

Mermer Ocaklarında Kullanılan Elmas Tel Kesme Makinası Performansının Bulanık
Mantık Yaklaşımıyla Belirlenmesi

Kerem Özgüleç

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2020

Determination of Diamond Wire Cutting Machine Performance in Marble Quarries
by Fuzzy Logic Approach

Kerem Özgüleç

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mining Engineering

June 2020

Mermer Ocaklarında Kullanılan Elmas Tel Kesme Makinası Performansının Bulanık
Mantık Yaklaşımıyla Belirlenmesi

Kerem Özgüleç

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mekanizasyonu ve Teknolojileri Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Melih İphar

Haziran 2020

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Melih İphar danışmanlığında hazırlamış olduğum “Mermer Ocaklarında Kullanılan Elmas Tel Kesme Makinası Performansının Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Belirlenmesi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 01/06/2020

Kerem Özgüleç

İmza

ÖZET

Dünya doğal taş rezervinin yaklaşık %40'ına sahip olan ülkemizde mermer ocaklarının ve işletmelerinin sayısı günden güne artış göstermektedir. Dünyanın en zengin mermer yataklarının bulunduğu Alp-Himalaya dağları kuşağında yer alan Türkiye, sektörde söz sahibi bir konumdadır. Ülkemiz, 2019 yılında yaklaşık 1.864 milyar dolarlık doğal taş ihracatı yaparak dünyada ilk sırada yer almıştır. Bu ihracat potansiyelinden anlaşılacağı gibi, ülkemizde faaliyet gösteren ocakların tam kapasiteyle çalışarak bu talepleri karşılayabilmesi gerekmektedir. Talep edilen blok üretim miktarlarının zamanında yetiştirilebilmesi de ancak iyi bir iş organizasyonunun ve üretim planlamasının sağlanmasıyla mümkün olabilmektedir. Bu nedenle; mermer, traverten gibi doğal taş üretimi yapılan bir açık işletmede blokların ne kadar zamanda kesilebileceğinin önceden tahmin edilebilmesi, iç ve dış piyasadan talep edilen blokların zamanında karşılanması ile ilgili oldukça önemli bilgiler verecektir. Bu amaçla, Bilecik ili Söğüt ilçesinde faaliyet gösteren ve Gökyar firmasına ait bir açık ocakta çalışan elmas tel kesme makinalarının kesme performansları 3 yıl süreyle takip edilmiştir. Elmas tel kesme makinalarının kesme performansını etkileyen parametreler; kayaç türü, elmas tel kesme makinasının gücü, kesim türü ve operatör becerisi olarak sıralanabilir. Bu parametrelerden bazıları kesin bir değerle ifade edilebilirken bazı parametreler ise dilsel olarak ifade edilebilmektedir. Dilsel ifadelerin bir tahmin modelinde kullanılması için literatürde yararlanılan en yaygın yöntem bulanık mantık yöntemidir. Bu çalışmada, mermer ve traverten olmak üzere 2 doğal taş grubundan elde edilen elmas tel kesme hızı verileri ve kesme hızını etkileyen parametrelere ait saha gözlemleri kullanılarak Mamdani algoritmasını kullanan bir bulanık model oluşturulmuştur. Oluşturulan bulanık mantık tabanlı tahmin modeli kullanılarak, hangi tür kayaçta hangi makina ve operatörle nasıl bir kesim performansı gerçekleştirilebileceğini önceden belirleyebilmek mümkün hale gelmiştir. Buradan elde edilecek sonuçlar da, mermer ya da traverten ocaklarında yapılacak olan blok üretimlerinin iş-zaman çizelgesine uygun olup olmayacağına belirlenmesinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: “Elmas tel kesme makinası, kesim hızı, Mamdani algoritması, bulanık mantık, doğal taş ocağı”

SUMMARY

The number of marble quarries and enterprises in our country, which has approximately 40% of the world natural stone reserve, is increasing day by day. Located in the world's richest resources of marble found that the Alpine-Himalayan mountain belt, Turkey is in a position to have a say in the industry. In 2019, our country ranked first in the world by exporting natural stone worth approximately \$ 1.864 billion. As can be seen from this export potential, the quarries operating in our country should be able to meet these demands by working at full capacity. The timely production of the desired block production amounts is possible only by providing a good work organization and production planning. Therefore; in a quarry where natural stone production such as marble and travertine is produced, predicting how long the blocks can be cut will provide important information about the timely producing of the blocks requested from the domestic and foreign markets. For this purpose, the cutting performances of the diamond wire cutting machines operating in an open pit belonging to Gökyar Marble Company operating in Söğüt district of Bilecik were followed for 3 years. It can be said that; parameters affecting the cutting performance of diamond wire cutting machines; rock type, power of diamond wire cutting machine, cutting type and operator skill. Some of these parameters can be expressed with a crisp value, while some parameters can be expressed in linguistic form. Fuzzy logic is the most common method used in the literature to use linguistic expressions in a prediction model. In this study, a fuzzy model using Mamdani algorithm has been constructed by using field data of diamond wire cutting speed data obtained from two natural stone groups, marble and travertine, and field observations. By using the fuzzy logic-based estimation model, it has become possible to determine in advance which kind of cutting performance can be realized with which machine and operator. The results obtained here can be used to determine whether the block productions to be made in marble or travertine quarries are suitable for the work-time schedule.

Keywords: “Diamond wire cutting machine, cutting speed, Mamdani algorithm, fuzzy logic, quarry”

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Melih İphar'a, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmaması, çalışmalarım ile tezimin bu noktaya gelebilmesi adına sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan Maden Mühendisliği bölümündeki tüm hocalarıma teşekkür ederim. Gökyar Mermer firması yetkilileri olan Keleş ailesine de teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen değerli hayat arkadaşıma Ela Özgüleç 'e ve oğullarımız Rüzgâr ve Deniz'e sabırlarından dolayı sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM	8
3.1. Materyal	8
3.2. Yöntem ve Plan	8
4. GENEL BİLGİLER	10
4.1. Mermer ve Oluşumu	10
4.2. Kullanım Alanları	10
4.3. Tarihte Mermer Ocakçılığı	11
4.4. Günümüz Mermer Ocakçılığı ve Elmas Telli Kesme Metodu	11
5. GÖKYAR MERMER OCAĞI	14
5.1. Söğüt Bej Mermeri ve Golden Traverten Üretilen Ocağın Genel Özellikleri	14
5.2. Söğüt Beji ve Golden Traverten'in Fiziksel Özelliklerinin Karşılaştırılması	15
5.3. Blok Üretimi Aşamaları	15
5.3.1. Örtü tabakasının hafriyatı	17
5.3.2. Düşey ve yatay deliklerin delinmesi	17
5.3.2.1. <u>Delici makina ve özellikleri</u>	20
5.3.3. Tel kesme makinası ile ana kütlelenin kesilmesi	22
5.3.3.1. <u>Elmas tel tanımı</u>	23
5.3.3.2. <u>Kesime başlanması</u>	25
5.3.4. Ayırıcı ile kesilen parçanın ayrılması	26

5.3.5. Ayrılan parçaların sayılanması	27
5.3.6. Stok sahasına taşıma ve sevkiyat	28
5.4. Elmas Telle Kesim Ölçümleri	28
6. BULANIK MANTIK.....	35
6.1. Giriş	35
6.2. Bulanık Mantık Kavramı	35
6.3. Mamdani Yaklaşımı.....	36
7. ELMAS TEL KESME MAKİNASI PERFORMANSINI TAHMİN ETMEYE YÖNELİK OLUŞTURULAN BULANIK MODEL	44
7.1. Girdi Parametrelerini Temsil Eden Bulanık Kümeler	44
7.1.1. Tel kesme makinasının gücü	44
7.1.2. Kesim türü	45
7.1.3. Kayaç türü	46
7.1.4. Operatör becerisi	46
7.2. Çıktı Parametresi Kesme Hızını Temsil Eden Bulanık Kümeler	47
7.3. Bulanık Sistemin Kurallarının Belirlenmesi.....	48
8. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	50
SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. Ocağın uydu görünümü	14
5.2. Mermer ocağı iş akım şeması	16
5.3. Düşey deliklerin delinmesi	18
5.4. Deliklerin hizalanması	18
5.5. Yatay deliklerin delinmesi	19
5.6. İlk yatay deliğin delinmesi (Anonim, 2017a)	20
5.7. Yatay deliklerin kavuşturulması (Anonim, 2017b)	20
5.8. Hidrobarsan-Y324 mobil sondaj makinası	21
5.9. Hidromotor çalışma prensibi (Anonim, 2014)	21
5.10. DTH tabancanın iç yapısı (Anonim, 2017b)	22
5.11. Köprülü elmas tel kesme makinası ve kesimi	23
5.12. Raylı elmas tel kesme makinası ve kesimi	23
5.13. Elmas tel	24
5.14. Elmas telin yapısı	24
5.15. Yatay ve düşey kesimlerin şematik görünümleri ve elmas telin yapısı (Almasi vd., 2017)	25
5.16. Blok ayırma sacının takılması ve su ile şişirilmesi	26
5.17. Sayalama tezgâhı	27
5.18. Stok sahasından bir görünüm	28
6.1. Üyelik fonksiyonları ve matematiksel ifadeleri (Amina, 2011)	36
6.2. Mamdani algoritması (İphar, 2006)	38
6.3. Bahşiş miktarının sabit oluşu	39
6.4. Bahşişin servis kalitesi dikkate alınması halinde lineer değişimi	39
6.5. Bahşiş problemi için tanımlanan değişkenler ve bulanık kümeler	40
6.6. Bahşiş problemi için oluşturulan bulanık model (Mathworks, 1998)	41
6.7. Bahşiş probleminde Mamdani algoritmasının kullanılışı (Mathworks, 1998)	42
6.8. Bahşiş probleminin bulanık model sonuçları	43
7.1. Oluşturulan bulanık model	44

7.2. Makina gücü girdi parametresini temsil eden bulanık kümeler	45
7.3. Kesim türü girdi parametresini temsil eden bulanık kümeler	45
7.4. Kayaç türü girdi parametresini temsil eden bulanık kümeler.....	46
7.5. Operatör becerisi girdi parametresini temsil eden bulanık kümeler.....	47
7.6. Kesme hızı çıktı parametresini temsil eden bulanık kümeler.....	47
8.1. Oluşturulan bulanık modelden sonuçların alınması	51
8.2. Saha gözlemlerinden elde edilen ve bulanık modelle tahmin edilen kesim hızları.....	52
8.3. Ölçülen ve bulanık modelle tahmin edilen kesim hızları	54
8.4. Yüzey görüntüleyici arayüzü.....	54
8.5. Kayaç: Traverten, makina gücü – kesim türü ile kesim hızının değişimi	58
8.6. Kayaç: Mermer, makina gücü – kesim türü ile kesim hızının değişimi	58
8.7. Kesim Türü: Yan, makina gücü – kayaç türü ile kesim hızının değişimi	59
8.8. Kesim Türü: Alt, makina gücü – kayaç türü ile kesim hızının değişimi	59
8.9. Kesim Türü: Yan, makina gücü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi	61
8.10. Kesim Türü: Alt, makina gücü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi	61
8.11. Makina Gücü: 37 kW, kesim türü – kayaç türü ile kesim hızının değişimi	62
8.12. Makina Gücü: 45 kW, kesim türü – kayaç türü ile kesim hızının değişimi	63
8.13. Makina Gücü: 55 kW, kesim türü – kayaç türü ile kesim hızının değişimi	63
8.14. Makina Gücü: 37 kW, kesim türü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi	65
8.15. Makina Gücü: 45 kW, kesim türü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi	65
8.16. Makina Gücü: 55 kW, kesim türü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi	65
8.17. Makina Gücü: 37 kW, kayaç türü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi	66
8.18. Makina Gücü: 45 kW, kayaç türü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi	66
8.19. Makina Gücü: 55 kW, kayaç türü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Literatürdeki araştırmaların kronolojik tablosu (Almasi vd., 2017).....	3
4.1. Elmas telli kesimi etkileyen faktörler (Özçelik,1999).....	13
5.1. Söğüt Beji ve Golden Traverten taşlarının fiziksel özellikleri	15
5.2. Ocakta kullanılan dağ kesme makinalarının teknik özellikleri	29
5.3. Ocakta kullanılan sayalama makinalarının teknik özellikleri.....	29
5.4. Kesim hesaplamaları için örnek tablo	30
5.5. 55 kW makina ile Söğüt Beji ve Golden Traverten yan kesim parametreleri.....	31
5.6. 55 kW makina ile Söğüt Beji ve Golden Traverten alt kesim parametreleri.....	31
5.7. 45 kW makina ile Söğüt Beji ve Golden Traverten yan kesim parametreleri.....	32
5.8. 45 kW makina ile Söğüt Beji ve Golden Traverten alt kesim parametreleri.....	32
5.9. 37 kW makina ile Söğüt Beji ve Golden Traverten yan kesim parametreleri.....	33
5.10. 37 kW makina ile Söğüt Beji ve Golden Traverten alt kesim parametreleri.....	33
5.11. 55 kW makina ile Söğüt Beji yan kesim ölçümleri	34
5.12. 45 kW makina ile Söğüt Beji yan kesim ölçümleri	34
8.1. Gerçekleşen ve bulanık modelle tahmin edilen elmas tel kesme hızları	50
8.2. Bulanık tahmin modelinin performans indeksleri	53
8.3. Bulanık modelin sonuçlarını gösteren grafiklerde kullanılan parametreler	56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler****Açıklama**MgCO₃

Magnezyum karbonat

CaCO₃

Kalsiyum karbonat

Kısaltmalar**Açıklama**

MAPEG

Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü

ÇED

Çevresel Etki Değerlendirmesi

DTH

Down The Hole

VAF

Variance Account For

RMSE

Root Mean Square Error

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Mermercilik denilince günümüzde akla gelen ilk kazanım yöntemi elmas tel ile yapılan kesim yöntemidir. Bu yöntem; elektrik tahrikli bir motorun miline sabitlenmiş, ön ve arka yüzleri arasında telin oturması için kanalı bulunan kasnağın etrafından geçirilen elmas parçacıklı telin kayaç yüzeyini aşındırma yolu ile kesme işlemi olarak tarif edilebilir. Elektrik motorunu üzerinde taşıyan, kesme işlemi gerçekleştirilen üniteye ise elmas telli kesme makinası denmektedir. Güncel koşullarda kullanımı en kolay ve ekonomik yöntemdir. Dünya üzerinde de çeşitli bölgeler incelendiğinde kullanımı yaygın olan metodun ismi yine elmas telli kesim yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Elmas tel kesme makinaları sahip olduğu motorun gücüne, yapılan kesimin ve kayacın türüne, kesimi gerçekleştiren operatörün yetkinliğine göre kesim hızına direkt olarak etkiyebilir. Mermer ocakçılığında üretim yönteminin belirlenmesi sonrası ekipman seçimi ve yetkin kadronun varlığı üretime yönelik önemli parametrelerdendir. Mühendislik çalışmalarının yardımcısı olan verimlilik analizi adına yapılması gereken de ekipmanları ve üretimi etkileyen tüm şartları belli kriterlere göre sınıflandırarak içlerinden en yüksek üretimi sağlayan kombinasyonu seçmektir. Sezon başlangıcında yapılan satışların sözleşme ve teslim süresi planlarındaki süreler üretim adına son derece önem arz etmektedir. Üretim planlaması adına geliştirilecek yeni bir tahmin modeliyle de bu süreçlerin önceden kestirilebilmesi ve çalışma programı oluşturulması, firma adına kârın artması anlamına gelmektedir. Bu çalışmada; elmas tel kesme makinasının motor gücüne, yapılan kesimin ve kayacın türüne, kesimi gerçekleştiren operatörün yetkinliğine göre kesim performanslarının Gökyar Mermer İnş. Turz. Nak. San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne ait Söğüt / Bilecik'te bulunan Söğüt Beji Mermer Ocağındaki uygulamasına değinilmiştir. Üretim planlaması adına geliştirilebilecek bir bulanık mantık destekli çalışma modeliyle çalışma veriminin artması hedeflenmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Taş ocakçılığı ve işletme maliyetlerinin çoğu kesme işlemiyle doğrudan ilgilidir. Kesme işleminin, özellikle işleme tesislerindeki optimizasyonu üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Çoğu çalışmanın amacı; süreçte tüketilen enerjiyi azaltmak, kesici takım aşınmasını azaltmak ve kesme işleminde yer alan parametreler arasındaki optimum ilişkiyi belirleyerek kesme maliyetlerini azaltmaktır.

Bu konuda yapılan çalışmalar genellikle jeo-mekanik parametreler ve çalışma parametreleri ile ilgilidir. Bazı çalışmalar kesme hızının jeo-mekanik parametrelerle ilişkisini tahmin etmeye çalışmıştır (Wei vd., 2003; Ersoy ve Atıcı, 2005; Tiryaki ve Dikmen, 2006; Ersoy ve Atıcı, 2007; Fener vd., 2007; Tutmez vd., 2007; Yurdakul ve Akdas, 2012; Sengun ve Altindag, 2013; Yurdakul vd., 2014). Örneğin, mikro ve makro sertlik ile kesme hızı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Sonuçlar, makro sertliğin kesme hızı ile ters orantılı olduğunu ve mikro sertliğin kesme oranını ölçmek için iyi bir kriter olmadığını göstermiştir (Sánchez Delgado vd., 2005; Xie ve Tamaki, 2007; Güney, 2011; Yılmaz, 2011; Kahraman ve Gunaydin, 2008). Diğer çalışma kategorisinde, çalışma parametrelerini ve kesme makinası parametrelerini değiştirerek kesme işlemi için en uygun ayarların belirlenmesine yönelik incelemeler gerçekleştirilmiştir (Webb ve Jackson, 1998; Sun vd., 2002; Ersoy ve Atıcı, 2004; Buyuksagis ve Goktan, 2005; Özçelik, 2005a; Amaral vd., 2009; Copur, 2010; Copur vd., 2011; Yılmaz vd., 2011; Yılmaz, 2013; Yılmaz vd., 2013; Bagherpour vd., 2014; Hekimoglu, 2014; Yurdakul, 2015). Çalışma parametreleri; kesim ayarlarını (Buyuksagis, 2007; Pershin ve Ulyakov, 2014), kesme işlemi sırasında kayaya uygulanan kuvvetleri ve kesme hızını içermektedir (Aslantas vd., 2009; Wang vd., 2010; Turchetta, 2012; Zhang vd., 2013; Karakurt, 2014).

Elmas tel kesme yönteminde etkili olan parametrelerin aşınma hızı, spesifik enerji, kesme hızı ve üretim miktarı gibi verimlilik kriterleri üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar ve ilgilendikleri parametreler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Literatürdeki araştırmaların kronolojik tablosu (Almasi vd., 2017)

Araştırmacı(lar)	Değerlendirme kriteri	İncelenen etkin parametreler
Tönshoff ve Warnecke (1982)	Kesim hızı	Yoğunluk ve aşındırıcı tane boyutu
Liao ve Luo (1992)	Matris aşınması	Kovuklaşma aşınması
Korre ve Durucan (2000)	Kesim hızı	Mikro yapılar ve eklem yönelimi
Konstanty (2002)	Kesim hızı	Halat uzunluğu ve çevresel hız
Özçelik vd. (2002)	Aşınma hızı	Kesme açısı
Beste ve Jacobson (2003)	Delici aşınması	Kayaç mikro sertliği
Özçelik (2003)	Aşınma hızı	Kayaç ve uygulama parametreleri
Hardin vd. (2004)	Halat aşınması	Besleme hızı ve kesme kuvveti
Özçelik vd. (2004)	Aşınma hızı	Yoğunluk ve aşındırıcı tane boyutu
Özçelik ve Bayram (2004a)	Aşınma hızı	Besleme hızı ve kesme kuvveti
Özçelik (2005b)	Kesim hızı	Kesme açısı
Ribeiro vd. (2007, 2011)	Amsler aşınması ve derin aşınma	Kesme hızı, pürüzlülük, sertlik
Cai vd. (2007)	Kesim hızı	Kesime başlama açısı
Jain ve Rathore (2011)	Kesim hızı	Geri çekme ve çevresel hız
Özçelik ve Yılmazkaya (2011)	Spesifik enerji ve aşınma hızı	Kesme açısı
Liedke ve Kuna (2013)	Aşınma hızı	Tane boyutu ve şekli, halat hızı
Bagherpour vd. (2014)	Kesim hızı	Birim uzunluktaki boncuk adedi
Turchetta vd. (2014)	Aşınma hızı ve kesim hızı	Halattaki tork, çekme ve açı
Khademian vd. (2015)	Kesim hızı	Blok yüksekliği ve halat uzunluğu
Almasi vd. (2015)	Kesim hızı	Geri çekme amperi
Yılmazkaya ve Özçelik (2016)	Spesifik enerji ve aşınma hızı	Çevresel hız ve kesme hızı
Hasanpour vd. (2016)	Spesifik enerji ve aşınma hızı	Çevresel hız
Almasi vd. (2017)	Kesim hızı	Kesme açısı

Kayaçların yapılarını, içerdikleri mineralleri ve özelliklerini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda incelenen parametreler: Uygulanan kuvvet (Burton vd., 2001; Prikryl, 2001; Yılmaz vd., 2011; Bandini vd., 2012; Sousa, 2013), dayanım (Benavente vd., 2008), gevreklik (Yılmaz vd., 2009; Altındağ, 2010; Altındağ ve Güney, 2010) ve diğer taş kalitesi özellikleridir (Vázquez vd., 2013). Doku, tane boyutu ve mikro çatlaklar, ayrıca kayaçların; yoğunluğu, gözenekliliği, tek eksenli basınç dayanımı ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerini de etkiler. Granit gibi doğal taşların içerdiği minerallerin boyutu, kesme hızı ile ters orantılıdır. Ayrıca, Shore sertliğinin artmasıyla kesme hızı azalmaktadır. Deneysel verilerin istatistiksel analizi, granitlerde alkali feldspatların ve kuvarsın kesme hızı üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca; kuvars içeriğinin, aşınma oranının tahmini için iyi bir kriter olmadığı belirlenmiştir (Bandini ve Berry, 2013; Vázquez vd., 2013; Khanlari vd., 2014; Sousa, 2014).

Kızılağaçlı (1988), araştırma yaptığı dönemin olanaklarını göz önünde bulundurarak kamalama yöntemi ile üretim kayıplarının yüksek seviyelerde olduğunu vurgulamış ve tel kesme yöntemi ve teknolojisini araştırmıştır. Berry vd. (1989) kesilen mermer ve traverten örneklerinde blok yüksekliğinin artmasıyla kesim hızının azaldığını gösteren ilişkiyi ortaya koymuştur. Hawkins vd. (1990) geri çekme kuvvetini kontrol altına almanın aşırı titreşimi engellediğini ortaya koymuşlardır. Bortolossi vd. (1990) elmas telli kesimi simüle ve optimize etme çalışmaları yapmışlardır. Wright (1992), elmas telli kesimde birbirinden farklı mermerler için tel ömrü ile kesim hızı arasındaki ilişkiyi araştırmıştır.

Hallez (1992), yüksek yoğunluğa sahip kireçtaşı üzerine yaptığı çalışmalar neticesinde, kesilen kütlenin üzerindeki kesim uzunluğu arttıkça kesim hızının düşeceğini ortaya koymuştur. Cook ve Smith (1993) elmas telli kesimde tellerin aşınma özelliklerini farklı mermerler için incelemişlerdir. Biasco (1993), sertliği nispeten daha yüksek olan doğal taşların elmas tel kesme makinasıyla kesilmesi işleminde plastik malzemeyle kaplanmış elmas telin güvenliği konusunda araştırma yapmış ve bu bağlamda yapılması gerekenler olduğunu belirtmiştir. Bortolossi vd. (1994) elmas telin kesme kinematığı ile ilgili eşitlikler türetmiştir. Özçelik (1999), elmas telli kesim yönteminde kesimi etkileyebilecek özellikleri araştırmış ve bu özelliklerin kendi aralarında olan ilişkilerini belirlemek amacıyla çalışmalar yapmıştır.

Korre ve Durucan (2000) yönelimleri farklı granitlerin elmas telle kesilebilme performanslarını incelemiştir. Özçelik ve Kulaksız (2000) elmas telli kesimde boncuk aşınması ve kesme açıları arasındaki etkileşimi deneysel olarak incelemiştir. Özçelik ve Özgüven (2001) sert kayalarda elmas telli kesim yönteminin kesme hızına etkisini incelemiştir ve kesim hızı ile birim aşınma arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır. Demirdağ ve Gündüz (2001) Burdur bej mermerlerinde elmas telli kesim verimlerinin belirlenmesi adına etkili uygulama yaklaşımları geliştirmişlerdir. Polat (2002), elmas telli kesimde yapısal ve dokusal kayaç özelliklerinin elmas boncuklarda oluşan aşınmalara olan etkilerini incelemiştir. Özçelik vd. (2002) traverten taş bloklarının hem yatay hem de dikey kesimi için elmas tel boncukların aşınmasını ayrı ayrı tahmin etmek amacıyla Tikhonov regresyonunu kullanmışlardır. Özçelik vd. (2004) kayacın dokusal karakteristiklerinin elmas telli kesim yöntemine olan etkisini araştırmıştır. Özçelik ve Bayram (2004a) elmas telli kesim performansında blok ebatlarının etkisini araştırmıştır. Özçelik ve Bayram (2004b) elmas telli kesimde mineralojik bileşimleri birbirinden farklı mermer örneklerinde ortaya çıkan boncuk aşınmalarını optik metodlarla araştırmışlardır. Özçelik (2005a, 2005b), mermer endüstrisinde elmas telli kesim makinalarının en uygun çalışma şartlarını belirlemek adına deneysel çalışmalar yapmış, mineralojik ve petrografik özelliklerin elmas telli kesime olan etkisini incelemiştir.

Andrissi vd. (2005) granit ocaklarında elmas telli kesim performanslarının artırılması ile ilgili araştırmalar yapmışlardır. Özçelik vd. (2006) elmas tel kesme işleminde makina titreşimi, kasnak devir hızı, kesilen kayaların mekanik ve fiziksel özelliklerinin boncuk aşınması üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Yapılan araştırma sonucunda Krem Crema türü ticari isimli doğal taşların kesiminde özgül enerji göz önüne alınarak telde metre başına 26 adet boncuk kullanılması gerektiği önerilmiştir. Özçelik vd. (2007b) elmas telli kesimde kesim performansında kasnak çapının etkisini araştırmıştır. Yılmazkaya (2007), sayalama işleminde kullanılan 22 kW gücündeki elmas tel kesim makinasında 70 cm çapında kasnak kullanılmasını ve ana kütle kesiminde ise blok kesim boyutlarının yükseklik/genişlik oranının 1'e mümkün olduğunca yakın olmasını önermiştir. Kanbir (2007), elmas telli kesimde elmas boncuk seçim kriterlerini ortaya koymuştur. Özçelik vd. (2007a) elmas tel kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde metre başına düşen boncuk sayısının arttıkça kesim hızının da arttığını belirtmiştir. Özçelik (2008), geliştirdiği

cihazla arazideki elmas telli kesimlerin laboratuvar ölçekli kesimler ile uyumluluğunu incelemiştir.

Mikaeil vd. (2008) birbirinden farklı 14 karbonat orijinli mermerin elmas telli testereyle kesilebilme derecelerini istatistiksel yöntemler kullanarak tahmin edilebilmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Jain ve Rathore (2009) farklı sertliklere sahip dolomitik kireçtaşlarında kesim alanı boyutunun elmas telli kesim yöntemindeki kesim hızına olan etkilerini incelemiştir. Özçelik ve Yılmazkaya (2010) elmas telli kesimde boncuk ömrü boyunca boncukların kesme verimliliklerini araştırmıştır. Ersoy ve Yüksel (2011) Afyon gri ocağındaki iki farklı formasyon olan Afyon gri ve kaplan postu mermerlerinin elmas telli kesimde incelenen parametre sonuçlarının farklı olma sebeplerini belirlemiştir. Araştırma; sahadaki formasyonun fiziko-mekanik özelliklerinin, mineralojik-petrografik özelliklerinin ve üretim sürecinin incelenmesi olarak üç başlıkta gerçekleştirilmiş olup bu unsurların üretim verimine etkileri saptanmıştır. Ataei vd. (2011) birbirinden farklı 14 karbonat orijinli mermerin elmas telli testereyle kesim özelliklerinin; Brazilian dayanımı (dolaylı çekme dayanımı), tek eksenli basınç dayanımı, Los Angeles aşınma dayanımı ve Schmidt çekici ile etkileşimini regresyon analiz yöntemi ile incelemiştir. Özçelik ve Yılmazkaya (2011) traverten oluşumlarının tabakalanma düzlemlerinin elmas telli kesim yönteminde kesme performansına etkisini incelemişler ve ayrıca bu inceleme esnasında spesifik enerji ve birim hızı da göz önünde bulundurmışlardır.

Jain ve Rathore (2011) kesme mukavemeti parametrelerini (mermerin kohezyonunu ve içsel sürtünme açısını) ve kontrol edilebilir makina parametrelerini kullanarak tel testeredeki kesim hızını tahmin etmek için yapay bir sinir ağı modeli önermiştir. Aktaş (2012), Burdur bej mermerinde elmas telli kesimde boncuk ömrü ve aşınma miktarları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu inceleme sonucunda, elmas boncukların aşınma periyotlarına göre ana kaya kesiminden sayalama kesimine geçiş aralıkları belirlenmiştir. Kanbir (2013), elmas telli kesimde kayaç türlerine göre; boncuk aşınması, kesim hızı ve tüketilen enerjinin dikkate alınmasıyla kesilebilirlik tablolarının geliştirilmesini amaçlamıştır. Bu tabloları, kesim verimliliği parametrelerini dikkate alarak çevresel hız ve kasnak devir hızına göre her bir kayaç türü için ayrı olmak üzere geliştirmiştir. Sadegheslam vd. (2013) mermer için doğrusal olmayan bir regresyon modeli kullanarak mukavemet ve aşındırıcı özellikleri kesme hızıyla ilişkilendiren çalışmalar yapmışlardır.

Bu çalışmalar sonucunda kesme hızının aşındırıcılık özellikleriyle doğru orantılı ve mukavemet özellikleriyle ise ters orantılı olduğunu ortaya koymuşlardır. Yılmazkaya ve Özçelik (2015), kireçtaşı için laboratuvar ölçekli bir mono tel kesme makinası kullanarak bu makina için bir kesilebilirlik tablosu geliştirmiş ve iri kristalli kayalarda boncuk aşınmasının ince kristalli kayalara göre daha az olduğu sonucuna varmıştır. Alması vd. (2017) kayaç özellikleri ve kesim hızının boncuk aşınması üzerine etkilerini araştırmıştır. Boyutları eşit farklı özelliklerdeki doğaltaş numunelerini kesmek için geçen süreler hesaplanmış ve aşınmalar karşılaştırılmıştır. Yılmazkaya vd. (2018) mermer ve kireçtaşı örneklerinin mono tel testeresinde elmas tel üzerinde birim aşınma değerleri ve birim enerji değerleri gibi performans parametrelerini tahmin etmek için yapay sinir ağı ve regresyon modelleri kullanılmışlardır.

Doğal taş ocaklarında kullanılan elmas tel kesme makinası ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar dikkate alındığında, kesim hızını etkileyen birçok parametrenin araştırmacılar tarafından incelenmiş olduğu dikkati çekmektedir. Konuyla ilgili yapılan literatür araştırması, gerek elmas tel kesme makinasının teknik özelliklerinin gerekse kayalarla ilgili özelliklerin kesim hızı üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca; elmas tel kesme makinasının kesim hızının belirlenebilmesinde etkili olan parametrelerin çokluğu göz önüne alınırsa, bu işin karmaşık bir süreç olduğu sonucuna varılabilir. Bu nedenle, arazide belirlenmesi nispeten kolay olan parametrelerden yararlanarak oluşturulacak bir tahmin modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, elmas tel kesme makinasının kesim hızını tahmin etmeye yönelik olarak oluşturulan ve bulanık mantık kavramını kullanan bir çalışma yapılmamıştır. Bulanık mantık kavramının en önemli avantajları: dilsel ifadelerin kullanılabilmesi, insan düşüncesini ve muhakeme yeteneğini kullanabilmesi ve bu sayede mühendislik deneyiminin bir tahmin modeline yansıtılabilmesine izin vermesidir. Bulanık mantık kavramının bu avantajlarından yararlanabilmek ve basit parametreler kullanarak bir elmas tel kesme makinasının kesim hızını önceden belirleyebilmek amacıyla Mamdani algoritmasını kullanan ve bulanık kuralları içeren bir tahmin modeli bu çalışma kapsamında önerilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada, Bilecik – Söğüt Bölgesindeki Gökyar firmasına ait mermer ocağında 5 farklı kademedeki 3 sene boyunca ölçülen alt ve yan kesim verileri saklanarak bir araya getirilmiştir. Farklı kayaç türleri, ekipmanlar ve operatörler kombine edilerek kesim çalışmalarının optimum seviyeye ulaşabilmesini amaçlayan bir model geliştirilmeye çalışılmıştır.

3.2. Yöntem ve Plan

Mermer ocağında gerçekleştirilen elmas telli kesim yönteminde; iş sağlığı ve güvenliğinin tam olarak sağlandığı kabulünden sonra en önemli konu kesim hızıdır. Müşteri talepleri ve önceden belirlenmiş teslim süreleri doğrultusunda üretimler planlanır ve kesimler gerçekleştirilir. Bu çalışmanın yapıldığı işletmede mermer ve traverten bloklarının üretimi gerçekleştirilmektedir. Aynadan blok halinde üretimlerin gerçekleştirilebilmesi için yatay (alt) ve düşey (yan) kesimlerin yapılması gereklidir. Elmas tel kesme makinası kullanılarak yapılan bu kesimlerde elde edilen kesim hızları birbirinden oldukça farklıdır. Ayrıca, kesilen kayaç türü de kesim hızını etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle, kesim türü ve kayaç türünün, bu çalışmada önerilmiş olan bulanık tahmin modelinin girdi parametresi olarak kullanılması düşünülmüştür.

Kesim hızını etkileyen bir diğer faktör kesme işleminde kullanılan elmas tel kesme makinasının gücüdür. Gökyar firmasına ait doğal taş ocağında 3 farklı güçte elmas tel kesme makinası kullanılmaktadır. Ayrıca, elmas tel kesme makinalarını kullanan operatörlerin becerileri de değişkenlik göstermektedir. Operatör becerisi, mühendis tarafından takip edilen bir çalışanın işinde ne kadar iyi olduğunun bir göstergesidir ve mühendis tarafından sınıflandırılarak dilsel olarak ifade edilebilir bir değişkendir. Saha gözlemleri ve mühendislik deneyimi dikkate alındığında, elmas tel kesme makinasının gücünün ve operatör becerisinin kesim hızı üzerindeki etkisinin oldukça önemli olduğu

belirlenmiştir. Bu nedenle, elmas tel kesme makinasının kesim gücünü ve operatör becerisini de dikkate alan bir bulanık tahmin modeli geliştirilmesi planlanmıştır.

Bu çalışmada; birbirinden farklı kesim türleri, makina güçleri, kayaç ve operatör özellikleri değerlendirilerek elmas tel kesme makinasının kesim hızı irdelenmiştir. Tüm bu aşamalar esnasında elde edilen kesim verileri dikkate alınmış ve bu veriler kesim hızının tahmin edilmesi amacıyla önerilen bulanık modelin temelini oluşturmuştur. Bulanık mantık kavramına dayanan kesim hızı tahmin modelinde Mamdani algoritması kullanılmıştır. Oluşturulan bulanık tahmin modelinin kural tabanını oluşturmak amacıyla 11 adet kural tanımlanmıştır. Kesim hızı ile girdi parametreleri arasındaki ilişkileri tanımlayan bu kurallar, doğal taş sektöründe yıllarca çalışmış olan deneyimli bir maden mühendisi tarafından belirlenmiştir. Bulanık modelin oluşturulmasında MathWorks (1994-2018) tarafından geliştirilen “MATLAB” yazılımının “Fuzzy Logic Toolbox” uygulaması kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında oluşturulan bulanık modelin tahmin performansının belirlenmesinde literatürde en çok karşılaşılan VAF (*variance account for*,) ve RMSE (*root mean square error*,) performans indeksleri kullanılmıştır.

4. GENEL BİLGİLER

4.1. Mermer ve Oluşumu

Mermer, metamorfizma olayı sonucunda kalker ve dolomitik kalkerlerin yeniden kristalleşmesiyle meydana gelmiş kayadır. Bileşimlerinin %90-98'i CaCO_3 'ten oluşmaktadır. Düşük oranda MgCO_3 içermektedir. CaCO_3 kristallerinden oluşan mermerlerde esas mineral "Kalsit"tir. Diğer bir deyişle mermer cilalanabilen ve ticari anlamda getirisi olan her türlü doğal taşta verilen isimdir. İçerdiği mineraller sayesinde renklenen mermerler saf CaCO_3 bileşiminde olduğu zaman beyaz ve saydamdır. Kesildiğinde blok verebilen kalker, traverten, kumtaşı gibi tortul; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, serpantin, andezit, bazalt gibi magmatik taşlar da ticari anlamda mermer olarak isimlendirilmektedir.

4.2. Kullanım Alanları

Doğal taştan elde edilen ürünler tarih boyunca insanlar tarafından işlenerek kullanılmıştır. Önceleri estetik ve dayanıklılığı sebebiyle sanatsal alanlarda kullanılan mermerin bugünkü başlıca kullanım alanları: inşaat sektörü, dekorasyon, heykeltirlik, süs eşyalarının yapımı ve mezarlıktır. Fakat içlerinde en büyük pay şüphesiz inşaat sektörüne aittir. Özellikle otel, hastane, öğrenim kurumu, resmî kurumlara ait binaların hemen her yerinde kullanımı yaygındır. Zemin kaplaması, duvar kaplaması, merdiven basamak uygulamaları, pencereler için denizlik ve kapı süpürgelikleri kullanım alanları olarak ilk sıralardadır. İnşaat sektöründe ısısal konfor- ısı yalıtım hesaplamaları ve değerlendirmeleri, günümüzde enerji verimliliği bağlamında önemli bir gündemi oluşturmaktadır. Bina uygulamalarında ısı yalıtımını sağlayan başlıca faktör, kullanılan yapı malzemesi ve malzemenin ısısal özellikleridir. Son yıllarda inşaat sektöründeki uygulamalarda doğal kayalık malzeme kullanılması yaygınlaşması sebebiyle, mermer türevi plakalarının yapı ve kaplama taşı olarak kullanımı giderek artmaktadır (Gündüz vd., 2013).

4.3. Tarihte Mermer Ocakçılığı

Anadolu'daki doğal taş yatakları burada yaşamış hemen hemen her medeniyet tarafından işletilmiştir. Lahit, heykel ve tapınak yapımında kullanılan mermer, Bizanslılar ve Romalılar dönemlerinde yaygın olarak kullanılmıştır. Mermer çoğu dilde bugünkü ismini de Balıkesir ilimize bağlı olan Marmara adasından almıştır (rusça: mramar; ingilizce: marble; almanca: marmor). Mermer ocakçılığı antik çağlardan günümüz teknolojisine ulaşmaya kadar temelde aynı mantık üzerine kurulmuştur. Öncelik anakayanın yani görünür rezervin mümkün olduğunca açık ve çıkarılmaya elverişli olmasıdır; sonrasında ise ulaşım imkânları açısından, o günkü teknoloji de göz önüne alınırsa, uygun olmasıdır. Anakaya üzerindeki çatlak damarları izlenerek ayırma / kesim işlemi kolaylaştırılmış olur. Ardışık delikler ile çatlatacak kazanım yöntemi ile başlayan bu yolculuk, günümüzde oldukça yaygın kullanım alanı olan elmas telli kesim yöntemine kadar devam etmiştir. Bu yöntem, zamandan elde edilen tasarruf ve artan üretim hacmi ile en ekonomik yöntem olma ünvanına da sahiptir.

4.4. Günümüz Mermer Ocakçılığı ve Elmas Telli Kesme Metodu

Elmas telli kesim yöntemi henüz uygulamada bulunmuyor iken kullanılan bazı yöntemler: delik delme + kamalama, delik delme + patlayıcı madde, delik delme + genişleyen kimyasallar olarak sıralanabilir. Fakat bu yöntemlerde zaman kaybı ve cevher kaybı günümüze görece çok daha fazlaydı. “Elmas telli kesme yöntemi” mermer işletme sektöründe ise ilk defa 1970’li yıllarda, mermer fabrikalarında blokların sayılanmasında kullanılmıştır. Türkiye’ye de 90’lı yılların başlarında girmeye başlamış ve şu an için en çok tercih edilen kesim yöntemi olmayı başarmıştır. Her ne kadar zincirli kollu kesiciler geliştirilmiş olsa da elmas telli kesim kadar etkili olamamıştır (Yılmazkaya, 2013).

Elmas telli kesim yönteminin geliştirilmesiyle endüstride ciddi avantajlar elde edilmiştir. Bu avantajları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Sadece doğal taş değil farklı endüstrilerde de rahatlıkla kullanılabilmesi,
- Kesim hızının artmasıyla üretim kapasitesini yükseltmeye elverişli olması,
- İş gücünün diğer yöntemlerden daha fazla performanslı olması,

- Kazanım kayıplarının azalması, düzgün şekilli blok elde edilebilmesi ve ürüne zarar vermemesi,
- Atık ve toz oluşumunda azalma,
- Elmas telli kesim makinası ve sarf malzemelerinin amortisman sürelerinin daha kısa olması,
- İlk yatırım maliyetlerinin düşük olması,
- Mermer ocakçılığında tek seferde büyük ölçekli kesimlerin yapılabilmesine elverişli olması (200 m²'den büyük),
- Farklı yöntemlere entegre edilebilen uyumlu bir yöntem olması,
- Her nevi yerüstü ve yer altı kesimlerinde kullanılabilmesi.

Elmas telli kesim yönteminin dezavantajları ise;

- Ön delik delme ihtiyacı olması,
- Su kullanımı yönünden teminin çok önemli olması,
- Yetişmiş personelin gerekliliği,
- Tel kopması ve soket fırlaması gibi fazla riskli durumlar içermesi (Özçelik, 1999) olarak sıralanabilir.

Bu dezavantajlarının yanı sıra elmas telli kesim yöntemi her türlü doğal taş ocağı için uygundur demek doğru olmayacaktır. Eklem ve çatlak sistemi yüksek seviyelerdeki ocaklarda bu yöntemin kullanılması verimi arttırmazken, üretimin düşmesine dahi sebep olabilmektedir (Polat, 2002).

Elmas telli kesim yöntemini etkileyen faktörler “kontrol edilebilen” ve “kontrol edilemeyen” olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilen çeşitli parametreleri içermektedir. Kesimi etkileyen bu parametreler Çizelge 4.1’de alt başlıklarıyla beraber verilmiştir.

Çizelge 4.1. Elmas telli kesimi etkileyen faktörler (Özçelik,1999)

KONTROL EDİLEMEYEN FAKTÖRLER	KONTROL EDİLEBİLEN FAKTÖRLER
<u>KAYAÇ NİTELİKLERİ</u>	<u>KESME NİTELİKLERİ</u>
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	EKİPMAN ÖZELLİKLERİ
Yoğunluk	Ana motor gücü
İçeriğindeki mineral çeşitleri	Gerekli makina voltajı
Termal iletkenlik	Kasnak çapı
Dalga iletkenliği	Boncuk tipi (elektrolitik veya sinterize)
Gözeneklilik ve su emme	Boncuk hamuru yapısı (matris)
	Elmas boncuk tipi, boyutu ve yoğunluğu
YAPISAL ÖZELLİKLER	
Yapı katsayısı	UYGULAMA ÖZELLİKLERİ
Tane boyutu ve şekli	Kesme halatı doğrusal hızı
Çimentolanma tipi ve derecesi	Geri çekme gücü
Tanelerin sayısı ve yoğunluğu	Kesme halatı kesime başlama açısı
	Blok boyutları
MEKANİK ÖZELLİKLER	Halat uzunluğu
Dayanım özellikleri	Kesim tipi (Dikey veya Yatay)
Sertlik	Kesim esnasındaki halat geometrisi
Aşındırıcılık	Kesim makinası ile ayna arasındaki mesafe
Elastiklik ve kırılganlık	Metredeki boncuk adedi
	Kullanılan suyun miktarı ve yönelimi
DOKUSAL ÖZELLİKLER	
Süreksizlikler	İŞLETME ÖZELLİKLERİ
	İşgücü kalitesi
	Makina titreşimi
	Çevresel etkiler

5. GÖKYAR MERMER OCAĞI

5.1. Söğüt Bej Mermeri ve Golden Traverten Üretilen Ocağın Genel Özellikleri

Ocağın konumu Söğüt, Bilecik ilinin zengin doğal kaynaklara sahip olan bir ilçesidir. Gökyar Mermer İnş. Turz. Nak. San. Ve Tic. Ltd. Şti. ne ait II-b grubu mermer ruhsatı ise bu ilçenin yaklaşık 400 m Doğusunda Sırhoca Köyü Mevkiinde yer almaktadır. Bu ocaktan, ticari ismi literatürde “Söğüt Beji” ve “Golden Traverten” olarak adlandırılan doğal taşlar çıkarılmaktadır. Ocağın ve Söğüt ilçesinin uydu görüntüsü Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Ocağın uydu görünümü

5.2. Söğüt Beji ve Golden Traverten'in Fiziksel Özelliklerinin Karşılaştırılması

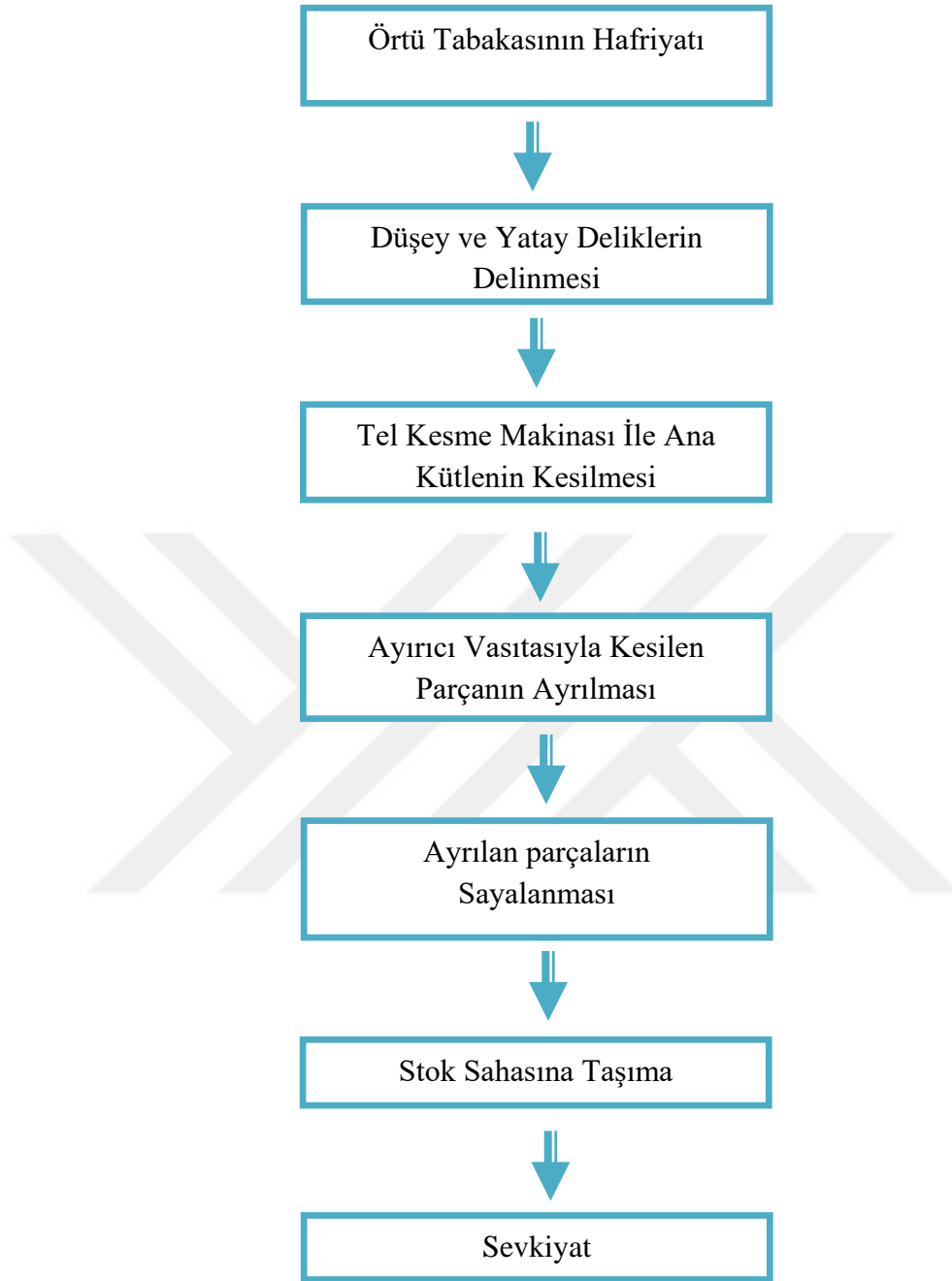
Ocaktan çıkarılan doğal taşların analizleri özel bir laboratuvarında yaptırılmıştır. Çizelge 5.1'de verilen fiziksel özellik karşılaştırmalarına göre Söğüt Bej mermerinin Golden Traverten'e göre daha sıkı yapılı, yoğun, bozunmaya uğramamış ve dayanımlı olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.1. Söğüt Beji ve Golden Traverten taşlarının fiziksel özellikleri

Analiz Türü	Söğüt Bej	Traverten
Atmosfer basıncında su emme (Kütlece %)	0.26	4.07
Açık gözeneklilik (%)	0.7	9.68
Görünür yoğunluk (g/cm ³)	2.695	2.39
Yoğun yük altında bükülme dayanımı (MPa)	15.3	5.59
Don sonrası basınç dayanımı (MPa)	211.5	64.41
Alterasyon	Yok	Limonitleşme

5.3. Blok Üretimi Aşamaları

Elmas telli kesim yapabilmek için öncelikle kesilecek yüzey açık hale (delinebilecek hale) getirilir. Gerekli hafriyat işlemleri yapıldıktan sonra, elmas telin tel kesme makinasının kasnağı etrafından geçirilip kesim işlemine başlayabilmesi için anakaya üzerinde yatay ve düşey deliklerin delinmesi gerekmektedir. Bu delikler anakaya içerisinde birbirleri ile birleşmezlerse yeni delikler birleşinceye kadar aynı işleme devam edilir. Birleşen yatay ve düşey deliklerin hazır hale gelmesiyle öncelikli olarak alt kesim işlemine başlanmalıdır. Eğer ilk olarak yan kesimlere başlanırsa alt kesim yapılırken serbest yan yüzeylerin sağladığı kayanın yerçekimi kuvveti etkisiyle tel üzerine oturmaları sebebiyet verir ve kesim tamamlanamaz. Kesimlerin tamamlanmasının ardından yıkım işlemlerine başlanır ve yıkılan büyük mermer kütleleri oldukları yerde daha küçük ebatlara getirilmek üzere sayalama denilen işleme tabii tutulurlar. Sayalanan bloklar ait oldukları stok sahalarına taşınır ve ölçümleri gerçekleştirilir. Yükleme organizasyonları tertip edilen blokların da nihai olarak bu sahalardan sevk edilmesi sağlanır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Mermer ocağı iş akım şeması

Mermer ocakçılığı cevherin saptanıp çıkarılması işlemidir. İlk saptama, mermeri arayan ekibin gerçekleştirdiği gözlemlerle başlar. Kayacın olduğu düşünülen bölgede yüzey taşları kırılarak rengine ve dokusuna bakılır, küçük bir parça numune alınabilir ise kesilerek yüzeyi incelenebilir. İlk görünümde kayacın varlığına inanılan bölgenin koordinatları alınarak MAPEG' den (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü'nden) sahanın sorgulaması yapılır. Sorgulama sonucu bölgede ruhsatların var olup olmadığı veya ihalelik sahaların mevcudiyeti öğrenilir. Bütün adımların olumlu geçip sahanın da boş

olması ile başvuru yapılır. İlk başvuru ön arama ruhsatı adı ile ruhsatın alımı, sonrası bunun arama ruhsatına dönüşmesi ile devam eder. Arama ruhsatı döneminde istenilen miktarda inceleme, karotlu sondaj ve arazi çalışmaları yapmak mümkündür. Bu işlemlerde de istenilen sonuçlar alınır, madenin varlığı tespit edilir ve yatırım yapmaya karar verilirse ruhsat, işletme izni, orman izinleri ve ÇED (çevresel etki değerlendirmesi) süreçleri başlar ve tamamlanır. Tüm izinler alınıp ocağın bulunduğu bölgeye yol yapılır, elektrik ve su hatları çekilir. Şehir merkezine uzakta ise barınma yerleri hazırlanır personel temin edilir. Gerekli makina ekipman taşınır. Tüm adımlar izlendikten sonra cevherleşmeyi (yanlış kestirimlerde bulunulmadıysa) ortaya çıkararak blok eldesine başlanılabilir. Binlerce ocak, yüzlerce renk ve desenin bulunduğu Türkiye’de genel olarak ocak açma işlemleri bu şekilde yürütülmektedir.

5.3.1. Örtü tabakasının hafriyatı

Cevherleşmenin yani blok verebilecek kayacın olduğu bölge, öncesinde yapılan karotlu sondaj çalışmaları neticesinde kararlaştırılır. Bu bölgedeki mermere ulaşabilmek adına, örtü tabakası veya alterasyon zonunu kaldırmak için buraya kadar yol yapılır ve hafriyat atma işlemlerine başlanır. Ana kaya açığa çıkana dek bu işlem sürdürülür. Düşey ve yatay delikler açılabilir aşamaya gelindiğinde ocağın ilk kademesini açmak için delik delme işlemlerine başlanır.

5.3.2. Düşey ve yatay deliklerin delinmesi

Elmas tel kesme makinasının ana kayayı kesebilmesi için öncelikli olarak düşey ve yatay deliklerin delinmesi gerekmektedir. Deliklerin birbirleriyle birleşmeleri sağlandığında elmas tel bu deliklerden geçirilerek elmas tel kesme makinasının kasnağı etrafından dolaştırılarak kesime başlanır. Delikleri birleştirmek kolay olmamakla birlikte zamanla ocaklarda yetişen çalışanlar için sıradan hale gelmiştir. İlk olarak düşey delik delinerek işe başlanır (Şekil 5.3). Ocağın ve taşın yapısı, yatımı göz önünde bulundurularak düşey deliğin açısı kararlaştırılır. Bu açı genelde 90° olur fakat traverten vb. içeren sedimanter oluşumlu ocaklarda taşın eğimine uyulması yani damarların takip edilmesi adına açının daraldığı da görülmüştür. Düşey delik uzunlukları, planlanan ocak basamak yüksekliğine uygun olarak hesaplanır. Bunun yanı sıra yasal sınır ise 8 m olan iş

makinası bom yüksekliğidir. Düşey deliklerin delinmesini takiben yatay deliklerin delinmesine geçilir. Basamağın üstünden 8 m uzunluğuna sahip düşeydeki deliğin, yataydan delinecek delikle birleştirilmesi gerekmektedir. Klasik ve genel kullanıma sahip olan hizalama yöntemi ise şöyledir: Üstteki deliğe konulan hiza alma aparatına bağlanan ucu şaküllü ip, kayanın ucundaki aparata da bağlanarak aşağıya sarkıtılır ve göz kararı hiza alınır (Şekil 5.4). Hizalanan iplerin bitim noktası ise yatay delik delme işlemine başlanacak yerdir. Kaya üzerinde işaretlenen bu nokta üzerine sabitlenen delme makinası işleme başlar (Şekil. 5.5).



Şekil 5.3. Düşey deliklerin delinmesi



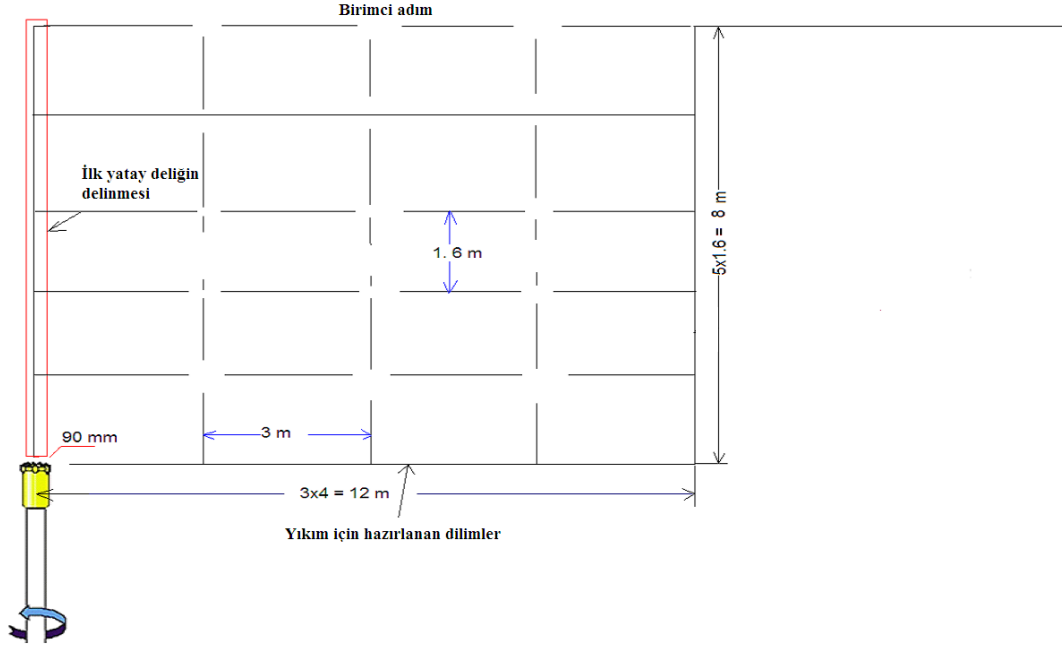
Şekil 5.4. Deliklerin hizalanması



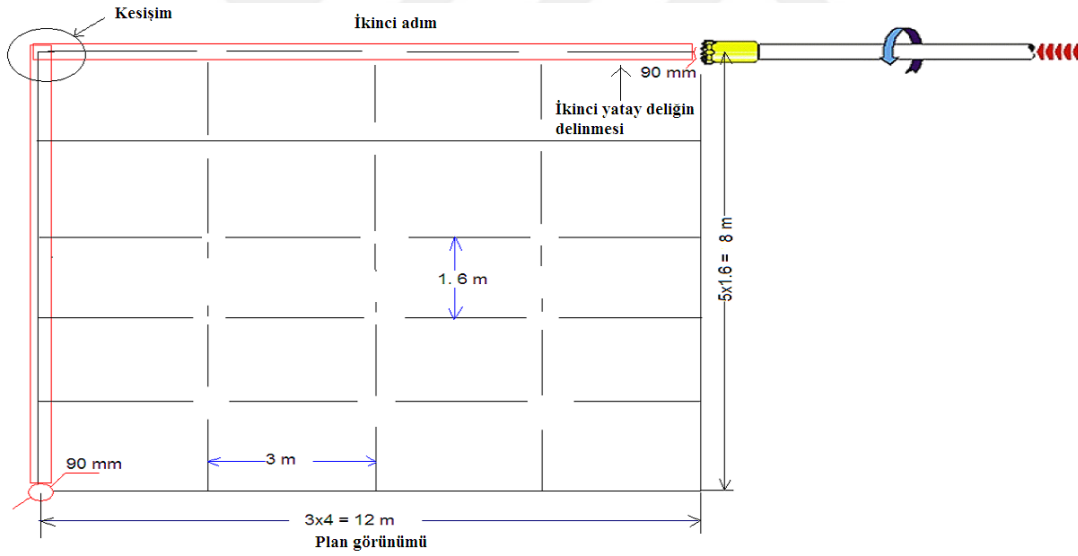
Şekil 5.5. Yatay deliklerin delinmesi

Diğer bir hizalama çeşidi ise lazerli optik hizalayıcılar desteğiyle gerçekleştirilen yöntemdir. Fakat günümüz koşullarında bu yöntem yaygın bir kullanım alanı bulamamıştır. Öncelikle bu donanımı kullanmayı bilen kalifiye eleman tedariği, ardından koşulların uyumlandırılması gerekmektedir.

Delinen delikler, üstten bakıldığında ana kayayı eşit boyutlardaki dikdörtgenler prizmalarına bölünmüş olarak kesilmelerini sağlayacak şekilde delinir (Şekil 5.6). Bunlar her daim eşit dilimler halinde delinerek kesilir, 300 cm en ve 160 cm boy olmak üzere hazırlanan delikler kesilen blokların eşit parçalar halinde çıkma ve standart konteyner tiplerine uygunluğu açısından bu şekilde değerlendirilmektedirler (Şekil 5.7).



Şekil 5.6. İlk yatay deliğin delinmesi (Anonim, 2017a)



Şekil 5.7. Yatay deliklerin kavuşturulması (Anonim, 2017b)

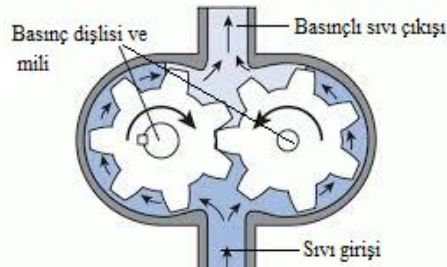
5.3.2.1. Delici makina ve özellikleri

Ocakta sadece Hidrobarsan Marka Y324 Model numaralı mobil sondaj makinası kullanılmaktadır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Hidrobarsan-Y324 mobil sondaj makinası

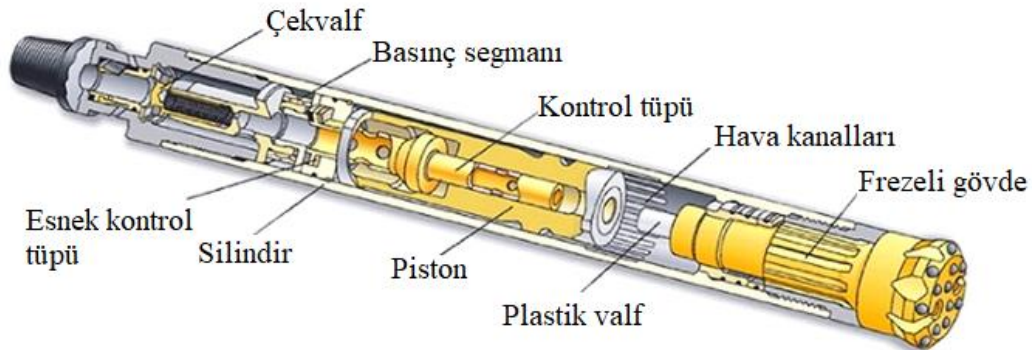
Bu makinanın mobil olmasını sağlayan yürüyüş hareketi, sahip olduğu dizel motor vasıtasıyla sağlanmaktadır. Dizel motorun dönen mili hidrolik çift kademeli bir pompaya dönüş gücü sağlamaktadır. Bu pompada üretilen basınç ise Şekil 5.9’da şematik gösterimi verilen yürüyüş tekerlerinde bulunan; giriş ve çıkışlarındaki basınç farkı yardımıyla hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren hidromotora aktarılmakta, bu sayede makinanın yürüyüşü sağlanmaktadır.



Şekil 5.9. Hidromotor çalışma prensibi (Anonim, 2014)

Makinanın ana kaya üzerine sabitlenmesinden sonra delik delme işlemi için gereken güç kompresör tarafından üretilen basınçlı hava yardımıyla sağlanmaktadır. Kompresör vidalı tip olup dönüş gücünü makina üzerindeki 55 kW elektrik motorundan almaktadır. Dakikada 6.6 m^3 havayı sıkıştırarak yaklaşık 10 bar basınç elde edilmesini sağlar (Tamsan, 2017). Tek başına elde edilen basınçlı hava, kayayı delmek için yeterli olmayacağı için basınçlı hava ile delme işlemi sırasında DTH (Down The Hole) tabancalar

kullanılmaktadır (Şekil 5.10). Kısaca, tabanca içerisindeki piston basınçlı havadan aldığı güç ile tabanca ucundaki delici matkaba (bit'e) uyguladığı darbeler sayesinde kayanın delinmesini sağlar.



Şekil 5.10. DTH tabancanın iç yapısı (Anonim, 2017b)

5.3.3. Tel kesme makinası ile ana kütlenin kesilmesi

En genel tanımıyla kesim işlemi; delinen delikler içinden elmas boncuklar ihtiva eden telin geçirilerek elmas tel kesme makinası kasmağı etrafında döndürülerek aşındırma yolu ile gerçekleştirilir. Önceleri ray üzerinde elektrikli yürüyüş motorları vasıtası ile hareket eden elmas tel kesme makinaları zamanla köprülü biçime dönüştürülerek hem kapasitelerini hem de kullanım kolaylıklarını arttırmışlardır (Şekil 5.11). Rayın kesilecek aynanın önüne yerleştirilmesi, hizalanması, her bir kesimde yeniden taşınması ve zamanla rayın aşınması gibi sorunlar ortadan kalkmıştır (Şekil 5.12). Yürüyüş mekanizması ise düz bir kremayer dişli üzerinde hareket eden pinyon dişlisi ile sağlanırken köprülü makinalara gelindiğinde çok daha pratik olan zincirli yürüyüş sistemine geçilmiştir. Bu makinalarda yürüyüşü ayarlayan küçük elektrikli motorun zorlanmaları ile artan veya azalan akım değerine göre makina hızlanır ya da yavaşlar. Bu asılma ile makina gergin duruma gelir ve en verimli kesim şartları sağlanmış olur. Yeteri kadar gergin olmayan elmas tel, kesimde yamulmalara ve tabaklanmaya sebebiyet verir.



Şekil 5.11. Köprülü elmas tel kesme makinası ve kesimi



Şekil 5.12. Raylı elmas tel kesme makinası ve kesimi

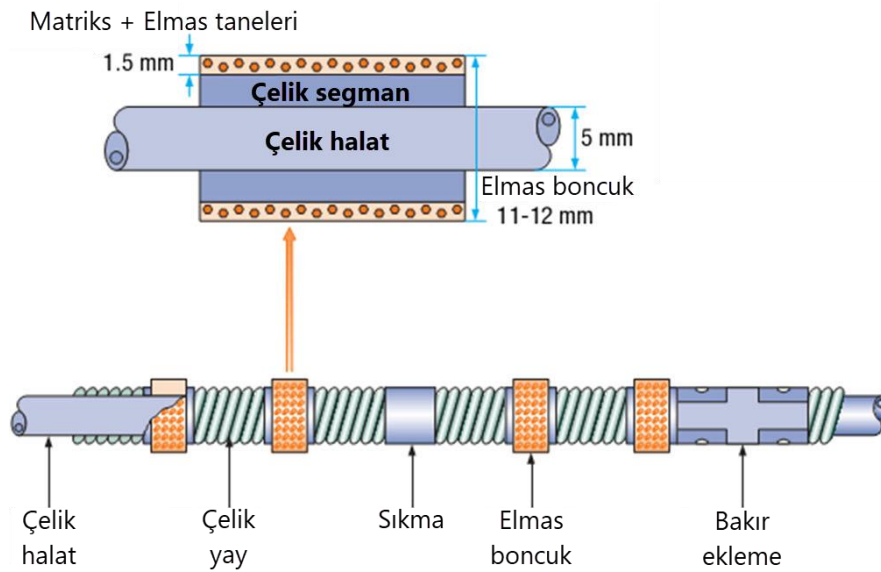
5.3.3.1. Elmas tel tanımı

Belli bir reçeteye sahip hamuru içinde, belirli boyutlarda sentetik elmas boncukları barındıran çelik halat etrafına dizilmiş ve aşındırma yolu ile kesme fiilini gerçekleştiren materyaldir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. Elmas tel

Elmas tel ocaklarda ve fabrikalarda mevcut teknoloji ile en düşük maliyet ve en yüksek performansı sağlayan kullanışlı bir ekipmandır (Şekil 5.14). Elmas teller, yapıları itibarı ile genel olarak üç ana gruba ayrılmaktadır: 1- Elektrolitik elmas boncuklar, 2- Sinterize elmas boncuklar ve 3- Kimyasal yapıştırımalı elmas boncuklar (Demirdağ ve Gündüz, 2001). Sinterize teller uzun ömürlü olup kesim hızları yavaştan hızlıya, oradan daha yavaş doğru hareket eder. Elektrolitik teller ise hızlı başladıkları kesimleri giderek yavaşlayan hızlar takip eder ve ömürlerini çabuk tamamlarlar (Selvi, 2013).

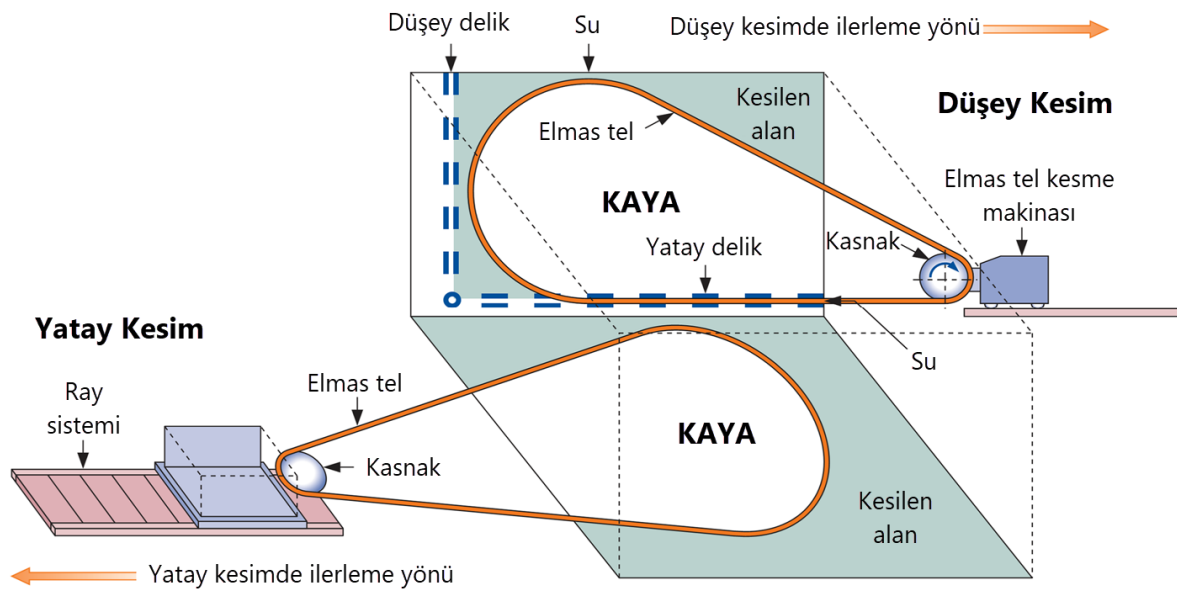


Şekil 5.14. Elmas telin yapısı

Genel olarak Türkiye’deki ocaklarda sinterize teller kullanılmaktadır. Bunun nedeni de tellerin ömrünün uzun olması sebebiyle sayalama işlemlerinde de kullanılabilir olmasıdır. Fakat her sinterize tel de uzun ömürlü ve ekonomik değildir. Bunun sebebi her firmanın matris denilen hamurunun reçetesinin ve elmas boncuklarının kalitelerinin farklı olmasından ileri gelmektedir. Matris içerisine gömülü elmas boncuklar kesimler devam ettikçe bu hamur içinde daha da belirginleşerek (hamurun aşınıp azalmasıyla) kesim hızını zamanla arttırlar. Başlangıçta 11-12 mm çapında olan elmas boncuklar inceli 9 mm civarına geldiğinde artık sayalama tezgâhlarında kullanılmak üzere dizilmeye gönderilirler.

5.3.3.2. Kesime başlanması

İki yatay deliğin birleştirilmesiyle oluşan kenarların kesimine yatay kesim ya da alt kesim denmektedir. Ocaklarda kesim işlemine daha önce de belirtildiği gibi yatay kesimlerle başlanır (Şekil 5.15). Öncelikli olarak yatay kesimin yapılmasının sebebi daha sonra düşey kesim yapılarak kayacın kırılıp düşmemesini sağlamaktır. Eğer düşey kesimler yapıldıktan sonra yatay kesim yapılırsa, yanal yüzeyleri serbest olan kaya kütlesi kesimi yapan telin üzerine oturarak telin kaybedilmesine ve alt kesime en baştan başlanmasına neden olacaktır. Tamamlanan yatay kesim sonrasında ilk düşey kesim ardından diğer düşey alandaki yan kesimler yapılır (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. Yatay ve düşey kesimlerin şematik görünümü ve elmas telin yapısı (Almasi vd., 2017)

Elmas tel kesme makinalarının kasnaklarının kendi millerine dik olarak gövdeden 360° dönebilmeleri yatay ve düşey kesimlerin yapılabilmesine imkân vermektedir.

5.3.4. Ayırıcı ile kesilen parçanın ayrılması

Kesilen yanal yüzeyler arasında elmas telin çapı kadar bir boşluk meydana gelir. Bu boşluklar arasına hava yastıkları ve su yastıkları konularak basınçlı hava veya su yardımıyla parçaların birbirinden ayrılması sağlanarak ocaklarda blok devirme işlemi yapılır. Hava yastığı daha çok parçasız, süreksizliklerin minimum olduğu ve yapının yekpare devam ettiği ocaklarda tercih edilir. Bunun sebebi ise basınçlı hava ile şişen yastığın sadece bir kısmının ayna içinde bulunan boşlukta şişerek patlama olasılığıdır. Her ne kadar hava yastıkları yama-tamir yapılabilir olsa da zaman kayıpları açısından maliyete etkisi yüksek olmaktadır. Ayrıca hava yastıklarının ince kenarlara düz bir şekilde itilip şişirilmesi de ocak şartlarında hayli zordur. Su yastıkları ise sağlam dik durma dirençleri, parçalı yapılarda kullanılabilirliği ve hidrolikten güç almaları sebepleri ile tercih edilmektedirler. Hava yastıklarından farkı ise tek kullanımlık olmalarıdır. Basınçlı su üreten bir motor – pompa kombinasyonu ile şişirilen sac balon rahatlıkla aynaların arasını açabilmektedir. Açılan aynalar arasına giren iş makinası ataşmanı da kolaylıkla kesilmiş dilimi iterek bloğun devrilmesini sağlayabilmektedir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Blok ayırma sacının takılması ve su ile şişirilmesi

5.3.5. Ayrılan parçaların sayalanması

Devrilmesi ya da yıkımı tamamlanan bloklar daha küçük boyutlara ayrılmak üzere “tezgâh / yazlık” denilen kesim alanlarına taşınmaktadırlar. Devrilen parçanın tonajına ve var olan iş makinasının gücüne ve özelliklerine göre de tezgâha taşınma yöntemi değişiklik gösterir. Yükleyici makina çatalıyla alıp götürebilir ya da ekskavatör itme gücü ile sürükleyebilir. Ocak içi yollarının düzlük-devamlılık durumları da burada maliyete direkt etkileyen parametrelerdendir. Tezgâha taşınan parçalar renk, desen ayrımları yapılarak ilgili kesim yerleri işaretlenir ve blok alınacak biçimde kesimleri yapılır (Şekil 5.17). Bloklar ise nakledilecekleri taşıma yolu ve yöntemine göre tonaj anlamında sınırlandırılır. Örneğin, karayollarında 10 teker ve üzeri taşıma araçlarının çekici ile beraber 42 tonu aşmaması gerekmektedir. Başka bir örnek vermek gerekirse, yükleneceği konteynerin özelliklerine göre de sınırlanabilmektedir. Sayalama tezgâhlarında kullanılan elmas tel kesme makinaları ise büyük makinaların minyatürü gibi düşünülebilir. Tamamen aynı temelde birleşen kesim mantığı mekanik özelliklerinde ayrılıklar gösterebilir. Motor güçleri düşüktür, kasnak çapları da düşüktür. Kullanılan teller ise genellikle ayna kesimlerinde kullanılan tellerin yeniden dizilmesiyle elde edilen tellerdir. Tezgahlarda kesilecek taşlar tek tek sıralanabileceği gibi ardı sıra da hizalanıp yüksek kapasiteli makinalarla tek seferde de kesilebilir. Bu yöntem taşın homojen ve yatımsız olduğu ocaklarda kullanılabilir.



Şekil 5.17. Sayalama tezgâhı

5.3.6. Stok sahasına taşıma ve sevkiyat

Kesim aşamaları tamamlanan bloklar yükleneceği güne kadar beklemek üzere kesildiği kademeye yakın olan stok sahasına taşınır (Şekil 5.18). Taşlar stok numaraları üzerlerine yazılarak ölçümleri yapılır ve listelenir. Taşların ebat ölçümleri yapılırken dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri de her bir kenar için çift ölçüm yapılması gerekliliğidir. Bloklar tezgahlarda sıfır hata ile tam bir dikdörtgenler prizması şeklinde kesilemediğinden her bir kenarı 2 kez ölçülüp ortalamaları alınarak liste yapılmalıdır. Blok veya araç kantarı olan ocaklarda tartımları gerçekleştirilerek listelenir. Konteyner planı yapılabilmesi açısından da ölçümler ve tonajlar kanuni sınırlar dahilinde filtrelenip ilgili liste hazırlanır. Sevk günü gelen blokların hazırlanan listelere göre sevkiyatı gerçekleştirilir. Türkiye mermer ocakları blok anlamında ağırlıklı olarak Çin Halk Cumhuriyeti'ne satış yaptıkları için blokların ulaşımı gemilerle sağlanır. Bu da ocaklardan limanlara sevkiyat yapıldığı anlamına gelmektedir.



Şekil 5.18. Stok sahasından bir görünüm

5.4. Elmas Telle Kesim Ölçümleri

Aynı ocak içerisindeki farklı kayaç türlerinde elmas tel kesme makinalarının kesim hızları ölçülmüş ve elmas tel kesme makinalarının arazideki performansları takip edilmiştir. Elmas tel kesme makinasının kesim hızlarındaki değişiklikleri takip edebilmek amacıyla farklı motor gücüne sahip elmas tel kesme makinaları, farklı becerilere sahip

operatörler tarafından kullanılarak, farklı türdeki kayalarda yatay ve düşey kesimler gerçekleştirilmiştir. Gökyar Mermer firmasına ait Söğüt Ocak'ta kullanılan farklı tiplerdeki dağ kesme ve sayalama makinalarının teknik özellikleri Çizelge 5.2. ve Çizelge 5.3'de verilmiştir. Genelde aynı mantık ve çalışma prensibine dayanan bu makinaların esas farklılıkları; motor güçleri, kasnak çapları ve kesim açılarından ileri gelmektedir denilebilir. Sahada yapılan incelemeler ve ölçümler sırasında kayıt altına alınan bilgilerin örnek olarak sunulduğu tablo ise Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Ocakta kullanılan dağ kesme makinalarının teknik özellikleri

	Nesmar Ntm 55	Nesmar Ntm 45	Nesmar Ntm 37
Ana motor gücü	55 kW	45 kW	37 kW
Ana motor devri	1500 d/dk	1500 d/dk	1500 d/dk
Su tüketimi	10 lt/dk	10 lt/dk	10 lt/dk
Kesim becerisi	360° her pozisyonda	360° her pozisyonda	360° her pozisyonda
Ray uzunluğu	Köprülü 5 m	6 m	6 m
Kasnak çapı	800 mm	800 mm	800 mm
Çalışan işçi sayısı	1	1	1
Yürüyüş motoru	1.5 kW - 1500d/dk	1.5 kW - 1500d/dk	1.5 kW - 1500d/dk

Çizelge 5.3. Ocakta kullanılan sayalama makinalarının teknik özellikleri

	Nesmar Nsm 18	Nesmar Nsm 22	Nesmar Nsm 30
Ana motor gücü	18.5 kW	22.5 kW	30 kW
Ana motor devri	1500 d/dk	1500 d/dk	1500 d/dk
Su tüketimi	6 lt/dk	6 lt/dk	6 lt/dk
Kesim becerisi	180° dönebilen	180° dönebilen	180° dönebilen
Ray uzunluğu	3 m	3 m	3 m
Kasnak çapı	600 mm	600 mm	600 mm
Çalışan işçi sayısı	1	1	1
Yürüyüş motoru	0.75 kW–1500 d/dk	0.75 kW–1500 d/dk	0.75 kW–1500 d/dk

Çizelge 5.4. Kesim hesaplamaları için örnek tablo

Tarih	Başlangıç	Bitiş	Süre (saat)	Durum	Net Süre (saat)	Toplam Net Süre
15.3.2018 Perşembe	08:00	12:00	4	Çalıştı	6.5	44 SAAT
	12:00	13:00	1	Yemek arası		
	13:00	20:30	7,5	Su problemi		
	20:30	23:00	2,5	Çalıştı		
16.3.2018 Cuma	09:00	12:00	3	Çalıştı	5.5	
	12:00	13:00	1	Yemek arası		
	13:00	18:00	5	Su problemi		
	18:00	19:00	1	Yemek arası		
	19:00	20:30	1,5	Su problemi		
	20:30	23:00	2,5	Çalıştı		
17.3.2018 Cumartesi	08:00	12:00	4	Çalıştı	14	
	12:00	13:00	1	Yemek arası		
	13:00	18:00	5	Çalıştı		
	18:00	19:00	1	Yemek arası		
	19:00	00:00	5	Çalıştı		
19.3.2018 Pazartesi	08:00	12:00	4	Çalıştı	14	
	12:00	13:00	1	Yemek arası		
	13:00	18:00	5	Çalıştı		
	18:00	19:00	1	Yemek arası		
	19:00	00:00	5	Çalıştı		
20.3.2018 Salı	08:00	12:00	4	Çalıştı	4	
	12:00	12:00	0	Kesim tamamlandı		

Makina	Nesmar, 45 kW (Yan Kesim)		
Basamak	En (m)	Boy (m)	Alan (m ²)
	30	12	360
Kesim Süresi (saat)	44		
Ortalama Hız (m²/h)	8.18		

Sahada gerçekleştirilen ve takibi yapılan kesimlerle ilgili tüm veriler Çizelge 5.5 - 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. 55 kW makina ile Söğüt Beji ve Golden Traverten yan kesim parametreleri

Makina Gücü: 55 kW Kayaç Türü: Bej Mermer Kesim Türü: Yan Kesim			Makina Gücü: 55 kW Kayaç Türü: Traverten Kesim Türü: Yan Kesim		
Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)	Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)
360	32.0	11.25	256	14.5	17.66
360	31.5	11.43	256	15.0	17.07
360	31.0	11.61	256	15.0	17.07
320	27.0	11.85	270	16.0	16.88
320	26.5	12.08	270	16.5	16.36
320	27.0	11.85	270	15.5	17.42
306	23.5	13.02	168	9.0	18.67
306	22.0	13.91	168	8.5	19.76
Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		12.13	Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		17.61
Operatör Becerisi		Çok iyi	Operatör Becerisi		Çok İyi

Çizelge 5.6. 55 kW makina ile Söğüt Beji ve Golden Traverten alt kesim parametreleri

Makina Gücü: 55 kW Kayaç Türü: Bej Mermer Kesim Türü: Alt Kesim			Makina Gücü: 55 kW Kayaç Türü: Traverten Kesim Türü: Alt Kesim		
Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)	Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)
625	82.5	7.58	440	29.5	14.92
500	59	8.47	400	26	15.38
500	58	8.62	396	25.5	15.53
400	42	9.52	360	23	15.65
360	36.5	9.86	324	20	16.20
300	29	10.34	288	17.5	16.46
300	29.5	10.17	216	13	16.62
225	20.5	10.98	180	10.5	17.14
Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		9.44	Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		15.99
Operatör Becerisi		Orta	Operatör Becerisi		İyi

Çizelge 5.7. 45 kW makina ile Söğüt Beji ve Golden Traverten yan kesim parametreleri

Makina Gücü: 45 kW Kayaç Türü: Bej Mermer Kesim Türü: Yan Kesim			Makina Gücü: 45 kW Kayaç Türü: Traverten Kesim Türü: Yan Kesim		
Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)	Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)
360	42.5	8.47	256	19.5	13.13
360	44	8.18	256	19	13.47
360	41	8.78	256	18.5	13.84
320	35	9.14	270	21	12.86
320	34.5	9.28	270	20.5	13.17
320	35	9.14	270	21	12.86
306	33	9.27	168	10.5	16.00
306	32	9.56	168	10	16.80
Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		8.98	Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		14.02
Operatör Becerisi		İyi	Operatör Becerisi		Çok İyi

Çizelge 5.8. 45 kW makina ile Söğüt Beji ve Golden Traverten alt kesim parametreleri

Makina Gücü: 45 kW Kayaç Türü: Bej Mermer Kesim Türü: Alt Kesim			Makina Gücü: 45 kW Kayaç Türü: Traverten Kesim Türü: Alt Kesim		
Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)	Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)
500	79	6.33	432	43.5	9.93
400	56	7.14	396	39	10.15
300	39.5	7.59	352	33.5	10.51
288	38	7.58	320	29.5	10.85
270	33.5	8.06	300	27	11.11
240	29	8.28	288	25.5	11.29
225	25	9.00	270	23.5	11.49
225	24.5	9.18	252	21.5	11.72
Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		7.90	Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		10.88
Operatör Becerisi		Orta	Operatör Becerisi		Orta

Çizelge 5.9. 37 kW makina ile Söğüt Beji ve Golden Traverten yan kesim parametreleri

Makina Gücü: 37 kW Kayaç Türü: Bej Mermer Kesim Türü: Yan Kesim			Makina Gücü: 37 kW Kayaç Türü: Traverten Kesim Türü: Yan Kesim		
Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)	Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)
360	62.5	5.76	256	28.5	8.98
360	63	5.71	256	28	9.14
360	61	5.90	256	28.5	8.98
320	50.5	6.34	270	30.5	8.85
320	51	6.27	270	32	8.44
320	51.5	6.21	270	31	8.71
306	46	6.65	168	15.5	10.84
306	44.5	6.88	168	15	11.20
Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		6.22	Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		9.39
Operatör Becerisi		Orta	Operatör Becerisi		İyi

Çizelge 5.10. 37 kW makina ile Söğüt Beji ve Golden Traverten alt kesim parametreleri

Makina Gücü: 37 kW Kayaç Türü: Bej Mermer Kesim Türü: Alt Kesim			Makina Gücü: 37 kW Kayaç Türü: Traverten Kesim Türü: Alt Kesim		
Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)	Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)
360	92	3.91	396	75.5	5.25
320	74.5	4.30	360	63.5	5.67
300	68.5	4.38	352	62	5.68
288	65	4.43	320	52.5	6.10
270	59	4.58	300	49	6.12
196	41	4.78	288	46.5	6.19
168	34	4.94	270	43	6.28
140	27	5.19	216	32	6.75
Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		4.56	Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		6.01
Operatör Becerisi		İyi	Operatör Becerisi		Orta

Çizelge 5.11. 55 kW makina ile Söğüt Beji yan kesim ölçümleri

55 kW CAPPUCİNO (BEJ) YAN KESİMLER		
Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)
360	38.0	9.47
360	38.0	9.47
360	37.5	9.60
320	33.0	9.70
320	33.0	9.70
320	33.0	9.70
306	31.0	9.87
306	31.0	9.87
Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		9.67
Operatör Becerisi		İyi

Çizelge 5.12. 45 kW makina ile Söğüt Beji yan kesim ölçümleri

45 kW CAPPUCİNO (BEJ) YAN KESİMLER		
Kesilen alan (m ²)	Kesim süresi (Saat)	Kesim hızı (m ² /saat)
360	46.0	7.83
360	46.0	7.83
360	45.5	7.91
320	39.0	8.21
320	39.5	8.10
320	40.0	8.00
306	36.0	8.50
306	36.0	8.50
Ortalama kesim hızı (m ² /saat)		8.11
Operatör Becerisi		Orta

6. BULANIK MANTIK

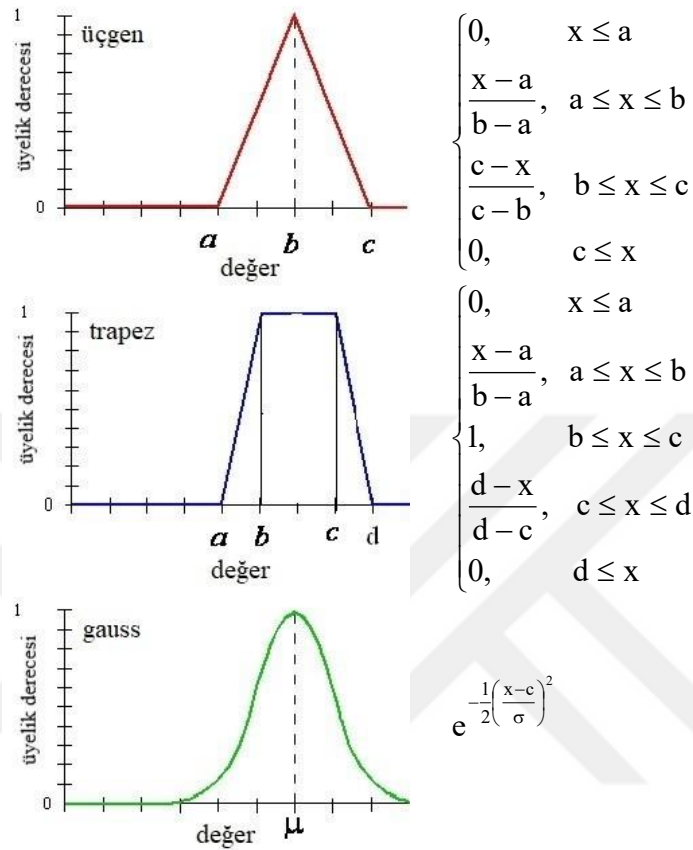
6.1. Giriş

İnsan tecrübelerine ait dilsel ifadeler ile havanın sıcak ya da soğuk oluşu, kişilerin boylarının uzun ya da kısa oluşu, bir aracın hızlı ya da yavaş oluşu kesinliklerden uzak ve öznelir. Biraz, çok, az, daha fazla gibi dilsel tanımlayıcı ifadeler ile tüm örnekler zaten kesinliklerden uzak ve bulanıktır. Bulanık mantık kavramı da tüm bu ifadelerin sayısal değerler alabilmesine olanak sağlar. İnsana ait tecrübeler ile çeşitli bilgilerin, yine bu gözlemlere dayanan kurallar ve işlem operatörleri yardımıyla; karşılaşılabilecek kompleks durumların önceden tahmin edilebilmesi amacıyla kullanılmaya devam eden bir kavramdır. Bu da makinaların insani düşünme sistemine benzeyen bir çalışma yeteneği kazanmasına yol açmıştır.

6.2. Bulanık Mantık Kavramı

Lotfi Asker Zadeh (1965), bulanık mantık, küme ve sistem kavramlarını ortaya koymuştur. Bu mantığı klasik Aristo mantığından ayıran temel fark; bir elemanın herhangi bir kümeye aitliğinin “evet” (1) ya da “hayır” (0) olarak cevaplanmaması, bahsi geçen elemanın bu kümeye ait olma derecesinin 0 ile 1 arasında değerler alabilen bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilebilmesidir. Bu bulanık girdilerin oluşturacağı bulanık kümeler için de üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi gerekir. Üyelik fonksiyonunun şekli bahsi geçen elemanları (değişkenleri) en iyi şekilde temsil etmelidir. Bu şekiller farklı yapılarda olabilirler fakat literatürde en çok görülen üyelik fonksiyonu çeşitleri üçgen, trapez ve gauss üyelik fonksiyonlarıdır (Şekil 6.1). Bu elemanların üyelik fonksiyonlarından aldıkları değerler de o elemanların “üyelik derecesi” olarak nitelendirilir. Örneğin; dilsel ifadelerle 0-10 arasında atanan sayısal değerlerin, oluşturulan üyelik fonksiyonlarıyla birlikte buldukları grafikte sayısal değerden çıkılan dikmenin fonksiyon ile birleştiği nokta da üyelik derecesini belirtmektedir. Üyelik derecesinin düşük ya da yüksek olması bir elemanın o bulanık küme tarafından belirlenen özelliklere uyum derecesinin az ya da çok oluşunu gösterir. Üyelik derecesinin 0 ile 1 arasında bu denli farklı değerler alabiliyor

olması ise sözel verilerin geniş bir aralıkta sayısal olarak ifade edilebilmesine yüksek katkı sağlamaktadır (Yılmaz ve Arslan, 2005).



Şekil 6.1. Üyelik fonksiyonları ve matematiksel ifadeleri (Amina, 2011)

6.3. Mamdani Yaklaşımı

Mamdani bulanık anlam çıkarma yöntemi, operatör tecrübelerinden elde edilen dilsel kurallar kümelerinin sentezi ile buhar makinası ve kaynama kombinasyonunu kontrol etmek amacı ile 1975 yılında Ebrahim Mamdani tarafından uygulanmıştır (Mamdani ve Assilian, 1975). Mamdani'nin bu yöntemi, Zadeh (1973) tarafından kaleme alınmış olan "karmaşık sistemler ve karar süreçleri için bulanık algoritmalar" adlı makaleye dayanmaktadır. Mamdani algoritmasını kullanan bulanık modellerin kullanımı, insan davranışlarının temsil edilmesine çok yatkın olması sebebiyle çok geniş alanlara yayılmıştır.

Mamdani algoritmasını içeren bir bulanık model oluşturmaya girdilerin bulanıklaştırılmasıyla başlanır. Bunun anlamı da girdi değişkenlerine “0” ile “1” arasında değişen, üyelik fonksiyonlarına dayanan üyelik derecelerinin belirlenmesidir. Mamdani bulanık modelinde, bir sistemi karakterize etmek için kullanılan alışılmış eşitliklerin yerini bulanık kurallar almıştır. Bulanık sistemin girdileri ve çıktısı arasında bulunan anlamlı ilişkiler yani dilsel kurallar ortaya konmalıdır. Bulanık kurallardaki anlamlı ilişkiler “ve”, “veya” ve “değil” operatörleri ile birleştirilerek bulanık sistemin kural tabanı oluşturulur. Mamdani bulanık modelinde anlam çıkarma mekanizması asıl olarak bulanık kuralların birleşimi esasına dayanmaktadır. Bulanık sistemden sayısal bir sonucun elde edilmesinde, her bir bulanık kuralın çıkarım kısmında yani “o zaman” kelimesi sonrasında ortaya çıkan sonuçlar bir araya getirilir ve tüm bulanık kuralların sonuca olan katkısını içerecek şekilde genel bir çıkarıma gidilir. Bu durumda her bir kuralın bulanık çıktı kümeleri birleştirilmesiyle oluşan bulanık küme durulaştırılır ve kesin bir sayısal değer (*crisp value*) elde edilir.

Şekil 6.2’de “X” ve “Y” gibi 2 girdi parametresi ve “Z” gibi bir çıktı parametresi olan 2 kurallı bir bulanık çıkarım sistemi görülmektedir. “X” girdisi “A1” ve “A2” gibi bulanık kümelerle temsil edilirken “Y” girdisi “B1” ve “B2” bulanık kümeleriyle temsil edilmiştir. “Z” çıktısı için de “C1” ve “C2” bulanık kümeleri tanımlanmıştır. Bulanık kural tabanında bulunan kurallar da aşağıdaki gibi olsun:

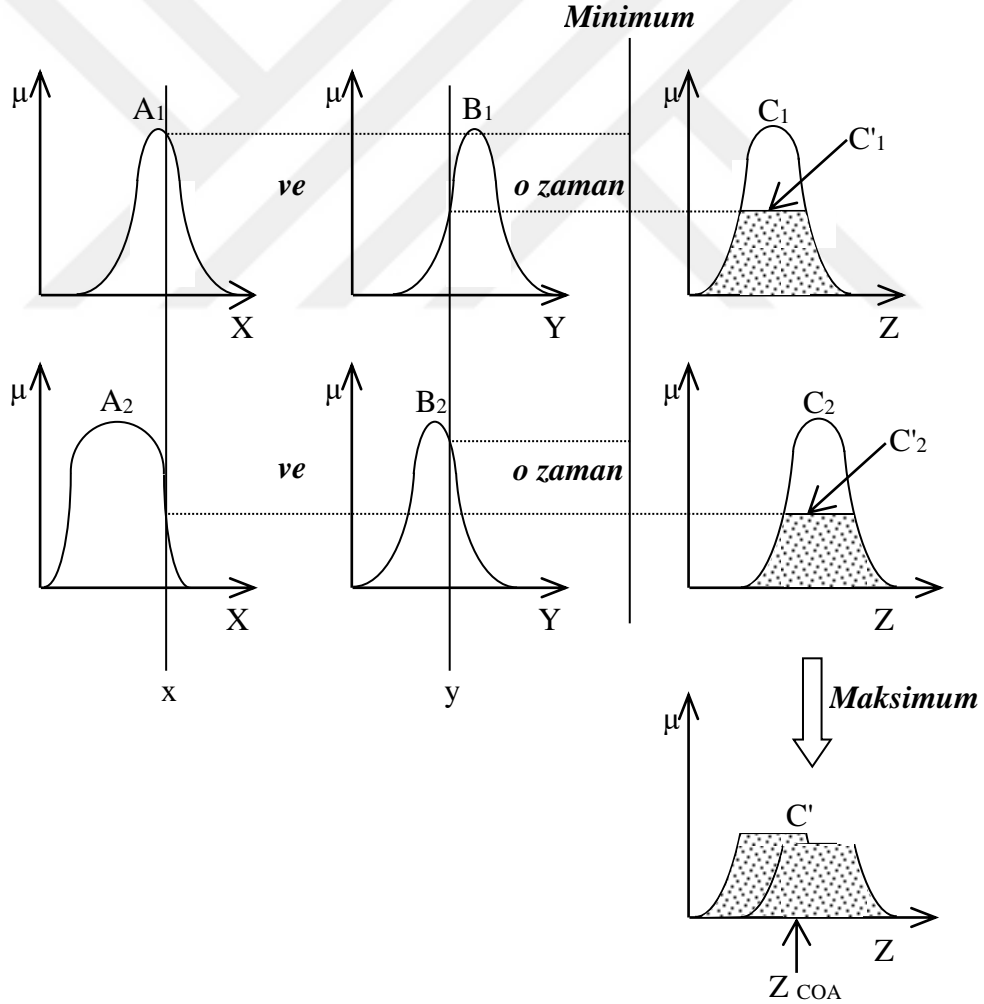
Kural 1: *Eğer* $X=A_1$ ise *ve* $Y=B_1$ ise *o zaman* $Z=C_1$ ’dir.

Kural 2: *Eğer* $X=A_2$ ise *ve* $Y=B_2$ ise *o zaman* $Z=C_2$ ’dir.

Bulanık kuraldaki değişkenler ve aldıkları değerler “ve” operatörü ile birbirine bağlandıkları için Mamdani algoritmasında minimum operatörünün kullanılması gerekmektedir.

Birinci girdi parametresinin değeri “x”, ikinci girdi parametresinin değeri “y” olduğunda, bu değerlerden çıkılan dikme ile bütün kurallar için her parametrenin bulanık kümeleriyle kesiştirilir. Bu kesiştirme işleminden elde edilen üyelik dereceleri karşılaştırılır ve birinci kural için minimum operatörü uygulanır. Uygulanan minimum operatörü sonucunda elde edilen üyelik derecesi ile birinci kuralın çıktı parametresinin

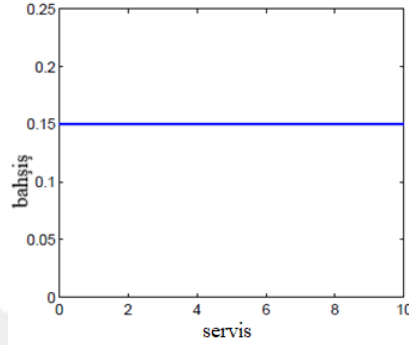
üyelik fonksiyonu kesiştirilir. Şekil 6.2’de C_1 ile gösterilen taralı bulanık küme, bulanık sistemin 1. kuralından elde edilen sonucu ifade etmektedir. Bu işlemler her bir kural için uygulandıktan sonra, elde edilen bulanık kümeler maksimum operatörü kullanılarak toplanır (Şekil 6.2’de C' ile gösterilen taralı bulanık küme). Mamdani algoritmasının uygulanması sonucunda, çıktı değişkeni için elde edilen değer daima bir bulanık kümedir ve bu bulanık küme, her bir bulanık kuraldan elde edilen sonucu içermektedir. Bulanık sistemin sonucu olarak elde edilen bulanık kümelere durulaştırma (*defuzzification*) işlemi uygulanarak çıktı değişkeni için kesin bir sayısal değer hesaplanır. Şekil 6.2’de gösterilen bulanık küme çıktısı için, durulaştırma yöntemlerinden “alanın merkezi” veya bir diğer adıyla “ağırlık merkezi” yöntemi uygulanarak Z_{COA} ile gösterilmiş olan kesin bir “z” değeri elde edilmiştir.



Şekil 6.2. Mamdani algoritması (İphar, 2006)

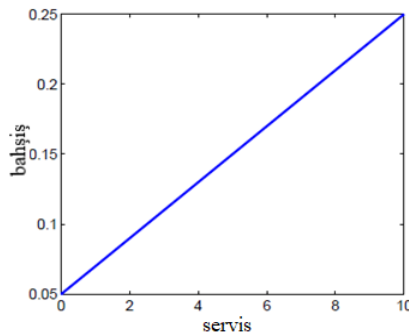
Bulanık mantık kavramının sağladığı avantajları açıklamak amacıyla bir problem, lineer ve bulanık yaklaşımlarla incelenirse: Bir garsona verilecek doğru bahşış miktarı ne kadar olmalıdır?

Bulanık olmayan yaklaşım: Bahşış miktarının daima fatura tutarının %15'ine eşit olduğu varsayılırsa: $Bahşış=0.15 \times \text{fatura miktarı}$ olacaktır. Böyle bir değerlendirmede, Şekil 6.3'de görüldüğü gibi, servis kalitesi ne olursa olsun verilecek bahşış miktarı değişmemektedir.



Şekil 6.3. Bahşış miktarının sabit oluşu

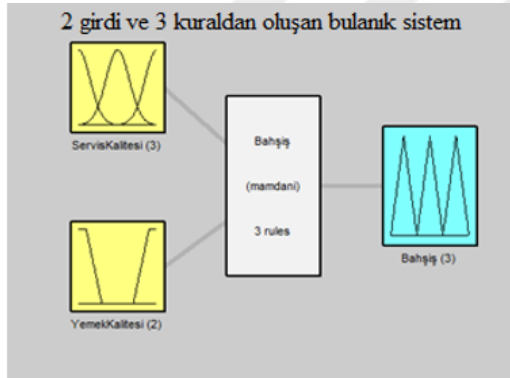
Servis hizmeti kalitesi 0 ile 10 arasında değerler alabilsin (10 mükemmel servis hizmetini temsil etmektedir). Bu ilişkide, servis hizmetinin kalitesi dikkate alınmamaktadır, bu nedenle yazılan eşitliğe yeni bir değişken eklenmesi gerekmektedir. Bu durumda yazılabilecek yeni eşitlik: $Bahşış=0.20/10 \times \text{Servis hizmeti} + 0.05$ şeklinde tanımlanabilir. Servis hizmeti kalitesi “kötü” (0) olduğunda bahşış miktarı $0.05 \times \text{fatura miktarı}$ olacaktır. Servis hizmeti kalitesi “mükemmel” (10) olduğunda ise bahşış miktarı $0.25 \times \text{fatura miktarı}$ olacaktır. Böylece, bahşış miktarı 0.05’den başlayan 0.25’e kadar devam eden lineer bir doğru şeklinde olacaktır (Şekil 6.4).



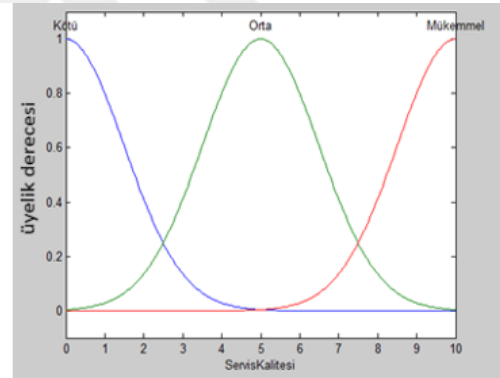
Şekil 6.4. Bahşışın servis kalitesi dikkate alınması halinde lineer değişimi

Verilen eşitlik oldukça katıdır ve tam olarak istenileni yansıtmamaktadır. Ayrıca, bu ilişki yemeğin kalitesini ya da lezzetini dikkate almayan bir ilişkidir. Dolayısıyla, problemin çözümü yemek kalitesinin ve lezzetinin etkilerinin dikkate alındığı bir formül ile de tanımlanabilir. Bu durumda sonuçlar daha tatmin edici olabilecektir. Ancak, yine de tam olarak doğru olmayabilir. Örneğin, sunulan yemek kalitesinin servis hizmeti kalitesinden daha önemli olduğu veya tam tersi düşünülürse, verilen eşitlik yine de insan tecrübelerine dayanan detayları yansıtmak adına yeterli olamayacaktır.

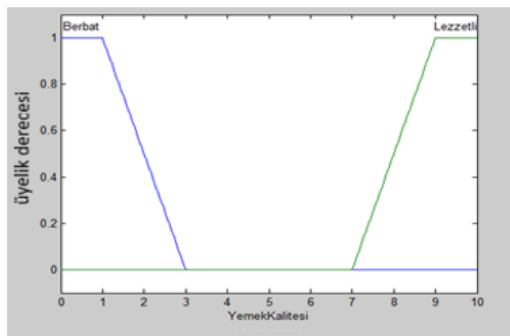
Bulanık yaklaşım: Bulanık sistemlerde kelimelerin temsil edilmesi, tanımlı olunan uzaydaki bulanık kümeler vasıtası ile gerçekleştirilir. Bahşiş probleminin girdi değişkenlerinden birincisi servis hizmeti için “Kötü”, “Orta” ve “Mükemmel”, diğeri yemek kalitesi için ise “Berbat”, “Lezzetli” gibi sözel değişkenleri temsil edecek bulanık kümeler belirlenmiştir (Şekil 6.5-b ve c). Çıktı değişkeni olan bahşiş miktarı için “Az”, “Orta” ve “Çok” bulanık kümeleri Şekil 6.5-d’de görülmektedir.



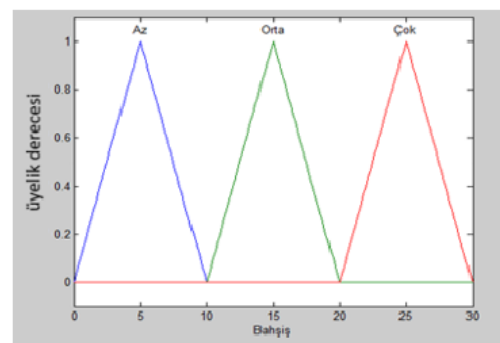
a) Bulanık sistem



b) Servis kalitesi bulanık kümeleri



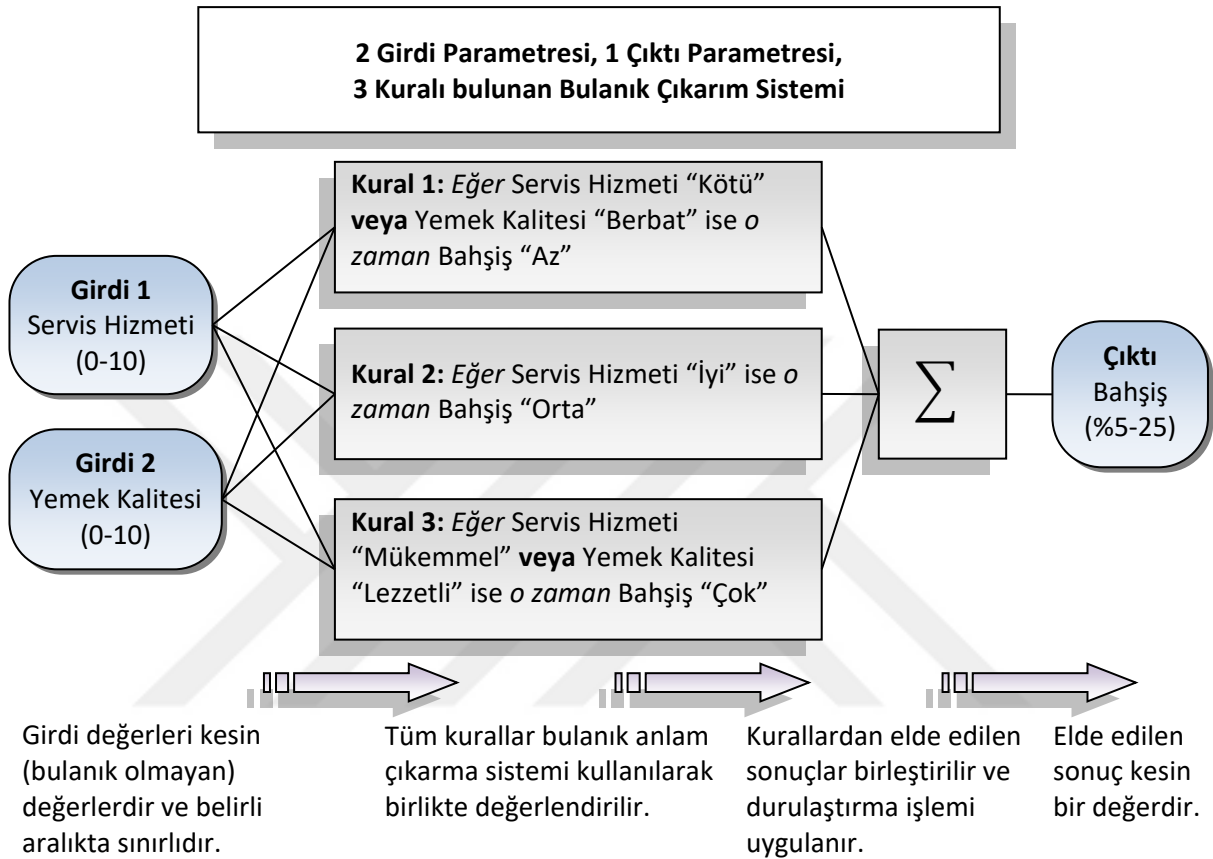
c) Yemek kalitesi bulanık kümeleri



d) Bahşiş çıktısı bulanık kümeleri

Şekil 6.5. Bahşiş problemi için tanımlanan değişkenler ve bulanık kümeler

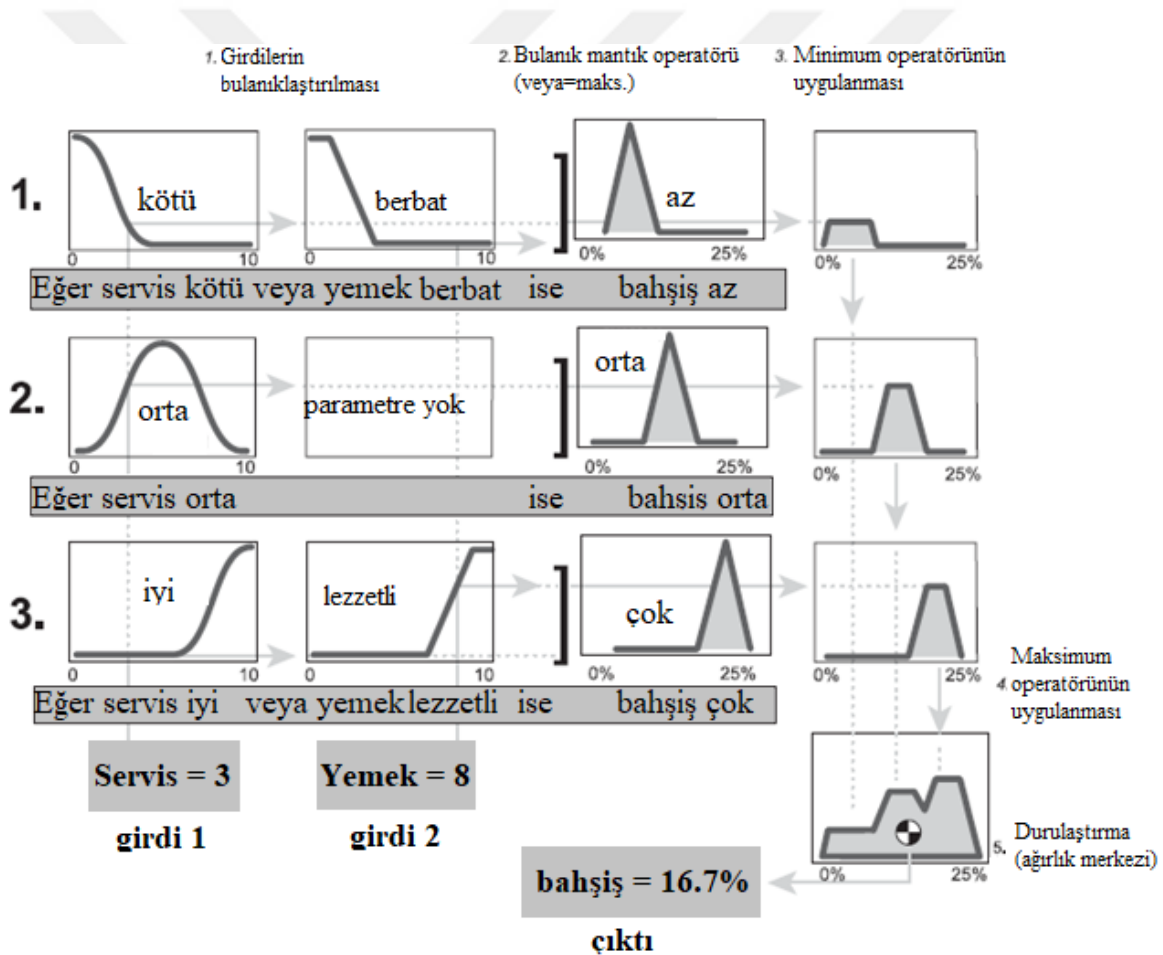
Girdi ve çıktı değişkenlerinin bulanıklaştırılması aşamasından sonra Şekil 6.6’da görüldüğü gibi girdi değişkenleriyle çıktı değişkeni arasındaki ilişkiyi tanımlayan 3 adet bulanık kural (*eğer - o zaman* kuralları) bulanık sisteme eklenmiştir.



Şekil 6.6. Bahşiş problemi için oluşturulan bulanık model (Mathworks, 1998)

Şekil 6.7, bahşiş probleminin çözümüne yönelik oluşturulan bulanık çıkarım sisteminde Mamdani algoritmasının uygulanışını göstermektedir. Servis kalitesi için 3 ve yemeğin lezzeti için 8 puan verilmesi durumunda verilecek bahşiş miktarının %16.7 olması gerektiği hesaplanmıştır. Girdi değişkenleri için verilen sayısal değerler kullanılarak hesaplama yapılırken, bulanık kural tabanında bulunan kurallarda "*veya*" operatörü kullanıldığı için her bir kuralda Mamdani algoritması gereğince üyelik derecelerine maksimum işlemi uygulanmıştır. Örneğin; servis kalitesi için verilen 3 değeriyle birinci bulanık kuralda servis kalitesi için "kötü" bulanık kümesi kesiştirilerek elde edilen üyelik derecesi ile yemek kalitesi için verilen 8 değeriyle birinci kuraldaki yemek kalitesi "berbat" bulanık kümesi kesiştirildiğinde elde edilen üyelik derecesi (0) karşılaştırılmış ve maksimum operatörü uygulanmıştır. Böylece, birinci kuraldaki maksimum operatörünün

uygulanmasıyla elde edilen üyelik derecesi birinci kuralın sonuç kısmında yer alan bahşiş “az” bulanık kümesiyle kesleştirilerek birinci kuraldan bulanık küme şeklindeki sonuç elde edilmiştir. Bulanık kural tabanında bulunan birinci kural: Eğer Servis Hizmeti “Kötü” veya Yemek Kalitesi “Berbat” ise o zaman Bahşiş “Az” olduğu için servis hizmeti için verilen 3 değeri “kötü” bulanık kümesiyle kesleştirilmiştir. Benzer şekilde, yemek kalitesi için verilen 8 değeri, birinci kuralda yemek kalitesi “berbat” ifadesi yer aldığı için “berbat” bulanık kümesiyle kesleştirilmiştir. Bulanık kural tabanında bulunan diğer iki kural için de benzer işlemler uygulandıktan sonra, her bir kuralın sonuç kısmında elde edilen bulanık kümeler Şekil 6.7’de gösterildiği gibi toplanır. Elde edilen çıktı da bir bulanık kümedir ve kesin bir sayısal değer kazanabilmesi için durulaştırma işlemine tabi tutulması gerekir.

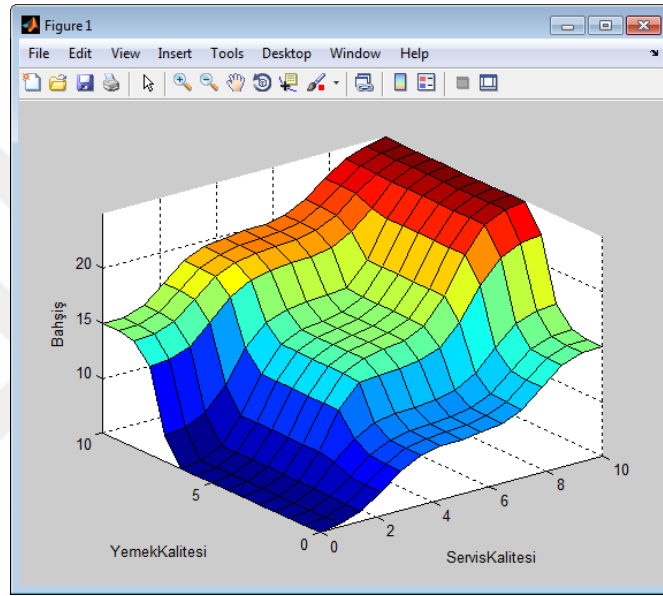


Şekil 6.7. Bahşiş probleminde Mamdani algoritmasının kullanılışı (Mathworks, 1998)

Ağırlık merkezi, alanın açığırtayı yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, en büyük üyelik yöntemi, ortalama en büyük üyelik yöntemi, toplamların merkezi yöntemi, en büyük alanın merkezi yöntemi, maksimumun ilki veya sonu yöntemi literatürde bulunan çeşitli

durulaştırma yöntemleridir. Ağırlık merkezi veya bir diğer adıyla alanın merkezi yöntemi literatürde bulunan durulaştırma yöntemlerinin en yaygın olarak kullanılanıdır. Şekil 6.7’de görüldüğü gibi, bahşiş probleminin çözümünde ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi kullanılmıştır.

Şekil 6.6’da verilen bulanık sistemin bahşiş problemine uygulanması sonrası Matlab programından elde edilen bulanık model sonuçları ise Şekil 6.8’de gösterilmiştir.

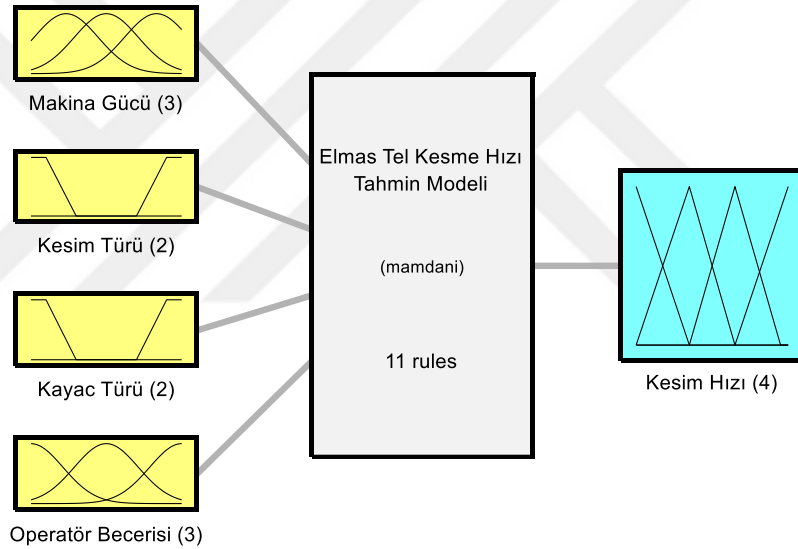


Şekil 6.8. Bahşiş probleminin bulanık model sonuçları

Şekil 6.8’de verilen sonuçlar, Şekil 6.3 ve 6.4’de görülen sonuçlarla karşılaştırıldığında bulanık sistem sonuçlarının daha tatmin edici ve gerçeğe yakın olabileceğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla; girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkilerin doğru bir şekilde belirlenmesiyle oluşturulacak bulanık çıkarım sistemleri, gerçek dünya problemlerine başarılı bir şekilde uygulanarak daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır.

7. ELMAS TEL KESME MAKİNASI PERFORMANSINI TAHMİN ETMEYE YÖNELİK OLUŞTURULAN BULANIK MODEL

Türkiye’de granit, mermer, traverten gibi doğal taşların üretimi genel olarak açık işletmelerden yapılmaktadır. Blokların açık işletmelerden üretilmesinde yaygın olarak elmas tel kesme işleminden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada; elmas tel kesme makinasının kesme hızını tahmin edebilmek amacıyla makina gücü, kesim türü, kayaç türü ve tel kesme makinasını kullanan operatörün becerisini kullanan bir bulanık model Matlab yazılımının “Fuzzy Logic Designer” aracı (Matlab, 2017) kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 7.1). Oluşturulan bulanık tahmin modelinde Mamdani algoritması kullanılmıştır.



System Elmas Tel Kesme Hızı: 4 inputs, 1 outputs, 11 rules

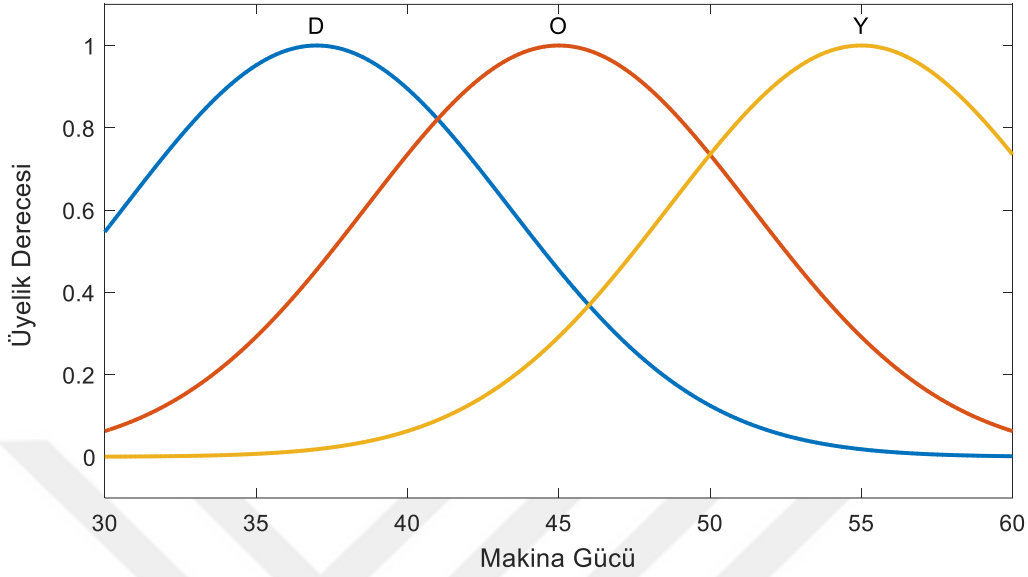
Şekil 7.1. Oluşturulan bulanık model

7.1. Girdi Parametrelerini Temsil Eden Bulanık Kümeler

7.1.1. Tel kesme makinasının gücü

Elmas tel kesme makinasının gücü girdi parametresi için 3 tane gauss üyelik fonksiyonu türünde bulanık küme tanımlanmıştır. Bu kümeler: “Düşük (D)” gaussmf [6.37 37], “Orta (O)” gaussmf [6.37 45] ve “Yüksek (Y)” trapmf [6.37 55] olarak tanımlanmıştır (Şekil 7.2). Bulanık kümeler tanımlanırken, işletmede kullanılan tel kesme makinalarının

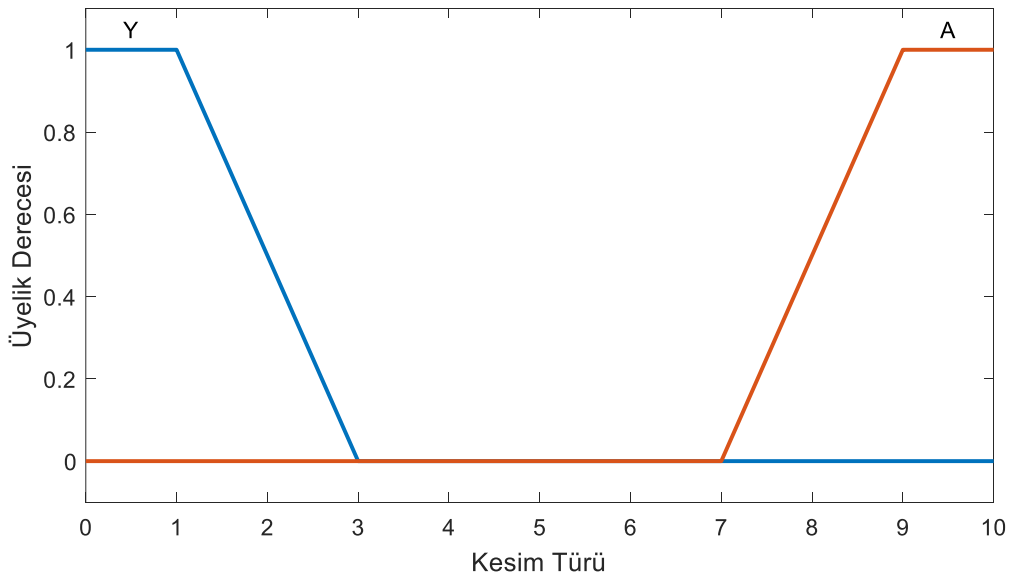
gücü dikkate alınmıştır. İşletmede kullanılan makinaların güçleri 37, 45 ve 55 kW'dır. Bu nedenle, gauss üyelik fonksiyonu parametreleri bu değerlere göre belirlenmiştir.



Şekil 7.2. Makina gücü girdi parametresini temsil eden bulanık kümeler

7.1.2. Kesim türü

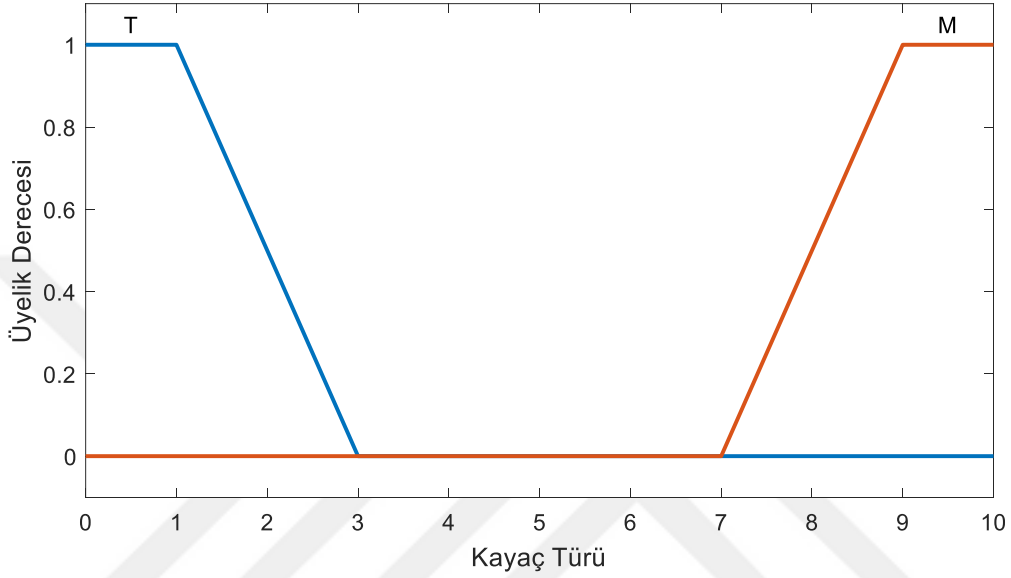
Kesim türü, mermer ocağından blok çıkarılabilmesi için yapılması gereken kesimleri ifade etmektedir. Kesim türü girdi parametresi için 2 tane trapez üyelik fonksiyonuna sahip bulanık küme tanımlanmıştır. Bu kümeler: “Yan (Y)” trapmf [0 0 1 3] ve “Alt (A)” trapmf [7 9 10 10] olarak tanımlanmıştır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3. Kesim türü girdi parametresini temsil eden bulanık kümeler

7.1.3. Kayaç türü

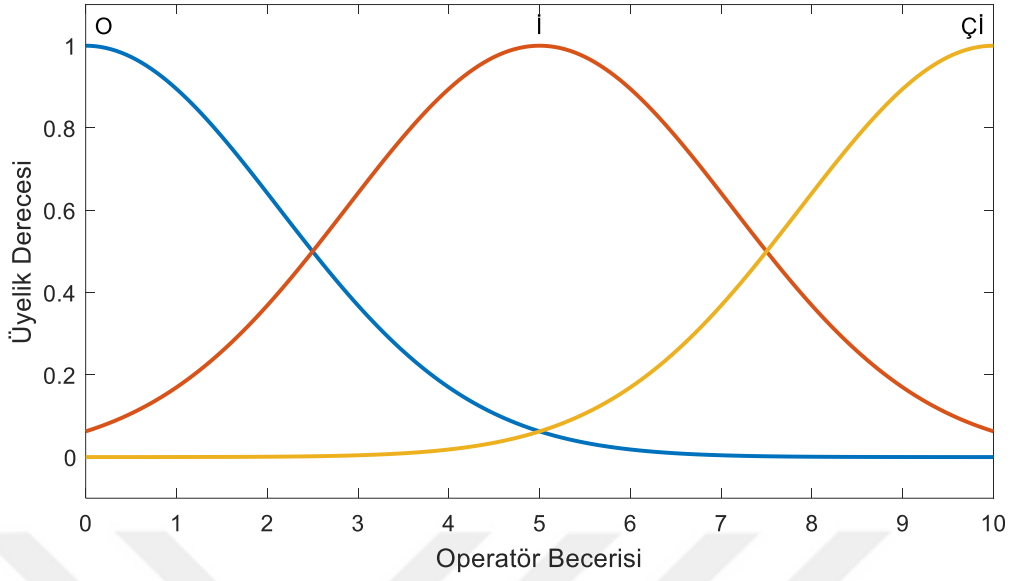
Dilsel olarak ifade edilebilen kayaç türü girdi parametresi için 2 tane trapez bulanık küme tanımlanmıştır. Bu kümeler: “Traverten (T)” trapmf [0 0 1 3] ve “Mermer (M)” trapmf [7 9 10 10] olarak tanımlanmıştır (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. Kayaç türü girdi parametresini temsil eden bulanık kümeler

7.1.4. Operatör becerisi

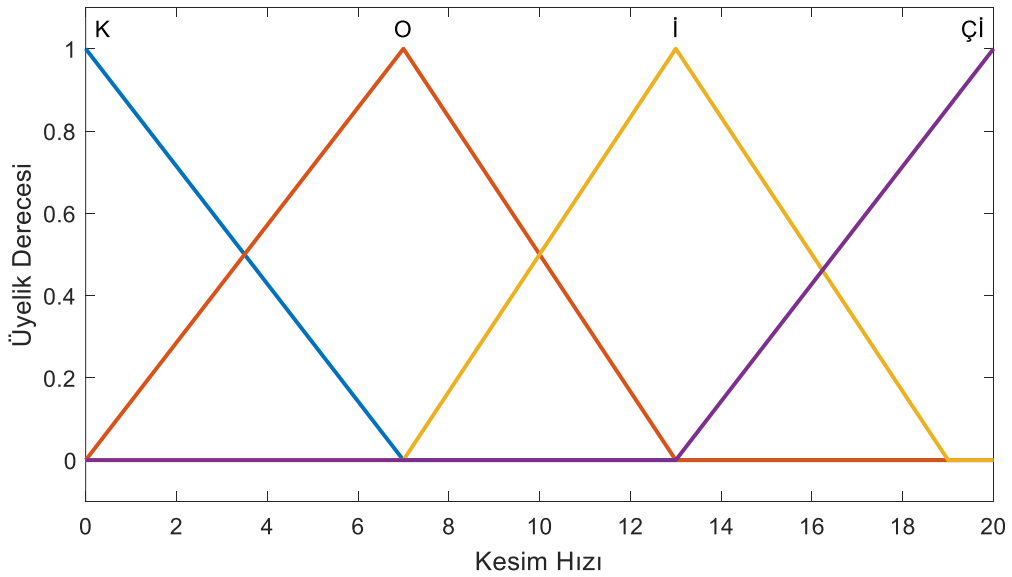
Dilsel olarak ifade edilebilen operatör becerisi girdi parametresi için 3 tane gauss tipi bulanık küme tanımlanmıştır. Bu kümeler: “Orta (O)” gaussmf [2.123 0], “İyi (İ)” gaussmf [2.123 5] ve “Çok (İyi)” gaussmf [2.123 10] olarak tanımlanmıştır (Şekil 7.5).



Şekil 7.5. Operator becerisi girdi parametresini temsil eden bulanık kümeler

7.2. Çıktı Parametresi Kesme Hızını Temsil Eden Bulanık Kümeler

Elmas tel kesme makinasının kesim hızını temsil eden 4 adet üçgen bulanık küme tanımlanmıştır. Bu kümeler: “Kötü (K)” trimf [0 0 7], “Orta (O)” trimf [0 7 13], “İyi (İ)” trimf [7 13 19] ve “Çok İyi (Çİ)” trapmf [13 20 20] olarak tanımlanmıştır (Şekil 7.6).



Şekil 7.6. Kesme hızı çıktı parametresini temsil eden bulanık kümeler

7.3. Bulanık Sistemin Kurallarının Belirlenmesi

Bir bulanık modelin en önemli bileşeni bulanık eğer-o zaman (*if-then*) kurallarıdır. Bir elmas tel kesme makinasının kesim hızını etkileyen girdi parametrelerinin almış olduğu değerlere göre kesme hızının ne olabileceğini belirleyebilmek amacıyla bulanık kurallar yazılmıştır. Yazılan bulanık kurallar, elmas tel kesme yönteminde etkili olan girdi parametreleri ile çıktı parametresi olan kesme hızı arasındaki mantıksal ilişkilerdir. Bu ilişkiler, elmas tel kesim yöntemiyle blok üretimi yapılan mermer ocaklarında uzun yıllar çalışmış olan deneyimli bir maden mühendisi tarafından ocak gözlemlerine dayanarak belirlenmiştir. Böylece, girdi değişkenleri ile çıktı değişkeni olan kesme hızı arasındaki ilişkiler tanımlanmıştır. Oluşturulan bulanık tahmin modelinde, toplam 11 adet kural tanımlanmış ve aşağıda belirtilmiştir:

1. *If* (Makina Gücü is Y) and (Kesim Türü is Y) and (Kayaç Türü is T) *then* (Kesim Hızı is Çİ) (1)
2. *If* (Makina Gücü is Y) and (Kayaç Türü is M) and (Operatör Becerisi is Çİ) *then* (Kesim Hızı is İ) (1)
3. *If* (Makina Gücü is O) and (Kesim Türü is Y) and (Kayaç Türü is T) and (Operatör Becerisi is Çİ) *then* (Kesim Hızı is Çİ) (1)
4. *If* (Makina Gücü is O) and (Kayaç Türü is M) and (Operatör Becerisi is O) *then* (Kesim Hızı is O) (1)
5. *If* (Makina Gücü is D) and (Kayaç Türü is M) *then* (Kesim Hızı is K) (1)
6. *If* (Makina Gücü is D) and (Kesim Türü is Y) and (Kayaç Türü is T) and (Operatör Becerisi is İ) *then* (Kesim Hızı is O) (1)
7. *If* (Makina Gücü is Y) and (Kesim Türü is A) and (Kayaç Türü is M) and (Operatör Becerisi is O) *then* (Kesim Hızı is O) (1)
8. *If* (Makina Gücü is O) and (Kesim Türü is A) and (Kayaç Türü is T) and (Operatör Becerisi is O) *then* (Kesim Hızı is İ) (1)
9. *If* (Makina Gücü is Y) and (Kesim Türü is Y) and (Kayaç Türü is T) and (Operatör Becerisi is İ) *then* (Kesim Hızı is Çİ) (1)
10. *If* (Makina Gücü is D) and (Kesim Türü is A) and (Kayaç Türü is T) *then* (Kesim Hızı is K) (1)

11. *If (Makina Gücü is Y) and (Kesim Türü is A) and (Kayaç Türü is T) then (Kesim Hızı is Çİ) (1)*

1. bulanık kural, “*eğer makina gücü Yüksek ise ve kesim türü Yan ise ve kayaç türü Traverten ise o zaman kesim hızı Çok İyi*” anlamına gelmektedir. Bu kuraldan da anlaşılacağı gibi, “Operatör Becerisi” parametresinin bu koşullarda yapılan elmas tel kesme işleminde etkisi olmamasından dolayı bulanık kuralda bu girdi parametresi yer almamıştır. Ancak; kesilen doğal taş daha sağlam olduğunda, daha düşük güçlü bir elmas tel kesme makinası kullanıldığında veya alt kesim yapılması koşullarında operatör becerisi farkı ortaya çıkacağından bu tür zor kesim şartlarında bu girdi parametresi bulanık kurallarda kullanılmıştır.

Bulanık kuralların sonunda parantez içinde verilen değerler her bir kuralın bulanık çıkarım sistemi içerisindeki ağırlığını ifade etmektedir. Parantez içerisinde görülen “1” değeri, bütün bulanık kuralların eşit öneme sahip olduğunu belirtmektedir. Ayrıca, tanımlanan tüm parametreler için oluşturulan kurallar “ve” (*and*) bağlacı ile bağlanmış ve değerlendirilmiştir.

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

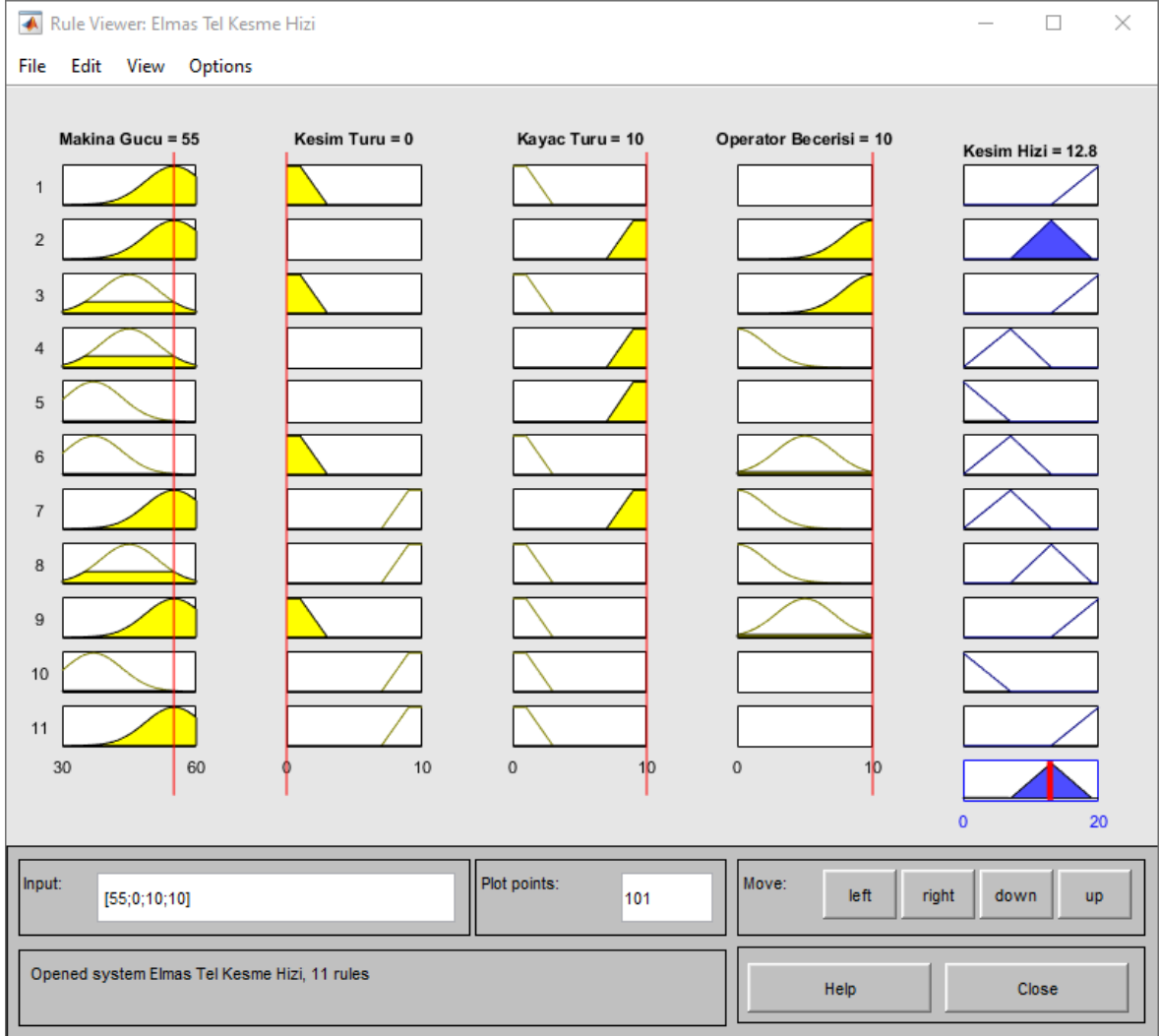
Bu tez kapsamında, Bilecik ili Söğüt ilçesinde faaliyet gösteren Gökyar Mermer firmasına ait bir açık ocakta elmas tel kesme yöntemiyle blok üretimi sırasında makinaların kesme performansları 3 yıl süreyle takip edilmiş ve kesim süreleri kayıt altına alınmıştır. İncelemelerin ve ölçümlerin yapıldığı bu ocakta, mermer (Söğüt Bej) ve traverten (Cappucino) bloklarının üretimi gerçekleştirilmiştir. Blokların üretimi sırasında 3 farklı güçteki (37, 45 ve 55 kW) elmas tel kesme makinaları farklı becerilere sahip operatörler tarafından kullanılmıştır. Böylece; farklı özelliklere sahip doğal taşların, farklı güçteki makinalarla ve farklı operatörler tarafından kesilmesi sırasında elmas tel kesme makinalarının kesme performansındaki değişiklikler takip edilebilmiştir.

Doğal taş üretimi ile ilgili saha gözlemleri ve mühendislik deneyimi kullanılarak elmas tel kesme makinasının kesme hızını tahmin etmeye yönelik bulanık model oluşturulmuştur. Bulanık tahmin modelinden elde edilen sonuçlar ve araziden elde edilen elmas tel makinası kesme hızı değerleri Çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Gerçekleşen ve bulanık modelle tahmin edilen elmas tel kesme hızları

Makina Gücü (kW)	Kesim Türü	Kayaç Türü	Operatör Becerisi	Ortalama Kesim Hızı (m ² /saat)	Tahmin Edilen Kesim Hızı (m ² /saat)
55	Yan	Mermer	Çok İyi	12.13	12.80
55	Yan	Traverten	Çok İyi	17.61	17.00
55	Alt	Mermer	Orta	9.44	6.66
55	Alt	Traverten	İyi	15.99	16.60
45	Yan	Mermer	İyi	8.98	5.05
45	Yan	Traverten	Çok İyi	14.02	15.70
45	Alt	Mermer	Orta	7.90	6.07
45	Alt	Traverten	Orta	10.88	10.60
37	Yan	Mermer	Orta	6.22	5.01
37	Yan	Traverten	İyi	9.39	7.29
37	Alt	Mermer	İyi	4.56	3.33
37	Alt	Traverten	Orta	6.01	8.09
55	Yan	Mermer	İyi	9.67	9.49
45	Yan	Mermer	Orta	8.11	6.07

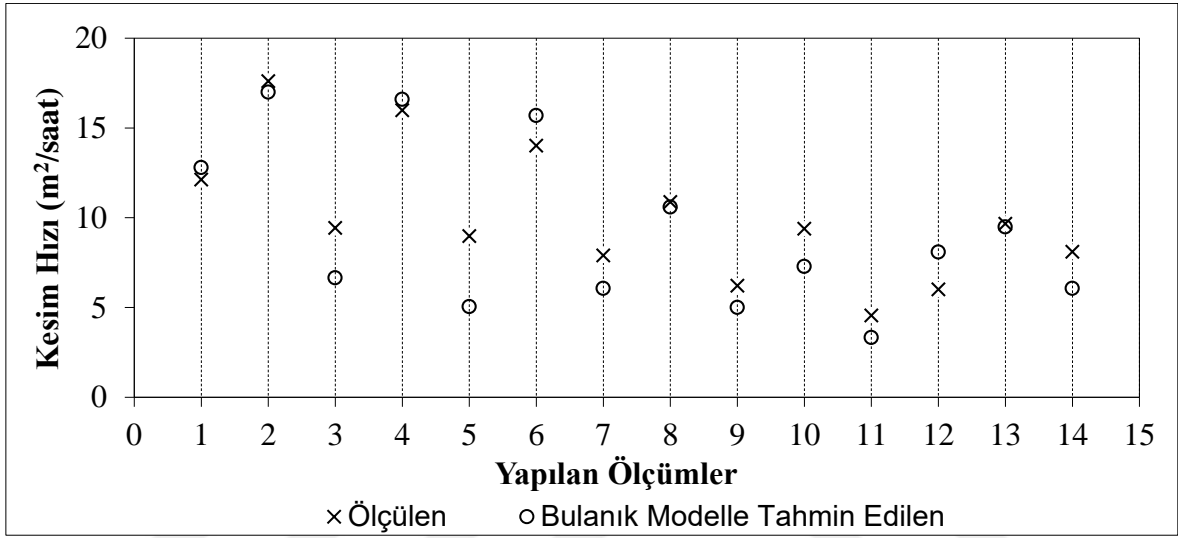
Çizelge 8.1'in son sütununda verilen kesim hızı değerleri, bu çalışma kapsamında oluşturulan bulanık modelden elde edilmiş sonuçlardır. Bu sonuçlar, Matlab yazılımında bulunan bulanık mantık aracındaki “Kural Görüntüleyici (*Rule Viewer*)” kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 8.1).



Şekil 8.1. Oluşturulan bulanık modelden sonuçların alınması

Elmas tel kesme makinasının kesim hızının bulanık model yardımıyla belirlenebilmesi için girdi parametrelerinin değerleri Şekil 8.1'de görülen kırmızı çizgilerin fare ile hareket ettirilmesiyle ya da “Input” ile gösterilen alana sayısal değerlerinin klavyeden yazılmasıyla bulanık modele girilir. Girdi parametrelerinin değerlerinin tanımlanmasından hemen sonra Mamdani algoritması uygulanarak her bir bulanık kuraldan elde edilen bulanık sonuçlar toplanır ve elde edilen bulanık küme durulaştırılarak çıktı parametresinin sayısal değeri ekranda gösterilir. Örneğin; Çizelge 8.1'in ilk satırında

görülen veriler kullanılarak girdi parametreleri için makina gücü “55” kW ve kesim türü “yan” ve kayaç türü “mermer” ve operatör becerisi “çok iyi” olduğunda çıktı parametresi olan kesim hızı 12.8 m²/saat olarak tahmin edilmiştir (Şekil 8.1). Benzer şekilde, sahada ölçülen diğer verilerin kullanılmasıyla elmas tel kesme makinasının kesme hızları bulanık modelden elde edilmiştir. Sahada gerçekleşen elmas tel kesme hızları ile bulanık modelden elde edilen tahmin değerleri Şekil 8.2’de verilmiştir.



Şekil 8.2. Saha gözlemlerinden elde edilen ve bulanık modelle tahmin edilen kesim hızları

Şekil 8.2 incelendiğinde, bulanık tahmin modelinden elde edilen sonuçların sahada gerçekleşen elmas tel kesme hızlarına oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Oluşturulan bulanık modelinin tahmin performansını belirleyebilmek amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan VAF (*variance account for*, Eşitlik 8.1) ve RMSE (*root mean square error*, Eşitlik 8.2) performans indeksleri kullanılmıştır (Grima ve Babuska 1999; Gokceoglu 2002; Gokceoglu ve Zorlu 2004).

$$VAF = \left(1 - \frac{\text{var}(y_i - \hat{y}_i)}{\text{var}(y_i)}\right) \times 100\% \quad (8.1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (8.2)$$

Burada; *var* varyans, y_i ölçülen değer, \hat{y}_i tahmin edilen değer ve N örneklerin sayısı'dır.

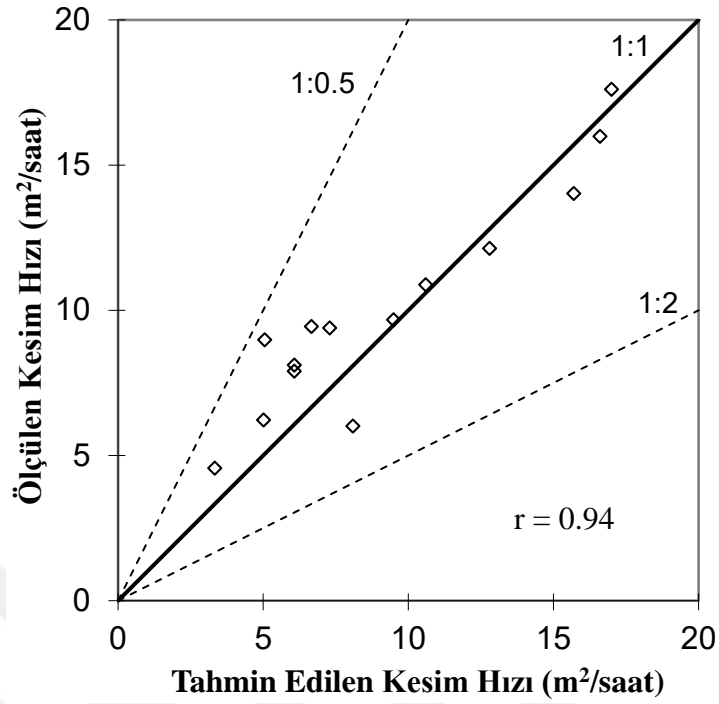
Bu performans indekslerinin yorumlanması şu şekildedir: VAF değeri ne kadar büyükse modelin tahmin performansı o kadar iyidir. Örneğin; %100'lük bir VAF değeri ölçülen değerlerin model tarafından tam olarak mükemmel bir şekilde tahmin edildiği anlamına gelir. $VAF=0$ olması durumu; modelin, sadece verilerin ortalama değerini kullanan bir tahmin modeli kadar zayıf performans gösterdiği anlamına gelir. $RMSE$ ne kadar küçük olursa modelin tahmin gücünün o kadar iyi olduğu söylenir. Ayrıca, $RMSE$ bir tahmin modelindeki ölçülen ve tahmin edilen veriler arasındaki sapmayı açıklar.

Oluşturulan bulanık tahmin modelinin performans indeksleri $VAF=79.63$ ve $RMSE=1.82$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 8.2). Ayrıca, tahmin edilen değerlerle sahada ölçülen değerler arasındaki korelasyon katsayısının $r=0.94$ ve tahminin standart hatasının 1.39 olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, bulanık tahmin modelinin oldukça başarılı olduğu söylenebilir. Bu çalışmanın gerçekleştirildiği saha için geçerli olmak üzere, bulanık mantık kavramını kullanan bir tahmin modeliyle makina gücü, kesim türü, kayaç türü ve operatör becerisi değerleri kullanılarak elmas tel kesme makinasının kesme hızının başarılı bir şekilde tahmin edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 8.2. Bulanık tahmin modelinin performans indeksleri

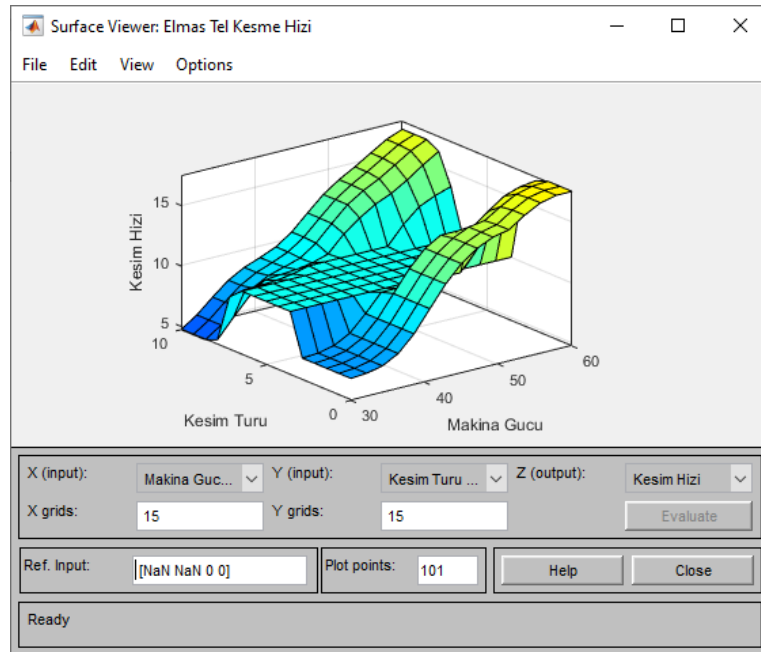
VAF	79.63
$RMSE$	1.82
r	0.94
Tahminin standart hatası	1.39

Şekil 8.3, elmas tel kesme makinasının gerçek kesim hızları ile bulanık modelden elde edilen tahmin değerlerini 1:1 tahmin çizgisi ile birlikte 1:05 ve 1:2 aralığında göstermektedir.



Şekil 8.3. Ölçülen ve bulanık modelle tahmin edilen kesim hızları

Bulanık tahmin modelinin tüm sonuçlarının görülebilmesi amacıyla Şekil 8.4’de verilen MATLAB yazılımının “Yüzey Görüntüleyici (*Surface Viewer*)” arayüzü kullanılır (Matlab, 2017).



Şekil 8.4. Yüzey görüntüleyici arayüzü

Şekil 8.4’de görülen yüzey görüntüleyici arayüzü kullanılarak çizdirilen grafikler “x, y, z” olmak üzere 3 eksenlidir. “x” ve “y” ekseninde bulanık modelin girdi parametrelerinden herhangi 2 tanesi bulunurken “z” ekseninde çıktı parametresinin değerleri yer alır. Eğer bulanık modelde 2’den fazla girdi değişkeni bulunursa, “x” ve “y” ekseninde gösterilen girdi değişkenlerinin dışında kalan tüm girdi değişkenleri için kullanıcı tarafından sabit bir değer tanımlanır. Örneğin, bu çalışmada oluşturulan bulanık tahmin modelinde bulunan girdi parametrelerinin sayısı 4 olduğu için (1-makina gücü, 2-kesim türü, 3-kayaç türü ve 4-operatör becerisi), çizilen grafiklerde kullanılmayan 2 girdi değişkeni için sabit değerler kullanılmıştır. Şekil 8.4’de “*Ref. Input:*” yazan kısımda görülen [NaN NaN 0 0] ifadesi hangi girdi değişkenlerinin grafikte kullanıldığını ve hangi girdi değişkenlerine sabit değerler atandığını belirtir. Bu ifadede, boşluklarla birbirinden ayrılan 4 değer, bulanık sistemin 4 adet girdisi olduğunu belirtir. İlk 2 sıradaki “NaN” ifadesi; bulanık sistemin ilk 2 girdi parametresine karşılık (bulanık sistemin 1. ve 2. girdi parametresi), çıktı parametresinin değişim grafiğinin çizdirildiği anlamına gelmektedir. Son iki sırada yer alan “0” rakamları da, grafiğin “x” ve “y” eksenlerinde kullanılmayan diğer girdi parametreleri (bulanık sistemin 3. ve 4. sırasında yer alan girdi parametreleri) için tanımlanan sabit değerleri göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında, elmas tel kesme makinasının kesim hızını tahmin edebilmek amacıyla oluşturulan bulanık modelin tüm sonuçlarını inceleyebilmek için Çizelge 8.3’de verilen grafikler çizilmiş ve değerlendirilmiştir.

Çizelge 8.3. Bulanık modelin sonuçlarını gösteren grafiklerde kullanılan parametreler

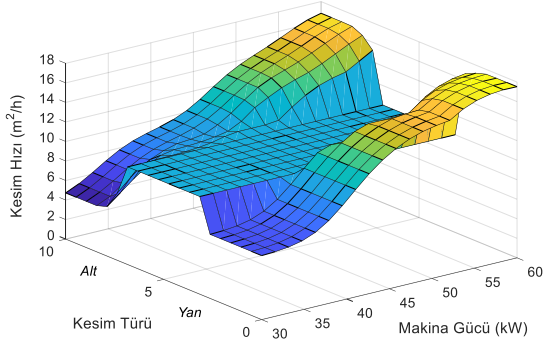
Çizilen grafik		Sabit tutulan parametreler ve değerleri	
x eksen	y eksen		
1-Makina Gücü	2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü: Traverten	4-Operatör Becerisi: Orta
1-Makina Gücü	2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü: Traverten	4-Operatör Becerisi: İyi
1-Makina Gücü	2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü: Traverten	4-Operatör Becerisi: Çok İyi
1-Makina Gücü	2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü: Mermer	4-Operatör Becerisi: Orta
1-Makina Gücü	2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü: Mermer	4-Operatör Becerisi: İyi
1-Makina Gücü	2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü: Mermer	4-Operatör Becerisi: Çok İyi
1-Makina Gücü	3-Kayaç Türü	2-Kesim Türü: Yan	4-Operatör Becerisi: Orta
1-Makina Gücü	3-Kayaç Türü	2-Kesim Türü: Yan	4-Operatör Becerisi: İyi
1-Makina Gücü	3-Kayaç Türü	2-Kesim Türü: Yan	4-Operatör Becerisi: Çok İyi
1-Makina Gücü	3-Kayaç Türü	2-Kesim Türü: Alt	4-Operatör Becerisi: Orta
1-Makina Gücü	3-Kayaç Türü	2-Kesim Türü: Alt	4-Operatör Becerisi: İyi
1-Makina Gücü	3-Kayaç Türü	2-Kesim Türü: Alt	4-Operatör Becerisi: Çok İyi
1-Makina Gücü	4-Operatör Becerisi	2-Kesim Türü: Yan	3-Kayaç Türü: Traverten
1-Makina Gücü	4-Operatör Becerisi	2-Kesim Türü: Yan	3-Kayaç Türü: Mermer
1-Makina Gücü	4-Operatör Becerisi	2-Kesim Türü: Alt	3-Kayaç Türü: Traverten
1-Makina Gücü	4-Operatör Becerisi	2-Kesim Türü: Alt	3-Kayaç Türü: Mermer
2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü	1-Makina Gücü: 37 kW	4-Operatör Becerisi: Orta
2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü	1-Makina Gücü: 37 kW	4-Operatör Becerisi: İyi
2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü	1-Makina Gücü: 37 kW	4-Operatör Becerisi: Çok İyi
2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü	1-Makina Gücü: 45 kW	4-Operatör Becerisi: Orta
2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü	1-Makina Gücü: 45 kW	4-Operatör Becerisi: İyi
2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü	1-Makina Gücü: 45 kW	4-Operatör Becerisi: Çok İyi
2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü	1-Makina Gücü: 55 kW	4-Operatör Becerisi: Orta
2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü	1-Makina Gücü: 55 kW	4-Operatör Becerisi: İyi
2-Kesim Türü	3-Kayaç Türü	1-Makina Gücü: 55 kW	4-Operatör Becerisi: Çok İyi
2-Kesim Türü	4-Operatör Becerisi	1-Makina Gücü: 37 kW	3-Kayaç Türü: Traverten
2-Kesim Türü	4-Operatör Becerisi	1-Makina Gücü: 37 kW	3-Kayaç Türü: Mermer
2-Kesim Türü	4-Operatör Becerisi	1-Makina Gücü: 45 kW	3-Kayaç Türü: Traverten
2-Kesim Türü	4-Operatör Becerisi	1-Makina Gücü: 45 kW	3-Kayaç Türü: Mermer
2-Kesim Türü	4-Operatör Becerisi	1-Makina Gücü: 55 kW	3-Kayaç Türü: Traverten
2-Kesim Türü	4-Operatör Becerisi	1-Makina Gücü: 55 kW	3-Kayaç Türü: Mermer
3-Kayaç Türü	4-Operatör Becerisi	1-Makina Gücü: 37 kW	2-Kesim Türü: Yan
3-Kayaç Türü	4-Operatör Becerisi	1-Makina Gücü: 37 kW	2-Kesim Türü: Alt
3-Kayaç Türü	4-Operatör Becerisi	1-Makina Gücü: 45 kW	2-Kesim Türü: Yan
3-Kayaç Türü	4-Operatör Becerisi	1-Makina Gücü: 45 kW	2-Kesim Türü: Alt
3-Kayaç Türü	4-Operatör Becerisi	1-Makina Gücü: 55 kW	2-Kesim Türü: Yan
3-Kayaç Türü	4-Operatör Becerisi	1-Makina Gücü: 55 kW	2-Kesim Türü: Alt

Şekil 8.5.a, kesilen doğal taşın traverten ve operatör becerisinin “orta” olması durumunda elmas tel kesme makinasının kesim hızının, “makina gücü” ve “kesim türü” girdi parametrelerinin değişimiyle nasıl bir ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir. Grafiğin y-ekseninde bulunan kesim türü için 0-5 aralığı yan kesimi ifade ederken 5-10 aralığı alt kesimi göstermektedir. Şekil 8.5.a incelendiğinde, makina gücü arttıkça hem yan hem de alt kesim hızlarının yükseldiği görülebilmektedir. Operatör becerisi “çok iyi” olduğunda yan ve alt kesim hızlarının, diğer operatör becerileri ile karşılaştırıldığında yükseldiği ve hem yan hem de alt kesimlerde yaklaşık 18 m²/saat’lik kesim hızlarına ulaşılabileceği görülmektedir (Şekil 8.5.c).

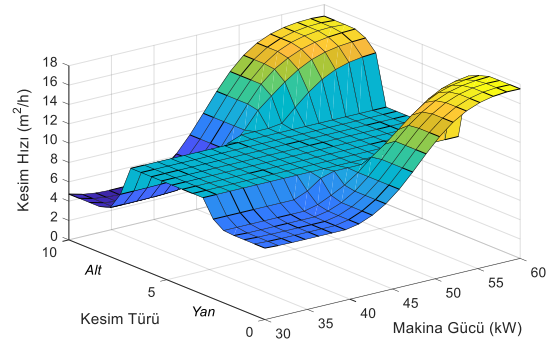
Kesilen kayaç türünün mermer olması durumunda “makina gücü” ve “kesim türü” ile kesim hızları arasındaki ilişkiler Şekil 8.6’da verilmiştir. Operatör becerisi “orta” olduğunda hem yan hem de alt kesimler makina gücü ile doğru orantılı olarak artmakta ve yaklaşık 6.5-7 m²/saat’lik kesim hızlarına ulaşılabilmekte iken, operatör becerisinin “iyi” olması durumunda kesim hızlarının 9-9.5 m²/saat olacağı, “çok iyi” operatör kullanılması durumunda ise yaklaşık 13 m²/saat’lik kesim hızları elde edilebileceği Şekil 8.6.a, b ve c’den görülebilmektedir. Dolayısıyla; mermerin kesilmesinde, kesim türüne bakılmaksızın yüksek kesim hızlarına ulaşılabilmesi anlamında operatör becerisinin ve tecrübesinin oldukça önemli olduğu söylenebilir.

Şekil 8.7, farklı operatör becerileri dikkate alınarak, elmas tel kesme makinasının yan kesim hızının kayaç türü ve makina gücü ile değişimini göstermektedir. Şekil 8.7’de görülen grafiklerin y-eksenindeki kayaç türü için traverten 0-5 aralığına karşılık gelirken mermer için 5-10 aralığı kullanılmıştır. Genel bir değerlendirme yapılırsa, tüm operatör becerileri için makina gücü arttıkça hem travertenin hem de mermerin yan kesim hızları artmaktadır. Ayrıca, traverten yan kesim hızlarının mermerde ulaşılabilecek hızlara göre daha yüksek değerlerde olduğu Şekil 8.7-a, b ve c’den görülebilmektedir. Bununla birlikte, operatör becerisinin çok iyi olması durumunda ve yüksek güçlü makina kullanıldığında mermer yan kesim hızının yaklaşık 13.5 m²/saat olacağı Şekil 8.7-c’den görülebilir.

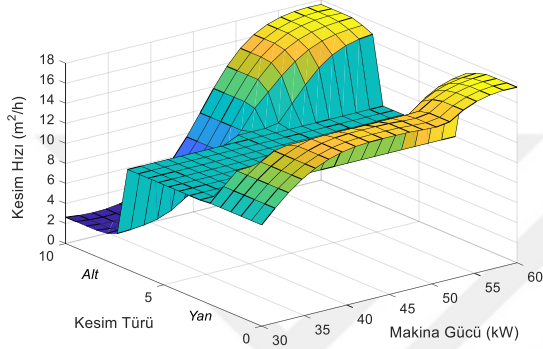
Blok üretimi sırasında alt kesim yapıldığında kesme hızının kayaç türüne ve makina gücüne göre değişimi Şekil 8.8’de verilmiştir. Alt kesim hızları, Şekil 8.7’deki yan kesim hızlarına benzer bir değişim göstermektedir.



a) Operatör Becerisi: Orta

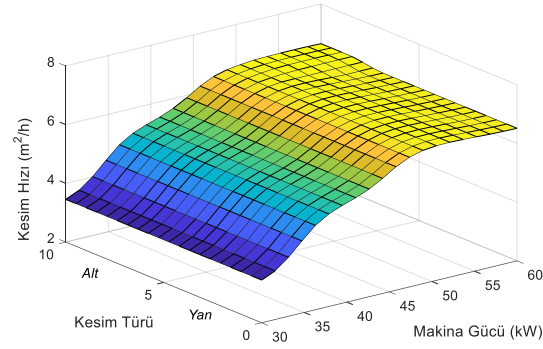


b) Operatör Becerisi: İyi

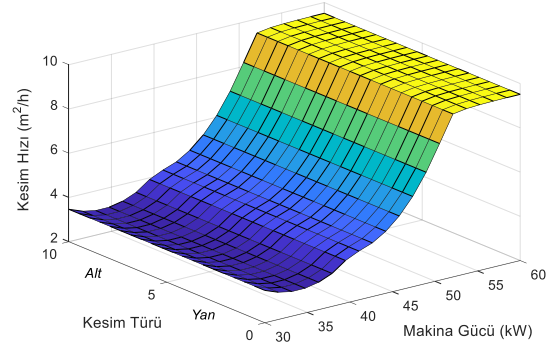


c) Operatör Becerisi: Çok iyi

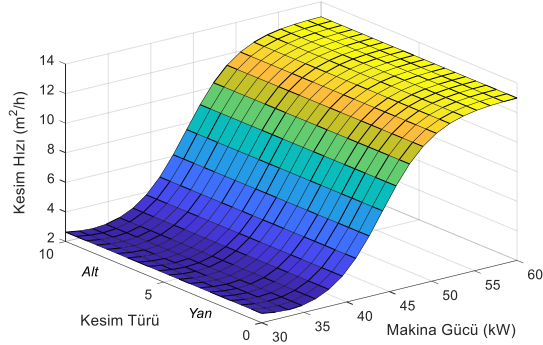
Şekil 8.5. Kayaç: Traverten, makina gücü – kesim türü ile kesim hızının değişimi



a) Operatör Becerisi: Orta

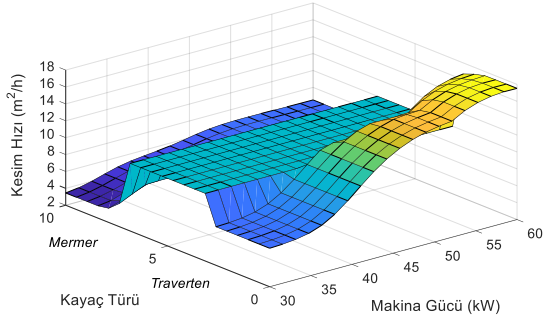


b) Operatör Becerisi: İyi

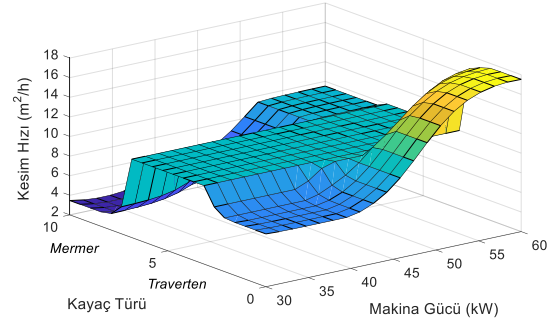


c) Operatör Becerisi: Çok iyi

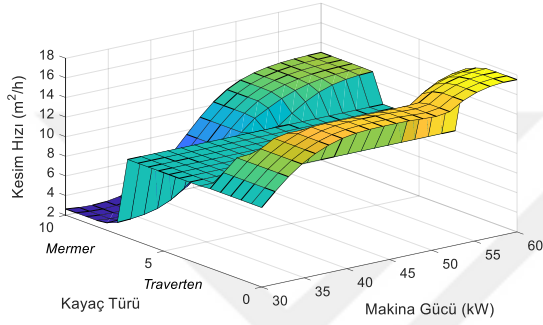
Şekil 8.6. Kayaç: Mermer, makina gücü – kesim türü ile kesim hızının değişimi



a) Operatör Becerisi: Orta

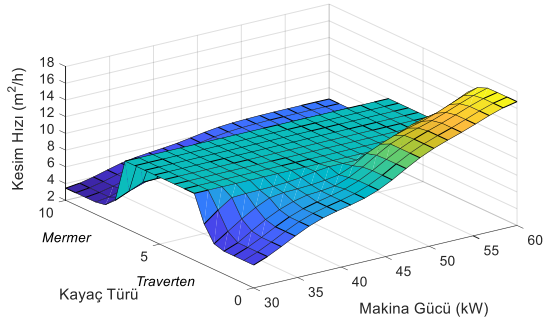


b) Operatör Becerisi: İyi

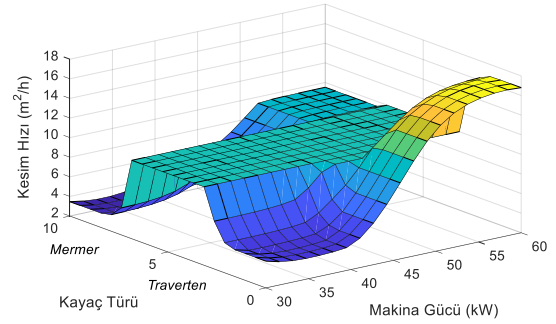


c) Operatör Becerisi: Çok iyi

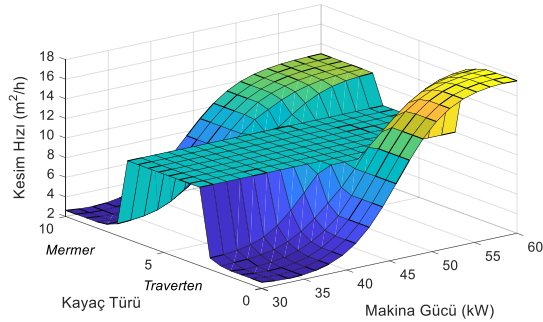
Şekil 8.7. Kesim Türü: Yan, makina gücü – kayaç türü ile kesim hızının değişimi



a) Operatör Becerisi: Orta



b) Operatör Becerisi: İyi



c) Operatör Becerisi: Çok iyi

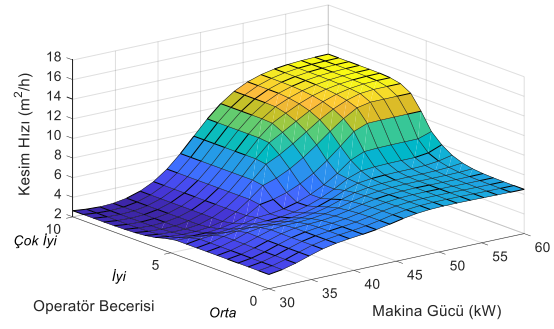
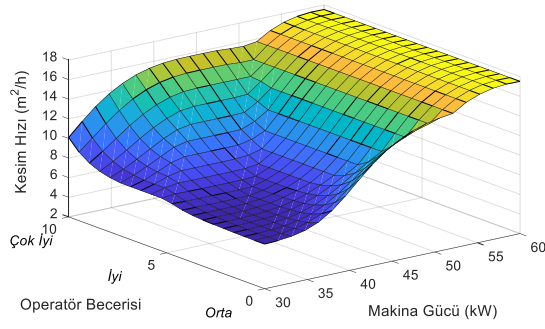
Şekil 8.8. Kesim Türü: Alt, makina gücü – kayaç türü ile kesim hızının değişimi

Yan kesim için yapılan yorumların alt kesim için de geçerli olduğu söylenebilir. Ancak; Şekil 8.8’de görülen alt kesim hızlarının, yan kesim hızlarına göre daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca, operatör becerisi çok iyi olsa bile düşük güçlü makinaların traverten bloklarının alt kesiminde kullanılması oldukça düşük hızlarla karşılaşılmasına neden olabilecektir (Şekil 8.8-c).

Yan ve alt kesim hızları değerlendirildiğinde; mermer gibi kesimi nispeten daha zor olabilen doğal taşların blok üretimi sırasında yapılacak yan kesimlerde, gücü yüksek olan makinaların daha deneyimli operatörler tarafından kullanılması daha verimli kesme işleminin gerçekleştirilebilmesi için gereklidir. Ayrıca, daha kolay kesilebildiği düşünülebilen travertenin özellikle alt kesimi sırasında düşük güçlü makinaların tercih edilmemesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Farklı kayaç türlerinde elmas tel kesme makinasının yan kesim hızının makina gücü ve operatör becerisine göre nasıl değiştiği Şekil 8.9’da gösterilmiştir. Şekil 8.9-a ve b’nin y-eksenindeki operatör becerisi için kullanılan “orta”, “iyi” ve “çok iyi” dilsel ifadeleri sırasıyla 0, 5 ve 10 değerlerine karşılık gelmektedir. Bu değerler, bulanık tahmin modelinin operatör becerisi girdisi için tanımlanmış olan bulanık kümelerin (Şekil 7.5) üyelik derecelerinin 1 olduğu sayısal değerlerdir. Şekil 8.9-a’ya göre, özellikle düşük güçlü makinanın travertenin yan kesiminde kullanılması durumunda operatör becerisi arttıkça daha yüksek kesim hızlarına ulaşılabilmektedir. Her ne kadar mermerin yan kesiminde ulaşılabilecek kesim hızları (yaklaşık 13 m²/saat) travertene göre (yaklaşık 18 m²/saat) daha düşük olsa da, 55 kW gücündeki bir makinanın mermerin yan kesiminde kullanılması durumunda bu kesim hızına ulaşılabilmesi için çok iyi deneyime sahip operatörlerin tercih edilmesi gerekmektedir (8.9-b).

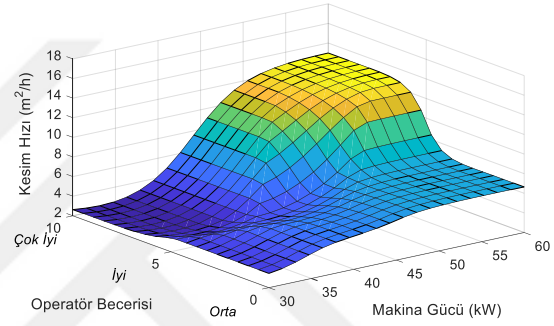
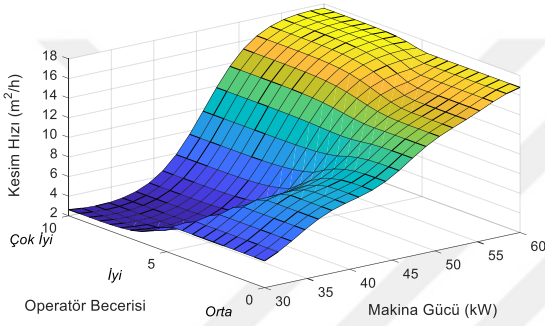
Traverten ve mermerin alt kesim hızları ile makina gücü ve operatör becerisi arasındaki ilişkiyi gösteren bulanık tahmin modelinin sonuçları Şekil 8.10’da verilmiştir. Travertenin alt kesiminde farklı becerilerdeki operatörlerin özellikle yüksek güçlü makina kullanılması sonucunda yaklaşık aynı kesim hızlarına ulaşılabileceği Şekil 8.10-a’dan görülmektedir. Ancak, mermerde yüksek güçlü makinayla alt kesim yapıldığında operatör becerisi arttıkça kesim hızları da artmaktadır (8.10-b).



a) Kayaç Türü: Traverten

b) Kayaç Türü: Mermer

Şekil 8.9. Kesim Türü: Yan, makina gücü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi

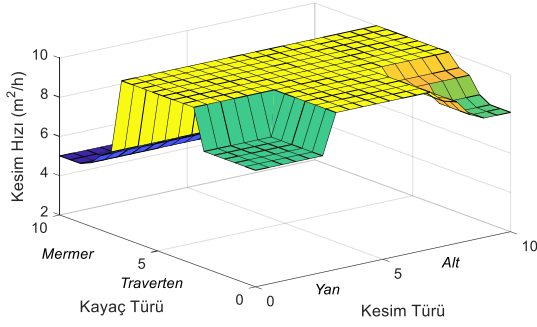


a) Kayaç Türü: Traverten

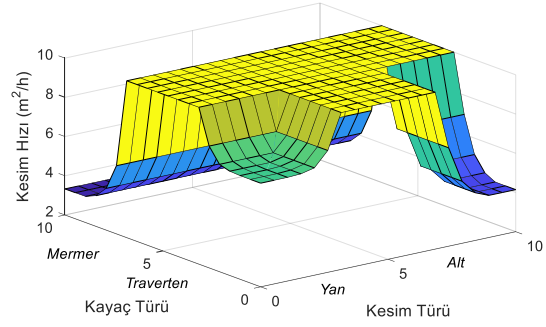
b) Kayaç Türü: Mermer

Şekil 8.10. Kesim Türü: Alt, makina gücü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi

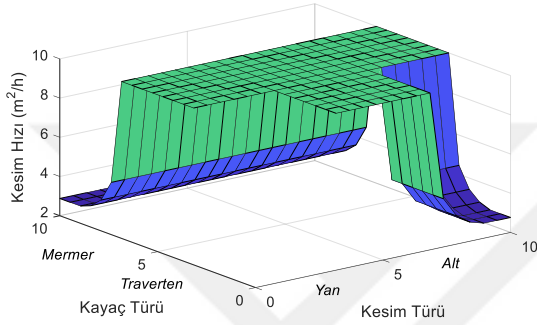
Şekil 8.11, 37 kW gücündeki bir elmas tel kesme makinasını farklı becerilere sahip operatörlerin kullanmasıyla ulaşılabilecek kesim hızlarının, kesim türü ve kayaç türü ile değişimini göstermektedir. Şekil 8.11-a, b ve c'deki kesim türü: alt ve kayaç türü: traverten için görülen sert düşüşler, daha önce de değinildiği gibi, travertenin alt kesiminde bu güçteki elmas tel kesme makinası kullanılmaması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, travertenin yan kesiminde operatör becerisi “orta” ve “iyi” olduğunda kesim hızlarının düşeceği sonucuna varılabilir (Şekil 811-a ve b). Bu durumda, 37 kW gücündeki elmas tel kesme makinası travertenin yan kesiminde kullanılacaksa “çok iyi” beceriye sahip operatör tercih edilmelidir.



a) Operatör Becerisi: Orta



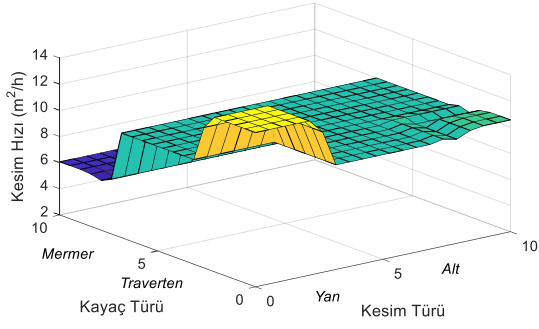
b) Operatör Becerisi: İyi



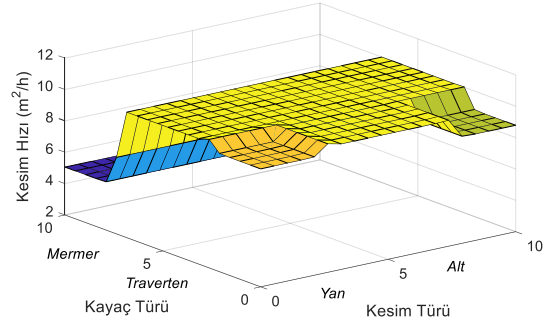
c) Operatör Becerisi: Çok iyi

Şekil 8.11. Makina Gücü: 37 kW, kesim türü – kayaç türü ile kesim hızının değişimi

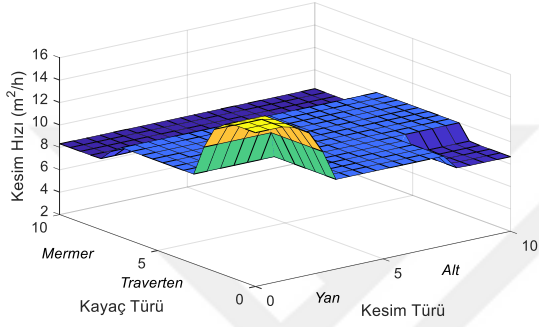
Benzer ilişkiler 45 kW gücündeki bir elmas tel kesme makinası için Şekil 8.12’de verilmiştir. Operatör becerisinin orta ve iyi olması durumunda yaklaşık aynı kesim hızlarına ulaşılabileceği Şekil 8.12-a ve b’den görülebilmektedir. Bu güçteki bir makina çok iyi bir operatör tarafından kullanılırsa en düşük 8 m²/saat, en yüksek 16 m²/saat’lik kesim hızlarına ulaşılabilir (Şekil 8.12-c). Elmas tel kesme makinasının gücü 55 kW olduğunda, travertenin alt ve yan kesim hızlarındaki artışlar Şekil 8.13-a, b ve c’de dikkati çekmektedir. Örneğin, travertenin yan kesiminde her operatör becerisi için 16 m²/saat’lik kesim hızlarına ulaşılabilir. Şekil 8.13-a, b ve c’ye göre, travertenin alt kesiminde orta, iyi ve çok iyi operatörlerin 55 kW gücündeki bir elmas tel makinasıyla ulaşabileceği kesim hızları sırasıyla 15.2, 16.6 ve 17.2 m²/saat olabilmektedir. Mermerin alt kesiminde ise orta, iyi ve çok iyi operatörlerle sırasıyla 6.56, 9.49 ve 12.8 m²/saat’lik kesim hızlarına ulaşılabilir (Burada verilen kesim hızları, bulanık tahmin modeline ilgili kesim şartlarının girilmesiyle elde edilen sonuçlardır ve Şekil 8.13’de yaklaşık olarak görülebilir). Beklenildiği gibi; mermer kesim hızı, travertenin kesilmesi durumunda ulaşılabilen hızlardan daha düşüktür.



a) Operatör Becerisi: Orta

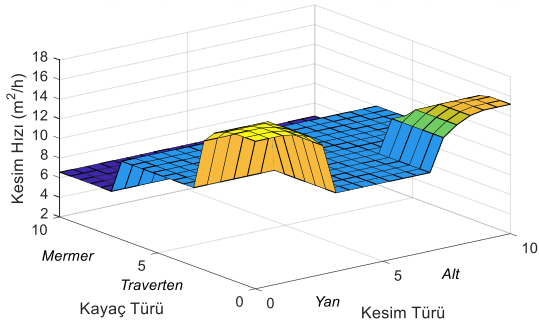


b) Operatör Becerisi: İyi

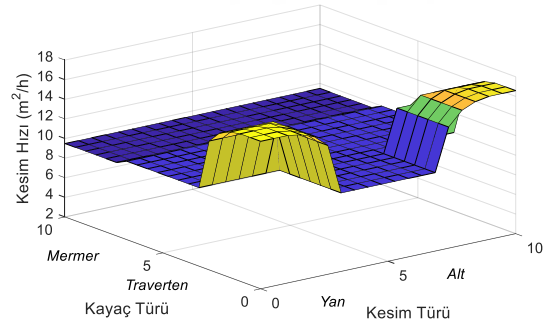


c) Operatör Becerisi: Çok iyi

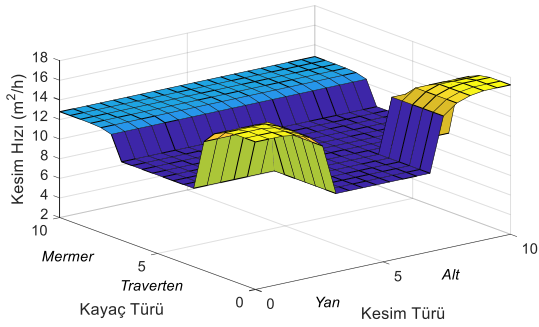
Şekil 8.12. Makina Gücü: 45 kW, kesim türü – kayaç türü ile kesim hızının değişimi



a) Operatör Becerisi: Orta



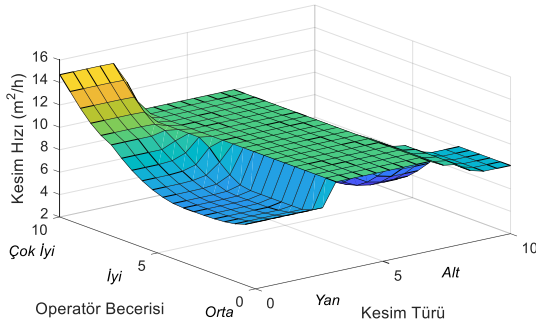
b) Operatör Becerisi: İyi



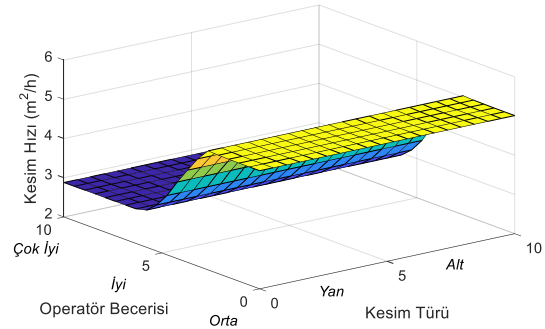
c) Operatör Becerisi: Çok iyi

Şekil 8.13. Makina Gücü: 55 kW, kesim türü – kayaç türü ile kesim hızının değişimi

Şekil 8.14, 15 ve 16 sırasıyla 37, 45 ve 55 kW gücündeki elmas tel kesme makinası kullanılarak traverten ve mermer gibi farklı doğal taşlarda gerçekleştirilecek yan ve alt kesim hızlarının, kesim türü ve operatör becerisi parametrelerine göre değişimini göstermektedir. Makina gücü arttıkça hem travertende hem de mermerde gerçekleştirilecek kesim hızlarının arttığı görülmektedir. Örneğin; travertenin yan kesiminde 37 kW gücündeki bir makinayla ve çok iyi operatörle 14.7 m²/saat'lik (Şekil 8.14-a) kesim hızının gerçekleştirileceği tahmin edilirken, 45 kW ve 55 kW gücündeki makinalarla yapılacak yan kesimlerin hızı sırasıyla 15.7 m²/saat (Şekil 8.15-a) ve 17 m²/saat (Şekil 8.16-a) olabilecektir. Makina gücünün artmasıyla birlikte travertenin alt kesim hızlarındaki artışların daha dikkat çekici olduğu Şekil 8.14-a, Şekil 8.15-a ve Şekil 8.16-a'dan görülebilmektedir. Travertenin alt kesim hızları dikkate alındığında, makina gücünün operatör becerisine göre daha etkili olduğu da göze çarpmaktadır. Bir başka ifadeyle, operatör becerisi arttıkça travertenin alt kesim hızlarında çok büyük bir değişiklik olmayacağı söylenebilir. Bu durumda, travertenin alt kesiminde yüksek kesim hızlarına ulaşabilmek için daha deneyimli bir operatör tercih etmek yerine yüksek güçlü bir elmas tel kesme makinasının kullanılması iyi bir çözüm olacaktır. Ancak, mermerin yan ve alt kesimlerinde durum bu şekilde değildir. Mermerin yan ve alt kesim hızları elmas tel kesme makinasının gücü arttıkça da artmakta, operatör becerisi iyileştikçe de yükselmektedir. Bir diğer ifadeyle, makina gücü de operatör becerisi de mermerin yan ve alt kesim hızlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin; 45 kW gücünde elmas tel kesme makinası, orta becerideki bir operatörle 6.07 m²/saat (Şekil 8.15-b) hızla alt ve yan kesim yapabilecekken çok iyi operatör kullanılması durumunda mermerin yan ve alt kesim hızları 8.32 m²/saat olabilecektir (Şekil 8.15-b). Yani, operatör becerisi orta'dan çok iyi'ye çıkarıldığında elmas tel kesme makinasının kesme performansı yaklaşık %37 artacaktır. Makina gücü 55 kW olduğunda ise, orta becerideki operatörle gerçekleştirilecek kesim hızı hemen hemen aynı değerlerde kalırken (6.56 m²/saat, Şekil 8.16-b), çok iyi operatörle 12.8 m²/saat'lik (Şekil 8.15-b) yan ve alt kesim hızları elde edilebilecektir. Bu durum, 45 kW gücündeki bir elmas tel kesme makinası yerine 55 kW gücündeki bir makinayı çok iyi bir operatör kullandığında, mermerde yapılacak olan yan ve alt kesim performanslarının yaklaşık %95 oranında artacağını göstermektedir (6.56 m²/saat yerine 12.8 m²/saat). Bu nedenle, mermerin yan ve alt kesimlerinde hem güçlü elmas tel kesme makinasının hem de çok iyi operatörün seçilmesi daha yüksek kesim hızlarına ulaşılabilmesini sağlayacaktır.

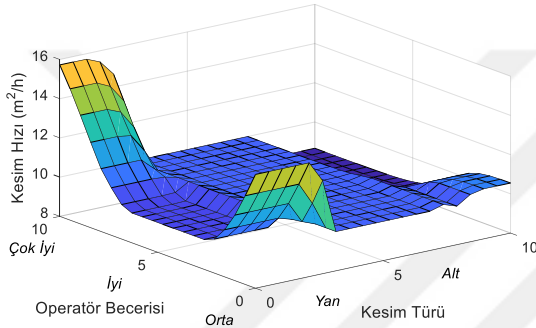


a) Kayaç Türü: Traverten

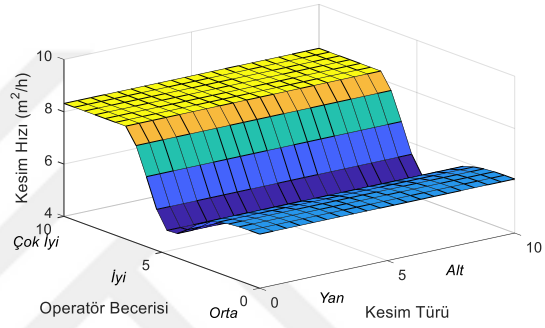


b) Kayaç Türü: Mermer

Şekil 8.14. Makina Gücü: 37 kW, kesim türü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi

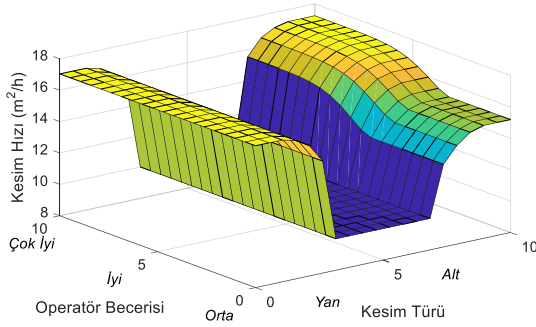


a) Kayaç Türü: Traverten

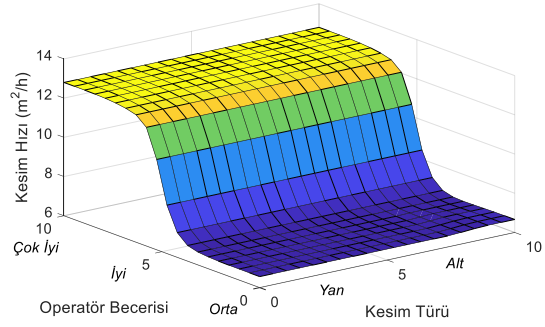


b) Kayaç Türü: Mermer

Şekil 8.15. Makina Gücü: 45 kW, kesim türü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi



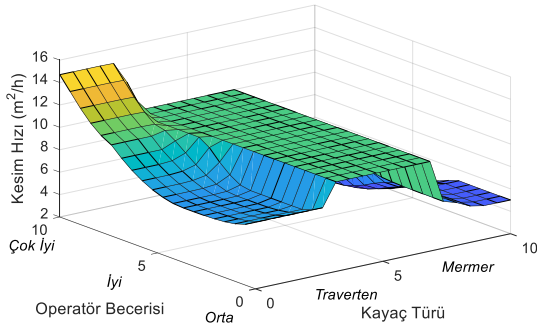
a) Kayaç Türü: Traverten



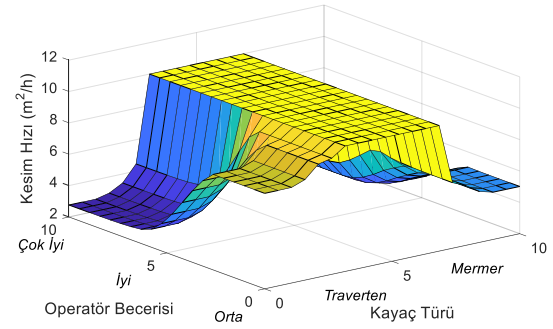
b) Kayaç Türü: Mermer

Şekil 8.16. Makina Gücü: 55 kW, kesim türü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi

Elmas tel kesme makinasının gücü 37, 45 ve 55 kW olduğunda elde edilebilecek yan ve alt kesim hızlarının, kayaç türü ve operatör becerisi parametrelerine göre değişimi sırasıyla Şekil 8.17, 18 ve 19'da verilmiştir. 37 ve 45 kW gücündeki bir elmas tel kesme makinasını kullanan operatörün becerisi, kesim hızlarındaki artış dikkate alındığında özellikle travertenin yan kesiminde daha ön plana çıkmaktadır (Şekil 17-a, b ve Şekil 18-a, b).

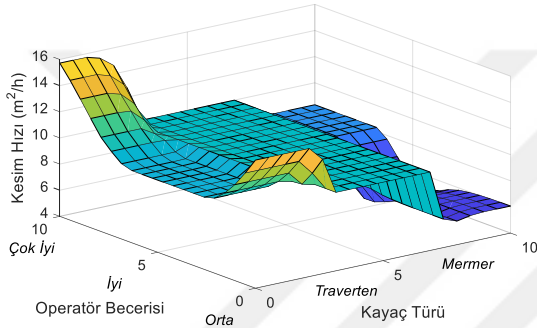


a) Kesim Türü: Yan

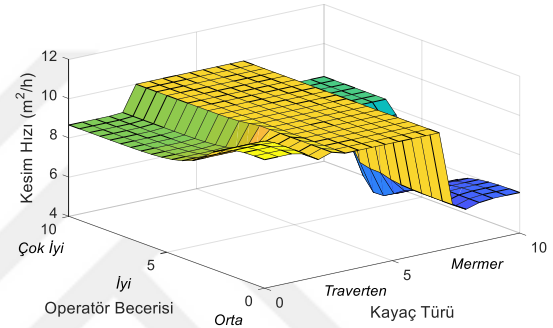


b) Kesim Türü: Alt

Şekil 8.17. Makina Gücü: 37 kW, kayaç türü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi

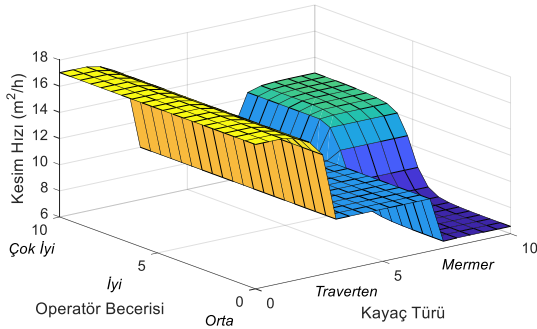


a) Kesim Türü: Yan

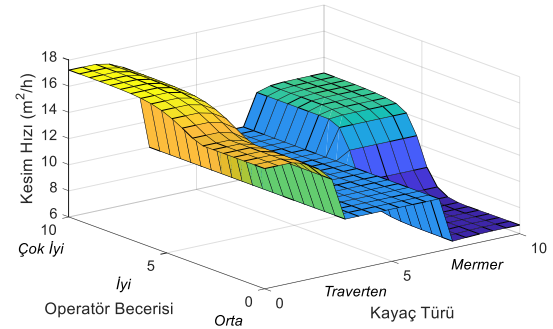


b) Kesim Türü: Alt

Şekil 8.18. Makina Gücü: 45 kW, kayaç türü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi



a) Kesim Türü: Yan



b) Kesim Türü: Alt

Şekil 8.19. Makina Gücü: 55 kW, kayaç türü – operatör becerisi ile kesim hızının değişimi

55 kW gücündeki makinanın kesme performansları değerlendirildiğinde, operatör becerisi arttıkça travertenin yan kesim hızı değişmemekte (Şekil 19-a) ve alt kesim hızı ise çok az değişiklik göstermektedir (Şekil 19-b). Mermerde ise operatör becerisi arttıkça yan ve alt kesim hızlarında artış gözlenmektedir (Şekil 19-a, b).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğal taşların blok halinde açık ocaklardan çıkarılmasında kullanılan en yaygın yöntem elmas tel kesme makinası ile yapılan üretim şeklidir. İstenilen miktardaki blok üretiminin ne zaman gerçekleştirilebileceğinin önceden öngörülebilmesi için doğal taşların kesim hızlarının yaklaşık olarak tahmin edilebilmesi oldukça önemlidir. Ancak, doğal taşların kesilebilirliğini etkileyen birçok parametrenin bulunması bu hususun ne kadar karmaşık bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır. Doğal taşın yapısal, dokusal, fiziksel, mekanik ve jeomekanik özellikleri kesim hızını etkileyen ve kontrol edilemeyen parametrelerdir. Ayrıca; elmas tel kesme makinasının gücü, kullanılan boncuk tipi ve yoğunluğu gibi işletmede kullanılan ekipmanların teknik özellikleri, yöntemin uygulanma şekli ve işgücü kalitesi gibi kontrol edilebilen parametreler de kesim hızında oldukça önemli etkiye sahiptir. Kesim hızını etkileyen bütün bu özellikleri içerecek şekilde bir tahmin modeliyle bir elmas tel kesme makinasının performansının önceden belirlenebilmesi elbette mümkündür. Ancak, bu kadar fazla sayıdaki parametrenin arazide belirlenmesinin son derece zaman alıcı ve zahmetli olduğu göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle; belirlenmesi daha kolay parametreleri içeren ve sahada uygulanabilirliği daha pratik bir tahmin modelinin kullanılması, doğal taş üretimi yapan işletmeler için iç ve dış piyasadan gelen taleplerin zamanında karşılanabilmesi amacıyla iyi bir iş organizasyonunun sağlanmasına yardımcı olacaktır. Bu amaçla; makina gücü, kayaç türü, kesim türü ve operatör becerisi parametrelerini kullanarak bir elmas tel kesme makinasının kesim hızının tahmininde kullanılacak bir bulanık mantık modeli geliştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında önerilmiş olan ve Mamdani algoritmasını kullanan bulanık tahmin modeli ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Bulanık mantık kavramının en önemli avantajlarından bir tanesi dilsel ifadelerin kullanılabilmesidir. Kayaç türü için “traverten” ve “mermer”, kesim türü için “yan” ve “alt”, operatör becerisi için “orta”, “iyi” ve “çok iyi” gibi dilsel ifadeler tanımlanmış ve bu ifadeler girdi değerleri olarak kullanılabilmiştir. Özellikle, operatör becerisi gibi bir değerlendirme ölçütünün sayısal olarak tanımlanması oldukça güçtür. Ancak; deneyimli bir mühendis, hangi operatörün sahada ne

derecede başarılı olduğunu iyi bir gözlemlerle hissederek dilsel olarak değerlendirebilir. Bu çalışmada önerilen bulanık sistemde, bu tarz bir değerlendirmenin yapılabileceği ve bir tahmin modelinde böyle bir parametrenin kullanılabileceği ortaya koyulmuştur.

- Bulanık çıkarım sistemlerinde; insan muhakemesi ve mühendislik deneyimi, girdiler ile çıktı arasındaki ilişkilerin tanımlanmasına yansıtılabilmektedir. Elmas tel kesme makinasının kesim hızı ile girdi parametreleri arasındaki bu ilişkiler, doğal taş sektöründe yıllarca çalışmış olan ve oldukça deneyimli maden mühendisi tarafından yazılan bulanık kurallar şeklinde tanımlanmıştır. Bu sayede; arazi gözlemlerine dayanarak geliştirilen bulanık tahmin modeli, elmas tel kesme işlemindeki mühendislik deneyimini de içermiş olmaktadır.
- Bulanık tahmin modelinin sonuçları ile Gökyar firmasına ait ocakta yapılan elmas tel kesme işlemleri sırasında arazide yapılan ölçüm değerleri karşılaştırılmıştır. Geliştirilen modelin performans indeksleri $VAF=79.63$ ve $RMSE=1.82$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, $r=0.94$ ve tahminin standart hatası 1.39 bulunmuştur. Bu değerler dikkate alındığında, bir elmas tel kesme makinasının kesim hızının tahmin edilmesinde bulanık mantık kavramının etkili bir şekilde kullanılabilecek bir araç olduğu söylenebilir. Bu çalışmanın gerçekleştirildiği saha için geçerli olmak kaydıyla, Mamdani algoritmasını kullanan bir bulanık çıkarım sistemiyle elmas tel kesme makinasının kesim hızının başarılı bir şekilde tahmin edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bulanık tahmin modelinden elde edilen sonuçlar dikkate alınarak aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır:

- Mermerin kesilmesinde, kesim türüne bakılmaksızın yüksek kesim hızlarına ulaşılabilmesi için operatör becerisinin ve tecrübesinin daha önemli olduğu görülmüştür.
- Mermerin yan kesiminde, yüksek güce sahip bir elmas tel makinasının daha deneyimli operatör tarafından kullanılması kesme performansını arttırmaktadır.

- Beklenildiği gibi; alt kesim hızı, yan kesim hızına göre hem mermerde hem de travertende daha düşüktür. Ayrıca, operatör becerisi çok iyi olsa bile, traverten bloklarının alt kesiminde düşük güçteki bir elmas tel kesme makinası kullanıldığında son derece düşük hızların meydana geleceği gözlenmiştir. Bu nedenle, özellikle travertenin alt kesiminde düşük güçlü makina kullanımından kaçınılmalıdır.
- Travertenin alt kesiminde, özellikle yüksek güçlü makinanın farklı becerilerdeki operatör tarafından kullanılması sonucunda elde edilecek kesim hızı dikkate değer bir şekilde değişim göstermemektedir. Bu durum, travertenin alt kesiminde makina gücünün önemini ortaya koymaktadır. Ancak, mermerin alt kesiminde yüksek güçlü makina kullanılması durumunda operatör becerisi arttıkça kesim hızı da artmaktadır. Yani; mermerin alt kesiminde, makina gücünün ve operatör becerisinin aynı anda etkili parametreler olduğu belirlenmiştir.
- Eğer düşük güçteki bir elmas tel kesme makinası travertenin yan kesiminde kullanılacaksa kesme performansının artırılabilmesi için “çok iyi” deneyime sahip bir operatör tercih edilmelidir.

Bu çalışmada önerilen bulanık tahmin modeli; hangi tür kayacın, hangi güçteki elmas tel kesme makinasıyla ve hangi beceriye sahip bir operatörün görevlendirilmesiyle ne kadar sürede kesilebileceğini önceden tahmin edebilmek amacıyla başarılı bir şekilde kullanılabilir. Bu da, iç ve dış taleplerin zamanında karşılanabilmesini sağlayacak iyi bir iş organizasyonunun yapılmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca, bulanık tahmin modelinden elde edilen sonuçlar dikkate alınarak, elmas tel kesme işleminde kesim performansını azaltan ve arttıran hususlar ortaya koyulmuştur.

İleriye dönük çalışmalarda, elmas tel kesme işleminde etkili olan kontrol edilebilen ve edilemeyen diğer parametrelerin de eklenmesiyle oluşturulacak bulanık mantık modelleri geliştirilebilir. Örneğin; elektrolitik ve sinterize elmas boncukları içeren tellerin kesme performansları ve kesme verimleri değerlendirilebilir, traverten ve mermer dışında diğer doğal taş türlerinde yapılacak kesimler takip edilerek kayaç türü genişletilebilir,

boncuk aşınma miktarları takip edilerek kesme performansı ile birlikte boncuk aşınmasını da tahmin eden bulanık modeller oluşturulabilir.

Bu çalışmada, kesme verimini incelemek amacıyla bir maliyet analizi yapılmamıştır. Elmas tel kesme işlemi sırasında spesifik enerji değerleri ölçülerek, enerji ve su giderleri ile birlikte işçilik masraflarının dikkate alındığı ve farklı kesim koşullarında elde edilecek kesme performansının ve kesme veriminin belirlenmesine yönelik bir bulanık mantık modelinin oluşturulması bir başka çalışma konusu olarak düşünülebilir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aktaş, Ö., 2012, Elmas tel kesme ile mermer işletmeciliğinde elmas tellerin kesim performanslarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 58 s.
- Altındag, R., 2010, Assessment of some brittleness indexes in rock-drilling efficiency, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 43(3), 361-370.
- Altındag, R., Guney, A., 2010, Predicting the relationships between brittleness and mechanical properties (UCS, TS and SH) of rocks, *Scientific Research and Essays*, 5(16), 2107-2118.
- Almasi, S.N., Bagherpour, R., Mikaeil, R., Khademian, A., 2015, Influence of cutting wire tension on travertine cutting rate, 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, p. 1096-1102.
- Almasi, S.N., Bagherpour, R., Mikaeil, R., Ozcelik, Y., 2017, Analysis of bead wear in diamond wire sawing considering the rock properties and production rate, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 76(4), 1593-1607.
- Almasi, S.N., Bagherpour, R., Mikaeil, R., Ozcelik, Y., Kalhori, H., 2017, Predicting the building stone cutting rate based on rock properties and device pullback amperage in quarries using M5P model tree, *Geotechnical and Geological Engineering*, 35(4), 1311-1326.
- Amaral, P.M., Fernandes, J.C., Rosa, L.G., 2009, Wear mechanisms in materials with granitic textures—applicability of a lateral crack system model, *Wear*, 266(7-8), 753-764.
- Amina, M., 2011, Dynamic non-linear system modelling using wavelet-based soft computing techniques, Doctoral dissertation, University of Westminster, 181 p.
- Andrissi, G.S., Loi, G., Trois, P., Rossi, G., 2005, Combining mechanochemistry and innovative diamond wire saws for improving productivity in granite quarries, *Mining Engineering*, 57(5), 46-52.
- Anonim, 2014, Fundamentals of hydraulic motors, <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/hydraulic-pumps-motors/article/21884401/fundamentals-of-hydraulic-motors>, erişim tarihi: 21.12.2019.
- Anonim, 2017a, Sensitivity unit cost analysis of a surface marble quarry, <https://slideplayer.com/slide/10783023/>, erişim tarihi: 20.12.2019.
- Anonim, 2017b, How to make dth driller efficient, <https://www.gmd-egpt.com/info/how-to-make-dth-hammer-efficient-29447164.html>, erişim tarihi: 17.12.2019.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Aslantas, K., Özbek, O., Uçun, İ., Büyüksağış, İ.S., 2009, Investigation of the effect of axial cutting force on circular diamond sawblade used in marble cutting process, *Materials and Manufacturing Processes*, 24(12), 1423-1430.
- Ataei M., Mikaiel, R., Sereshki, F., Ghaysari, N., 2011, Predicting the production rate of diamond wire saw using statistical analysis, *Arabian Journal of Geosciences*, 5(6), 1289- 1295.
- Bagherpour, R., Khademian, A., Almasi, S.N., Aalaei, M., 2014, Optimum cutting wire assembly in dimension stone quarries, *Journal of Mining and Metallurgy A: Mining*, 50(1), 1-8.
- Bandini, A., Berry, P., Bemporad, E., Sebastiani, M., 2012, Effects of intra-crystalline microcracks on the mechanical behavior of a marble under indentation, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 54, 47-55.
- Bandini, A., Berry, P., 2013, Influence of marble's texture on its mechanical behavior, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46(4), 785-799.
- Benavente, D., Cultrone, G., Gómez-Heras, M., 2008, The combined influence of mineralogical, hygric and thermal properties on the durability of porous building stones, *European Journal of Mineralogy*, 20(4), 673-685.
- Beste, U., Jacobson, S., 2003, Micro scale hardness distribution of rock types related to rock drill wear, *Wear*, 254(11), 1147-1154.
- Berry, P., Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P., Massacci, G., Pinzari, M., 1989, Optimum use of diamond wire equipment in stone quarrying, *APCOM 89*, p. 351-365.
- Biasco, G., 1993, Diamond wire for quarrying hard rocks, *Industrial Diamond Review*, 53(558), 252-255.
- Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P., Massacci, G., 1990, Simulation and optimization of rock cutting with diamond wire, *XXII. International Symposium APCOM 90*, Berlin, p. 163-176.
- Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P., Massacci, G., 1994, Computer simulation of diamond-wire cutting of hard and abrasive rock, *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, 103:A124–A128.
- Burton, C.L., Waltham, A.C., McLaren, S.J., 2001, Strength variation in young reef limestones, *Geotechnique*, 51(10), 887-889.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Buyuksagis, I.S., Goktan, R.M., 2005, Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter, *Journal of Materials Processing Technology*, 169(2), 258-262.
- Buyuksagis, I.S., 2007, Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade, *Journal of Materials Processing Technology*, 183(2-3), 399-406.
- Cai, O., Careddu, N., Mereu, M., Mulas, I., 2007, The influence of operating parameters on the total productivity of diamond wire in cutting granite, *Industrial Diamond Review*, 67(3), 25-32.
- Copur, H., 2010, Linear stone cutting tests with chisel tools for identification of cutting principles and predicting performance of chain saw machines, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47(1), 104-120.
- Copur, H., Balci, C., Tumac, D., Bilgin, N., 2011, Field and laboratory studies on natural stones leading to empirical performance prediction of chain saw machines, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 48(2), 269-282.
- Cook, M., Smith, B.A., 1993, A study of diamond wire bead rotation, *Industrial Diamond Review*, 2, 79-81.
- Demirdağ, S., Gündüz, L., 2001, Blok işletmeciliğinde elmas tel ve boncuk performans analizi, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu*, 3-5 Mayıs, Afyon, s. 218-233.
- Ersoy, A., Atıcı, U., 2004, Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks, *Diamond and Related Materials*, 13(1), 22-37.
- Ersoy, A., Atıcı, U., 2005, Specific energy prediction for circular diamond saw in cutting different types of rocks using multivariable linear regression analysis, *Journal of Mining Science*, 41(3), 240-260.
- Ersoy, A., Atıcı, U., 2007, Correlation of P and S-waves with cutting specific energy and dominant properties of volcanic and carbonate rocks, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 40(5), 491-504.
- Ersoy, M., Yüksel, Z., 2011, İncehisar Aktaşören mevki mermer ocağında kesme düzlemi süreksizliklerinin elmas tel kesme verimliliğine etkisinin incelenmesi, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 50(2), 3-18.
- Fener, M., Kahraman, S., Ozder, M.O., 2007, Performance prediction of circular diamond saws from mechanical rock properties in cutting carbonate rocks, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 40(5), 505-517.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Grima M.A., Babuska R., 1999, Fuzzy model for the prediction of unconfined compressive strength of rock samples, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 36(3), 339-349.
- Gokceoglu C., 2002, A fuzzy triangular chart to predict the uniaxial compressive strength of Ankara agglomerates from their petrographic composition, *Engineering Geology*, 66, 39-51.
- Gokceoglu C., Zorlu K., 2004, A fuzzy model to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity of a problematic rock, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 17(1), 61-72.
- Güney, A., 2011, Performance prediction of large-diameter circular saws based on surface hardness tests for Mugla (Turkey) marbles, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 44(3), 357-366.
- Gündüz, L., Şapcı, N., Karcı, M., 2013, mermerlerin ısı performans ve binalarda enerji verimliliğine etkilerinin incelenmesi, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 52(4), 27-36.
- Hallez, C.P., 1992, Sawing marble with diamond wire, *Diamonds in Industry*, 24-27.
- Hardin, C.W., Qu, J., Shih, A. J., 2004, Fixed abrasive diamond wire saw slicing of single-crystal silicon carbide wafers, *Materials and Manufacturing Processes*, 19(2), 355-367.
- Hasanpour, R., Ozcelik, Y., Yilmazkaya, E., Sohrabian, B., 2016, DEM modeling of a monowire cutting system, *Arabian Journal of Geosciences*, 9(20), 739.
- Hawkins, A.C., Antenen, A.P., Johnson, G., 1990, The diamond wire saw in quarrying granite and marble, *Dimensional Stone*, September, 44-50.
- Hekimoglu, O.Z., 2014, Studies on increasing the performance of chain saw machines for mechanical excavation of marbles and natural stones, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 72, 230-241.
- Iphar, M., Goktan, R.M., 2006, An application of fuzzy sets to the diggability index rating method for surface mine equipment selection, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43(2), 253-266.
- Jain, S.C., Rathore, S.S., 2009, Role of cut size area on the performance of diamond wire saw machine in quarrying of marble, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 23(2), 79-91.
- Jain, S.C., Rathore, S.S., 2011, Prediction of cutting performance of diamond wire saw machine in quarrying of marble: a neural network approach, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 44(3), 367-371.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kahraman, S., Gunaydin, O., 2008, Indentation hardness test to estimate the sawability of carbonate rocks, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67(4), 507-511.
- Karakurt, I., 2014, Application of Taguchi method for cutting force optimization in rock sawing by circular diamond sawblades, *Sadhana*, 39(5), 1055-1070.
- Kanbir, E.,S., 2007, Tek boncuk test cihazında kesmede etken faktörlerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 110 s.
- Kanbir, E.,S., 2013, Kesme parametreleri ve boncuk özelliklerinin elmas tel kesme verimine etkisi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 136 s.
- Khademian, A., Bagherpour, R., Almasi, S.N., Alaei, M., 2015, Optimum distance between cutting machine and working face in travertine exploitation with diamond wire cutting method. *Proceedings of 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey*, 1103-1110.
- Khanlari, G. R., Heidari, M., Sepahi-Gero, A.A., Fereidooni, D., 2014, Determination of geotechnical properties of anisotropic rocks using some index tests, *Geotechnical Testing Journal*, 37(2), 242-254.
- Kızıllağaçlı, M., 1988, *Mermer Üretim Teknolojileri*, s. 19-22.
- Konstanty, J., 2002, Theoretical analysis of stone sawing with diamonds, *Journal of Materials Processing Technology*, 123(1), 146-154.
- Korre, A., Durucan, S., 2000, The effects of granite microstructure on the sawing performance of diamond wires, *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 14, 87-102.
- Liao, Y.S., Luo, S.Y., 1992, Wear characteristics of sintered diamond composite during circular sawing, *Wear*, 157(2), 325-337.
- Liedke, T., Kuna, M., 2013, Discrete element simulation of micromechanical removal processes during wire sawing, *Wear*, 304(1-2), 77-82.
- Mamdani, E.H., 1974, Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant, *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, Vol. 121, No. 12, p. 1585-1588.
- Matlab, V., 2017, 9.2. 0 (R2017a), The MathWorks Inc.: Natick, MA, USA.
- Mathworks, Inc, Wang, W.C., 1998, *Fuzzy Logic Toolbox: for use with Matlab: User's Guide*, Mathworks, Incorporated, Tutorial section, p. 20-25.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mikaeil, R., Ataei, M., Hoseinie, S.H., 2008, Predicting the production rate of diamond wire saws in carbonate rock cutting, *Industrial Diamond Review*, 68(3), 28-34.
- Özçelik, Y., 1999, Mermercilikte elmas tel kesme makinalarının çalışma koşullarının incelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 242 s.
- Özçelik, Y., Kulaksız, S., 2000, Investigation of the relationship between cutting angles and wear on beads in diamond wire cutting method, Panagiotou G.N., Michalakopoulos T.N. (eds), *Mine Planning and Equipment Selection Symposium*, Athens, Greece, 6-9 Nov, 661-666.
- Özçelik, Y., Özgüven, A., 2001, Sert kayaçların elmas tel kesme yöntemi ile kesimi, *Mermer Dergisi*, 28, 118-122.
- Özçelik, Y., Kulaksız, S., Çetin, M.C., 2002, Assessment of the wear of diamond beads in the cutting of different rock types by the ridge regression, *Journal of Materials Processing Technology*, 127(3), 392-400.
- Özçelik, Y., 2003, Multivariate statistical analysis of the wear on diamond beads in the cutting of andesitic rocks, *Key Engineering Materials*, Vol. 250, 118-130.
- Özçelik, Y., Polat, E., Bayram, F., Ay, A.M., 2004, Investigation of the effects of textural properties on marble cutting with diamond wire, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41, 228-234.
- Özçelik, Y., Bayram, F., 2004a, Blok boyutlarının elmas tel kesme verimliliğine etkisinin incelenmesi, *Mermer*, 46-54.
- Özçelik, Y., Bayram, F., 2004b, Optical investigations of bead wear in diamond wire cutting, *Industrial Diamond Review*, 64, 60-65.
- Özçelik, Y., 2005a, Effect of mineralogical and petrographical properties of marble on cutting by diamond wire, *CIM Bulletin* 98(1085):1-6.
- Özçelik, Y., 2005b, Optimum working conditions of diamond wire cutting machines in the marble industry, *Industrial Diamond Review*, 1, 58-64.
- Özçelik, Y., Yılmazkaya, E., Bayram, F., Yaşıtlı, N.E., Kanbir, E.S., Kekeç, N., 2006, Elmas telli kesme yönteminde travertenlerde tabakalanma yönünün kesme performansına etkisinin incelenmesi, VIII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 263-269.
- Özçelik, Y., Yılmazkaya E., Bayram, F., Yaşıtlı, N.E., Kanbir, E.S., 2007a, Investigation of effects of bead number per meter to cutting performance of diamond wire, 2nd International Industrial Diamond Conference, Rome, Italy, p. 19-20.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özçelik, Y., Yılmazkaya, E., Bayram, F., Yaşıtlı, N.E., Kanbir, E.S., Kekeç, N., 2007b, Elmas telli kesmede kasnak çapının kesme performansına etkisinin incelenmesi, TUMKS 2007 Bildiriler Kitabı, 145-150.
- Özçelik, Y., 2008, Development of a single diamond bead test machine for marble cutting, *Industrial Diamond Review*, p. 56-62.
- Özçelik, Y., Yılmazkaya, E., 2010, Elmas telli kesme yönteminde elmas boncukların kesme performansının boncuk ömrü boyunca değişiminin incelenmesi, Proje No: 0601602008, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Bilimi.
- Özcelik, Y., Yılmazkaya, E., 2011, The effect of the rock anisotropy on the efficiency of diamond wire cutting machines, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 48(4), 626-636.
- Pershin, G. D., Ulyakov, M.S., 2014, Analysis of the effect of wire saw operation mode on stone cutting cost, *Journal of Mining Science*, 50(2), 310-318.
- Polat, E., 2002, Mermerlerin elmas tel ile kesiminde dokusal özelliklerin etkisinin incelenmesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 110 s, Ankara.
- Přikryl, R., 2001, Some microstructural aspects of strength variation in rocks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38(5), 671-682.
- Ribeiro, R.P., Paraguassú, A.B., Rodrigues, J.E., 2007, Sawing of blocks of siliceous dimension stone: influence of texture and mineralogy. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66(1), 101-107.
- Ribeiro, R.P., Paraguassú, A.B., Moreiras, S.T.F., 2011, Factors affecting slab surface roughness of siliceous dimension stones, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70(4), 625-631.
- Sadegheslam, G., Mikaeil, R., Rooki, R., Ghadernejad, S., Ataei, M., 2013, Predicting the production rate of diamond wire saws using multiple nonlinear regression analysis, *Geosystem Engineering*, 16(4), 275-285.
- Sánchez Delgado, N., Rodríguez-Rey, A., Suarez del Rio, L.M., Díez Sarriá, I., Calleja, L., 2005, The influence of rock microhardness on the sawability of Pink Porrino granite (Spain), *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 42(1), 161-166.
- Selvi, E., 2013, Doğaltaş kesmede kullanılan elmas takımların serbest sinterlenmesi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 75 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sengun, N., Altindag, R., 2013, Prediction of specific energy of carbonate rock in industrial stones cutting process, *Arabian Journal of Geosciences*, 6(4), 1183-1190.
- Sousa, L.M., 2013, The influence of the characteristics of quartz and mineral deterioration on the strength of granitic dimensional stones, *Environmental Earth Sciences*, 69(4), 1333-1346.
- Sousa, L.M., 2014, Petrophysical properties and durability of granites employed as building stone: a comprehensive evaluation, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(2), 569-588.
- Sun, L., Pan, J., Lin, C., 2002, A new approach to improve the performance of diamond sawblades, *Materials Letters*, 57(4), 1010-1014.
- Tamsan, 2017, Ürünler – E serisi, <https://www.tamsan.com.tr/tr/urunler/urunler-detay/45-kw---55kw---75-kw>, erişim tarihi: 22.12.2019.
- Tiryaki, B., Dikmen, A.C., 2006, Effects of rock properties on specific cutting energy in linear cutting of sandstones by picks, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 39(2), 89-120.
- Tönshoff, H.K., Warnecke, G., 1982, Research on stone sawing. *Advances in Ultrahard Materials Applications Technology*, 1, 36-49.
- Turchetta, S., 2012, Cutting force and diamond tool wear in stone machining, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61(5-8), 441-448.
- Turchetta, S., Polini, W., Gelfusa, G., Venafro, E., 2014, A new sawing machine by diamond wire. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(1-4), 73-78.
- Tutmez, B., Kahraman, S., Gunaydin, O., 2007, Multifactorial fuzzy approach to the sawability classification of building stones, *Construction and Building Materials*, 21(8), 1672-1679.
- Vázquez, P., Alonso, F. J., Carrizo, L., Molina, E., Cultrone, G., Blanco, M., Zamora, I., 2013, Evaluation of the petrophysical properties of sedimentary building stones in order to establish quality criteria, *Construction and Building Materials*, 41, 868-878.
- Wang, J.K., Ai, X., Xu, G. J., Zhang, J.S., 2010, Experimental study for the cutting forces during sawing granite with diamond circular saw blades, *Key Engineering Materials*, Vol. 431, 86-89.
- Webb, S.W., Jackson, W.E., 1998, Analysis of blade forces and wear in diamond stone cutting, p. 84-92.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Wei, X., Wang, C.Y., Zhou, Z.H., 2003, Study on the fuzzy ranking of granite sawability, *Journal of Materials Processing Technology*, 139(1-3), 277-280.
- Wright, N.D., 1992, Marble and granite quarries turn to diamond wire, *Stone World*, 77-80.
- Xie, J., Tamaki, J., 2007, Parameterization of micro-hardness distribution in granite related to abrasive machining performance, *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1-3), 253-258.
- Yılmaz, M., Arslan, E., 2005, Bulanık mantığın jeodezik problemlerin çözümünde kullanılması, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 23-25 Kasım 2005, İTÜ – İstanbul, s. 512-522.
- Yılmaz, N.G., Karaca, Z., Goktan, R.M., Akal, C., 2009, Relative brittleness characterization of some selected granitic building stones: influence of mineral grain size, *Construction and Building Materials*, 23(1), 370-375.
- Yılmaz, N.G., 2011, Abrasivity assessment of granitic building stones in relation to diamond tool wear rate using mineralogy-based rock hardness indexes, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 44(6), 725.
- Yılmaz, N.G., Goktan, R.M., Kibici, Y., 2011, An investigation of the petrographic and physico-mechanical properties of true granites influencing diamond tool wear performance, and development of a new wear index, *Wear*, 271(5-6), 960-969.
- Yılmaz, N.G., 2013, Process efficiency comparison of a sandwich-core sawblade and a conventional sawblade used in stone-machining. *Journal of cleaner production*, 47, 26-31.
- Yılmaz, N.G., Gökten, R.M., Gaşan, H., Çelik, O.N., 2013, Particle size distribution and shape characterization of the chips produced during granite machining in relation to process forces and specific energy, *Particulate Science and Technology*, 31(3), 277-286.
- Yılmazkaya, E., 2007, Elmas telli kesme yöntemiyle blok üretimine etki eden bazı faktörlerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yılmazkaya, E. (2013). Bilgisayar Kontrollü Tektel Sistemi İle Blok Kesmede Etkin Faktörlerin İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 136 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yilmazkaya, E., Ozcelik, Y., 2015, Development of cuttability chart for a marble cutting with monowire cutting machine, International Conference on Stone and Concrete Machining, Vol. 3, 73-85.
- Yilmazkaya, E., Ozcelik, Y., 2016, The effects of operational parameters on a mono-wire cutting system: efficiency in marble processing, Rock Mechanics and Rock Engineering, 49(2), 523-539.
- Yilmazkaya, E., Dagdelenler, G., Ozcelik, Y., Sonmez, H., 2018, Prediction of mono-wire cutting machine performance parameters using artificial neural network and regression models, Engineering Geology, 239, 96-108.
- Yurdakul, M., Akdas, H., 2012, Prediction of specific cutting energy for large diameter circular saws during natural stone cutting, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 53, 38-44.
- Yurdakul, M., Gopalakrishnan, K., Akdas, H., 2014, Prediction of specific cutting energy in natural stone cutting processes using the neuro-fuzzy methodology. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 67, 127-135.
- Yurdakul, M., 2015, Effect of cutting parameters on consumed power in industrial granite cutting processes performed with the multi-disc block cutter, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 76, 104-111.
- Zadeh, L.A., 1965, Fuzzy sets, Information and Control, 8(3), 338-353.
- Zadeh, L.A., 1973, Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Cybernetics, IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics, Vol.3, No.1, pp.28-44, Jan.
- Zhang, Z.M., Xiao, H.W., Wang, G.Z., Zhang, S.Z., Zhang, S.Q., 2013, Modeling and experimental study on cutting force of diamond circular saw in cutting granite using response surface methodology, Advanced Materials Research, Vol. 652, 2191-2195.