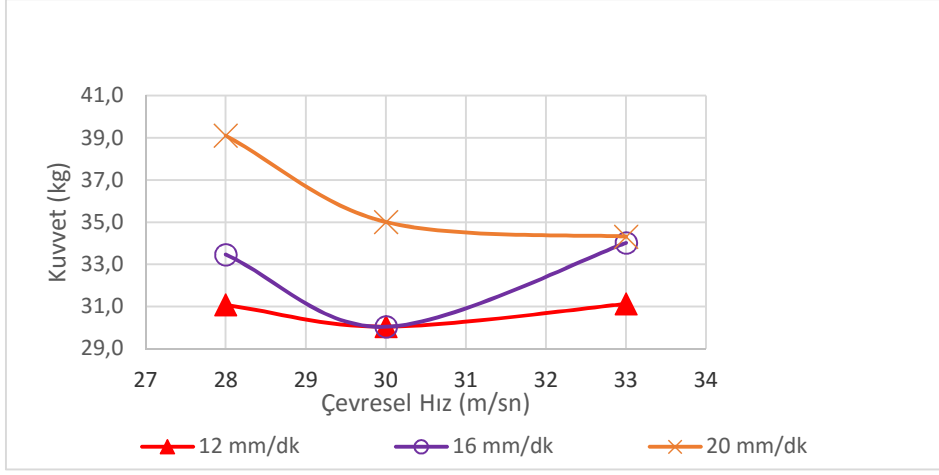


Şekil 3.24. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki boncuk ile yapılan deneyde farklı çevresel hızlarda kesme hızına bağlı birim enerji değişimi

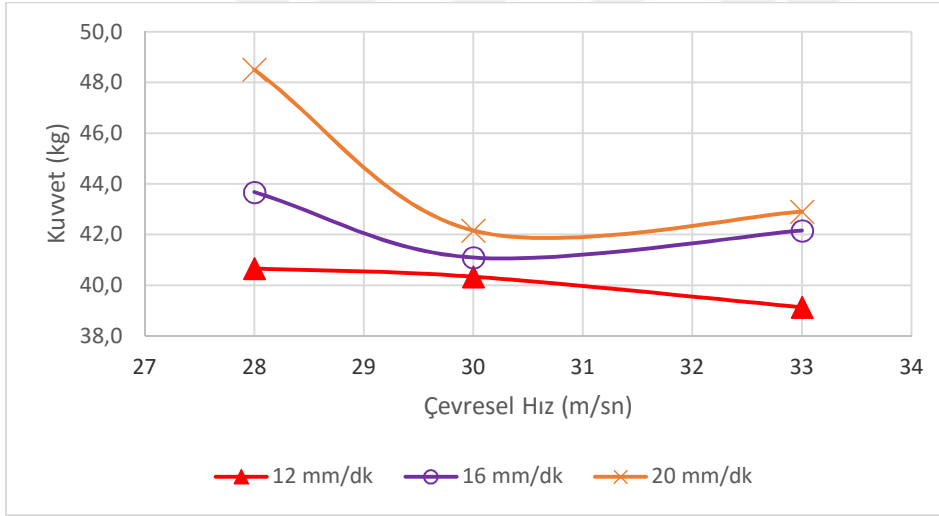
Yapılan kesimler incelendiğinde 7,3 mm çaplı elmas telli kesimde kesme hızı değerleri artarken birim aşınma değerlerinin çevresel hız-birim aşınma ilişkisinin aksine azalmakta olduğu görülmektedir. Bu değer minimum noktasına 20 mm/dk'da ulaşmıştır. Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'da yer alan grafiklere bakıldığında da benzer eğilimler görülmekte ve kesme hızı artarken birim aşınma değerleri de genel itibariyle azalmaktadır.

3.5.5. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Kesme Hızlarında Çevresel Hıza Bağlı Olarak Tepkisel Kuvvetlerin Değişimleri

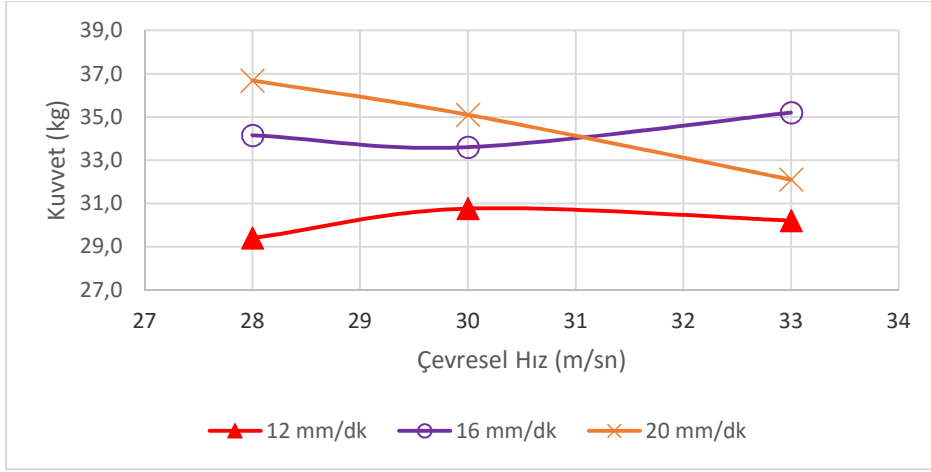
Şekiller 3.25-3.30'da gösterilen grafiklerde elmas boncuk çapındaki değişimin çevresel hıza bağlı olarak X ve Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri incelenmiştir.



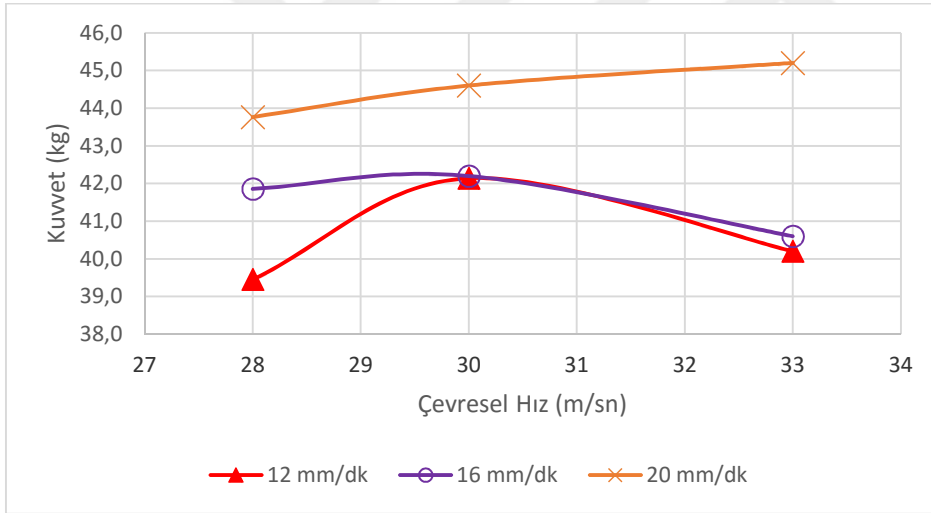
Şekil 3.25. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesiminde çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri



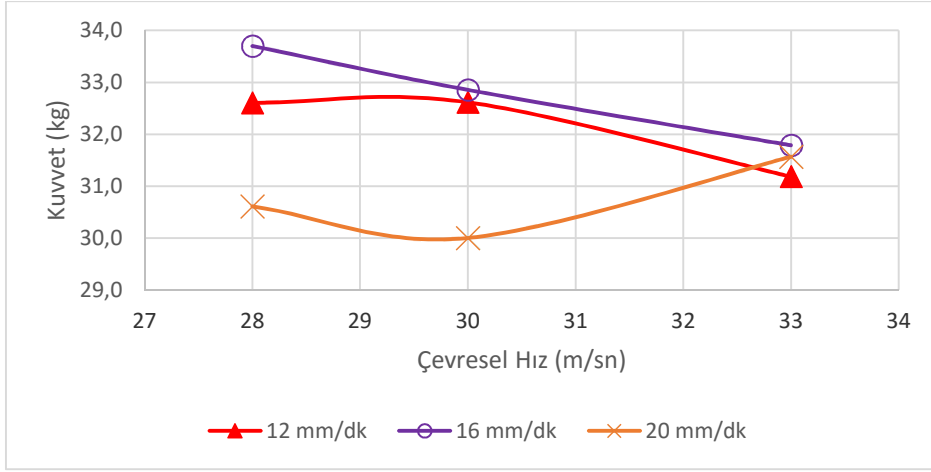
Şekil 3.26. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesiminde çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri



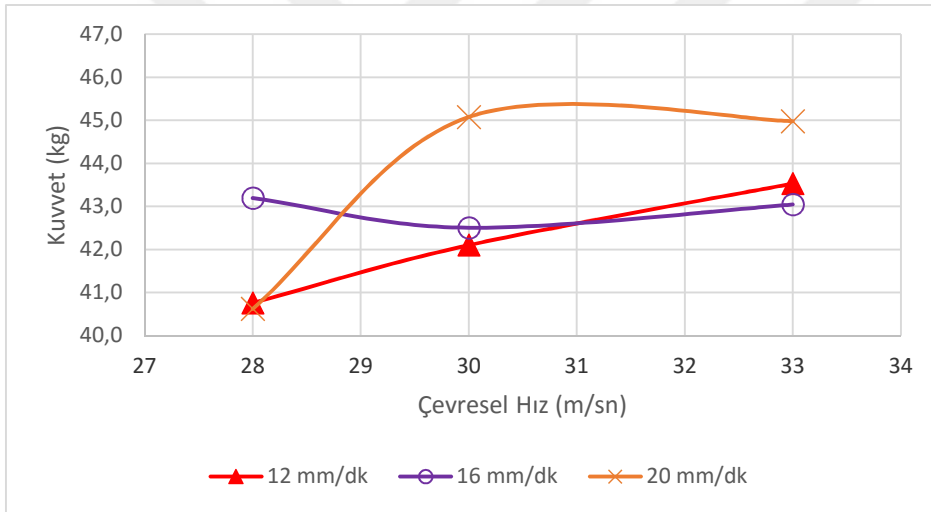
Şekil 3.27. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesiminde çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri



Şekil 3.28. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesiminde çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri



Şekil 3.29. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesiminde çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri

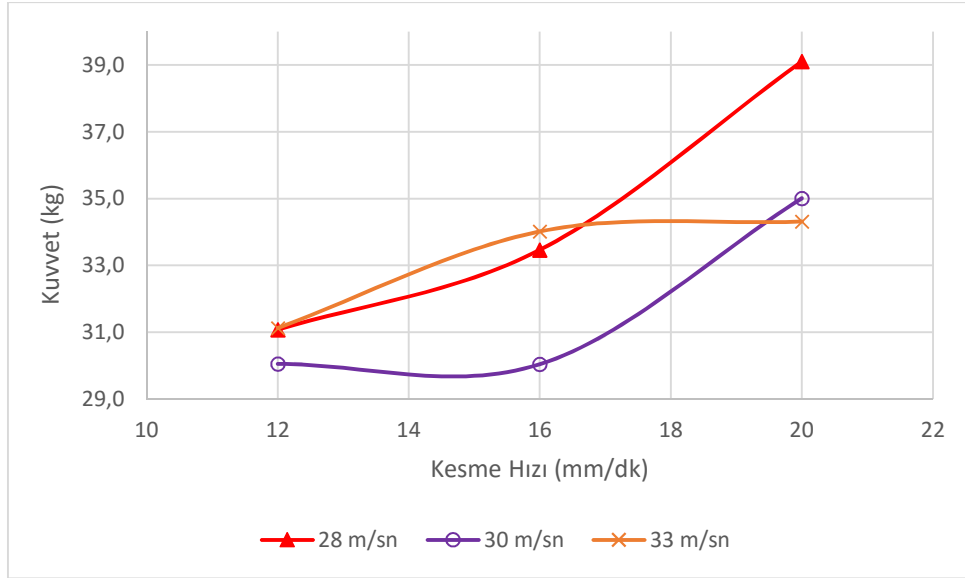


Şekil 3.30. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesiminde çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri

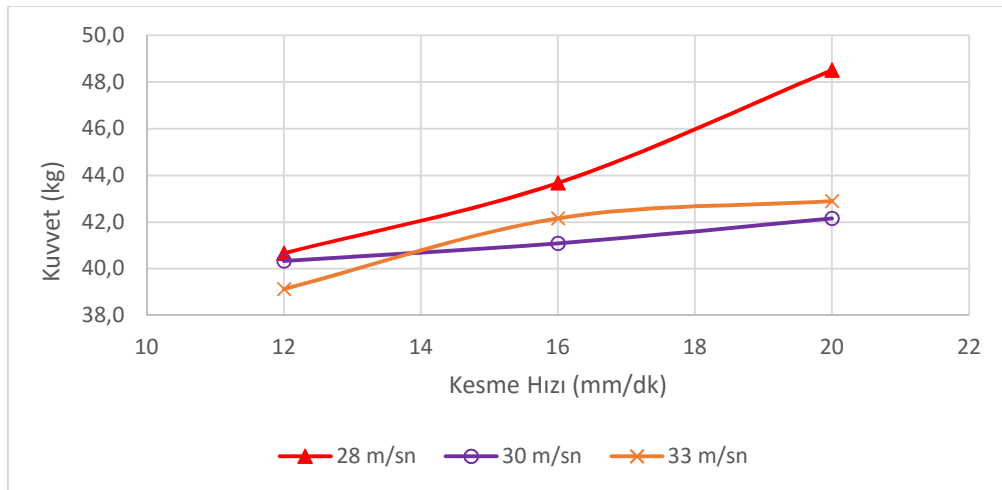
Yukarıda gösterilen grafikler incelendiğinde Şekiller 3.25-3.30'da X ve Y yönündeki kuvvetler kendi içinde incelendiğinde çevresel hız değerinin artmasıyla belirgin bir ortak eğilim gözlemlenememiştir. Farklı tellerde çevresel hıza bağlı olarak X ve Y yönlerinde oluşan kuvvetlerde farklı eğilimler gözlemlenmekle birlikte; X yönündeki kuvvetin genel anlamda çevresel hızın artmasına bağlı olarak düşüş trendinde olduğu, Y yönündeki kuvvetin ise çevresel hızla birlikte artış eğiliminde olduğu görülebilmektedir.

3.5.6. Elmas Boncuk aplarına Göre Farklı evresel Hızlarda Kesme Hızına Bağlı Olarak Tepkisel Kuvvetlerin Değişimleri

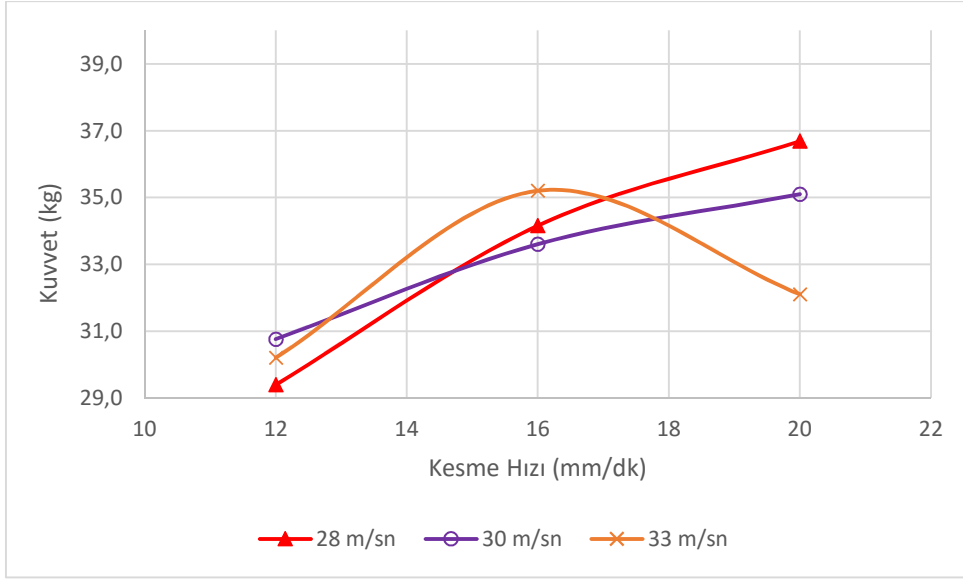
Şekiller 3.31-3.36’da gösterilen grafiklerde elmas boncuk çapındaki değişimin kesme hızına bağlı olarak X ve Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri incelenmiştir.



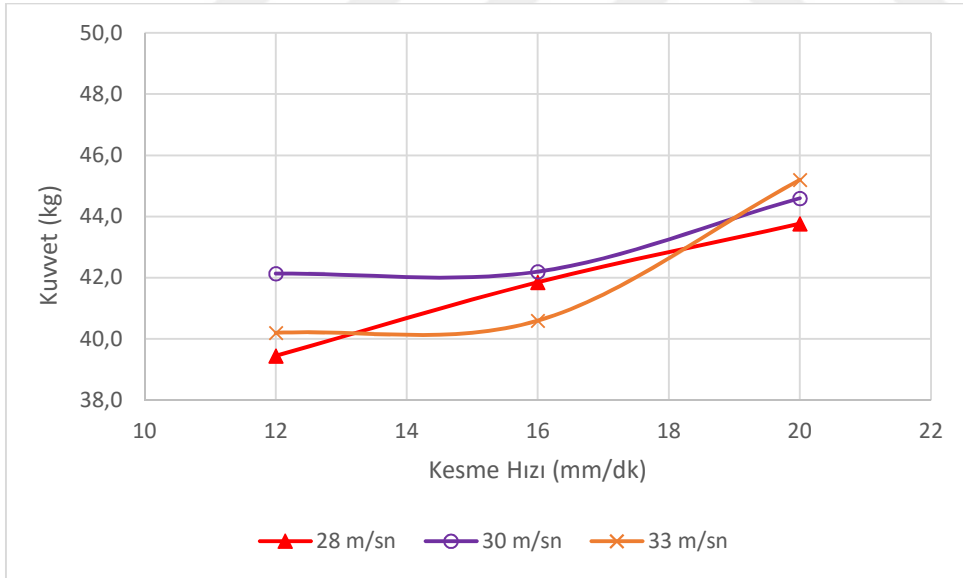
Şekil 3.31. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesiminde kesme hızına bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri



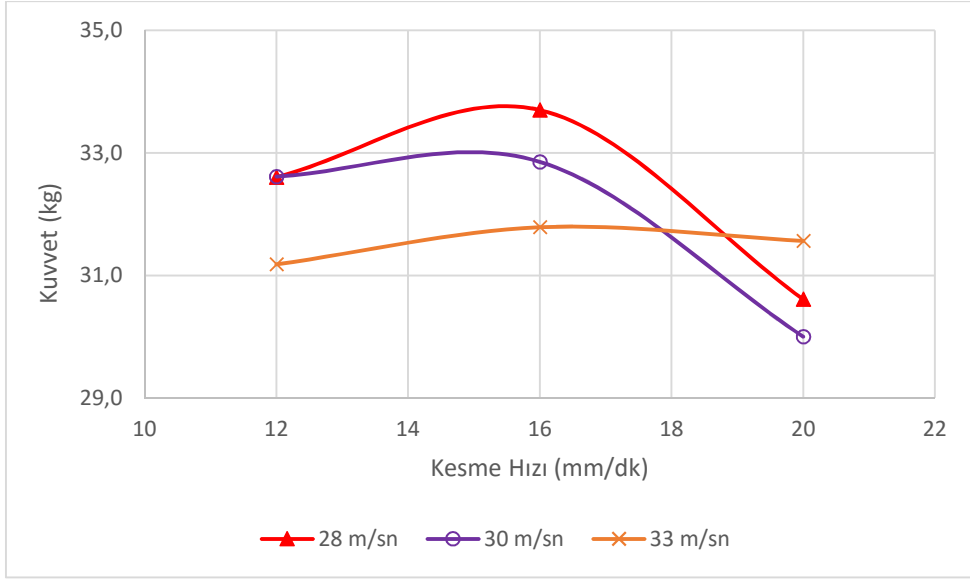
Şekil 3.32. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesiminde kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri



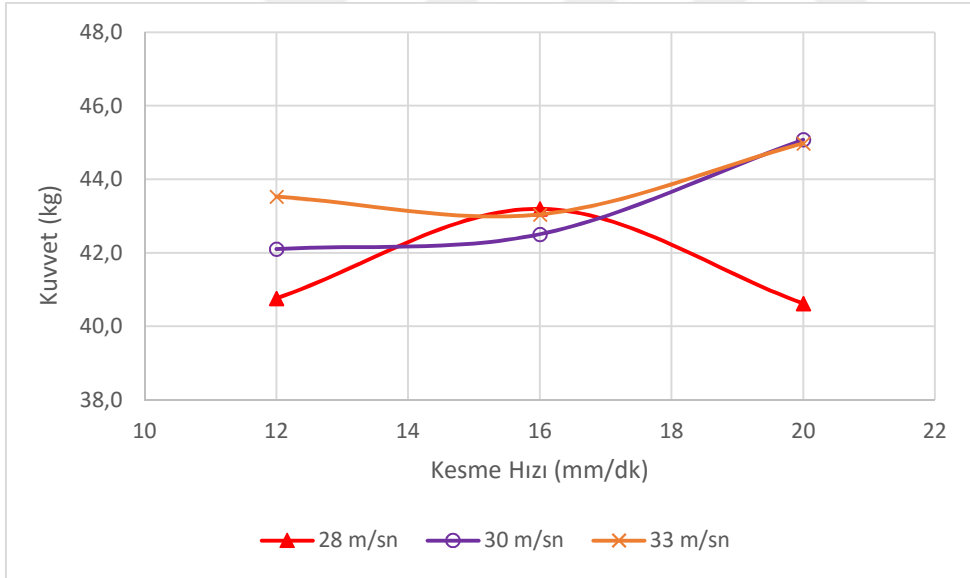
Şekil 3.33. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesiminde kesme hızına bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri



Şekil 3.34. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesiminde kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri



Şekil 3.35. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesiminde kesme hızına bağlı olarak X yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri



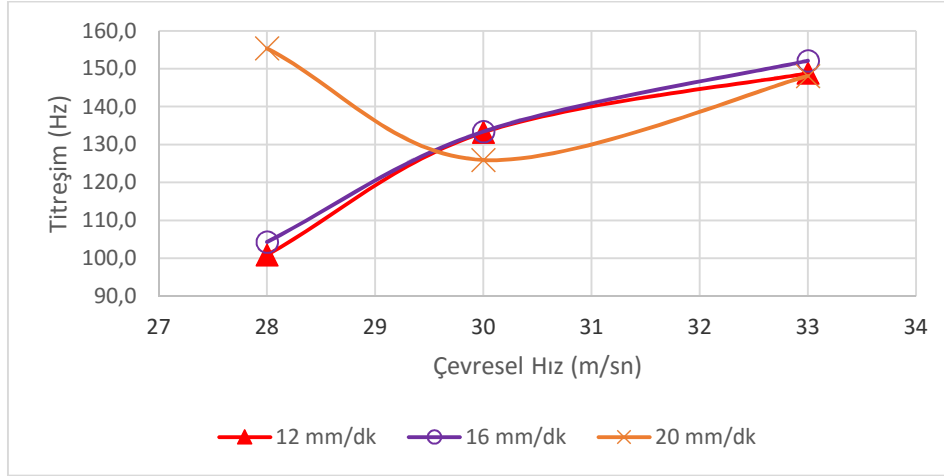
Şekil 3.36. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesiminde kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki tepkisel kuvvet değişimleri

Yukarıda gösterilen grafikler incelendiğinde Şekiller 3.31-3.34'de X ve Y yönündeki kuvvetler kendi içinde incelendiğinde kesme hızı değerinin artmasıyla farklı tellerde kesme hızına bağlı olarak X ve Y yönlerinde oluşan kuvvetlerde artma eğilimi gözlemlenmektedir. Ancak benzer bir yorum 11 mm çap değerine sahip boncuk için yapılamayacaktır.

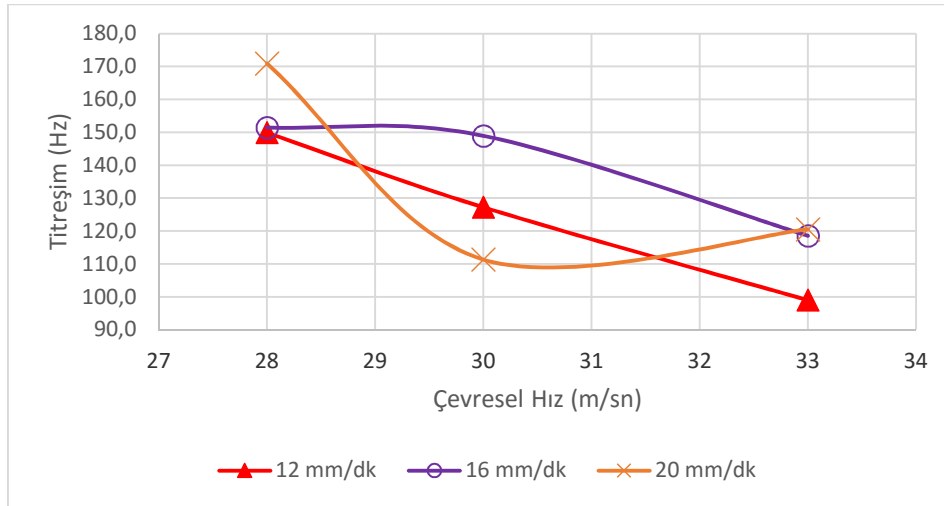
Şekil 3.35 ve Şekil 3.36 incelendiğinde her iki yöndeki kuvvetlerin genel anlamda kesme hızının artmasına bağlı olarak düşüş trendinde olduğu görülebilmektedir.

3.5.7. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Kesme Hızlarında Çevresel Hıza Bağlı Olarak Titreşim Değişimleri

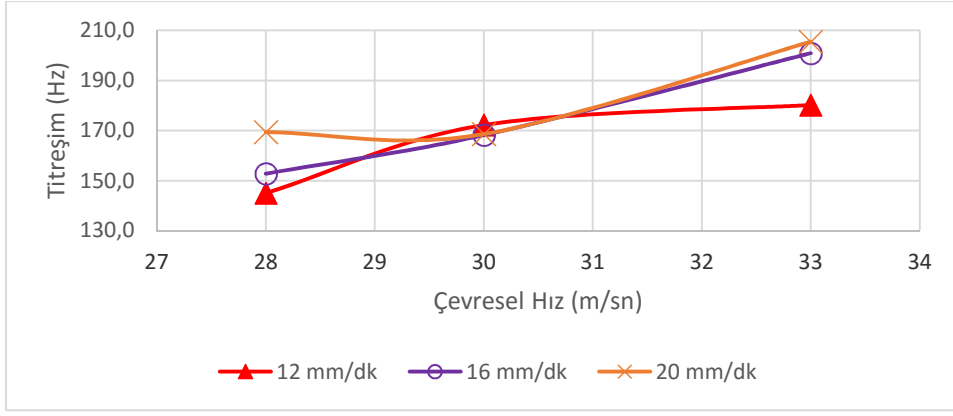
Şekiller 3.37-3.42'deki grafiklerde farklı elmas boncuk çaplarında çevresel hıza bağlı olarak X ve Y yönünde titreşim değerleri incelenmiştir.



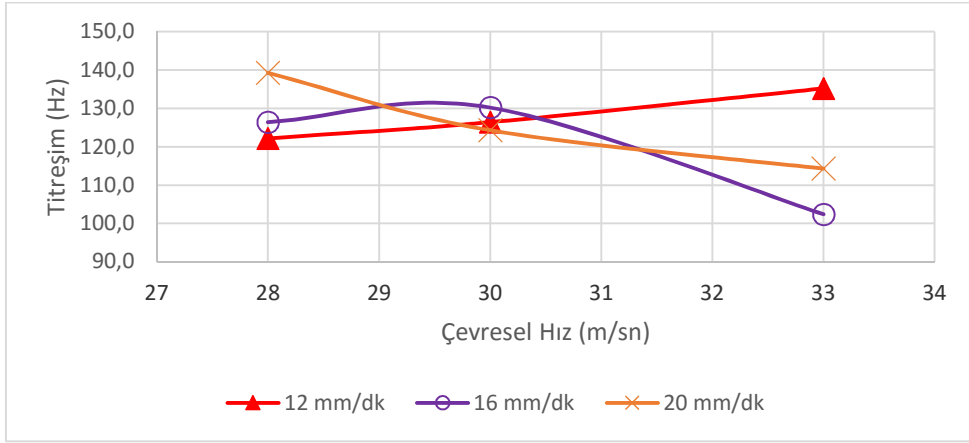
Şekil 3.37. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesimde çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki titreşim değişimleri



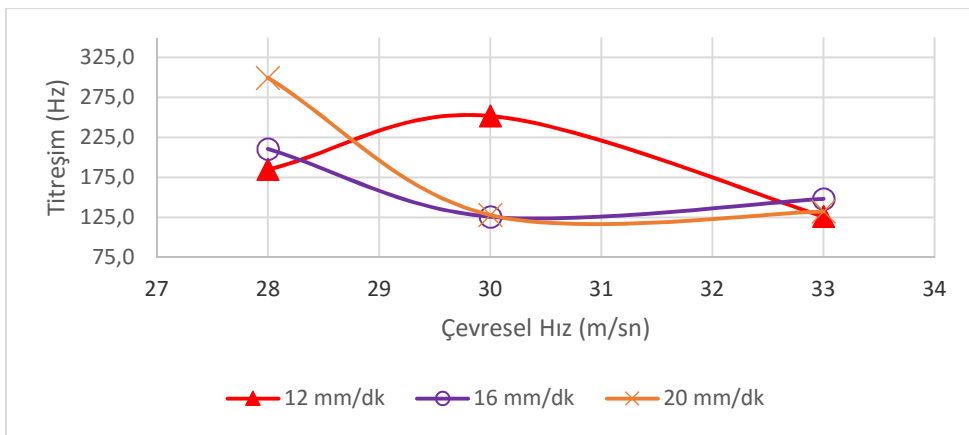
Şekil 3.38. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesimde çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki titreşim değişimleri



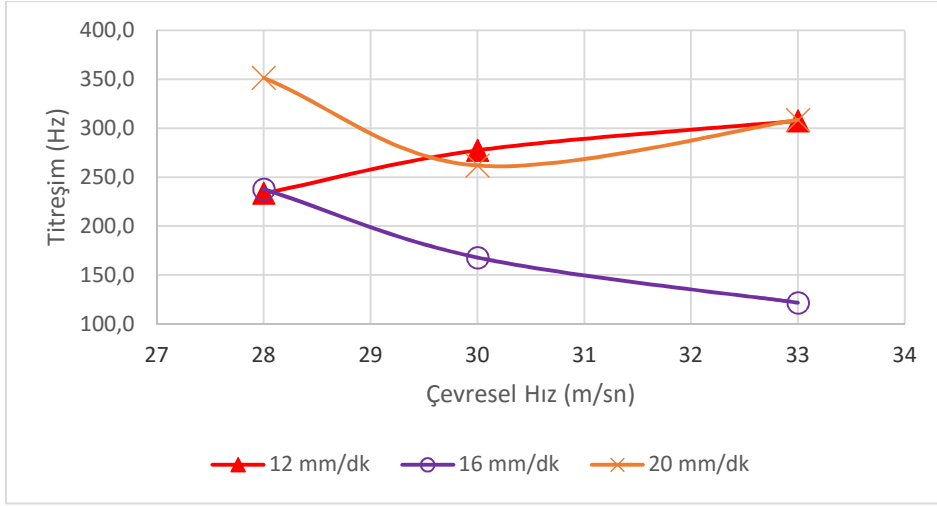
Şekil 3.39. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesimde çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki titreşim değişimleri



Şekil 3.40. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesimde çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki titreşim değişimleri



Şekil 3.41. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesimde çevresel hıza bağlı olarak X yönündeki titreşim değişimleri

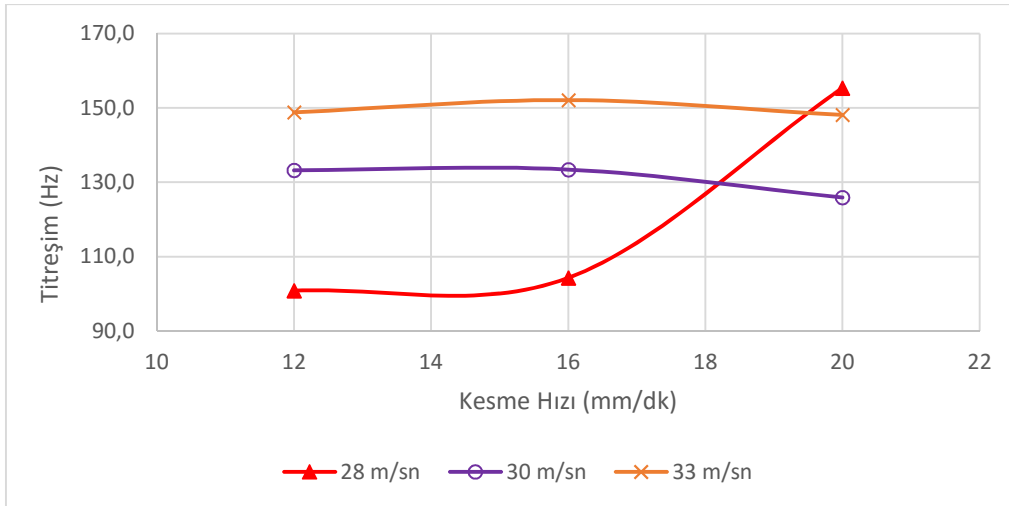


Şekil 3.42. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesimde çevresel hıza bağlı olarak Y yönündeki titreşim değişimleri

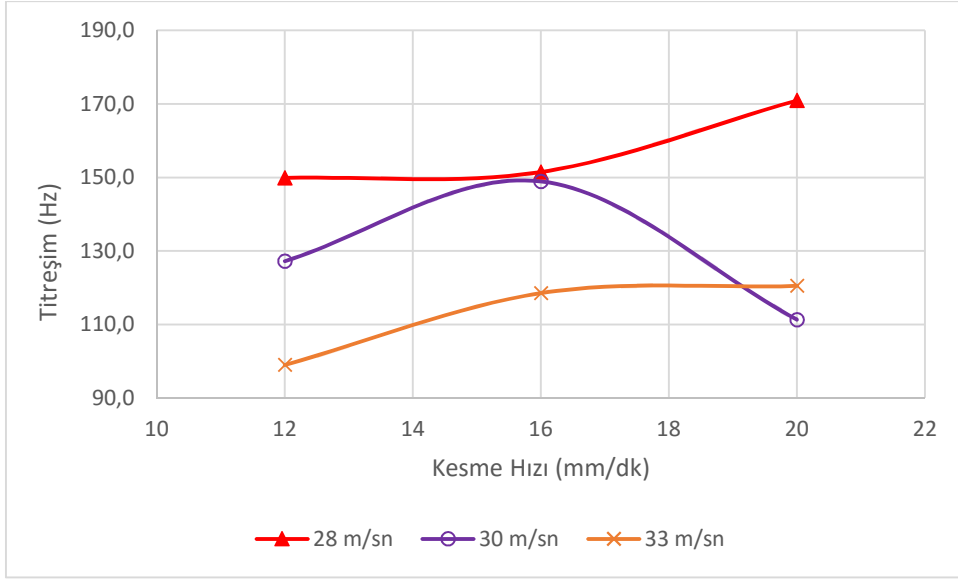
Şekiller 3.37-3.42’de yer alan grafikler incelendiğinde çevresel hıza bağlı olarak X ve Y yönünde titreşim değişimleri arasında herhangi belirgin bir ilişki bulunamamıştır.

3.5.8. Elmas Boncuk Çaplarına Göre Farklı Çevresel Hızlarda Kesme Hızına Bağlı Olarak Titreşim Değişimleri

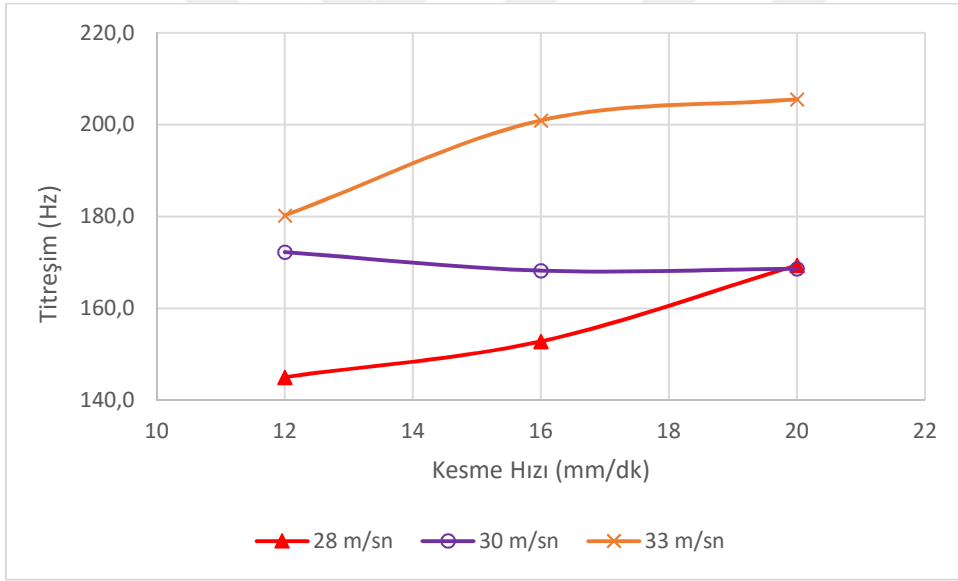
Şekiller 3.43-3.48’deki grafiklerde farklı elmas boncuk çaplarında kesme hızına bağlı olarak X ve Y yönünde titreşim değerleri incelenmiştir.



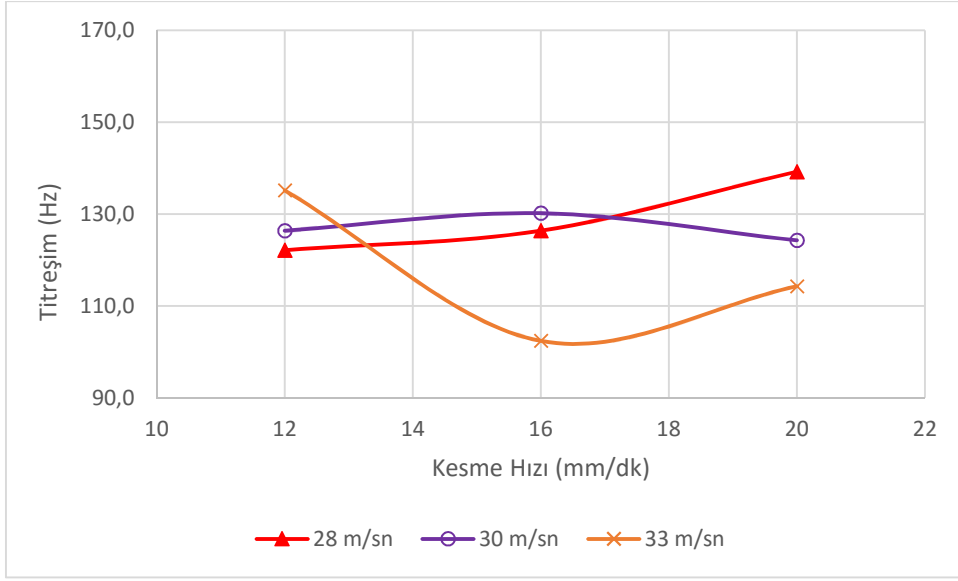
Şekil 3.43. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesimde kesme hızına bağlı olarak X yönündeki titreşim değişimleri



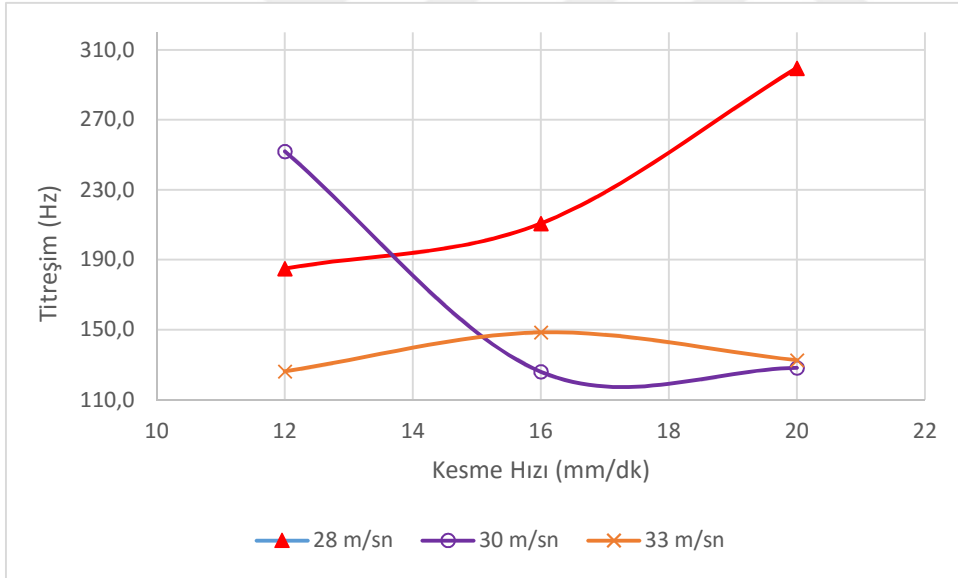
Şekil 3.44. Sivas bej taşının 7,3 mm çapındaki telle kesimde kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki titreşim değişimleri



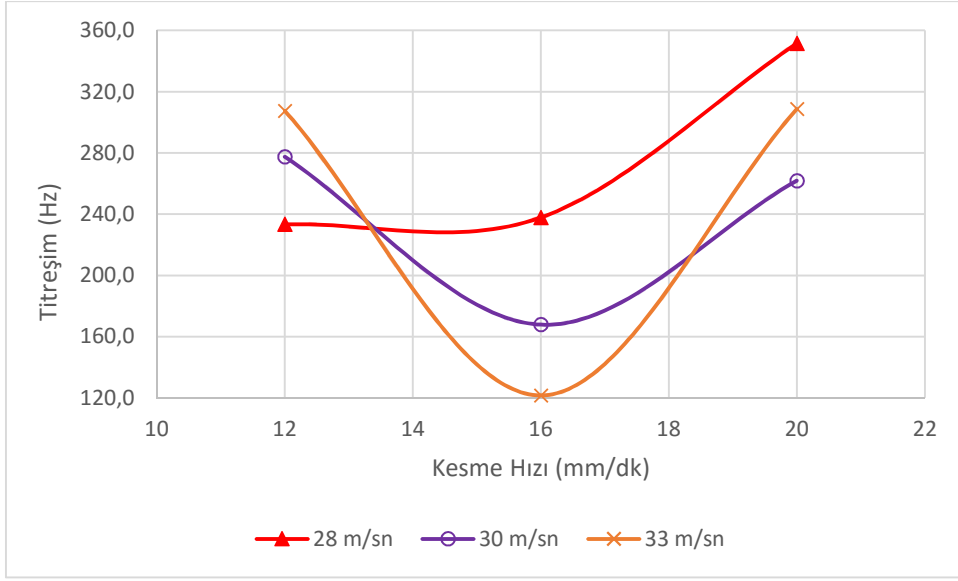
Şekil 3.45. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesimde kesme hızına bağlı olarak X yönündeki titreşim değişimleri



Şekil 3.46. Sivas bej taşının 8,5 mm çapındaki telle kesimde kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki titreşim değişimleri



Şekil 3.47. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesimde kesme hızına bağlı olarak X yönündeki titreşim değişimleri



Şekil 3.48. Sivas bej taşının 11 mm çapındaki telle kesimde kesme hızına bağlı olarak Y yönündeki titreşim değişimleri

Yukarıdaki Şekiller 3.43-3.48’de yer alan grafikler incelendiğinde kesme hızına bağlı olarak X ve Y yönünde titreşim değişimleri arasında herhangi belirgin bir korelasyon bulunamamıştır.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Elmas tel ile kesme metodu doğal taş üretimi yapılan sahalarda başlangıç işlemi olan bloğun üretilmesi evresinden fabrikalarda nihai ürün eldesine kadar geçen aşamaların birçoğunda yararlanılan bir yöntemdir. Doğal taş işletmeciliğinde yararlanılan tek telli kesme makinelerinde kesme işlemine etkiyen değişkenlerin detaylı bir biçimde analizlerinin ve en uygun şartların tespiti amacıyla yapılmış çalışmaların çok az sayıda olması, sahada kesimi yapılmış olan bloklara optimum parametreler ile kesim işleminin gerçekleştirilmesinde bir takım aksaklıklara ve maliyet fazlalığına sebep olabilmektedir. Literatürde var olan çeşitli araştırmalar analiz edildiğinde bilgisayar kontrollü tam otomatik tek telli kesme makinası ile yapılmış olan çalışmaların çok az sayıda olduğu görülmektedir. Tezde bahsedildiği üzere çok kapsamlı bir şekilde ölçümler yapabilen bu makine ile yapılmış çalışmaların azlığı kesime etkiyen parametrelerin detaylı bir şekilde analiz edilememesine sebep olmaktadır. Bu sebeple yapılmış olan bu tez çalışması ile kesimi gerçekleştirilecek olan bloğa uygun optimum parametrelerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak nihai hedef doğal taş plaka üretimi gerçekleştiren tesislerde özellikle dairesel testere (ST) ve ketraklar ile kesimi problemlili olan kayaçların bu makineler vasıtasıyla daha verimli bir şekilde üretilmesine katkı sağlamaktır.

Bu çalışmada yapılan deneylerde dairesel testere (ST) ve ketraklar ile kesim aşamasında problemler oluşan Sivas Beji kireçtaşının monotel ile kesiminde kesim esnasında oluşan tepkisel kuvvetler, titreşim değişimleri, birim aşınma ve birim enerji değişimleri incelenmiştir. Söz konusu deneyler birbirinden farklı 7,3 , 8,5 ve 11 mm çaplı elmas boncuklar ile dizayn edilmiş 3 ayrı tel ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda ulaşılan bulgular aşağıda verilmektedir:

- Gerçekleştirilen kesimler sonrası tespit edilen birim aşınma ve birim enerji ile kesme hızı arasında bulunan korelasyonlar değişik çevresel hızlar için analiz edilmiştir. Aynı ilişkinin bir benzeri olan birim aşınma ve birim enerji ile çevresel hızlar arasında bulunan korelasyonlar ise farklı kesme hızları için incelenmiştir.
- Birbirinden farklı çaplı boncuklara sahip teller ile gerçekleştirilen kesim deneyleri sonucunda üç tel için de aynı kesim hızında çevresel hız ile birim enerji değerleri arasında ters orantı olduğu saptanmıştır. Çevresel hız değeri artarken birim enerji değerleri azalmaktadır. En fazla birim enerji değeri, çevresel hız 28 m/s iken gerçekleştirilen kesim deneylerinde tespit edilmiştir.

- Gerçekleştirilen kesimler sonrası çevresel hız-birim enerji ilişkisinin aksine kesme hızı artarken birim enerjinin de genel itibariyle artma eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Maksimum birim enerji değerleri 20 mm/dk kesme hızıyla yapılan kesimlerde gözlemlenmiştir.
- Gerçekleştirilen kesim deneyleri sonucunda üç tel içinde aynı kesim hızında çevresel hız ile birim aşınma değerlerinin genel itibariyle doğru orantı içerisinde olduğu saptanmıştır. Gerçekleştirilen kesimlerde çevresel hız arttıkça birim aşınma da artmaktadır. 33 metre/saniye çevresel hız değerinde gerçekleştirilen kesim deneylerinde en yüksek birim aşınma değerine ulaşıldığı belirlenmiştir.
- Gerçekleştirilen kesimler sonrası kesme hızı değerleri artarken birim aşınma değerlerinin çevresel hız-birim aşınma ilişkisinin aksine azalmakta olduğu görülmektedir. Bu değer minimum noktasına 20 mm/dk'da ulaşmıştır.
- Yapılan kesimler sonucu oluşan tepkisel kuvvet değişim grafiklerini incelediğimizde çevresel hızın artmasıyla farklı kesim hızlarında X ve Y yönünde ortak bir değişim gözlenirken; farklı teller kullanıldığında çevresel hıza bağlı olarak X ve Y yönünde tepkisel kuvvet değişimleri farklı eğilimler sergilemiştir. Kesme hızı değerinin artmasıyla ise farklı tellerde kesme hızına bağlı olarak X ve Y yönlerinde oluşan tepkisel kuvvetlerde artma eğilimi gözlemlenmektedir. Ancak benzer bir yorum 11 mm çap değerine sahip boncuklu tel için yapılamayacaktır.
- Titreşim değişimleri grafiklerini incelediğimizde ise gerek çevresel hıza bağlı olarak, gerekse de kesme hızına bağlı olarak X ve Y yönlerinde herhangi belirli bir ilişki gözlenmemiştir. Ancak deney esnasında yapılan gözlemlerimizden ve belirgin bir korelasyon elde edilememiş olan grafik verilerinden elde edilen sonuçlardan yola çıkarak şunlar belirtilebilir; çevresel hızın artmasıyla elmas telin Y yönündeki salınım hareketi azalmakta ve tel kesim yönünde düzenli ve az titreşimli hareketler gerçekleştirmektedir. Fakat elmas tel belirli zaman aralığında blok yüzeyine daha az temas ederken, daha az taneciği bloktan ayırdığından X yönünde sıçrama hareketleriyle ilerlemesini gerçekleştirmektedir. Kesme hızında artış yapıldığında ise tel X yönünde daha fazla dalma hareketi yaparken, çok daha fazla iri tanecikler koparmaktadır. Kesim hızını daha da artırdığımız zaman tel kesim doğrultusundan ayrılmaya meyletmektedir. Bu durum salınımlarda çok daha fazla artış görülmesine sebep olmaktadır. Y yönünde de X yönünde olduğu gibi tel salınımlarına neden olan bu artışın, çevresel hızda gerçekleşen artışlara nispeten titreşim üzerine etkisi her zaman daha çoktur.

- Çalışmada kullanılan kireçtaşı cinsinin (Sivas Antik Beji) seçilmesinin sebebi bu taşla Katrak ve ST makineleri ile fabrikada gerçekleştirilen kesimlerin tamamen başarısız olması ve hiçbir şekilde kırksız, verimli bir kesim yapılamamasıydı. Bu çalışmanın sonucunda Katrak ve ST'ler ile kesimi mümkün olmayan bu taşın monotel ile kesilebilirliği ortaya konulmuştur.
- 2,3,4,5 ve 6 cm'den oluşan farklı kesim aralıklarında ve 7,3 mm, 8,5 mm ve 11 mm çaplarındaki elmas boncuklarla yapılan kesimlerde plakalarda herhangi bir kırılma tespit edilmemiştir. Yapılan deneylerde 2 cm'lik plaka kalınlığına rahatlıkla erişilebildiği belirlenmiştir.
- Gerçekleştirilen deneyler sonucunda en uygun kesim performansı 8,5 mm boncuk çapına sahip telle yapılan kesimlerde elde edilmiş ve farklı kalınlıklarda gerçekleştirilen kesimlerin plakaların verimine bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.
- Sonuç olarak 7,3 mm boncuk çapına sahip telle yapılan kesimlerde çevresel hıza bağlı olarak birim aşınma diğer tellere (8,5 mm ve 11 mm) kıyasla fazladır, bu da tel ömrünü kısaltarak tel maliyetinin artmasına sebep olur. Böyle olmasına karşın 7,3 mm telle gerçekleştirilen kesimlerde daha fazla kesit elde edilebildiğinden uzun vadede daha karlı olacağı değerlendirilmektedir. Neticede gerçekleştirilen kesimler sonucunda 7,3 mm çapındaki tel kullanıldığında 8,5 mm ve 11 mm çapındaki tellere göre kullanıma daha elverişli olduğu tespit edilmiştir.
- Gerçekleştirilen kesimlerin akabinde kesimi yapılmış olan Sivas Beji kireçtaşı numunesi için optimum kesim koşulları belirlenmiştir. Optimum kesim koşulları tespit edilirken en az birim enerji ve birim aşınma ve de çevresel hız ile uyum içerisinde olan en fazla kesme hızının sağlanması amaçlanmıştır. Söz konusu kayaç için optimum kesim koşulları Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Sivas Beji kireçtaşına ait optimum kesim koşulları

Numune adı	Çevresel hız (m/sn)	Kesme hızı (mm/dk)	Boncuk Çapı (mm)	Kesim Aralığı (cm)
Sivas Beji Kireçtaşı	30	20	8,5	2-6

Gerçekleştirilen tez çalışmaları kapsamında yapılmış olan analiz ve değerlendirme işlemleri sonucunda incelemelerin geliştirilerek tez çalışmaları esnasında uygulanan metodun çok daha verimli bir şekilde uygulanabilmesi adına şu öneriler yapılmaktadır;

- Yapılmış olan bu çalışma spesifik bir kireçtaşı numunesi için gerçekleştirilmiştir. Buna benzer çalışmalar kesimi problemlili olan diğer doğal taşlar için de yapılmalıdır.
- Faydalanılan numune sayısı arttırılmak ve çeşitlendirilmek suretiyle daha fazla doğal taş örneklerine dair geniş kapsamlı çalışmalar yapılarak, her biri için optimum kesim koşulları tespit edilmelidir.
- Kasnak çapının kesme işlemi üzerinde neden olduğu performans değişimi analiz edilmelidir.
- Gerçekleştirilen bu çalışmaya ek olarak kullanılan boncuk çaplarından farklı değerlerde teller kullanılarak da kesilebilirlik abakları elde edilebileceği değerlendirilmektedir.



5. KAYNAKLAR

- [1] Kulaksız, S., *Doğal Taş İşletmeciliği ve İşletme Teknolojileri*, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 1-6, **2005**.
- [2] Mdk Makina Otomasyon, <http://mdkmakina.com/3-eksen-mono-tel-kesme-makinasi.html> (Aralık, **2017**).
- [3] Yılmazkaya, E., *Bilgisayar Kontrollü Tektel Sistemi İle Blok Kesmede Etkin Faktörlerin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2013**.
- [4] Berry, P., Optimum Use of Diamond Wire Equipment in Stone Quarrying, *21st APCOM*, Las Vegas, 351-365, **1989**.
- [5] Özçelik, Y., Bayram, F., Blok Boyutlarının Elmas Tel Kesme Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi, *Mermer Dergisi*, 46-54, **2004**.
- [6] Yılmazkaya, E., Ozcelik, Y., The effects of operational parameters on amono-wire cutting system: efficiency in marble processing, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49, 523–539, **2016**.
- [7] Hawkins A.C., Antenen, A.P., Johnson, G., The Diamond Wire Saw in Quarrying Granite and Marble, *Dimensional Stones*, 44-50, **1990**.
- [8] Wright, N. D., Marble and Granite Quarries Turn to Diamond Wire, *St. World*, 77-80, **1992**.
- [9] Yılmazkaya E., *Elmas Telli Kesme Yöntemiyle Blok Üretimine Etki Eden Bazı Faktörlerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2007**.
- [10] Özçelik, Y., *Mermercilikte Elmas Tel Kesme Makinalarının Çalışma Koşullarının İncelenmesi*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1999**.
- [11] Özçelik Y., Kulaksız S., Çetin M.C., Assessment of the Wearing on Diamond Beads in the Cutting of Different Rock Types by the Ridge Regression, *Journal of Materials Processsing Technology*, 127/3, 392-400, **2002**.
- [12] Brach, K., Pai, D.M., Ratterman, E., Shaw, M.C., Grinding forces and energy, *Journal of Engineering for Industry Transactions*, 110, 25–31, **1998**.
- [13] Wang, C.Y., Clausen, R., Marble cutting with single point cutting tool and diamond segments, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42, 1045–1054, **2002**.

- [14] Turchetta, S., Cutting force and diamond tool wear in stone machining, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61, 441–448, **2012**.
- [15] Sun, Q., Zhang, J., Wang, Z., Zhang, H., Fang, J., Segmentwear characteristics of diamond frame saw when cutting different granite types, *Diamond and Related Materials*, 68, 143–151, **2016**.
- [16] Turchetta, S., Sorrentino, L., Bellini, C., A method to optimize the diamond wire cutting process, *Diamond and Related Materials*, 71, 90–97, **2017**.
- [17] Cappuzi, Q., Diamond Wire Cutting Technology in Granite Quarry, *Association of Italian Marble Machinery Manufacturers*, **1989**.
- [18] Biasco, G., Diamond Wire for Quarrying Hard Rocks, *Industrial Diamond Review*, 5, 252-255, **1993**.
- [19] Cook, M., Smith, B.A., A Study of Diamond Wire Bead Rotation, *Industrial Diamond Review*, 2, 79-81, **1993**.
- [20] Özçelik, Y., Optimum working conditions of diamond wire cutting machines in marble industry, *Industrial Diamond Review*, 65, 58-64, **2005**.
- [21] Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P., Massacci, G., Simulation and Optimization of Rock Cutting with Diamond Wire, *XXII. International Sym APCOM*, Berlin, 163-176, **1990**.
- [22] Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P., Massacci, G., Computer Simulation of Diamond-Wire Cutting of Hard Rock and Abrasive Rock, *IMM*, 103, 55-128, **1994**.
- [23] Tönshoff, H.K., Warnecke, G., Research on stone sawing, *Advances in Ultrahard Materials Applications Technology*, 36–29, **1982**.
- [24] Yilmazkaya, E., Dagdelenler, G., Ozcelik, Y., Sonmez, H., Prediction of mono-wire cutting machine performance parameters using artificial neural network and regression models, *Engineering Geology*, 239, 96-108, **2018**.
- [25] Butler-Smith, P.W., Gryzagoridis, J., Davis, P.R., A Single Bead Test for Assessing Diamond Wire Performance, *Industrial Diamond Review*, 2/99, 93-101, **1999**.
- [26] 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**.

- [27] 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**.
- [28] 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**.
- [29] Ozcelik Y., Development of a single diamond bead test machine for marble cutting, *Industrial Diamond Review*, 68, 56–62, **2008**.
- [30] Ozcelik Y., Polat, E., Bayram, F., Ay, A.M., Investigation of the effects of textural properties on marble cutting with diamond wire, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41, 228–234, **2004**.
- [31] Ozcelik Y., Multivariate statistical analysis of the wear on diamond beads in the cutting of andesitic rocks, *Key Engineering Materials*, 250, **2003**.
- [32] Huang, G., Peng, Xu xi, Sawing performance comparison of brazed and sintered diamond wires, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 26, 1–7, **2013**.
- [33] Huang, C.Q., Xu, X.P., Analysis of the breakage of diamond wire saws in sawing of stone, *Key Engineering Materials*, 304-305, 123–126, **2006**.
- [34] Bayram, F., Doğal Taş Bloklarından Levha/Plaka Üretim Yöntemleri ve Kesim Teknolojileri, *Doğal Taş Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri*, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 443-514, **2005**.
- [35] Mangan Granit & Mermer, http://www.mangan.com.tr/about?lightbox=image_7tj, Nisan, **2018**.
- [36] Huada Superabrasive Tool Technology Co., <https://goo.gl/Sjp2g6>, Nisan, **2018**.
- [37] Primavori P., Technological Developments and the State of the Art in Machinery and Installations for Extracting and Processing Stone Materials, *Associazione Italiana Marmomacchine*, 40-197, **2002**.
- [38] Akçakoca, H., Kaya, S., Ören, Ö., The Quality Control Problems Encountered in Marble-Travertine Factories, *Dumlupınar University Science Institute Magazine*, **2006**.
- [39] Bravo Stones, <http://www.bravostones.com/cappucino-beige.html>, Nisan, **2018**.
- [40] ABC Stones Incorporation, <https://www.marblerestoration.us/table-top-surface-before.htm>, Nisan, **2018**.
- [41] Emmioğlu Mermer, <http://www.emmioqlumermer.com.tr/urunler/antik-bej/>, Nisan, **2018**.

- [42] 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 the 2nd International Industrial Diamond Conference*, B.1.3., **2007**.
- [43] DUNA Ltd. Şti., <https://duna.com.tr/category/48/demir-kesme-makasi.html>, Nisan, **2018**.
- [44] Guilin Sanshan Superhard Material Co., <http://af.ssdiamondwire.com/diamond-wire-saw-accessories/china-tools-diamond-wire-ccessories.html>, Nisan, **2018**.
- [45] Eydem Grup, <https://goo.gl/Ufc6qv>, Nisan, **2018**.
- [46] LABOMAR Ltd.Şti, <https://goo.gl/TK2y7L>, Nisan, **2018**.



ÖZGEÇMİŞ

Kimlik bilgileri

Adı Soyadı : Mahmud Esad Uluer
Doğum Yeri : Denizli
Medeni Hali : Evli
E-posta : esaduluer@gmail.com
Adresi : Mutlukent Mh. Angora Blv. 182-23
Çankaya/Ankara

Eğitim

Lise : Kurtuluş Lisesi
Lisans : Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil ve Düzeyi : İngilizce/87.5

İş Deneyimi

: - Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Maden Mühendisliği
Bölümü / Araştırma Görevlisi 2014-2015
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı / Uzman Yardımcısı 2015-
2018
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı / Uzman 2018-...

Deneyim Alanları : Elmas Telli Kesme Yöntemi, Mermer Teknolojileri, Enerji
Hammaddeleri, Enerji Politikaları

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi -

Tezden Üretilmiş Yayınlar -

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



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

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

Tarih: 28/05/2018

Tez Başlığı / Konusu: ST VE KATRAKLARLA KESİMİ PROBLEMLİ OLAN DOĞAL TAŞLARIN TEKTELLİ BLOK KESME SİSTEMİYLE KESİMİNİN İNCELENMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 61 sayfalık kısmına ilişkin, 27/05/2018 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

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

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

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Adı Soyadı:	Mahmud Esad Uluer	Tarih ve İmza	28.05.2018
Öğrenci No:	N14127738		
Anabilim Dalı:	Maden Mühendisliği		
Programı:	Maden Mühendisliği -Yüksek Lisans		
Statüsü:	☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.		

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Yılmaz ÖZGELİK
(Unvan, Ad Soyad, İmza)