

Doğal Yapı Taşlarında Elmas Telle Kesim Performansının Kaba Küme
Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi

Serdar ulha

DOKTORA TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım 2020



Evaluation of Diamond Wire Saw Performance in Natural Building Stone with
Rough Set Theory

Serdar ulha

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Mining Engineering

November 2020

Doğal Yapı Taşlarında Elmas Telle Kesim Performansının Kaba Küme
Yaklaşımı İle Değerlendirilmesi

Serdar ulha

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliđi Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden İşletme Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danıřman: Prof.Dr. Adnan Konuk

Kasım 2020

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof.Dr. Adnan Konuk danışmanlığında hazırlamış olduğum “Doğal Yapı Taşlarında Elmas Telle Kesim Performansının Kaba Küme Yaklaşımı İle Değerlendirilmesi” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik 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. 17/11/2020

Serdar Çulha

ÖZET

Elmas tel kesme yönteminde, boyutlandırılacak veya kesilecek kayacın fiziko-mekanik özelliklerinin performans parametreleri ile olan ilişkilerinin bilinmesi kesme verimliliği ve maliyeti olumlu şekilde etkilemektedir. Elmas tel kesme ile ilgili farklı araştırmacılar tarafından pek çok çalışma yapılmış olmasına rağmen elmas telle kesim performansının kaba küme yaklaşımı ile değerlendirilmesi konusunda bugüne kadar herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada doğal taşlarının elmas telle kesim performansını en fazla etkileyen kayaç özelliklerinin kaba küme yaklaşımı ile belirlenmesi amaçlanmış olup, Magmatik Kökenli Mermerler (Andezit) ile Metamorfik ve Sedimanter Kökenli Mermerler (Hakiki Mermer ve Kireçtaşı bundan sonra sadece Mermer olarak adlandırılacaktır) olarak iki grupta değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada farklı özelliklere sahip olmak üzere 15 adet andezit ve 23 adet mermer örneği verisi kullanılmıştır. Andezit ve mermer örnekleri için yapılmış çekme dayanımı (TS-MPa), gözeneklilik (PO-%), yoğunluk (DE-gr/cm³), shore sertliği (SH), koni delici sertliği (CIH) ve kuvars içeriği (QZ-%) verilerine bağlı olarak fiziko-mekanik özelliklerinden hangisinin elmas telli makine ile kesme performansı (CR-m²/saat) üzerinde daha etkili olduğunu belirlemek için kaba küme indirgeme yöntemi kullanılmıştır. Kaba küme yöntemiyle yapılan nitelik indirgeme çalışması sonucunda;

- Andezit kesim performansını çekme dayanımı (TS-MPa), yoğunluk (DE-gr/cm³) ve kuvars içeriğinin (QZ-%) etkilediği ve kesim performansı (CR-m²/saat) tahmininde; $CR(m^2/h) = 0,82 - 0,293 TS + 1,98 DE - 0,406 QZ$ eşitliğinin %71,3 belirlilikle kullanılabileceği ve anlamlı ($P=0,003 < 0,5$) tahminler sağladığı,
- Mermer kesim performansını çekme dayanımı (TS-MPa), gözeneklilik (PO-%) ve koni delici sertliğinin (CIH) etkilediği ve kesim performansı (CR-m²/saat) tahmininde; $CR(m^2/h) = 13,6 + 0,693 TS + 4,18 PO - 2,82 CIH$ eşitliğinin %50,7 belirlilikle kullanılabileceği ve anlamlı ($P=0,003 < 0,5$) tahminler sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: kaba küme, fiziko-mekanik özellikler, elmas telli kesme yöntemi, doğal taş, mermer

SUMMARY

In diamond wire cutting method, knowing the relationship between the physico-mechanical properties of the rock to be dimensioned or cut and the performance parameters affects the productivity and cost positively. Although many studies have been carried out by different researchers on the subject, there has been no study on the evaluation of diamond wire cutting performance with a rough set approach. In this study, it is aimed to determine the rock properties that most affect the diamond wire cutting performance of natural stones which are classified into two groups as Magmatic (Andesite) and Metamorphic-Sedimentary Origin Marbles (Real Marble and Limestone-From now on they will only be called Marble.) with the rough set approach.

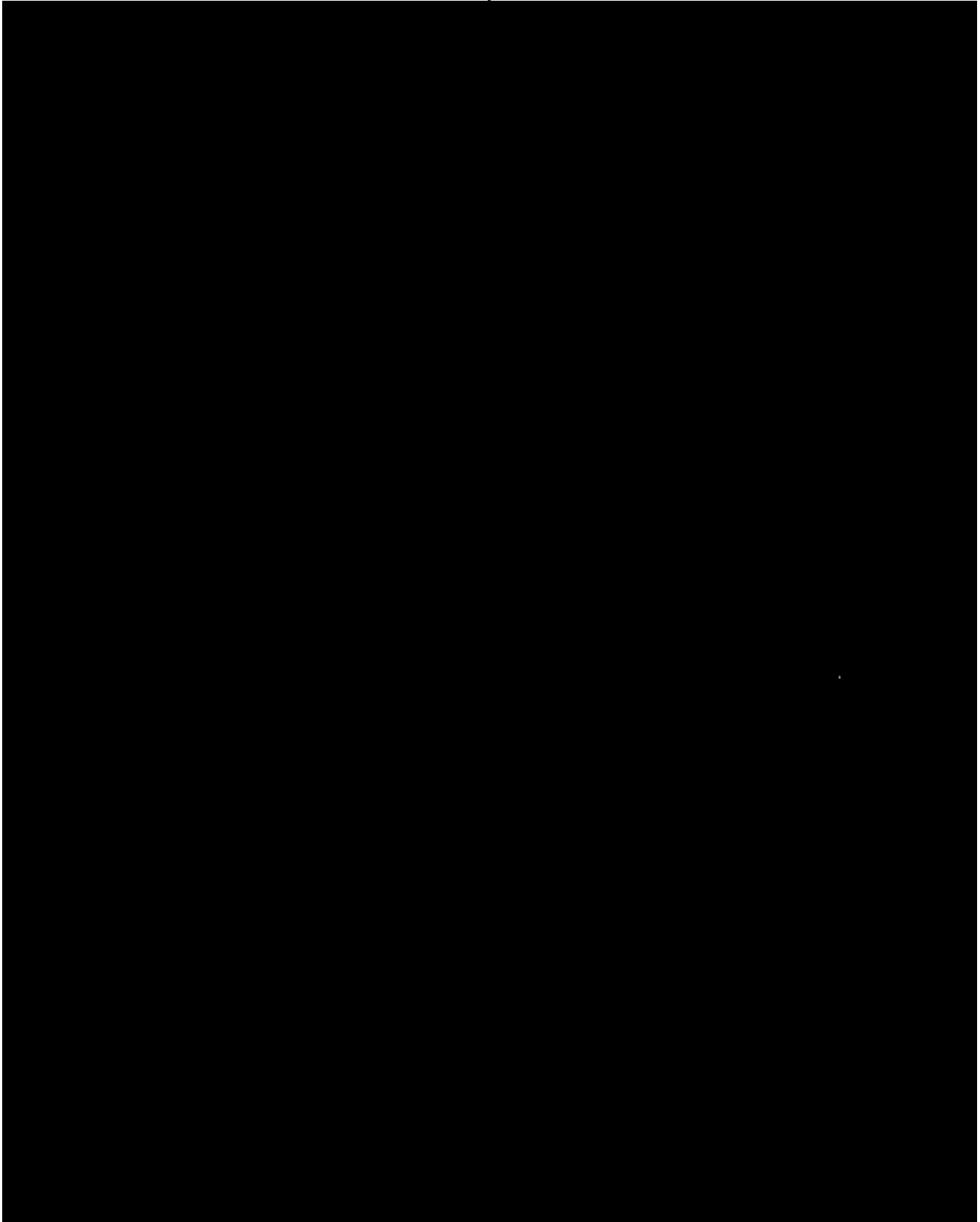
15 sample data for Andesite and 23 sample data for Marble were used in this study and all datasets have different properties. The rough set reduction method was used to determine which of the physico-mechanical properties such as tensile strength (TS-MPa), porosity (PO-%), density (DE-gr/cm³), shore hardness (SH), cone drilling hardness (CIH) and quartz content (QZ-%) was more effective on diamond wire machine cutting performance (CR-m²/hour) for andesite and marble. As a result of the feature reduction study made with the rough set method;

- Tensile strength (TS-MPa), density (DE-gr/cm³) and quartz content (QZ-%) are effective on **andesite** cutting performance. Meanwhile, in estimation of cutting performance (CR-m²/hour); $CR(m^2/h) = 0.82 - 0.293 TS + 1.98 DE - 0.406 QZ$ equation can be used with 71.3% certainty and provides meaningful ($P = 0.003 < 0.5$) estimates.

- Tensile strength (TS-MPa), porosity (PO-%) and cone drilling hardness (CIH) are effective on **marble** cutting performance. Meanwhile, in estimation of cutting performance (CR-m²/hour); $CR(m^2/h) = 13.6 + 0.693 TS + 4.18 PO - 2.82 CIH$ equation can be used with 50.7% certainty and provides meaningful ($P = 0.003 < 0.5$) estimates.

Keywords: rough set, physico-mechanical properties, diamond wire cutting method, natural stone, marble

TEŞEKKÜR



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. DOĞAL TAŞ MADENCİLİĞİ	11
3.1. Doğal Taşın Petrografik ve Endüstriyel Tanımı	11
3.2. Doğal Taşların / Madenlerin Sınıflandırılması.....	11
3.3. Mermerlerin Jeolojik Oluşum Bakımından Sınıflandırılması.....	14
3.3.1. Metamorfik kökenli mermerler.....	14
<u>3.3.1.1. Hakiki mermerler</u>	14
3.3.2. Sedimanter kökenli mermerler.....	14
<u>3.3.2.1. Kireçtaşları</u>	15
3.3.3. Mağmatik kökenli mermerler.....	15
<u>3.3.3.1. Andezit</u>	16
3.4. Mermer Üretim Yöntemleri.....	16
3.5. Elmas Telli Blok Kesme Teknolojisi.....	18
3.5.1. Elmas telli kesme yönteminde kesime etki eden faktörler.....	19
3.5.2. Doğal taşların kesim hızını etkileyen faktörler.....	20
4. KABA KÜME TEORİSİ	22
4.1. Kaba küme yöntemiyle örnek çözümlenme.....	23
4.1.1. Kaba kümeler ve yaklaşımları.....	26
4.1.2. Kaba kümeler ve üyelik fonksiyonu.....	27

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1.3. Karar tabloları ve karar algoritmaları.....	28
4.1.4. Özelliklerin bağımlılığı.....	29
4.1.5. Özelliklerin indirgenmesi.....	31
4.1.6. Belirsizlik matrisleri ve fonksiyonları.....	33
4.2. Kaba Küme İşlemlerinin Bilgisayar Ortamında Gerçekleştirilmesi:	
ROSETTA Programı.....	36
4.2.1. Veri tabanının oluşturulması.....	37
4.2.2. Farklı algoritmalar ile indirgemelerin bulunması.....	37
4.2.3. Genetik algoritmalar ile hesaplanması.....	38
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	40
5.1. Materyal.....	40
5.2. Yöntem.....	41
5.2.1. Andezit kesim hızını etkileyen verilerin kaba küme yaklaşımı ile indirgenmesi..	41
5.2.1.1. <u>Andezit verileri bilgi sistemi</u>	41
5.2.1.2. <u>Andezit verilerinde ayırt edilmezlik ilişkisi</u>	44
5.2.1.3. <u>Andezit verileri karar tablosu</u>	45
5.2.1.4. <u>Andezit verileri için düşük ve yüksek yaklaşımlar</u>	46
5.2.1.5. <u>Nitelik bağımlılığı</u>	47
5.2.1.6. <u>Nitelik indirgeme</u>	48
5.2.1.7. <u>Ayırt edilmezlik matrisi ve fonksiyonlar</u>	49
5.2.1.8. <u>Andezit verilerinin ROSETTA Programı ile indirgenmesi</u>	53
5.2.2. Mermer kesim hızını etkileyen verilerin kaba küme yaklaşımı ile indirgenmesi..	54
5.2.2.1. <u>Mermer verileri bilgi sitesi</u>	54
5.2.2.2. <u>Mermer verilerinin ROSETTA Programı ile indirgenmesi</u>	57
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	60
6.1. Andezit Verilerinin İndirgenmemiş ve İndirgenmiş Parametreleri İle	
Kesilebilirlik Tahmini Modellemesi.....	61
6.1.1. Andezitlerin indirgenmemiş parametreleri için regresyon analizi.....	61
6.1.2. Andezitlerin indirgenmiş parametreleri için regresyon analizi.....	61
6.2. Mermer Verilerinin İndirgenmemiş ve İndirgenmiş Parametreleri İle	
Kesilebilirlik Tahmini Modellemesi.....	62
6.2.1. Mermerlerin indirgenmemiş parametreleri için regresyon analizi.....	62
6.2.2. Mermerlerin indirgenmiş parametreleri için regresyon analizi.....	63

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.3. Kaba Küme Yöntemiyle İndirgeme İşleminin Etkinliği.....	63
6.3.1. Andezit verileri için kaba küme indirgeme ile adım adım regresyonla seçim sonuçlarının karşılaştırılması.....	65
6.3.2. Mermer verileri için kaba küme indirgeme ile adım adım regresyonla seçim sonuçlarının karşılaştırılması.....	66
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	79



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Elmas tel kesme yönteminin yanal ve dikey kesimler	18
4.1. Verilerin Tablo Halinde Excel Ortamında Oluşturulması.....	37
4.2. ROSETTA Programı indirgeme algoritmaları.....	38
4.3. Genetik Algoritmanın Parametrelerinin Ayarlanması.....	38
4.4. ROSETTA Programı Sonuç Ekranı.....	39
5.1. Andezit karar tablosu verilerinin ROSETTA Programına aktarılması.....	53
5.2. Andezit karar tablosu verileri için ROSETTA Programı sonuç ekranı.....	54
5.3. Mermer karar tablosu verilerinin ROSETTA Programına aktarılması.....	58
5.4. Mermer karar tablosu verileri için ROSETTA Programı sonuç ekranı.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Elmas telli kesme yönteminde kesime etki eden faktörler.....	20
4.1. Demir döküm boru örnekleri için bilgi tablosu verileri.....	24
4.2. Demir döküm boru örnekleri için P özelliği çıkarılarak elde edilen indirgenmiş küme verileri.....	31
4.3. Demir döküm boru örnekleri için S özelliği çıkarılarak elde edilen indirgenmiş küme verileri.....	32
4.4. Demir döküm boru örnekleri için ayırt edilebilirlik matrisi ve öznitelik kümesi.....	33
4.5. Demir döküm boru örnekleri için (C, D) matrisi.....	34
4.6. Temel Boolean kuralları.....	36
5.1. Saha araştırmasında kullanılan makina ve ekipmanlara ait parametreler.....	40
5.2. Andezit Veri Kümesi.....	42
5.3. Andezit için nitelik ve karar değerleri hakkında uzman görüşü sınırlamaları.....	43
5.4. Andezit Bilgi Foksiyonu (f_a).....	43
5.5. Veri kümesindeki özdeş nesnelere (bilgi fonksiyonunun gruplaştırılması).....	44
5.6. Andezit verileri için karar tablosu.....	46
5.7. Andezit verileri için ayırt edilebilirlik matrisi.....	52
5.8. Mermer Veri Kümesi.....	56
5.9. Mermerler için nitelik ve karar değerleri hakkında uzman görüşü sınırlamaları.....	56
5.10. Mermerler için karar tablosu.....	57
6.1. Andezit verilerinin indirgenmemiş parametreleri için çoklu regresyon Değişkenleri.....	61
6.2. Andezit verilerinin indirgenmiş parametreleri için çoklu regresyon değişkenleri.....	62
6.3. Mermer verilerinin indirgenmemiş parametreleri için çoklu regresyon Değişkenleri.....	62
6.4. Mermer verilerinin indirgenmiş parametreleri için çoklu regresyon değişkenleri.....	63
6.5. Andezit indirgenmemiş verileri için adım adım regresyon analizi sonucu.....	65
6.6. Mermer indirgenmemiş verileri için adım adım regresyon analizi sonucu.....	66

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

B_x	alt yaklaşım
B^x	üst yaklaşımı
BN_B	Sınır Küme
α	Kaba kümenin katsayı tarafından sayısal olarak karakterize edilmesi
k	bağımlılık oranı
D_{IND}	kaba küme nitelik indirgeme

Kısaltmalar

Açıklama

D	Karar
C	Öznitelik
K	Karbon
S	Sülfür
P	Forfor
TS	Çekme dayanımı
PO	Gözeneklilik (%)
DE	Yoğunluk (gr/cm^3)
SH	Shore sertliği
CIH	Koni delici sertliği
QZ	Kuvars içeriği (%)
CR	Kesme Hızı ($m^2/saat$)

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Doğal taşların hem göze hoş gelmesi hem de sağlık açısından herhangi bir zararının olmaması nedeniyle yapı ve mekânlarda kullanım alanları büyük bir hızla yayılmıştır. Kullanım alanındaki bu genişleme doğal taş üreticilerini de kapasiteyi artırma amacıyla daha yüksek performanslı yöntemlerle üretime zorlamıştır (Özçelik, 1999). Doğal taş işletmeciliğinin eski temel prensipleri değişmemekle beraber yüksek üretim kapasitelerini sağlayan mekanizasyonun bu alana girmesiyle günümüzdeki şeklini almıştır (Kekeç, 2001).

Mermer de doğal taş olup, Maden Kanunu'na göre kesilip parlatılabilen bütün kayaçlar mermer olarak adlandırılmaktadır. Kullanımı son derece yaygın olan mermerler blok halinde üretim yapılmasından sonra hayatımızda daha geniş bir yer bulmuştur. Mermer yatırımlarının en büyük giderini ocak işletmesi oluşturmaktadır. Bu bakımdan, kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi ile bu kayaçlara uygun makine ve teçhizatın seçilmesi üretim verimliliğini dolayısıyla mermerin ekonomik değerini artırmaktadır.

Günümüzde doğal taş ocağından düzgün geometrik şekilde blok çıkartma yöntemi olan Elmas Tel Kesme Yöntemi en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Özellikle hız, emniyet ve daha az personele ihtiyaç duymasından dolayı bu yönteme olan talep artmaktadır (Hanecioğlu, 2006). Anılan yöntemle üretim yapan bir doğal taş ocağında Elmas Telli Kesme Makinası sabit yatırımı, elmas boncuklar ise değişken giderleri oluşturmaktadır. Maliyeti dolayısıyla bu değişken gideri en aza indirmek için kayaç yapısına göre boncuk yapısını seçmek gerekmektedir (Özçelik, 1999).

Doğal taş üreticilerinin uygun elmas boncuk seçimi yapabilmeleri için kesecekleri kayaç özelliklerini, uygulayacakları kesim koşullarını ve bunlarla kullanılacak elmas boncuk parametreleri arasındaki ilişkileri belirlemeleri gerekmektedir. Elmas telli kesme yönteminde kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin kesme performans parametreleri olan elmas boncuklarda meydana gelen aşınmalar ve kesim hızı üzerinde etkili olduğu bilinen bir gerçektir.

Kaba Kümeler Teorisinde amaç, eksik ve tutarsız veri üzerinde çalışılarak veri kümesini daha tutarlı hale getirmek ve karar vermede hangi niteliklerin daha etkili olduğunu göstermektir. Teori 1980'lerin başlarında özellikle büyük, gereksiz veya eksik bilgi içeren veri kümeleri üzerinde sınıflandırma yapma için kullanışlı bir yöntem olarak bilim dünyasına girmiş ve daha sonra genellikle yardımcı veya tamamlayıcı bir işlem olarak kullanılmıştır. Bu yöntem kümelerde boyut indirgeme özelliğine sahiptir. Kaba küme teorisinin anlaşılabilmesi için öncelikle ayırt edilemezlik tanımının çok iyi bilinmesi gerekmektedir (Mağden ve Telçeken, 2016).

Kaba kümenin çıkış noktası, ilgilenilen nesnelere ile nesnelere içerdikleri bilgilerin bağdaştırılması varsayımıdır. Yani kaba küme teorisi, bir kümenin tanımlanması için başlangıçta evrenin elemanları hakkında bazı bilgilere gereksinim olduğu varsayımına dayanır. Örneğin, nesnelere aynı hastalığa sahip olan hastalar ise o hastalığın belirtileri hastalar hakkındaki bilgileri oluşturur. Nesnelere aynı bilgiler ile nitelendiriliyorlar ise nesnelere aynıdır veya ayırt edilemezler. Ortaya konulan ayırt edilemezlik ilişkisi kaba küme teorisinin temelidir (Ağırğün, 2009). Kaba küme teorisi bu kabiliyeti ile verilerdeki bazı eksiklerin giderilmesini sağlamakta ve ayırt edilemez kümelerden karar kuralları üreterek sınıflandırma yapmaktadır (Çekik ve Telçeken, 2014).

Boyutlandırılacak veya kesilecek kayacın fiziko-mekanik özelliklerinin performans parametreleri ile olan ilişkilerinin bilinmesi verimliliği ve maliyeti olumlu şekilde etkilediğinden kesilecek kayacın özelliklerinin performans parametreleri ile olan ilişkilerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Konu ile ilgili farklı araştırmacılar tarafından pek çok çalışma yapılmış olmasına rağmen elmas telle kesim performansının kaba küme yaklaşımı ile değerlendirilmesi konusunda bugüne kadar herhangi bir çalışma yapılmamış olup, bu çalışmada doğal yapı taşlarının elmas telle kesim performansının kaba küme yaklaşımı ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın önemi ise aşağıda sıralanmıştır;

- ✓ Doğal yapı taşlarının elmas telle kesim performansını etkileyen kayaç özelliklerinin kaba küme yaklaşımı ile değerlendirilmesi ile performans üzerindeki en etkili kayaç özellikleri belirlenebilecek,

- ✓ Kesim performans üzerinde en etkili kayaç özelliklerinin belirlenmesi ile gelecekte yapılacak tahminler için daha az sayıda deney yapılması ve maliyetlerin azalması sağlanabilecek,
- ✓ Hızlı kesim performans tahminleri yapılması ile verimlilik ve maliyet unsurları üzerinde olumlu etkiler sağlanabilecek,
- ✓ Maliyet tahmininde ve ocak planlamasında, doğal taşların elmas telli kesme makineleriyle kesilebilirliklerinin sınıflandırılması sağlanabilecek,
- ✓ Kayaç türüne bağlı olarak kesimde kullanılacak ekipman ve malzeme seçimi konusunda karar verme kolaylaşacaktır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İlk olarak Pawlak tarafından 1982 yılında önerilen kaba kümeler, kesin olmayan verilerden veya daha spesifik olarak verilerdeki ilişkileri keşfetmekten kaynaklanmaktadır. Kaba küme uygulamalarının gerçek hayatta çok yararlı olduğu kanıtlanmıştır. Yapay zeka ve bilişsel teknolojilerinde özellikle akıllı sistemler, bilgi keşfi, karar analizi ve uzman sistemler gibi araştırma alanlarında kaba küme yaklaşımının temelde önemli olduğu görülmektedir (Pawlak,1991; Pawlak vd.,1995; Pawlak vd.,1999).

Kaba küme teorisi büyük miktarlarda ve eksik veri kümelerinden bilgi keşfi ve verilerin indirgenmesi için güçlü bir araçtır. Yu (2004) çok sayıda belirsiz, yanlış veya farklı özellikli verilerin olduğu bir durumda veri azaltma amacıyla kaba küme teorisinin kullanılabileceğini belirtmektedir.

Tıptan mühendisliğe, finanstan yapay zekâ tekniklerine kadar geniş bir uygulama alanı olan kaba kümeler, özellik çıkarımı, sınıflandırma ve kural indirgeme tekniklerine sahiptir. Bu tekniklerin uygulanmasına yönelik literatürde yapılan araştırma sonuçları ise aşağıda sırasıyla belirtilmeye çalışılmıştır, sunulan örnekler sadece başlıcaları olup, benzer yapıda onlarcasını bulmak mümkündür.

Beynon ve Peel (2001) çalışmalarında, İngiltere'deki şirketlerin iflas tahminini kaba küme teorisi yardımıyla değişken hassas kaba kümeleri (VPRS) modelini kullanarak geliştirmişlerdir. Lee ve Vachtsevanos (2002) kaba küme teorisini kullanarak otomobillerin arka ışık üzerindeki kusurlarını tanımlamak için bir çalışma yapmışlardır. Guo ve Chankong (2002) kaba küme teorisini kullanarak, indirgeme kümesini oluşturacak yeni bir algoritma ve indirgeme programı yapmışlardır. Goh vd. (2008) kaba küme yaklaşımı ile turizm talebini tahmin ve analiz etmiş olup, talep tahminlerini %80'e varan bir doğrulukla belirlemişlerdir. Yao ve Herbert (2009) finansal zaman serisi veri analizi ve tahmini için kaba küme modelinin kullanımını araştırmışlardır. Wang vd. (2011) uyku apnesini saptamak için antropometri ve anket verilerine dayalı analitik bir yaklaşımın uygulanmasını amaçlamış ve kaba küme yaklaşımı kullanmışlardır. Bu sayede, doğru bir teşhis için gereken maliyet ve zamanı azaltmışlardır. Salamo ve Lopez-Sanchez (2011)

kaba küme teorisinin veri madenciliği ve belirsizlik yönetimi için etkili bir araç olduğunu göstermişlerdir. Ramana vd. (2011) karmaşık görsel nesnelere arasındaki yakınlık derecesini kaba küme teorisine göre değerlendirmişlerdir. Son vd. (2012) kaba küme ve karar ağacı yaklaşımları kullanarak kalp yetmezliğinin erken teşhisi için karar verme modeli geliştirmişlerdir. Spiric vd (2014) Sırbistan da elektrik müşterileri tarafından yapılan sahtekârlığı tespit etmek için kaba küme teorisini kullanmışlardır. Kusi-Sarpong vd. (2015) madencilik sektöründe yeşil tedarik zinciri uygulamalarını kaba küme yaklaşımı ve bulanık TOPSIS'i birleştiren çok kriterli yeni bir yaklaşım kullanmışlardır.

Literatürde, kayaçların ve toprak gibi doğal malzemelerin sınıflandırılmasında etkili olan parametrelerin ve verilerin azaltılmasında kaba küme teorisinin uygulanmasının önemi üzerine bazı çalışmalar yapılmıştır.

Qiu vd.(2008) yapay sinir ağları yöntemiyle tünel kaya kalitesini tahmin etmede, kaya sağlamlık parametrelerinin azaltılması amacıyla kaba küme teorisini kullanmıştır. Wang vd. (2009) şev stabilitesini etkileyen faktörlerin ağırlıklarını hesaplamak için ham verilerin analizinde kaba küme teorisinin kullanılabilirliği göstermiştir. Zhao vd. (2010) geniş alanlarda bulunan karmaşık yapıya sahip toprakların sınıflandırılmasında bilgi azaltma yöntemi olarak kaba küme teorisinin kullanılabilirliği araştırmıştır. Zhang vd. (2010) kaya patlaması tahminleri için tahmin kriterlerinin değerlendirilmesi amacıyla kaba küme teorisinin öznel azaltma uygulamasını kullanmıştır. Zhang vd. (2011) tünel kaya sınıflandırmaları çalışmalarında kullanılan parametrelerin ağırlıklarını belirlemek için kaba küme teorisinin benimsenebileceğini göstermiştir. Adoko ve Jiao (2014) zayıf kayalarda açılan tünellerdeki deformasyonu tahmin etmek için kayaç özelliği ile ilgili parametreleri azaltmada kaba küme teorisini kullanmıştır. Chang ve Wan (2015) farklı toprak koşulları için heyelan oluşumunda etkili olan faktörlerin ağırlıklarını belirlemek için kaba küme teorisini uygulamıştır. Huang vd. (2018) tünel açılan kayaçların kalitelerinin sınıflandırılmasında kullanılan değerlendirme endeksleri için parametrelerin ağırlık katsayılarının belirlenmesinde kaba küme teorisini kullanmıştır.

Günümüze kadar birçok araştırmacı elmas telli kesme yöntemine etkisi olduğu düşünülen elmas boncuk aşınmasının, kesilen kayacın fiziko-mekanik, mineralojik petrografik ve dokusal özelliklerinin, kesilecek mermer boyutlarının, makina titreşiminin,

kasnak devir hızının ve elmas boncuğun yapısının kesme verimliliğine etkisini araştırmıştır. Bu çalışmaların başlıcaları aşağıda sıralanmıştır;

Erdem (1993), net kesme hızının elmas telin kullanım süresi ile önemli miktarda değiştiğini belirlemiş ve çalıştığı ocak için bir “Tel Kullanım Süresi-Net Kesme Hızı” bağıntısı önermiştir.

Urhan ve Şişman (1993), elmas tel kesme tekniği prensiplerini belirterek, kesim ve üretim veriminin en yüksek şekilde olması için deneyimlerini aktarmışlardır.

Özçelik (1999), elmas tel kesme makinalarının optimum çalışma koşullarını araştırdığı çalışmada, elmas boncuklarda meydana gelen aşınmaların çok değişkenli istatistik yöntemlerle modellenebileceğini göstermiştir.

Özçelik ve Kulaksız (2000), elmas tel kesme yönteminde kesme açıları ile boncuk aşınması arasındaki ilişkiyi incelemiş ve farklı kaya türleri için kesme makinelerinin 15 derecenin üzerinde kesme açıları için çalıştırılması gerektiğini bulmuşlardır.

Demirdağ (2001), Burdur bej mermer işletmesinde uygulanan elmas telle kesim yönteminde kullanılan sinterize elmas boncukların kesim performansları ile ilgili incelemeler yapmış ve elde edilen verilere göre farklı performans kriter tanımlamaları, performans hesapları ve optimum tel ömrünün belirlenmesine çalışmıştır. Demirdağ ve Gündüz (2001) mermer açık işletmelerinde uygulanan elmas tel kesmede yönteminde, kesim performanslarının belirlenmesine yönelik, mermer türüne ait saha analizlerinden elde edilen kesim verilerine göre performans kriter tanımlamaları geliştirilmişlerdir.

Özçelik vd (2002), tarafından Ridge Regresyonu yöntemi ile farklı kaya türlerinin kesilmesinde elmas boncukların aşınması değerlendirilmiş ve geliştirilen istatistiksel modellerin saha verilerine uygun olduğu ve pratikte rahatlıkla kullanılabilceği belirlenmiştir.

Özçelik (2003), andezit kayaçların kesilmesinde elmas boncukların aşınmasını çok değişkenli istatistiksel yöntemle incelemiş ve andezit kayaçların elmas tel kesilmesinde

elmas boncukların aşınmasını öngören indirgenmiş ve indirgenmemiş model denklemleri geliştirmiştir.

Özçelik vd. (2004), tarafından, doğal taşın mineralojik özelliklerinin elmas tel ile kesimine etkilerini incelenmiş ve mineralojik özellikler ile elmas boncuklardaki birim aşınma ve kesme hızı arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

Cai ve Careddu (2007), çalışma ve kesme parametrelerinin granit kesmede elmas telin toplam verimliliğine etkisini incelemiş ve optimum kesim parametrelerini elde etmişlerdir.

Kanbir (2007) ve Özçelik (2008), tek boncuklu test cihazını kullanılarak elmas tel kesme yönteminde etken faktörlerin belirlenmesi konusunda çalışmalar gerçekleştirilmiş ve kesilecek mermere en uygun yük, boncuk ve mermer numunesi motor devir hızının belirlenmesi işlemleri gerçekleştirmiştir.

Jain ve Rathore (2009), mermer ocaklarında elmas tel testere makinesinin performansında kesim boyutunun rolünü incelenmiş;

- kesim performansının, mermer ve kesim yöntemine göre değişen kesim ölçü alanına bağlı olduğunu,
- optimum kesim boyutu alanının yumuşak, orta-sert ve sert dolomitik mermer için sırasıyla 145- 155 m², 135-145 m² ve 125-135 m² olduğunu,
- elmas boncuk aşınma oranının, kesim boyutu alanına göre değiştiğini ve mermerin fiziko-mekanik, mineralojik ve dokusal özelliklerine bağlı olduğunu,

belirlemişlerdir.

Özçelik ve Yılmazkaya (2010), tek boncuk test cihazını kullanarak yaptıkları çalışmada bir elmas boncuk kullanım ömrü boyunca aşınmasının ve kesim hızının değişimlerini incelemişler ve elmas boncuğun kesme kapasitesinin ömür boyunca farklı şekilde davrandığını ortaya koymuşlardır

Ersoy ve Yüksel (2011), elmas tel kesme performansındaki ve blok verimindeki farklılığın süreksizlik düzlemlerindeki dolgu maddesinin farklı özelliklerinden kaynaklandığını vurgulamışlardır.

Özçelik ve Yılmazkaya (2011), kayanın dayanımının, kayanın yataklanma düzlemleri ile ilişkili kaya anizotropisinin elmas tel kesme verimliliği üzerindeki etkileri belirlemiştir.

Ghaysari vd. (2012), elmas tel kesme yönteminin üretim hızı ile dokusal özellikler arasındaki ilişkiyi çoklu doğrusal regresyon analizi kullanarak değerlendirmiş ve tahmin modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model ile güvenilir bir şekilde kesme hızını tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Ataei vd. (2012), elmas tel kesme yönteminde üretim oranı ile bazı fiziksel kaya özellikleri arasındaki ilişkiyi istatistiksel analiz yaparak ortaya çıkarmış ve tahmin modelleri geliştirmişlerdir.

Kanbir (2013), sektörde kullanılan elmas tel kesme makinalarının daha verimli kullanımına yönelik hem kesilebilirlik sınıflaması hem de kesim mekanizmasının sayısal modellenmesi çalışmalarını yapmış, elde edilen sonuçlarla sektöre yeni bir açılım sağlanmıştır.

Yılmazkaya (2013), bilgisayar kontrollü tam otomatik tek telli elmas kesme makinesinin tasarımını yapmış ve mermer blok üretiminin yapılması ve gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasıyla, kesilecek kayaca uygun kesim parametrelerini belirlemiştir.

Sadegheslam vd. (2013), çoklu doğrusal olmayan regresyon analizi kullanarak elmas tel kesme üretim oranını tahmin etme modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışma sonucunda, geliştirilen model kullanılarak güvenilir bir şekilde kesme planlaması yapılabileceği gösterilmiştir.

Cardu vd. (2014), İtalya ve Hindistan'da iki mermer ocağında bulunan kurulu güç, kesme geometrisi, kesme hızı, telin uzunluğu, tele uygulanan gerilme, telin ve boncukların

apı ve metre başına düşen boncuk sayısı ile ilgili veri toplamışlar ve elmas tellerin performans analizleri ile özelliklerini kıyaslamışlardır.

Bagherpour vd (2014), optimum kesme boyutları, kesme verimliliği ve birim uzunlukta optimum boncuk sayısını elde etmek için istatistiksel olarak verileri derlemiş ve elmas telin metresi başına 31 elmas boncuk kullanıldığında optimum kesme verimliliğinin gerçekleştiğini belirlemişlerdir.

Almasi vd. (2015), elmas telli kesme işleminde, elmas tel geriliminin traverten kesme hızına etkisini incelemiş ve optimum kesme hızını elde etmek için tel geriliminin küçük bloklar için yüksek ve büyük bloklar için düşük olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Kanbir vd. (2016), hakiki mermerlerin elmas telli kesme makinası ile kesiminde kullanılmak üzere özgül enerji ve boncuk aşınma değerlerini baz alan kesilebilirlik abakları geliştirmişlerdir.

Mikaeil vd. (2016), elmas tel kesme performansını, aşınma oranına göre yani doğal taşın bazı önemli fiziksel ve mekanik özelliklerine göre sınıflandırmak için kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Careddu vd. (2017), bazalt doğal taş ocaklarında kullanılan elmas tel kesme yönteminin teknik, ekonomik ve çevresel bir değerlendirmesini yapmış ve granite göre daha yavaş aşındığını göstermiştir. Bununla birlikte su ve mikronize bazaltdan oluşan bazalt çamuru, bölgenin çevresel restorasyonu için ikincil hammadde olarak veya başka herhangi bir amaçla kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Yılmazkaya ve Özçelik (2017), yaptıkları çalışmada farklı çaplarda elmas tellerde tek telli kesme makinesi kullanarak kesimler gerçekleştirmişler ve kesimlerde boncuk çap değişiminin kesime etkisini incelemişlerdir

Yılmazkaya vd. (2018), tek teli kesme makinası ile kesimler gerçekleştirmişler ve makinanın kesme performansını yapay sinir ağları ve rekreasyon modelleri ile tahmin etme üzerine bir çalışma ortaya koymuşlardır.

Sönmez (2018), doğal taş ocaklarından seçilen 6 farklı mermerin kırılma tokluğu değerleri ile tek telli kesme makinesi (monotel) ve elmas telli kesme makinesinin performans parametreleri arasındaki ilişkiler incelemiştir.

Uluer (2018), blok kesme makinaları kullanılarak yapılmaya çalışılan levha üretiminde makineden kaynaklanan çizik ve kırıklar gibi çeşitli problemler yaşanan doğal taşların tektelli blok kesim yöntemi ile kesilebilirliği ve optimum kesim koşulları tespit edilirken en az birim enerji, birim aşınma ve çevresel hız ile uyum içerisinde olan en fazla kesme hızının sağlanmasını araştırmıştır.

Bugüne kadar literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, elmas telli blok kesme teknolojisini ilişkin farklı özelliklere sahip mermerlerin kesim hızı ile tel ömrü arasındaki ilişkinin, kesilebilirliğinin, elmas tel ile kesin performansının, elmas telli kesmede mineralojik ve petrografik özelliklerin etkilerinin, elmas telli kesmedeki performans parametreleri ile kayaç kırılmalıkları arasındaki ilişki incelenmesi gibi çalışmalar yapılmıştır.

3. DOĞAL TAŞ MADENCİLİĞİ

3.1. Doğal Taşın Petrografik ve Endüstriyel Tanımı

Doğal taş (mermer) terimi kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı, kristalin karbonatlı kayalar ile sert taşlar için kullanılmaktadır (Kulaksız, 2005).

Doğal taşın iki ayrı tanımı bulunmaktadır;

Petrografik (Bilimsel) olan tanıma göre, “başkalaşım (metamorfizma) süreci geçiren ve başkalaşımın izlerini taşıyan kalker dolomit gibi karbonat bileşimli kayalara mermer” adı verilir (DPT, 2001). Hakiki mermer olarak da adlandırılan bu kayalar yüksek oranda kalsiyum karbonat, daha az oranlarda magnezyum karbonat ve değişik metal oksitler içerirler.

Endüstriyel (ticari) olan tanımda ise, “ticari standartlara uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılan veya yüzeyi işlenebilen ve taş özellikleri (malzeme özellikleri) kaplama taşı normlarına uygun olan her türden taş (tortul, magmatik ve metamorfik) ticari dilde mermer olarak bilinmektedir. Bu tanım uyarınca kalker, traverten, kumtaşı gibi tortul; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, serpantin, andezit, bazalt gibi magmatik taşlar da mermer olarak isimlendirilmektedir” (DPT, 2001).

3.2. Doğal Taşların / Mermerlerin Sınıflandırılması

Doğal taşların seçilen kıstaslara göre sınıflamaları şunlardır (Kulaksız, 2005):

a. Jeolojik oluşumuna göre sınıflandırma

- Sedimanter kökenli doğal taşlar/mermerler (Tortul),
- Magmatik kökenli doğal taşlar/mermerler (Plutonik-Volkanik-Damar),
- Metamorfik kökenli doğal taşlar/mermerler (Başkalaşım),

b. Mineralojik bileşimlerine göre sınıflandırma

- Karbonat içerikli doğal taşlar/mermerler (Hakiki mermerler),
- Silikat grubu mineraller içeren doğal taşlar/mermerler - sert taş (Ticari anlamda granitler),

c. Yapı ve dokularına göre sınıflandırma

- İnce taneli doğal taşlar/mermerler,
- Orta taneli doğal taşlar/mermerler,
- İri taneli doğal taşlar/mermerler,

d. Kristal/Matriks konumuna göre sınıflandırma

- Homojen/İzotrop- Anizotrop,
- Homojen olmayan/İzotrop-Anizotrop,

e. Öngörülen kalite kriterlerine göre sınıflandırma

Bu herhangi bir araştırmacının etken bir parametre seçimine göre yapmış olduğu sınıflamadır.

f. Jeomekanik özelliklerine göre sınıflandırma

- Dayanımlarına (basma, çekme, eğilme) göre sınıflandırma,
- Aşınma/Aşındırma özelliklerine göre sınıflandırma,

Buradaki kriterler farklı olabilir ve doğal taşın (mermerin) yapı, doku ve sertliği ile doğrudan ilişkili olup, konulan kriterlere göre yapılan sınıflamadır.

g. Fiziksel özelliklerine göre sınıflandırma

- Yoğunluk,
- Gözeneklilik - su emme özelliği,
- Saydamlık,
- Aklık - koyu renklilik,

Öte yandan, hangi türde olursa olsun doğal taşın (mermerin) kesilip çıkarılmasında, levhalara ayrılmasında, parlatılıp cilalanmasında, kullanılmasında, pazarlanmasında ve kalitesinde etkili olan faktörler aşağıda belirtilmiştir:

A. Jeoloji / Yapısal Jeoloji Elemanlar

- Masif,
- Tabakalı/Akma dokulu,
- Şistozite/Yapraklanma konumları (Şistoziteli, laminalı),

B. Petrografik ve Mineralojik Özellikler

- Kayacın mineralojik ve buna bağlı kimyasal bileşimleri,
- Minerallerin tane boyutu, homojenliği ve izotropisi, tane bileşenleri,
- Kayaç ve mineral sertlikleri buna bağlı aşındırıcılığı,
- Kayaç ve minerallerin dilinimlenmeleri,
- Matriks/Çimentolanma durumu,
- Mineral - Çimentolanma (bağlayıcı malzeme) özellikleri,

Bunlar aynı zamanda kayacın değiştirilemez parametreleridir.

3.3. Mermerlerin Jeolojik Oluşum Bakımından Sınıflandırılması

3.3.1. Metamorfik kökenli mermerler

Tam kristalleşmiş bilimsel gerçek mermer tanımına uygun doğal taşları içerir, çoğunlukla iyi kristalleşmişlerdir. Renkleri genelde beyaz ve açık gridir. Bileşimlerinde birçok yabancı madde taşırlar (Onargan, 2006). Çalışmada hakiki mermer örnekleri kullanıldığı için aşağıda sadece hakiki mermer açıklanmıştır.

3.3.1.1. Hakiki mermerler

Hakiki mermerler metamorfizma sonucu kalker ve dolomitik kalkerlerin yeniden kristalleşmesi ile meydana gelmişlerdir. %95 civarında kalsiyum karbonat bileşimini oluşturmaktadır. Yapılarında az miktarda magnezyum karbonatın yanı sıra silikat feldspat, demir oksit, mika fluorit ve organik maddeler de bulunabilir. Renkleri genelde beyaz ve grimsidir. İçerdikleri yabancı maddelerin etkisiyle sarı, pembe ve siyah gibi değişik renklere bürünebilirler. Mermer kalker olarak anılan kireçtaşının metamorfizma geçirmesinden oluşmuş, oldukça sert bir kayadır. Bu genel metamorfizma çok derinlerde şiddetli basınç ve sıcaklık etkisi ile oluşmaktadır. Mermerin esasını oluşturan kalker, kalsit kristallerinden oluşmaktadır (Onargan, 2006).

3.3.2. Sedimanter kökenli mermerler

Genel olarak kireçtaşı, oniks mermerleri, kumtaşları ve travertenleri içerir. Ülkemizin en önemli doğal taş varlığını sedimanter kökenli kayalar oluşturmaktadır. Özellikle blok üretimi açısından büyük önem kazanmışlardır. Bu çalışmada sadece kireçtaşı anlatılacaktır. Bu kireçtaşı grupları stratigrafik seviye olarak her bölümde görülmekte olup, bej, krem, çeşitli renklerde, bol mikro-makro fosilli, geniş yayımlı ve büyük rezervlidir. Oluşum tiplerine göre 2 gruba ayrılırlar (Erkanol ve Aydındağ, 2013):

• **Mikritik kökenli kireçtaşı mermerleri**

Bu tür mermerler; çeşitli renklerde (bej ve krem renk ağırlıkta), yer yer silis katkılı, CaCO_3 'ca zengin, (%95 üstü) yer yer kil içerikli, spari ve mikritik çimentolu olup cila açısından oldukça olumludurlar. Bu alanlardaki kireçtaşları tektonik olaylardan oldukça etkilenmiş olup, kırık ve çatlak yapıları blok üretimine etki etmektedir.

• **İskelet kökenli kireçtaşı mermerleri**

İskeletli kireçtaşları; resifal ve fosilli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Çoğunlukla gri, siyah, yeşilimsi, kırmızımsı renklerde bulunurlar. Çimento çoğunlukla spari kökenlidir. İçerisinde bol miktarda fosil kırıntıları ve parçaları, kayaç parçacıkları, oolit ve pelletler gözlenir. Bu tür mermerler, dekoratif amaçlar için çok uygundur.

3.3.2.1. Kireçtaşları

Kireçtaşları gerçek mermerler olmadıkları halde gerek renk gerekse sağlamlık ve kullanımlarındaki yoğunluk nedeniyle dünya endüstrisinde geniş bir kullanım sahasına sahiptir. Kireçtaşları çok saf olduklarından birleşimlerinde %50 CaO, %44 CO_2 bulunur. Yapılarında %10'dan fazla MgCO_3 bulunan kalkerlere “**Dolomitik Kalker**” denir bu miktar %45-50 olursa “**Dolomit**” adını almaktadır. Birleşimlerinde kireçli ve dolomitli organik artıkların kimyasal çökmesi esnasına göre oluşan bu tip kalkerler tektonik hareketler neticesi kristalleşirler. Bu arada bilişimlerine grafit, demir manganez, kil ve değişik metal oksitleri alabilirler. Bazı cinslerinde de fosillere rastlanır. Tektonik breşler ve pudingler de bu sınıfa girerler. Kalkerin ortalama yoğunluğu $2,3 \text{ gr/cm}^3$, sertliği 3'tür. Mermer ve kristalize kalkerlerin birçoğu tektonik hareketlerin etkisiyle belirli yönlerde çatlak ve kırılır. Bu çatlak ve kırıklar madensel bir çimento ile dolar. Böylece tektonik breşler ve breşimsi mermerler meydana gelir. Elazığ vişne adı ile üretilen mermer bu gruba girmektedir (Onargan, 2006).

3.3.3. Mağmatik kökenli mermerler

Mermer türlerinden sonuncusu ise mermer yerine kullanılabilen “**mağmatik kökenli taşlar**”dır. Serttaş kavramı içerisinde granitler diyabazlar, gabrolar, diyoritler vb girmektedir. Kayaçları derinlik, damar ve yüzey kayaçları olarak üç gruba ayırmak ve

bunları kimyasal yönden de sınıflamak mümkündür. Asit magmatik kayaçların renkleri siyah, beyaz, gri, yeşil, kırmızı ve kahve-sarı olarak değişirken, bazik-ultrabazik kayaçlar sertlikleri (Mohs) 5-7 arasında değişmektedir. Granit, diyorit, gabro ve ultramafik iri kristalli olurken riyolit, andezit, bazalt ve olivin ince kristallidir (Onargan, 2006).

3.3.3.1. Andezit

Kuvars, plajiyoklaz, hornblend, biyotit ve piroksenler ana bileşenleri meydana getirirler. Kayacın rengi koyu renkli mineral bileşenlerine bağlı olarak gri, koyu gri, siyah, açık gri, kırmızımsı-kahverengimsi-pembemsi bozunmaya bağlı olarak tonlar arasında değişir.

Andezitler porfirik dokuya sahip olup hamur mikrokristallerden ve volkan camından meydana gelişmiştir. Lav akıntısına bağlı olarak akma dokusu gösterebilirler. Ankara taşı olarak yazılı kaynaklara geçen ve Ankara Kalesi'nde bulunan Ankara andezitleri, Çanakkale-Behramkale (Assos), Doğu Anadolu volkanları (Erciyes, Hasandağı, Nemrut, Ağrı, Kars, Van vb.) ülkemizdeki en güzel andezit örnekleridir. İzmir-Yamanlar, Bergama, Foça yöresi zengin andezit yataklarına sahip bulunmaktadır. Bu yapı taşlarının Bergama, İzmir antik kentlerinde sıkça kullanıldığı görülür (Kulaksız, 2005).

3.4. Mermer Üretim Yöntemleri

Mermer ocak işletmeciliğindeki üretimin amacı istenilen boyutlarda düzgün, geometrik kıraksız ve çatlaksız blok çıkartmaktır. Mermer ocak yerine ve şekline karar verildikten sonra, üretim yöntemine karar verilmesi gerekmektedir.

Doğal taş madencilik yöntemleri çevre koşullarına, blok çıkarmada kesme işleminin sürekliliğine, blok kesim/üretim teknolojilerine ve jeomorfolojik (jeolojik ve topoğrafik) konumuna göre sınıflandırılabilir (Özçelik vd., 2017).

A) Çevre koşullarına göre sınıflandırma:

- a- Açık ocak doğal taş madenciliği
- b- Yeraltı doğal taş madenciliği

Açık ocak doğal taş madenciliğinde tüm kazı ve blok doğal taş üretim faaliyetleri açık alan ve havada, doğal ortamda yapılır. Yeraltı doğal taş madenciliğinde ise tüm madencilik üretim işlemleri yeraltında, kısmen doğal koşullar dışında gerçekleştirilir.

B) Blok çıkarmada kesme işleminin sürekliliğine göre sınıflandırma:

- a- Kesikli doğal taş üretim yöntemleri
- b- Sürekli (kesintisiz) doğal taş üretim yöntemleri

Kesikli üretim yönteminde ana kayaktan doğal taş blok kesiminde kesim işlemlerinde kesiklikler bulunur. Örneğin, üçlü kama yönteminde veya delme-patlatma ile blok üretiminde işlemler arasında zaman aralıkları bulunurken, sürekli kesimde kesme zaman aralıkları bulunmaz. Sürekli kesme yöntemine örnekler ise elmas telli kesme, kollu kesicilerle kesme ve bantlı kesicilerle kesme yöntemleri verilebilir.

C) Blok kesim/üretim teknolojilerine göre sınıflandırma:

- a- Çelik halatlı kesim makinasıyla kesim/üretim yöntemi
- b- Elmas telli kesim makinasıyla kesim/üretim yöntemi
- c- Dairesel testereli kesim makinasıyla kesim/üretim yöntemi
- d- Alev jeti ekipmanı ile blok kesim/üretim yöntemi
- e- Su jeti ekipmanı ile blok kesim/üretim yöntemi
- f- Zincirli/bantlı kollu kesme makinalarıyla kesim/üretim yöntemi
- g- Delik delme makinalarıyla (sondaj) kesim/üretim yöntemi
- h- Diğer yöntemler ve/veya bu yöntemlerin birlikte kullanıldığı blok kesme yöntemleri

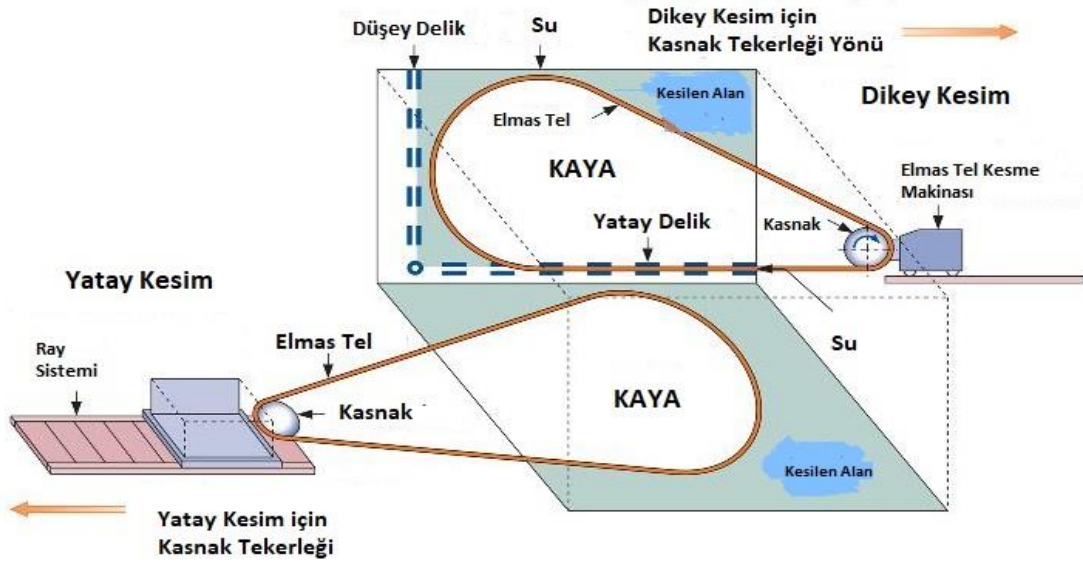
D) Jeomorfolojik (jeolojik ve topografik yapı) konuma göre sınıflandırma:

- a- Ova tipi doğal taş madenciliği
- b- Yamaç/sırt tipi doğal taş madenciliği
- c- Doruk/tepe tipi doğal taş madenciliği

3.5. Elmas Telli Blok Kesme Teknolojisi

Bir doğal taş yatağında uygulanacak üretim yöntemi, kayacın fiziko-mekanik özellikleri ile blok alınabilme durumu, kayacın jeolojik yapısı, planlanan üretim miktarı ve işletme olanakları değerlendirilerek tespit edilmektedir. Üretime başladıktan sonra üretim yönteminin değiştirilmesi ekonomik olmayacağından, üretime başlamadan önce çok iyi bir şekilde fizibilite çalışması yapılmalıdır. Ayrıca üretim yöntemleri, üretimde kullanılan makina ve ekipmana göre isimlendirilmektedir (Kulaksız, 2005).

Günümüzde karbonat kökenli doğal taş blok üretim yöntemlerinden yaklaşık %90'ından fazlasında elmas telli kesme yöntemi uygulanmaktadır. Şematik görünümü Şekil 3.1'de verilen elmas telli kesme yöntemi elmas boncuklar, çelik tel, elmas telli kesme makinası ve yardımcı makina ve ekipmanlar yardımıyla, blok taş kesme ve kesilen blokları nakledilebilir büyüklükteki bloklara parçalama amacıyla kullanılan bir üretim yöntemidir (Kulaksız, 2005).



Şekil 3.1. Elmas tel kesme yönteminde yanal ve dikey kesimler (Özçelik vd, 2002).

Elmas telli kesme yönteminin üstünlükleri aşağıdaki sıralanmıştır (Özçelik vd.,2017);

- Her türlü yeraltı ve yerüstü yapıların kesilmesinde kullanılabilmesi,
- Başka yöntemlerle birlikte kullanılabilen esnek bir üretim yöntemi olması,

- Doğal taş madenciliğinde büyük boyutlu kesimlerin yapılabilmesine olanak sağlaması (200 m²'den büyük),
- İlk yatırım maliyetlerinin düşük olması,
- Makina ve ekipmanın kendini amorti etme süresinin daha kısa olması,
- Daha az toz ve artık oluşturması,
- Daha az kayıpla daha düzgün blok üretimine olanak sağlaması ve bloğa hasar vermemesi,
- İş yoğunluğu diğer yöntemlerden daha az olduğundan, iş gücünün daha verimli kullanılmasına imkân tanınması,
- Yüksek kesme hızlarında üretim kapasitesini arttırmanın mümkün olması,

Elmas telli kesme yönteminin dezavantajı ise sadece;

- Ön delik delme gereksiniminin olması,
- Su temininin çok önemli olması ve
- Yetişmiş personelin gerekliliğidir.

Polat'a (2002) göre Elmas telli kesme yöntemi, çatlak ve eklemleri az, masif yapıdaki doğal taşlar için uygun bir yöntemdir (Kanbir, 2013).

3.5.1. Elmas telli kesme yönteminde kesime etki eden faktörler

Elmas telli kesme yöntemini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler Çizelge 3.1.'de verilmiştir (Özçelik, 1999; Yılmazkaya, 2013). Düşük maliyetle en yüksek verim elde edilebilecek blok kesiminin yapılabilmesi, bu parametrelerin optimum bir şekilde değerlendirilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu kapsamda ilk iş, sabit faktörlerin belirlenmesidir. Sabit faktörler de kesilecek kayacın fiziksel, mekanik ve petrografik özellikleridir. Bu özellikler belirlendikten sonra, değiştirilebilir faktörler üzerinde değişiklikler yapılarak iyi bir kesme performansını sağlamak mümkündür.

Elmas telli kesme yönteminde, kesimi gerçekleştiren yüksek maliyetli boncuklarda meydana gelen aşınma miktarları, maliyet açısından en önemli etkindir. Bu nedenle

yapılacak optimizasyon çalışmalarında bu hususun dikkate alınması büyük önem taşımaktadır.

Çizelge 3.1. Elmas telli kesme yönteminde kesime etki eden faktörler (Özçelik vd., 2017).

Kesilecek kayacın özelliklerine göre sabit faktörler	Değiştirilebilir ya da Kısmen Değiştirilebilir Özellikler	
	Kesme Ekipmanının Özellikleri	Çalışma Koşulları
<ul style="list-style-type: none"> • Sertlik • Dayanım • Su içeriği • Alterasyon derecesi • Süreksizlikler • Mineralojik bileşim ve doku 	<ul style="list-style-type: none"> • Motor gücü ve telin dönüş hızı • Elmas boncuklu telin yapısı • Elmas boncuğun yapısı • Kesilen bloğun boyutları • Kesme süresi boyunca, telin kesim geometrisi • Makina titreşimi • Su tüketimi • Metredeki boncuk sayısı • Kasnak çapı • Gerdirme amperajı • Kasnak devir hızı 	<ul style="list-style-type: none"> • Kalifiye eleman • Kullanılan teknik

Boncuklarda oluşan aşınma miktarları artarsa kesim hızı düşmekte, bundan dolayı da telin kesme verimliliği azalmakta ve üretilen taşın metrekare başına maliyeti yükselmektedir. Bu sebeple, boncukta aşınma miktarı en az seviyede olacak şekilde, değişken özelliklerin belirlenmesi mermer ocak işletmeciliğinde önemli bir konuyu oluşturmaktadır (Özçelik, 1999).

Bu çalışmada doğal taşların kesim performansını tahmin etmede kullanılacak doğal taşların seçilen fiziko-mekanik özellikler aşağıda sıralanmıştır.

- a) Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlık,
- b) Gözeneklilik,
- c) Shore Sertliği,
- d) Çekme Dayanımı,
- e) Koni Delici sertliği
- f) Kuvars içeriği

3.5.2. Doğal taşların kesim hızını etkileyen faktörler

Doğal taş açısından zengin rezerv ve türlere sahip olan ülkemizde en önemli problemlerinden biri mevcut kaynakların ortaya çıkarılmasının ekonomisi ve meydana

gelen maliyetlerdir. Bu maliyetler çoğunlukla mermerlerin aşındırıcılık ve sertlik gibi fiziko-mekanik, kimyasal ve petrografik özelliklerinden dolayı elmas tel kesme makinelerinde ve mermer işleme makinelerindeki aşınmalar sonucu oluşmaktadır (Kulaksız ve Özçelik, 2005).

Bilindiği üzere, mermer üretiminde en fazla maliyet, mermer bloğunun çıkarılması sırasında tüketilen elmas tel veya zincir kollu kesme makinelerdeki elmasların ve mermer işleme fabrikalarında işletilmesi sırasında testerelerin ve diğer makinelerin aşınma sarfiyatlarıdır. Çeşitli tiplerde üretilen bu elmaslar ve testereler bazı mermer türlerine göre üretilmiş olup tüm mermer türleri için aynı verimi vermemekte ve aşırı maliyetlere neden olmaktadır. Bu kapsamda bir işletmeyi kurarken mermerlerin sertliğini, aşındırıcılığını, dayanımını, kimyasal bileşimini ve petrografik özelliklerini belirlemek çok önemli rol oynayacaktır. İşte bu maliyetlerin en aza indirilmesi için mermerlerin fiziko-mekanik ve kimyasal özelliklerinin kesilebilirlik özelliklerine etkisinden dolayı bilinmesi gerekmektedir.

Aynı şekilde, elmas telli kesim verimliliği değerlendirilirken en önemli iki parametre dikkatle incelenmelidir. Bunlar;

- Verimlilik: Saatte kesilen miktardır ($m^2/saat$),
- Dayanım veya kullanım ömrü: Telin birim uzunluğu ile yapılan kesim miktarıdır (m^2/m)

Bu iki parametrenin doğru ayarlanması ve kontrolü sayesinde en iyi maliyet/verimlilik oranı elde edilebilmektedir.

Makinaların performanslarına göre değerlendirilmesinde verim-dayanıklılık oranındaki değişimler önemlidir. Burada, zorunlu şekilleri, blokların sınırlı yüzeyleri, farklı kesim dinamikleri ve kısmen bilinmeyen kayaç parametrelerinden dolayı, verimlilik değerleri mermerde ortalama 4-8 $m^2/saat$ iken granitte ise 0,6-3 $m^2/saat$ değerlerine düşmektedir.

4. KABA KÜME TEORİSİ

Kaba küme teorisi 1980'lerde Pawlak tarafından veri indirgeme, nitelik indirgeme, verideki gizli ilişkilerin ortaya çıkarılması ve karar kuralları oluşturmak amacıyla geliştirilmiş kümeler teorisine dayalı bir yöntemdir (Pawlak vd.,1995). Kaba küme yaklaşımı sadece veri içerisindeki bilgiyi kullanır ve istatistiksel parametrelere veya belirli varsayımlara dayanmaz.

Kaba küme teorisi, elemanları hakkında bazı bilgilere gereksinim olduğu varsayımına dayanır. Nesnelere, aynı öz nitelik bilgilerine sahipse ayırdıkları veya ayırt edilemezler. Ortaya konulan ayırt edilememe ilişkisi, kaba küme teorisinin temelini oluşturur (Aydoğan, 2008).

Kaba küme teorisinde veriler, nitelik ve karar niteliklerinden oluşan bir tablo şeklinde saklanır. Kaba küme teorisi, düşük ve yüksek yaklaşım olmak üzere iki tür bölüm oluşturulur. Düşük yaklaşım yardımıyla kesin kurallar, yüksek yaklaşım yardımıyla da mümkün olabilecek, olası kurallar elde edilir (Avşar, 2007). Alt ve üst yaklaşımlar arasındaki fark sınır bölgesini oluşturur (Pawlak, 1998).

Kaba küme yaklaşımı kullanılarak çözülebilen ana problemler, özellikler arasındaki tam veya kısmi bağımlılıkların belirlenmesi, özelliklerin indirgenmesi, özelliklerin öneminin ortaya konulması ve karar kurallarının oluşturulmasıdır (Pawlak 1991).

Kaba küme teorisi süreci beş temel adımdan oluşmaktadır (Jaaman vd., 2009).

- Bilgi sistemi/Karar sisteminin oluşturulması
- Ayırt edilemezlik ilişkilerinin belirlenmesi
- İndirgemelerin yapılması
- Karar kurallarının oluşturulması
- Yeni nesnelere sınıflandırılması

Aşağıdaki bölümde, kaba küme teorisi ile verilerin indirgenmesi adımlarındaki işlemler örnek model kullanılarak ele alınacaktır.

4.1. Kaba Küme Yöntemiyle Örnek Çözümleme

Kaba Küme Yöntemiyle çözümleme matris formatında bilgi tablosu yardımıyla yapılmakta olup, bu tabloda sütunlar özellikleri ve satırlar nesnelere göstermektedir.

Örnek çözümlemeyi göstermek amacıyla, 6 tane demir döküm boru üzerinde yapılan yüksek basınç deneyi sonuçları ele alınmıştır. Çözüm için oluşturulan bilgi tablosunda, nesnelere borulardır (Pawlak, 1998; Pawlak, 2003) ve özellikler de ham demirin içerdiği karbon (K), sülfür (S) ve fosfor (P) miktarının %'sini göstermektedir. Yüksek basınç sonrasında borularda çatlak oluşup oluşmadığı ise tablonun sonuna ilave edilen bir sütunda gösterilmiştir.

Demir döküm borunun %K, %S ve %P içeriğine göre dayanımı yüksek, orta veya düşük olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir varsayılmıştır.

Eğer K içeriği : % 3,6 >=	ise	yüksek
[%3,5; %3,6]	ise	orta
%3,5 <=	ise	düşük
Eğer S içeriği : % 0,1 >=	ise	yüksek
% 0,1 <	ise	düşük
Eğer P içeriği : % 0,3 >=	ise	yüksek
% 0,3 <	ise	düşük

Demir döküm boru örnekleri için varsayımsal bilgi tablosu verileri Çizelge 4.1.'de verildiği gibidir. Bilgi tablosundaki her bir satır özel bir boru hakkındaki bilgileri göstermektedir. Örneğin, p3 borusunun özellik-değer kümesi: (K%, Orta), (%S, Yüksek), (%P, Düşük), (Çatlak, Evet) olarak karakterize edilmektedir.

Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi, p2 ve p3 boruları aynı özellikleri taşımalarına rağmen boruların birinde çatlak görülürken diğerinde çatlak oluşmadığından, bu özelliğe ayırt edilemez özellik denilir.

Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi, karbon (K) özelliği ile $\{p1, p6\}$, $\{p2, p3, p5\}$ ve $p4$ olan üç yeni küme oluşturulur, kükürt (S) özelliği ile $\{p1, p2, p3\}$ ve $\{p4, p5, p6\}$ ve fosfor (P) özelliği ile de $\{p1, p2, p3, p4\}$ ve $\{p5, p6\}$ olan yeni kümeleri oluşturulur. Benzer şekilde özelliklerin herhangi bir alt kümesi ile yeni kümeler tanımlanabilir.

Çizelge 4.1. Demir döküm boru örnekleri için bilgi tablosu verileri

Boru	K	S	P	Çatlak
p1	Yüksek	Yüksek	Düşük	Evet
p2	Orta	Yüksek	Düşük	Hayır
p3	Orta	Yüksek	Düşük	Evet
p4	Düşük	Düşük	Düşük	Hayır
p5	Orta	Düşük	Yüksek	Hayır
p6	Yüksek	Düşük	Yüksek	Evet

Boruların çatlaklık durumları incelendiğinde, p2 borusunda çatlak olmadığı halde p3 borusunda çatlak vardır ve burada K, S ve P özelliklerine göre ayırt edilemez olduğundan, boruların çatlaklığı K, S ve P özellikleri cinsinden tanımlanamaz. Sonuç olarak p2 ve p3 eldeki mevcut bilgilerle tam olarak sınıflandırılmayacağı için sınır çizgisinde bulunma durumudur. Geriye kalan p1, p4, p5 ve p6 boruları onların çatlak olup olmadığı konusunda net olarak sınıflandıran bulguları gösterir.

p2 ve p3 boruları ise çatlak olmayanlar olarak görülemez. Böylelikle aşağı yaklaşım kümesi ile çatlak olan boruların kümesi $\{p1, p6\}$ ve yukarı yaklaşımla çatlak olan boruların kümesi ise $\{p1, p2, p3, p6\}$ olur, oysa p2 ve p3 boruları sınır çizgisi durumudur.

Benzer şekilde p2 çatlak değildir, p2 ve p3 boruları çatlak olmayanlar olarak görülemez ve bu durumda bu kümenin aşağı yaklaşımı $\{p4, p5\}$ kümesidir. Bununla birlikte $\{p2, p3, p4, p5\}$ yukarı yaklaşım kümesidir ve çatlak olmama konusunda sınır bölgeleri $\{p2, p3\}$ kümesidir, bir önceki durumda da aynısı geçerlidir.

Bu örneğin matematiksel açıklaması aşağıda yer almaktadır.

$S=(U,A)$ bir bilgi sistemi, U , S 'nin evreni adı verilen nesnelerin boş olmayan sonlu kümesi, A , niteliklerin boş olmayan sonlu kümesi, $R \subseteq A$ ve $X \subseteq U$ olsun. Bu durumda;

- X kümesinin R 'ye göre alt yaklaşımı; R 'ye göre kesinlikle X olarak sınıflandırılan nesnelerin kümesine,
- X kümesinin R 'ye göre üst yaklaşımı; R 'ye göre muhtemelen X olarak sınıflandırılabilen nesnelerin kümesine,
- X kümesinin R 'ye göre sınır bölgesi; R 'ye göre ne X de ne de X de olmayan nesnelerin kümesine denir (Şener,2011).

Bu bilgilere göre kaba kümenin tanımı yapılacak olursa;

- Eğer X 'in sınır bölgesi boş ise, X kümesi R 'ye göre kesindir.
- Eğer X 'in sınır bölgesi boş değil ise X kümesi R 'ye göre kabadır.

Çizelge 4.1.'deki bilgi tablosuna göre aşağıdaki kümeler oluşturulur.

$$U = \{p1,p2,p3,p4,p5,p6\}$$

$$A = \{K, S, P, \text{çatlak}\}$$

$$\text{Özellik Kümesi} = \{K,S,P\}$$

$$\text{Karar Kümesi} = \{\text{çatlak}\}$$

U/B (b özelliğine göre ayrışım)

$$U/B = \{ \{p1\}, \{p2,p3\}, \{p4\}, \{p5\}, \{p6\} \}$$

$$X_{\text{çatlak var}} = \{p1,p3,p6\} \quad X_{\text{çatlak yok}} = \{p2,p4,p5\}$$

$$B_x(X_{\text{çatlak var}}) = \{p1\} \cup \{p6\} = \{p1,p6\} \neq 0 \quad (\text{çatlak olan borulara alt yaklaşım})$$

$$B^x(X_{\text{çatlak var}}) = \{p1\} \cup \{p2,p3\} \cup \{p6\} = \{p1,p2,p3, p6\} \neq 0$$

(çatlak olan borulara üst yaklaşımı)

$$BN_B = B^x(X_{\text{çatlak var}}) - B_x(X_{\text{çatlak var}})$$

$$= \{p1,p2,p3,p6\} - \{p1,p6\} = \{p2,p3\} \neq 0 \quad (\text{Kaba Küme})$$

$$B_x(X_{\text{çatlak yok}}) = \{p4\} \cup \{p5\} = \{p4,p5\} \neq 0 \quad (\text{çatlak olan borulara alt yaklaşım})$$

$$B^x(X_{\text{çatlak yok}}) = \{p2,p3\} \cup \{p4\} \cup \{p5\} = \{p2, p3, p4, p5\} \neq 0$$

(çatlak olan borulara üst yaklaşımı)

$$\begin{aligned} BN_B &= B^x(X_{\text{çatlak yok}}) - B_x(X_{\text{çatlak yok}}) \\ &= \{p2, p3, p4, p5\} - \{p4, p5\} = \{p2, p3\} \neq \emptyset \quad (\text{Kaba Küme}) \end{aligned}$$

4.1.1. Kaba kümeler ve yaklaşımları

Sonlu ve boş olmayan iki küme U ve A verildiğinde;

U: evren ve

A: özellikler kümesidir.

Her bir özellik $a \in A$ için V_a ve a 'nın tanım kümesi olarak isimlendirilir.

A'nın herhangi bir alt kümesi B; U üzerinde I(B) olarak gösterilen bir bağıntı belirlenir, bu ayırt edilemezlik bağıntısı olarak adlandırılır ve şu şekilde tanımlanır:

$\forall a \in A$ için $xI(B)y \Rightarrow a(x)=a(y)$ olur ve $a(x)$: x elemanı için a özelliğinin değerini gösterir.

I(B) bir denklik bağıntısıdır ve U/I(B) veya U/B olarak gösterilir;

Eğer (x,y) , I(B)'ye ait ise x ve y "ayırt edilemez" dir.

Yaklaşımlar aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$B_x(X) = \{x \in U : B(x) \subseteq X\}, \quad (\text{alt yaklaşım}) \quad (4.1)$$

$$B^x(X) = \{x \in U : B(x) \cap X \neq \emptyset\}, \quad (\text{üst yaklaşım}) \quad (4.2)$$

$$BN_B(X) = B^x(X) - B_x(X) \quad (\text{Sınır Küme}) \quad (4.3)$$

Eğer X'in sınır bölgeleri boş küme ise X kümesi B'ye göre net (crisp)'dir.

Eğer X 'in sınırları boş küme değil ise X kümesi B 'ye göre kaba (net değil)'dir.

Kaba kümeler aynı zamanda aşağıdaki katsayı tarafından sayısal olarak karakterize edilebilir:

$$\alpha = \frac{|B\text{-alt yaklaşım}(X)|}{|B\text{-üst yaklaşım}(X)|} \quad (4.4)$$

Bu katsayı $0 \leq \alpha_B(X) \leq 1$ aralığındadır.

Eğer katsayı 1 ise X B 'ye göre net kümedir, diğer yandan katsayı 1'den küçükse X B 'ye göre kaba kümedir.

Çizelge 4.1.'deki bilgi tablosu yardımıyla yukarıdaki tanım açıklanır;

$B_x(X_{\text{çatlak var}}) = \{p1, p6\} \neq 0$ (çatlak olan borulara alt yaklaşım)

$B^x(X_{\text{çatlak var}}) = \{p1, p2, p3, p6\} \neq 0$ (çatlak olan borulara üst yaklaşımı)

α ("çatlak var")= 2/4, yani borunun çatlaklık kavramının K , S ve P kullanarak kısmen karakterize edilebileceği anlamına gelir.

4.1.2. Kaba kümeler ve üyelik fonksiyonu

Kaba üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$\mu_{Bx}(x) = \frac{|X \cap B(x)|}{|B(x)|} \quad (4.5)$$

Burada, $\mu_{Bx}(x) \in [0,1]$

Üyelik fonksiyonu $\mu_B(x)$ in değeri bir çeşit koşullu olasılıktır ve X 'e bağlı olarak kesinliğin derecesi olarak yorumlanabilir,

Çizelge 4.1.'de verilen bilgi tablosundaki ikinci borunun ($p2$) çatlak olan kümeye ait olma derecesi

$$X_{\text{çatlak var}} = \{1,3,6\}$$

$$B(2) = \{2,3\}$$

$$\mu_{B\text{çatlak var}}(2) = \frac{|X_{\text{çatlak var}} \cap B(2)|}{|B(2)|} \quad (\text{eşitlik 4.5.'e göre})$$

$$\Rightarrow \mu_{B\text{çatlak var}}(2) = \frac{| \{3\} |}{| \{2,3\} |} = 1/2 = 0,5$$

4.1.3. Karar tabloları ve karar algoritmaları

Bilgi tablosunda özellikleri koşul ve karar özellikleri olarak iki sınıfa ayrılır. Örneğin, Çizelge 4.1.'deki bilgi tablosundaki K, S ve P özellikleri koşul özellikleri olarak düşünülebilir ve Çatlaklık özelliği karar özelliğidir.

Karar tablosundaki her bir satır karar kuralını belirler. Örneğin, Çizelge 4.1.'deki bilgi tablosunda birinci boru (p1) için (K, yüksek), (S, yüksek) ve (P, düşük) koşulunun kararı (Çatlak, evet) dir. Yani bu koşullarda kesin çatlak oluşur. Bu durumda kural tutarlıdır.

Fakat boru 2 ve boru 3 aynı koşullara sahip olsalar da p3 borusunda çatlak oluşmakta fakat p2 borusunda çatlak görülmemektedir. Bu kurallar için ise tutarsız olduğu söylenebilir.

Çoğu zaman tutarlı karar kuralları kesin kurallar olarak da söylenebilir. Tutarsız kurallar ise olasılıklı kurallardır.

Karar kuralları genellikle “Eğer...ise...” önermesiyle kullanılır. Örneğin Çizelge 4.1.'de verilen bilgi tablosundaki birinci boru (p1) için karar kuralı aşağıdaki gibi ifade edilir.

Eğer (K, yüksek), (S, yüksek) ve (P, düşük) ise (Çatlak, evet) olur.

Karar kurallarının oluşturduğu kümeye, karar algoritması denir. Böylece her bir karar tablosu ile karar tablosunda açığa çıkan tüm kararları içeren bir karar algoritması elde edilir.

Bununla birlikte, karar tablosu verilerin toplu halidir ve karar algoritması ise önermelerin toplamıdır (Pawlak, 2003).

4.1.4. Özelliklerin bağımlılığı

Veri analizindeki önemli bir konu da nitelik özellikleri arasındaki bağımlılıktır.

D özelliklerinin kümesi C özelliklerinin kümesine bağlıdır. Eğer D'deki tüm özellik değerleri sadece C'deki özellik değerlerinden belirlenirse, $C \Rightarrow D$ olarak gösterilir.

C ile D arasında fonksiyonel bir bağımlılık bulunmakla birlikte, bazı durumlarda özellikler arasında tam bir bağımlılık olmayabilir. Örneğin Çizelge 4.1.'de verilen bilgi tablosunda özellikler arasında tam bir bağımlılık yoktur.

Eğer Tablo 1'de p3 borusundaki için K özelliğinin değeri "orta" yerine "yüksek" olsaydı K ile Çatlaklık arasında tam bağımlılık olacaktı $\{K\} \rightarrow \{\text{Çatlaklık}\}$, çünkü K özelliğinin her bir değeri Çatlaklık özelliğinde tek bir değere karşılık geliyor olurdu.

Özelliklerin bağımlılığı için daha genel bir kavrama ihtiyaç duyulur ve "kısmi özellikler bağımlılığı" şeklinde tanımlanır.

Çizelge 4.1.'deki bilgi tablosundaki K özelliği Çatlaklık özelliğinin sadece bazı değerlerini belirler. Yani (K, Yüksek) (Çatlaklık, Evet) anlamına gelir, benzer şekilde (K, Orta) (çatlaklık, Hayır) anlamına gelir; fakat (K, orta) her zaman (Çatlaklık, Evet) anlamına gelmez.

D (karar)'nin bazı değerleri C (öznitelik) 'nin değerleri tarafından belirlenir ve buna da kısmi bağımlılık denir.

Biçimsel olarak bağımlılık aşağıdaki şekilde tanımlanır.

D ve C; A'nın alt kümesi olsun. Eğer

$$k = \gamma(C,D) \quad (4.6)$$

ise k derecesi ($0 \leq k \leq 1$) ile D'nin C'ye göre değiştiği söylenebilir ve $C \Rightarrow_k D$ olarak gösterilecektir.

Eğer $k=1$ ise D tamamen C'ye göre değişecektir veya

Eğer $k < 1$ ise D k derecesine göre kısmen C'ye göre değişecektir.

Örneğin: $C = \{K, S, P\}$ $D = \{\text{çatlak}\}$

$$U/B = \{\{1\}, \{2,3\}, \{4\}, \{5\}, \{6\}\}$$

$$U/D = \{\{1,3,6\}, \{2,4,5\}\}$$

$$k = \gamma(C,D) = |\text{POSc}(D)| / |U| \quad (4.7)$$

$$C_x = (\{1,3,6\}) = \{1\} \cup \{6\} = \{1,6\}$$

$$C_x = (\{2,4,5\}) = \{4\} \cup \{5\} = \{4,5\}$$

$$\text{POSc}(D) = \cup C_x(X) = \{1,6\} \cup \{4,5\} = \{1,6,4,5\}$$

$$k = \gamma(C,D) = |\text{POSc}(D)| / |U| \Rightarrow k = \gamma(C,D) = 4/6 = 2/3$$

Örneğin, $\{K, S, P\} \rightarrow \{\text{Çatlaklık}\}$ bağımlılığı için $k=4/6=2/3$ elde edilir.

Sadece K özelliğini kullanarak tam olarak çatlaklık belirlemeye çalışılırsa, bağımlılık derecesinde $\{C\} \rightarrow \{\text{Çatlaklık}\}; k=3/6=1/2$ olarak elde edilir.

Bu durumda altı borudan sadece p1, p3 ve p6 çatlaktır. Bir önceki durumun aksine p2 borusunun çatlak olup olmadığı anlaşılmaz. Yani sadece K özelliği tüm özellikler kümesine göre daha kötü bir sınıflandırma yapmaktadır.

4.1.5. Özelliklerin indirgenmesi

Bir veri tablosunda bazı verilerin veri tablosundan çıkarıldıktan sonra veri tablosunun temel özellikleri kaybedilmemesi işleme nitelik indirgeme denir. Çıkarma işleminden sonrada aynı bağımlılık derecesi ve yaklaşım kesinliği bulunabilir.

Yani B , A kümesinin bir alt kümesi ve a niteliği B 'ye ait olsun;

Eğer $I(B) = I(B - \{a\})$ ise a niteliği B kümesinde *gereksizdir* aksi halde a niteliği B 'de gereklidir. B 'nin bütün nitelikleri gerekli ise *bağımsızdır* denir (Şener, 2011).

Diğer önemli bir özellik ise çekirdek (öz, kor) özelliğidir.

$\text{Çekirdek}(B) = \cap \text{RED}(B)$ şeklinde ifade edilir. $\text{RED}(B)$ ise B 'nin tüm indirgenmiş kümeleridir (Şener, 2011). Çizelge 4.2.'de P özelliği çıkarılarak elde edilen indirgenmiş küme verilmiştir.

Çizelge 4.2. Demir döküm boru örnekleri için P özelliği çıkarılarak elde edilen indirgenmiş küme verileri

Boru	K	S	Çatlak
P1	Yüksek	Yüksek	Evet
P2	Orta	Yüksek	Hayır
P3	Orta	Yüksek	Evet
P4	Düşük	Düşük	Hayır
P5	Orta	Düşük	Hayır
P6	Yüksek	Düşük	Evet

P özelliğinin çıkarılmasıyla elde edilen indirgenmiş küme için aşağıdaki eşitlikleri yazmak mümkündür.

$$C, D \subseteq A \quad (4.8)$$

$$C' = \{K, S\} D_{\text{IND}} \quad (4.9)$$

$$C' \subseteq C \Rightarrow \gamma(C, D) = \gamma(C', D) \quad (4.10)$$

$$U/C' = \{\{1\},\{2,3\},\{4\},\{5\},\{6\}\}$$

$$U/D = \{\{1,3,6\},\{2,4,5\}\}$$

$$\gamma(C,D) = \gamma(C',D) \quad (4.11)$$

Çizelge 4.3.'de S özelliği çıkarılarak elde edilen indirgenmiş küme verilmiştir.

Çizelge 4.3. Demir döküm boru örnekleri için S özelliği çıkarılarak elde edilen indirgenmiş küme verileri

Boru	K	P	Çatlak
P1	Yüksek	Düşük	Evet
P2	Orta	Düşük	Hayır
P3	Orta	Düşük	Evet
P4	Düşük	Düşük	Hayır
P5	Orta	Yüksek	Hayır
P6	Yüksek	Yüksek	Evet

S özelliğinin çıkarılmasıyla elde edilen indirgenmiş küme için aşağıdaki eşitlikleri yazmak mümkündür.

$$C' = \{K,P\} \quad D_{IND} \quad (4.9)$$

$$\gamma(C,D) = \gamma(C',D) \quad (4.11)$$

Çizelge 4.2. ve 4.3.'den de görüldüğü gibi, eğer S veya P'yi çıkartırsak, bağımlılıkları ve yaklaşımları da göz önüne alarak ilk baştakine denk olan veri kümesi elde edilir. Yani daha küçük özellikler kümesi kullanarak orijinal tablodaki ile aynı bağımlılık derecesi ve yaklaşım tutarlılığı elde edilir.

B, A'nın bir alt kümesi olsun. B'nin çekirdeği B'nin gerekli tüm özelliklerinin bir kümesidir. Çekirdeğin ve azalmaların gösterim şekline bağlı olarak;

Çekirdek(B) = \cap Red(B), Red(B); B'nin tüm azalmalarının kümesidir.

$$\{K,S\} \cap \{K,P\} = \{K\} \quad \text{Çekirdeği} \quad (4.12)$$

4.1.6. Belirsizlik matrisleri ve fonksiyonları

İndirgemeleri ve çekirdeği kolayca hesaplamak için ayırt edici matrisi kullanır (Skowron ve Rauszer, 1992). $B \subseteq A$ 'nın bir ayırt edilebilirlik matrisi ile, $n \times n$ matrisi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\delta(x, y) = \{ a \in B : a(x) \neq a(y) \}, \quad (4.13)$$

Böylece $\delta(x, y)$, nesnelere x ve y 'yi ayıran tüm özniteliklerin kümesidir.

Çizelge 4.1.'deki bilgi tablosu verileri ele alınarak elde edilen ayırt edilebilirlik matrisi ve $B = \{K, S, P\}$ öznitelik kümesi Çizelge 4.4.'te verildiği gibidir.

Çizelge 4.4. Demir döküm boru örnekleri için ayırt edilebilirlik matrisi ve öznitelik kümesi

	1	2	3	4	5	6
1						
2	K					
3	K	-				
4	K,S	K,S	K,S			
5	K,S,P	S,P	S,P	K,P		
6	S,P	K,S,P	K,S,P	K,P	K	

Nesnelerin her çiftine, x ve y atandığında belirsizlik matrisi aşağıdaki özellikler taşır:

- $\delta(x, y) = \emptyset$ (yasama) (4.14)

- $\delta(x, y) = \delta(y, x)$ (simetri) (4.15)

- $\delta(x, z) \subseteq \delta(x, y) \cup \delta(y, z)$ (geçişli) (4.16)

Ayrıca, her $x, y, z \in U$ için,

- $|\delta(x, y)| = 0$ (4.17)

- $|\delta(x, y)| = |\delta(y, x)|$ (4.18)

- $|\delta(x, z)| \leq |\delta(x, y)| + |\delta(y, z)|$ (4.19)

Öznitelikleri koşullarının indirgemesini hesaplamak için, verilen (C, D) matrisini değiştirerek bir belirsizlik matrisine ihtiyaç olacaktır.

$$\delta(x, y) = \{ a \in C: a(x) \neq a(y) \text{ ve } w(x,y) \}, \quad (4.20)$$

$x \in \text{POSc}(D)$ ve $y \notin \text{POSc}(D)$ ya da

$x \notin \text{POSc}(D)$ ve $y \in \text{POSc}(D)$ ya da

$x, y \in \text{POSc}(D)$ ve $(x,y) \notin I_D$

$x,y \in U$ için

Eğer C tarafından tanımlanan D tarafından da kısmi olarak tanımlanabiliyorsa, yukarıdaki tanımlanan $w(x, y)$ koşulu, $(x, y) \notin I_D$ olarak indirgenebilir. Böylece $\delta(x, y)$ girişi, I_D denk sınıfına ait olmayan x ve y nesnelere ayıran tüm özniteliklerin kümesidir.

Çizelge 4.1.'deki bilgi tablosu verileri ele alınarak K, S, P özellikleri ve karar nitelik çatlaklarını ifade eden (C, D) matrisi Çizelge 4.5.'de verildiği gibi elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. Demir döküm boru örnekleri için (C, D) matrisi

	1	2	3	4	5	6
1						
2	K					
3	K	\emptyset				
4	K,S	K,S	K,S			
5	K,S,P	S,P	S,P	-		
6	-	K,S,P	K,S,P	K,P	K	

Eğer C nin alt kümesi minimum ise, C nin indirgemesi $C' \subseteq C$ kümesidir.

$$C' = \{K,S\} \text{ ve } C' = \{K,P\} \text{ gibi.}$$

Dolayısıyla, indirgeme tüm öznitelik kümesi tarafından fark edilebilen ilişkinin I_D 'deki tüm denklik sınıflarını ayıran özelliklerin asgari alt kümesidir.

Her (C, D) ayırdedilebilirlik matrisi, aşağıdaki gibi tanımlanabilen bir ayırt edilebilirlik (Boolean) fonksiyonunu, $f_D(C)$ tanımlar.

Her niteliğe a ikili bir Boolean değişkeni atandığında, $\sum \delta (x, y)$ 'nın, $\delta (x, y)$ öznitelikler kümesine atanan tüm Boolean değişkenlerinin toplamı olarak belirtilir. Ardından, tanıma işlevi formül aşağıdaki gibidir;

$$f_D(C) = \prod_{(x,y) \in U \times U} \{ \sum \delta (x, y) : (x,y) \in U \times U \text{ ve } \delta (x, y) \neq \emptyset \} \quad (4.21)$$

Burada;

$f_D(C)$ fonksiyonunun ayırıcı normal formuyla C'nin tüm indirgemeleri kümesi arasındaki ilişkiyi ortaya koyar.

$f_D(C)$ fonksiyonunun minimal ayırıcı normal formundaki tüm bileşenler, tümü C'nin indirgeyicidir.

Başka bir deyişle, indirgeme özelliği, tüm nitelikler kümesi tarafından fark edilebilen tüm nesnelere ayıran özelliklerin asgari bir alt kümesidir.

Çizelge 4.5.'de gösterilen (C, D) ayırt edilebilen matris için (C, D) belirsiz fonksiyon aşağıdaki gibidir

$$\begin{aligned} f_D(C) &= K.(K+S).(K+S+P).(K+S).(S+P).(K+S+P).(K+S).(S+P).(K+S+P).(K+P).K \\ &= K.(K+S).(K+S+P).(S+P).(K+P) \\ &= \\ &= K.(S+P) \end{aligned}$$

Burada "+" ve "." sırasıyla Boolean toplama ve çarpımını ifade eder.

Boolean matematiği indirgenmesinde kullanılan temel Boolean kurallarının bazıları aşağıdaki Çizelge 4.6.'da gösterilmiştir

Çizelge 4.6. Temel Boolean kuralları

1	a) $A+0=A$ b) $A+1=1$ c) $A+\bar{A}=1$ d) $A+A=A$
2	a) $A*0=0$ b) $A*1=A$ c) $A*\bar{A}=0$ d) $A*A=A$
3	a) $A+AB=A$
4	b) $(A+B)*(A*C)=A+B*C$

Fonksiyonun ayırıcı normal biçimi;

$$f_D(C) = KS + KP$$

olup, $\{K, S, P\}$ koşul öznitelikleri kümesinin $\{K, S\}$ ve $\{K, P\}$ olmak üzere iki indirgemesi vardır.

Çok büyük veri tabloları için indirgemelerin hesaplanması için önerilen yöntem yeterince verimli değildir ve daha karmaşık yaklaşımlar kullanılır.

4.2. Kaba Küme İşlemlerinin Bilgisayar Ortamında Gerçekleştirilmesi:

ROSETTA Programı

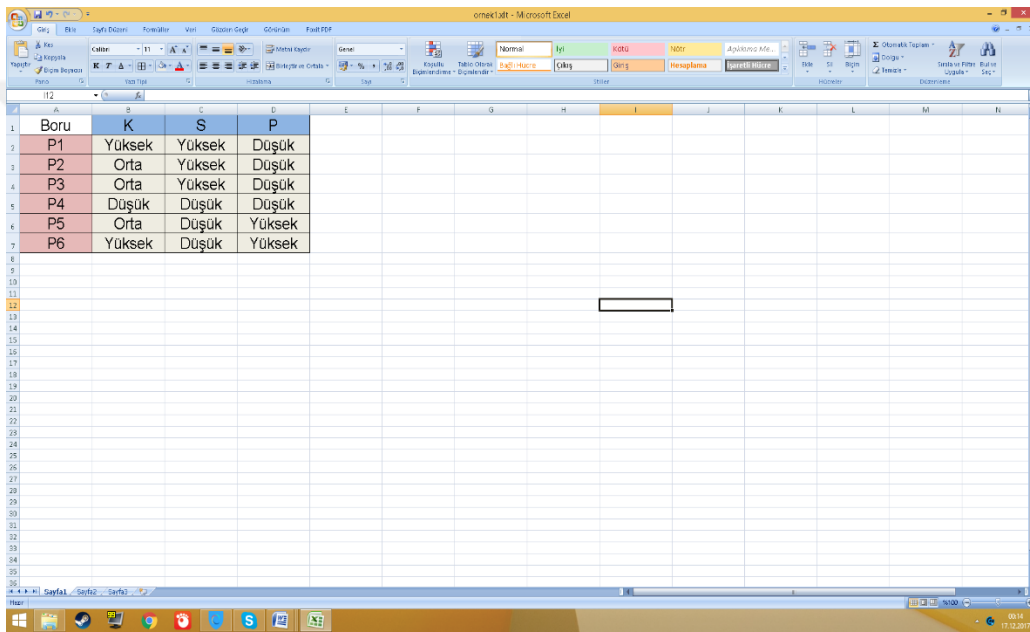
Kaba küme hesaplama işlemlerini gerçekleştirmek için Polonya, Varşova Üniversitesindeki Mantık Grubu tarafından geliştirilmiş, veri yapıları ve algoritmaların toplandığı RSES programı kullanılmıştır. ROSETTA ise RSES altyapısı üzerine kurulmuştur. RSES kütüphanesi üzerine istenilen şekilde kodlar yazılabilmektedir.

ROSETTA veri madenciliği ve bilgi keşfi işlemlerini desteklemek için tasarlanmıştır. Verilerin görüntülenmesinden verilerin ön işlemesine, minimal nitelik altkümesinin bulunmasından karar kurallarının çıkarılmasına kadar kaba küme tabanlı birçok işlemi destekleyen bir yapıya sahiptir.

Çizelge 4.1.'deki veriler kullanılarak ROSETTA programında indirgenme yapılmıştır.

4.2.1. Veri tabanının oluşturulması

Çizelge 4.1.'deki veriler Excel de bir tablo oluşturularak işlenmiştir. Bu tabloya daha sonra aktarım bağlantısı kullanılarak, ROSETTA programı tarafından erişimi sağlanmıştır. Aşağıda oluşturulan Excel tablosu görülmektedir (Şekil 4.1.).

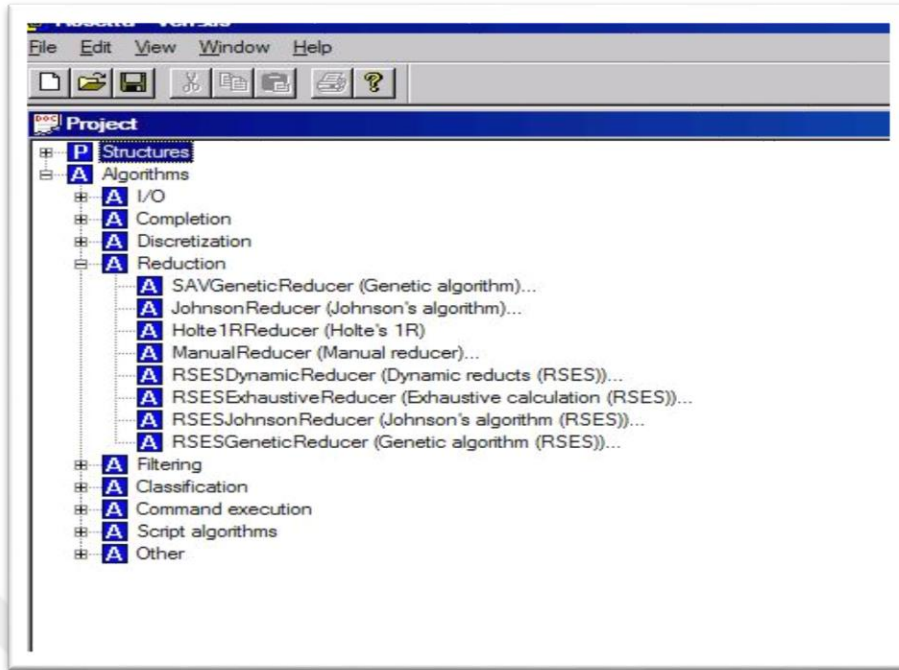


Boru	K	S	P
P1	Yüksek	Yüksek	Düşük
P2	Orta	Yüksek	Düşük
P3	Orta	Yüksek	Düşük
P4	Düşük	Düşük	Düşük
P5	Orta	Düşük	Yüksek
P6	Yüksek	Düşük	Yüksek

Şekil 4.1. Verilerin Tablo Halinde Excel Ortamında Oluşturulması

4.2.2. Farklı algoritmalar ile indirgemelerin bulunması

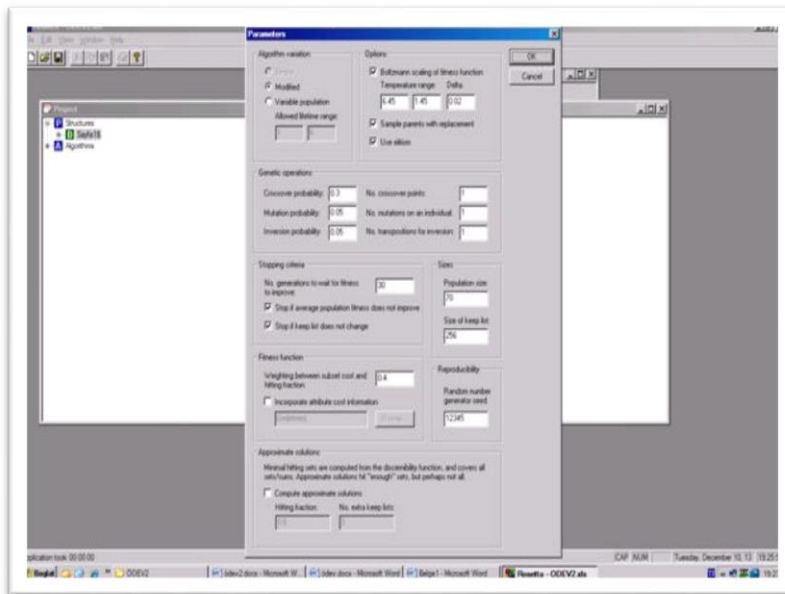
ROSETTA Programında Genetik algoritmalar, Johnson algoritması, Holte 1 algoritması ve RSES gibi geniş kapsamlı indirgemeler için çeşitli algoritmalar bulunmaktadır (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. ROSETTA Programı indirgeme algoritmaları

4.2.3. Genetik algoritmalar ile hesaplanması

İlgili parametreler ROSETTA programında ekran görüntüsünde olduğu gibi oluşturularak, 70. nesle kadar çaprazlamalar ve mutasyonlar yapılmıştır (Şekil 4.3.). Sonuç ekranı da Şekil 4.4.'e gösterildiği gibidir. Bu ekranda da bir kere daha görülmüştür ki K+P veya K+S Çatlama için indirgenmiş verilerdir.



Şekil 4.3. Genetik Algoritmanın Parametrelerinin Ayarlanması

The screenshot shows the Rosetta program interface. The main window displays a project structure with three items: Structures, Sayfa15, and Algorithms. Two data tables are visible:

Sayfa15 Table:

	Boru	K	S	P	ÇATLAK
1	P1	Yüksek	Yüksek	Düşük	EVET
2	P2	Orta	Yüksek	Düşük	HAYIR
3	P3	Orta	Yüksek	Düşük	EVET
4	P4	Düşük	Düşük	Düşük	HAYIR
5	P5	Orta	Düşük	Yüksek	HAYIR
6	P6	Yüksek	Düşük	Yüksek	EVET

No name Table:

	Reduct	Support	Length
1	{K, S}	100	2
2	{K, P}	100	2

Şekil 4.4. ROSETTA Programı Sonuç Ekranı

5. MATERİYAL VE YÖNTEM

5.1. Materyal

Bu çalışmada doğal yapı taşlarının elmas telle kesim performansını en fazla etkileyen kayaç özelliklerinin kaba küme yaklaşımı ile belirlenmesi amaçlandığından, uygulama çalışması için doğal yapı taşlarının özelliklerini ve kesim performans değerlerini içeren örneklerin elde edilmesi gerekmiştir. Bu çalışma için Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Mermer Teknolojileri Laboratuvarında Prof.Dr. Yılmaz Özçelik tarafından Magmatik ile Metamorfik ve Sedimanter Kökenli Mermerler için gerçekleştirilen deneysel veriler kullanılmıştır. Magmatik ile Metamorfik ve Sedimanter Kökenli Mermerler için deneysel verilerde çekme dayanımı, gözeneklilik, yoğunluk, Shore sertliği, koni delici sertliği, kuvars içeriği ve kesim performansı ($m^2/saat$) verileri bulunmaktadır. Andezit için 15 adet farklı özellikli örnek ve metamorfik ve sedimanter kökenli mermerler için de 23 adet farklı özellikli örnek verisi kullanılmıştır. Saha verilerinin elde edilmesinde kullanılan makine ve ekipmanlara ait parametreler Çizelge 5.1’de sunulmuştur. Andezit ile mermer verileri kullanılarak kaba küme yaklaşımı ile yapılan özellik indirgeme çalışması sonraki bölümlerde verilmiştir.

Çizelge 5.1. Saha araştırmasında kullanılan makina ve ekipmanlara ait parametreler

Parametreler	Andezit (Sert Kayaç)	Mermer (Hakiki Mermer- Kireçtaşı/ Karbonatlı Kayaçlar)
1 Metredeki Boncuk Sayısı	37 Adet	33 Adet
Kullanılan Makina Gücü	37,3 KW	37,3 KW
Makina Hızı	750 rpm	850 rpm
Voltaj	380 volt	380 volt
Gerilme Amperajı	25 Amper	35 Amper
Geri Çekme Basınçı	35,21 kg/cm^2	31,69 kg/cm^2
Kasnak Çapı	80 cm	80 cm
Delinen Delik Çapı	90 mm	90 mm

5.2. Yöntem

Andezit ile mermer verileri kullanılarak kaba küme yaklaşımı ile yapılan özellik indirgeme çalışmasında sırasıyla aşağıdaki adımlarla açıklanan yöntem uygulanmıştır.

- Bilgi sistemi oluşturulmuştur.
- Ayırt edilmezlik ilişkileri tanımlanmıştır.
- Karar tablosu oluşturulmuştur.
- Düşük ve yüksek yaklaşım yöntemleriyle kaba kümeye kesin olarak ait olan ve ait olma olasılığı olan elemanlar belirlenmiştir.
- Nitelikler arası bağımlılıklar bulunmuştur.
- Nitelik indirgeme kümeleri tanımlanmıştır.
- Ayırt edilebilirlik matrisi ve fonksiyonları oluşturulmuştur.
- ROSETTA Programının işletimi ile indirgeme işlemi gerçekleştirilmiştir.

5.2.1. Andezit kesim hızını etkileyen verilerin kaba küme yaklaşımı ile indirgenmesi

5.2.1.1. Andezit verileri bilgi sistemi

Bilgi sistemi IS (veya yaklaşım uzayı);

$$IS = (U, A)$$

olup, burada U nesnelerin sonlu bir kümesi olan evren ($U = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$) ve A 'da özellikler ve değişkenleri gösteren nitelikler kümesidir. A nitelik kümesine ait bir nitelik olan a , $a \in A$ olmak üzere, bir bilgi fonksiyonu tanımlar. $f_a : U \rightarrow V_a$, buradaki V_a , a niteliğinin tanım kümesi olarak isimlendirilir ve a 'nın değer kümesidir.

Andezit bilgi sisteminde $IS = (U, A)$;

$$U = \{\text{Andezit1}, \text{Andezit2}, \dots, \text{Andezit15}\}$$

$$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_6\}$$

- a1: Çekme dayanımı (TS – MPa),
a2: Gözeneklilik (PO - %),
a3: Yoğunluk (DE - gr/cm³),
a4: Shore sertliği (SH),
a5: Koni delici sertliği (CIH),
a6: Kuvars içeriği (QZ - %) değerlerini göstermektedir. Andezit bilgi sisteminin karar verileri de elmas telli kesim makinası ile kesim hızıdır (CR – m²/saat).

Andezit verileri bilgi sisteminin bilgi fonksiyonu (f_a), veri kümesi ve niteliklere ait uzman görüşü dikkate alınarak aşağıdaki adımlarla oluşturulmuştur.

Andezit veri kümesi Çizelge 5.2’de verilmiştir. Andezit veri kümesinde 15 adet nesne (farklı andezit örneği) ile her nesne için 6 adet nitelik (ölçüm değeri) bulunmaktadır.

Çizelge 5.2. Andezit veri kümesi

NESNELER		NİTELİKLER					KARAR
Kesilen Andezit No	TS (MPa)	PO (%)	DE (gr/cm ³)	SH	CIH	QZ (%)	CR (m ² /saat)
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	D
Andezit1	3,72	5,79	1,95	33,00	4,53	2,00	3,30
Andezit2	5,05	4,97	2,10	39,93	5,06	2,00	3,29
Andezit3	9,55	3,10	2,42	65,00	8,40	3,00	1,75
Andezit4	8,86	3,59	2,39	63,62	8,19	3,00	1,80
Andezit5	3,56	6,61	1,81	49,93	5,02	3,00	2,81
Andezit6	9,83	2,52	2,44	67,00	9,78	5,00	1,58
Andezit7	6,15	4,43	2,15	43,70	7,90	2,00	2,23
Andezit8	8,82	3,53	2,40	61,38	9,76	7,00	0,33
Andezit9	9,25	3,16	2,45	63,70	9,81	5,00	0,62
Andezit10	9,20	3,35	2,41	62,48	9,80	5,50	0,64
Andezit11	8,95	3,55	2,40	60,30	9,63	4,00	0,85
Andezit12	9,10	3,60	2,37	61,20	9,76	4,20	0,74
Andezit13	3,68	6,15	1,89	42,50	4,72	3,00	1,20
Andezit14	5,53	4,70	2,18	41,20	7,93	2,80	2,10
Andezit15	6,05	4,80	2,00	43,50	6,62	3,00	1,49

Nesnelerin nitelik ve karar değerleri için uzman görüşü araştırılmış, nitelik ve karar değerleri Çizelge 5.3.’deki sınırlamalar içerisinde KÖTÜ(1), İYİ(2) ve MÜKEMMEL(3) olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 5.3. Andezit için nitelik ve karar değerleri hakkında uzman görüşü sınırlamaları

	KÖTÜ (1)	İYİ (2)	MÜKEMMEL (3)
Çekme dayanımı TS (MPa)	=<8-12	[4-8)	2-4<
Gözeneklilik (%)	=<4-6	[2-4)	0-2<
Yoğunluk (gr/cm ³)	=<2,4	[2,1-2,4)	1,8-2,1<
Shore sertliği	=<50-60	[40-50)	30-40<
Koni delici sertliği	=<8-10	[6-8)	4-6<
Kuvars içeriği (%)	=<5	[2,5-5,0)	0-2,5<
Kesim hızı CR (m ² /h)	0-1,5<	=<1,5	

Uzman görüşleri doğrultusunda niteliklerin tanım kümesi:

$V_1 = \{1,2,3\}$ (TS (MPa) için kötü, iyi, mükemmel)

$V_2 = \{1,2,3\}$ (PO (%) için kötü, iyi, mükemmel)

$V_3 = \{1,2,3\}$ (DE (gr/cm³) için kötü, iyi, mükemmel)

$V_4 = \{1,2,3\}$ (SH için kötü, iyi, mükemmel)

$V_5 = \{1,2,3\}$ (CIH için kötü, iyi, mükemmel)

$V_6 = \{1,2,3\}$ (QZ (%) için kötü, iyi, mükemmel)

olduğundan, Çizelge 5.2.'deki bilgi sistemi yeniden düzenlenmiş ve Çizelge 5.4.'de verilen bilgi fonksiyonu (f_a) elde edilmiştir. Çizelge 5.4'de mavi, sarı ve kırmızı renkler, nesnelerin aynı niteliklere sahip olduğunu göstermek amacı ile renklendirilmiştir.

Çizelge 5.4. Andezit bilgi fonksiyonu (f_a)

Kesilen Andezit No	TS(MPa)	PO(%)	DE(gr/cm³)	SH	CIH	QZ(%)
	a1	a2	a3	a4	a5	a6
X1	3	1	3	3	3	3
X2	2	1	3	3	3	3
X3	1	2	2	1	1	2
X4	1	2	2	1	1	2
X5	3	1	3	2	3	2
X6	1	2	1	1	1	1
X7	2	1	2	2	2	3
X8	1	2	1	1	1	1
X9	1	2	1	1	1	1
X10	1	2	1	1	1	1
X11	1	2	1	1	1	2
X12	1	2	2	1	1	2
X13	3	1	3	2	3	2
X14	2	1	2	2	2	2
X15	2	1	3	2	2	2

5.2.1.2. Andezit verilerinde ayırt edilemezlik ilişkisi

$B \subset A$ olmak üzere, niteliklerin herbir kümesi için ayırt edilemez ilişki $IND(B)$ aşağıdaki gibi tanımlanır. X_i ve X_j gibi iki nesne, A'daki B nitelikler kümesi tarafından ayırt edilemezdir.

Eğer $b(x_i) = b(x_j) \forall b \in B$ için

$IND(B)$ eşitlik sınıfı, nesnelerin en küçük ayırt edilemez grubunu oluşturduğu için B'deki birincil küme olarak isimlendirilir. U'nun her X_i elemanı için, $IND(B)$ ilişkisinde X_i 'nin eşitlik sınıfı $[X_i]_{IND(B)}$ biçiminde gösterilir. Birincil küme yapısı kaba küme ile sınıflandırmada ilk adımdır.

Çizelge 5.3.'de verilen bilgi fonksiyonunda bazı özdeş nesnelere vardır. Örneğin, X_3 , X_4 ve X_{12} nesnesi var olan verilerle birbirinden ayırt edilemez (sarı renkte gösterilmiştir). Kullanılan 6 niteliğe bağlı olarak, tüm özdeş nesnelere Çizelge 5.5.'deki gibi gruplandırılmıştır.

Çizelge 5.5. Veri kümesindeki özdeş nesnelere (bilgi fonksiyonunun gruplaştırılması)

Kesilen Andezit No	TS(MPa)	PO(%)	DE(gr/cm ³)	SH	CIH	QZ (%)
	a1	a2	a3	a4	a5	a6
X1	3	1	3	3	3	3
X2	2	1	3	3	3	3
X3,X4,X12	1	2	2	1	1	2
X5, X13	3	1	3	2	3	2
X6,X8,X9,X10	1	2	1	1	1	1
X7	2	1	2	2	2	3
X11	1	2	1	1	1	2
X14	2	1	2	2	2	2
X15	2	1	3	2	2	2

5.2.1.3. Andezit verileri karar tablosu

İçindeki niteliklerin durum ve karar şeklinde iki sınıfa ayrıldığı bilgi sistemine karar tablosu denilmektedir. Durum ve karar nitelikleri ile oluşturulan karar tablosu evreninin bölüntülerini ifade etmektedir. Andezit verileri ile elde edilen karar tablosu Çizelge 5.6.'da verildiği gibidir.

Çizelge 5.6.'da TS (a1), PO (a2), DE (a3), SH (a4), CIH (a5) ve QZ (a6) nitelikleri durum nitelikleri olarak değerlendirilirken CR (m²/h)(D) bir karar niteliği olarak ele alınmaktadır. Bir karar tablosunda durum nitelikleri C, karar nitelikleri D ve karar tablosu S=(U,C,D) olarak gösterilir. Karar tablosunun her bir satırı bir ilgili durumlar sağlandığında alınacak kararları belirleyen bir karar kuralını ifade eder.

U evreni, A özellikleri ve d karar verileri ile nesnelere ait sayı değerlerin ilişkileri aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$U = \{X_1, X_2, \dots, X_{15}\}$$

$$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$$

$$D = \text{Karar}$$

Özelliklere ait değer kümesi:

$$a_1 = \{1, 2, 3\}; 1 = \text{kötü}, 2 = \text{iyi}, 3 = \text{mükemmel}$$

$$a_2 = \{1, 2, 3\}; 1 = \text{kötü}, 2 = \text{iyi}, 3 = \text{mükemmel}$$

.....

$$D = \{1, 2\}; \quad 1 = \text{kötü}, 2 = \text{iyi},$$

Çizelge 5.6. Andezit verileri için karar tablosu.

Nesne	Nitelikler						Karar
Kesilen Andezit No	TS(MPa)	PO(%)	DE(gr/cm ³)	SH	CIH	QZ(%)	CR(m ² /saat)
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	D
X1	3	1	3	3	3	3	2
X2	2	1	3	3	3	3	2
X3	1	2	2	1	1	2	2
X4	1	2	2	1	1	2	2
X5	3	1	3	2	3	2	2
X6	1	2	1	1	1	1	2
X7	2	1	2	2	2	3	2
X8	1	2	1	1	1	1	1
X9	1	2	1	1	1	1	1
X10	1	2	1	1	1	1	1
X11	1	2	1	1	1	2	1
X12	1	2	2	1	1	2	1
X13	3	1	3	2	3	2	1
X14	2	1	2	2	2	2	2
X15	2	1	3	2	2	2	1

5.2.1.4. Andezit verileri için düşük ve yüksek yaklaşımlar

Veri analizinde, kaba küme yaklaşımı düşük ve yüksek yaklaşım adımda iki kavrama dayanır.

- Kümeye kesin olarak ait olan elemanlar
- Kümeye ait olma olasılığı olan elemanlar

Kesme Oranına Göre;

$$X_{\text{iyi}} = \{ X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X14 \}$$

$$X_{\text{kötü}} = \{ X8, X9, X10, X11, X12, X13, X15 \}$$

$$B_x (X_{\text{iyi}}) = \{ X1, X2, X7, X14 \}$$

$$B^x (X_{\text{iyi}}) = \{ X1, X2, X7, X14 \} \cup \{ X3, X4, X12 \} \cup \{ X5, X13 \} \cup \{ X6, X8, X9, X10 \}$$

$$= \{ X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10, X12, X13, X14 \}$$

$$\begin{aligned}
\text{BNB}(X \text{ iyi}) &= B^x(X \text{ iyi}) - B_x(X \text{ iyi}) \\
&= \{ X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10, X12, X13, X14 \} - \\
&\quad \{ X1, X2, X7, X14 \} \\
&= \{ X3, X4, X5, X6, X8, X9, X10, X13, X12 \} \\
&\neq \{0\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_x(X \text{ kötü}) &= \{ X11, X15 \} \\
B^x(X \text{ kötü}) &= \{ X6, X8, X9, X10 \} \cup \{ X11 \} \cup \{ X3, X4, X5, X12 \} \cup \{ X5, X13 \} \\
&\quad \cup \{ X15 \} \\
&= \{ X3, X4, X5, X6, X8, X9, X10, X11, X12, X13, X15 \} \\
\text{BNB}(X \text{ kötü}) &= B^x(X \text{ kötü}) - B_x(X \text{ kötü}) \\
&= \{ X3, X4, X5, X6, X8, X9, X10, X11, X12, X13, X15 \} - \{ X11, X15 \} \\
&= \{ X3, X4, X5, X6, X8, X9, X10, X12, X13 \} \\
&\neq \{0\}
\end{aligned}$$

-
- i. **BNB (x) = {0}** ise x kümesi kesin küme,
 - ii. **BNB (x) ≠ {0}** ise x kümesi kaba küme,

5.2.1.5. Andezit için Özellik bağımlılığı

Veri analizinde önemli bir hususlardan biri de nitelikler arası bağımlılıkların bulunmasıdır. Eğer D'deki bütün nitelikler C'deki nitelik değerleri ile belirleniyorsa yani D nitelikleri tamamen C niteliklerine dayanıyorsa bu $C \Rightarrow D$ ifadesi ile gösterilir.

Örneğin Çizelge 5.4'de tam bağımlılık yoktur. Diğer bir deyişle, Çizelge 5.4'deki kesilebilirlik niteliğinin X3 ve X4 gözlemi için değeri "iyi(2)" olurken X11, X12 değerleri için "kötü(1)" olduğundan ve niteliklerin değerleri aynı olduğundan buna "*Kısmi Bağımlılık*" denilmektedir.

Eğer D, C ye bir k derecesi ile bağımlı ise, $0 < k < 1$;

$$k = \gamma(C,D) = \frac{|POS_C(D)|}{|U|} \quad (5.1)$$

$$\text{Burada; } POS_C(D) = \bigcup_{x \in U/I(D)} C_*(X) \quad \text{dir.} \quad (5.2)$$

$$C_x (X \text{ iyi}) = \{ X1, X2, X5, X7, X14 \}$$

$$C_x (X \text{ kötü}) = \{ X11, X13, X15 \}$$

$$\begin{aligned} POS_C(D) &= \bigcup_{x \in U/I(D)} C_*(X) \\ &= \{ X1, X2, X5, X7, X14 \} \cup \{ X11, X13, X15 \} \\ &= \{ X1, X2, X5, X7, X11, X13, X14, X15 \} \end{aligned}$$

$$k = \gamma(C, D) = \frac{(POS_C(D))}{(U)} = 8 / 15 = 0,53$$

5.2.1.6. Nitelik indirgeme

Bir veri tablosunda bazı verilerin, veri tablosunun temel özellikleri kaybedilmeden atılması, nitelik seçimi kavramını ifade eder.

Örneğin; Çizelge 5.5.'deki niteliklerinden biri atılmış olsa yaklaşımlar ya da bağımlılıklar anlamında bir fark ifade etmeyecektir. Küçük nitelik kümeleri kullanarak aynı bağımlılık derecesini ve yaklaşım kesinliği bulunabilir. Bu fikri daha iyi ifade etmek için B, A kümesinin bir alt kümesi ve a niteliğinin B kümesine ait olduğu farz edilsin.

Eğer $I(B) = I(B - \{a\})$ ise a niteliği B kümesinde gereksizdir. Aksi halde a niteliği B kümesinde gereklidir.

B bütün nitelikleri gerekli ise bağımsızdır denir.

Eğer B bağımsız ve $I(B') = I(B)$ ise B 'nin indirgenmiş altkümesidir.

Diğer önemli bir özellik ise çekirdek (öz, kor) özelliğidir.

$$\text{Çekirdek}(B) = \bigcap \text{RED}(B) \quad (5.3)$$

şeklinde ifade edilir.

$\text{RED}(B)$ ise B'nin tüm indirgenmiş kümeleridir. Uygulamada nitelik indirgeme ayırt edilebilirlik matrisi ile yapılmıştır.

5.2.1.7. Ayırt edilebilirlik matrisi ve fonksiyonlar

İndirgemeleri ve çekirdeği kolayca hesaplamak için Skowronve Rausser [1992] tarafından ayırt edilebilirlik matrisi önerilmiştir.

$S = (U, A)$, n nesneli bir bilgi sistemi olsun. S 'nin ayırt edilebilirlik matrisi, $M(S)$ ile gösterilir. Matris simetriktir ve matrisin girdileri (c_{ij}) şu şekilde hesaplanır.

$$c_{ij} = \{a \in A : a(x_i) \neq a(x_j)\}, i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Buradaki c_{ij} girdisi x_i ile x_j nesnelelerini ayırt eden bütün niteliklerinden oluşur. $M(S)$ matrisi simetrik ve $c_{ii} = 0$ olduğundan bu matrisin sadece alt üçgen kısmının hesaplanması yeterlidir.

Her bir ayırt edilebilirlik matrisi ile aşağıda tanımlanan bir ayırt edilebilirlik fonksiyonu tanımlanabilir. Bir bilgi sistemi S 'nin ayırt edilebilirlik fonksiyonu f_S , a_1, \dots, a_m niteliklerine denk gelen m adet $a_1^*, a_2^*, a_3^*, \dots, a_m^*$ boolean değişkenin bir fonksiyonudur ve aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$f_S(a_1^*, a_2^*, \dots, a_m^*) = \forall \{ \exists c_{ij}^* \mid 1 \leq j \leq i \leq n, c_{ij}^* \neq 0 \}$$

Burada, $c_{ij}^* = \{a^* / a \in c_{ij}\}$ dir. f_S ayırt edilebilirlik fonksiyonunun temel içerenleri, A nitelik kümesindeki tüm indirgemeleri belirler.

Çizelge 5.6'da verilen andezit karar tablosunun ayırt edilebilirlik matrisi Çizelge 5.7.'de verilmiştir. Çizelge 5.7.'nin oluşturulmasında aşağıdaki işlemler yapılmıştır.

1. X_1 , X_2 ile karşılaştırması:

Nesne	Nitelikler					
Andezit No	TS(MPa)	PO(%)	DE(gr/cm ³)	SH	CIH	QZ(%)
	a1	a2	a3	a4	a5	a6
X_1	3	1	3	3	3	3
X_2	2	1	3	3	3	3

Burada sadece a_1 in farklı olduğu görülmüş, a_1 ayırt edilebilirlik matrisine yazılmıştır.

2. X_1 , X_3 ile karşılaştırması:

Nesne	Nitelikler					
Andezit No	TS(MPa)	PO(%)	DE(gr/cm ³)	SH	CIH	QZ(%)
	a1	a2	a3	a4	a5	a6
X_1	3	1	3	3	3	3
X_3	1	2	2	1	1	2

Burada niteliklerin hepsinin farklı olduğu görülmüş, a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 , a_6 ayırdilebilirlik matrisine yazılmıştır.

3. X_1 , X_5 ile karşılaştırması,

Nesne	Nitelikler					
Andezit No	TS(MPa)	PO(%)	DE(gr/cm ³)	SH	CIH	QZ(%)
	a1	a2	a3	a4	a5	a6
X_1	3	1	3	3	3	3
X_5	3	1	3	2	3	2

Burada sadece a_4 ve a_6 in farklı olduğu görülmüş, a_4 ve a_6 ayırt edilebilirlik matrisine yazılmıştır.

4. X₃, X₆ ile karşılaştırması,

Nesne	Nitelikler					
Andezit No	TS(MPa)	PO(%)	DE(gr/cm ³)	SH	CIH	QZ(%)
	a1	a2	a3	a4	a5	a6
X ₃	1	2	2	1	1	2
X ₆	1	2	1	1	1	1

Burada sadece a₃ ve a₆nın farklı olduğu görülmüş, a₃ ve a₆ anılan matrisse yazılmıştır.

Matrisin tamamı bu yöntemle doldurulmuş ve Boolean Matematiği ile sadeleştirilmiştir.

Bu tablonun ayırt edilebilirlik fonksiyonu açısından ifadesi (eşitlik 4.21'e göre) ;

$$\begin{aligned}
 F(x) &= (a_1) * (a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6) * (a_4 + a_6) * (a_1 + a_3 + a_4 + a_5) * (a_1 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6) * \\
 &\quad (a_1 + a_4 + a_5 + a_6) * (a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_6) * (a_1 + a_4 + a_5) * (a_3 + a_4 + a_5) * \\
 &\quad (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) * (a_4 + a_5 + a_6) * (a_3 + a_6) * (a_1 + a_2 + a_4 + a_5 + a_6) * (a_3 + a_5) * (a_3) * \\
 &\quad (a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5) * (a_1 + a_2 + a_4 + a_5) * (a_1 + a_3 + a_5) * (a_6) * (a_1 + a_3 + a_5 + a_6) * \\
 &\quad (a_1 + a_5 + a_6) * (a_1 + a_3 + a_5) * (a_1 + a_5) \\
 &\quad \dots\dots\dots \\
 &\quad \dots\dots\dots \text{(Boolean Matematiği ile sadeleştirme yapılmıştır.)} \\
 &\quad \dots\dots\dots \\
 &\quad \dots\dots\dots \\
 &= a_1 * a_3 * a_6
 \end{aligned}$$

Sadeleştirmeden sonra {a₁, a₃, a₆} nitelikleri indirgeme kümesi bulunur.

Kaba küme yöntemiyle yapılan işlemler sonucunda andezit bilgi sistemi için, andezit kesilebilirliğini etkileyen indirgenmiş niteliklerin;

$$TS + DE + QZ$$

olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.7. Andezit verileri için ayırt edilebilirlik matrisi

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
X1															
X2	a1														
X3	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a6													
X4	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a6													
X5	a4,a6	a1,a4,a5	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6											
X6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a6	a3,a6	a3,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6										
X7	a1,a3, a4,a5	a3,a4,a5	a1,a2, a4,a5,a6	a1,a2, a4,a5,a6	a1,a3,a5	a1,a2,a3, a4,a5,a6									
X8	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a6	a3,a5	a3,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6		a1,a2,a3, a4,a5,a6								
X9	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a6	a3,a6	a3,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6		a1,a2,a3, a4,a5,a6	-							
X10	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a6	a3,a6	a3,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6		a1,a2,a3, a4,a5,a6	-							
X11	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a6	a3	a3	a1,a2,a3, a4,a5,a6		a1,a2,a3, a4,a5,a6	a6		a6					
X12	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a6	-	-	a1,a2,a3, a4,a5,a6		a1,a2, a4,a5,a6	a3,a6		a3,a6	a3				
X13	a4,a6	a1, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5	a1,a2,a3, a4,a5	a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a3, a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5			
X14	a1,a3, a4,a5,a6	a3, a4,a5,a6	a1,a2, a4,a5	a1,a2, a4,a5	a1,a3, a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2, a4,a5	a1,a3,a5		
X15	a1, a4,a5,a6	a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5	a1,a2,a3, a4,a5	a1,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a3,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a1,a2,a3, a4,a5	a3,a5	a3	

5.2.1.8. Andezit verileri için ROSETTA Programı ile indirgenme

Andezit için Çizelge 5.6’de verilen karar tablosu verileri Excel de bir tablo oluşturularak işlenmiştir. Bu tabloya daha sonra aktarma bağlantısı kullanılarak, ROSETTA programı tarafından erişimi sağlanmıştır (Şekil 5.1).

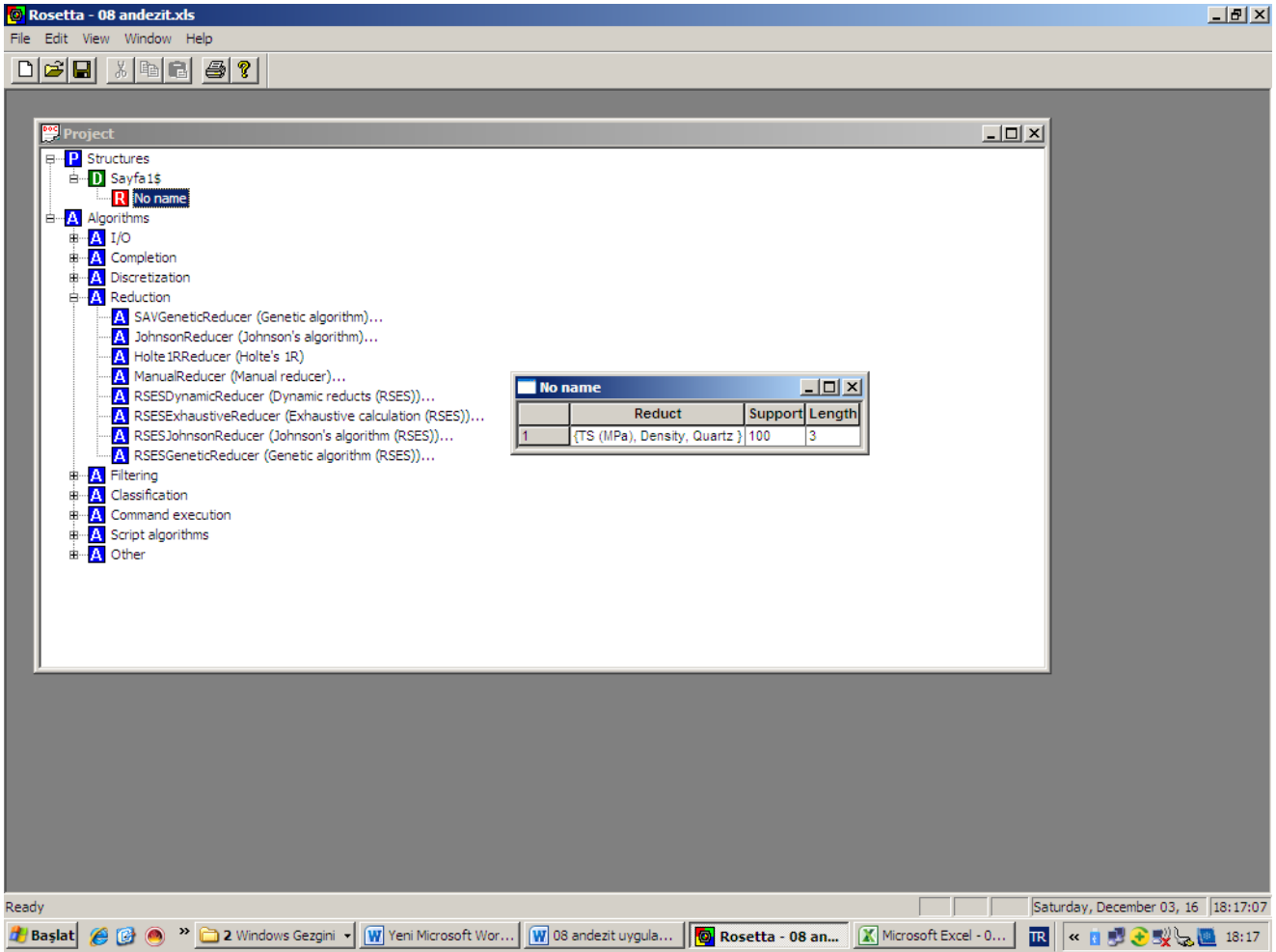
Andezit karar tablosu verileriyle ROSETTA Programının işletimi ile yapılan indirgeme işlemi sonucunda, “Andezit” verileri için kesim performansını en fazla etkileyen parametrelerin;

- Çekme dayanımı- TS (MPa)
- Yoğunluk - DE (gr/cm³)
- Kuvars içeriği – QZ (%)

olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.2).

	Cutting No	TS (MPa)	Porosity	Density	Shore Hardness	Cone Indenter Hardness	Quartz	CR
1	X1	3	1	3	3	3	3	2
2	X2	2	1	3	3	3	3	2
3	X3	1	2	2	1	1	2	2
4	X4	1	2	2	1	1	2	2
5	X5	3	1	3	2	3	2	2
6	X6	1	2	1	1	1	1	2
7	X7	2	1	2	2	2	3	2
8	X8	1	2	1	1	1	1	1
9	X9	1	2	1	1	1	1	1
10	X10	1	2	1	1	1	1	1
11	X11	1	2	1	1	1	2	1
12	X12	1	2	2	1	1	2	1
13	X13	3	1	3	2	3	2	1
14	X14	2	1	2	2	2	2	2
15	X15	2	1	3	2	2	2	1

Şekil 5.1. Andezit karar tablosu verilerinin ROSETTA Programına aktarılması



Şekil 5.2. Andezit karar tablosu verileri için ROSETTA Programı sonuç ekranı

5.2.2. Mermerlerin kesim hızını etkileyen verilerin kaba küme yaklaşımı ile indirgenmesi

5.2.2.1. Mermer verileri bilgi sistemi

Mermer veri kümesi Çizelge 5.8'de verildiği gibidir. Mermer veri kümesinde 23 adet nesne (farklı mermer örneği) ile her nesne için 6 adet nitelik (ölçüm değeri) bulunmaktadır.

Mermer bilgi sisteminde $IS=(U,A)$;

$U=\{Uşak Beyaz, Kozağaç Beyaz,.....Toros Siyah 2 \}$

$A=\{ a1,a2,a3,a3,a4,a6 \}$

a1: Çekme dayanımı (TS – MPa),

a2: Gözeneklilik (PO - %),

a3: Yoğunluk (DE - gr/cm^3),

a4: Shore sertliği (SH),

a5: Koni delici sertliği (CIH),

a6: Kuvars içeriği (QZ - %)

değerlerini göstermektedir. Andezit bilgi sisteminin karar verileri de elmas telli kesim makinası ile kesim hızıdır ($CR - m^2/saat$).

Mermer nesnelere nitelik ve karar değerleri için uzman görüşü alınmış, nitelik değerleri için KÖTÜ (1), İYİ (2) ve MÜKEMMEL (3) olmak üzere üç ve karar değerleri için ise KÖTÜ (1) ve İYİ (2) olmak üzere iki öznelik belirlenmiştir (Çizelge 5.9).

Uzman görüşleri doğrultusunda niteliklerin tanım kümesi:

$V_1 = \{1,2,3\}$ (TS (MPa) için kötü, iyi, mükemmel)

$V_2 = \{1,2,3\}$ (PO (%) için kötü, iyi, mükemmel)

$V_3 = \{1,2,3\}$ (DE (gr/cm^3) için kötü, iyi, mükemmel)

$V_4 = \{1,2,3\}$ (SH için kötü, iyi, mükemmel)

$V_5 = \{1,2,3\}$ (CIH için kötü, iyi, mükemmel)

$V_6 = \{1,2,3\}$ (QZ (%) için kötü, iyi, mükemmel)

olduğundan, Çizelge 5.8'deki bilgi sistemi yeniden düzenlenmiş ve Çizelge 5.10'da verilen karar tablosu elde edilmiştir. Çizelge 5.10'da aynı niteliklere sahip nesnelere sarı renk ile renklendirilmiştir.

Çizelge 5.8. Mermer veri kümesi

Mermer İsmi	TS(MPa)	PO(%)	DE(gr/cm ³)	SH	CIH	QZ(%)	CR(m ² /h)
Uşak Beyaz	5,25	0,16	2,70	47,00	4,64	0,10	4,55
Kozagac Beyaz	4,18	0,32	2,60	40,00	3,95	0,10	5,74
Milas Lila	4,95	0,36	2,63	46,00	4,12	0,50	5,63
Afyon Krem	6,21	0,20	2,71	46,00	4,58	0,10	5,21
Kütahya Lila 1	7,55	0,44	2,70	42,90	4,12	0,00	12,37
Kütahya Lila 2	8,25	0,34	2,69	43,05	4,12	0,00	11,31
Kütahya Menekşe	6,84	0,20	2,69	43,25	4,24	0,00	9,39
Afyon Menekşe 1	6,39	0,29	2,70	45,23	4,31	0,00	5,15
Afyon Menekşe 2	6,47	0,39	2,69	41,60	4,10	0,00	5,08
Afyon Gri 1	5,96	0,43	2,69	41,55	4,12	0,00	11,47
Afyon Gri 2	5,09	0,43	2,70	39,85	4,00	0,00	8,46
Muğla Sedef	7,73	0,83	2,74	50,45	4,22	0,00	7,08
Muğla Beyaz	3,10	0,61	2,69	32,90	3,82	0,00	9,15
Yesilova Bej	6,15	0,30	2,66	56,00	4,65	0,10	4,65
Sivrihisar Bej 1	6,95	0,21	2,71	60,00	4,99	0,10	4,84
Sivrihisar Bej 2	7,05	0,22	2,70	62,00	4,72	0,10	4,88
Sivrihisar Bej 3	6,90	0,22	2,69	58,00	4,65	0,10	4,89
Antalya Bej 1	4,65	0,53	2,68	58,70	4,70	1,30	5,26
Antalya Bej 2	4,04	0,89	2,68	58,15	5,36	3,40	5,53
Antalya Bej 3	4,03	0,59	2,68	58,00	4,95	2,00	4,85
Antalya Bej 4	5,01	0,60	2,69	59,48	5,25	3,70	5,40
Toros Siyah 1	8,50	0,35	2,69	65,30	6,25	27,40	3,90
Toros Siyah 2	7,68	0,32	2,69	64,75	6,12	23,00	3,67

Çizelge 5.9. Mermerler için nitelik ve karar değerleri hakkında uzman görüşü sınırlamaları

	KÖTÜ (1)	İYİ (2)	MÜKEMMEL (3)
Çekme dayanımı TS (MPa)	=<7-9	[5-7]	=<3-5
Gözeneklilik (%)	=<0,6-0,9	[0,3-0,6]	0-0,3
Yoğunluk (gr/cm ³)	=<2,71-2,75	[2,69-2,7)	=<2,6-2,68
Shore sertliği	=<46-51	[41-45,99]	=<30-40
Koni delici sertliği	=<4,3-5	[4,1-4,3)	=<3-4
Kuvars içeriği (%)	<0,1-0,5	0,1	0
Kesim hızı CR (m ² /h)	3-7<	=<7-13	

Çizelge 5.10. Mermerler için karar tablosu

Mermer İsmi	TS(MPa)	PO(%)	DE(gr/cm ³)	SH	CIH	QZ(%)	CR(m ² /h)
Usak Beyaz	2,00	3,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00
Kozagac Beyaz	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00	1,00
Milas Lila	3,00	2,00	3,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Afyon Krem	2,00	3,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00
Kütahya Lila 1	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00
Kütahya Lila 2	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00
Kütahya Menekşe	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00
Afyon Menekşe 1	2,00	3,00	2,00	2,00	1,00	3,00	1,00
Afyon Menekşe 2	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	1,00
Afyon Gri 1	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00
Afyon Gri 2	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Mugla Sedef	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	3,00	2,00
Mugla Beyaz	3,00	1,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Yesilova Bej	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Sivrihisar Bej 1	2,00	3,00	1,00	2,00	2,00	3,00	2,00
Sivrihisar Bej 2	1,00	3,00	1,00	1,00	2,00	3,00	1,00
Sivrihisar Bej 3	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	1,00
Antalya Bej 1	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00
Antalya Bej 2	3,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00
Antalya Bej 3	3,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Antalya Bej 4	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00
Toros Siyah 1	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Toros Siyah 2	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00

5.2.2.2. Mermer verilerinin ROSETTA Programının işletimi ile indirgenmesi

Mermerler için Çizelge 5.9'da verilen karar tablosu verileri Excel de bir tablo oluşturularak işlenmiş ve ROSETTA programı tarafından erişimi sağlanmıştır (Şekil 5.4.). Mermerler için ROSETTA programının işletimi sonucunda Şekil 5.5.'deki çıktı elde edilmiştir.

The screenshot shows the Rosetta - GENEL5.xls software interface. The main window displays a table with 23 rows and 8 columns. The columns are: Cutting Ilo, TS (MPa), Porosity (%), Density (gr/cm³), Shore Hardness, Cone Indenter Hardness, Quartz (%), and CR (m²/h). The data is as follows:

Cutting Ilo	TS (MPa)	Porosity (%)	Density (gr/cm ³)	Shore Hardness	Cone Indenter Hardness	Quartz (%)	CR (m ² /h)
1	Usak White	2	3	2	1	1	2
2	Kozagac Whit	3	2	3	3	3	2
3	Milas Lilac	3	2	3	1	2	1
4	Afyon Cream	2	3	1	1	1	2
5	Kutahya Lilac	1	2	2	2	2	3
6	Kutahya Lilac	1	2	2	2	2	3
7	Kutahya Violet	2	3	2	2	2	3
8	Afyon Violet	2	3	2	2	1	3
9	Afyon Violet	2	2	2	2	2	3
10	Afyon Gray 1	2	2	2	2	2	3
11	Afyon Gray 2	2	2	2	3	3	3
12	Mugla Hacre	1	1	1	1	2	3
13	Mugla White	3	1	2	3	3	3
14	Yasalova Beig	2	2	3	3	3	3
15	Sivrihisar bei	2	3	2	2	2	3
16	Sivrihisar bei	1	3	2	1	2	3
17	Sivrihisar bei	2	3	2	2	3	3
18	Antalya Beige	3	2	2	2	2	2
19	Antalya Beige	3	1	2	2	2	2
20	Antalya Beige	3	1	2	2	2	2
21	Antalya Beige	2	1	2	2	2	2
22	Toros Black 1	1	2	2	1	1	1
23	Toros Black 2	1	2	2	1	1	1

Şekil 5.3. Mermer karar tablosu verilerinin ROSETTA Programına aktarılması

The screenshot shows the Rosetta - GENEL5.xls software interface. A dialog box titled 'No name' is open, showing a table with 2 columns: 'Reduct' and 'Support Length'. The data is as follows:

Reduct	Support Length
{TS (MPa), Porosity (%), Cone Indenter Hardness}	100 3

Below the dialog box, a data table is visible, showing the same data as in Figure 5.3:

Cutting Ilo	TS (MPa)	Porosity (%)	Density (gr/cm ³)	Shore Hardness	Cone Indenter Hardness	Quartz (%)	CR (m ² /h)
20	Antalya beige	3	1	2	2	2	2
21	Antalya Beige	2	1	2	2	2	2
22	Toros Black 1	1	2	2	1	1	1
23	Toros Black 2	1	2	2	1	1	1

Şekil 5.4. Mermer karar tablosu verileri için ROSETTA Programı sonuç ekranı

Yapılan indirgeme işlemi sonucunda, “Mermer” verileri için kesim performansını en fazla etkileyen parametrelerin;

- **Çekme dayanımı - TS (MPa)**
- **Gözeneklilik - PO (%)**
- **Koni delici sertliği - CIH**

olduğu belirlenmiştir.



6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Doğal taşların kesilebilirlik performansını tahmin etmede çok sık kullanılan parametrelerin (Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlık, Gözeneklilik, Shore Sertliği, Çekme Dayanımı, Koni Delici Sertliği ve Kuvars İçeriği) indirgenmesinde kaba küme yöntemi kullanılmış olup,

- Magmatik kökenli kayaç olan “Andezitlerin” kesilebilirlik performansında Çekme dayanımının (TS), Yoğunluk (YO) ve Kuvars içeriğinin (QZ),
- Mermerlerin (Dolamitik kireç taşlarının sıcaklık ve yüksek basınç altında yeniden kristalleşmesiyle oluşan “Hakiki Mermerlerin” ve kalkerlerin sıcaklık ve yüksek basınç altında yeniden kristalleşmesiyle oluşan “Kireç Taşlarının”) kesilebilirlik performansında Çekme dayanımının (TS), Gözeneklilik (PO) ve Koni delici sertliğinin (CIH),

daha ağırlıklı olarak etkili oldukları belirlenmiştir.

Doğal taşların kesilebilirlik performansını tahmin etmede kullanılan 6 parametre ile kaba küme yöntemiyle ile indirgenmiş parametrelerin etkinliklerini araştırmak üzere çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Çoklu regresyon analizlerinde bağımlı değişken (Y) kesilebilirlik performansı (CR) ve bağımsız değişkenler olarak ise fiziko-mekanik parametreler (X_i) kullanılmış olup, regresyon denklemi;

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.1)$$

şeklinde oluşturulmuştur. Çoklu regresyon analizinde MİNİTAB paket programı kullanılmıştır.

6.1. Andezit Verilerinin İndirgenmemiş ve İndirgenmiş Parametreleri İle Kesilebilirlik Tahmini Modellemesi

6.1.1. Andezitlerin indirgenmemiş parametreleri için regresyon analizi

Andezit numunelerine ait indirgenmemiş 6 parametre bağımsız değişkenler ve kesilebilirlik performansı bağımlı değişken olarak Çizelge 6.1.'deki gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 6.1. Andezit verilerinin indirgenmemiş parametreleri için çoklu regresyon değişkenleri

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken
Y: Kesilebilirlik Performansı -CR (m ² /h)	X1: Çekme Dayanımı-TS (MPa) X2: Gözeneklilik Oranı-PO (%) X3: Yoğunluk-DE (gr/cm ³) X4: Shore Sertliği-SH X5: Koni Delici Sertliği-CIH X6: Kuvars İçeriği-QZ (%)

Minitab istatistik paket programı kullanılarak elde edilen çoklu regresyon denklemi aşağıda verildiği gibidir.

$$CR(m^2/h) = 9,77 - 0,889 TS - 1,16 PO + 1,64 DE + 0,0501 SH - 0,250 CIH - 0,327 QZ \quad (6.2)$$

$$R^2=0,804, P=0,016 \text{ ve } n=15$$

Regresyon denklemi için belirlilik katsayısı $R^2=0,804$ hesaplandığından, elde edilen regresyon denklemi gözlenen verilerin %80,4'ünü açıklayabilmektedir. Ayrıca, yapılan varyans analizine göre $P=0,016 < 0,05$ olduğundan, elde edilen regresyon denkleminin anlamlı olduğu söylenebilir.

6.1.2. Andezit verilerinin indirgenmiş parametreleri için regresyon analizi

Andezit numunelerine ait parametrelerden kaba küme yöntemiyle indirgenmiş 3 parametre bağımsız değişkenler ve kesilebilirlik performansı bağımlı değişken olarak Çizelge 6.2.'deki gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 6.2. Andezit verilerinin indirgenmiş parametreleri için çoklu regresyon değişkenleri

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken
Y: CR (m ² /h)	X1: Çekme Dayanımı-TS (MPa) X3: Yoğunluk-DE (gr/cm ³) X6: Kuvars İçeriği-QZ (%)

Minitab istatistik paket programı kullanılarak elde edilen çoklu regresyon denklemi aşağıda verildiği gibidir.

$$CR(m^2/h) = 0,82 - 0,293 TS + 1,98 DE - 0,406 QZ \quad (6.3)$$

$$R^2=0,713, P=0,003 \text{ ve } n=15$$

Regresyon denklemi için belirlilik katsayısı $R^2=0,713$ hesaplandığından, elde edilen regresyon denklemi gözlenen verilerin %71,3'ünü açıklayabilmektedir. Ayrıca, yapılan varyans analizine göre $P=0,003 < 0,05$ olduğundan, elde edilen regresyon denkleminin anlamlı olduğu söylenebilir.

6.2. Mermer Verilerinin İndirgenmemiş ve İndirgenmiş Parametreleri İle Kesilebilirlik Tahmini Modellemesi

6.2.1. Mermerlerin indirgenmemiş parametreleri için regresyon analizi

Mermer numunelerine ait indirgenmemiş 6 parametre bağımsız değişkenler ve kesilebilirlik performansı bağımlı değişken olarak Çizelge 6.3.'deki gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 6.3. Mermer verilerinin indirgenmemiş parametreleri için çoklu regresyon değişkenleri

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken
Y: Kesilebilirlik Performansı -CR (m ² /h)	X1: Çekme Dayanımı-TS (MPa) X2: Gözeneklilik Oranı-PO (%) X3: Yoğunluk-DE (gr/cm ³) X4: Shore Sertliği-SH X5: Koni Delici Sertliği-CIH X6: Kuvars İçeriği-QZ (%)

Minitab istatistik paket programı kullanılarak elde edilen çoklu regresyon denklemi aşağıda verildiği gibidir.

$$CR = 18,7 + 0,890 TS + 4,67 PO + 0,51 CIH - 4,0 DE - 0,216 SH - 0,078 QZ \quad (6.4)$$

$$R^2=0,61, P=0,01 \text{ ve } n=23$$

Regresyon denklemi için belirlilik katsayısı $R^2=0,61$ hesaplandığından, elde edilen regresyon denklemi gözlenen verilerin %61'ini açıklayabilmektedir. Yapılan varyans analizine göre $P=0,01 < 0,05$ olduğundan, elde edilen regresyon denkleminin anlamlı olduğu söylenebilir.

6.2.2. Mermerlerin indirgenmiş parametreleri için regresyon analizi

Mermer numunelerine ait parametrelerden kaba küme yöntemiyle indirgenmemiş 3 parametre bağımsız değişkenler ve kesilebilirlik performansı bağımlı değişken olarak Çizelge 6.4.'deki gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 6.4. Mermer verilerinin indirgenmiş parametreleri için çoklu regresyon değişkenleri

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken
Y: CR (m ² /h)	X1: Çekme Dayanımı-TS (MPa) X2: Gözeneklilik Oranı-PO (%) X5: Koni Delici Sertliği-CIH

Minitab istatistik paket programı kullanılarak elde edilen çoklu regresyon denklemi aşağıda verildiği gibidir.

$$CR = 13,6 + 0,693 TS + 4,18 PO - 2,82 CIH \quad (6.5)$$

$$R^2=0,507, P=0,003 \text{ ve } n=23$$

Regresyon denklemi için belirlilik katsayısı $R^2=0,507$ hesaplandığından, elde edilen regresyon denklemi gözlenen verilerin %50,7'sini açıklayabilmektedir. Yapılan varyans analizine göre $P=0,003 < 0,05$ olduğundan, elde edilen regresyon denkleminin anlamlı olduğu söylenebilir.

6.3. Kaba Küme Yöntemiyle İndirgeme İşleminin Etkinliği

Bu bölümde, Doğal Taşların kesilebilirliğinde etkili olabilecek bağımsız değişkenlerin indirgenmesinde kullanımı önerilen Kaba Küme Yönteminin etkinliğini

araştırmak için kaba küme indirgeme sonuçları ile çoklu regresyonda bağımsız değişken seçiminde kullanılan Adım Adım Regresyon Analizi sonuçları karşılaştırılmaktadır.

Adım Adım Regresyon yöntemi, modelde bulunması anlamlı olan bağımsız değişkenleri, her adımda yeni bir değişken seçerek ve/veya daha önce seçilmiş bir değişkeni modelden atarak belirlemektedir. Yöntem uygulandığında, bağımlı değişkeni en çok etkileyen (modelde bulunması anlamlı) ve aynı zamanda aralarında kuvvetli ilişkiler bulunmayan bağımsız değişkenler belirlenmiş olmaktadır. Bu yüzden, modelde bulunması düşünülen tüm bağımsız değişkenler ile kurulan modelde çoklu doğrusal bağlantı saptanmışsa, bu duruma neden olan bağımsız değişken(ler)in elenmesi için kullanılacak bir yöntem olmaktadır (Mardikyan, 2005). Adım Adım Regresyon yönteminde ileriye doğru veya geriye doğru en iyileme ile bağımsız değişken seçimi yapılır. İleri doğru seçim yönteminde, ileriye doğru her adımda belirlilik eşdeğeri katsayısını (R^2) en çok arttıran bağımsız değişken modele dahil olmaktadır. Geriye doğru seçim yönteminde ise seçime tüm bağımsız değişkenlerle başlanarak her adımda en az anlamlı olmayan değişken kaldırılır.

Adım Adım Regresyon Yöntemiyle bağımsız değişken seçiminde, aykırı değerler içeren bağımsız değişkenlerin seçim üzerinde büyük etkileri olmaktadır. Ayrıca, birden fazla bağımsız değişkenli regresyon korelasyon analizlerinde oluşturulan modellerin anlamlı sonuçlar vermesi için;

- Tahmin hatalarının arasında bağımlılık yani otokorelasyon olmaması,
 - Tahmin hatalarının varyanslarının eşit olması yani eşit varyanslılık şartının sağlanmış olması,
 - Tahmin hatalarının dağılımının normal dağılıma uygun olması,
 - Bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı olmaması,
- gerekmektedir (Sevinç, 2013).

6.3.1. Andezit Verileri İçin Kaba Küme İndirgeme ile Adım Adım Regresyonla Seçim Sonuçlarının Karşılaştırılması

Adım Adım Regresyon Analizi ile andezit için bağımlı değişken kesilebilirlik hızını ($CR-m^2/h$) etkileyen bağımsız değişkenler (TS, PO, DE, SH, CIH ve QZ) arasından seçim yapıldığında Çizelge 6.5.'deki sonuç elde edilmiştir:

Çizelge 6.5. Andezit indirgenmemiş verileri için adım adım regresyon analizi sonucu

	Adımlar	
	1.Adım	2.Adım
Sabit	3,586	4,280
QZ	-0,53	-0,35
T-Value	-4,99	-2,41
P-Value	0,000	0,033
CIH		-0,17
T-Value		-1,69
P-Value		0,118
Standart Hata (S)	0,582	0,545
R-Sq	65,73	72,29
R-Sq(adj)	63,10	67,67
Mallows C-p	3,0	2,3

Adım Adım Regresyon Analizi sonucuna göre, andezit için kesilebilirlik hızını birinci adımda QZ ve ikinci adımda CIH etkilemektedir.

Adım Adım Regresyon Analizi sonucunda andezit için seçilen QZ ve CIH verilerinin bağımsız ve kesilebilirlik hızının (CR) bağımlı değişken olduğu durum ele alınarak çok regresyon analiz yapıldığında, aşağıdaki regresyon denklemi elde edilmiştir.

$$CR(m^2/h) = 4,28 - 0,353 QZ - 0,173 CIH \quad (6.6)$$

$$R^2=0,723, P=0,000 \text{ ve } n=15$$

Adım Adım Regresyon yöntemiyle seçimde, modele sadece QZ ve CIH'nin neden girdikleri araştırıldığında, bu değişkenlerin aykırı (büyük veya küçük) değerler içermeleri

(değişimlerin eksponansiyel veya logaritmik olmaları) ve 13 nolu gözlem (Andezit13) QZ değerinin aykırı değer içermesinin etkili olduğu belirlenmiştir.

Kaba Küme İndirgeme Yöntemiyle çözümde (eşitlik 6.3) ise bağımsız değişkenler TS, DE ve QZ'nin andezit kesilebilirlik hızını ($CR-m^2/h$) anlamlı bir şekilde etkilediği belirlenmiştir.

Kaba Küme Yöntemiyle indirgemedede, bağımsız değişkenlerin aykırı değerler içermesinin etkisi olmadığından, tüm bağımsız değişkenler indirgeme işlemine aynı ağırlıkla dahil olduğundan, Adım Adım Regresyon modelinden farklı olarak CIH yerine TS ve DE bağımsız değişkenleri modele girmiştir.

6.3.2. Mermer verileri için kaba küme indirgeme ile adım adım regresyonla seçim sonuçlarının karşılaştırılması

Adım Adım Regresyon Analizi ile mermerler için bağımlı değişken kesilebilirlik hızını ($CR-m^2/h$) etkileyen bağımsız değişkenler (TS, PO, DE, SH, CIH ve QZ) arasından seçim yapıldığında Çizelge 6.6.'daki sonuç elde edilmiştir.

Çizelge 6.6. Mermer indirgenmemiş verileri için adım adım regresyon analizi sonucu

	Adımlar		
	1.Adım	2.Adım	3.Adım
Sabit	15,45	13,48	10,98
SH	-0,178	-0,201	-0,214
T-Value	-3,93	-4,48	-5,09
P-Value	0,001	0,000	0,000
TS		0,52	0,75
T-Value		1,82	2,62
P-Value		0,084	0,017
PO			4,3
T-Value			2,08
P-Value			0,051
Standart Hata (S)	2,00	1,89	1,75
R-Sq	42,34	50,51	59,68
R-Sq(adj)	39,60	45,56	53,32
Mallows C-p	4,7	3,3	1,5

Adım Adım Regresyon Analizi sonucuna göre, mermerler için kesilebilirlik hızını birinci adımda SH, ikinci adımda TS ve üçüncü adımda PO etkilemektedir.

Adım Adım Regresyon Analizi sonucunda mermerler için seçilen SH, TS ve PO verilerinin bağımsız ve kesilebilirlik hızının (CR) bağımlı değişken olduğu durum ele alınarak çok regresyon analiz yapıldığında, aşağıdaki regresyon denklemi elde edilmiştir.

$$CR(m^2/h) = 11,0 - 0,214 SH + 0,752 TS + 4,32 PO \quad (6.7)$$

$$R^2=0,597, P=0,001 \text{ ve } n=23$$

Adım Adım Regresyon yöntemiyle seçimde, her üç adımda da modele sadece SH'nin neden girdiği araştırıldığında, bu bağımsız değişken için 9 nolu gözlem (Afyon Violet 2 numunesi) SH değerinin aykırı değerler içermesinin etkili olduğu belirlenmiştir.

Kaba Küme İndirgeme Yöntemiyle çözümde (eşitlik 6.5) ise bağımsız değişken değişkenler TS, PO ve CIH'nin mermerlerin kesilebilirlik hızını (CR-m²/h) anlamlı bir şekilde etkilediği belirlenmiştir.

Kaba Küme Yöntemiyle indirgemedede, bağımsız değişkenlerin aykırı değerler içermesinin etkisi olmadığından ve tüm bağımsız değişkenler indirgeme işlemine aynı ağırlıkla dahil olduğundan, Adım Adım Regresyon modelinden farklı olarak modele SH yerine CIH bağımsız değişkeni modele girmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elmas telli kesme yönteminde doğal taşların kesim performansına, sabit ve değişken faktörler önemli derecede etki etmektedir. Kesilen kayacın fiziko-mekanik özellikleri sabit faktörler ve çalışma koşulları ile kesme makinelerinin özellikleri ise değişken faktörlerdir. Yüksek kesim performansı elde ederek maliyetleri azaltabilmek için özellikle sabit faktörler olan kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve değişken faktörlerin sabit faktörlere göre belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Elmas telli kesme yönteminde, elmas boncuklar kesim performansını ve dolayısıyla kesim maliyetini etkileyen en önemli değişken faktördür. Bu nedenle, elmas telli kesim makinelerinde kesimi yapılacak kayaçların fiziko-mekanik özelliklerine uygun olarak elmas boncuk seçimi yapılması gerekmektedir. Doğal taşların fiziko-mekanik özelliklerinin yanlış değerlendirilmesi halinde, elmas boncuklarda meydana gelen aşınma miktarının artması ve kesim hızının azalması durumları meydana gelecek ve metrekaşe başına kesim alanı olarak tanımlanan verimlilik azalacaktır. Bunun sonucunda da, üretilen taşın metrekaresi başına maliyet artacaktır.

Doğal taş üreticilerinin uygun elmas boncuk seçimi yapabilmeleri için kesecekleri kayacın fiziko-mekanik özelliklerini, uygulayacakları kesim koşullarını ve bunlarla kullanılacak elmas boncuk parametreleri arasındaki ilişkileri belirlemeleri gerekmektedir. Kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin, elmas telli kesme yönteminde kesme performans parametreleri olan elmas boncuklarda meydana gelen aşınmalar ve kesim hızı üzerinde etkileri üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Özellikle araştırmalarda, kayaçların fiziko-mekanik özellikleri ile kesim performansı (kesim hızı) arasında istatistiksel modellemeler yapılarak, kesim performansının tahminine yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte, Özçelik (1999) tarafından da araştırıldığı gibi, doğal taşların kesilebilirlik performansına etki edebilecek önemli 6 adet fiziko-mekanik özellik bu çalışmada kullanılmıştır. Doğal taş işletmecilerinin her kesim öncesinde kesilecek malzemenin tüm bu özellikleri belirleyecek deneyler yaptırılmaları ve sonucuna göre çalışma koşullarını ve makine özelliklerini değiştirmeleri büyük bir zaman kaybına ve maliyetlerin artmasına neden olabilecektir. Bu nedenle, doğal taşların kesim performansında en etkili fiziko-mekanik özelliklerin seçimi

ve bu seçilen özelliklerle istatistiksel modelleme yaparak kesim performansının tahmin edilmesi gerekmektedir.

Bu nedenle, doğal taşların kesilebilirliğini en fazla ve anlamlı bir şekilde etkileyen fiziko-mekanik özelliklerin belirlenmesi için uygun bir indirgeme işleminin yapılması gerekmektedir. Kesilebilirlik performansının (kesme hızının) bağımlı ve fiziko-mekanik özelliklerin bağımsız değişken olarak ele alınıp adım adım regresyon yöntemlerini uygulayarak, indirgeme işlemini yapmak mümkündür. Ancak, adım adım regresyon yöntemiyle indirgemedede, veri setinde çok büyük veya çok küçük ile hatalı aykırı verilerin olması halinde, aslında tahmin modeline girmemesi gereken bir değişkenin modele dahil edilmesi gibi bir sonuçla da karşılaşılabilir. Kaba küme yöntemi ise, çok sayıda niteliğin (fiziko-mekanik özelliğin) olduğu durumlarda, verilerin aykırı değerlerini göz önüne almadan orijinal veri kümesini daha az nitelikle ifade edebilecek nitelik indirgeme işlemini gerçekleştirebilmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışmayla elde edilen sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir.

- Veri tabanlarının istenmeyen, ilgisiz veya amaca yönelik olmayan verilerden oluştuğu durumlarda, bu verilerle kaba küme yöntemleri dışındaki yöntemlerle yapılacak modelleme çalışmalarında, tahminlerin güvenilirliği de azalabilmektedir. Veri kalitesini arttıracak ve sadece ilgili verilerin modele girmesini sağlamak için nitelik indirgeme algoritmalarını kullanan kaba küme yöntemi, diğer istatistiksel yöntemlerin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmada oldukça etkin bir yöntemdir.
- Bu çalışmada, andezit ve mermer doğal taş örnekleri için yapılmış çekme dayanımı (TS-MPa), gözeneklilik (PO-%), yoğunluk (DE-gr/cm³), Shore sertliği (SH), koni delici sertliği (CIH) ve kuvars içeriği (QZ-%) fiziko-mekanik deney verilerinin (nitelikleri) hangisinin, elmas telli makine ile kesme işleminde kesme performansı (CR-m²/saat) üzerinde etkili olduğunu belirlemek için kaba küme indirgeme yöntemi kullanılmıştır. Kaba küme yöntemiyle yapılan nitelik indirgeme çalışması sonucunda;

- Andezit kesim performansını çekme dayanımı (TS – MPa), yoğunluk (DE – gr/cm³) ve kuvars içeriğinin (QZ - %) etkilediği ve kesim performansı (CR – m²/saat) tahmininde;

$$CR(m^2/h) = 0,82 - 0,293 TS + 1,98 DE - 0,406 QZ$$

eşitliğinin %71,3 belirlilikle kullanılacağı ve anlamlı (P=0,003 < 0,5) tahminler sağladığı,

- Mermer kesim performansını çekme dayanımı (TS – MPa), gözeneklilik (PO - %) ve koni delici sertliğinin (CIH) etkilediği ve kesim performansı (CR – m²/saat) tahmininde;

$$CR(m^2/h) = 13,6 + 0,693 TS + 4,18 PO - 2,82 CIH$$

eşitliğinin %50,7 belirlilikle kullanılacağı ve anlamlı (P=0,003 < 0,5) tahminler sağladığı belirlenmiştir.

- Kaba küme yöntemiyle yapılan indirgeme işleminin etkinliği, adım adım regresyon analizi sonuçlarıyla karşılaştırılmış olup, kaba küme indirgeme yönteminin veri kümesindeki aşırı değerlerden etkilenmeden indirgeme işlemini gerçekleştirdiği, bu nedenle elde edilen tahmin modellerinin güvenilir bir şekilde kullanılacağı belirlenmiştir.

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

- Doğal taşların elmas telli kesim makinalarıyla kesim performansı tahmininde kullanılacak en etkili fiziko-mekanik özelliklerin belirlenmesi çalışmasının,

daha fazla örnek ve deney verisi ile gerçekleştirilmesi halinde, daha gerçekçi bir genellemeye gidilebileceği düşünülmektedir.

- Andezit ve mermerler için ayrı ayrı yapılan kaba küme indirgeme işlemi de göstermektedir ki, kayacın oluşum kökenine bağlı olarak kesim performansını etkileyen fiziko-mekanik özellikler farklılaşabilmektedir. Bu nedenle gelecekte yapılacak modelleme çalışmalarında, doğal taşların magmatik, metamorfik ve sedimanter kökenliler olarak gruplandırılmasının daha anlamlı sonuçlar üretmeye katkısı olacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Adoko A.C. ve Jiao Y.Y. (2014), Predicting Tunnel Convergence in Weak Rocks: Multivariate Adaptive Regression Spline and Rough Set Theory Approaches, ISRM International Symposium - 8th Asian Rock Mechanics Symposium, 14-16 October, Sapporo, Japan, ISRM-ARMS8-s.143
- Ağırğün B., 2009, “Bulanık Kaba Küme Yöntemi İle Nitelik İndirgemedede Yeni Bir Algoritma” Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği, Doktora Tezi, s.136
- Almasi S.N., Bagherpour R. , Mikaeil R. ve Khademian A., 2015, Influence of Cutting Wire Tension On Travertine Cutting Rate, 24th International Mining Congress And Exhibition Of Turkey-IMCET'15 Antalya, Turkey, April 14-17, pp.1097-1102
- Ataei M., Mikaeil R., Sereshki F. ve Ghaysari N., 2012, Predicting The Production Rate Of Diamond Wire Saw Using Statistical Analysis ,Arab J Geosci (2012) 5:, pp.1289-1295, DOI 10.1007/S12517-010-0278-Z
- Avşar, G., 2007, “Kaba Kümeler Yardımıyla Önemsiz ve Kayıp Türdeki Eksik Verilerden Bulanık Kuralların Çıkarılması”, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.75
- Aydoğan E.K, 2008, “Veri Madenciliğinde Sınıflandırma Problemleri İçin Evrimsel Algoritma Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım: Rough-Mep Algoritması” Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği, Doktora Tezi, s.134
- Bagherpour R., Khademian A., Almasi S.N. ve Aalaei M.,2014, Optimum Cutting Wire Assembly In Dimension Stone Quarries, Journal of Mining and Metallurgy, 50 A (1) (2014), pp.1-8
- Beynon M.J. ve Peel M., 2001, Variable Precision Rough Set Theory And Data Discretisation: An Application To Corporate Failure Prediction Michael, Omega 29 (2001), www.elsevier.com/locate/dsw
- Cai O., Careddu N. 2007, The influence of operating parameters on the total productivity of diamond wire in cutting granite, Article in Industrial Diamond Review, s.5, <https://www.researchgate.net/publication/265732894>
- Cardu M., Giraudi A., Murthy V., Choudhary B.S. ve Shukla A.K., 2014, Rock Characterization And Wire Performances For Dimension Stone Cutting By Diamond Wire Saw Yer Altı Kaynakları Dergisi, Yıl:3, Sayı:5, s.25-37
- Careddu N., Perra E.S. ve Masala O, 2017, Diamond Wire Sawing İn Ornamental Basalt Quarries: Technical, Economic And Environmental Considerations, Bull Eng Geol Environ, p.12 , DOI 10.1007/S10064-017-1112-6

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chang S. ve Wan S. (2015), Discrete rough set analysis of two different soil-behavior-induced landslides in National Shei-Pa Park, Taiwan, *Geoscience Frontiers*, , pp 807-816, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2013.12.010>
- Çekik R. ve Telçeken S., 2014, Ekg Sinyallerinin Kaba Kümeler Teorisi Kullanılarak Sınıflandırılması, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt: 15 Sayı: 2 , s.125-135
- Demirdağ S. ,2001, “Mermer İşletmeciliğinde Elmas Telle Kesim Performansının Araştırılması” Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, s.61
- Demirdağ S.ve Gündüz L., 2001, Blok İşletmeciliğinde Elmas Tel Ve Boncuk Performans Analizi, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem '2001) Bildiriler Kitabı*, s.219-233
- DPT, 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri II, (Mermer-Granit-Yapı Taşları-Arduvaz (Sleyt)) Çalışma Grubu Raporu, s.56
- Erdem M., 1993, “İşcehisar Bölgesi Örenaltı Mermer Ocağında Elmas Tel Kesme Makinası Performans Analizleri” Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, s.47
- Erkanol D., Aydınadağ A., 2013, Türkiye Geneli Doğal Taş Potansiyel Alanlarının Belirlenmesi Projesi, *MTA Doğal Kaynaklar Ve Ekonomi Bülteni*, Sayı:16, s.147-156
- Ersoy M. ve Yüksel Z., 2011, İşcehisar Aktaşören Mevkii Mermer Ocağında Kesme Düzlemi Süreksizliklerinin Elmas Tel Kesme Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi, *Madencilik Dergisi*, Cilt 50, Sayı 2, s.3-18
- Ghaysari N., Ataei M, Sereshki F. Ve Mikaiel R., 2012, Prediction Of Performance Of Diamond Wire Saw With Respect To Texture Characteristics Of Rock, *Arch. Min. Sci.*, Vol. 57, No 4, pp.887-900, DOI 10.2478/v10267-012-0058-6
- Goh C.,Law R. ve Mok H.M.K., 2008, Analyzing and Forecasting Tourism Demand: A Rough Sets Approach, *Journal of Travel Research*, Vol. 46, p 327–338, DOI: 10.1177/0047287506304047
- Guo J.Y. ve Chankong V., 2002, Rough Set-Based Approach To Rule Generation And Rule Induction, *International Journal of General Systems*, 2002 Vol. 31 (6), pp. 601-617
- Hanecioğlu B., 2006 “Pilot Model Elmas Telli Kesme Makinesinde Bazı Makine Parametrelerinin İncelenmesi” Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, s.69

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Huang C., Tian S., Li Q. ve Huang J. ,2018, Evaluation of Rock Quality of Tunnel Wall Rock Based on Rough Set Theory and Unascertained Measurement Theory. *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2018, Article ID 3571028, 10 pages, <https://doi.org/10.1155/2018/3571028>
- Jaaman, S. H., Shamsuddin, S. M., Yusob, B. ve Ismail, B. 2009. "A Predictive Model Construction Applying Rough Set Methodology for Malaysian Stock Market Returns," *International Research Journal of Finance and Economics*. 30, pp.211-218.
- Jain S.C. ve 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* Vol. 23, No. 2, pp.79-91
- Kanbir E.S., 2007, "Tek Boncuk Test Cihazında Kesme De Ekte Etken Faktörlerin İncelenmesi", yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.84
- Kanbir E.S., 2013, "Elmas Tel Kesme Yönteminde Elmas Veriminin Kesme Performansına Etkisinin İncelenmesi Ve Kesilebilirlik Abaklarının Oluşturulması", Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Doktora Tezi, s.93
- Kanbir E.S., Özçelik Y. ve Yılmazkaya E., 2016, Development of Cuttability Abacuses for Real Marble Rock Types in Diamond Wire Cutting Method, 6th International Conference on Computer Application in the Minerals Industries.
- Kekeç N., 2001, "Tel Kesme Makinelerinde Elmaslı Tellerde Kesme Performansının Belirlenmesi Üzerine Bir İnceleme" Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.108
- Kulaksız S., 2005, Doğal Taş (Mermer) Yataklarının Jeolojisi-Petrografisi ve Aranması, Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği Ve İşleme Teknolojileri El Kitabı, S. Kulaksız (Derl.), TMMOB Maden Mühendisleri Odası, s.7-152 ve s.285-423
- Kulaksız S., Özçelik Y., 2005, Doğal Taş (Mermer) Blok Kesim/Üretim Teknolojileri, Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği Ve İşleme Teknolojileri El Kitabı, S. Kulaksız (Derl.), TMMOB Maden Mühendisleri Odası, s.285-423
- Kusi-Sarpong S., Bai C., Sarkis J. ve Wang X, (2015), Green Supply Chain Practices Evaluation in The Mining Industry Using A Joint Rough Sets And Fuzzy TOPSIS Methodology, *Resources Policy* 46, pp.86-100
- Lee S. ve Vachtsevanos G., 2002, An Application Of Rough Set Theory To Defect Detection Of Automotive Glass, Elsevier, *Mathematics and Computers in Simulation* 60, pp.225-231

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mağden B. ve Telçeken S. 2016, Olasılıksal Kaba Kümeler Teorisi Yaklaşımı İle Ekg Verilerinin Sınıflandırılması, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt: 17 Sayı:1 s:159-166 / DOI: 10.18038/btda.59175
- Mardikyan S., 2005, “İlişki Analizinde Varsayımlardan Sapmaların Belirlenmesi Ve Çözümlemesine Yönelik Bir Bilgisayar Programı Geliştirilmesi”, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Doktora Tezi, s.235
- Mikaeil R., Özçelik Y., Ataei M. ve Haghshenas S. S., 2016, Application Of Harmony Search Algorithm To Evaluate Performance Of Diamond Wire Saw, Journal of Mining and Environment, Published online: 3 November 2016., pp.10 DOI: 10.22044/jme.2016.723
- Onargan T., Köse H., Deliormanlı A.H., 2006, Mermer , TMMOB Maden Mühendisleri Odası, s.1-24
- Özçelik Y., 1999, “Madencilikte Elmas Tel Kesme Makinalarının Çalışma Koşullarının İncelenmesi”, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, s.236
- Özçelik Y., Kulaksız S., 2000, Investigation Of The Relationship Between Cutting Angles And Wearing On Beads In Diamond Wire Cutting Method, 9th International Symposium On Mine Planning And Equipment Selection, Athens, Yunanistan, 06-09 November 2000, s.661-666
- 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 (2002), pp.392-400
- Özçelik Y., 2003, Multivariate Statistical Analysis of the Wearing on Diamond Beads in the Cutting of Andesitic Rocks, Key Engineering Materials Vol 250 (2003) pp. 118-130
- Özçelik Y., Polat Y.E., Bayram F. ve Ay A.M., 2004, Investigation of the Effects of Textural Properties on Marble Cutting With Diamond Wire, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 41, No. 3, s.5
- Özçelik Y., 2008, Development of a Single Bead Test Machine for Marble Cutting, Industrial Diamond Review,68(1) , pp.56-62
- Özçelik Y. ve Yılmazkaya E., 2010, Elmas Tel Kesme Yönteminde Elmas Boncukların Kesme Performansının Boncuk Ömrü Boyunca Değişiminin incelenmesi, Proje No: 0061602008, Hacettepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Bilimi, s.103

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özçelik Y. ve Yılmazkaya E.,2011, The effect of the rock anisotropy on the efficiency of diamond wire cutting machines, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 48 , s.626-636
- Özçelik Y., Kulaksız S. Ve Yılmazkaya E., 2017, Mermer Madenciliği, Temel Madencilik Bilgileri ,Aksoy O., Kömürlü E., Yaman H.E. (Derl), s.657-751
- Pawlak Z., 1991, Roughsets Theoretical Aspects of Reasoning About Data, Springer Science+Business Media, B.V (originally published by Kluwer Academic Publishers), pp.225
- Pawlak Z., Grzymala-Busse J., Slowinski R. ve Ziarko W., 1995, Rough Sets, Communications Of The Acm November 1995/Vol. 38, No. 11 s.89-95
- Pawlak Z., 1998, Rough Set Theory And Its Applications To Data Analysis, Cybernetics and Systems: An International Journal, 29:7, p.661-688, <http://dx.doi.org/10.1080/0196972981254>
- Pawlak Z. ve Skowron A.,1999, Rough Set Rudiments, Bulletin of International Rough Set Society Volume 3, Number 3, s.67-73
- Pawlak Z. 2003, Rough Sets, Institute of Theoretical and Applied Informatics, Polish Academy of Sciences, (booklet), pp.51
- Qiu D., Chen J., Que J. ve An P., 2008, Evaluation of Tunnel Rock Quality with Rough Sets Theory and Artificial Neural Networks, Journal of Jilin University (Earth Science Edition, 2008-01)
- Ramanna S., Meghdadi A.H. ve Peters J.F., (2011) Nature-Inspired Framework For Measuring Visual Image Resemblance: A Near Rough Set Approach, Theoretical Computer Science 412 (2011), pp.5926-5938
- Sadegheslam G., Mikaeil R., Rooki R., Ghadernejad S. ve Ataei M, 2013, Predicting The Production Rate Of Diamond Wire Saws Using Multiple Nonlinear Regression Analysis, Geosystem Engineering, Vol. 16, No. 4, pp.275-285, <http://dx.doi.org/10.1080/12269328.2013.856276>
- Salamo M. ve Lopez-Sanchez M., 2011, Rough Set Based Approaches To Feature Selection For Case- Based Reasoning Classifiers, Pattern Recognition Letters 32 (2011), pp.280-292
- Salamo M. ve Lopez-Sanchez M., 2011, Rough Set Based Approaches To Feature Selection For Case- Based Reasoning Classifiers, Pattern Recognition Letters 32 (2011), pp.280-292

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sevinç E. , 2013, Çoklu Regresyon Korelasyon Analizinde Varsayımdan Sapmalar ve Çimento Sektörü Üzerine Uygulama, İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Finans Anabilim Dalı, s.36
- Skowron, A., ve Rauszer, C., 1992, The Discernibility Matrices and Functions in Information Systems, Intelligent Decision Support, pp.331-362., doi:10.1007/978-94-015-7975-9_21
- Son C.S., Kim Y.N., Kim H.S., Park H.S., ve Kim M.S., (2012), Decision-Making Model For Early Diagnosis Of Congestive Heart Failure Using Rough Set And Decision Tree Approaches, Journal of Biomedical Informatics 45 (2012), pp.999-1008
- Sönmez U., 2018, “Bazı Türk Mermerlerinin Tür-I Kırılma Tokluğu İle Elmas Telli Kesme Makinelerinin Performansı Arasındaki İlişkilerin Analizi” Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, s.90
- Spiric J.V., Stankovic S.S., Docic M.B. ve Popovic T.D., 2014, Using The Rough Set Theory To Detect Fraud Committed By Electricity Customers, Electrical Power and Energy Systems 62 (2014), pp.727-734
- Şener,F.,2011, “Aralıklı Tip-2 Bulanık Kaba Küme Yöntemi İle Yeni Bir Nitelik İndirgeme Algoritması”, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.82
- Uluer M.E., 2018, “ST Ve Katraklarla Kesimi Problemlili Olan Doğal Taşların Tektelli Blok Kesme Sistemiyle Kesiminin İncelenmesi”, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, s.65
- Urhan S. ve Şişman A.N.,1993, Blok Mermer Üretiminde Elmaslı Tel Kesme Kullanımı, Uygulaması ve Kesme Veriminin Optimizasyonu, Madencilik Dergisi, Cilt:32, Sayı:3-4, s.23-30
- Wang G., Cui H. ve Li Q. ,2009, Investigation of method for determining factors weights in evaluating slope stability based on rough set theory. Rock and Soil Mechanics, en.cnki.com.cn
- Wang P.C.,Su C.T., Chen K.H. ve Chen N.H., 2011, The Application Of Rough Set And Mahalanobis Distance To Enhance The Quality Of OSA Diagnosis, Expert Systems with Applications 38 (2011) 7828-7836
- Yao J.T. ve Herbert J.P., 2009, Financial Time-Series Analysis With Rough Sets, Applied Soft Computing, pp.1000-1007
- Yılmazkaya E., 2013, “Bilgisayar Kontrollü Tektel Sistemi İle Blok Kesmede Etken Faktörlerin İncelenmesi”, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Doktora Tezi, s.110

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yılmazkaya E. ve Özçelik Y., 2017, Effects of the Diameter of Diamond Beads on Cutting in Monowire Block Cutting System, 9th Internatioanal Marble and Natural Stone Congress and Exhibition of Turkey, s.145-152
- Yu, H. (2004). Application of Rough Set Theory to Data Reduction. Journal of Anhui Institute of Education, - en.cnki.com.cn
- Zhang L., Zhang D. ve Qiu D. (2010), Application of extension evaluation method in rockburst prediction based on rough set theory, J China Coal Soc, - en.cnki.com.cn
- Zhang L., Qiu D., Li S. ve Zhang D. (2011), Study of tunnel surrounding rock classification based on rough set and ideal point method, Fundamental Theroy and Experimental Research, 2011, Vol. 32 , Issue (S1), pp.171-175
- Zhao L., Huan B., Ma C. ve Wang L. (2010), Expansive Soil Classification Model Based on Rough Set and Its Application[J];Science Technology and Engineering; 2010-30

ÖZGEÇMİŞ

