

**KESME PARAMETRELERİ VE BONCUK ÖZELLİKLERİNİN
ELMAS TEL KESME VERİMİNE ETKİSİ**

**THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS AND BEAD
PROPERTIES ON DIAMOND WIRE CUTTING EFFICIENCY**

EDİZ SADIK KANBİR

Prof. Dr. YILMAZ ÖZÇELİK

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

DOKTORA TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2013

Sevgili eşim Nilhan ARTAN KANBİR'e

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.

02 / 07 / 2013

Ediz Sadık KANBİR

ÖZET

KESME PARAMETRELERİ VE BONCUK ÖZELLİKLERİNİN ELMAS TEL KESME VERİMİNE ETKİSİ

EDİZ SADIK KANBİR

Doktora, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. YILMAZ ÖZÇELİK

Haziran 2013, 136 sayfa

Başta mermercilik olmak üzere madencilikte ve madencilik dışı alanlarda da uygulamaları bulunan elmas telli kesme yöntemi, üretim maliyetlerini düşürdüğü için tercih edilmesi sonucunda dünyada olduğu gibi ülkemizde de hızla yaygınlaşmaktadır. Ülkemizde klasik yöntemle doğal taş (mermer) üretiminde ocak üretim kayıpları %30-50 arasında değişmektedir. Bu üretim kayıplarını en aza indirmek için elmas telli kesme yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemin tüm makina ve ekipmanları yeterli verimlilikte kullanılamamaktadır. Elmas telli kesme işleminde, kesme verimliliğinde en önemli etken parametre elmas boncuklarda meydana gelen aşınmadır. Boncuklarda meydana gelen aşınma miktarları arttıkça kesme hızı düşmektedir. Bu yüzden aşınma miktarını etkileyen makina ve kayaç özelliklerinin (fiziki, mekanik, mineralojik ve petrografik özellikler) incelenmesi gerekmektedir.

Mermer ocak işletmelerinde yapılan kesim işlemlerinde en önemli konu, kesilecek kayaca en uygun elmas boncuk ve çalışma parametrelerinin seçilmesidir. Bu boncukların ve uygulanacak çalışma koşullarının belirlenmesi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Geliştirilecek olan kesilebilirlik abakları, bu tür parametrelerin belirlenmesinde kolaylıkla kullanılabilir. Madencilik sektörünün diğer alanlarında

kullanılmasına rağmen; doğal taş işletmeciliğinde kesilebilirlik üzerine böyle bir abak bugüne kadar geliştirilmemiştir.

Bu çalışmada elmas telli kesmede kullanılan boncuklar üzerindeki elmas konsantrasyonunun kesme performans parametreleri olan boncuklardaki aşınma, kesme hızı ve tüketilen enerjiye olan etkilerinin araştırılması ve bu etkiler dikkate alınarak kayaç türlerine göre elmas telli kesme yöntemi için kesilebilirlik abaklarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ülkemize elmas telli kesme yönetimi ile üretim yapan doğal taş ocaklarından seçilmiş farklı doğal taş (mermer, kireçtaşı ve granit) türlerinde (30 farklı kayaç türünde) elmas telli kesme çalışmaları yapılmıştır.

Bu aşamada kesilebilirlik abakları, kesme performansı parametreleri göz önüne alınarak, çevresel hız ve kasnak devir hızına göre, hem her kayaç için ayrı ayrı hem de kayaç türleri için ayrı ayrı geliştirilmiştir. Kesme çalışmaları, laboratuvarda tek boncuk test cihazıyla arazide ise Model Elmas Tel Kesme Makinası ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan kesimler sonucunda her bir hakiki mermer, kireçtaşı ve granit numunesi için optimum kesim koşulları tespit edilmiştir. Aynı şekilde her bir doğal taş türü için de optimum kesim koşulları tespit edilmiştir. Çalışmada elmas boncuklardaki elmas konsantrasyonunun kesme performansına etkisi de üç farklı konsantrasyona sahip boncuk için ayrı ayrı incelenmiştir. Arazi sonuçları ile laboratuvardan elde edilen sonuçlar arasında yüksek bir ilişki ($R^2=0,88$) olduğu ortaya konmuştur.

Literatürde daha önce böyle bir çalışmanın yapılmaması sebebiyle bu çalışma, uygun elmas boncuk seçimi ve en uygun kesme parametrelerinin tespit edilmesi konusunda var olan büyük bir boşluğu dolduracaktır.

Anahtar Kelimeler: Doğal taş (mermer), elmas telli kesme, elmas boncuk, elmas boncuk seçimi ve tasarımı, kesilebilirlik, optimizasyon, istatistiki modelleme, doku katsayısı

ABSTRACT

THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS AND BEAD PROPERTIES ON DIAMOND WIRE CUTTING EFFICIENCY

EDİZ SADIK KANBİR

Philosophy of Doctorate, Mining Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. YILMAZ ÖZÇELİK

June 2013, 136 pages

Diamond wire cutting method, which has practices both in the field of mining and in other fields, has been widely used in all around the world including our country due to the fact that it is preferred because of reducing the production costs. The loss of production in natural stone (marble) mining with conventional methods in our country ranges from 30% to 50%. In order to minimize these losses, the method of diamond wire cutting has been used. All of the machines and equipment cannot be used efficiently enough in this method. The most important parameter in cutting efficiency in diamond wire cutting process is the wear occurring on diamond beads. As the amount of wear on beads increase, the rate of cutting decreases. Therefore, it is required that the machine and rock properties (physical, mechanical, mineralogical and petrographic properties) that might affect the amount of wear should be examined.

The most significant issue in cutting processes done at natural stone quarries is to select the most appropriate diamond bead and working parameters for the rock to be cut. Determining these beads as well as the working conditions should be made carefully. The cuttability abacuses that would be developed can easily be used in

determining such parameters. Although used in the other fields of mining sector, such abacuses haven't been developed for cuttability in natural stone processing.

It was aimed in this study that the effect of diamond concentration on the beads used in diamond wire cutting on the cutting performance parameters, which are wear on beads, cutting speed and energy consumed was investigated and considering these effects, cuttability abacuses were developed for diamond wire cutting method according to the types of rocks. For this purpose, diamond wire cutting operations were performed on different (real marble, limestone and granite) natural stones (30 different natural stones) selected from different natural stone (marble) quarries that are producing with diamond wire cutting method in our country.

At this stage, cuttability abacuses were developed separately both for each rock and for the rock types considering the parameters of cutting performance according to peripheral speed and hoop rotation. Cutting operations were performed with single bead test equipment in laboratory and model diamond wire cutting machine in quarry. As a result of the cuttings, the optimum cutting conditions were determined for each real marble, limestone and granite samples. Similarly, for each natural stone type, the optimum cutting conditions were determined. Also, in the study, the effect of diamond concentration on diamond beads on the cutting performance was examined separately for beads with three different concentrations. It was found out that there was a high correlation ($R^2=0,88$) significant relationship between the results obtained in the field and laboratory studies.

Since there has been no study like the present one in the literature, it is thought that this study will fill a huge gap that exists in the production of conscious marble and the selection and use of suitable diamond beads in the marble industry.

Keywords: Natural stone (marble), diamond wire cutting, diamond bead, diamond bead selection and design, cuttability, optimization, statistical modelling, texture coefficient

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bölümün laboratuvar ve diğer imkanlarından faydalanmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hakan BENZER'e teşekkür ederim.

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

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

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

Tezim süresince laboratuvarında ve yazım aşamasında gösterdiği yardımlar için çalışma arkadaşım sevgili dostum Araş. Gör. Emre YILMAZKAYA'ya ve tez yazımında fikir alışverişinde bulunduğum değerli dostum Araş. Gör. Okay ALTUN'a teşekkür ederim.

TÜBİTAK, çalışmaların gerçekleştirilmesi için 109M106 nolu, "Elmas Tel Kesme Yönteminde Kesilebilirlik Abaklarının Oluşturulması" isimli araştırma projesiyle destekte bulunmuştur. Bu destekten dolayı tüm yetkililere teşekkür ederim.

Çalışmam süresince her türlü desteğini esirgemeyen annem F. Melahat KANBİR ablam Elif KALKAN ve eşi Dr. Bora KALKAN'a, gösterdiği sabır, hoşgörü ve yardımlarıyla her zaman yanımda olan değerli eşim Nilhan ARTAN KANBİR'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
1. GİRİŞ	1
2. DOĞAL TAŞ MADENCİLİĞİ	4
2.1. Mermer Üretim Yöntemleri	4
2.2. Elmas Telli Blok Kesme Teknolojisi.....	6
2.3. Elmas Telli Kesmede Kullanılan Boncuk Türleri ve Özellikleri.....	11
3. BİLGİSAYAR KONTROLLÜ TEK BONCUK TEST CİHAZI.....	17
3.1. Makinanın Mekanik Tasarımı	19
3.1.1. AC motorlar	19
3.1.2. Basıncı hava sistemi.....	20
3.1.3. Numune kesim ayar kolu	21
3.2. Makinanın Elektrik ve Elektronik Tasarımı	21
3.2.1. Güç analizörü	22
3.2.2. Sıcaklık algılayıcısı ve kontrol cihazı	23
3.2.3. Basınç algılayıcısı	24
3.2.4. Titreşim Algılayıcısı	25
3.2.5. Su algılayıcısı	25
3.2.6. Makinanın otomasyonel tasarımı.....	26
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
4.1. Hazırlık Çalışmaları	34
4.2. Laboratuvar Çalışmaları	37

5. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER	57
5.1. Design Expert 7.1 Programının Tanıtılması	59
5.2. Laboratuvarda Kesme Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar	60
5.3. Tasarım Özetlerinin Oluşturulması	61
5.4. Analizler	64
5.4.1. Birim Aşınmayla İlgili İstatistiksel Değerlendirmeler	65
5.4.2. Kesim Hızı ile İlgili İstatistiksel Değerlendirmeler	68
5.5. Optimizasyon	71
5.6. Hakiki Mermerler ve Kireçtaşları için Optimum Değerlerin Bulunması	73
5.7. Doğal Taş Cinsine Göre Optimum Kesim Noktalarının Bulunması ve Kesim Abaklarının Oluşturulması	75
5.8. Laboratuvar Çalışmalarının Geçerliliğini Kontrol Etmek Amacı ile Yerde Yapılan Arazi Kesim Çalışmaları	81
5.9. Elmas Boncuklardaki Elmas Konsantrasyonlarının Kesme Performansına Olan Etkisi	85
5.10. Arazi Kesimlerinden ve Laboratuvar Deneylerinden Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	89
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR	98

1. GİRİŞ

Doğal taş kullanımı, uygarlığın ve teknolojinin gelişimi ile birlikte hem göze hitap eden hem de bileşiminde sağlık açısından zararlı bir madde içermemesi sebebiyle büyük hız kazanmıştır. Dekoratif ve sanatsal amaçlara yönelik olarak kullanımı hızla gelişip, yaşadığımız mekânların adeta bir parçası haline gelmiştir. Kullanım alanındaki bu gelişme, doğal taş üreticilerini yeni, verimli ve hızlı üretim yöntemleri bulmaya zorlamıştır. Bu gelişmeler sonunda mermer ocak işletmeciliği, uygarlık dönemlerinin ilk tarihlerindeki temel prensipleri değişmemekle beraber, yüksek üretim kapasitelerini sağlayan mekanizasyonun bu alana gelmesiyle günümüzdeki şeklini almıştır [1].

Günümüzde ticari anlamda kesilip, parlatılabilen her türlü kayaç mermer olarak adlandırılmaktadır. Jeolojik açıdan bakıldığında ise mermer, kalker ve dolomitik kalkerlerin ısı ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak kristalleşmesi sonucu oluşmuş metamorfik bir kayaçtır. Kullanımı son derece yaygın olan mermerin hayatımıza girişi, mermer ocaklarından blok halinde mermer kesimi yapılmasıyla başlamaktadır. Mermer yatırımının esası ve birinci aşamasını ocak işletmesi oluşturmaktadır. Ocak işletmeciliğinde kayaçların petrografik, fiziksel ve mekanik kayaç özelliklerinin gerektirdiği makina ve donanımla çalışması hem üretim verimini arttırmakta hem de malzeme sarfiyatını en düşük seviyede tutarak mermer ocağının ekonomik ömrünü uzatmaktadır [2].

Günümüzde mermer ocaklarında yaygın olarak kullanılan yöntem elmas telli kesme yöntemidir. Bu yöntemde, kaya kütlesinden elmas boncuklu tel kullanılarak düzgün geometrik şekilli blok çıkarılmaktadır.

Kısa süreli geçmişine karşın getirdiği avantajlar sayesinde elmas telli kesme makinesi birçok sektörde kendisine kullanımda sürekli sağlamlaşan bir yer edinmiştir. Özellikle alternatiflerinin veremediği hız, emniyet, son ürüne ulaşmaktaki kolaylıklar, üretim esnasında operatöre ihtiyaç duymaması gibi avantajlar makineye olan talepleri arttırmıştır [3]. Elmas telli kesme yönteminde kullanılan makineler bir mermer ocak işletmesi için sabit yatırımlardır. Bu yöntemde değişken giderleri ise elmas boncuklar oluşturmaktadır. Elmas boncuklardaki aşınmaların kontrolü bir işletmedeki maliyetleri azaltmaya yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte bir mermer işletmesinin ekonomikliğini ve işletme

ekonomisini en fazla etkileyen boncuklardaki aşınma miktarının kesim yapmadan önce belirlenmesi, kullanılacak boncuk yapılarının incelenerek kesilecek kayaca uygun olup olmadığının tespit edilmesi ve şartların ona göre ayarlanması elmas tel kesme yönteminde çok önemli konuları oluşturmaktadır [4].

Elmas telli kesme yönteminde değişken giderleri oluşturan elmas boncuk aşınmalarının kontrol edilebilmesi amacıyla bazı çalışmalar yapılmaktadır. Ancak bu çalışmaların ocak şartlarında yapılıyor olması birçok problemi ortaya çıkarmaktadır. Bunların başında ortam koşullarından dolayı yaşanan çalışma zorlukları, çalışma maliyetleri ve zaman kaybı gelmektedir. Bu zorluklar dikkate alınarak Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde Tek Boncuk Test Cihazı geliştirilmiş ve laboratuvar ortamında kesim çalışmalarının yapılabilmesi olanağı olmuştur.

Günümüze kadar birçok araştırmacı elmas telli kesme yöntemine etkisi olduğu düşünülen; elmas boncuk aşınmasının, kesilen kayacın fiziko-mekanik, mineralojik petrografik ve dokusal özelliklerinin, kesilecek mermer boyutlarının, makina titreşiminin, kasnak devir hızının ve elmas boncuğun yapısının kesme verimliliğine etkisini araştırmıştır. Bütün bu etken faktörlerin yanında, ülkemizde ve dünyada henüz doğal taşların elmas tel kesme yöntemiyle kesiminde; granitik kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin kesme performansına etkisi, elmas boncuklardaki farklı elmas konsantrasyonlarının kesme performansına etkisi, kesilebilirlik abaklarının geliştirilmesi konularına yönelik bir çalışma yapılmamıştır. Geliştirilmiş kesilebilirlik abağı, kayaçlar ve kayaç türleri için ayrı ayrı oluşturulduğu için kayaç özelliklerine bağlı olarak kullanılacak elmas boncuk tipinin, elmas telin ömrünün ve makina performansının (kesme hızı, birim aşınma ve kesimde harcanan enerji) belirlenmesinde yardımcı olacak sonuçlar elde edilmiştir.

Doğal taş (mermer) blok üretiminde kullanılan 1 metre elmas telin kayaç cinsine bağlı olarak yaklaşık travertenler için 50\$, hakiki mermer ve kireçtaşları için 70\$ ve granitler için 200\$ arasında değiştiği ve belli bir miktarda kesim için en az 20-30 metre elmas tel kullanıldığı dikkate alınırsa bu tip bir çalışmanın ne kadar önemli olduğu daha belirgin ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma sonucunda; mermercilikte halen mevcut olan milyonlarca dolarlık üretim kayıplarının, çoğu ithal edilen sarf malzemelerinin ve makinanın en uygun

şekilde kullanımını sağlayarak, gereksiz biçimde yurtdışına döviz çıktısının minimuma indirilmesini sağlayacak sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, hakiki mermer, kireçtaşı ve granit kesimi için ortaya konulan boncuk seçim kriterleri ile kayaç için yanlış boncuk seçiminin ve kullanımının önüne geçilerek elmas telli kesmede en önemli maliyet unsuru olan boncuk maliyetinin en uygun seviyede kalması sağlanmıştır.

2. DOĞAL TAŞ MADENCİLİĞİ

Doğal taş ile oluşturulan eserler uygarlığın baŐlangıcı sayılabilecek, yaklaşık 5000 yıldan bu yana iğerdikleri mesajlarla dönemlerine tanıklık etmektedir. Bugün ayakta kalan anıt niteliğindeki tarihi yapılar, özellikle granit, bazalt gibi sert taşlardan yapılmıŐlardır [4].

Doğal taş kullanımı, uygarlığın ve teknolojinin geliŐimiyle birlikte, hem göze hitap eden görünümleri hem de bileşiminde sağlık açısından zararlı bir madde içermemesi sebebiyle büyük bir hız kazanmıştır. Dekoratif ve sanatsal amaçlara yönelik olarak kullanımı hızla gelişip, yaşadığımız mekânların adeta bir parçası haline gelmiştir. Kullanım alanlarındaki bu gelişim doğal taş üreticilerini yeni, verimli ve hızlı üretim yöntemlerini bulmak adına ateŐlemiŐtir. Özellikle bu gelişim kendini ocak üretim safhasında farklı prensiplerde çalıŐmasına karşın temelde hızlı üretim esasına dayanan makinelerde kendini göstermiştir.

2.1. Mermer Üretim Yöntemleri

Mermer ocak işletmeciliği, uygarlık tarihinin ilk tarihlerinde baŐlamıŐ, temel prensipleri değişmemekle beraber yüksek üretim kapasitelerini sağlayan mekanizasyonun bu alana gelmesiyle günümüzdeki Şeklini almıştır.

Mermer ocak işletmeciliğinde amaç, mermer fabrikaları ve piyasanın istediği boyutlarda kırıksız ve çatlaksız blok çıkartmaktır. Mermer ocak Őekline karar verdikten sonra, mermer blokları ocaktan çıkarana kadar karşılaşılan üretim aŐamalarının incelenmesi ve üretim yöntemine karar verilmesi gereklidir.

Mermer üretim yöntemlerini iki ana baŐlık altında incelemek mümkündür [5].

- Kapalı ocak işletmeciliği ile mermer üretimi
- Açık ocak işletmeciliği ile mermer üretimi

Capuzzi'ye [5] göre kapalı ocak işletmeciliği ile mermer üretiminin birkaç uygulaması mevcut olmakla birlikte kullanımı oldukça kısıtlıdır. Yüksek maliyet gerektiren bu uygulamalar, ancak ender rastlanan ve iyi bir pazar payına sahip kayaçların açık iŐletmeye uygun olmayacak derinliklerde bulunması durumunda kullanılmaktadır [6].

Açık ocak işletmeciliği ile mermer üretiminin temeli ilk çağlarda insanın barınma amaçlı yapılaşmaya geçmesi ile başlar ilk çağlardan günümüze kadar birçok mermer üretim yöntemi kullanılmıştır. Açık ocak mermer işletmeciliğinde günümüze kadar kullanılan üretim yöntemleri genel hatlarıyla Çizelge 2.1’de verilmiştir [7].

Çizelge 2.1. Açık ocak işletmeciliği ile mermer üretim yöntemleri

İlkel Yöntemler	Mekanik Yöntemler
➤ Oluk-kanal açma	➤ Taş kesiciler ile sürekli kesim
➤ Delik delme (Üçlü kama)	➤ Tel testerelerle üretim
➤ Modern üçlü kama	➤ Kombinasyon ile üretim
➤ Patlayıcı madde yöntemi	➤ Termal ok (Rocket jet)
	➤ Basınçlı su yöntemi (water jet)
	➤ Lazer ışınları ve ultrason yöntemi
	➤ Elmas tel kesme yöntemi

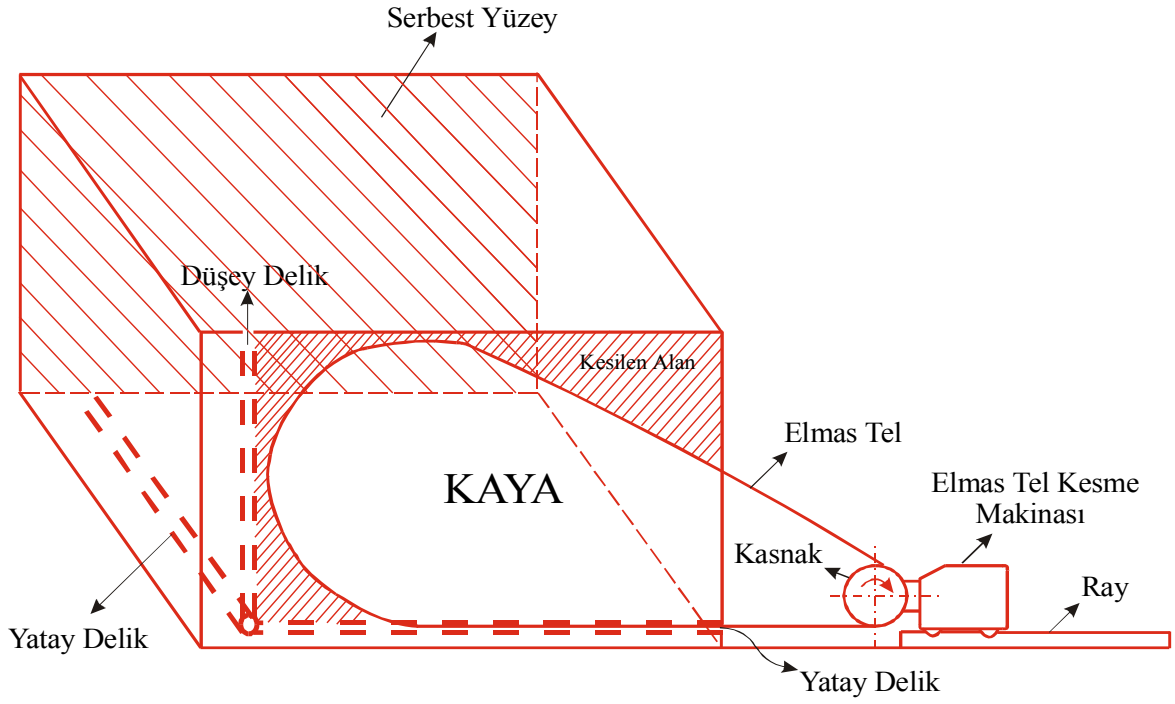
Söz konusu üretim yöntemlerinden en güncel olanı ve en son geliştirilenlerden biri elmas tel kesme yöntemidir. Elmas tel kesme üretim yönteminin geliştirilmesinde en önemli aşamayı, helezon çelik tel ile üretim yönteminin kullanılmaya başlanması oluşturmaktadır. Helezon çelik tel sistemi 1884 yılında bir Fransız mühendis Eugène Chevalier tarafından geliştirilmiş [5] ve 1889 yılında uluslararası Paris fuarında dünyaya tanıtılmıştır [8]. Daha önceleri kullanılan yöntemler, düşük kapasiteli, üretim esnasında fazla kayba neden olan ve yüksek oranda değişik jeolojik koşullara bağımlı kalan yöntemlerdir. Bu nedenle araştırmacılar, helezon çelik tel ile üretim yöntemini geliştirmişlerdir [6]. Başlangıçta diğer yöntemlere göre büyük avantajlar içerdiği düşünülmüş olsa da, uygulama aşamasında ortaya çıkan sorunlar, araştırmacıları yeni çözümler üretmeye zorlamışlardır. Helezonik çelik tel sisteminde silisli kumun yanında tungsten karbür gibi aşındırıcılarda kullanılmasına rağmen istenilen verim elde edilememiştir. Bu sistemdeki problemlerin üstesinden gelebilecek en iyi aşındırıcının elmas olduğuna karar veren araştırmacılar, elmas boncuk yapısı oluşturma düşüncesini ilk defa 1968-

1969 yıllarında değerlendirmişlerdir [9]. Burada, helezonik çelik tel ile doğal taş kesmedeki dezavantajlar sonucunda “helezonik telli kesme sistemi” içinde, yay ile bağlanan elmaslar ile telde ‘boncuk’ yapısı oluşturma düşüncesi değerlendirilmiş ve böylece sanki bir gerdanlık gibi, elmasın üstün ve sıra dışı özellikleri ile telin esneklik özellikleri birleştirilerek taş içinde etkin bir kesici ortam oluşturulması düşüncesi ortaya atılmıştır. Bu düşünce üzerine yapılan çalışmalar sonucu oluşturulan elmas boncuklu tel 1969 ve 1970 yıllarında sergilenmiştir. İlk olarak elektrolitik kaplamalı elmas boncuklu tel ile kesme ekipmanları ocaklarda doğal taş kesimi için denenmiş, ancak büyük çekme ve eğilme gerilmelerine maruz kalan tellerin mekanik dirençlerinde sorunlar çıkmıştır [10].

2.2.Elmas Telli Blok Kesme Teknolojisi

Doğal taş ocaklarında blok üretiminde uygulanan üretim yöntemleri, genelde üretimde kullanılan makina ve ekipmana göre isimlendirilmektedir. Bir doğal taş yatağında uygulanacak üretim yöntemi; kayacın fiziksel, mekanik ve petrografik özellikleri ile blok alınabilme durumu, kayacın jeolojik yapısı, planlanan üretim miktarı ve işletme olanakları değerlendirilerek tespit edilmektedir. Doğal taş yatırımının birinci ve en önemli aşamasını ocak işletmeciliği oluşturmaktadır. Bu sebeple hatalı işletme yönteminin seçiminde ekonomik olmayan sonuçların alındığı birçok örnek bulunmaktadır. Ayrıca, seçilen bir işletme yöntemi de işletme döneminde edinilecek tecrübeye göre geliştirilebilmektedir. Fakat üretim esnasında işletme yönteminin değiştirilmesi için yapılacak denemelerin ekonomik olmayan sonuçları beraberinde getirebileceğini de unutmamak gerekir. Bu sebeple üretime geçmeden önce etkili bir fizibilite çalışmasının yapılması gerekmektedir [11].

Karbonat kökenli doğal taş blok üretim yöntemlerinden günümüzde doğal taş ocaklarının yaklaşık %90'ından fazlasında kullanılan en yaygın üretim yöntemi elmas telli kesme yöntemidir. Şematik görünümü Şekil 2.1'de verilen elmas telli kesme yöntemi; elmas boncuklar, çelik tel, elmas telli kesme makinası ve yardımcı makina ve ekipmanlar yardımıyla, doğal taş ocaklarında blok doğal taş kesmek ve kesilen blokları nakledilebilir büyüklükteki bloklara parçalamak amacıyla kullanılan modern bir üretim yöntemi ve blok kesme teknolojisidir [11].



Şekil 2.1. Elmas telli kesme yönteminin yanal şematik görünümü [6]

Elmas telli kesme yöntemi genel olarak;

- Doğal taş madenciliği ve dekoratif kesimlerde,
- İnşaat temel yapılarının, tren yolu köprülerinin, eski beton bacaların, baraj bentlerinin kesilerek kaldırılmalarında,
- Çelik yapı/boru kesimlerinde,

başarı ile kullanılmaktadır [11].

Özçelik [6], Primavori [9], [12]'ye göre elmas telli kesme yönteminin üstünlükleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Her türlü yeraltı ve yerüstü yapıların kesilmesinde kullanılabilmesi,
- Başka yöntemlerle birlikte kullanılabilen esnek bir yöntemi olması,
- Doğal taş madenciliğinde büyük boyutlu kesimlerin yapılabilmesine olanak sağlaması (200 m²'den büyük),
- İlk yatırım maliyetlerinin düşük olması,

- Makina ve ekipmanın kendini amorti etme süresinin daha kısa olması,
- Daha az toz ve artık oluşturması,
- Daha az kayıpla daha düzgün blok üretimine olanak sağlaması ve bloğa hasar vermemesi,
- İş yoğunluğu diğer yöntemlerden daha az olduğundan, iş gücünün daha verimli kullanılmasına imkân tanınması,
- Yüksek kesme hızlarında üretim kapasitesini arttırmanın mümkün olması,
- Doğal taş işletmeciliği dışında farklı alanlarda da rahatlıkla kullanılabilmesi [6].

Elmas telli kesme yönteminin dezavantajı ise sadece; ön delik delme gereksiniminin olması, su temininin çok önemli olması ve yetişmiş personelin gerekliliğidir. Bununla birlikte, elmas telli kesme yöntemi, her tür doğal taş ocağı için uygun değildir [6]. Özellikle çatlak ve eklemelerinden açılarak çıkartılan doğal taş kütlelerinin bloklara bölünmesi, elmas telli kesme yönteminin kullanılmasından daha ekonomiktir. Çatlak ve eklem sistemi çok gelişmiş doğal taş ocaklarında elmas telli kesme yönteminin kullanılması, verim arttırılmasına bir katkıda bulunmayacağı gibi, aksine, üretim veriminin düşmesine de neden olabilmektedir. Elmas telli kesme yöntemi, çatlak ve eklemeleri az, masif yapıda sert taş dışındaki doğal taşlar için uygun bir yöntemdir [2].

Tel ile kesim yüzyıllar boyunca insanların doğal taş kesimi için kullandıkları bir yöntem olup günümüzde de hala ocaklarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İlk başlarda insan gücü ile kullanılan tel; mekanik olarak helezon telle başlangıç yapıp günümüzde elmas tel ve türevlerine doğru gelişim göstermiştir. Sadece değişim insan gücünden mekaniksel güce değil aynı zamanda kullanılan aşındırıcılarda, kesim yöntemlerinde, kullanılan tel sayısında ve kesim hızında kendini göstermektedir.

Günümüzde telle kesimde geldiğimiz noktayı evrimin sonu olarak nitelendirmek büyük bir yanlışlıktır. Telle kesme sistemlerinin geliştirilerek daha yaygın kullanımı için bu parametrelerin belirlenmesi ve kesim performansına etkilerinin kapsamlı bir şekilde araştırılması gerekmektedir. Bu amaçla 1999 yılında Özçelik [6] tarafından

oluşturulan “Kesim Performansını Etkileyen Parametreler” Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Elmas telli kesme yönteminde kesim performansına etki eden parametreler

Kesilecek kayacın özelliklerine göre sabit faktörler	Değiştirilebilir ya da Kısmen Değiştirilebilir Özellikler	
	Kesme Ekipmanının Özellikleri	Çevre ve Çalışma Koşulları
<ul style="list-style-type: none">• Sertlik• Dayanım• Su içeriği• Alterasyon derecesi• Süreksizlikler• Mineralojik bileşim ve doku	<ul style="list-style-type: none">• Motor gücü ve telin dönüş hızı• Elmas telin yapısı• Metredeki boncuk sayısı• Kesilecek bloğun boyutları• Kesme süresi boyunca telin kesme geometrisi• Su tüketimi• Telin hızı	<ul style="list-style-type: none">• Makina titreşimi• Kalifiye eleman

Günümüze kadar elmas telli kesme yönteminde kesim performansını etkileyen parametrelerle ilgili bazı önemli çalışmalar yapılmıştır. Berry ve arkadaşları tarafından kesim geometrisi ve kapasitesi ilişkisi ortaya konmuştur ve geometri arttıkça kapasitenin düştüğü belirlenmiştir [13]. Hawkins ve arkadaşları gerdirme kuvvetini kontrol etmenin aşırı tireşime engel olduğunu belirtmiştir [14]. Bortolossi ve arkadaşları elmas tel ile kayaç kesmede simülasyon ve optimizasyon çalışmaları yapmıştır [15]. Wright tarafından ETKM ile farklı özelliklere sahip mermerler için kesim hızı ile tel ömrü arasındaki ilişki incelenmiştir [16]. Hallez tarafından kesme hızı ve tel üzerindeki gerilmeler arasındaki ilişki incelenmiş ve blok boyutundaki artışın teldeki gerilmenin artışına neden olacağı belirlenmiştir [17]. Cook & Smith farklı mermer türleri için kesme işlemine etki eden elmas tel yapısını belirlemek için elmas tellerin aşınma karakteristiklerini incelemiştir [18]. Urhan ve Şişman blok mermer üretiminde elmaslı tel kesme kullanımı uygulaması ve kesme veriminin optimizasyonu incelenmişlerdir [19]. Biasco, elmas telli kesme yönteminin sert kayaçlar için uygunluğunu incelemiştir [20]. Bortolossi ve

arkadaşları elmas telin kesme kinematığı ile ilgili eşitlikler türetmiştir [21]. Özçelik kayaçların dokusal ve minerolojik, fiziksel ve mekanik özelliklerinin mermer ocağında kullanılacak kesim aletlerinin seçimi için önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur [6]. Özçelik'e göre mermer sertliği arttıkça elmas telin dönüş hızını düşürmek gereklidir [6]. Özçelik tarafından farklı mermer türlerinin shore, koni kesici ve schimdt değerleri ile elmas boncuktaki aşınma değerleri incelenmiştir [6]. Korre & Durucan farklı yönelimlerdeki farklı granitlerin elmas tel ile kesim performansını incelemiştir [22]. Özçelik & Özgüven sert kayaçlarda ETKY' nin kesme hızına etkisini incelemiştir ve birim aşınma (mm) ile kesim hızı (m^2/h) arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır [23]. Primavori'ye göre ETK yönteminin en önemli dezavantajları birincil delik delme, su ihtiyacı ve becerisi üst seviyede olan personel gereksinimidir [9]. Primavori' ye göre kalkerli kayaçlarda her iki tip boncuk da kullanılabilirken, sert kayaçlarda sinterize tip tercih edilmelidir [12]. Özçelik andesitik kayaçlardaki kesimlerde elmas boncuk meydana gelen aşınmanın çok değişkenli istatistiksel analizini incelemiştir. Analiz sonucunda dört aşınma modeli elde edilmiştir [23]. Özçelik ve arkadaşları tarafından kayacın dokusal özelliklerinin elmas telli kesime olan etkisi incelenmiştir [25]. Özçelik & Bayram tarafından blok boyutlarının elmas tel kesme verimliliğine etkisinin incelenmesi çalışılmıştır [26]. Özçelik kayaçların minerolojik ve fiziksel özellikleri saptanarak mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır [27]. Özçelik elmas telli kesmede elmas telin optimum çalışma koşullarını incelemiştir [28]. Özçelik ve arkadaşları arazi şartlarında da kesim yapabilen, özelleşmiş hassas ölçüm cihazlarına sahip model elmas tel kesme makinası düzeneğinin oluşturmuş ve kesmede etken parametrelerin incelemiştir [29]. Özçelik ve arkadaşları Krem Crema türü ticari isimli doğal taşların kesiminde özgül enerji değeri gözönüne alındığında metrede 26 boncuk kullanılmasını önermiştir [30]. Özçelik ve arkadaşları elmas telli kesmede kasnak çapının kesme performansına etkisini incelemiştir [31]. Yılmazkaya, arazide kullanılan 22kw gücündeki elmas tel kesme makinasında 70 cm çaplı kasnak kullanılmasını ve mümkün olduğunda dağ kesiminde kesilecek blok boyutlarının y/g oranının 1.0'a yakın olmasını önermiştir [32]. Kanbir tarafından Elmas Telli Kesme yönteminde elmas boncuk seçim kriterleri ortaya konmuştur [33]. Özçelik ve arkadaşları elmas tel kesme makinasında metredeki boncuk sayısının kesme performansına olan etkisini

incelemiş ve metredeki boncuk sayısı artıkça kesme hızının da arttığını belirlemiştir [34]. Özçelik, Tek Boncuk Test Cihazı'nı geliştirerek laboratuvar ölçekli kesimlerin arazide elmas tel kesme makinası ile yapılan kesimlerle uyumluluğunu araştırmıştır [35]. Özçelik & Yılmazkaya tarafından elmas telli kesme yönteminde elmas boncukların kesme performansının boncuk ömrü boyunca değişimi incelenmiştir [36].

Yukarıda bahsedilen çalışmalar incelendiğinde, elmas boncuklar üzerine yapılan çalışmaların kısıtlı sayıda olduğu, farklı tipte kayaç grupları (hakiki mermer, kireçtaşı ve granit) için kesilebilirlik abakalarının oluşturulmasına yönelik bir çalışmanın olmadığı, ayrıca elmas telli kesme yönteminde elmas boncuktaki farklı elmas konsantrasyonun kesme performansına etkisinin incelenmemiş olduğu görülmektedir.

Literatürde daha önce böyle bir çalışmanın yapılmaması sebebiyle bu çalışma, mermercilik sektöründe bilinçli mermer üretimi, elmas boncuk seçimi ile kullanımı ve en uygun kesme parametrelerinin bulunması konusunda var olan büyük bir boşluğu doldurmaktadır.

2.3.Elmas Telli Kesmede Kullanılan Boncuk Türleri ve Özellikleri

Elmas boncuklar, elmas telli kesmede taşı kesen ana kısmı oluşturmaktadır. Bu nedenle elmas teldeki en önemli parçayı oluşturmaktadır [18], [37], [38].

Başarılı bir elmas boncuğun tasarımı, yüksek kaliteli bağlayıcı/çimento (matriks) tozları ile elmasların uygun seçimi ile başlamaktadır. Matriks, - herhangi bir zarar vermeden – elmas tanelerini sıkı bir şekilde tutmalı ve kesme süresince belirli bir aşınma göstererek, hem mikro düzeyde sabanlama yapan elmas tanelerinin uç kısmının rahat işlem yapması, hem de talaş akışının rahat gerçekleşmesini sağlamalıdır. Boncuk verimi için elmas-matriks arasındaki bağ son derece etken olmaktadır [11]. Elmas boncukların mikroyapısı iki ana karakteristik malzeme tarafından belirlenmektedir. Bunlar, elmas ve matrikstir (bağlayıcı malzeme).

Elmas: Elmas tanecikleri kesme/abrasif aşındırma işlemini yerine getiren saf karbondur. Milyonlarca yıl önce karbon, yüksek sıcaklık ve basınç (1100-1300 °C ve en fazla 7 GPa) altında, bazen 80 km'den daha derinlerde kristallere

dönüşmüştür. Kübik sistemde, çoğunlukla oktaeder ve heksakisoktaeder olarak kristallenir. Yoğunluğu 3,52 g/cm³'dür. Yeryüzünde bilinen en sert doğal maddedir. Korundum ve elmas, Mohs skalasında sırayla 9. ve 10. sırada yer almalarına rağmen, elmasın aşınma direnci korundumdan 140 kat daha yüksektir. Bu özelliğinden dolayı büyük kullanım kolaylığı bulunmaktadır. Elmas kristalleri şeffaf görünümünden, sarı-yeşile kadar değişik renklerde olabilmektedirler. Bu renk değişimleri kristalin yapıda eser miktarda azot kapılmasından dolayıdır. Renk değişimleri ayrıca, yüzeyden ışık yansımaları ve inklüzyon tiplerinden de etkilenmektedir. Bir elmas boncuğun verimi normal olarak elmastaki renk değişimlerinden etkilenmez [11].

Boncuk veya testere sistemiyle kesim işleminde, kesme-aşındırma işlemini yapan asıl eleman elmas tanecikleridir. Elmas kristallerin şekli ile performansı arasında belirli bir ilişki vardır. Yüksek oranda düzensiz şekilli, açılı kristaller yumuşak karakterdeki doğal taşların kesiminde kullanılabilir. Kristallerin şekli büyük, blok tipi bir hal aldığında kesimi zor olan, sert karakterdeki doğal taşların kesim işlemlerinde daha uygun olmaktadır. Bloğumsu kristaller kübik-oktahedral şekillidir. Bu elmas şekli, en az yüzey teması ile kırılmaya karşı en büyük direnci vermektedir. Bunun sonucu olarak, daha küçük makina gücü ile daha uzun kesici ömrü elde edilmektedir. Son yıllarda, teknolojiye paralel olarak, doğal taş kesme sırasındaki sürtünme ile oluşan aşınmaya dayanıklı, yüzeyi ince film kaplama teknikleri kullanılarak kuvvetlendirilmiş elmas taneciklerinin bulunduğu lamalar veya boncuklar kullanılmaktadır. Elmas şekli; kristal morfolojisi, yüzey yapısı gibi birçok yapısal özelliği kapsar. Bir elmas kristali keskin kenarlı, düzgün yüzeyli geometrik şekle sahip olmalıdır. Blok tipindeki düzgün yüzeyli kristaller, kesimde en yaygın olarak kullanılan elmas kristalleridir. Kristallerin mukavemeti, geometrik yapısının düzensiz olması durumunda düşmektedir. Kristallerin şekli, kesme işlemi sırasında elmas ile kayaç arasındaki temas geometrisini de belirlemektedir. Kristal şekli aynı zamanda kesme kuvvetlerini de etkilemektedir [11].

Doğal elmas parçacıklarının endüstriyel anlamda kullanımı ile başlayan uygulama, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında elmas sentezinin başarılması ile sentetik elmas üretimine neden olmuştur. Kesici takım üreticileri, kesici takımlarda giderek

artan bir şekilde doğal elmas yerine sentetik elmas kullanımını homojenliği ve ucuz olması nedeniyle tercih etmektedirler.

Elmas kristallerinin geometrisi yüzeylerin gelişmesine bağlıdır ve fiziki ve kimyasal özellikleri için önemlidir. Farklı kristal yüzeyleri, farklı mekanik özellikleri (sertlik, çentik, aşınma direnci, öğütülebilme oranı, kırılma enerjisi gibi), farklı kimyasal özellikleri (kimyasal madde absorpsiyonu, oksijen ile reaksiyon, çözücü metallerle reaksiyon) meydana getirmektedir [11].

Bir elmas boncuk yüzeyindeki elmas kristallerin yüzey yoğunluğu (birim yüzey alanında elmas tane sayısı), boncuğun ömrünü ve gerekli kesme kuvvetlerini belirleyerek boncuk performansına doğrudan etki etmektedir. Kesme yüzeyindeki kristal yoğunluğu ise boncukta kullanılan elmas miktarı (hacim %) ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek bir performans elde etmek için, elmas tane boyutu ile elmas miktarının mutlaka dengelenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, elmas kristalinin büyümesi sırasında inklüzyonlar oluşabilmektedir. Kristal içerisindeki bu inklüzyonlar, kristalin kesme zorlaması altındaki verimini ve dayanımını azaltmaktadır.

Matriks: Doğal taş kesiminde kullanılan kesicilerin matriksi oldukça karmaşık, çok değişik yapıda olabilmektedir. Genelde doğal taş için matriks tasarımı Ni, Si, Fe, Mn, Co, W, WC, Cu-Zn ve Cu-Sn tozları üzerinden yapılmaktadır. Matriksin kesme koşullarında, elmas taneciklerine herhangi bir zarar vermeden, elmas taneciklerini sıkı bir şekilde tutması gerekmektedir. Mikro yapı göz önüne alındığında matriksin toz boyutunun önemli olduğu görülmektedir. Tozların tane boyutlarının iriliği, inceliği, düzenli ya da çok boyutlu olması matriksin aşınma direncini, akma ve sıkışma özelliklerini etkilemektedir [11].

Matriks tasarımında, elmasları bir arada tutan bir bağlantı evresinden ve genelde uygulanan sıvı faz sinterlemesinde, gözenekleri kapatmaya yarayan bir dolgu evresinden faydalanılmaktadır. Bağlantı evresi için kobalt, nikel, bakır, WC, TiC, Mo₂C, TiB₂, demir ve mangan elementleri ve bileşikleri bu elementlerin kombinasyonlarından faydalanılırken dolgu evresi için genelde bronz veya pirinç kullanılmaktadır. Değişik bakır alaşımları, yüksek sertlik matriksinde yalnız dolgu evresi olarak kullanılırken, düşük sertlikteki bir matriks tasarımı için miktar olarak yüksek tutulmaktadır [11].

Kobalt, elmas boncuklarda matriks malzemesi olarak yaygın kullanılmaktadır. Elmas, tanelerinin iyi bağlanmasını sağlamakta ve kesim sırasında elmas aşınmasına uygun olarak aşınmaktadır. Buna karşılık kobalt, stratejik ve pahalı bir malzemedir. Daha ucuz malzemeler, örneğin; bronz, demir, nikel ve tungsten kullanılmakta ancak istenilen randıman tam anlamıyla alınamamaktadır. Yapılan çalışmalar kobalt yerine bor destekli nikel alüminyumun kullanılabileceğini göstermiştir [39].

Elmasları tutmada ve desteklemede kullanılan matriks için mutlaka takım tipi ve çalışma koşulları göz önünde tutularak seçim yapılmalıdır. Elmasların etrafındaki matriksin aşınması, elmasların kendi konumlarındaki yerlerinden çıkmasına izin vermeksizin, kesici takımın maksimum hızda çalışabileceği şekilde sürmelidir [11].

Elmas boncuklar üretim yapıları itibariyle genel olarak dört gruba ayrılırlar [1], [6], [40];

- 1) Elektrolitik kaplamalı elmas boncuklar
- 2) Sinterize (emprenye) elmas boncuklar
- 3) Kimyasal yapıştırırmalı elmas boncuklar
- 4) Elmas enjeksiyon ile biçimlendirilmiş elmas boncuklar

İlk üç sistemde de öncelikle elmas tozları bir ayırım ve sınıflama işlemine tabi tutularak kesilecek kayaca uygun olarak boncuk ve tel imali gerçekleştirilmektedir. [41] elmas tane boyutuyla kesilecek malzeme arasında sıkı bir ilişkinin olduğunu belirtmiş ve genellikle tavsiye edilen boyutların Çizelge 2.3'teki gibi olması gerektiğini ifade etmiştir.

Çizelge 2.3. Malzeme türüne göre kullanılması gereken elmas tane boyları

Tane Boyu	Malzeme Türü
40/50 U.S. Mesh	Sert, ince taneli malzemeler (Örneğin, granit ve bazalt)
30/40 U.S. Mesh	Orta sert malzemeler (Örneğin, mermer)
20/30 U.S. Mesh	Nispeten yumuşak malzemeler (Örneğin, kumtaşı)

Değişik boyutlardaki elmas tozları çoklu eleğin içine atılarak yaklaşık bir saat elekten geçirilerek aynı boydaki elmasların ayırımı sağlanır. Kullanılan elmas sentetik elmadır. Bu nedenle çok kaliteli olmak durumundadır. Aksi takdirde uzun uğraşlar sonucu elde edilecek elmas boncuk görevini yerine getiremeyecek ve beklenen performansı vermeyecektir.

Ayırım işlemi tamamlandıktan sonra ayrıştırılmış olan elmas taneciklerinden her boy elmas gruplarından birkaç numune alınıp mikroskopta incelenir. Köşe yapıları ve keskinlik düzeyi görülür.

Alınan numuneler mikro sertlik ölçüm cihazına konularak üzerine baskı uygulanır. Buradaki amaç, elmas taneciklerin sağlamlığını ölçmektir. Elmas taneciklerinin dayanıklılık ölçümü aynı zamanda bu taneciklerin kalitesini belirtmektedir [11].

En büyük elmas üreticisi ve pazarlayıcısı olan De Beers firması, ürettiği elmas tiplerini üç ayrı kategoride toplamıştır.

a) SDA Boyutu: 250 μm (60 US Mesh)'den daha iri tane boyutuna, düzgün kübik oktahedral kristal yapısına ve ayrıca en yüksek dayanım ve aşınma direnci için ideal boyutlara sahiptir. SDA 100 ve SDA 100+ serisi sert kayaçların verimli kesilmesi için ideal boyuttadır. SDA 85 ve SDA 85+ orta sertlikte ve aşındırma özelliğine sahip kayaçlarda kullanılabilen ve çok geniş bir kullanım alanına sahip olan aşındırıcılardır.

b) MDA Boyutu: Bu boyut elmaslar, SDA sınıfındaki şekil ve dayanım özelliklerine benzer özellikler taşır. Ancak, 250 μm 'den daha küçük boyutlardadır. Bu nedenle daha ince yüzey işlemleri gerektiren taşlama, öğütme işlemlerinde de kullanılabilirler.

c) Doğal Boyutlar: Doğal elmas aşındırıcılarının sentetik elmas aşındırıcılara göre birçok avantajları vardır. Doğal elmas aşındırıcıların daha hızlı kesim yapmaları, temas edilen kayaç yüzeyinin daha geniş bir alana sahip olması, bu avantajlar arasında sayılabilir. Değişik boyutta olabilirler, ancak çok zor bulunmaları ve çok pahalı olmaları kullanımlarında sorun oluşturmaktadır.

Elmas boncuk yapımında gerekli malzemeler elmas boncuğun ana gövdesini oluşturan a)çelik yüzük gövdesi ve b) elması gövdeye rapteden matriks tozudur.

a) Çelik yüzük gövdesi: Silindirik yapıda olan bu gövde normal çelikten çok daha sert ve matriks ile uyumlu olmalıdır. Aksi takdirde imalat aşamasında daralma, kullanım aşamasında ise çap genişlemesi söz konusu olacaktır.

b) Matriks tozu: Çeşitli oranlarda kobalt, bakır, bronz, karbit, çelik, çinko ve nikel dâhil yaklaşık 30 değişik madde içeren bir karışımdır. Elmas tozu üretilecek elmas boncuğun özelliğine uygun boyda olmalıdır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Elmas tozu ve elmas taneciğinin boncuk üzerinde görüntüsü

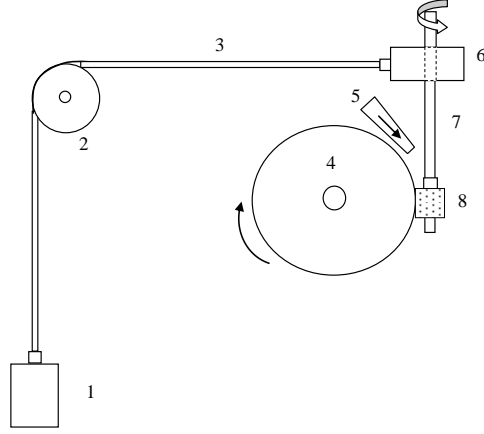
3. BİLGİSAYAR KONTROLLÜ TEK BONCUK TEST CİHAZI

Elmas telle kesim; doğal taş, silisli ve kalkerli kayaların kesimi için yapı endüstrisinde iyi bir yer edinmiştir. Elmas tel maruz kaldığı koşullardan çok fazla etkilenmektedir. Bu yüzden üretim ve işleme evrelerinde elmas tel maliyeti toplam maliyetin %40-50'sini oluşturmaktadır. Dolayısıyla maliyet açısından yüksek bir oranı teşkil eden elmas telin, kesim sırasında ekonomik ve etkin bir biçimde kullanılması için kayaca en uygun boncuk ile dizilmiş olması gerekmektedir. Hem elmaslı kesici takım üreticileri hem de akademik çevreler bu yüksek maliyet oranlarını düşürmek için çeşitli arayışlara yönelmiştir. Bu araştırmalarda, saha çalışmaları masraflı ve zaman alıcı olduğundan, sistemin laboratuvar koşullarında bir modeli oluşturularak, etken faktörlerin önceden belirlenmesi ve bu sayede performansın artırılması öngörülmüştür. Bu nedenle Hacettepe Üniversitesi finansmanı ile Prof. Dr. Yılmaz Özçelik tarafından 2007 yılında "Tek Boncuk Test Cihazı" projelendirilip, geliştirilmiştir [33]. Tek Boncuk Test Cihazı'nın genel görünümü Şekil 3.1'de, şematik görünümü ise Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Tek boncuk test cihazının genel görünümü

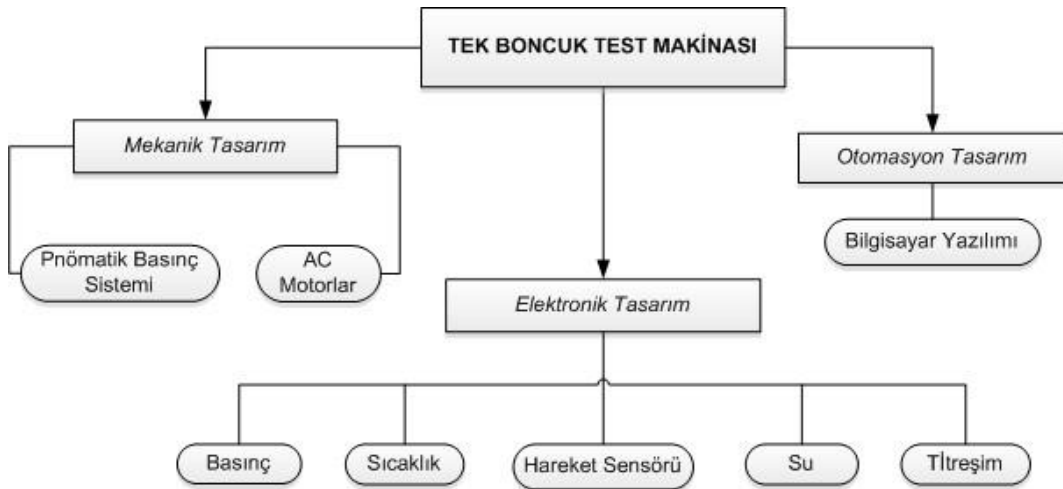
1. Basınçlı hava sistemi
2. Makara
3. Germe kablosu
4. Mermer numunesi diski
5. Basınçlı su
6. Bilyeli yuva
7. Boncuk taşıma kolu
8. Elmas boncuk



Şekil 3.2. Tek boncuk test cihazının şematik görünümü

Şekil 3.1'den de görülebileceği gibi test cihazı, biri mermer numunesini (4) döndüren, diğeri elmas boncuğu döndüren (8) iki adet motora, elmas boncuğu kesilecek numuneye yaklaştırıp basınç uygulayan hareketli bir düzeneğe (1, 2 ve 3) sahiptir. Kesimler yapılırken her iki motorda hareket halindedir ve belirlenen bir yük değeri uygulanarak elmas boncuğun mermer numunesine baskı yapması sağlanmaktadır.

Geliştirilen test cihazı sayesinde, laboratuvarında elmas boncukları farklı türde kayalar için ayrı ayrı test etme imkânı doğmuştur. Çalışmada, kesilecek kayaca en uygun boncuk seçimi için kriterlerin ortaya konulmasıyla tel maliyetini düşürme ve makinayı en uygun şartlarda kullanma ile ülke ekonomisine katkıda bulunma amacı güdülmüştür. Şekil 3.3'te tek boncuk test cihazını oluşturan kısımlar verilmiştir.



Şekil 3.3. Tek Boncuk Test Cihazını oluşturan kısımlar

3.1. Makinanın Mekanik Tasarımı

Tek Boncuk Test Cihazı, bünyesinde hem elektrikli hem elektronik, hem de basınçlı hava sistemleri birlikte bulundurmaktadır. Bu sistemlerden elektrikli olan kısmı AC motorlar, AC sürücüler, açma-kapama düğmeleri ve valfler, elektronik olan kısımları algılayıcı ve kontrol ekipmanları, basınçlı hava kısmını ise piston ve hava tankı oluşturmaktadır.

3.1.1. AC motorlar

Test cihazına, mermer numunesini hareket ettiren birincil ve elmas boncuğa hareket veren ikincil olmak üzere iki AC motor monte edilmiştir (Şekil 3.4). Bu motorlardan, temel işlevi 30 cm çapındaki mermer numunesine dairesel hareket sağlamak olan 0,75 kW (1 HP) lik model motor şaseye bağlıdır ve dakikada 500 devir ile çalışabilmektedir. Numune bu motora, 5 cm çapında çelik bir milin baş tarafına monte edilmiş 8,5 cm çapındaki kapak ile aynı çaptaki çıkarılabilir başka bir kapağın birbirine 2 adet vida sayesinde sıkıştırılmasıyla bağlanmaktadır. Diğer AC motor ise elmas boncuğun kayaç numunesini kesmesi için gerekli olan dairesel hareketi vermekle görevlidir. 1,5 kW (2 HP) lık güce sahip olan bu AC motor, dakikada maksimum 12.000 devir yapabilme kapasitesine sahiptir. Çapı 8,5 cm olan bir mil aracılığı ile elmas boncuğa döndürme hareketini iletilir ve bu şekilde boncuk yüksek frekansla döndürülür. AC motorlar AC sürücülerle kontrol edilmektedir



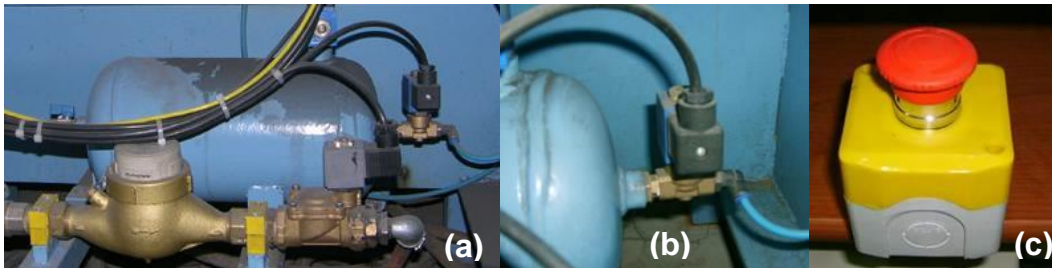
Şekil 3.4. Test cihazında kullanılan düşük (a) ve yüksek (b) devirli AC motorlar

3.1.2. Basıncılı hava sistemi

Cihaz şasisinin üst kısmına yataklanmış bu düzener ile, elmas boncuğun X-ekseni boyunca ilerleyerek, kayacı kesmesi için gerekli olan basınç sağlanmaktadır. Kayaca doğru bir basınç uygulaması gerektiğinden sistemde hava ile çalışan piston kullanılması tercih edilmiştir (Şekil 3.5). Aralarında yüksek devirli AC motoru barındıran paralel iki adet yataklama mili, basınçlı hava sisteminin yürüyüş takımını oluşturmaktadır. Sistemin hareket etmesi için gerekli olan hava, cihazın altına monte edilmiş 5 lt hacme sahip bir tankta depolanmaktadır. Tanktan çıkacak hava miktarı, giriş ve çıkışlara yerleştirilmiş valfler ile kontrol edilmektedir. Bu şekilde tankta biriken hava, kesim süresince istenilen basınç değerini muhafaza ederek basınçlı hava sistemine gönderilebilmektedir. Kesim sonrasında ise sistemdeki basınçlı hava bir düğme yardımı ile boşaltılabilmektedir (Şekil 3.6). Basınç uygulama düzeneğinin aldığı yolun sayısal hale getirilip hesaplanabilmesi için pistonların hareket ettiği noktaya bir adet elektronik mesafe ölçme sistemi monte edilmiştir.



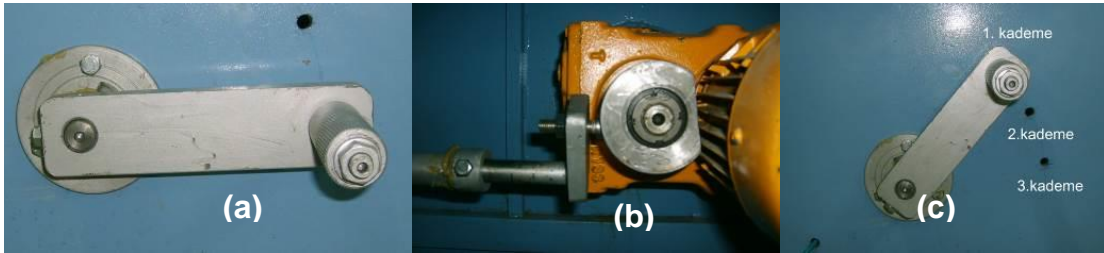
Şekil 3.5. Elmas boncuğu hareket ettiren havalı basınç sistemi ile yataklama sistemi (a) ve rotary encoder (b)



Şekil 3.6. Hava tankı (a), akış vanaları (b) ve hava boşaltma düğmesi (c)

3.1.3. Numune kesim ayar kolu

Deneyleerde kullanılacak numunelerde birden fazla kesim yapabilmek için, test makinasında kollu bir mekanizma tasarlanmıştır. Bu kol kayacı döndüren mili 5 mm kaydırma görevi görmektedir. Böylece her test numunesinde 5 milimetrelilik aralıklar ile 3'er adet oluk açılabilir. Kol makinanın yan kısmına monte edilmiş olup, burada bulunan deliklere yerleştirilmesi ile kademe ayarı yapılmaktadır. Sistemde kullanılan kaydırma kolu ve kademe ayarı Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Kaydırma Kolu (a, b) ve kademe ayar delikleri (c)

3.2. Makinanın Elektrik ve Elektronik Tasarımı

Test cihazının tüm elektrik ve elektronik yapısı bir pano altında toplanmıştır (Şekil 3.8). Bu pano, Tek Boncuk Test Makinası'nın enerji beslemesinin yapıldığı, gerekli şalt malzemelerinin kullanıldığı, frekans çeviricileri, yük hücresi akım çeviricisi, ısı kontrol cihazı ve güç analizörünün bulunduğu, ayrıca makine ile otomasyon programı arasında bilgi alışverişinde köprü vazifesi gören kısımdır, çalışmalara uygun bir şekilde özel olarak oluşturulmuştur.



Şekil 3.8. Elektrik panosunun iç ve dış görünümü

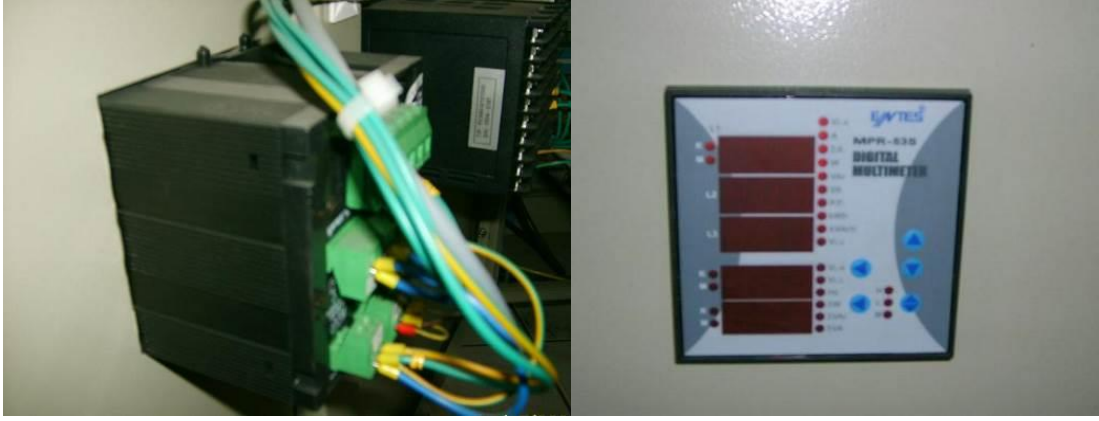
Tek Boncuk Test Cihazının tüm hareketlerinin bilgisayar aracılığı ile kontrol edilmesindeki temel amaç, birincil ve ikincil motorların dönme hızlarının kademesiz olarak düzenlenmesinin gerektiğidir. Bu hızların düzenlenmesinde hız ayarlayıcılardan (inverter) yararlanılması düşünülmüştür (Şekil 3.9). Bu cihazlar frekansın değiştirilmesi suretiyle AC motorların devir kontrollerinde kullanılmaktadır. Birincil kayaç numune motoru ve ikincil elmas boncuk motorunun hızını kontrol amacıyla AMC (American Motor Controllers) ve Telemecanic marka 1 ve 2 HP'lik iki adet hız ayarlama cihazı seçilmiştir. Bu hız ayarlama cihazları sayesinde motor devirlerinde birincil motor için 0-500 d/dk, ikincil motor için 0-12.000 d/dk 'lık sınır aralığında hassas şekilde devir ayarı sağlanmıştır.



Şekil 3.9. Test makinasında kullanılan AC motorlar için hız ayarlayıcılar

3.2.1. Güç analizörü

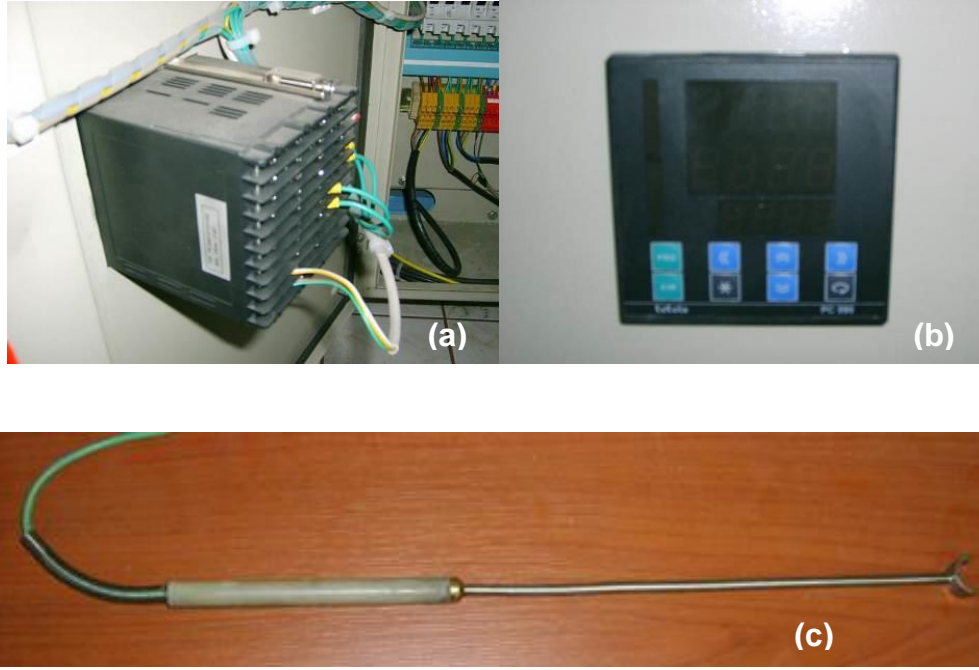
Test cihazında kullanılan güç analizörü ENTES markasının MPR-53S modelidir ve bir elektrik şebekesine ait tüm parametreleri ölçmek amacıyla tasarlanmış mikro-işlemci tabanlı evrensel bir cihazdır (Şekil 3.10). Ölçülen parametreler 5 ayrı ekranda gösterilmektedir. Bu aynı anda 40 dan fazla parametreyi inceleme imkanı sağlamaktadır. Bu parametrelerden bazıları voltaj (V), akım (A), aktif güç (Watt), reaktif güç (Var), frekans (Hz), aktif enerji (kVarH) ve reaktif enerji (kVarH) değerleridir. MPR-53S ayarlanabilir akım ve gerilim trafosu oranlarına ve optik izoleli MODBUS seri haberleşme protokolüne sahiptir. Analizör istenirse 9 iğneli bağlantı kablosu ile bilgisayara bağlanabilmektedir.



Şekil 3.10. Güç analizörü ve sayısal bilgi ekranı

3.2.2. Sıcaklık algılayıcısı ve kontrol cihazı

Test cihazında elmas boncuğun sıcaklık ölçümünde kullanılacak olan sıcaklık algılayıcısı kontrol cihazı ODESSA markasının PC770 modelidir. Endüstriyel ortamlardaki tüm işlem değişkenlerinin ölçümü ve kontrolü amacı ile tasarlanmış olup standart 72 mm x 72 mm ebatlarındadır (Şekil 3.11). Evrensel giriş/çıkış modülleri sayesinde her türlü besleme kaynağı ile her türlü işlem değişkeninin kontrolünde kullanılabilir. 240V/AC besleme gerilimi ile çalışan kontrol cihazı $\pm\% 0.2$ doğruluk oranına ve 100 ms örnekleme zamanına sahiptir. Kontrol cihazına bağlanan sıcaklık algılayıcısı ise, 50 cm boyunda, uç kısmı elmas boncuk çapına uygun olarak üretilmiş özel olarak tasarlanan sıcaklık algılayıcısından oluşmaktadır. Kesim sırasında ve sonrasında, sıcaklık algılayıcısı elmas boncuğa temas ettirilerek sıcaklık ölçümü yapılmaktadır.



Şekil 3.11. Sıcaklık algılayıcısı ve parçaların genel görünümü; sıcaklık kontrol cihazı (a), sayısal bilgi ekranı (b) ve elmas boncuk için sıcaklık algılayıcısı (c)

3.2.3. Basınç algılayıcısı

Kesme işlemi sırasında kayaca uygulanan basıncın değerini ölçmek için yük hücresi kullanılmıştır (Şekil 3.12). Yük hücresi basınçlı hava sistemi ile birlikte çalışmaktadır. Basınçlı hava sistemi, yük hücresinden aldığı verilere göre hareket ederek, basıncı otomasyon programında ayarlanan değerde sabit tutmaya çalışmaktadır. Düşey yükün büyüklüğü dikkate alınarak L tipi yük hücresi tercih edilmiştir. Yük hücresi 0,1 N doğruluk payı ile yaklaşık 250 ms çevirme hızına sahiptir. Yük hücresinin ölçtüğü veriler dönüştürücü kartı kullanılarak bilgisayar yazılımının tanıyabileceği sayısal hale getirilmiştir.



Şekil 3.12. Basınç ölçümleri için kullanılan yük hücresi ve akım çevirici

3.2.4. Titreşim Algılayıcısı

Tek Boncuk Test Cihazında, kesim sırasında elmas boncuk üzerinde oluşacak titreşimleri ölçmek için kullanılan sensör WILCOXON markasının PC420VR-20 modelidir (Şekil 3.13). Minimum 10V - 30V DC güç gereksinimi ile çalışan bu sensör $\pm\%5$ oranında hassaslığa sahiptir. Ayrıca aşırı yükleme koruma sistemine sahip ve korozyona karşı dayanıklıdır, 85 °C sıcaklığa kadar çalışabilmektedir. Titreşim algılayıcısı elmas boncuğa hareket veren ikincil motorun hemen altına monte edilmiştir.



Şekil 3.13. Titreşim algılayıcısı

3.2.5. Su algılayıcısı

Kesim ortamına verilen suyun kesim performansına ve aşınmaya etkisinin incelenmesi amacıyla üzerinde sensör bulunan su sayacıdır (Şekil 3.14). TEKSAN marka DigiSens DN 20 - DN 50 serisi debi algılayıcısı $\pm\%2-5$ arasında ölçme

hassasiyetine sahiptir ve maksimum 1 MPa basınç altında çalışabilmektedir. Debi algılayıcısından alınan veriler bir dönüştürücü yardımıyla kesim sırasında harcanan su miktarını lt/dk olarak otomasyon programına aktarmaktadır. Sistemde E-75XX tipi su sensör dönüştürücüsü kullanılmıştır.



Şekil 3.14. Debi algılayıcısı (a), selenoid vana (b) ve su besleme tertibatı (c)

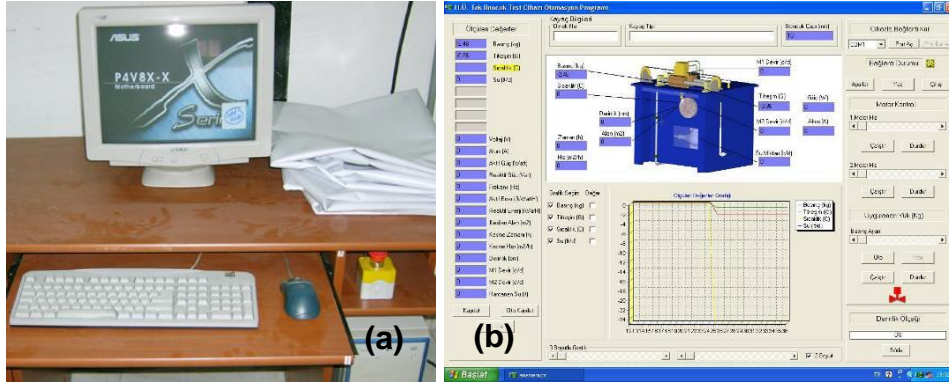
Tek boncuk test cihazının tüm mekanik ve elektrik-elektronik kısımlarının bulunduğu bölümler, içinde bulunduğu çalışma ortamından kaynaklanacak problemlerden etkilenmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle makineyi oluşturan saç, şasi dışında kalan havalı sistemin ve titreşim algılayıcısının bulunduğu kısım sert plastik cam bir kapak ile kapatılarak güvenlik altına alınmıştır. Şeffaf yapısı sayesinde cihazın çalışma anındaki hareketlerini görmeye engel olmayan bu kapak aynı zamanda dışarıdan gelecek darbelere karşı da yeterli dayanıma sahip olmaktadır.

3.2.6. Makinanın otomasyonel tasarımı

Tek Boncuk Test Cihazının ana bileşenlerinden birisi de makina üzerine yerleştirilmiş olan tüm motorların, sensörlerin, yük hücrelerinin, encoderin kontrol ve kumandasını sağlayacak bir masaüstü bilgisayardır (Şekil 3.15-a). Bu amaçla üstünde Windows XP işletim sistemi ve Microsoft Office 2003 ofis paketi yüklü Intel Celeron 1.8 Ghz mikro işlemcili, 128 MB sistem belleğine sahip bir masaüstü bilgisayar kullanılmıştır.

Bütün mekanik ve elektronik donanımın bilgisayar ile iletişimini ve kumanda kontrolünü sağlayan bilgisayar yazılım programıdır. Bu amaçla yapılması istenilen tüm fonksiyonları gerçekleştirilen bir yazılım programı geliştirilmiştir. Delphi programlama dilinde yazılmış olan programın başlıca görevleri, belirli zaman

aralıklarında sensörlerden gelen verilerin anlık olarak incelenmesi ve kaydedilmesidir. Şekil 3.15-b de yazılımın bilgisayar ekranındaki görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3.15. Test cihazının bütün fonksiyonlarını kontrol eden yazılımın üstünde çalıştığı masaüstü bilgisayar (PC) (a) ve ilgili programın ekran görünümü (b)

Bu programda ölçülen parametrelerin (Basınç (MPa), Titreşim (G), Su (lt/dak), voltaj (V), akım (A), aktif güç (Watt), reaktif güç (Var), frekans (Hz), aktif enerji (kVarH), reaktif enerji (kVarH)) anlık sayısal değerleri belirli zaman aralıklarında kaydedildiği gibi programdan elde edilen veriler başka programlara (Ör. MS Excel, SPSS, vs.) aktarılabilir. Kaydedilen değerlerle, istenilen istatistiksel analizler yapılabilmekte ve tüm parametreler arasındaki ilişkiler incelenebilmektedir.

Yazılım temelde 4 parçaya bölünmüştür. Bunlar;

- Ölçülen ve hesaplanan değerlerin gösterildiği bölüm
- Cihaz üzerindeki sensörlerden alınan verilerin şekil üstünde gösterildiği bölüm
- İstenilen parametrelerin zamana bağlı olarak değişimini gösteren grafik bölümü
- Yazılımın test cihazı ile olan bağlantısını sağlayacak ve cihazı kontrol edecek butonların bulunduğu bölüm

Ölçülen ve hesaplanan değerlerin gösterildiği bölüm

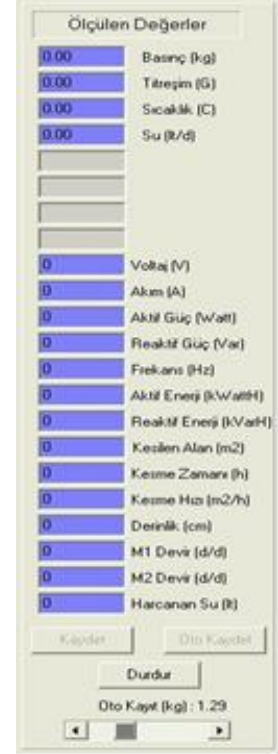
Ölçülen değerler ekranının sol kısmında görülebilmektedir. Ölçülen değerler temelde üç gruptan oluşmaktadır (Şekil 3.16).

Ölçü cihazlarından ve sensörlerden gelen değerler:

Ekranın sağındaki ilk dört değer direkt ölçülen değerlerdir. Bunların altındaki dört aktif olmayan çerçeve ileride istenen sensör ve ölçüm sistemini ilave etmek için konulmuştur. Daha sonra ilave edilecek sensörler, “Ayarlar” bölümünden aktif yapılabilmektedir.

Enerji Analizöründen alınan değerler: Bu değerler harcanan güç, akım ve voltaj gibi ölçüm cihazı üzerindeki şebeke analizöründen alınan değerlerdir. Voltajdan başlayıp Reaktif Enerji'ye kadar olan 7 değer güç analizöründen alınmaktadır.

Hesaplanan değerler: Kesilen Alan, Kesme Hızı gibi bilgiler boncuk çapı, geçen süre ve derinlik bilgileri kullanılarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3.16. Program tarafından ölçülen değerlerin gösterildiği ekran

Bu bölümün en alt kısmında, kesim başlamadan veya başladıktan sonra verileri kaydetmek için kullanılacak düğmeler bulunmaktadır. Kayıt işlemi “Kaydet” veya “Oto Kaydet” düğmelerden birine basıldığı zaman başlatılır ve Derinlik, Kesme Zamanı gibi değerler otomatik olarak sıfırlanır. “Oto Kaydet” seçeneği seçildiği zaman alt kısımdaki kaydırma çubuğu kullanılarak kg cinsinden istenilen değer girilebilmekte ve kayıt, elmas boncuğun kayaca uyguladığı basınç girilen değere eşit olduğunda başlamaktadır.

Cihaz üzerindeki algılayıcılardan alınan verilerin şekil üstünde gösterildiği bölüm

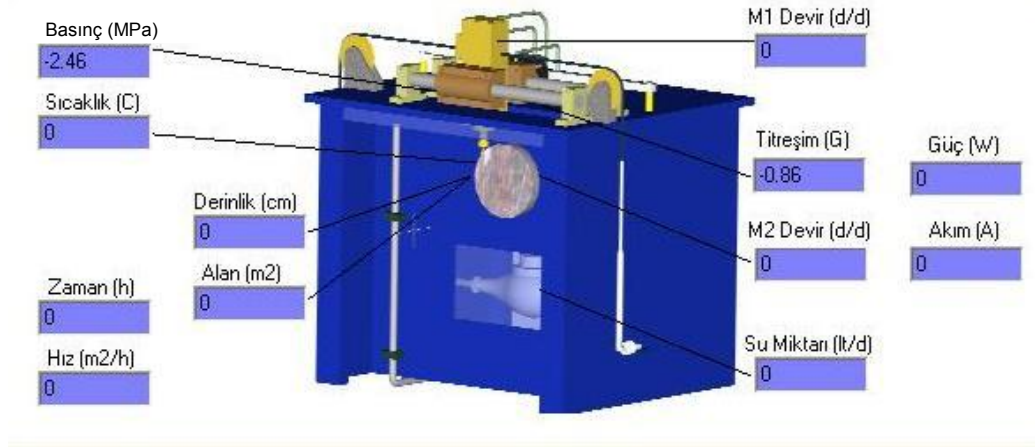
Bu bölümün üst kısmında yapılacak deney için girilmesi gereken bilgiler bulunmaktadır (Şekil 3.17). “Kayaç Bilgileri” bölümünde Örnek No, Kayaç Tipi ve Boncuk Çapı gibi bilgiler girilebilmektedir. Bu bilgilerden “Boncuk Çapı” tekrar ayarlanmaya gerek kalmadan en son girilen değer kalırken, “Örnek No” ve “

Kayaç Tipi “ istenildiğinde değiştirilebilmektedir. Bu değerler deney sırasında kaydedilen dosyanın başına otomatik yazılmaktadır.

Kayaç Bilgileri		Boncuk Çapı (mm)
Örnek No	Kayaç Tipi	10

Şekil 3.17.Kayaç bilgilerinin girildiği kısım

Bu kısmın altında, test cihazı üzerindeki sensörlerden alınan verilerin, yazılım tarafından hesaplanan kesim zamanı (h), kesim alanı (m²), kesim hızı (m²/h) gibi değerlerin, 2 adet motorun ve güç analizöründen alınan güç, akım gibi değerlerin tek boncuk test cihazının şematik görüntüsü üstünde gösterildiği bölüm bulunmaktadır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18.Algılayıcılardan ve güç analizöründen alınan verilerin şematik cihaz üzerindeki gösterimi

İstenilen parametrelerin zamana bağlı olarak değişimini gösteren grafik bölümü

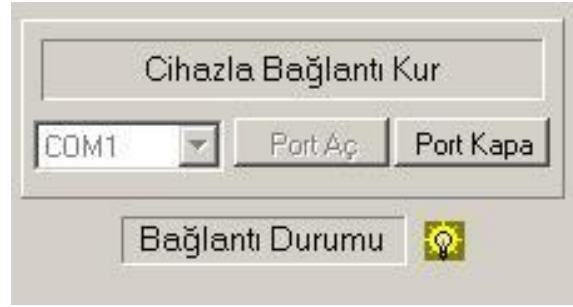
Ölçülen değerlerden ilk gruptaki parametreler zamana bağlı olarak grafik üzerinde gözlenebilmektedir (Şekil 3.19). Bu grafik üzerinde istenen grafik ve değerler aktif veya pasif yapılabilmektedir. Grafik altında bulunan üç boyut görüntü ayarlarıyla ise de grafik istenen açıda çevrilebilmektedir.



Şekil 3.19.Kesim sırasında kesime etki eden parametrelerin grafiksel olarak gösterimi

Yazılımın test cihazı ile olan bağlantısını sağlayacak ve cihazı kontrol edecek butonların bulunduğu bölüm

Bu bölümün en üst kısmında, cihazla bağlantıyı kuracak bağlantı noktası seçimi ve bağlantı durumu hakkında bilgi içeren bölüm bulunmaktadır (Şekil 3.20). Bilgisayar programı ölçüm cihazı ile bağlı olduğu COM1 portu vasıtasıyla haberleşmektedir. Bu şekilde ölçülen değerler yazılım yoluyla bilgisayara alınır. Buradan aynı zamanda yazılım ayarlarının yapılabilecek, yazıcıdan çıktı alınabilecek ve yazılımdan çıkış yapılabilecek butonlar bulunmaktadır.



Şekil 3.20.Programın cihaz ile haberleşmesini sağlayan COM1 port ayarları

“Motor Kontrol “ bölümünde ise test cihazında bulunan iki adet AC motorunu kontrol eden buton ve kaydırma çubukları bulunmaktadır, kaydırma çubuklarıyla motor devirleri ayarlanır (Şekil 3.21). Burada Motor 1; yüksek hızlı ikincil elmas boncuk motoru, Motor 2; kayacı döndüren birincil motordur.



Şekil 3.21.Otomasyon programının motor devirlerini kontrol eden kısmı

“Uygulanacak Basınç” bölümünde istenilen basınç ayarı bir kaydırma çubuğu ile 0,1 kg aralıklarla uygulanabilmektedir. Burada kullanıcıya otomatik ve elle olmak üzere iki seçenek sunulmuştur.

Elle basınç uygulama: Program çalıştırıldığında bu ayar “Man” durumunda yani elle ayarlama durumundadır. Pistona hava basan solenoid vana “Çalıştır” ve “Durdur” düğmeleriyle açılıp kapatılarak kayaca baskı uygulanması sağlanır. Bu arada uygulanan basınç ekranının sağındaki ölçülen değerlerden görülebilmektedir. Bu durumda solenoid vana açıkken yani pistonu hava basıncı giderken basınç daima artmaya devam edecektir. Basıncın düşmesi için solenoidin kapatılması yani “Durdur” düğmesine basılması gerekmektedir. “Basınç Ayarı” kaydırma çubuğunun “Man” durumunda bir etkisi yoktur.

Otomatik basınç uygulama: “Oto” düğmesine basıldığında, daha önce basınç ayar kaydırma çubuğunda ayarlanmış olan basıncı tutturmak için, program solenoid vanayı otomatik açıp kapatarak basınç ayarı yapmaktadır. Kayaca uygulanmak istenen basınç “Basınç Ayarı” kaydırma çubuğu ile ayarlanmaktadır. Bu durumda piston solenoid “Çalıştır” ve “Durdur” düğmeleri aktif değildir.

Her iki durumda da piston solenoidini temsil eden vana şekli basınç uygulanırken yeşil, basınç uygulanmıyorsa kırmızı olmaktadır. Bu şekilde görsel olarak da kullanıcıyı bilgilendirme sağlanmıştır.

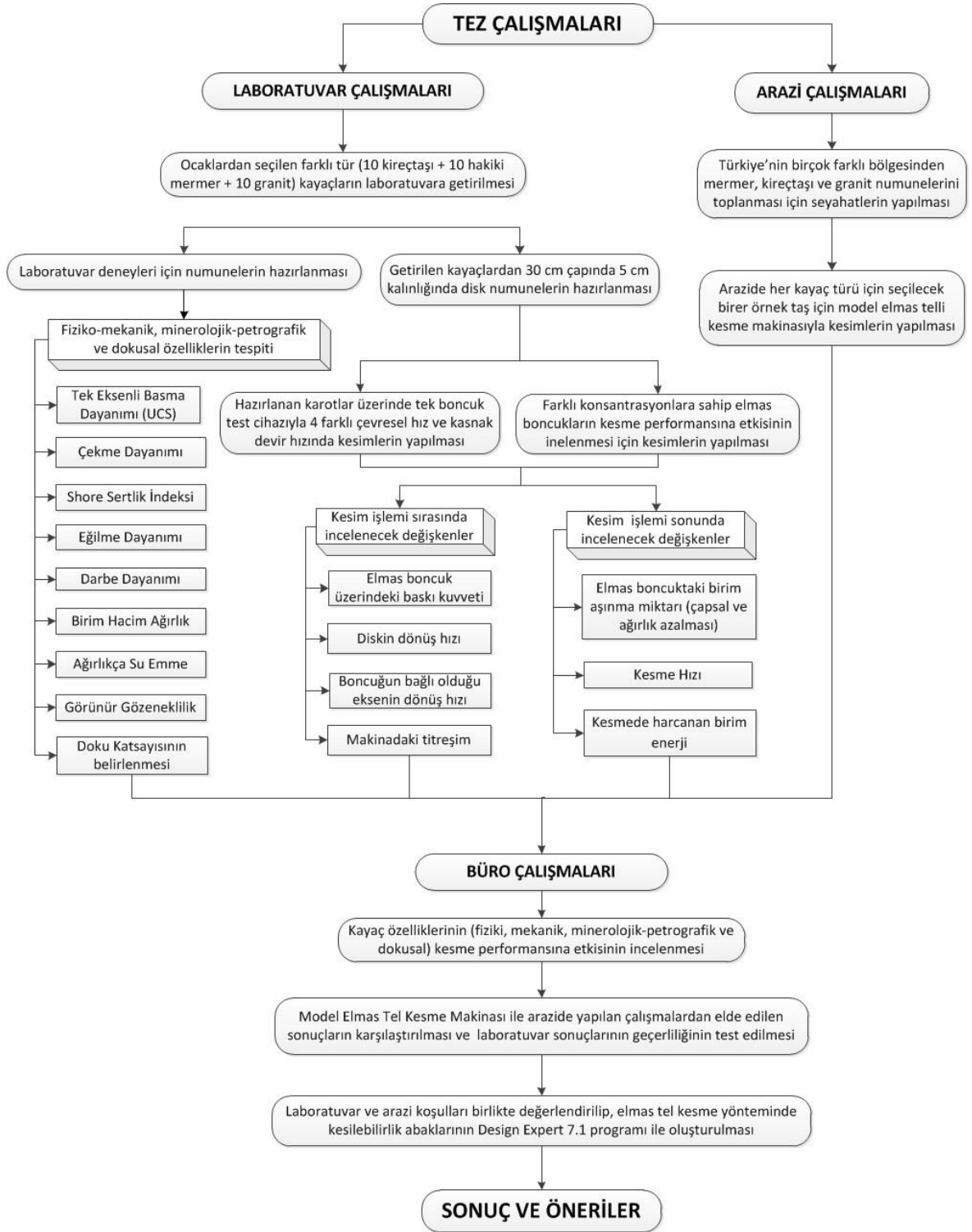
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde yapılan çalışmalar, genel olarak farklı hakiki mermer, kireçtaşı ve granitlerin tek boncuk test cihazında birim aşınma ve kesim hızı değerleri temel alınarak yapılan kesilebilirlik sınıflaması olarak özetlenebilir. İlk etapta genel olarak, ülkemizin değişik yörelerinden getirilen doğal taşların tek boncuk test cihazında farklı kesim koşullarında (farklı boncuk devir hızı ve farklı kayaç motoru devir hızı) kesimleri gerçekleştirilmiş, yapılan kesimlerde elmas boncuklarda meydana gelen aşınmalar ve kullanılan enerji temel alınarak her doğal taş ve her doğal taş grubu için kesilebilirlik abakları oluşturulmuştur. İkinci etapta, kayaç gruplarından seçilen birer örnek taş için arazide model elmas telli kesme makinası ile kesimler yapılarak hem arazi kesimleri için optimizasyon değerlerini oluşturmak hem de arazi-labaratuar kesimleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu çalışmalar dışında, elmas telde kullanılan elmas boncukların sahip olduğu elmas konsantrasyonunun kesme performansını nasıl etkilediğini ortaya koyan bir çalışma da 4 hakiki mermer ve 4 kireçtaşı örneği üzerinde yapılmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan çalışmalar aşağıda verilen dört ana gruba ayrılarak incelenebilir;

- 1) Hazırlık aşaması: Bu aşama, tek boncuk test cihazında kesimi gerçekleştirilecek doğal taşların (hakiki mermer, kireçtaşı ve granit) temini
- 2) Laboratuvar aşaması: Alınan doğal taşların fiziki ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, tek boncuk test cihazı ile kesimlerinin gerçekleştirilmesi
- 3) Arazi aşaması: Laboratuvar kesimlerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmak için hakiki mermer ve kireçtaşı grubundan seçilen birer örnek kayacın model elmas tel kesme makinası ile kesimlerinin gerçekleştirilmesi.
- 4) İstatistiksel Değerlendirme aşaması: Elde edilen laboratuvar verileri ışığında Design Expert 7.1 programı kullanılarak, hem laboratuvar hem de arazi ölçeklerinde istatistiksel ilişkilerin belirlenmesi, optimizasyonların yapılması ve kesilebilirlik abaklarının oluşturulması

Yapılan bu araştırma kapsamında yukarıda belirtilen aşamalar doğrultusunda izlenen çalışma yöntemi şematik olarak Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışma kapsamında izlenen yöntem

4.1. Hazırlık Çalışmaları

Çalışmaya başlamadan önce kesimi gerçekleştirilecek doğal taşlar (hakiki mermerler, kireçtaşları ve granitler) tespit edilmiştir. Kesilecek doğal taşların tespiti, ülkemizin değişik yörelerinde üretimi yapılan doğal taşları temsil edecek şekilde yapılmıştır. Çalışma boyunca 10 hakiki mermer, 10 kireçtaşı ve 10 granit olmak üzere toplam 30 değişik doğal taş kullanılmıştır. Bu doğal taşların ticari isimleri ve alındıkları yöreler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kesimi gerçekleştirilen doğal taşlar

Kireçtaşı	Mermer	Granit
Burdur Krem Crema	Afyon Beyaz	Kaman Gri
Hazar Pembe	Afyon Pembe	Savcılı 1 (iri taneli)
Rozalya Bej	Afyon Menekşe	Savcılı 2 (ince taneli)
Amasya Bej	Afyon Sarı	Bergama Gri
Burdur Açık Bej	Afyon Gri	Bianco Sardo
Burdur Koyu Bej	Afyon Kaplanpostu	Aksaray Yaylak
Sivrihisar Bej	Muğla Beyaz	Siyah Büyü
Papatya Bej	Kütahya Menekşe	Crema Lal
Malatya Bej	Rustik Yeşil	Giresun Vizon
Eskişehir Bej	Elazığ Pembe	Balaban Yeşili

Çizelge 4.1’de bulunan doğal taşlardan tek boncuk test cihazında kesilmek üzere 35 cm x 35 cm x 5 cm boyutlarında kare numuneler hazırlanmış (Şekil 4.2) ve laboratuvara getirilmiştir.



Şekil 4.2. Laboratuvara getirilen doğal taş numunelerinin boyutlarının görünümü

Deneysel çalışmalar için hazırlanan numuneler daha sonra dış çapı 300 mm iç çapı 60 mm olan ve bu çalışma için özel olarak imal ettirilen ve standart bir karot alma makinesine rahatlıkla takılabilen karotiyer kullanılarak test cihazına uygun numuneler haline getirilmeye başlanmıştır. Hem hakiki mermer hem kireçtaşı hem de granit grubu kayalar için özel olarak imal ettirilen karotiyerin görünümü Şekil 4.3'te verilmiştir.



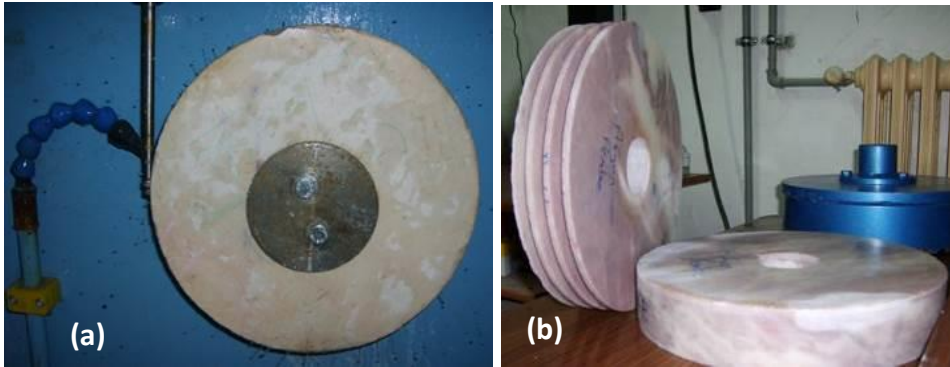
Şekil 4.3. Her bir kayaç grubu için özel olarak imal ettirilmiş dış çapı 300 mm iç çapı 60 mm olan karotiyerler

Hazırlanan numune (Şekil 4.4), cihaza takılan iç kısmının ve kesimi yapılacak dış kısmının pürüzsüz ve düzgün bir yüzeye sahip olması için zımparalama işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 4.4.Kare şekilli numunenin özel imalat karotiyer kullanılarak test cihazına takılabilecek uygun numune haline getirilmesi

Hazırlanan numuneler üzerinde kesme işleminin gerçekleştirilebilmesi için hakiki mermer, kireçtaşı ve granit kesiminde kullanılabilecek olan elmas tellerin alımı işlemi gerçekleştirilmiştir. Dairesel şekilli olarak hazırlanan numunenin tek boncuk test cihazına takılması ve boncuk ile teması sonunda kesilmesi ile numunede oluşan olukların görünümü Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Hazırlanan numunelerden maksimum fayda sağlanması için bir numunede 3 kesim işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.5.Kayaç numunesinin kesim öncesi boncuk ile teması (a) ve kesim sonrasında üzerinde oluşan olukların görünümü (b)

Tek boncuk test cihazında kesimi yapan elmas boncukların, çap ve ağırlık ölçümlerini yapmak ve kesimi yapılacak numunenin kesim aralıklarını ölçmek için bir takım yardımcı donanımlar kullanılmıştır. Kesim sonunda elde edilecek verilerin yüksek hassasiyet gerektirdiği göz önünde bulundurularak, mikron ve miligram mertebelerinde sayısal olarak kalibre edilip okunan ölçüm aletleri seçilmiştir. Bunlar elektronik tartı, sayısal mikrometre ve sayısal kumpastır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6.Çalışmada kullanılan diğer ölçüm aletleri, (a) Elektronik tartı, (b) sayısal mikrometre, (c) sayısal kumpas

4.2. Laboratuvar Çalışmaları

Tek boncuk test cihazında kesimi yapılan doğal taşların hazırlığı tamamlandıktan sonra laboratuvar çalışmalarına geçilmiştir. Laboratuvar çalışmaları üç aşamada incelenebilir.

Laboratuvar çalışmalarının ilk aşamasında doğal taşların fiziki ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır. Doğal taşlardan alınan numuneler üzerinde Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında gerekli deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler, TS 699 [42] ve ISRM [43] standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Deneylere uygun olarak alınan karot örnekleri

Bu çalışmalar sonucunda elde edilen, kesimi gerçekleştirilen doğal taşlara ait fiziko-mekanik özellikler kireçtaşı, hakiki mermer ve granit grubu kayaç türleri için sırasıyla Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Çalışma kapsamındaki kireçtaşlarının fiziko-mekanik özellikleri

Doğal Taşlar	BHA (gr/cm ³)	ASE (%)	GG (%)	S	TEBD (MPa)	ÇD (MPa)	ED (MPa)	B (cm ³ /50cm ²)
Burdur Krem Krema	2,69	0,25	0,68	51	79,40	6,39	6,49	24,65
Hazar Pembe	2,67	0,46	1,23	51	100,28	8,13	21,60	20,79
Rozalya Bej	2,68	0,39	1,10	55	91,95	5,94	6,78	18,59
Amasya Bej	2,70	0,24	0,66	60	105,40	6,92	22,50	14,15
Burdur Açık Bej	2,69	0,13	0,35	59	88,06	7,23	6,90	20,77
Burdur Koyu Bej	2,64	0,53	1,41	61	62,72	4,95	5,21	22,41
Sivrihisar Bej	2,70	0,12	0,22	62	70,00	7,05	15,50	14,20
Papatya Bej	2,69	0,48	1,29	56	105,40	10,08	20,20	21,60
Malatya Bej	2,52	1,84	0,05	46	76,10	6,40	11,17	24,98
Eskişehir Bej	2,69	0,14	0,36	55	57,00	5,65	14,00	33,20

BHA: Birim Hacim Ağırlık, ASE: Ağırlıkça Su Emme, GG: Görünür Gözeneklilik, S: Shore Sertlik İndeksi, ÇD: Çekme Dayanımı, ED: Eğilme Dayanımı, TEB: Tek Eksenli Basma Dayanımı, B: Böhme Aşınma Dayanımı

Çizelge 4.3. Çalışma kapsamındaki hakiki mermerlerin fiziko-mekanik özellikleri

Doğal Taşlar	BHA (gr/cm ³)	ASE (%)	GG (%)	S	TEBD (MPa)	ÇD (MPa)	ED (MPa)	B (cm ³ /50cm ²)
Afyon Beyaz	2,70	0,05	0,15	49	51,45	6,22	12,93	37,09
Afyon Pembe	2,73	0,11	0,29	58	46,71	6,32	11,76	23,09
Afyon Menekşe	2,72	0,06	0,15	42	73,94	5,49	10,98	33,85
Afyon Sarı	2,71	0,16	0,44	46	77,83	6,79	12,21	33,64
Afyon Gri	2,70	0,05	0,14	51	49,65	6,53	10,95	36,35
Afyon Kaplanpostu	2,71	0,10	0,28	56	40,95	7,80	13,97	35,73
Muğla Beyaz	2,70	0,16	0,43	42	65,31	4,77	15,02	30,85
Kütahya Menekşe	2,69	0,13	0,35	47	87,02	6,80	11,00	28,75
Rustik Yeşil	2,69	0,40	1,08	63	70,47	7,77	13,64	15,28
Elazığ Pembe	2,69	0,29	0,60	53	84,50	8,54	13,50	23,20

Çizelge 4.4. Çalışma kapsamındaki granitlerin fiziko-mekanik özellikleri

Doğal Taşlar	BHA (gr/cm ³)	ASE (%)	GG (%)	S	TEBD (MPa)	ÇD (MPa)	ED (MPa)	B (cm ³ /50cm ²)
Kaman Gri	2,70	0,24	0,81	78	139,8	8,65	11,85	5,80
Savcılı (ince)	2,69	0,32	0,88	70	122,5	8,74	14,90	5,40
Savcılı (iri)	2,69	0,35	0,89	89	146,0	8,83	15,55	4,40
Bergama Gri	2,68	0,30	0,75	65	112,5	6,89	15,22	7,60
Aksaray Yaylak	2,60	0,28	1,10	80	155,9	8,40	7,61	4,70
Bianco Sardo	2,64	0,25	1,05	99	181,5	9,70	12,05	2,15
Siyah Büyü	2,63	0,20	0,90	76	135,0	8,80	14,10	5,60
Crema Lal	2,59	0,86	0,44	98	235,9	10,1	19,80	2,10
Giresun Vizon	2,67	0,20	0,89	72	135,0	8,9	18,50	6,10
Balaban Yeşili	2,71	0,20	0,77	68	152,1	10,2	22,40	7,50

Laboratuvar çalışmalarının ikinci aşaması kapsamında kullanılan üç ayrı grup kayacın (kireçtaşı, hakiki mermer ve granit) her bir cinsine ait seçilen kayaç örneklerinin birbirlerine göre farklılıklarını göstermek amacı ile her bir kayaca ait mineralojik ve petrografik özellikler ayrı ayrı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu şekilde belirtilen özelliklere yakın özellikteki kayaçlarının kesilebilirlikleri rahatlıkla tahmin edebilirler. Sadece fiziko-mekanik özelliklerle bu tahminin yapılması mümkün değildir. Benzer fiziko-mekanik özelliğe sahip olsalar bile farklı kristal tane boyu, mineralojik bileşim ve diğer dokusal özellikler kayaçların kesilebilirliğini etkiler. Belirlenen özellikler, doku, modal mineralojik bileşimleri, oluşum şekilleri ve mikro fotoğrafı, Mohs sertliği, matriks yüzdesi, kristal (mineral) yüzdesi, çimentolaşma oranı, yuvarlaklaşma dereceleri ve doku katsayılarının (TC) hesaplanmasından oluşmaktadır.

Yukarıda söz konusu olan özelliklerden doku katsayısı değerleri aşağıda maddeler halinde belirtilen dört bileşen göz önüne alınarak hesaplanmaktadır [44].

1. Mineral tanelerinin küreselliğinin analizi ve ölçümü
2. Mineral tanelerinin uzamasının analizi ve ölçümü
3. Mineral tanelerinin yönelim miktarının belirlenmesi ve ölçümü
4. Mineral tanelerinin paketlenme (bağlanma) yoğunluğu göz önünde bulundurularak sonuçların ağırlıklandırılması

Yukarıda belirtilen dört maddedeki işlemler yapıldıktan sonra aşağıdaki eşitlik (4.1) kullanılarak doku katsayısı hesaplanmaktadır.

$$TC = AW \times \left[\left[\left(\frac{N_0}{N_0 + N_1} \right) \times \left(\frac{1}{FF_0} \right) \right] + \left[\left(\frac{N_1}{N_0 + N_1} \right) \times AR_1 \times AF_1 \right] \right] \quad (4.1)$$

Burada;

TC = Doku katsayısı

AW = Paketlenme (bağlanma) yoğunluğu

N₀ = Görünüm oranı 2'nin altında olan tane sayısı

N₁ = Görünüm oranı 2'nin üstünde olan tane sayısı

FF₀ = N₀ tanelerin şekil faktörünün aritmetik ortalaması

AR₁ = N₁ tanelerin görünüm oranlarının ortalaması

AF₁ = Tane yönelimini ifade eden açı faktörüdür.

Buna göre, mineralojik ve petrografik özelliklerin tespiti işlemlerinin sonuçları aşağıda dört ana çizelgede verilmiştir. Örneklerin doku, modal mineralojik bileşimleri, oluşum şekilleri ve mikro fotoğrafı Çizelge 4.5'de, Mohs sertliği, matriks yüzdesi, kristal (mineral) yüzdesi, çimentolaşma oranı, yuvarlaklaşma dereceleri ve doku katsayıları (TC) Çizelge 4.6'da, Karbonat kayalarının (hakiki mermer ve kireçtaşı) modal mineralojik bileşim yüzdeleri Çizelge 4.7' de ve granit (sert kaya) örneklerinin modal mineralojik bileşim yüzdeleri ise Çizelge 4.8'de verilmiştir. Kireçtaşı grubundaki kayalar mikritik özellikte olduğu için ortalama tane boyları verilememiştir. Kireçtaşı, hakiki mermer ve granit grubu kayaç türlerinin kimyasal özellikleri ise sırasıyla Çizelge 4.9, 4.10 ve 4.11'de verilmiştir.


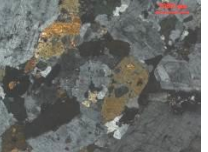


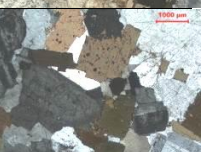


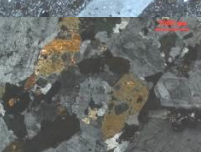
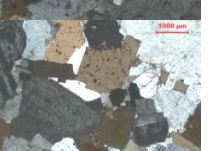

Çizelge 4.5. Doğaltaş örneklerinin Moh's sertliği, matriks yüzdesi, kristal (mineral) yüzdesi, çimentolaşma oranı, yuvarlaklaşma dereceleri ve doku katsayıları (TC)

KARBONAT KÖKENLİ KAYAÇLAR							
Kayaç	Moh's	Matriks (%)	Mineral (%)	Çim. Oranı	Yuvar.	Tc	Mikrofoto.
Burdur Krem Krema	3	80	20	iyi	orta	0,82	
Hazar Pembe	3	75	25	iyi	orta	0,80	
Rozalya Bej	3	10	90	Çok iyi	Kristalize	0,87	
Amasya Bej	3	80	20	orta	masif	0,78	
Burdur Açık Bej	3	85	15	iyi	orta	0,80	
Burdur Koyu Bej	3	85	15	iyi	orta	0,84	
Sivrihisar Bej	3	80	20	iyi	orta	0,87	
Papatya Bej	3	80	20	orta	iyi	0,78	
Malatya Bej	3	95	5	orta	masif	0,83	
Eskişehir Bej	3	75	25	Orta	Mikritik	0,82	

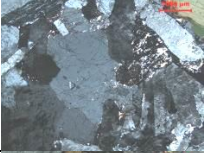
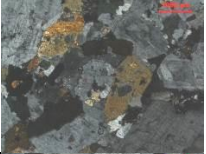







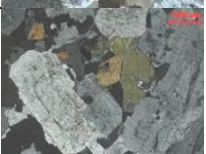
Çizelge 4.6 Doğaltaş örneklerinin Moh's sertliği, matriks yüzdesi, kristal (mineral) yüzdesi, çimentolaşma oranı, yuvarlaklaşma dereceleri ve doku katsayıları (Tc) (devam ediyor)

Kayaç	Moh's	Matriks (%)	Mineral (%)	Çim. Oranı	Yuvar.	Tc	Mikrofoto.
Afyon Beyaz	3	4	96	Çok iyi	orta	0,92	
Afyon Pembe	3	0	100	Çok iyi	Kristalize	0,89	
Afyon Menekşe	3	5	95	Çok iyi	Kristalize	0,89	
Afyon Sarı	3	6	94	Çok iyi	Kristalize	0,93	
Afyon Gri	3	5	95	Çok iyi	Kristalize	0,91	
Afyon Kaplanpo stu	3	0	100	Çok iyi	iyi	0,92	
Muğla Beyaz	3	0	100	Çok iyi	Kristalize	0,90	
Kütahya Menekşe	3	55	45	Çok iyi	kötü	0,87	
Rustik Yeşil	3	78	22	iyi	orta	0,87	
Elazığ Pembe	3	0	100	Çok iyi	Kristalize	0,91	



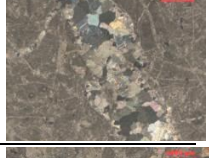

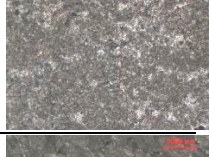

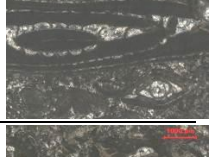
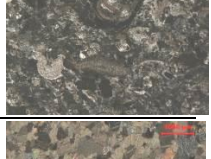
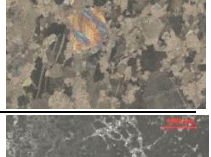
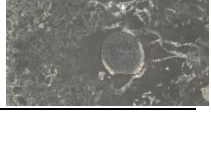
Çizelge 4.7 Doğaltaş örneklerinin Moh's sertliği, matriks yüzdesi, kristal (mineral) yüzdesi, çimentolaşma oranı, yuvarlaklaşma dereceleri ve doku katsayıları (TC) (devam ediyor)

GRANİT							
Kayaç	Moh's	Matriks (%)	Mineral (%)	Çim. Oranı	Yuvar.	Tc	Mikrofoto.
Kaman Gri	6,0	0	100	Çok iyi	Kristalize	1,80	
Savcılı (ince)	6,5	0	100	Çok iyi	Kristalize	1,85	
Savcılı (iri)	6,5	0	100	Çok iyi	Kristalize	1,88	
Bergama Gri	7,0	0	100	Çok iyi	Kristalize	1,77	
Aksaray Yaylak	7,0	0	100	Çok iyi	Kristalize	1,86	
Bianco Sardo	7,0	0	100	Çok iyi	Kristalize	1,95	
Siyah Büyü	6,0	52	48	Çok iyi	Yarı Kristalli	1,61	
Crema Lal	6,0	0	100	Çok iyi	Kristalize	1,81	
Giresun Vizon	6,5	0	100	Çok iyi	Kristalize	1,86	
Balaban Yeşil	6,0	0	100	Çok iyi	Kristalize	1,78	




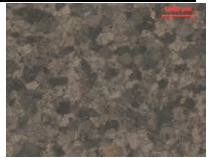
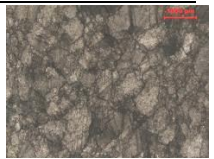
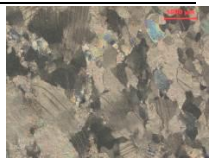



Çizelge 4.8. Örneklerin doku özellikleri, modal mineralojik bileşimleri, oluşum şekilleri ve mikrofotoğrafları

GRANİT				
Kayaç	Doku / Kaya Adı	Oluşum	Mineral Bileşimi	Mikrofotoğraf
Kaman Gri	Holokristalin Tanesel Foid Siyenit	Plutonik	Nefelin, ortoklaz, mikroklin, biyotit az oranda amfibol	
Savcılı (ince)	Holokristalin Tanesel Monzonit	Plutonik	Ortoklaz, oligoklaz, amfibol, biyotit ve az oranda kuvars ve piroksen içermektedir.	
Savcılı (iri)	Holokristalin Tanesel Monzonit	Plutonik	Ortoklaz, oligoklaz, amfibol, biyotit ve az oranda kuvars ve piroksen içermektedir.	
Aksaray Yaylak	Holokristalin Tanesel Amfibol Biyotit Granit	Plutonik	Kuvars, ortoklas, oligoklaz, biyotit, amfibol, opak mineral	
Bergama Gri	Holokristalin Tanesel Biyotit Granit	Plutonik	Kuvars, ortoklas, oligoklaz, biyotit, amfibol, opak mineral	
Bianco Sardo	Holokristalin Tanesel Biyotit Granit	Plutonik	Kuvars, ortoklas, oligoklaz, biyotit, amfibol, opak mineral	
Siyah Büyü	Holokristalin Porfirik Foid Diyorit Porfir	Damar	Nefelin, amfibol, piroksen ve sodalit grubu mineralleri içermektedir.	
Crema Lal	Holokristalin Tanesel Amfibol Biyotit Granit	Plutonik	Kuvars, ortoklas, oligoklaz, biyotit, amfibol, opak mineral	
Giresun Vizon	Holokristalin Tanesel Biyotit Granit	Plutonik	Kuvars, ortoklas, oligoklaz, biyotit, amfibol, opak mineral	
Balaban Yeşil	Holokristalin Tanesel Biyotit Granit	Plutonik	Kuvars, ortoklas, oligoklaz, biyotit, amfibol, opak mineral	

Çizelge 4.6 Örneklerin doku özellikleri, modal mineralojik bileşimleri, oluşum şekilleri ve mikrofotografı (Devam ediyor)

KARBONAT KÖKENLİ KAYAÇLAR				
Burdur Açık Bej	Sparitik Sparitik Kireçtaşı	Sedimanter	Orta kristalli kalsit matriksi içerisinde kılcal rekrystalize kalsit damarları içermektedir. Az oranda opak mineral içermektedir.	
Burdur Koyu Bej	Mikritik Mikritik Kireçtaşı	Sedimanter	Mikritik karbonat matriksi içerisinde kılcal rekrystalize kalsit damarları içermektedir. Az oranda opak mineral içermektedir.	
Burdur Krem Krema	Mikritik Mikritik Kireçtaşı	Sedimanter	Mikritik karbonat mineralleri içermekte ve yer yer 2 mm kadar varan rekrystalize kalsit damarları içermektedir.	
Sivrihisar Bej	Sparitik Sparitik Kireçtaşı	Sedimenter	Orta kristalli kalsit matriksi içerisinde kılcal rekrystalize kalsit damarları içermektedir. Az oranda opak mineral içermektedir.	
Malatya Bej	Mikritik Mikritik Kireçtaşı	Sedimanter	Mikritik karbonat matriksi içerisinde rekrystalize kalsit boşlukları doldurmaktadır. Az oranda opak mineral içermektedir.	
Amasya Bej	Mikritik Mikritik Kireçtaşı	Sedimanter	Mikritik karbonat matriksi içerisinde kılcal rekrystalize kalsit damarları içermektedir. Az oranda opak mineral içermektedir.	
Eskişehir Bej	Mikritik Biyomikritik Kireçtaşı	Sedimanter	Fazla oranda fosil içermekte ve başlıca kalsit ve yer yer boşluk içermekte bu boşluklar rekrystalize kalsitler doldurmuştur.	
Papatya Bej	Biyosparitik Biyosparitik Kireçtaşı	Sedimanter	Orta kristalli kalsit ve az oranda opak mineral içermektedir.	
Rozalya Bej	Blastosparitik Sparitik Kireçtaşı	Metamorfik	İri kristalize kalsit yer yer basınç ikizi içermektedir.	
Hazar Pembe	Biyospartik Biyosparitik Kireçtaşı	Sedimanter	Biyoklast, kalsit ve bol fosil içeren sparitik kireçtaşı	

Çizelge 4.6 Örneklerin doku özellikleri, modal mineralojik bileşimleri, oluşum şekilleri ve mikrofotografı (Devam ediyor)

KARBONAT KÖKENLİ KAYAÇLAR				
Muğla Beyaz	Granoblastik Mermer	Metamorfik	Basınç ikizliiri rekristalize kalsit, ortalama tane tane boyu 0.7mm	
Afyon Beyaz	Granoblastik Mermer	Metamorfik	Orta kristalli kalsit matriksi içerisinde kılcal rekristalize kalsit damarları ve az oranda opak mineral içermektedir. Ortalama tane boyu 0,5mm	
Afyon Pembe	Granoblastik Mermer	Metamorfik	Basınç ikizliiri rekristalize kalsit, ortalama tane boyu 0,7mm	
Afyon Sarı	Granoblastik Mermer	Metamorfik	Basınç ikizliiri rekristalize kalsit, ortalama tane boyu 0,4mm	
Afyon Kaplanpo stu	Granoblastik Mermer	Metamorfik	İri kristalize kalsitlerden oluşmaktadır. Az oranda opak ve kuvars içerir.	
Afyon Menekşe	Granoblastik Mermer	Metamorfik	İri kalsit ve aragonit içeren basınç ikizli kalsit ve az oranda opak mineral içermektedir.	
Rustik Yeşil	Biyosparitik Sparitik Kireçtaşı	Sedimanter	Bol fosil içermekte ve başlıca kalsit ve yer yer boşluk içermekte bu boşluklar rekristalize kalsitler doldurmuştur.	
Elazığ Pembe	Granoblastik Mermer	Metamorfik	Basınç ikizliiri rekristalize kalsit, ortalama tane boyu 0,7mm	
Kütahya Menekşe	Blastosparitik Metakireçtaşı	Metamorfik	Basınç ikizliiri rekristalize kalsit, ortalama tane boyu 0,4mm	

Çizelge 4.9. Karbonatlı kayalarının (Mermer ve kireçtaşı) modal mineralojik bileşim yüzdeleri

Kayaç	Kalsit	Kuvars	Dolomit	Aragonit	Klorit	Muskovit	Kil Min.	Opak Min.	
KIREÇTAŞI	Burdur Açık Bej	90,2	1,7	1,2	3,2	0	0	2,4	1,3
	Burdur Koyu Bej	94,0	0,7	0,6	1,7	1,3	0	1,5	0,2
	Krem Crema	93,6	0,3	1,8	1,8	0	0	1,9	0,4
	Sivrihisar Bej	91,5	2,2	1,1	2,5	0	0	2,1	0,5
	Rozalya Bej	92,9	0,6	1,4	3,4	0	0	1,1	0,6
	Malatya Bej	92,5	1,3	0,8	3,7	0	0	1,4	0,3
	Amasya Bej	92,5	1,1	1,2	2,8	0	0	1,8	0,6
	Eskişehir Bej	95,2	1,1	1,3	0,6	0	0	1,1	0,6
	Papatya Bej	96,4	0	0,6	1,4	0	0	1,0	0,5
	Hazar Pembe	99,4	0,6	0	0	0	0	0	0
HAKIKİ MERMER	Muğla Beyaz	99,1	0,3	0	0,6	0	0	0	0
	Afyon Sarı	99,4	0,6	0	0	0	0	0	0
	Afyon Beyaz	99,8	0,2	0	0	0	0	0	0
	Afyon Pembe	98,2	0,7	0	0	1,1	0	0	0
	Afyon Kaplanpostu	97,7	0,2	0	1,1	0	0	1,0	0
	Afyon Menekşe	90,5	1,1	1,1	3,8	0	0	2,0	1,7
	Kütahya Menekşe	88,7	1,3	0	2,5	2,3	2,1	1,9	1,3
	Rustik Yeşil	90,6	1,3	0	2,7	0	1,1	3,3	0,9
	Elazığ Pembe	97,9	0,8	0	1,1	0	0	0	0,2

Çizelge 4.10. Granit (Sert Kaya) örneklerinin modal mineralojik bileşim yüzdeleri

Mineralojik Bileşimi	Kaman Gri	Savcılı (ince)	Savcılı (iri)	Bergama Gri	Bianco Sardo	Aksaray Yaylak	Siyah Büyü	Crema Lal	Giresun Vizon	Balaban Yeşili
Kuvars	1,6	26,3	7,0	35,9	20,0	20,3	1,0	18	14	23
Plajioklas	17,6	47,9	27,0	8,6	48,8	20,7	43,0	26	24	13
Ortoklas	25,9	14,8	29,1	45,0	11,7	40,8	12,6	25,4	35,4	14,5
Biyotit	3,0	3,8	9,8	10,5	3,6	6,9	5,0	6	4	8
Amfibol	26,8	1,4	21,1	0	15,0	10,6	11,0	7,5	11	8,9
Pirkosen	0,5	3,4	1,2	0	0	0	9,0	1,2	0	0,5
Nefelin	15,0	0	0	0	0	0	17,0	0	0	0
Mikrolin	7,0	1,0	3,0	0	0	0	0	0	0	0
Sfen	1,7	0	1,3	0	0,3	-	1,1	0	1,1	0
Opak Mineral	0,9	1,4	0,5	0	0,6	0,7	0,3	0,3	0,7	0,5
Muskovit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 4.11. Kireçtaşı grubu kayaların kimyasal özellikleri

Element	Koyu Bej	Açık Bej	Krem Krema	Sivrihisar Bej	Malatya Bej	Amasya Bej	Eskişehir Bej	Papatya Bej	Rozalya Bej	Hazar Pembe
Na ₂ O (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0,1	0,1
MgO (%)	1,5	0	2,3	0	0	0,1	1,0	0,5	0	1,4
Al ₂ O ₃ (%)	0,7	0,1	1,3	0,1	0,2	0,2	1,8	0,5	0,2	1,8
SiO ₂ (%)	1,6	0,2	2,9	0,3	0,6	0,9	0,5	1,3	0,6	0
P ₂ O ₅ (%)	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0
SO ₃ (%)	0,1	0	0,2	0	0	0,5	0,1	0,1	0,5	0,1
Cl (%)	0,2	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0,9
K ₂ O (%)	0	0	0,1	0	0	0	0,3	0,3	0	0,3
CaO (%)	47,5	60,9	48,5	59,1	61,5	60,4	46,0	47,5	60,2	47,4
TiO ₂ (%)	0,3	0	0,1	0	0	0	0,2	0,5	0	0,2
V ₂ O ₅ (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr ₂ O ₃ (%)	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0
MnO (%)	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0
Fe ₂ O ₃ (%)	0,1	0	0,7	0	0	0,9	1,4	1,8	0	2,1
LOI (%)	47,6	38,4	43,7	40,4	37,8	38,6	48,7	46,7	38,93	45,7
Toplam (%)	99,8	99,8	100,3	100,0	100,4	100,6	100,6	99,6	100,3	100,2
Diğer (ppm)	547,3	248,6	1490,8	273,6	233,5	528,4	604,7	650,5	497,4	706,2

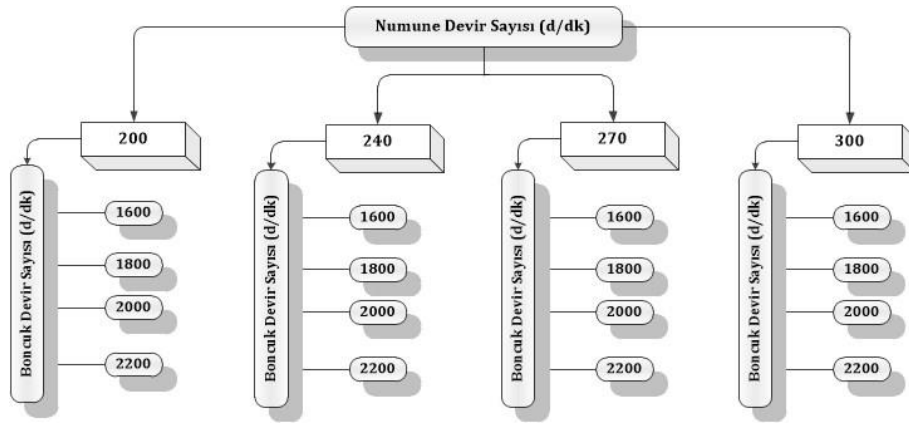
Çizelge 4.12. Hakiki Mermer grubu kayaçların kimyasal özellikleri

Element	Afyon Pembe	Afyon Sarı	Afyon Beyaz	Afyon Kaplan.	Afyon Menekşe	Afyon Gri	Muğla Beyaz	Kütahya Menekşe	Elazığ Pembe	Rustik Yeşil
Na ₂ O (%)	0,08	0,09	0,07	0,07	0,10	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07
MgO (%)	0,02	0,03	2,16	0,70	0,03	2,1	0,87	0,36	1,16	1,21
Al ₂ O ₃ (%)	1,04	0,05	2,04	2,83	0,11	2,01	0,07	0,29	1,43	2,14
SiO ₂ (%)	1,59	0,21	0,24	0,25	1,49	0,33	0,32	1,47	0,17	0,97
P ₂ O ₅ (%)	0,12	0	0,10	0,04	0	0,11	0	0,01	0,08	0,15
SO ₃ (%)	0,12	0,03	0,11	0,13	0,04	0,06	0,04	0,04	0,10	0,12
Cl (%)	0,01	0,01	0	0,03	0,06	0,01	0,01	0,02	0	0,01
K ₂ O (%)	0,19	0,00	0,38	0,07	0,00	0,065	0,07	0,01	0,23	0,40
CaO (%)	60,23	61,89	49,63	49,09	59,32	54,49	57,89	60,46	50,20	44,66
TiO ₂ (%)	0,06	0	0,17	0,23	0	0,20	0	0,03	0,12	0,19
V ₂ O ₅ (%)	0	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0,01
Cr ₂ O ₃ (%)	0	0	0,03	0,03	0	0	0	0	0,02	0,02
MnO (%)	0,01	0	0,07	0,04	0	0,04	0	0,01	0,03	0,08
Fe ₂ O ₃ (%)	0,19	0,01	0,14	1,73	0	0,35	0	0,22	1,95	1,75
LOI (%)	36,65	37,62	45,06	43,73	39,73	40,73	40,49	37,82	44,98	47,33
Toplam (%)	100,35	99,960	100,21	99,00	100,90	100,58	99,80	100,82	100,55	99,10
Diğer (ppm)	1025,20	213,60	744,70	818,30	554,40	673,00	269,20	587,40	688,40	688,20

Çizelge 4.13. Granit grubu kayaçların kimyasal özellikleri

Element	Kaman Gri	Savcılı (ince)	Savcılı (iri)	Siyah Büyük	Bergama Gri	Bianco Sardo	Aksaray Yaylak	Crema Lal	Giresun Vizon	Balaban Yeşili
Na ₂ O (%)	4,68	3,51	2,92	8,77	3,11	2,95	4,70	3,51	4,90	3,92
MgO (%)	0,86	0,55	2,21	0,53	1,74	0,95	1,34	1,84	1,44	2,21
Al ₂ O ₃ (%)	15,6	15,06	15,14	18,6	15,34	15,73	14,97	15,34	14,97	18,6
SiO ₂ (%)	65,93	68,30	63,15	59,40	64,98	68,44	66,89	65,58	65,45	59,40
P ₂ O ₅ (%)	0,17	0,06	0,27	0,10	0,24	0,08	0,19	0,15	0,20	0,10
SO ₃ (%)	0,17	0,17	0,16	0,27	0,18	0,17	0,17	0,17	0,18	0,16
Cl (%)	0,05	0,00	0,02	0,42	0,10	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
K ₂ O (%)	6,88	6,69	2,87	5,76	3,99	4,61	3,81	6,69	3,81	2,87
CaO (%)	1,49	1,64	5,29	1,61	4,06	3,14	2,98	1,64	2,98	5,29
TiO ₂ (%)	0,48	0,17	0,57	0,57	0,47	0,19	0,22	0,57	0,22	0,57
V ₂ O ₅ (%)	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Cr ₂ O ₃ (%)	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
MnO (%)	0,08	0,05	0,10	0,08	0,09	0,07	0,07	0,08	0,07	0,10
Fe ₂ O ₃ (%)	2,39	2,13	5,24	2,47	4,33	1,95	2,55	2,47	2,55	5,24
LOI (%)	1,64	1,69	1,79	1,69	1,48	1,36	1,46	1,69	1,46	1,79
Toplam(%)	100,54	100,06	99,80	100,43	100,16	99,67	99,38	99,59	99,05	100,27
Diğer (ppm)	1248,5	1559,1	1950,9	2186,4	2079,6	1471,5	2986,7	2376,5	2886,9	1870,9

Laboratuvar çalışmalarının üçüncü aşaması ise, doğal taşların tek boncuk test cihazı ile belirlenen koşullarında kesilmesini içermektedir. alışmalar sırasında kullanılacak olan deney parametreleri belirlenirken, Kanbir [33] tarafından arazi koşullarında elmas telli kesme makinası ile yapılan çalışmalarda kullanılan parametrelerin, laboratuvar ortamında tek boncuk test cihazındaki parametrelere uyarlanması esas alınmıştır. Bu şekilde yapılan kesim işlemleri her doğal taş için, 4 farklı boncuk motor devri ve 4 farklı kayaç motor devri olmak üzere toplam 16 farklı kesim koşulunda gerçekleştirilmiştir. Uygulanan deney parametreleri şekil 4.8'de sunulmuştur.



şekil 4.8. Kesimlerde uygulanan parametreler

Arazi koşullarında kullanılan kesim parametrelerin, tek boncuk test cihazına uyarlanmasında kullanılan algoritma ise aşağıda açıklanmaktadır.

Elmas telin bir turda aldığı yol kasnağın çevresi ile orantılıdır. apı 60 cm olan bir kasnağın çevresi;

$$\text{evre} = 2 \cdot \pi \cdot r \approx 1,80 \text{ m dir.}$$

Bu durumda kasnak bir tur attığında elmas tel 1,80 m ilerleyecektir. 900 d/dk hızla dönen bir kasnakta elmas tel;

$$900 \text{ d/dk} \times 1,80 \text{ m} = 1620 \text{ m/dk} \text{ yol alacaktır.}$$

Elmas boncuk, elmas tel bir metre yol aldığında kendi etrafında bir tur atmaktadır. Dolayısıyla 1620 m/dk ilerleyen elmas tel üzerindeki elmas boncuk da buna bağlı olarak 1620 d/dk hızla dönmektedir. Böylece elmas telli kesme yönteminde makinanın kasnağı 900 d/dk ile döndüğünde elmas teldeki boncuklar 1620 d/dk

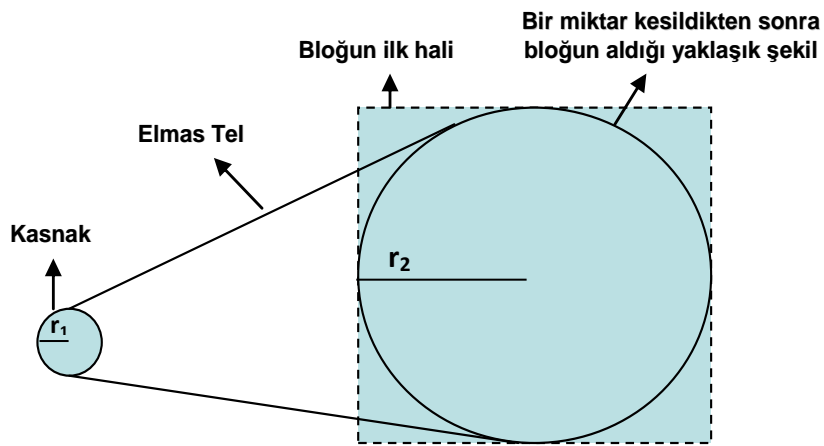
hızla dönmektedir. Buradan hareketle, kullanılan kasnak dönüş hızına bağlı olarak elmas boncuğun dönüş hızı belirlenmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Kasnak dönüş hızlarına karşılık boncuk dönüş hızları

Kasnak Devir Sayısı (d/dk)	Boncuk Devir Sayısı (d/dk)
900	1620
1000	1800
1100	1980
1200	2160

Çizelge 4.10'da görülen değerler esas alınıp, elmas boncuk motorunu 1600, 1800, 2000 ve 2200 d/dk değerlerinde çalıştırarak kesimler yapılmıştır.

Elmas telli kesme yönteminde yapılan kesim belli bir miktar ilerledikten sonra, elmas telin kaya içerisinde oluşan görüntüsü kabaca iki makara etrafından sarılmış bir ip olarak düşünülebilir (Şekil 4.9). Bu aşamada elmas telin çizgisel hız değeri, telin her yerinde aynı değerdedir [32]. Dolayısı ile elmas telin kayayla temas halindeki çizgisel hız kasnağın üzerindeki çizgisel hızına eşittir. Tek boncuk test cihazında elmas boncuk sadece kendi etrafında döndüğü için elmas telin dönüş hareketi kesilecek kayaç döndürülerek verilmiştir. Bu durumda arazi koşullarındaki parametrelerin test cihazında kullanılabilmesi için kayaç, üstünden geçen elmas tel ile aynı çizgisel hızda dönmelidir.



Şekil 4.9. Kasnak etrafındaki elmas telin görüntüsü [32]

Temel fizik kurallarına göre dairesel harekette çizgisel hız aşağıdaki eşitlikle bulunmaktadır.

$$V = \omega \cdot r_1 = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot f$$

Yukarıdaki bağıntıyı Şekil 5.8'teki sistemde elmas telli kesme yöntemine uyarırsak bağıntıdaki ifadeler aşağıdaki şekilde olur;

$$V_1 = \omega \cdot r_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot f_1$$

$$V_2 = \omega \cdot r_2 = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot f_2$$

$$V_1 = V_2 \text{ olduğunda } r_1 \cdot f_1 = r_2 \cdot f_2 \text{ dir.}$$

Burada;

ω_1 : kasnağın açısal hızı (d/s)

ω_2 : kayacın açısal hızı (d/s)

V_1 : kasnağın çizgisel hızı (cm/s)

V_2 : kayacın çizgisel hızı (cm/s)

r_1 : kasnağın yarıçapı (cm)

r_2 : kayacın yarıçapı (cm)

f_1 : kasnağın devir sayısı (d/dk)

f_2 : kayacın devir sayısı (d/dk)

Burada, kayacın yarıçapı (r_2) olarak kesim yüksekliği esas alınmıştır.

Kasnak ve kayacın, elmas telle beraber ortak hareket ettiği düşünülürse çizgisel hızları birbirine eşit olur ($V_1 = V_2$). Bu durumda, yarıçapları belli olan kasnak ve kayacın dönüş sayılarının birbirine eşit olması gerekmektedir. Arazi çalışmalarında kullanılan kayacın yüksekliği 2,5 m ve makinada kullanılan kasnakların çapları 50, 60, 70 ve 80 cm olduğundan, yukarıdaki bağıntı kullanılarak mermer numunesi devir sayısı (d/dk) bulunabilmekte ve buradan da dakikadaki devir sayısına (d/dk) ulaşılabilmektedir. Çizelge 5.2'de kasnak çapı ve dönüş hızına bağlı olarak hesaplanan mermer numunesi motoru dönüş sayıları verilmiştir.

Çizelge 4.11. Kasnak çapı ve dönüş hızına bağlı olarak hesaplanan mermer numunesi motoru devri

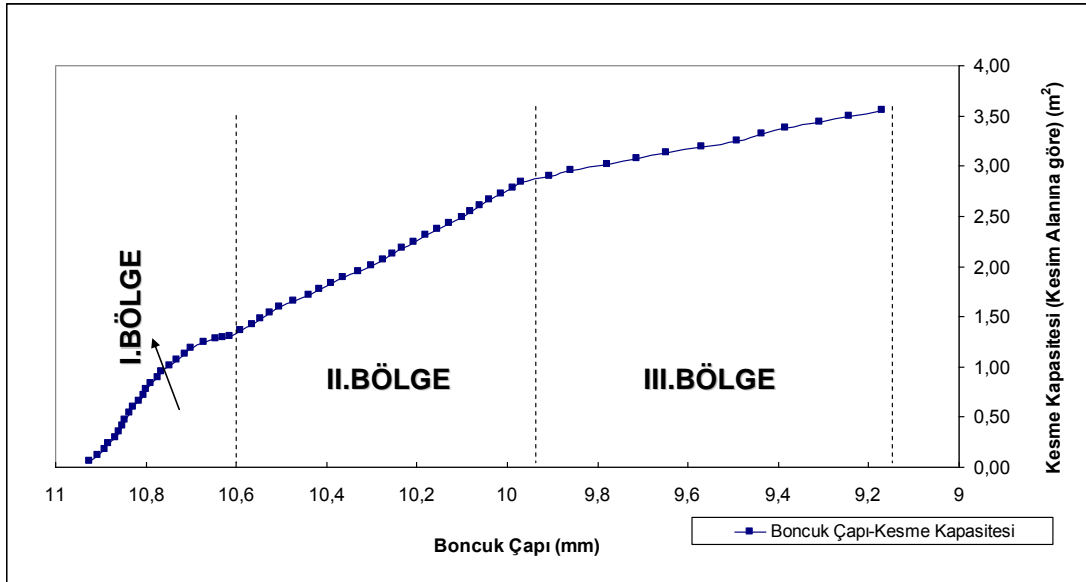
Kasnak Devir Sayısı (d/dk)	Kasnak Çapı (cm)			
	50	60	70	80
	Mermer Numunesi Devir Sayısı (d/dk)			
900	173	207	242	276
1000	198	239	268	306
1100	211	253	296	337
1200	230	276	323	369

Kesim sırasında ölçülen makina parametreleri ise aşağıda verilmiştir;

- Elmas boncuk üzerindeki baskı kuvveti (Her kayaç türü için sabit tutulmuştur. Bu parametre uygulanan basınçla ilgili olduğu için makinede bu değer bilgisayar yardımıyla sabit tutulmuştur. Dolayısıyla bu değer kesimlerde her kayaç türü için sabit değer olarak alınacaktır),
- Hazırlanan disk numunenin dönüş sayısı,
- Boncuğun bağlı bulunduğu eksenin dönüş sayısı,
- Soğutma suyunun akış hızı ve miktarı (Bu değişken sabit su miktarıyla kesim yapılmasını sağlamak için incelenmiş, sabit bir parameter olarak alınmıştır),
- Makinadaki titreşim (Elmas boncukta meydana gelebilecek beklenmeyen aşınmaları açıklamak için incelenmiştir. Kesilebilirlik abaklarının hazırlanmasında bir katkısı yoktur),
- Kesme hızı (m^2/h),
- Kesimde harcanan enerji

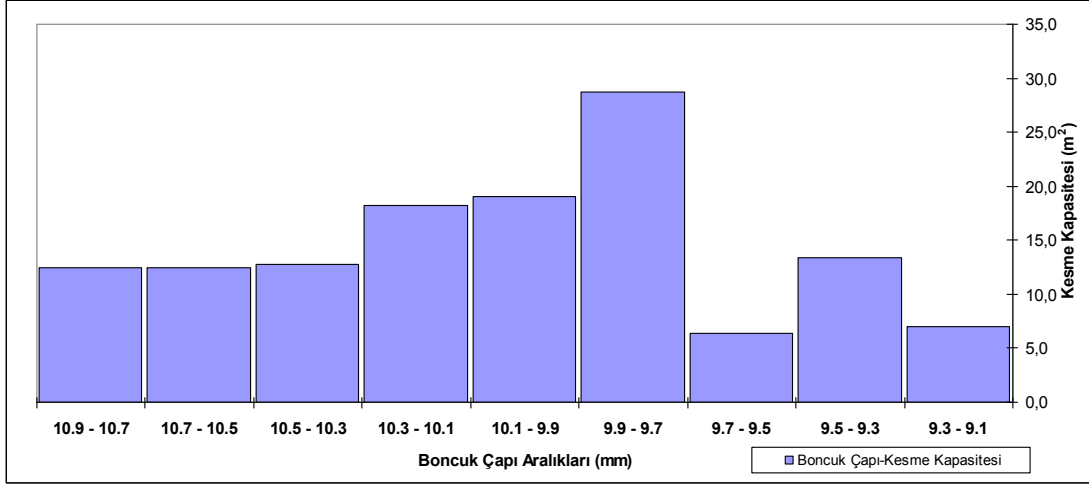
Yapılan kesim çalışmaları süresince, her kesimden sonra elmas boncuklar yıkanıp temizlenmiş ancak değiştirilmemiştir. Elmas boncukların değişimi, çaplarının 10,60mm' nin altına düştüğü zaman yapılmıştır. Bu değer Özçelik ve Yılmazkaya [36]'ya göre boncuk çapına göre kesme performansının doğrusal olarak değiştiği

1. bölgenin sona erdiği sınır değerdir (Şekil 4.10). Şekil 4.10'da elmas boncuğun çapındaki azalmaya karşılık kesme kapasitesinin değişimi verilmiştir [36]. Şekil 4.10 incelendiğinde, şeklin 3 bölgeden oluştuğu ve bu bölgelerdeki boncuk çaplarında boncukların kesme performanslarının yaklaşık aynı özellikte olduğu görülmektedir. 11,00-10,60mm (I. Bölge), 10,60 - 9,90mm (II. Bölge), ve 9,90-9,10 mm (III. Bölge). Bu bölgeler incelendiğinde; şeklin eğimine bağlı olarak, I. bölgeden III. bölgeye doğru gidildikçe kesme kapasitesinin azaldığı, en yüksek kesme kapasitesine I. bölgede, en düşük kesme kapasitesine ise III. bölgede ulaşıldığı görülmektedir. Grafik incelendiğinde boncuk çapı 9,9 mm'nin altına düştüğünde boncuk performansının belirgin bir şekilde düşmeye başladığı görülmektedir. Özçelik ve Yılmazkaya [36]'ya göre bu değer elmas boncukların mermer ocaklarında artık sayalamada kullanılması gereken boncuk çaplarının değeridir. Bu nedenle bu çalışmada kesme işlemlerinde standardizasyonun sağlanması ve tüm boncukların yaklaşık aynı özellikte olmasını sağlamak amacıyla kesme performansının boncuk çapıyla doğrusal olarak değiştiği 1. bölgedeki boncuk çapı seçilmiştir ve tüm deneylerin hepsi bu aralıktaki boncuk çapları ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.10. Elmas boncuğun çapındaki azalmaya karşılık kesme kapasitesinin değişimi

Boncuğun kullanım ömrü boyunca belirli aralıklarda (0.2 mm) boncuk çapındaki azalmaya karşılık kesme kapasitesinde görülen değişim ise Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Elmas boncuğun çapında belirli aralıklardaki azalmaya (0.2 mm) karşılık kesme kapasitesinin değişimi

Şekil 4.11 incelendiğinde, boncuk çapı 9.9 mm - 9.7 mm arasındayken yapılan kesimlerde kesme kapasitesinin en yüksek değerine çıktığı gözlenmektedir.

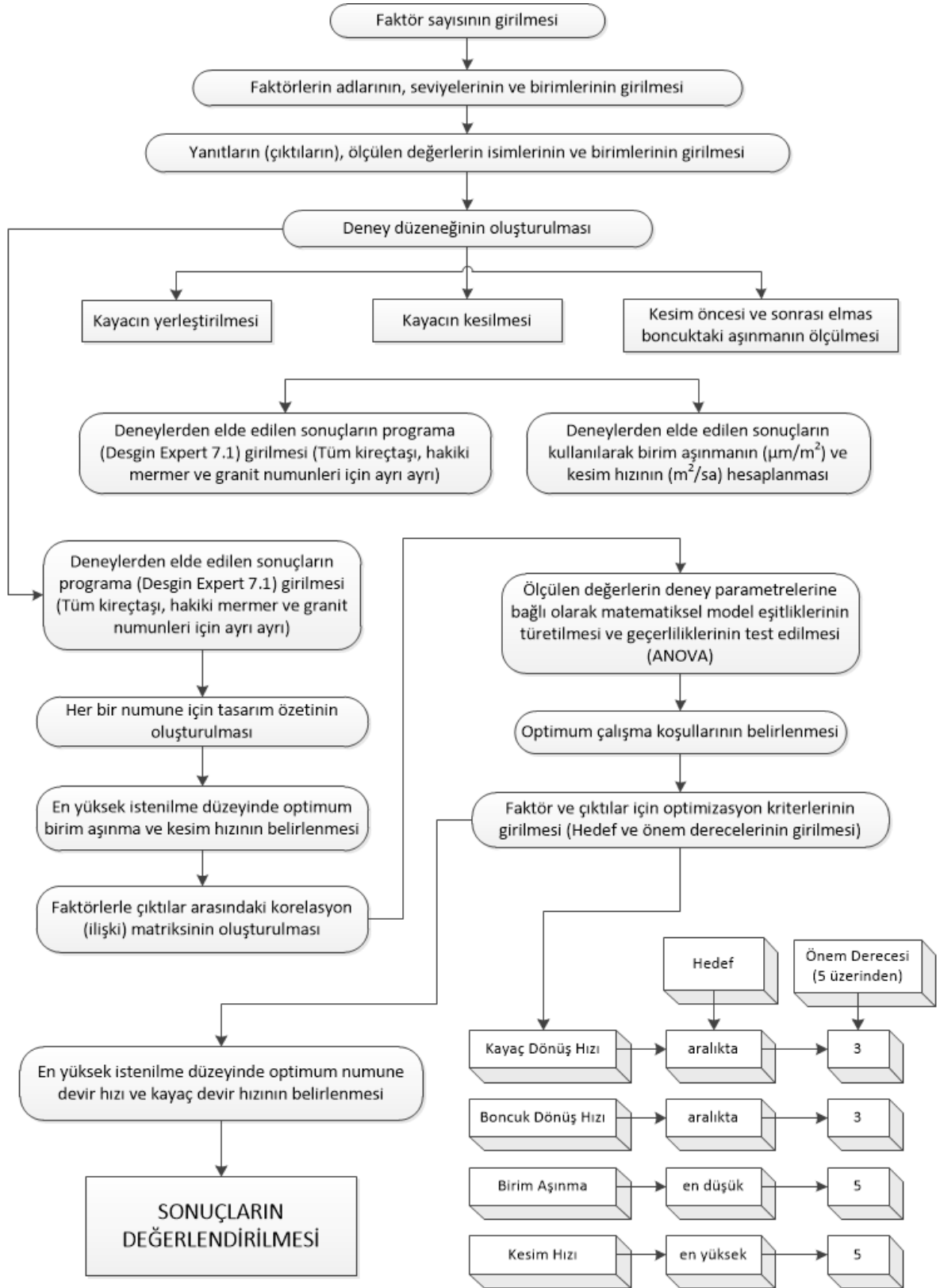
Bu çalışmada 3 farklı doğal taş türünde kesimler yapıldığından dolayı, kullanılacak standart bir boncuğun sonuçları etkilemesi kaçınılmazdır. Bu nedenle kesilen her kayaç türü için sektörde o kayaç türüne en uygun elmas boncuklar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan boncukların yapısal özellikleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Çalışmada kullanılan boncukların yapısal özellikleri

Kayaç türü	Ortalama Tane Boyu		Elmas Konsantrasyonu	
	mesh	mikrometre	C100	(crt/cm ³)
Hakiki Mermer	35-65	310,50	C70	3,20
Kireçtaşı	50-70	252,33	C55	2,20
Granit	30-50	340,50	C65	3,05

5. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

İstatistiksel analiz kısmında, kesimlerden elde edilen verilerin analizlerini yapmak ve hakiki mermer, kireçtaşı ve granit numuneleri için optimizasyon kriteri olarak kesme performansının belirlenmesinde ölçü olarak kabul edilen birim aşınma ve kesim hızı değerlerini baz alarak kesimlerde kullanılacak boncuk ve numune devir sayılarının optimizasyonunu gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Bu çalışmaları yapmak için özel bir istatistiksel program olan Design Expert 7.1 programı kullanılmıştır. Çalışmada izlenen yöntem Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Çalışmanın istatistiksel değerlendirme aşamasında izlenen yöntem

Bu çalışmada toplam 10 hakiki mermer, 10 kireçtaşı ve 10 granit numunesi üzerinde deneyler gerçekleştirilmiş; ancak burada sadece Afyon Beyaz ticari isimli hakiki mermer numunesi üzerinde yapılan tüm istatistiksel çalışmaların sonuçları detaylı bir şekilde verilmiştir. Diğer numuneler için ise, sadece yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar bir Çizelge halinde sunulmuştur.

5.1.Design Expert 7.1 Programının Tanıtılması

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

Design-Expert 7.1 programı deneylerden elde edilen sonuçların (yanıtların) görüntülenmesi için 3 boyutlu döndürülebilen grafiklerin çizilebilmesini sağlamaktadır. Ayrıca fare kullanarak 2 boyutlu grafikler üzerindeki sınır çizgilerin görülebilmesine de olanak sağlamaktadır. Optimum noktaların koordinatlarının (optimum çalışma noktaları) ve bu noktalarda yapılacak deneyler sonucunda elde edilebilecek tahmini sonuçları (yanıtları) görüntülemekte bu programla mümkündür.

Design-Expert, Myers ve Montgomery [45] tarafından “arzu” (desirability) olarak adlandırılan çoklu yanıt yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntem, amaç fonksiyonu $D(X)$ kullanır ve “arzu fonksiyonu” (desirability function) olarak adlandırılır. Her bir yanıt (d_i) için arzu edilen aralıkları yansıtır. Arzu edilen aralıklar 0 ile 1 (sırasıyla en çok tercih edilenden itibaren) arasındadır. Eşzamanlı amaç fonksiyonu tüm dönüştürülen yanıtların bir geometrik ortalamasıdır ve aşağıdaki formül ile açıklanmaktadır (Eşitlik 5.1).

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n)^{\frac{1}{n}} = \left(\prod_{i=1}^n d_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (5.1)$$

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

5.2. Laboratuvarda Kesme Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışmanın amacına uygun olarak öncelikle hakiki mermer, kireçtaşı ve granit numuneleri üzerinde tek boncuk test cihazı ile ön deneme kesme deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlara bağlı olarak yaklaşık hangi aralıkta boncuk devir sayısı ve numune devir sayısı değerleri kullanılarak kesme deneylerinin yapılması gerektiğine karar verilmiştir. Sonuçta hakiki mermer ve kireçtaşları için 200-300 d/dk kayaç motor devri ve 1600-2200 d/dk boncuk devir sayısı, granit grubu kayalar için ise 150-225 d/dk numune devir sayısı ve 1100-1700 d/dk boncuk devir sayısı aralıkları seçilip Design Expert 7.1 programı kullanılarak deney programı oluşturulmuş ve tüm numuneler üzerinde (10 hakiki mermer, 10 kireçtaşı ve 10 granit) deneyler bu programa göre gerçekleştirilmiştir. Yapılan kesme deneylerinde uygulanan deney programı ve Afyon Beyaz ticari isimli hakiki mermer numunesi için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Yapılan kesme deneylerinde uygulanan deney programı ve Afyon Beyaz ticari isimli hakiki mermer numunesi için deney sonuçları

DENEY SIRASI	FAKTÖR 1 A: Numune Devir Sayısı (NDS) (d/dk)	FAKTÖR 2 B: Boncuk Devir Sayısı (BDS) (d/dk)	YANIT 1 Birim Aşınma (mm/m ²)	YANIT 2 Kesme Hızı (m ² /h)
1	200	1600	1,099	0,218
2	200	1800	1,420	0,253
3	200	2000	1,466	0,450
4	200	2200	1,571	0,458
5	240	2200	1,849	0,552
6	240	1600	1,289	0,279
7	240	1800	1,424	0,548
8	240	2000	1,573	0,496
9	270	1800	1,808	0,498
10	270	2000	1,768	0,645
11	270	2200	2,088	0,603
12	270	1600	1,550	0,387
13	300	1600	1,761	0,443
14	300	1800	1,876	0,704
15	300	2000	1,933	0,652
16	300	2200	2,233	0,806

5.3. Tasarım Özetlerinin Oluşturulması

İstatistiksel analizlere geçmeden önce faktörler ve yanıtlarla ilgili her bir değişkene ilişkin özellikleri yansıtan bilgiler analiz edilmiştir. Bu bilgiler değişkenlere ilişkin dağılımları tanımlamak için ortalama ve standart sapma gibi verilerden oluşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan tasarım özellikleri Çizelge 5.2'de, faktör ve

yanıtlarla ilgili tanımlayıcı istatistiki bilgiler ise sırasıyla Çizelge 5.3 ve 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.2. Çalışmada kullanılan istatistiksel tasarım özellikleri

Çalışma tipi	Faktöriyel
Başlangıç Tasarım	D-optimal, Nokta değişimi
Tasarım Modeli	2FI
Deney Sayısı	16

Çizelge 5.3. Faktörlere ait tanımlayıcı istatistiki bilgiler

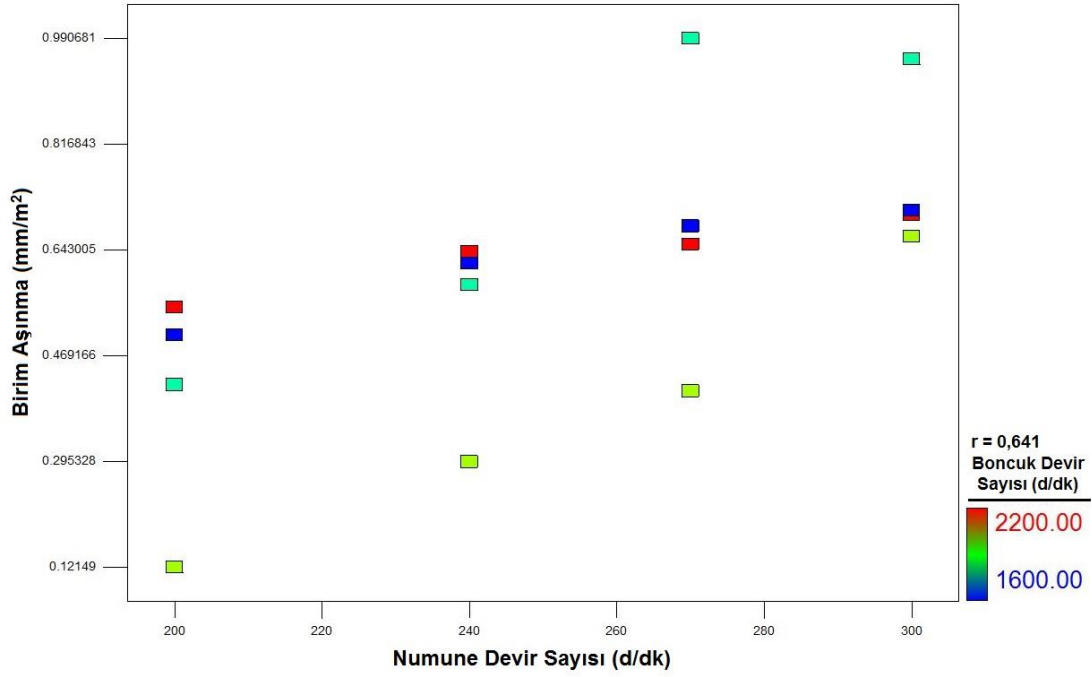
Adı	Faktör Adı	
	A: Numune Devir Sayısı (NDS)	B: Boncuk Devir Sayısı (BDS)
Birimi	d/dk	d/dk
Tipi	Sayısal	Sayısal
Minimum	200,00	1600,00
Maksimum	300,00	2200,00
Ortalama	252,00	1900,00
Std. Sapma	37,00	223,61

Çizelge 5.4. Yanıtlara ait tanımlayıcı istatistiki bilgiler

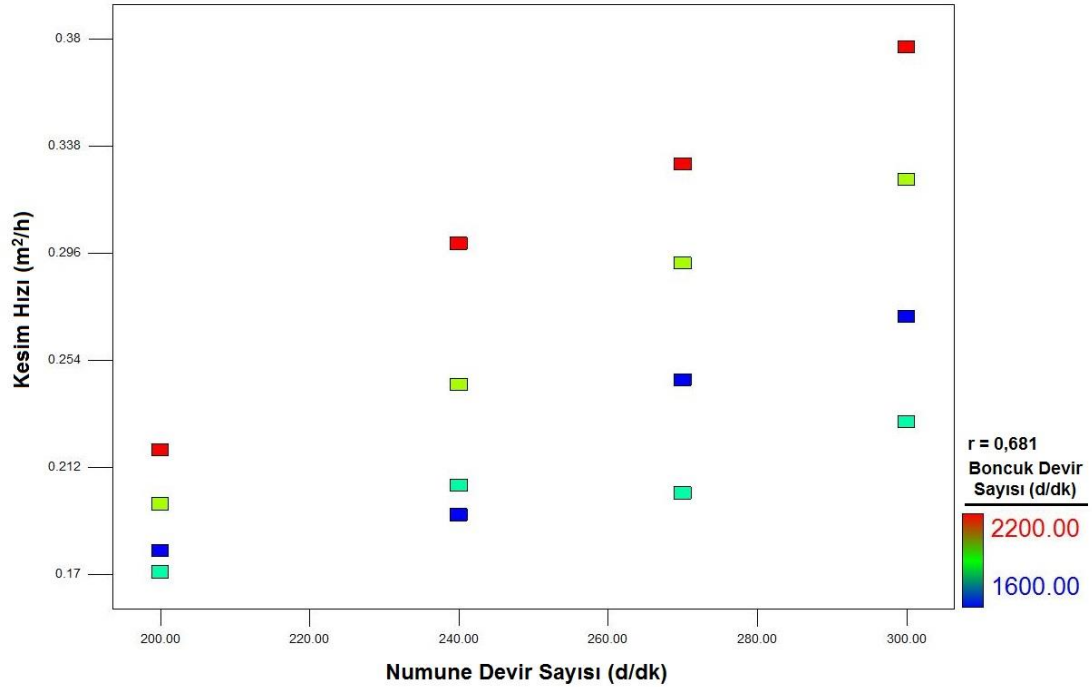
Adı	Birimi	Veri Say.	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma	Model
Birim Aşınma	(mm/m ²)	16	0,12	0,99	0,59	0,21	Kübik
Kesim Hızı	(m ² /h)	16	0,17	0,38	0,25	0,06	Kuadratik

Tanımlayıcı istatistiklere ilaveten birim aşınma ve birim enerji ile ilerleme hızı arasındaki birebir ilişkiler farklı çevresel hızlarda incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.2 ve 5.3'te verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi farklı boncuk

devir hızlarda numune devir sayısı ile birim aşınma ve kesim hızı arasında yüksek ilişkiler söz konusudur.



Şekil 5.2. Farklı boncuk devir sayılarında birim aşınma ile numune devir sayısı arasındaki ilişkiler



Şekil 5.3. Farklı boncuk devir sayılarında kesim hızı ile numune devir sayısı arasındaki ilişkiler

Çoğu bilimsel mekanizmanın karmaşıklığı yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen önemli çıktılar (yanıtların) tahmin edilebilmesindeki güçlükten kaynaklanmaktadır. Bu amaçla genellikle basit veya çoklu regresyon modelleri kullanılmaktadır.

Regresyon analizi için kurulan model, bağımlı (açıklanan) değişken ve bağımsız (açıklayan) değişkenleri içeren bir modeldir. Böyle bir modelde; bağımlı değişkendeki değişim, bağımsız değişkenler ile açıklanmaya çalışılır. Belirtme katsayısı (R^2) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise modeldeki açıklama miktarının açıklanamayan miktara olan oranıdır. Regresyon katsayısı ise, ilgili bağımsız değişkendeki bir birimlik artışın bağımlı değişkende yaratacağı değişim miktarıdır. Basit veya çoklu regresyon modellerinin kurulmasında ilk aşama modeli oluşturan katsayıların belirlenmesi, daha sonra, model geçerliliğinin varyans analizi ile istatistiki testidir.

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

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

5.4. Analizler

Çalışmanın amacına uygun olarak Çizelge 5.1.'de belirtilen deney programına göre yapılan kesme deneylerinde kesme performansının belirlenmesinde iki temel parametre kullanılmıştır. Bunlar kesim sırasında elmas boncuklarda meydana gelen birim aşınma ve kesim hızıdır. Bu nedenle bu kısımda istatistiksel analizler yapılırken her iki parametre de ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki aşamasında bu parametrelere bağlı olarak optimum çalışma noktalarının

belirlenebilmesi için, numune ve boncuk devir sayıları kullanılarak bu parametrelere ait istatistiksel model eşitliklerin türetilmesi ve deney yapılmayan noktaların bu model eşitlikler kullanılarak belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmanın güvenilirliği açısından farklı türde modeller kullanılarak farklı istatistiksel model eşitlikler türetilmiş ancak istatistiksel açıdan en anlamlı olan model bu parametreler için en uygun model olarak seçilmiştir.

5.4.1. Birim Aşınmayla İlgili İstatistiksel Değerlendirmeler

Numune devir sayısı ve boncuk devir sayısı kullanılarak birim aşınmaların tahmin edilmesi amacıyla öncelikle Çizelge 5.5'te verilen farklı modeller için analizler yapılmış ve çizelgeden de görüldüğü gibi R^2 değeri en yüksek olan kübik model aşınmanın tahmin edilmesi için en uygun istatistiksel model eşitliğinin türetilmesinde kullanılmıştır.

Çizelge 5.5. Birim aşınma model seçimi için yapılan istatistiksel analiz sonuçları

Model	Std. Dev.	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2	Sonuç
Lineer	0,17	0,4536	0,3696	0,2216	
2FI	0,18	0,4566	0,3208	0,0427	
Kuadratik	0,19	0,4893	0,2342	-0,3002	
<u>Kübik</u>	0,077	<u>0,9510</u>	<u>0,8773</u>	<u>0,7168</u>	<u>Anlamlı</u>

Daha sonra kübik model kullanılarak model katsayılarının belirlenmesi amacıyla çoklu regresyon analizi yapılmış ve birim aşınma model eşitliği elde edilmiştir. Kurulan modelin (kübik model) geçerliliği ise varyans analizi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 5.6 ve 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.6. Birim aşınmaya ait çoklu regresyon analizi sonuçları

Faktör	Katsayı Kestirimi	Serbestlik Derecesi	Standard Hata
Sabit	0,530	1	0,039
NDH	0,380	1	0,110
BDH	-0,630	1	0,097
(NDS)(BDS)	-0,020	1	0,035
(NDS) ²	-0,009	1	0,043
(BDS) ²	0,097	1	0,043
(NDS) ² (BDS)	0,003	1	0,057
(NDS)(BDS) ²	-0,220	1	0,058
(NDS) ³	-0,079	1	0,110
(BDS) ³	0,620	1	0,096

Çizelge 5.7. Birim aşınmaya ait çoklu regresyon modelinin varyans analizi

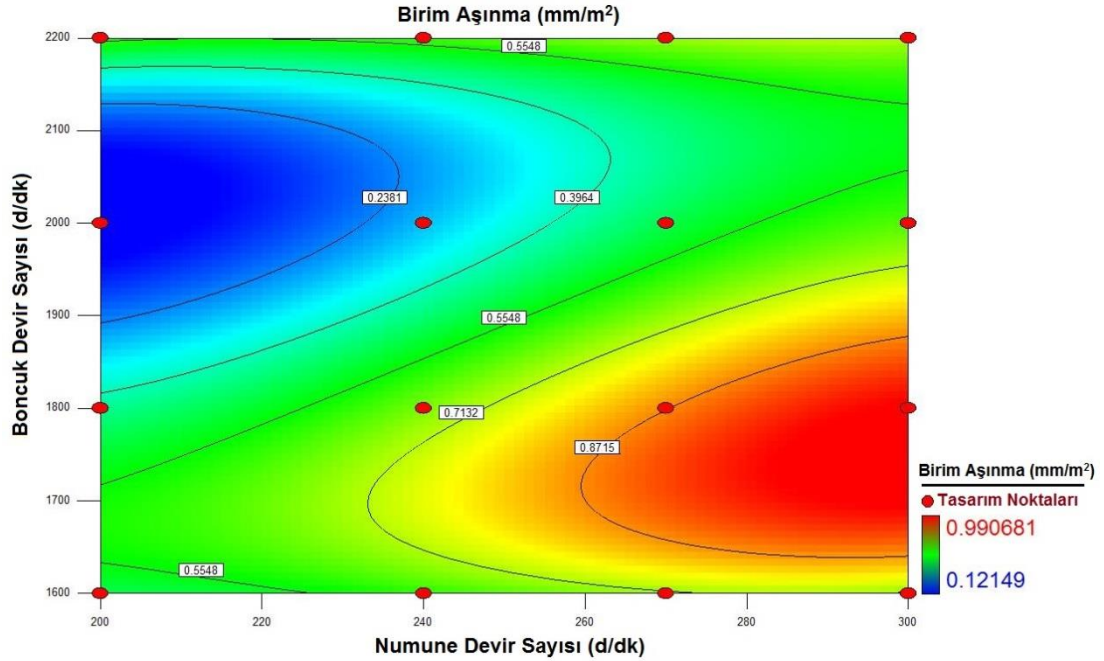
Kaynak	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Ortalaması	F Değeri	Olasılık	
Model	0,680	9	0,076	12,92	0,003	Anlamlı
NDH	0,075	1	0,075	12,81	0,012	
BDH	0,250	1	0,250	42,64	0,001	
(NDS)(BDS)	0,001	1	0,002	0,340	0,583	
(NDS) ²	0,000	1	0,000	0,042	0,845	
(BDS) ²	0,029	1	0,029	4,990	0,067	
(NDS) ² (BDS)	0,002	1	0,002	0,260	0,629	
(NDS)(BDS) ²	0,083	1	0,083	14,18	0,009	
(NDS) ³	0,003	1	0,003	0,560	0,482	
(BDS) ³	0,240	1	0,240	41,43	0,001	
Artık	0,035	6	0,006			
Toplam	0,720	15				

Çizelge 5.6'da verilen regresyon katsayılarına bağlı olarak kurulan model 99% ($\alpha=0.01$) güvenilirlik seviyesinde istatistiki olarak anlamlıdır. Belirtme katsayısı (R^2) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise 0.95 gibi oldukça yüksek bir değerdir. Bu nedenle bu model eşitlik kullanılarak rahatlıkla deney yapılmayan kısımlardaki noktaların kestirimi yapılabilir.

Çizelge 5.6'ya göre kurulan birim aşınmaya ait kübik modelin eşitliği ise aşağıdaki gibidir;

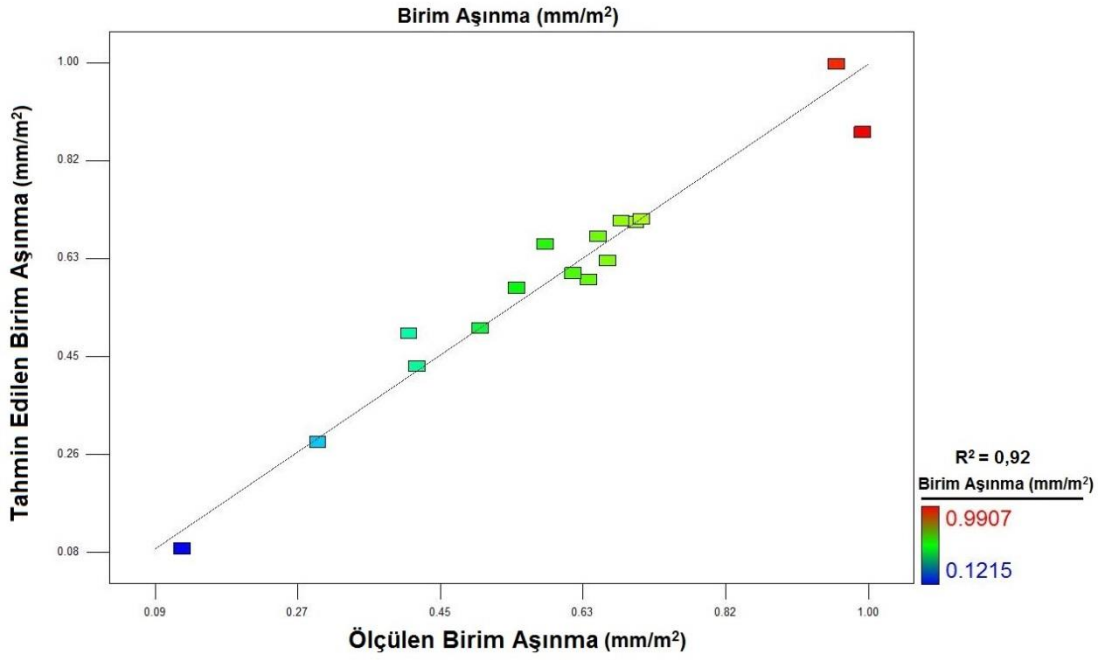
$$\text{Birim Aşınma (BA)} = +0,53 + 0,38(\text{NDS}) - 0,63(\text{BDS}) - 0,020(\text{NDS})(\text{BDS}) - 0,008983(\text{BDS})^2 + 0,097(\text{BDS})^2 + 0,0029(\text{NDS})^2(\text{BDS}) - 0,22(\text{NDS})(\text{BDS})^2 - 0,079(\text{NDS})^3 + 0,62(\text{BDS})^3$$

Geliştirilen modelin tahmin grafiği ise Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Birim aşınma için geliştirilen modelin tahmin grafiği

Bir regresyon modelinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığını varyans analizi yöntemiyle test etmek olanaklıdır. Bununla birlikte aynı amaca hizmet eden değişik yaklaşımlar da söz konusudur. Bunlardan birisi de deneysel çalışmalardan elde edilen ölçüm sonuçları ile modelden elde edilen sonuçlar arasındaki saçılım grafiğine bakmaktır. Bu amaçla birim aşınma için elde edilen grafik Şekil 5.5'te verilmiştir. Şekil 5.5 incelendiğinde modelden elde edilen sonuçların ölçüm sonuçlarını oldukça iyi bir şekilde yansıttığı görülmektedir.



Şekil 5.5. Birim aşınma için tahmin edilen-ölçülen değerler arasındaki ilişki

5.4.2. Kesim Hızı ile İlgili İstatistiksel Değerlendirmeler

Numune devir sayısı ve boncuk devir sayısı kullanılarak kesim hızının tahmin edilmesi amacıyla yapılan analizlerde kuadratik model en yüksek anlamlılığı vermiş ve bu model kullanılarak kesim hızı model eşitliği elde edilmiştir. Kurulan modelin (kuadratik model) geçerliliği ise varyans analizi ile test edilmiştir. Kesim hızına ait istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 5.8'de, çoklu regresyon analizi sonuçları Çizelge 5.9'da, varyans analizi sonuçları ise Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.8. Kesim hızına ait istatistiksel analiz sonuçları

Kaynak	Std.Dev.	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini R ²	
Linear	0,028	0,8210	0,7935	0,7230	
2FI	0,026	0,8505	0,8131	0,7228	
<u>Kuadratik</u>	0,021	<u>0,9197</u>	<u>0,8796</u>	<u>0,7845</u>	<u>Anlamlı</u>
Kübik	0,016	0,8738	0,8345	0,7569	

Çizelge 5.9. Kesim hızına ait çoklu regresyon analizi sonuçları

Faktör	Katsayı Kestirimi	Serbestlik Derecesi	Standard Hata
Sabit	0,230	1	0,0110
NDH	0,054	1	0,0072
BDH	0,046	1	0,0071
(NDS)(BDS)	0,018	1	0,0096
(NDS) ²	-0,00024	1	0,0120
(BDS) ²	0,035	1	0,0120

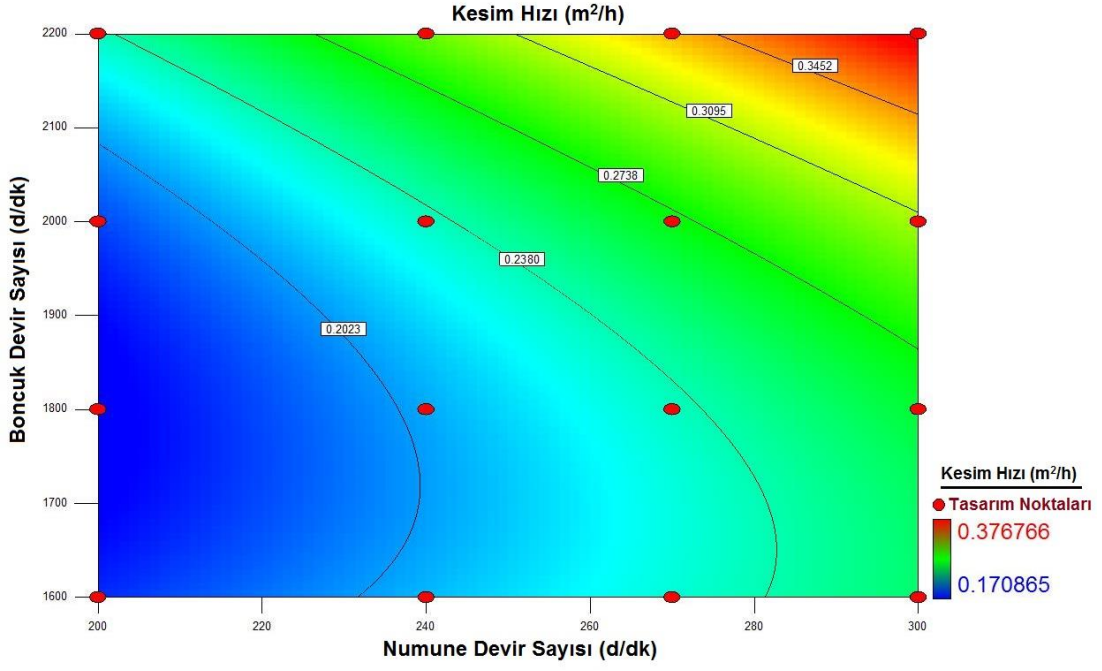
Çizelge 5.10. Kesim hızına ait çoklu regresyon modelinin varyans analizi

Kaynak	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Ortalaması	F Değeri	Olasılık	
Model	0,051	5	0,010	22,91	< 0,0001	Anlamlı
NDH	0,026	1	0,026	57,66	< 0,0001	
BDH	0,019	1	0,019	42,60	< 0,0001	
(NDS)(BDS)	0,002	1	0,002	3,670	0,0844	
(NDS) ²	0,000	1	0,000	0,000	0,9970	
(BDS) ²	0,004	1	0,004	8,620	0,0149	
Artık	0,005	10	0,001			
Toplam	0,056	15				

Çizelge 5.10'da verilen regresyon katsayılarına bağlı olarak kurulan model %99 ($\alpha=0,01$) güvenilirlik seviyesinde istatistikî olarak anlamlıdır. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı (R^2) ise 0.91 gibi oldukça yüksek bir değerdir. Geliştirilen modelin tahmini grafiği Şekil 5.6' da verilmiştir.

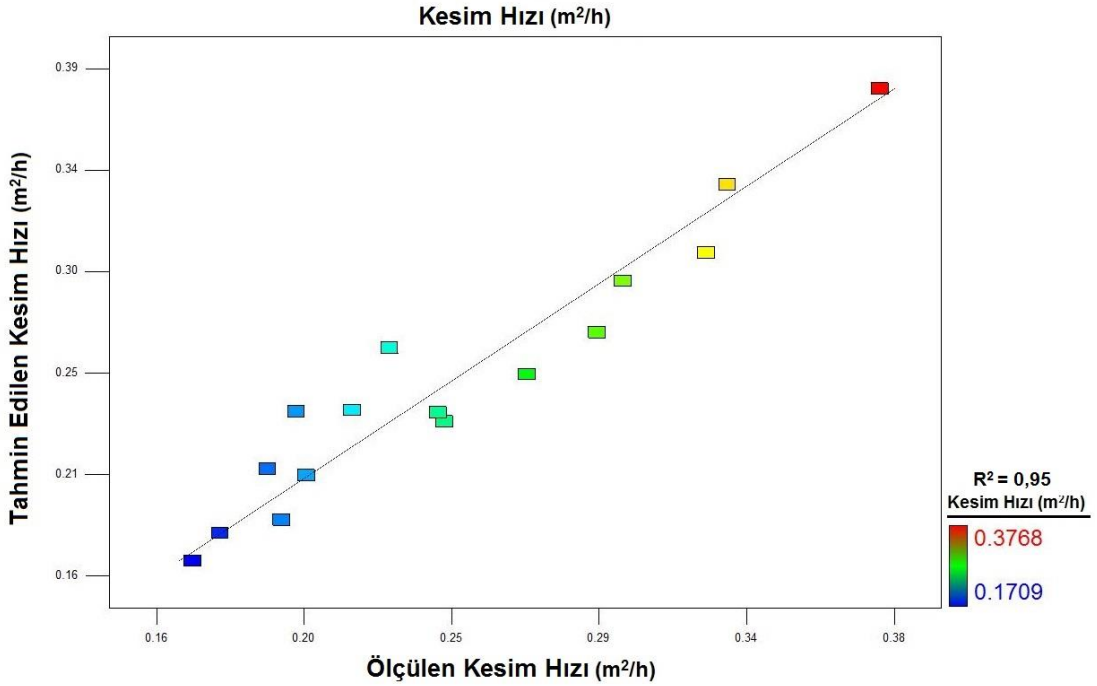
Çizelge 5.10'a göre kurulan kuadratik modelin formülü ise aşağıdaki gibidir;

$$\text{Kesim Hızı (KH)} = 0,23 + 0,054(\text{NDS}) + 0,046(\text{BDS}) + 0,018(\text{NDS})(\text{BDS}) - 0,000243(\text{NDS})^2 + 0,035(\text{BDS})^2$$



Şekil 5.6. Kesim hızı için geliştirilen modelin tahmin grafiği

Bununla birlikte deneysel çalışmalardan elde edilen kesim hızı ölçüm sonuçları ile modelden tahmin edilen sonuçlar arasındaki saçılım grafiği Şekil 5.7' de verilmiştir. Şekil 5.7 incelendiğinde modelden elde edilen sonuçların ölçüm sonuçlarını oldukça iyi bir şekilde yansıttığı görülmektedir.



Şekil 5.7. Kesim hızı için tahmin edilen-ölçülen değerler arasındaki ilişki

5.5. Optimizasyon

Bu çalışmanın temel amacı, farklı doğal taş numunelerinin elmas tel ile kesiminde birim aşınma değerlerini en düşük, kesim hızı değerlerini en yüksek yapacak optimum boncuk devir sayısı ve numune devir sayısı değerlerinin belirlenmesidir. Bu amaçla diğer analizlerde olduğu gibi Design Expert 7.1 istatistik programı kullanılmıştır. Bir optimizasyon işleminde temel olay optimizasyonun neye göre yapılacağı yani kısıtlamaların neler olduğunun tanımlanmasıdır. Bu nedenle burada öncelikle tasarım sınırlamaları tanımlanmıştır. Burada optimizasyon iki türlü yapılmıştır. Birincisi sayısal optimizasyon, ikincisi ise grafiksel optimizasyondur. Bu şekilde iki farklı optimizasyon yapılmasının sebebi tamamen kontrol amaçlıdır. Afyon Beyaz doğal taş numunesi için optimum noktaların belirlenmesinde kullanılan tasarım sınırlamaları Çizelge 5.11’de verilmiştir.

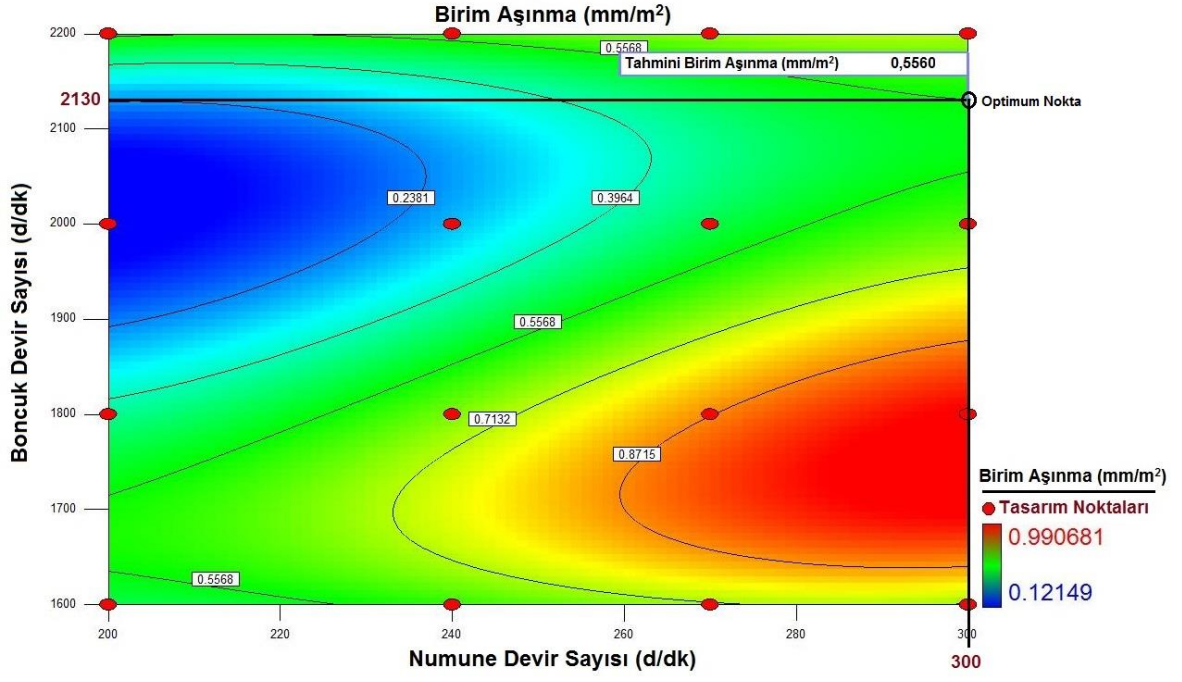
Çizelge 5.11. Afyon Beyaz için optimum noktaların belirlenmesinde kullanılan tasarım sınırlamaları

Parametre Adı	Hedef	Alt Limit	Üst Limit	Önemlilik
Numune Devir Sayısı (d/dk)	aralıkta	200	300	3
Boncuk Devir Sayısı (d/dk)	aralıkta	1600	2200	3
Birim Aşınma (mm/m ²)	en düşük	0,121	0,991	5
Kesim Hızı (m ² /h)	en yüksek	0,171	0,377	5

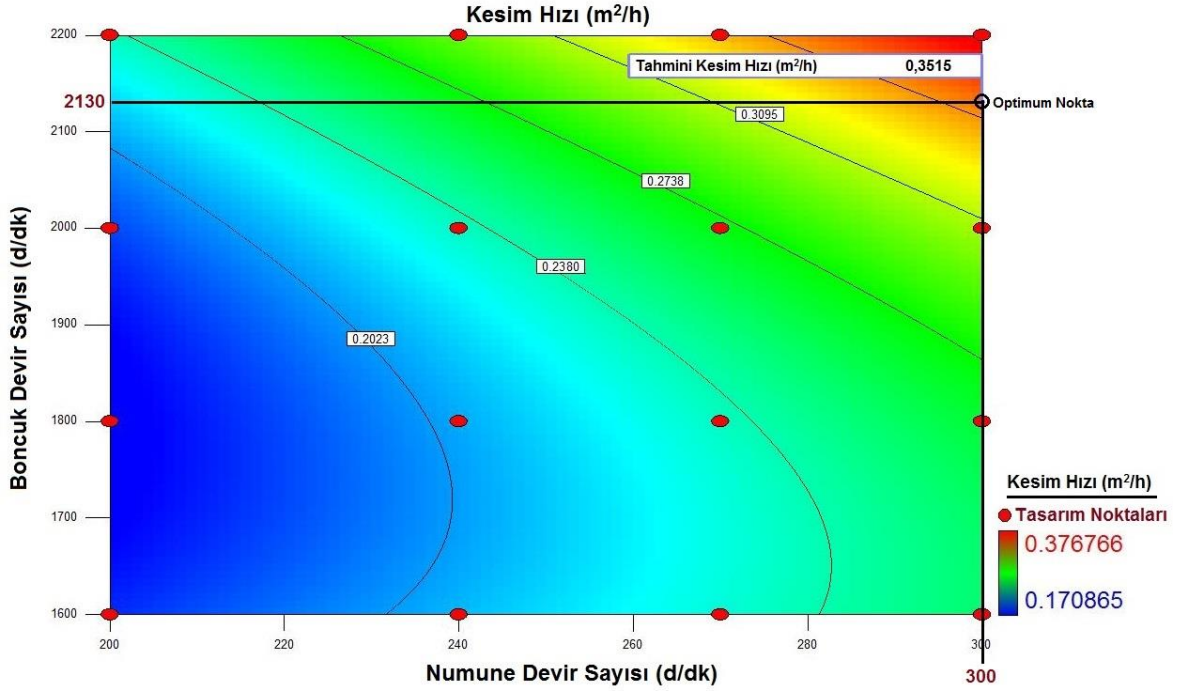
Design Expert 7.1 istatistik programı kullanılarak Çizelge 5.11’de belirtilen tasarım sınırlamaları göz önüne alınarak Afyon Beyaz doğal taş numunesi için sayısal yöntemle belirlenen optimum noktalar Çizelge 5.12’de, birim aşınmaya göre gösterimi Şekil 5.8’de, kesim hızına göre gösterimi ise Şekil 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.12. Afyon Beyaz doğal taş numunesi için optimum çalışma koşulları

Numune Devir Sayısı (d/dk)	300,00
Boncuk Devir Sayısı (d/dk)	2130,38
Birim Aşınma (mm/m ²)	0,556
Kesim Hızı (m ² /h)	0,351
Arzu Edilebilirlik Düzeyi	0,662



Şekil 5.8. Birim aşınmaya göre optimum noktanın gösterilmesi



Şekil 5.9. Kesim hızına göre optimum noktanın gösterilmesi

Şekil 5.8 ve 5.9 incelendiğinde, optimum koşullar olarak 2130,47 d/dk boncuk devir sayısı ve 300 d/dk numune devir sayısı seçildiğinde, 0,3515 m²/h kesim hızına karşılık 0,5559 mm/m² birim aşınma değerinin elde edildiği görülmektedir.

Yukarıda Afyon Beyaz mermer numunesinin hem kesim hızı hem de birim aşınma için verilen optimizasyon grafikleri ve kesilebilirlik abakları, çalışmada kullanılan her bir doğal taş numunesi için (10 hakiki mermer, 10 kireçtaşı ve 10 granit) EK-1, EK-2 ve EK-3' te verilmiştir.

5.6. Hakiki Mermerler ve Kireçtaşları için Optimum Değerlerin Bulunması

Yukarıda anlatılan ve Afyon Beyaz hakiki mermer numunesi için yapılan tüm istatistiksel çalışmalar diğer 9 hakiki mermer, 10 kireçtaşı ve 10 granit numunesi için aynı sıra ile yapılmıştır. Laboratuvar ortamında elde edilen optimum kesim koşulları ile bu koşullarda elde edilen birim aşınma ve kesim hızı değerleri, arzu edilebilirlik düzeyleri ile birlikte hakiki mermer numuneleri için Çizelge 5.13'te, kireçtaşları için Çizelge 5.14'te ve granitler için ise Çizelge 5.15'te verilmiştir.

Çizelge 5.13. Hakiki mermer numunelerine ait optimizasyon sonuçları

Örnek Adı	Numune Devir Sayısı (d/dk)	Boncuk Devir Sayısı (d/dk)	Birim Aşınma (mm/m ²)	Kesim Hızı (m ² /h)	Arzu Edilebilirlik Düzeyi
Afyon Beyaz	300	2130	0,556	0,351	0,662
Afyon Pembe	229	2200	2,338	0,502	0,521
Afyon Menekşe	229	2095	1,559	0,516	0,549
Afyon Sarı	300	2200	1,033	0,408	0,705
Afyon Gri	201	2100	0,922	0,269	0,537
Afyon Kaplanpostu	300	2091	0,343	0,366	0,864
Muğla Menekşe	271	1676	0,369	0,273	0,625
Kütahya Menekşe	245	1600	1,003	0,259	0,661
Rustik Yeşil	244	2094	0,490	0,308	0,813
Elazığ Pembe	217	2122	0,737	0,299	0,791

Çizelge 5.14. Kireçtaşı numunelerine ait optimizasyon sonuçları

Örnek Adı	Numune Devir Sayısı (d/dk)	Boncuk Devir Sayısı (d/dk)	Birim Aşınma (mm/m ²)	Kesim Hızı (m ² /h)	Arzu Edilebilirlik Düzeyi
Burdur Krem Krema	256	2078	0,189	0,058	0,520
Hazar Pembe	300	1600	0,089	0,286	0,797
Rozalya Bej	300	1600	0,849	0,173	0,652
Amasya Bej	295	1600	1,058	0,204	0,593
Burdur Açık Bej	251	2200	0,227	0,063	0,439
Burdur Koyu Bej	200	1600	0,476	0,149	0,936
Sivrihisar Bej	300	1605	0,232	0,096	0,509
Papatya Bej	264	1835	0,190	0,084	0,597
Malatya Bej	200	2200	0,274	0,083	0,685
Eskişehir Bej	200	2200	0,153	0,084	0,735

Çizelge 5.15. Granit numunelerine ait optimizasyon sonuçları

Örnek Adı	Numune Devir Sayısı (d/dk)	Boncuk Devir Sayısı (d/dk)	Birim Aşınma (mm/m ²)	Kesim Hızı (m ² /h)	Arzu Edilebilirlik Düzeyi
Kaman Gri	225,00	1100,00	4,019	0,105	0,892
Savcılı (ince)	225,00	1100,00	3,657	1,083	0,779
Savcılı (iri)	225,00	1100,00	3,488	0,190	0,710
Bergama Gri	225,00	1100,00	2,486	0,095	0,676
Aksaray Yaylak	150,00	1100,00	8,814	0,088	0,785
Bianco Sardo	150,00	1100,00	2,077	0,051	1,000
Siyah Büyü	225,00	1550,80	4,188	0,131	0,901
Crema Lal	163,52	1103,75	7,634	0,060	1,000
Giresun Vizon	178,64	1700,00	5,185	0,419	0,511
Balaban Yeşili	178,30	1700,00	11,319	0,093	0,682

5.7. Doğal Taş Cinsine Göre Optimum Kesim Noktalarının Bulunması ve Kesim Abaklarının Oluşturulması

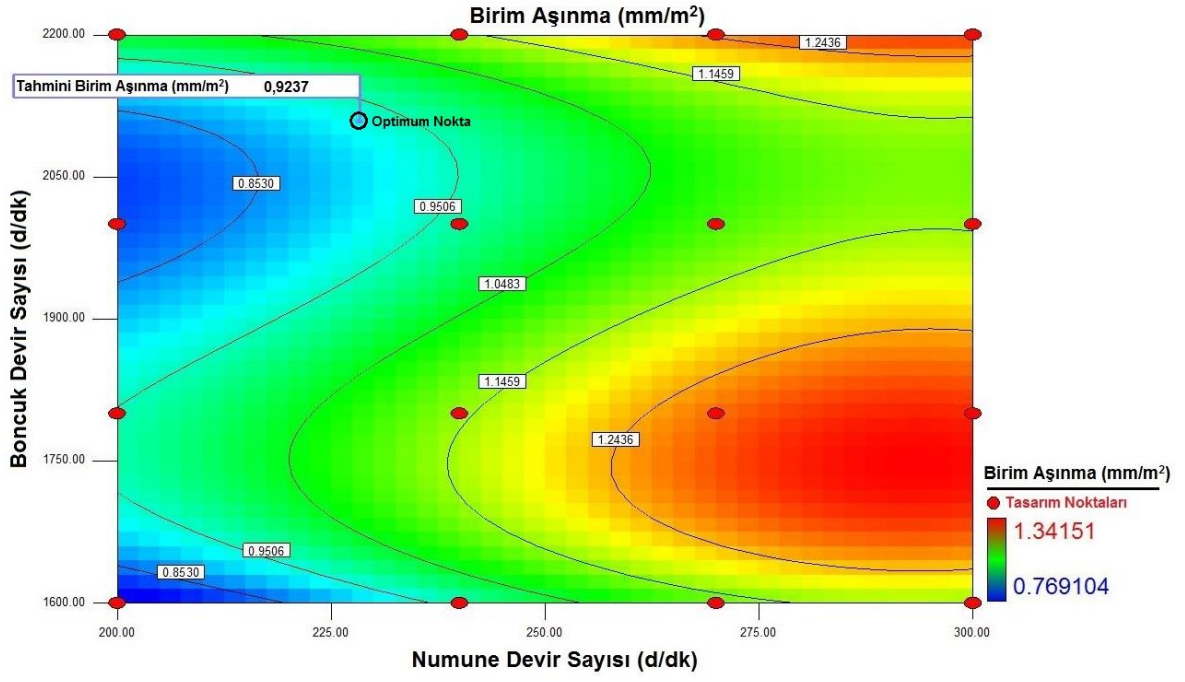
Buraya kadar yapılan çalışmalarda her bir doğal taş numunesi için ayrı ayrı optimum kesim noktalarının belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır. Burada ise her bir doğal taş cinsi için (hakiki mermer, kireçtaşı ve granit) tüm veriler kullanılarak optimum noktalar belirlenmiş ve kesim abakları oluşturulmuştur. Yapılan optimizasyon çalışmalarında yine yukarıda Afyon Beyaz numunesi için ayrıntılı olarak anlatılan yöntem kullanılmıştır.

Burada yapılan işlemde temel amaç; hangi tür hakiki mermer, hangi tür kireçtaşı numunesi veya hangi tür granit olursa olsun kullanılacak optimum kesim noktalarının bulunmasıdır. Bunun yanında, işletme sahibinin isteğine veya o anki piyasa şartlarına göre hangi kesim koşulunda çalışılırsa ne gibi sonuçlarla karşılaşılacağı (birim aşınma ve kesim hızı bakımından) görülmesi açısından bu abakların oluşturulması hedeflenmiştir. Böylelikle elmas tel ile kesim yapacak işletmelerin çalıştıkları noktada neyle karşılaşacaklarını belirleme imkânları olacaktır.

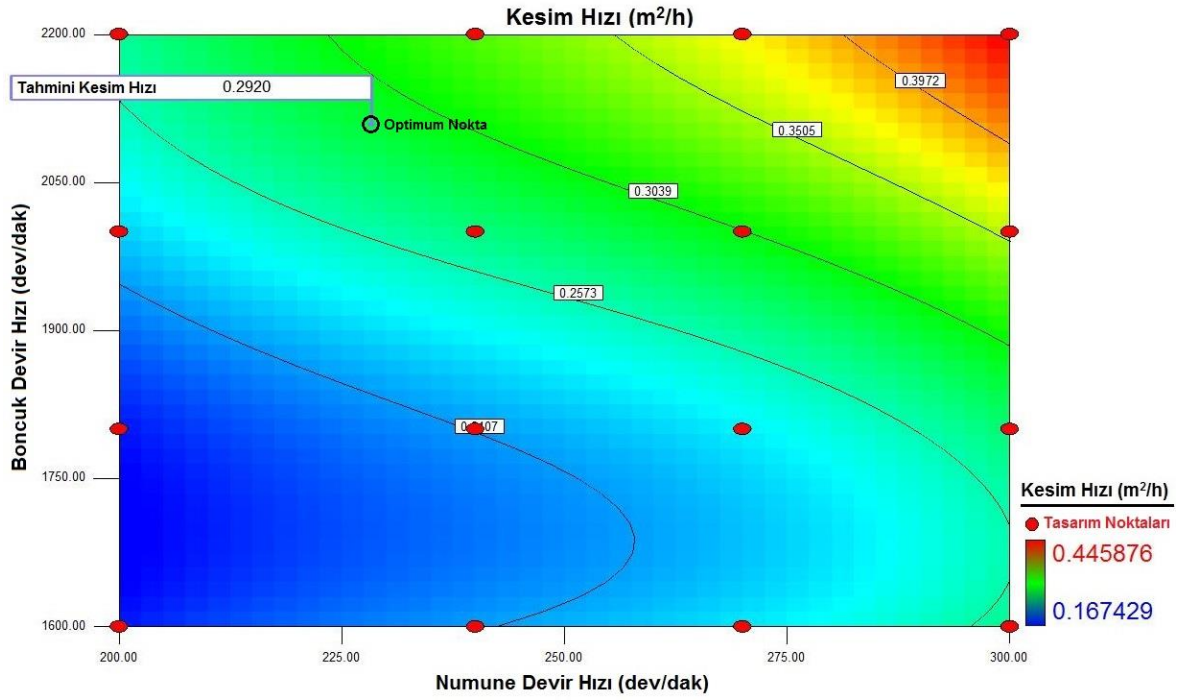
Yukarıdaki amaca uygun olarak hakiki mermer, kireçtaşı ve granit kayaç türlerine ait belirlenen optimum kesim noktaları Çizelge 5.16’te verilmiştir. Ayrıca hakiki mermerlere ait kesim abakları Şekil 5.10 ve 5.11’de, kireçtaşları için Şekil 5.12 ve 5.13’te ve granitleri Şekil 5.14 ve 5.15’te için verilmiştir.

Çizelge 5.16. Hakiki mermer, kireçtaşı ve granit kayaç türlerine ait genel optimizasyon sonuçları

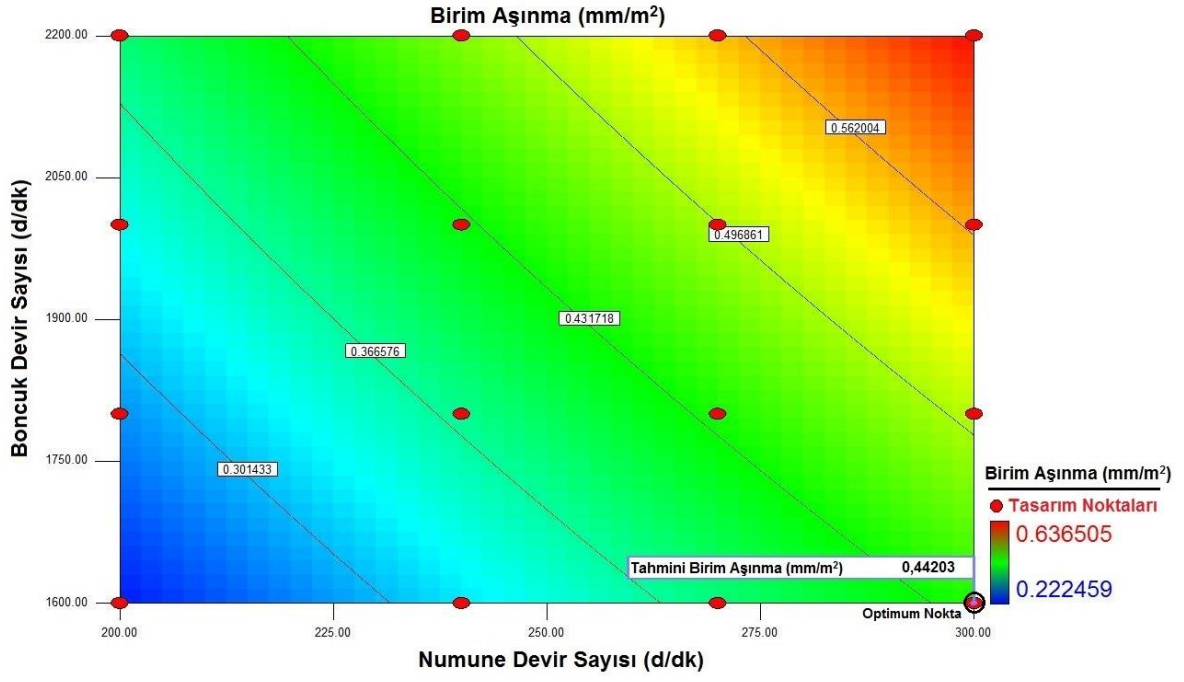
	Hakiki Mermer	Kireçtaşı	Granit
Numune Devir Sayısı (d/dk)	228,39	300,00	173,28
Boncuk Devir Sayısı (d/dk)	2108,33	1600,00	1248,74
Birim Aşınma (mm/m ²)	0,92	0,44	4,44
Kesim Hızı (m ² /h)	0,29	0,14	0,52
Arzu Edilebilirlik Düzeyi	0,57	0,61	0,91



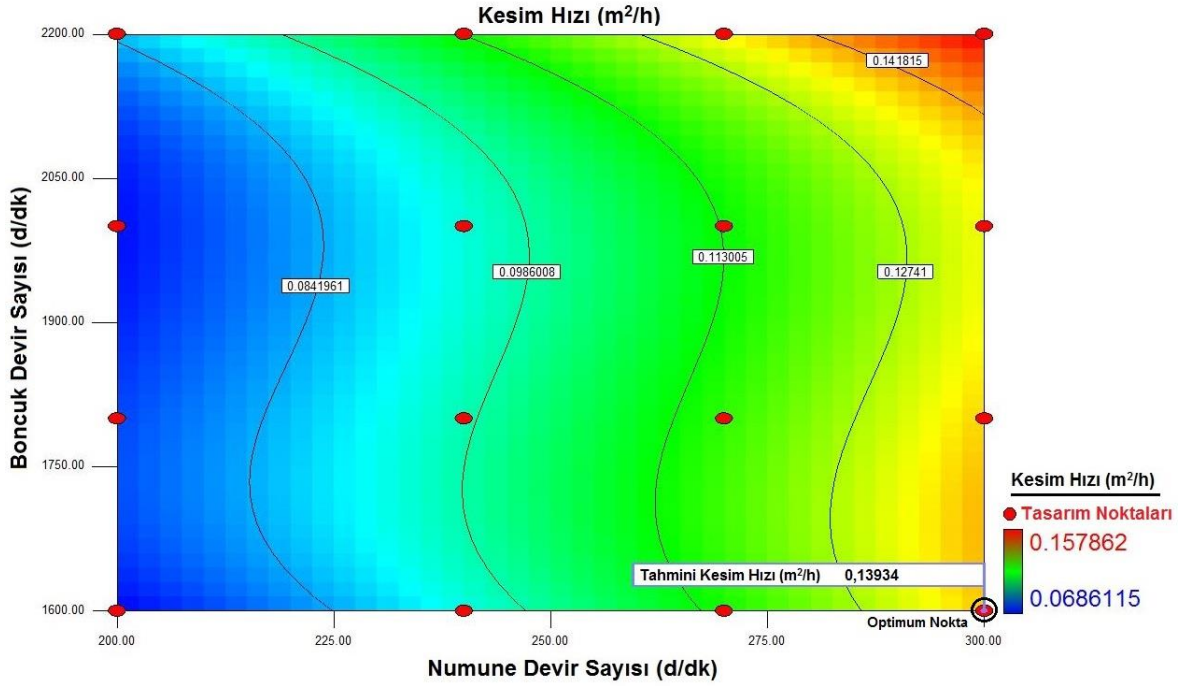
Şekil 5.10. Hakiki mermer cinsi için birim aşınmaya göre hazırlanan kesim abağı



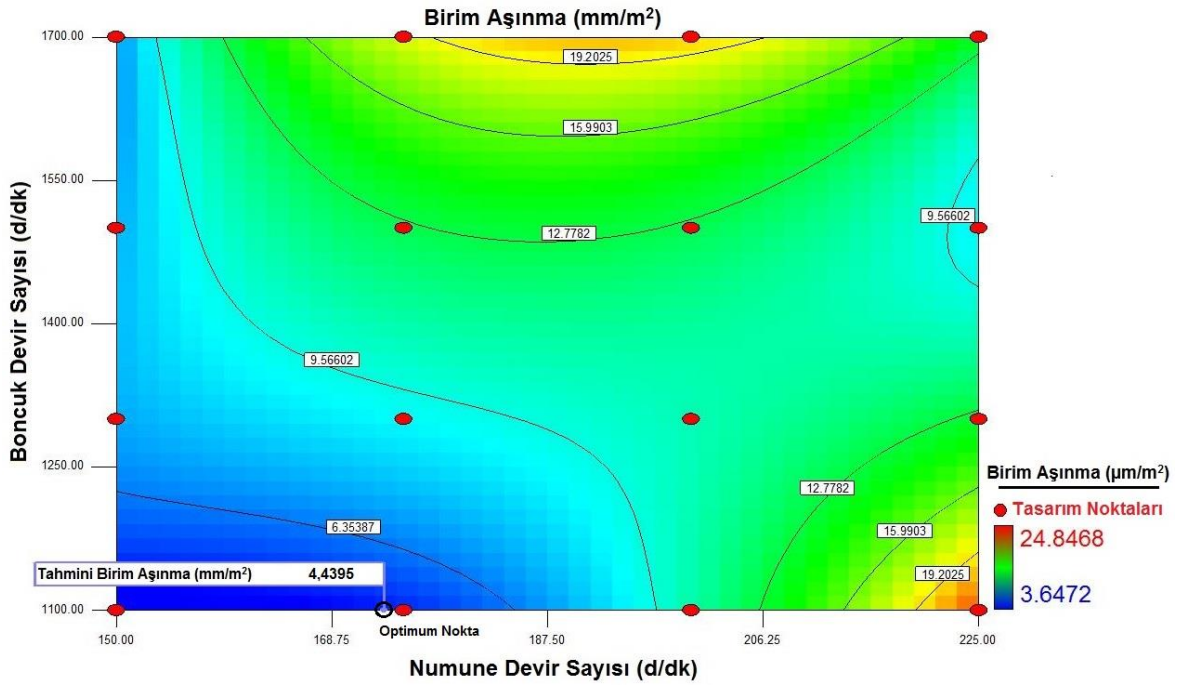
Şekil 5.11. Hakiki mermer cinsi için kesim hızına göre hazırlanan kesim abağı



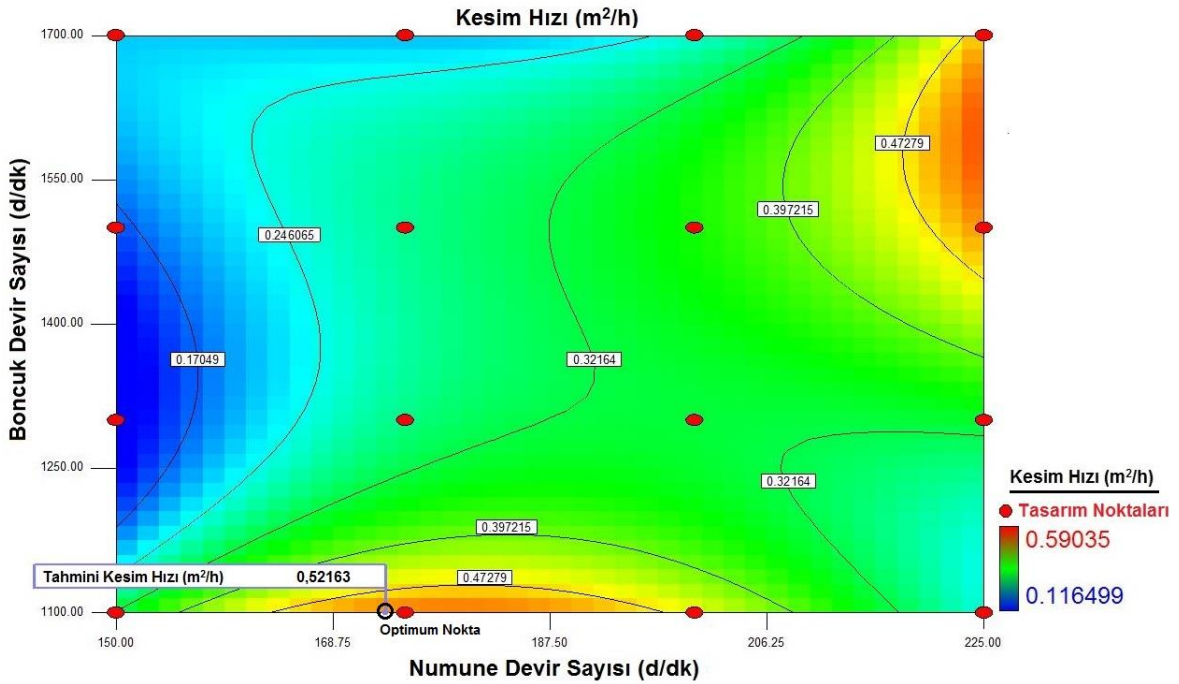
Şekil 5.12. Kireçtaşı cinsi için birim aşınmaya göre hazırlanan kesim abağı



Şekil 5.13. Kireçtaşı cinsi için kesim hızı göre hazırlanan kesim abağı



Şekil 5.14. Granit cinsi için birim aşınmaya göre hazırlanan kesim abağı



Şekil 5.15. Granit cinsi için kesim hızına göre hazırlanan kesim abağı

Yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda laboratuvarında kesimi gerçekleştirilen her bir kireçtaşı ve mermer numunesinin optimum noktaları belirlenmiştir. Ayrıca bu noktalar kullanılarak, bu noktalara karşılık gelen, arazide mermer kesiminde kullanılan elmas tel kesme makinesi için belirlenen optimum kesim noktaları da hesaplanmıştır. Hesaplama Çizelge 4.11’de verilen dönüşüm çizelgesi kullanılmıştır. Burada örnek olması açısından Afyon Beyaz numunesi için numune devir sayısı 300 d/dk, boncuk devir sayısı 2130 d/dk için Çizelge 4.11’de verilen değerler incelendiğinde 300 d/dk’nın en yakın değeri olan 296 d/dk seçilmiş, 296 d/dk ’da 1100 d/dk değeri elde edilirken 300 d/dk için bunun ne olacağı orantı kurularak “296 ya karşılık 1100 ise 300 için kaçtır” dan yola çıkılarak $300 \times 1100 / 296$ ’dan kasnak devri 1114 d/dk bulunmuştur. Benzer şekilde laboratuvarında bulunan değerler arazi verilerine dönüştürülmüş ve elde edilen değerler Çizelge 5.17’de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Kesimi gerçekleştirilen her bir kayaç için belirlenen optimum kesim noktalarının laboratuvar ve arazi değerleri

	Numune Adı	Laboratuvar		Arazi	
		Numune Devir Sayısı (d/dk)	Boncuk Devir Sayısı (d/dk)	Kasnak Devir Sayısı (d/dk)	Kasnak Çapı (cm)
MERMER	Afyon Beyaz	300	2130	1114	70
	Afyon Pembe	229	2200	958	60
	Muğla Menekşe	271	1676	1178	60
	Afyon Menekşe	229	2095	958	60
	Kütahya Menekşe	245	1600	1025	60
	Rustik Yeşil	244	2094	1020	60
	Afyon Kaplanpostu	300	2091	1114	70
	Afyon Gri	201	2100	872	60
	Afyon Sarı	300	2200	1114	70
	Elazığ Pembe	217	2122	943	60
KİRAÇTAŞI	Burdur Krem Krema	256	2078	1100	60
	Hazar Pembe	300	1600	1114	70
	Burdur Koyu Bej	200	1600	869	60
	Rozalya Bej	300	1600	1114	70
	Amasya Bej	295	1600	1100	70
	Burdur Açık Bej	251	2200	1100	60
	Sivrihisar Bej	300	1605	1114	70
	Papatya Bej	264	1835	1147	60
	Eskişehir Bej	200	2200	869	60
	Malatya Bej	300	1600	1114	70
GRANİT	Kaman Gri	225	1100	941	60
	Savcılı (ince)	150	1700	780	50
	Savcılı (iri)	177	1100	920	50
	Bergama Gri	225	1100	941	60
	Aksaray Yaylak	157	1100	816	50
	Bianco Sardo	150	1100	780	50
	Siyah Büyü	225	1550	941	60
	Crema Lal	164	1104	853	50
	Giresun Vizon	179	1700	931	50
	Balaban Yeşili	178	1700	926	50

5.8. Laboratuvar Çalışmalarının Geçerliliğini Kontrol Etmek Amacı ile Yerde Yapılan Arazi Kesim Çalışmaları

Laboratuvar çalışmalarının geçerliliğini kontrol etmek amacı ile H.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü'nde geliştirilen Model Elmas Tel Kesme Makinası [29] ile arazi şartlarında, bir kireçtaşı (Burdur Açık Bej) bir de mermer (Afyon Gri) numunesi üzerinde yerinde kesim çalışmaları yapılmıştır (Şekil 5.16.).

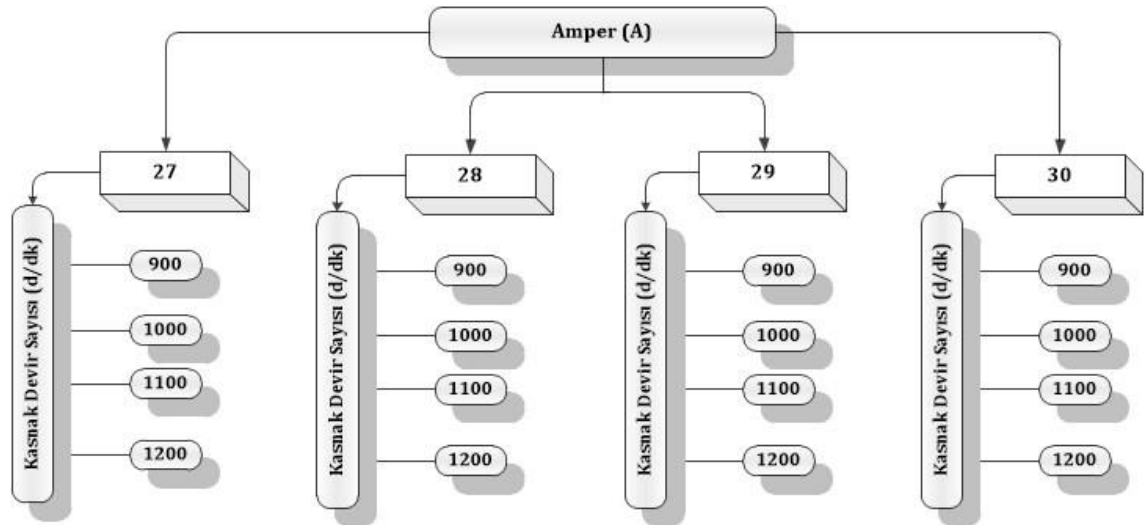


Şekil 5.16. Model Elmas Tel Kesme Makinası ile arazide kesim yapılırken

Mekanik yapısı günümüz doğal taş ocaklarında kullanılan elmas tel kesme makinaları ile aynı olan ancak üzerinde bulunan sensörler ile kesim sırasında detaylı veriler alabilen bu model makine ile Şekil 5.17'de gösterildiği gibi 4 farklı kasnak çapında (50, 60, 70 ve 80 cm), 4 farklı kasnak devrinde (900, 1000, 1100 ve 1200) ve 4 farklı amper değerinde (27, 28, 29 ve 30) kesimler yapılmıştır. Kasnak çaplarına bağlı olarak kasnak devirleri çizgisel hızı doğrudan etkilemektedir. Kasnak çapını arttırarak kasnak devrini düşürmekle aynı çizgisel hız değeri elde edilebilir. Bu nedenle bu çalışmada kasnak çapı üzerinde bir çalışma yapılmamış sadece kasnak devirleri değiştirilerek çalışmalar

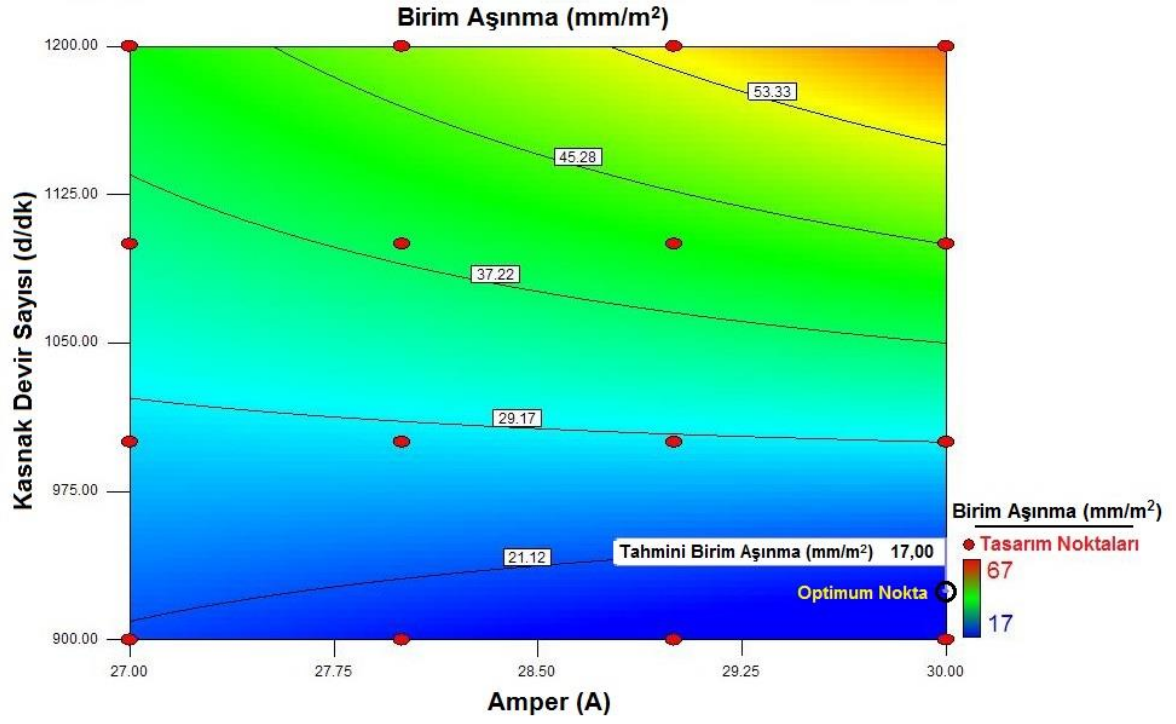
gerçekleştirilmiştir. Sonuçta elde edilen değerler kullanılarak kasnak çapına geçilmiştir. Ayrıca, farklı amper değerlerinin arazi çalışmaları parametre olarak seçilmesinin sebebi ise, elmas tel kesme makinesinde motor amperi, kesim için gerekli olan baskının oluşmasını sağlayarak kayaca baskı vermekte hem de kesim işlemi ile telde meydana gelen gerginlikteki azalmayı engelleyerek telin sürekli gergin kalmasını sağlamasıdır. Gerdirme amperi kesim süresi boyunca sürekli olarak otomatik kontrollü biçimde makine tarafından sabit bir değerde tutulur. Bu nedenle elmas tel kesmede en önemli çalışma parametrelerinden bir tanesidir. Bu durum makinenin geriye doğru çekilmesi ile sağlanmaktadır. Gerdirme amperinin artması ya da azalması kesme performansına (kesim hızı, elmas boncuktaki birim aşınma) etki edeceği için kayaca göre en uygun değer bulunması gerekmektedir. Bundan dolayı arazi çalışmaları motor amper değerleri de değişken olarak kullanılmıştır.

Kesimlerde kullanılan elmas telin 1 metresinde 33 adet elmas boncuk bulunmakta ve kesimlerde 12 metre tel kullanılmıştır.

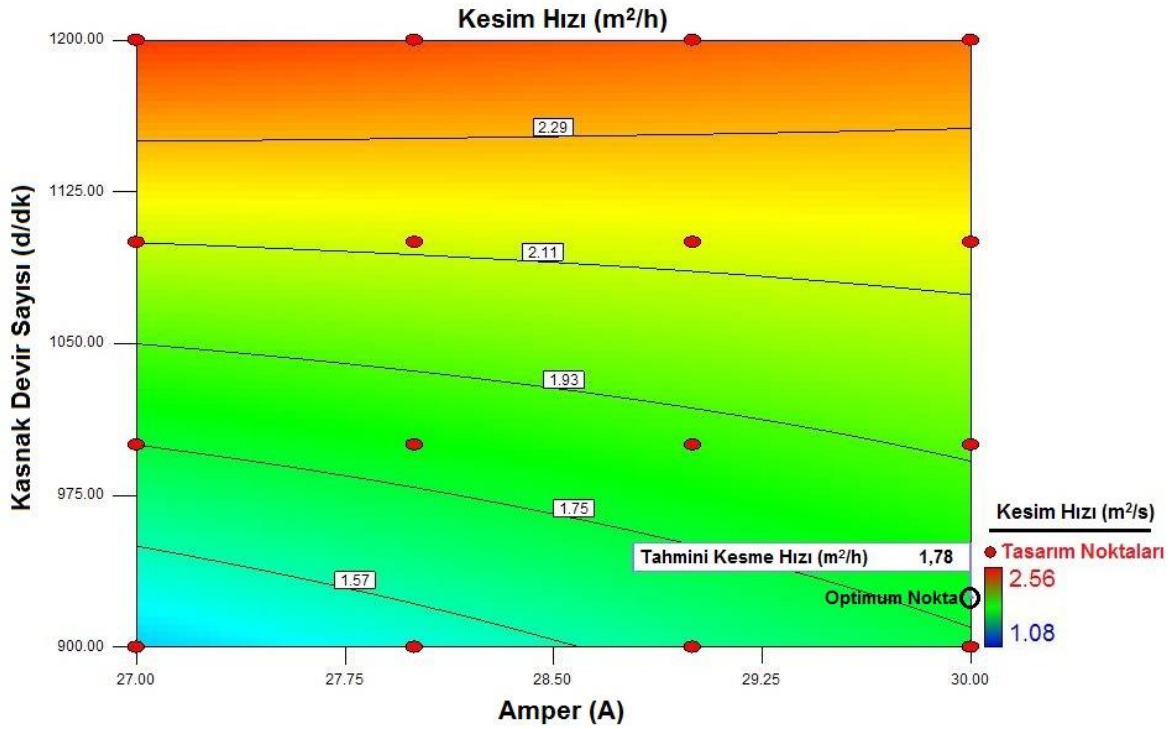


Şekil 5.17. Arazi kesimlerinde her bir kayaç için kullanılan kesim parametreleri

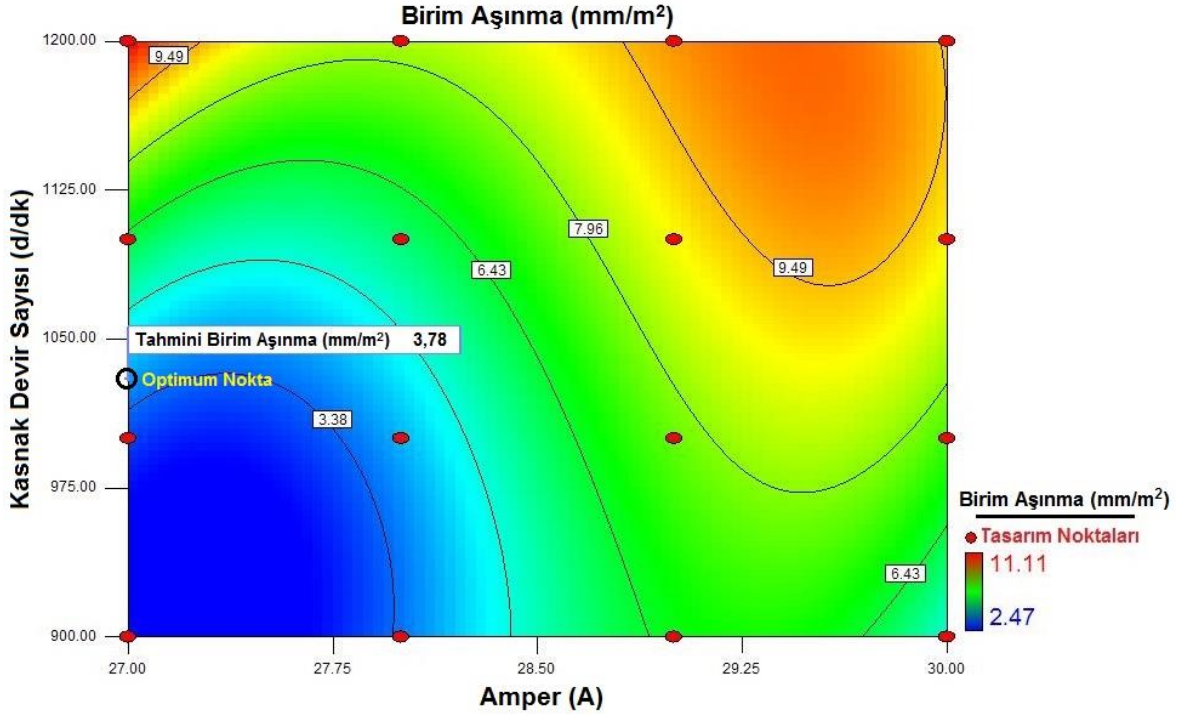
Kesimler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak her bir kayaç için benzer şekilde kesilebilirlik abakları oluşturulmuştur. Bu abaklar Afyon Gri için Şekil 5.18 ve 5.19'da ve Burdur Açık Bej için Şekil 5.20 ve 5.21'de verilmiştir.



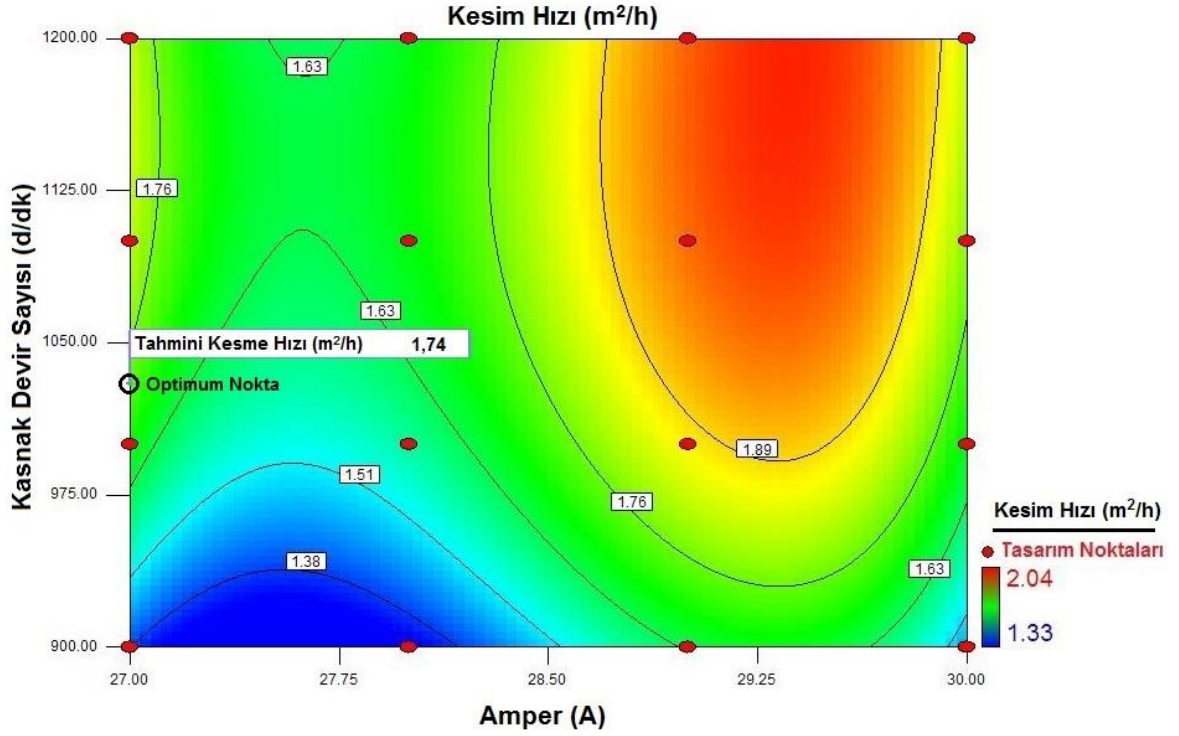
Şekil 5.18. Afyon Gri arazi mermer numunesi için, birim aşınmaya göre optimum koşulları içeren kesilebilirlik abağı



Şekil 5.19. Afyon Gri arazi mermer numunesi için kesim hızına göre optimum koşulları içeren kesilebilirlik abağı



Şekil 5.20. Burdur Açık Bej arazi kireçtaşı numunesi için, birim aşınmaya göre optimum koşulları içeren kesilebilirlik abağı



Şekil 5.21. Burdur Açık Bej arazi kireçtaşı numunesi için kesim hızına göre optimum koşulları içeren kesilebilirlik abağı

Arazi kesimleri sonucunda elde edilen verilerle Design Expert 7.1 istatistik programı kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda kireçtaşı ve mermer numunelerinin arazide elmas telli kesme makinesi kullanılarak yapılan kesimler sonucu belirlenen optimum çalışma noktaları Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Arazide yapılan kesim çalışmalarının optimizasyonu sonucunda belirlenen optimum çalışma noktaları

Numune Adı	Kasnak Devir Sayısı (d/dk)	Kasnak Çapı (cm)	Amper (A)
Afyon Gri	924	60	30
Burdur Açık Bej	1029	60	27

Çizelge 5.17 ve 5.18 incelendiğinde, kontrol amacı ile seçilen Afyon Gri ve Burdur Açık Bej isimli mermerlerinin arazi ve laboratuvar şartlarında yapılan kesimlerinden elde edilen sonuçların birbirine yakın veya benzer olduğu görülmektedir. Laboratuvar ve yerinde arazi çalışmaları sonucunda Afyon Gri ve Burdur Açık Bej numuneleri için belirlenen kasnak çapı değerleri her iki durum için de aynı ve 60 cm olarak belirlenmiştir. Ancak kasnak devri değerlerinde ise, her iki tür kayaç türü de arada yaklaşık %6’lık bir fark olduğu görülmektedir.

5.9. Elmas Boncuklardaki Elmas Konsantrasyonlarının Kesme Performansına Olan Etkisi

Sabit elmas konsantrasyonunda yapılan kesilebilirlik analizlerinden sonra, elmas boncuklardaki elmas konsantrasyonlarının kesme performansına olan etkisi de tek boncuk test cihazı kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışma için 4 farklı kireçtaşı ve 4 farklı hakiki mermer kullanılmıştır. Burada hem kireçtaşı hem de hakiki mermer numunelerinin kesimleri, Kanbir [33] tarafından yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar esas alınarak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan numuneler ve kesim noktaları Çizelge 5.19’da verilmiştir.

Çizelge 5.19. Çalışmada kullanılan kayaçlar ve kesim noktaları

Numune Adı	Boncuk Devir Sayısı (d/dk)	Numune Devir Sayısı (d/dk)	
Kireçtaşı	Krem Krema	2040	275
	Rozelya Bej	1980	270
	Amasya Bej	1980	245
	Hazar Pembe	1920	260
Hakiki Mermer	Afyon Pembe	2080	275
	Afyon Beyaz	2040	270
	Afyon Menekşe	2040	275
	Muğla Menekşe	2050	280

Kesimlerde kullanılmak üzere Boncuk_1, Boncuk_2 ve Boncuk_3 olarak adlandırılan, farklı elmas tane boyları ve konsantrasyonlarına sahip C58 (2,56 crt/cm³), C66 (2,93 crt/cm³) ve C75 (3,30 crt/cm³) olmak üzere 3 farklı elmas boncuk kullanılmıştır. Bir boncuk içindeki elmas miktarı, 100 konsantrasyonun cm³ başına 4,4 karata eşdeğer olduğu bir ölçüğe dayanmaktadır (25 vol-%). Buna göre kullanılan boncukların ortalama tane boyu ve elmas konsantrasyonu Çizelge 5.20'de verilmiştir.

Çizelge 5.20. Çalışmada kullanılan boncukların ortalama tane boyu ve elmas konsantrasyonları

Boncuk	Ortalama Tane Boyu		Elmas Konsantrasyonu		Önerilen kayaç özellikleri
	mesh	mikrometre	C100	(crt/cm ³)	
Boncuk _1	50-70	252,33	C58	2,56	Yumuşak - aşındırıcı olmayan
Boncuk _2	40-60	330,25	C66	2,93	Sert - aşındırıcı
Boncuk _3	40-70	306,20	C75	3,30	Yumuşak - aşındırıcı

Yapılan alışmalar sonucunda, en yüksek kesim performansı için kesilecek kayaca en uygun konsantrasyon ve tane boyları belirlenmiş ve izelge 5.21' de verilmiştir. Burada en yüksek kesim performansı için kesim hızı ve boncuk ömrünün en yüksek, spesifik enerjinin ise en düşük olması gerekmektedir.

Çizelge 5.21. Kayaca göre belirlenen en uygun konsantrasyon ve tane boyları

	Kayaç Türü	Konsantrasyon	Tane Boyu (μm)
KİREÇTAŞI	Krem Crema	C58	252,33
	Rozelya Bej	C58	252,33
	Amasya Bej	C58	306,20
	Hazar Pembe	C75	306,20
HAKIKİ MERMER	Afyon Pembe	C75	306,20
	Afyon Beyaz	C75	306,20
	Afyon Menekşe	C75	306,20
	Muğla Menekşe	C75	306,20

Bununla birlikte, kayaca uygun boncuk seçimi yapılmadığında meydana gelen performans kayıpları ise izelge 5.22' de verilmiştir.

Çizelge 5.22. Kayaca uygun boncuk seçimi yapılmadığında meydana gelen verim kayıpları

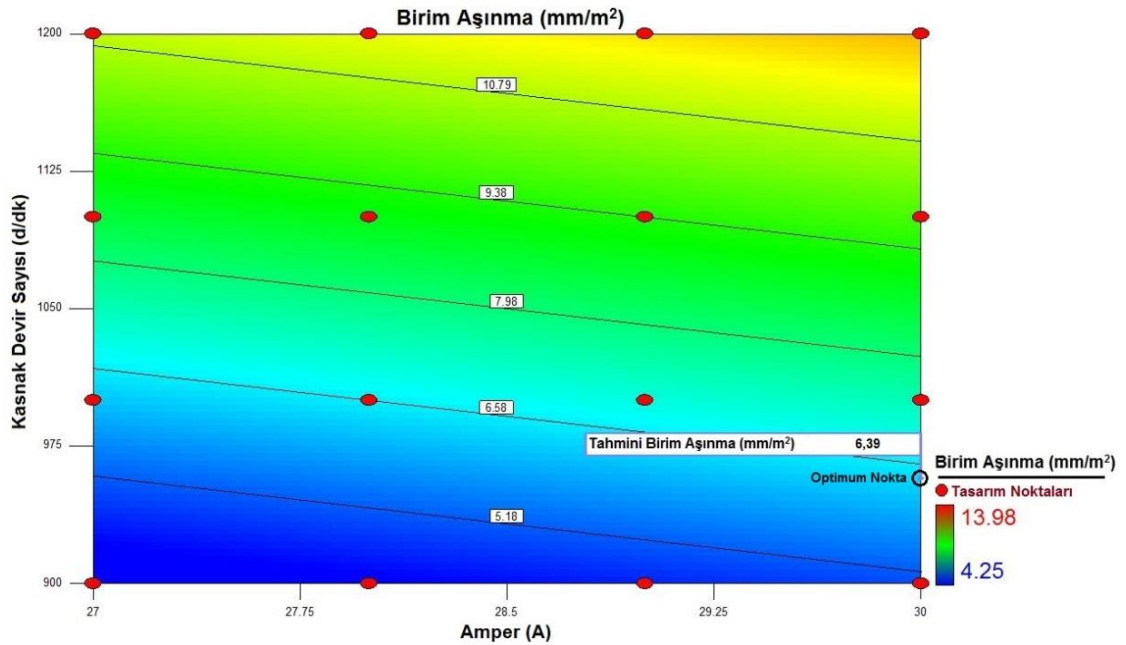
Kayaç	Konsantrasyon	KH(m ² /h)	ÖE(MJ/m ³)	BA(mm/m ²)	BÖ(m ² /mm)	
KIRERÇTAŞI	C58	0,102	273,800	0,982	5,110	
	Krem Krema	C75	0,127	219,450	1,259	3,820
	Değişim Oranı	0,803	1,248	0,780	1,338	
	C58	0,200	141,350	1,001	4,770	
	Rozelya Bej	C66	0,086	328,310	1,166	3,530
	Değişim Oranı	2,326	0,431	0,858	1,351	
	C58	0,200	142,120	2,002	6,070	
	Amasya Bej	C66	0,069	413,390	4,064	5,290
	Değişim Oranı	2,899	0,344	0,493	1,147	
	C66	0,139	207,540	0,139	3,490	
	Hazar Pembe	C75	0,178	161,010	0,178	4,950
	Değişim Oranı	0,781	1,289	0,781	0,705	
HAKIKI MERMER	C66	0,121	246,700	2,744	3,860	
	Afyon Pembe	C75	0,165	175,140	1,215	8,320
	Değişim Oranı	0,733	1,409	2,258	0,464	
	C66	0,218	132,480	0,919	1,590	
	Afyon Beyaz	C75	0,269	106,960	0,323	2,780
	Değişim Oranı	0,810	1,239	2,845	0,572	
	C66	0,185	337,700	2,113	2,050	
	Afyon Menekşe	C75	0,295	97,690	0,678	6,400
	Değişim Oranı	0,627	3,457	3,117	0,320	
	C66	0,216	242,43	0,667	2,02	
	Muğla Menekşe	C75	0,262	111,66	0,378	2,78
	Değişim Oranı	0,824	2,171	1,765	0,727	

KH: Kesim Hızı, ÖE: Özgül Enerji, BA: Birim Enerji, BÖ: Boncuk Ömrü

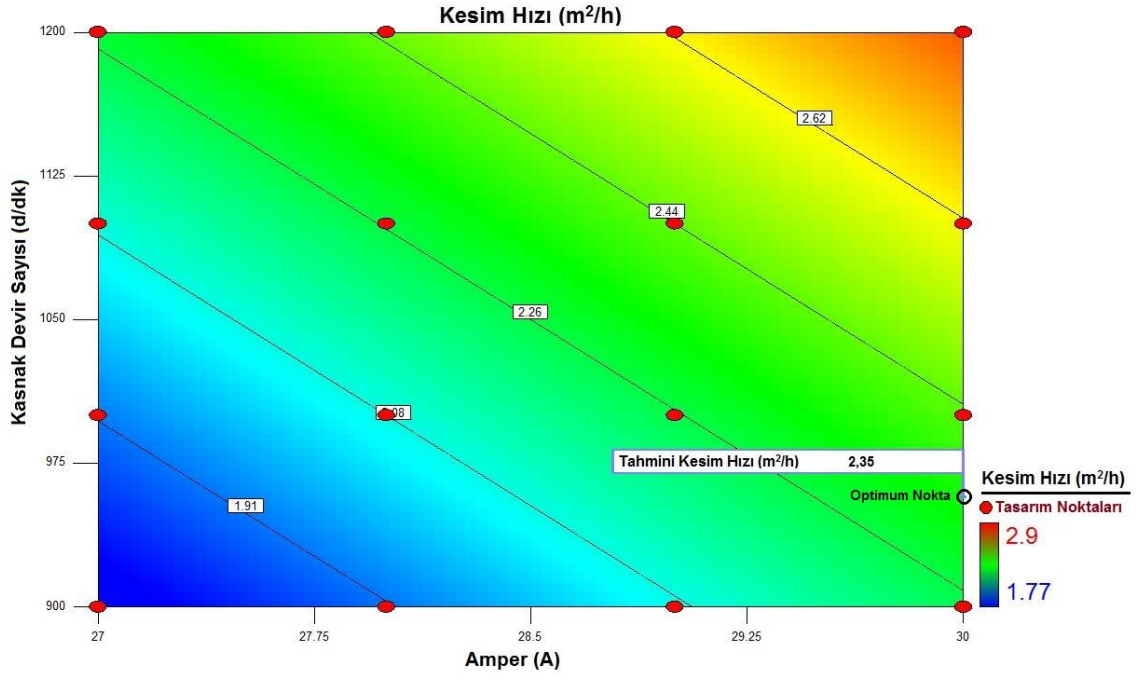
Çizelge 5.22 incelendiğinde, yanlış seçilmiş elmas boncuk kullanıldığında kesme hızında hakiki mermerlerde en fazla %37.29, kireçtaşlarında %65.50 oranında azalma, birim aşınmada hakiki mermerlerde en fazla %211.65, kireçtaşlarında %102.99 oranında artış, spesifik enerji değerlerinde, hakiki mermerlerde en fazla %245.69, kireçtaşlarında %190.87 oranında artış ve boncuk ömründe ise hakiki mermerlerde en fazla %67.96, kireçtaşlarında %29.49 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

5.10. Arazi Kesimlerinden ve Laboratuvar Deneylerinden Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

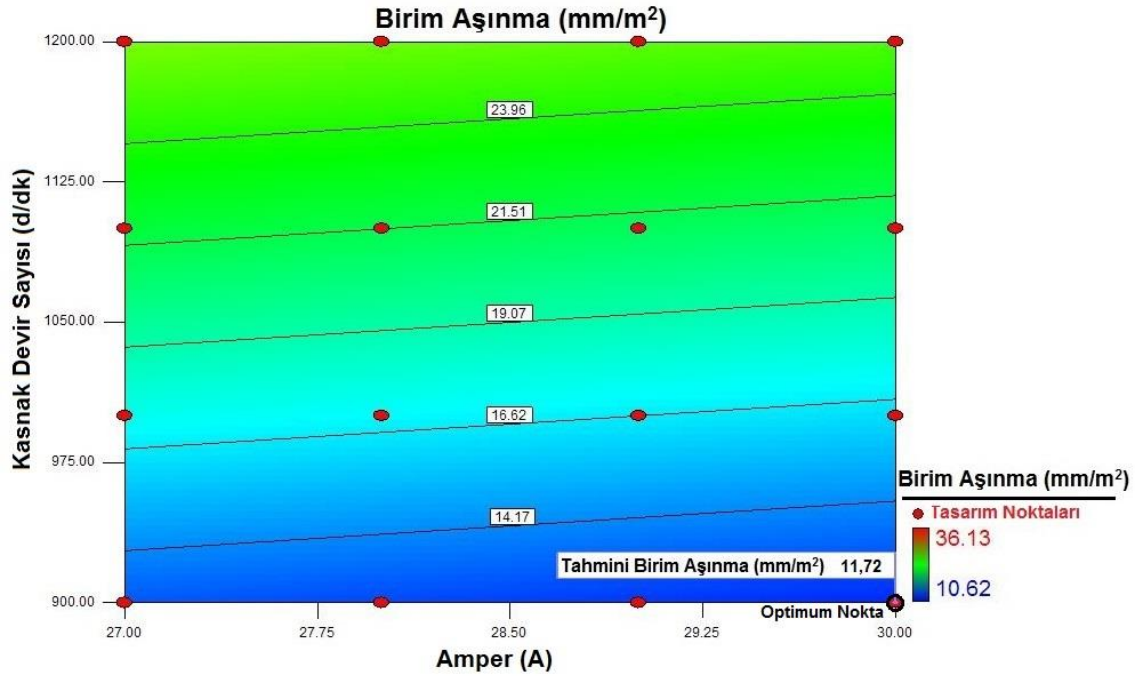
Çalışmanın bu aşamasında laboratuvar çalışmalarının geçerliliğini kontrol etmek amacı ile iki kireçtaşı (Burdur Koyu Bej ve Krem Crema) numunesi üzerinde yerinde kesim çalışmaları yapılmıştır. Kesimler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak her bir kayaç için laboratuvar çalışmalarındakilere benzer şekilde istatistiksel analiz yapılarak kesilebilirlik abakları oluşturulmuştur. Krem Crema için elde edilen kesilebilirlik abakları Şekil 5.22 ve 5.23'de, Burdur Koyu Bej için elde edilen kesilebilirlik abakları ise Şekil 5.24 ve 5.25'de verilmiştir.



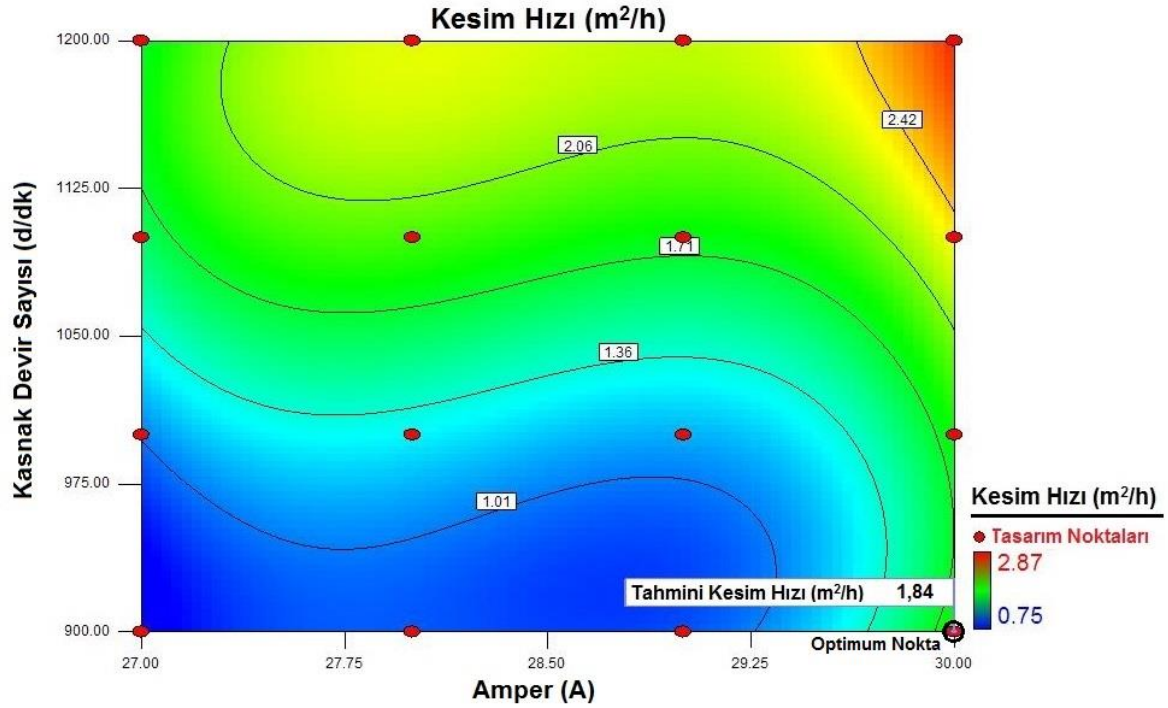
Şekil 5.22. Krem Crema arazi mermer numunesi için, birim aşınmaya göre optimum koşulları içeren kesilebilirlik abağı



Şekil 5.23. Krem Crema arazi mermer numunesi için, kesim hızına göre optimum koşulları içeren kesilebilirlik abağı



Şekil 5.24. Burdur Koyu Bej arazi mermer numunesi için, birim aşınmaya göre optimum koşulları içeren kesilebilirlik abağı



Şekil 5.25. Burdur Koyu Bej arazi mermer numunesi için, kesim hızına göre optimum koşulları içeren kesilebilirlik abağı

Arazide yapılan kesim çalışmalarının optimizasyonu sonucunda belirlenen optimum çalışma noktaları ise Çizelge 5.23'te verilmiştir.

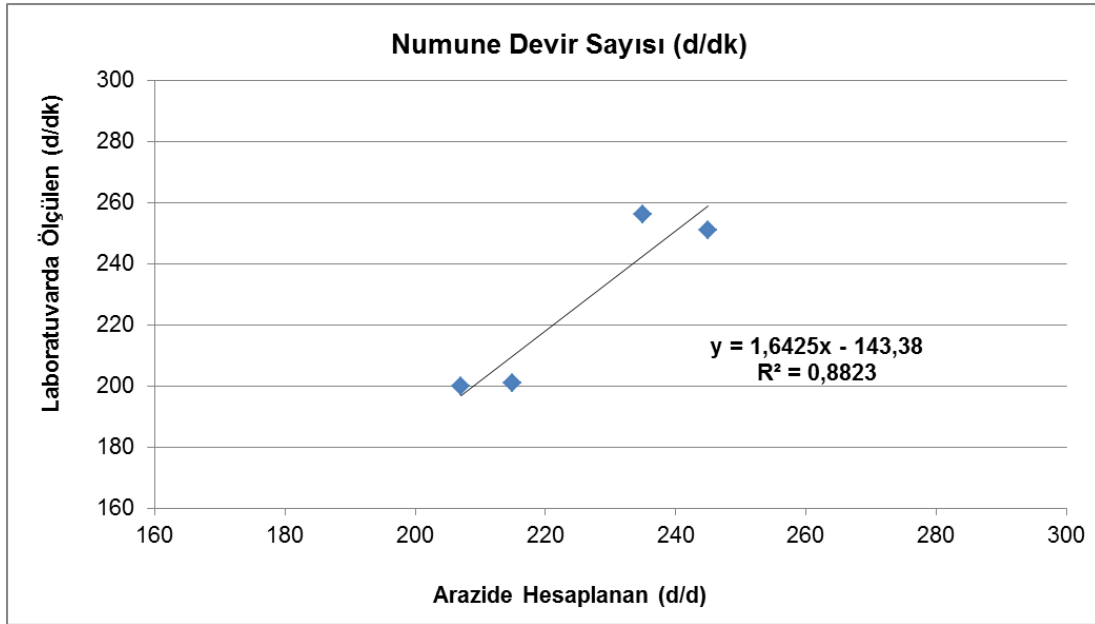
Çizelge 5.23. Arazide yapılan kesim çalışmalarının optimizasyonu sonucunda belirlenen optimum çalışma noktaları

Numune Adı	Kasnak Devri (d/dk)	Kasnak Çapı (cm)	Amper (A)
Burdur Koyu Bej	900,00	60	30
Krem Crema	957,31	60	30

Bununla birlikte, laboratuvar kesimlerinden elde edilen optimum çalışma noktalarının araziden elde edilen optimum noktalarla uyumluluğunun belirlenmesi amacıyla öncelikle 4 farklı kayaç için araziden elde edilen sonuçların laboratuvar karşılıkları belirlenmiştir (hesaplanan değerler) (Çizelge 5.24). Daha sonra hesaplanan değerler ile laboratuvardan elde edilen değerler (ölçülen) arasındaki ilişki grafiksel olarak incelenmiştir (Şekil 5.26).

Çizelge 5.24. Arazi kesimlerinin optimizasyon sonuçlarının laboratuvardaki kesim karşılıkları

Numune Adı	Arazi Optimizasyon		Numune Devir Sayısı (d/dk)	
	Kasnak Devir Sayısı (d/dk)	Amper (A)	Hesaplanan	Ölçülen
Burdur Koyu Bej	900	30	207	200
Krem Crema	957	30	235	256
Afyon Gri	924	30	215	201
Burdur Açık Bej	1029	27	245	251



Şekil 5.26. Laboratuvarda ölçülen ve arazi kesimlerinden elde edilen sonuçlarla hesaplanan optimum kesim noktaları arasındaki ilişki

Şekil 5.26'dan anlaşıldığı gibi arazi sonuçları ile laboratuvardan elde edilen sonuçlar arasında yüksek ilişki söz konusudur ve laboratuvardan elde edilen sonuçlar arazi sonuçlarını iyi bir şekilde yansıtmaktadır. Dolayısıyla, bu sonuca göre, araziye gitmeden tek boncuk test cihazı kullanılarak kayalar için optimum kesme noktalarının tahmininin yapılabileceği ortaya konulmuştur.

Ancak, şunu da belirtmekte yarar vardır ki laboratuvarda yapılan kesim çalışmaları sadece tek bir elmas boncuk ile gerçekleştirilmekte arazide ise metrede 33 adet

elmas boncuk bulunduran elmas tellerle yapılmaktadır. Dolayısıyla laboratuvardan elde edilen birim aşınma ve kesme hızı değerlerinin arazi karşılıkları belirlenirken bu değerlerin 33 ile çarpılması gerekmektedir. Eğer ocak sahibi metrede 33 boncuk yerine 30 boncuk kullanıyor ise bu durumda 30 ile çarpılması gerekecektir. Bunun dışında çalışma parametreleri seçiminde de Çizelge 4.11' de verilen dönüşümler kullanılarak laboratuvar sonuçları doğrudan arazi verileri haline getirilebilir. Ayrıca, bu çalışmada laboratuvarda yapılan çalışmalardan elde edilen tüm abaklar, yukarıda verilen açıklamalar doğrultusunda gerekli dönüşüm işlemleri gerçekleştirilerek arazi makinalarına uygun kesim abakları haline de dönüştürülebilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde madencilik açısından lokomotif bir görev üstlenen doğal taş sektöründe kaynakların verimli bir biçimde kullanılması, hem ülke ekonomisi hem de doğal kaynakların ziyan olmaması açısından önemli bir konudur. Bu yüzden, doğal taş üretimi ve işlenmesi sırasında kullanılan yöntem ve makinaların verimli kullanımı çok önemlidir. Doğal taş sektöründe elmas telli kesim makinaları yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Bu çalışmada da sektörde yoğun bir biçimde kullanılan bu makinaların daha verimli kullanımına yönelik kesilebilirlik sınıflaması yapılmış ve elde edilen sonuçlarla sektöre yeni bir açılım sağlanması hedeflenmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmayla elde edilen sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir.

- Tek Boncuk Elmas Tel Kesme makinasıyla 4 farklı boncuk devir hızı ve kayaç motor devir hızı ile yapılan kesimler neticesinde elde edilen sonuçlarla her bir doğal taş ve her bir doğal taş cinsi (hakiki mermer, kireçtaşı ve granit) için kesim abakları oluşturulmuştur. Bu kesim abaklarıyla, kesimlerdeki birim aşınma ve kesim hızı değerlerine dayalı bir sınıflama yapılmıştır. Çalışmada kullanılan elmas boncuk özelliklerinde kesim öncesinde uygulanacak kesim koşullarına göre oluşacak birim aşınma ve kesim hızı değerleri bu abaklardan rahatlıkla tahmin edilebilmektedir. Yapılan bu çalışma temel alınarak farklı boncuk yapısında farklı doğal taşlarda benzer kesim abaklarının oluşturulabileceği gösterilmiştir.
- Yapılan kesimler sonucunda her bir hakiki mermer için optimum kesim koşulları tespit edilmiştir. Optimum kesim koşulları belirlenirken en düşük birim aşınma ile en yüksek kesim hızı hedeflenmiştir. Hakiki mermerler için bulunan optimum kesim koşulları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Hakiki mermerler için bulunan optimum kesim koşulları

Örnek Adı	Numune Devir Sayısı (d/dk)	Boncuk Devir Sayısı (d/dk)
Afyon Beyaz	300	2130
Afyon Pembe	229	2200
Afyon Menekşe	229	2095
Afyon Sarı	300	2200
Afyon Gri	201	2100
Afyon Kaplanpostu	300	2091
Muğla Menekşe	271	1676
Kütahya Menekşe	245	1600
Rustik Yeşil	244	2094
Elazığ Pembe	217	2122

- Yapılan kesimler sonucunda her bir kireçtaşı için optimum kesim koşulları tespit edilmiştir. Kireçtaşları için bulunan optimum kesim koşulları Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Kireçtaşları için bulunan optimum kesim koşulları

Örnek Adı	Numune Devir Sayısı (d/dk)	Boncuk Devir Sayısı (d/dk)
Burdur Krem Krema	256	2078
Hazar Pembe	300	1600
Rozalya Bej	300	1600
Amasya Bej	295	1600
Burdur Açık Bej	251	2200
Burdur Koyu Bej	200	1600
Sivrihisar Bej	300	1605
Papatya Bej	264	1835
Malatya Bej	200	2200
Eskişehir Bej	200	2200

- Yapılan kesimler sonucunda her bir granit için optimum kesim koşulları tespit edilmiştir. Granitleri için bulunan optimum kesim koşulları Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Granitleri için bulunan optimum kesim koşulları

Örnek Adı	Numune Devir Sayısı (d/dk)	Boncuk Devir Sayısı (d/dk)
Kaman Gri	225,00	1100,00
Savcılı (ince)	150,00	1700,00
Savcılı (iri)	177,54	1100,00
Bergama Gri	225,00	1100,00
Aksaray Yaylak	157,44	1100,25
Bianco Sardo	150,00	1100,00
Siyah Büyü	225,00	1550,80
Crema Lal	163,52	1103,75
Giresun Vizon	178,64	1700,00
Balaban Yeşil	178,30	1700,00

- Aynı şekilde her bir doğal taş grubu için de optimum kesim koşulları tespit edilmiştir. Bu koşullar Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Tablo 6.4. Doğal taş grupları için optimum kesim koşulları

	Hakiki Mermer	Kireçtaşı	Granit
Numune Devir Sayısı (d/dk)	228,39	300,00	150,00
Boncuk Devir Sayısı (d/dk)	2108,33	1600,00	1248,74

- Çalışmada elmas boncuklardaki elmas konsantrasyonunun kesme performansına etkisi üç farklı konsantrasyona sahip boncuk için ayrı ayrı incelenmiş, yanlış seçilmiş elmas boncuk kullanıldığında kesme hızında hakiki mermerlerde en fazla %37,29, kireçtaşlarında %65,50 oranında

azalma, birim aşınmada hakiki mermerlerde en fazla %211,65, kireçtaşlarında %102,99 oranında artış, spesifik enerji değerlerinde, hakiki mermerlerde en fazla %245,69, kireçtaşlarında %190,87 oranında artış ve boncuk ömründe ise hakiki mermerlerde en fazla %67,96, kireçtaşlarında %29,49 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

- Arazi sonuçları ile laboratuvardan elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkiyi belirlemek için yapılan çalışmada ise yüksek bir ilişki ($R^2=0,88$) söz konusudur ve laboratuvardan elde edilen sonuçlar arazi sonuçlarını iyi bir şekilde yansıtmaktadır. Dolayısıyla, bu sonuca göre, araziye gitmeden tek boncuk test cihazı kullanılarak kayaçlar için optimum kesme noktalarının tahmininin yapılabileceği ortaya konulmuştur.
- Çalışmada arazi çalışmaları için kullanılan Model Elmas Tel Kesme Makinası gerçek boyuttaki ocak tel kesme makinası ile aynı özelliklere ve performansa sahiptir. Dolayısı ile elde edilen sonuçlar aynı güçteki makinaya sahip herhangi bir ocaktaki kesme performansını yansıtmaktadır. Farklı güçlerde elmas tel kesme makinaları kullanılarak çalışmanın içeriği genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kekeç, N., *Tel Kesme Makinalarında Elmaslı Tellerde Kesme Performansının Belirlenmesi Üzerine Bir İnceleme*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, **2001**.
- [2] Polat, E., *Mermerlerin Elmas Tel ile Kesiminde Dokusal Özelliklerin Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2002**.
- [3] Hanecioğlu, B., *Pilot Model Elmas Telli Kesme Makinesinde Bazı Makine Parametrelerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2006**.
- [4] Yüzer, E., Doğal Taş, Stone 2003, *Doğal Taş ve Endüstrisi Kataloğu*, İstanbul, **2003**.
- [5] Cappuzi, Q., *Modern Tecnology and Machinery for Marble Quarrying*, Benetti Machine Press, Roma, **1980**.
- [6] Özçelik, Y., *Mermercilikte Elmas Tel Kesme Makinalarının Çalışma Koşullarının İncelenmesi*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1999**.
- [7] Conti, G., Ocak İşletmeciliğinde Mermerin Elmas Telle Kesim Yöntemi, *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, Eskişehir, 75-80, **1986**.
- [8] Cappuzi, Q., *Diamond Wire Cutting Tecnology in Granite Quarry*, *ACIMM for Marble*, November-December, **1989**.
- [9] Primavori, P., *20 Over Years of Diamond Wire*, *Marmomacchine Directory 2001*, *Associazione Italiana Marmomacchine*, **2001**.
- [10] Kızıltepe, T., Elmas Tel Kesme Makinelerinin Kullanımında Bazı Püf Noktalar, *Türkiye'de Mermer Yapı ve Dekorasyonu*, 11, 26-28, **1990**.
- [11] Kulaksız, S., Edt., *Doğal Taş (Mermer) İşletmeciliği ve İşletme Teknolojileri*, Maden Mühendisleri Odası Yayını, 102, Ankara, **2005**.
- [12] Primavori, P., *Technological Developments and the State-of-the Art in Machinery and Installations For Extracting and Processing Stone Materials*,

Marmomacchine Directory 2002, Associazione Italiana Marmomacchine, pp.40-197, **2002**.

- [13] Berry, P. ve ark., Optimum Use of Diamond Wire Equipment in Stone Quarrying, *21st APCOM*, Las Vegas, 351-365, **1989**.
- [14] Hawkins A.C., Antenen, A.P. ve Johnson, G., The Diamon Wire Saw in Quarrying Granite and Marble, *Dimensional Stone*, September, 44-50, **1990**.
- [15] Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P. ve Massacci, G., Simulation and Optimization of Rock Cutting with Diamond Wire, *XXII. International Symposium APCOM*, Berlin, 163-176, **1990**.
- [16] Wright, N. D., Marble and Granite Quarries Turn to Diamond Wire, *Stone World*, October, 77-80, **1992**.
- [17] Hallez, C.P., Sawing Marble with Diamond Wire, *Diamonds in Industry*, 24-27, **1992**
- [18] Cook, M. ve Smith, B.A., A Study of Diamond Wire Bead Rotation, *Industrial Diamond Review*, 2, 79-81, **1993**.
- [19] Urhan, S. ve Şişman, N., Blok Mermer Üretiminde Elmaslı Tel Kesme Kullanımı Uygulaması ve Kesme Veriminin Optimizasyonu, *Madencilik Dergisi*, 32/3-4, 23-30, **1993**.
- [20] Biasco, G., Diamond Wire for Quarrying Hard Rocks, *Industrial Diamond Review*, 5, 252-255, **1993**.
- [21] Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P. ve Massacci, G., Computer Simulation of Diamond-Wire Cutting of Hard Rock and Abrasive Rock, *IMM*, Vol. 103, 55-128, **1994**.
- [22] Korre, A., Durucan, S., The Effects of Granite Microstructure on The Sawing Performance of Diamond Wires, *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 14, 87-102, **2000**
- [23] Özçelik, Y., Özgüven, A., Sert Kayaçların Elmas Tel Kesme Yöntemi İle Kesimi, *Mermer Dergisi*, 28, 118-122, **2001**

- [24] Özçelik 2003 Multivariate statistical analysis of the wearing on diamond beads in the cutting of andesitic rocks, *Key Engineering Materials*, 250, 118-130, **2003**
- [25] Özçelik, Y., Polat, E., Bayram, F., ve 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**
- [26] Özçelik, Y. ve Bayram, F., Blok Boyutlarının Elmas Tel Kesme Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi, *Mermer*, 46-54, **2004**.
- [27] Özçelik, Y., Effect of Mineralogical and Petrographical Properties of Marble on Cutting by Diamond Wire, *CIM Bulletin*, 98-1085, 1-6, **2005**
- [28] Özçelik, Y., Optimum Working Conditions of Diamond Wire Cutting Machines in Marble Industry, *Industrial Diamond Review*, 65, 58-64, **2005**.
- [29] Özçelik, Y., Ay, A.M., Bayram, F. ve Yaşıtlı, N.E., *Model Elmas Tel Kesme Makinası Düzenlenişinin Oluşturulması ve Kesmede Etkin Parametrelerin İncelenmesi*, Proje No: 02 02 602 011, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi, **2006**.
- [30] Özçelik, Y., Yılmazkaya, E., Bayram, F., Yaşıtlı, N. E., Kanbir E. S. ve Kekeç, N., Elmas Telli Kesme Yönteminde Travertenlerde Tabakalanma Yönünün Kesme Performansına Etkisinin İncelenmesi, *VIII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 263-269, **2006**
- [31] Özçelik, Y., Yılmazkaya, E., Bayram, F., Yaşıtlı, N. E., Kanbir E. S. ve Kekeç, N., Elmas Telli Kesmede Kasnak Çapının Kesme Performansına Etkisinin İncelenmesi, *TUMKS 2007 Bildiriler Kitabı*, 145-150, **2007**.
- [32] Yılmazkaya E., *Elmas Telli Kesme Yöntemiyle Blok Üretimine Etki Eden Bazı Faktörlerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2007**.
- [33] Kanbir, E.,S., *Tek Boncuk Test Cihazında Kesmede Etkin Faktörlerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2007**.

- [34] Özçelik, Y., Yılmazkaya E., Bayram, F., Yaşıtlı, N. E., Kanbir, E.S., Investigation of Effects of Bead Number per Meter to Cutting Performance of Diamond Wire, *2nd International Industrial Diamond Conference*, B.1.2, **2007**
- [35] Özçelik, Y., Development of a Single Diamond Bead Test Machine for Marble Cutting, *Industrial Diamond Review*, 56-62, **2008**
- [36] Özçelik, Y., Yılmazkaya, E., *Elmas Telli Kesme Yönteminde elmas Boncukların Kesme Performansının Boncuk Ömrü Boyunca Değişiminin İncelenmesi*, Proje No: 0601602008, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Bilimi, **2010**.
- [37] Cai ve Mancini, 1989 Cai, O., ve Mancini, R., Diamond Wire for Cutting Hard Rock, *Dimensional Stone*, March, 24-27, **1989**.
- [38] Dainel, P., Slate Without Waste, *Industrial Diamond Review*, April, 200-203, **1993**.
- [39] Hu, S.C. ve Hwang, K.S., Diamond Tools with Reaction Sintered Ni₃Al Matriks, *Powder Metallurgy World Congress & Exhibition*, Granada, Spain, 1, 468-473, **1998**
- [40] Risso, L., Vicenzi, B. ve Bernieri, S., *Proceedings of 2nd International Industrial Diamond Conference*, B.1.1., **2007**
- [41] Konstanty, J., *The Materials Science of Stone Sawing*, *Industrial Diamond Review*, 1, 27-31, **1991**
- [42] TSE, Tabii Yapı Taşları- Muayene ve Deney Metotları, TS 699, *TSE Yayını*, 82, **1987**.
- [43] ISRM, Rock Characterization Testing and Monitoring; Suggested Methods, *Oxford*, 16, **1981**.
- [44] Howarth, D.F. ve Rowlands, J.C., "Quantitative Assessment of Rock Texture and Correlation with Drillability and Strength Properties", *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 20, 57-85, **1987**.

- [45] Myers, R., Montgomery, D.C., *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, Wiley, New York, sayfa 244, **1995**

EK 1.

Hakiki mermerler için oluşturulan kesilebilirlik abakları

EK 1.1. Afyon Gri doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 1.2. Afyon Kaplanpostu doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 1.3. Afyon Menekşe doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 1.4. Afyon Pembe doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 1.5. Afyon Sarı doğal taşı için kesilebilirlik abakları

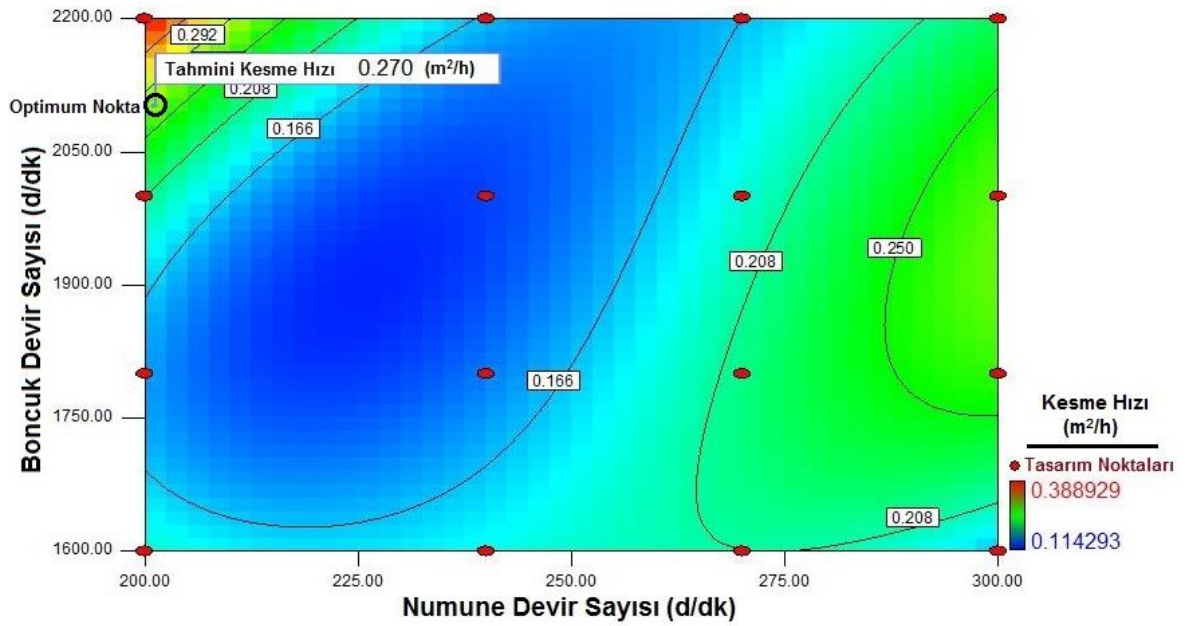
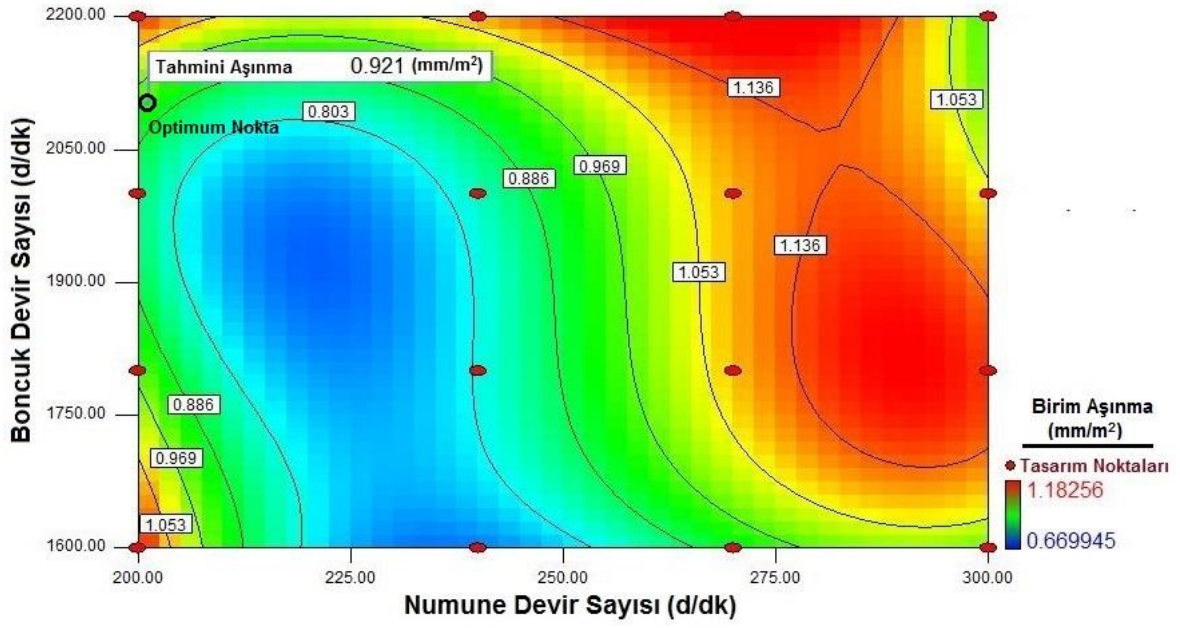
EK 1.6. Kütahya Menekşe doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 1.7. Elazığ Pembe doğal taşı için kesilebilirlik abakları

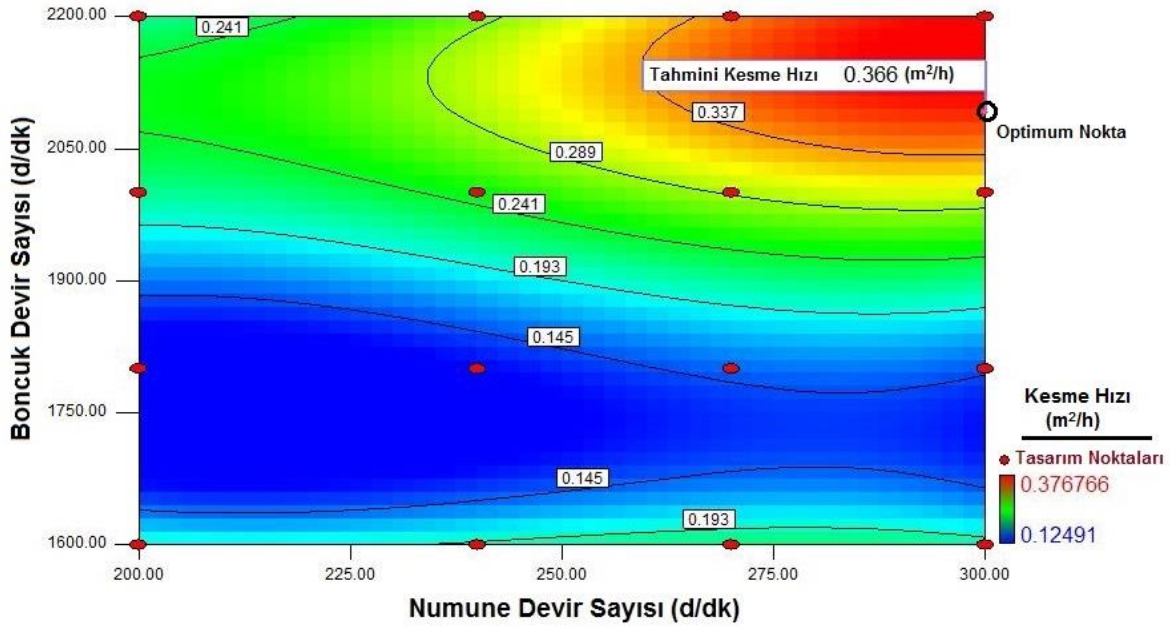
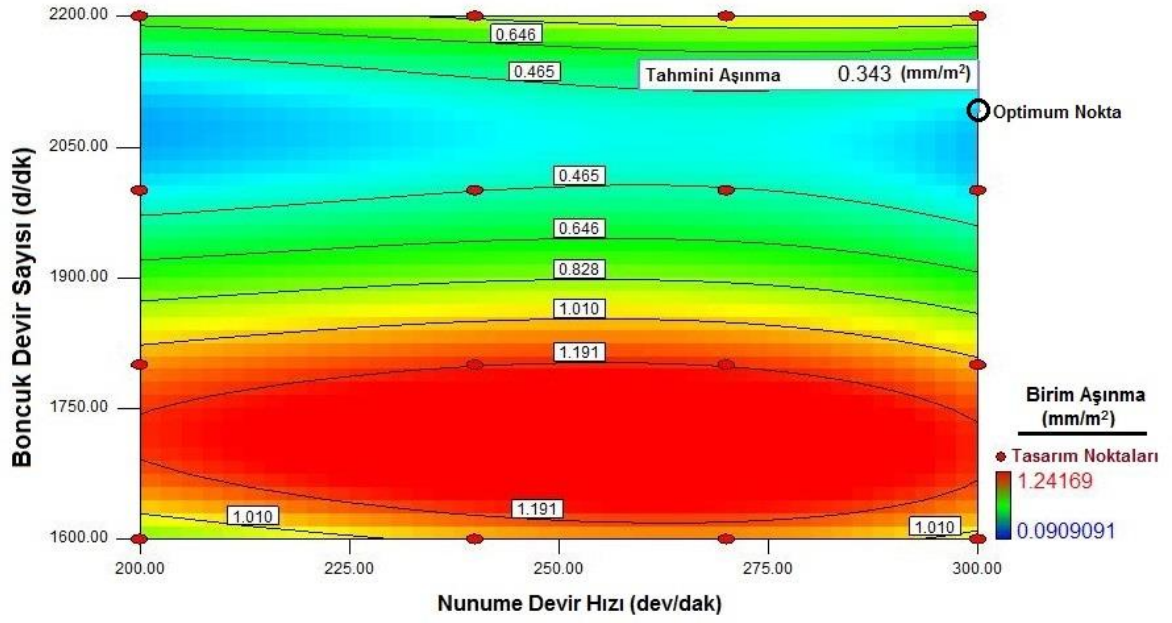
EK 1.8. Muğla Beyaz doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 1.9. Rustik Yeşil doğal taşı için kesilebilirlik abakları

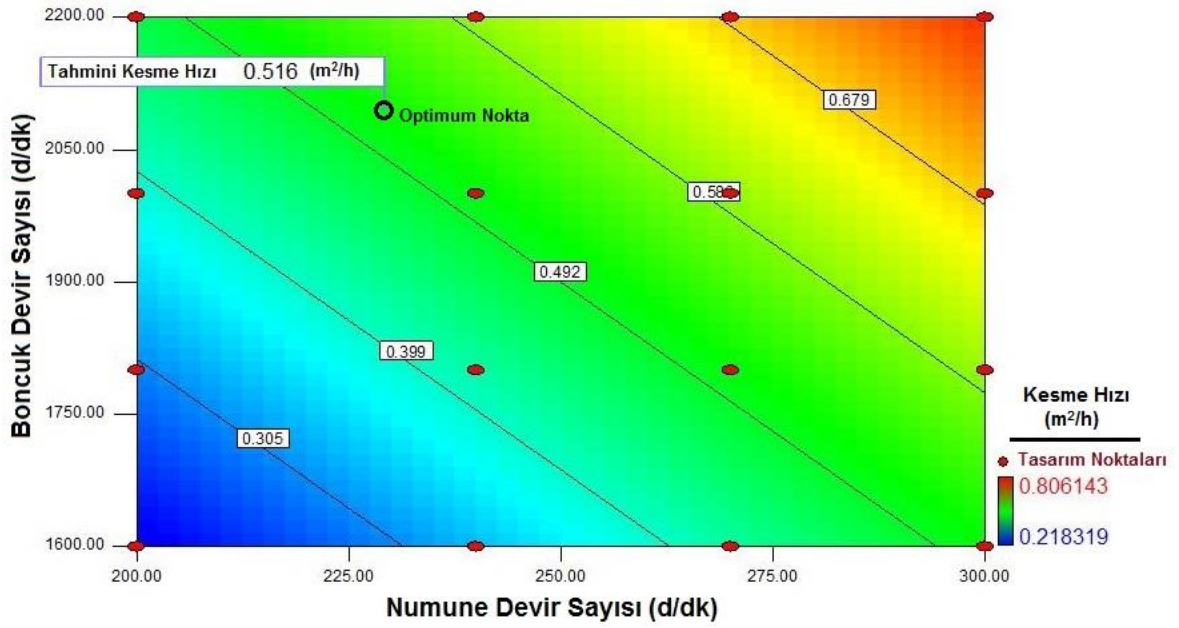
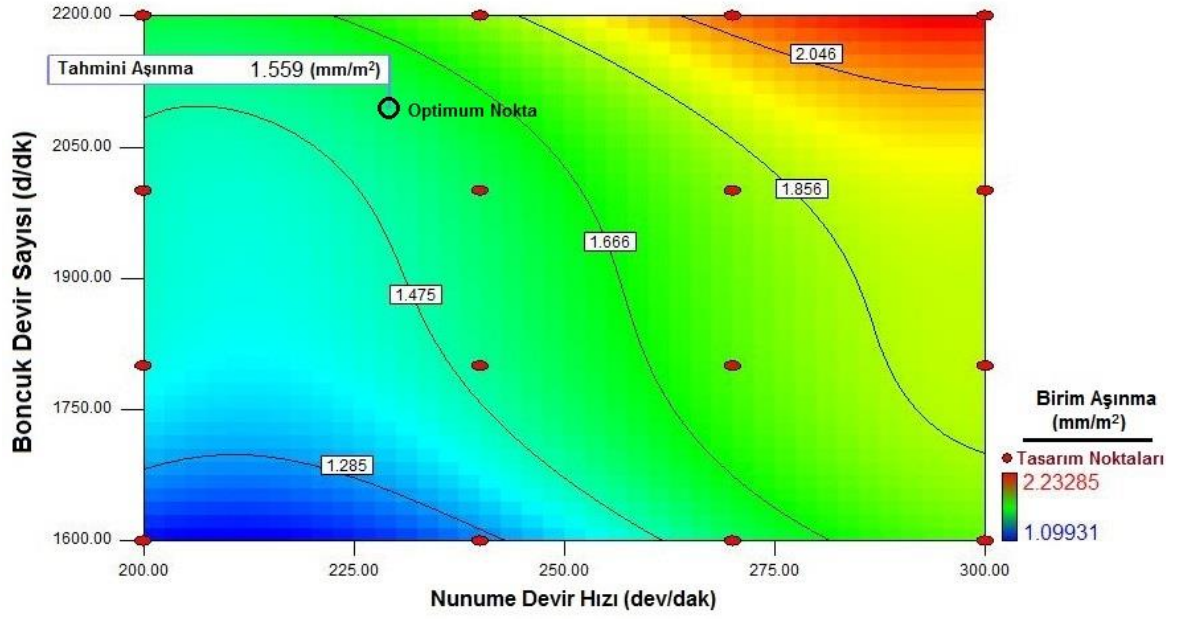
EK 1.1. Afyon Gri doğal taşı için kesilebilirlik abakları



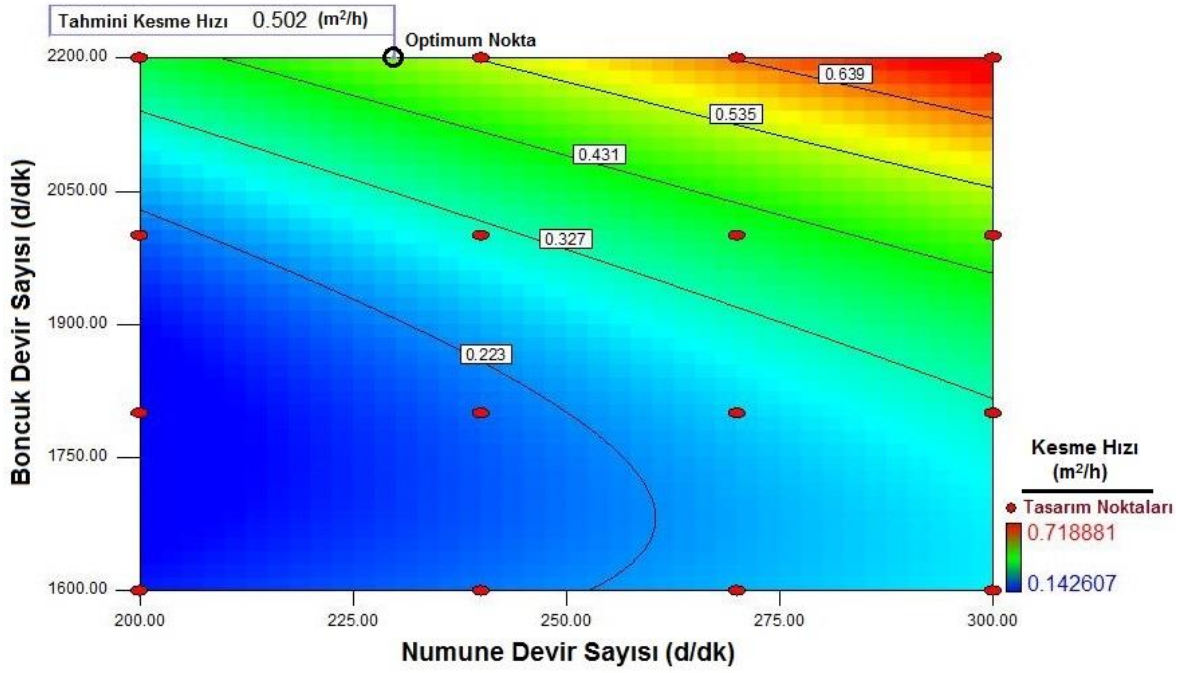
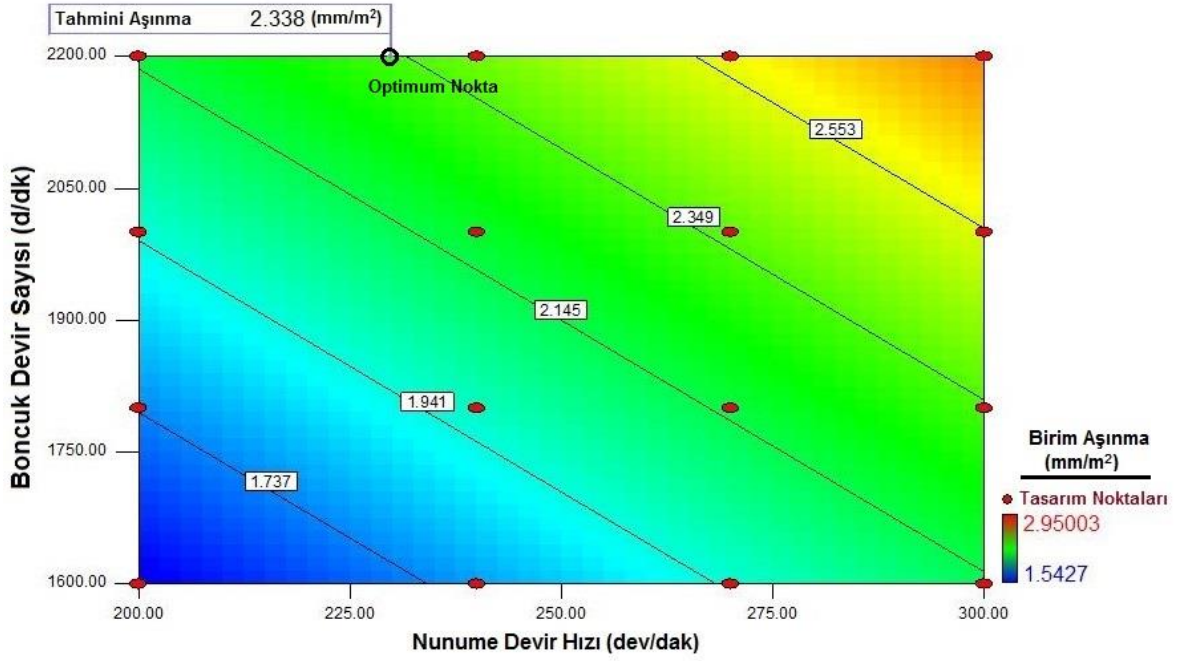
EK 1.2. Afyon Kaplanpostu doğal taşı için kesilebilirlik abakları



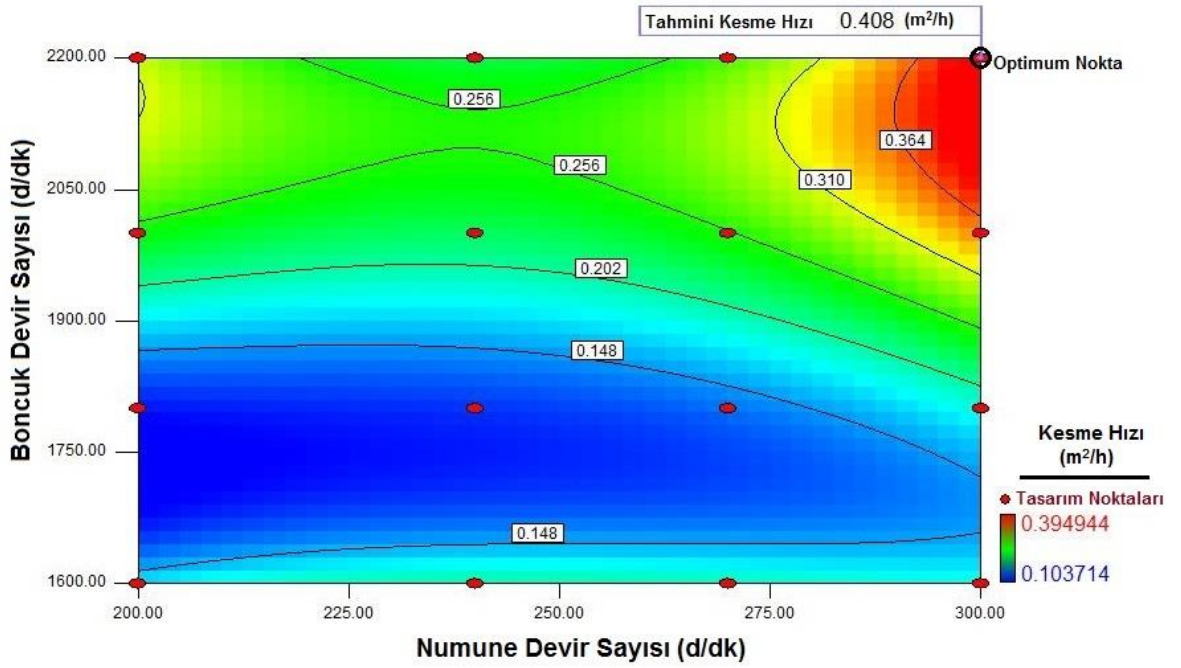
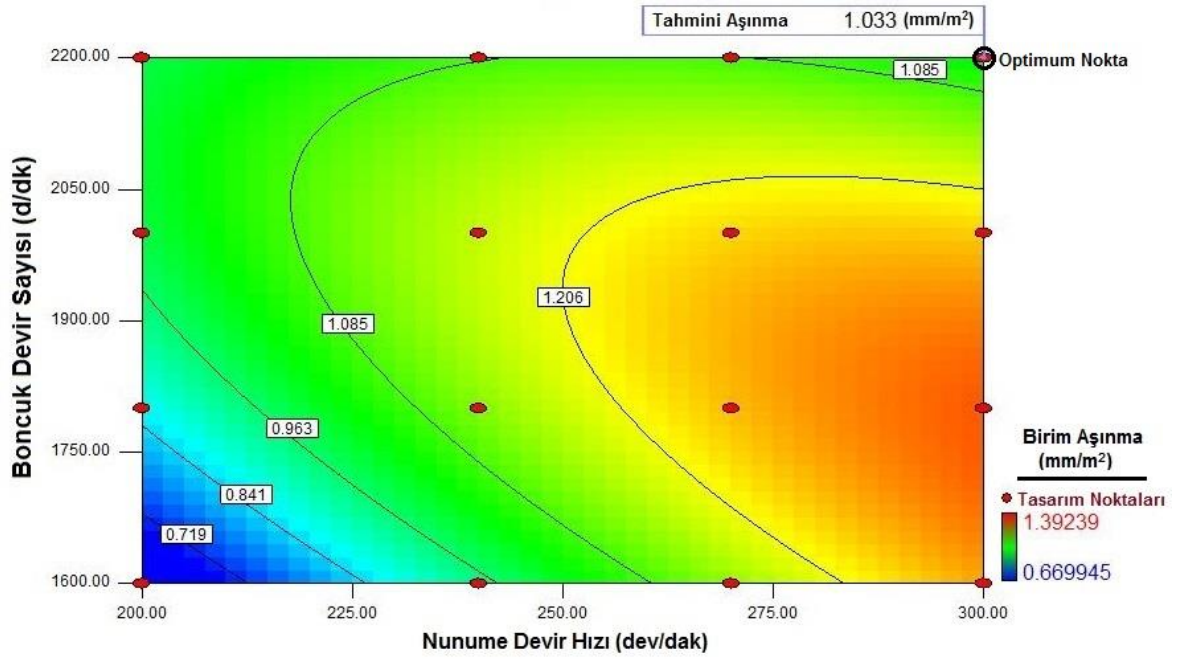
EK 1.3. Afyon Menekşe doğal taşı için kesilebilirlik abakları



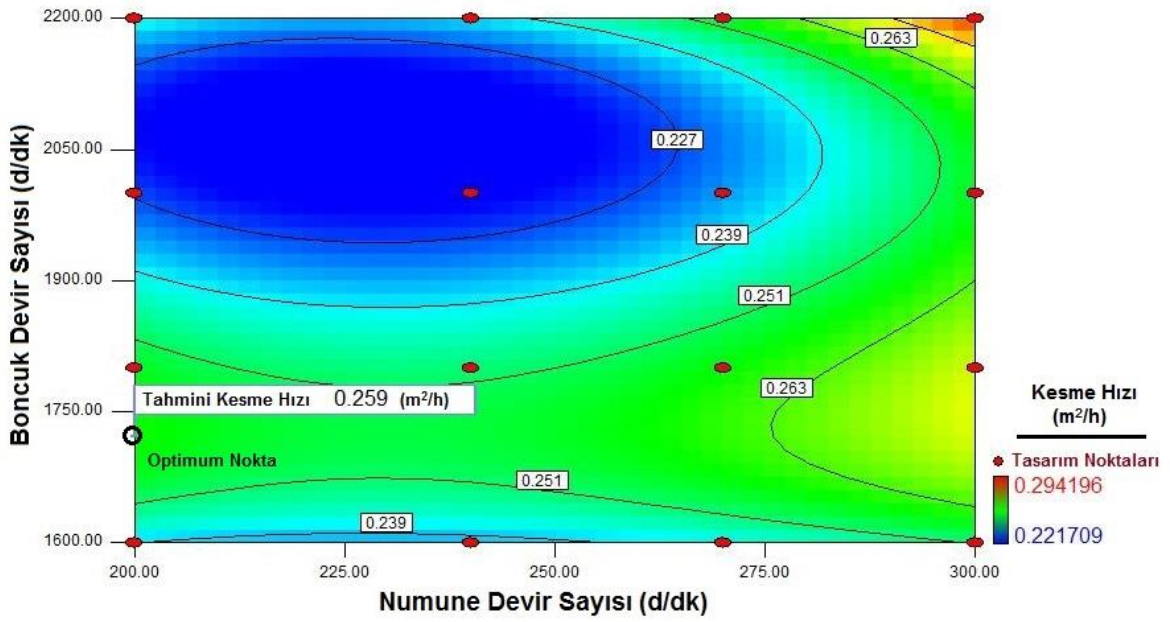
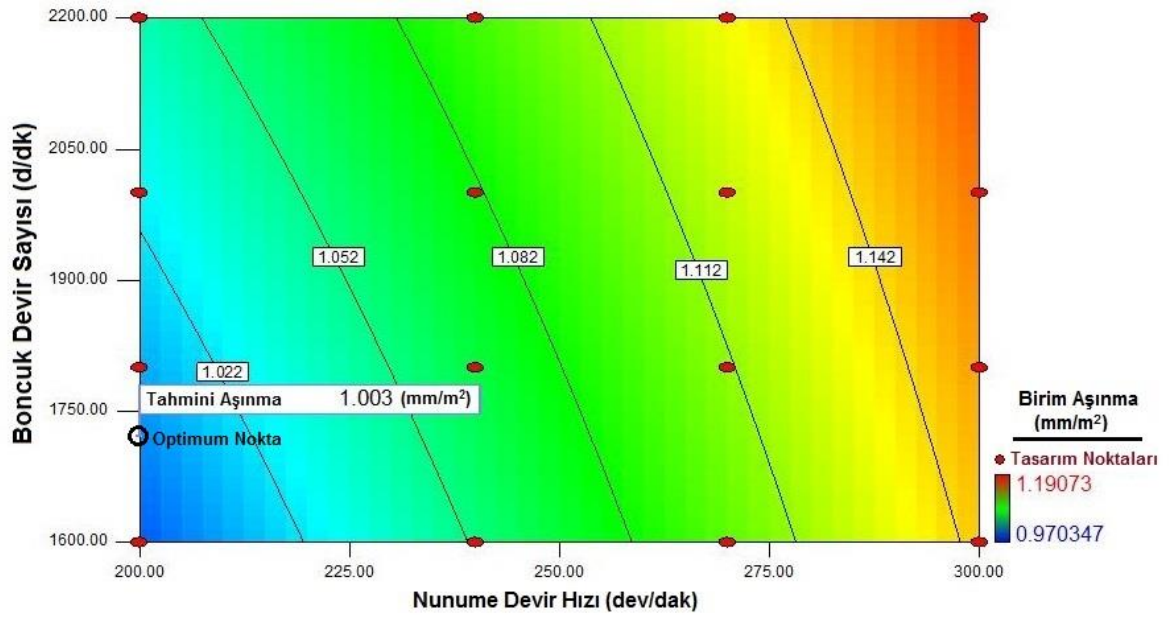
EK 1.4. Afyon Pembe doğal taşı için kesilebilirlik abakları



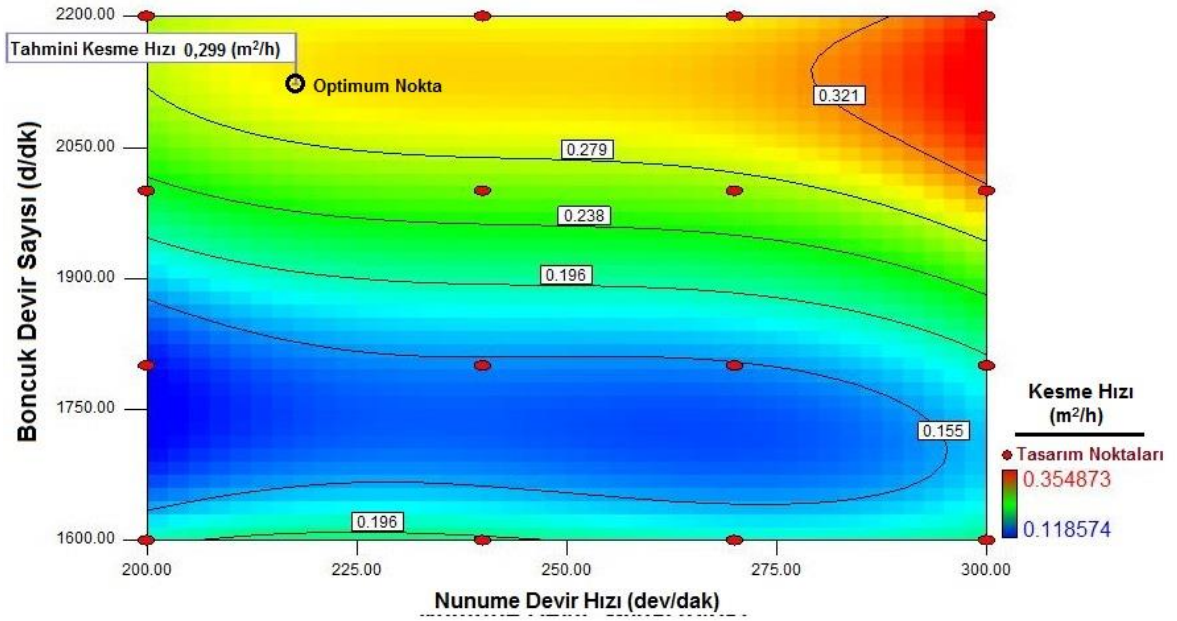
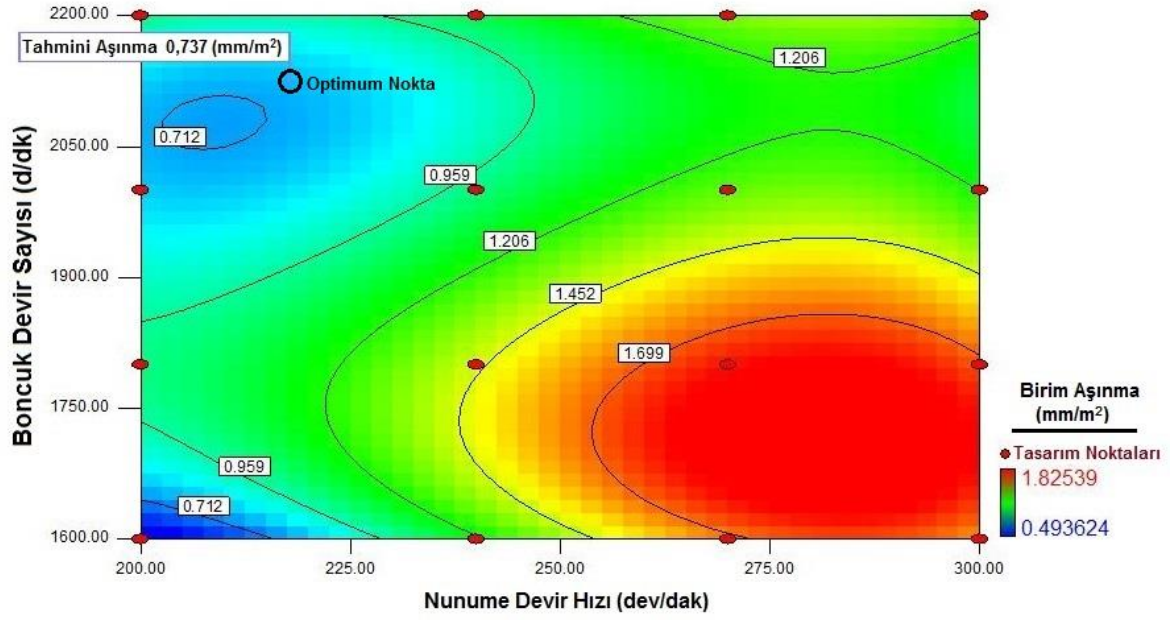
EK 1.5. Afyon Sarı doğal taşı için kesilebilirlik abakları



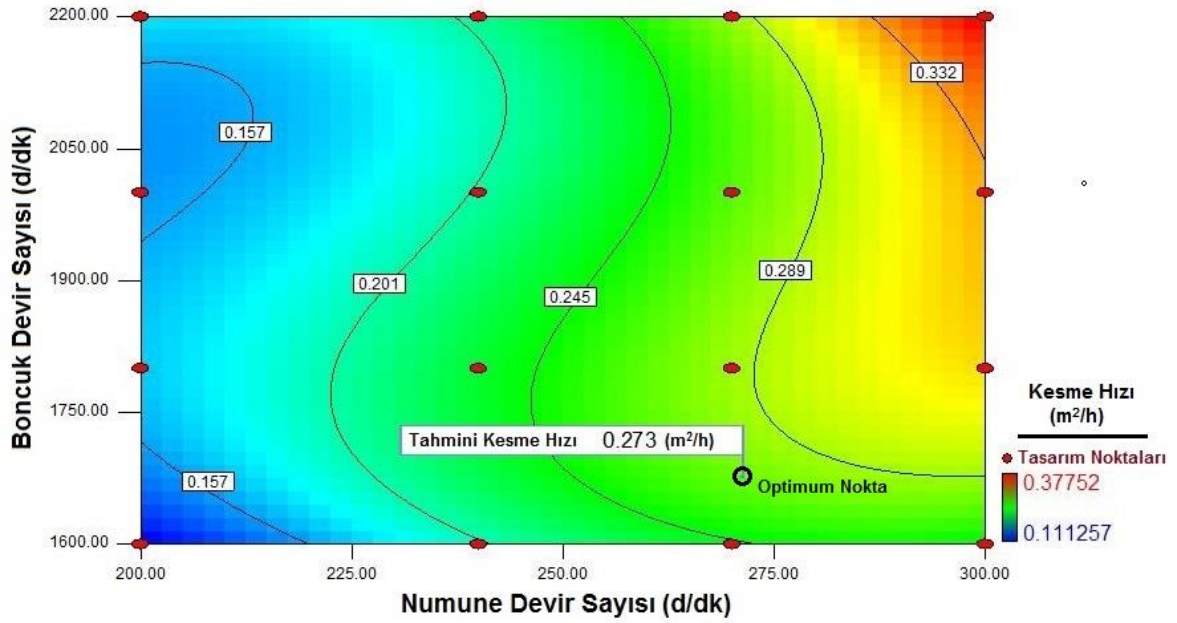
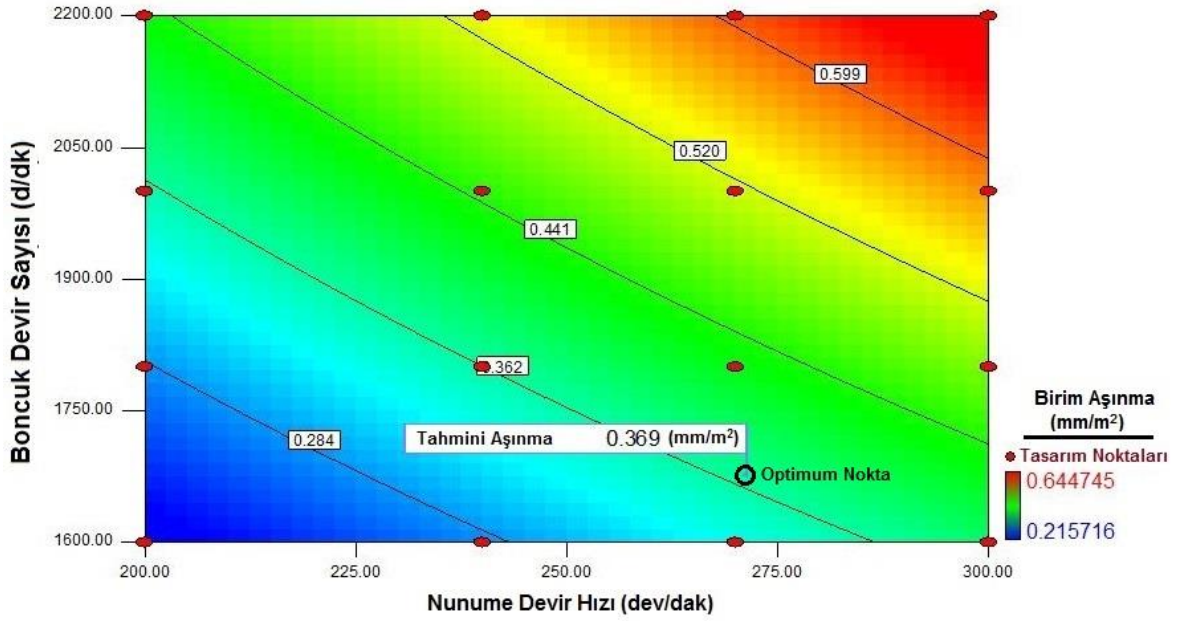
EK 1.6. Kütahya Menekşe doğal taşı için kesilebilirlik abakları



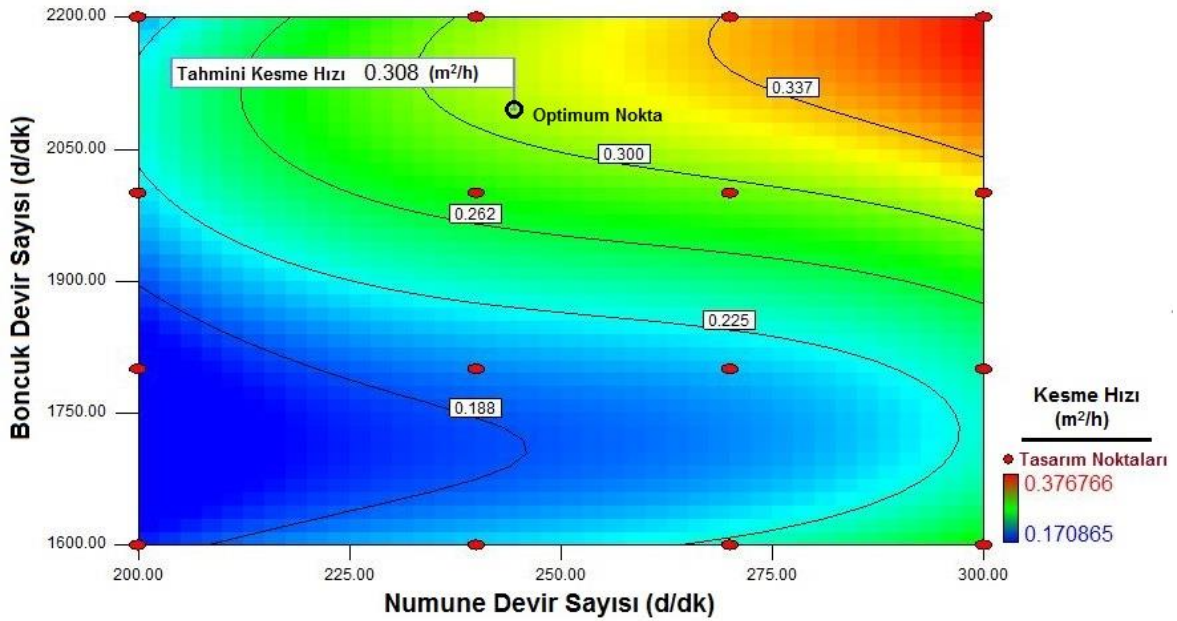
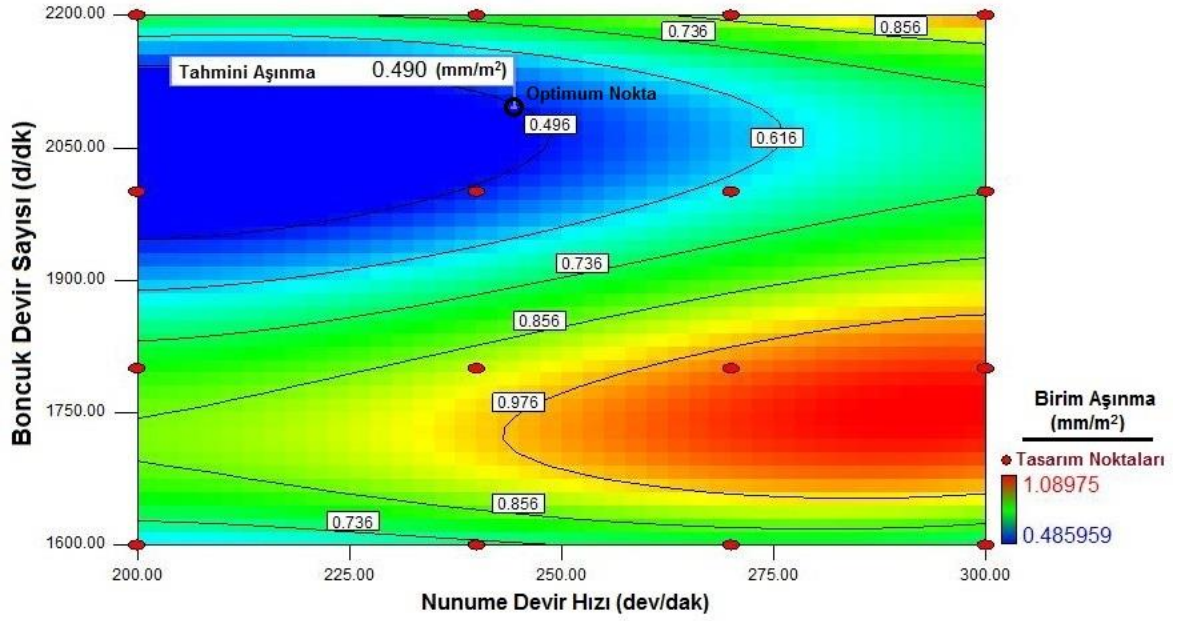
EK 1.7. Elazığ Pembe doğal taşı için kesilebilirlik abakları



EK 1.8. Muğla Beyaz doğal taşı için kesilebilirlik abakları



EK 1.9. Rustik Yeşil doğal taşı için kesilebilirlik abakları

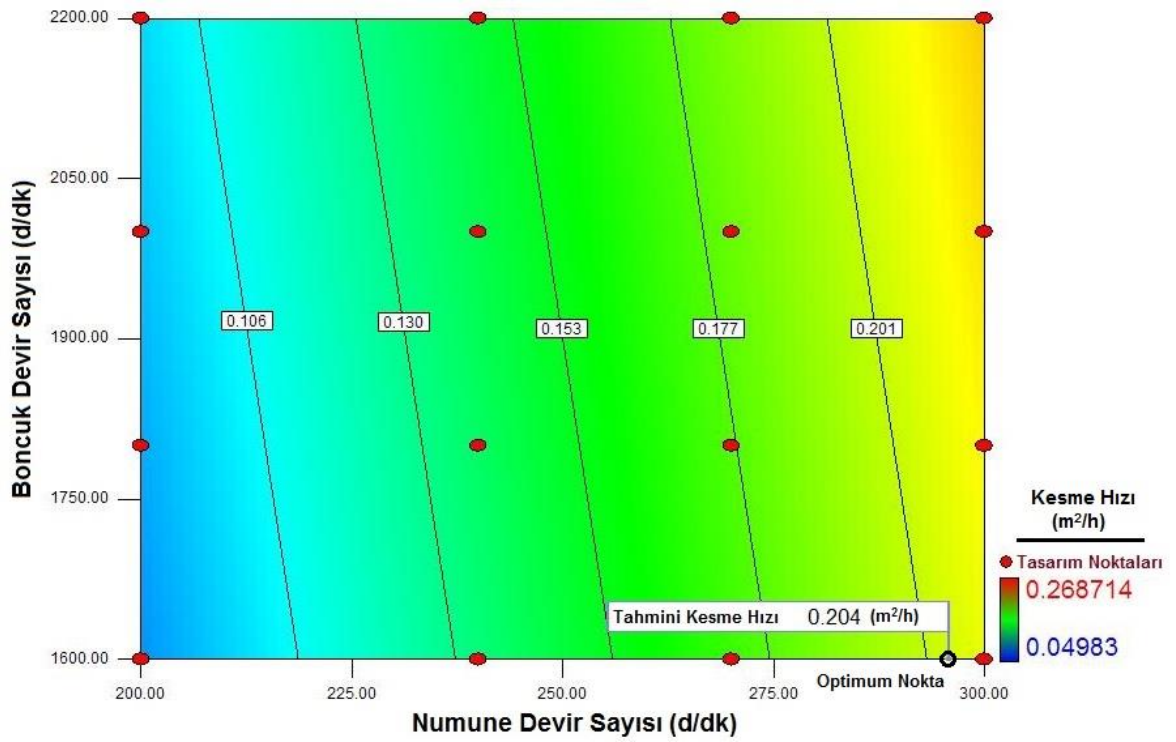
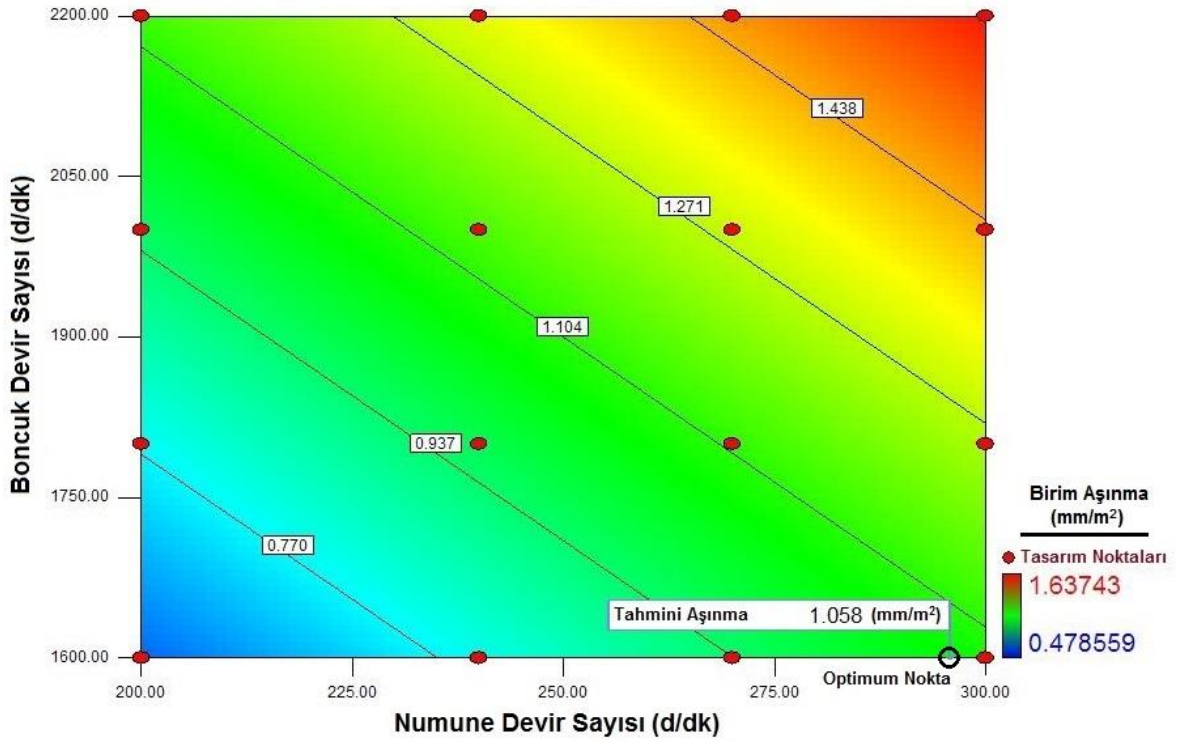


EK 2.

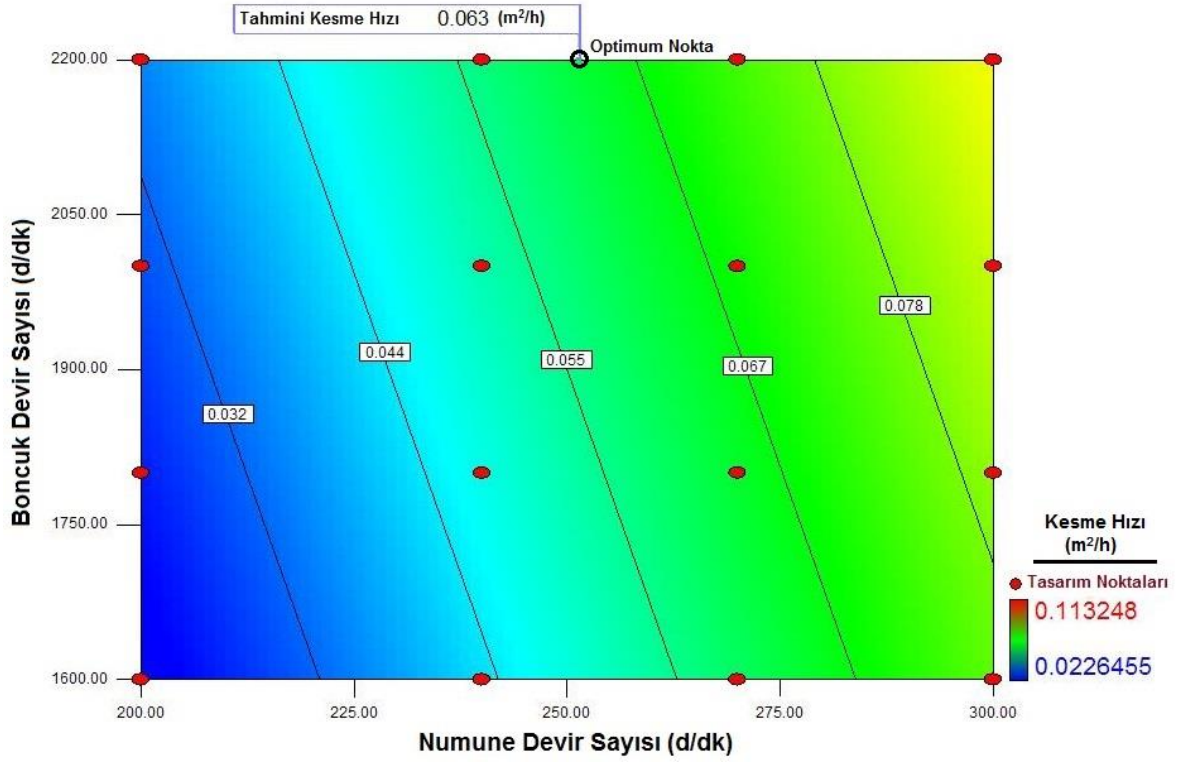
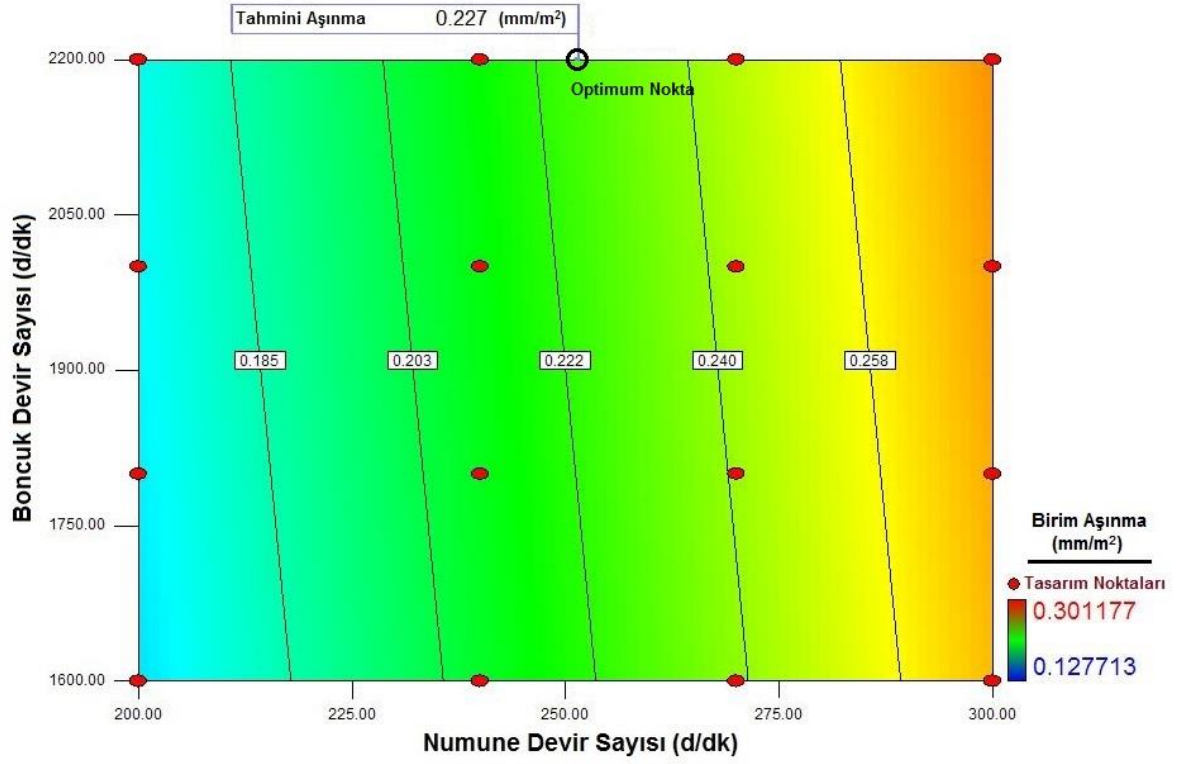
Kireçtaşları için oluşturulan kesilebilirlik abakları

- EK 2.1. Amasya Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları
- EK 2.2. Burdur Açık Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları
- EK 2.3. Burdur Koyu Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları
- EK 2.4. Hazar Pembe doğal taşı için kesilebilirlik abakları
- EK 2.5. Eskişehir Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları
- EK 2.6. Krem Kremma doğal taşı için kesilebilirlik abakları
- EK 2.7. Malatya Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları
- EK 2.8. Papatya Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları
- EK 2.9. Rozelya Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları
- EK 2.10. Sivrihisar Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları

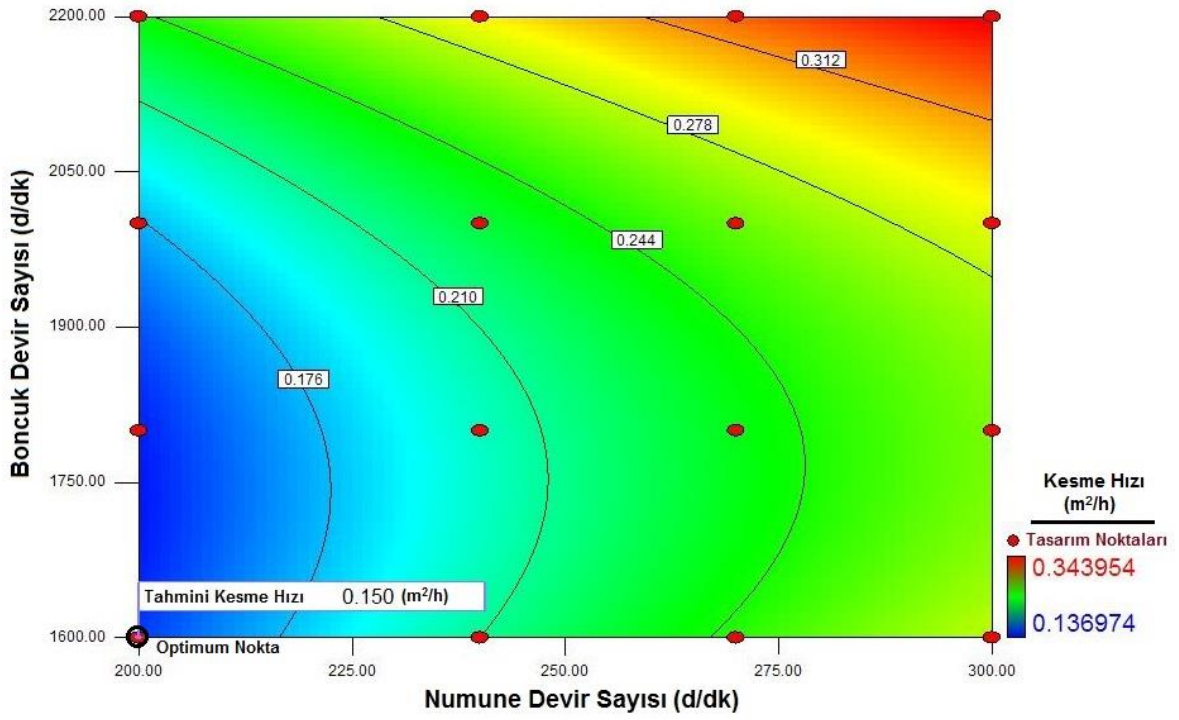
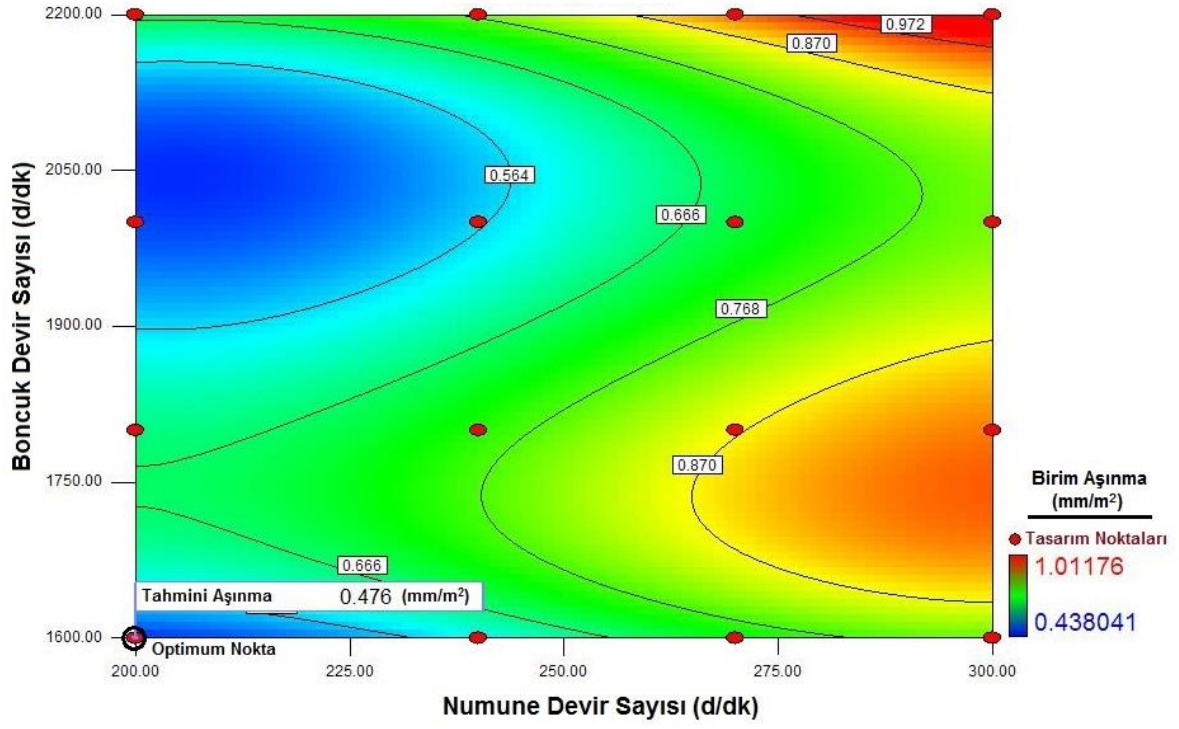
EK 2.1. Amasya Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları



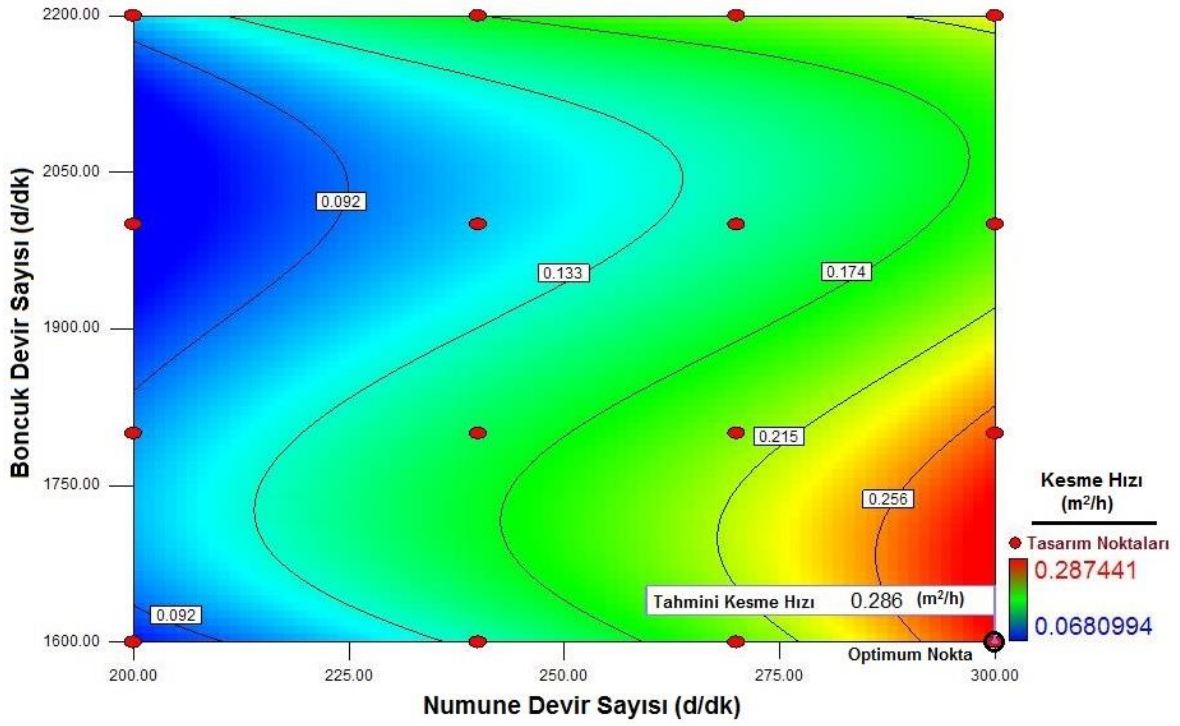
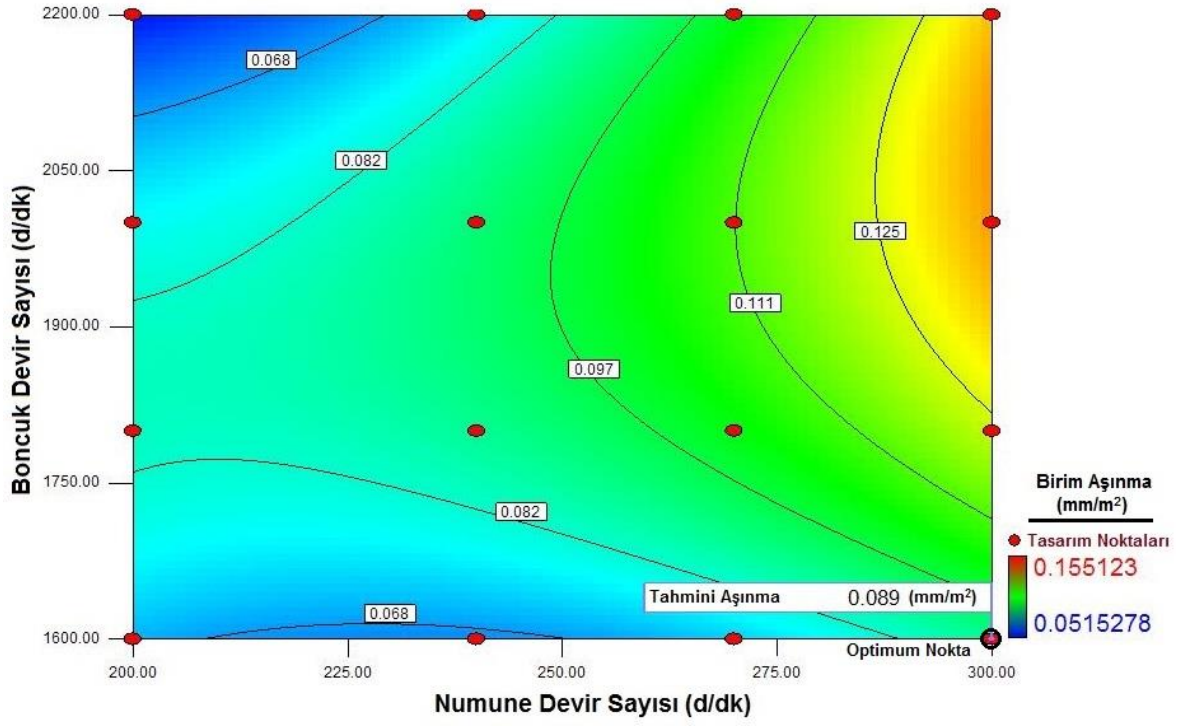
EK 2.2. Burdur Açık Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları



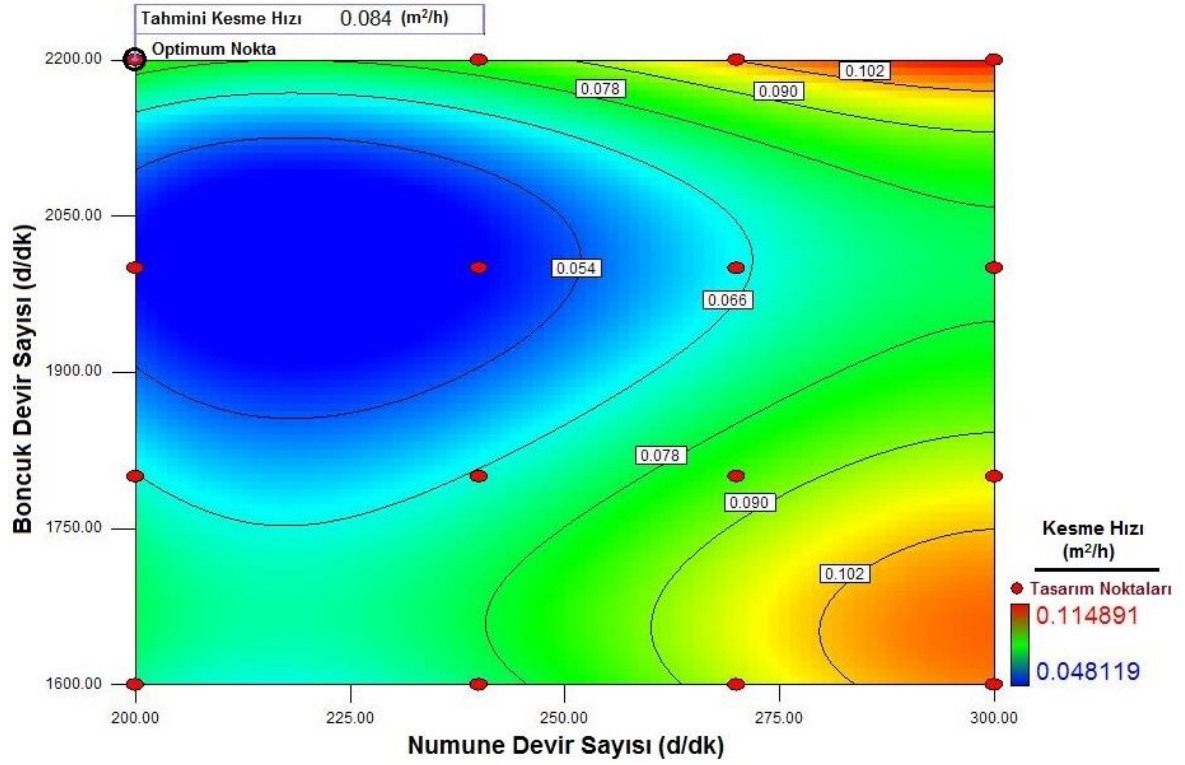
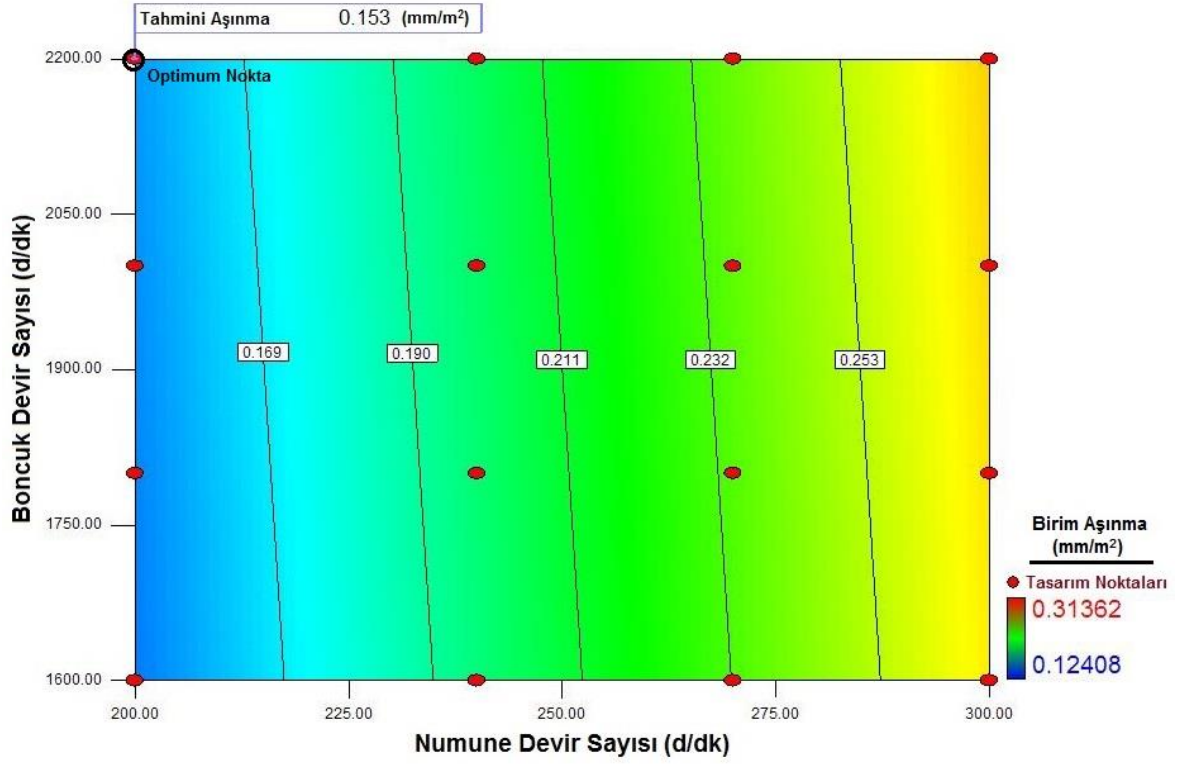
EK 2.3. Burdur Koyu Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları



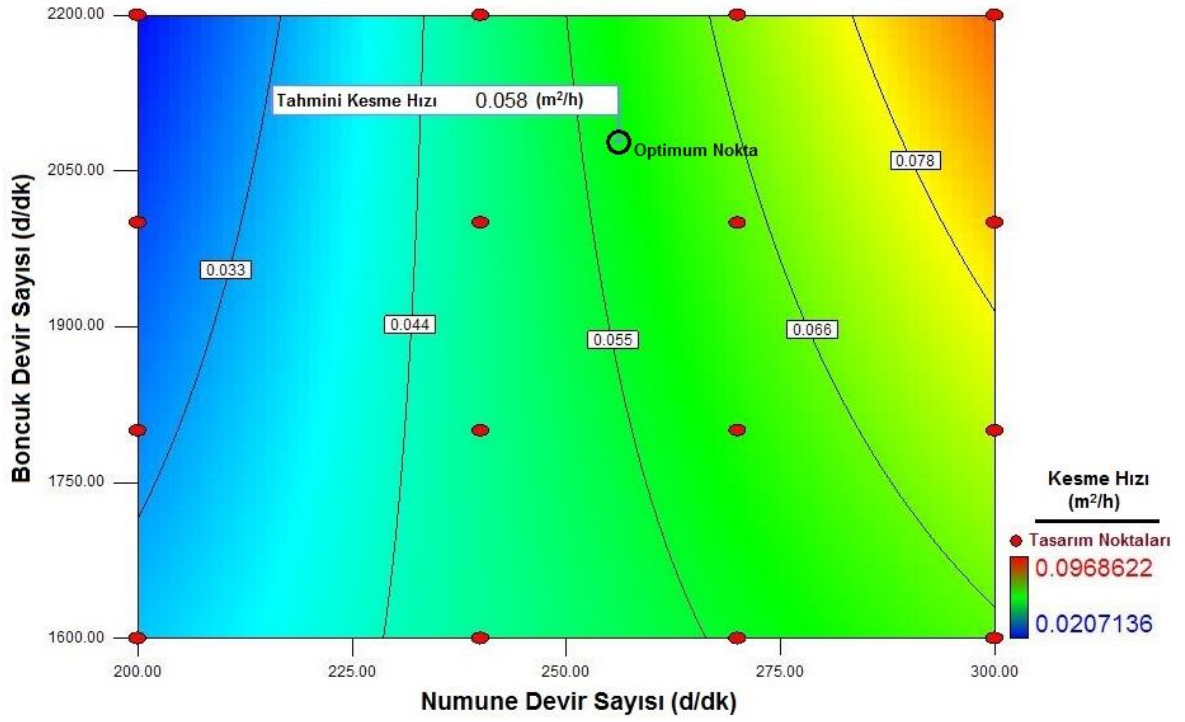
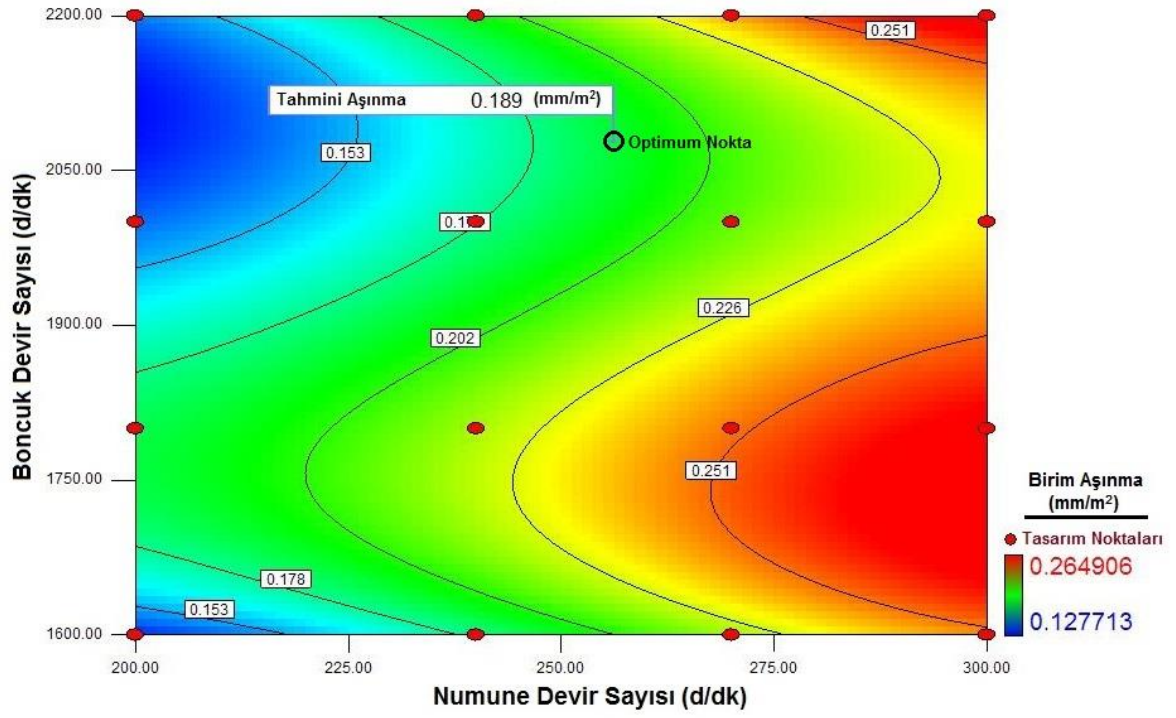
EK 2.4. Hazar Pembe doğal taşı için kesilebilirlik abakları



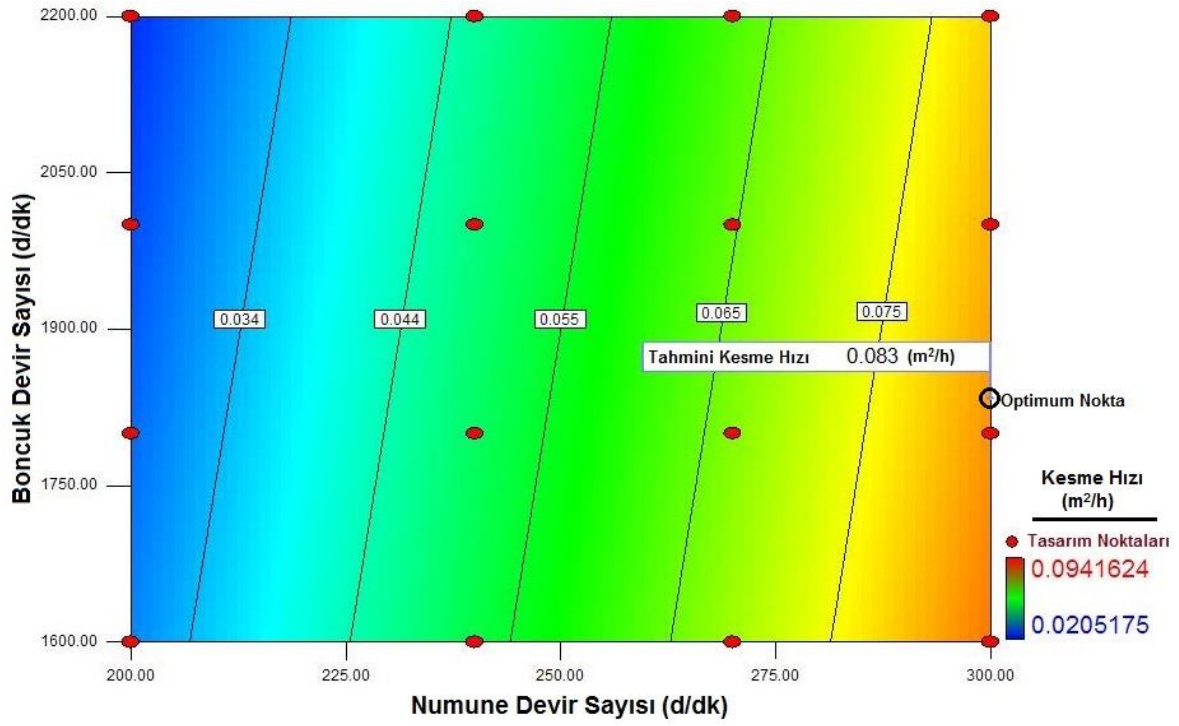
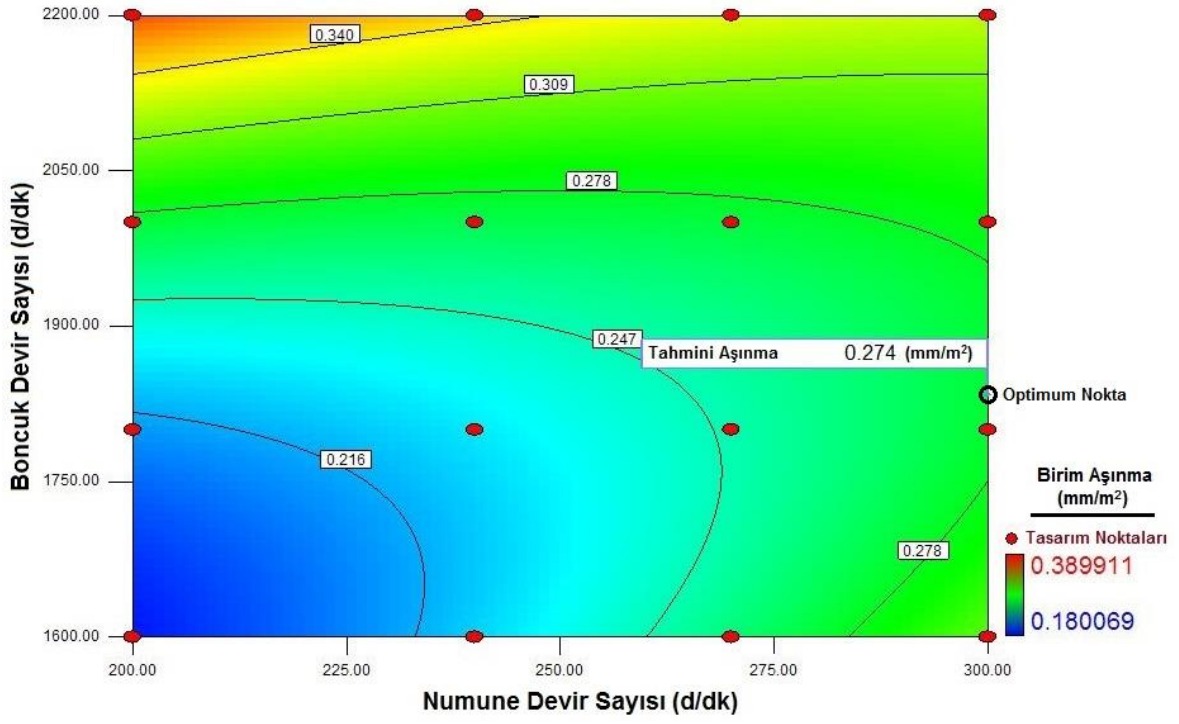
EK 2.5. Eskişehir Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları



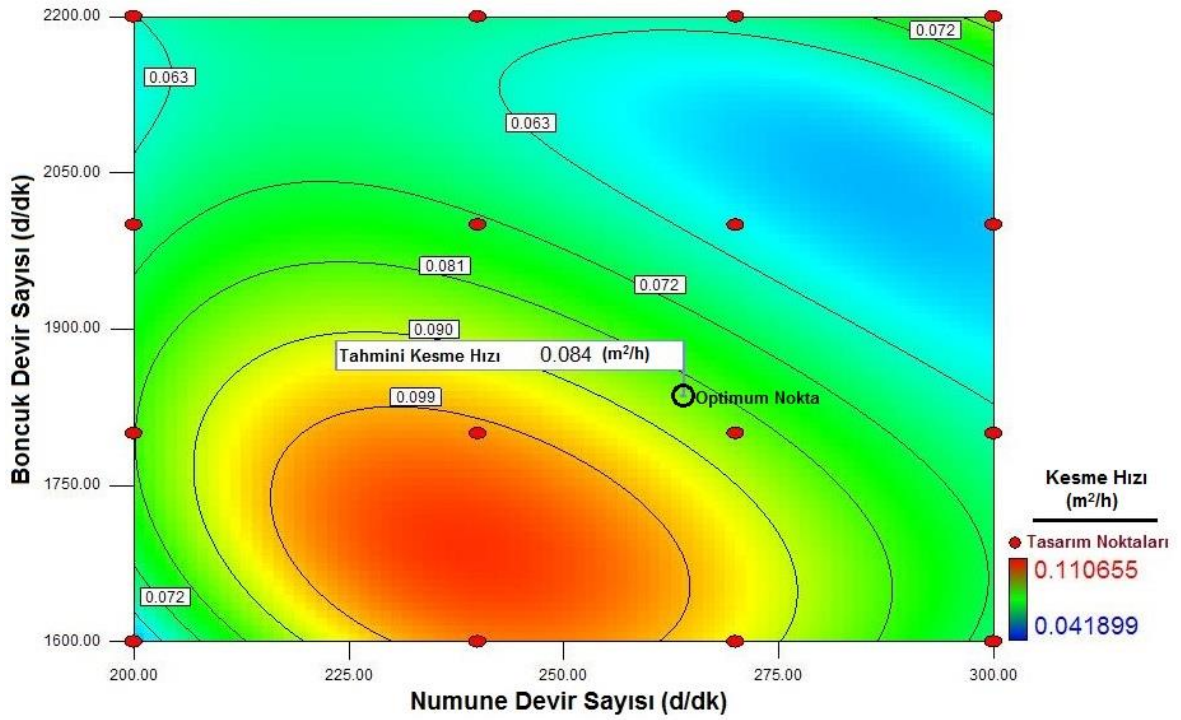
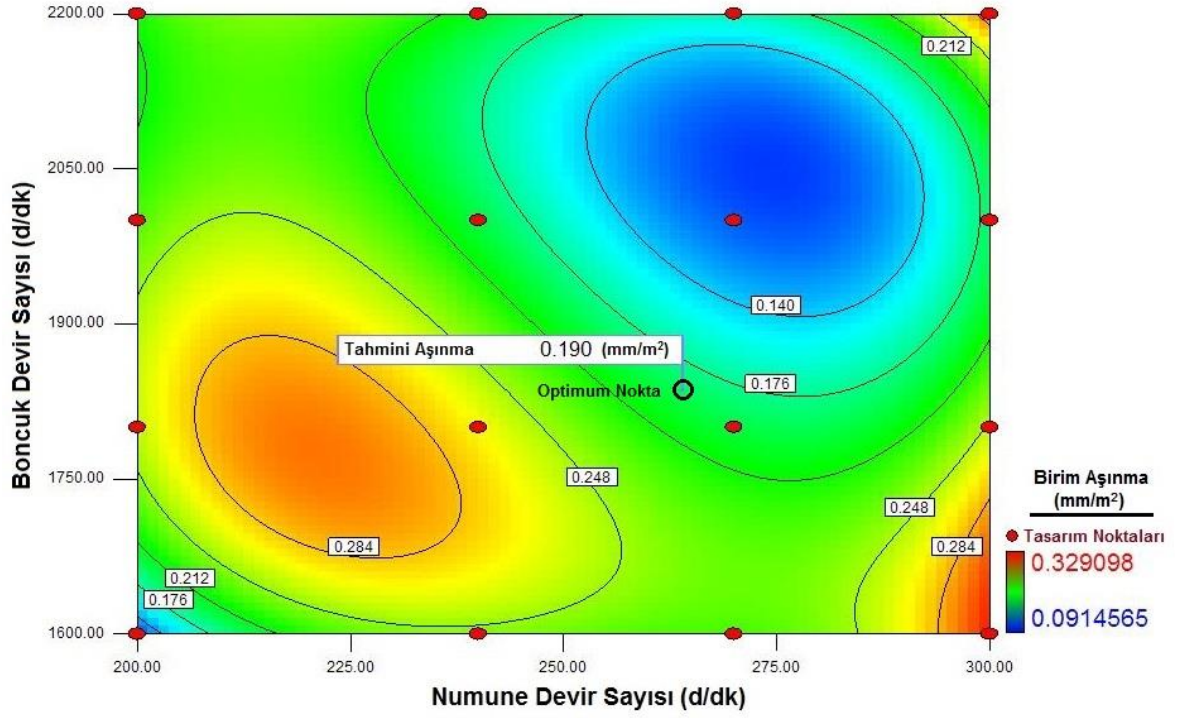
EK 2.6. Krem Kremma doğal taşı için kesilebilirlik abakları



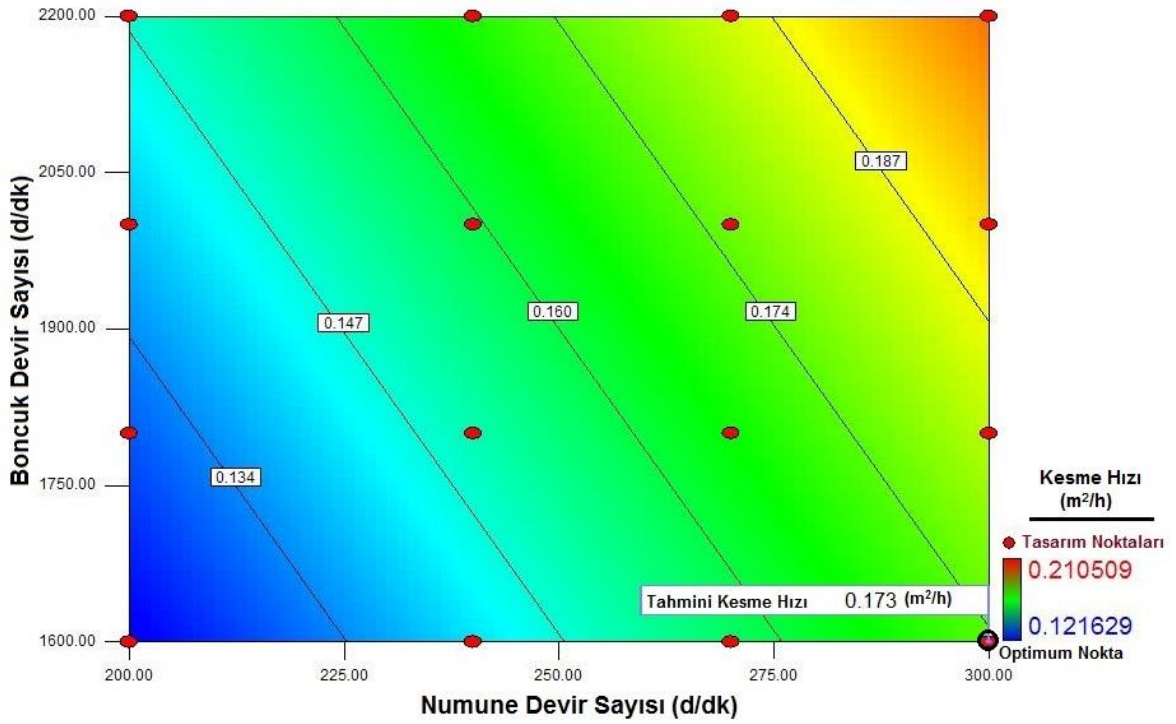
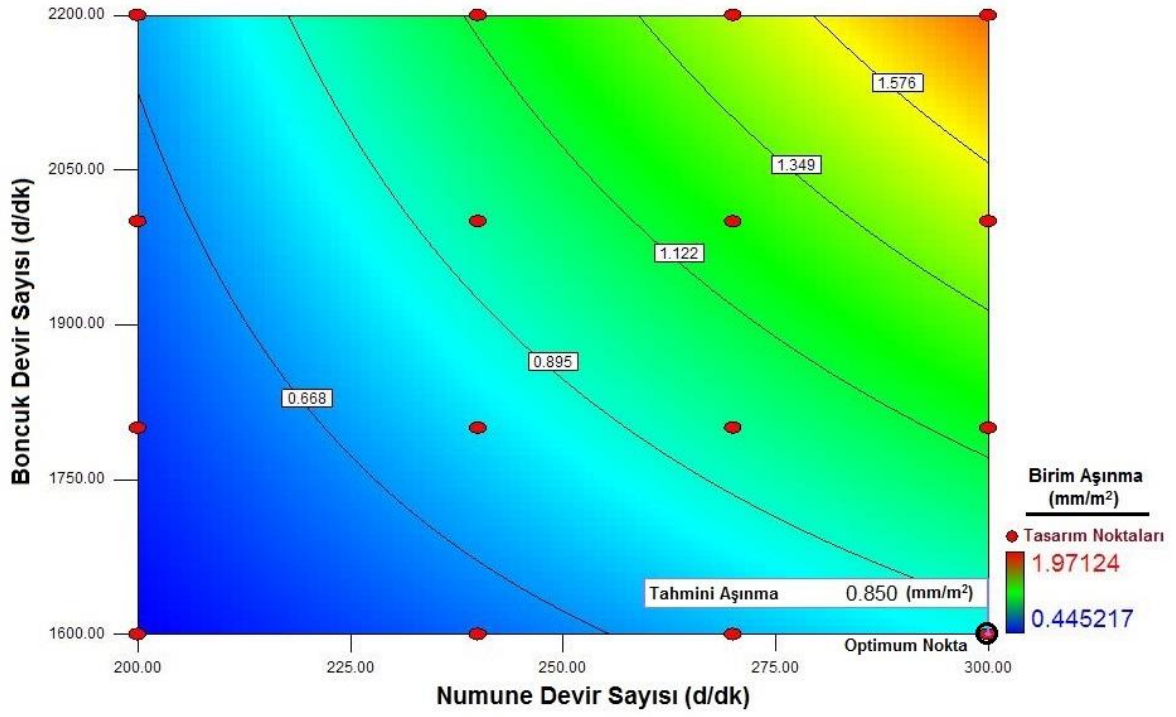
EK 2.7. Malatya Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları



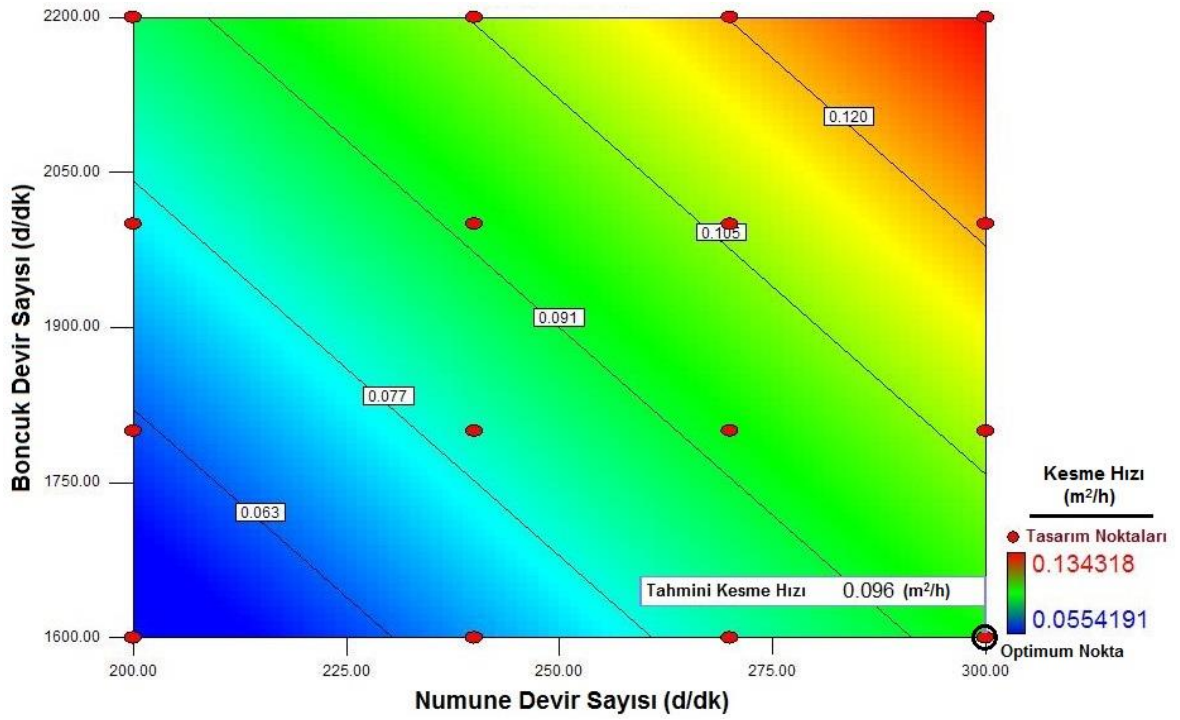
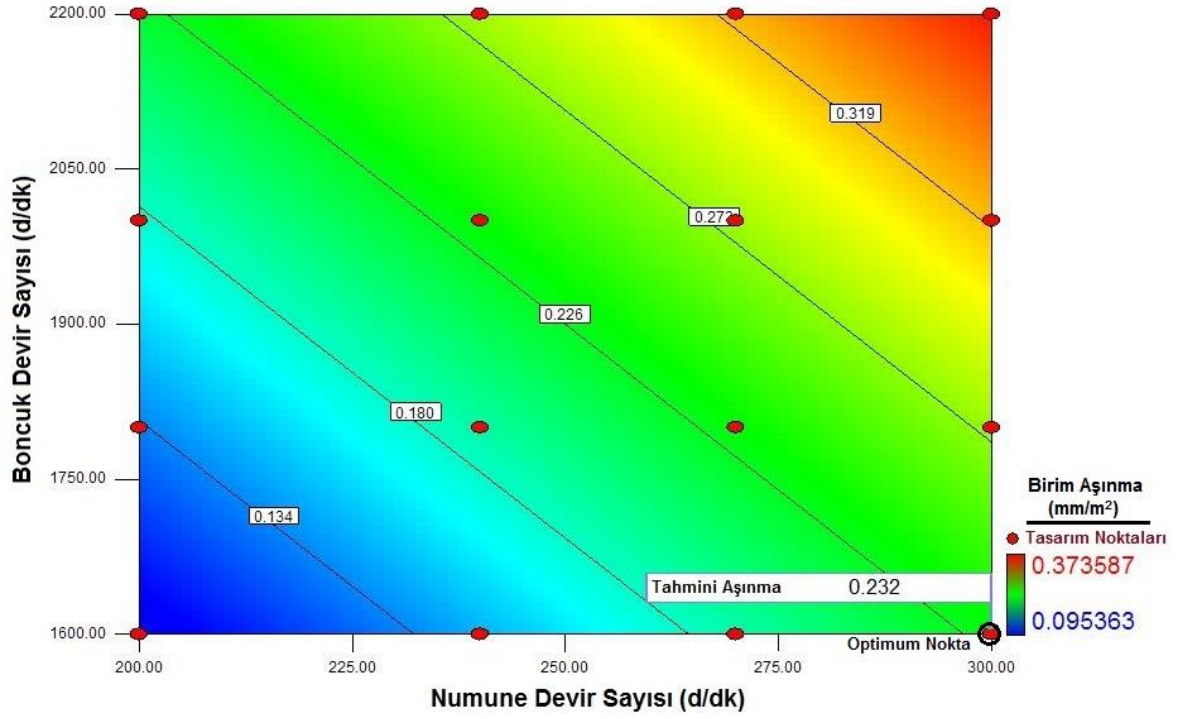
EK 2.8. Papatya Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları



EK 2.9. Rozelya Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları



EK 2.10. Sivrihisar Bej doğal taşı için kesilebilirlik abakları



EK 3.

Granitler için oluşturulan kesilebilirlik abakları

EK 3.1. Kaman Gri doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 3.2. Savcılı 1 (iri taneli) doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 3.3. Savcılı 2 (ince taneli) doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 3.4. Bergama Gri doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 3.5. Bianco Sardo doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 3.6. Siya Büyü doğal taşı için kesilebilirlik abakları

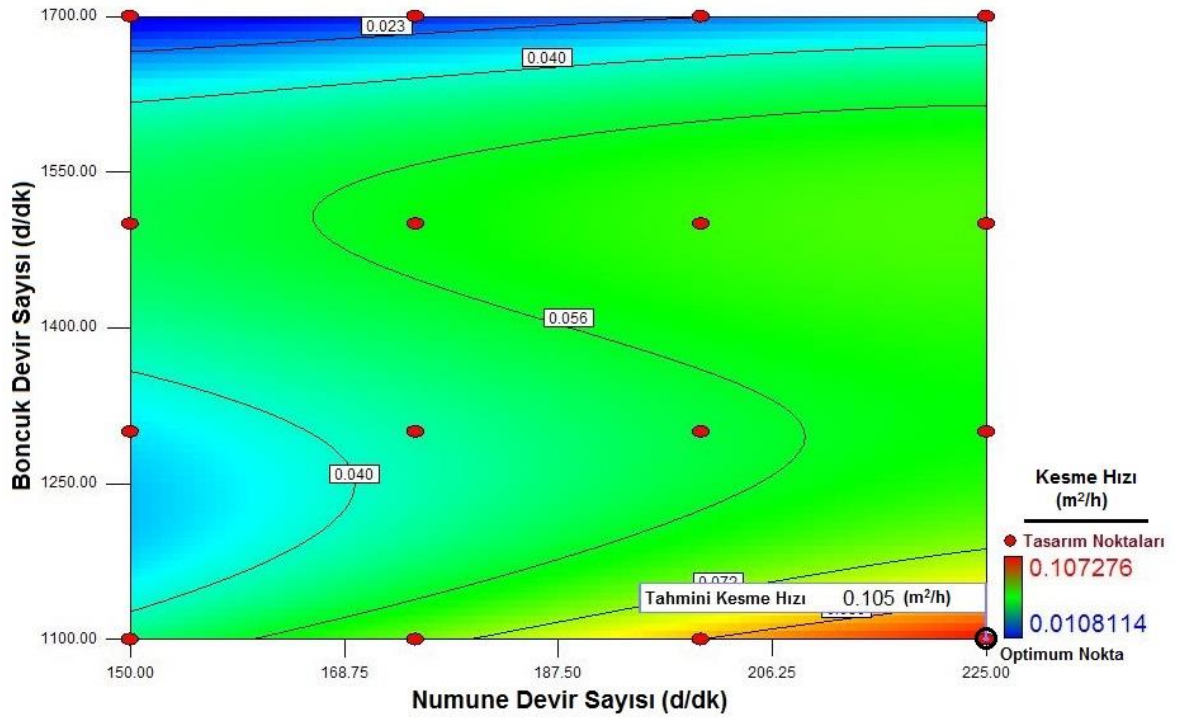
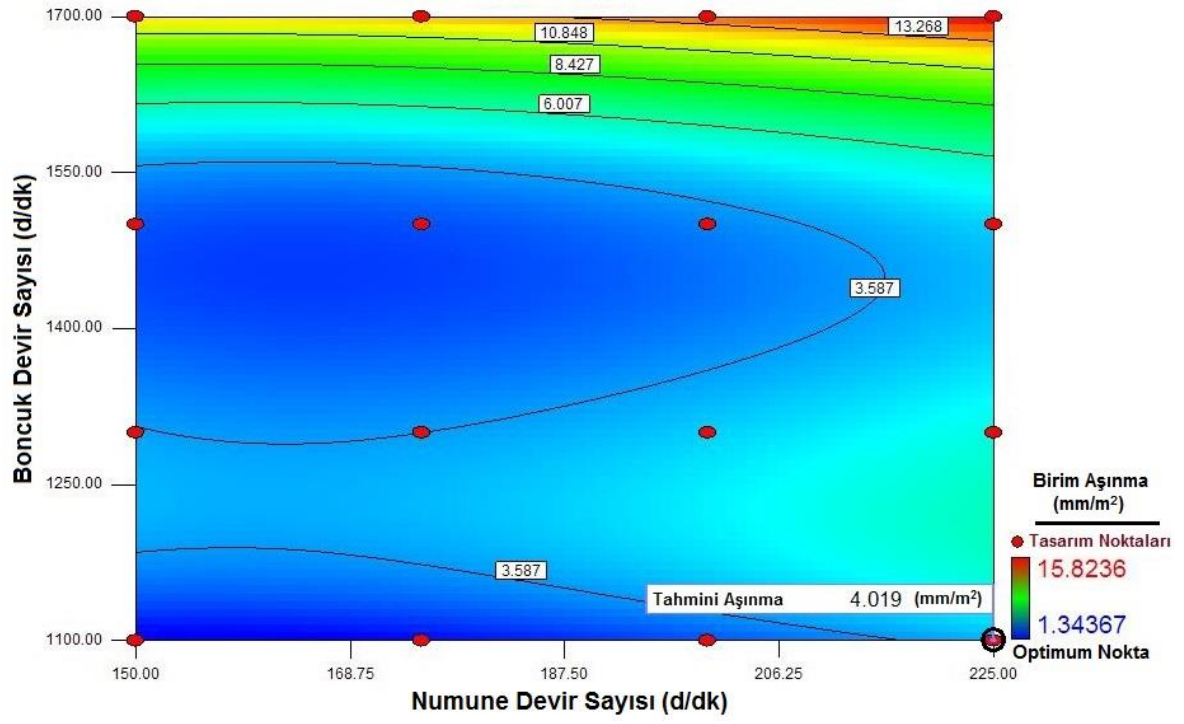
EK 3.7. Aksaray Yaylak doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 3.8. Giresun Vizon doğal taşı için kesilebilirlik abakları

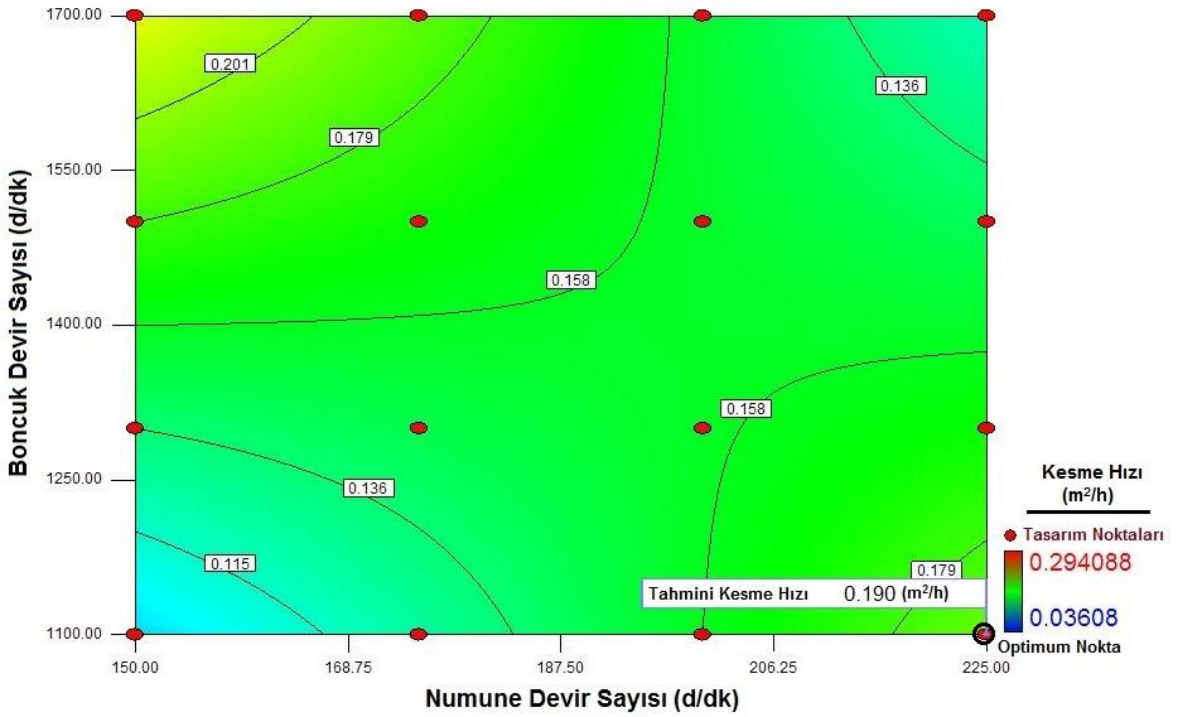
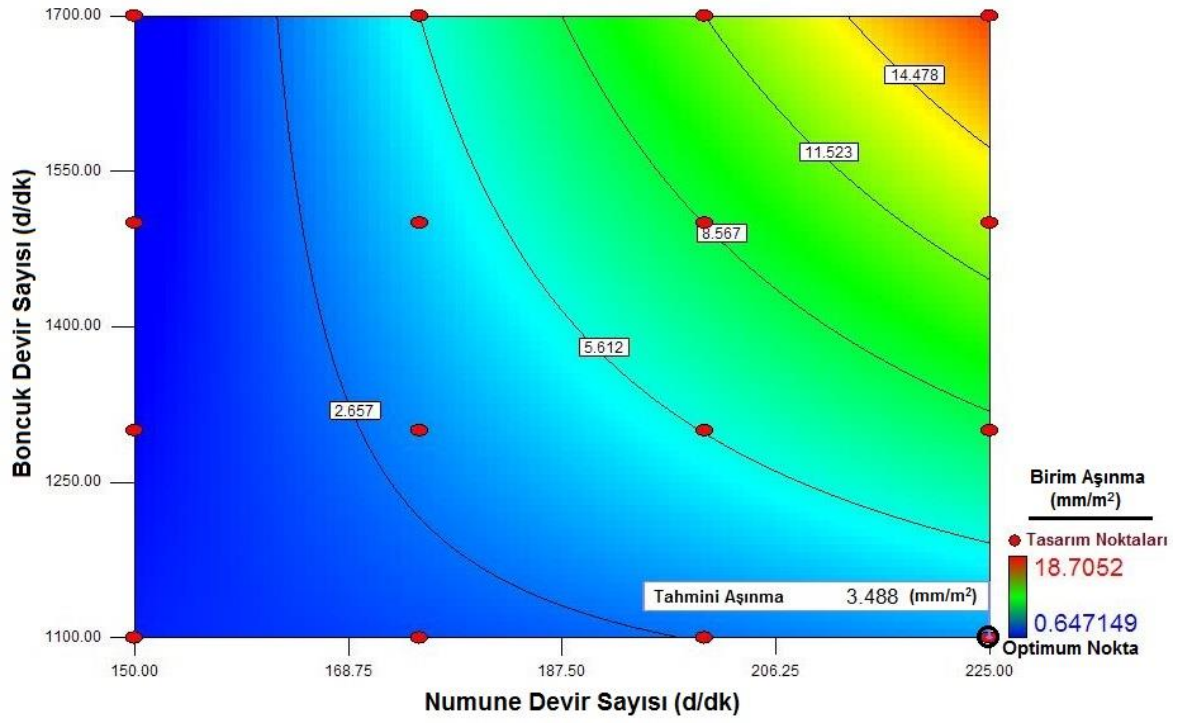
EK 3.9. Crema Lal doğal taşı için kesilebilirlik abakları

EK 3.10. Balaban Yeşil doğal taşı için kesilebilirlik abakları

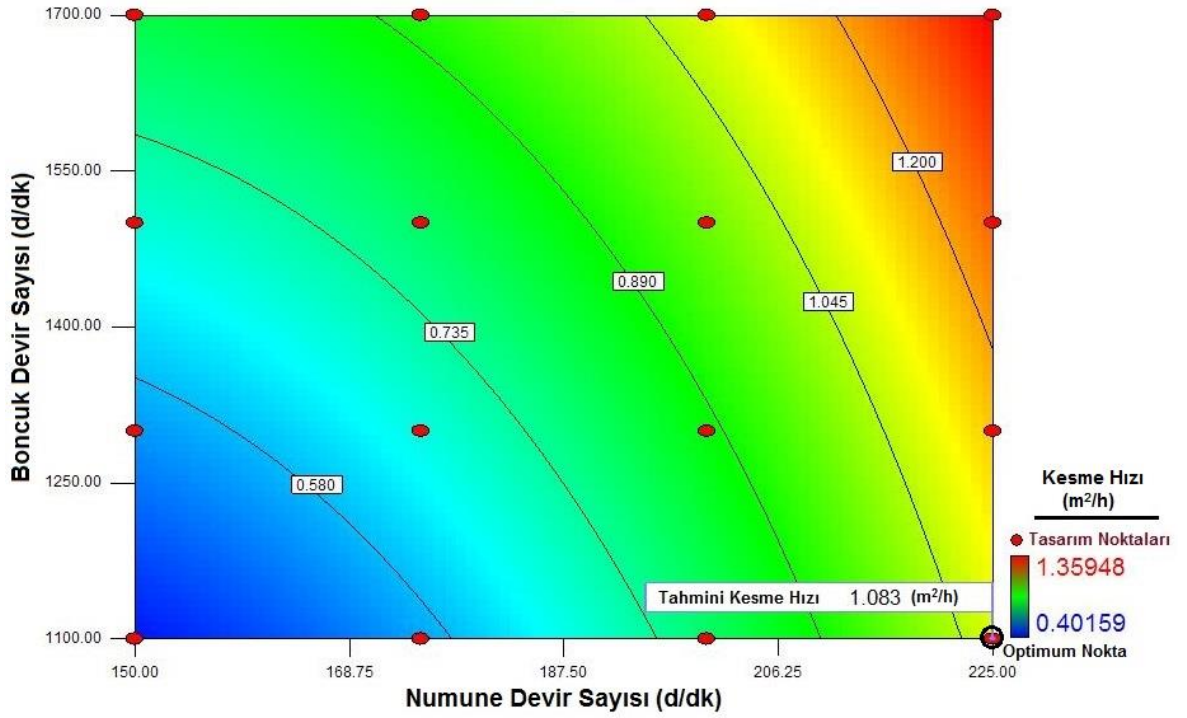
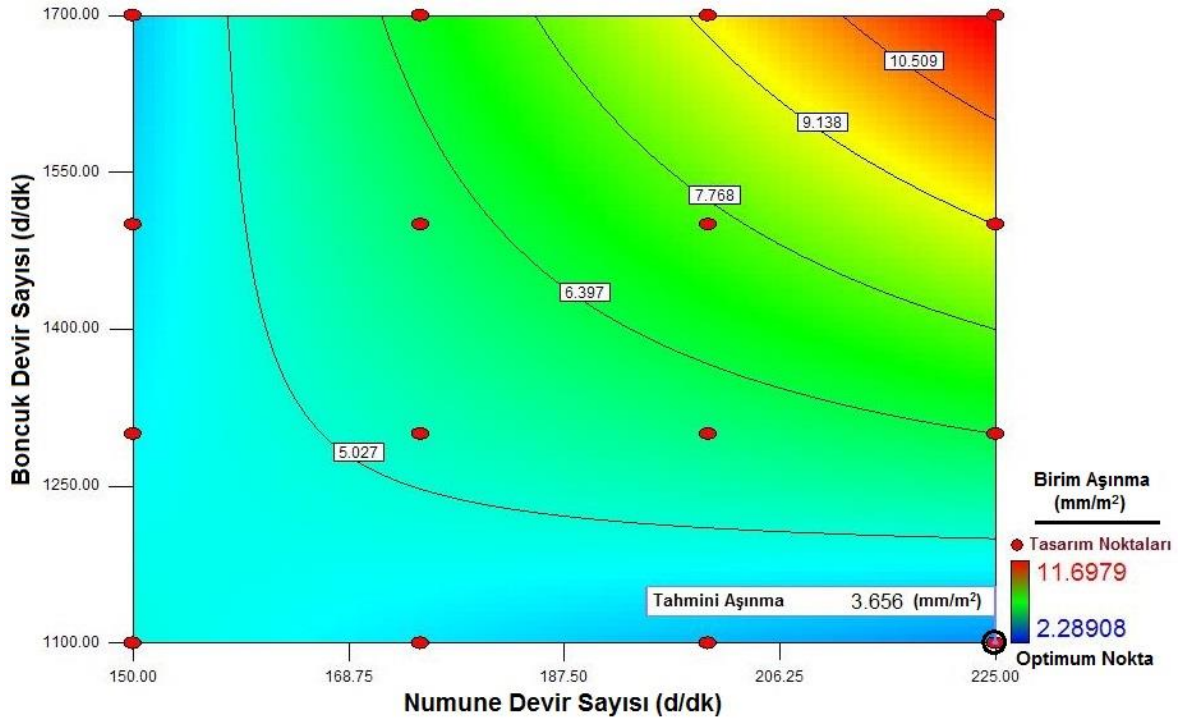
EK 3.1. Kaman Gri doğal taşı için kesilebilirlik abakları



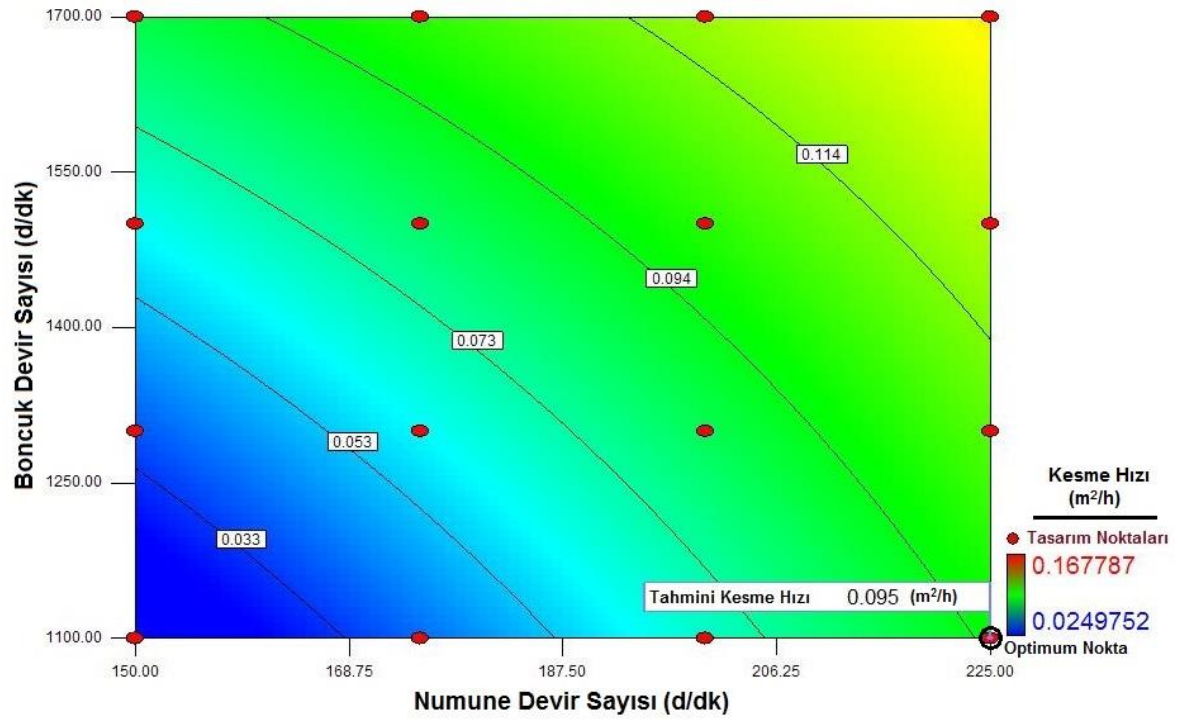
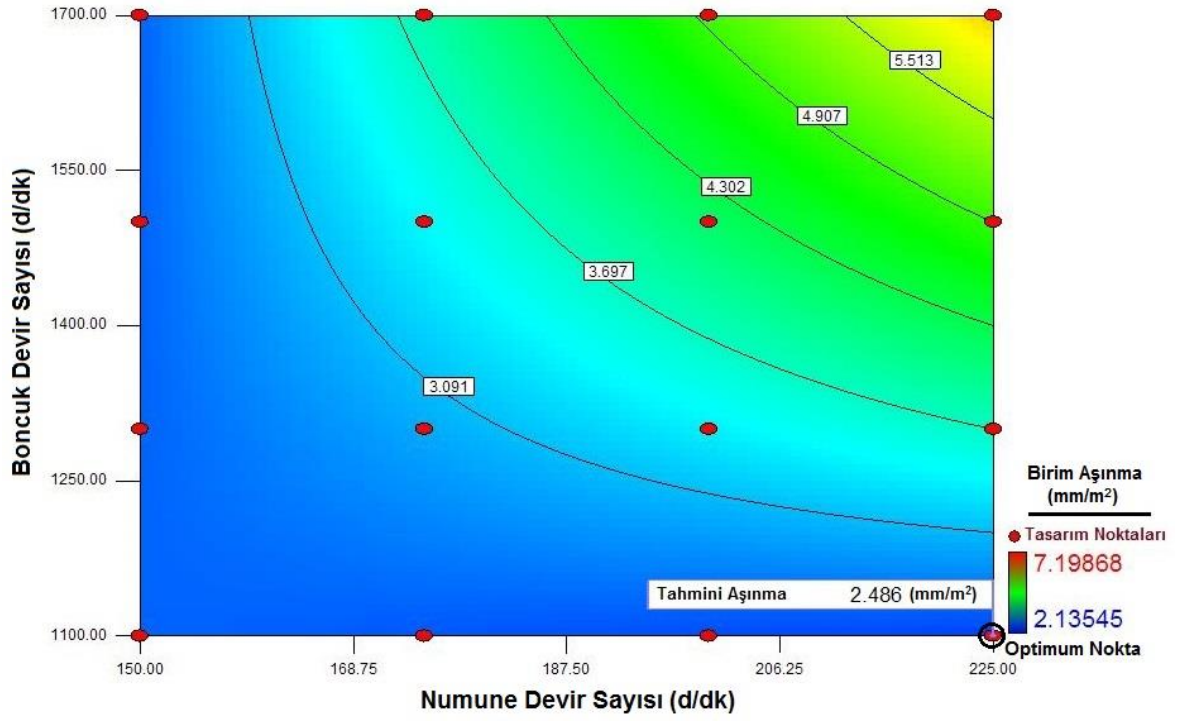
EK 3.2. Savcılı 1 (iri taneli) doğal taşı için kesilebilirlik abakları



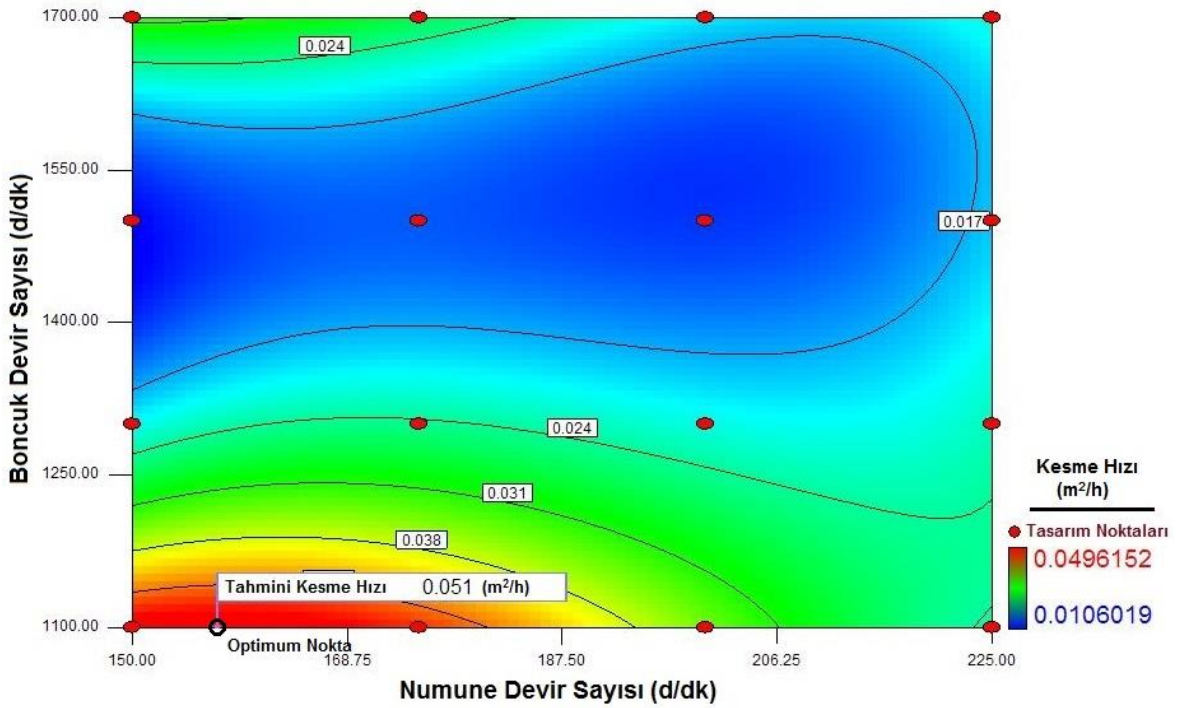
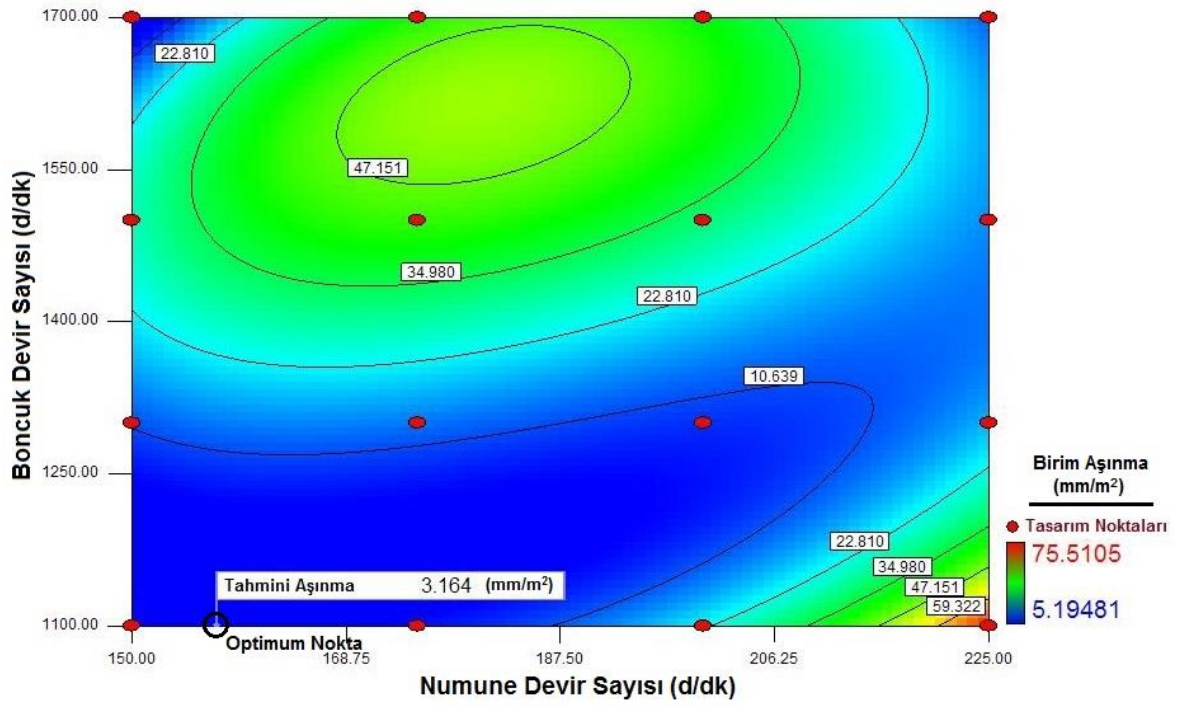
EK 3.3. Savcılı 2 (ince taneli) doğal taşı için kesilebilirlik abakları



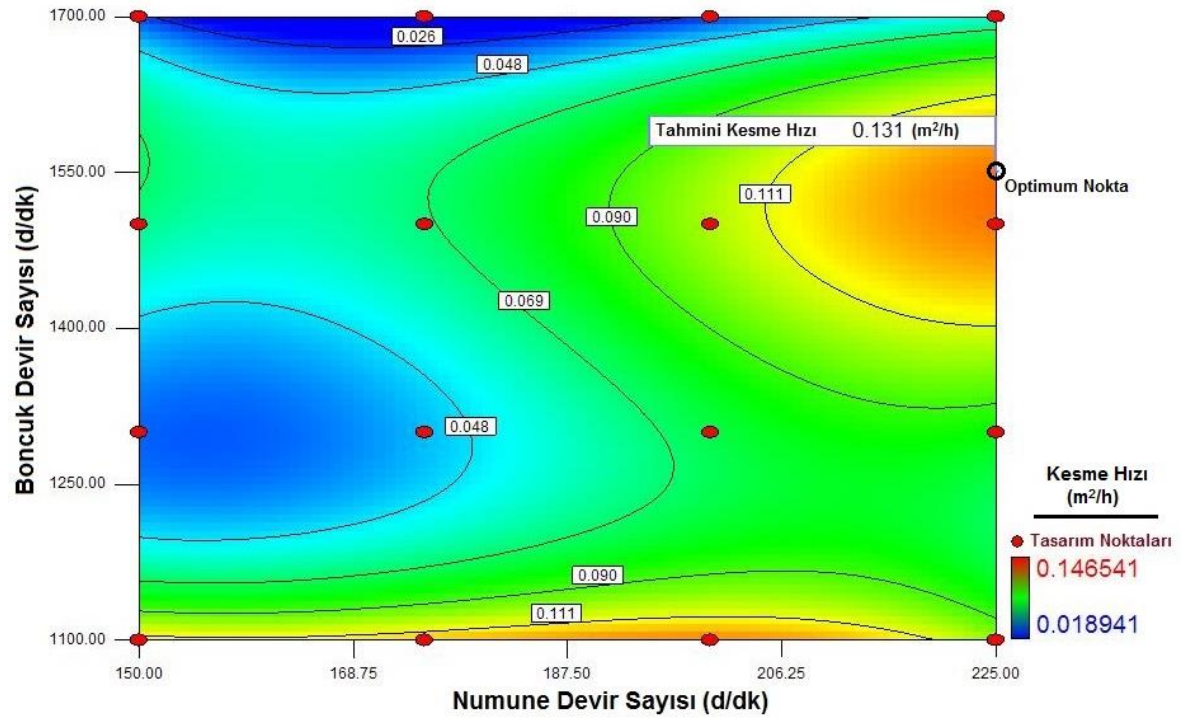
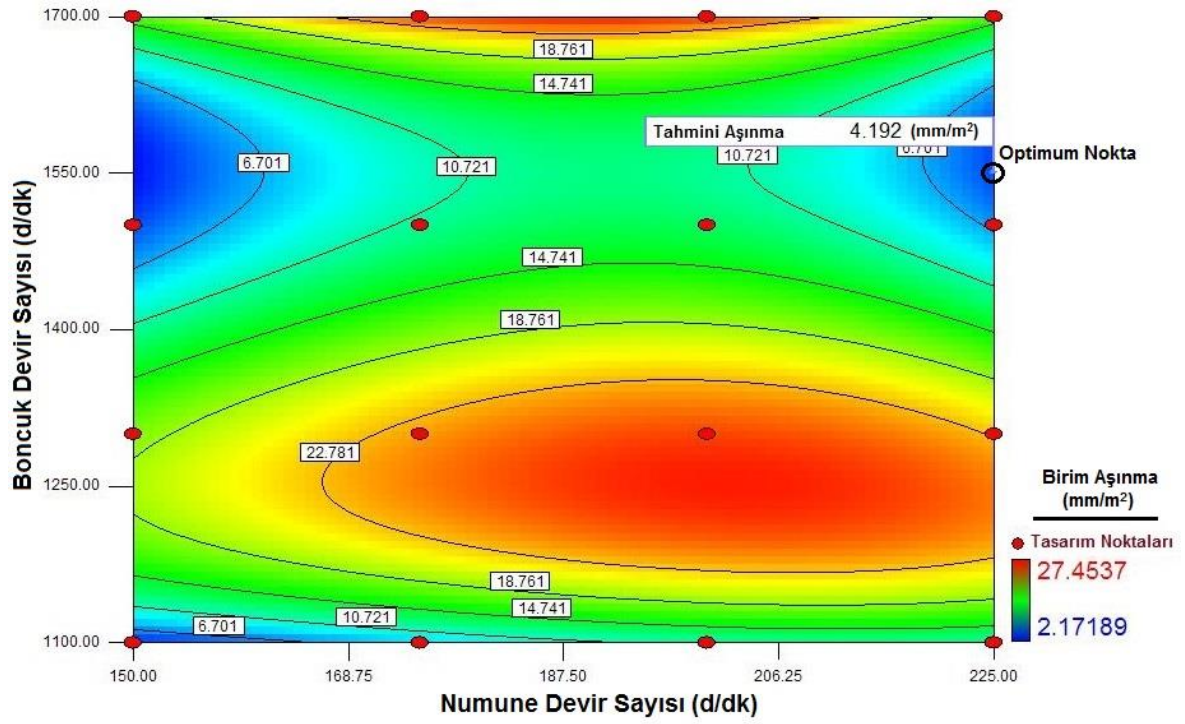
EK 3.4. Bergama Gri doğal taşı için kesilebilirlik abakları



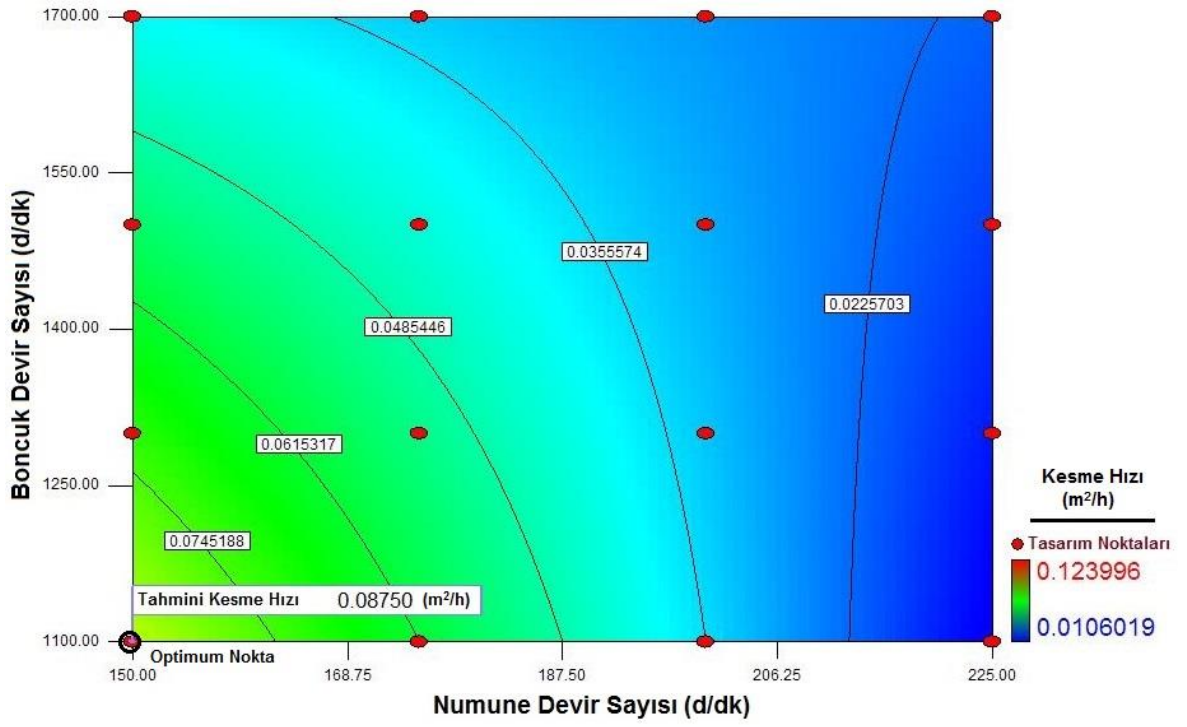
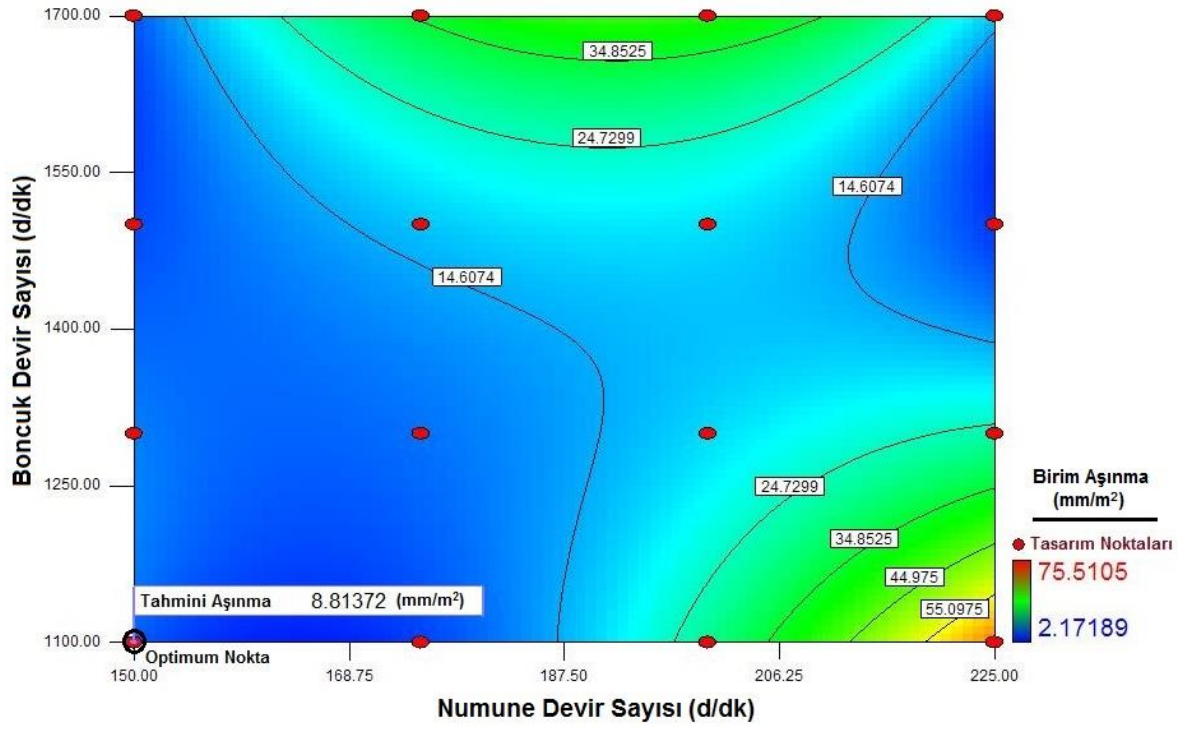
EK 3.5. Bianco Sardo doğal taşı için kesilebilirlik abakları



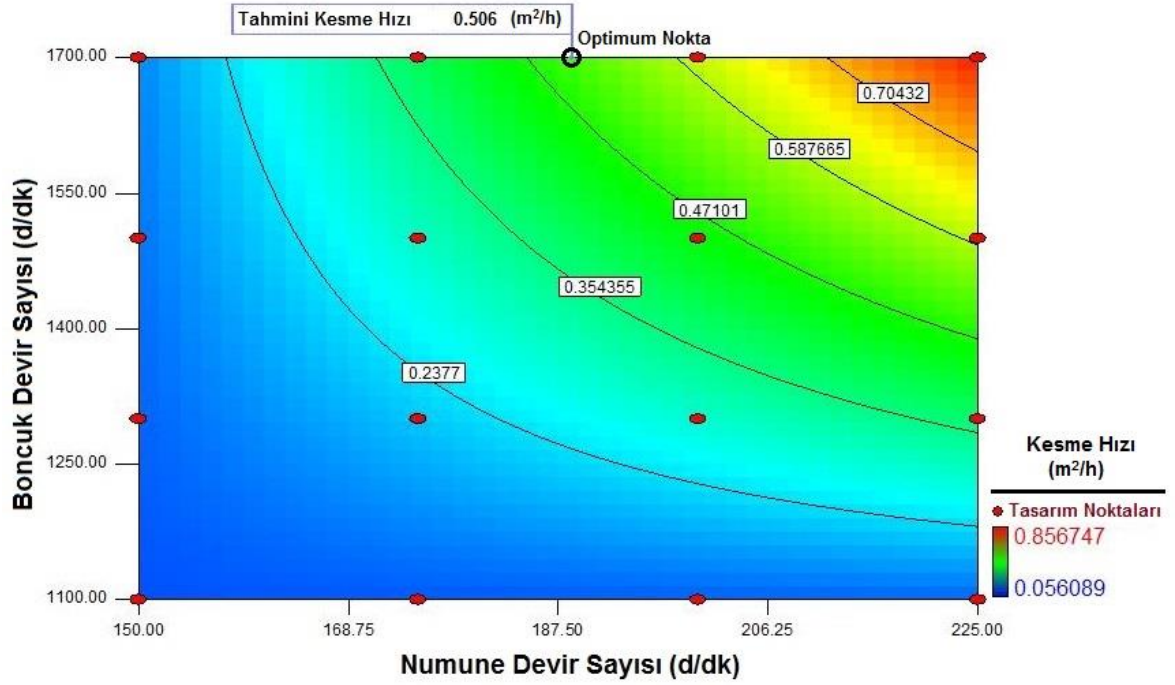
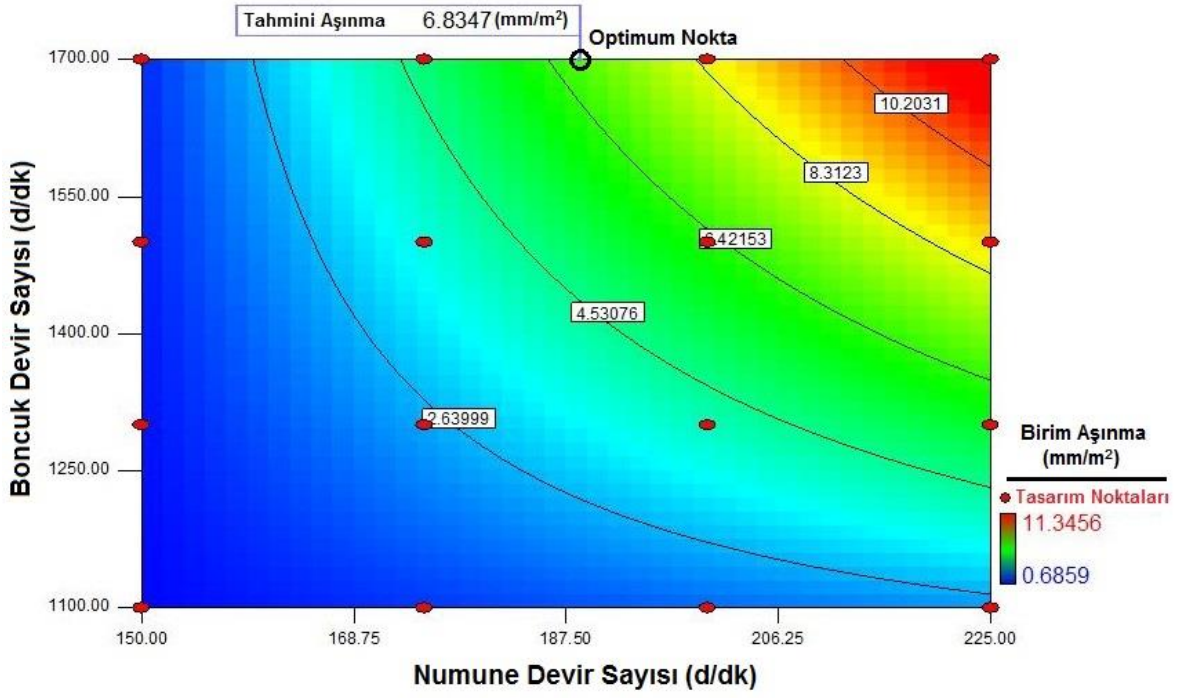
EK 3.6. Siyah Büyü doğal taşı için kesilebilirlik abakları



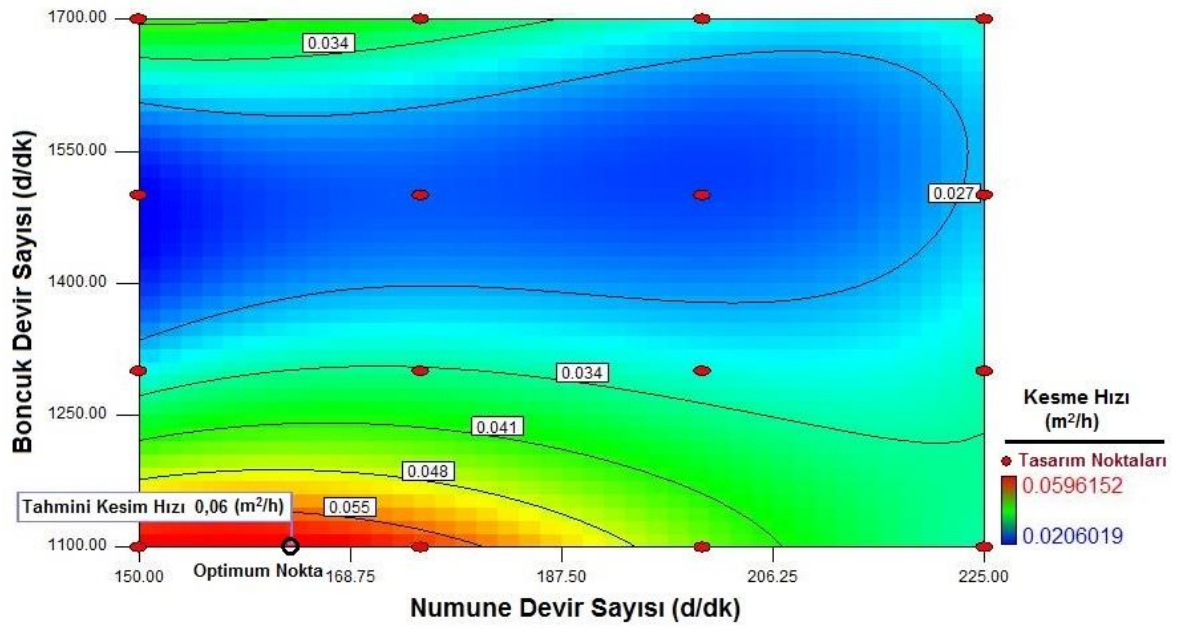
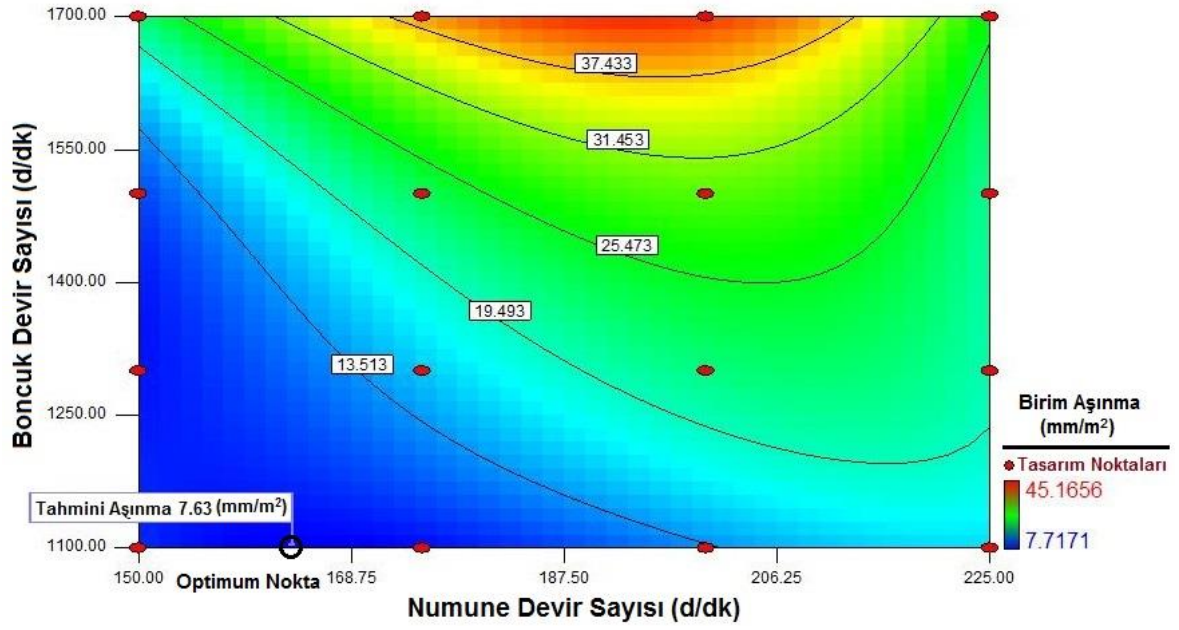
EK 3.7. Aksaray Yaylak doğal taşı için kesilebilirlik abakları



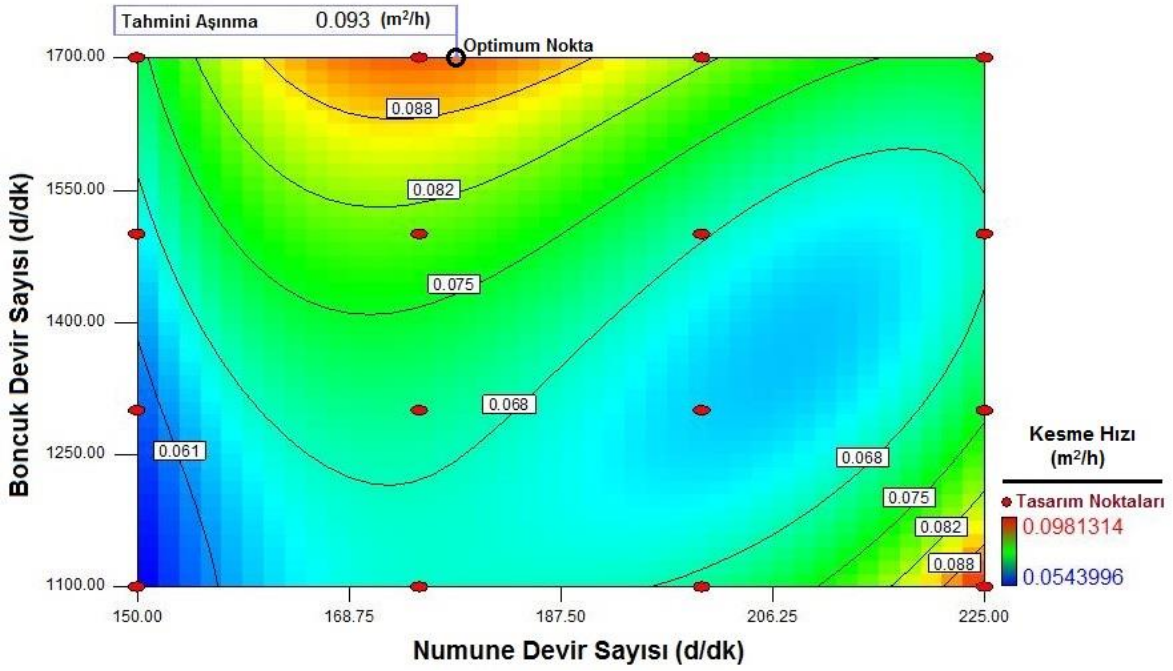
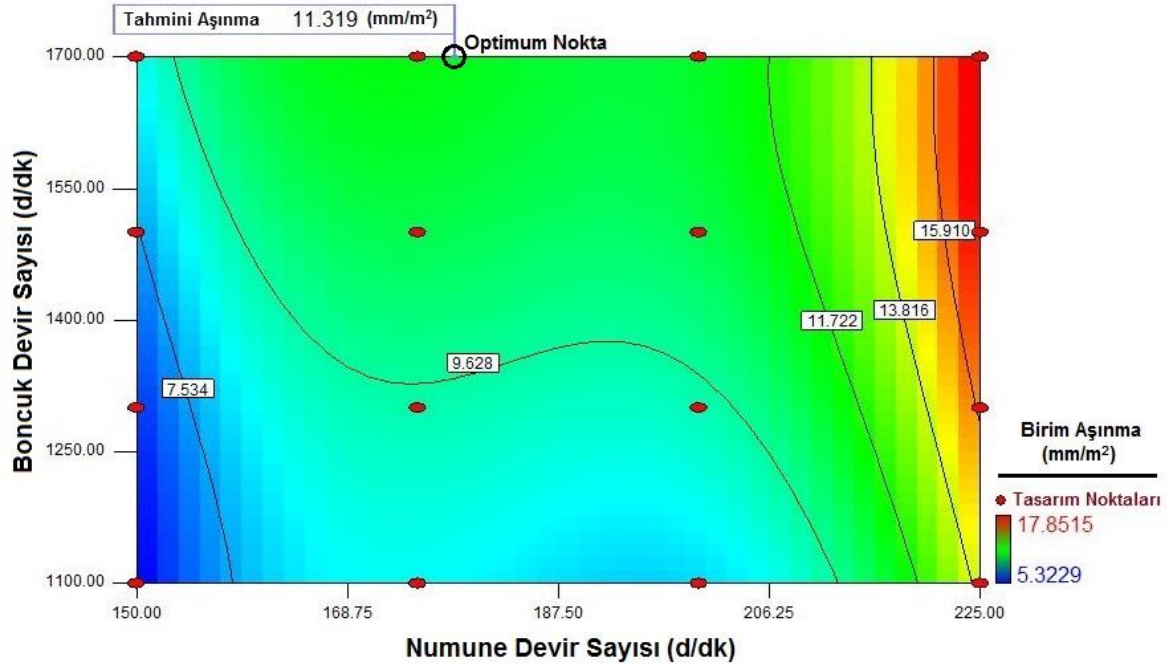
EK 3.8. Giresun Vizon doğal taşı için kesilebilirlik abakları



EK 3.9. Crema Lal doğal taşı için kesilebilirlik abakları



EK 3.10. Balaban Yeşil doğal taşı için kesilebilirlik abakları



ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Ediz Sadık KANBİR

Doğum Yeri : Ankara

Medeni Hali : Evli

E-posta : eskanbir@ahievran.edu.tr

Adresi : Oyak Sitesi 415.Cadde 24.Giriş No:16 Birlik Mahallesi Çankaya/ANKARA

Eğitim

Lise : 1996-1999 Ayrancı Lisesi

Lisans : 1999-2004 Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

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

Doktora : 2007-2013 Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce, 75 - KPDS

İş Deneyimi

10/2007 - : Öğretim Görevlisi, Ahi Evran Üniversitesi

Sondaj Teknolojisi Bölümü

Deneyim Alanları

Elmas Telli Kesme Yöntemi, Açık Ocak İşletmeciliği, Mermer Teknolojileri

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

Elmas Tel Kesme Yönteminde Kesilebilirlik Abaklarının Oluşturulması ve Elmas Boncuk Kesme Mekanizmasının Sayısal Modellemesi, TÜBİTAK, Proje No:109M106, Şubat 2013

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

1. **Kanbir E.S.**, Özçelik, Y., “Development of Cuttability Abacus for Granite Sample in Diamond Wire Cutting”, IMCET’13 22. International Mining Congress And Exhibition of Turkey, 2013
2. **Kanbir E.S.**, Özçelik, Y., “Development Of Cuttability Charts For a Marble Cutting With Diamond Wire In Quarry”, MERSEM2012 8th International Marble and Natural Stone Congress, 2012
3. Özçelik, Y., Yilmazkaya, E., **Kanbir E.S.**, “Investigation of Correlation of Rock Brittleness with Performance Parameters on Granite Cutting with Diamond Wire”, Global Stone Congress 2012
4. Özçelik, Y., **Kanbir E.S.**, Yilmazkaya, E., “Development of Cuttability Charts for a Limestone Cutting with Diamond Wire in Quarry”, Global Stone Congress 2012
5. Özçelik, Y., **Kanbir E.S.**, “Determination of Optimum Working Condition and Development of Cuttability Abacus for a Limestone and Real Marble Sample in Diamond Wire Cutting”, 45th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, San Francisco, 2011.
6. Özçelik, Y., **Kanbir E.S.**, 2011, “Development of Cuttability Abacuses in Diamond Wire Cutting Method on Limestone Sample”, IMCET’11 22. International Mining Congress And Exhibition of Turkey, 2011.
7. Özçelik, Y., **Kanbir E.S.**, “Development Of Cuttability Abacuses in Diamond Wire Cutting Method”, MERSEM’10 Türkiye X. Uluslararası Doğaltaş Kongresi, 2010