

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL TAŞ FABRİKALARINDA KULLANILAN S/T ve KATRAK
MAKİNELERİNİN PERFORMANS ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus Emre SATI

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL TAŞ FABRİKALARINDA KULLANILAN S/T ve KATRAK
MAKİNELERİNİN PERFORMANS ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Yunus Emre SATI
(505201009)**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Deniz TUMAÇ

ŞUBAT 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**PERFORMANCE ANALYSIS OF S/T AND GANG SAW BLOCK CUTTING
MACHINES USED IN NATURAL STONE FACTORIES**

M.Sc. THESIS

**Yunus Emre SATI
(505201009)**

Department of Mining Engineering

Mining Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Deniz TUMAÇ

FEBRUARY 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 505201009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Yunus Emre SATI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DOĞAL TAŞ FABRİKALARINDA KULLANILAN S/T ve KATRAK MAKİNELERİNİN PERFORMANS ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Deniz TUMAÇ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nuray TOKGÖZ
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Teslim Tarihi : **23 Ocak 2024**

Savunma Tarihi : **5 Şubat 2024**





Aileme ve dostlarıma,



ÖNSÖZ

Öncelikle, tez çalışmam boyunca bana sunduğu eşsiz bilgi ve deneyimle her zaman yanımda olan, sabrı ve yönlendirmeleriyle bu sürecin kolaylaşmasını sağlayan kıymetli tez danışmanım Prof. Dr. Deniz Tumaç'a ve laboratuvar aşamasında desteklerini esirgemeyen Dr.Öğr.Üyesi Aydın Shaterpour Mamaghani'ye içtenlikle teşekkür ederim. Tez yazım aşamasında, fabrika çalışmaları ve ölçüm süreçlerinde sağladığı katkılarla benim için büyük bir destek olan İlker Kömürcüoğlu'na şükranlarımı sunuyorum. Son olarak tabii ki, hayatım boyunca bana verdiği sevgi, inanç ve destekle yanımda duran, varlıklarına minnettar olduğum annem ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Şubat 2024

Yunus Emre Satı
(Maden Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. DOĞAL TAŞLAR.....	3
2.1. Sedimanter (Tortul) Doğal Taşlar	5
2.1.1. Dolomit	6
2.1.2. Kireçtaşı	7
2.1.3. Kumtaşı	8
2.1.4. Traverten	8
2.2. Magmatik (Püskürük) Doğal Taşlar	9
2.2.1. Granit	10
2.2.2. Siyenit	11
2.2.3. Gabro.....	12
2.2.4. Diyorit	12
2.3. Metamorfik (Başkalaşmış) Doğal Taşlar	12
2.3.1. Sleyt	14
2.3.2. Fillit.....	15
2.3.3. Şişt.....	15
2.3.4. Gnays	16
2.3.5. Mermer	17
3. TÜRKİYE’DE VE DÜNYADA DOĞAL TAŞ POTANSİYELİ.....	19
3.1. Türkiye’de Doğal Taş Üretimi	19
3.2. Türkiye’de Doğal Taş Dış Ticaret.....	22
3.3. Dünyada Doğal Taş Üretimi	26
3.4. Dünyada Doğal Taş Ticareti	27
4. DOĞAL TAŞ İŞLEME MAKİNELERİ	31
4.1. Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makineleri.....	31
4.2. Katrak Kesme Makineleri	33
4.3. Köprü Kesme Makineleri	34
4.4. Dikey ve Yatay Yarma Makineleri	35
4.5. Ebatlama Makineleri	37
4.6. Pah Makineleri	38
5. DAİRESEL TESTERELİ BLOK KESME (S/T) MAKİNELERİ.....	41
5.1. Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makineleri Türleri ve Teknik Özellikleri	41

5.1.1. Tek ayaklı dairesel testereli blok kesme (S/T) makineleri	41
5.1.2. Çift ayaklı dairesel testereli blok kesme (S/T) makineleri	42
5.1.3. Dört ayaklı dairesel testereli blok kesme (S/T) makineleri	43
5.2. Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makine Elemanları	44
5.2.1. Taşıyıcı ayaklar	45
5.2.2. Vagon	46
5.2.3. Köprü	46
5.2.4. Yan köprü	47
5.2.5. Kesme arabası	47
5.3. Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makineleriyle Blok Kesme İşlemleri ...	48
6. KATRAK BLOK KESME MAKİNELERİ	51
6.1. Katrak Blok Kesme Makine Türleri ve Teknik Özellikleri	51
6.1.1. Çelik testereli (kumlu) katrak blok kesme makineleri	52
6.1.2. Elmas soket lamalı katrak blok kesme makineleri	53
6.2. Katrak Blok Kesme Makinesi Elemanları	55
6.2.1. Gövde	56
6.2.2. Elektrik motoru	56
6.2.3. Kasnak	56
6.2.4. Eksantrik kolu	57
6.2.5. Vagon	57
6.2.6. Kızaklar	58
6.2.7. Lamalar ve elmas soketler	58
6.3. Katrak Makineleri ile Blok Kesme İşlemleri	59
7. ÇALIŞILAN DOĞAL TAŞLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	61
7.1. Yoğunlukların Belirlenmesi	61
7.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi	63
7.3. Dolaylı Çekme Dayanımı Deneyi	65
7.4. Cerchar Aşındırıcılık İndeksi (CAI) Deneyi	66
7.5. Schmidt Çekici Yüzey Sertliği Deneyi	68
7.6. Shore Scleroscope Yüzey Sertliği Deneyi	70
7.7. Mekanik ve Fiziksel Deneylerin Sonuçları	72
8. FABRİKA ÇALIŞMALARI	75
8.1. Fabrikanın Tanıtılması	75
8.2. S/T Performans Ölçümü ve Analizi	77
8.3. Katrak Performans Ölçümü ve Analizi	82
8.4. S/T ve Katrak Performans Ölçümü ve Analizlerinin Karşılaştırılması	86
9. PERFORMANS TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ	89
9.1. Tek Değişkenli Regresyon Analizine Dayalı Modeller	90
9.1.1. S/T blok kesme makinesi için tek değişkenli regresyon analizine dayalı modeller	90
9.1.2. Katrak blok kesme makinesi için tek değişkenli regresyon analizine dayalı modeller	95
9.1.3. S/T ve katrak makineleri için tek değişkenli regresyon analizine dayalı modellerin karşılaştırılması	99
9.2. Çoklu Regresyon Analizine Dayalı Modeller	100
9.2.1. S/T blok kesme makinesi için çoklu regresyon analizine dayalı modeller	102
9.2.2. Katrak blok kesme makinesi için çoklu regresyon analizine dayalı modeller	104

9.2.3. S/T ve katraş makineleri için çoklu regresyon analizine dayalı modellerin karşılaştıırılması	107
10. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR	111
ÖZGEÇMİŞ.....	115





KISALTMALAR

UCS : Tek Eksenli Basınç Dayanımı

BTS : Dolaylı Çekme Dayanımı

CAI : Chercar Aşındıcılık Endeksi

APÜO : Alansal Plaka Üretim Oranı

ASTM : Amerikan Standart ve Test Metotları

ISRM : Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği

SHH : Schmidt çekici sertliği

SSH : Shore scleroscope sertliği



SEMBOLLER

°C : santigrat derece

m : metre

m² : metrekare

mm : milimetre

mm² : milimetrekare

cm : santimetre

cm³ : santimetreküp

nu/no : sayı

Hp : beygir gücü

kW : kilovat

kg : kilogram

dk : dakika

s : saniye

MPa : megapascal

kN : kilo Newton

gr : gram

Lt : litre

P : yoğunluk



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 : Türkiye doğal taş rezervi (MTA, 2020).	21
Çizelge 3.2 : Türkiye doğal taş ihracatı ülke dağılımı (Milyon ABD \$) (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021).....	23
Çizelge 3.3 : Türkiye doğal taş ihracat değerleri (Değer: Milyon ABD \$) (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021).....	24
Çizelge 3.4 : Türkiye doğal taş ithalatı ülke dağılımı (Milyon ABD \$) (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021).....	25
Çizelge 3.5 : Türkiye'nin doğal taş ithalatı (Milyon ABD Doları) (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021).....	26
Çizelge 3.6 : Dünya doğal taş ihracatı (Milyon ABD Doları) (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021)	28
Çizelge 3.7 : Dünya doğal taş ithalatı (Milyon ABD Doları) (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021)	29
Çizelge 6.1. Elmas soketli 80 lamalı katrik blok kesme makinesi teknik özellikleri (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).	53
Çizelge 6.2. 60-80-120 lamalı katrik blok kesme makinelerinin teknik özellikleri (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).	54
Çizelge 7.1 : Doğal taşların yoğunluk değerleri.	62
Çizelge 7.2 : Denizli traverten numuneleri için örnek bir UCS hesap çizelgesi.	64
Çizelge 7.3 : Tundra gri numuneleri için örnek bir BTS hesap çizelgesi.....	66
Çizelge 7.4 : Afyon Beyaz numunesi için örnek bir Schmidt çekici hesap çizelgesi.	70
Çizelge 7.5 : Sarı Traverten numunesi için örnek bir Shore Scleroscope hesap çizelgesi.....	71
Çizelge 7.6. Mekanik ve fiziksel deney sonuçlarının özeti	73
Çizelge 8.1 : MKS S/T 1800 teknik özellikleri	78
Çizelge 8.2 : Muğla beyaz S/T performans analizi.....	80
Çizelge 8.3 : Patara bej S/T performans analizi.	80
Çizelge 8.4 : Denizli traverten S/T performans analizi.	80
Çizelge 8.5 : Korkuteli bej S/T performans analizi.	80
Çizelge 8.6 : Tundra Gri S/T performans analizi.	80
Çizelge 8.7 : Muğla şeker S/T performans analizi.	80
Çizelge 8.8 : Afyon Beyaz S/T performans analizi.	81
Çizelge 8.9 : Sarı traverten S/T performans analizi.....	81
Çizelge 8.10 : Silver traverten S/T performans analizi.	81
Çizelge 8.11 : Muğla gümüş S/T performans analizi.	81
Çizelge 8.12 : MKS 80 – 80 lamalı katrik makinesi teknik özellikleri.....	83
Çizelge 8.13 : Muğla Beyaz, Patara Bej, Denizli Traverten, Korkuteli Bej katrik blok kesme makinesi performans analizi	84
Çizelge 8.14 : Muğla Şeker, Afyon Beyaz, Sarı Traverten katrik blok kesme makinesi performans analizi	85
Çizelge 8.15 : Silver Traverten, Tundra Gri, Muğla Gümüş katrik blok kesme makinesi performans analizi	85

Çizelge 9.2.. S/T makinelerinin performans tahmini için çoklu regresyon yöntemi ile önerilen modellerin istatistiksel sonuçları.....	103
Çizelge 9.3. Katrak makinelerinin performans tahmini için çoklu regresyon yöntemi ile önerilen modellerin istatistiksel sonuçları.....	105



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 : Kayaç Türleri (Ankara Üniversitesi, n.d.).	4
Şekil 2.2 : Kayaç döngüsü (Ankara Üniversitesi, n.d.).	5
Şekil 2.3 : Sedimanter kayaçların taşınması (Ankara Üniversitesi, n.d.).	6
Şekil 2.4 : Magmatik kayaç resimleri (ByLejant, 2024).	10
Şekil 2.5 : Metamorfik kayaçlar (Öngen, 2024).	14
Şekil 2.6 : Doğal taşlarda metamorfizma dereceleri (MTA, 2020).	17
Şekil 2.7 : Metamorfik kayaç (mermer) resimleri (MTA, 2020).	17
Şekil 2.8 : Metamorfizma örneği (Ankara Üniversitesi, n.d.).	18
Şekil 3.1 : Türkiye doğal taş bölgesel rezerv dağılımı (MTA, 2020).	20
Şekil 3.2 : Türkiye “Traverten Sahaları” dağılım haritası (MTA, 2020).	22
Şekil 3.3 : Dünya doğal taş üretimi (TMMOB Maden Mühendisleri Odası, t.y.).	27
Şekil 4.1 : Ayaklı S/T makinesi (MKS, 2023)	32
Şekil 5.1 : Çift ayaklı dairesel testereli blok kesme (S/T) makinesi (Gülmas-Gürel Makine Sanayi Kataloğu).	43
Şekil 5.2 : Dört ayaklı dairesel testereli blok kesme (S/T) makinesi (GMS Makine sanayi kataloğu).	44
Şekil 5.3 : Dört ayaklı dairesel testereli blok kesme (S/T) makinesi ana elemanları (Mutmak, t.y.).	45
Şekil 5.4. Kesme arabası (Mutmak, t.y.).	48
Şekil 6.1 : Katrak blok kesme makine sınıflandırması (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).	52
Şekil 6.2 : 80 Lamalı katrak blok kesme makinesi (MKS, 2023).	54
Şekil 6.3. Katrak blok kesme makinesi ana bileşenleri (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).	55
Şekil 7.1 : Karot formuna getirilmiş doğal taş örnekleri	62
Şekil 7.2 : Deneylerde kullanılan hidrolik piston.	64
Şekil 7.3 : Denizli traverten tek eksenli basınç dayanımı deneyi öncesi ve sonrası.	64
Şekil 7.4 : Tundra gri dolaylı çekme dayanımı deneyi öncesi ve sonrası.	66
Şekil 7.5 : Cerchar deney aleti.	67
Şekil 7.6 : Silver Traverten Cerchar aşındırıcılık deneyi öncesi ve sonrası.	68
Şekil 7.7 : Cerchar aşındırıcılık deneyi ölçümlerinde kullanılan elektronik mikroskop.	68
Şekil 7.8 : Schmidt çekici deneyi icra edilmesini gösteren bir fotoğraf.	69
Şekil 7.9 : C-2 tip Shore Scleroscope deney aleti.	71
Şekil 8.1 : S/T için fabrika akım şeması.	76
Şekil 8.2 : Katrak için fabrika akım şeması.	76
Şekil 8.3. MKS S/T 1800 (MTA, 2020).	79
Şekil 8.4 : MKS 80 – 80 lamalı katrak makinesi (MTA, 2020).	83
Şekil 8.5 : S/T ve Katrak makineleri alansal plaka üretim oranları karşılaştırması ..	86
Şekil 9.1 : S/T saatte alansal plaka üretimi ile yoğunluk arasındaki ilişki.	91
Şekil 9.2 : S/T saatte alansal plaka üretimi ile UCS arasındaki ilişki.	92
Şekil 9.3 : S/T saatte alansal plaka üretimi ile BTS arasındaki ilişki	92
Şekil 9.4 : S/T saatte alansal plaka üretimi ile CAI arasındaki ilişki	93

Şekil 9.5 : S/T saatte alansal plaka üretimi ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki	94
Şekil 9.6 : S/T saatte alansal plaka üretimi ile Shore scleroscope sertliği arasındaki ilişki	95
Şekil 9.9 : Katrak saatte alansal plaka üretimi ile BTS arasındaki ilişki	97
Şekil 9.10 : Katrak saatte alansal plaka üretimi ile CAI arasındaki ilişki	97
Şekil 9.11 : Katrak saatte alansal plaka üretimi ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki	98
Şekil 9.12 : Katrak saatte alansal plaka üretimi ile Shore scleroscope sertliği arasındaki ilişki	99
Şekil 9.13 : Ölçülen ve denklem 9.1 kullanılarak tahmin edilen S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranı parametresinin dağılım grafiği	103
Şekil 9.14 : Ölçülen ve denklem 9.2 kullanılarak tahmin edilen S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranı parametresinin dağılım grafiği	104
Şekil 9.15. Ölçülen ve denklem 9.3 kullanılarak tahmin edilen Katrak makinelerinin alansal plaka üretim oranı parametresinin dağılım grafiği	106
Şekil 9.16. Ölçülen ve denklem 9.4 kullanılarak tahmin edilen Katrak makinelerinin alansal plaka üretim oranı parametresinin dağılım grafiği	106

DOĞAL TAŞ FABRİKALARINDA KULLANILAN S/T ve KATRAK MAKİNELERİNİN PERFORMANS ANALİZİ

ÖZET

Türkiye'nin bol doğal taş yatakları, onu küresel pazarda önemli bir oyuncu haline getirmiştir. Bu kaynaklara olan talep arttıkça, üretim yöntemlerinin ileri mekanizasyon yoluyla optimize edilmesi giderek daha önemli hale gelmektedir.

Granit, mermer, kireçtaşı, traverten, arduvaz, kuvarsit, kumtaşı, adoquin ve oniks gibi çeşitli doğal taşlar, binlerce yıldır yapı ve dekorasyon malzemesi olarak kullanılmaktadır. Her taşın benzersiz fiziksel ve estetik özellikleri vardır. Doğal taşlar, dayanıklılıkları ve güzellikleri ile tanınır ve her biri benzersiz bir estetik değere sahiptir. Dünya genelindeki doğal taş rezervlerinin tahmini 15 milyar m³ olup, Türkiye, özellikle Alp kuşağında, dünya mermer rezervlerinin önemli bir bölümüne ev sahipliği yapmaktadır. Bu bölgedeki tahmini mermer rezervi yaklaşık 5.1 milyar m³ olup, küresel toplamın yaklaşık %33'ünü oluşturmaktadır.

Tez, doğal taş işleme tesislerinde yaygın olarak kullanılan iki ana tip blok testere olan S/T (dairese testere) makineleri ve katra blok kesme makinelerinin performansını analiz eder. Çeşitli malzeme ve işletim parametrelerini kapsamlı bir şekilde değerlendirir ve kesme performansının birçok faktörden etkilendiğini ortaya koyar. Doğal taş kesimi için kullanılan makinelerin verimliliği ve performansı, taşın türü, testere bıçağı çapı, dönme hızı, besleme oranı, soğutucu miktarı ve kalitesi, makine gücü, operatör yeterliliği ve deneyimi gibi birçok faktöre bağlıdır.

Araştırma, katra blok kesme makinelerinin, S/T makinelerine göre saatte üç kat daha yüksek alan tabla üretim oranlarına ulaştığını vurgulamaktadır. Bu bulgu, katra makinelerinin belirli taş türleri ve kesme gereksinimleri için özellikle uygun olduğunu göstermektedir. Ancak, katra makinelerinin, sadece belirli boyutlardaki kırılmamış, çatlaksız bloklarda çalışabilme ve özel sipariş levha boyutları gerektirme gibi sınırlamaları sebebiyle, S/T makineleri, doğal taş kesim fabrikalarında önemli bir rol oynamaya devam edeceklerdir.

Araştırmada, laboratuvar testleri ve farklı doğal taş türleri üzerinde yapılan saha çalışmalarından elde edilen veriler, S/T makineleri ve katra makinelerinin saatteki alan tabla üretim oranları (APUO, m²/saat) ile karşılaştırıldı. Makinelerin kesme performansı ile taşların arasında yoğunluk (ρ), tek eksenli basınç dayanımı (UCS), dolaylı çekme dayanımı (BTS), Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI), Schmidt çekiç sertliği (SHH) ve Shore scleroscope sertliği (SSH) olan fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişki incelendi.

Gelişmiş istatistiksel teknikler kullanılarak Python ve Excel programları destekli veri analizi yapıldı. S/T makineleri için UCS ve katra makineleri için SHH en güçlü ilişkilere sahip fiziksel özellikler olarak tespit edildi. Her makine türü için çoklu

regresyon analizleri kullanılarak iki ayrı model geliştirildi. Belirlenim katsayıları (R^2) %76 ile %80 arasında değişti. Bu modellerin güvenilirliği, iki yönlü 't' testleri ve sağ yönlü 'F' testleri ile sıkı bir şekilde test edildi. Çoklu regresyon analizleri, katarak makineleri için daha yüksek belirlenim katsayılarına sahip modeller üretirken, basit regresyon analizleri S/T makineleri için daha güçlü ilişkiler gösterdi.

Kesme hızlarının ölçülen ve tahmin edilen performansları, taşların özel fiziksel ve mekanik özelliklerine dayanarak S/T ve katarak blok kesme makineleri için tahmin edildi. Bu analizlerin sonuçları, 1:1 ekseninde çizilerek görsel olarak temsil edildi. Bu ilişkiler, sağlam istatistiksel çalışmalarla kurulmuş ve doğrulanmıştır. Ancak, çalışmada kullanılan veri setinin sınırlı olduğu kabul edilmektedir. Çeşitli kaynaklardan doğal taş örneklerinden geniş bir özellik yelpazesi dahil edilmesi, elde edilen modellerin güvenilirliğini artırmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, daha büyük veri setleri ile daha güvenilir ve anlamlı ilişkilerin geliştirilmesine katkıda bulunacak ve önerilen modellerin tahmin gücünü güçlendirecektir.

Ayrıca, kesme performansı üzerindeki makine türü, testere kalınlığı, diş sayısı, motor gücü ve hız gibi diğer makine parametrelerinin etkilerini dikkatlice göz önünde bulundurmak önemlidir. Bu parametrelerin kesme performansı üzerindeki etkisini anlamak, makine verimliliğini ve üretim kalitesini iyileştirmek için önemli bir adımdır. Bu çalışma, doğal taş kesme sürecinin anlaşılmasına değerli bir katkı sağlar. Kesme stratejilerinin geliştirilmesi, makine seçimi ve işletme planlaması için içgörüler sunar.

Araştırma bulguları, doğal taş endüstrisi için önemli sonuçlar taşımaktadır. Gerçek zamanlı veri analizleri ve tahmine dayalı bakım stratejileri, kesme makinelerinin operasyonel çerçevesine entegre edilebilir, işletme verimliliğini artırabilir, kesinti sürelerini azaltabilir ve önemli maliyet tasarrufları sağlayabilir. Ayrıca, gelecekteki araştırmaların, kesme teknolojilerinin çevresel etkilerini ele alması ve doğal taş endüstrisinde sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmesi gerekmektedir. Bu, sadece Türkiye'nin küresel lider olarak konumunu sağlamlaştırmakla kalmayacak, aynı zamanda çevreye sorumlu üretim uygulamalarına da katkıda bulunacaktır.

PERFORMANCE ANALYSIS OF S/T AND GANG SAW BLOCK CUTTING MACHINES USED IN NATURAL STONE FACTORIES

SUMMARY

This master's thesis aims to contribute significantly to the knowledge base in natural stone production, with a particular focus on Turkey's geological landscape. Turkey's abundant natural stone deposits have established it as a major player in the global market. As the demand for these resources continues to grow, the optimization of production methods through advanced mechanization becomes increasingly crucial.

Natural stones are products obtained from the earth and have been used as building and decoration materials for thousands of years. This group of materials includes granite, marble, limestone, travertine, slate, quartzite, sandstone, adoquin and onyx. Each stone has unique physical and aesthetic characteristics. Natural stones are renowned for their durability and beauty, with unique properties that make them stand out. Although extracted from the same source, these stones may differ in terms of their components, colours, and textures, giving each one a unique aesthetic value. This makes them ideal for dramatic and distinctive applications in the world of design. The estimated global reserves of natural stone are 15 billion m³. Turkey is home to a significant portion of the world's marble reserves, particularly in the Alpine belt. Turkey is home to a significant portion of the world's marble reserves, particularly in the Alpine belt. It is estimated that this region alone holds around 5.1 billion m³ of potential marble reserves, which accounts for approximately 33% of the global total.

The thesis analyses the cutting performance of two primary types of block saws commonly used in natural stone processing plants: the S/T (circular saw) and gang saw block saws. It comprehensively evaluates various material and operating parameters and reveals that cutting performance is influenced by numerous factors. The efficiency and performance of machines used for cutting natural stone depend on several factors, including the type of stone, saw blade diameter, rotational speed, feed rate, coolant quantity and quality, machine power, and operator competence and experience. To maintain optimal performance, it is important to continuously monitor and periodically check these factors.

The research highlights the superior performance of gang saw block-cutting machines, which achieve three times higher areal slab production rates compared to S/T machines. This finding suggests that gang saw machines are particularly suited for specific stone types and cutting requirements. However, it is important to note that gang saw machines have limitations, as they can only work on certain sizes of unbroken, crack-free blocks and require special order plate sizes. S/T machines still play a significant role in natural stone cutting factories and are expected to maintain their presence in the industry in the near future.

The research compared data obtained from laboratory tests and field studies on different types of natural stones with the areal slab production rates per hour (APUO, m²/hour) of S/T machines and gang saw machines. The analysis examined the relationship between the cutting performance of machines and the physical and mechanical properties of stones, including density (ρ), uniaxial compressive strength (UCS), indirect tensile strength (BTS), Cerchar abrasiveness index (CAI), Schmidt hammer hardness (SHH), and Shore scleroscope hardness (SSH). The language used is clear, objective, and value-neutral, with a formal register and precise word choice. The sentence structure is simple and logical, with causal connections between statements. The text adheres to conventional structure and formatting features, including consistent citation and footnote style. No changes in content were made, and the text is free from grammatical errors, spelling mistakes, and punctuation errors. The investigation analyzed several natural stone types, namely Silver Travertine, Tundra Grey, Denizli Travertine, Yellow Travertine, Patara Beige, Korkuteli Beige, Muğla Sugar, Muğla White, Muğla Silver, and Afyon White.

Advanced statistical techniques were used during the data analysis process, employing Python and Excel programs supported by libraries such as pandas, numpy, statsmodels, and matplotlib. Regression analyses were conducted on binary combinations of each physical and mechanical property. The results showed that UCS for S/T machines and SHH for gang saw machines had the strongest relationships. Two distinct models were developed for each machine type using multiple regression analyses. The coefficients of determination (R^2) ranged between 76% and 80%. The reliability of these models was rigorously tested through two-way 't' tests and right-way 'F' tests. Measures were taken to avoid multicollinearity by keeping the variance inflation factor (VIF) below 10. Simple regression analyses showed stronger relationships for S/T machines, while multiple regression analyses produced models with higher coefficients of determination for gang saw machines.

The measured and predicted performances of cutting speeds for natural stones with S/T and gang saw block cutting machines can be predicted based on specific physical and mechanical properties of the stones. The results of these analyses were visually represented by plotting them on a 1:1 axis. These relationships were established and verified through robust statistical studies. However, it is acknowledged that the dataset used in the study is limited. However, including a wide range of properties from natural stone samples of diverse origins enhances the reliability of the obtained models. Future studies with larger datasets will undoubtedly contribute to the development of more reliable and meaningful relationships, strengthening the predictive power of the proposed models.

In addition, it is crucial to thoroughly consider the effects of other machine parameters, such as machine type, saw thickness, number of gears, engine power, and speed, on cutting performance. Understanding the impact of these parameters on cutting performance is a crucial step in improving machine efficiency and production quality. This study is a valuable contribution to the understanding of the natural stone cutting process. It provides insights for the development of cutting strategies, machine selection, and operational planning.

The research findings have significant implications for the natural stone industry. Real-time data analytics and predictive maintenance strategies can be integrated into the operational framework of cutting machines, leading to improved operational efficiency, reduced downtime, and significant cost savings. Additionally, future research should focus on addressing the environmental impact of cutting technologies and promoting sustainable practices in the natural stone industry. This will not only solidify Turkey's position as a global leader but also contribute to environmentally responsible production practices.



1. GİRİŞ

Doğal taşlar, yeryüzünün derinliklerinden elde edilen, binlerce yıl boyunca yapı ve dekorasyon malzemeleri olarak tercih edilen özgün ürünlerdir. Bu doğal ürünler arasında granit, mermer, kireçtaşı, traverten, kayrak, kuvarsit, kumtaşı, adoquin ve onyx gibi çeşitlilik gösteren taşlar bulunmaktadır. Ancak bu taşların her biri, sadece fiziksel yapılarıyla değil, estetik değerleriyle de ön plana çıkarlar. Doğal taşların sahip oldukları benzersiz yapısı, onların dayanıklılık ve güzellik bakımından mükemmeliyetini ortaya koyan özellikleriyle bilinir. Doğal taşların içerisinde seçilen bu ürünler, bileşenleri, renkleri ve dokuları bakımından dahi aynı kaynaktan çıkarılsalar bile farklılık gösterebilir. Bu durum, her bir taşın benzersiz bir estetik değere sahip olduğu anlamına gelir ve bu da onların tasarım dünyasında dramatik ve ayırt edici uygulamalara sahip olmasını sağlar.

Dünyadaki tahmini doğal taş rezerv miktarı 15 milyar m³'tür (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021). Türkiye, bu rezervin ciddi bir bölümüne ev sahipliği yapmaktadır. Özellikle Alp kuşağı, zengin mermer yataklarına sahiptir ve Türkiye bu bölgede tahminen 5,1 milyar m³'lük bir potansiyel mermer rezervine sahip olduğu bilinmektedir. Bu, dünya rezervlerinin yaklaşık %33'üne tekabül etmektedir (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021).

Son dönemlerde Türkiye'deki doğal taş endüstrisi, büyüme ve inovasyon anlamında kayda değer bir ilerleme kaydetmiştir. Öncü firmalar, modern üretim tekniklerine ve yöntemlerine yatırım yaparak, sektördeki yerlerini sağlamlaştırmışlardır. Bu modern üretim yöntemleri arasında elmas boncuklu tel kesme makineleri, S/T mermer blok kesme makineleri ve katrak kesme makineleri dikkat çekmektedir. Yüksek verimlilik oranlarına ve üretim kapasitesine sahip olan bu makineler, firmalar tarafından tercih edilen başlıca araçlar haline gelmiştir. Bu çalışmada, Kömürcüoğlu Mermer Fabrikası'nda kullanılan S/T ve katrak kesme makinelerinin performans analizleri detaylı bir şekilde ele alınmış, veri analizi ve performans karşılaştırmaları üzerinden kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirmeler yapılırken doğal taşların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri laboratuvar çalışmaları ile incelenerek tespit edilmiş ve bulunan sonuçların kesme performansı ile arasında korelasyon

incelenmiştir. İstatistiksel olarak basit ve çoklu regresyon yöntemi kullanılarak yapılan araştırmada bulunan sonuçlar ile fiziksel ve mekanik kayaç özellikleri ile S/T ve katarak blok kesme makinelerinin kesim performansları arasında güçlü bir ilişki bulunmuştur. Bu inceleme, endüstrinin daha verimli ve sürdürülebilir bir üretim sürecine ulaşabilmesi için kritik öneme sahip bilgileri ortaya koymaktadır.



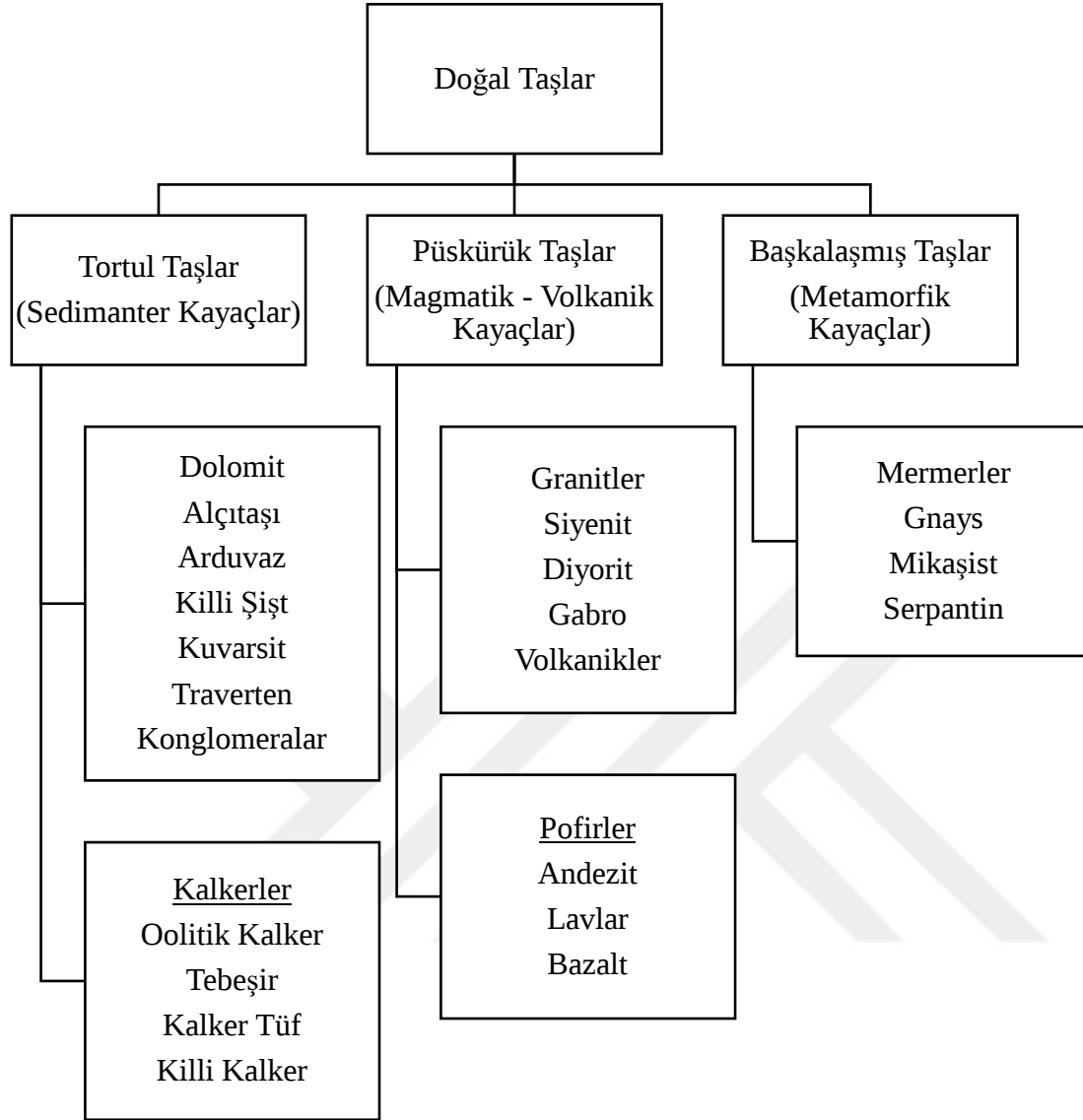
2. DOĞAL TAŞLAR

Doğal taşlar, hem fiziksel dayanıklılıkları hem de estetik özellikleri nedeniyle tarih boyunca çeşitli uygarlıklar tarafından büyük bir değerle kullanılmıştır. Bu taşlar, zamanın ve çevresel etmenlerin yıpratıcı etkilerine rağmen binlerce yıl boyunca bozulmadan kalabilme yetenekleriyle dikkat çekerler. Dolayısıyla, doğal taş yapılar, sadece mimari başarıları değil aynı zamanda tarih ve kültürün aktarılmasında kritik bir role sahip olmuşlardır.

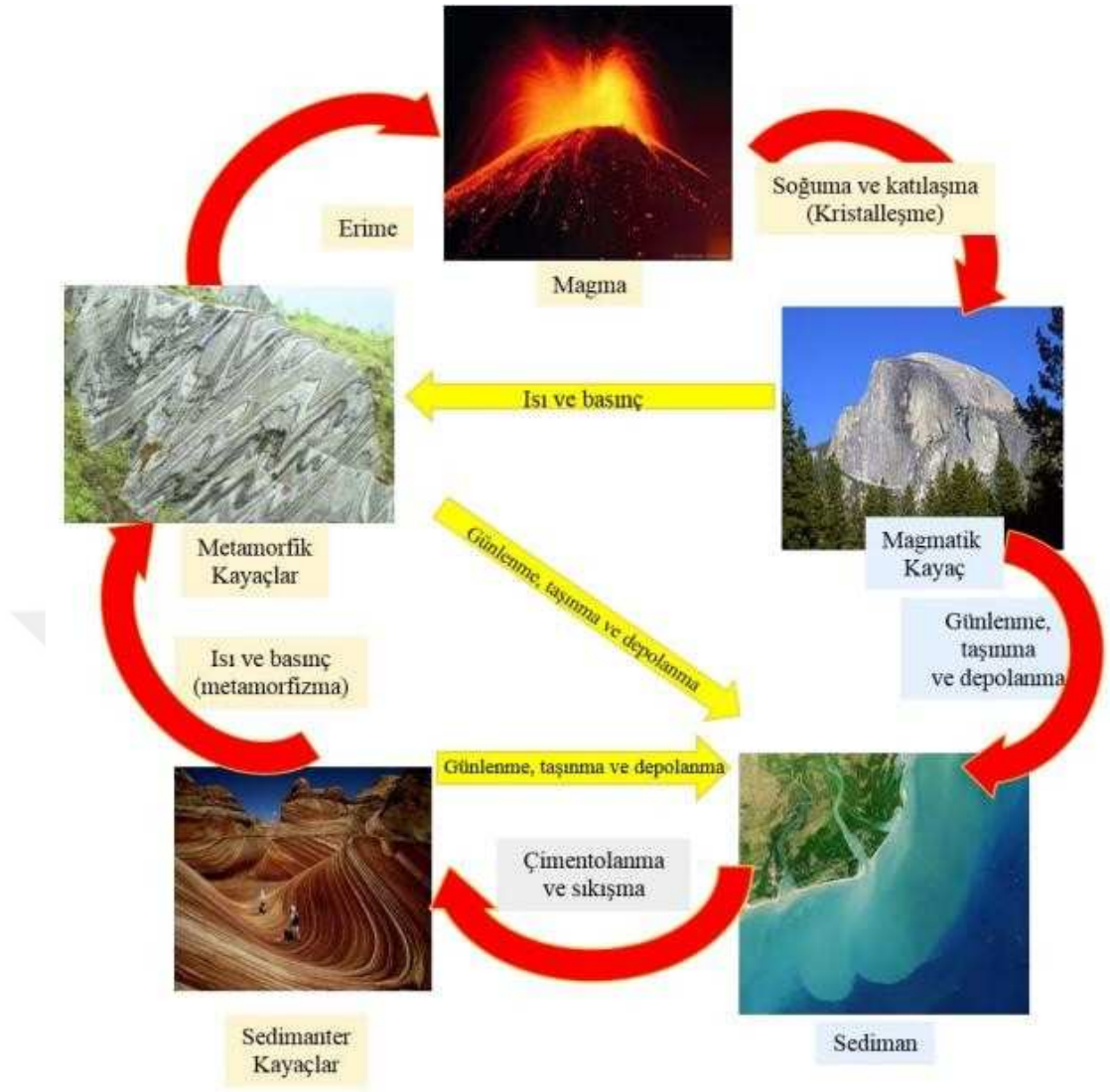
Yerkabuğunun temel yapı taşı olan bu taşlar, kristal yapıları ve mineral bileşenleri ile karakterizedir (Eriç, 2002). Bu mineral bileşenleri, doğal taşların özelliklerini, rengini, dayanıklılığını ve kullanım amaçlarını doğrudan etkiler. Doğal taş terimi, jeolojik açıdan farklı kökenlere sahip olan, ancak benzer fiziksel ve kimyasal özellikleri paylaşan kayaçları tanımlamak için kullanılır. Ancak endüstriyel ve ticari bağlamda "doğal taş", belirli standartlara ve yasal düzenlemelere uygun olarak işlenmiş ve ticarete sunulmuş kayaçları ifade eder (Yüzer, 2004).

Jeolojik sınıflandırma perspektifinden bakıldığında, doğal taşlar üç ana kategoriye ayrılır: Magmatik (püskürük), Sedimanter (tortul) ve Metamorfik (başkalaşmış). Kayaç türleri Şekil 2.1'de verilmiştir. Bu kategorilendirme, taşların oluşum süreçlerine, yer kabuğunda maruz kaldıkları koşullara ve mineral bileşimlerine bağlıdır. Magmatik taşlar, yerkabuğunun derinliklerinde oluşan ve soğuyarak kristalleşen magma kaynaklıdır. Sedimanter taşlar, diğer kayaçların erozyonu ve çökmesiyle oluşurken; Metamorfik taşlar, var olan bir kayaç türünün yüksek basınç ve sıcaklık koşullarında dönüşüm geçirmesi sonucu oluşur. Her bir taş türü, kendine özgü estetik ve mekanik özelliklere sahiptir.

Bu sürekli değişim ve dönüşüm süreci "kayaç döngüsü" olarak adlandırılır ve bu döngü, yerkabuğunun dinamik yapısını ve evrimsel sürecini ortaya koymaktadır. Bu sürecin detaylı bir görsel temsili Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.1 : Kayaç Türleri (Ankara Üniversitesi, n.d.).



Şekil 2.2 : Kayaç döngüsü (Ankara Üniversitesi, n.d.).

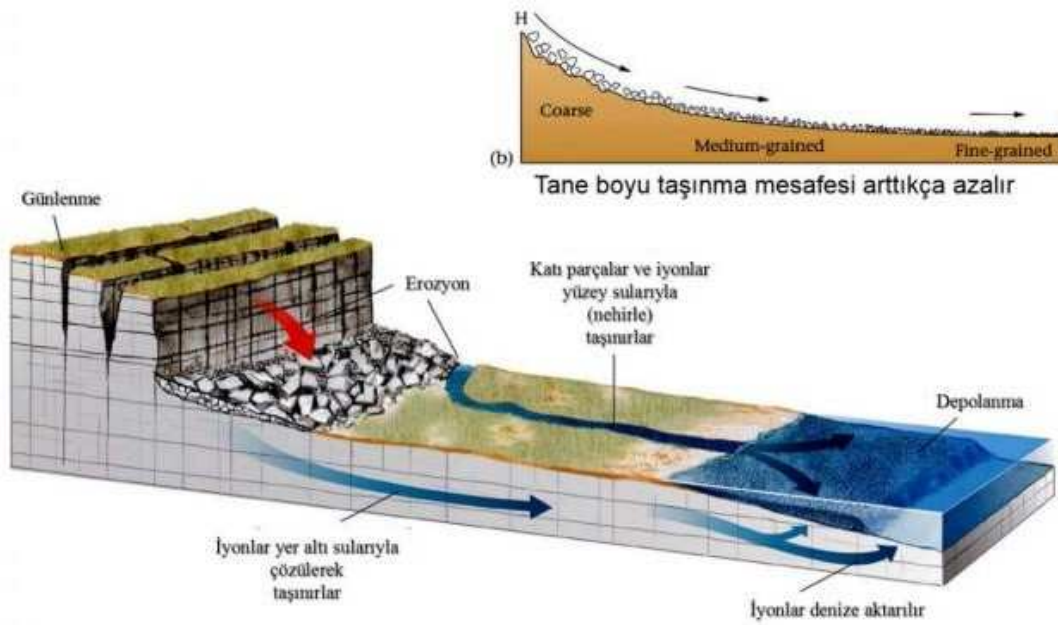
2.1. Sedimanter (Tortul) Doğal Taşlar

Sedimanter kayaçlar, jeolojik süreçlerin sonucu olarak yerkabuğunda meydana gelen önemli bir kayaç grubudur. Oluşumları esnasında, diğer kayaçlardan kopan ve ayrışan parçacıkların, su, rüzgar ve buzul gibi etkenlerle taşınarak çeşitli çökeltme ortamlarında birikmesi sonucunda meydana gelirler. Bu çökeltme ortamları denizler, göller, nehir yatakları veya çöller olabilir. Aynı zamanda, geçmişte yaşamış olan organizmalardan kaynaklanan organik materyalin birikimiyle de sedimanter kayaçlar oluşabilir. Özellikle bazı sedimanter kayaçlar, içerdikleri fosillerle, geçmiş dönemlere ait ekosistemleri ve yaşam formlarını günümüze taşımaktadır.

Bu kayaç grubunun en dikkat çekici özelliklerinden biri tabakalı yapısıdır. Bu tabakalı yapı, sedimanter kayaçların çökeltme süreçlerinde, farklı zamanlarda biriken

malzemenin katmanlar halinde birikmesinden kaynaklanır. Her bir tabaka, çökeltme ortamındaki değişikliklere, iklim koşullarına, deniz seviyesindeki dalgalanmalara veya tuzluluk derecesindeki farklılıklara bağlı olarak değişik renk, doku ve bileşime sahip olabilir.

Sedimanter kayaçların taşınma süreçleri, erozyon ve ayrışma sonucu oluşan parçacıkların taşınması, çökeltilmesi ve sonrasında dijeniz ile konsolide olması evrelerini kapsar. Bu evreler, kayaçların nasıl oluştuğuna, hangi süreçlerden geçerek günümüzdeki formuna ulaştığına dair detaylı bilgiler sunar. Bu süreç, Şekil 2.3'te detaylı bir şekilde grafiklerle gösterilmiştir, bu görsel, sedimanter kayaçların jeolojik evrimini anlamak için kritik bir araçtır.



Şekil 2.3 : Sedimanter kayaçların taşınması (Ankara Üniversitesi, n.d.).

2.1.1. Dolomit

Dolomit, çoğunlukla kalsiyum ve magnezyumun çift karbonat bileşiğinden oluşan bir mineraldir. Bu bileşiğin kimyasal formülü $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 'dir. Dolomitin kimyasal yapısı, onu diğer karbonat minerallerinden, özellikle kalsitten ayıran bir özelliktir.

Bu ayırıcı karakteristik ilk olarak 18. yüzyılın sonlarında Fransız jeolog Deodat de Dolomieu tarafından tanımlanmıştır. Dolomieu'nun bu keşfinin ardından, 1791 yılında Count Dolomien tarafından bu mineralin adı "dolomit" olarak isimlendirilmiştir. Bu isimlendirme, hem keşfini yapan bilim insanının adını taşımakta hem de bu mineralin özgün özelliklerini vurgulamaktadır.

Dolomitin kimyasal bileşimi, hem kalsiyum karbonat (CaCO_3) hem de magnezyum karbonat (MgCO_3) içerir. Kimyasal olarak incelediğimizde, dolomitin teorik bileşimi şu şekildedir Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA, 2020).

Kalsiyum Karbonat (CaCO_3): %54,35

Kalsiyum Oksit (CaO): %30,4

Magnezyum Karbonat (MgCO_3): %45,65

Magnezyum Oksit (MgO): %21,7

Karbondioksit (CO_2): % 47,9

Bu kimyasal bileşim, dolomitin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyen temel faktördür. Özellikle dolomitin bazik (magnezyum içeren) ve asidik (kalsiyum içeren) komponentleri arasındaki denge, onun birçok endüstriyel ve jeolojik uygulamadaki rolünü etkilemektedir.

2.1.2. Kireçtaşı

Kireçtaşı, genellikle sedimanter karakterde olan ve bileşiminde dominant olarak kalsiyum karbonat (CaCO_3) bulunan bir kayaç türüdür. Bu bileşimde kalsiyum karbonatın oranı %90 ve üzeri değerlere ulaşabilir. Kireçtaşı, doğal formunda genellikle beyazdan kreme doğru renk spektrumunda bulunabilir. Ancak, yer yüzünde bu kayaçların renk tonlarına bazen eklenen kahverengi, gri veya sarımsı renk tonları da bulunmaktadır. Bu renk varyasyonları, kireçtaşının oluşum esnasında içerisinde bulundurduğu diğer mineraller ve organik maddelerin etkisiyle oluşabilir.

Bu kayacın karakteristik bir özelliği, yapısındaki boşluklar ve gözeneklilikle tanımlanabilir, bu nedenle süngerimsi bir yapıya sahip olduğu ifade edilir.

Bu gözenekli yapı, kireçtaşının bazı özelliklerini, özellikle sıvı ve gazların geçirgenliğiyle ilgili olanlarını belirlemektedir.

Kireçtaşının en tanınmış reaksiyonlarından biri, hidroklorik asidin (HCl) damlatıldığında hızla köpürme göstermesidir. Bu reaksiyon, kireçtaşının kalsiyum karbonat içeriğinin bir göstergesi olarak kabul edilir. Bununla karşılaştırıldığında, kireçtaşlarının bazı çeşitleri, ortamdaki magnezyum (Mg) ile kimyasal reaksiyona girebilir ve $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ formülüyle tanımlanan yeni bir mineral ve kayaç türü oluşturabilir. Bu özel kayaç türüne "dolomit" adı verilir. Dolomitin, kireçtaşı gibi bir hidroklorik asit reaksiyonu yoktur; bu nedenle, dolomit üzerine %10'luk HCl asit

damlatıldığında köpürme gözlemlenmez. Bu özellik, dolomiti kireçtaşıdan ayırt etmek için kritik bir parametredir (Ankara Üniversitesi, n.d.).

2.1.3. Kumtaşı

Kumtaşı, birikmiş kum tanelerinden, bir dizi mineralden, kaya parçalarından veya organik maddelerden oluşan klastik bir tortul kayadır. Bu kayaç, taneleri bir arada tutan sementasyon maddesi ile tanımlanır, bu da genellikle kalsiyum karbonat, silis veya demir oksitlerden oluşur. Matris, kum taneleri arasındaki boşlukları dolduran ve genellikle silt veya kil boyutlu parçacıklardan oluşan ince taneli bir madde olarak tanımlanır. Bu matris, kumtaşının renk, geçirgenlik ve diğer fiziksel özelliklerini etkileyen önemli bir bileşendir.

Kumtaşları, yer kabuğunda oluşan en yaygın tortul kayalardan biridir ve oluşumları, fluvyal (nehir), deltik, sahil, çöl ve deniz altı ortamları gibi birçok farklı sedimanter ortamda meydana gelebilir. Bu farklı ortamlar, kumtaşlarının tane boyutu, şekli, sementasyonu ve matris bileşimi üzerinde belirgin bir etkiye sahip olabilir.

Kumtaşlarının jeolojik anlamda büyük bir önemi vardır, zira bu kayalar fosil içeriği, eski iklim şartları ve sedimanter ortamların geçmişi hakkında değerli bilgiler sağlar. Ekonomik olarak, kumtaşı genellikle inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılır, özellikle dış cephe kaplaması, kaldırım taşları ve dekoratif öğelerde. Ayrıca, kumtaşı, bazı endüstriyel süreçlerde ham madde olarak da kullanılır. Bu özellikleri, kumtaşının jeolojik ve ekonomik açıdan önemini vurgular.

2.1.4. Traverten

Traverten, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (kalsiyum bikarbonat) başta olmak üzere, çeşitli mineral tuzlarını içeren suyun buharlaşması veya sıcaklık değişiklikleri sonucu oluşan çökelmelerle meydana gelen bir çeşit karasal tortul kayadır. Jeokimyasal reaksiyonlar sonucunda kalsiyum iyonları, bikarbonat iyonları ile reaksiyona girerek kalsiyum karbonata dönüşür ve bu çökeltme travertenin oluşumuna katkıda bulunur.

Mikroskobik düzeyde incelendiğinde, travertenin genellikle porlu, lifli ve bazen de konsantrik tabakalar halinde biriktiği görülür. Rengi, içerisindeki diğer mineral ve organik bileşenlere, ayrıca oluşum koşullarına bağlı olarak beyazdan ten rengine, krem rengine ve bazen daha koyu tonlara kadar değişebilir.

Travertenin oluşumu, genellikle yeraltı sularının, özellikle de jeotermal suların yüzeye çıktığı bölgelerde, bu suların hava ile teması sonucu karbondioksitin buharlaşmasıyla hızlanır. Bu nedenle, sıcak su kaynakları, kaplıcalar ve kireçtaşı mağaraları gibi yerlerde traverten oluşumu sıkça gözlemlenir.

Türkiye'nin Ege bölgesi, jeolojik yapısı ve jeotermal aktivite bakımından zengin olduğundan, travertenin doğal olarak oluştuğu alanlara ev sahipliği yapmaktadır. Bu doğal birikintiler, hem doğal güzellikleri ve turistik potansiyeli ile ön plana çıkar, hem de ekonomik açıdan önemlidir. Traverten, dayanıklılığı, estetik görünümü ve işlenebilirliği nedeniyle inşaat ve yapı malzemeleri sektöründe tercih edilen bir taş türüdür. Özellikle döşeme, cephe kaplama ve dekoratif uygulamalarda kullanılır. Bunun yanı sıra, travertenin özgün desen ve renkleri, mimari projelerde ve peyzaj tasarımlarında da sıkça tercih edilmesinin bir sebebidir.

2.2. Magmatik (Püskürük) Doğal Taşlar

Magmatik kayaçlar, yerkabuğunun derinliklerinde kristalleşme süreçleri sonucunda oluşan, genellikle eğrelti taşlarından meydana gelen, homojen yapıya sahip taşlardır. Bu kayaçlar, magma hareketlerinin sonucu olarak litosferin farklı seviyelerinde, ya da yüzeyde oluşmalarına bağlı olarak çeşitli sınıflandırmalara ayrılırlar.

Magmatik kayaçların oluşumları, kristalleşme sürecine, basınca, sıcaklık koşullarına ve çevresel faktörlere bağlı olarak farklılık gösterir. Bu oluşum süreçleri, kayaçların fiziksel ve kimyasal özelliklerini, mineralojik bileşimlerini ve tekstürlerini doğrudan etkiler.

Yer kabuğunun yüzeyine yakın bölgelerde yavaşça soğuyan ve kristalleşen magmalar damar taşları veya yarı derinlik taşları olarak adlandırılır. Bu kayaçlar, genellikle daha büyük kristaller içerir, çünkü yavaş soğuma süreci kristal büyümesi için daha uzun bir zaman sağlar.

Bununla karşılık, yerkabuğunun yüzeyinde hızla soğuyan ve kristalleşen magmalar, volkanik taşlar veya yüzey taşları olarak bilinir. Bu kayaçlar genellikle ince tanelidir, çünkü hızlı soğuma süreci kristallerin büyümesini sınırlar.

En derin bölgelerde, yavaşça soğuyan ve kristalleşen magmalar plütonik veya derinlik kayaçları oluşturur. Bu kayaçlar, genellikle oldukça büyük ve belirgin kristal yapılarına sahip olup, mineral bileşenleri arasında net bir ayrım gösterirler.

Magmatik kayaçların kapsamlı bir listesi, bazalttan granite, andezitten diyabaza kadar çeşitli örnekleri içerir. Bu kayaçlar arasında, kimyasal bileşimleri, mineralojik özellikleri ve oluşum koşulları temelinde belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Şekil 2.4'te, bu magmatik kayaç örneklerinin mineralojik ve tekstürel özelliklerini gösteren görsel örnekler sunulmuştur. Bu görseller, kayaçların genel karakteristiklerini ve özgül özelliklerini anlamak için önemli bir referanstır.



Şekil 2.4 : Magmatik kayaç resimleri (ByLejant, 2024).

2.2.1. Granit

Granit, jeolojik oluşumları arasında önemli bir yere sahip olan intrüzif magmatik kayaçlardandır. Temelde, feldspat ve kuvars minerallerinin hakimiyeti ile tanınır. Bu kayaçlar, %69 ve üzeri oranda silisyum dioksit (SiO_2) içeriğiyle ayırt edilirler. Feldspat'ın yanı sıra kuvars içeriği de toplam hacmin %20 ve üzerinde bulunarak graniti diğer kayaç türlerinden ayırt edici bir özellik katar.

Yerkabuğunda geniş bir dağılım gösteren granitler, tüm kıta kabuklarının temel yapı taşlarından biri olarak kabul edilir. Jeomorfolojik oluşumları çerçevesinde dayk, silis ve batolit gibi çeşitli yerleşim biçimlerini gösterirler. Bu yerleşim biçimleri, granitlerin

kristalizasyon süreçlerini, soğuma hızlarını ve buna bağlı olarak mineral bileşimlerini de etkiler.

Tarihsel süreç içerisinde, granitlerin estetik ve fonksiyonel özellikleri, insanoğlunun bu kayaç türünü çeşitli inşaat ve mimari projelerde kullanmasına olanak tanımıştır. Özellikle aşınma, darbe ve atmosferik etkilere karşı yüksek direnci, bu taşın yapılarda tercih edilme sebepleri arasında yer alır. Ayrıca, estetik bir perspektiften, granitin renk çeşitliliği ve cila kabul edebilme kapasitesi de oldukça değerlidir.

Günümüzde, teknolojik gelişmeler ve estetik yaklaşımların değişmesiyle birlikte, granitin kullanımı parke ve bordür taşları başta olmak üzere, prestijli yapı projelerinde, özellikle dış cephe kaplamalarında ve lüks iç mekan tasarımlarında göze çarpar bir şekilde artmıştır. Bunun yanı sıra, bu kayaç tipi, hem mimari, hem de mühendislik açısından sürdürülebilir ve dayanıklı çözümler sunmaktadır.

2.2.2. Siyenit

Siyenit, magmatik kayaçlar grubuna dahil olan ve özellikle derinliklerde kristalize olan bir kayaç türüdür. Temel bileşimi potaslı feldspat mineralleridir. Ancak, bu temel bileşene ek olarak, mika ve hornblent gibi amfibol grubuna dahil olan mineraller de içerir, bu da siyenitin mineralojik çeşitliliğine katkıda bulunur. Granodiyorit ve granitin aksine, siyenitlerin bileşiminde kuvars ya hiç bulunmaz ya da sadece iz miktarda bulunur.

Morfolojik olarak, siyenitin karakteristik özelliği eşit büyüklükteki taneli dokusudur, bu da onun homojen bir görünüme sahip olmasına neden olur. Renk spektrumu genellikle kırmızı, pembe, gri ve beyaza doğru değişir, bu da onun optik özelliklerini etkiler.

Bununla birlikte, siyenitin bileşiminde plajiyoklaz ve mafik mineral oranı genellikle dengelidir, yani bu iki bileşen arasında yaklaşık olarak eşit bir dağılım söz konusudur. Bu denge, siyenitin mineralojik ve petrografik karakteristikleri arasında önemli bir faktördür.

Genel olarak, siyenit, litosferin derin bölgelerinde yavaş soğuma ve kristalizasyon süreçlerinin bir sonucu olarak oluşur. Bu derinlikteki yavaş soğuma süreci, kristallerin daha büyük ve belirgin hale gelmesine neden olur. Bu yüzden siyenit, petroloji ve jeoloji alanlarında derinlik kayaçları kategorisinde incelenir.

2.2.3. Gabro

Gabro, derinliklerde yavaşça kristalleşen magmatik kayaçların içinde yer alan koyu renkli ve genellikle orta ila iri taneli bir kayaçtır. Jeolojik olarak, gabronun en belirgin özellikleri arasında dominant olarak plajiyoklaz, piroksen ve olivin minerallerinin bulunması yer alır. Bununla birlikte, bu kayaçta tipik olarak feldspatın varlığına rastlanmaz.

Bazı özel gabro varyasyonlarında, mineral bileşimi %90 veya daha fazla olivin ile beraber piroksen ve kromit kristallerini içerir. Bu yüksek olivin konsantrasyonu, gabronun olivin bakımından zengin bir formunu temsil eder. Ancak, olivin oranının %10 ile %60 arasında değiştiği durumlarda, bu kayaç türü Peridotit olarak adlandırılır.

Peridotit, olivin miktarı bakımından gabrodan daha zengindir ve genellikle yerkabuğunun üst manto kısmında yaygın olarak bulunur. Hem gabro hem de peridotit, dünya'nın manto ve kabuk dinamikleri hakkında bilgi veren önemli kayaçlardır.

2.2.4. Diyorit

Diyorit, magmatik kökenli derinlik kayaçları arasında önemli bir yere sahiptir ve genel olarak plajiyoklaz feldspatı ve piroksen mineralleri ile karakterizedir. Bu kayaç, özellikle kristal yapısının tanecikli ve saydam özellikleriyle ayırt edilir. Diğer mineral bileşenler arasında amfibol veya hornblent gibi mafik mineraller bulunabilir; bununla birlikte, olivin bu kayaç türünde nadiren bulunur ve eğer varsa sadece iz miktarda olur.

Diyoritlerin jeokimyasal yapısı, dayanıklılıklarını etkileyen faktörlere sahip olmalarına neden olabilir. Nemli iklim koşullarında, bu kayaçlar, özellikle hornblent mineralinin hidroliz reaksiyonlarına karşı olan duyarlılığı nedeniyle kimyasal ayrışmaya uğrayabilirler. Hidroliz, suyun mineral yapıyla etkileşime girmesi sonucu oluşan kimyasal bir bozunma sürecidir. Hornblentin bu tür reaksiyonlarda parçalanması, diyoritin genel yapısının zayıflamasına ve zamanla erozyona uğramasına yol açar. Bu ayrışma, diyoritin jeolojik süreçler içerisinde nasıl değişikliğe uğradığını anlamak için kritik bir faktördür ve bu tür reaksiyonlar, yüzey şekillerinin ve toprak oluşumunun evrimine de katkıda bulunur.

2.3. Metamorfik (Başkalaşmış) Doğal Taşlar

Metamorfizma, kayaçların oluşum sırasında maruz kaldıkları sıcaklık ve basınç koşullarının, sonraki dönemlerde 200-800 °C arasında değişen sıcaklıklar ve artan

basınçlarla değişmesi sonucunda meydana gelir. Bu süreç içerisinde kayaçlar, orijinal katı halini muhafaza ederken, çeşitli yapısal, dokusal ve mineralojik değişikliklere uğrarlar. Bu tür dönüşümlere maruz kalan kayaçlara "Metamorfik Kayaç" adı verilir. Metamorfizma süreci, kayaçların mekanik ve kimyasal özelliklerini, dokusunu ve hatta mineral kompozisyonunu değiştirme potansiyeline sahiptir.

Mermer, gnays, şist, kuvarsit, arduaz ve serpantin, Metamorfik kayaçlar kategorisine giren en bilindik örneklerdendir. Metamorfik kayaçlar genellikle iyi kristalleşmiş yapıya sahip olup, bu özellikleri onları magmatik ya da sedimanter kayaçlardan ayıran temel faktördür. Renk yelpazesi, çoğunlukla beyazdan açık gri tonlarına kadar değişir, ancak bu kayaçların içeriğindeki yabancı maddelerin varlığı, renk ve doku çeşitliliğini artırabilir (Karahan, 2018). Şekil 2.5, bu kayaçların çeşitli örneklerini ve karakteristik özelliklerini detaylı bir şekilde sunmaktadır.

Metamorfik kayaçların oluşumu, yerkabuğunun derinliklerindeki tektonik hareketlilik ve diğer jeolojik süreçlerin doğrudan bir sonucudur. Bu dönüşümler, kayaçların termal stabilitesini, fiziksel dayanıklılığını ve kimyasal bileşimini etkileyerek onları doğal çevrelerinde önemli bir role sahip kılar. Bu kayaçlar, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımında ve jeolojik araştırmalarda kritik bir öneme sahiptir.

Kaya adı		Doku	Tane boyutu	Açıklamalar	Köken kaya
Sleyt veya arduvaz	Metamorfizma İlerleyen	Foliasyonlu	Çok ufak	mükemmel kaya dilinimi yumuşak donuk yüzeyli	Şeyl çamur taşı silt taşı
Fillat			Ufak	dalgali yüzeyli ayrılma parlak yüzeyli	Şeyl çamur taşı silt taşı
Şist			Orta-İri	öncelikle mika mineralleri belirsiz foliasyon	Şeyl çamur taşı silt taşı
Gnays			Orta-İri	minerallerin ayrı bulunması ve bantlı görünüş	Şeyl granit volkanik kayalar
Migmatit			Orta-İri	bantlı kayalar, açık renkli mineralli kıvrımlı katmanlar	Şeyl granit volkanik kayalar
Milonit	Zayıf foliasyon		Ufak	çok ufak taneli olunca çört görünümü, levhalara ayrılır	herhangi bir kaya
Metakonglomera			İri	yönlendirilmiş ve yassılaştırılmış çakıllar	kuvarslı konglomera
Mermer	Foliasyonsuz		Orta-İri	iç içe geçen kalsit ve dolomit taneleri	kireçtaşı dolotaşı
Kuvarsit			Orta-İri	Yapışmış kuvars taneleri masif, çok sert	kuvarslı kumtaşı
Hornfels			Ufak	genellikle donuk parlaklık masif görünüşlü	herhangi bir kaya
Antrasit			Ufak	parlak siyah kaya midye kabuğu kırılmalı	bitümlü kömür
Fay breşi			Orta-çok iri	gelişi güzel dağılmış kırılmış parçalar	herhangi bir kaya

Şekil 2.5 : Metamorfik kayalar (Öngen, 2024).

2.3.1. Sleyt

Arduaz, jeolojik süreçlerin sonucunda, özellikle çok düşük dereceli metamorfizma etkisi altında oluşan bir kaya türüdür. Temel bileşenleri, oldukça küçük tane boyuna sahip olan minerallerden (<1 mm) meydana gelir. Bu kayaç, belirgin bir foliasyon yapısına sahip olup, ince yapraklar halinde katmanlanma gösterir. Bu katmanlanma, sleyt klivajı olarak adlandırılır ve kayağın karakteristik bir özelliğidir.

Arduazın mineralojik bileşimi, büyük oranda muskovit pulları içermektedir. Bunun yanı sıra, kayağın oluşumunda şeylilerin ve ince taneli volkanik tüflerin de önemli bir rolü bulunmaktadır. Bu malzemeler, hafif bir metamorfizma süreci geçirerek arduazın oluşumuna katkıda bulunurlar (MTA, 2020).

Arduaz, çeşitli uygulama alanlarına sahip olan değerli bir kaynak olarak kabul edilir. Özellikle inşaat sektöründe, çatı kaplama malzemesi olarak sıkça tercih edilen bir materyaldir. Bu nedenle, halk arasında çatı taşı olarak da bilinir. Türkiye'de bu konuda yapılan bilimsel çalışmalarda ve raporlarda arduazın bu özellikleri ve kullanım alanları

detaylı bir şekilde incelenmiştir. Arduazın bu eşsiz özellikleri, jeolojik ve inşaat bilimleri alanında yapılan çalışmalarda kritik bir öneme sahiptir.

2.3.2. Fillit

Fillit, yapısal ve bileşimsel özelliklerinden dolayı metamorfik kayalar arasında öne çıkan bir konuma sahiptir. Bu kaya türü, esas olarak çok ince taneli beyaz mika minerallerinden meydana gelir. Bunun yanı sıra kuvars, serisit mika ve klotrit gibi bileşenleri de içerir. Mika parçacıklarının tercih edilen yönde sıralanması fillitin karakteristik yapısını ortaya koymaktadır. Diğer yapraklı metamorfik kayalara göre, fillitin tercih edilen yöndeki mika parçacıklarının boyutları, kayanın son derece ince kil parçacıklarından daha büyük, fakat şistin büyük pullarından daha küçüktür. Bu bağlamda, fillit, metamorfizma derecesi açısından kayrak ve şist arasında bir ara konumda yer alır (MTA, 2020).

Bu kaya türünün yüzeyinde, grafit, serisit veya klotrit veya ince taneli beyaz mika kristallerinden kaynaklanan özgün bir parlaklık gözlemlenir. Bu parlaklık, "fillitik parlaklık" olarak adlandırılır ve fillitin bölünme yüzeylerine ipeksi, bazen altın parıltısı kazandırır. Fillit kelimesinin etimolojik kökeni, Yunanca "yaprak" anlamına gelen "filonun" kelimesine dayanmaktadır. Dolayısıyla, bu kaya türünün adı da yapısının yapraklı doğasını yansıtmaktadır. Fillitin bu özel yapısı, "fillitli parlaklık" dokusu olarak tanımlanır ve bu kayalar genellikle bölgesel metamorfizma süreciyle düşük dereceli metamorfik koşullarda oluşur. Fillitlerin bölünebilirlik kapasitesi yüksektir, yani kolayca tabakalara ayrılırlar. Renk spektrumu genellikle siyah, gri veya açık yeşilimsi gri tonları arasında değişiklik gösterir (MTA, 2020).

2.3.3. Şist

Şist, metamorfik kayaların önemli bir üyesi olarak kabul edilir ve ısı ile basıncın etkisiyle ortaya çıkan düzgün yapraklanma özelliği ile tanınır. Bu yapraklanma, şistin tabakalanmış yapısını ve parıltılı yüzeyini belirleyen temel faktördür. Tane boyutları genellikle 2-12 mm arasında değişir, bu da onun gözle kolayca ayırt edilmesine yardımcı olur. Şistin tane boyutu, onun mikroskobik ölçekte değil, makroskobik ölçekte kolayca tanınmasını sağlar.

Şistin metamorfizma derecesi, hem kayrak hem de fillitten daha yüksektir. Bununla birlikte, gnays adını verdiğimiz diğer bir metamorfik kaya türüne göre daha düşük bir metamorfizma derecesine sahiptir. Bu, şistin metamorfik kayalar içinde orta derecede

bir metamorfizma seviyesine sahip olduğu anlamına gelir. Şistin bu ara pozisyonu, onun hem kayrak hem de gnaysla karşılaştırılabilir özelliklere sahip olmasını sağlar (MTA, 2020).

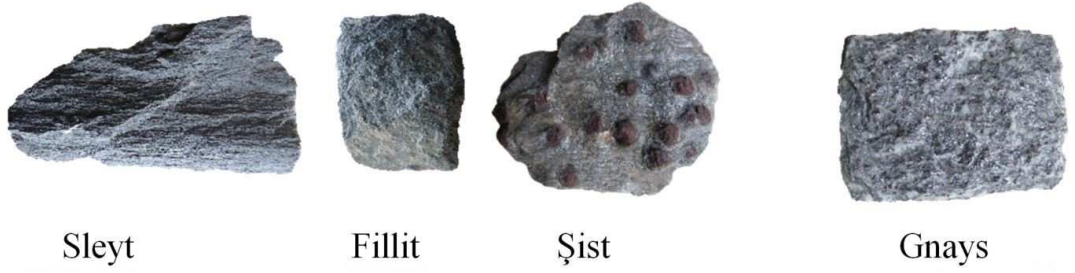
Şistlerin özellikle yapraklanma yüzeylerinde belirgin bir parlaklık göstermesi, bu kayaçların içerdikleri mika, talk veya klorit gibi mineral bileşenlerden kaynaklanır. Bu mineral bileşenler, şistin yüzeyine karakteristik bir parlaklık kazandırır. Ayrıca, şistlerin içerdigi mineral çeşitliliği, onları diğer metamorfik kayaçlardan ayırt edici bir özellik kazandırır.

2.3.4. Gnays

Gnays, yüksek derece metamorfizma sonucu meydana gelen, bantlı ve folye benzeri yapıya sahip bir metamorfik kayaçtır. Bu yapraklanma, mineral tanelerinin belirgin bir düzen içinde hizalanması sonucu meydana gelir. Feldspat, kuvars, amfibol ve mika gibi mineraller, gnaysın özelliklerini belirleyen ana bileşenlerdir. Gnayslar, tane boyutlarının irilikleri ile dikkat çeker. Genellikle 10-15 mm arasında değişen tane boyutlarına sahip olan bu kayaçlar, bu özelliğiyle birçok metamorfik kayacın aksine oldukça belirgin bir yapıya sahiptir (MTA, 2020).

Folyasyon, metamorfik kayaçların belirgin bir özelliği olup, kayaç içerisindeki minerallerin belirgin bir yönelimde hizalanmasıyla karakterizedir. Gnayslar, bu belirgin folyasyon sayesinde hem estetik hem de yapısal olarak diğer kayaçlardan ayırt edilir.

Bunun yanında, gnaysların metamorfizma derecesi oldukça yüksektir, bu da onları diğer metamorfik kayaçlardan ayırır. Şekil 2.6'da soldan sağa doğru artan bir şekilde bu yüksek derece metamorfizmanın diğer metamorfik doğal taşlarla karşılaştırmalı olarak nasıl bir değişiklik gösterdiği görsel olarak sunulmuştur. Gnaysın bu yüksek derece metamorfizma sayesinde, hem yapısal hem de kimyasal olarak oldukça dayanıklı bir kayaç olduğu söylenebilir.



Şekil 2.6 : Doğal taşlarda metamorfizma dereceleri (MTA, 2020).

2.3.5. Mermer

Mermer, jeolojik perspektifte, metamorfizma süreci sonucunda kalker ve dolomitik kalkerlerin kristalleşmesi ile oluşan bir kayaç türüdür. Bu süreçte, belirli bir basınç ve sıcaklık kombinasyonuna maruz kalan bu kalkerler, yapılarında bazı değişikliklere uğrarlar ve mermeri oluşturan karakteristik yapıya kavuşurlar. Bileşim açısından, mermerlerin %90-98'i kalsiyum karbonat (CaCO_3) ile karakterizedir. Bunun yanı sıra, yapılarına katkıda bulunan diğer bileşen olarak magnezyum karbonat (MgCO_3) da bulunmaktadır, ancak bu oran genellikle oldukça düşüktür.

Mermerlerde hakim olan mineral kalsittir. Ancak, bu dominant mineralin yanı sıra, mermerin bileşiminde az miktarda silis, silika, feldspat, demir oksit, mika, flüorin ve organik maddeler gibi bileşenlere de rastlanabilir. Bu bileşenler, mermerin renk, doku ve dayanıklılık gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyebilir.

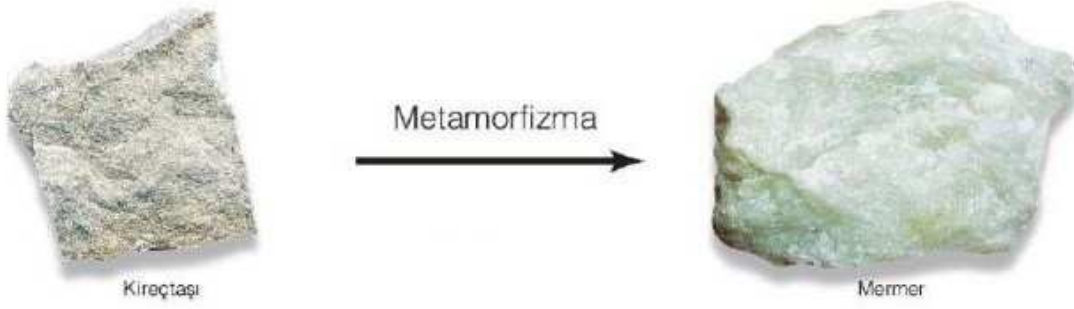
Endüstriyel bağlamda, mermer tanımı biraz daha genişletilmiştir. Bu bağlamda, kesilebilir, şekil verilebilir ve cilalanabilir her tür taş, mermer olarak kabul edilir. Bu, endüstriyel kullanım ve ticari satışlarda bazen karışıklığa neden olabilen bir durumdur (Karahan, 2018.).

Şekil 2.7, metamorfizma sürecinin bir örneğini grafiksel olarak sunmaktadır. Bu şekil, kalkerin nasıl mermer haline geldiğini ve bu süreçte hangi evrelerden geçtiğini göstermektedir. Öte yandan, Şekil 2.8, mermer de dahil olmak üzere diğer metamorfik



Şekil 2.7 : Metamorfik kayaç (mermer) resimleri (MTA, 2020).

kayaç türlerini görsel olarak sunar, bu da bu kayaçların fiziksel özellikleri ve yapıları hakkında bilgi sağlar. Bu görseller, metamorfik kayaçların çeşitliliği ve oluşum mekanizmaları hakkında geniş bir perspektif sunar.



Şekil 2.8 : Metamorfizma örneği (Ankara Üniversitesi, n.d.).

3. TÜRKİYE’DE VE DÜNYADA DOĞAL TAŞ POTANSİYELİ

Bu bölümde Türkiye ve Dünyadaki doğal taş potansiyelleri, ticareti, üretimi, ithalatı ve ihracatı hakkında çeşitli bilgiler derlenmiştir.

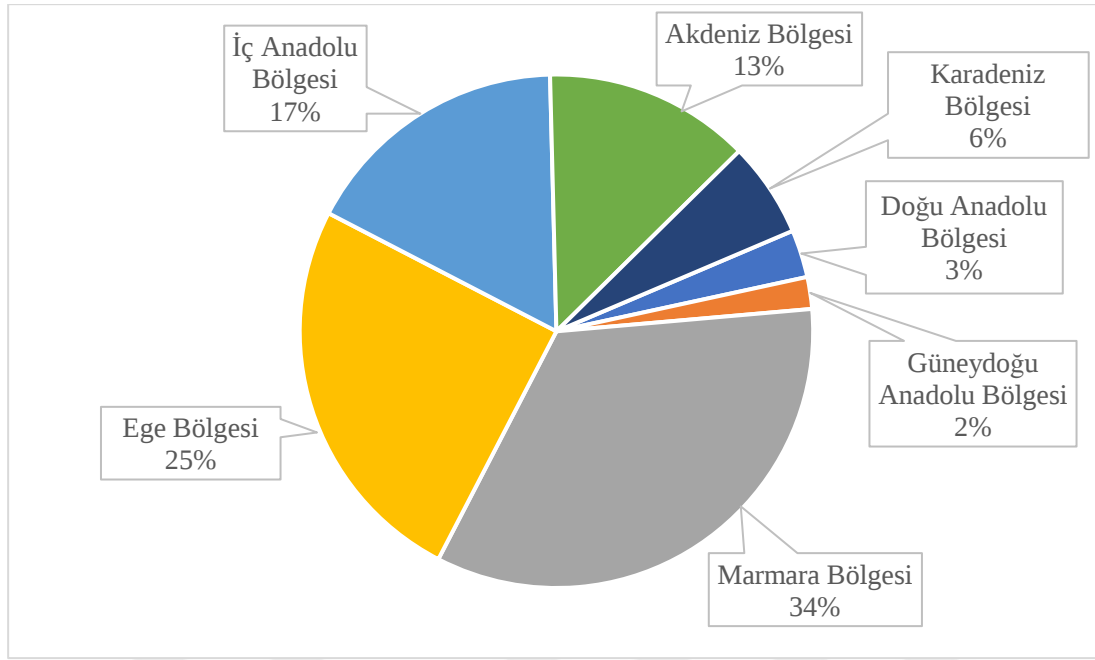
3.1. Türkiye’de Doğal Taş Üretimi

Türkiye, jeolojik yapısı ve tektonik özellikleri nedeniyle, birçok farklı doğal taş rezervine ev sahipliği yapmaktadır. Bu doğal taşlar arasında; estetik değeri yüksek olan ve çeşitli desenlerde ve renklerde mermer, kalker, oniks, traverten, breş gibi sediment kökenli taşlar ile granit, siyenit, diyabaz, diyorit, serpantin gibi magmatik kökenli taşlar yer almaktadır.

Türkiye'nin bu zengin doğal taş varlığı, ülkenin dünya doğal taş pazarında önemli bir yere sahip olmasını sağlamaktadır. Özellikle mermer ve traverten, estetik görünümleri ve kullanım kolaylıkları nedeniyle uluslararası pazarlarda büyük talep görmektedir.

Türkiye'deki doğal taş rezervleri, Anadolu'nun farklı coğrafi bölgelerine dağılmış durumdadır. Ege, İç Anadolu, Marmara, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz ve Akdeniz bölgeleri doğal taş potansiyeli açısından ön plana çıkmaktadır. Rezerv dağılımını yüzdelik olarak ifade edersek; Ege Bölgesi %32 ile en yüksek rezerve sahip bölge olarak öne çıkar. Marmara Bölgesi %26 ile ikinci sıradayken, İç Anadolu Bölgesi %11 ile bu sıralamada üçüncüdür. Geriye kalan Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz ve Akdeniz bölgelerinin toplam rezerv dağılımı ise %31'dir (Özoğuz, 2019).

Bu coğrafi bölgelerin doğal taş rezerv dağılımları, grafiksel bir sunum ile Şekil 3.1’de detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Bu grafik, Türkiye'nin doğal taş potansiyelinin coğrafi bölgelere göre dağılımını anlamak ve analiz etmek adına oldukça değerlidir.



Şekil 3.1 : Türkiye doğal taş bölgesel rezerv dağılımı (MTA, 2020).

Türkiye'nin jeolojik çeşitliliği ve mineral zenginlikleri, doğal taş sektöründe önemli bir üretim potansiyeli oluşturmaktadır. Sektör, Türkiye genelinde oldukça geniş bir yelpazeye sahip olup; yaklaşık 1.500 doğal taş ocağı, 2.000 adet üretim fabrikası ve 9.000 irili ufaklı atölye ile faaliyet göstermektedir. Bu durum, ülkenin doğal taş sektöründeki geniş kapasitesini ve dinamizmini gözler önüne sermektedir.

Bu tesisler, Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinde yer almakta ve farklı türdeki doğal taşları işlemektedir. Özellikle mermer, granit, traverten gibi yüksek talep gören taşlar, bu tesislerde işlenerek hem iç hem de dış pazarlara sunulmaktadır. Bu geniş işleme kapasitesi, Türkiye'nin doğal taş sektöründe dünya genelinde rekabetçi bir konumda olmasını sağlamaktadır.

Sektörün genel durumu ve Türkiye'nin doğal taş rezervine dair detaylı bilgiler, Çizelge 3.1'de özetlenmiştir. Bu Çizelge, Türkiye'nin mevcut doğal taş potansiyelini, üretim kapasitesini ve sektörün genel durumunu değerlendirmek için kapsamlı bir referans kaynağıdır. Ayrıca, doğal taşların çeşitliliği, kalitesi ve rezerv miktarı hakkında ayrıntılı bilgileri içermektedir. Bu veriler, sektörle ilgilenen araştırmacılar, politika yapıcılar ve yatırımcılar için önemli bir kaynak oluşturmaktadır.

Çizelge 3.1 : Türkiye doğal taş rezervi (MTA, 2020).

	m³	Ton
Bilinen Rezervler	589.000.000	1.590.000.000
Muhtemel Rezervler	1.545.000.000	4.171.000.000
Mümkün Rezervler	3.027.000.000	8.172.000.000
Toplam Potansiyel	5.161.000.000	13.934.000.000

Türkiye, doğal taş sektöründe ciddi bir istihdam kapasitesine sahiptir. Sektörün dinamizmi, 300.000 vatandaşa doğrudan istihdam olanağı sunmaktadır. Bu büyüklükteki bir istihdam, hem ekonomik kalkınmaya katkıda bulunmakta hem de yerel ekonomilere canlılık kazandırmaktadır. Özellikle Balıkesir, Bilecik, Denizli, Muğla ve Afyon gibi iller, Türkiye'nin doğal taş üretiminde öne çıkan bölgeleridir. Bu beş il, tüm üretimin yaklaşık %65'ini gerçekleştirerek, sektörün lokomotifleri olarak kabul edilebilir Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021)

Doğal taş yataklarının ekonomik potansiyeli yüksek olan bölgeler arasında Çorum, Çankırı, Kırşehir ve diğer belirtilen iller bulunmaktadır. Bu bölgeler, ülkedeki doğal taş rezervlerinin ve çeşitliliğinin bir göstergesi olarak ön plana çıkmaktadır.

Madencilik ve Tabii Kaynaklar Araştırma Genel Müdürlüğü (MTA), Türkiye'deki doğal taş yataklarını değerlendirmek için çeşitli etütler ve çalışmalar gerçekleştirmektedir. Kamu kurumları, yerel yönetimler ve özel sektör ile iş birliği içerisinde, jeolojik ve sondaj etütlerinin yanı sıra rezerv belirleme çalışmaları da yapmaktadır. Bu çalışmalar, Türkiye'nin doğal taş sektöründeki potansiyelinin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır.

Özellikle traverten sahaları, ülkenin doğal taş potansiyelini temsil eden önemli bir bölümüdür. Şekil 3.2'de, Türkiye genelindeki traverten sahalarının coğrafi dağılımını detaylı bir şekilde harita üzerinde göstermektedir. Bu harita, sektördeki yatırımcılar, araştırmacılar ve politika yapıcılar için kritik bir öneme sahip olabilir, zira traverten sahalarının coğrafi dağılımını gözler önüne sermektedir.



Şekil 3.2 : Türkiye “Traverten Sahaları” dağılım haritası (MTA, 2020).

3.2. Türkiye’de Doğal Taş Dış Ticaret

Türkiye'nin doğal taş ihracat kompozisyonunu incelerken, 2020 yılında Çin'e olan ihracatın toplam ihracatın %31,2'sini oluşturduğunu gözlemlemekteyiz. Bu rakam, bir önceki yıla göre yaklaşık %22 oranında bir azalmayı ifade eder ve bu dönemdeki Çin'e yapılan ihracat yaklaşık 540 milyon ABD Doları değerindedir. Fakat bu dönemde sadece Çin'e olan ihracatta değil, doğal taş sektöründeki toplam ihracatta da bir düşüş söz konusudur. 2020 yılında toplam ihracat, %7'lik bir düşüşle 1,73 milyar ABD Doları değerinde gerçekleştirilmiştir (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021). Çizelge 3.2’de Türkiye’nin doğal taş ihracatının ülkelerce dağılımı verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Türkiye doğal taş ihracatı ülke dağılımı (Milyon ABD \$) (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021)

Ülkeler	2018 Değeri	2019 Değeri	2020 Değeri	2019-20 Değişim	2020 Pay %
Çin	773,5	594,5	540,2	-22%	31,2%
A.B.D.	299,3	285,7	325,1	14%	18%
Suudi Arabistan	105,6	125,1	139,3	11%	8%
İsrail	60,1	65,0	75,8	17%	4,4%
Fransa	55,4	61,9	67,3	9%	3,9%
Irak	62,0	63,9	61,7	-3%	3,6%
Hindistan	90,0	91,6	61,3	-33%	3,5%
Avusturalya	39,9	39,6	42,1	6%	2,4%
B.A.E	54,0	39,8	37,0	-7%	2,1%
Almanya	26,9	27,1	34,3	26%	2,0%
Libya	11,5	25,7	24,0	-6%	1,4%
Katar	12,1	16,4	18,8	15%	1,1%
Fas	11,6	18,1	17,2	-5%	1,0%
Kuveyt	15,9	15,5	16,9	10%	1,0%
İtalya	18,7	22,1	15,3	-31%	0,9%
Romanya	9	10,5	14,7	40%	0,8%
Kanada	28,1	21,8	13,3	-39%	0,8%
Türkmenistan	1,7	9,0	13,2	47,0%	0,8%
Mısır	10,0	12,3	13,0	6%	0,7%
İngiltere (B.K.)	15,3	15,2	12,5	-18%	0,7%
İlk 20 ülke	1.701	1.661	1.543	-7,0%	89,0%
Toplam	1.903	1.859	1.734	-7,0%	0%

2020 yılında Türkiye'nin doğal taş sektörü ihracat kompozisyonunu incelediğimizde, mermerin toplam ihracatta %95'lik bir pay ile dominan olduğunu görmekteyiz. İşlenmiş mermerin ihracat değeri 994 milyon ABD Doları olarak kaydedilirken, blok mermer ihracatı 658 milyon ABD Doları değerinde gerçekleşmiştir. İhracat kompozisyonunun son yıllarda işlenmiş ürünlere doğru bir kayma gösterdiği belirgindir. 2018 yılında ABD'nin uyguladığı ticari yaptırımlar sonucu, ABD ve Çin arasında patlak veren ticaret savaşının, Çin'in sanayi ve inşaat sektörlerinde

daralmalara yol açtığı ve bu durumun doğal taş ihracatımıza olumsuz etki ettiği tespit edilmiştir. 2020 yılında Çin'de ortaya çıkan ve global bir salgına dönüşen Korona Virüs pandemisinin de ticari faaliyetlere ve özellikle ihracata olan negatif etkisi göz ardı edilemez. 2017'de 940 milyon dolar olarak kayıtlara geçen Çin'e yönelik blok mermer ihracatı, son dört yılda süregelen bir düşüşle %43'lük bir azalma göstererek 2020'de 534 milyon dolara gerilemiştir. Aynı zaman diliminde, toplam blok mermer ihracatındaki azalma %40 olarak kaydedilmiştir; bu ihracat 1 milyar 98 milyon ABD Dolarından 658 milyon ABD Dolarına düşmüştür. Bunun yanı sıra, mimarların zamanla değişen renk ve taş tercihlerinin, mermer talebindeki düşüşte belirleyici bir rol oynadığını belirtmek gerekmektedir. Ancak, işlenmiş mermer ihracatında 2019 yılına kıyasla %7'lik bir artış gözlenmekte ve 994 milyon ABD Doları ile 2020'de 1 Milyar ABD Doları sınırına yaklaşılmıştır. Mermer dışında, Türkiye'nin doğal taş ihracatında dikkate değer diğer ürünler arasında blok ve işlenmiş granit bulunmaktadır. 2020'de granit ihracatı toplamda 31,6 Milyon ABD Doları değerindedir (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021). Çizelge 3.3'te Türkiye'nin doğal taş ihracatının alt kümelere bölünmüş hali detaylarıyla gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 : Türkiye doğal taş ihracat değerleri (Değer: Milyon ABD \$)
(T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021)

Ürünler	2019 Değeri	2020 Değeri	2019-20 Değişim	2020 Pay
Blok Mermer	852,8	658,2	-23%	38%
Blok Granit	9,3	10,7	15%	1%
İşlenmiş Mermer	931,5	994,1	7%	57%
İşlenmiş Granit	10,6	20,9	97%	1%
Diğer Doğal Taşlar	55	50	-9%	3%
Toplam	1.859	1.734	-7%	100%

2020 yılında Türkiye'nin doğal taş sektörü ithalat profilini incelediğimizde, Hindistan'ın %32,3'lük pay ile sektörde en büyük tedarikçi olduğunu gözlemlemekteyiz. Hindistan'ı, %15,1'lik pay ile İtalya ve %13,6'lık pay ile İspanya izlemektedir. Bu dönemde, sektörün ithalatında bir önceki yıla nazaran yaklaşık %17'lik bir artış kaydedilmiştir. Çizelge 3.4'te Türkiye'nin doğal taş ithalatının ülkelere ayırmış şekilde görüntüsü verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Türkiye doğal taş ithalatı ülke dağılımı (Milyon ABD \$) (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021)

Ülkeler	2019 Değeri	2020 Değeri	2019-20 Değişim	2020 Pay	2020 Pay
HİNDİSTAN	41,28	27,59	30,06	9%	32,3%
İTALYA	10,22	13,40	14,04	5%	15,1%
İSPANYA	13,16	8,49	12,61	49%	13,6%
YUNANİSTAN	5,36	5,81	8,05	38%	8,7%
İRAN	8,86	5,44	7,81	44%	8,4%
MISIR	0,34	0,29	5,37	1770%	5,8%
VİETNAM	13,78	8,99	4,04	-55%	4,3%
ÇİN	4,66	4,37	2,68	-39%	2,9%
PORTEKİZ	0,19	0,43	2,65	516%	2,8%
FRANSA	1,11	1,04	1,05	1%	1,1%
MAKEDONYA	0,75	1,24	1,05	-15%	1,1%
BELÇİKA	0,00	0,28	0,67	138%	0,7%
BREZİLYA	1,90	0,22	0,64	186%	0,7%
A.B.D.	0,23	0,15	0,43	181%	0,5%
TUNUS	0,29	0,21	0,29	36%	0,3%
IRAK	0,01	0,00	0,20	4900%	0,2%
BULGARİSTAN	0,22	0,06	0,17	196%	0,2%
PAKİSTAN	0,09	0,07	0,14	112%	0,2%
UKRAYNA	0,27	0,10	0,13	32%	0,1%
KANADA	0,05	0,00	0,12	2900%	0,1%
İLK 20 ÜLKE	103	78	92	18%	99%
TOPLAM	105	79	93	17%	100%

Türkiye'nin 2020 yılında doğal taş sektöründeki ithalat kompozisyonuna dair detaylı bir inceleme gerçekleştirdiğimizde, bazı dikkat çekici bulgulara ulaşmaktayız. Özellikle ürün bazında yapılan değerlendirmede, işlenmiş granitin 56,7 milyon ABD Doları ile sektördeki ithalatın en büyük payını oluşturduğunu görmekteyiz. Bu miktar, 2020 yılında toplam ithalatın %61'ini temsil etmektedir. Buna karşılık, blok mermerin ithalatı 4,7 milyon ABD Doları ile sınırlı kalmış ve toplamda %5'lik bir paya sahip olmuştur. İşlenmiş mermer ve diğer doğal taşlar da sırasıyla 24,3 milyon ABD Doları (%26 pay) ve 7,02 milyon ABD Doları (%8 pay) ile ithalatın diğer önemli kalemlerini oluşturmaktadır. Ancak blok granitin ithalatı, 0,28 milyon ABD Doları ile 2020'de ciddi bir düşüş göstermiş ve toplamda %0'lık bir paya sahip olmuştur. Çizelge 3.5'te Türkiye'nin doğal taş ithalatının alt kümelere bölünmüş hali detaylarıyla gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 : Türkiye'nin doğal taş ithalatı (Milyon ABD Doları) (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021)

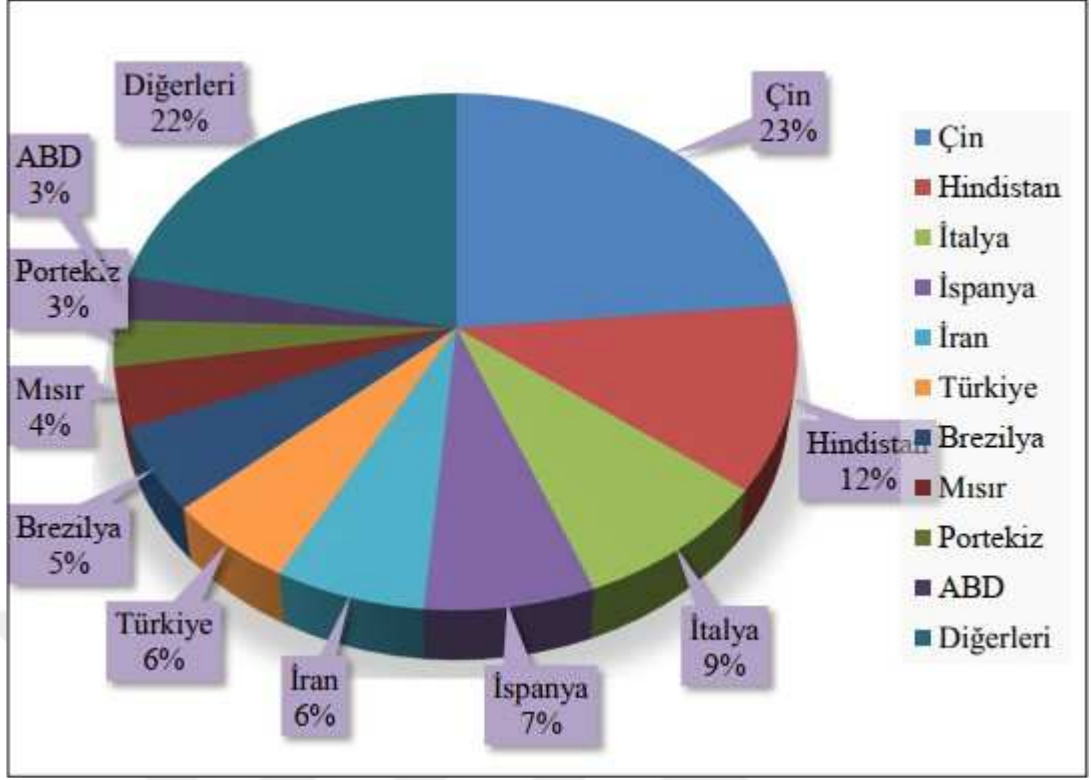
Ürünler	2019 Değeri	2020 Değeri	2019-20 Değişim	2020 Pay %
Blok Mermer	4,4	4,7	7%	5%
Blok Granit	0,38	0,28	-26%	0%
İşlenmiş Mermer	23,6	24,3	3%	26%
İşlenmiş Granit	46,8	56,7	21%	61%
Diğer Doğal Taşlar	4,22	7,02	66%	8%
Toplam	79	93	17%	100%

3.3. Dünyada Doğal Taş Üretimi

Küresel arenada, doğal taşların yapısal ve estetik avantajlarının fark edilmesi, bu malzemelerin inşaat ve iç mekan tasarımında giderek daha yaygın hale gelmesine neden olmuştur. Son on yıl içerisinde doğal taş üretiminde gözlemlenen bu artış, yüksek teknolojik inovasyonlar ve ileri taş işleme tekniklerinin sektöre entegrasyonu ile eş zamanlı olarak meydana gelmiştir. Bu yeni nesil işleme yöntemleri sayesinde, doğal taşlar hem ekonomik hem de özgün biçimde istenilen formata dönüştürülmekte, bu da malzemenin kullanıldığı alanların çeşitliliğini artırmaktadır. Doğal taşın estetik ve sürdürülebilir özellikleri, mimarlar ve iç mekan tasarımcıları tarafından giderek daha fazla takdir edilmekte ve bu durum, küresel tüketici tabanının genişlemesini teşvik etmektedir. Ayrıca, ekonomik dengelerin ve piyasa dinamiklerinin yarattığı fiyat avantajları ile beraber, ekolojik ve estetik materyallere olan talepte de önemli bir artış gözlemlenmektedir. Endüstri uzmanları, bu pozitif trendin gelecekte de istikrarını koruyacağı konusunda hemfikir.

Detaylı jeolojik analizlere göre, Alp-Himalaya bölgesinde konumlanan Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran ve Pakistan gibi ülkeler, karbonatlı kayaç rezervleri (mermer, kireçtaşı, traverten ve oniks) bakımından oldukça zengin bölgeler olarak belirginleşmektedir. Öte yandan, İspanya, Norveç, Finlandiya, Ukrayna, Rusya, Pakistan, Hindistan, Çin, Brezilya ve Güney Afrika, magmatik kayaçların, özellikle de sert taş rezervlerinin bolluğuyla bilinir. Asya kıtasında, özellikle Çin, Hindistan ve İran gibi ülkeler, doğal taş üretimi konusunda büyük bir potansiyele sahipken;

Avrupa'da İtalya, İspanya, Türkiye ve Portekiz, hem üretim hem de uluslararası ticarete önemli bir rol oynamaktadır (TMMOB Maden Mühendisleri Odası, t.y.). Dünya ülkelerinin doğal taş üretim kapasitelerine dair ayrıntılar, Şekil 3.3'te grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 3.3 : Dünya doğal taş üretimi (TMMOB Maden Mühendisleri Odası, t.y.)

3.4. Dünyada Doğal Taş Ticareti

Dünya doğal taş sektörü, giderek artan bir global taleple karşı karşıya kalmaktadır. 2019 verilerine göre, küresel doğal taş ihracatının toplam hacmi yaklaşık olarak 17 milyar ABD Doları olarak kaydedilmiştir. Bu geniş pazar içinde, bazı ülkeler önemli bir öne çıkış sergileyerek küresel arenada liderliğini sürdürmektedir.

Çin, dünya doğal taş ihracatındaki liderliğini korumaktadır. 2019 yılında, ülkenin doğal taş ihracatı 5 milyar ABD Doları'na ulaşarak global pazarın %30,6'sını oluşturmuştur. Ancak, bu, bir önceki yıla göre %7'lik bir düşüşü ifade etmektedir. Diğer önemli ihracatçılar arasında İtalya (%12 payla 2 milyar ABD Doları) ve Hindistan (%11,3 payla 1,8 milyar ABD Doları) gelmektedir. Türkiye ise 1.86 milyar ABD Doları ile global pazarda %11,2'lik bir paya sahip olarak dördüncü sırayı almaktadır.

Diğer yandan, doğal taş ithalatında Amerika Birleşik Devletleri lider konumdadır. 2019'da ABD, 2,915 milyar ABD Doları değerinde doğal taş ithal ederek global ithalat pazarının %18'ini temsil etmektedir. Çin, 2,638 milyar ABD Doları ile %16,3'lük bir

payla ikinci sırada yer alırken, Kore ise 802 milyon ABD Doları değerindeki ithalatıyla %5'lik payla üçüncü sıradadır.

Bu istatistikler, doğal taş sektöründeki global hareketliliğin ve dinamizmin bir göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle bazı ülkelerin ihracat ve ithalatındaki yıllık değişiklikler, sektörel trendleri ve küresel ekonomik dinamikleri anlama noktasında kritik öneme sahiptir. Bu verilere dayanarak, doğal taş sektöründeki stratejik kararlar ve yatırım planlamaları yapılabilir. Çizelge 3.6'da Dünya ülkelerinin doğal taş ihracatı ve dünya pazarındaki payları verilmiştir. Çizelge 3.7'de Dünya ülkelerinin doğal taş ihracatındaki payları ABD doları cinsinden gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : Dünya doğal taş ihracatı (Milyon ABD Doları) (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021)

Ülkeler	2018 Değeri	2019 Değeri	2018-19 Değişim	2019 Pay %
ÇİN	5.498	5.094	-7%	30,6%
İTALYA	2.221	1.993	-10%	12,0%
HİNDİSTAN	1.905	1.878	-1%	11,3%
TÜRKİYE	46,8	56,7	21%	61%
BREZİLYA	4,22	7,02	66%	8%
İSPANYA	79	93	17%	100%
PORTEKİZ	487	477	-2%	2,9%
YUNANİSTAN	529	458	-13%	2,8%
İRAN	305	324	6%	1,9%
MISIR	219	213	-3%	1,3%
KANADA	208	200	-4%	1,2%
FİLİSTİN	196	189	-3%	1,1%
VİETNAM	155	172	11%	1,0%
ALMANYA	182	164	-10%	1,0%
BELÇİKA	161	141	-13%	0,8%
A.B.D.	150	129	-14%	0,8%
FRANSA	117	117	0%	0,7%
UMMAN	110	107	-3%	0,6%
NORVEÇ	89	80	-10%	0,5%
HOLLANDA	74	73	-2%	0,4%
İLK 20 ÜLKE	16.334	15.426	-6%	93%
TOPLAM	17.668	16.653	-6%	100%

Çizelge 3.7 : Dünya doğal taş ithalatı (Milyon ABD Doları) (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021)

Ülkeler	2018 Değeri	2019 Değeri	2018-19 Değişim	2019 Pay %
A.B.D.	3.191	2.915	-9%	18,0%
ÇİN	2.617	2.638	1%	16,3%
İNGİLTERE (B.K.)	680	701	3%	4,3%
JAPONYA	585	587	0%	3,6%
FRANSA	561	571	-4%	3,5%
ALMANYA	594	570	-4%	3,5%
İTALYA	370	376	2%	2,3%
AFGANİSTAN	308	368	19%	2,3%
SUUDİ ARABİSTAN	340	359	5%	2,2%
B.A.E.	353	321	-9%	2,0%
HİNDİSTAN	329	307	-7%	1,9%
KANADA	301	258	-14%	1,6%
İSVİÇRE	259	244	-6%	1,5%
BELÇİKA	255	225	-12%	1,4%
AVUSTURALYA	221	211	-5%	1,3%
HOLLANDA	212	204	-3%	1,3%
VİETNAM	137	177	29%	1,1%
POLONYA	257	172	9%	1,1%
KATAR	190	168	-12%	1,0%
İLK 20 ÜLKE	12.638	12.173	-4%	75%
TOPLAM	17.010	16.163	-5%	100%



4. DOĞAL TAŞ İŞLEME MAKİNELERİ

Doğal taş sektöründe, ocaklarda elde edilen ham doğal taş bloklarının üretim süreçleri oldukça büyük bir önem arz etmektedir. Bu blokların fabrikalarda işlenerek son kullanıcıya sunulabilecek form ve kalitede olmaları için çeşitli teknik işlemlere tabi tutulmaları gerekmektedir. İşlemler sırasında, bu doğal taş blokları istenilen estetik ve fonksiyonel özelliklere sahip olacak biçimde düzenlenir, yüzeyleri hassas bir şekilde parlatılır ve herhangi bir pürüzden arındırılır.

Piyasada, doğal taşların en yüksek ekonomik değere ulaşması için bu taşları levha haline dönüştürme işlemlerinde kullanılan çeşitli makineler bulunmaktadır. Bu makine çeşitliliği, hem taşın özelliklerine hem de istenen son ürünün niteliğine göre değişiklik gösterebilir.

Bu bölümde özellikle katrak kesme makineleri, dairesel testereli blok kesme makineleri, köprü kesme makineleri, dikey ve yatay yarma makineleri, ebatlama makineleri ve pah makineleri gibi makinelere dair literatür bilgileri incelenmiştir. Bu makineler, doğal taş işleme sektöründe kritik bir rol oynamakta ve taşın istenilen kalite, estetik ve fonksiyonel özelliklerde işlenmesini sağlamaktadır. Her bir makinenin özellikleri, fonksiyonları ve taş işlemedeki rolleri, doğal taş endüstrisinin daha derinlemesine anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Bu nedenle, doğal taşın işlenmesi sürecini anlamak için bu makinelerin işlevlerini ve önemini bilmek esastır.

4.1. Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makineleri

Mermer plaka ve fayans üretiminde öne çıkan fabrikaların önemli bir kısmı, teknolojik avantajları sayesinde S/T makinelerini tercih etmektedir. Bu özel makineler, genellikle 1,8 m ila 3,0 m çapında dairesel disklerle donatılmış olup, bu disklerin etrafına 4-6 mm kalınlığında soketlerle konfigüre edilmiştir. Bu soketler, mermerin yüzeyine mükemmel bir kesim sağlamak için tasarlanmıştır. Yüksek dönme hızlarına sahip olan bu makinelerde hız, kullanıcının ihtiyaçlarına göre ayarlanabilir. Hidrolik sistem ile

alışan bu makineler, özellikle fayans hattı için gereken plakaların bloktan hassas bir şekilde kesilmesi amacıyla kullanılır.

Makinelerin kesme kapasitesi, kullanılan disk çapına doğrudan bağlıdır. Ancak, motorun gücü, makinenin destekleyebileceği maksimum disk çapını belirleyen bir diğer kritik faktördür. Ayrıca, makinelerin hızlarını ayarlamak için kayış-kasnak mekanizması kullanılır. Bu, kullanıcının kesim sürecini daha da optimize etmesine olanak tanır (Güngör, 2011a). Şekil 4.1'de bu makinelerden olan 4 ayaklı bir S/T makinesinin görseli verilmiştir.



Şekil 4.1 : Ayaklı S/T makinesi (MKS, 2023)

S/T makinelerinin stratejik olarak fayans hattına yakın bir konumda kurulması, üretim süreçlerinin kesintisiz ve verimli bir şekilde ilerlemesine katkıda bulunur. Orta sertlikte bir doğal taşın kesimi dikkate alındığında, S/T makineleri yaklaşık 8 saatlik bir çalışma sresinde 65-70 m²'lik bir kesim kapasitesine sahip olabilir. Kesim sırasında, testereye kaynatılmış elmas soketlerin içeriğindeki silisyum karbür bileşenlerinin etkisini optimize etmek için farklı sertlikteki taşların (yumuşak, orta sert ve sert) kesimi önemlidir.

Bu makinelerde kullanılan testerelerin soket sayısı, testerenin çapına bağlı olarak değişir. Örneğin, 180 cm çapındaki testerelerde 100-125 soket bulunurken, 150 cm apındakilerde bu sayı yaklaşık olarak 84'tür. S/T makineleri, genel yapıları itibariyle, hareket kapasitelerine göre iki farklı kategoriye ayrılır: 4 ayaklı ve 2 ayaklı. 2 ayaklı S/T sadece dikey hareket ederken, 4 ayaklı versiyon yatay hareket kabiliyetine de

sahiptir (Güngör, 2011a). Şekil 4.2'de bu makinelerin 2 ayaklı versiyonunun görseline yer verilmiştir.



Şekil 4.2 : Ayaklı S/T makinesi (TÜMMER, t.y.)

4.2. Katrak Kesme Makineleri

Katrak makineleri, doğal taş işleme sektöründe önemli bir rol oynamaktadır ve bu makineler "cut rock", "gangsaw", "frame saw" veya "gangsaw mill" gibi farklı isimlerle de anılabilmektedirler. Temelde çok testereli kesim makineleri olarak tanımlanabilirler. Bu makinelerin asıl amacı, ocaklardan elde edilen doğal taş bloklarını ve molozları hedeflenen kalınlıklarda levhalara dönüştürmektir. Bu işlemler sırasında, birçok levha aynı anda kesilebilir, bu da üretim sürecinin verimliliğini artırır.

Katrak makineleriyle elde edilen levhaların kenarları her zaman simetrik olmayabilir. Bloğun doğal formuna ve şekline bağlı olarak levhaların kenarları asimetrik veya düzensiz bir yapıda olabilir. Kesme işlemi, doğrusal hareket eden elmas soketlere lehimlenmiş lamaların doğal taş bloğuna derinlemesine nüfuz etmesiyle gerçekleşir. Genellikle bir bıçak üzerinde 28 adet soket bulunur ve bu soketler, kesme sürecinde kritik bir rol oynar. Kesme işlemi, katrak makinesinin çerçevesine monte edilmiş lamaların lineer hareketleriyle sağlanır. Bazı makinelerde kesme derinliği, taş bloğunun oturduğu zeminin yukarı hareketiyle elde edilirken, diğerlerinde ise

lamaların bulunduğu çerçeve aşağı doğru hareket ederek kesme işlemi gerçekleştirilir (Güngör, 2011a). Şekil 4.3'te katrağ kesme makinesine görsel bir örnek gösterilmiştir.

Katrağ makinelerinin isimlendirilmesi genellikle üzerlerinde bulunan lama sayısına dayanmaktadır. Örneğin, 50 lamalı bir makine "50'lik katrağ" olarak adlandırılır. Bu makinelerde lama sayısı, makinenin kapasitesine ve modeline göre değişiklik gösterebilir. Genellikle 10 ila 120 arasında değişen lama sayısına sahip modeller mevcuttur. Ancak, sektörde 80 ve 90 lamalı katrağ makineleri oldukça popülerdir (Güngör, 2011b). Katrağ makineleri ve bu makinelerle ilgili teknik detaylar 5. bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu bölümde, makinelerin işleyişi, avantajları ve sektördeki önemleri hakkında kapsamlı bilgilere yer verilmiştir.



Şekil 4.3 : Katrağ kesme makinesi (MKS, 2023)

4.3. Köprü Kesme Makineleri

Köprü kesme makineleri, doğal taş işleme sektöründe kritik bir role sahip olan ekipmanlardır. Bu makineler, özellikle S/T ve katrağ makineleri tarafından önceden kesilip işlenmiş doğal taş plakalarının daha spesifik ebatlarda kesilerek son ürün halini almasında esastır. Taşın kesilmesi sırasında, taş levhalar, standart boyutlarda bir tabla üzerine yerleştirilir ve bu tabla üzerinde kesme işlemi gerçekleştirilir. Bu tablonun standart boyutları 2 metre genişlikte ve 3,3 metre uzunluktadır. Ayrıca, kesme işlemi sırasında kesme derinliğini ayarlamak amacıyla tabla 20 cm yüksekliğe kadar hareket edebilme kapasitesine sahiptir (Şekil 4.4).



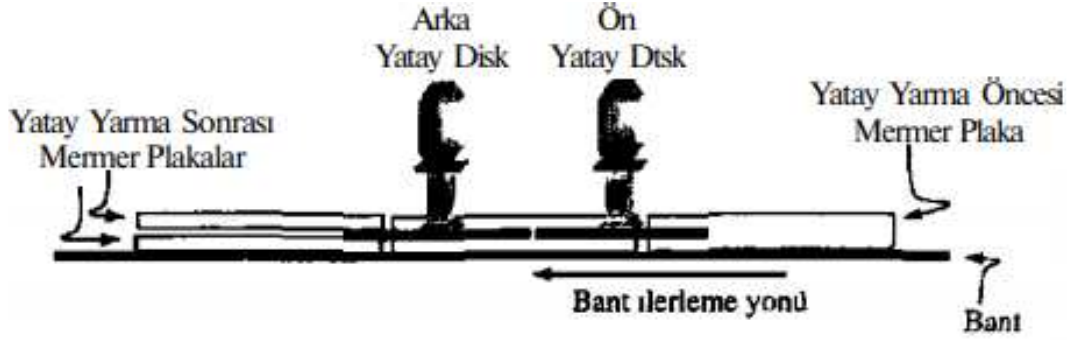
Şekil 4.4 : Köprü kesme makinesi (MKS, 2023)

S/T ve katrak makinelerinden temin edilen plakalar, kesme işlemi için köprü kesme makinesinin altında bulunan ve çeşitli hareketler yapabilen sabit bir platforma yerleştirilir. Bu platformun hareketi, taşın testere ile doğru konumda buluşmasını sağlar. İleri teknolojiye sahip modern köprü kesme makineleri, sadece platformun hareketi ile sınırlı kalmayıp, köprü mekanizmasının da farklı yönlerde hareket etmesine imkan tanır. Bu, makinenin kendi ekseninde dönme hareketi yapabilmesi gibi özelliklerle desteklenir. Bu gelişmiş hareket kabiliyetleri, gelişen teknolojik yenilikler ve mühendislik tasarımlarıyla birleşerek, farklı boyut, geometri ve şekillerde taş plakaların hassas ve etkili bir şekilde hazırlanmasına olanak tanır.

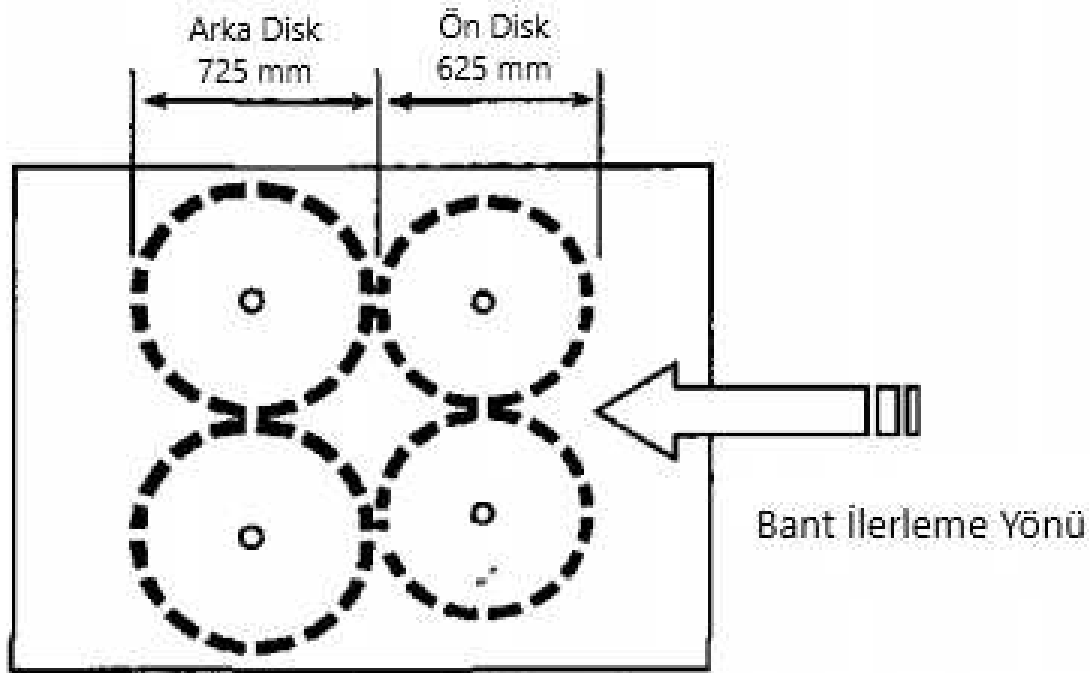
4.4. Dikey ve Yatay Yarma Makineleri

Yatay-Dikey bantlı yarma makineleri, doğal taş işleme sektöründe kritik bir teknolojik unsur olarak karşımıza çıkar. Bu ekipman, en fazla 100 mm kalınlıkta ve 630 mm genişliğindeki doğal taş plakalarını kesmek üzere özel olarak tasarlanmıştır. İlginç bir şekilde, bu makine tipleri içinde, kesme işlemini gerçekleştiren disklerin sayısına bağlı olarak farklı konfigürasyonlarda prototipler bulunmaktadır. Yatay-Dikey kesme makineleri, özellikle fayans üretimi gerçekleştiren tesislerde vazgeçilmez bir role sahip olup, S/T kesme süreçlerinde meydana gelebilecek anomalilerin ve potansiyel hataların minimize edilmesi için kullanılır. Bunun ötesinde, bu makineler doğal taş plakalarının nakliye ve taşıma sırasında meydana gelebilecek üretim hatalarını da önlemede etkili bir rol oynarlar (Demirdağ ve diğ., 2003).

Bu makinelerin çalışma prensiplerini daha derinlemesine anlamak için, yatay yarma makinesinin temel plaka kesim prensiplerine ve sembolik operasyon metodolojilerine başvurmak yararlıdır. Bu bağlamda, yatay yarma makinesinin temel çalışma prensipleri ve sembolik operasyonel yaklaşımları Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görsel bir şekilde sunulmuştur.



Şekil 4.5 : Yatay yarma makinesi kesim prensibi (Demirdağ ve diğ., 2003).



Şekil 4.6 : Yatay yarma makinesi sembolik çalışma prensibi (Demirdağ ve diğ., 2003).

4.5. Ebatlama Makineleri

Ebatlama makineleri, doğal taş işleme sektöründe plakaların özelleştirilmesi ve boyutlandırılması amacıyla hayati bir rol oynar. Bu makineler, taş levhaların homojen ve istenilen spesifikasyonlarda kesilmesini sağlar, böylece levhaların nihai uygulamaları için uygunluğunu garanti eder.

Bu makineleri daha iyi kategorize etmek gerekirse, üç temel sınıfa ayrılmaktadırlar: Ebatlama makineleri, Kafa kesme makineleri ve Blok kesme makineleri. Ancak, teknolojik ilerlemeler ve endüstriyel ihtiyaçlar doğrultusunda, Çoklu ebatlama makineleri en yaygın kullanılan tür haline gelmiştir. Bu makinelerin avantajı, plakaları birden fazla kesimle hızla ve etkili bir şekilde boyutlandırma yeteneğine sahip olmalarıdır.

Ebatlama makineleri, plakaları belirli standartlara ve istenilen boyutlara göre keserek "ince işçilik" olarak da adlandırılan bir süreci gerçekleştirir. Bu süreçte, makineler başta olmak üzere plakanın tüm kenarlarını düzeltir ve şekillendirir. Bu makinelerin kritik bileşeni olan kesici elemanlar, genellikle yüksek verimlilik ve keskinlik sağlamak amacıyla elmas soketlere sahip dairesel testerelerdir. Bazı modellerde, aralarındaki mesafenin ayarlanabilir olmasıyla birlikte yedi testereye kadar kapasiteye sahip olabilirler. Bu, tek bir plakanın bir dizi boyutta parçalara ayrılmasını sağlar. Endüstride, genellikle 35 cm ile 60 cm arasında değişen çapta testereler tercih edilmektedir. Şekil 4.7'de gösterilen En-Boy (çoklu) ebatlama makinesi, bu makinelerin tipik bir örneğini temsil eder ve modern taş işleme tesislerinde yaygın olarak bulunur.



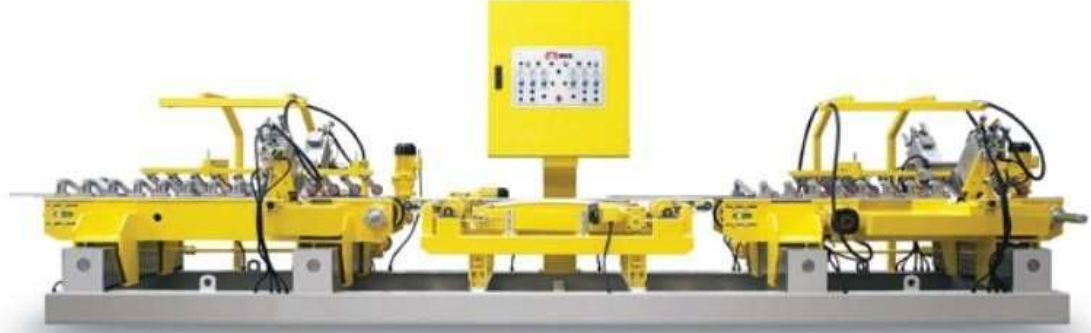
Şekil 4.7 : En-boy ebatlama makinesi (MKS, 2023)

4.6. Pah Makineleri

Pah makineleri, doğal taş işleme sektöründe önemli bir yere sahiptir, özellikle de estetik ve işlevsellik ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda. Taş plakaların kenarlarını düzgün ve estetik bir şekilde işlemek, hem plakaların estetik açıdan daha çekici hale gelmesini sağlar hem de uygulandıkları yerlerde daha işlevsel olmalarına yardımcı olur.

Bu makinelerin asıl amacı, doğal taş plakaların alt ve üst köşelerine 45°'lik pahlar eklemektir. Ancak, teknolojik yenilikler ve endüstrinin artan ihtiyaçları doğrultusunda bu makineler zamanla evrilmiştir. Modern pah makineleri, çeşitli kafa ve testerelerle donatılmıştır, bu da onları çok fonksiyonlu cihazlara dönüştürmüştür. Bu makineler artık sadece pahlama işlemi için değil, aynı zamanda taş plakaların çeşitli kenarlarını ve yüzeylerini işlemek için de kullanılmaktadır.

Özellikle, bu makineler şimdi plakaların alın kısımlarına cilalar uygulayabilir, üst, alt ve alın kısımlarına derzler ekleyebilir ve alın profil kalibrasyonu gibi özel işlemleri gerçekleştirebilir. Tüm bu işlemler, makinenin üzerinde bulunan tek bir bantla gerçekleştirilebilir, bu da işleme sürecini hızlandırır ve verimliliği artırır. Şekil 4.8'de sunulan görsel, bu tür makinelerin tipik bir örneğini sunmaktadır ve modern taş işleme tesislerinde sıkça rastlanan bir ekipmandır.



Şekil 4.8 : Fayans pah kırma makinesi (MKS, 2023)



5. DAİRESEL TESTERELİ BLOK KESME (S/T) MAKİNELERİ

Dairesel testereli blok kesme (S/T) makineleri ile ilgili genel bilgiler Bölüm 4.2’de incelenmiştir. Bu bölümde ise dairesele testereli blok kesme (S/T) makinelerinin türleri ve teknik özellikleri, makine elemanları ve dairesele testereli blok kesme (S/T) makineleriyle blok kesme işlemleri ele alınacaktır.

5.1. Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makineleri Türleri ve Teknik Özellikleri

S/T makineleri eni sabit olan levhaları kesmek için kullanılırlar ve tek ayaklı S/T, çift ayaklı S/T ve dört ayaklı S/T olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar. Tek ayaklı S/T’lerde genel olarak yatay kesici bulunmaz ve sanayide tercih edilmezler.

5.1.1. Tek ayaklı dairesele testereli blok kesme (S/T) makineleri

Tek ayaklı dairesele testereli blok kesme (S/T) makineleri, özgün yapısal özellikleri nedeniyle endüstride belirli uygulamalar için tercih edilir. Bu makineler, kesici disklerin monte edildiği gövdenin üç farklı boyutta hareket kabiliyetine sahip olmasıyla tanınır. Bu özellik, kullanıcısına kesim sırasında maksimum esneklik sunar ve farklı açılarda ya da derinliklerde kesim ihtiyaçlarına yanıt verebilir.

Ancak, taş bloğunun konumlandığı vagonun hareketi bu makinelerde doğrudan bir motor veya elektrik mekanizması ile değil, hidrolik bir lift mekanizması aracılığıyla gerçekleştirilir. Hidrolik lift, yüksek tork ve stabilize hareket kabiliyeti sunar, bu da özellikle ağır taş bloklarını yerleştirme ve hareket ettirme aşamasında önemlidir.

Bununla birlikte, tek ayaklı S/T makineleri genellikle seri üretim için tasarlanmamıştır. Bunun yerine, bu tür makineler özel siparişlere yönelik daha spesifik kesim ihtiyaçları veya belirli araştırma ve geliştirme projeleri için daha uygun olabilir. Bu makinelerin, spesifik ve bireysel kesim ihtiyaçlarına yanıt verebilme kabiliyeti, onları özel projeler için ideal bir seçenek haline getirir. Bu da, endüstrinin belirli segmentlerinde bu makinelerin niş bir kullanıma sahip olmasına neden olmaktadır (Alttaş, 2006).

5.1.2. Çift ayaklı dairesel testereli blok kesme (S/T) makineleri

Çift ayaklı dairesel testereli blok kesme makineleri, köprünün iki ayak üzerinde desteklendiği bir yapıya sahiptir. Bu çift destekli yapı, kesme hareketlerinin daha stabil ve kontrollü bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. Ayakların sayısının iki olmasından ötürü, dairesel testere, iki farklı boyutta, yani hem yatay hem de düşey eksenlerde hareket yeteneğine sahiptir. Bu, kesimin daha geniş bir alanda ve farklı derinliklerde gerçekleştirilmesine olanak tanır.

Kesici testerelerin yatay hareketleri, köprü üzerinde yer aldığı mekanizma ile kontrollü bir şekilde yönlendirilir. Bu hareket, özellikle geniş blokların kesiminde, eşit derinlikte ve düzgün bir kesim sağlamak için kritiktir. Düşey hareket için ise, köprü ünitesine monte edilmiş olan ayaklar üzerinde konumlandırılmış olan dişli miller devreye girer. Bu dişli miller, testerenin bloğa istenilen derinlikte ulaşmasını ve kesim işleminin kesintisiz devam etmesini sağlar.

Makinenin çift ayaklı yapısının bir diğer avantajı da, kesimin homojen bir şekilde gerçekleşmesini ve olası titreşim veya sarsıntıların minimize edilmesini sağlamasıdır. Bu, kesimin kalitesini artırırken, testere ömrünün de uzamasına katkıda bulunur.

Şekil 5.1’de, bu çift ayaklı dairesel testereli blok kesme makinelerinin genel bir görünümü sunulmuştur, bu görüntü makinenin kompleks yapısını ve kesme işlemi sırasında nasıl bir hareket sergilediğini daha iyi anlamak için göz önünde bulundurulabilir.



Şekil 5.1 : Çift ayaklı dairesel testereli blok kesme (S/T) makinesi (Gülmas-Gürel Makine Sanayi Kataloğu)

5.1.3. Dört ayaklı dairesel testereli blok kesme (S/T) makineleri

Dört ayaklı dairesel testereli blok kesme (S/T) makineleri, mimari yapıları itibariyle, dört adet kolona sahiptir. Bu kolonlar, ikişerli gruplar şeklinde konumlandırılmış olup, karşılıklı olarak birbirleriyle birleşik bir yapı oluşturmaktadırlar. Doğal taş bloğunun makineye yerleştirilme işlemi, spesifik olarak tasarlanmış bir vagon aracılığıyla gerçekleştirilir. Vagon, makinenin merkezine taşınır ve stabil bir konumda sabitlenir.

Bu makineler, dairesel kesici elemanların 3 boyutlu hareket kapasitesine sahip olmasıyla çift ayaklı modellere üstünlük sağlarlar. Bu hareket kabiliyeti, daha karmaşık ve hassas kesim işlemlerinin gerçekleştirilmesine olanak tanır. Aynı zamanda bu makinelerde birden fazla dikey kesici elemanın kullanılabilmesi, seri üretim gereksinimlerine uyum sağlar ve üretim kapasitesini artırır.

Disk çaplarına göre, bu makinelerde farklı soket sayılarına rastlanabilir. Örneğin, 180 cm çapında bir disk için 100–125 soket, 150 cm çapında bir disk için ise yaklaşık 84 soket kullanılmaktadır. Dört ayaklı yapısının sağladığı stabilite sayesinde, kesim

sırasında vagon hareketlerinden kaynaklanabilecek olumsuzlukların yaratmış olduğu potansiyel sapmalar minimuma indirilir. Bu durum, kesim hassasiyetini önemli ölçüde artırır.

Bu makineler, alan kaplama bakımından diğer versiyonlarına kıyasla daha geniş bir yer kaplasa da, kesilen plakaların alınmasını kolaylaştıran tasarım özelliklerine sahiptirler. Yatay kesici diskler, düşey kesici disklerle karşılaştırıldığında daha küçük bir çapa sahip olup, bu da kesim işlemlerinin daha detaylı ve hassas yapılabilmesine imkan tanır (Alttaş, 2006).

Şekil 5.2, dört ayaklı S/T makinelerinin tipik bir yapısal tasarımını göstermektedir ve bu görsel, makinenin karmaşık yapısını ve kesim işlemi sırasında nasıl bir hareket sergilediğini daha iyi anlamak için dikkate alınmalıdır.



Şekil 5.2 : Dört ayaklı dairesel testereli blok kesme (S/T) makinesi (GMS Makine sanayi kataloğu).

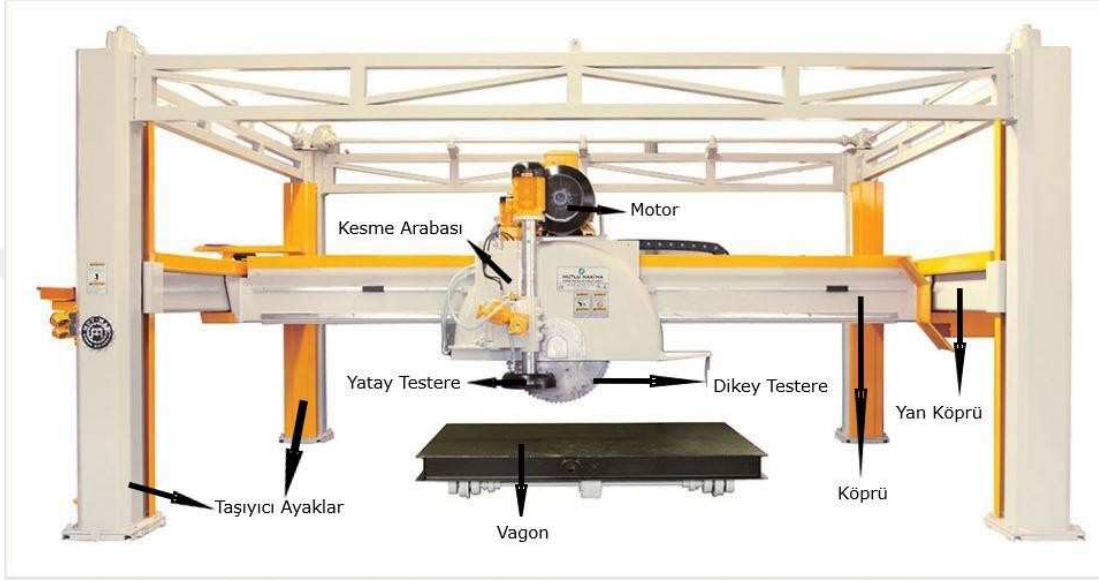
5.2. Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makine Elemanları

Dairesel testereli blok kesme (S/T) makineleri, birçok farklı makine elemanının, önceden belirlenmiş bir uyum içerisinde eş zamanlı çalışmasıyla işlev gören karmaşık yapıdaki sistemlerdir. Bu sistemler, yapısal bütünlükleri, fonksiyonel kapasiteleri ve kullanılan malzemeleri bakımından endüstride önemli bir yere sahiptirler. Her bir makine elemanı, sistemin genel performansı üzerinde kritik bir etkiye sahip olup, belirli bir amaca yönelik olarak tasarlanmıştır.

Bu başlıkta, S/T makinelerini oluşturan temel bileşenler ve bu bileşenlerin spesifik işlevleri üzerinde durulacaktır. Bu temel bileşenler, makinelerin optimal çalışma

koşullarında ve en yüksek verimlilikle faaliyet gösterebilmeleri için esastır. İlerleyen alt başlıklarda, bu elemanların her birine detaylı bir şekilde değinilecektir, böylece makinelerin nasıl çalıştığına dair derinlemesine bir anlayış kazandırılacaktır.

Şekil 5.3'te, S/T makinelerini oluşturan ana parçaların şematik bir gösterimi sunulmuştur. Bu gösterim, makinelerin genel yapısını ve bileşenlerin birbiriyle olan ilişkisini daha açık ve anlaşılır bir biçimde özetlemektedir.



Şekil 5.3 : Dört ayaklı dairesel testereli blok kesme (S/T) makinesi ana elemanları (Mutmak, t.y.).

5.2.1. Taşıyıcı ayaklar

S/T makinelerinde, yapısal bütünlüğün ve istikrarın korunmasında esas rolü üstlenen kolonlar, zemine sağlam bir şekilde sabitlenmiş olan dört adet temel destek elemanından oluşmaktadır. Bu kolonlar, makinelerin dayanıklılığını ve stabilitesini garanti altına alarak kesim işlemlerinin hassasiyetle gerçekleştirilmesine imkan tanır.

Bu destek elemanlarının tipik bir yüksekliği yaklaşık 5 metre civarında olup, bu yükseklik makinenin operasyonel gereksinimleri ve tasarım parametreleri doğrultusunda belirlenir. Yükseklikleri ve robust yapıları, onlara yüksek bir dayanıklılık kazandırırken, aynı zamanda kesme işlemlerinde oluşabilecek titreşimlerin minimize edilmesine yardımcı olur.

Kolonların üzerinde bulunan kızaklar, hareketin sürekliliğini ve doğruluğunu sağlar. Bu kızaklar, makinenin kesim sırasında sürekli olarak doğru pozisyonunu korumasına yardımcı olur. Ayrıca, kızakların uzun ömürlü ve verimli bir şekilde çalışabilmesi için özel bir toz koruyucu materyalle kaplanmıştır. Bu kaplama, işlemler sırasında oluşan

ince partiküllerin kızakların hareketini engellemesini önler ve bu şekilde hem kızakların ömrünü uzatır hem de makinenin genel performansına katkıda bulunur (Çevim, 2016).

5.2.2. Vagon

S/T makinelerinde, taşınacak doğal taş bloklarının güvenli ve etkin bir şekilde konumlandırılması için vagonlar esastır. Bu vagonlar, özellikle büyük ve ağır blokların kolaylıkla taşınmasını ve kesim pozisyonuna hızla getirilmesini sağlar. Tasarlanan ray sistemi üzerinde hareket eden bu vagonlar, kullanıcıya maksimum esneklik ve konumlandırma doğruluğu sunar.

Makine çalışma modunda iken vagonlar, güvenlik ve kesim hassasiyeti gereksinimleri doğrultusunda sabit bir konumda tutulur. Bu, özellikle kesim sürecinin kesintisiz ve doğru bir şekilde devam etmesi için gereklidir. Vagonların bu sabit pozisyonları, kesim süresince oluşabilecek herhangi bir titreşimin veya hareketin olumsuz etkilerini önleyerek, ürün kalitesini artırır ve malzeme israfını minimize eder.

Bu vagonların hareket mekanizmasının arkasında ise genellikle yüksek torklu elektrik motorları bulunmaktadır. Bu motorlar, vagonların ray üzerinde hem hızlı hem de kontrollü bir şekilde hareket etmelerini sağlar. Ayrıca, bu motorlar sayesinde taş blokların hassas bir şekilde konumlandırılması ve sabitlemesi işlemi de kolaylıkla gerçekleştirilir. Bu özellik, kesim sürecini daha etkin ve hızlı hale getirerek, genel üretim verimliliğine katkıda bulunur.

5.2.3. Köprü

Köprü, S/T makinelerinin temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkar. Kesme arabasının üzerine monte edildiği bu yapı, kesme işlemlerinin yatay düzlemde akıcı ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır. Köprünün mukavemeti, kesme sırasında karşılaşılan tüm zorluklara dayanabilmesi için kritik bir faktördür. Bu nedenle, korozyon, yüksek sıcaklık, aşındırıcı madde etkisi gibi olumsuz koşullara karşı dayanıklı olacak şekilde özel malzemelerle tasarlanmıştır.

Ayrıca, kesme işlemleri sırasında oluşabilecek titreşimlerin makinenin diğer parçalarına zarar vermemesi için köprünün absorbe edici bir yapıda olması esastır.

5.2.4. Yan köprü

Ana köprünün bir uzantısı olarak işlev gören yan köprüler, kesme arabasının yan hareketlerini kontrol altında tutan ve rehberlik eden yapı elemanlarıdır. Bu komponentlerin, özellikle kesim sırasındaki yüksek gerilimlere ve titreşimlere dayanıklı olması gerektiği için çelik gibi yüksek dayanımlı malzemeler kullanılarak üretilirler. Yan köprülerin hareketli yüzeylerinde kullanılan yağ, sürtünmeyi azaltır ve hareketin daha pürüzsüz olmasını sağlar. Bunun yanı sıra, bu yağlama sistemi, yan köprü yüzeylerinin paslanma ve aşınma gibi olumsuz etkilere karşı dayanıklı olmasına da yardımcı olur. Bu özellikler, yan köprülerin uzun ömürlü ve bakım ihtiyacının minimumda olmasını sağlar.

5.2.5. Kesme arabası

Kesme arabası, S/T makinelerinin çekirdeğini oluşturan multifonksiyonel bir elemandır. Hem yatay hem de dikey kesme işlevlerinin gerçekleştirildiği bu bileşen, bu iki yöndeki testereleri ve bu testerelerin çalışmasını kontrol eden ve güçlendiren motorları üzerinde barındırır. Kesme işlemleri sırasında doğal taşlardan kaynaklanabilecek yüksek seviyede titreşim ve sarsıntıya maruz kalabilir. Bu nedenle, kesme arabasının tasarımında, bu titreşimlerin ve sarsıntıların etkisini minimuma indirerek işlemin stabilitesini ve kesme hassasiyetini koruma amacı güdülür. Yapısının ağır ve güçlü olmasının arkasında yatan temel sebep budur. Bunun yanında, arabayı daha dayanıklı ve uzun ömürlü kılmak adına genellikle dökme demir temelli bir malzeme kullanılır ve üzeri koruma amaçlı çelik kaplama ile kaplanır. Bu kombinasyon, hem makinenin mukavemetini artırır hem de uzun vadede karşılaşılabilecek aşınma ve yıpranma risklerini azaltır (Çevim, 2016). Kesme arabasının özellikleri makinenin genel performansında belirleyici bir rol oynamaktadır. Şekil 5.4, bu kritik bileşenin detaylı bir görselini sunarak, yapısının karmaşıklığını ve önemini gözler önüne sermektedir.



Şekil 5.4. Kesme arabası (Mutmak, t.y.).

5.3. Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makineleriyle Blok Kesme İşlemleri

Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) makinelerinin operasyonel süreçleri, malzemenin özelliklerine, kesimin hedeflenen kalitesine ve kullanılan makinenin türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu bölümde, blok kesme işleminin tipik bir süreci adım adım incelenmektedir.

İlk olarak, doğru ve etkin bir kesim işlemi için bloğun stabil bir zemin üzerinde durmasını garantilemek esastır. Bu amaçla, vagon üzerine yerleştirilen kalaslar, bloğun hem düzgün bir zeminde durmasını hem de kesme esnasında oluşabilecek titreşimlerin etkisini azaltmasını sağlar. Kalasların kullanılmasının ardında yatan temel amaç, doğal taş bloğunun ağırlık merkezinin doğru bir şekilde kalaslar üzerinde ortalanmasını sağlamaktır. Bu, dış bir vinçle gerçekleştirilen dikkatli bir yerleştirme işlemi ile sağlanır. Bu yerleştirme, doğal taş bloğunun kesim sırasında istenmeyen hareketlerden, özellikle titreşim ve sallanmalardan minimum düzeyde etkilenmesini garanti eder.

Taş bloğunun stabilizasyonunun ardından, makine içindeki vagon ray mekanizması ile bloğun kesim konumuna taşınması gerçekleştirilir. Bu, bloğun kesici disklerin

erişimine uygun bir konumda olmasını sağlar. Modern S/T makineleri genellikle hassas el kumanda sistemleriyle donatılmıştır, bu da operatörün kesici disklerin hareketlerini milimetre hassasiyetinde kontrol edebilmesini mümkün kılar.

Kesim işlemi sırasında, doğal taşın sürtünme kaynaklı olarak ürettiği toz ve yüksek sıcaklık, hem işlemin kalitesini hem de makinelerin ömrünü olumsuz etkileyebilir. Bu sebeple, kesim esnasında bol miktarda su kullanılır. Bu su, sadece sürtünmeye bağlı ısıyı düşürmekle kalmaz, aynı zamanda kesim yüzeyinde olası kırılma ve çatlama riskini azaltarak daha kaliteli bir kesim yüzeyi elde edilmesine yardımcı olur (MEGEP, 2008).





6. KATRAK BLOK KESME MAKİNELERİ

Katrak makineleri ile ilgili genel bilgiler Bölüm 4.1’de incelenmiştir. Bu bölümde ise katrak blok kesme makinelerinin türleri ve teknik özellikleri, makine elemanları ve katrak makineleriyle blok kesme işlemleri ele alınacaktır.

6.1. Katrak Blok Kesme Makine Türleri ve Teknik Özellikleri

Katrak makineleri, doğal taş sektöründe esaslı bir kesim aracı olarak karşımıza çıkar. Kesim yöntemlerine göre başlıca iki ana kategoride sınıflandırılırlar: yatay ve dikey kesim yapan katraklar. Bu kategorizasyonda, yatay kesim yapan katraklar daha da incelenirken, testerenin çalışma mekaniği iki alt gruba ayrılır: Birincisi, testerenin bloğun içerisinde vertikal olarak aşağıya doğru hareketini esas alırken; ikincisi, bloğun yukarı doğru, sabit konumdaki testereye yönelik hareketini temel alır.

Katrak makinelerinin bir diğer sınıflandırması da blokların makineye yüklenme biçimlerine dayanmaktadır. Bu bağlamda, açık ve kapalı kasalı katraklar olarak iki temel kategori belirlenmiştir. Kapalı kasalı sistemde, taş bloğu komple bir şekilde makinenin altına konumlandırılır ve bu şekilde tamamen kesim işlemi gerçekleştirilir. Öte yandan, açık kasalı sistemde büyük taş bloklarının sadece bir bölümü kesilir. Kesilmemiş kısmın işlenmesi için, blok ikinci bir işleme alınarak bir vagon üzerinde ileri-geri hareket ettirilir, böylece kesim tamamlanır.

Katrakların çalışma dinamiklerine göre hız sınıflandırması da önemlidir. Bu sınıflandırmada, ileri-geri hareketin boyu (mm) ile dakikada gerçekleşen ileri-geri hareket sayısının çarpımı temel alınır. Elde edilen bu değer, katrak makinelerinin hız kategorilerini belirler. Özellikle 50.000 değerinin altı veya üstü olması, katrağın yavaş ya da hızlı olarak nitelendirilmesini sağlar (Güngör, 2011b).

Ancak literatürde belirtildiği üzere, en geniş kabul gören sınıflandırma kesim testerelelerinin türüne dayanır. Bu sınıflamaya göre, katraklar çelik testereleli (genellikle kum ile birlikte kullanılır) ve elmas testereleli olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

Şekil 6.1, katrik makinelerinin bu detaylı sınıflandırmasını görsel olarak sunmaktadır. Bu çeşitli sınıflandırmalar, endüstrinin kesim ihtiyaçlarına ve özel uygulamalarına göre en uygun ekipmanın seçilmesine olanak tanır.



Şekil 6.1 : Katrak blok kesme makine sınıflandırması (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).

6.1.1. Çelik testereli (kumlu) katrik blok kesme makineleri

Çelik testereli blok kesme makineleri, aynı zamanda kumlu katriklar olarak da literatürde yer bulur. Bu isimlendirme, kesme prosedüründe kullanılan yardımcı aşındırıcı maddenin varlığına dayanır. Farklı kayaç türlerine bağlı olarak kullanılan üç temel aşındırıcı madde bulunmaktadır:

- Granit gibi sert kayaçların kesiminde, dökme demir veya çelik granüllerden elde edilen aşındırıcı malzemeler tercih edilmektedir.
- Yüksek sertlik derecesine sahip mermerlerin kesiminde, zımpara tozu bazlı aşındırıcı malzemeler kullanılır.
- Standart mermer kesimi için ise kuvars kumu esas alınarak hazırlanan aşındırıcı malzemeler tercih edilir.

Doğal taşın özelliklerine ve sertlik değerine göre, katrikların farklı kapasitelerde üretimleri söz konusudur. Özellikle mermerin sertlik derecesinin artışı, kesim hızını doğrudan etkilemekte, kesim hızını nispeten yavaşlatmaktadır.

Çelik testereli katarlar, kesim işlemini düzgün bir çelik lama ile gerçekleştirirken, kesim süreci sırasında suyla birlikte aşındırıcı kum da devreye alınır. Alaşımli çelikten imal edilen bu lamalar, kumun aşındırıcı etkisiyle birlikte doğal taşı sürtünme mekanizmasıyla keser. Ancak modern teknolojik gelişmeler ve kesme metodolojilerindeki inovasyonlar, kumlu katarların günümüzde neredeyse tercih edilmez hale gelmesine yol açmıştır (Güngör, 2011b). Bu durum, endüstrinin sürekli evrilen ihtiyaçlarına ve teknolojik ilerlemelere bağlı olarak değişen uygulama eğilimlerini göstermektedir.

6.1.2. Elmas soket lamalı katar blok kesme makineleri

Elmas Soket Lamalı Katar Kesme Makineleri, elmas soket üzerinde sıralı biçimde dizilmiş minik elmas tanecikleri taşıyan lamalar aracılığıyla çalışan, oldukça sofistike kesme cihazlarıdır. Bu makineler, kesme işlemi sırasında, doğal taşı aşındırma yöntemiyle kesmekte olup suyun katkısıyla kesim sürecini optimize ederler. Bu makinelerin çalışma hızı 10-25 cm/saat aralığında değişkenlik gösterir.

Elmas soket lamalı katarlar iki ana tasarım kategorisinde üretilir: Açık kasalı ve kapalı kasalı modeller. Kesim prosedürü sırasında, lama ile taş yüzeyi arasında, optimum kesim verimliliği için her lama başına ortalama 8-10 litre/dakika olacak şekilde su enjekte edilir. 80 lamalı elmas soketli katar kesme makinesinin derinlemesine teknik detayları Çizelge 6.1'de sunulmuş olup, makinenin örnek bir görseline Şekil 6.2'de yer verilmiştir.

Çizelge 6.1. Elmas soketli 80 lamalı katar blok kesme makinesi teknik özellikleri (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).

Açıklama	Birim	Değer
Maksimum Blok Ebatları	cm	320(boy) × 200(en) × 200(yükseklik)
Maksimum Lama Sayısı	nu	80
Kesim Hareketi Boyu	mm	800
Dakikadaki Kesim Hareketi	no	92
Hızlı Hareket Motor Gücü	hp	10
Kesim Hareket Motor Gücü	hp	2
Ana Motor Gücü	kw	110
Maksimum Kesme Sürati	cm/saat	45
Ağırlık	kg	52.000
Toplam Su İhtiyacı	l/dk	800

Bu teknolojik cihazların, endüstri 4.0 trendi ile paralel olarak birçok işlevi otomasyon altında toplandığı gözlemlenmektedir. Sistem, kullanıcının işlevsellik açısından kesintisiz bir deneyim yaşamasını sağlamak amacıyla potansiyel aksaklıklar karşısında

erken uyarı alarmı verebilmektedir. Örneğin, kesim hızı, işlenecek taşın karakteristiklerine bağlı olarak önceden programlanabilir. Ancak, makine, belirlenen kesim hızını aşması durumunda, kendi inisiyatifi kullanarak otomatik bir hız ayarlama mekanizmasını devreye alabilir. Ek olarak, makine üzerine entegre edilmiş olan sensörler, olası kırılma veya çatlak oluşumu risklerini algılayarak, makinenin otomatik olarak durmasını sağlayan standart bir güvenlik protokolüne sahiptir. Bu, hem işçi güvenliğini hem de malzeme verimliliğini artırır.



Şekil 6.2 : 80 Lamalı katarak blok kesme makinesi (MKS, 2023)

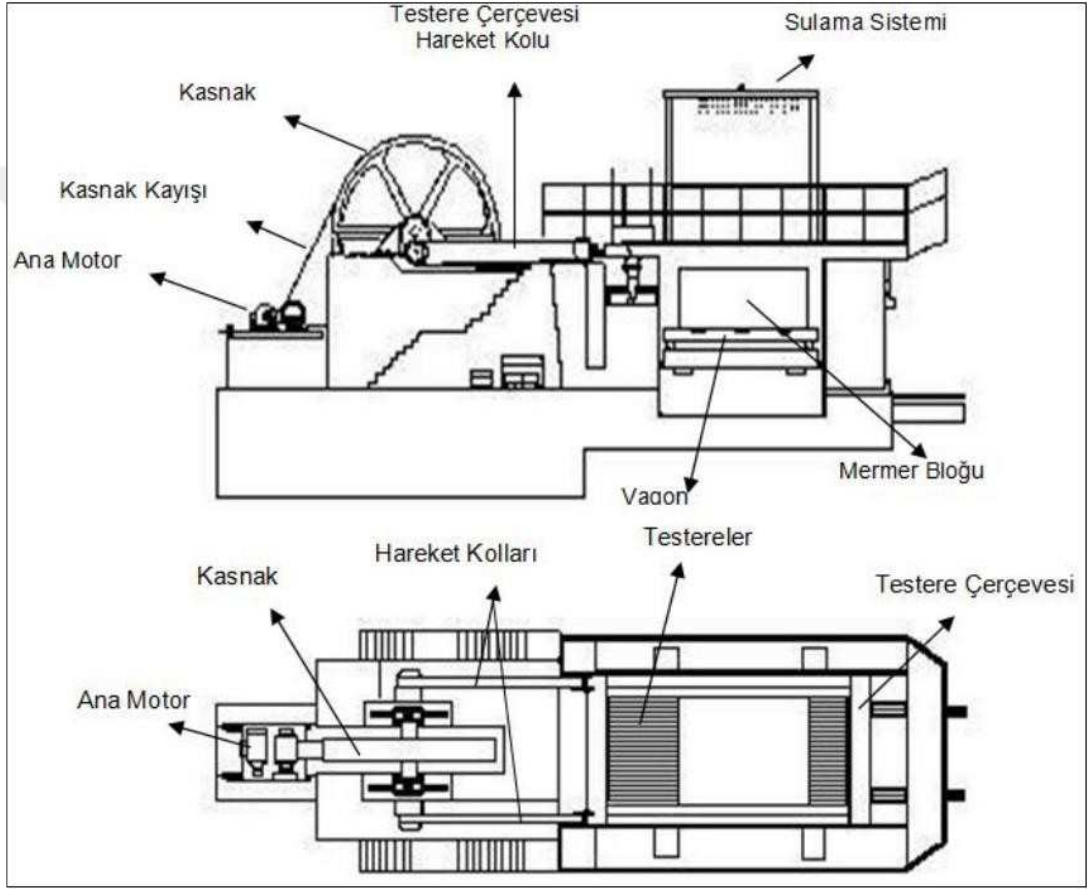
60, 80 veya 120 lamalı olarak imal edilmiş elmas soketli katarakların teknik özellikler ve makine ebatları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. 60-80-120 lamalı katarak blok kesme makinelerinin teknik özellikleri (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).

Model	Birim	TLD 60 SC	TLD 80 SC	TLD 100 SC
Bıçaklar	n	60	80	100
Geçerli Kesim Boyu	m	3,2	3,2	3,2
Geçerli Kesim Eni	m	1,6	2,0	2,5
Geçerli Kesim Yüksekliği	m	2,2	2,2	2,2
Strok Boyu	cm	80	80	80
Bıçak Uzunluğu	cm	430	430	430
Bağlantı Rot Adedi	n	2	2	2
Ana Motor Gücü	KW	110	132	162
Hızlı İniş Motor Gücü	KW	7,3	7,3	7,3
Yavaş İniş Motor Gücü	KW	1,1	1,1	1,1
Taşıyıcı Motor Gücü	KW	1,5	1,5	1,5
Makine Ağırlığı	kg	65.000	70.000	75.000
Makine Genel Ebatları	cm	1.385 × 477 × 600	1.385 × 517 × 600	1.385 × 567 × 600

6.2. Katrak Blok Kesme Makinesi Elemanları

Katrak blok kesme makineleri, doğal taş endüstrisinde kullanılan sofistike ekipmanlardan biridir. Bu makineler, kompleks yapıları ve özel bileşenleri sayesinde kesim işlemlerini yüksek hassasiyetle gerçekleştirirler. Bu ekipmanın temel yapısal unsurları, aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Şekil 6.3, bu ana bileşenlerin görsel temsilini sunmaktadır.



Şekil 6.3. Katrak blok kesme makinesi ana bileşenleri (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).

Kasnak: Bu temel dönme elemanı, ortalama olarak 3-4 metre arasında bir çapla imal edilir. Kesim işleminde merkezi bir rol oynar, çünkü enerjinin çevresel bileşenlere iletimini sağlar.

Eksantrik Kolu: Bu bileşen, bir yandan ana kasnağa diğer yandan ise testere çevresine bağlı olarak makinanın dinamik hareketini kontrol eder. Eksantrik kolu, kasnağın dairesel hareketini testerelerin doğrusal hareketine dönüştürür.

Testere Çerçevesi: Bu çerçeve, kesme işleminin gerçekleştiği testerelelerin monte edildiği ana yapısal elemandır. Sağlamlık ve dayanıklılık açısından önemlidir, zira kesme sırasında oluşan dinamik yüklere karşı direnç gösterir.

Testereleler: Bu kesme araçları, özel olarak tasarlanmış keskin kenarları sayesinde doğal taşı keser. Materyalin sertliğine ve kesme hızına göre farklı özelliklerde testereleler kullanılabilir.

Motor: Katrak blok kesme makinelerinin kalbinde yer alan bu bileşen, tüm mekanik hareketin ana enerji kaynağıdır. Motor, kasnağın dönmesini sağlayarak eksantrik kolun ve testerenin hareketini destekler.

6.2.1. Gövde

Makinenin gövdesi, dayanıklılık ve sertlik sunan tamamen çeliktendir. Üzerindeki kesim arabasının hareket ettiği bölüm çift prizma şeklindedir ve bu kısımlar gövdeye cıvatalarla sağlam bir şekilde bağlanmıştır.

6.2.2. Elektrik motoru

Kasnağı döndüren elektrik motoru 75-110 kW gücündedir. Motor mili üzerindeki "V" kayış kasnak sistemi ile büyük çaplı kasnağı döndürür.

6.2.3. Kasnak

Katrak blok kesme makinelerinin ana bileşenlerinden biri olan kasnak, ortalama 3500 mm ile 4000 mm arasında bir çap aralığına sahiptir. Bu, kasnağın işlevselliği ve kesme performansındaki optimum dengenin bir sonucudur. Döküm teknolojisiyle üretilen kasnak, özel döküm malzemeleri kullanılarak üretilir ki bu, hem dayanıklılığını artırır hem de kesme sırasındaki vibrasyonları minimize eder.

Bu kasnak, genellikle sağlam ve sabit bir zemin sağlamak için beton bir bloğa monte edilir. Döküm malzemesinin ve betonun birleşimi, kasnağın dinamik hareketlerine karşı dirençli olmasına yardımcı olur ve böylece daha uzun ömürlü ve etkili bir çalışma sağlar.

Makinenin ana hareket kaynağı olan elektrik motoruyla arasında enerji transferini "V" şeklindeki kayış vasıtasıyla gerçekleştirir. Bu özel kayış dizaynı, motorun dönme hareketinin kasnağa maksimum verimlilikle iletilmesini sağlar.

Dikkate değer olan bir diğer husus, katrağın 9 tonluk oldukça büyük bir ağırlığa sahip olmasıdır. Bu ağırlık, kasnağın 3,5 metre çapında olmasıyla dengelenir. Böylesi bir

kombinasyon, kinetik enerjinin maksimum verimlilikle kollar üzerinden lamaların gerildiği kasaya aktarılmasına olanak tanır. Bu enerji transferi, kesme işleminin sürekliliği ve hassasiyeti için hayati öneme sahiptir.

6.2.4. Eksantrik kolu

Katrak blok kesme makinelerinde, kasnağın üzerine stratejik olarak yerleştirilmiş eksantrik mil, cihazın temel hareket mekanizmalarından biridir. Bu eksantrik mil, makinenin dairesel hareket kolu ile kombine edilerek, bu kolun ve bu kola direkt bağlı olan kasanın ileri ve geri doğrultuda hareketini koordine eder. Bu, kesme işlemlerinin daha kontrollü ve efektif bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar.

Öte yandan, hareket kolları tek parça yüksek kalitede çelik malzemeden dikkatle üretilmiştir. Tek parça yapının tercih edilmesi, bu bileşenlerin yapısal bütünlüğünü ve dayanıklılığını artırır. Dikkat çekici bir şekilde, hareket kollarının üretiminde kaynak metodu kullanılmamıştır. Bu, kaynakla ilişkilendirilen potansiyel zayıf noktaların veya yapısal kusurların önlenmesine yardımcı olur. Sonuç olarak, kollar, dinamik yüklenmeler ve gerilmeler sırasında oluşabilecek deformasyonlara veya hasarlara karşı önemli ölçüde daha dayanıklı hale gelir. Bu, makinenin uzun vadeli performansı ve güvenilirliği için kritik bir faktördür. Bu tasarım yaklaşımı, makinelerin zorlu endüstriyel koşullarda bile istikrarlı ve sürekli bir performans sunmasını sağlar.

6.2.5. Vagon

Katrak blok kesme makinelerinin alt bölümünde, özel olarak tasarlanmış bir platform bulunmaktadır. Bu platform, doğal taş materyalinin makinaya yerleştirildiği bölümü oluşturmaktadır. Bu kritik bölüm, taşın kesim işlemi için stabil ve güvenli bir şekilde konumlandırılmasını sağlar. Vagon, hassas hareket kabiliyeti için ray sistemi üzerinde mühendislik prensiplerine uygun olarak tasarlanmıştır.

Makineye taşınacak doğal taş bloğunun stok alanından alınması ve kesim alanına transferi, vagonun raylar üzerinde, entegre edilmiş elektrik motoru ve redaktör grubunun koordineli çalışmasıyla gerçekleştirilir. Bu, taşın hızlı ve verimli bir şekilde konumlandırılmasını sağlar, böylece kesme sürecinin herhangi bir gecikme olmaksızın başlamasını garantiler.

Vinç yardımıyla, doğal taş blokları, dışarıdan makinenin üstüne yerleştirilir ve ardından vagon üzerine bırakılır. Bu, taşın makinenin altına hızlı ve etkin bir şekilde konumlandırılmasını sağlar. Ancak bazı modern makineler, hareket kabiliyetini

artırmak için vidalı mil sistemi kullanmaktadır. Bu sistem, vagonun daha hassas hareket etmesini ve taşın makinaya daha spesifik bir konumda yerleştirilmesini sağlar. Genel olarak, tasarımın temel amacı, 3-4m³ büyüklüğünde bir taş bloğunun, kesme işlemi için makinenin altına sorunsuzca yerleştirilmesini sağlamaktır. Bu, kesme sürecinin verimliliği ve doğruluğu için esastır.

6.2.6. Kızaklar

Katrak blok kesme makinesi, optimal bir performans ve uzun ömürlü kullanım için özel olarak tasarlanmış olan dört adet bronz kızak üzerinde işlem görmektedir. Bu kızaklar, makinenin sürekli ve yoğun operasyon koşullarına karşı dayanıklı olmasını sağlamak üzere, aşınmaya karşı son derece dirençli pik döküm ve bronz malzemelerden üretilmiştir. Pik döküm, yüksek mukavemetli ve sert bir yapıya sahip olup, mekanik sürtünme ve aşındırıcı koşullara karşı üstün bir dayanıklılık gösterir.

Yağ banyosu tekniği, kızakların sürekli olarak yağlanmasını sağlayarak hem sürtünmeyi azaltır hem de makinenin bileşenlerinin aşınmasını önler. Bu, makinenin genel operasyonel ömrünü uzatır ve bakım maliyetlerini azaltır.

Ek olarak, makinenin hidrolik kaplin sistemi, başlangıçta ve durdurma esnasında ani hareketleri ve potansiyel hasar riskini engellemek için yumuşak ve kontrol edilebilir bir kalkış sağlar. Bu özellik, makinenin stabilitesini ve güvenliğini artırırken, aynı zamanda enerji verimliliğini de optimize eder ve olası mekanik hasar riskini minimize eder. Bu entegrasyon, katrak blok kesme makinelerinin yüksek performanslı ve güvenilir bir şekilde çalışmasını garanti eder.

6.2.7. Lamalar ve elmas soketler

Katrak blok kesme makinelerinde kullanılan lamalar, çeşitli mekanik ve kimyasal özelliklere sahip özel alaşımlı çeliklerden üretilirler. Bu lamaların standardı, 3-5 mm kalınlık, 250-300 mm genişlik ve 3.500-4.000 mm uzunluk olarak belirlenmiştir. Mühendislik açısından bakıldığında, makineye bağlı olarak lamaların üzerlerinde 60, 80 veya 120 adet lama bulunması, kesme işleminin verimliliği ve stabilitesi için kritiktir.

Bloğun kesim süreci, lamaların üzerine dikkatlice monte edilmiş elmas soketlerin, doğal taşın yüzeyine sürtünmesi ve bu sürtünme sonucu aşındırma mekanizmasının harekete geçmesiyle gerçekleşir. Bu elmas soketlerin tasarım ve yerleşimi, doğal taşın kendine özgü sertliği ve yapısal özelliklerini gözeterek değiştirilebilir niteliktedir. Soketlerin optimal olarak lama yüzeylerine yerleştirilmesi için 10-15 cm aralıklarla kaynaklanması tavsiye edilir. Ancak, bu öneri genel bir kılavuz olarak sunulmakta olup, her işletme, kendi operasyonel gereksinimleri ve deneyimleri doğrultusunda en verimli aralığı seçebilir. Bu konuda yapılmış literatür incelemeleri, Şekil 6.4'te, bu lamalara dikkatlice kaynatılmış elmas soketlerin görselini sunmaktadır.



Şekil 6.4 : Katrak lamaları ve elmas soket (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).

Elmas soketlerin üretiminde kullanılan malzemenin bileşimi son derece sofistike bir süreç gerektirir. Soketler, Kobalt, Brom, Tungsten karbür, Nikel, Demir, Bakır ve Kalay gibi çeşitli elementlerin, belirli oranlarda ve 500-500 µm tane boyutunda bir matriks içerisine yerleştirilmesiyle oluşmaktadır. Bu matriks, oksijensiz bir ortamda, yapay elmaslarla birleştirilir. Bu elmas soketler, 1.000-1.400 °C arasında değişen sıcaklıklarda ve yaklaşık 700 MPa basınç altında, çeşitli çelik ve ağır metal alaşımlarından üretilen ana gövdeye presleme yöntemi ile kaynaklanmaktadır (Güngör, 2011b). Bu özel üretim süreci, lamaların maksimum performansla çalışmasını sağlar ve kesim sürecinin verimliliğini artırır.

6.3. Katrak Makineleri ile Blok Kesme İşlemleri

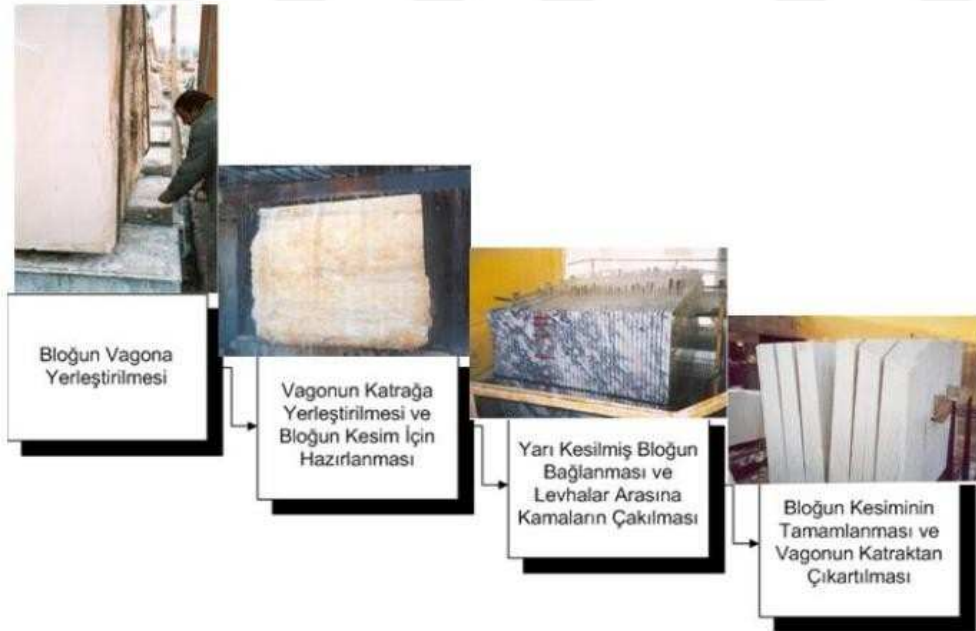
Katrak blok kesme makinesinin operasyon süreci, belirli ve sıralı adımlarla gerçekleştirilmektedir. Bu sürecin başlangıcı, doğal taş bloğun vagona dikkatlice yüklenmesiyle başlar. Şekil 6.5'te, bu sırasıyla yapılması gereken işlemlerin görseli verilmektedir. İlk adımda, doğal taş bloğunun stabil ve güvende olması amacıyla vagon üzerine yerleştirilirken takozlar kullanılır. Bu takozlar, bloğun kesim esnasında

hareketsiz kalmasını sağlar. Takozların sağlayamayacağı ekstra stabilite için, alçı gibi yardımcı sabitleme maddeleri de tercih edilebilir. Lamaların taş üzerinde gerçekleştirdiği dinamik hareketin, bloğu yerinden oynatmaması esastır.

Kesim işlemine geçilmeden önce, lamanın doğal taş ne kadar derinlemesine ilerleyeceği konusunda bir ayar yapılır. Katrak blok kesme makineleri, lamaların doğal taş bloğunu 8-10 cm derinliğine kesinceye kadar daha yavaş bir hızda ilerlemesini sağlar. Bu ilk derinleme aşaması tamamlandıktan sonra, makine hızını standardize ederek kesimi sürdürür.

Kesim sürecinin tamamlanmasının ardından, makine, kesilen plakalar arasına kama görevi gören özel bir ızgara yerleştirir. Bu ızgaraların temel işlevi, kesilen plakaların birbirine yapışmasını veya birbirine zarar vermesini önlemektir. Bunun yanı sıra, bu plakaların bir arada ve stabil bir şekilde durması için çevrelerine bir zincir gerilir.

Kesim işleminin tamamlanmasının ardından, plakaların vagondan dikkatlice ve güvenli bir şekilde boşaltılmasına geçilir. Bu süreçte, öncelikle makine durdurulur, ardından kamalar ve zincirler sökülür. Taş plakaların güvenli bir şekilde kaldırılması için vinçten yararlanılır.



Şekil 6.5 : Katrak blok kesme makinesinde plaka kesim aşamaları (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).

Son aşamada, kesilen plakaların ilerleyen süreçte hangi amaçla kullanılacaklarına bağlı olarak, stratejik bir şekilde dikey olarak istiflenirler. Bu istifleme, plakaların daha sonraki işlemler için hazır hale getirilmesini sağlar.

7. ÇALIŞILAN DOĞAL TAŞLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bu tez çalışmasında, Silver Traverten, Afyon Beyaz, Tundra Gri, Muğla Beyaz, Sarı Traverten, Patara Bej, Denizli Traverten, Korkuteli Bej, Muğla Şeker ve Muğla Gümüş olarak adlandırılan doğal taşların mekanik ve fiziksel özelliklerine odaklanılmıştır. Bu taşlar üzerindeki laboratuvar deney sonuçları ve ilgili analizler, performans değerlendirmesinin temelini oluşturmaktadır.

Araştırmada, doğal taşların büyük bloklardan elde edilen daha küçük silindirik şeklinde numuneler kullanılarak fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kesilebilirliklerini belirlemede kritik olan bu özellikler, özellikle seçilen doğal taş örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler, Amerikan Standart ve Test Metotları (ASTM) ve Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM) tarafından belirlenen standartlara uygun olarak yürütülmüştür. Deneyler için Nx tipi (54 mm çapında) karotlar, blok numunelerden alınmıştır. Deneylerin doğruluğunu sağlamak için, karot numunelerinin alt ve üst yüzeyleri paralel hale getirilecek şekilde düzeltilmiştir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneyler; Tek eksenli basınç dayanımı (UCS), Dolaylı çekme dayanımı (BTS), Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI), Schmidt çekici yüzey sertliği (SHH), Shore scleroscope yüzey sertliği (SSH) ve yoğunluk (ρ) tayini gibi çeşitli testleri içermektedir. Her bir deney için uygulanan yöntemler ve kullanılan örnekler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışma, söz konusu doğal taşların S/T ve ktrak makinalarında kesim performanslarının kapsamlı bir şekilde analiz edilmesinde önemli bir rol oynamıştır.

7.1. Yoğunlukların Belirlenmesi

Doğal taşlardan alınan karot numuneler, hassasiyet gerektiren bir terazi ile tartılarak, bu numunelerin kütlesi ölçülmüştür. Daha sonra, bu karot numunelerinin hacimleri hesaplanarak doğal taşların yoğunlukları tespit edilmiştir. Çizelge 7.1’de incelenen numunelere ait yoğunluk değerleri sunulmaktadır. Ayrıca Şekil 7.1’de özkütlelerin

hesaplanması ve deneylerin yapılması için karot formlarına getirilmiş doğal taş numunelerine örnek verilmiştir.



Şekil 7.1 : Karot formuna getirilmiş doğal taş örnekleri

Çizelge 7.1 : Doğal taşların yoğunluk değerleri.

Kayaç	Yoğunluk (gr/cm ³)
Silver Traverten	2,57
Afyon Beyaz	2,81
Tundra Gri	2,78
Denizli Traverten	2,53
Sarı Traverten	2,23
Patara Bej	2,64
Korkuteli Bej	2,70
Muğla Şeker	2,68
Muğla Beyaz	2,67
Muğla Gümüş	2,72

7.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı, kayaç ve doğal taş numunelerinin basınç altında ne kadar dayanıklı olduğunu ölçen bir parametredir. Bu değer, numunenin kırılana kadar uygulanabilen maksimum basınç kuvvetini temsil eder ve mühendislikte yaygın olarak kullanılır. Bu araştırmada gerçekleştirilen deneyin temel amacı, silindirik şekilde hazırlanan doğal taş numunelerinin tek eksenli basınç dayanım değerlerini belirlemektir. Deney sürecinde, numunelerin yükseklik/çap oranı yaklaşık olarak 2,5 olarak ayarlanmış ve Nx standardı (54 mm çap) kullanılmıştır. Basınç testi sırasında, karot numunelerine sürekli ve sabit bir yükleme hızı (1,0 kN/sn) altında kuvvet uygulanmıştır. Kaya numunelerinin tek eksenli basınç dayanım değerleri, kırılma noktasında uygulanan maksimum kuvvetin numunenin başlangıç kesit alanına oranlanmasıyla hesaplanmış ve bu işlem Denklem 7.1 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (7.1)$$

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

F: Kırılma yükü (N)

A : Silindirik numunenin kesit alanı (mm²)

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi için kullanılan piston makinası şekil 7.2’de gösterilmiştir. İlaveten, Denizli Traverten örneğine ait Tek eksenli basınç dayanımı testinin, deney öncesi ve sonrası durumlarını gösteren görseller Şekil 7.3’te sunulmuştur.



Şekil 7.2 : Deneylerde kullanılan hidrolik piston.



Şekil 7.3 : Denizli traverten tek eksenli basınç dayanımı deneyi öncesi ve sonrası.

Çizelge 7.2’de Şekil 7.3.’te örneği gösterilen Denizli Traverten numunelerinin UCS deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.2 : Denizli traverten numuneleri için örnek bir UCS hesap çizelgesi.

Numune No	Boy (mm)	Çap (mm)	Ağırlık (g)	Kırılma Yüğü (kN)	Yüklem Hızı (kN/s)
2	132,84	54,25	790,20	95,90	1,00
3	131,65	54,83	799,40	160,30	1,00
4	133,74	54,72	799,23	85,08	1,00

7.3. Dolaylı Çekme Dayanımı Deneyi

Dolaylı Çekme Dayanımı, doğal taşların ve kayaların çekme dayanıklılığını belirlemek için kullanılan bir test yöntemidir. Bu yöntem, özellikle standart dışı numuneler üzerinde kullanıldığında faydalı olup, numunenin çekme kuvvetine direnç gösterme kapasitesini ölçer. Brazilian testi, bu tür dayanıklılık testlerinin en yaygın şekillerinden biridir ve kayaların çekme dayanımlarını dolaylı olarak ölçmek amacıyla tasarlanmıştır.

Yapılan dolaylı çekme dayanımı (Brazilian tensile strength, BTS) deneyleri için yükseklik/çap oranı yaklaşık 0,5 olan ve Nx standardı (54 mm çap) ile uyumlu karot numuneler kullanılmıştır. Deney sırasında, numunelere sürekli ve sabit bir yükleme hızı (0,25 kN/sn) altında kuvvet uygulanmıştır. Doğal taşların Brazilian çekme dayanım değerleri, belirli bir formülasyon (Denklem 7.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_t = \frac{2.F}{\pi.L.D} \quad (7.2)$$

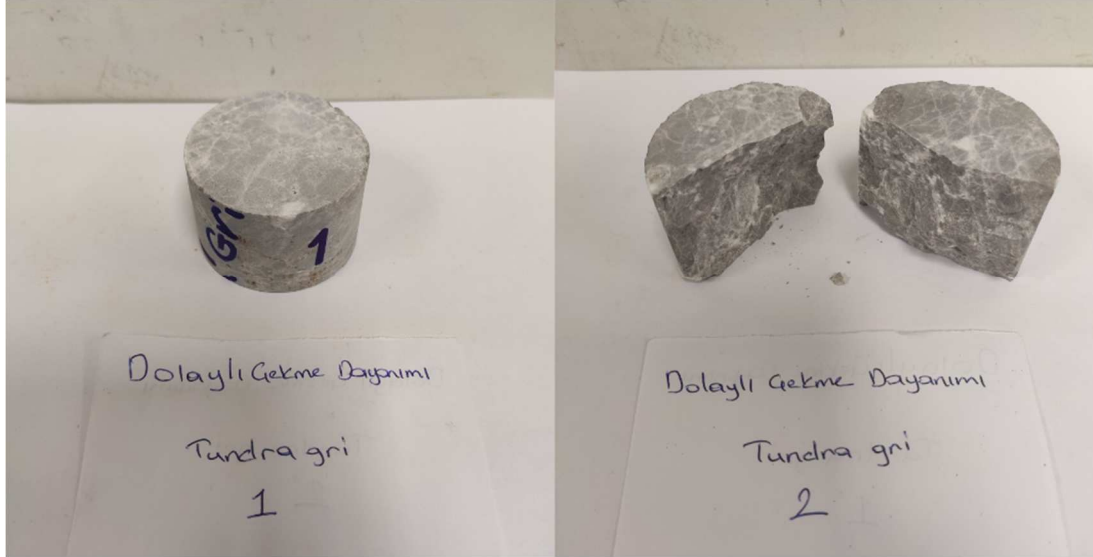
σ_t : Dolaylı çekme dayanımı (MPa)

F: Kırılma yükü (N)

L: Karot numunesinin boyu (mm)

D: Karot numunesinin çapı (mm)

Tundra Gri doğal taş numunesine ait Dolaylı Çekme Dayanımı Deneyi öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 7.4'te görsel ile belirtilmiştir.



Şekil 7.4 : Tundra gri dolaylı çekme dayanımı deneyi öncesi ve sonrası

Çizelge 7.3’de Şekil 7.4’te örneği gösterilen Tundra gri numunelerinin BTS deney sonuçlarına yer verilmiştir.

Çizelge 7.3 : Tundra gri numuneleri için örnek bir BTS hesap çizelgesi.

Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	Kırılma Yükü (kN)	Yükleme Hızı (kN/s)
1	54,76	37,77	17,70	0,25
2	54,88	41,88	13,50	0,25
3	54,66	33,98	17,50	0,25
4	54,63	27,91	12,80	0,25

7.4. Cerchar Aşındırıcılık İndeksi (CAI) Deneyi

Cerchar aşınma indeksi (CAI), kaya biliminde yaygın olarak kullanılan ve kayaların aşındırıcılık seviyelerini belirlemeye yarayan bir test yöntemidir. Bu yöntem, kayaların aşındırıcı özelliklerini ölçmek amacıyla tasarlanmış olup, özellikle belirli bir yüzey sertliğine sahip konik uçların (pin) kullanımını içerir. Test, 160 kg/mm çekme dayanımına ve 90° tepe açısına sahip bir konik uç kullanılarak gerçekleştirilir (ASTM, 2010). Test sürecinde, taze kırılmış kayaç örnekleri üzerinde, konik uç 70 Newton'luk bir basma kuvveti altında yaklaşık bir saniye içinde 10 milimetre çekilerek uygulanır. Bu prosedür sırasında, konik uçta oluşan aşınma miktarı, kayaç örneğinin aşındırıcılık düzeyini verir. Kullanılan konik uç, 55 Rockwell sertliğinde olup, bu özellik ucu oldukça dayanıklı kılar ve deneyin güvenilirliğini artırır. Bu deney

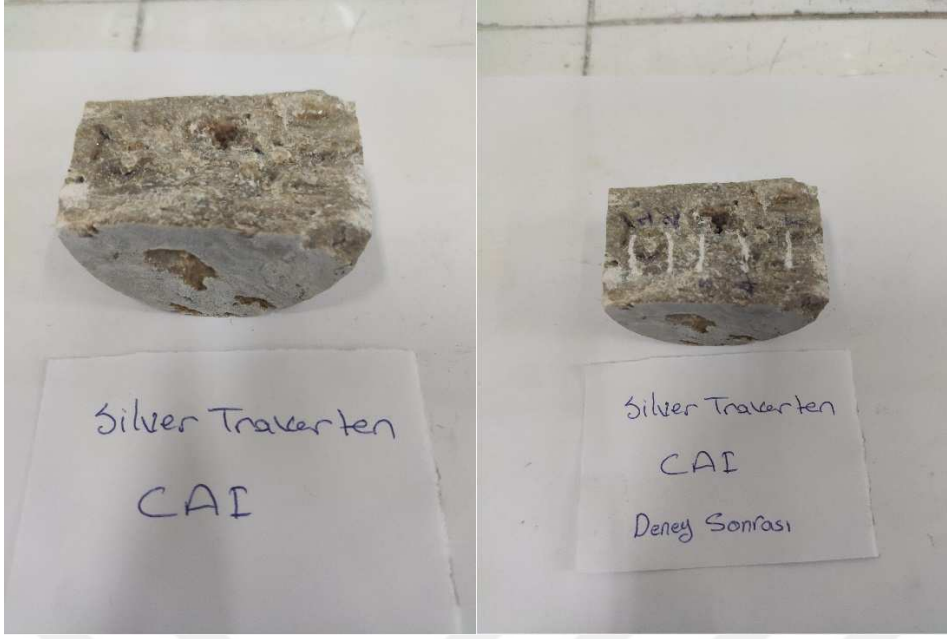
düzeneği ve kullanılan araçlar, Şekil 7.5'te detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Deneyin diğer aşaması, konik uçta meydana gelen aşınmanın ölçümüdür.

Bu ölçüm, 30x büyütme kapasitesine sahip bir dijital mikroskop kullanılarak yapılmış ve şekil 7.7'de de görseli sunulmuştur. Mikroskop altında yapılan incelemelerde, uçtaki aşınma miktarı, yüzey çapında meydana gelen değişim 1/1000 milimetre hassasiyetle ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda, her 1/10 milimetrelilik aşınma, 1 Cerchar Aşınma İndeksi (CAI) değerine eşdeğer olarak kabul edilmiş ve bu şekilde kayaların aşındırıcılık seviyeleri elde edilmiştir.

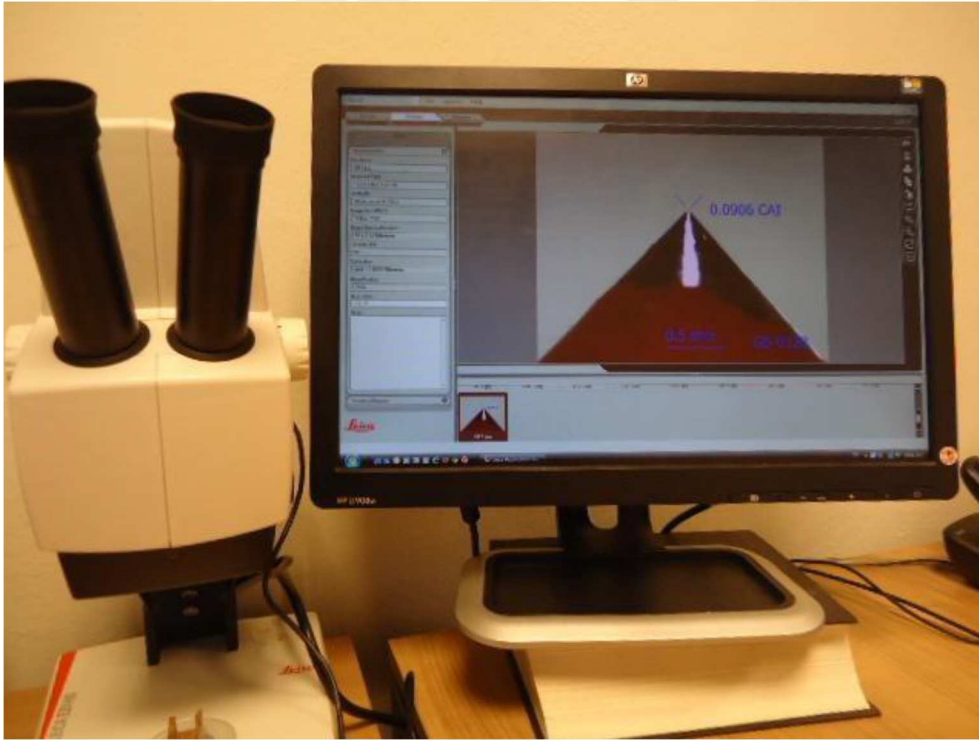


Şekil 7.5 : Cerchar deney aleti.

Deney, taze kırılmış yüzey üzerinde beş farklı pin kullanılarak yapılmış, her pinden iki dik açıda okuma alınmıştır. Toplam on okumanın aritmetik ortalaması, kayacın CAI değeri olarak kabul edilmiştir. Şekil 7.6, Silver Traverten için Cerchar aşındırıcılık deneyinin öncesi ve sonrasını gösteren bir fotoğrafı içerir.



Şekil 7.6 : Silver Traverten Cerchar aşındırıcılık deneyi öncesi ve sonrası.



Şekil 7.7 : Cerchar aşındırıcılık deneyi ölçümlerinde kullanılan elektronik mikroskop.

7.5. Schmidt Çekici Yüzey Sertliği Deneyi

Schmidt çekici deneyi, kayaların yüzey sertliklerini hızlı ve etkili bir şekilde belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu deney, özellikle alan çalışmalarında ve laboratuvar ortamlarında sertlik ölçümleri yapmak için tasarlanmıştır. Cihazın temel

bileşenleri arasında bir yay, çekiç ve çekici için bir kurma kolu bulunur. Yayın gerilmesi ile harekete geçen çekiç, kaya yüzeyine darbe uygular ve bu darbe sonucunda çekiç geri seker. Çekicinin zıplama mesafesi, test edilen yüzeyin sertliğine bağlı olarak değişir ve bu mesafe cihaz üzerindeki ölçekli ibre aracılığıyla okunur.

Schmidt çekici kullanılarak yapılan deneylerde, cihazın gövdesi numunenin yüzeyine dik bir şekilde yerleştirilmiştir. Ölçüm yapılacak yüzeylerin temiz, kuru ve düzgün olması bu deneyin doğruluğu için önemlidir. Deneyler sırasında L-9 tipi Schmidt çekici tercih edilmiştir. Uygulanan prosedür kapsamında her blok numunenin üzerinden on farklı noktada ölçüm yapılmış ve bu işlem beş kez tekrarlanmıştır. Bu beş setin aritmetik ortalaması alınarak, ilgili doğal taşın Schmidt çekici ile ölçülen yüzey sertlik değeri tespit edilmiştir (ISRM, 1981).

Şekil 7.8'de, Schmidt çekici ile yapılan bir testin örneğini gösteren bir fotoğraf bulunmaktadır. Ayrıca, Çizelge 7.4'te, Afyon Beyaz örneği üzerinde yapılan beş farklı Schmidt çekici testinin sonuçları özetlenmiştir.



Şekil 7.8 : Schmidt çekici deneyi icra edilmesini gösteren bir fotoğraf

Çizelge 7.4 : Afyon Beyaz numunesi için örnek bir Schmidt çekici hesap çizelgesi.

Numune No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama Shore Sertliği
1	52	57	59	58	62	58	58	55	52	60	57,1
2	56	62	61	60	59	62	60	59	55	55	58,9
3	55	60	63	61	65	63	62	63	55	56	60,3
4	58	59	63	62	63	61	64	58	58	54	60,0
5	56	60	62	63	66	64	63	57	57	58	60,6
Ortalama											59,4

7.6. Shore Scleroscope Yüzey Sertliği Deneyi

Shore scleroscope deneyi, kayaçların ve diğer malzemelerin yüzey sertliklerini ölçmek için kullanılan hızlı, kolay ve maliyet etkin bir yöntemdir. Bu yöntem, malzemenin sertlik derecesini belirlemek için özel olarak tasarlanmıştır ve genellikle kayaçların yüzey özelliklerinin hızlı bir değerlendirmesini sağlar. Deneyin temel prensibi, bir elmas uçlu ağırlığın, düzgün, pürüzsüz ve temiz bir şekilde hazırlanmış numunenin üzerine serbestçe düşürülmesine dayanır. Ağırlığın numune yüzeyine çarptıktan sonra ne kadar yüksekliğe zıpladığı, Shore scleroscope cihazında ölçülür ve bu mesafe, numunenin yüzey sertlik değerini ifade eder (ISRM, 1981).

Bu çalışmada, blok numuneler üzerinde C-2 tip Shore scleroscope kullanılarak deney yapılmıştır. Deney sürecinde, her blok numunenin üzerinden on farklı noktada ölçüm alınmıştır. Doğal taşların yüzey sertlik değerlerinin belirlenmesi amacıyla, bu deneyler dört farklı set halinde tekrarlanmış ve her setin sonuçlarından aritmetik ortalama alınarak Shore yüzey sertliği hesaplanmıştır. Deneylerde kullanılan C-2 tip Shore scleroscope aleti, Şekil 7.9’da gösterilmiştir. Ayrıca, Çizelge 7.5’te, Sarı Traverten numunesi üzerinde yapılan dört farklı Shore scleroscope yüzey sertliği deneyinin sonuçları detaylı bir şekilde sunulmuştur.



Şekil 7.9 : C-2 tip Shore Scleroscope deney aleti.

Çizelge 7.5 : Sarı Traverten numunesi için örnek bir Shore Scleroscope hesap çizelgesi.

Numune No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama Shore Sertliği
1	45	46	44	45	50	42	40	43	50	45	45,0
2	50	51	49	50	56	42	50	48	51	53	50,0
3	52	53	51	52	56	44	50	52	53	55	51,8
4	47	48	46	47	55	42	49	45	45	46	47,0
Ortalama											48,5

7.7. Mekanik ve Fiziksel Deneylerin Sonuçları

Çizelge 7.6, Silver Traverten, Afyon Beyaz, Tundra Gri, Denizli Traverten, Sarı Traverten, Patara Bej, Korkuteli Bej, Muğla Şeker, Muğla Beyaz ve Muğla Gümüş gibi çeşitli kayaç türlerine ait yoğunluk, tek eksenli basınç dayanımı (UCS), Brazilian çekme dayanımı (BTS), Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI), Schmidt çekici yüzey sertlik değeri (SHH) ve Shore scleroscope yüzey sertlik değeri (SSH) gibi önemli fiziksel ve mekanik özellikleri içermektedir. Her bir özellik, kayaçların çeşitli uygulamalardaki performansını anlamak için kritik öneme sahiptir. Bu taşların yoğunlukları, 2,23 gr/cm³ ile 2,81 gr/cm³ arasında değişmektedir. Bu aralıkta, en düşük yoğunluğa sahip olan Sarı Traverten 2,23 gr/cm³, en yüksek yoğunluğa sahip olan ise Afyon Beyaz 2,81 gr/cm³ olarak ölçülmüştür.

Tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerleri, bu taşlar için 18,67 MPa ile 132,64 MPa arasında belirlenmiştir. Bu değerler arasında, en düşük UCS değerine sahip Sarı Traverten 18,67 MPa, en yüksek değere sahip ise Afyon Beyaz 132,64 MPa olarak saptanmıştır.

Brazilian çekme dayanımı (BTS) ölçümleri, 2,78 MPa ile 9,40 MPa arasında bulunmuştur. Bu ölçümde Sarı Traverten en düşük değere sahipken (2,78 MPa) Korkuteli Bej en yüksek değere (9,40 MPa) sahiptir.

Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) değerleri, 0,66 ile 2,99 arasında değişmektedir. Bu ölçümde Denizli Traverten en düşük değer (0,66), Muğla Beyaz ise en yüksek değer (2,99) ile kaydedilmiştir.

Schmidt çekici ve Shore scleroscope yüzey sertlik değerleri, kayaçların yüzey sertliklerini göstermektedir. Schmidt çekici yüzey sertlik değerleri 33,1 ile 68,1 arasında, Shore scleroscope yüzey sertlik değerleri ise 48,5 ile 77,3 arasında değişmektedir. Schmidt çekici değerlerinde en düşük Sarı Traverten (33,1), en yüksek Korkuteli Bej (68,1); Shore scleroscope değerlerinde en düşük Sarı Traverten (48,5), en yüksek Korkuteli Bej (77,3) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7.6. Mekanik ve fiziksel deney sonuçlarının özeti

Kayaç	Yoğunluk	UCS	BTS	CAI	SCHMIDT	SHORE
Silver Traverten	2,57	51,16	4,61	0,76	53,10	72,45
Afyon Beyaz	2,81	132,64	6,58	1,06	59,38	75,75
Tundra Gri	2,78	75,60	5,12	1,10	59,56	62,65
Denizli Traverten	2,53	49,94	5,08	0,66	50,42	51,53
Sarı Traverten	2,23	18,67	2,78	0,71	33,06	48,45
Patara Bej	2,64	112,70	7,30	1,03	64,12	75,00
Korkuteli Bej	2,70	120,30	9,40	1,30	68,04	77,30
Muğla Şeker	2,68	66,22	7,00	0,90	55,16	68,12
Muğla Beyaz	2,67	97,30	7,10	2,99	60,01	71,04
Muğla Gümüş	2,72	99,90	7,70	2,25	63,45	74,84



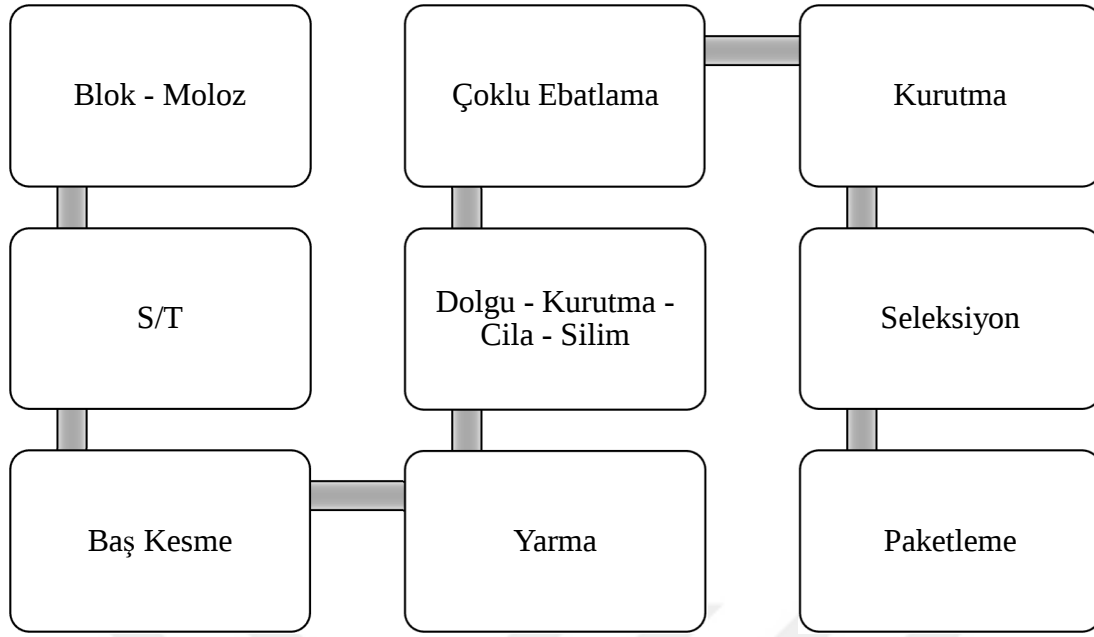
8. FABRİKA ÇALIŞMALARI

8.1. Fabrikanın Tanıtılması

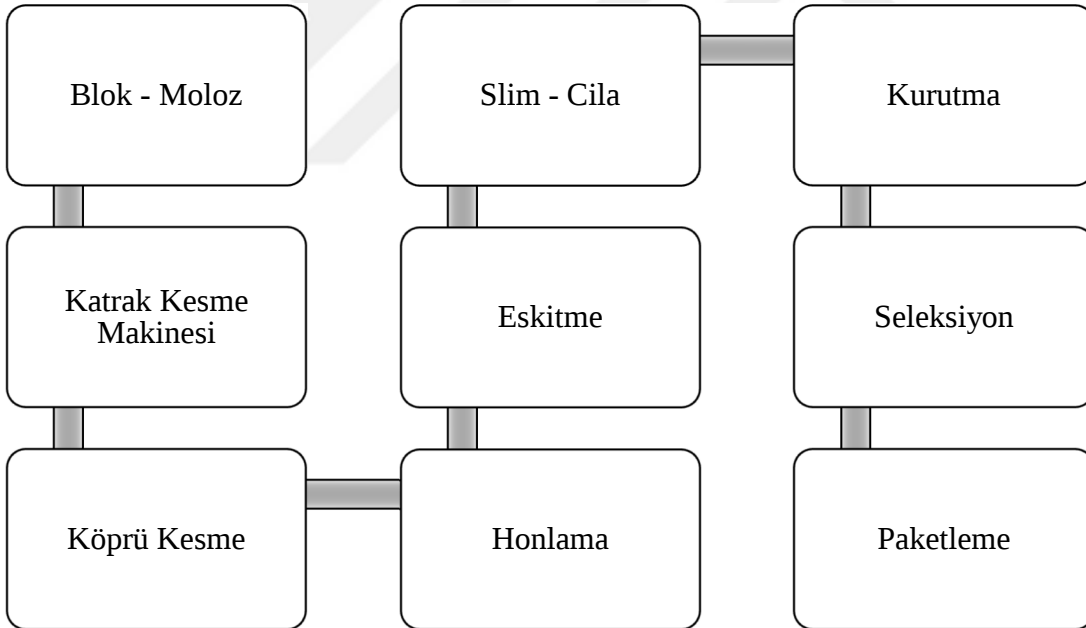
Kömürcüoğlu Mermer Tarım Ürünleri San. ve Tic. A.Ş., Denizli'de kökleri 1982 yılına dayanan prestijli bir aile şirkettir. Bu tarihten itibaren madencilik sektöründe faaliyet göstermeye başlayarak, yıllar içinde sektörde önemli bir konum elde etmiştir. Şirket, yüksek kapasiteli üretim tesislerinde her yıl yaklaşık 1.000.000 m²'lik üretim hacmine ulaşarak madencilik alanındaki uzmanlığını ve kapasitesini ispatlamıştır.

Tesisler, toplamda 4.000 m²'lik bir açık alanda kurulu olup, modern ekipmanlarla donatılmıştır ve tam zamanlı olarak faaliyet göstermektedir. Kompleksin işleyişi, fabrikanın dinamiklerine uygun olarak tasarlanmış detaylı akım şemaları ile planlanmıştır. Bu şemalar, üretim süreçlerinin ve kullandıkları makinelerin tüm ayrıntılarıyla anlaşılmasını sağlar.

Şekil 8.1'de, fabrikanın S/T makineleri kullanılarak yürütülen operasyonlarını temsil eden akım şeması sunulmuştur. Diğer yandan, Şekil 8.2'de, katrak uygulamaları için özel olarak hazırlanan ayrıntılı bir akım şeması yer almaktadır. Bu akım şemaları, fabrikanın çalışma prensiplerini, kullandığı teknolojileri ve üretim süreçlerini anlamak adına kullanılabilir.



Şekil 8.1 : S/T için fabrika akım şeması.



Şekil 8.2 : Katrak için fabrika akım şeması.

Fabrikada bulunan makinaların listesi:

- 2 adet blok deplasmanlı katrak kesme makinesi
- 4 adet 4 ayaklı S/T, 2 adet 2 ayaklı S/T
- 1 adet köprü kesme makinesi

- 5 adet baş kesme makinesi
- Dolgu makinesi
- 3 adet fayans hattı
- Yarma makinesi
- Silim-Cila makinesi
- 2 adet eskitme kazanı
- Çoklu ebatlama masası
- Kurutma (Fön) makinesi
- 3 adet forklift
- Kalibre makinesi
- Su arıtma tesisi
- 2 adet dış vinç (30 ton)
- 2 adet iç vinç (6.400 kg)
- 1 adet pergel vinç

8.2. S/T Performans Ölçümü ve Analizi

Çalışmanın bu bölümünde 10 farklı doğal taş örneğinin Kömürcüoğlu doğal taş işleme fabrikasında dairesel testereli blok kesme makineleri (S/T) kullanılarak gerçekleştirilen bir analiz sunulmaktadır. Performans ölçümü ve analizleri Muğla beyaz, Patara bej, Denizli traverten, Korkuteli bej, Muğla şeker, Muğla gümüş, Sarı traverten, Afyon beyaz, Tundra gri ve Silver traverten doğal taş blokları üzerinde yapılmıştır.

Bu analizin gerçekleştirildiği makineler, aynı ağırlık ve boyut özelliklerine sahip dört ayaklı S/T makineleridir. Performans analizi için kullanılan makineler, 2012 yapımı ST1800 model MKS marka S/T makineleridir. Makinelerin teknik özellikleri Çizelge 8.1'de ayrıntılı olarak sunulmuş, makinelere ait görsel ise Şekil 8.3'te yer almaktadır.

Dört ayaklı S/T makinelerinin performans değerlendirmesine yönelik analizler, ilk olarak bu makinelerin işleyiş prensiplerinin detaylı bir incelemesi ile başlamıştır. Çalışmanın temel odak noktası, dairesel testerenin saat başına üretebildiği plaka

alanını (m²/saat) tespit etmektir. Bu hedef doğrultusunda, kesim sürecinin etkin bir şekilde değerlendirilmesi adına, net kesim süresi, ara duraklamalar ve operatörün kesim sürecine olan etkisi gibi faktörler dikkatlice gözlemlenmiştir. Makinenin bir bloğu kesmeye başlamasının ardından, en yüksek verimliliğe sahip olduğu zaman dilimlerinde performans ölçümleri yapılmıştır. Testerenin kesime başlamasından itibaren zaman takibi gerçekleştirilmiş, testere bir plaka boyu kesimini tamamladıktan ve sonraki plaka kalınlığı kadar yana kaydırıldıktan sonra da kronometre işlemine devam edilmiştir. Sonuç olarak, bu analizlerle saatlik kesilen plaka sayısı ve plakanın alansal üretim oranı (m²/saat) hesaplanmıştır.

Çizelge 8.1 : MKS S/T 1800 teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Birim	ST 1800
Dikey testere çapı	mm	1.000 – 1.800
Yatay testere çapı	mm	450
Dikey testere motor gücü	kw/hp	110/148
Yatay testere motor gücü	kw/hp	18,5/25
Köprü sağ-sol hareket motor gücü	kw/hp	1,5/2
Köprü yukarı-aşağı hareket motor gücü	kw/hp	3/4
Köprü ileri-geri hareket motor gücü	kw/hp	7,5/10
Yatay testere açma-kapama hidrolik motor gücü	kw/hp	1,1/1,5
Vagon motor gücü	kw/hp	2,2/3
Toplam elektrik gücü	kw/hp	144/193
Makinede kullanılan su miktarı	lt/dk	100 – 150
En büyük blok ebatları (boy × en × yükseklik)	mm	3.400 × 2.200 × 2.400
Makine ebatları (boy × en × yükseklik)	mm	8.200 × 5.350 × 4.800
Makine ağırlığı	kg	16.500



Şekil 8.3. MKS S/T 1800 (MTA, 2020).

Muğla beyaz örneğinin plakaları 160 cm uzunluğunda, 30 cm genişliğinde ve 3 cm kalınlığında kesilmiştir. Muğla şeker bloğundan elde edilen plakalar 63 cm uzunluk ve 43 cm genişlik ölçülerine sahip olup, bunlar da 3 cm kalınlığında üretilmiştir. Patara bej doğal taşından üretilen plakalar 200 cm uzunlukta, 33 cm genişlikte ve 3 cm kalınlıkta imal edilmiştir. Afyon Beyaz örneğinin plakaları 135 cm uzunluk, 33 cm genişlik ve 3 cm kalınlıkta kesilmiştir. Denizli traverten bloklarından üretilen plakaların boyutları 63 cm uzunluk, 43 cm genişlik ve her biri 3 cm kalınlığında belirlenmiştir. Sarı traverten örneğinin plakaları 150 cm uzunluk ve 43 cm genişlikte olup, 3 cm kalınlıkta kesilmiştir. Korkuteli bej doğal taşından üretilen plakalar 160 cm uzunlukta, 33 cm genişlikte ve 3 cm kalınlığında hazırlanmıştır. Silver traverten örneğinin plakaları ise 180 cm uzunluk ve 43 cm genişlikte olup, 3 cm kalınlıkta kesilmiştir. Tundra gri bloğunun plakaları 63 cm uzunluk ve 43 cm genişlik ölçülerinde, 3 cm kalınlığında üretilmiştir. Son olarak, Muğla gümüş doğal taşının plakaları 90 cm uzunluk, 43 cm genişlik ve 3 cm kalınlıkta imal edilmiştir.

Fabrikada gerçekleştirilen kesim işlemlerinde, her bir doğal taşın performansını değerlendirmek üzere üç ayrı ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin aritmetik ortalaması, saatlik alansal plaka üretim hızı ($m^2/saat$) olarak kaydedilmiştir. Doğal taşların her birine özgü plaka ebatları, üretim miktarları ve hesaplanan ortalama üretim hızları, Çizelge 8.2-12'de ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Çizelgelerden de görüleceği üzere, tesislerde üretilen plakalar belirli bir standart ölçü gamına uygunluk göstermektedir. Plakaların kalınlığı standart olarak 3 cm olarak belirlenmiş, genişlikleri ise 30 ile 43

cm arasında değişkenlik göstermektedir. Uzunluklar ise müşteri taleplerine göre farklılık arz etmektedir; üretilen plakaların en kısa olanı 63 cm, en uzununu ise 160 cm boyutlarındadır.

Çizelge 8.2 : Muğla beyaz S/T performans analizi.

Ölçüm no	1	2	3	Ortalama
Plaka ebatları (cm × cm)	160 × 30	160 × 30	160 × 30	160 × 30
Üretilen plaka sayısı	86	90	75	83,7
Alansal plaka üretim oranı (m ² /saat)	12,5	13,5	12,1	12,7

Çizelge 8.3 : Patara bej S/T performans analizi.

Ölçüm no	1	2	3	Ortalama
Plaka ebatları (cm × cm)	200 × 33	200 × 33	200 × 33	200 × 33
Üretilen plaka sayısı	90	95	91	92
Alansal plaka üretim oranı (m ² /saat)	11,2	9,8	10,4	10,5

Çizelge 8.4 : Denizli traverten S/T performans analizi.

Ölçüm no	1	2	3	Ortalama
Plaka ebatları (cm × cm)	63 × 43	63 × 43	63 × 43	63 × 43
Üretilen plaka sayısı	338	165	100	201
Alansal plaka üretim oranı (m ² /saat)	16,2	13,5	14,1	14,6

Çizelge 8.5 : Korkuteli bej S/T performans analizi.

Ölçüm no	1	2	3	Ortalama
Plaka ebatları (cm × cm)	160 × 33	160 × 33	160 × 33	160 × 33
Üretilen plaka sayısı	15	10,2	12,9	12,7
Alansal plaka üretim oranı (m ² /saat)	10,9	9,17	10,2	10,1

Çizelge 8.6 : Tundra Gri S/T performans analizi.

Ölçüm no	1	2	3	Ortalama
Plaka ebatları (cm × cm)	43 × 63	43 × 63	43 × 63	43 × 63
Üretilen plaka sayısı	332	289	252	291
Alansal plaka üretim oranı (m ² /saat)	12,7	12,5	11,4	12,2

Çizelge 8.7 : Muğla şeker S/T performans analizi.

Ölçüm no	1	2	3	Ortalama
Plaka ebatları (cm × cm)	63 × 43	63 × 43	63 × 43	63 × 43
Üretilen plaka sayısı	184	203	156	181
Alansal plaka üretim oranı (m ² /saat)	13,3	14,2	15,1	14,2

Çizelge 8.8 : Afyon Beyaz S/T performans analizi.

Ölçüm no	1	2	3	Ortalama
Plaka ebatları (cm × cm)	135 × 33	135 × 33	135 × 33	135 × 33
Üretilen plaka sayısı	84	56	92	77,3
Alansal plaka üretim oranı (m ² /saat)	11,5	10,0	12,3	11,3

Çizelge 8.9 : Sarı traverten S/T performans analizi.

Ölçüm no	1	2	3	Ortalama
Plaka ebatları (cm × cm)	150 × 43	150 × 43	150 × 43	150 × 43
Üretilen plaka sayısı	155	132	121	136
Alansal plaka üretim oranı (m ² /saat)	16,7	15,8	15,6	16,0

Çizelge 8.10 : Silver traverten S/T performans analizi.

Ölçüm no	1	2	3	Ortalama
Plaka ebatları (cm × cm)	43 × 180	43 × 180	43 × 180	43 × 180
Üretilen plaka sayısı	138	131	110	126
Alansal plaka üretim oranı (m ² /saat)	13,7	13,3	12,9	13,3

Çizelge 8.11 : Muğla gümüş S/T performans analizi.

Ölçüm no	1	2	3	Ortalama
Plaka ebatları (cm × cm)	90 × 43	90 × 43	90 × 43	90 × 43
Üretilen plaka sayısı	136	124	117	126
Alansal plaka üretim oranı (m ² /saat)	10,7	9,1	8,7	9,5

Performans ölçüm çalışmalarının esas gayesi S/T kesme makinelerinin saat başına ne kadar alanı kapladığını tespit etmektir. Saatlik alansal plaka üretim hızının hesaplanması sırasında, makinenin bir uzunluk kesimi gerçekleştirmeye başlaması, bu boyun kesilme süresi ve kesim tamamlandıktan sonraki geri dönüş duraklamaları dahil edilmektedir. Testere, bir bloğun sonuna vardığında sonraki plakanın kesimine başlamak üzere plakanın kalınlığı kadar yan hareket eder ve bu süreç makine tarafından otomatik olarak yürütülür. Üretilen plaka miktarı S/T makinesine monte edilen bloğun boyutlarına göre farklılık gösterir. Alansal plaka üretim hızı, kesim kapasitesini saatlik bazda ifade ettiğinden üretilen plaka sayısı ile doğrudan karşılaştırma yapılmasını gereksiz kılar.

Bu araştırmada, S/T makineleri kullanılarak doğal taşların kesim sürecindeki verimliliğinin incelenmesi sonucunda, saatlik alansal plaka üretim hızlarının 9,5 m²'den başlayıp 16,0 m²'ye kadar ulaştığı tespit edilmiştir. Performans değerlendirme sonuçları kesilen doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki farklılıkların S/T makinelerinin verimliliği üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu göze batmaktadır.

8.3. Katrak Performans Ölçümü ve Analizi

Çalışmanın bu bölümünde ise 10 farklı doğal taş örneğinin Kömürcüoğlu doğal taş işleme fabrikasında katrak blok kesme makineleri kullanılarak gerçekleştirilen bir analiz sunulmaktadır. Performans ölçümü ve analizleri Muğla beyaz, Patara bej, Denizli traverten, Korkuteli bej, Muğla şeker, Muğla gümüş, Sarı traverten, Afyon beyaz, Tundra gri ve Silver traverten doğal taş blokları üzerinde yapılmıştır.

Performans analizi aynı marka ve özelliklere sahip iki farklı katrak blok kesme makinesi üzerinde yapılmıştır. Bu bölümdeki bütün makineler 80 lamalı katrak blok kesme makinesi olmakla birlikte aynı ağırlık ve ebatlama ölçülerine sahiptirler. Performans analizi tutulan makineler 2012 üretim MKS-80 model MKS marka katrak blok kesme makineleridir. Çizelge 8.12’de makinenin teknik özelliklerine, Şekil 8.4’te ise makinenin bir görseline yer verilmiştir.

Katrak blok kesme makinelerinin performans analizine, bu makinelerin operasyonel prensiplerini kapsamlı olarak inceleyerek başlanmıştır. Araştırmanın ana amacı, katrak testerenin saatlik üretim kapasitesini, yani bir saatte üretebileceği plaka metrekaresi cinsinden alanını ($m^2/saat$) belirlemektir. Bu amaca hizmet etmek üzere, kesim sürecinin verimli bir biçimde değerlendirilmesini sağlamak adına, kesim süresi, makinenin yavaşlama, hızlanma noktaları ve kamalama gibi çeşitli parametreler titizlikle incelenmiştir. Kesim hızları vagona koyulan bloğun boyuna ve doğal taşın kırıklı çatlaklı yapısına göre değişiklik gösterebilir. Katrak kesim hızları üç bölüm içerisinde incelenir bunun sebebi ise makine bloğa giriş ve çıkış süreçlerinde hızını kısıtlayarak bloğun kırılmasını ve çatlamasını önlemektir.

Sonuç olarak, bu analizlerle saatlik kesilen plaka sayısı ve plakanın alansal üretim oranı ($m^2/saat$) hesaplanmıştır.

Çizelge 8.12 : MKS 80 – 80 lamalı katrak makinesi teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	Birim	MKS-80
Kesme lama sayısı	adet	80
Dakikadaki strok sayısı	adet	92
Lama kursu	mm	800
Ana motor gücü	kw/hp	110 / 147,5
Seri kaldırma / indirme motor gücü	kw/hp	11 / 14,8
Yavaş kaldırma / indirme motor gücü	kw/hp	2,2 / 3
En büyük blok ebatları (boy × en × yükseklik)	mm	3.250 × 2.000 × 2.000
Makine ebatları (boy × en × yükseklik)	mm	11.400 × 4.450 × 5.150
Toplam elektrik gücü	kw/hp	132 / 180
Makine ağırlığı	kg	48.200

Muğla Beyaz doğal taşının plakaları 155 cm genişlik, 275 cm uzunluk ve 3 cm kalınlıkta kesilmiştir. Patara Bej örneklerinin plakaları ise 158 cm genişlik, 255 cm uzunlukta ve 2 cm kalınlığında üretilmiştir. Denizli Traverten bloklarından elde edilen plakalar 165 cm genişlik, 250 cm uzunlukta ve 3 cm kalınlıkta imal edilmişlerdir. Korkuteli bej doğal taşının plakaları 120 cm genişlik, 240 cm uzunlukta ve 2 cm kalınlıkta kesilmiştir. Muğla şeker doğal taşından kesilen plakaların ebatları 185 cm genişlik, 280 cm uzunluk ve 3 cm kalınlıktadır. Afyon Beyaz örneklerinden üretilen plakalar 172 cm genişlik, 260 cm uzunlukta ve 3 cm kalınlığında olup, Sarı Traverten



Şekil 8.4 : MKS 80 – 80 lamalı katrak makinesi (MTA, 2020).

örneklerinin plakaları 188 cm genişlik, 260 cm uzunlukta ve 3 cm kalınlıkta kesilmiştir. Silver Traverten bloklarından üretilen plakalar ise 180 cm genişlik, 300 cm uzunlukta ve 3 cm kalınlıkta imal edilmiştir. Tundra Gri örneklerinin plakaları 144 cm genişlik ve 220 cm uzunlukta, 2 cm kalınlığında kesilirken, Muğla gümüş doğal taşının plakaları 130 cm genişlik, 230 cm uzunluk ve 2 cm kalınlıkta üretilmiştir.

Fabrikada gerçekleştirilen kesim işlemlerinde, her bir doğal taşın performansını değerlendirmek üzere dikkatlice ölçüm alınmış ve katrak blok kesme makinesinin hız değiştirdiği safhalara özellikle dikkat edilmiştir. Doğal taşların her birine özgü plaka ebatları, üretim miktarları ve hesaplanan ortalama üretim hızları Çizelge 8.13-15'te ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Çizelgelerden de görülebileceği üzere, tesislerde üretilen plakalar belirli bir stardat ölçü gamına uygunluk gösterememektedir. Bunun sebebi olarak katrak blok kesme makinelerine madenden gelen bir bloğun olduğu gibi yerleştirilmesinin daha ekonomik olması sebep gösterilebilir. Plakaların kalınlığı 2 ya da 3 cm olarak belirlenmiş, genişlikleri ise 38 ile 110 cm arasubda değişkenlik göstermektedir. Uzunluklar ise yine kendi içinde farklı olmakla birlikte bu çalışmadaki en kısa plaka uzunluğu 220 cm, en uzun plaka uzunluğu ise 300 cm boyutlarındadır.

Çizelge 8.13 : Muğla Beyaz, Patara Bej, Denizli Traverten, Korkuteli Bej katrak blok kesme makinesi performans analizi

Doğal taşın ismi	Muğla Beyaz	Patara Bej	Denizli Traverten	Korkuteli bej
Blok Ölçüsü (cm × cm × cm)	155 × 275 × 114	158 × 255 × 160	165 × 250 × 162,5	120 × 240 × 180
Kesim hızı -1 (cm/saat)	15	12	20	12
Kesim hızı -2 (cm/saat)	35	22	35	22
Kesim hızı -3 (cm/saat)	20	17	20	17
Kesim süresi -1 (saat)	1	1	1	1
Kesim süresi -2 (saat)	2,25	6	3,5	6
Kesim süresi -3 (saat)	1	1	1	1
İlerleme Miktarı -1 (cm)	15	12	20	14
İlerleme Miktarı -2 (cm)	78,75	132	122,5	147
İlerleme Miktarı -3 (cm)	20	17	20	19
Kamalama ve blok koyma süresi (saat)	0,5	0,5	0,5	0,5
Toplam geçen zaman (saat)	4,75	8,5	6	8,5
Plaka boyutu (cm × cm × cm)	155 × 275 × 3	158 × 255 × 2	165 × 250 × 3	120 × 240 × 2
Üretilen plaka sayısı	38	80	54	90
Üretilen toplam plaka alanı (m ²)	162	322	223	259
Alansal üretim miktarı (m ² /saat)	34,1	37,9	37,2	30,5

Çizelge 8.14 : Muğla Şeker, Afyon Beyaz, Sarı Traverten katrak blok kesme makinesi performans analizi

Doğal taşın ismi	Muğla Şeker	Afyon Beyaz	Sarı Traverten
Blok Ölçüsü (cm × cm × cm)	185 × 280 × 175	172 × 260 × 181	188 × 260 × 220
Kesim hızı -1 (cm/saat)	20	20	15
Kesim hızı -2 (cm/saat)	30	30	35
Kesim hızı -3 (cm/saat)	20	20	20
Kesim süresi -1 (saat)	1	1	1,34
Kesim süresi -2 (saat)	4,5	4,7	4
Kesim süresi -3 (saat)	1	1	1,5
İlerleme Miktarı -1 (cm)	20	20	22
İlerleme Miktarı -2 (cm)	135	141	168
İlerleme Miktarı -3 (cm)	20	20	30
Kamalama ve blok koyma süresi (saat)	0,5	0,5	0,5
Toplam geçen zaman (saat)	7	7,2	7,34
Plaka boyutu (cm × cm × cm)	185 × 280 × 3	172 × 260 × 3	188 × 260 × 3
Üretilen plaka sayısı	58	60	73
Üretilen toplam plaka alanı (m ²)	302	270	358
Alansal üretim miktarı (m ² /saat)	43,2	37,5	48,8

Çizelge 8.15 : Silver Traverten, Tundra Gri, Muğla Gümüş katrak blok kesme makinesi performans analizi

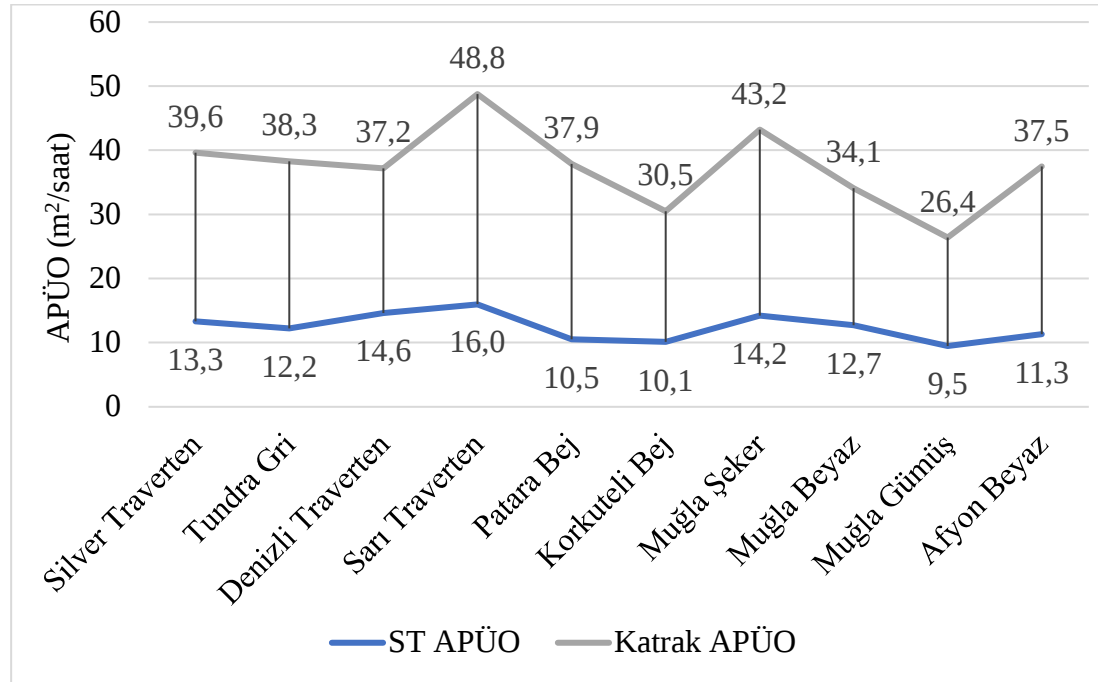
Doğal taşın ismi	Silver Traverten	Tundra Gri	Muğla gümüş
Blok Ölçüsü (cm × cm × cm)	180 × 300 × 190	144 × 220 × 220	130 × 230 × 150
Kesim hızı -1 (cm/saat)	15	12	12
Kesim hızı -2 (cm/saat)	35	22	22
Kesim hızı -3 (cm/saat)	20	15	17
Kesim süresi -1 (saat)	1,34	1,5	1
Kesim süresi -2 (saat)	4	5,09	6
Kesim süresi -3 (saat)	1,5	2	1
İlerleme Miktarı -1 (cm)	20,1	18	17
İlerleme Miktarı -2 (cm)	140	172	114
İlerleme Miktarı -3 (cm)	30	30	20
Kamalama ve blok koyma süresi (saat)	0,5	0,5	0,5
Toplam geçen zaman (saat)	7,34	9,09	8,5
Plaka boyutu (cm × cm × cm)	180 × 300 × 3	144 × 220 × 2	130 × 230 × 2
Üretilen plaka sayısı	63	110	75
Üretilen toplam plaka alanı (m ²)	342	348	224
Alansal üretim miktarı (m ² /saat)	46,6	38,3	26,4

Performans ölçüm çalışmalarının esas gayesi katrak blok kesme makinelerinin saat başına ne kadar alanı kapladığını tespit etmektir. Saatlik alansal plaka üretim hızının hesaplanması sırasında bloğun yerleştirilmesi ve kamalanması, makinenin bir bloğun kesimini gerçekleştirmeye başlaması, bloğun ilk giriş bölümünün ve çıkış bölümünün kesilme süresi ve ana kesim ayrı ayrı dahil edilmektedir. Bir bloğun başlangıç ve son kısımları makine tarafından otomatik olarak hesaplanır. Üretilen plaka miktarı katrak makinesine monte edilen bloğun boyutlarına göre farklılık gösterir. Alansal plaka üretim hızı, kesim kapasitesini saatlik bazda ifade ettiğinden üretilen plaka sayısı ile doğrudan karşılaştırma yapılmasını gereksiz kılar.

Bu araştırmada, katrak blok kesme makineleri kullanılarak doğal taşların kesim sũrecindeki verimliliğinin incelenmesi sonucunda, saatlik alansal plaka ũretim hızlarının 26,4 m²'den başlayıp 48,8 m²'ye kadar ulaştığı tespit edilmiştir. Performans değerlendirme sonuçları kesilen doğal taşların fiziksel ve mekanik ȳzelliklerindeki farklılıkların katrak blok kesme makinelerinin verimliliği ũzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu gȳzlemlenmiřtir.

8.4. S/T ve Katrak Performans ȳlçũmũ ve Analizlerinin Karşılaştırılması

Daire testereli blok kesme makineleri (S/T) ve katrak blok kesme makinelerinin kesme performansları, yani alansal plaka ũretim oranları, geniş bir malzeme ve işletme parametreleri yelpazesi ile ilişkilendirilebilir. Bu parametreler, doğal taşın tipi, testere bıçağının çapı, dȳnũř hızı, ilerleme oranı, soğutma suyunun miktarı ve kalitesi, makinenin toplam gũcũ ve operatȳrũn yetkinliği ve deneyimi gibi faktȳrleri içerir. Optimal performans ve verimlilik sağlamak için bir doğal taş işleme tesisi, bu değişkenlerin sũrekli izlenmesini ve dũzenli aralıklarla kontrol edilmesini gerektirir. Bu araştırma, sȳz konusu fabrikalardaki S/T ve Katrak makinelerinin kesim performanslarını analiz etmekte ve elde edilen bulguları şekil 8.5'te grafiksel olarak sunmaktadır.



şekil 8.5 : S/T ve Katrak makineleri alansal plaka ȳretim oranları karşılaştırması

Şekil 8.5'ten yapılan gözlemlere dayanarak katrak blok kesme makinelerinin, S/T blok kesme makinelerine göre 3 kat yüksek alansal plaka üretim oranlarının olduğu anlaşılmıştır.

Makinelerin performans değerlendirmeleri, standardize edilmiş koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Bütün performans ölçümleri S/T ve katrak için ayrı ayrı olmak üzere aynı özelliklere sahip makineler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapılan iki makine türünde de elmas uçlu kesilicilerin olmasına dikkat edilmiştir. Özellikle, S/T makinelerindeki insan faktörünün etkisi dikkate alınarak, bu değişkenin ölçümler üzerindeki etkisi ortadan kaldırılmıştır. Bu analiz sürecinde, sadece makinelerin işletim süreleri hesaba katılmış ve dışsal etkenlerden bağımsız olarak ölçümler yapılmıştır.

Makinelerin performanslarını optimum düzeye çıkarmak için periyodik bakımları yapılmalıdır. Ocaktan gelen blokların S/T makinesine mi yoksa katrak makinesine mi alınacağı dikkatle incelenmeli ve bu hususa ivedilikle karar verilmelidir. Gözlemlerden yola çıkarak söylenebilir ki makinelerden kaynaklı olmayan işlerden dolayı yaşanan gecikmeler bu makinelerin çalışarak geçirdiği süre kadar âtıl bir süre yaratmaktadır.

Günümüzde fabrikalar katrak blok kesme makinelerine her geçen gün daha çok yatırım yapmaktadırlar. Ancak katrak makinesine sadece belirli boyutlarda, kıraksız çatlaksız blokların çalışabilmesinden dolayı ve özel sipariş plaka boyutlarından dolayı S/T makineleri doğal taş kesme fabrikalarında kullanımı devam etmektedir ve yakın gelecekte de bu makinelerin doğal taş kesme fabrikalarında yerini almaya devam edecektir.



9. PERFORMANS TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Katrak blok kesme makineleri ve dairesel testereli blok kesme makinelerinin alansal plaka üretim oranlarını (kesim performanslarını) etkileyen parametreler çeşitlidir ve birbiriyle etkileşim içindedir. Bu makinelerin performansı, öncelikle makinenin motor gücü ve bıçağın dönme hızına bağlıdır; yüksek güç ve hız genellikle daha hızlı kesime yol açar. Ayrıca, kullanılan bıçağın kalitesi, malzemesi ve tasarımı da kesme verimliliğini önemli ölçüde etkiler. Kesilen taşın mekanik ve fiziksel özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu süreçte, bıçağın soğutulması ve yağlanması da önem taşır, çünkü bu aşınmayı azaltır ve kesim kalitesini artırır. Makinenin genel tasarımı ve yapısal stabilitesi de kesim hassasiyetine doğrudan etkili olup, daha stabil makineler daha düzgün ve hassas kesimler sağlar. Ayrıca, makinenin kullanımında operatörün deneyimi ve becerisi de önemli bir faktördür. Deneyimli bir operatör makinenin kapasitesini en iyi şekilde kullanarak verimliliği artırabilir. Son olarak, makinenin düzenli olarak bakımının yapılması ve iyi bir servis durumunda olması, performansını ve ömrünü olumlu yönde etkilemektedir. Bu faktörlerin hepsi, kesim performansını belirlemede birlikte rol oynar ve her bir faktörün makinelerin genel performansı üzerindeki etkisi, kesilecek malzemenin özelliklerine ve üretim hedeflerine göre değişebilir.

Bu çalışma çerçevesinde, doğal taş işleme tesislerinde kullanılan S/T ve katrak tipi makinelerin kesim performanslarına ayrıntılı bir bakış sekizinci bölümde sunulmuştur. Objektif karşılaştırmaları sağlamak adına, incelenen tüm S/T ve katrak makineleri aynı marka ve modelden seçilmiştir. Kesim performansını etkileyen önceki bölümde sıralanan faktörler dikkate alındığında, doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinin bu performans üzerinde dominant bir etkiye sahip olabileceği öngörülmektedir. İncelenen doğal taşların bu özelliklerine ilişkin ayrıntılı bilgiler yedinci bölümde yer almaktadır. Bu kısımda, S/T ve katrak makinelerinin alansal plaka üretim oranları ile taşların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu analizler sırasında, klasik istatistiksel metodlar kullanılarak, basit ve çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir.

9.1. Tek Değişkenli Regresyon Analizine Dayalı Modeller

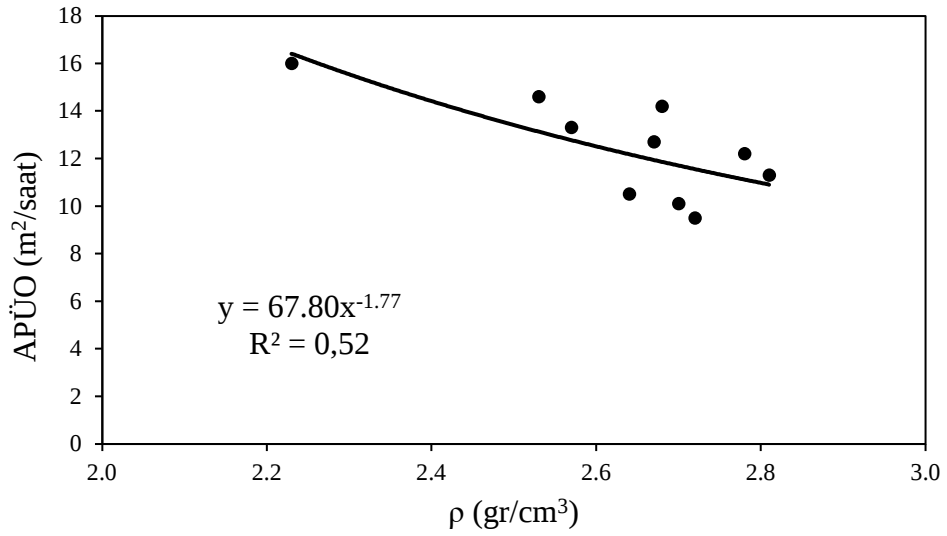
Basit regresyon analizi, istatistikte iki değişken arasındaki ilişkiyi inceleme ve bu ilişkinin doğasını belirleme amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Temel olarak, bir bağımlı değişken (genellikle bir sonuç veya hedef değişken) ile bir bağımsız değişken (genellikle bir tahminleyici veya açıklayıcı değişken) arasındaki doğrusal ilişkiyi modellemeye ve anlamaya odaklanır. Bu analizin temel amacı, iki değişken arasındaki ilişkinin varlığını ve gücünü belirlemek, bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisinin büyüklüğünü ve yönünü tahmin etmek, ve belirli bir bağımsız değişken değeri için bağımlı değişkenin olası değerini öngörmektir. Ayrıca, zamanla değişen eğilimleri analiz etmede de kullanılır, özellikle zaman serisi verileri üzerinde çalışırken. Basit regresyon analizi, doğrusal bir model kurarak, bu iki değişken arasındaki ilişkinin niteliğini daha iyi anlamak ve gelecekteki değerleri tahmin etmek için önemli bir araçtır.

9.1.1. S/T blok kesme makinesi için tek değişkenli regresyon analizine dayalı modeller

Fiziksel ve mekanik testlerden elde edilen verilerle, her bir doğal taşın özgün özelliklerinin S/T makinelerinin alansal plaka üretim hızı ($m^2/saat$) ile olan doğrudan bağlantısını tespit etmek amacıyla ilk olarak basit regresyon analizleri uygulanmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen doğal taşların fiziksel ve mekanik parametrelerinin fabrikalarda kaydedilen S/T kesim hızları ile olan ilişkileri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

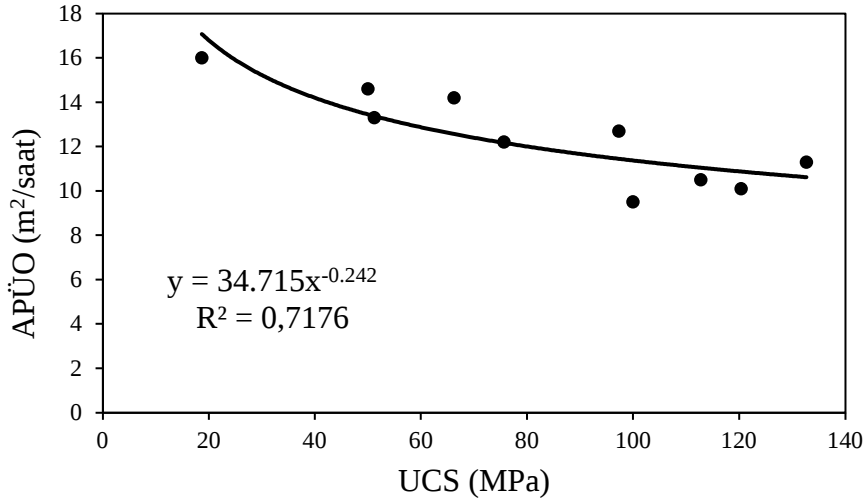
Kayaçların yoğunluk ve porozite gibi fiziksel özelliklerinin, kayaçların dayanıklılığı üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Bu özellikler, kayaçların mineral bileşiminden büyük ölçüde etkilenir. S/T makinelerinin alansal plaka üretim hızı ile kayaçların yoğunluğu arasındaki ilişki, daha önce Tumac (2015) tarafından incelenmiş ve aralarında çok sınırlı bir istatistiksel ilişki tespit edilmiştir. Ancak, bu çalışmada S/T makinelerinin alansal plaka üretim hızları ile kayaç yoğunlukları arasında 0,52'lik bir belirleme katsayısı (R^2) ile bir ilişki saptanmıştır. Tumac'ın (2015) çalışmasında ağırlıklı olarak metamorfik süreçlerden geçmiş gerçek mermerler kullanılırken, bu çalışmada hem metamorfik hem de sedimanter kökenli taşlar dahil edilerek daha geniş bir yoğunluk aralığı üzerinde çalışma yapılmıştır. Ayrıca ölçümler sonucunda oluşan veri boşluğu bu çalışma özelinde literatüre göre daha yüksek bir korelasyon

bulunmasına sebebiyet vermiştir. Bu çalışmada elde edilen kayaç yoğunluklarının S/T makinelerinin alansal plaka üretim hızı ile ilişkisi Şekil 9.1’de gösterilmiştir.



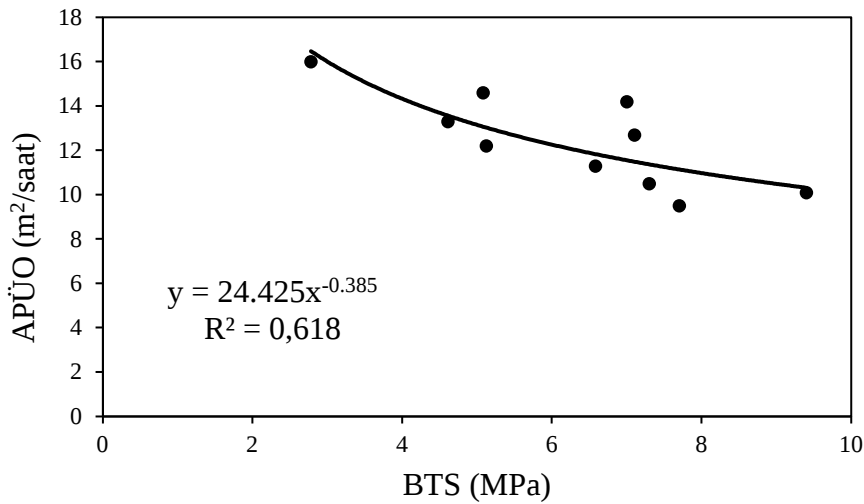
Şekil 9.1 : S/T saatte alansal plaka üretimi ile yoğunluk arasındaki ilişki.

Kayaçların ve doğal taşların mühendislik açısından en kritik özelliklerinden biri, şüphesiz tek eksenli basınç dayanımlarıdır (UCS). Bu çalışmada, doğal taşların UCS değerleri ile S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranları arasında 0,71 belirleme katsayısı ile istatistiksel olarak güçlü sayılabilecek bir ilişki tespit edilmiştir, bu bulgular Şekil 9.2’de sunulmuştur. İncelenen doğal taşların basınç dayanımları 18,67 MPa ile 132,64 MPa arasında değişmektedir, bu da geniş bir doğal taş yelpazesini temsil etmektedir. Elde edilen bu veri aralığı, UCS’nin S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranı üzerinde önemli bir etki yaptığını göstermektedir. Bu iki parametre arasındaki güçlü ilişki, Fener ve arkadaşları (2007) tarafından da vurgulanmıştır. Bu çalışma çerçevesinde gerçekleştirilen yoğunluk, UCS, BTS, CAI, SHH ve SSH testlerinin S/T makinelerinin kesim performansı üzerindeki etkilerini daha ayrıntılı anlayabilmek için, farklı kökenli doğal taşlar üzerinde ek analizler yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada yapılan basit regresyon analizleri sonucunda, S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranlarını tahmin etmede en belirleyici fiziksel ve mekanik doğal taş özelliğinin tek eksenli basınç dayanımı olduğu saptanmıştır.



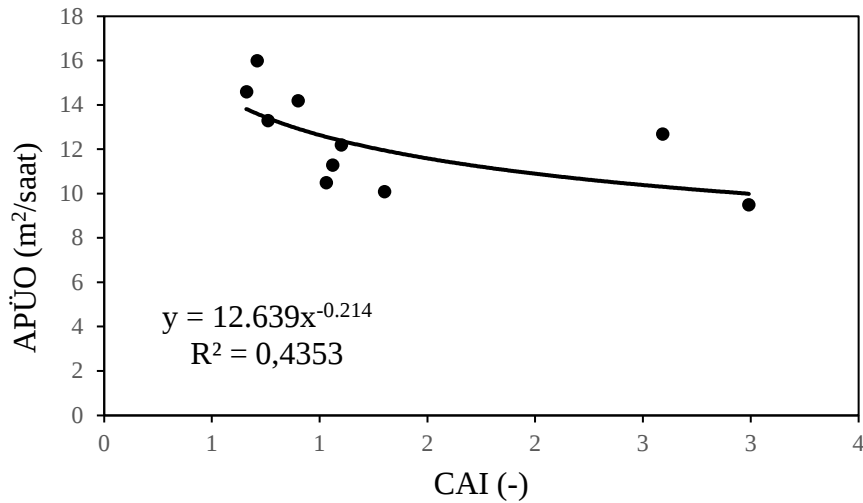
Şekil 9.2 : S/T saatte alansal plaka üretimi ile UCS arasındaki ilişki

Şekil 9.3'te, dolaylı çekme dayanımı (BTS) ve S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, bu iki değişken arasında 0,618'lik bir belirleme katsayısı ile ortaya çıkan ilişki saptanmıştır. Detaylı literatür incelemesi, bu çalışmanın bulgularına benzer, Fener ve arkadaşlarının (2007) sekiz farklı karbonatlı kayanın S/T makineleriyle kesiminde BTS ile alansal plaka üretim oranı arasında 0,77 belirleme katsayısı ile güçlü bir ilişki tespit ettiğini göstermektedir. Benzer şekilde, Tumac'ın (2015) yedi farklı karbonatlı kayaç üzerinde yürüttüğü istatistiksel analizler, S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranı ile BTS arasında 0,71 belirleme katsayısına işaret etmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, kaynak olarak gösterilen çalışmalara benzer ancak biraz daha düşük bir korelasyon sergilemektedir. Gelecekteki araştırmalar için, farklı çekme dayanımı özelliklerine sahip çeşitli doğal taşların incelenmesi önerilmektedir.



Şekil 9.3 : S/T saatte alansal plaka üretimi ile BTS arasındaki ilişki

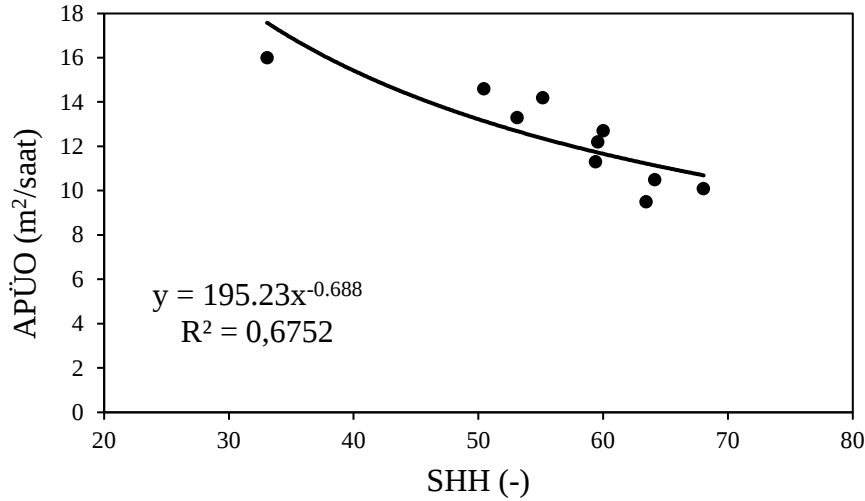
Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI), kazı ve kesim işlemlerindeki keski tüketimini belirlemek ve bu yolla kazı makinesinin kesme performansını dolaylı olarak tahmin etmek için önemli bir ölçüttür. Yürütülen karşılaştırmalı analizler, bu indeks ile S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranları arasında 0,43'lük bir belirleme katsayısı (R^2) ile ilişki olduğunu ortaya koymuş ve bu bulgular Şekil 9.4'te sunulmuştur. Tumac'ın (2015) gerçekleştirdiği çalışmada, CAI ve S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranları arasında 0,84'lük bir belirleme katsayısı ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmıştır. Tumac'ın çalışmasında incelenen doğal taşların CAI değerleri daha dar bir aralıkta (2,4 - 4,8) yer almaktadır. Ancak bu çalışmada, CAI değerlerinin daha geniş bir aralıkta (0,60 - 2,99) değiştiği görülmektedir. Bu genişleyen CAI aralığının, iki parametre arasındaki ilişkinin zayıflamasına yol açtığı düşünülebilir. Ayrıca, bu çalışma ile Tumac'ın (2015) çalışmasında kullanılan kayaçların farklı petrografik ve oluşumsal özelliklere sahip olmasının, bu zayıf ilişkinin bir diğer nedeni olabileceği öne sürülebilir.



Şekil 9.4 : S/T saatte alansal plaka üretimi ile CAI arasındaki ilişki

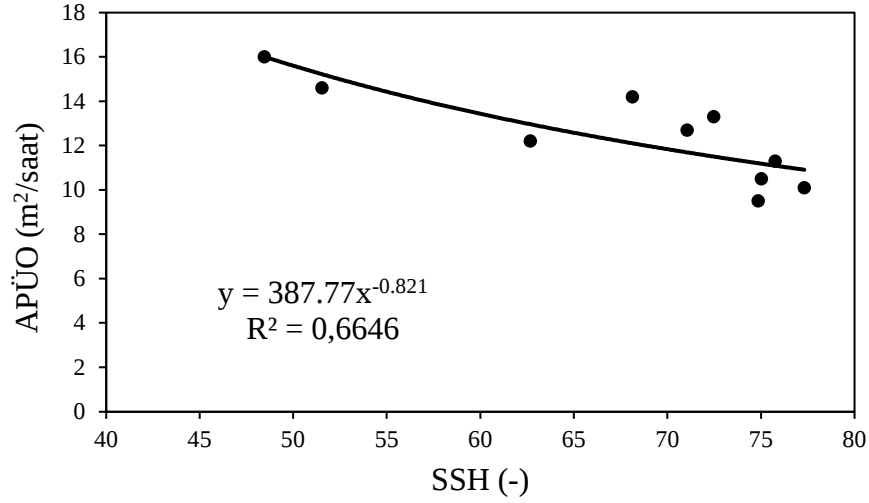
Bu araştırmada, doğal taşların Schmidt çekici yüzey sertlik değerleri ile S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranları arasında 0,67'lik bir belirleme katsayısı ile anlamlı bir ilişki tespit edilmiş ve bu sonuçlar Şekil 9.5'te sunulmuştur. İncelenen doğal taşların Schmidt çekici sertlik değerleri, 33,06 ile 68,04 arasında değişen geniş bir aralıkta bulunmaktadır. Daha önceki çalışmalarda, Fener ve arkadaşları (2007) Schmidt çekici sertliği ile S/T üretim hızı arasında 0,29'luk, Güney (2011) ise 0,24'lük belirleme katsayısı ile zayıf ilişkiler bulmuştur. Tumac (2015) de benzer şekilde bu iki parametre arasında 0,29'luk belirleme katsayısı ile zayıf bir ilişki olduğunu rapor

etmiştir. Bu çalışma ile literatür arasındaki farklılığın temel sebebi olarak, önceki çalışmaların hemen hemen aynı kökene sahip doğal taşlar üzerinde yapılması gösterilebilir. Bu çalışmada ise farklı kökenli doğal taşlar üzerinde yapılan araştırmalar neticesinde, Schmidt çekici sertliği ile alansal plaka üretim oranı arasında literatürdeki sonuçlara kıyasla istatistiksel olarak daha anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir.



Şekil 9.5 : S/T saatte alansal plaka üretimi ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki

Araştırmada, Shore scleroscope yüzey sertliği ile S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranları arasında 0,66 belirleme katsayısı ile bir ilişki saptanmış ve bu sonuçlar Şekil 9.6’da sunulmuştur. İncelenen doğal taşların Shore scleroscope sertlik değerleri 51,5 ile 75,7 arasında bir aralıkta yer almaktadır. Önceden Güney (2011) tarafından yapılan çalışmada, Shore scleroscope sertliği ile S/T makinelerinin saatlik plaka üretimi arasında 0,53’lük bir belirleme katsayısı ile ilişki tespit edilmişti. Hem bu çalışma hem de önceki araştırmalar, doğal taşların yüzey sertlik değerlerinin S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranı üzerinde bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, yüzey sertliğinin, S/T makinelerinin üretim performansını belirlemede bir faktör olduğunu göstermektedir.

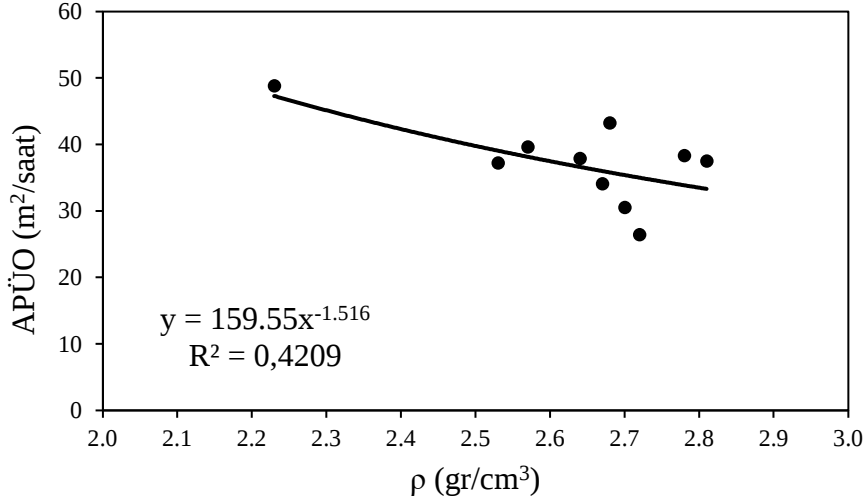


Şekil 9.6 : S/T saatte alansal plaka üretimi ile Shore scleroscope sertliği arasındaki ilişki

9.1.2. Katrak blok kesme makinesi için tek değişkenli regresyon analizine dayalı modeller

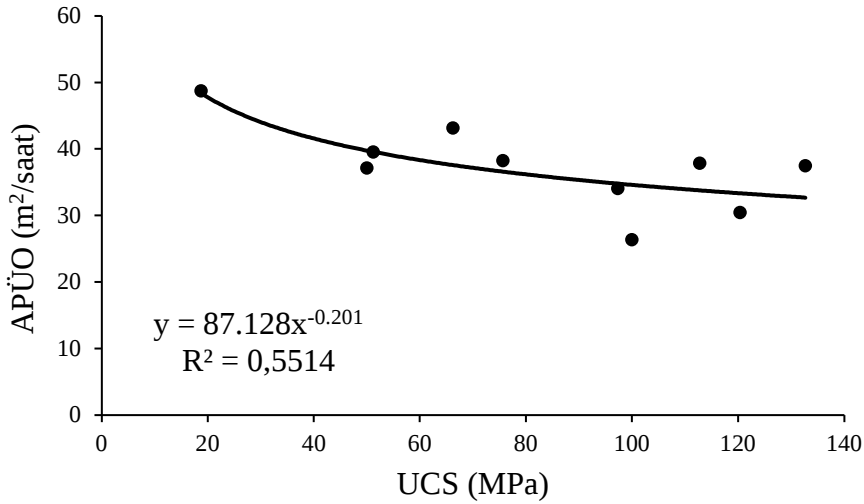
Fiziksel ve mekanik testlerden elde edilen verilerle, her bir doğal taşın özgün özelliklerinin katrak makinelerinin alansal plaka üretim hızı (m²/saat) ile olan doğrudan bağlantısını tespit etmek amacıyla ilk olarak basit regresyon analizleri uygulanmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen doğal taşların fiziksel ve mekanik parametrelerinin fabrikalarda kaydedilen katrak kesim hızları ile olan ilişkileri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Kayaçların yoğunluk ve porozite gibi fiziksel özelliklerinin, kayaçların dayanıklılığı üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Bu özellikler, kayaçların mineral bileşiminden büyük ölçüde etkilenir. Bu çalışmada Katrak makinelerinin alansal plaka üretim hızları ile kayaç yoğunlukları arasında 0,42lik bir belirleme katsayısı (R^2) ile bir ilişki saptanmıştır. Bu çalışmada elde edilen kayaç yoğunluklarının katrak makinelerinin alansal plaka üretim hızı ile ilişkisi Şekil 9.7’de gösterilmiştir.



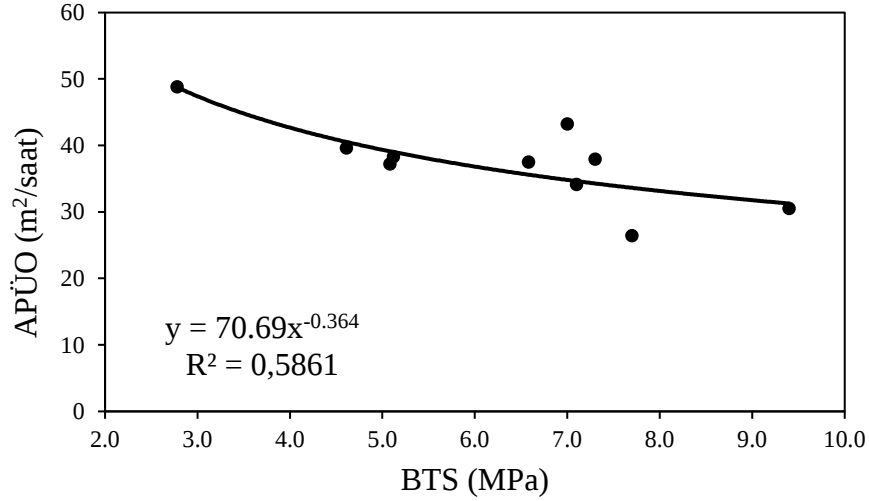
Şekil 9.7 : Katrak saatte alansal plaka üretimi ile yoğunluk arasındaki ilişki

Doğal taşların UCS değerleri ile katrak makinelerinin alansal plaka üretim oranları arasında 0,55 belirleme katsayısı ile bir ilişki tespit edilmiştir, bu bulgular Şekil 9.8'de sunulmuştur. İncelenen doğal taşların basınç dayanımları 18,67 MPa ile 132,64 MPa arasında değişmektedir, bu da geniş bir doğal taş yelpazesini temsil etmektedir. Bu çalışma çerçevesinde gerçekleştirilen yoğunluk, UCS, BTS, CAI, SHH ve SSH sertlik testlerinin katrak makinelerinin kesim performansı üzerindeki etkilerini daha ayrıntılı anlayabilmek için, farklı kökenli doğal taşlar üzerinde ek analizler yapılması gerekmektedir.



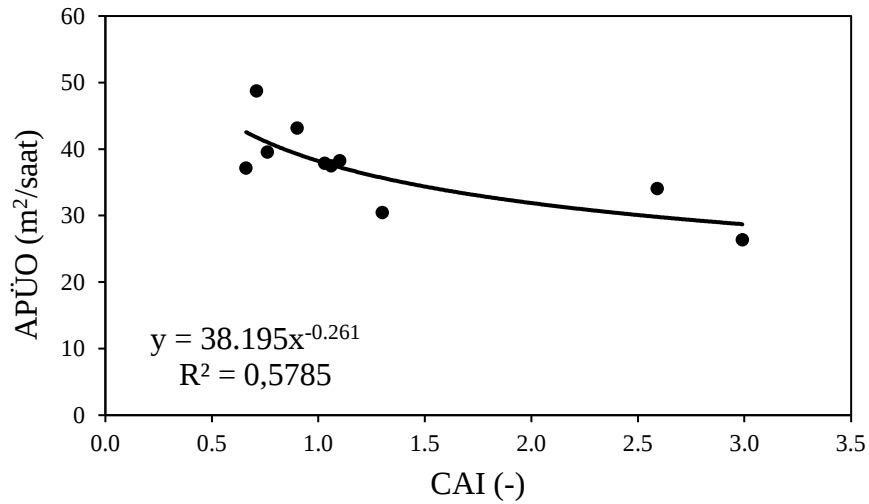
Şekil 9.8 : Katrak saatte alansal plaka üretimi ile UCS arasındaki ilişki

Şekil 9.9'da, dolaylı çekme dayanımı (BTS) ve ktrak makinelerinin alansal plaka üretim oranları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, bu iki değişken arasında 0,57'lik bir belirleme katsayısı (R^2) ile ortaya çıkan ilişki saptanmıştır.



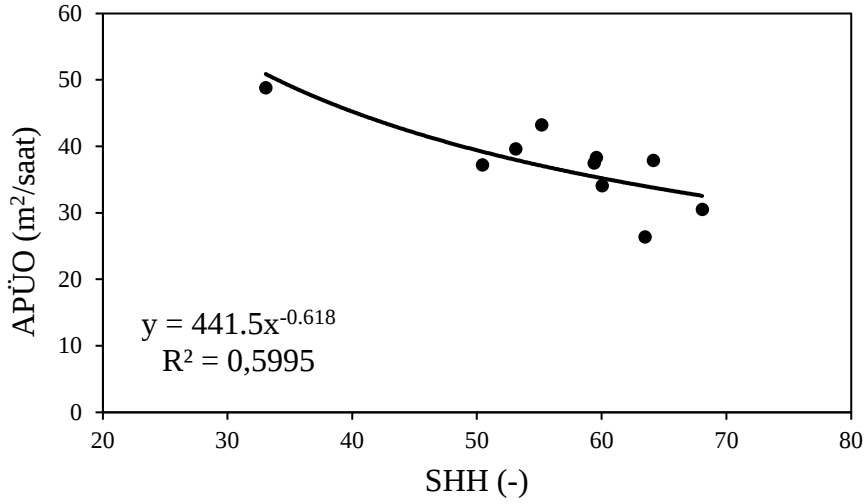
Şekil 9.7 : Ktrak saatte alansal plaka üretimi ile BTS arasındaki ilişki

CAI ile ktrak makinelerinin alansal plaka üretim oranları arasında 0,61'lik bir belirleme katsayısı (R^2) ile ilişki olduğunu ortaya koymuş ve bu bulgular Şekil 9.10'da sunulmuştur. Bu çalışmada, CAI değerlerinin 0,90 – 2,99 gibi bir aralıkta değiştiği görülmektedir.



Şekil 9.8 : Ktrak saatte alansal plaka üretimi ile CAI arasındaki ilişki

Bu araştırmada, doğal taşların Schmidt çekici yüzey sertlik değerleri ile ktrak makinelerinin alansal plaka üretim oranları arasında 0,60'lık bir belirleme katsayısı ile anlamlı bir ilişki tespit edilmiş ve bu sonuçlar Şekil 9.11'de sunulmuştur. İncelenen doğal taşların Schmidt çekici sertlik değerleri, 33,1 ile 68,1 arasında değişen geniş bir aralıkta bulunmaktadır.

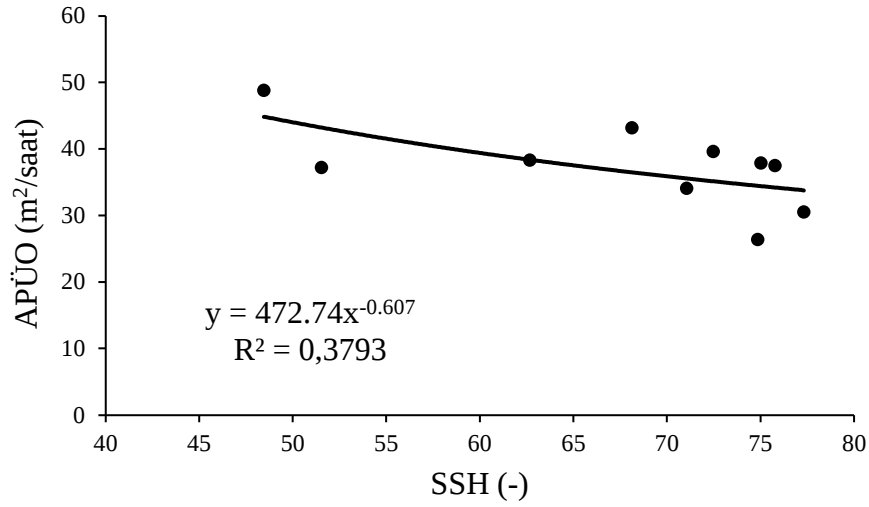


Şekil 9.9 : Ktrak saatte alansal plaka üretimi ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki

Bu araştırmada, doğal taşların Schmidt çekici yüzey sertlik değerleri ile ktrak makinelerinin alansal plaka üretim oranları arasında 0,5995'lik bir belirleme katsayısı ile anlamlı bir ilişki tespit edilmiş ve bu sonuçlar Şekil 9.11'de sunulmuştur. İncelenen doğal taşların Schmidt çekici sertlik değerleri, 33,06 ile 68,04 arasında değişen geniş bir aralıkta bulunmaktadır.

Literatürde yapılan karşılaştırma analizlerde, ölçüm sonuçlarının literatürden farklılık göstermesi, bazı çalışmaların yalnızca metamorfik veya sedimentary kayaçlara odaklanmasından kaynaklanıyor olabilir. Bu bağlamda, mevcut araştırmada, hem metamorfik hem de sedimentary kayaçları içeren heterojen bir örneklem seti üzerinde çalışılmıştır. Bu metodolojik yaklaşım, literatürdeki diğer çalışmalardan önemli bir ayırım teşkil etmektedir. Öte yandan, Tumaç ve Shaterpour-Mamaghani (2018) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, hem sedimentary hem de metamorfik kayaçların bir arada değerlendirildiği bir analiz yapılmış ve yoğunluk, SHH ve CAI ölçümleri bağlamında literatürden farklı korelasyonlar elde edilmiştir. Bu çalışmadaki farklılıkların bir sebebi olarak, incelenen doğal taşlara ait ölçümlerdeki veri

eksiklikleri gösterilebilir; bu durum, sonuçların beklenenden daha yüksek bir korelasyonla ortaya çıkmasına yol açmış olabilir.



Şekil 9.10 : Katrak saatte alansal plaka üretimi ile Shore scleroscope sertliği arasındaki ilişki

9.1.3. S/T ve katrak makineleri için tek değişkenli regresyon analizine dayalı modellerin karşılaştırılması

Sunulan verilere göre, S/T ve katrak blok kesme makinelerinin, üzerlerinde çalışılan doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleriyle makinelerin kesim performansları arasındaki ilişkiyi modelleyen basit regresyon analizlerinin R^2 sonuçları karşılaştırılmıştır. R^2 değeri, bir modelin veri setindeki varyansı ne ölçüde açıkladığını gösterir; değer 1'e ne kadar yakınsa, model o kadar güçlü bir açıklama kapasitesine sahiptir.

S/T makineleri, özellikle yoğunluk ve Shore sertlik özelliklerinde, katrak makinelerine göre daha yüksek R^2 değerleri göstermiştir. Bu, S/T makinelerinin bu iki özelliği kullanarak kesim performansını daha etkili bir şekilde tahmin edebildiğini gösterir.

Yoğunluk için S/T makineleri 0,51, Katrak makineleri ise 0,42 R^2 değerine sahiptir. Shore sertliğinde ise, S/T makineleri 0,66 R^2 ile Katrak makinelerinin 0,38 R^2 değerine kıyasla önemli ölçüde daha yüksek bir açıklama gücüne sahip olduğunu göstermiştir.

UCS ve BTS gibi mühendislik özelliklerinde her iki makine tipi de benzer R^2 değerleri sergilemiş, ancak S/T makineleri bu özelliklerle ilişkili kesim performansını, 0,71 ve 0,61 R^2 değerleriyle, Katrak makinelerinin 0,55 ve 0,59 R^2 değerlerine göre daha iyi modellemiştir.

CAI özelliğinde ise durum tersine dönmüş, katrak makineleri 0,58 R^2 ile S/T makinelerinin 0,43 R^2 değerine göre daha güçlü bir ilişki sergilemiştir. Bu, Katrak makinelerinin CAI özelliğini kesim performansını tahmin etmede S/T makinelerinden daha etkili kullandığını gösterir.

Schmidt sertlik testi sonuçlarında her iki makine tipi de oldukça yüksek ve benzer R^2 değerlerine ulaşmıştır; S/T makineleri 0,67 ve Katrak makineleri 0,6 R^2 ile.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa, S/T makineleri, çoğu özelliği kesim performansı tahmininde kullanmada Katrak makinelerine kıyasla daha yüksek bir belirleme katsayısına sahip modeller ortaya koymuşlardır. Ancak, her iki makine tipinin de belirli özelliklerde güçlü ilişkiler kurabildiği, diğer yandan bazı özelliklerde birbirlerine göre farklılıklar gösterebildiği görülmektedir. Bu farklılıkların altında yatan sebepler, doğal taşların kendine has özellikleri ve makinelerin operasyonel parametreleri gibi çeşitli faktörler olabilir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan doğal taş örneklerinden doğan veri boşlukları bulunmaktadır. Bu boşluklarını tamamlayacak yeni çalışmaların yapılması ile birlikte daha güvenilir istatistiksel sonuçlar elde edilebilir. Bu bulgular, kesim stratejilerinin geliştirilmesi ve makine seçimi konusunda mühendislik ve operasyonel karar verme süreçlerine katkıda bulunabilir.

9.2. Çoklu Regresyon Analizine Dayalı Modeller

Çoklu regresyon analizi, istatistiksel bir analiz yöntemi olarak, bir bağımlı değişkenin (sonuç veya çıktı değişkeni) bir dizi bağımsız değişkenle (açıklayıcı veya tahmin edici değişkenler) arasındaki ilişkiyi modellemek ve anlamak için kullanılır. Bu yöntem, değişkenler arasındaki doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkileri keşfetmek ve bir bağımlı değişkenin değerini bağımsız değişkenlerin belirli değerleri temelinde tahmin etmek amacıyla uygulanır.

Bu analiz, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek, bu etkilerin gücünü ve yönünü ölçmek ve gelecekteki veri noktaları için tahminler yapmak için kullanılır. Ayrıca, modelin uygunluğunu değerlendirmek, değişkenler arasındaki ilişkilerin karmaşıklığını anlamak ve birden fazla tahmin edici arasındaki potansiyel çoklu kolinerite sorunlarını tespit etmek için de önemlidir. Çoklu regresyon analizi, teorik modellerin deneysel verilerle uyumunu test etmeye ve karmaşık veri setlerinden bilgi çıkarmaya olanak

tanır, böylece neden-sonuç ilişkileri hakkında sağlam çıkarımlarda bulunabilmeye olanak tanır.

Bu araştırmada, doğal taş numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin alansal plaka üretim hızı üzerindeki etkileri kapsamlı bir çoklu regresyon analizi ile incelenmiştir. Alansal plaka üretim hızı (m^2/saat olarak APÜO), çalışmanın bağımlı değişkeni olarak belirlenmiş ve bunun üzerindeki etkileri tek eksenli basınç dayanımı (UCS, MPa), Brezilyan çekme dayanımı (BTS, MPa), Cerchar aşındırıcılık katsayısı (CAI), Schmidt sertlik indeksi (SHH), malzemenin yoğunluğu (ρ , g/cm^3) ve Shore scleroscope sertliği (SSH) gibi bağımsız değişkenler ile modellenmiştir.

Bu analizde, verilerin arasındaki olası ilişkileri ve bunların güçlerini keşfetmek için en uygun alt küme seçimi yöntemi tercih edilmiştir. Güven aralığı minimum %75 olarak belirlenmiş, anlamlılık için üst sınır ise 0,25 olarak ayarlanmıştır. Çoklu doğrusallık sorunundan (yani bağımsız değişkenler arasındaki yüksek korelasyon durumundan) kaçınmak amacıyla, varyans şişirme faktörünün (VIF) 10 altında olmasına özen gösterilmiştir. İki yönlü "t" testi ve sağ yönlü "F" testi kullanılarak yapılan değerlendirmelerde, hesaplanan değerlerin tablo değerlerini aşması gerektiğine dikkat edilmiştir.

Çoklu regresyon analizi, Python programlama dili (Van Rossum ve Drake, 2009) ve çeşitli açık kaynaklı kütüphaneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veri işleme için pandas kütüphanesi (McKinney, 2010), sayısal hesaplamalar için numpy kütüphanesi (Oliphant, 2006), istatistiksel modelleme için statsmodels kütüphanesi (Seabold ve Perktold, 2010) ve grafik çizimleri için matplotlib kütüphanesi (Hunter, 2007) kullanılmıştır.

Öncelikle, veri seti pandas kütüphanesi aracılığıyla DataFrame nesnesi olarak yüklenmiş ve ilgili değişkenler seçilmiştir. Bağımsız değişkenlerin non-lineer dönüşümleri numpy kullanılarak uygulanmıştır. Regresyon modeli, statsmodels kütüphanesinin ols fonksiyonu kullanılarak oluşturulmuş ve eğitilmiştir. Modelin anlamlılığını değerlendirmek için, tahmini t ve F-değerleri statsmodels tarafından sağlanan çıktılar kullanılmıştır. Bu değerlerin karşılaştırılması için, scipy.stats modülünden t ve F dağılımlarının kritik değerleri hesaplanmıştır.

Varyans enflasyon faktörü (VIF) değerleri, bağımsız değişkenlerin çoklu doğrusallığının bir göstergesi olarak, statsmodels kütüphanesindeki

variance_inflation_factor fonksiyonu ile hesaplanmıştır. Modelin ayarlanmış R-kare değerleri ve diğer istatistiksel ölçütler, model özet çıktılarından elde edilmiştir.

Sonuçlar, belirtilen anlamlılık düzeyindeki istatistiksel testlerin yanı sıra model katsayıları, tahmini ve tablo değerleriyle birlikte analiz edilmiş ve raporlanmıştır. Bu çalışmada, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin gücü, belirlilik katsayısı (R^2) değerine dayanarak değerlendirilmiştir. R^2 değerlerinin %50 ile %69 arasında olması, ilişkinin orta seviyede güçlü olduğunu gösterirken, %70 ile %89 arasındaki değerler ilişkinin güçlü olduğunu işaret etmektedir. Eğer R^2 değeri %90 veya daha yüksekse, bu ilişki çok güçlü olarak kabul edilir. Diğer yandan, R^2 değeri %50'nin altında olan ilişkiler zayıf veya çok zayıf olarak sınıflandırılmıştır.

9.2.1. S/T blok kesme makinesi için çoklu regresyon analizine dayalı modeller

Araştırma kapsamında, birden fazla değişken içeren bir model oluşturmak amacıyla, tüm özellikler ikili gruplar halinde düzenlenmiş ve her bir kombinasyon detaylı bir şekilde doğrusal ve doğrusal olmayan olacak şekilde çoklu regresyon analizine tabi tutulmuştur. Bunun sonucunda yukarıda dikkat edilen kıstasların tamamına uygun 2 farklı model bulunmuştur. Bu metodolojik yaklaşım, üretim süreçlerinde karşılaşılabilecek değişken etkilerin daha derinlemesine anlaşılmasına olanak tanımıştır.

Benzer bir araştırma, Tumaç (2017) tarafından gerçekleştirilmiş, burada çoklu regresyon analizleri kullanılarak UCS ve CAI değerlerine dayanan modeller önerilmiştir. Ancak, bu çalışmada, UCS değerlerine ek olarak SHH değerleri de dikkate alınarak yeni bir model sunulmuştur.

Bu bölümde elde edilen sonuçlar, Denklem 9.1-2'te özetlenmiştir. Bu denklemler, alansal plaka üretim oranı ($AP\ddot{U}O_{S/T}$, $m^2/saat$ olarak ölçülür), Schmidt çekici sertliği (SHH), tek eksenli basınç dayanımı (UCS, MPa olarak ölçülür) ve Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) gibi parametrelerin analizini içermektedir. Bu denklemlerde yer alan R^2 değerleri, düzeltilmiş belirlilik katsayılarını yansıtmaktadır. Araştırmanın bu bölümünde sunulan Çizelge 9.2 bu denklemlerin istatistiksel analiz sonuçlarını detaylı bir şekilde özetlemektedir. Bu çizelge, söz konusu parametreler arasındaki ilişkilerin ve bu ilişkilerin istatistiksel anlamlılığının kapsamlı bir değerlendirmesini sağlamaktadır.

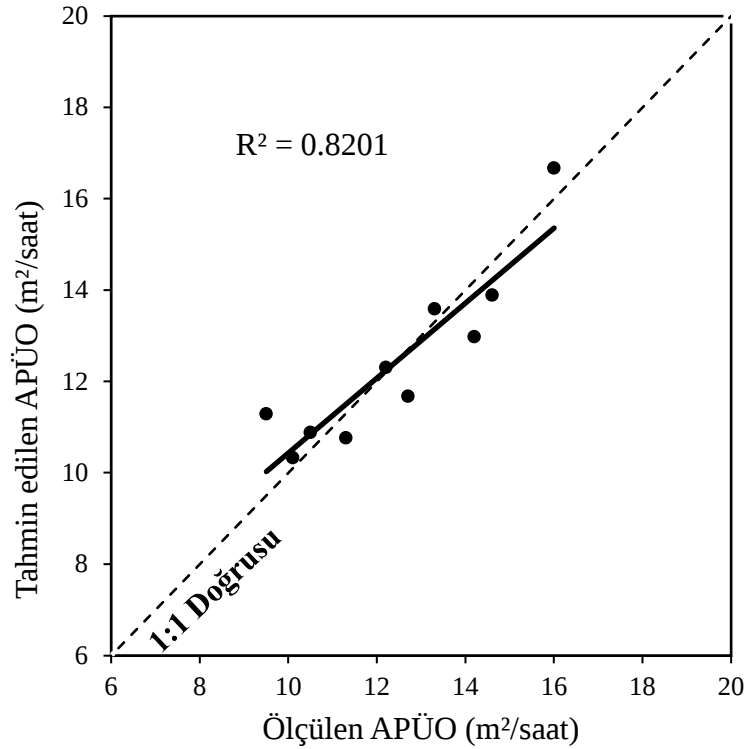
$$AP\ddot{U}O_{S/T} = 25,386 - (0,0273 \times UCS) - (1,427 \times \sqrt{SHH}) \quad (9.1)$$

$$AP\ddot{U}O_{S/T} = 21,1714 - 0,001 \times UCS^2 - 0,1365 \times SHH \quad (9.2)$$

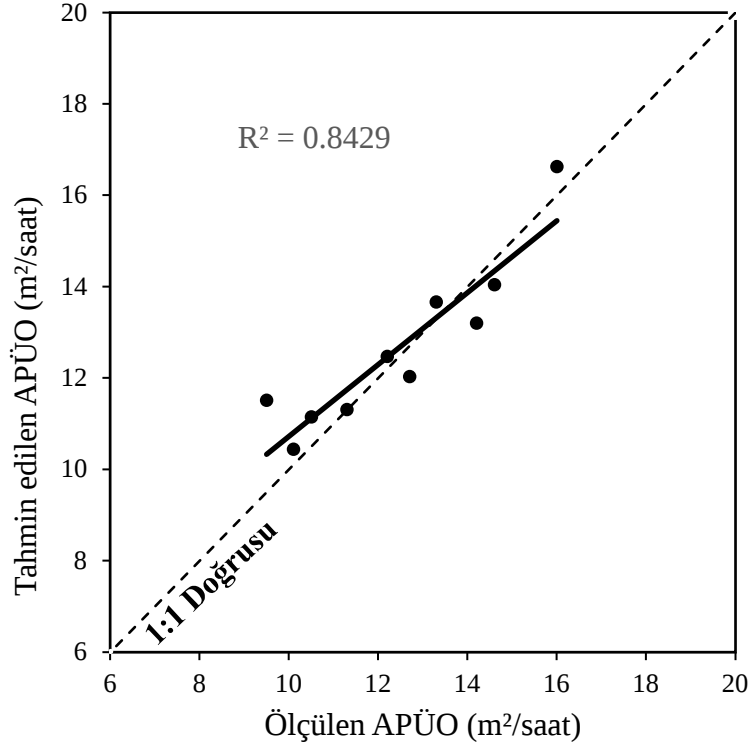
Çizelge 9.1.. S/T makinelerinin performans tahmini için çoklu regresyon yöntemi ile önerilen modellerin istatistiksel sonuçları

Denklem No.	Ön gösterge	Tahmini t-değeri	Tablo t-değeri	p değeri	VIF	R2 (%)	Düzeltilmiş R2 (%)	Tahmini F	Tablo F-değeri
9.1	Sabit	4,37		0,003	-				
	UCS	-1,49	1,38	0,179	3,78	82,0	76,9	15,96	2,04
	SHH	-1,52		0,173	3,78				
9.2	Sabit	9,011		0,000	-				
	CAI	-1,492	1,38	0,179	2,35	84,4	79,9	18,94	2,04
	Schmidt	-2,761		0,028	2,35				

Bu analizler sonucunda elde edilen denklemler için gerçek ve tahmini değerlerin dağılımı Şekil 9.13 ve 9.14'te gösterilmiştir. Modellerin incelenmesi sonucunda, 1:1 çizgisine yakın bir dağılım ve minimal sapma gözlemlenmiştir. Bu durum, modellerin tahmin kabiliyetinin ve güvenilirliğinin güçlü olduğunu göstermektedir.



Şekil 9.11 : Ölçülen ve denklem 9.1 kullanılarak tahmin edilen S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranı parametresinin dağılım grafiği.



Şekil 9.12 : Ölçülen ve denklem 9.2 kullanılarak tahmin edilen S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranı parametresinin dağılım grafiği

9.2.2. Katrak blok kesme makinesi için çoklu regresyon analizine dayalı modeller

Araştırma kapsamında, birden fazla değişken içeren bir model oluşturmak amacıyla, tüm özellikler ikili gruplar halinde düzenlenmiş ve her bir kombinasyon detaylı bir şekilde lineer ve non-lineer olacak şekilde çoklu regresyon analizine tabi tutulmuştur. Bunun sonucunda yukarıda dikkat edilen kıstasların tamamına uygun 2 farklı model bulunmuştur.

Araştırmada elde ettiğimiz analiz sonuçlarına göre, CAI ve SHH dışındaki değişken kombinasyonları ile oluşturulan modeller, belirlenen ölçütleri (düzeltilmiş R-kare değerinin 0,75'den yüksek olması, anlamlılık düzeyinin maksimum 0,25 olması, ve Varyans Enflasyon Faktörü (VIF) değerinin 10'dan düşük olması) karşılayamamaktadır. Bu durum, veri setindeki diğer değişken kombinasyonlarının, belirtilen kriterlere göre yeterli açıklayıcı güce sahip olmadığını göstermektedir.

Bu bulgular, CAI ve SHH değişkenlerinin, veri setindeki bağımlı değişken üzerinde önemli bir etki yarattığını ve diğer değişkenlerin bu etkiyi yeterince modelleyemediğini işaret etmektedir. Bu sonuç, alternatif modelleme yaklaşımlarının değerlendirilmesini veya veri setinin genişletilmesini gerektirebilir. Bu durum,

modelin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak ve açıklamak için önemli bir adım olabilir.

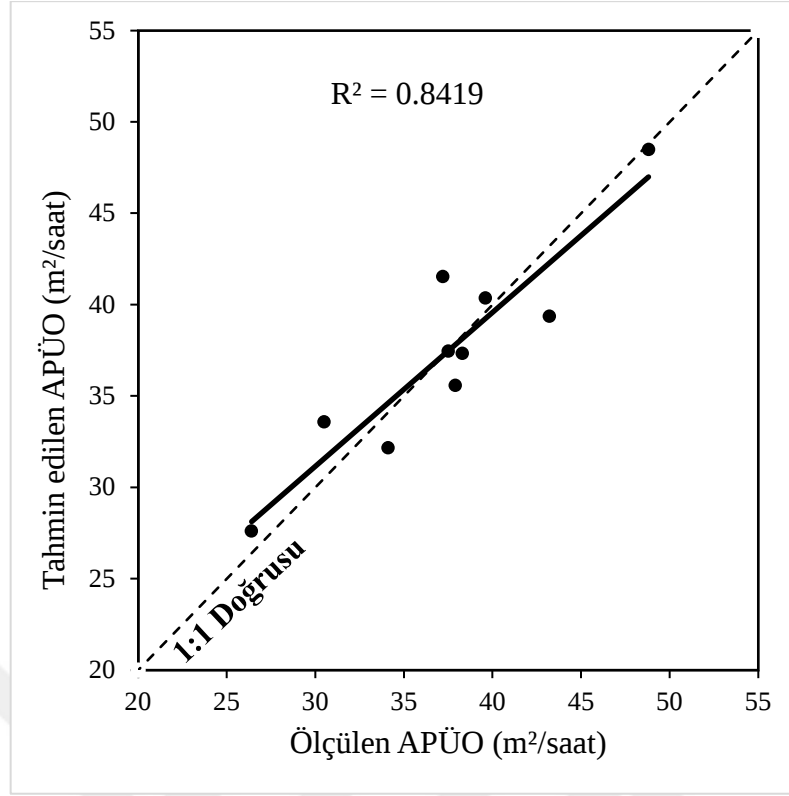
Bu bölümde elde edilen sonuçlar, Denklem 9.3-4'te özetlenmiştir. Bu denklemler, alansal plaka üretim oranı ($AP\ddot{U}O_{Katrak}$, $m^2/saat$ olarak ölçülür), Schmidt çekici sertliği (SHH) ve Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) parametrelerin analizini içermektedir. Bu denklemlerde yer alan R^2 değerleri, düzeltilmiş belirlilik katsayılarını yansıtmaktadır. Araştırmanın bu bölümünde sunulan Çizelge 9.3 bu denklemlerin istatistiksel analiz sonuçlarını detaylı bir şekilde özetlemektedir. Bu çizelge, söz konusu parametreler arasındaki ilişkilerin ve bu ilişkilerin istatistiksel anlamlılığının kapsamlı bir değerlendirmesini sağlamaktadır.

$$AP\ddot{U}O_{Katrak} = 62,812 - (0,483 e^{CAI}) - (0,403 \times SHH) \quad (9.3)$$

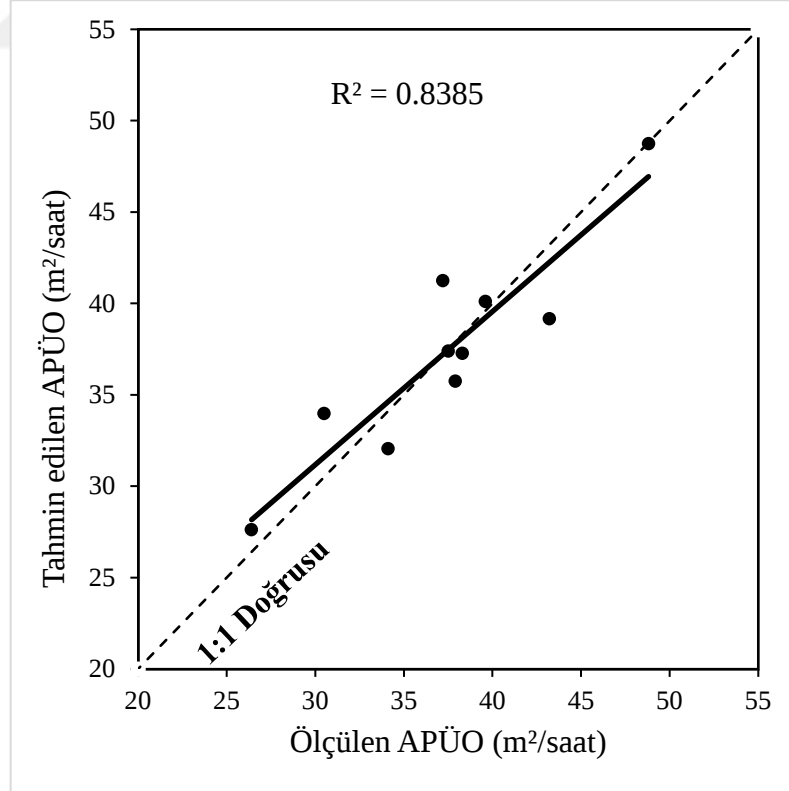
$$AP\ddot{U}O_{Katrak} = 81,886 - (0,490e^{CAI}) - (5,588 \times \sqrt{SHH}) \quad (9.4)$$

Çizelge 9.2. Katrak makinelerinin performans tahmini için çoklu regresyon yöntemi ile önerilen modellerin istatistiksel sonuçları

Denklem No.	Ön gösterge	Tahmini t-değeri	Tablo t-değeri	p değeri	VIF	R2 (%)	Düzeltilmiş R2 (%)	Tahmini F	Tablo F-değeri
9.3	Sabit	11,26		0,000	-				
	CAI	-2,96	2,26	0,021	1,14	84,2	79,7	18,64	3,26
	SHH	-3,97		0,005	1,14				
9.4	Sabit	7,81		0,000	-				
	CAI	-2,98	2,26	0,020	1,13	83,9	79,2	18,18	3,26
	SHH	-3,91		0,006	1,13				



Şekil 9.13. Ölçülen ve denklem 9.3 kullanılarak tahmin edilen Katrak makinelerinin alansal plaka üretim oranı parametresinin dağılım grafiği



Şekil 9.14. Ölçülen ve denklem 9.4 kullanılarak tahmin edilen Katrak makinelerinin alansal plaka üretim oranı parametresinin dağılım grafiği

Bu analizler sonucunda elde edilen denklemler için gerçek ve tahmini değerlerin dağılımı Şekil 9.15 ve 9.16'da gösterilmiştir. Modellerin incelenmesi sonucunda, 1:1 çizgisine yakın bir dağılım ve minimal sapma gözlemlenmiştir. Bu durum, modellerin tahmin kabiliyetinin ve güvenilirliğinin güçlü olduğunu göstermektedir.

9.2.3. S/T ve katrak makineleri için çoklu regresyon analizine dayalı modellerin karşılaştırılması

Bu bölümde yapılan modellere bakılarak, S/T ve katrak blok kesme makineleri için çoklu regresyon analiz sonuçlarını karşılaştıracakız. Modeller, çeşitli traverten ve mermer türlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine dayanarak areal plaka üretim hızını (APÜO) tahmin etmeyi amaçlamaktadır.

S/T modelleri (Denklemler 9.1 ve 9.2), tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve Schmidt sertliğini (SHH) öngörücü olarak kullanırken, katrak modelleri (Denklemler 9.3 ve 9.4) Cerchar Aşındırıcılık İndeksi (CAI) ve Schmidt sertliğini (SHH) kullanmaktadır. R^2 değerlerini karşılaştırdığımızda, bu değerlerin bağımsız değişkenlerden APÜO'nun tahmin edilebilir varyansının oranını gösterdiğini gözlemliyoruz. S/T modellerinin düzeltilmiş R^2 değerleri, 9.1 ve 9.2 Denklemleri için sırasıyla %76,9 ve %79,9, Katrak modelleri için ise 9.3 ve 9.4 Denklemleri için %79,7 ve %79,2 olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçların birbirlerine çok yakın olmasına rağmen katrak blok kesme makinası için yapılan modellerin S/T makinalarına göre daha güçlü bir ilişki gösterdiği söylenebilir. Ayrıca bu hesaplar, UCS'nin S/T makineleri için daha önemli bir öngörücü olduğunu, CAI'nin ise katrak makineleri için daha az önemli olduğunu gösterebilir.

Ayrıca, F istatistiği, yalnızca kesişim noktasını dışında hiçbir öngörücüsü olmayan modelle karşılaştırma yapar ve tüm modellerin APÜO'yu önemli ölçüde tahmin ettiğini gösterir, S/T modelleri biraz daha yüksek değerlere sahiptir. Tüm öngörücüler için p-değerleri, bu değişkenlerin modellerdeki önemini doğrulayacak şekilde geleneksel anlamlılık düzeylerinin altındadır.

Analizler ayrıca kayaçlar köklerine göre sınıflandırılarak (sedimanter ve metamorfik olarak iki grup halinde) yapılmıştır, ancak anlamlı istatistiksel sonuçlar bulunamaması ve bir model oluşturulmaması dolayısıyla teze eklenmemiştir.

Sonuç olarak çoklu regresyon analizleri sonucunda katrak makinaları, S/T makinalarına göre daha güçlü bir ilişki gösteriyor gibi gözüküyor ancak kesin bir sonuca etki edebilecek yeterli verinin olmaması ve ileride daha büyük veri setleri ile

yapılacak istatistiksel analizlerde sonucun farklı çıkmasına sebebiyet verebilir. Bir önceki bölümde de görüldüğü üzere araştırmadaki veri seti ile gerekli istatistiksel şartlayan modellerin bulunması zor olmuş hatta Katrak makinaları için gerekli şartları sağlayan sadece 2 model bulunabilmiştir.



10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez, doğal taş işleme tesislerinde kullanılan iki önemli blok kesme makinesi tipi olan S/T (dairesele testereli) ve ktrak blok kesme makinelerinin kesim performanslarını, geniş bir malzeme ve işletme parametreleri yelpazesi üzerinden değerlendirir. Bu detaylı analiz, kesim performansının doğal taşın türü, testere bıçağının çapı, dönüş hızı, ilerleme oranı, soğutma suyunun miktarı ve kalitesi, makinenin toplam gücü, ve operatörün yetkinliği ve deneyimi gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, bu faktörlerin sürekli izlenmesinin ve düzenli aralıklarla kontrol edilmesinin, makinelerin verimliliği ve performansı için kritik önem taşıdığını vurgulamaktadır.

Katrak blok kesme makineleri, bu çalışmada S/T makinelerine kıyasla üç kat daha yüksek alansal plaka üretim oranlarına ulaşarak dikkat çekmiştir. Bu sonuç, ktrak makinelerinin belirli taş türleri ve kesim gereksinimleri için daha uygun olduğunu gösterirken, Günümüzde fabrikalar ktrak blok kesme makinelerine her geçen gün daha çok yatırım yapmaktadırlar. Ancak ktrak makinesine sadece belirli boyutlarda, kırksız çatlaksız blokların çalışabilmesinden dolayı ve özel sipariş plaka boyutlarından dolayı S/T makineleri doğal taş kesme fabrikalarında kullanımı devam etmektedir ve yakın gelecekte de bu makinelerin doğal taş kesme fabrikalarında yerini almaya devam edecektir.

Araştırma kapsamında, farklı doğal taş türleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar testleri ve saha çalışmalarıyla elde edilen veriler, S/T ve ktrak makinelerinin saatteki alansal plaka üretim oranları (APÜO, m²/saat) ile karşılaştırılmıştır. Bu taşların yoğunluk (ρ), tek eksenli basınç dayanımı (UCS), dolaylı çekme dayanımı (BTS), Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI), Schmidt çekici sertliği (SHH) ve Shore scleroscope sertliği (SSH) gibi fiziksel ve mekanik özelliklerinin makinelerin kesim performansı ile ilişkisi incelenmiştir. Bu inceleme, Silver Traverten, Tundra Gri, Denizli Traverten, Sarı Traverten, Patara Bej, Korkuteli Bej, Muğla Şeker, Muğla Beyaz, Muğla Gümüş, Afyon Beyaz gibi çeşitli doğal taş türlerini içermektedir.

Veri analizi sürecinde, Python ve Excel programları kullanılarak, pandas, numpy, statsmodels ve matplotlib kütüphaneleri ile desteklenen çeşitli istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde, her bir fiziksel ve mekanik özelliğin ikili kombinasyonları üzerinden regresyon analizleri yapılmış ve S/T makineleri için UCS'nin, katrak makineleri için ise SHH'in en güçlü ilişkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Çoklu regresyon analizleri, her makine tipi için iki farklı model üretmiş ve bu modellerin belirleme katsayıları (R^2) %76 ile %80 arasında değişmektedir. İki yönlü "t" testi ve sağ yönlü "F" testi kullanılarak modellerin güvenilirliği test edilmiş, varyans şişirme faktörü (VIF) 10'un altında tutularak çoklu doğrusallık sorunundan kaçınılmıştır. Basit regresyon analizlerinde S/T makinelerinde bulunan modeller daha güçlü ilişkiler verse de çoklu regresyon analizinde katrak makineleri için bulunan modellerde daha yüksek belirleme katsayılı sonuçlar elde edilmiştir.

Analizler, ölçülen ve tahmin edilen performansların 1:1 ekseninde çizilerek gösterilmiş ve sonuçlar doğrultusunda, doğal taşların S/T ve katrak blok kesme makineleriyle kesim hızlarının, taşların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri temelinde tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu ilişkiler, yapılan istatistiksel çalışmalarda saptanmış ve doğrulanmıştır. Araştırmada kullanılan veri seti kısıtlı olmasına rağmen, farklı kökenlerden gelen doğal taş numunelerinin geniş bir özellik yelpazesine sahip olması, elde edilen modellerin güvenilirliğini artırmaktadır. İleriki çalışmalarda daha fazla numune üzerinde yapılan analizler, daha güvenilir ve anlamlı ilişkilerin bulunmasına katkı sağlayacaktır. Önerilen modellerin güvenilirliğini arttırmak için veri sayılarının artırılması büyük önem taşımaktadır. Özellikle çalışmanın içerisindeki veri boşluklarını tamamlayacak doğal taşların eklenmesiyle yapılacak yeni çalışmalar daha güvenilir ve anlamlı ilişkilerin bulunması için nihai önem taşımaktadır.

Ayrıca, makine tipi, testere kalınlığı, dişli sayısı, motor gücü, devir sayısı gibi ek makine parametrelerinin kesim performansı üzerindeki etkilerinin ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu ek parametrelerin, kesim performansı üzerindeki etkilerini anlamak, makinelerin verimliliğini ve üretim kalitesini artırma yolunda önemli bir adım olacaktır. Bu çalışma, doğal taş kesim sürecinin daha iyi anlaşılmasına ve bu alanda karar verme süreçlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Kesim stratejilerinin geliştirilmesi, makine seçimi ve operasyonel planlama gibi konularda bu bulguların önemli etkileri olacaktır.

KAYNAKLAR

- Alttaş, Z.** (2006). Üçtepeler (Bünyan-Kayseri) Traverten Ocağının İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ankara Üniversitesi.** (n.d.). Sedimanter Kayaçlar [Ders notları]. Retrieved from https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/68242/mod_resource/content/0/SED%C4%B0MANTER%20KAYA%C3%87LAR.pdf
- ASTM** (2010). American Society for Testing and Materials, Standard test method for laboratory determination of abrasiveness of rock using the CERCHAR method, (ASTM D7625-7610).
- ByLejant.** (2024). Kayaçlar ve Özellikleri [Resim]. Coğrafya Hocası. <https://cografyahocasi.com/10-sinif/kayalar-ve-ozellikleri.html>
- Çevim, K. C.** (2016). Doğal Taş Fabrikalarında Kullanılan Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makineleri İçin Performans Tahmin Modelinin Geliştirilmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirdağ, S., Gündüz, L., & Gündüz, V.** (2003). Yatay Yarma Makinalarının Kullanımında Mermer Ve Makina Arasındaki Teknik Özelliklerin Analizi. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem'2003) Bildiriler Kitabı (s. 327-329). TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Afyon.
- Eriç, M.** (2002). Yapı Fiziği ve Malzemesi. İstanbul: Literatür Yayınları.
- Fener, M., Kahraman, S., & Ozder, M. O.** (2007). Performance prediction of circular diamond saws from mechanical rock properties in cutting carbonate rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 40(5), 505-517.
- Güngör, Y.** (2011a). Mermer Plaka Kesimi-2. Ankara: T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Makine Teknolojisi Modülü.
- Güngör, Y.** (2011b). Katrakta Plaka Kesimi. Ankara: T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Makine Teknolojisi Modülü.
- Güney, A.** (2011). Performance prediction of large-diameter circular saws based on surface hardness tests for Mugla (Turkey) marbles. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 44(3), 357-366.
- Hunter, J. D.** (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90-95.
- ISRM** (1981). The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring, *International Society of Rock Mechanics*, London: Pergamon Press.

- İhracat Genel Müdürlüğü Maden, Metal ve Orman Ürünleri Dairesi.** (2018). Doğal Taşlar Sektör Raporu. Ankara: Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı.
- Karahan, D. S.** (2018). Dünyada ve Türkiye’de Doğal Taşlar. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.** (2020). Retrieved from <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi>
- McKinney, W.** (2010). Data Structures for Statistical Computing in Python. Proceedings of the 9th Python in Science Conference, 445, 51-56.
- MEGEP.** (2008). Makine Teknolojisi, Mermer Plaka Kesimi 2. Ankara: Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi.
- MKS.** (t.y.). Erişim: 15 Aralık 2023, <http://www.mks.com.tr/urunlerimiz>
- Mutmak.** (t.y.). Erişim: 15 Aralık 2023, <https://www.mutmak.com/mermer-makinalari>
- Oliphant, T. E.** (2006). A guide to NumPy. Trelgol Publishing.
- Öngen, S.** (2024). Metamorfik Kayalar Petrolojisi Ders Sunumları [Şekil]. Sinan Öngen'in Blogu. <https://sinanongen.blogspot.com>
- Özoğuz, E.** (2019). Türkiye doğal taş endüstrisinde uluslararası rekabet gücünün incelemesi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Özkul, M.** (2019). Markalaşmış bir doğal taş; Denizli Traverteni. Mavi Gezegen, (18), 71.
- Seabold, S., & Perktold, J.** (2010). Statsmodels: Econometric and statistical modeling with Python. Proceedings of the 9th Python in Science Conference.
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı.** (2011). Katrakta Plaka Kesimi (521MMI357). https://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Katrakta%20Plaka%20Kesimi.pdf
- TMMOB Maden Mühendisleri Odası.** (t.y.). Doğal Taş ve Mermer Raporu. <https://www.maden.org.tr/icerik/dogal-tas-ve-mermer-raporu-107>
- Tumac, D.** (2015). Predicting the performance of large diameter circular saws based on Schmidt hammer and other properties for some Turkish carbonate rocks. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 75, 159-168.
- Tumac, D., & Shaterpour-Mamaghani, A.** (2018). Estimating the sawability of large diameter circular saws based on classification of natural stone types according to the geological origin. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 101, 18-32. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.11.014>.
- Tumaç, D., & Tolouei, S.** (2017). Mermer fabrikalarında kullanılan büyük çaplı dairesel testerelerin (S/T) performans analizi. Politeknik Dergisi, 20(3), 651-662.

TÜMMER. (2023). Erişim: 16 Aralık 2023

https://www.tummer.org.tr/tr/makina_alt.aspx?kategori_id=23000

Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2021). Doğal Taş Sektör Raporu 2021. İhracat Genel Müdürlüğü, Maden, Metal ve Orman Ürünleri Dairesi. <https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Do%C4%9Fal%20Ta%C5%9Flar%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%202021.pdf>

Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2009). Python 3 Reference Manual. Scotts Valley, CA: CreateSpace.

Yüzer, E. (2004). Türkiye'nin Doğal Taşları. Yapı Dergisi, (277), 11-15.

Ziyaettin, N. (2010). Kimyasal Uygulamalarının Kuzey Kıbrıs Yapı Taşlarının Dürabilitesi Üzerine Etkisi (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Yunus Emre Satı

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Lisans Programı
- **Yükseklisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Mühendislik Yönetimi Tezsiz Yüksek Lisans İkinci Öğretim Programı
- **Yükseklisans** : 2024, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı