

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞAL TAŞ KESİMİNDE KULLANILAN
KLASİK VE TELLİ KATRAKLARIN KESİM
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Ali Koray ÖZDOĞAN

**Danışman
Prof. Dr. Servet DEMİRDAĞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA- 2025**

© 2025 [Ali Koray ÖZDOĞAN]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Doğal Taş İşletmeciliği ve Makineleşme Sürecinin Tarihsel Gelişimi.....	6
1.2. Blok Kesim Makineleri	11
1.2.1. Dairesel testereli blok kesim makinesi	11
1.2.2. Monotel kesim makinesi	12
1.2.3. Monolama kesim makinesi.....	13
1.2.4. Robotik kesim makineleri	14
1.2.5. Lamalı katarak blok kesim makinesi.....	14
1.2.6. Elmas telli katarak blok kesim makinesi	17
1.2.6.1. Elmas telli katarak üçgensel geometri sistemi	18
1.2.6.2. Elmas telli katarak gergi sistemi	18
1.2.6.3. Elmas telli katarak aşağı-yukarı hareket sistemi	19
1.2.6.4. Elmas telli katarak tahrik ünitesi.....	20
1.2.6.5. Elmas telli katarakların diğer bileşenleri.....	20
2. MATERYAL VE METOT	24
2.1. Materyal	24
2.1.1. Kullanılan lamalı katarak ve elmas telli katarak makineleri	24
2.1.1.1. Lamalı katarakların teknik özellikleri.....	25
2.1.1.2. Elmas telli katarakların teknik özellikleri	28
2.2. Metot.....	31
2.2.1. Kesilecek blokların belirlenmesi.....	32
2.2.2. Elmas telli katarak makinesinde kesim yapılması	33
2.2.3. Lamalı katarak makinesinde kesim yapılması	33
2.2.4. Kesim sürelerinin belirlenmesi	33
2.2.5. Boncuk ve soketlerin kalınlıklarının ölçümü	34
2.2.6. Enerji sarfiyatının hesaplanması	34

2.2.7. Su sarfiyatının hesaplanması	34
2.2.8. Hasarlı, yüzey kalitesi uygun olmayan levhaların tespiti	34
2.2.9. Verilerin sayısallaştırılması ve karar matrislerinin oluşturulması	35
2.2.9.1. Çok kriterli karar verme yöntemleri	35
2.2.9.1.1. Entropi uygulaması.....	35
2.2.9.1.2. TOPSİS uygulaması	38
2.2.10. Sonuçların değerlendirilmesi ve öneriler	41
3. BULGULAR.....	42
3.1. Kesilen Blokların Boyutları ve Blok Kesim Süreleri	47
3.2. Boncuk ve Soketlerde Blok Kesimine Bağlı Değişim	51
3.3. Enerji Sarfiyatının Hesaplanması	54
3.4. Su Sarfiyatının Hesaplanması	56
3.5. Hasarlı, Yüzey Kalitesi Uygun Olmayan Levhaların Tespiti	59
3.6. Entropi Temelli TOPSİS Yöntemi	61
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	77

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DOĞAL TAŞ KESİMİNDE KULLANILAN KLASİK VE TELLİ KATRAKLARIN KESİM PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Ali Koray ÖZDOĞAN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Servet DEMİRDAĞ

Bu tez çalışmasında, doğal taş fabrikalarında blok kesiminde kullanılan lamalı ve elmas telli katrakların kesim performansları incelenmiştir. Bu kapsamda farklı özelliklere sahip 5 farklı doğal taş bloklarının her iki makine ile kesimleri esnasında, kesme hızı, boncuk/soket aşınmaları, enerji sarfıyatı, su tüketimi, plaka yüzey kalitesi ve ilk yatırım maliyeti gibi parametreler göz önünde bulundurularak gerekli ölçüm ve analizler yapılmıştır.

Çalışmalar sonucunda, elmas telli katrak hızı 80 cm/h ve 1,16 m²/h, lamalı katrak kesim hızı 20 cm/h ve 0,38 m²/h olarak bulunmuştur. Enerji sarfıyatı, elmas telli katraкта 244 kWh/m², lamalı katraкта 332 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Lamalı katrağın enerji sarfıyatı, elmas telli katrağın enerji sarfıyatından kayalık özelliklerine göre % 36 daha fazla olduğu bulunmuştur. TOPSİS yöntemi uygulanarak yapılan analiz sonucunda da elmas telli katrağın enerji verimliliği sağladığı anlaşılmaktadır. Benzer hacimlere sahip blokların elmas telli katrak ile kesim esnasında harcanan su miktarı, lamalı katrakla kesim esnasında harcanan su miktarından % 50 daha az olduğu görülmektedir. Elmas telli katrak makinelerde doğal taş bloğunun kesimi esnasında kaydırma tekniği ile aynı anda farklı kalınlıklarda kesim yapılabilmektedir. Elmas telli katraklarda kesim daha stabil olduğundan, levhaların yüzeyi daha düzgün, kalınlık ve kamburluk sorunlarının daha az olması ile, silim hattında daha az aşındırıcı ve abrasiv kullanımı sayesinde istenilen cila kalitesine daha kolay ulaşılabilir. Elmas telli katraklarda telin çalışma prensibi sayesinde levhalarda herhangi bir titreşim olmadığından, blok fire oranları daha düşük olabilmektedir. Elmas telli katrakların ilk yatırım maliyetleri lamalı katraklardan 3-4 kat daha yüksektir. Elmas telli katrakların henüz yerli üretimi olmaması da ilk yatırım ve bakım maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bütün bu ölçüm, hesap ve TOPSİS yöntemine göre yapılan analizler sonucunda, elmas tel katrak makinesinin kesim işleminde hız, verimlilik ve çevre açısından daha avantajlı bir makine olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğal taş, katrak, elmas telli katrak, kesim performansı, maliyet

2025, 77 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATING OF THE CUTTING PERFORMANCES OF CLASSIC AND MULTIWIRE CUTROCK ON NATURAL STONE

Ali Koray ÖZDOĞAN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Servet DEMİRDAĞ

In this thesis, the cutting performances of blade and multi-wire cutrocks used in block cutting in natural stone factories were investigated. In this context, during the cutting of 5 different natural stone blocks with different properties with both machines, necessary measurements and analyses were carried out by considering parameters such as cutting speed, bead/socket wear, energy consumption, water consumption, plate surface quality and initial investment cost.

As a result of the studies, the multi-wire gang saw speed was found to be 80 cm/h and 1,16 m²/h, and the blade cutrock cutting speed was found to be 20 cm/h and 0,38 m²/h. The energy consumption was calculated to be 244 kWh/m² for the multi-wire cutrock and 332 kWh/m² for the blade cutrock. The energy consumption of the blade cutrock was found to be 36 % higher than the energy consumption of the multi-wire cutrock. As a result of the analysis carried out by applying the TOPSIS method, it is understood that the multi-wire gang saw provides energy efficiency. It is seen that the amount of water consumed during the cutting of similar volumes blocks with the multi-wire cutrock is 50 % less than the amount of water consumed during the cutting of the blade cutrock. In multi-wire cutrock machines, different thicknesses can be cut at the same time with the sliding technique during the cutting of natural stone blocks. Since the cutting is more stable in diamond wire gang saws, the surface of the plates is smoother, there are fewer thickness and curvature problems, and the desired polishing quality can be achieved more easily thanks to the use of less abrasive in the polishing line. Since there is no vibration in the plates thanks to the working principle of the wire in multi-wire cutrocks, plate loss rates can be lower. The initial investment costs of multi-wire cutrocks are 3-4 times higher than those of blade cutrocks. The fact that multi-wire cutrocks are not yet produced domestically also causes an increase in initial investment and maintenance costs. As a result of all these measurements, calculations and analyses made according to the TOPSIS method, it has been seen that the multi-wire cutrock machine is a more advantageous machine in terms of speed, efficiency and environment in the cutting process.

Keywords: Natural stone, cutrock, multiwire cutrock, cutting performance, cost

2025, 77 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli tez danışmanı hocam Prof. Dr. Servet DEMİRDAĞ'a teşekkür ederim.

Tez saha çalışmalarında desteklerinden dolayı Antalya Mermer San. Tic. Ltd. Şti. Burdur Fabrikaları Genel Koordinatörü Jeoloji Mühendisi Mustafa ALTINKURT'a, değerli çalışanlarına ve Antalya Mermer yöneticisi Jeoloji Yük. Mühendisi Servet KABASARI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Desteklerinden dolayı Hartek Mer. Mak. Ltd. Şti. Genel Müdürü Zafer Harmandal ve Ürün Gel. Müh. Yunus Erbay ile Demireller Mak. San. ve Tic. A.Ş. Genel Müdürü Makine Müh. Akif Şimşek'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında desteğini esirgemeyen Dr. Merve KARAABAT VAROL'a ve yüksek lisans eğitimimde teşvikleri ile destek veren üstadlarım Maden Yük. Mühendisi Akın AKBULUT ve Dr. Jeolog Behzat Gökçen DEMİR'e müteşekkirim.

Hayat denen yolculukta yoldaş olan kıymetli eşim Gizem ÖZDOĞAN, evlatlarım Bilgehan ve Batuhan ÖZDOĞAN'a şükranlarımı sunarım.

Ali Koray ÖZDOĞAN
ISPARTA, 2025

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. 2023 yılı maden ihracatının gruplara göre % payları.....	2
Şekil 1.2. 10 yıllık doğal taş ihracatı (Milyon USD)	3
Şekil 1.3. 2023 yılı doğal taş ihracatının ürün gruplarına göre dağılımı (%).....	3
Şekil 1.4. Su tahrikli lamalı katarak lahit kabartması	7
Şekil 1.5. Efes antik kenti yamaç evler katarak buluntuları	8
Şekil 1.6. Çift bıçaklı katarak rekonstrüksiyonu.....	8
Şekil 1.7. İlk yerli üretim katarak makinesi	10
Şekil 1.8. Dairesel testereli blok kesim makinesi	12
Şekil 1.9. Monotel blok kesim makinesi.....	13
Şekil 1.10. Monolama blok kesim makinesi	13
Şekil 1.11. Robotik blok kesim makinesi	14
Şekil 1.12. Klasik lamalı katarak makinesi.....	15
Şekil 1.13. Granit blok kesim katarak makinesi	16
Şekil 1.14. Asansör tipli lamalı katarak makinesi.....	16
Şekil 1.15. Elmas telli katarak makinesi.....	17
Şekil 1.16. Elmas telli katarak üçgensel geometri bileşenleri	18
Şekil 1.17. Elmas telli katarak gergi sistemi.....	19
Şekil 1.18. Elmas telli katarak hareket sistemi kolonu	19
Şekil 1.19. Elmas telli katarak tahrik ünitesi	20
Şekil 2.1. Epoksileme- fileleme işlemine tabi tutulmuş kalsitli mermer blok	25
Şekil 2.2. Verilerin alındığı 7 nolu lamalı katarak makinesi	26
Şekil 2.3. Verilerin alındığı 7 nolu katarak lama segment dizilimi	28
Şekil 2.4. Verilerin alındığı 76 telli 1 nolu elmas tel katarak makinesi.....	29
Şekil 2.5. Verilerin alındığı elmas telli katarak tel segment dizilimi.....	30
Şekil 2.6. Çalışma kapsamında izlenen akım şeması.....	32
Şekil 3.1. Katarakta kesilmiş dolomitin levha görünümü.....	43
Şekil 3.2. Katarakta kesilmiş kireçtaşının levha görünümü.....	43
Şekil 3.3. Katarakta kesilmiş mermerin levha görünümü.....	44
Şekil 3.4. Katarakta kesilmiş kalsitli mermerin levha görünümü.....	44
Şekil 3.5. Katarakta kesilmiş limranın levha görünümü.....	45
Şekil 3.6. Kayaçların TEBD ile katarakların kesim performansı ilişkisi.....	50
Şekil 3.7. Kayaçların açık gözenekliliği ile katarakların kesim performansı ilişkisi	50
Şekil 3.8. Kayaçların TEBD ile katarakların kesim performansı ilişkisi.....	53
Şekil 3.9. Kayaçların açık gözenekliliği ile katarakların kesim performansı ilişkisi	53
Şekil 3.10. Kayaçların TEBD ile katarakların enerji sarfıyatı ilişkisi	55
Şekil 3.11. Kayaçların açık gözenekliliği ile katarakların enerji sarfıyatı ilişkisi	56
Şekil 3.12. Kayaçların TEBD ile katarakların su sarfıyatı ilişkisi.....	58
Şekil 3.13. Kayaçların açık gözenekliliği ile katarakların su sarfıyatı ilişkisi.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Türkiye ihracatı ile maden ihracatının karşılaştırılması	2
Çizelge 2.1. Lamalı katarak makinesinin teknik özellikleri	27
Çizelge 2.2. Elmas telli katarak makinesinin teknik özellikleri.....	29
Çizelge 3.1. Doğal taşların fiziksel özellikleri	45
Çizelge 3.2. Doğal taşların mekanik özellikleri	45
Çizelge 3.3. Doğal taşların kimyasal özellikleri	46
Çizelge 3.4. Doğal taşların mineralojik ve petrografik analiz sonuçları.....	46
Çizelge 3.5. Elmas telli katarakta kesilen blokların boyutları ve kesim süreleri..	48
Çizelge 3.6. Lamalı katarakta kesilen blokların boyutları ve kesim süreleri.....	49
Çizelge 3.7. Boncuk ve soket kalınlık değişimleri.....	51
Çizelge 3.8. Elmas telli katarak ve lamalı katarak enerji sarfiyatı	54
Çizelge 3.9. Elmas telli katarak ve lamalı katarak su sarfiyatı.....	57
Çizelge 3.10. Toplam levha ve yüzey kalitesi uygun olmayan levha sayıları	60
Çizelge 3.11. Değişkenlerin kodlanması.....	62
Çizelge 3.12. Kriterlerin geometrik ortalamaları	62
Çizelge 3.13. Lamalı katarak makinesinde kesilen doğal taşların kriterlere göre değerlerinin geometrik ortalamaları.....	63
Çizelge 3.14. Elmas telli katarak makinesinde kesilen doğal taşların kriterlere göre değerlerinin geometrik ortalamaları	63
Çizelge 3.15. ENTROPİ yöntemi ile ağırlıklandırma.....	64
Çizelge 3.16. ENTROPİ temelli TOPSİS yöntemi ile lamalı ve elmas telli katarak makinelerinin karşılaştırılması.....	65
Çizelge 3.17. TOPSİS yöntemi ile lamalı ve elmas telli katarak makinelerinin karşılaştırılması.....	66
Çizelge 3.18. ENTROPİ temelli TOPSİS yöntemi sonucuna göre makinelerin taşlara göre ayrı ayrı değerlendirilmesi	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AKÜ	Açıklanmış karşılaştırmalı üstünlükler
ANFIS	Ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi
AZ	Ateş zayıatı
BM	Birleşmiş milletler
CNC	Bilgisayarlı nümerik kontrol
ÇKKV	Çok kriterli karar verme
ETK	Elmas telli katrak
IoT	Nesnelerin interneti
TOPSİS	İdeal çözüme benzerliğe göre tercih sırası tekniği
USD	Amerikan doları
YSA	Yapay sinir ağları



1. GİRİŞ

Türkiye, Dünya’da üretimi yapılan madenler yönünden değerlendirildiğinde, ürün miktarları açısından 70’in üzerinde mineralin üretimi ile 22. ve mineral çeşitliliğinde ise 8. sırada yer almaktadır (Kinaş ve Özdoğan, 2022). Bunun yanında Türkiye, doğal taş potansiyeli ile Dünya’da adından söz ettiren bir ülke konumundadır. Yapılan incelemeler sonucunda; Dünya ticari mermer potansiyelinin % 40’lık kısmının Türkiye’de bulunduğu düşünülmektedir (MTA, 2018).

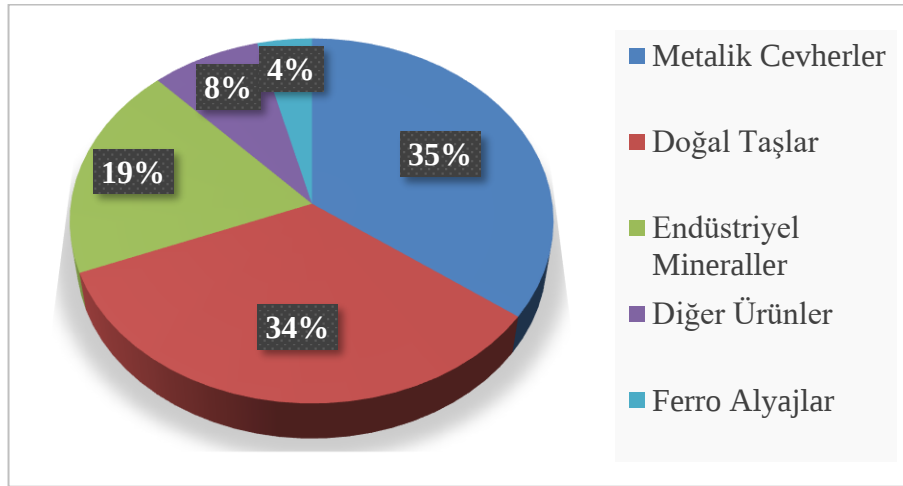
Türkiye’de 650 farklı renk ve dokuda ticarete konu edilebilecek özellikte doğal taş bulunduğu belirtilmektedir. Üretim kapasitesi ve ekonomik değeri dikkate alındığında, Türkiye, doğal taş sektöründe Dünya’da en büyük beş üretici ülke arasında gösterilmektedir. Doğal taş potansiyeli bakımından zengin olan Türkiye’nin yanı sıra Avrupa’da İtalya ve İspanya ile Asya’da Çin Halk Cumhuriyeti ve Hindistan, Dünya doğal taş ticaretinde önemli ülkeler arasında yer almaktadır.

İhracat verileri incelendiğinde, Türkiye’nin toplam ihracatının son 5 yılda ortalama 217 milyar USD seviyesinde olduğu görülmektedir. Özellikle son yıllarda önemli bir yükseliş kaydederek 2023 yılında Türkiye toplam ihracatı 255 milyar USD olarak gerçekleşmiştir (İMİB, 2024). Madencilik açısından değerlendirildiğinde ise Türkiye’nin 2022 yılında toplam maden ihracatı rekor kırarak, yaklaşık 6,5 milyar USD olarak gerçekleşmiştir. 2023 yılında ise toplam maden ihracatı 5,75 milyar USD olarak gerçekleşmiş olup, toplam ihracat içinde maden ihracatının oranı % 2,6 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 1.1) (İMİB, 2024).

Çizelge 1.1. Türkiye ihracatı ile maden ihracatının karşılaştırılması (İMİB, 2024)

Yıl	2019	2020	2021	2022	2023
Toplam ihracat (x1.000 USD)	180.468.488	169.514.167	225.367.676	254.209.535	255.808.922
Maden ihracatı (x1.000 USD)	4.311.584	4.272.391	5.930.165	6.469.002	5.748.304
Toplam ihracatta maden ihracatı payı (%)	2,4	2,5	2,6	2,5	2,6

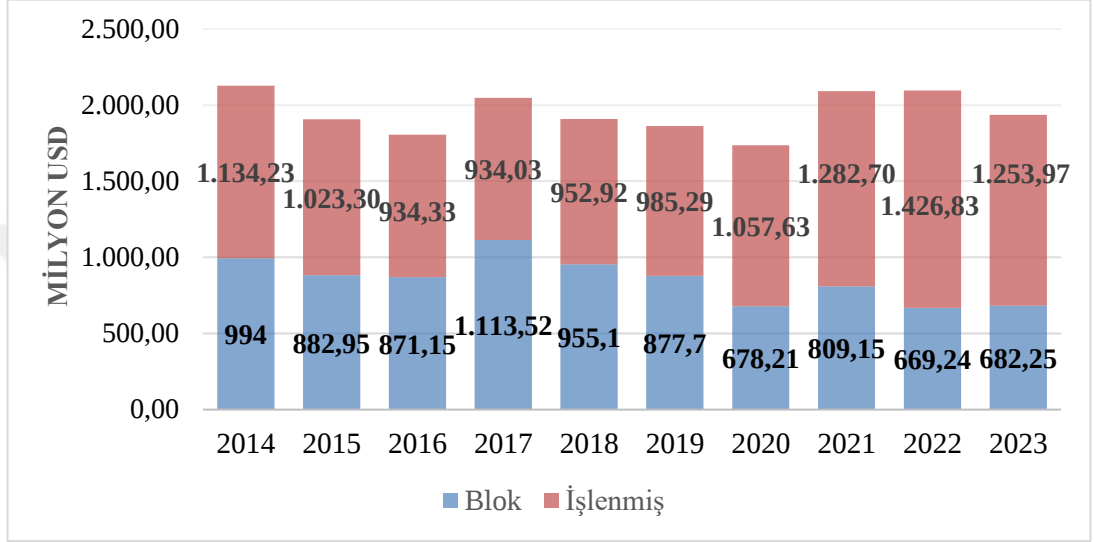
2023 yılında en fazla ihraç edilen maden ürün grupları arasında metalik cevherler 2 milyar USD ile ilk sırada yer alırken, bu ürün grubunu 1,9 milyar USD ile doğal taşlar, 1,1 milyar USD ile endüstriyel mineraller, 261,1 milyon USD ile ferro alyajlar, 444,9 milyon USD ile mineral yakıtlar dahil diğer ürünlerin ihracatının takip ettiği görülmektedir (Şekil 1.1) (İMİB, 2024).



Şekil 1.1. 2023 yılı maden ihracatının gruplara göre % payları (İMİB, 2024)

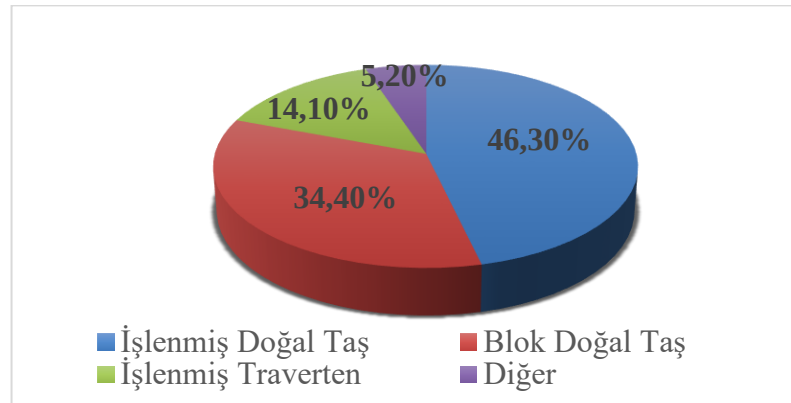
Gruplandırılmış olarak maden ihracat kalemleri incelendiğinde 2023 yılında maden ihracatında % 35’lik pay ile ilk sırada metalik cevherlerin ihracatı ve % 34’lük oran ile ikinci sırada ise doğal taş ürünlerinin ihracatı gerçekleşmiştir. Türkiye’nin doğal taş ihracatı işlenmiş mamül ve blok olarak gerçekleşmektedir (İMİB, 2024).

2023 yılında Türkiye doğal taş ihracatının % 65'i işlenmiş mamül olarak gerçekleştirilmiş olup 1,25 milyar USD'dır (İMİB, 2024). 2017 yılında yapılan doğal taş ihracatının sayısal değerleri incelendiğinde blok doğal taş ihracatının, işlenmiş doğal taş ihracatını geçtiği, 2018 yılında ise işlenmiş doğal taş ve blok doğal taş ihracatının bir birine yakın miktarda olduğu görülmektedir (İMİB,2024). Son 10 yılda gerçekleşen doğal taş ihracatına dair sayısal veriler Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. 10 yıllık doğal taş ihracatı (Milyon USD) (İMİB, 2024)

2023 yılında Türkiye işlenmiş doğal taş ihracatı % 46,3 ve blok doğal taş ihracatı ise % 34,4'dür (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. 2023 yılı doğal taş ihracatının ürün gruplarına göre dağılımı (%) (İMİB, 2024)

İşlenmiş doğal taş ürünlerinin (ticari mermer+traverten) ihraç edildiği ülkelerin arasında ABD ilk sırada yer almaktadır. İşlenmiş ticari mermerde diğer ülkelerin ise Doğu Akdeniz ve Arap Yarımadası ülkeleri olarak ilk 5'te yer aldıkları görülmektedir. İşlenmiş traverten ihracaatımızda Fransa, Avustralya ve Almanya ve Suudi Arabistan en fazla ihracaat yapılan ülkelerdir (İMİB, 2024).

Türkiye doğal taş sektörünün rekabet gücü ile ilgili olarak AKÜ (Açıklanmış Karşılaştırmalı Üstünlükler) yöntemi ile yapılmış bir çalışmada dünya pazarında blok doğal taş üretimi rekabet gücünün 2012 yılında Dünya'da zirvede olduğu, günümüzde ise yine yüksek rekabet gücü kategorisinde yer almakla birlikte rekabet gücünün gerilemekte olduğu tespit edilmiştir. İşlenmiş doğal taş ürünleri ile ilgili yapılan hesaplamalarda ise AKÜ değerinin yıllar itibari ile birbirine yakın seyrettiği ve işlenmiş doğal taş sektöründe rekabetçi özelliğinin yüksek olduğu ve seviyesinin süreklilik arz ettiği tespit edilmiştir (Kaptan vd., 2023).

AKÜ değerlerine göre, işlenmiş doğal taş ürünlerinde dünya pazarında Türkiye'nin rekabet gücü korunmaktadır. Gelecek yıllarda işlenmiş doğal taş ürünlerinin ihracaatının artırılmasının hedeflendiği düşünüldüğünde Türkiye'nin rekabet gücünün daha da artabileceği öngörülebilmektedir. Ancak, yalnızca yüksek doğal taş potansiyeli ve çeşitliliği rekabet üstünlüğü için yeterli değildir. Bu potansiyelin işlenmesi için gerekli teknolojik altyapının varlığı ve ürünlerin başarılı bir şekilde pazarlanabilmesi de rekabetçi olmanın anahtarı olarak görülmektedir. Bu bağlamda yeni teknolojilerin yerli imkanlar ile geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması giderek önem kazanmaktadır. İşçilik maliyetlerinin yüksek olduğu Avrupa ülkelerinde makine ve otomasyon teknolojilerine yapılan yatırımlar sonrasında doğal taş işletmeciliğinde daha az maliyet ile verimlilik artırılarak yapılan çalışmaların bu alanda oluşturduğu etki gözle görünür oranda artmaktadır.

Türkiye, Dünya doğal taş üretiminde ve ihracatında küresel ölçekte en önemli ülkelerden biri olmakla birlikte, özellikle doğal taş işleme makinelerinde rekabet gücü açısından değerlendirildiğinde henüz yolun başında sayılmaktadır. Yapılan çalışmalara göre, Türkiye'de üretilen bir doğal taş işleme makinesinin, milli ekonomiye katkısının kendi değerinin 8 katı olduğu belirtilmektedir (TÜMMER, 2021). Türkiye işlenmiş doğal taş ihracaatının gelecek yıllarda daha da artması için

gerekli ekipman ve yeni teknolojilerin kullanımının yaygınlaşması ve katma değerli üretim ilkesinin tüm sektör paydaşlarınca benimsenmesi Türkiye'nin kalkınmasında oldukça önemlidir.

Günümüzde karbon emisyon miktarlarının azaltılması gibi BM (Birleşmiş Milletler) tarafından uygulamaya konulan hedefler madencilik sektörünü de farklı çıkış yolları aramaya zorlamaktadır. Aynı zamanda analitik çözümler ve yapay zeka ile ilgili gelişmeler akıllı madencilik konseptinin ortaya çıkmasını zorunlu kılmaktadır. Şili, Avustralya, Güney Afrika Cumhuriyeti gibi ülkelerde bulunan madencilik sektöründe öncü firmalar kaynakların verimli kullanılması için iş modellerini güncellemektedir. Aynı zamanda yapay zeka teknolojisi için verimli çalışma koşullarının izlenmesinde insan gücü yatırımlarını da artırarak rekabetçi bir ortam oluşturmaktadırlar. Bu nedenle Türkiye'de faaliyet gösteren doğal taş işleme tesislerinde yerli ve otomasyon sistemleri ile donatılmış ekipmanların kullanımı Türkiye doğal taş sektörünü çok daha iyi noktalara getirebilecektir.

Doğal taş fabrikalarında üretim aşamasında yaygın olarak S/T (dairesele testereli) makineleri ve katarlar kullanılmaktadır. Günümüzde ise katarların kullanımı gün geçtikçe daha çok artmaktadır. İşlenmiş ürünlerin elde edilmesinde şüphesiz katarların ayrı ve önemli bir yeri vardır. Ancak katarlar ile ilgili yapılmış çalışmaların sınırlı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yeni bir teknoloji olarak sektörün kullanımına sunulmuş olan elmas telli katarlar ile ilgili çalışma sayısının az olması sebebi ile sektörel farkındalık oluşturulması amacı ile geleceğe ışık tutulması için yapılacak çalışmalar önem arz etmektedir.

Türkiye, rezerv, üretim ve ihracat açısından doğal taşlarda önemli bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin daha etkin şekilde kullanılabilmesi için doğal taş ürünlerinde rekabet gücünün artırılması sonucunda ihracatta nihai ürün pazar payının artması, başta istihdam ve ekonomi olmak üzere birçok alanda olumlu katkı sağlayacaktır. Bu nedenle, Türkiye'de yürütölen katma değeri yüksek doğal taş madenciliğı faaliyetlerinin sürdürülebilirliğı açısından doğal taş işleme tesislerinde yürütölen faaliyetlerin bilimsel yöntemler referans alınarak incelenmesi ve bununla birlikte belirli bir standardizasyonun oluşturulması gerekmektedir. Doğal taş işletmeciliğinde kullanılan elmas telli katar makineleri, doğal taş bloklarının çeşitli kalınlıklarda

levhaların kesilmesi için tasarlanmış makinelerdir. Katrak gibi konvansiyonel kesim yöntemlerine alternatif olan telli katraklar kesim kapasitesini lamalı katraklara oranla ciddi bir şekilde artırmaktadır. Bununla birlikte, enerjinin çok daha verimli kullanıldığı ve kesim firesinin azaldığına dair değerlendirmeler de bulunmaktadır. Ancak bu değerlendirmelerin bilimsel olarak ortaya konulması noktasında yapılan çalışmalar henüz yeterli düzeyde değildir. Bu çalışmada, bir doğal taş işleme tesisinde kullanılan elmas telli (multi-wire) katrak ve lamalı katrak'ta farklı özellikteki doğal taş bloklarının kesimi incelenmiştir. Her iki makine ile kesimi yapılan doğal taş bloklarında, boncuk/soket ömrü, plaka yüzey kalitesi, enerji sarfıyatı, su tüketimi ve kesme hızına bağlı kesim süresi gibi sayısal parametreler TOPSİS (ideal çözüme benzerliğe göre tercih sırası tekniği) yöntemi ile analiz edilerek en uygun yöntem tanımlanmaya çalışılmıştır.

1.1. Doğal Taş İşletmeciliği ve Makineleşme Sürecinin Tarihsel Gelişimi

Günümüzde doğal taşlar, yaşam alanlarına estetik, dayanıklılık ve modernlik kazandırarak hayatın bir parçası haline gelmiştir. Buna bağlı olarak artan talep ve ilginin doğal taş üretiminde de paralel bir yükselişe neden olmaktadır. Bugün olduğu gibi antik çağlarda da doğal taşlar medeniyetlerin gelişiminde temel unsurlardan biri olarak değerlendirilmektedir. Bugün Göbeklitepe'de günyüzüne çıkarılmış olan işlenmiş doğal taş sütunları, Türkiye'nin, bilinen dünyanın en eski doğal taş işleme merkezlerinden biri olduğuna kanıt olarak gösterilebilir.

Doğal taş işletmeciliğinin tarihsel gelişimi incelendiğinde günümüzden yaklaşık 4000 yıl önce Marmara Adası'nda başlatılan mermer çıkarımı ile Anadolu coğrafyasının bu alanda köklü bir geçmişe sahip olduğu anlaşılmaktadır. Antik çağlarda doğal taş ocaklarında blokların çıkarılma yöntemleri ana hatlarıyla manivela, yarma ve kanal açma olarak özetlenebilmektedir (TÜMMER, 2021).

Erken bronz çağında doğal taş işletmeciliğinde ilkel aletler kullanılırken MÖ 2700'lerin sonunda bronzdan yapılmış aletlerin yaygın olarak kullanılmaya başlamasıyla birlikte doğal taş işlemeciliğinin gelişimi de olumlu olarak etkilenmiştir (Schwander, 1991).

Bronzdan yapılma lama testerelerin yaygınlaşması sayesinde, Batı Anadolu’da ve o dönemki ismi Prokonnesos olan Marmara Adasında doğal taşların işlenmesinde bronz lama testere kullanımının yoğunlaştığı belirtilmektedir (TÜMMER, 2021). Ayrıca içeriğinde aşındırıcı toz olarak silis kumunun olduğu ve lama yatay hareketinde aşındırıcının üstten kesim yüzeyine beslendiği lama testerelerinde kullanıldığı araştırmacılar tarafından ortaya konulmaktadır (Büyüksağış, 1998).

MS IV. yüzyılda yaşayan ve Roma İmparatorluğunun ünlü alimlerinden olan Decimus Magnus Ausonius’un yazmış olduğu Mosella şiirinde “Taşları, baş ilerde döndüren ve gıcırdayan testereleri pırıldayan mermerden geçiren Erubris, her iki yakasında da sürekli gürültü dinliyor” dizelerinden su tahrikli lama testerelerin kullanıldığı anlaşılmaktadır. 1970’li yıllara kadar o dönemde su tahrikli bir sistemin var olamayacağı düşünülmekte iken Pamukkale Hierapolis Antik Kenti kazılarında günyüzüne çıkarılan bir lahitin üzerinde yer alan kabartmada bu testere düzeneğinin yer aldığı tespit edilmiştir (Kessener, 2010).

Marcus Aurelius Ammianos adlı o dönemde yaşamış olan değirmencinin lahitindeki kabartmada değirmen kanalından beslenen su çarkı, iki çerçeveveli testere, bir biyel kolu ve mekanik hareket için bir krank mili bulunduğu anlaşılmaktadır (Şekil 1.4). Bu makine su değirmeni, krank mili ve biyel kolu kullanılarak dönme hareketinin doğrusal harekete dönüştürüldüğü ve şiirsel anlatım dışında da açıkça tasvir edildiği bilinen ilk makine olarak gösterilmektedir (Kessener, 2010).



Şekil 1.4. Su tahrikli lamalı katrah lahit kabartması (Kessener, 2010)

Pamukkale Hierapolis Antik Kenti’nde yer alan lahit açıkça göstermektedir ki Batı Anadolu’da MS III. yüzyılda o dönemin modern işleme makineleri kullanılmıştır.

Aynı şekilde devam eden Efes Antik Kenti kazılarında 1980’li yıllarda Yamaç Evler olarak tanımlanan bölgenin taban kotunda su tahrikli lama testerenin yer aldığı (iyi korunmuş halde bulunan) arkeolojik kalıntılar günyüzüne çıkartılmıştır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Efes antik kenti yamaç evler katak buluntuları (Kessener, 2010)

MS III. yüzyıla tarihlenen Hierapolis katrağında tek lama olduğu görülürken MS VI. yüzyıla tarihlenen Efes katrağında çift lama olduğu görülmektedir. Buradan o dönemde yaşayan toplumların bilim ve tekniği her daim yüksek verim, düşük maliyet, optimum üretim standartını yakalama anlayışı için kullanmış olduğu düşünülmektedir (Kessener, 2010).

Almanya’nın Köln kentinde yer alan, Romano-Germen Müzesi’nde (Römisches Germanisches Museum), Roma İmparatorluğu’nda kullanılan bu makinenin model tasviri bulunmaktadır (Şekil 1.6) (Mangartz, 2010).



Şekil 1.6. Çift bıçaklı katak rekonstrüksiyonu (Mangartz, 2010)

Günümüzde Ürdün’de yer alan Jerash antik kentinde bulunan ve MS VI. ve VII. yüzyılda kullanıldığı tahmin edilen dört lamalı su tahrikli testerinin bulunması, söz konusu su tahrikli lamalı testerinin gelişimini göstermektedir (Seigne, 2009).

Takip eden yüzyıllarda doğal taş işleme tekniklerinin benzer şekilde devam ettiği, Osmanlı döneminde Anadolu’da işleme tekniklerinin Bizans dönemi ile benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Sanayi Devriminin başlangıcı sayılan 18. yüzyılın ortalarında buharın gücünün keşfedilmesi ile su tahrikli makinelerin yerini buharlı makinelere bıraktığı gözlenmektedir. Özellikle 19. yüzyılın sonlarında buhar motoru ile çalışan kum katarlar İtalya, İspanya ve Yunanistan’da yer alan işleme tesislerinde kullanılmaya başlanmıştır.

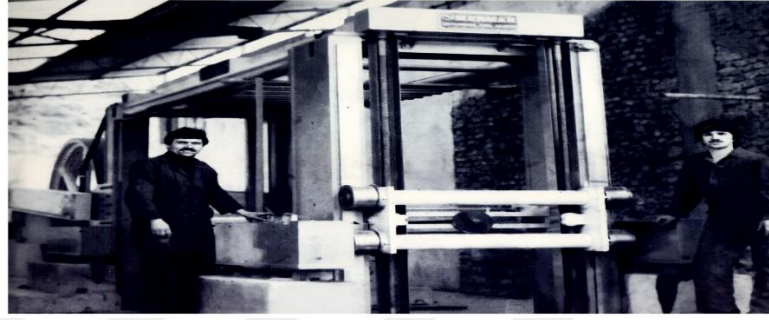
Türkiye’de buhar motorlu kum katarların kullanıldığı ilk işleme tesisi 1912 yılında Marmara Adasında kurulmuştur. Fabrika’nın kurulumu İngiltere-Belçika menşeli firmaların ortaklığı ile tamamlanmıştır. Fabrikada 8 adet kum katar bulunmaktadır. Cumhuriyet döneminde özellikle Ankara’nın inşasında Türkiye’nin ilk doğal taş işleme tesisi önemli bir tedarikçi olmuştur. Bu fabrika 1974 yılına kadar faaliyetlerini sürdürmüştür (TÜMMER, 2021).

Yerli üretim doğal taş işleme ekipmanlarının ortaya çıkışı ise Anıtkabir’in inşaatı sırasında Afyonkarahisar’ın İncehisar ilçesinde küçük bir atölyede 1944 yılında başlamıştır (Demmak, 2024).

Elektrikli makinelerin kullanımının yaygınlaşması sonrasında saatte 1 cm kesim hızına sahip buhar motoru ile çalışan ve bir bloğun kesimini 3 veya 4 günde tamamlayan kum katarlar yerine daha hızlı kesim yapmaya imkan sağlayan elektrikli kesim makineleri almıştır. Avrupa merkezli firmalar bu alanda hızlı bir gelişim göstermişlerdir. Elektrik ile çalışan modern doğal taş işleme makinelerinin Türkiye’de başlangıcı ise 1968 yılında Ankara’da Bekir Akdemir isimli girişimci tarafından kurulan Akdemir Makine isimli firma ile başlamıştır (Akdemirmak, 2019).

1977 yılına gelindiğinde, İstanbul, Alibeyköy ilçesinde küçük bir torna atölyesinde torna ustası olarak hizmet veren Fikri Gölve ve Ahmet Tokkan tarafından ithalat kısıtlamaları, yedek parça tedariğinde yaşanan sorunlar ve yaygın yetkin personelin az

olduğu düşüncesi ile Türkiye'nin ilk yerli üretim katrak makinesi yapılmıştır (Şekil 1.7). İlk yerli üretim katrak makinesine üreticileri “Fırtına” adını vermiştir. O dönemde Avrupalı üreticilerin üretmiş olduğu katraklardan daha hızlı olan bu doğal taş kesim makinesini “Tayfun”, “Kasırga”, “Bora”, “Rüzgâr”, “Şimşek”, “Yıldırım” ismi verilen yeni katrak makineleri takip etmiştir. Günümüzde Mermak Mermer Makineleri A.Ş. olarak faaliyetlerini sürdüren üretici aynı isimler ile gelişen teknolojiye uygun kesim makineleri üretmektedir (Mermak, 2019).



Şekil 1.7. İlk yerli üretim katrak makinesi (Mermak, 2019)

Takip eden yıllarda doğal taş işleme tesislerinde kullanılan ekipmanlarda Türk menşeli makine üreticisi firmaların sayısı artmıştır.

Günümüzde doğal taş ocaklarında geniş kullanıma sahip olan elmas teller ise ilk olarak 1950’li yıllarda İngiltere’de kullanılmaya başlanmıştır. İlk elmas telli katrak prototipleri ise 1990’lı yıllarda ortaya çıkmıştır (Konstanty, 2021). Başlangıçta granit kesimi için pazara sunulan elmas telli katraklar gelişen teknolojiye uygun olarak tüm doğal taşların kesilmesine imkân verecek şekilde tekrar tasarlanmış ve son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Elektrik enerjisine sahip klasik lamalı katraklar geçmişte buhar motoru ile çalışan kum katrakların yerini alması ile benzer şekilde elmas telli katraklar da kendisinden önce gelen neslin yerini almaya başlamıştır.

2011 yılında Endüstri 4.0 olarak Almanya’nın Hannover şehrinde kurulan Hannover Fuarında duyurulan IoT olarak adlandırılan ve Türkçesi “Nesnelerin İnterneti” olan akıllı cihaz teknolojisinin yaygınlaşmasında elmas telli katraklarda kullanılan Bulut tabanlı işletim veri izleme ve depolama sistemi ile gelecekte doğal taş işleme

tesislerinde yaygınlaşması muhtemel yapay zeka uygulamalarına temel oluşturmaktadır.

1.2. Blok Kesim Makineleri

Doğal taş ocaklarından blok olarak çıkarılan kayalar kesilip, parlatılıp, işlendikten sonra farklı amaçlarla kullanılması için iki farklı ana ürün grubuna ayrılmıştır. Bunlar; ebatlı ürün ve levha olarak tanımlanmaktadır.

Blok kesim makineleri, kullanılan teknolojiye ve tasarıma bağlı olarak taşın sertliği ve boyutlarına göre uyarlanabilmektedir. Farklı karakteristik ve boyuttaki doğal taş blok veya molozlarının kolay bir şekilde kesiminin sağlanması amacı ile farklı özelliklere sahip makineler doğal taş işletmeciliği yapan firmalar tarafından kullanılmaktadır.

Blok veya moloz kesim makineleri, sektördeki teknolojik gelişmelerle birlikte daha verimli hale gelmiştir. Yeni nesil makineler, gelişmiş otomasyon sistemleri sayesinde daha hassas ve hızlı kesimler yapabilmektedir. Özellikle CNC (Computer Numerical Control- Bilgisayarlı Nümerik Kontrol) makinelerin kullanılmaya başlaması ve son dönemde yabancı menşeli makine tedarikçilerinin IoT teknolojisini kullanmaya başlaması ürün hassasiyetinde fark oluşturmaktadır. Ayrıca enerji verimliliği de sağlanarak işletme maliyetleri düşürülmüştür. Bu gelişmeler sayesinde, doğal taş sektöründe hem üretim maliyetleri düşürülmekte hem de ürün kalitesi artmaktadır.

1.2.1. Dairesel testereli blok kesim makinesi

Doğal taş işletmecileri arasında yaygın ismi ESTE (S/T) olan dairesele testereli blok kesim makinesi, İngilizce'deki streeping ve trimming kelimelerinin baş harflerinden ismini almaktadır (Kır, 2012). Dairesel testereli blok kesim makineleri doğal taş işleme fabrikalarında düzgün geometriye sahip olan ve olmayan blok ve düzgün geometriye sahip olmayan şekilsiz molozların kesiminde kullanılmaktadır. Blok kesim makinesi üzerinde bulunan 2 adet dairesele testere (düşey ve yatay konumda) sayesinde kesim yapabilmeye imkân sağlamaktadır (Şekil 1.8). Bu makineler 1,8- 3,0 m çapında, 4-6 mm kalınlığında dairesele bir disk etrafına tutturulmuş soketlerle kesim yapabilmekte olup dönme hızları yüksektir. Hız kontrollüdürler, hidrolik sistem vasıtasıyla

ilerlemektedir. Maksimum kesme derinliği disk çapına göre değişmektedir. Takılabilir en büyük disk çapı motor gücüyle ilgilidir. Ayrıca hızları kayış kasknak mekanizmasına sahip olduklarından kasknak değiştirmek suretiyle kontrol edilmektedir. Disklerin takılma yönü önemli olup, elmasların yönü kesmeye karşıt olmalıdır. S/T'ler, kesici ana gövdeyi tutan kolon (ayak) sayılarına göre; tek ayaklı, çift ayaklı, dört ayaklı olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Onargan vd., 2006).

Granit gibi sert kayaçların kesimi için farklı teknik özelliklere sahip dairesel testereli blok kesim makineleri de kullanılmaktadır.



şekil 1.8. Dairesel testereli blok kesim makinesi (DEMMAK, 2024)

1.2.2. Monotel kesim makinesi

Granit gibi sert kayaçların kesiminde, bloklarda gerekli düzeltme yapılmasında veya kalın levha kesimlerinde kullanılmakta olan tek elmas telli kesim makinesinde iki adet kolon ve bunları birbirine bağlayan bir kiriş bulunmaktadır (şekil 1.9) (DEMMAK, 2019).



Şekil 1.9. Monotel blok kesim makinesi (EGEMER, 2016)

1.2.3. Monolama kesim makinesi

İlk kez 1967 yılında patenti alınarak üretimine başlanılan üzerinde tek lama olan bu kesim makinesi tek bıçağa sahip katrik makinesi gibi düşünülebilmektedir (Şekil 1.10) (EGEMER, 2016). Mono tel blok kesim makinesi ile benzer kullanım alanlarına sahip olup, çalışma prensibine bağlı olarak lama yerine elmas tel kullanılmasına da imkân sağlamaktadır (Kır, 2012).



Şekil 1.10. Monolama blok kesim makinesi (EGEMER, 2016)

Monotel ve monolama blok kesim makineleri tek telli veya tek lamalı katrik olarak düşünülebilmektedir. Son yıllarda CNC teknolojisinin makine üreticileri arasında yaygınlaşması ile eğrisel kesimler kolayca yapılabilmektedir (TÜMMER, 2021). Bunun sonucunda evye gibi özel işçilik gerektiren kesimlerde de daha hızlı çözümler sunulabilmektedir.

1.2.4. Robotik kesim makineleri

Akıllı ebatlama teknolojisine sahip 6 eksenli robotik tel kesme makinelerinin kullanımı giderek artmaktadır (TÜMMER, 2021). İki döner tablaya sahip olan ve otomasyona sahip robotik cihaz, yükleme özelliğine sahip bir robotik cihaz ile birlikte üretim kesintisi olmadan çalışmaya imkân vermektedir (Şekil 1.11) (TDROBOTICS, 2024). Gelecek yıllarda robotik cihazların kullanımının yaygınlaşacağı ön görüldüğünde söz konusu makinelerle ilginin daha da artacağı düşünülmektedir.



Şekil 1.11. Robotik blok kesim makinesi (TDROBOTICS, 2024)

1.2.5. Lamalı katarak blok kesim makinesi

Katarak kelimesi İngilizcede “cut” ve “rock” kelimesinin birleştirilmesinden türetilmiş olup, bu kelime yerine “gangsaw” veya “frame saw” terimlerinin de yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir (MEB, 2011).

Lamalı katarak blok kesim makineleri günümüzde doğal taş işleme tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle ocaklardan çıkarılan doğal taş bloklarında kırıklı ve çatlaklı kısımların, blok güçlendirme yöntemleri (epoksi/fileleme) ile daha masif hale getirilmesi sayesinde günümüzde lamalı kataraklar daha çok tercih edilir hale gelmiştir. Bu blok kesim makinelerinin çalışma prensibi ise lamaları taşıyıcı şekilde bulunan bir

mafsal setin salıncak misali sürekli ileri-geri ve belirli bir hızda hareketi şeklinde tasarımlanmıştır (Şekil 1.12). Bu sayede lamaların bağlı olduğu set doğal taş bloğunda lamaların sürtünmesi ile kesim gerçekleşmektedir (Özdoğan ve Demirdağ, 2024).

Kesim şekline göre katraklar, yatay ve dikey kesim yapan katraklar olarak sınıflandırılmaktadır. Yatay kesim yapan katraklar iki ana yapıya sahiptir. Bunlardan birincisinde blok sabittir ve testereler ileri-geri hareketin yanında, kesim için aşağıya doğru hareket etmektedir. Diğer tipte ise, bloğun bulunduğu vagon yukarıya doğru hareket etmekte ve testereler yatay düzlemde sadece ileri-geri hareket etmektedirler. Katraklar için diğer bir sınıflandırma ise, bloğun kesim için makineye yüklenme şekline bağlı olarak kapalı ve açık kasalı şeklinde yapılmaktadır. Kapalı kasalı katraklarda, blok bütün olarak makinenin altına alınmakta ve tümüyle kesim yapılmaktadır. Açık kasalı katraklarda ise, büyük bloklar kısmi olarak kesilmekte ve kalan kısımlar, ikinci bir işlemle vagon ileri-geri kaydırılarak kesim gerçekleştirilmektedir (Kulaksız, 2012).



Şekil 1.12. Klasik lamalı katrak makinesi (DEMMAK, 2024)

Granit gibi sert kayaçların kesiminde Avrupalı makine üreticileri tarafından üretilen farklı teknik özelliklere sahip lamalı katraklarda kullanılabilmektedir (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Granit blok kesim katarak makinesi (BM, 2024)

Teknolojinin gelişimi ile birlikte özellikle son yıllarda kasa inmeli model açık kasa lamalı katarakların yanında asansörlü tipteki yüksek hızlı kesim imkânı sunan lamalı kataraklara da ilgi artmaktadır (Şekil 1.14).

Asansörlü tipteki lamalı kataraklar doğal taş bloklarının daha hızlı kesilebilmesine olanak sağlamak amacı ile ortaya çıkartılmıştır. Bu sistemde; sabit lama kasası, doğal taş bloğunun taşındığı sağlam blok asansörü ile hidrostatik doğrusal yuvaya sahip mekanizmalı bir makinedir. Bu makinelerde yer alan hidrostatik doğrusal sistem sayesinde yüksek kesim hızında titreşimsiz şekilde kesilme imkânı mevcut olup, yüksek hızlı kesimlerde karşılaşılan yüzey kesim problemlerinde ise açık kasa lamalı kataraklara oranla daha verimli çalışma koşulları sunmaktadır (MKS, 2022).



Şekil 1.14. Asansör tipli lamalı katarak makinesi (MKS, 2022)

1.2.6. Elmas telli katrak blok kesim makinesi

Blok kesimi için ise ilk elmas telli katrak prototipleri 1990’larda makine üreticileri tarafından tasarlanmıştır (Konstanty, 2021). Makinenin öncelikle granit bloklarının kesiminde kullanılmıştır. Elmas telli katrak teknolojisinin ve sayısal modellemenin gelişmesi ile klasik lamalı katrak gibi konvansiyonel blok kesimine alternatif olarak farklı tipteki doğal taşların kesilmesini de mümkün kılacak şekilde tekrar tasarlanmıştır.

Elmas telli katraklar alanında son teknoloji olarak kabul görmektedir. Doğal taş işletmecilerinin verimli üretim kapasitesinin nicelik yönünden artırmasına olanak tanımaktadır. Bunun yanında kesim için gerekli doğal kaynakların kullanımında sürdürülebilirliğe olanak sağlamaktadır. Ayrıca işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltması nedeniyle günümüzde sektörde kullanım oranı yüksek geleneksel klasik lamalı katrakların yerini yakın bir gelecekte alması muhtemel görülmektedir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Elmas telli katrak makinesi (Hedel, 2024)

Türkiye’de ilk elmas telli katrak Burdur ili, Bucak ilçesinde faaliyet gösteren bir doğal taş işletmecisinin kullanımına sunulmuştur (Merteks, 2019). Elmas telli katrakların bileşenleri ise beş alt başlıkta tanımlanabilmektedir.

1.2.6.1. Elmas telli katrağ üçgensel geometri sistemi

Üçgensel Geometri, devredeki kıvrımları en aza indiren yenilikçi bir yapıya sahip olup, titreşimleri azaltıp ve elmas tellerin dayanıklılığını artırmaktadır (Şekil 1.16). Bu geometri sayesinde, yüksek kaliteli kesim ve ekipmanın daha uzun ömürlü olması sağlanmaktadır (Hedel, 2024)

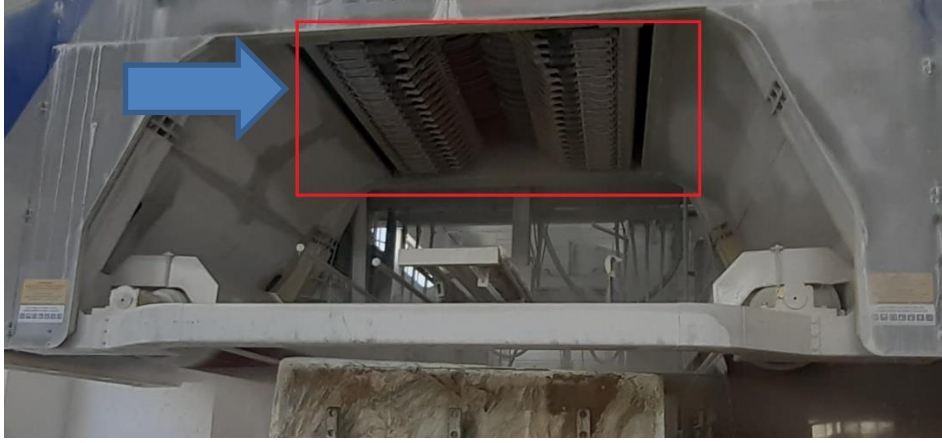


Şekil 1.16. Elmas telli katrağ üçgensel geometri bileşenleri (Hedel, 2024)

1.2.6.2. Elmas telli katrağ gergi sistemi

Her telin ideal gerginlikte çalışmasını ve kırılmalarının önlemesini sağlayan elmas telli katrağ, ayrı muhafazalı rulmanlı tamburlar ve hassas pnömatik silindirler sayesinde kesimin stabilitesini koruyan ayrı bir gerdirme sistemine sahiptir (Şekil 1.17).

Pnömatik merkez, basıncı ihtiyaca göre ayarlayarak, tellerin daha sert kayalarla karşılaştığında veya yetersiz kesme durumlarında geri çekilmesini ve/veya adaptasyonunu sağlamaktadır. Ayrıca, silindirler oksidasyonu önlemek ve zorlu şartlarda dayanıklılığı artırmak için alüminyumdan tasarlanmıştır. Mevcut hali ile geleneksel hidrolik sistemlerinin de ötesinde bir teknolojiye sahiptir (Hedel, 2024).



Şekil 1.17. Elmas telli katrak gergi sistemi

1.2.6.3. Elmas telli katrak aşağı-yukarı hareket sistemi

İki taşıyıcı kolon, bir çerçeve kutu şeklinde kaynaklı çelik sacdan yapılmıştır, kızak kılavuzları kaydırıcıların üzerinde kaydığı özel, değiştirilebilir çeliklerle kaplanmıştır (Şekil 1.18).

Hareket, trapez somun mili ve mil somunu aracılığıyla elde edilir. Aşağı-yukarı hareket 2 hidrolik silindir tarafından desteklenmektedir. Tüm kılavuz sistemi, somun dişi ve trapez diş mili bir gres sistemi ile yağlanabilmektedir. Kullanılan çift körük ile dış etkilerden korunmaktadır. Makine yapısı için geliştirilen servo motor ile 5 dakika da telin yukarı hareketi sağlanarak boşta kalma süresini azaltılmıştır (Hedel, 2024).



Şekil 1.18. Elmas telli katrak hareket sistemi kolonu

1.2.6.4. Elmas telli katrak tahrik ünitesi

Tahrik ünitesi 1.260 mm çapında, karbon çeliğinden yapılmış ve elmas tellerin hareketi ile çevirmeyi başlatan bir motor tarafından tahrik edilen tambur ile çalışmaktadır (Şekil 1.19). Bu sayede kablolar ve/veya teller arasındaki uzunluk farklarını telafi ederek poliüretan astarlardaki kaybın azaltılması ve ekipmanın dayanıklılığının artırılması sağlanmıştır (Hedel, 2024).



Şekil 1.19. Elmas telli katrak tahrik ünitesi (Hedel, 2024)

1.2.6.5. Elmas telli katrak gösterge paneli

Bulut tabanlı işletim veri izleme ve depolama sistemi ile Endüstri 4.0'a (IoT) uygun olarak tasarlanmış olan gösterge paneli bulunmaktadır. IoT sistemi sayesinde tüm verilere istenilen her zaman ve ortamda ulaşmak mümkün olmaktadır. 10,4 inç dokunmatik ekrana sahip olan panelin kullanımı basit olup, kesim işlemi sırasında önemli bilgiler (telin çevresel hızı, makinenin yukarı ve aşağı kaldırma hızı ve yönü, motor amperajı, çalışma saatleri ve sensörler tarafından tespit edilen olası hatalar) anlık takip edilebilmektedir (Hedel, 2024).

1.2.6.5. Elmas telli katrakların diğer bileşenleri

Elmas telli katraklar gelişmiş bir rulman teknolojisine (kendinden kayar burçlar) sahiptir. Elmas telli katraklarda kullanılan poliüretan astarlar hızlı değişime (sökme ihtiyacı olmadığından) imkân sağlamaktadır. Elmas tellerin kullanım ömrünü artırmak

için çok sayıda temizleme ve soğutma noktasına sahip bir yağlama ve soğutma sistemi bulunmaktadır. Kapalı şasesi sayesinde kesim sırasında su ve toza karşı koruma ve dayanıklılık sağlamaktadır. Elmas telli katarlar güvenliğin ve ergonominin ön planda tutulduğu şekilde tasarlanmıştır. Blok besleme/yükleme için üç farklı varyasyon seçeneği bulunmaktadır. Bunlar yandan besleme, önden besleme ile yandan beslemeli ve blok aktarmalı olarak belirtilmektedir (Hedel, 2024).

Literatürde yapılan çalışmalarda, Türkiye’de doğal taş blok kesme makinelerinin performanslarının farklı çeşitlerde örnekler ile incelendiği akademik çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda prototip katar imalinden, katar lamalarının aşınma dayanımına uzanan perdede geniş kapsamlı olarak değerlendirmelerin yapıldığı, ancak az sayıda özellikle enerji sarfiyatı üzerine çalışmaların olduğu anlaşılmaktadır.

Ersoy vd., (1999), doğal taş ürün maliyetlerinde kesici verimliliğinin etkisini incelemişlerdir. Kesilebilirlik analizi için; kesim özelliği, aşınma ve kayaç tipine bağlı özellikler ile belirlenmiş ve sonucunda kesici tasarım ve çalışma parametre etkileri açıklanmıştır. Butler-Smith vd., (1999), monotel kesme makinesinin granit kesiminde, çalışma koşulları ve kesim performansına etki eden parametreleri değerlendirmişlerdir. Bayram, (2002), farklı özelliklere sahip doğal taşların lamalı katarlarda kesim esnasında lamalarda meydana gelen aşınmada, doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinin etkilerini araştırmış ve kayaç özellikleri ile arasındaki ilişkileri tespit etmiştir. Bayram vd., (2003), lamalı katarlarda blok kesimi sırasında lamalı katar üzerinde bulunan elmas soketlerde oluşan aşınmalarda, kayaç özelliklerinin etkileri ile kesim performans verimliliğini incelemişlerdir. Lamalı katarlarda kesim esnasında kesim hızının lamalar üzerinde bulunan elmas soketlerdeki aşınmalara etkisinin yüksek olduğu, kesim hızının artırılması sonucunda da lamalar üzerinde bulunan elmas soketlerdeki aşınmanın arttığını belirlemişlerdir. Zhang vd., (2004), granit bloğunun monotel ile kesimi esnasında elmas tellerde meydana gelen aşınmanın, tel dönüş ve iniş hızıyla ilişkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, telde meydana gelen aşınma miktarının telin iniş hızı ile ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. Çimen, (2008), tarafından manuel ve otomasyonlu kesim yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmış ve enerji tüketimi ile ilgili incelemelerde bulunmuştur. Otomasyonlu kesim yöntemlerinde daha az enerjiyle manuel kesime göre aynı işin yapılabildiğini tespit etmiştir. Özellikle büyük boyutlu bloklarda kesim

esnasında otomasyon yetkinliğine sahip makinelerin, enerji tasarrufuna sahip olduğu ve bu sayede enerji maliyetlerinin azalacağı ve sürdürülebilirlik açısından olumsuz çevresel etkilerinin azaltılabileceğini de ortaya koymuştur. Caner vd., (2009), doğal taş bloklarının kesimi esnasında spesifik enerji faktörünü uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ve yapay sinir ağları yöntemleri ile tahmin edilmesini çalışmışlardır. Örnek uygulama veri setleri oluşturularak ANFIS (Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi) ve YSA (Yapay Sinir Ağları) sayısal metotlarıyla spesifik enerji faktörü hakkında tahminde bulunmuşlardır. İki koşul içinde ortaya konulan tahmin sonuçlarını karşılaştırarak yapay sinir ağları metodu ile daha yakın sonuç almışlardır. Eken, (2013), doğal taşları kesmek için prototip olarak laboratuvar ölçeğinde elmas soketli lamalı mermer blok makinesinin tasarımını ve prototip imalatını gerçekleştirmiştir. Prototip makinenin kesim performansını belirlemek için farklı çalışma koşullarında kesme deneyleri yapmıştır. Kesme deneylerinde geliştirilen tek tip elmas soketin üç farklı kayaç tipini kesiminde; güç tüketimi, kesme kuvvetleri, spesifik enerji, kesme sıcaklığı ve spesifik aşınmalar incelenmiştir. Yılmazkaya, (2013), bilgisayar programı tabanlı otomasyon temelli monotel kesim sistemi tasarımılandırmıştır. 8 adet doğal taş örneğinde aşınma, enerji sarfiyatı, titreşim ve tel üzerindeki kuvvetlere göre kesim optimizasyonlarını belirlemiştir. Ersöz, (2014), doğal taşlarda kesim işleminde katraklarda kullanılan elmas soketli lamaların kırılma davranışları farklı sayısal parametreler üzerinden deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Endüstride üretim amacı ile kullanılmış ve hasar görmüş elmas soketli lamaları örnek olarak kullanmış ve örnek olarak kullanılan elmas soketli lamalar üzerinde sertlik, mikro yapı ve çekme gibi farklı testler uygulamıştır. Dormishi vd., (2018), kesme işlemi sırasında tüketilen enerji miktarının, kayaçların yüzeysel özelliklerine göre değişkenlik gösterdiğini, kesme sırasında kullanılan bıçakların sayısı ve kesme hızları, enerji tüketimini doğrudan etkilediğini belirlemiştir. Kesim hızının artması, çoğu zaman enerji tüketimini artırırken, yüzey katsayısının yüksek olduğu kayaçlar için daha fazla enerji gerektiği tespit edilmiştir. Yurdakul, (2021), granit kesiminde çok bıçaklı blok kesicilerin kullanımının enerji tüketimine etkilerini incelemiştir. Özellikle granit gibi sert taşların kesimi sırasında bu makinelerin kullanımının, enerji maliyetlerini düşürdüğünü ortaya koymuştur. Shao vd., (2022), üç boyutlu blok kesiminde malzeme çıkarma işleminin optimizasyonuna yönelik stratejilerin ele alındığı çalışmada, kesim geometrisinin ve malzeme çıkarma stratejisinin doğru bir şekilde optimize edilmesiyle, taşın minimum kayıpla işlenebileceğini ve kesim sürecinin daha verimli

hale getirilebileceğini vurgulamıştır. Üç boyutlu kesim teknolojilerinin kullanımının, daha hassas kesimlerin yapılmasında avantaj sağladığını belirtmiştir. Satı, (2024), dairesel testereli blok kesim makinesi ile klasik lamalı katrak blok kesim makinesinin performanslarını karşılaştırmıştır. Katrak kesim performansının alansal levha üretimi açısından dairesel testereli blok kesim makinesine oranla 3 kat daha yüksek performans sergilediğini ayrıca fiziksel-mekanik özellikler açısından oluşturulan ikili kombinasyon regresyon analizleri sonucunda da dairesel testereli blok kesim makinesi ile tek eksenli basınç dayanımı arasında, lamalı katrak makineleri ile de schmidt çekici sertliği arasında güçlü bir ilişki olduğunu vurgulamıştır.

Literatür araştırmaları, bu tez çalışmasının yöntem ve metot olarak alt yapısını oluşturacak olan çok kriterli karar verme tekniklerinden birisi olan ENTROPİ temelli TOPSİS yöntemi bakımından ele alındığında, mevcut çalışmalarda genel olarak maden sahalarının nitel ve nicel özellikleri gözetilerek çok kriterli karar verme teknikleri kullanılmak suretiyle, maden sahalarında uygulanacak olan üretim ve hazırlık yöntemlerinin seçimi, nakliye işlerinde kullanılacak makine ve ekipman seçimi, yeraltı işletme yöntemi ile çalışılan maden sahalarında havalandırma yöntemleri ve ekipmanlarının seçimi, yeraltı suyunun ortamdan uzaklaştırılması için kullanılacak ekipman seçimine, işletme güvenliğinin sağlanması amacıyla kullanılacak tahkimat ekipmanlarının seçimine yöneliktir. Ancak, çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak elmas telli katrak makinesinin ve lamalı katrak makinesinin çalışma koşulları ile ilgili çalışmanın sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında farklı özellikteki doğal taşlarda, levha yüzey kalitesi, soket/lama ömrü, enerji sarfıyatı, su tüketimi ve kesme hızı sayısal parametreleri değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar sayesinde doğal taş işletmeciliği alanında yapılan akademik çalışmalardan konusu itibari ile ayrılarak özgün bir çalışma olarak düşünülmektedir. Oluşturacağı sektörel farkındalık sayesinde de sektör işletmecilerinin yatırımlarında değerlendirme için esas alabileceği ve akademik çalışmalar ile araştırma-geliştirme faaliyetlerinde örnek alınabilecek bir çalışma olarak yaygın bir etkiye sahip olacağı düşünülmektedir. Ayrıca literatürde daha önce yeteri kadar değinilmemiş olan bu konuda yapılacak olan çalışmalara katkı sağlaması ve farklı bir bakış açısı kazandırılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Doğal taş işleme tesislerinde üretim süreçlerinde blok kesimi için çeşitli özelliklerde blok kesim makineleri bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında gerçek zamanlı sayısal veriler Burdur 2. Organize Sanayi Bölgesinde yer alan 2022 yılında tam kapasite faaliyete geçen ve ayrıca Türkiye'nin ilk doğal taş paver fabrikası ünvanına sahip olan işletmeden elde edilmiştir. Bu tesiste, 1,2, 1,5, 2 ve 3 cm kalınlığa sahip levha olarak işlenmiş ürün elde edilmektedir. Tesis bünyesinde blok kesiminde 14 adet yerli imalat 75 bıçaklı lamalı ktrak makinesi, 2'si 76 telli ve diğeri 44 telli olmak üzere toplam 3 adet ithal elmas telli ktrak makine bulunmaktadır.

2.1.1. Kullanılan lamalı ktrak ve elmas telli ktrak makineleri

Bu tez çalışmasında yer alan veriler gerçek zamanlı ve endüstriyel olarak gerçek ölçütlü lamalı ktrak ve elmas telli ktrakta yapılan kesimler sonucunda elde edilmiştir. Söz konusu makinelerden lamalı ktrak Afyonkarahisar ilinde bir makine üreticisi tarafından imal edilmektedir.

Elmas telli ktrak ise Güney Amerika ülkelerinden olan Brezilya'nın güney kısmında yer alan Santa Catarina eyaletinin Agrolândia şehrinde faaliyetlerini yürüten bir makine üreticisi tarafından imal edilmektedir.

Söz konusu sayısal verilerin toplandığı fabrikada ilk kurulum aşamasında blok kesim makinesi olarak sadece lamalı ktrak ve elmas telli ktrak tercih edildiği belirlenmiştir. Plaka kesim yapılmasına imkân sağlayan ancak üretim maliyeti yönünden verimliliğin düşük olduğu dairesel testereli blok kesim makinesinin ise kurulumunun yapılmadığı görülmektedir.

Doğal taş işletmelerinden çıkartılan blokların oluşumlarından kaynaklanan doğal çatlakları sebebi ile, işleme esnasında kesim fire kayıpları yüksek olabilmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte blok verimliliğini artırmaya yönelik çalışmaların yapılması zorunlu olmuştur. Bu sebepten yola çıkan kimyasal ürün tedarikçileri

tarafından blokların güçlendirmesine yönelik çok sayıda araştırmalar yapılmıştır ve yüksek akışkan özellik gösteren epoksi reçineler sayesinde kılcal çatlaklara sahip blokların kesim verimliliğinin arttığı tespit edilmiştir. Özellikle son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Gökdemir, 2010).

Bu işlem sırası ile öncelikle doğal taş bloklarının çamur ve tozdan arındırılması sonrasında epoksi reçinesi ve blok güçlendirme filesi ile kullanılmaktadır. Genellikle cam elyaf özellikli fileler blok güçlendirme işleminde uygulanmaktadır. Elyaf üzerindeki kaplamanın epoksi ile tam bir temas halinde olması gerekmektedir. Aksi durumda file yapışmadan kalkmaktadır (Gökdemir, 2010). Bloкта doğal çatlakların yoğun olması durumunda ise ilave dört köşe fileleme işlemi yapılmaktadır (Şekil 2.1).

Son yıllarda giderek yaygınlaşan blok güçlendirme yöntemleri sayesinde günümüzde blok kesiminde katrak makinelerinin kullanımı daha da artmıştır. Blok güçlendirme yöntemlerinin gelişmesine bağlı olarak doğal taş işleme tesisinde sadece levha üretimi için lamalı ve elmas telli katraklar kullanıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 2.1. Epoksileme-fileleme işlemine tabi tutulmuş kalsitli mermer blok

2.1.1.1. Lamalı katrakların teknik özellikleri

Afyonkarahisar ili, İscehisar ilçesinde kurulu halde faaliyetlerini sürdüren bir makine imalatçısı tarafından 75 lamalı katrak modeli DK-75L ticari ismi ile seri üretim yapılmaktadır.

Kesim esnasında lamaların bloğa verdiği sarsıntı, 60 cm lama hareket mesafesi sayesinde en alt seviye olarak minimize edilmiştir. Bu sayede kesimi yapılan bloğun içinde bulunan doğal çatlak yapıların birbirinden ayrılması asgari düzeye indirilmiştir.

Kesilecek olan doğal taş bloğu; vagon üzerinde makineye yürüme zemininde beslenmekte ve sabitlenmektedir. Bu sayede blok içindeki çatlaklardan oluşabilecek kırılmalara müdahale ergonomik çalışma koşullarının ve iş veriminin sağlanmasına katkı sağlamaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Verilerin alındığı 7 nolu lamalı katraç makinesi

Katrağın bileşeni olan standart hidrolik gergi sistemi tasarımı ile 2 ve 3 cm kalınlıkta levhalar elde etmek mümkün hale getirilmiştir. Bu hususa ilave olarak söz konusu makinede benzerlerinden ayrı olarak standart hidrolik gergi sisteminde ölçü takozları değiştirilerek minimum 1,6 cm kalınlıkta levhalar elde edilebilmektedir. İsteğe bağlı olarak ise tüm hidrolik gergi sistemi ve maşa takımı değiştirilerek minimum 1,2 cm kalınlıkta levhalar da elde edilebilmeye imkân sağlanmıştır.

Güçlü konstrüksiyonu sayesinde makine kurulumunda gerekli olan temel betonun maliyeti açısından en ekonomik katraç modeli olarak gösterilmektedir. Ayrıca düşük enerji maliyeti ile de ön plana çıkmaktadır. Çalışmada kullanılan katraç makinesinin teknik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Lamalı katrak makinesinin teknik özellikleri

Kesilebilir Blok Boyu	cm	320
Kesilebilir Blok Yüksekliği	cm	205
Kesilebilir Blok Genişliği	cm	185
Çalışma Saha Boyu	cm	1600
Çalışma Saha Eni	cm	550
Çalışma Saha Yüksekliği	cm	400
Makine Toplam Ağırlığı	kg	37.500
Devir Sayısı	d/d	92
Testere Lama Hareketi	mm	600
Testere Lama Boyu	mm	4200
Su Sarfıyatı	lt/dk	750
Ana Hareket Motor Gücü	kW/HP	90 /125
Kesme Motoru	kW/HP	0,75/1
Vagon Hareket Motoru	kW/HP	1,5 /2
Kasa İndirip Kaldırma Motoru	kW/HP	3/4
Tahrik Kol Uzunluğu	m	7

Makinede bulunan katrak laması ise yine Afyonkarahisar ili, Merkez ilçesi sınırları dahilinde Organize Sanayi Bölgesinde doğal taş, inşaat ve metal sektörleri için elmaslı kesme-işleme alet ve ekipmanları üreten yerli bir üretici firmadan tedarik edilmektedir (Hartek, 2021).

Yapılan çalışmada elde edilen sayısal veriler sabit olarak 20 cm/h kesim hızı değeri ile toplanılmıştır. Makine üzerine takılan lama soketleri ile ilgili olarak, lama segment dizaynı 5,1-4,5 x 8 x 20 mm soket ölçülerinde 28 soketli olacak şekilde tasarlanmıştır. Lama boyu 4,20 m, saç kalınlığı ise 3 mm ve genişliği 18 cm olarak lamalar üretilmektedir. Dizilim yapılırken başta ve sonda 65 cm boşluk bırakılıp kalan aralığa 28 adet soket gümüş kaynak teli ile kaynatılmaktadır. Soket aralıkları, 1/3'lük kısımda aralıklar 12 cm, 1/3'lük kısımda 8cm, 1/3'lük kısımda 12 cm aralık bırakılacak şekilde tasarımcısı tarafından belirlenmiştir. 28 soketli bir adet lamanın ortalama 850 m² kesim yapabileceği teorik olarak üretici firma tarafından hesaplanmıştır.



Şekil 2.3. Verilerin alındığı 7 nolu karak lama segment dizilimi

Lama saclarının kimyasal içeriğinde ise çeşitli oranlarda karbon, silisyum, mangan, krom bulunmaktadır. Farklı ürün grupları için molibden, vanadyum, nikel kimyasal içeriğine sahip saclarda üretilmektedir (Bestar, 2024)

2.1.1.2. Elmas telli karakların teknik özellikleri

Gerçek zamanlı sayısal verilerin alındığı Brezilya menşeli yüksek kesim hızına sahip elmas telli karakta yapılan çalışmada 1,6 m/h kesim hızına kadar ulaşıldığı görülmüştür. Yapılan çalışmada ise elde edilen sayısal veriler 80 cm/h kesim hızı sabit tutularak kayda alınmıştır.

Elmas telli karak, tasarımına bağlı olarak yüksek kesim hızına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. 7,3, 6,3 ve 5,3 mm çaplı tellere sahip olacak şekilde 15’den 76’ya kadar farklı tel sayılarında makineler üretilmektedir. Verilerin alındığı elmas telli karak makinesi ise 6,3 mm çaplı tele sahip olan 76 telli MH76- V6 modelidir (Şekil 2.4). Veri depolama sistemine sahip olan bu makine uzaktan izlemeye de imkân sağlamaktadır.



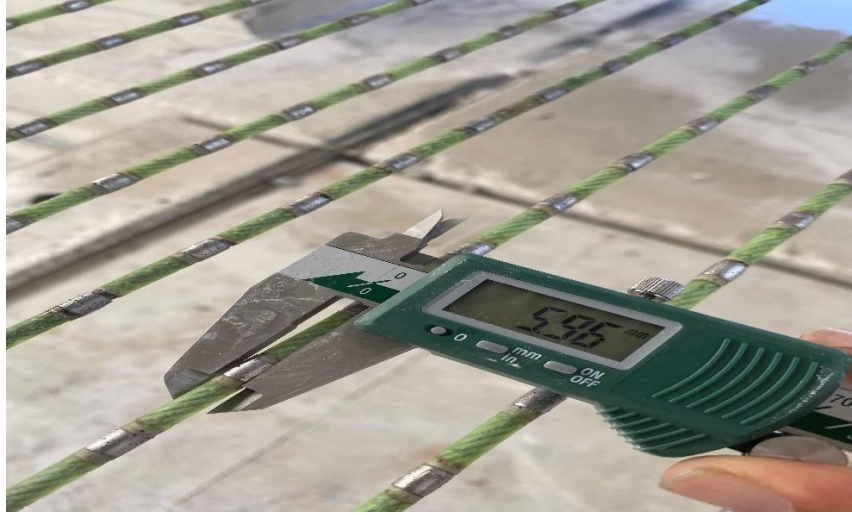
Şekil 2.4. Verilerin alındığı 76 telli 1 nolu elmas telli katraş makinesi

Çalışmada kullanılan elmas telli katraşın teknik özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Elmas telli katraş makinesinin teknik özellikleri

Kesilebilir Blok Genişliği	cm	350
Kesilebilir Blok Yüksekliği	cm	220
Tambur Genişliği	mm	2120
Tel Gerilimi	kg	180
Çevresel Hız	m/h	23/35
Tel Uzunluğu	m	20
Motor	CV	300/500
Yüklenen Güç	KVA	278/449
Makine Uzunluğu	m	6,5
Makine Genişliği	m	10
Makine Yüksekliği	m	7,1
Ağırlık	Ton	57
Su Sarfıyatı	lt/dk	1140

Makinede kullanılan elmas boncuklu teller ise yine lama katraş üreten firma tarafından tedarik edilmektedir. Söz konusu firma 4,3 mm elmas boncuk çapına kadar plastik (mühendislik plastikleri) kaplı elmas boncuklu tel üreten tek yerli firma olarak faaliyetlerine devam etmektedir (Şekil 2.5) (Hartek, 2021).



Şekil 2.5. Verilerin alındığı elmas telli katraş makinesindeki elmas boncuk dizilimi

Söz konusu makine üzerinde bulunan plastik kaplı tellerde kullanılan elmas boncuklar sinterize olarak üretilmektedir. Bu sinterize boncuklar çelik halat üzerine 1 metrede 37 adet olacak şekilde dizilmektedir. Makine üzerinde yer alan telin boyu ise 20 metredir. 20 metre tel üzerinde 740 adet boncuk dizili halde yer almaktadır. Üreticileri tarafından makinede halatın iki ucu birbirine geçirilmesi sayesinde tel sonsuz hale getirilmiştir.

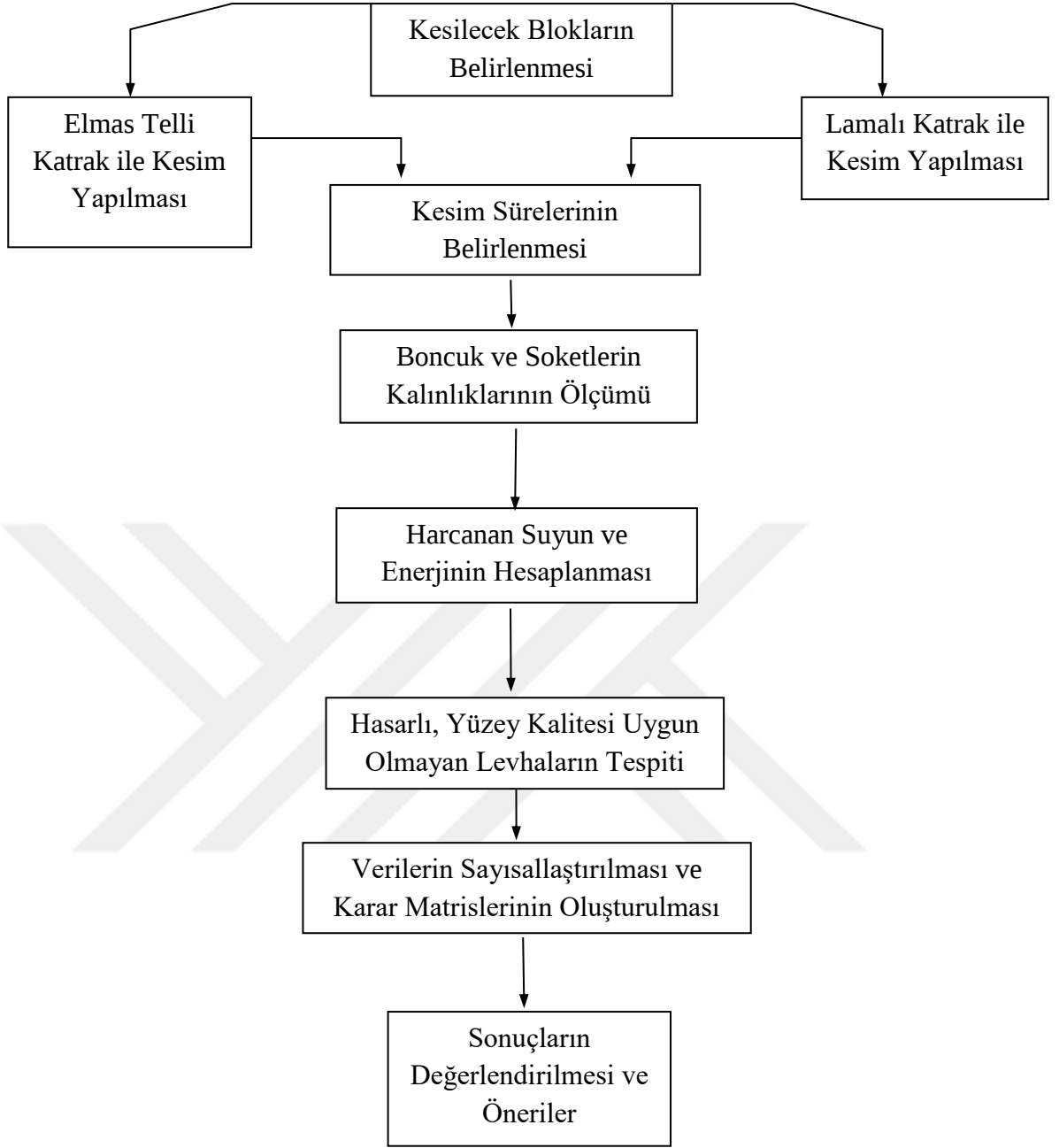
Tel boncuk, aralarında yaylanma ve stabilizasyonu sağlamak için mühendislik plastikleri (poliamid, keşamid, polietilen, polipropilen, polivinil klorür vb) ile kaplanmış halde bulunmaktadır. Mühendislik plastikleri özellikle ısıya dirençli plastikler grubu olarak tanımlanmaktadır (Koç, 2011). Doğal taş ocaklarında kullanılan yaylar ile dizilmiş olan tellerden farklı olarak (mühendislik plastikleri teknik terimi ile anılan) bu plastik kaplamalar yaylı ocak tellerinde yayın çalışma prensibine benzer şekilde elmas boncuğun sabitlenmesine imkân sağlamaktadır. Burada en önemli husus elmas boncuğun makinenin yüksek performansına uygun koşullarda kusursuz çalışmasını sağlamak olarak gösterilmektedir. Telin boncuk çapı 6,3 mm, halat çapı 3,2 mm ve plastik kaplama 1,3 mm çapındadır. Kimyasal yapısı farklı oranlarda demir, nikel, kobalt, bakır ve kalay alaşımdan oluşmaktadır. Matriks yapısı 40/50-50/60 mesh klavuz elmaslardan oluşmaktadır. Halat kısmı ise galvaniz kaplı 7x7 sarım sayısında halatlardan meydana gelmektedir. Teorik olarak 2 m/h kesim hızına kadar çıkabilmektedir. Elmas telin teorik ömrü ise 6,3 mm çaplı boncuk için 1 metre telde ortalama 50 m² kesim yapılmaya imkân sağladığı belirtilmektedir.

2.2. Metot

Doğal taş işletmeciliğinde uzun yıllardır blok kesimlerinde katraş makineleriyle levha üretimi yapılmaktadır. İlk olarak lamalı katraş makinaları kullanılarak levha üretimi yapılırken teknolojinin gelişmesiyle beraber doğal taş işleme tesislerinde elmas telli katraş makineleri kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde doğal taş ürünlerine artan talepler neticesinde yeni ocaklar ve fabrikalar açılmaktadır. Artan piyasa talebine uygun şekilde ürün arzı sağlayabilmek için üretimi artırmak gerekmektedir. İşletmeler üretimi artırmak amacı ile levha üretimine imkân sağlayan elmas telli katraş makineleri ve lamalı katraş makineleri kullanmaktadırlar.

Bu tez çalışması kapsamında doğal taş işleme tesislerinde kullanılan makinelerde blok kesiminde enerji sarfiyatı, kesme hızı, levha yüzey kalitesi, su tüketimleri ve boncuk/soket ömrü gibi parametreler aşağıdaki akım şeması izlenerek belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Çalışma kapsamında izlenen akım şeması

2.2.1. Kesilecek blokların belirlenmesi

Çalışma kapsamında ilk olarak kesilecek bloklar belirlenmiştir. Gerçek zamanlı piyasa beklentileri ile faaliyetlerin yürütüldüğü doğal taş işleme tesisinde seçilen bloklar pazar talepleri çerçevesinde değerlendirmeye alınmıştır. Blok boyutları kesim performansları değerlendirileceğinden kesimi sağlanan blokların lamalı katrak ve elmas telli katrakta boyut eşleniği göz önünde bulundurularak kesimine önem

verilmiştir. Ölçümler en, boy ve yükseklik olarak yapılmış ve elde edilen veriler bulgular kısmında verilmiştir.

Çalışma kapsamında farklı özellikte 5 tür doğal taş seçilmiş ve kayaç özellikleri incelenmiştir. Doğal taşlar ile ilgili elde edilen veriler bulgular kısmında verilmiştir.

2.2.2. Elmas telli katraş makinesinde kesim yapılması

Yüksek kesim hızına sahip elmas telli katraş makinesinde yapılan blok kesimlerinde kesim hızı sabit tutularak 80 cm/h olarak belirlenmiştir. Elmas telli katraş makinesinde yapılan farklı blok kesimlerinde kesim hızı talep doğrultusunda artırılabilmekte veya azaltılabilmektedir. Ancak bu tez çalışmasında verilerin sağlıklı şekilde analiz edilebilmesi için saatlik kesim hızı tek bir değer olarak tercih edilmiştir.

2.2.3. Lamalı katraş makinesinde kesim yapılması

Lamalı katraş makinesinde yapılan blok kesimlerinde kesim hızı sabit tutularak 20 cm/h olarak belirlenmiştir. Lama hareket mesafesine göre lamalı katraş makinelerinde mesafe arttıkça kesim hızı artmaktadır. Örneğin 1000 mm'lik hareket mesafesine sahip bir lamalı katraşta kayacın özelliklerine göre kesim hızı daha da artmaktadır. Doğal taş işleme tesisinde lamalı katraş makinesinde yapılan kesimlerde genellikle 18 cm/h ve 20 cm/h hızda blok kesimi yapıldığı görülmüştür. Ancak bu tez çalışmasında verilerin sağlıklı şekilde analiz edilebilmesi için saatlik kesim hızı tek bir değer olarak tercih edilmiştir.

2.2.4. Kesim sürelerinin belirlenmesi

Kesim sürelerinin belirlenmesi amacı ile blok kesimlerine başlangıç saati ve bitiş saatleri tespit edilerek kayda alınmıştır. Elde edilen veriler bulgular kısmında verilmiştir. Ayrıca sürelerin belirlenmesinde lamalı katraş makinesinde kesim süresine bağlama süresi (levhaların kırılmaması için destekleme işlemi) eklenerek toplam kesim süresi belirlenmiştir.

2.2.5. Boncuk ve soketlerin kalınlıklarının ölçümü

Elmas telli katrak makinesinde blok kesim işleminin başlangıcında ve bitiminde elmas soketlerin çapları ve/veya kalınlıkları kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Tel üzerinde yer alan elmas boncuklar ölçülürken farklı tellerden ölçüm alınarak ortalama değerler alınmıştır. Benzer şekilde lamalı katrak makinesinde blok kesim işleminin başlangıcında ve bitiminde lama soket kalınlıkları kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Lama soket kalınlığının ölçümünde farklı bıçaklardan ölçüm alınarak ortalama değerler hesap edilmiştir. Elde edilen veriler bulgular kısmında verilmiştir.

2.2.6. Enerji sarfiyatının hesaplanması

Katrakların kesim işlemi esnasında harcadıkları toplam enerji miktarı makinelerin üzerinde bulunan motor güçleri dikkate alınarak, makinenin kesim boyunca çalışma süresi göz önünde tutularak hesaplanmış ve elde edilen veriler bulgular kısmında verilmiştir.

2.2.7. Su sarfiyatının hesaplanması

Katrakların kesim işlemi esnasında harcadıkları toplam su miktarı makinelere dakikada beslenen su miktarı dikkate alınarak, makinenin kesim boyunca çalışma süresi göz önünde tutularak hesaplanmış ve elde edilen veriler bulgular kısmında verilmiştir.

2.2.8. Hasarlı, yüzey kalitesi uygun olmayan levhaların tespiti

Katraklarda kesim işlemi sonrasında çıkan levhalarda oluşabilen dalgalanmalar, kamburluklar, çatlaklar veya levha yüzeyinde oluşabilen olumsuz durumlar dikkate alınarak, hasarlı levha sayıları belirlenmiş ve elde edilen veriler bulgular kısmında verilmiştir.

2.2.9. Verilerin sayısallaştırılması ve karar matrislerinin oluşturulması

Elmas telli katrağ ve klasik lamalı katrağtan alınan veriler bilgisayar ortamına aktararak sayısallaştırılmış ve elde edilen karar matrislerine göre hesaplamalar yapılmıştır. Oluşturulan matrisler ve hesaplamalar bulgular kısmında verilmiştir. Söğ konusu matrislerin elde edilmesinde kullanılan yöntem ise aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

2.2.9.1. Çok kriterli karar verme yöntemleri

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri birçok alanda ve sektörde uygulanmakta olan karar verme süreçlerinde belirlenen kriterler arasından en iyi alternatifi seçmek için değerdendirilmektedir. Bir başka ifade ile, ÇKKV çok sayıdaki kriterlere göre alternatiflerin avantaj ve dezavantajlarını değerdendiren analitik yöntemler topluluğı olarak gösterilmektedir. ÇKKV problemleri karar amacına göre; seçim, sınıflandırma ve sıralama olarak ayrılmaktadır. ÇKKV yöntemleri, kriterlerin ağırlıklandırılması ve alternatiflerin değerdendirilmesi için kullanılmaktadır. Kriterlerin ağırlıklandırılması objektif ve subjektif olarak iki şekilde gerçekteştirilmektedir. Bu ağırlıklandırma yollarından sübjektif ağırlıklandırma karar vericinin değerdendirmelerini içerirken, objektif ağırlıklandırmada ise alternatiflerin elde bulundurduğı nicel özellikler yer alır ve objektif ağırlıklandırma yöntemlerinden birisi de Entropi yöntemi olarak gösterilmektedir (Tunç, 2020). Bu tez çalışmasında, kritiklerin ağırlıklandırılması için kullanılan Entropi yöntemi ve alternatiflerin seçimi/sıralaması için kullanılan TOPSİS yöntemleri üzerinde durulmuştur.

2.2.9.1.1. Entropi uygulaması

Entropi kavramı ilk kez Rudolp Clausius tarafından 1865 yılında ortaya atılmıştır. Shannon tarafından geliştirilmiş olup uygulamada en çok kullanılan yöntem olarak bilinmektedir. Karar mercinin tercihini etkilemeden karar matrisine bağı olarak ağırlık tahsisi için tarafsız bir yöntem olarak geliştirilmiştir (Yılmaz, 2020). Entropi yönteminin güçlü yönü karar vericilerin değerdendirmelerine gerek duymadan alternatiflere ilişkin bilgiler ele alınarak daha objektif ve belirgin bir analiz yapılabilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan ve karşılaştırılan elmas tel ktrak makinesinin yeni olması ve piyasada her fabrikada bulunmaması sebebiyle subjektif bir değerlendirme yapılabilmesi söz konusu değildir. Bu yüzden objektif değerlendirme yöntemleri arasından en çok kullanılan yöntemlerden biri olan Entropi yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

Entropi yöntemi aşağıda belirtildiği şekilde 5 adımdan oluşmaktadır (Tunç, 2020; Keleş, 2023; Öncül, 2023).

1. Aşama: Karar matrisinin oluşturulması;

Kriterlere ilişkin ağırlıklandırma yapılırken ilk aşama karar matrisinin oluşturulmasıdır. Karar matrisinde C kriterler olmak üzere $m \times n$ boyutlu bir matris (1.1) eşitliğindeki gibi gösterilmektedir.

$$[C_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & C_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.1)$$

C_{ij} ; verilen fayda değerler

i ; alternatifler

j ; kriterler

m ; karar alternatif sayısı

n ; kriter sayısı

2. Aşama: Normalizasyon işleminin yapılması;

Kriterlere ait farklı ölçü birimlerindeki tutarsızlıkları ortadan kaldırmak ve her bir kriterin değerini 0 ile 1 arasında standart entropi ölçüsü ile objektif ağırlığını bulmak için normalizasyon işlemi yapılmaktadır (Eşitlik 1.2 ve Eşitlik 1.3).

$$p_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^j C_{ij}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (1.2)$$

P_{ij} ; normalize edilmiş değerler

Normalizasyon işlemi sonucunda;

$$[P]_{m \times n} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{m1} & P_{m2} & P_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

3. Aşama: Kriterlere ilişkin entropi değerleri hesaplanması;

Eşitlik (1.2) kullanılarak normalize karar matrisinde yer alan kriterlerin ENTROPİ değerleri Eşitlik (1.4) ile hesaplanmaktadır.

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \cdot \ln p_{ij}, \quad k = \frac{1}{\ln(m)} \quad (1.4)$$

k: entropi katsayısı $0 \leq e_j \leq 1$

e_j : entropi değeri

4. Aşama: Farklılaşma dereceninin d_j hesaplanması;

Her bir kriterin farklılaşma derecesi (d_j) Eşitlik (1.5)'te gösterilmektedir.

$$d_j = 1 - e_j \quad (1.5)$$

d_j ; karşıtlık yoğunluğu

5. Aşama: Entropi kriter ağırlıklarının elde edilmesi;

Kriter ağırlıklarının hesaplanması ENTROPİ yönteminin son aşamasıdır. Eşitlik (1.5)'te hesaplanan farklılaşma derecesini toplam farklılaşma derecelerine bölerek ağırlık elde edilmektedir (Eşitlik 1.6).

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (1.6)$$

w_j ; önem derecesi

Sonuç olarak entropi yöntemi ile karar matrisinde bulunan n kriter için ağırlıklar hesaplanmaktadır. Bu ağırlık değerleri TOPSİS yönteminde girdi olarak kullanılmaktadır.

2.2.9.1.2. TOPSİS uygulaması

TOPSİS yöntemi Yoon ve Hwang (1981) tarafından ortaya konulmuştur. TOPSİS yöntemi nitel bir çevrim yapılmaksızın, direkt veri üzerinde uygulanabilmektedir. TOPSİS sürecinde kriter değerleri ve kriter önem ağırlıkları sayısal değerlerdir (Çakıl, 2017).

TOPSİS yönteminin uygulanmasında takip edilen aşamalar şu şekilde sıralanmıştır (Tunç, 2020; Yılmaz, 2020):

- i. Karar matrisinin oluşturulması
- ii. Sırasıyla normalleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış karar matrislerinin hesaplanması,
- iii. Pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerin tespit edilmesi,
- iv. Tüm alternatiflere ilişkin pozitif ideale ve negatif ideale olan uzaklıkların belirlenmesi,
- v. Tüm alternatifler için yakınlık değerleri ve puan hesaplamalarının yapılması,

vi. Puanlara göre tercihlerin sıralanması

Kısacası bir alternatif ideal alternatife yaklaştıkça değeri de 1'e yaklaşmaktadır.

1. Aşama: Karar matrisinin oluşturulması;

Karar verici tarafından oluşturulan karar matrisinde alternatifler ve kriterler yer almaktadır (Eşitlik 1.7).

$$[A_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.7)$$

A_{ij} ; mevcut performans

i ; alternatifler m ; karar alternatif sayısı

j ; kriterler n ; değerlendirme kriter sayısı

2. Aşama: Normalize edilmiş karar matrisinin ağırlıklandırılması;

Karar matrisindeki kriterlere ait değerlerin kareleri toplamının karekökü alınarak matrisin normal hale getirilmesi sağlanır. Normalize karar matrisinin bir elemanı " r_{ij} " ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 1.8).

$$R_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{ij})^2}} \quad (1.8)$$

R_{ij} ; normalize edilmiş karar matrisi

3. Aşama: Ağırlıklık standart karar matrisinin oluşturulması;

Daha önceden belirlenmiş veya başka bir teknik ile hesaplanmış olan kriter ağırlıkları matrisi ile daha önceden elde edilmiş olan normalize matris çarpılır (Eşitlik 1.9).

$$V_{ij} = R_{ij} \times w_{ij} \quad (1.9)$$

W_{ij} ; ağırlık değerleri

Eşitlik (1.9)'da belirtilen w ağırlık değeri farklı yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada ENTROPİ yöntemi ile w ağırlık değerleri bulunmuş ve kullanılmıştır.

4. Aşama: Pozitif ve negatif ideal çözümlerin oluşturulması;

Bu aşamada pozitif ve negatif ideal çözümlerin elde edilmesi için ağırlıklandırılmış matriste her bir sütunda yer alan maksimum ve minimum değerler aşağıdaki şekilde hesaplanarak tespit edilir (Eşitlik 1.10 ve Eşitlik 1.11).

$$A^+ = \{x_1^+, x_2^+, x_3^+, \dots, x_k^+\} \text{ (Maksimum Değer)} \quad (1.10)$$

$$A^- = \{x_1^-, x_2^-, x_3^-, \dots, x_k^-\} \text{ (Minimum Değer)} \quad (1.11)$$

A^+ ; pozitif ideal A^- ; negatif ideal

5. Aşama: Maksimum ideal noktaya olan uzaklık değerlerinin hesaplanması;

Her bir sütundaki maksimum ideal çözüm değerleri ve minimum ideal çözüm değerleri seçilerek alternatiflerin pozitif ideal (S_i^+) çözümünden ve negatif ideal (S_i^-) çözümünden mesafesi hesaplanır (Eşitlik 1.12 ve Eşitlik 1.13).

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (1.12)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (1.13)$$

S_i^+ ; pozitif ideal çözüme uzaklık S_i^- ; negatif ideal çözüme uzaklık

6. Aşama: İdeal çözüme yakınlık değerlerinin hesaplanması ve sıralaması;

Negatif ideal çözüm değeri ile pozitif ideal çözüm değeri kullanılarak her bir alternatifin göreceli sıralaması aşağıdaki C^{*i} değeri ile bulunur (Eşitlik 1.14).

$$C^{*i} = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (1.14)$$

C^{*i} ; ideal çözüme göreceli yakınlık değeri

C^* değerleri $[0,1]$ aralığında değerler alır. Hesaplanan C^* değerinin büyük olması ise o alternatifin o kadar fazla tercih edildiğini ifade etmektedir (Çakıl, 2017).

2.2.10. Sonuçların değerlendirilmesi ve öneriler

Son aşama olarak, çalışma boyunca elde edilen veriler ışığında oluşturulan matrisler sayesinde elmas telli ktrak ve klasik lamalı ktrak makinelerinin kesim performansları karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

3. BULGULAR

Doğal taş işleme tesisi yatırımlarının gelişi güzel yapılmaması, belirli bir plan dahilinde yapılması firmaların sürdürülebilir ekonomik kalkınmasında ilk kuraldır. Türkiye'nin işlenmiş doğal taş ihracatı blok ihracatına oranla daha fazla olsa da yaygın katma değerli üretim açısından henüz istenilen seviyeye ulaşamamıştır. Özellikle, blok olarak yapılan ihracat miktarının azaltılarak daha katma değerli işlenmiş ürünün ihraç edilmesi ülke ekonomisine önemli katkı sağlayacaktır. Ancak yatırım ve işletme maliyetlerinin, ocaktan blok olarak sevk edilmesine oranla daha yüksek olması sebebi ile doğal taş işleme tesisine sahip firmaların ekonomik ve verimli çalışma koşullarını işletmelerinde uygulamaya koyması zorunluluktur. Bu nedenle, ENTROPİ temelli TOPSİS yöntemi kullanılarak hazırlanan bu tez çalışmasında, ihracat potansiyeli yüksek doğal taşlardan elde edilen veri ve bilgiler ile özgün değerlere ulaşmaya çalışılmıştır. Bununla birlikte, lamalı katraş ve elmas telli katraş arasında optimum seçim şartları belirlenmesi sayesinde ilk yatırım maliyeti değerlendirmesinden, enerji ve işçilik giderlerinin azaltılmasına uzanan süreçte doğal taş işleme tesisine sahip olan firmaların kendi faaliyetlerinde değerlendirme yapmalarına açık olarak katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Bu bölümde Dolomit, Kireçtaşı, Mermer, Kalsitli Mermer ve Limra gibi sedimanter ve metamorfik kökenli 5 farklı kayaş türü için elmas telli ve lamalı katraşlarda kesim performans özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan yerinde ölçüm, deneysel ve istatistiksel analiz çalışmalarından elde edilen bulgular verilmiştir.

Doğal taşlara ait fiziksel-mekanik özellikler, kimyasal analizler ve minerolojik-petrografik tanımlamalar ilgili standartlara göre Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğal Taş Analiz Laboratuvarında firma tarafından yaptırılmış ve Çizelge 3.1-3.4'te verilmiştir. Bu özellikler herhangi bir kırık-çatlak içermeyen sağlam numuneler üzerinde belirlenmiştir. Kesilen blokların ticari isimleri kullanılmayarak jeolojik oluşumlarına bağlı olarak kullanılan kayaş isimlendirmelerine göre; Dolomit, Kireçtaşı, Mermer, Kalsitli Mermer ve Limra olarak belirtilmiştir.

Dolomit bloklarının çıkarıldığı doğal taş ocağı, Isparta ili, Aksu ilçesi, Karacahisar köyü sınırları içerisinde yer almaktadır. Ruhsat sahasına mücavir farklı firmalara ait

doğal taş ocaklarının mevcut olduğu bölge, doğal taş potansiyeli ile son dönemde öne çıkmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Katrakta kesilmiş dolomitin görünümü

Kireçtaşı bloklarının çıkarıldığı doğal taş ocağı, Konya ili, Beyşehir ilçesi, Huğlu mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Doğal taş maden işletmeciliğinin yapıldığı ocakta işlenmiş halde 4 farklı seleksiyonda ebatlı ürün ile faaliyetlere devam edilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Katrakta kesilmiş kireçtaşının görünümü

Mermer bloklarının çıkarıldığı doğal taş ocağı, Aydın ili, Karacasu ilçesi, Yazır mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. 2023 yılında üretime başlayan doğal taş

ocağı mevcut desen ve dokusu ile İtalya'nın Carrara bölgesinde bulunan sektörde adından söz ettiren “Calacatta” ticari ismi ile dünya pazarında kendine yer edinen doğal taşın muadili olarak gösterilmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Katrakta kesilmiş mermerin görünümü

Kalsitli Mermer bloklarının çıkarıldığı doğal taş ocağı, Konya ili, Hüyük ilçesi, İmrenler mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. 2022 yılında üretime başlanılan doğal taş ocağında farklı desenlere sahip blok halinde doğal taş çıkarılmakta ve sektörün beğenisine ham blok veya kesilip parlatıldıktan sonra ebatlı ya da levha olarak sunulmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Katrakta kesilmiş kalsitli mermerin görünümü

Limra bloklarının çıkarıldığı doğal taş ocağı, Antalya ili, Finike ilçesi, Alacadağ mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Alacadağ ve Kızılcılar sınırları içerisinde kalan alanda çok sayıda doğal taş işletmeciliği yapan firma bulunmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Katrakta kesilmiş limranın görünümü

Çizelge 3.1. Doğal taşların fiziksel özellikleri

	Özgül Ağırlık	Görünür Yoğunluk	Atmosfer Basıncında Su Emme	Açık Gözeneklilik	Toplam Gözeneklilik	Aşınma Direnci
	g/cm ³	g/cm ³	%	%	%	mm
Dolomit	2,820	2,739	0,73	2,06	2,87	20,2
Kireçtaşı	2,711	2,667	0,17	0,43	1,62	16,88
Mermer	2,725	2,706	0,1	0,2	0,70	17,7
Kalsitli Mermer	2,687	2,660	0,48	0,7	1,0	18,9
Limra	2,712	2,410	3,55	8,80	11,14	26,62

Çizelge 3.2. Doğal taşların mekanik özellikleri

	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (TEBD)	Yoğun Yük Altında Bükülme Dayanımı
	MPa	MPa
Dolomit	146	7,19
Kireçtaşı	124,7	4,66
Mermer	70	13,4
Kalsitli Mermer	130	11,4
Limra	52	8,21

Doğal taşların kimyasal bileşimi, fiziksel özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olarak değerlendirilmektedir. Örneğin, kalsit ve dolomit mineralleri içeren karbonat

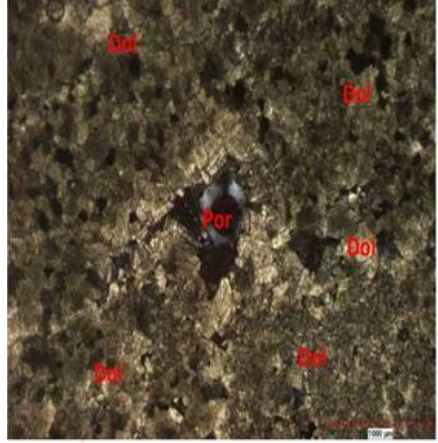
kayaçları (gerçek mermer) kimyasal olarak farklı bileşimlere sahip olmaktadır. Doğal taşların kimyasal bileşimleri, doğal taşın sertlik, dayanıklılık ve işlenebilirlik gibi özelliklerini de etkilemektedir (Akçakoca vd., 2003). Kesilen blokların kimyasal bileşimleri ise Çizelge 3.3’de sıralanmıştır.

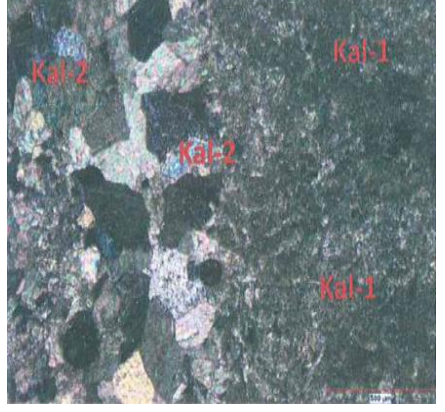
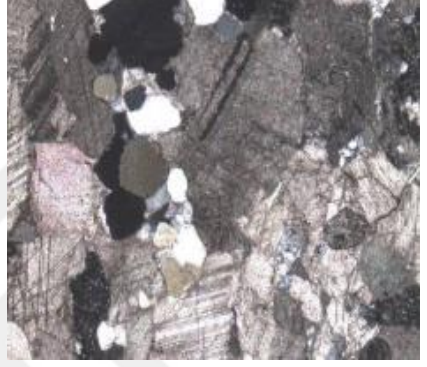
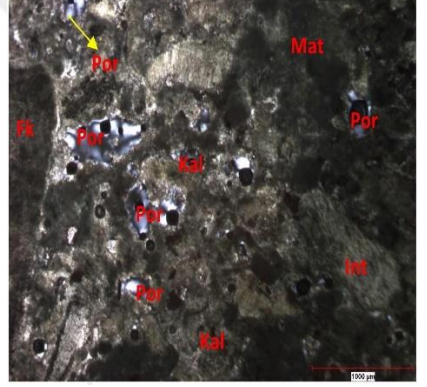
Çizelge 3.3. Doğal taşların kimyasal özellikleri

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	AZ
Dolomit	0,13	0,12	0,03	36,45	17,14	0,0038	0,0068	46,04
Kireçtaşı	0,001	0,001	0,01	56,11	0,26	0,003	0,0072	43,04
Mermer	0,12	0,04	0,09	54,51	1,07	0,004	0,018	44,04
Kalsitli Mermer	15,2	7,008	2,37	43,88	0,76	1,65	0,047	28,73
Limra	0,155	0,0116	0,0177	54,78	0,21	0,0014	0,028	43,60

Kesilen doğal taşlara ait mineralojik ve petrografik tanımlamalar ise çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Doğal taşların mineralojik ve petrografik analizleri

Dolomit	Kayacın kökeninin sedimanter olduğu, açık gri renge sahip olduğu, çatlak, makro fosil bulunmadığı, mineral dağılımı açısından %99 oranla dolomit ve ikincil kalsit içerdiği, opak mineral oranının ise %1'den az olduğu, ikincil kalsit tane genişliğinin ortalamasının 66,9 ve dolomit tane genişliğinin 4,09 olduğu, dolomit olarak tanımlanmakta olup, Mikrit-Sparitik bir dokuya sahiptir.	
Mermer	Kayacın kökeninin metamorfik olduğu, beyaz renge sahip olduğu, çatlak, gözenek, fosil bulunmadığı, mineral dağılımı açısından %99 oranla kalsit içerdiği, opak mineral oranının ise %1 'den az olduğu, kalsit tane genişliğinin ortalamasının 1130 pm olduğu, mermer olarak tanımlanan kayaç, Granoblastik bir dokuya sahiptir.	

Çizelge 3.4.'ün devamı		
Kireçtaşı	Kayacın kökeninin sedimanter olduğu, sarımsı gri renge sahip olduğu, çatlak olduğu, makro fosil bulunmadığı, mineral dağılımı açısından %99 oranla kalsit ve ikincil kalsit içerdiği, opak mineral oranının ise %1'den az olduğu, ikincil kalsit tane genişliğinin ortalamasının 83,2 ve kalsit tane genişliğinin 9,07 olduğu, Kireçtaşı olarak tanımlanan kayaç, Mikrokristalin bir dokuya sahiptir.	
Kalsitli Mermer	Kayacın kökeninin metamorfik olduğu, yeşil renge sahip olduğu, çatlak bulunmadığı, kayacın bileşiminde kuvars, muskovit ve kalsit içerdiği, opak mineral oranının ise %1'den az olduğu, Kalsitli Mermer olarak tanımlanan kayaç, Lepidogranoblastik bir dokuya sahiptir.	
Limra	Kayacın kökeninin sedimanter olduğu ve Kireçtaşı (Limra) olarak tanımlanmaktadır. Beyazımsı-sarımtırak renkli kayaç masif bir görünümüne sahip olup, damar ve kırık-çatlak türü yapılar gelişmemiştir. Kayaç genel olarak kalsit minerallerinden oluşmuş ve herhangi bir fosil ve kavkı bulunmamaktadır. Kayaç Sparitik dokuya sahiptir.	

3.1. Kesilen Blokların Boyutları ve Blok Kesim Süreleri

Çalışmada elmas telli katrik ve lamalı katrikta kesilen blokların boyutları, kesim süreleri ve saatlik kesim performansları Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.5. Elmas telli katrakta kesilen blokların boyutları ve kesim süreleri

Blok		Boyut (cm)			Kesilen Alan	Kesim Süresi	Kesim Performansı
Adı	Sırası	Genişlik	Yükseklik	Uzunluk	m ²	dk	m ² /h
Dol. Kir.	1	116	178	300	5,34	225	1,42
Dol. Kir.	2	160	150	180	2,70	180	0,90
Dol. Kir.	3	177	172	206	3,54	177	1,20
Dol. Kir.	4	145	148	318	4,71	288	0,98
Dol. Kir.	5	171	144	265	3,82	187	1,22
Ortalama							1,14
Kireçtaşı	1	190	176	170	2,99	195	0,92
Kireçtaşı	2	127	150	245	3,68	160	1,38
Kireçtaşı	3	140	167	170	2,84	173	0,98
Kireçtaşı	4	136	163	208	3,39	179	1,14
Ortalama							1,11
Mermer	1	147	158	310	4,90	182	1,61
Mermer	2	157	168	235	3,95	200	1,18
Mermer	3	139	143	225	3,22	180	1,07
Mermer	4	152	160	250	4,00	189	1,27
Ortalama							1,28
Kalsitli Mermer	1	180	160	285	4,56	210	1,30
Kalsitli Mermer	2	120	120	268	3,22	178	1,08
Kalsitli Mermer	3	150	140	240	3,36	166	1,21
Ortalama							1,20
Limra	1	140	100	200	2,00	149	0,81
Limra	2	121	103	191	1,97	163	0,72
Limra	3	80	174	296	5,15	198	1,56
Ortalama							1,03

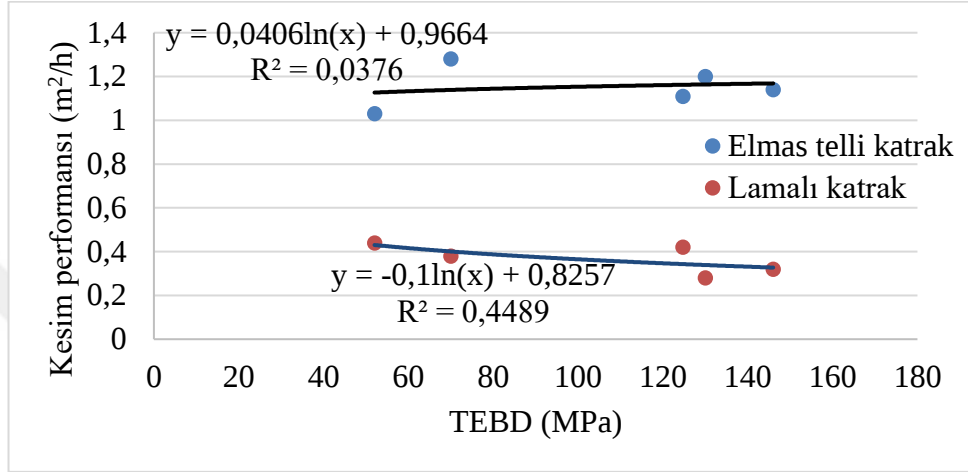
Elmas telli katrak makinelerinde kesilen blokların kesim süreleri incelendiğinde, kesilen levhanın alanlarına göre elmas telli katrakta saatte ortalama 1-1,3 m²'lik alanın kesiminin yapılabildiği tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre elmas telli katrakta kesilen kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin kesim performansı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.

Çizelge 3.6. Lamalı katrakta kesilen blokların boyutları ve kesim süreleri

Blok		Boyut (cm)			Kesilen Alan	Kesim Süresi	Kesim Performansı
Adı	Sırası	Genişlik	Yükseklik	Uzunluk	m ²	dk	m ² /h
Dol. Kir.	1	105	176	304	5,35	775	0,41
Dol. Kir.	2	159	156	170	2,65	760	0,21
Dol. Kir.	3	165	168	183	3,07	620	0,30
Dol. Kir.	4	157	160	300	4,80	835	0,34
Dol. Kir.	5	158	198	239	4,73	850	0,33
Ortalama							0,32
Kireçtaşı	1	132	150	200	3,00	820	0,22
Kireçtaşı	2	144	192	264	5,07	605	0,50
Kireçtaşı	3	172	208	253	5,26	620	0,51
Kireçtaşı	4	151	199	246	4,90	645	0,46
Ortalama							0,42
Mermer	1	174	190	293	5,57	725	0,46
Mermer	2	161	185	245	4,53	830	0,33
Mermer	3	151	194	294	5,70	880	0,39
Mermer	4	154	182	256	4,66	840	0,33
Ortalama							0,38
Kalsitli Mermer	1	158	148	201	2,97	860	0,21
Kalsitli Mermer	2	126	174	255	4,44	850	0,31
Kalsitli Mermer	3	190	175	227	3,97	770	0,31
Ortalama							0,28
Limra	1	160	168	260	4,37	575	0,46
Limra	2	120	160	286	4,58	585	0,47
Limra	3	130	148	240	3,55	550	0,39
Ortalama							0,44

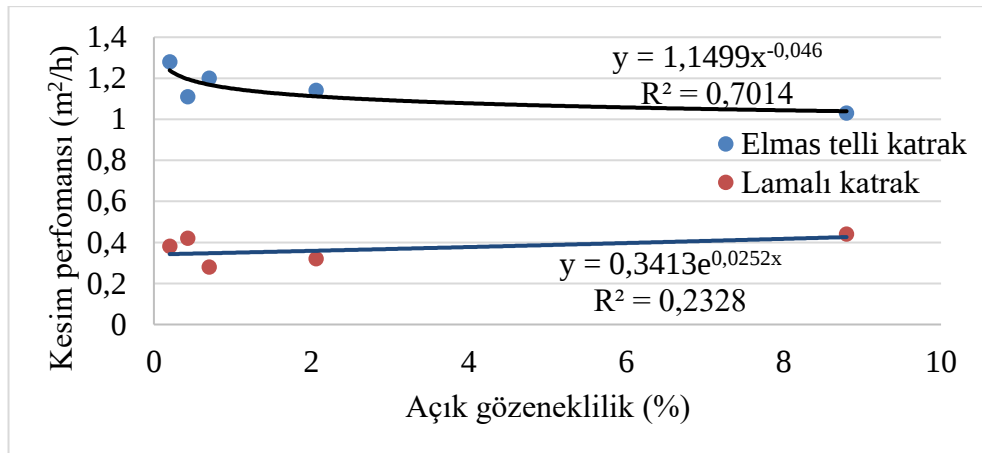
Levha kesim alanlarına göre lamalı katrakta saatte ortalama 0,28-0,44 m²'lik alanın kesiminin yapılabildiği belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre lamalı katrakta kesilen kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin kesim performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Dayanımı düşük, gözenekliliği fazla olan Limra kayacında kesim performans değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca kimyasal özellikleri bakımından değerlendirildiğinde Kalsitli Mermer kayacının diğer kayalara göre daha yüksek oranda SiO₂ içeriğine sahip olmasından dolayı kesim

performans değerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda elmas telli katrakta ve lamalı katrakta kesilen blokların saatlik kesim performansları incelendiğinde ise, elmas telli katrağın, lamalı katrağa göre saatte yaklaşık 3 kat daha fazla kesim performansına sahip olduğu tespit edilmiştir. Elmas telli katrak ve lamalı katrak makinesinde kesilen kayaçların, basınç dayanımı ile arasında çok anlamlı seviyede ilişki olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kayaçların TEBD ile katrakların kesim performansı ilişkisi

Elmas telli katrak ve lamalı katrak makinesinde kesilen kayaçların açık gözeneklilikleri ile arasındaki ilişki incelendiğinde ise elmas telli katrakta kesilen kayaçların açık gözeneklilik oranlarının ilişkisinin nispeten yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Kayaçların açık gözenekliliği ile katrakların kesim performansı ilişkisi

3.2. Boncuk ve Soketlerde Blok Kesimine Bağlı Değişim

Elmas telli katraş makinesinde tel üzerinde bulunan boncukların ve lamalı katraş makinelerinde bulunan lama soketlerinin blok kesimine bağli kalınlıklarında yaşanan değişim miktarı ile ilgili olan sayısal veriler çizelge 3.7’de verilmiştir.

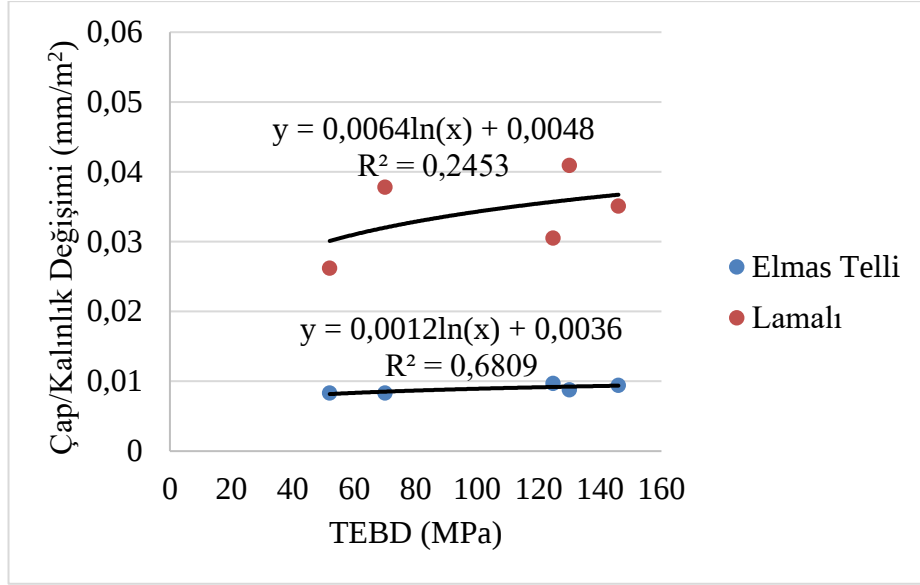
Çizelge 3.7. Boncuk ve soket kalınlık değişimleri

Kayaç Adı	Blok Sıra	Çap/Kalınlık Değişimi (mm)					
		Elmas Telli Katrak			Lamalı Katrak		
		Boncuk (mm)	Kesim Alanı (m ²)	mm/m ²	Soket (mm)	Kesim Alanı (m ²)	mm/m ²
Dol. Kir.	1	0,03938	5,34	0,0074	0,1556	5,35	0,0291
Dol. Kir.	2	0,0315	2,70	0,0117	0,101	2,65	0,0381
Dol. Kir.	3	0,03098	3,54	0,0087	0,138	3,07	0,0449
Dol. Kir.	4	0,0504	4,71	0,0107	0,126	4,80	0,0263
Dol. Kir.	5	0,03273	3,82	0,0086	0,176	4,73	0,0372
Ortalama				0,0094	0,0351		
Kireçtaşı	1	0,03413	2,99	0,0114	0,174	3,00	0,0580
Kireçtaşı	2	0,028	3,68	0,0076	0,105	5,07	0,0207
Kireçtaşı	3	0,03028	2,84	0,0107	0,108	5,26	0,0205
Kireçtaşı	4	0,03133	3,39	0,0092	0,113	4,90	0,0231
Ortalama				0,0097	0,0305		
Mermer	1	0,03185	4,90	0,0065	0,181	5,57	0,0325
Mermer	2	0,035	3,95	0,0089	0,193	4,53	0,0426
Mermer	3	0,0315	3,22	0,0098	0,199	5,70	0,0349
Mermer	4	0,03308	4,00	0,0083	0,192	4,66	0,0412
Ortalama				0,0083	0,0378		
Kalsitli Mermer	1	0,03675	4,56	0,0081	0,148	2,97	0,0498
Kalsitli Mermer	2	0,03115	3,22	0,0097	0,13	4,44	0,0293
Kalsitli Mermer	3	0,02905	3,36	0,0086	0,174	3,97	0,0438
Ortalama				0,0088	0,0409		
Limra	1	0,0198	2,00	0,0099	0,104	4,37	0,0238
Limra	2	0,0207	1,97	0,0105	0,099	4,58	0,0216
Limra	3	0,024	5,15	0,0047	0,118	3,55	0,0332
Ortalama				0,0083	0,02622		

Elmas telli ktrak makinelerinde kullanılan boncukların aşınma miktarları incelendiğinde, 1 m² levha kesim alanı için boncuk aşınmalarının ortalama 0,0083-0,0097 mm olduğu ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre elmas telli ktrakta kesilen kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin kesim performansı üzerinde etkiye sahip olduğu görülmüştür. Dayanımı düşük, gözenekliliği fazla olan Limra kayacında ve dayanımı düşük olan Mermer kayacında boncuk aşınma miktarının daha az olduğu belirlenmiştir. Dayanımı yüksek olan Dolomit kayacında ve Kireçtaşı kayacında boncuk aşınma miktarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

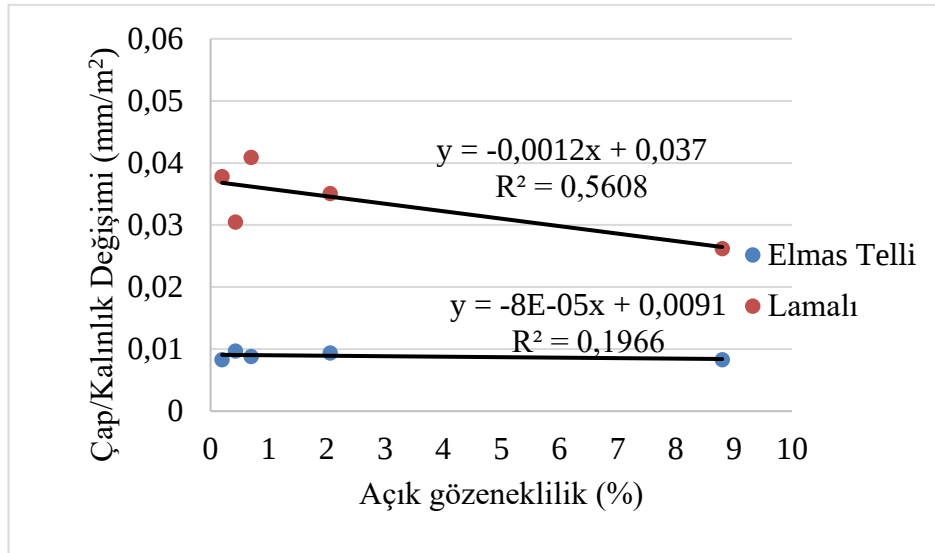
Lamalı ktrak makinelerinde kullanılan soketlerdeki aşınma miktarları incelendiğinde, 1 m² levha kesim alanı için soket aşınmalarının ortalama 0,02-0,04 mm olduğu ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre lamalı ktrakta kesilen kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin kesim performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Dayanımı düşük, gözenekliliği fazla olan Limra kayacında soket aşınma miktarının daha az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kimyasal özellikleri bakımından değerlendirildiğinde Kalsitli Mermer kayacının diğer kayaçlara göre daha yüksek oranda SiO₂ içeriğine sahip olmasından dolayı soket aşınma miktarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, kesim esnasında lamalı ktrakta kullanılan soketlerin, elmas telli ktrakta kullanılan boncuklara göre 3,8 kat daha fazla aşınmaya maruz kaldığı bulunmuştur.

Elmas telli ktrak ve lamalı ktrak makinesinde kullanılan boncukların ve soketlerin kayaçların basınç dayanımı ile arasındaki ilişki incelendiğinde; elmas telli ktrakta kesilen kayaçların boncuk çap değişiminde ilişkinin nispeten yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Kayaçların TEBD ile katrakların kesim performansı ilişkisi

Elmas telli katrak ve lamalı katrak makinesinde kullanılan boncukların ve soketlerin kayaçların açık gözenekliliği ile arasındaki ilişki incelendiğinde; lamalı katrakta kesilen kayaçların kalınlık değişiminin nispeten daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Kayaçların açık gözenekliliği ile katrakların kesim performansı ilişkisi

3.3. Enerji Sarfiyatının Hesaplanması

Elmas telli katraç ve lamalı katrağın blok kesim işlemi esnasında harcadıkları toplam enerji miktarı ile ilgili olan sayısal veriler Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Elmas telli katraç ve lamalı katraç enerji sarfiyatı

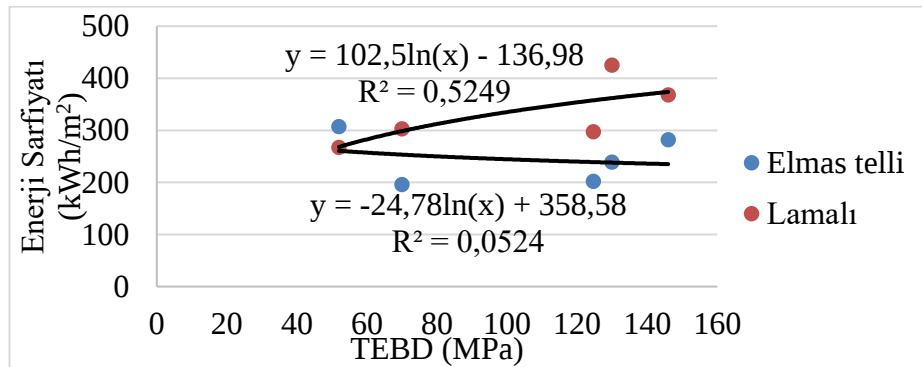
Kayaç Adı	Blok Sıra	Enerji Sarfiyat(kW/h)					
		Elmas Telli	Kesim Alanı (m ²)	kWh/m ²	Lamalı katraç	Kesim Alanı (m ²)	kWh/m ²
Dol. Kir.	1	1149	5,34	215	1483	5,35	277
Dol. Kir.	2	934	2,70	346	1378	2,65	520
Dol. Kir.	3	942	3,54	266	1153	3,07	375
Dol. Kir.	4	1574	4,71	334	1551	4,80	323
Dol. Kir.	5	940	3,82	246	1623	4,73	343
Ortalama				282			368
Kireçtaşı	1	676	2,99	226	1513	3,00	504
Kireçtaşı	2	614	3,68	167	1120	5,07	221
Kireçtaşı	3	637	2,84	224	1153	5,26	219
Kireçtaşı	4	642	3,39	189	1198	4,90	245
Ortalama				202			297
Mermer	1	791	4,90	161	1377	5,57	247
Mermer	2	877	3,95	222	1533	4,53	338
Mermer	3	672	3,22	209	1623	5,70	285
Mermer	4	771	4,00	193	1588	4,66	341
Ortalama				196			303
Kalsitli Mermer	1	1098	4,56	241	1625	2,97	546
Kalsitli Mermer	2	885	3,22	275	1606	4,44	362
Kalsitli Mermer	3	677	3,36	201	1460	3,97	368
Ortalama				239			425
Limra	1	726	2,00	363	1104	4,37	253
Limra	2	753	1,97	383	1132	4,58	247
Limra	3	906	5,15	176	1068	3,55	301
Ortalama				307			267

Elmas telli katraç makinelerinde kesilen blokların enerji sarfiyatı incelendiğinde, 1m²’lik kesim alanında ortalama 196-307 kW’lık enerji sarfiyatı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre elmas telli katraçta kesilen kayaçların fiziksel ve

mekanik özelliklerinin belirgin bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Dayanımı düşük olan Mermer kayacında enerji sarfıyatı değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Dayanımı yüksek olan Dolomit kayacında enerji sarfıyatının daha yüksek olduğu bulunmuştur. Dayanımı düşük, gözenekliliği fazla olan Limra kayacında 1 ve 2 nolu bloklarda kesim sonunda levha kalınlığı 1,2 cm olduğundan, bloklar üzerinde kesim yapan tel sayısının daha fazla olması sebebi ile enerji sarfıyatına etki ettiği belirlenmiştir.

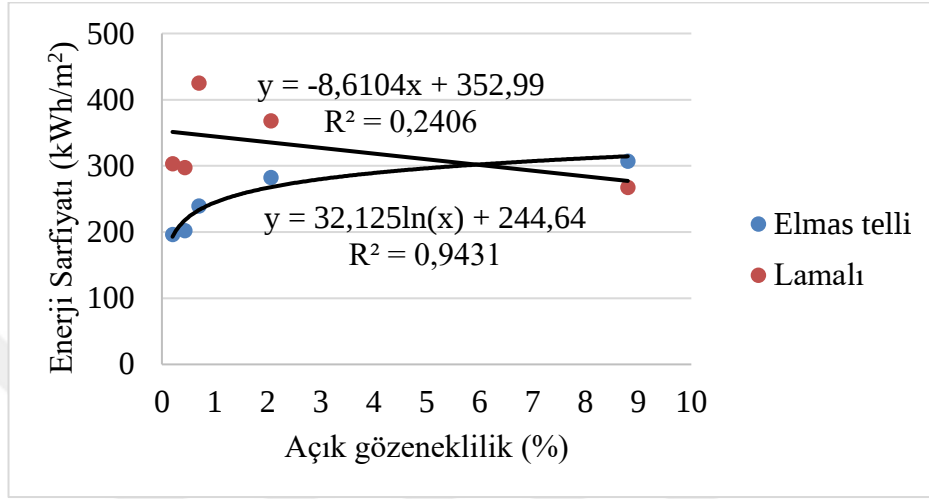
Levha kesim alanlarına göre lamalı katrakta 1m²'lik kesim alanında ortalama 267-425 kW'lık enerji sarfıyatı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre lamalı katrakta kesilen kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin enerji sarfıyatı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Dayanımı düşük, gözenekliliği fazla olan Limra kayacında enerji sarfıyatı değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kimyasal özellikleri bakımından değerlendirildiğinde Kalsitli Mermer kayacının diğer kayaçlara göre daha yüksek oranda SiO₂ içeriğine sahip olmasından dolayı enerji sarfıyatı değerinin daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Bu bağlamda elmas telli katrakta ve lamalı katrakta kesilen blokların enerji sarfıyatları incelendiğinde ise lamalı katrağın, elmas telli katrağa göre % 36 daha fazla enerji sarfıyatına sahip olduğu bulunmuştur.

Elmas telli katrak ve lamalı katrak makinesinin enerji sarfıyatının kayaçların basınç dayanımı ile arasındaki ilişki incelendiğinde; elmas telli katrakta kesilen kayaçların basınç dayanımının enerji sarfıyatı ile ilişkisinin düşük düzeyde kaldığı gözlenmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Kayaçların TEBD ile katrakların enerji sarfıyatı ilişkisi

Elmas telli katrak ve lamalı katrak makinesinde kullanılan boncukların ve soketlerin kayaçların açık gözenekliliği ile arasındaki ilişki incelendiğinde; lamalı katrakta kesilen kayaçların kalınlık değişiminin nispeten yüksek olduğu belirlenmiştir. Elmas telli katrakta kesilen kayaçların açık gözenekliliğinin enerji sarfıyatı ile ilişkisinin yüksek düzeyde olduğu bulunmuştur (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Kayaçların açık gözenekliliği ile katrakların enerji sarfıyatı ilişkisi

3.4. Su Sarfıyatının Hesaplanması

Elmas telli katrak makinesinde ve lamalı katrak makinesinde blok kesim işlemi esnasında oluşan su sarfıyatı ile ilgili olan veriler Çizelge 3.9’da verilmiştir.

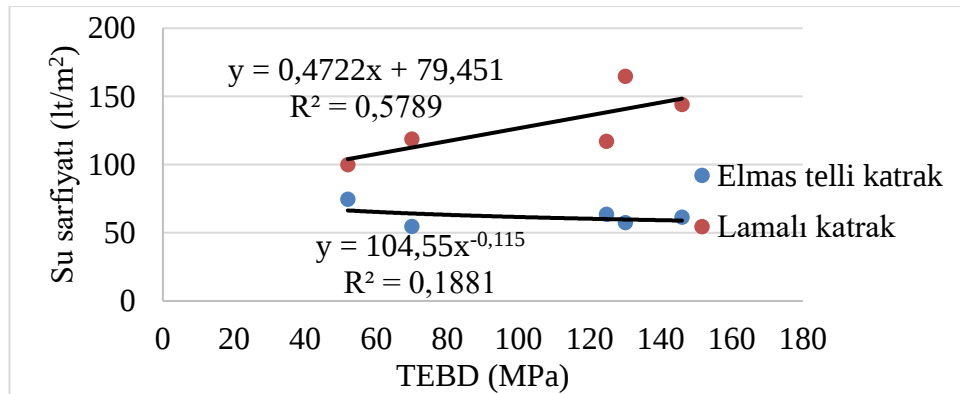
Çizelge 3.9. Elmas telli katrik ve lamalı katrik su sarfiyatı

Blok		Elmas Telli Katrik			Lamalı Katrik		
Adı	Sırası	Su Sarfiyatı (lt)	Kesim Alanı (m ²)	lt/m ²	Su Sarfiyatı (lt)	Kesim Alanı (m ²)	lt/m ²
Dol. Kir.	1	256.500	5,34	48.030	566.250	5,35	105.830
Dol. Kir.	2	205.200	2,70	76.000	555.000	2,65	209.280
Dol. Kir.	3	201.780	3,54	56.950	450.000	3,07	146.370
Dol. Kir.	4	328.320	4,71	69.760	611.250	4,80	127.340
Dol. Kir.	5	213.180	3,82	55.860	622.500	4,73	131.550
Ortalama				61.320			144.070
Kireçtaşı	1	222.300	2,99	74.300	600.000	3,00	200.000
Kireçtaşı	2	182.400	3,68	49.630	438.750	5,07	86.560
Kireçtaşı	3	197.220	2,84	69.470	450.000	5,26	85.510
Kireçtaşı	4	204.060	3,39	60.190	468.750	4,90	95.750
Ortalama				63.400			116.960
Mermer	1	207.480	4,90	42.360	528.750	5,57	94.980
Mermer	2	228.000	3,95	57.750	607.500	4,53	134.030
Mermer	3	205.200	3,22	63.780	645.000	5,70	113.090
Mermer	4	215.460	4,00	53.870	615.000	4,66	132.000
Ortalama				54.440			118.520
Kalsitli Mermer	1	239.400	4,56	52.500	630.000	2,97	211.780
Kalsitli Mermer	2	202.920	3,22	63.100	622.500	4,44	140.300
Kalsitli Mermer	3	189.240	3,36	56.320	562.500	3,97	141.600
Ortalama				57.310			164.560
Limra	1	169.860	2,00	84.930	416.250	4,37	95.300
Limra	2	185.820	1,97	94.450	423.750	4,58	92.600
Limra	3	225.720	5,15	43.830	397.500	3,55	111.910
Ortalama				74.400			99.940

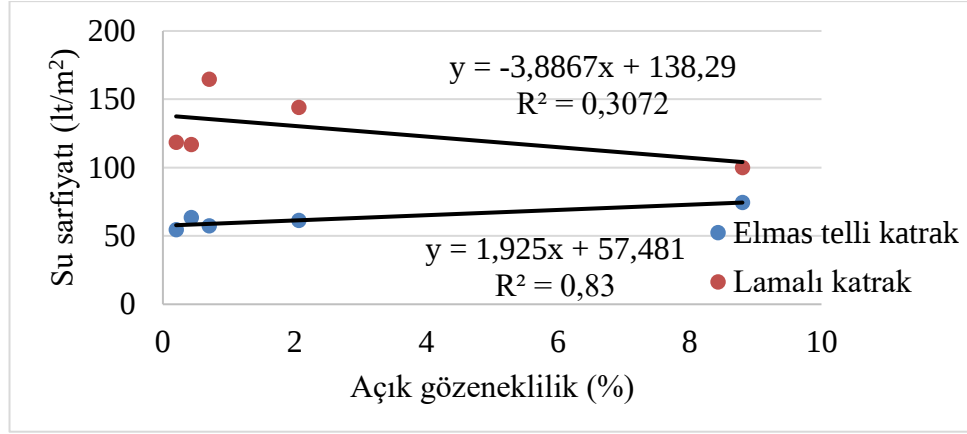
Elmas telli katrik makinelerinde kesilen bloklar için su sarfiyatı incelendiğinde, kesilen levhanın alanlarına göre elmas telli katrikta 1m²'lik kesim alanında ortalama 54-74 lt su sarfiyatının olduğu hesaplanmıştır. Elmas telli katrikta su besleme miktarı (kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri göz ardı edilerek) sabit tutularak kesim esnasında 1140 lt/dk su beslenmektedir. Elde edilen verilere göre elmas telli katrikta kesilen kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin su sarfiyatı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.

Levha kesim alanlarına göre lamalı katrakta 1m²'lik kesim alanında ortalama su sarfiyatının 99-165 lt sarfiyatı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre lamalı katrakta kesilen kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin su sarfiyatı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Dayanımı düşük, gözenekliliği fazla olan Limra kayacında su sarfiyatı değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Dayanımı yüksek Kalsitli Mermer ve Dolomit kayaçlarında ise su sarfiyatlarının yüksek olduğu ölçülmüştür. Ayrıca kimyasal özellikleri bakımından değerlendirildiğinde Kalsitli Mermer kayacının diğer kayaçlara göre daha yüksek oranda SiO₂ içeriğine sahip olmasından dolayı su sarfiyatı değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda elmas telli katrakta ve lamalı katrakta kesilen blokların su sarfiyatları incelendiğinde ise lamalı katrağın, elmas telli katrağa göre % 50 daha fazla su sarfiyatına sahip olduğu bulunmuştur.

Elmas telli ktrak ve lamalı ktrak makinesinin su sarfiyatının kayaçların basınç dayanımı ve açık gözenekliliği ile arasındaki ilişkileri incelendiğinde; elmas telli katrakta kesilen kayaçların açık gözenekliliğinin su sarfiyatı ile ilişkisinin nispeten yüksek düzeyde olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca elmas telli ktrak makinesi için kesilen kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerine göre su besleme miktarının ayarlanması ve kesilen blok boyutlarının makine kesim kapasitesi ile uyumlu seçilmesi elmas telli ktrak için su sarfiyatının daha da azalmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir (Şekil 3.12 ve Şekil 3.13).



Şekil 3.12. Kayaçların TEBD ile katrakların su sarfiyatı ilişkisi



Şekil 3.13. Kayaçların açık gözenekliliği ile ktrakların su sarfiyatı ilişkisi

3.5. Hasarlı, Yüzey Kalitesi Uygun Olmayan Levhaların Tespiti

Katraklarda kesim işlemi sonrasında çıkan levhalarda oluşabilen kalınlık farkları, çatlaklıklar veya levha yüzeyinde oluşabilen olumsuz durumlar dikkate alınarak, hasarlı levha sayıları ve toplam levha sayıları ile ilgili olan veriler Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Toplam levha ve yüzey kalitesi uygun olmayan levha sayıları

Kayaç Adı	Blok Sıra	Elmas Telli Katrak		Lamalı katrak	
		Levha Adet	Uygun Olmayan	Levha Adet	Uygun Olmayan
Dol. Kir.	1	38	1	40	0
Dol. Kir.	2	53	1	42	1
Dol. Kir.	3	40	0	64	2
Dol. Kir.	4	53	1	58	0
Dol. Kir.	5	68	2	53	1
Ortalama		50,4	1	51,4	0,8
Kireçtaşı	1	37	0	60	1
Kireçtaşı	2	37	0	58	0
Kireçtaşı	3	36	0	43	0
Kireçtaşı	4	37	0	46	1
Ortalama		36,75	0	51,75	0,5
Mermer	1	46	1	40	0
Mermer	2	30	2	50	0
Mermer	3	39	1	67	1
Mermer	4	38	1	56	1
Ortalama		38,25	1,25	53,25	0,5
Kalsitli Mermer	1	61	1	60	0
Kalsitli Mermer	2	40	0	49	1
Kalsitli Mermer	3	51	1	73	2
Ortalama		50,6	0,66	60,6	1
Limra	1	64	1	65	1
Limra	2	57	2	48	0
Limra	3	32	0	52	1
Ortalama		51	1	55	0,66

Elmas telli katrak makinelerinde kesim sonucu çıkan levhalar incelendiğinde, elmas telli katrakta kesilen blokların sonucunda 1,2-2 ve 3 cm kalınlıklara sahip levhaların elde edildiği belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre elmas telli katrakta kesilen kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin yüzey kalitesi uygun olmayan levhalar üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı ve blokların yapısal çatlakları sebebi ile yüzey kalitesinin etkilendiği tespit edilmiştir.

Lamalı katrak makinelerinde kesim sonucu çıkan levhalar incelendiğinde, elde edilen verilere göre elmas telli katrakta kesilen kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin uygun olmayan levhalar üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir.

Yüzey kalitesi uygun olmayan levhalarda yapılan incelemede blokların içindeki yapısal çatlaklar sebebi ile levhaların yüzey kalitesinin etkilendiği tespit edilmiştir. Lamalı katraktan çıkan levhaların yüzey kalitesi ile elmas telli katraktan çıkan levhaların yüzey kalitesinin benzerlik göstermesi ile ilgili olarak yapılan incelemede; lamalı katrakta hareket mesafesinin 60 cm olarak tasarlanması sayesinde titreşimin asgari düzeyde tutulmasının önemli bir etken olarak görülmektedir. Blok güçlendirme yöntemleri ile yapısal çatlakların etkisinin asgari düzeye indirilmesinin de lamalı katrakta kesilen bloklar için olumlu etki gösterdiği düşünülmektedir. Ayrıca lamalı ktrak operatörleri tarafından blok kesim hızının optimum seviyede tutulması da (yüksek kesim hızında karşılaşılabilen) levhalar üzerinde oluşan dalgalanmaların önüne geçmektedir. Ayrıca doğal taş işleme tesisinde lamalı ktrak makinesinde blok kesimi esnasında arıza vb. zorunlu durumlar dışında blok kesim işlemi durdurulmamaktadır. Bu sayede blok kesiminde duruş sonrası blok içinde başlayacak kesimde lamaların başlangıç hareketinden oluşabilecek kalınlık farklarının önüne geçilmektedir.

3.6. Entropi Temelli TOPSİS Yöntemi

Bu çalışmada ENTROPİ temelli TOPSİS yöntemi uygulanmıştır. Çalışma kapsamında 5 farklı doğal taşın lamalı ktrak makinesi ve elmas telli ktrak makinesi olarak iki farklı blok kesme makinesi ile kesilmesi sonucunda toplam 38 blok 4 kriter üzerinden değerlendirilmiştir. İlk etapta Dolomit, Kireçtaşı, Mermer, Kalsitli Mermer ve Limra doğaltaş çeşitleri belirlenmiş ve her iki makinede de kesilmesi için üretim planı hazırlanmıştır. Ktrak makineleri için karşılaştırılacağı kriterler; enerji sarfiyatı, kesim kalitesi, kesim süresi, boncuk ve soket aşınma değerleri olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan değişkenlerin kodlanması ve blok kesim süresi boyunca yerinde ölçülen değerlerin geometrik ortalamaları Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Değişkenlerin kodlanması

A1	Lamalı Blok Kesme Makinesi	B1	Dolomit
A2	Elmas Tel Blok Kesme Makinesi	B2	Kireçtaşı
C1	Enerji Sarfıyatı (kwh)	B3	Mermer
C2	Kesim Kalitesi (%)	B4	Kalsitli Mermer
C3	Kesim Süresi (dk)	B5	Limra
C4	Bıçak Sarfıyatı (mm)		

Çizelge 3.12. Kriterlerin geometrik ortalamaları

	A1	A2
C1	1368	831
C2	0,9880	0,9830
C3	728	186
C4	0,1398	0,0310

Çizelge 3.12’de verilen enerji sarfıyatı, kesim kalitesi, kesim süresi, boncuk ve soket aşınma değerleri kesilen tüm blokların genel ortalaması ile değerlendirildiği gibi katarak makineleri doğal taş çeşidine göre de değerlendirilmiştir. Kriterler açısından makineler karşılaştırıldığında, enerji sarfıyatı, kesim süresi, boncuk ve soket aşınması açısından ideal olan ekipman A2 kodlu elmas telli katarak makinesi olarak düşünülmektedir.

Çizelge 3.13’de belirtildiği gibi doğaltaşları keserken lamalı katarak makinesi en çok, SiO₂ içeriği yüksek olan B4 kodlu Kalsitli Mermer kayacında enerji tüketmiş, en az yumuşak bir kayaç olan B5 kodlu Limra taşında enerji tüketmiştir. Sağlam plaka sayısı ile kırıklı plaka sayısı değerlendirildiğinde kısaca C2 kriteri göz önünde bulundurulduğunda en yüksek oran B3 kodlu Mermer kayacıdır.

Çizelge 3.13. Lamalı katrak makinesinde kesilen doğal taşların kriterlere göre değerlerinin geometrik ortalamaları

A1	B1	B2	B3	B4	B5
C1	1428	1237	1527	1562	1101
C2	0,9851	0,9904	0,9918	0,9840	0,9884
C3	763	667	817	826	570
C4	0,1369	0,1222	0,1911	0,1496	0,1067

Aynı şekilde Çizelge 3.14 değerlendirildiğinde, elmas telli katrak makinesini kayaçlar bazında değerlendirildiğinde enerji sarfıyatı en az olan doğal taş B2 kodlu Kireçtaşı dır. Kalite açısından en çok fire B3 kodlu Mermer kayacında verilmiştir.

Çizelge 3.14. Elmas telli katrak makinesinde kesilen doğal taşların kriterlere göre değerlerinin geometrik ortalamaları

A2	B1	B2	B3	B4	B5
C1	1084	642	774	870	791
C2	0,9813	0,9932	0,9647	0,9880	0,9830
C3	208	176	188	184	169
C4	0,0363	0,0309	0,0328	0,0322	0,0214

Katrak makineleri kendi aralarında karşılaştırıldığı gibi kayaçlar cinsinden karşılaştırılabilmektedir. Aynı zamanda optimum olan kayaç cinsi ile katrak makinesi arasında bir ilişki kurulabilir.

Bu çalışmada önceden de bahsedildiği gibi objektif bir yaklaşım olan ENTROPİ yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Çizelge 3.15’de özet olarak verilen ağırlıklandırma dereceleri Eşitlik (1.1)-(1.6) kullanılarak ayrı Excel dosyasında hesaplanmıştır. Burada gerçek değerler ile oluşturulan karar matrisi normalize edilmiş daha sonra kriterlere ilişkin entropi değerleri hesaplanmıştır. Son olarak farklılaşma derecesi (d_j) ve entropi değerlerinden (e_j), her bir kriterin ağırlık derecesi (w_j) bulunmuştur.

Çizelge 3.15. ENTROPİ yöntemi ile ağırlıklandırma

Karar Matrisi					
	C1	C2	C3	C4	
A1	1368	0,9880	728	0,1398	
A2	831	0,9830	186	0,0310	
Toplam	2199	1,9710	914	0,1708	
Normalize Karar Matrisi					
	C1	C2	C3	C4	
A1	0,62	0,50	0,80	0,82	
A2	0,38	0,50	0,20	0,18	
Kriterlere İlişkin Entropi Değerleri					
	C1	C2	C3	C4	
A1	-1,31	-0,73	-3,50	-4,09	
A2	-0,39	-0,72	-0,13	-0,11	
$k=1/\ln(m)$	= 1,4427	m=2			
e_j	2,4511	2,0814	5,2348	6,0494	
d_j	-1,4511	-1,0814	-4,2348	-5,0494	Toplam
wj	0,1228	0,0915	0,3584	0,4273	= 1,000

Gerçek değerler ile hesaplanan bir başka ÇKKV yöntemlerinden olan TOPSİS yönteminin aşamaları Eşitlik (1.7)-(1.14) kullanılarak Çizelge 3.16'da belirtilmiştir. Burada dikkat edilmesi gerek kısım amaç fonksiyonlarının minimum-maksimum hedefleri doğrultusunda ideal ve negatif ideal çözümlerin dikkate alınmasıdır.

Kriterler minimum-maksimum amaçlarına göre değerlendirildiğinde; enerji sarfiyatının (C1) minimum olması, kesim kalitesinin (C2) maksimum olması, kesim süresi (C3), boncuk ve soket aşınmasının (C4) minimum olması istenilmektedir.

Çizelge 3.16. ENTROPİ temelli TOPSİS yöntemi ile lamalı ve elmas telli katrak makinelerinin karşılaştırılması

Karar Matrisi				
Amaç	min	max	min	min
	C1	C2	C3	C4
A1	1368	0,9880	728	0,1398
A2	831	0,9830	186	0,0310
Normalize Karar Matrisi				
	C1	C2	C3	C4
A1	0,855	0,709	0,969	0,976
A2	0,519	0,705	0,248	0,216
Normalleştirilmiş Ağırlıklı Karar Matrisi				
	min	max	min	min
wj	0,1228	0,0915	0,3584	0,4273
	C1	C2	C3	C4
A1	0,1050	0,0649	0,3472	0,4172
A2	0,0638	0,0645	0,0887	0,0925
Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözümlerin Belirlenmesi				
Amaç	min	max	min	min
	Negatif ideal	Pozitif ideal	Negatif ideal	Negatif ideal
Smax	0,1050	0,0649	0,3472	0,4172
	Pozitif ideal	Negatif ideal	Pozitif ideal	Pozitif ideal
Smin	0,0638	0,0645	0,0887	0,0925

Amaç fonksiyonlarına göre hesaplanan izafi yakınlıklar sonucunda C* değeri büyükten küçüğe doğru sıralama yapılmaktadır. Burada iki ekipman değerlendirildiğinden değeri 0,9992 olan A2 kodlu elmas telli katrak makinesi ENTROPİ temelli TOPSİS yöntemine göre daha avantajlı olarak seçilmektedir (Çizelge 3.17).

Çizelge 3.17. TOPSİS yöntemi ile lamalı ve elmas telli katrik makinelerinin karşılaştırılması

Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözümlere Uzaklıkların Hesaplanması						
	Pozitif İdeale Olan Uzaklıklar				toplam	Si ⁺ toplamın karekoku
A1	0,00170	0,00000	0,06683	0,10541	0,17393	0,41705
A2	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00033
	Negatif İdeal'e Olan Uzaklıklar				toplam	Si ⁻ toplamın karekökü
A1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00033
A2	0,00170	0,00000	0,06683	0,10541	0,17393	0,41705
İdeal Çözüme İzaflı Yakınlıkların Hesaplanması						
	Si ⁺	Si ⁻	toplam	C*	Sıralama	Büyük Olan Değer Seçilir
A1	0,41705	0,00033	0,41738	0,0008	2	
A2	0,00033	0,41705	0,41738	0,9992	1	

Doğal taşın cinsi ayırt edilmeksizin yapılan TOPSİS yönteminde elmas telli katrik makinesinin daha uygun olduğu Çizelge 3.17’de belirtilmiştir. Çizelge 3.18 kayaçların cinsine göre katrik makineleri ayrı değerlendirildiğinde TOPSİS yönteminin sonucunu göstermektedir.

Çizelge 3.18. ENTROPİ temelli TOPSİS yöntemi sonucuna göre makinelerin taşlara göre ayrı ayrı değerlendirilmesi

		C*		C*	
B1	A1	0,0006	A2	0,9994	A2 seçilir
B2	A1	0,0000	A2	1,0000	A2 seçilir
B3	A1	0,0040	A2	0,9960	A2 seçilir
B4	A1	0,0000	A2	1,0000	A2 seçilir
B5	A1	0,0009	A2	0,9991	A2 seçilir

Aynı şekilde amaç fonksiyonları göz önünde bulundurulduğu zaman C* değerine bakıldığında Dolomit, Kireçtaşı, Mermer, Kalsitli Mermer ve Limra doğal taşların da elmas telli katrik makinesi ile kesiminin daha verimli şekilde olduğu, buna bağlı olarak daha ekonomik olacağı sonucuna varılmaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye doğal taş potansiyeli ile Dünya’da öncü ülkeler arasında yer almaktadır. Genel olarak üretilen bir ürünün olabilecek en uygun maliyet ile en etkin biçimde ürün olarak piyasaya sunulması sürdürülebilirlik için ilk kural olarak bilinmektedir. Bu duruma uygun olarak Dünya’daki diğer doğal taş üretiminde öncü ülkelerde olduğu gibi Türkiye’nin mevcut doğal taş potansiyelinin verimli şekilde işletilmesi ve sürdürülebilirliği için doğal taş ocak ve fabrikalarında kullanılmak üzere makinelerin üretimi sürdürülmekte ve yeni tasarımlar ile bu tasarımların geliştirilmesine yönelik çalışmalar makine üreticileri tarafından yürütülmektedir.

Bu tez çalışmasında, Burdur ilinde yer alan 2. Organize Sanayi Bölgesinde kurulu halde faaliyetlerini sürdüren bir doğal taş işleme tesisinde blok kesiminde kullanılan elmas telli katrak ve lamalı katrakta farklı özelliklerdeki 5 farklı doğal taşın kesimi esnasında, boncuk/soket aşınması (ömrü), enerji sarfıyatı, kesme hızı, su tüketimi ve plaka yüzey kalitesi gibi parametreler için elde edilen sayısal veriler ENTROPİ temelli TOPSİS yöntemi uygulanarak analiz edilmiştir. Analizler sonucunda, hangi katrağın söz konusu parametrelere göre kesim performansının daha etkin olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucunda; elmas telli katrak hızı 80 cm ve 1,16 m²/h, lamalı katrak kesim hızı 20 cm ve 0,38 m²/h olarak bulunmuştur. Bu hesaplamalara göre elmas telli katrak makinesi ile yapılan kesimlerin daha verimli olduğu belirlenmiştir. Elmas telli katrağın en önemli özelliği yüksek kesim hızına sahip olmasıdır. Elmas telli katraklarda saatte 160 cm kesim hızına rahatlıkla ulaşabilmektedir. Tasarımcıları tarafından yapılan çalışmalar sonucunda saatte 200 cm kesim yapılabildiği de belirlenmiş olup, gelecek yıllarda gelişen teknoloji ile daha da yüksek kesim hızlarında etkin blok kesimi yapılabileceği değerlendirilmektedir

Elmas telli katrakta 1 m² lik yüzey alanı kesimi için 244 kWh enerji sarfıyatı olduğu, lamalı katrakta ise 332 kWh enerji sarfıyatının gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yüksek kesim hızı için enerji sarfıyatının yüksek olduğu öngörüldüğünde, elmas telli katrak makinelerinde bulunan servo motor teknolojisi sayesinde enerji sarfıyatının optimize edildiği bu değerlerden de anlaşılmaktadır. Ayrıca sayısal değerler incelendiğinde

lamalı katrağın enerji sarfiyatı, elmas telli katrağın enerji sarfiyatından kayaç özelliklerine göre % 36 daha fazladır. ENTROPİ temelli TOPSİS yöntemi uygulanarak yapılan analiz sonucunda da elmas telli katrağın daha avantajlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Doğal taş işleme tesislerinde, işletmelerin en önemli gider kalemlerinden olan enerji maliyetlerinin azalması karbon ayak izinin düşürülmesi açısından oldukça önemli olarak değerlendirilmektedir.

Ayrıca elmas telli katrağ makineleri, hacim olarak küçük boyutlu blokların kesilmesinde lamalı katrağ makinelerine göre daha verimli olarak değerlendirilmektedir. Lamalı katrağlarda aynı tür doğal taş bloğunda 1,80 m uzunluğunda bir blokla 3,10 m uzunluğunda bir bloğun birbirine çok yakın kesim hızlarına sahip olabilmektedir. Elmas telli katrağlarda ise sonsuz tel sistemine bağlı olarak üretim kesim hızının ayarlanması imkân sağlayan servo motor sayesinde enerji sarfiyatında istenildiği şekilde düzenlenme yapılmasına imkân sağlamaktadır.

Su sarfiyatı açısından incelendiğinde ise, blok kesiminde kullanılan elmas telli katrağın dakikada 1140 lt su harcadığı ve lamalı katrağın ise dakikada 750 lt su harcadığı belirtilmektedir. İlk bakışta elmas telli katrağın işletme için daha fazla su harcadığı düşünülebilmektedir. Ancak yüksek kesim hızı sayesinde bir blok için toplam su sarfiyatının lamalı katrağdan az olduğu tespit edilmiştir. Burada benzer blok hacmine sahip olan dolomit 1 nolu elmas telli katrağ ve dolomit 1 nolu lamalı katrağ doğal taş bloklarının kesim süreleri, elmas telli katrağta 225 dakika ve lamalı katrağta ise (bağlama süresi hariç) 755 dakika olarak ölçülmüştür. Bu bağlamda elmas telli katrağın toplam su sarfiyatı 256500 lt lamalı katrağın harcamış olduğu su miktarı ise 566250 lt olarak hesaplanmıştır. Ayrıca lamalı katrağta 1m²'lik kesim alanında ortalama su sarfiyatının 129500 lt olduğu, elmas telli katrağta ise 61740 lt olduğu tespit edilmiştir. Elmas telli katrağ ile kesim esnasında su sarfiyatının, lamalı katrağla kesim esnasında harcanan toplam su sarfiyatından (benzer blok hacmi ve m² olarak kesim alanı göz önünde bulundurulduğunda) % 50'den daha az olduğu görülmektedir.

Ayrıca söz konusu suyun sisteme tekrar beslenmesi için kullanılan arıtma kimyasalları, su deposu hacmi veya suyun beslenmesi için kullanılan motorun harcadığı enerji göz önünde bulundurulduğunda ve suyun sisteme basılması için gerekli enerji sarfiyatında

sağladığı fayda doğal kaynakların kullanımında sürdürülebilirlik açısından büyük önem arz etmektedir.

Elmas telli katrakta kullanılan boncukların çapının 6,3 mm olduğu, lamalı katrakta ise kullanılan lama soketlerinin kalınlığı ise 5,1 mm olarak tasarımılandırıldığı bilinmektedir. İlk bakışta elmas telli katrakta kullanılan boncukların genişliğinden dolayı blok kesiminde çıkan levha sayısının azalmasına sebep olduğu düşünülebilmektedir. Ancak tasarımı sayesinde elmas telli katraklar, (lamalı katrak makinelerden farklı olarak) 1,2 cm kalınlıktan, 10 cm kalınlığa kadar istenilen kalınlıkta levha kesmeye imkân sağlamaktadır. Klasik lamalı katrak makinelerinde ise kesim kalınlığı 2 veya 3 cm olabilmektedir. Farklı kalınlıklar için standart hidrolik gergi sisteminde ölçü takozlarının değıştirilmesi gerekmektedir. Yapılacak ilave bir çalışma ile 2-3 cm kalınlık dışına çıkılabilmektedir. Ancak elmas telli katrakta kısa süreli olacak şekilde elmas tellerin kaydırılması ile farklı kesim kalınlığı için sistem çalışabilir hale getirilmektedir. Elmas telli katraklarda bir doğal taş bloğunun kesimi esnasında kaydırma tekniğı (tellerin kasnak üzerinde yerlerini oynatma) ile aynı anda farklı kalınlıklarda kesim yapılabilmektedir. Ayrıca elmas telli katrakta blok konumu sabit olarak kesim yapılmaktadır. Ancak lamalı katrak makinesinde lamaların aşınma seviyelerinin eşit düzeyde tutulması için blok uzunluğuna göre farklı noktalarda konumlandırılması ve aşınmanın eşit olarak sürdürölmesi önem arz etmektedir.

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucunda; levha kesim alanlarına göre lamalı katrakta kullanılan soketlerde 1m²'lik kesim alanında ortalama soket kalınlık değışiminin 0,034 mm olduğu, elmas telli katrakta kullanılan boncuklarda ise boncuk çap değışiminin ortalamasının 0,0089 mm olduğu tespit edilmiştir. Buradan elmas telli katraklarda kullanılan boncukların ömürlerinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılabilir.

Klasik lamalı katraklarda ancak tecrübeli personeller sayesinde levha yüzeylerinde herhangi bir pürüzlü, dalgalı yapı oluşmamakta ve üretim kayıpsız olarak gerçekleştirilebilmektedir. Ancak elmas telli katraklarda bulunan bağımsız gergi sistemi sayesinde optimum yüzey kalitesi sağlanmaktadır. Elmas telli katraklarda kesim daha stabil olduğundan, levhaların yüzeyi daha düzgün, kalınlık sorunlarının daha az olması ile, silim hattında daha az aşındırıcı ve abrasiv kullanımı sayesinde

istenilen cila kalitesine daha kolay ulaşılabilir. Elmas telli katraklarda telin çalışma prensibi sayesinde levhalarda herhangi bir titreşim olmadığından, blok fire oranları daha düşük olabilmektedir. Bunun sonucunda, abrasiv kullanım miktarına bağlı maliyetin azalacağı ve enerji sarfiyatının da azalacağı beklenmektedir.

Lamalı katrakların mevcut tasarımından dolayı güçlü bir darbe kuvveti ile çalışması gerektiğinden zeminde titreşim ortaya çıkması doğal olarak görülmektedir. Elmas telli katraklar ise, tümleşik güçlü kolonları sayesinde titreşimsiz çalışmaya imkân sağlamaktadır. Doğal kılcal çatlakların bulunduğu doğal taş bloklarında klasik lamalı katrakta stroke seviyesinde harekete bağlı bloğu salladığı için en durağan halde çalışsa bile (doğru bağlama yapıldığı bazı durumlarda da) titreşim sebebi ile kılcal çatlağın açılma ihtimali ve fire kayıp verme durumu olabilmektedir. Ancak elmas telli katraklarda telin çalışma prensibi sayesinde levhalarda herhangi bir titreşim olmadığından, blok fire oranının mevcut durumunu korumasına imkân sağlamaktadır.

Dayanıklılık ve amortisman payı açısından değerlendirildiğinde elmas telli katrak makinelerinin, lamalı katrak makinelerine göre daha güçlü şaseye sahip olmalarına bağlı olarak lamalı katrak makinelerinden daha uzun süre kullanıma imkân sağladığı tasarımcıları tarafından vurgulanmaktadır.

Yüksek darbe gücü ile çalışan lamalı katrakların doğal taş işleme tesisi genelinde etkisinin ise sınırlı olması istenildiğinden kurulum öncesi, yer seçimi yapılırken konumlandırılacağı alanda özel gereksinimli beton dökülmesi gerekmektedir. Kurulduğu alan dışına taşınması zor olduğundan farklı bir alana taşınamaz ve işletme süresince sabit konumda bulunmaya devam ederek çalışmalar yürütülmektedir. Ancak elmas telli katrak makineleri ise tasarımı gereği istenildiğinde yer değiştirilebilmeye imkân sağlar ve ayrıca ilave bir yapım masrafı teşkil etmemektedir.

Elmas telli katraklarda kullanılan döner çıkarma sistemine sahip yenilikçi kasnak tasarımı sayesinde hızlı bir şekilde bakım çalışmaları gerçekleştirilebilmektedir. Makinenin iç kısımlarına kolay erişim sağlayan tasarımı sayesinde bakım süreleri ile duruş kayıpları daha az olarak gerçekleşmektedir.

Elmas telli katraş makinelerde bulunan bulut tabanlı işletim veri izleme ve depolama sistemi ile Endüstri 4.0'a (IoT) uygun olarak tasarımılandırılmıştır. IoT sistemi sayesinde tüm verilere istenilen her zaman ve ortamda ulaşmak mümkün olmaktadır. Söz konusu sistem sayesinde ilerleyen yıllarda yapay zekâ ile donatılmış elmas telli katraşların üretilmesine imkân sağlanması amaçlanmaktadır.

Elmas telli katraş makineler için satın alma maliyet kalemi lamalı katraşlara oranla daha yüksek olarak gerçekleşmektedir. Yerli üretim lamalı katraş makinelerinin kurulum dahil ortalama 200000 USD bedel ile satışı gerçekleştirilmektedir. Özellikle doğal taş makineleri üretiminde sektörel pazar payı yüksek olan Brezilya ve İtalyan firmalarınca üretilen elmas telli katraşların kurulum dahil ortalama 650000 USD bedele sahip olduğu belirtilmektedir. Bu bağlamda elmas telli katraşlar yerli üretim lamalı katraşlardan 3-4 kat daha yüksek bedele sahiptir. Söz konusu makinenin henüz yerli üretimi olmaması da ilk yatırım ve bakım maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu sebeple ilk yatırım için ayrılması gereken bütçe lamalı katraşa oranla daha fazla olarak ortaya çıkmaktadır.

Bütün bu değerlendirmeler sonucunda, yüksek kesim hızına sahip ve verimli bir makine olan elmas telli katraşların doğal taş işletmecilerinin daha verimli şekilde faaliyetlerini yürütmelerine imkân sağlayacağı ön görölmektedir. Ayrıca yerli makine üreticilerinin de gelecek yıllarda elmas telli katraş makineleri üreteceği düşünöldüğünde, makine imalatçılarının da farklı bir bakış açısı kazanacağı düşünölmektedir.

Servis ağı ve yedek parça temini açısından değerlendirildiği takdirde elmas telli katraşların kullanımı Türkiye'de henüz yaygın hale gelmediğinden elmas telli katraş makineleri üreticisi firmalarının büyük çoğunluğunun Türkiye'de yaygın bir servis ağı bulunmadığı görölmektedir. Bu bağlamda lamalı katraş makineler için sağlanan yaygın servis ağı hizmeti ve yedek parça tedarik zinciri daha etkin olarak değerlendirilmektedir.

Çoklu elmas telli katraş makineleri Türkiye'de doğal taş işleme tesisi olan firmalar tarafından 2019 yılından beri kullanılmaktadır. Dünya'yı etkileyenn koronavirüs pandemisinde özellikle 2020 yılında üretim faaliyetlerinin yavaşlaması da dikkate

alındığında, elmas telli katarakların Türkiye’de yaygınlaşmaya başladığı dönemin ise 2021 yılı sonuna denk gelmektedir. Bu durum ise henüz yetkinleşmiş tecrübeli personel sayısının istenilen seviyeye gelmediğini göstermektedir. Elmas telli katarak makineleri üreticisi olan firmalar tarafından, doğal taş işleme tesislerinde çalışan katarak operatörlerine makinenin çalışma koşulları ve yöntemleri ile ilgili detaylı eğitimler verilmektedir. Ancak Türkiye genelinde henüz yaygın şekilde elmas telli katarak makineleri kullanılmadığından elmas telli katarak makinesi operatörü sayısı, lamalı katarak makine operatör sayısına göre başlangıç düzeyinde olarak görülmektedir.

Elmas telli kataraklar özellikle İtalya, Brezilya, Çin ve Hindistan’lı doğal taş makineleri üreticileri tarafından üretilmektedir. Elmas telli katarakların kullanım sayısı klasik lamalı kataraklara oranla henüz yaygınlaşmadığı görülmektedir. Ancak verimli çalışma koşullarının sağlanmasında ve işçilik/enerji maliyetlerinin azaltılmasında önemli rol oynayabileceği yapılan bu tez çalışması ile gösterilmiştir.

Önümüzdeki yıllarda rekabet ortamının ve otomasyonun da gelişmesi ile elmas telli katarakların daha da yaygın olarak kullanılmaya başlanacağı düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında verilen sayısal parametreler, yalnızca çalışmanın yapıldığı doğal taş işleme tesisinde kurulu halde bulunan elmas telli katarak ve lamalı kataraklarda kesimi yapılan farklı ticari isimleri olan doğal taş bloklarına aittir. Farklı tür doğal taş işleyen (sedimanter breş, traverten, granit vb), farklı makine üreticileri tarafından üretilmiş elmas telli katarak ve lamalı katarak makineye sahip olan doğal taş işletmecileri tarafından da sayısal parametreler elde edilebilir ve bunlara bağlı olarak kesim performansları incelenebilir. Çalışmaların çeşitlenmesi ile doğal taş makineleri üreticilerine ve doğal taş işleyen firmalar için yapılacak inceleme ve değerlendirmelerde daha kesin sonuçlar sağlanacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akçakoca, H., Uysal, Ö., Topal, İ., 2003. Mermerlerin Kalite Kontrol Süreci Açısından Tekno-Mekanik Özelliklerinin Önemi, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 18- 19 Aralık, Afyonkarahisar, 475- 495.
- AKDEMİR MAKİNE, 2019. Erişim Tarihi: 10.10.2024. <https://www.akdemirmakine.com/hakkimizda>
- Bayram F., Kulaksız S, Özçelik Y., 2003. Katraklarda Mermerlerin Fiziki Mekanik Özelliklerinin ve Kesim Hızının Elmas Soketlerdeki Aşınmalara Etkisi, Türkiye 4. Mermer Sempozyumu, 18- 19 Aralık, Afyonkarahisar, 1-13.
- Bayram F., 2002. Elmas Lamalı Katraklarda Kesme Verimliliğinin İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 146s, Ankara.
- BESTAR STEEL GROUP, 2024. Erişim Tarihi: 10.10.2024. <https://www.bestar-steel.com/en/products/product-groups/gang-saws/>
- Butler-Smith P.W., Gryzagoridis J., Davis P.R., 1999. A Single Bead Test for Assessing Diamond Wire Performance, Industrial Diamond Review, 93- 101.
- Büyüksağış, İ.S, 1998. Dairesel Testereli Blok Kesme Makinalarında Mermerlerin Kesilebilirlik Analizleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Doktora Tezi, 199s, Eskişehir.
- Caner M., Akarslan E., 2009. Mermer Kesme İşleminde Spesifik Enerji Faktörünün ANFIS ve ANN Yöntemleri ile Tahmini, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 221-226.
- Çakıl, E.Y., 2017. Bir Mermer Fabrikasındaki Makinenin Çok Kriterli Karar Verme Metotları Kullanılarak Seçilmesi. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 85s, İzmir.
- Çimen, H., Çınar, S M., Nartkaya, M., 2008. The Investigation of Marble Cutting Parameters for Energy Consumption. International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, 4(2), 463-472.
- DEMMAK A.Ş., 2024. Erişim Tarihi: 10.10.2024. <http://www.DEMMAK.com/hakkimizda/>
- DEMMAK A.Ş., 2024. Erişim Tarihi: 10.10.2024. <http://www.DEMMAK.com/urunlerimiz/>
- Dormishi, A., Ataei, M., Mikaeil, R., Khalokakaei, R., 2018. Relations Between Texture Coefficient and Energy Consumption of Gang Saws in Carbonate Rock Cutting Process, Civil Engineering Journal, 4(2), 413-421.
- EGE MERMER SAN. LTD. ŞTİ., 2024. Erişim Tarihi: 10.10.2024. <https://egemermer.com/monolama/>

- EGE MERMER SAN. LTD. ŞTİ., 2024. Erişim Tarihi: 10.10.2024. <https://egemermer.com/granit-katragi/>
- Eken M.S, 2013. Doğal Taşlar İçin Elmas Lamalı Model Makine Tasarımı İmalatı ve Performans Analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 67s, Afyonkarahisar.
- Ersoy, A., Atıcı, Ü., 1999. Mermer Kesicilerinin Aşınma Mekanizmaları, Türkiye 16. Madencilik Kongresi, 15- 18 Haziran, Ankara, 107-115.
- Ersöz M.İ., 2014. Katrak Makinelerinde Kullanılan Elmas Soketlerin Kırılma Davranışlarının İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 87s, Afyonkarahisar
- Frasca, M.H.B.O., 2018. Petrografik Analiz, Yer Bilimleri Ansiklopedisi Serisi, 705-713.
- Gökdemir, F., 2010. Mermer Blok, Plaka ve Striplerine Uygulanan Kimyasal Dolgu-Güçlendirme Yöntemlerinin Verimliliklerinin Araştırılması, Dicle Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 101s, Diyarbakır.
- HARTEK LTD. ŞTİ., 2021. Erişim Tarihi: 10.10.2024. <https://www.hartek.com.tr/tr-TR/hakkimizda/204/218/0>
- HEDEL MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, 2024. Erişim Tarihi: 10.10.2024. <https://hedel.ind.br/storage/catalogo/catalogo-delta-wire-2-force-en.pdf>
- Hwang, CL., Yoon, K., 1981. Methods for Multiple Attribute Decision Making. In: Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, 58-191s, Berlin.
- İMİB, 2024. İstanbul Maden İhracatçıları Birliği 2023 Yılı Çalışma Raporu, Erişim Tarihi: 10/10/2024. <https://İMİB.org.tr/wp-content/uploads/2023-1.pdf>
- Kaptan, A., Adıgüzel, M., 2023. Türkiye’de Doğal Taş Sektörü ve Rekabet Gücü. İstanbul Ticaret Üniversitesi Dış Ticaret Dergisi, 1(3), 105-114.
- Keleş, R., 2023. Üretim İşletmelerinde ENTROPİ Tabanlı MOORA Yöntemi ile Makine Seçimi. Aksaray Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Aksaray.
- Kessener, P., 2010. Stone Sawing Machines of Roman and Early Byzantine Times in the Anatolian Mediterranean, Adalya XIII, 283-304.
- Kır, D., 2012. Doğal Taş Kesici Takımlarda Kübik Bor Nitrürün (cBN) Alternatif Aşındırıcı Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Doktora Tezi, 135s, Elâzığ

- Kınaş Y., Özdoğan A.K., 2022. Madencilikğin Gayri Safi Yurtiçi Hasıla Değerinin Zaman Serileri Analizi ile Tahmin Edilerek 2023 Yılında Katkısının Araştırılması, MT Bilimsel, 22, 59-65.
- Koç R., 2011. Mühendislik Plastiklerinin Aşınma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(2), 27-40.
- Konstanty, J.S, 2021. The Mechanics of Sawing Granite with Diamond Wire, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 116, 2591–2597.
- Kulaksız, S., 2012. Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, 636s, Ankara.
- Mangartz, F., 2010. Die Byzantinische Steinsage Von Ephesos, Monographien Des Romisch-Germanischen Zentralmuseums, ISBN 978-3-88467-149-8, Mainz.
- MEB, 2011. Katrakta Plaka Kesimi, Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları, 41s, Ankara.
- MERMAK A.Ş., 2019. Erişim Tarihi: 10.10.2024.
<https://www.mermak.com.tr/hakkimizda/>
- MERTEKS İÇ VE DIŞ TİC. LTD. ŞTİ., 2019. Erişim Tarihi: 10.10.2024.
<https://www.merteksLtd.com/haberler>
- MKS SAN. TİC. LTD. ŞTİ., 2022. Erişim Tarihi: 10.10.2024.
<https://www.mkscom.tr/tr/urunler.html>
- MTA, 2018. Dünyada ve Türkiye’de Doğal Taşlar, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları; Erişim Tarihi: 10/10/2024.
<https://www.MTA.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/img/DOGALTASpdf>
- Onargan, T., Köse, H., Deliormanlı A.H., 2006, Mermer, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, 324s, Ankara
- Öncül, E., 2023. Çok Değişkenli Yöntemlerde ENTROPİ Kullanımı: Mutluluk Endeksi Üzerine Bir Uygulama. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 135s, İstanbul.
- Özdoğan, A.K., Demirdağ, S, 2024. Doğal Taş İşleme Tesislerinde Kullanılan Katrakların İncelenmesi, Proceeding Book of 6th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, 25- 26 Eylül, Konya, 381-389.
- Satı, Y.E., 2024. Doğal Taş Fabrikalarında Kullanılan S/T ve Katrak Makinelerinin Performans Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 145s, İstanbul.

- Seigne, J., 2009. Scierie Hydraulique de Gerasa/Jarash: Restitution Théorique et Restitution Matérielle d'une Machine Hydraulique du VIe Siècle de Notre ère, *Studies in the History and Archaeology of Jordan*, 10, 433-442.
- Shao, H., Liu, Q., Gao, Z., 2022. Material Removal Optimization Strategy of 3D Block Cutting Based on Geometric Computation Method Processes, Modelling, Monitoring, Control and Optimization for Complex Industrial Processes 10(4), 695-713.
- Swandner, L. E., 1991. Der Schnitt im Stein. Beobachtungen zum Gebrauch der Steinsäge in der Antike, *Bautechnik der Antike*, 5, 216-223.
- TD DESIGN, 2024. Erişim Tarihi: 10.10.2024. <https://www.td-conception.com/robotique/>
- Tunç, S., 2020. Borsa İstanbul (BIST)'da İşlem Gören Otomotiv Şirketlerinin Finansal Performans Analizi: ENTROPİ, TOPSİS ve Gri Metodları. Gümüşhane Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 77s, Gümüşhane.
- TÜMMER, 2021. Doğal Taş Makineleri Sektör Raporu, Erişim Tarihi: 10/10/2024. [https://upload.eib.org.tr/ZZFAF3F52D/351AB4AF1D194F351AB4AF1D194F351AB4AF1D194F351AB4AF1D194F351AB4AF.pdf](https://upload.eib.org.tr/ZZFAF3F52D/351AB4AF1D194F351AB4AF1D194F351AB4AF1D194F351AB4AF.pdf)
- Yılmaz, A., 2020. Borsa İstanbul (BIST)'da İşlem Gören Gıda Şirketlerinin Finansal Performans Analizi: ENTROPİ, TOPSİS ve VIKOR Metodları. Gümüşhane Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 91s, Gümüşhane.
- Yılmazkaya, E., 2013. Bilgisayar Kontrollü Tek Tel Sistemi ile Blok Kesmede Etken Faktörlerin İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Doktora Tezi, 121s, Ankara.
- Yurdakul, M., 2021. A New Perspective on Reducing Energy Consumption in Granite Cutting with a Multi-blade Block Cutter: The Case of an Industrial. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler*, 9(2), 60-76.
- Zhang J.S, Wang Z., 2004. Technical Parameters and Wear Resistibility of Diamond Wire-saw in Granite Cutting, *Key Engineering Materials*, 122-126.