

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL TAŞ FABRİKALARINDA KULLANILAN DAİRESEL
TESTERELİ BLOK KESME (S/T) MAKİNELERİ İÇİN PERFORMANS
TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arif GÜMÜŞ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Deniz TUMAÇ

HAZİRAN 2022

**DOĞAL TAŞ FABRİKALARINDA KULLANILAN DAİRESEL
TESTERELİ BLOK KESME (S/T) MAKİNELERİ İÇİN PERFORMANS
TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Arif GÜMÜŞ
(505181001)**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Deniz TUMAÇ

HAZİRAN 2022

İTÜ,Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 505181001 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Arif GÜMÜŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DOĞAL TAŞ FABRİKALARINDA KULLANILAN DAİRESEL TESTERELİ BLOK KESME (S/T) MAKİNELERİ İÇİN PERFORMANS TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ” 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

Doç. Dr. Murat YILMAZ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Teslim Tarihi : 06 Haziran 2022
Savunma Tarihi : 27 Haziran 2022



ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında doğal taş fabrikalarında kullanılan S/T olarak da bilinen dairesel testereli blok kesme makinelerinin performans tahmini için yeni modeller geliştirilmesi yer almaktadır. Arazi çalışmaları yanı sıra yapılan laboratuvar deneyleri ile veriler elde edilmiş olup toplanan veriler istatistiksel metotlar ile regresyon analizlerine tabi tutulmuştur. Arazide ölçülen alansal plaka üretim oranları ile geliştirilen modellerden hesaplanan alansal plaka üretim oranları kıyaslanmıştır.

Tüm bu çalışmalarım boyunca desteklerini eksik etmeyen anneme, babama, kardeşlerime; bilgisini, tecrübesini ve desteğini eksiksiz veren kıymetli danışmanım Prof. Dr. Deniz TUMAÇ'a; laboratuvar deneylerinde her zaman yardımcı olan Aydın SHATERPOUR MAMAGHANI'ye; arazi çalışmalarında yol gösteren Hamza KARTAL beyefendiye; tez yazımı esnasında moral kaynağım olan Dr. Başak DÖNMEZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2022

Arif GÜMÜŞ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	7
3. DOĞAL TAŞ İŞLEME MAKİNELERİ	11
3.1 Katrak Makineleri	11
3.2 Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makineleri.....	14
3.3 Köprü Kesme Makineleri	15
3.4 Dikey ve Yatay Yarma Makineleri	15
3.5 Ebatlama Makineleri	16
3.6 Pah Kırma ve Cila Makineleri.....	18
4. DAİRESEL TESTERELİ BLOK KESME (S/T) MAKİNELERİ	19
4.1 S/T Makinesinin Türleri ve Teknik Özellikler	20
4.1.1 İki ayaklı S/T makineleri.....	20
4.1.2 Dört ayaklı S/T makineleri.....	21
4.2 S/T Blok Kesme Makinesinin Elemanları.....	21
4.2.1 Kesme arabası	21
4.2.2 Köprü	22
4.2.3 Yan köprüler	22
4.2.4 Kolonlar	23
4.2.5 Vagon	23
4.2.6 Kesim kontrol sistemi	23
4.2.7 Kesici testereler	24
4.3 S/T Makineleri ile Kesim İşlemlerinin Yapılışı	24
5. S/T MAKİNELERİNİN PERFORMANS ANALİZLERİ	25
5.1 Fabrikaların Tanıtımı	25
5.2 Performans Analizleri	26
6. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	33
6.1 Fiziksel ve Mekanik Özellikler	33
6.1.1 Tek eksenli basınç dayanımı deneyleri	35
6.1.2 Doğal birim hacim ağırlık tayini	37
6.1.3 Dolaylı(Brazilian) çekme dayanımı	38
6.1.4 Cerchar aşındırıcılık indeksi deneyi (CAI)	41
6.1.5 Schmidt çekici yüzey sertliği deneyi	43
6.1.6 Shore Scleroscope yüzey sertliği deneyi.....	45

6.2 Mineralojik Özelliklerin Belirlenmesi	47
6.2.1 Emirdağ gümüş traverten	48
6.2.2 Emirdağ klasik traverten	48
6.2.3 Şuhut Noçe traverten	49
6.2.4 Isparta bej	50
6.2.5 Sivrihisar bej	51
6.2.6 Bilecik bej	52
6.2.7 Karaman traverten	53
6.2.8 Manisa Kula traverten	54
7. PERFORMANS TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ.....	57
7.1 Basit Regresyon Analizleri.....	57
7.2 Çoklu Regresyon Analizi ve Modeller	64
7.2.1 Tek eksenli basınç dayanımı, brazilian çekme dayanımı ve schmidt çekici yüzey sertliği ile oluşturulan model	65
7.2.2 Doğal birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç dayanımı ve brazilian çekme dayanım ile oluşturulan model	65
7.3 Geliştirilen Modeller ile Ölçülen Verilerin Doğrulanması	67
7.3.1 Ölçülen ile hesaplanan alansal plaka üretim oranları karşılaştırılması	65
7.3.2 Literatürdeki veriler ile doğrulama	72
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	80

KISALTMALAR

A	: Silindirik numunenin kesit alanı
APÜO	: Alansal plaka üretim oranı
ANOVA	: Varyans analizi
ASTM	: Amerikan standart ve test metodları
BTS	: Brazilian çekme dayanımı
CAI	: Cerchar aşındırıcılık indeksi
D	: Silindirik numunenin çapı
df	: Özgürlük derecesi
d_{st}	: S/T makinesinde kesilecek plaka kalınlığı
dy	: Yarma makinesinde kesilecek plaka nihai kalınlığı
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği
k_y	: Yarma makinesinde kullanılan testerenin metal kalınlığı
L	: Silindirik numunenin boyu
MS	: Regresyon girdilerinin karelerinin ortalaması
P_{hs}	: Alansal net üretim miktarı
SHH	: Schmidt çekici yüzey sertliği
SSH	: Shore scleroscope sertliği
SS	: Regresyon girdilerinin karelerinin toplamı
S/T	: Dairesel testereli blok kesme makinesi
UCS	: Tek eksenli basınç dayanımı
YSA	: Yapay sinir ağı



SEMBOLLER

γ	: Doğal birim hacim ağırlık
σ_c	: Tek eksenli basınç dayanımı
σ_t	: Brazilian çekme dayanımı
B	: Boşluk
Cal	: Kalsit
c	: Kohezyon
Do	: Dolomit
F	: Kırılma yükü
f	: Sürtünme açısı
M	: Mikritik doku
NX	: 54 mm çaplı karot
n	: Porozite
r	: Korelasyon katsayısı
R²	: Belirleme katsayısı
S_{cr}	: Mineral tane boyutu
S_{pr}	: Sparitik doku
VIF	: Varyans şişirme faktörü (variation inflation factor)



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Yıllara göre Türkiye doğal taş ve maden ihracat değerleri (Ekincioğlu ve Akbay, 2021).	3
Çizelge 1.2 : Türkiye doğal taş ihracat değerleri, Milyon ABD (Ticaret Bakanlığı, 2021).	9
Çizelge 2.1 : YSA ile elde edilen sonuçlar (Kahraman ve diğ., 2006).	1
Çizelge 5.1 : Doğal taşların kesilme boyutları.	29
Çizelge 5.2 : Isparta Bej örnek süre ölçüm tablosu.	30
Çizelge 5.3 : Tüm doğal taşların toplu süre ölçüm tablosu	30
Çizelge 5.4 : Doğal taşlara ait alansal plaka üretim oranları.	31
Çizelge 6.1 : Sivrihsar bej numunesinin örnek UCS hesap çizelgesi.	37
Çizelge 6.2 : Manisa Kula travertenine ait örnek BTS hesaplama tablosu.	41
Çizelge 6.3 : Emirdağ Klasik Traverten örnek CAI hesaplama tablosu.	43
Çizelge 6.4 : Bilecik bej Schmidt okuma değerleri.	45
Çizelge 6.5 : Şuhut Noçe Traverten örnek okuma tablosu.	46
Çizelge 6.6 : Tüm doğal taşlara ait fiziksel ve mekanik özellikler.	47
Çizelge 6.7 : Görüntü analizlerine göre kayaçların ortalama tane boyutu.	55
Çizelge 6.8 : Kayaçların petrografik analiz sonuçları.	56
Çizelge 7.1 : UCS, BTS ve SHH değerlerinin çoklu lineer regresyon analizinde ANOVA tablosu.	64
Çizelge 7.2 : Minitab programından elde edilen istatistik değerleri.	66
Çizelge 7.3 : Doğal birim hacim ağırlık, UCS ve BTS değerlerinin çoklu lineer regresyon analizinde ANOVA tablosu.	66
Çizelge 7.4 : Minitab programından elde edilen istatistik değerleri.	67
Çizelge 7.5 : Ölçülen APÜO ve denklemlerden hesaplanan APÜO	68
Çizelge 7.6 : Tumaç (2018) fiziksel ve mekanik özellikler	72
Çizelge 7.7 : Tumaç (2018) APÜO ve Denklemlerden Hesaplanan APÜO	73



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kayaç döngüsü (Jeoloji bilgi, t.y.)	1
Şekil 1.2 : Doğal taşların oluşumlarına göre sınıflandırılması (Büyüksağış ve Gürcan, 2005).....	4
Şekil 3.1 : Kesim anında katrak makinesi.	12
Şekil 3.2 : S/T makinesi ile blok kesimi.	13
Şekil 3.3 : Köprü kesme makinesinde kesim.	14
Şekil 3.4 : Yatay yarma makinesi.	15
Şekil 3.5 : Baş kesme makinesi.	16
Şekil 3.6 : Yan kesme makinesi.	17
Şekil 3.7 : Çoklu ebatlama makinesi.....	17
Şekil 3.8 : Pah kırma makinesi	18
Şekil 4.1 : S/T makinesi testereleri.	19
Şekil 4.2 : İki ayaklı S/T makinesi.....	20
Şekil 4.3 : Dört ayaklı S/T makinesi genel görünümü.	21
Şekil 4.4 : Kesme arabası.	22
Şekil 4.5 : Örnek kesim kontrol sistemi.....	23
Şekil 5.1 : S/T kullanılan doğal taş fabrikalarında üretim aşamaları.....	26
Şekil 5.2 : Performans analizi akım şeması.	27
Şekil 5.3 : Esmaş S/T.....	27
Şekil 5.4 : Ceylan Grup S/T.....	28
Şekil 5.5 : Sesemak S/T.	28
Şekil 6.1 : Karot alma makinesi.....	34
Şekil 6.2 : NX tipi 54 mm çaplı karot mumuneleri.	34
Şekil 6.3 : Sivrihisar bej (SBG) numunesinin deney öncesi fotoğrafı.....	36
Şekil 6.4 : UCS ve elastisite deneyine hazırlanan numune.	36
Şekil 6.5 : Sivrihisar bej (SBG) numunesinin deney sonrası fotoğrafı.	37
Şekil 6.6 : BTS deney cihazı	39
Şekil 6.7 : Deney numunesinin cihaza yerleştirilmesi.	39
Şekil 6.8 : Yenilme gerçekleştikten sonra.	40
Şekil 6.9 : Manisa Kula Traverten (MKT) deney öncesi ve sonrası fotoğrafları	40
Şekil 6.10 : Bu çalışmada kullanılan Cerchar deney aleti.	41
Şekil 6.11 : CAI okuma örneği.	42
Şekil 6.12 : Emirdağ Klasik Travertene ait örnek deney öncesi ve deney sonrası fotoğrafları.....	42
Şekil 6.13 : Schmidt çekici.	44
Şekil 6.14 : Schmidt deneyi yapılan noktalar.	44
Şekil 6.15 : Shore Scleroscope deney aleti.....	46
Şekil 6.16 : Emirdağ Gümüş Travertenin polarizan mikroskopundaki genel görüntüsü (Mi: Mikritik, Ca: Kalsit).	48
Şekil 6.17 : Emirdağ Klasik Travertenin polarizan mikroskopundaki genel görüntüsü (Mi: Mikritik).	49

Şekil 6.18 : Şuhut Noçe travertenin polarizan mikroskobundaki genel görüntüsü (Mi: Mikritik, Sp: Saporit).....	50
Şekil 6.19 : Isparta bej mikritik kireçtaşının polarizan mikroskobundaki genel görüntüsü (Ca: Kalsit).	51
Şekil 6.20 : Sivrihisar bej mermerin polarizan mikroskobundaki genel görüntüsü (Mi: Mikritik, Ca: Kalsit).	52
Şekil 6.21 : Bilecik bej mermeri polarizan mikroskobundaki genel görüntüsü (Sp:Saporit, Cr: Çatlak).....	53
Şekil 6.22 : Karaman travertenin polarizan mikroskobundaki genel görüntüsü (Mi :Mikritik, Ca: Kalsit).	54
Şekil 6.23 : Manisa Kula travertenin polarizan mikroskobundaki genel görüntüsü (Ca: Kalsit, Mi: Mikritik).	55
Şekil 7.1 : Tek eksenli basınç dayanımı ve alansal plaka üretim oranı.	58
Şekil 7.2 : Brazilian çekme dayanımı ve alansal plaka üretim oranı.	59
Şekil 7.3 : Doğal birim hacim ağırlık ve alansal plaka üretim oranı.	60
Şekil 7.4 : CAI ve alansal plaka üretim oranı.	61
Şekil 7.5 : Schmidt çekici sertliği ve alansal plaka üretim oranı.	62
Şekil 7.6 : Shore sertliği ve alansal plaka üretim oranı.	62
Şekil 7.7 : Testere çapı ve alansal plaka üretim oranı.	63
Şekil 7.8 : Ölçülen ve Denklem 7.1 ile hesaplanan alansal plaka üretim oranlarının karşılaştırılması.	70
Şekil 7.9 : Ölçülen ve Denklem 7.2 ile hesaplanan alansal plaka üretim oranlarının karşılaştırılması.	71
Şekil 7.10 : Ölçülen ve Denklem 7.3 ile hesaplanan alansal plaka üretim oranlarının karşılaştırılması.	72
Şekil 7.11 : Tumaç (2018) APÜO ve Denklem 7.1 ile hesaplanan APÜO karşılaştırması.....	74
Şekil 7.12 : Tumaç (2018) APÜO ve Denklem 7.2 ile hesaplanan APÜO karşılaştırması.....	74
Şekil 7.13 : Tumaç (2018) APÜO ve Denklem 7.3 ile hesaplanan APÜO karşılaştırması.....	75

DOĞAL TAŞ FABRİKALARINDA KULLANILAN DAİRESEL TESTERELİ BLOK KESME (S/T) MAKİNELERİ İÇİN PERFORMANS TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Doğal taşlar insanlık tarihinin en eski ürünlerinden biri olarak çeşitli yapılarda, süs eşyalarında, sanat eserlerinde ve daha birçok alanda tarih boyunca çokça kullanılmıştır. Sanayi toplumunun inşası ve sonraki dönemlerde gelişen teknolojiler ile dünyada doğal taşlara yönelik talep hızlıca artmakta ve bu talebi karşılamaya yönelik birçok çalışma ve faaliyetler doğal taş kaynakları yönünden zengin ülkelere yürütülmektedir. Dünya doğal taş rezervinin yüzde 33'üne sahip olduğu tahmin edilen Türkiye'nin de tüm madencilik üretim ve satışları incelendiğinde 2020 yılında doğal taş ihracatının tüm madenlerin ihracatına oranı %40 düzeyinde olduğu görülmektedir. Tüm doğal taşlar içerisinde de %57'lik oran ile işlenmiş mermer gelmektedir. Buradan anlaşılabacağı üzere son ürün olarak ihraç edilen işlenmiş mermerlere yönelik verimliliği artırıcı akademik çalışmalar yapmak Türkiye'nin doğal taş kaynaklarını daha verimli kullanmasını sağlayacaktır. Ocakta blok ve moloz üreterek ham halde olan doğal taşları satmak yerine işleyerek katma değerli bir şekilde satmak şüphesiz ülke ekonomisi için daha faydalı olacaktır.

Dünyada ve Türkiye'de oldukça önemli yere sahip olan doğal taşların fabrikalarda işlenmesine yönelik birçok makine mevcuttur. Bu makinelerin başında kesme makinesi olarak S/T makineleri gelmektedir. Doğal taşların ocaktan ham malzeme olarak blok ve moloz halinde mermer işleme fabrikalarına getirilmesi ve burada işlemlere tabi tutulmasının ilk adımında dairesel testereli blok ve moloz kesme makinesi olan S/T makineleri yer almaktadır. S/T makineleri doğal taşların ilk işleme basamağı olarak blok ve molozların istenilen ebatlara indirilmesi noktasında oldukça verimli ve ekonomik olarak çalışan makinelerdir. S/T makinelerinin verimliliğini arttırmak amacıyla literatüre bakıldığında günümüze kadar birçok çalışma yapılmış olup, çeşitli parametreler üzerinden S/T makinelerin performans tahminleri oluşturulmuş ve verimliliği arttırmak amacıyla öneriler sunulmuştur. Bu tez çalışmasının amacı S/T makinelerine yönelik performans tahmin modelleri geliştirmek ve literatürde daha az çalışılmış olan sedimanter kökenli doğal taşların S/T makineleri ile kesilme performanslarını incelemek ve geliştirilen modeller ile kıyaslamalar yapmaktır. Tez kapsamında toplam sekiz farklı sedimanter kökenli doğal taş incelenmiş olup, bu sedimanter kökenli doğal taşlar şunlardır; Manisa Kula Traverten, Emirdağ Klasik Traverten, Emirdağ Gümüş Traverten, Şuhut Noçe Traverten, Karaman Traverten, Sivrihisar Bej, Isparta Bej ve Bilecik Bej. Çalışmanın ilk basamağı olarak arazi çalışmaları yapılmış olup Afyonkarahisar'da yer alan doğal taş işleme fabrikalarında kullanılan S/T makinelerinde süre ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu tez kapsamında kullanılan S/T makinelerinin markaları şunlardır; Sesemak, Emaş, Pakiş Grup ve Ceylan Grup. Bu süre ölçümleri dört ayaklı S/T makinelerinde yapılmış olup yapılan ölçüm sonuçlarına göre alansal plaka üretim oranları (APÜO) 13,64 – 26,15 m²/h aralığında değişmektedir. Daha sonra blok numuneler üzerinde laboratuvar çalışmaları

yapılmıştır. Bu laboratuvar çalışmaları kapsamında tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian dolaylı çekme dayanımı, doğal birim hacim ağırlık tayini, Cerchar aşındırıcılık indeksi, Schmidt çekici yüzey sertliği, Shore scleroscope yüzey sertliği deneyleri yapılmıştır. Doğal taşların tek eksenli basınç dayanımları 39,00 – 90,36 MPa aralığında; Brazilian dolaylı çekme dayanımları 3,93 – 6,66 MPa aralığında; doğal birim hacim ağırlıkları 2,52 – 2,75 gr/cm³ aralığında; Cerchar aşındırıcılık indeksi 0,58 – 2,83 aralığında; Schmidt yüzey sertliği 55,2 – 65,0 aralığında; Shore yüzey sertliği 41,9 – 65,3 aralığında değişmektedir. Arazi çalışmaları sonucunda elde edilen APÜO ile laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen tüm deneylerin sonuçları istatistiksel analizlere tabi tutulmuş ve laboratuvar sonuçlarından elde edilen sonuçlar ile APÜO arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

SPSS ve Microsoft Excel programlarında bir bağımlı bir de bağımsız değişken kullanılarak yapılan basit regresyon analizleri sonucu en anlamlı ilişki 0,89 belirleme katsayısı ile bağımsız değişken olan tek eksenli basınç dayanımı ile bağımlı değişken olan APÜO arasında çıkmıştır. Her bir doğal taşın ait tüm fiziksel ve mekanik özellikleri ile basit regresyon analizleri denenmiştir. Basit regresyon sonuçları şöyle sıralanabilir; tek eksenli basınç dayanım 0,89 belirleme katsayısı, Shore scleroscope yüzey sertliği 0,79 belirleme katsayısı, Schmidt çekici yüzey sertliği 0,74 belirleme katsayısı, doğal birim hacim ağırlık 0,66 belirleme katsayısı, Cerchar aşındırıcılık indeksi 0,45 belirleme katsayısı, dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı 0,44 belirleme katsayısı. Fiziksel ve mekanik özelliklerin yanı sıra kesim yapılan S/T makinelerinin testere çapları ile alansal plaka üretim oranları arasında basit regresyon analizi yapılmış olup, 0,51 belirleme katsayısı ile doğru orantılı bir ilişki ortaya çıkartılmıştır. Birden fazla bağımsız değişken ile bir bağımlı değişkenin kullanıldığı çoklu regresyon analizlerinde ise iki bağımsız değişken ve bir bağımlı değişken kullanılmış olup %95 güven aralığında en anlamlı sonuç tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve Schmidt çekici yüzey sertliğinin kullanıldığı modelde 0,90 belirleme katsayısı ile belirlenmiştir. Güven aralığı %90'a düşürülerek yapılan regresyon denemeleri sonucu iki bağımsız değişken olan doğal birim hacim ağırlık ve tek eksenli basınç dayanımının Brazilian çekme dayanımına oranı kullanılan modelde 0,85 belirleme katsayısına sahip model oluşturulmuştur. Bu üç adet model kullanılarak her bir doğal taşın ait APÜO hesaplanmıştır. Ardından arazide ölçümü yapılan APÜO ile hesaplanan APÜO kıyaslamaları yapılmış olup, denklem 7.1, 7.2, 7.3 için sırasıyla belirleme katsayıları 0,90, 0,90, 0,85 olarak bulunmuştur.

Literatür verileri ile kıyaslamalar ise Tumaç (2018) çalışmasında kullanılan 9 farklı sedimanter kökenli doğal taşların alansal plaka üretim oranları ile yapılmıştır. Tumaç (2018) elde ettiği alansal plaka üretim oranları ile bu tez kapsamında önerilen 3 farklı model ile hesaplanan alansal plaka üretim oranları karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlara göre tek eksenli basınç dayanımının çok yüksek ve çok düşük olduğu noktalar haricinde bu tezde önerilen modeller ile Tumaç (2018) verilerinin anlamlı yakınlıkları olduğu ortaya koyulmuştur.

Çıkan sonuçlara göre alansal plaka üretim oranını ile anlamlı ilişkiler kurulan parametreler tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı, Schmidt çekici yüzey sertliği ve doğal birim hacim ağırlık deneyleridir. İstatistiksel analizlerde hangi parametrenin ne ölçüde etkili olduğunu önceden kestirmek her zaman mümkün olmamaktadır. Bir diğer önemli nokta ise kullanılan veri sayısıdır. Veri sayısının arttırılması ile geliştirilecek olan modellerde daha anlamlı sonuçlar ortaya çıkacak ve hangi parametrelerin daha etkin olduğunu ortaya çıkarmak kolaylaşacaktır. Operatör etkisi, testelerde kullanılan elmas soketlerin aşınma miktarları ve makinenin

kullanım ömrüne bağlı olarak çalışma performansı gibi ölçölmesi zor girdi parametrelerinin S/T makinelerinin performansını etkilediği düşünölmektedir ve bu parametrelere yönelik araştırmaların artırılması gerekmektedir. Bu sayede ortaya çıkacak modeller daha anlamlı sonuçlar verecektir.





DEVELOPMENT OF PERFORMANCE PREDICTION MODELS FOR BLOCK-CUTTING (S/T) MACHINES WITH CIRCULAR SAWS USED IN NATURAL STONE FACTORIES

SUMMARY

Natural stones as one of the oldest products of human history have been used in various structures, artworks, trinkets, and many other fields throughout the history. With the construction of the industrial society and the developing technologies in the following periods, the demand for natural stones is increasing rapidly in the world and many studies and activities to meet this demand are carried out by countries that rich in natural stone resources. When all mining production and sales of Turkey, which is estimated to have 33% of the world's natural stone reserves, are analyzed, it is seen that the ratio of natural stone exports to exports of all mines is 40% in 2020. The rate of processed marble is 57% among whole natural stones. These numbers indicated that carrying out academic studies to increase the productivity of processed marbles that are exported as a final product will enable Turkey to use its natural stone resources more efficiently. Undoubtedly, it will be more profitable to sell the added-value products which are processed ones instead of selling blocks and rubble stones.

There are many machines for the processing of natural stones, which have a very important place in the world and in Turkey, in factories. At the beginning of the machines is S/T block cutting machine. The first step of raw materials which are bringing from quarry to the marble factories as the blocks and rubble stones are cutting with a machine with a circular saw named as S/T machine. S/T machine is one of the most important natural stone production machines that is widely used around the world. S/T machines as the first step of the processing of natural stones are efficient and economical for decreasing the sizes of block and rubble stones. There are many academic studies for increasing S/T machines efficiency. In these studies, the performance of these machines is tried to estimate by using some parameters and some models are suggested to increase the efficacy of the machines. Basic aim of this study is to suggest empirical models to predict performance of S/T machines. In addition, cutting performance of sedimentary origin natural stones with these machines is investigated in this thesis. Within the scope of this thesis eight sedimentary origin stone was investigated. These stones are Manisa Kula Traverten, Emirdağ Klasik Travertine, Emirdağ Gümüş Travertine, Şuhut Noçe Travertine, Karaman Travertine, Sivrihisar Beige, Isparta Beige ve Bilecik Beige. The first step of the study is field studies that included measuring time on S/T machines located in natural stone processing factories in Afyonkarahisar region. These measurements are taken from four legs S/T machines. The brands of S/T machines used in this thesis are as follows; Sesemak, Esmas, Pakiş Group and Ceylan Group. In the investigated machines, areal slab production rate (ASPR) varied between 13.64 and 26.15 m²/h. Subsequently, block samples are sized appropriate to cut drilling cores and the laboratory studies are performed with the sized samples that included Uniaxial compressive strength, Brazilian (indirect) tensile strength, density, Cerchar abrasivity index, Schmidt hammer hardness, Shore

scleroscope hardness experiments. The uniaxial compressive strength of natural stones varied between 39.0 and 90.4 MPa; Brazilian (indirect) tensile strengths varied between 3.93 and 6.66 MPa. The density of these samples varied between 2.52 and 2.75 gr/cm³; Cerchar abrasiveness index varied between 0.58 and 2.83; Schmidt hammer hardness changed between 55.2 and 65.0; Shore Scleroscope hardness ranges from 41.9 to 65.3. The results of laboratory studies are used as input parameters to predict areal slab production rate (ASPR) as output parameter.

Based on the simple regression analyzes that using one dependent and one independent variable in SPSS and Microsoft Excel programs, the most significant relationship is found between the uniaxial compressive strength (as independent variable) and the areal slab production rate (with R^2 of 0.90). Simple regression analyses are carried out between physical and mechanical properties of natural stone samples and areal slab production rate. The determination of coefficient of the investigated simple regression analyses are obtained as: 0,89 for uniaxial compressive strength, 0,79 for Schore scleroscope hardness, 0,74 for Schmidt hammer hardness, 0,66 for density, 0,45 for Cerchar abrasivity index, 0,44 for Brazilian tensile strength, respectively. Besides the simple regression correlations are carried out between diameter of circular saw parameters and areal slab production rate parameters, which has 0,51 determination of coefficient (R^2). Based on the multiple regression analyzes that using more than one independent variable and one dependent variable, the most significant result at the 95% confidence interval with R^2 of 0.90 is found between areal slab production rate and uniaxial compressive strength, Brazilian tensile strength, and Schmidt hammer hardness. When the confidence interval reduced to 90%, the ratio of uniaxial compressive strength to Brazilian tensile strength and density variables (independent variables) show the high correlation with areal slab production rate (with R^2 of 0.85). The comparison between measured areal slab production rates in the field and predicted values based on the suggested models in this study indicate that determination coefficients for equations 7.1, 7.2, and 7.3 are 0.90, 0.90, and 0.85, respectively.

The literature comparison is carried out with data of this study and Tumac (2018) that included some areal slab production rate prediction based on nine different sedimentary geological origin natural stones. In the developed models of this study Tumac (2018) physical and mechanical properties of sedimentary natural stones are used to predict areal production slab rates parameter. Then the results of calculated areal slab production rates parameters are compared with Tumac (2018) areal slab production rates. This comparison indicates that if higher and lower values of uniaxial compressive strength of Tumac (2018) are not considered, there are significant correlations between the calculated areal slab production rate parameters based on the developed models in this study and Tumac (2018) areal slab production rate parameters.

This investigation indicates that uniaxial compressive strength, Brazilian tensile strength, Schmidt hammer hardness and density are the main parameters that could be used to predict the areal slab production rate of S/T machines. It is not always possible to predict which parameter is effective based on statistical analysis. Another important point is related to the number of data obtained from the field and laboratory studies. More meaningful results will emerge in the models developed by increasing the number of data, and it will be easier to reveal which parameters are more effective. It is thought that the hard-to-measure input parameters such as the operator effect, the

abrasion amount of the diamond sockets used in the saws, and the working performance depending on the service life of the machine affect the performance of S/T machines. Further research could be done about these parameters. The suggested models based on the mentioned parameters could be give more meaningful and generalized results.

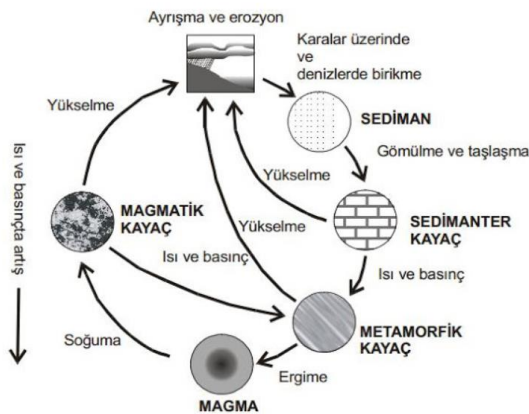




1. GİRİŞ

İnsanın estetik duygusunun, barınma ihtiyacının, sanatının, mimarisinin bir ifadesi olarak yapılarda, inşaatlarda, gündelik kullanım eşyalarında, süs eşyalarında, heykellerde, mozaiklerde, anıt mezarlarda kullanılmak üzere üretimi doğadan sağlanan mermer, granit, traverten, kumtaşı gibi türleri olan doğal taşlar insanlığın kullandığı en eski malzemelerden birisidir. Doğal taşlar en eski insanlık yapısı olarak bilinen Göbeklitepe’den (M.Ö.12000) Antik Mısır’da yapılan mermer heykellere (M.Ö. 750), Antik Yunan Medeniyeti yapı ve heykellerinden, Roma ve Bizans yapılarına, Orta Asya’daki Türklerden (Orhun Yazıtları) Selçuklu ve Osmanlı İmparatorluğuna, Avrupa coğrafyasına (Rönesans Heykelleri) ve günümüze kadar birçok medeniyet tarafından uzun yıllar kullanılmışlardır. Yüksek dayanıma sahip olması, çok farklı renklerde ve desenlerde doğal olarak bulunması, uzun süreli kullanım sağlaması gibi sebepler doğal taşların çok yaygın kullanılmasının ana sebeplerindendir.

İnsanlık tarihini bu kadar etkileyen doğal taşlar daha genel tabirle kayaçlar birçok araştırmaya konu olmuş ve birçok sınıflandırma yapılmıştır. En çok bilinen sınıflandırma olarak kayaçlar magmatik (derinlik-yarı derinlik-yüzey kayaları), sedimanter (tortul-çökel) ve metamorfik (başkalaşım) taşları olarak üç ana gruba ayrılırlar. Jeolojik süreçler boyunca magmatik taşlar metamorfik ve tortul taşlara, tortul taşlar magmatik ve metamorfik taşlara, metamorfik taşlar da magmatik ve tortul taşlara dönüşürler, bu döngüye “kayaç döngüsü” (Şekil 1.1.) denir.



Şekil 1.1 : Kayaç Döngüsü (Jeoloji bilgi, t. y.).

Mermerlere ait olarak kullanılan iki tanım vardır; jeolojik ve endüstriyel.

Jeolojik tanımıyla Mermer, metomorfizma olayı sonucunda kalker ve dolomitik kalkerlerin yeniden kristalleşmesiyle meydana gelmiş bileşimdir. Bileşimlerinin %90-98'i Kalsiyum karbonattan (CaCO_3) oluşmaktadır. Düşük oranda Magnezyum karbonat (MgCO_3) içermektedir. CaCO_3 kristallerinden oluşan mermerlerde esas mineral “Kalsit”tir. Aynı zamanda az miktarda silis, silika, feldspat, demir oksit, mika, flüorin ve organik maddeler bulunabilir. (MTA Doğal Taş, 2018)

Endüstriyel tanımda ise her türlü kesilip, parlatılabilen taşlar “mermer” olarak isimlendirilir.

Türkiye dünyanın en eski mermer üreticilerinden biridir ve tarihi 4000 yıl öncesine kadar dayanır. 650’ye yakın renk ve çeşidin bulunduğu ülkemizde, 300 çeşit mermer, 200 çeşit traverten, kireçtaşı ve granit bulunmaktadır. (MTA Doğal Taş, 2018)

Dünyanın en zengin mermer yataklarının bulunduğu Alp kuşağında yer alan Türkiye, 5,1 milyar m^3 – 13,9 milyar ton muhtemel mermer rezervine sahiptir. Bu değer 15 milyar m^3 olduğu tahmin edilen dünya rezerv toplamının %33’üne karşılık gelmektedir. Türk doğal taş sektörü; çeşit ve rezerv zenginliği, sektör deneyimi, ham madde bolluğu, deniz ulaşımında nakliye kolaylığı, dinamik sektör yapısı, kullanılan yeni teknolojiler ve geniş renk skalası ile dünya doğal taş piyasasında önemli bir yere sahiptir. (Ticaret Bak., Doğal Taş Sektör Raporu)

Doğal taş üretiminin tamamına yakını özel sektör tarafından yapılmaktadır. Türkiye’de yıllık doğal taş üretimi 11,5 milyon ton civarında olup işleme tesislerinin toplam plaka üretim kapasitesi 6,5 milyon m^2 civarındadır.

Türkiye’nin yıllara göre doğal taş ihracatı sürekli artış göstermektedir. Çizelge 1.1’de yıllara göre maden, doğal taş ihracatı ve doğal taşların maden ihracatındaki payı verilmiştir. 2015 ve 2016 yılındaki düşüşün sebebi Çin Halk Cumhuriyeti’nin inşaat sektörüne verdiği teşvik olduğu düşünülmektedir. 2020 yılındaki düşüşün ise pandemi nedeniyle sektördeki daralmayla ilgili olduğu düşünülmektedir. (Ekincioglu, Akbay, 2021)

Çizelge 1.1 : Yıllara göre Türkiye doğal taş ve maden ihracat değerleri (Ekincioğlu ve Akbay, 2021).

Yıl	Maden İhracatı		Doğal Taş İhracatı		Doğal Taş / Maden %
	Milyon Ton	Milyar Dolar	Milyon Ton	Milyar Dolar	
2013	22,31	5,03	8,44	2,22	44,14
2014	21,21	4,64	7,37	2,13	45,85
2015	20,14	3,90	6,52	1,91	48,94
2016	20,43	3,79	6,52	1,81	47,67
2017	24,70	4,69	7,94	2,05	43,69
2018	26,33	4,56	7,46	1,91	41,83
2019	27,15	4,31	7,14	1,86	43,24
2020	27,88	4,27	6,46	1,74	40,75

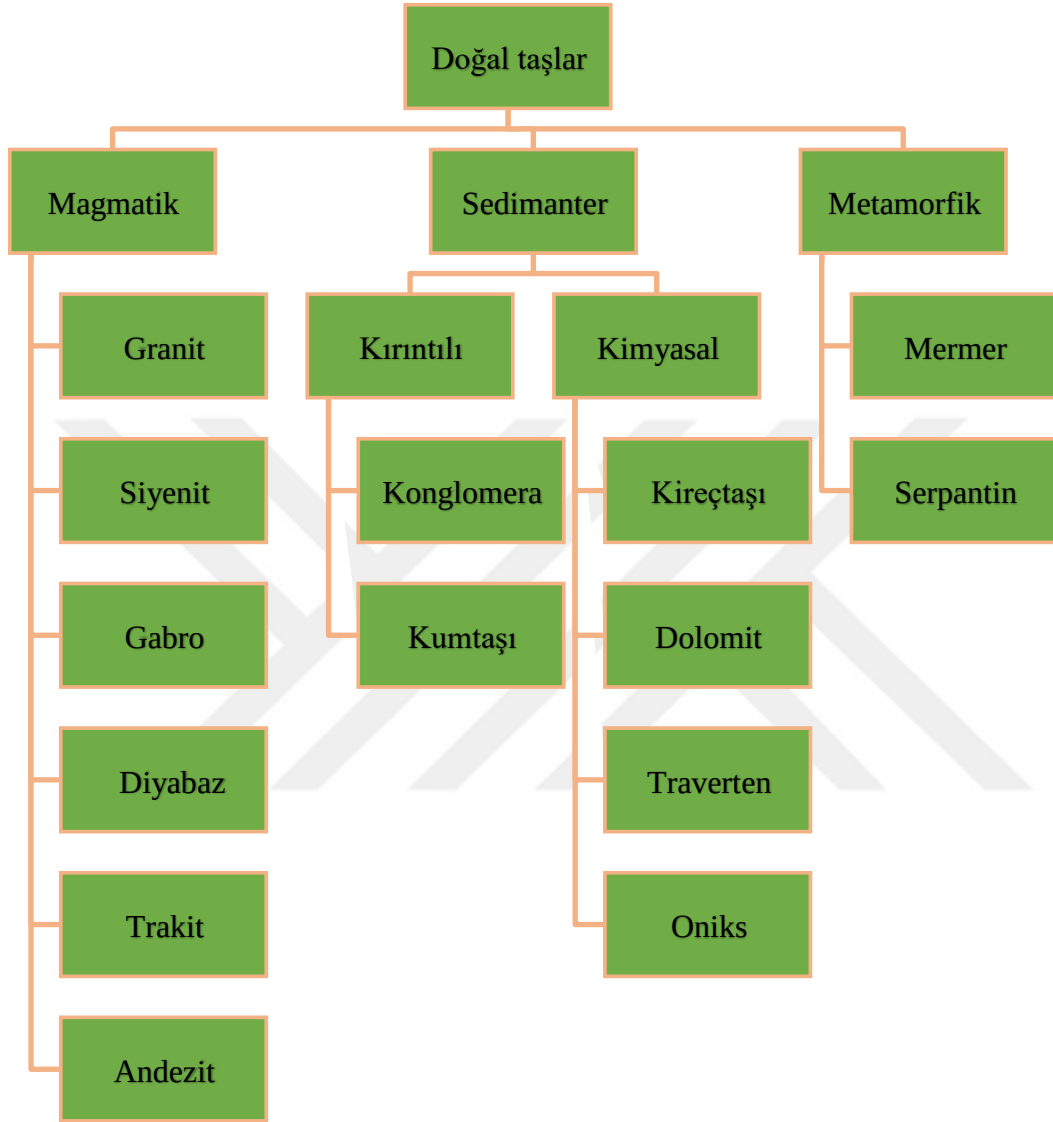
Doğal taşların maden ihracatı içerisindeki yüksek oranı dikkati çekmektedir. Bunun yanında doğal taş olarak satılan madenlerin içerisinde Ticaret Bakanlığı'nın 2021 yılı doğal taş sektör raporuna göre doğal taş ihracatı içerisinde en yüksek payı %57 oran ile işlenmiş mermer almaktadır. Doğal taş ihracatının ürünlere göre payları 2019 ve 2020 yıllarındaki dağılım ve yıllara göre değişimleri Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.2 : Türkiye Doğal Taş İhracat Değerleri, Milyon ABD (Ticaret Bakanlığı, 2021).

Ürünler	2019	2020	2019-20 Değişim	2020 Pay
	Değer	Değer	%	%
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

Doğal taşlar yukarıda bahsi geçen kayalık döngüsüne göre üç farklı sınıfa ayrılırlar ve bu üç farklı sınıf da kendi içerisinde kategorilere bölünür. Şekil 1.2'de bu kategorilendirme verilmiştir. Doğal taşlar takip eden bölümlerde de izah edileceği üzere ocaktan üretildikten sonra levha haline getirme, plakalandırma ve ebatlanma

işlemleri için S/T ya da katraş makinelerinde kesim işlemlerine tabi tutulurlar. Türkiye’de doğal taş sektöründe çoğunlukla metamorfik kökenli mermerler, sedimanter kökenli traverten ve beş işlenmektedir.



Şekil 1.2 : Doğal taşların oluşumlarına göre sınıflandırılması (Büyüksağış ve Gürcan, 2005).

Bu tez çalışmasında literatürdeki sedimanter kökenli doğal taşlara yönelik araştırma eksikliğinden dolayı sekiz farklı sedimanter kökenli doğal taşların arazi ölçümleri, laboratuvar deneyleri ve veri analizleri yapılmıştır. Her bir doğal taş için fabrikada S/T makinesi kesimlerinde süre tutma işlemi gerçekleştirilmiş ve net kesim süreleri üzerinden alansal plaka üretim oranı m^2/h cinsinden bulunmuştur. Daha sonra laboratuvara getirilen örnek numunelerden NX tipi 54 mm çapında karotlar alınmış ve ASTM ve ISRM standartları baz alınarak tek eksenli basınç dayanımı testi, Brazilian

dolaylı çekme testi, Cerchar Aşındırıcılık İndeksi testi, Schmidt Çekiç Sertliği, Shore Scleroscope sertliği ve doğal birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Daha sonra deney sonuçları ile arazi ölçümleri arasında istatistiksel analizler yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı ise fabrikalarda yaygın kullanılan S/T makinelerinin performans tahminlerine yönelik laboratuvar çalışmaları kullanılarak performans tahmin modelleri geliştirmek ve S/T makinelerinin kesme verimliliğini arttırıcı tahmin ve öneriler sunmaktır. Aynı zamanda bir diğer amaç ise literatürde yer alan ancak daha çok metamorfik kökenli mermerler üzerine yapılan çalışmaların benzerlerini sedimanter kökenli doğal taşlar için de yapmak ve sedimanter kökenli doğal taşlar için ortaya çıkan modeller ile metamorfik kökenli doğal taşlar için oluşturulan modellerin kıyaslarını ortaya koymaktır. Sekiz farklı sedimanter kökenli doğal taşın arazi ölçümleri yapıldıktan sonra laboratuvar deneyleri tamamlanarak tüm sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar ile yapılan istatistik analizlerinde ilk olarak basit regresyon modelleri ortaya çıkarılmıştır. Bağımlı değişken olarak alansal plaka üretim oranı bağımsız değişken olarak her bir doğal taşın ait tüm fiziksel ve mekanik özellikler kullanılmıştır. Daha sonra çoklu lineer regresyon modelleri de oluşturularak literatüre biri basit regresyon diğer ikisi ise çoklu lineer regresyon olmak üzere üç farklı denklem sunulmuştur. Bu analizler İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından lisanlı olarak kullanıma sunulan IBM SPSS, Microsoft Office Excel ve Minitab programları kullanılarak yapılmıştır. Analizler basit ve çoklu lineer regresyon olarak iki çeşit olarak yapılmıştır. Analizler yapılırken belirleme katsayısı (R^2), F anlamlılık, t-testi, P değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı ve varyans şişirme faktörünün (VIF) 10'un altında olmasına dikkat edilmiştir. Ortaya çıkan modeller üzerinden alansal plaka üretim oranları (APÜO) hesaplanmıştır. Hesaplanan APÜO ile ölçülen APÜO arasındaki korelasyonlar incelenmiştir.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Doğa taşlardaki kullanım alanlarının artması sebebi ile dünya çapında doğal taşlara yönelik taleplerde önemli ölçüde artış devam etmektedir. Üretimin doğal taşlar için ocaklarda başlayıp oradan fabrikada yapılan işlemler sonucunda katma değerli olarak son ürün haline getirilerek satılması doğal taş rezervlerince zengin olan ülkelerde fabrikadan elde edilen ürün bazında verimliliği arttırmaya yönelik araştırmalar artmaya başlamıştır. Verimlilik ve zamanın en optimum düzeye getirilerek en düşük maliyet ve en yüksek karlılık hedeflenmektedir.

Nihai ürüne ulaşana kadar ocaklardan gelen blokların fabrikalarda işlenme esnasında en yaygın kullanılan makinelerden birisi de dairesel testereli blok kesme makinesi diğer adıyla S/T makineleridir. Bu makineler sayesinde bloklardan çeşitli ebatlarda ürünler üretilmektedir. S/T makinelerinin önemli özelliklerinden başında düşük işçi ihtiyacı ve buna mukabil olarak düşük maliyetli olarak yüksek verimli ürün çıkartabilmesidir. Çıkan ebatlı ürün daha sonra diğer işlemler için fabrikada nihai ürüne doğru yol almaktadır. S/T makineleri fabrikalarda ocaktan gelen bloklar için plaka harici üretimlerin ilk uğrağıdır ve oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

S/T makinelerinin bu yaygınlıkta kullanılması bu makinelere yönelik birçok araştırma yapılmasını gerekli kılmıştır. Bu araştırmalar makine seçiminde uygunluk ve performans değerlendirmesi için gereklidir. Bu araştırmalara konu olan bazı özellikler şu şekilde sıralanabilir; doğal taş a ait fiziksel ve mekanik özellikler, kullanılan keskinin özellikleri, ilerleme oranları, keski tüketim hızları vs. Bu araştırmaların nihai amacı ise S/T makinelerinde doğal taşlar işlenirken minimum maliyete ve maksimum kara ulaşmaktır. Doğal taşların işlenme sürecinde kullanılan makinelere yönelik literatürdeki çalışmalar şöyle özetlenebilir;

Norling'in (1971) yaptığı araştırmalar neticesinde kayaçlara ait petrografik özellikler ve kesilebilirlik arasında anlamlı derecede bir korelasyon ortaya çıkmış ve katsayı belirlenmiştir. Bu araştırma sonucunda kesilebilirliği tane boyutu kuvars içeriğine oranla daha çok etkilemektedir. Burgess ve Birle (1978) kayaçların mineralojik özellikleri, tane boyutu ve aşınmaya olan dirençleri gibi parametreleri kullanarak

yaptığı analizler sonucunda kayaçların kesilebilirliği için bir model geliştirmişlerdir. 1989 yılında Hausberg'in yaptığı araştırmalar neticesinde iyi belirlenmiş klivaj düzlemleri ile mineral oranlarındaki artışın doğal taşların kesilebilirliğini arttırdığı neticesine ulaşmıştır. Clausen ve diğ. (1996) akustik emisyon çalışmaları ile kayaçlara ait kesilebilirlik noktasında kategorilendirmenin mümkün olduğu sonucunda varmışlardır. Ceylanoglu ve Gorgulu (1997) kesme enerjileri, plaka üretim oranı ve kayaç özelliklerinin birbiri ile bağıntılı olduğu ve bu parametrelerin her birinin diğerini etkileyebileceği sonucuna istatistiki olarak varmışlardır. 1998 yılında Büyüksağış farklı olarak 7 adet mermeri kesme hızı, kesme derinliği ve çevresel hızları konusunda değerlendirmiş ve spesifik enerji konusunda optimum kesme derinliğini ve kesme hızını yakalamaya çalışmıştır. Yine Büyüksağış (1998) başka bir çalışmasında spesifik enerji değerleri ile doğal taşlara ait hem mineralojik hem de fiziksel özellikleri arasında korelasyonlar yakalamıştır. Brook (2002) araştırmaları neticesinde Brook sertliği olarak nitelendirilen yeni bir skala geliştirmiştir. Wei ve diğ. (2003) granitler üzerinde çalışmışlar yapmışlar ve granit kesilebilirliğinin tahmini ve makine, ekipman seçiminde doğal taşlara ait mekanik ve petrografik özelliklerin yeterli olduğu sonucuna bulanık mantık kullanarak ulaşmışlardır. Büyüksağış ve diğ. (2003) travertenlerin tabakalanmaları ve kesilebilirlik üzerine yaptığı kesme deneyleri sonucunda tabakalanmanın paralel olduğu deneylerde spesifik enerji tüketiminin daha az olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Zhang ve Lu (2003) S/T makinelerinde kullanılan dairesel testereler için en uygun dizaynın hangisi olduğu üzerine yaptığı çalışmalar sonucunda ulaştıkları veriler ile dizaynın optimize edilebileceği kanısına varmışlardır. Kahraman ve diğ. (2004) yaptığı çalışmalar neticesinde bazı testler ve plaka üretim oranları arasında korelasyon olduğu sonucuna ulaşmışlardır, bu araştırma yapılan testler şöyle sıralanabilir; Tek eksenli basınç dayanımı (UCS), çekme dayanımı (BTS), nokta yük dayanımı, Schmidt sertlik testi, kohezyon, kırılma açısı, Los Angeles testi, P dalga testi. Yaptıkları testler sonucunda bu parametreler ile karbonat bazlı kayaçların kesilebilirliği arasında anlamlı korelasyonlara ulaşmışlardır. Günaydın ve diğ. (2004) çalışmasında farklı sekiz adet karbonat kökenli doğal taşları incelemiş ve S/T makinelerine yönelik saatlik alansal plaka üretim oranları için sekiz farklı yaklaşım ile kırılgenlikleri (brittleness) arasındaki korelasyonları izlemişler ve en anlamlı korelasyon Denklem 2.1'deki gibi çıkmıştır.

$$B_8 = (\sigma_c \times \sigma_t)/2 \quad (2.1)$$

Burada;

σ_c : Tek Eksenli Basınç dayanımı

σ_t : Çekme dayanımı

B_8 : Kırılmalık değeri

Ulaştıkları sonuca göre karbonatlı kayaçların kesilebilirliğinde en önemli parametreler tek eksenli basınç dayanımı ve çekme dayanımıdır. Delgado ve diğ. (2005) granitler üzerinde yaptığı araştırmada granite ait sertlik ile kesilebilirlik arasında korelasyona ulaşmışlardır. Kahraman ve diğ. (2006) yapay sinir ağı kullanarak S/T ve alansal plaka üretim oranları arasındaki ilişkiyi ortaya koymuşlardır. Araştırmada kohezyon (c) ve porozite (n) ve sürtünme açısı (f) parametreleri kullanılmıştır. Araştırma sonucunda çift girdili ikinci tipe giren Yapay Sinir Ağı testlerinde oldukça anlamlı ($R^2=0,999$) sonuçlara ulaşmışlardır.

Çizelge 2.1 : YSA ile elde edilen sonuçlar (Kahraman ve diğ., 2006).

Model	YSA girdileri	Tahmin edilen üretim verileri (m ² /h)	R ²
Model 1	c; n	10,70; 13,36; 12,58; 17,17; 19,60; 18,66;	0,999
Model 2	f; n	10,70; 12,92; 12,60; 17,49; 19,63; 18,62; 13,81; 16,75	0,999

İkinci tip YSA modeli kullanılarak ulaşılan üretim verileri ile ölçülen veriler kıyaslanmış ve 1:1 çizgisi boyunca olduğu saptanmıştır. Tütmez ve diğ. (2007) analizlerine göre doğal taşlara ait fiziksel ve mekanik özellikler S/T performans tahminlerinin yapılabilmesi yeterli olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada 3 adet sınıf mükemmel, iyi ve zayıf olmak üzere üç grup sınıflandırmasını bulanık mantık metodu ile ortaya koymuş ve ileriki araştırmalarda kullanılabileceğini ifade etmiştir. Ribeiro ve diğ. (2007) mineralojik olarak birbirine çok yakın iki granitin kesilebilirliğini araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucu iki farklı granitin mineralojik özellik olarak yakın olmasına rağmen kesme hızları arasında önemli farklar ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar bunun nedeninin granitlerin petrografik

özelliklerinin yanı sıra Knoop sertliği ve Amsler aşınması olduğunu ifade etmişler. Güney (2011) Muğla civarından getirdiği beş farklı mermeri kesilebilirlik üzerinden incelemişlerdir. Yüzey sertliği ve alansal plaka üretimi arasındaki korelasyonu araştırmışlardır. Sonuç olarak doğal taşlara ait minerallerin tane boyutları ile dairesel testereli makinelerin performansları arasında anlamlı ilişki olduğu ortaya çıkmıştır. Schmidt ve Shore sertlik kıyaslamaları sonucu, Shore sertliğinin daha güvenilir sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır. Güney (2011) yedi farklı yaklaşım modeli geliştirmiştir ve bunlardan birisi olarak aşağıdaki Denklem 2.2’de S/T makinelerine yönelik performans tahminini formüle dökmüştür;

$$P_{hs} = -0,565(SH) - 0,014(S_{cr}) + 65,22 \quad (2.2)$$

Burada;

P_{hs} : Alansal net üretim miktarı(m²/h),

SH : Shore sertlik değeri,

S_{cr} : Minerallerin tane boyutu

Tumaç’ın 2015 yılında yaptığı araştırmalar sonucunda S/T performans tahminlerine yönelik iki farklı yaklaşım ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) ile Schmidt sertliği kullanılarak S/T performans tahmini ortaya konulmuştur. Tumaç (2016) Türkiye’nin farklı bölgelerinden getirilen doğal taşlar incelenmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı (UCS), CAI, porozite ve yoğunluk deneyleri sonuçlarını yapay sinir ağları üzerinden analiz etmiş ve sonuçlar arasındaki korelasyonları ortaya koymuştur.

Doğal taş kesme makineleri üzerine birçok araştırma bu makinelere ait performans değerlendirme ve tahminlerini kolay ve ulaşılabilir bazı laboratuvar deneyleri üzerinden ortaya koymaya çalışmışlardır. Bu araştırmalardan çıkan sonuçlara göre doğal taş kesilebilirliği ile mekanik ve fiziksel özellikler arasında anlamlı ilişkiler mevcuttur ancak bu araştırmalar daha da genişletilebilir. Bugüne kadar yapılan analizler, araştırmalar ve çalışmalar ışığında bu çalışmada tek eksenli basınç dayanımı (UCS), Brazilian çekme dayanımı (BTS), Schmidt çekici sertliği, Shore sertliği, Cerchar aşındırıcılık indeksi ve yoğunluk gibi mekanik ve fiziksel parametreler kullanılarak S/T makinelerine yönelik hem performans tahmini hem de performans iyileştirmeye yönelik istatistik temelli ilişkiler araştırmaya konu olmuştur.

3. DOĞAL TAŞ İŞLEME MAKİNELERİ

Doğal taşların üretimi ilk olarak ocaklarda başlar ve orada blok ve moloz olmak üzere iki farklı türde taşlar fabrikalara sevk edilir. Bunlardan geometrik olarak daha kaliteli olan bloklar katrak ismi verilen makinelere gider, daha düşük kalitede çatlaklı blok ve molozlar ise değerlendirilmek üzere S/T makinelerinde işlenirler. Çatlaklı ve kırıklı olmayan iyi kalitede bloklar katrakta işlenir ve ortaya çıkan malzeme levha olarak isimlendirilir. Bunun yanında daha düşük kalitedeki blok ve molozlar S/T’de işlendikten sonra plaka olarak isimlendirilir ve S/T’den çıktıktan sonra ebatlı malzeme olarak işlenmek üzere fabrikadaki diğer makinelere yönlendirilir.

3.1 Katrak Makineleri

Katrak makineleri ocaktan gelen geometrik şekil olarak en iyi kalitedeki bloklardan levha elde etmek üzere kullanılırlar. Çalışma prensipleri S/T makinelerinin farklı olarak birden fazla kesici testerenin blokları tek seferde kesmesi ve kesilen blok sonucunda çok sayıda levhayı aynı anda üretmesidir. Katraktan çıkan levhalar blok mermerin kesme eksenine bağlı olarak düzenli ya da düzensiz olabilmektedir.

Ocaklardan getirilen iyi kalitede bloklardan en hızlı şekilde ürün elde edebilmek amacıyla kullanılan katraklarda blokların titreşim ve sarsılmalardan etkilenmemesi için katrak zemininde çok sağlam bir şasi yer almaktadır. Blok bu şasiye yerleştirildikten sonra hemen üstünde lama da denilen kesici testere yer almaktadır. Testere sayısı katrak kapasitesine göre 10 ile 120 adet sayıları arasında değişmektedir. Testere yer aldığı tabla ileri geri hareket ederek blok kesim işlemini gerçekleştirir. Dikey ekseninde hareket ise bazı katrak makinelerde şasinin yukarı hareket etmesi ile olurken bazı katrak kesim makinelerinde ise testere aşıya hareketi ile sağlanmaktadır. Katrak makine tipleri kabaca ikiye ayrılır; çelik lamalı (kumlu) katraklar ve elmas soket lamalı katrak makineleri. Şekil 3.1’de kesim anında katrak makinesi verilmiştir.



Şekil 3.1 : Kesim anında katrak makinesi.

Katrank makinelerinin en büyük avantajı ise tek seferde birden çok testeresi sayesinde bir bloktan çok sayıda levhayı aynı anda üretebilmesidir. Elmas soketli katranklarda lamalar üzerine yerleştirilen elmas soketler taşın kesilmesini sağlarken; elmas soket yer almayan katranklarda çelik lamaların yanı sıra aşındırıcı ve kesmeyi rahatlatan malzeme olarak aşındırıcı kum kullanılır. Makinenin ısınmaması için besleme yapılan su ile birlikte bu kum çelik lamaların kesmesini kolaylaştırma amacıyla titreşimli elekten geçerek bloğun üzerine verilir. Bu kum kesilen oluklara girerek testere ile birlikte aşınma sağlar ve doğal kesilme işlemi gerçekleşir. Çeşitli aşındırıcı kumlar ya da malzemeler (çelik granül, zımpara tozu, kuvars kumu) kesilen taşın sertliğine göre tercih edilmektedir. Piyasada katrank isimlendirmeleri ise bir katrankta kaç adet lama diğer adıyla testere yer aldığına göre değişmektedir. 50 adet laması olan katrank için “50’lik katrank” denmesi örnek olarak verilebilir.

3.2 Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makineleri

Katrank makinesinin düşük sürelerde yüksek üretim verimliliği olmasına rağmen ilk yatırım maliyetlerindeki yüksekliği sebebi ile birçok mermer işleme tesisinde

katraklara nazaran daha düşük ilk yatırım maliyeti gerektiren dairesel testereli blok kesme diğ er adıyla S/T makineleri yer almaktadır. Kabaca S/T makinelerinin çalışma prensibi ş oyledir; iki adet dairesel testere yer almaktadır. Büyük olan ve çapı 1800 mm'ye kadar çıkabilen testere ana kesme işlemine gerçekleştirir. S/T makineleri altında yer alan kayan tabla üzerine koyulan blok ya da moloz doğal taş kesim işlemi için hazır hale getirilir. ş ekilsiz bloklar en önce taşın üst kısmının tam düzleşmesi için kesme derinliği yeterli miktarda ayarlanarak bir seri kesim yapılır ve taşın üst yüzeyi tamamen düzlenmiş olur. Daha sonra istenilen ebat ve kalınlıkta blok ya da moloz kesimi devam eder. Blok kesimi bittikten sonra en altta az bir miktar bloktan artık malzeme kalır ve “kapak” olarak isimlendirilir ve daha küçük ebatlı süs eşyası vs. yapımında çokça kullanılır. Kesim yapmakta olan S/T makinesi ş ekil 3.2'de verilmiştir.



ş ekil 3.2 : S/T makinesi ile blok kesimi.

S/T makineleri, tüm sistemin üzerinde yer aldığı ayak sayısı baz alınarak sınıflandırılır ve iki çeşit S/T makinesi mevcuttur; iki ayaklı S/T ve dört ayaklı S/T. S/T makineleri tezin ana konusu olduğu için detaylı incelemeler ve açıklamalar 4. Bölümde verilmiştir.

3.3 Köprü Kesme Makineleri

Katraktan çıkan levhaların tam dörtgen şekil verilmesi amacıyla ya da istenilen ebatlara indirilmesi amacı ile kullanılır. Bunun yanında S/T makinelerinden çıkan boy serbest diye ifade edilen eni belli boyutlarda olan plakaların da istenilen boylarda kesilmesi amacıyla üst üste konarak kesilmesi amacıyla da kullanılır.



Şekil 3.3 : Köprü kesme makinesinde kesim.

Köprü kesme makinesinin testeresi ve bu testereyi çalıştıran motoru yaklaşık 250 cm yükseklikte iki duvar üzerine makine gövdesi ile yerleştirilir. Bu iki duvarda yer alan iki adet ray ile makine ileri geri hareketi sağlanır. Köprü denmesinin sebebi de bu iki duvar üzerinde yer almasından dolayıdır. Kesici dairesel testerelerin çapı 40 cm ile 65 cm arasında değişebilir.

Çalışma prensibi ise kısaca şöyle açıklanabilir; levhalar ya da üst üste konulmuş plakalar üzerinde yer alan kesici bıçak istenilen ebatlarda malzemeyi kesmektedir. Levha ve plakaların yer aldığı tabla aşağı yukarı hareket ederek üst üste konulmuş plakaları kesmeye yardımcı olmaktadır. Son teknoloji köprü kesme makinelerinde üstte yer alan kesici eksenini etrafında dönerek yalnızca iki yönde değil istenilen açıda da malzeme kesimi yapabilmektedir.

3.4 Dikey ve Yatay Yarma Makineleri

S/T makinelerinde çok vakit kaybına sebebiyet vermesi ve tüm istenen kalınlıklarda ebatlı malzeme üretiminde sıkıntı olduğu için bu makineler kullanılmaktadır. Bu makineler üretimi hızını önemli oranda arttırdığı için tercih sebebidir. Şekil 3.4'te yatay yarma makinesi ait örnek verilmiştir.



Şekil 3.4 : Yatay yarma makinesi.

15 cm kalınlığa varan S/T makinelerinden gelen ve kütük diye adlandırılan plakalar yarma makinelerinde istenilen kalınlıklara düşürülebilir. Yarma makinesi gidecek olan plakanın kalınlığı Denklem 3.1 ile hesaplanabilir;

$$d_{st} = 2d_y + k_y \quad (3.1)$$

Burada;

d_{st} : S/T'de kesildikten sonra gelecek plakanın kalınlığı

d_y : Yarma makinesinden çıkacak istenilen plaka kalınlığı

k_y : Yarmada kullanılan kesici testerenin kalınlığı

3.5 Ebatlama Makineleri

Birçok ebatlama makinesi mermer piyasasında aktif olarak kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları şöyle sınıflandırılabilir;

- Baş (kafa) kesme makineleri
- Yan kesme makineleri
- Çoklu kesme ya da ebatlama makineleri

Hassas gönyelerin yer aldığı ve rulo üzerinden beslenen S/T'den çıkmış mamülün istenen boyda kesilmesi baş kesme diye adlandırılan makinelerde yapılır. S/T'den gelecek taşın ağırlığına göre işçi ya da vakumlu kapma aleti ile S/T'den çıkan plakalar baş kesmeye gelir ve istenilen boyda ebatlanarak sonraki işlemlere hazır hale getirilir. Kesici testere elmas soketlidir ve daireseldir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Baş kesme makinesi.

Yan kesme makineleri de aynı mantık üzerinden hareketle plakanın boyuna paralel olarak yer alan alan elmas soketli testerele yardımcı ile istenilen ende ürün elde etmek maksadıyla kullanılır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : Yan kesme makinesi.

Çoklu ebatlama makineleri çalışma prensibi olarak baş kesme makineleri ile aşağı yukarı benzerdir. Farklı olan ise aynı anda birden fazla (7'ye kadar çıkabilir) dairesel testere istenilen ölçülerde S/T'den gelen plakayı ebatlar. Üretimi hızlandırması noktasında bu makinenin faydası çoktur (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Çoklu ebatlama makinesi.

3.6 Pah Kırma ve Cila Makineleri

Pah makineleri isminden de anlaşılacağı üzere ürünlerin köşelerini 45 derece açı ile kesmek için tasarlanmış makinelerdir. Gelişen teknoloji farklı kafa ve kesiciler ile çok fonksiyonlu makineler haline gelmiştir. Alt ve üst köşelerden 45 derece pah kırma işlemi yapabildiği gibi alın kısımlara cila, derz açma ve profil ayarlaması da yapabilmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : Pah kırma makinesi.

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

S/T isminin nereden geldiğine yönelik iki farklı yorum literatürde mevcuttur. Birincisi Bağcıvandemir'e (1997) göre dilimleyerek ayırmak ve keserek ayırmak anlamlarına gelen Stripper ve Trimmer kelimelerinin kısaltımı olarak kullanıldığıdır. Bir diğer yorum ise Onargan ve diğ. (2006) çalışmasında makinenin ilk üretimini yapan firmanın isminin S/T isimli Fransız firması olduğunu düşünmektedirler.

S/T makinelerinin ilk göze çarpan özellikleri iki adet biri dikey biri yatay kesim yapan dairesel testerelerinin olmasıdır. Ana testere dikey olarak kesimi yapar ve testere çapları 1000 - 1800 mm arasında değişmektedir. Yatay testere ana testereye nazaran daha küçük olup 350 – 600 mm arasında çapları değişmektedir. Şekil 4.1'de S/T makinesinin dikey ve yatay kesim yapan testereleri verilmiştir.



Şekil 4.1 : S/T makinesi testereleri.

4.1 S/T Makinesinin Türleri ve Teknik Özellikler

Piyasada iki ayaklı ve dört ayaklı olmak üzere iki çeşit S/T makine mevcuttur. Ancak yaygın olarak üretilen ve kullanılan tip dört ayaklı S/T makineleridir.

4.1.1 İki ayaklı S/T makineleri

Köprü ünitesi iki ayaklı S/T makinelerinde iki ayak üzerine yerleştirilmiştir. Kesme arabasında birden fazla dikey testere kullanılabilir. Bu tip S/T makinelerinde kesici sistem iki eksende hareket eder. Birinci eksen dairesel testerenin kesme derinliğinin ayarlandığı düşey eksenidir, ikinci eksen ise dairesel testerenin kesim için ilerlediği yatay eksenidir. Bir diğer eksen ise vagonun hareketidir. Vagona yerleştirilen blok ya da moloz üçüncü eksende hareket ederek üretilecek olan plakanın kalınlığına göre ayarlanır. Vagonun hareketi ise redüktörlü mekanik ya da elektronik sistem ile kontrol edilir.

İki ayaklı S/T makinelerinin yatırım maliyeti dört ayaklı S/T makinelerine göre daha düşüktür ancak vagon hareketi ile plaka kalınlığı ayarlandığı ve bu sistem S/T makinesinden bağımsız olduğu için kesin hassasiyeti daha düşüktür. Şekil 4.2’de iki ayaklı S/T makinesi verilmiştir.



Şekil 4.2 : İki ayaklı S/T makinesi.

4.1.2 Dört ayaklı S/T makineleri

İki ayaklı S/T makinesinden farkı üçüncü ekseninde S/T sistemine dahil olmasıdır. İki ayaklı S/T makinelerinde vagon üzerindeki blok ya da moloz hareket ederken dört ayaklı S/T makinelerinde blok ya da moloz vagon üzerinde sabit durur, üçüncü eksen hareketi de S/T makinesinin kendisi üzerinden yapılır. Diğer iki eksen hareketi iki ayaklı S/T sistemi ile aynıdır. Birinci eksen plaka derinliğinin ayarlandığı düşey eksendir. İkinci eksen ise kesimin yapıldığı yatay eksendir. Üçüncü eksen köprü sistemi hidrolik sistemler vasıtası ile hareketi sağlar. Dört ayaklı S/T tipinin avantajı iki ayaklıya göre vagondaki doğal taş sabit durduğu için kesim hassasiyetinin yüksek olmasıdır. Şekil 4.3'te dört ayaklı S/T makinesin genel görünümü verilmiştir.



Şekil 4.3 : Dört ayaklı S/T makinesi genel görünümü.

4.2 S/T Blok Kesme Makinesinin Elemanları

Yukarıda bahsi geçen S/T makinelerinde yer alan ve kullanılan makine elemanları bu bölümde detaylandırılacaktır.

4.2.1 Kesme arabası

Yatay ve dikey testereler ile bunları çalıştıran motorların yer aldığı ve S/T makinelerinin en önemli elemanıdır. Motordan elde edilen güç kasnaklar yardımıyla

testerelere iletilir ve testerelerin hareketi sağlanır. Aynı zamanda kesim işleminde aşırı ısınmaları önlemek, kesimi kolaylaştırmak ve elmas aşınmasını azaltmak amacıyla su sistemi de bulunur. Yüksek hızda dönen testerelerden kaynaklı oluşabilecek titreşimlerin absorbe edilmesi kesim hassasiyeti için oldukça önemlidir. Bu yüzden ağır ve güçlü bir yapıya sahip olması için pik demir dökümden üretilir. Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 : Kesme arabası.

4.2.2 Köprü

Kesme arabasının yerleştirildiği ve kesme arabasını taşıyan, sağa-sola hareketini sağlayan kısımdır. Kesim hassasiyetini arttırmak amacı ile kızaklar özel alaşımlı bronzdan imal edilirler. Buradaki kızaklar rutin olarak gres ile yağlanarak hareketin kolaylaşmasını ve kesim hassasiyetinin korunması sağlanır.

4.2.3 Yan köprüler

Kesim arabasının yer aldığı ana köprüyü taşıyan kısım yan köprülerdir. Bu kısımda hareket ileri geri doğru sağlanır ve istenen plaka kalınlığı bu yan köprülerin hareketi ile sağlanır. Plaka kalınlığındaki hassasiyetinin korunması amacı ile buradaki kızaklar

4.2.7 Kesici testereler

Dikey ve yatay olmak üzere iki adet adet testere S/T makinelerinde kullanılır. Dikey olan plaka yüksekliğinin ayarlanması ile kesimi blok numunesinin uzun kenarı boyunca keserken, yatay testere ise kalınlığın ayarlandığı kısmın kesimini yapar. Dikey testereler genellikle 1000-1800 mm çaplarında iken yatay testereler 350-600 mm arasında değişir.

4.3 S/T Makineleri ile Kesim İşlemlerinin Yapılışı

Hassas kesimlerin yapılabilmesi amacı ile S/T makinesini etkileyen birçok parametre mevcuttur. S/T makinesinin kesim işleminin detaylandırılması bu bölümde yapılacaktır. S/T makinesinde yapılan işlemler şu şekilde sıralanabilir;

- Öncelikle ocaktan getirilen doğal taşlar vagona yerleştirilir. Vagona yerleştirilmeden önce vagon üzerine iki adet uzun kalas koyulur ve blok ya da molozlar bu kalaslar üzerine yerleştirilir. Kalasların aynı yükseklikte olması ve açıklığının iyi ayarlanması üzerine koyulacak blok ya da molozun dengesi için önemlidir.
- Vagona yerleştirilen blok ya da moloz vagonun hareketi ile kesim ünitesinin altına getirilir ve blok numunesine ait paralellik kontrolleri yapılır.
- Kesime başlanmadan önce kesim esnasında oluşabilecek hem ısıyı hem de kırık ve çatlakları önleme amacıyla sisteme su verilir.
- Daha sonra hem blok hem de moloz için ilk kat tıraşlama olan tarama olarak da isimlendirilen işlem yapılarak en az kayıpla blok ya da molozun üst yüzeyi tıraşlanır ve düz bir yüzey elde edilir. Bu ilk kat kesimden plakalar alınmaz.
- Üst yüzeyi düz hale getirilen blok ya da molozun plaka elde edilecek kesimlerine geçilir. Köprü üzerinde hareket eden testere bloğa gelene kadar daha yüksek hızla getirilir ve böylece blok üretim hızında kayıplar yaşanmaz. Blok ve molozun kesime başlanması esnasında ise hız yavaşlatılarak kesim işlemine başlanır. Özellikle sert doğal taşlarda kesim hassasiyetinin korunması amacıyla hızın azaltılması oldukça önemlidir. Daha sonra makine ayarlanan potansiyometre hızına getirilerek kesme işlemi tamamlanır. Bu esnada S/T operatörünün sürekli gözetimi olması önemlidir.

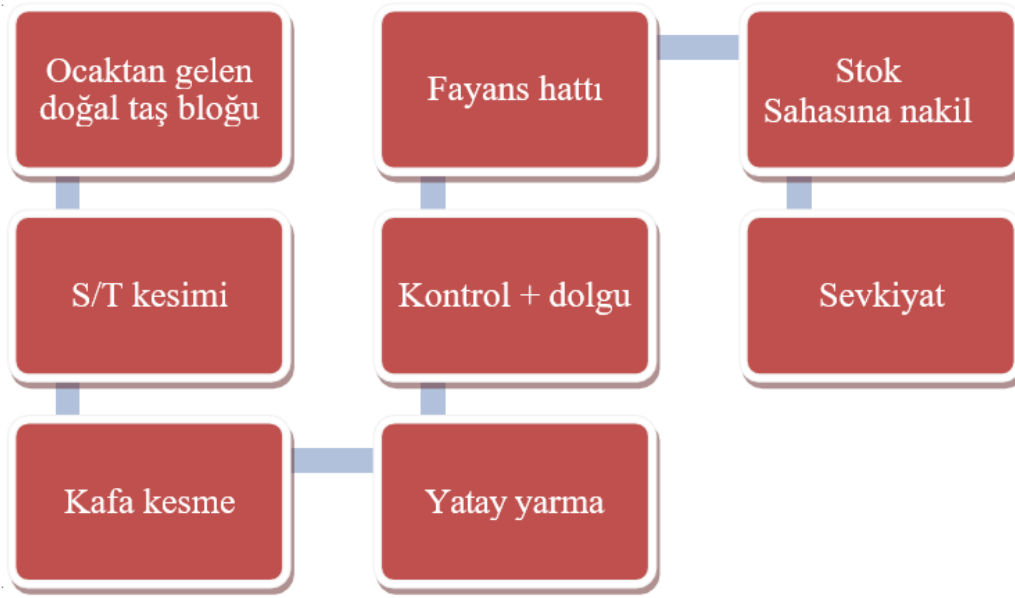
5. S/T MAKİNELERİNİN PERFORMANS ANALİZLERİ

5.1 Fabrikaların Tanıtımı

Bu çalışmada 8 farklı sedimanter kökenli doğal taş seçilerek S/T makinesi ile üretim yapan fabrikalarda performans ölçümleri yapılmıştır. Bu doğal taşlar şöyle sıralanabilir; Şuhut Noçe Traverten, Isparta Bej, Sivrihisar Bej, Bilecik Bej, Karaman Traverten, Manisa Kula Traverten, Emirdağ Gümüş Traverten, Emirdağ Klasik Traverten.

Performans ölçümler Afyonkarahisar'da yer alan çeşitli dairesel testereli S/T makineleri yer alan doğal taş işleme fabrikalarında yapılmıştır. Bu fabrikaların üretim kapasiteleri yıllık 50.000 – 100.000 m² arasında değişmektedir. Bu fabrikalardan bazılarında ürün nihai ürüne ulaşılarak satılırken bazı fabrikalarda ise S/T kesimleri sonrasında birtakım işlemler (cilalama, pah kırma, honlama, taşlama vb.) için diğer doğal taş işleme fabrikalarına gönderilmektedir. Bu firmalardan çoğu kendi ocağından gelen doğal taşları işlediği gibi aynı zamanda fabrika kapasitesi fazla olanlar dışarıdan gelen blokları da fason kesim diye tabir edilen yöntemle kesmektedirler.

Birçok doğal taş işlenmesi yapılsa da bu fabrikalarda çoğunlukla bej ve traverten işlemleri yoğunluktadır. Bunun yanında gerçek mermerler de bu fabrikalarda işlenmektedirler. Öncelikle ocaktan gelen bloklar kalitelerine göre sınıflandırılır ve katrak makinesine uygun olmayan ya da levha istenmeyen bloklar S/T makinesinde kesilmek üzere ayrılırlar. Daha sonra S/T kesimi yapılan bloklardan çıkan plakalar baş kesmede düzeltilirler ve oradan işlenmek üzere fayans hattına girerler, kontrol ve özellikle de travertenlerde dolgu istenmişse dolguları yapılır. Eğer istenen kalınlıkta değilse yatay yarma işe istenilen ölçülere düşürülürler. Nihai ürün haline gelen doğal taşlar stok ya da satış için stok sahasına çekilirler (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : S/T kullanılan doğal taş fabrikalarında üretim aşamaları.

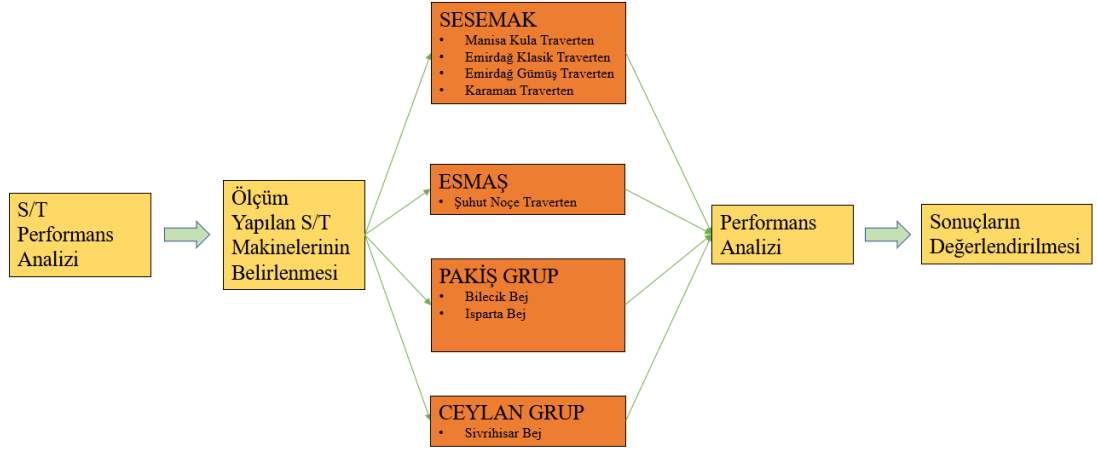
5.2 Performans Analizleri

Yukarıda bahsi geçtiği üzere sekiz farklı doğal taş büyük çaplı dairesel testere ile kesim yapan S/T makinelerinde kesim yapılırken incelenmiş olup, bu makinelere yönelik performans değerlendirmeleri bu bölümde detaylıca incelenmiştir. İncelenen tüm S/T makineleri 4 ayaklı olup bu makinelere yönelik özellikler aşağıda detaylandırılacaktır.

Öncelikle performans analizlerinin yapılacağı S/T makineleri seçilmiş olup daha sonra bunlara yönelik makine özellikleri detaylandırılmış ve çalışma prensipleri ortaya koyulmuştur. Tüm bu analizlerin nihai amacı dairesel testere ile kesim yapan S/T makinelerinin toplam 1 saatte ortaya çıkarabildiği nihai ürün miktarı yani alansal plaka üretim oranını bulmaktır ve m^2/h olarak ortaya koymaktır. Alansal plaka üretimi etkileyen parametreler şunlardır;

- Net kesme süresi
- Bir plaka kesildikten sonra bıçağın geri dönme ve duraklama süresi
- Operatör etkisi

Bu gibi parametreler bu çalışmada analiz edilmiş olup S/T makinelerine yönelik analizler yapılırken takip edilen aşamalar şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Performans analizi akım şeması.

Bu çalışmada analizler yapılan S/T makinelerine ait fotoğraflar şekil 5.3, şekil 5.4 ve şekil 5.5’te verilmiştir.



Şekil 5.3 : Esmâş S/T.



Şekil 5.4 : Ceylan Grup S/T.



Şekil 5.5 : Sesemak S/T.

Bu analizler yapılırken Manisa Kula Traverten, Emirdağ Klasik Traverten ve Emirdağ Gümüş Traverten Sesemak Marka 1750 mm testere çaplı S/T ile kesilmiştir. Karaman Traverten de Sesemak marka S/T ile kesilmiş olup testere çapı 1400 mm'dir. Bilecik bej ve Isparta bej Pakiş Grup marka S/T ile kesilmiş olup testere çapları 1300 mm'dir. Bunun yanında Şuhut Noçe Traverten Emaş marka S/T ile kesilmiştir ve testere çapı 1400 mm'dir. Son olarak Sivrihisar Bej ise 1200 mm dairesel testere çapı olan Ceylan Grup marka S/T ile kesilmiştir.

Analizler yapılırken her bir farklı taş için farklı plaka ölçülerinde kesimler yapılmış olup Manisa Kula Traverten 3,1 cm kalınlık, 33 cm en ve 315 cm boy; Emirdağ Klasik Traverten 3,4 cm kalınlık 48 cm en ve 250 cm boy; Emirdağ Gümüş Traverten 3,4 cm kalınlık, 43 cm en ve 250 cm boy, Şuhut Noçe Traverten 3 cm kalınlık, 32 cm en ve 305 cm boy; Karaman Traverten 3 cm kalınlık, 33 cm en ve 210 cm boy; Sivrihisar Bej 4,8 cm kalınlık, 32 cm en ve 220 cm boy; Bilecik Bej 2 cm kalınlık, 32 cm en ve 220 cm boy; Isparta Bej 3,4 cm kalınlık, 33 cm en ve 170 cm boy; olarak işlemler yapılmıştır (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 : Doğal taşların kesilme boyutları.

Doğal Taş	Kalınlık (cm)	En (cm)	Boy (cm)
Manisa Kula Traverten	3,1	33	315
Emirdağ Klasik Traverten	3,4	48	250
Emirdağ Gümüş Traverten	3,4	43	250
Şuhut Noçe Traverten	3,0	32	305
Karaman Traverten	3,0	33	210
Sivrihisar Bej	4,8	32	220
Isparta Bej	3,4	33	170
Bilecik Bej	2,0	32	220

Her farklı doğal taşın S/T makinelerinde performans analizi yapılırken 10'ar defa olmak üzere süre ölçümleri tekrarlanmış olup aritmetik ortalamaları alınarak toplam kesme süresi ve boşa geçen süreler ölçülmüştür. Isparta Bej numunesinin örnek bir ölçüm tablosu Çizelge 5.2'de verilmiştir. Dairesel testerenin kesme süresi ve boş geri

dönme ve bir sonraki plakayı kesmeye başladığı an bir tur olarak alınmıştır. Çizelge 5.2’de kesme süresi ve bir sonraki kesime başlayana kadar geçen boş süre detaylandırılmıştır.

Çizelge 5.2 : Isparta Bej örnek süre ölçüm tablosu.

Ölçüm No.	Kesme Süresi (sn.)	Boş Dönme Süresi (sn.)
1	103	19
2	104	20
3	106	20
4	103	19
5	104	19
6	107	20
7	105	20
8	105	20
9	103	19
10	100	19
Ortalama	104	19,5

Çizelge 5.3 : Tüm doğal taşların toplu süre ölçüm tablosu.

Doğal Taş	Ortalama Kesme Süresi (sn.)	Ortalama Boş Dönme Süresi (sn.)	Toplam Geçen Süre (10 ölçüm aritmetik ortalaması, sn.)
Manisa Kula Traverten	184,0	33,6	217,6
Emirdağ Klasik Traverten	134,6	30,6	165,2
Emirdağ Gümüş Traverten	128,3	26,2	155,5
Şuhut Noçe Traverten	139,0	25,7	164,7
Karaman Traverten	92,0	17,3	109,3
Sivrihisar Bej	133,3	30,6	163,9
Isparta Bej	104,0	19,5	123,5
Bilecik Bej	160,5	25,3	185,8

Toplam 10’ar defa yapılan tur ölçümleri sonucu aritmetik ortalamalar kullanılarak toplam bir tur süresi hesap edilmiştir. Her bir bloktan çıkan plaka boyutları üzerinden bir plaka alanı hesap edilmiştir. Toplam geçen süre ile çıkan plaka sayısı üzerinden bir saatte ortaya çıkan üretim alansal plaka üretim oranı (m²/h) olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.3’de tüm ölçümleri yapılan doğal taşlara ait plaka boyutları, bir tur için geçen toplam sürelerin aritmetik ortalaması ve alansal plaka üretim oranı verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Doğal taşlara ait alansal plaka üretim oranları.

Doğal Taş	S/T	Testere	Plaka	Toplam	Ortalama	Standart
	Makine	Çapı	Boyutları	Ortalama	Alansal	Sapma
	Markası	(mm)	(cm×cm)	Süre (sn.)	Plaka Üretim Oranı (m ² /h)	
Manisa Kula Traverten	Sesemak	1.750	33×315	217,6	17,23	1,49
Emirdağ Klasik Traverten	Sesemak	1.750	48×250	165,2	26,15	1,55
Emirdağ Gümüş Traverten	Sesemak	1.750	43×250	155,5	24,89	1,89
Şuhut Noçe Traverten	Easmaş	1.400	32×305	164,7	21,33	0,28
Karaman Traverten	Sesemak	1.400	33×210	109,3	22,83	0,77
Sivrihisar Bej	Ceylan	1.200	32×220	163,9	15,46	0,20
Isparta Bej	Pakış	1.300	33×170	123,5	16,35	0,11
Bilecik Bej	Pakış	1.200	32×220	123,5	13,64	0,32

Alansal plaka üretim oranı plaka boyutları ya da sayısı değişse de bir saate kesilen toplam alanı m² olarak verdiği için doğal taşlara yönelik direkt bir karşılaştırma sunma olanağı sunmaktadır.

10’ar adet yapılan ölçümler sonucu alansal plaka üretim oranları şöyledir; Manisa Kula Traverten 17,23 m²/h; Emirdağ Klasik Traverten 26,15 m²/h; Emirdağ Gümüş Traverten 24,89 m²/h; Şuhut Noçe Traverten 21,33 m²/h; Karaman Traverten 22,83 m²/h; Sivrihisar Bej 15,46 m²/h; Isparta Bej 16,35 m²/h; Bilecik Bej 13,64 m²/h olarak bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre S/T performans analizinde travertenlerin alansal plaka üretim oranları (m²/h) diğer bejlere göre yüksek çıkmıştır. Bunun sebepleri olarak

basınç dayanımlarının ve yüzey sertliklerinin görece düşük olmasıdır. Travertenler içinde ise Manisa Kula travertenin APÜO değeri diğer travertenlere göre düşüktür, bunun sebebinin Manisa Kula travertenindeki tabakalanmaların S/T kesimini zorlaştırması söylenebilir. Genel olarak doğal taşların alansal plaka üretim oranları 13,64 m²/h ile 26,15 m²/h arasında değişmektedir. Bu ölçümler yapılırken S/T performansını etkileyen faktörlerin en başında doğal taşlara ait fiziksel ve mekanik özellikleri olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında S/T makinesinin kendine ait motor gücü, tork, testerenin çapına bağlı olarak çevresel hızları gibi teknik özellikler sayılabilir. Ayriyeten dışsal ve çevresel faktörler olarak operatör etkisi S/T performansını etkileyen diğer bir faktördür.



6. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Bu bölümde fabrikalarda süre analizleri ve S/T performans analizleri yapılan doğal taşlara ait fiziksel ve mekanik özelliklerin laboratuvar ortamında belirlenmesi ve bu özellikler ile S/T performansı arasındaki korelasyonlara yönelik ön çalışma yapılmıştır.

6.1 Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Fiziksel özellik en genel tanımıyla herhangi bir malzemeye ait onun ayırt edici özelliği olarak tanımlanabilir. Bunlardan en çok bilineni bu bölümde de kullanılacak olan özgül ağırlıktır. Mekanik özellik ise bir cismin uygulanan kuvvetlere karşı göstermiş olduğu tepki, mekanik davranış olarak tanımlanır. Bu davranış biçimini mekanik özellikleri belirler. Mekanik özellikler, değişik tür zorlamalar altında oluşan gerilmeler şekil değiştirmeleri ölçerek ve gözleyerek saptanır (Çukurova Üniversitesi, t.y.).

Fabrikalarda pratik analize tabi tutulan doğal taşların ayırt edici özellikleri kullanılarak performans tahminine yönelik kullanılabilecek fiziksel ve mekanik özellikler karot alınabilecek boyutlarda getirilen blok numuneler vasıtasıyla laboratuvar da deneylere tabi tutulmuştur.

Blok numune olarak getirilen doğal taşlar ilk önce karot alma makinesine sokulmuş ve NX tipi olarak da bilinen 54 mm çaplı karotlar elde edilmiştir (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2). Elde edilen 54 mm çaplı karotlar dairesel testere ile fiziksel ve mekanik deneyler için kullanılmak üzere boyutlandırılmıştır. Karot alınan numuneler şunlardır; Manisa Kula Traverten, Emirdağ Klasik Traverten, Emirdağ Gümüş Traverten, Şuhut Noçe Traverten, Karaman Traverten, Sivrihisar Bej, Isparta Bej, Bilecik Bej.



Şekil 6.1 : Karot alma makinesi.



Şekil 6.2 : NX tipi 54 mm çaplı karot numuneleri.

Bu laboratuvar çalışmaları kapsamında tek eksenli basınç dayanımı (UCS), dolaylı çekme dayanımı diğeri adıyla Brazilian ekme dayanımı (BTS), Schmidt çekici yüzey sertliğı deneyi (SHH), Shore scleroscope yüzey sertliğı deneyi (SSH), Cerchar aşındırıcılık deneyi (CAI) ve doğıal birim hacim ağırlık deneyleri yer almaktadır. Tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı Uluslararası Kaya Mekaniğı Birliğı'nin (ISRM, 2007) tayin ettiğı ve standartlarını oluşturduğı metotlar izlenerek yapılmıştır. Cerchar aşındırıcılık deneyi Amerikan Standart ve Test Metotları (ASTM, 2010) prosedürlerine uygun olarak yapılmıştır. Schmidt çekici yüzey sertliğı deneyi Fowell ve McFeat-Smith (1976), Schore scleroscope yüzey sertliğı ise McFeat-Smith (1977) prosedürlerine uygun olarak yapılmıştır. Bahsi geçen her bir deneye ait takip edilen metotlar, örnekler de verilerek aşağıdaki alt bölümlerde izah edilmiştir.

6.1.1 Tek eksenli basınç dayanımı deneyleri

Bu deneyin nihai amacı yukarıda bahsi geçen standartlar üzerinden hazırlanan karot numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarının tayinidir. Numune çapları 54 mm olarak hazırlanan karotların yükseklik/çap oranları 2,5 olacak şekilde ayarlanmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı deneylerinde yükleme hızı sabit olup 0,50 kN/sn. ya da 075 kN/sn. olarak alınmıştır. Denklem 6.1'de UCS deneyinin hesaplamasına ait formül verilmiştir.

$$\sigma_c = F/A \quad (3.1)$$

Burada;

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, MPa

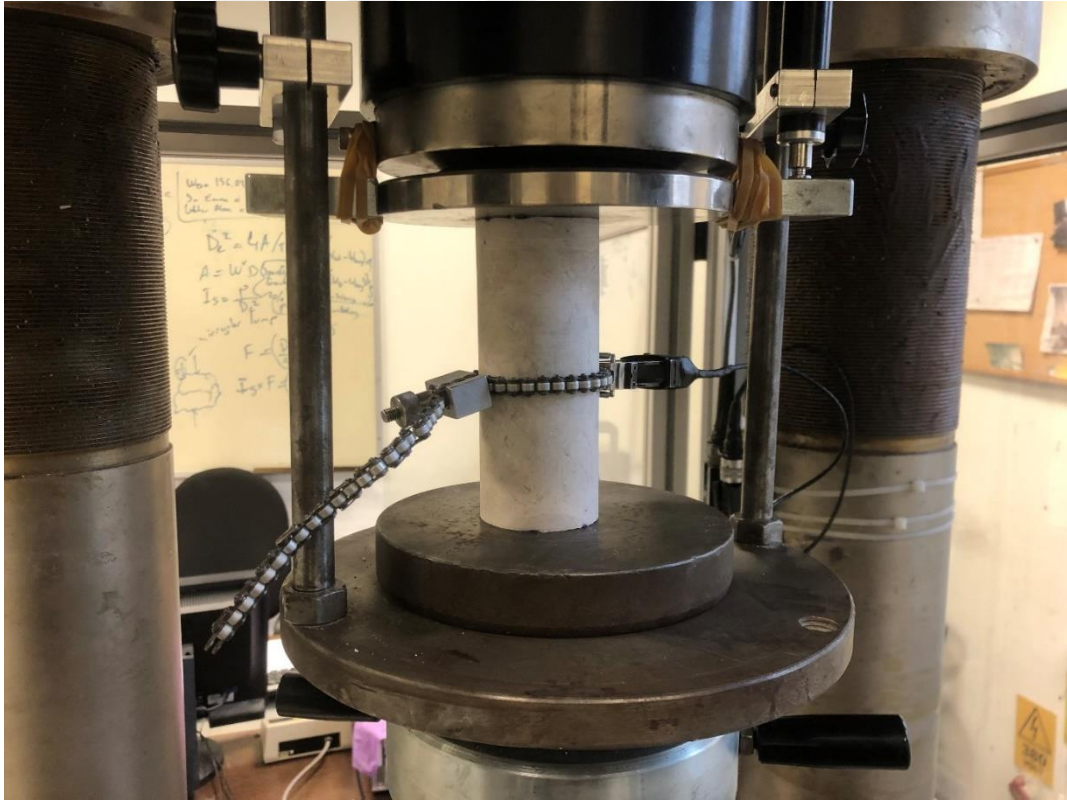
F : Kırılma yükü, N

A : Silindirik numunenin kesit alanı, mm²

Standartlara uygun olarak boyutlandırılan karot numuneleri daha sonra st ve alt yüzeyinin paralelliğini sağılama amacıyla kafa düzleme makinesine sokulup paralellik sağılanmıştır. Deneye hazır hale gelen numune deney öncesi (şekil 6.3) fotoğraflandırılarak MTS marka tek eksenli basınç dayanımı makinesine yerleştirilerek deneye hazır hale gelir (şekil 6.4). Deney sonrası aynı numune fotoğraflandırılır (şekil 6.5). Daha sonra elde edilen verilen bilgisayardan çekilerek analize tabi tutulur.



Şekil 6.3 : Sivrihisar bej (SBG) numunesinin deney öncesi fotoğrafı.



Şekil 6.4 : UCS ve elastisite deneyine hazırlanan numune.



Şekil 6.5 : Sivrihisar bej (SBG) numunesinin deney sonrası fotoğrafı.

Bilgisayardan alınan veriler üzerinden yapılan hesaplamalar sonucu Sivrihisar Bej numunesi ait örnek UCS hesaplaması Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Sivrihisar bej numunesinin örnek UCS hesap çizelgesi.

Numune No	Numune Boyu (cm)	Numune Çapı (cm)	Numune ağırlığı (gr)	Doğal birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	Yenilme Yüğü (kN)	Basınç Dayanımı (MPa)	Yenilme tipi
UCS 1	13,30	5,46	837,46	2,69	215,2	92,11	Normal Yenilme
UCS 2	13,60	5,46	847,38	2,66	141,5	60,35	Normal Yenilme
UCS 3	13,20	5,45	823,01	2,67	191,9	82,14	Normal Yenilme

6.1.2 Doğal birim hacim ağırlık tayini

Tek eksenli basınç dayanımı için hazırlanan numuneler üzerinden doğal birim hacim ağırlık tayinleri yapılmıştır. Öncelikle iki yüzeyi paralel hale getirilen numunenin üç farklı noktası referans alınarak numune yükseklikleri hassas kumpasla ölçülmüş daha sonra aynı şekilde üç farklı noktadan çap ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen

ölçümler üzerinden gr/cm^3 cinsinden üç farklı ölçümlere ait ortalamalar bulunarak numunelerin doğal birim hacim ağırlıkları hesap edilmiştir.

6.1.3 Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı

Kayaç numunelerinde direkt olarak çekme dayanımı testi diğer örneğin metal numunelerde olduğu gibi yapılamadığı için bu metot geliştirilmiştir. Numune standart ölçülerde hazırlandıktan sonra paralel iki yüzeye dik olarak numunenin yanal yüzeyine kuvvet uygulanmaktadır. Yenilene kadar numuneye 0,25 kN/sn. sabit yükleme hızı verilmektedir. Daha sonra yenilmeye uğrayan numunenin yenildiği noktadaki dayanımı Denklem 6.2'deki yaklaşımda kullanılarak dolaylı basınç dayanımı elde edilmektedir.

$$\sigma_t = 2 \times F / (\pi \times L \times D) \quad (6.2)$$

Burada;

- σ_t : Dolaylı çekme dayanımı, MPa
F : Kırılma yükü, N
L : Silindirik numunenin boyu, mm
D : Silindirik numunenin çapı, mm

Bu çalışmada standartlarda belirlenen BTS numunesi ölçüleri kullanılmış olup, numune çapı NX tipi 54 mm'dir ve yükseklik/çap oranı 0,5 olarak ayarlanmıştır. Sabit yükleme hızı ise 0,25 kN/sn'dir.

Standartlara uygun boyutlara getirilen numuneler Şekil 6.6'da görülen deney cihazına yerleştirilir. Cihazın yüklemesi BTS numunesini yanal yüzeyine gelecek şekilde ayarlanır (Şekil 6.7). Daha sonra gerekli ayarlamalar yapılarak deney başlatılır. Deney sonrası kırılan numune Şekil 6.8'de verilmiştir. Örnek olarak Manisa Kula travertenine ait deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 6.9'da verilmiştir. Her bir doğal taşta ait dolaylı çekme dayanımı testi beşer defa yapılır ve ortalamalar alınarak dolaylı çekme dayanımları elde edilir.



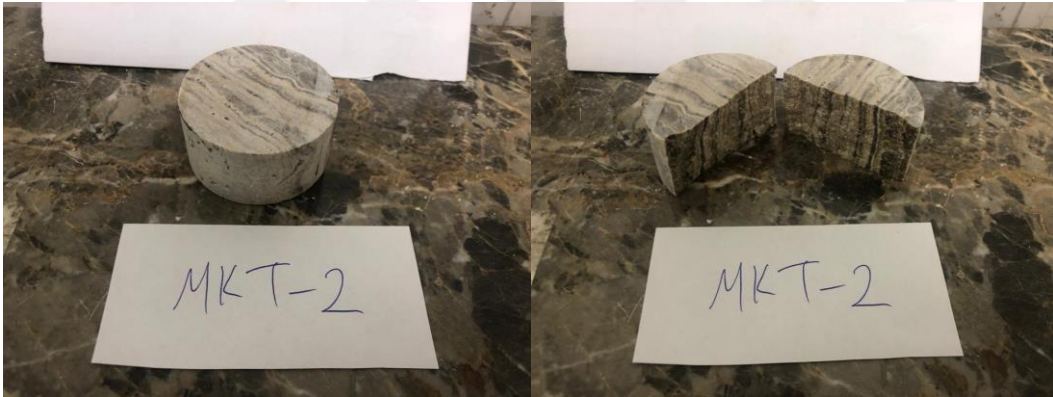
Şekil 6.6 : BTS deney cihazı.



Şekil 6.7 : Deney numunesinin cihaza yerleştirilmesi.



Şekil 6.8 : Yenilme gerçekleşikten sonra.



Şekil 6.9 : Manisa Kula Traverten (MKT) deney öncesi ve sonrası fotoğrafları.

Manisa Kula Traverten numunesin ait örnek bir hesaplama tablosu Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 : Manisa Kula travertenine ait örnek BTS hesaplama tablosu.

Numune No.	Numune çapı (cm)	Numune boyu (cm)	Yenilme yükü (kN)	Çekme dayanımı (MPa)	Yenilme tipi
BTS 1	5,45	3,19	9,5	3,48	Normal yenilme
BTS 2	5,46	2,86	11,4	4,66	Normal yenilme
BTS 3	5,47	3,06	12,1	4,61	Normal yenilme
BTS 4	5,46	3,21	14,2	5,16	Normal yenilme
BTS 5	5,46	2,72	12,1	5,20	Normal yenilme
Ortalama				4,62	

Not: Yükleme hızı 0,25 kN/s'dir. Numuneler, doğal nem içerikleriyle test edilmiştir.

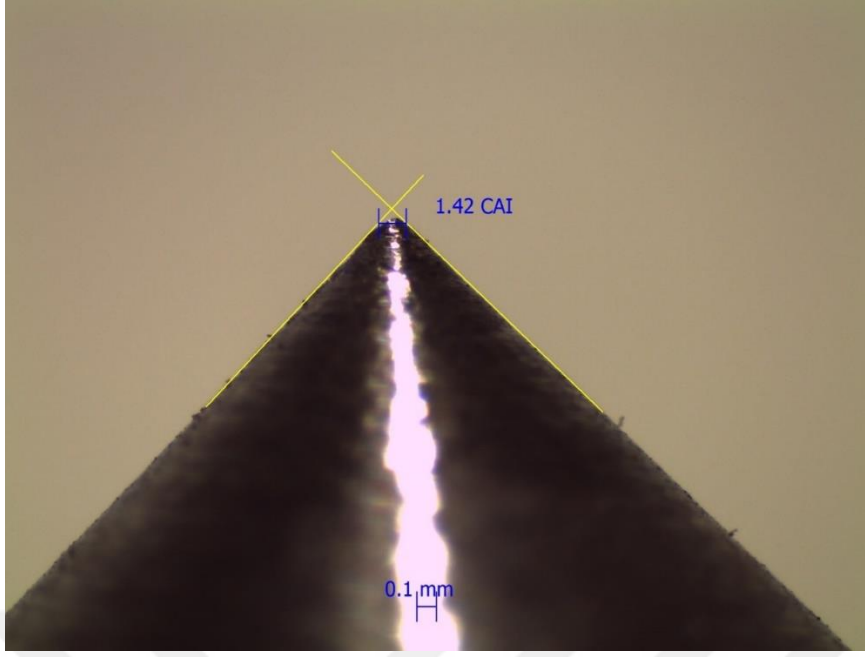
6.1.4 Cerchar aşındırıcılık indeksi deneyi (CAI)

Cerchar aşınma indeksi deneyi (CAI), 160 kg/mm çekme dayanımı olan 90° tepe açılı konik bir uç (pin) 70 N basma kuvveti ile taze kırılmış numune yüzeyinde yaklaşık bir saniye sürede 10 mm çekilmektedir ve uçta oluşan aşınma yüzeyi doğal taş örneğinin aşındırıcılığını vermektedir.

Cerchar aşındırıcılık deneylerinde kullanılan konik uç, 55 Rockwell sertliğine sahiptir. Bu çalışmadaki deneylerde kullanılan Cerchar deney seti Şekil 6.10'da verilmiştir. Konik uç 30X büyütme kapasitesine sahip dijital mikroskop altında incelenerek ucun yüzey çapındaki aşınması 1/1000 mm hassasiyetinde ölçülmüştür (Şekil 6.11). Her 1/10 mm'ye karşılık gelen aşınma değeri 1 CAI değeri olarak belirlenmiştir (ASTM, 2010).

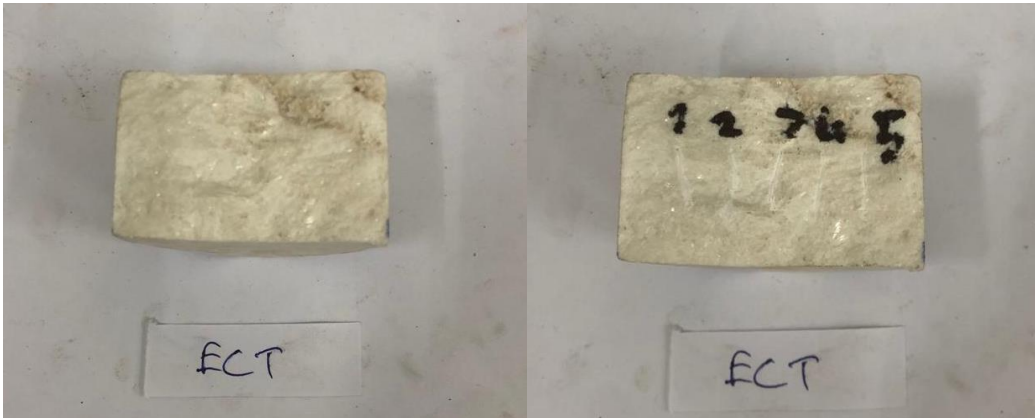


Şekil 6.10 : Bu çalışmada kullanılan Cerchar deney aleti.



Şekil 6.11 : CAI okuma örneği.

Taze kırılmış yüzey üzerinden önceden bilinmiş beşer adet pin ile çekilen ve bu pinler üzerinde oluşan aşınmalar mikroskop vasıtasıyla okunmaktadır. Her bir pin için iki adet okuma yapılmaktadır. Böylelikle toplam bir numuneye ait 10 adet okuma elde edilmektedir. Bu okumaların aritmetik ortalaması alına bir numuneye ait CAI değeri elde edilmektedir. Emirdağ klasik travertene ait örnek bir deney öncesi ve sonrası fotoğrafları Şekil 6.12’de verilmiştir. Aynı şekilde örnek bir hesaplama tablosu Çizelge 6.3’te verilmiştir.



Şekil 6.12 : Emirdağ Klasik Travertene ait örnek deney öncesi ve deney sonrası fotoğrafları.

Çizelge 6.3 : Emirdağ Klasik Traverten örnek CAI hesaplama tablosu.

Uç No.	Deney No.	CAI okumaları	Ortalama CAI
1	1; 2	1,22; 1,32	
2	3; 4	1,56; 1,42	
3	5; 6	1,05; 1,07	1,20
4	7; 8	1,20; 1,18	
5	9; 10	1,02; 0,95	

6.1.5 Schmidt çekici yüzey sertliği deneyi

Schmidt çekici kayaçların yüzey sertliklerinin tahmin edilebilmesi için geliştirilmiş basit ve kullanışlı bir deney aletidir. Geliştirilen deney cihazı esas olarak yay, çekiç ve çekice ait kurma kolundan oluşmaktadır. Gerilen yay vasıtasıyla hareket kazanan çekiç, darbeyi kayaca ileten uca çarpar ve geri gelir. Zıplama mesafesi, test edilen doğal taş yüzeyin sertliğine bağlı olarak alet üstünde yer alan ibreden okunur. Deneyler yapılırken cihazın gövdesi doğal taş numunesinin yüzeyine dik olarak uygulanmıştır. Ölçüm yapılan yüzeylerin temiz, kuru ve pürüzsüz olmasına dikkat edilmiştir. Deneylerde L-9 tipi Schmidt çekici kullanılmıştır (ISRM, 1981). Deney prosedürü olarak blok numune üzerinden 20 farklı noktada okuma yapılmıştır. Bu 20 okumaya ait en yüksek 10 okumanın aritmetik ortalaması alınarak Schmidt yüzey sertliği hesaplamaları yapılmıştır. Şekil 6.13 ve Şekil 6.14’de Schmidt çekici testine ait örnekler verilmiştir. Çizelge 6.4’te ise Bilecik Bej numunesine ait örnek bir tablo verilmiştir.



Şekil 6.13 : Schmidt çekici.



Şekil 6.14 : Schmidt deneyi yapılan noktalar.

Çizelge 6.4 : Bilecik bej Schmidt okuma değerleri.

Numune	Kaya ismi	Okuma No									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BBG	BILECIK	62	60	61	62	63	66	62	64	64	65
	BEIGE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		67	61	66	62	62	62	60	65	63	68
En Büyük 10 Okuma		68	67	66	66	65	65	64	64	63	62
SHH Değeri		65									

6.1.6 Shore Scleroscope yüzey sertliği deneyi

Shore scleroscope deneyi, kayaların yüzey sertliklerinin belirlenmesi için geliştirilmiş olan kolay ve ekonomik bir yöntemdir. Ana gövde içerisinde serbestçe yukarı ve aşağı hareket edebilen elmas uçlu bir ağırlık düzgün pürüzsüz ve temiz olarak hazırlanmış numunenin üzerine düşürülür. Elmas uçlu ağırlığın numune yüzeyine çarparak kat ettiği mesafe (zıplama yüksekliği) Shore yüzey sertlik değeri olarak ifade edilir. Deneyler blok numuneler üzerinde C-2 tip Shore scleroscope kullanılarak yapılmıştır (ISRM, 1981). Deneylerde blok numuneler kullanılmış ve blok üzerinden on farklı noktada okuma yapılmıştır. Her bir doğal taşın yüzey sertliğinin belirlenmesi için deneyler beş set olarak tekrarlanmış ve beş set deney sonucunun aritmetik ortalaması alınarak Shore yüzey sertliği hesabı yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan C-2 tip Shore scleroscope deney aleti Şekil 6.15’de verilmiştir. Çizelge 6.5’te ise Şuhut Noçe traverten numunesi üzerinde yapılan beş adet Shore scleroscope yüzey sertliği deneyine ait sonuçlar özet olarak verilmiştir.



Şekil 6.15 : Shore Scleroscope deney aleti.

Çizelge 6.5 : Şuhut Noçe Traverten örnek okuma tablosu.

Numune tipi	Tabakalanma yönü	Okuma No.										Ortalama Shore sertliği
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Blok	Masif	55	56	52	56	56	54	54	50	55	52	54
Blok	Masif	55	60	56	56	58	60	60	58	55	58	57,6
Blok	Masif	54	55	52	56	60	58	52	55	56	54	55,2
Blok	Masif	56	62	60	58	60	52	56	58	55	56	57,3
Blok	Masif	55	58	55	56	54	55	60	56	58	60	56,7
<i>Ortalama</i>												56,2

Yapılan birçok çalışmaya göre doğal taşların kesilebilirliklerine yönelik en etkili faktörlerin başında fiziksel ve mekanik özellik olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada her bir doğal taş için fiziksel ve mekanik özelliklerin tayini için yapılan deneyler Amerikan Standart ve Test Metotları (ASTM, 2010) ve Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği'nin (ISRM, 1981) belirlediği standartlara göre yapılmıştır. Yukarıdaki bölümlerde detaylandırılmış olan fiziksel ve mekanik özelliklerin derli tablosu Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6 : Tüm doğal taşlara ait fiziksel ve mekanik özellikler.

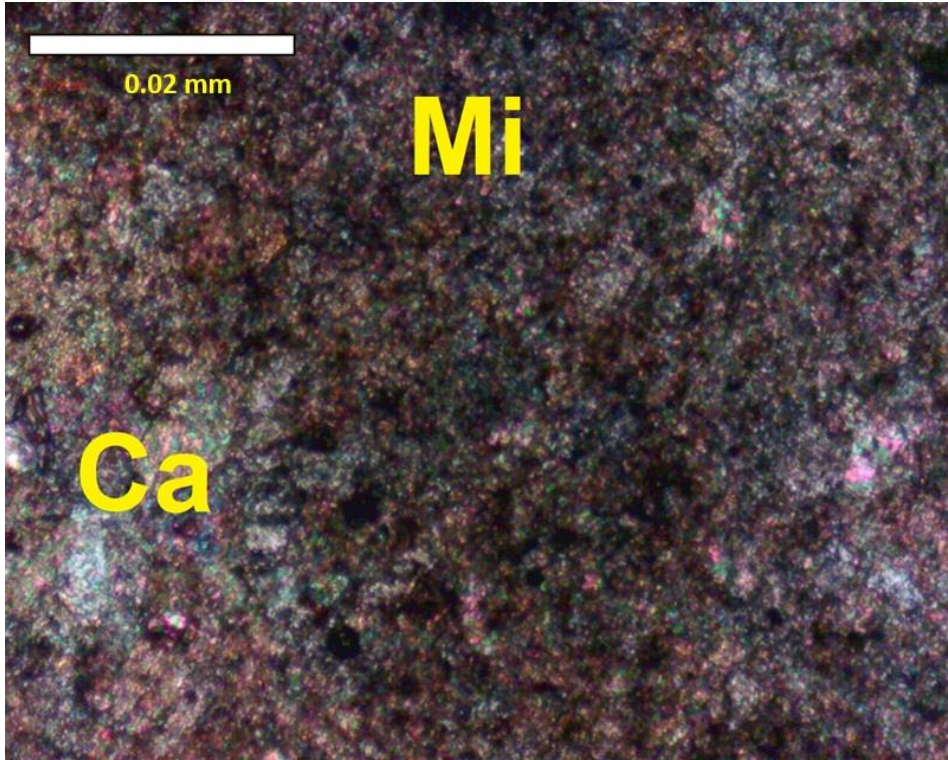
Doğal taş adı	Doğal Birim				Schmidt çekici sertliği	Shore scleroscope sertliği
	Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	UCS (MPa)	BTS (MPa)	CAI		
Şuhut Noçe Traverten	2,58	58,4	6,02	1,31	62,0	56,2
Isparta Bej	2,75	85,3	6,66	2,83	64,0	65,3
Sivrihisar Bej	2,67	78,2	4,89	2,52	62,8	60,5
Bilecik Bej	2,7	90,4	5,99	2,21	65,0	65,2
Karaman Traverten	2,54	46,9	4,12	0,58	56,8	50,2
Manisa Kula Traverten	2,54	66,2	4,62	1,27	59,5	51,2
Emirdağ Gümüş Traverten	2,52	39,0	3,93	1,44	55,2	41,9
Emirdağ Klasik Traverten	2,53	48,4	4,22	1,20	57,6	42,4

6.2 Mineralojik Özelliklerin Belirlenmesi

Kayaçların mineralojik yapı ve bileşenlerinin incelenmesi için araziden getirilen numune kayaç örneklerinden ince kesitler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu ince kesitlerin mikroskop altında görüntüleri analiz edilmiş ve kayacın içeriğinde yer alan mineral dağılımı ve matriks yapısı belirlenmiştir. İnce kesitler hazırlanırken standart lameller kullanılmıştır. Bu lamellerden birine numune yapıştırılırken lamel yüzeyi silisyum karbür toz karışımı ile pürüzlendirilerek düzenlenmiştir. Uygun yüzeyler elde edildikten sonra yapıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapıştırma işleminde malzeme olarak yaklaşık 5 mikron boyutunda olan epoksi kullanılmıştır. Yapışma sonrası pres yapılarak lamellerin ayrılmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Daha sonra lamellerin kalınlıkları inceltilerek uygun boyuta indirilmiştir. Numune hazırlama işlemi sonrası her bir kayaç için hazırlanan ince kesitler polarizan mikroskobu altında görüntülenerek analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucu her bir kayacın mineralleri ve matriks yapıları ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmada kullanılan her bir doğal taş için yapılan ince kesit analizleri aşağıda detaylandırılmıştır.

6.2.1 Emirdağ gümüş traverten

Afyon ili Emirdağ ilçesi çevresinde yapılan saha çalışmasında kayaç el örneği Boggs 1987'e göre "traverten" olarak adlandırılmıştır. Yapılan ince kesit polarizan mikroskobunda incelendiğinde de "mikritik kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır. Traverten egemen olarak boşluklu dokuya sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.16). Travertenden yapılan ince kesitlerin incelenmesinde ana çatıyı oluşturan tanelerin mikritik (intraklast) olduğu taneler arası boşlukların çoğunlukla sparikalsit çimento ile doldurulmuş olduğu gözlenmiştir. Travertende boşluklu bir yapı gözlenmektedir. Boşluğa doğru ise kristal boyutları artmaktadır. Traverteni oluşturan tanelerin minerallerinin boyutları 0,1 mm ile 0,25 mm arasında değişmektedir. Ancak tane boyu dağılımının genelde 0,10-0,150 mm dolayında olduğu saptanmıştır.

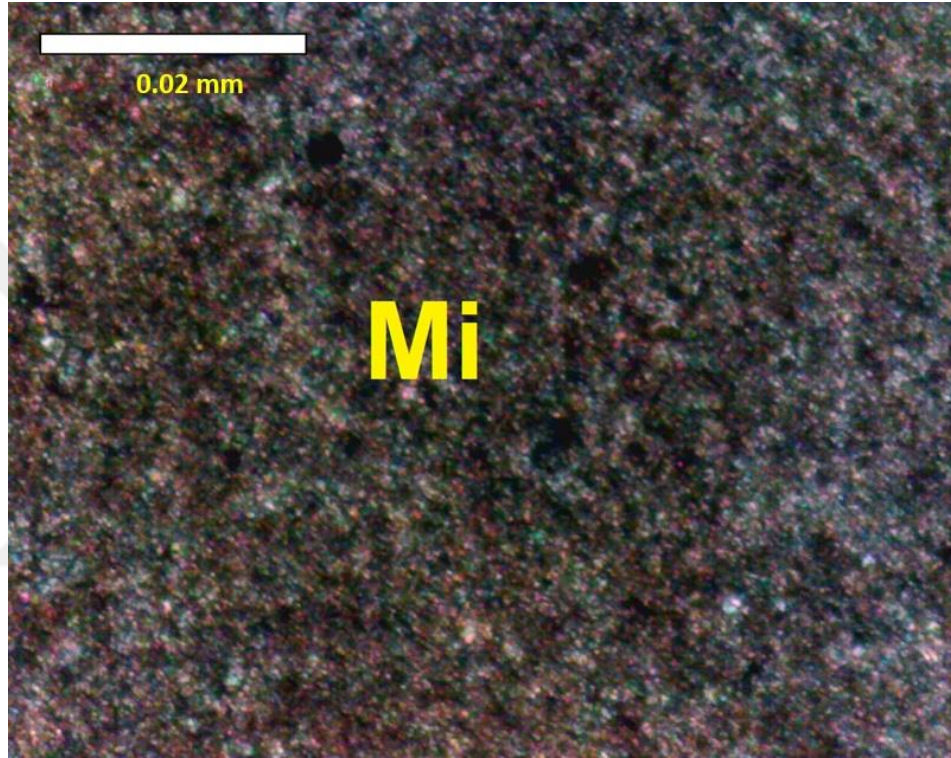


Şekil 6.16 : Emirdağ Gümüş Travertenin polarizan mikroskobundaki genel görüntüsü (Mi: Mikritik, Ca: Kalsit).

6.2.2 Emirdağ klasik traverten

Afyon ili Emirdağ ilçesi çevresinde yapılan saha çalışmasında kayaç el örneği Boggs 1987'e göre "traverten" olarak adlandırılmıştır. Yapılan ince kesit polarizan mikroskobunda incelendiğinde de "mikritik kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır. Traverten egemen olarak boşluklu dokuya sahip olduğu belirlenmiştir. Travertenden

yapılan ince kesitlerin incelenmesinde ana çatıyı oluşturan tanelerin mikritik (intraklast) olduğu taneler arası boşlukların çoğunlukla sparikalsit çimento ile doldurulmuş olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.17). Yer yer geniş çatlaklar içermekte olup bu çatlaklar kalsit taneleri ile doludur. Travertende boşluklu bir yapı gözlenmektedir. Boşluğa doğru ise kristal boyutları artmaktadır. Traverteni oluşturan tanelerin minerallerinin boyutları 0,08 mm ile 0,20 mm arasında değişmektedir. Ancak tane boyu dağılımının genelde 0,125-0,175 mm dolayında olduğu saptanmıştır.

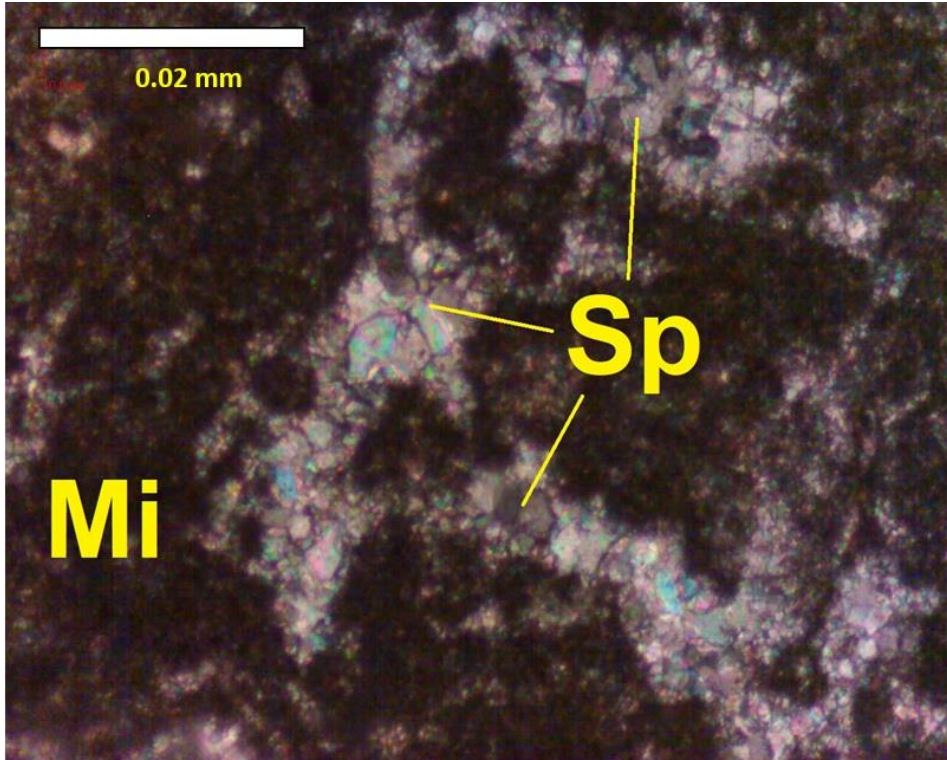


Şekil 6.17 : Emirdağ Klasik Travertenin polarizan mikroskobundaki genel görüntüsü (Mi: Mikritik).

6.2.3 Şuhut Noçe traverten

Afyon ili Şuhut ilçesi çevresinde yapılan saha çalışmasında kayaç el örneği Boggs 1987'e göre "traverten" olarak adlandırılmıştır. Yapılan ince kesit polarizan mikroskobunda incelendiğinde de "mikritik kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır. Travertende egemen olarak boşluklu dokuya sahip olmadığı belirlenmiştir (Şekil 6.18). Travertenden yapılan ince kesitlerin incelenmesinde ana çatıyı oluşturan tanelerin mikritik (intraklast) olduğu taneler arası boşlukların çoğunlukla sparikalsit çimento ile doldurulmuş olduğu gözlenmiştir. Yer yer geniş çatlaklar içermekte olup bu çatlaklar kalsit taneleri ile doludur. Boşluğa doğru ise kristal boyutları artmaktadır. Traverteni oluşturan tanelerin minerallerinin boyutları 0,05 mm ile 0,35 mm arasında

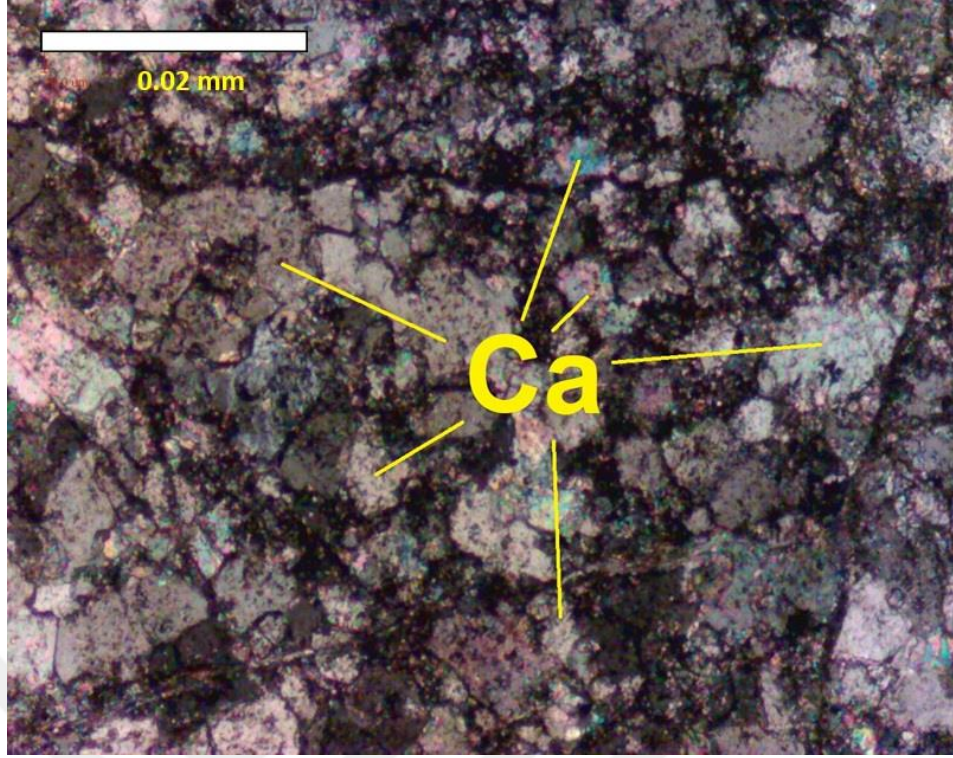
değişmektedir. Ancak tane boyu dağılımının genelde 0,1-0,2 mm dolayında olduğu saptanmıştır.



Şekil 6.18 : Şuhut Noçe travertenin polarizan mikroskobundaki genel görüntüsü (Mi: Mikritik, Sp: Saporit).

6.2.4 Isparta bej

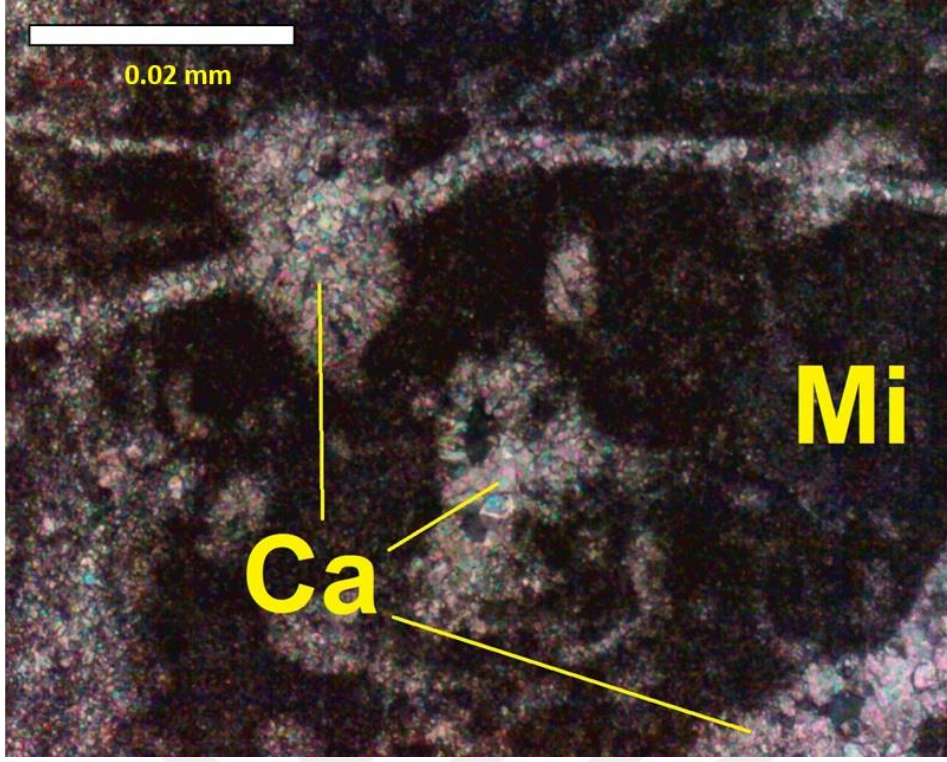
Isparta ili, Eğirdir ilçesi çevresinde yapılan saha çalışmasında kayaç el örneği Boggs 1987'e göre "kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır. Yapılan ince kesit polarizan mikroskobunda incelendiğinde de "intraklastlı mikritik kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır (Şekil 6.19). Bej mermerde mikritik dokunun etrafında kalsit taneler köşeli ve aralarında bağlayıcı malzeme ile tutturulmuşlar. Çok az kuvars içeriği gözlenmektedir. Mermeri oluşturan kalsit minerallerinin boyutları 0,005 mm ile 0,200 mm arasında değişmektedir. Ancak tane boyu dağılımının genelde 0,07-0,09 mm dolayında olduğu saptanmıştır.



Şekil 6.19 : Isparta bej mikritik kireçtaşının polarizan mikroskobundaki genel görüntüsü (Ca: Kalsit).

6.2.5 Sivrihisar bej

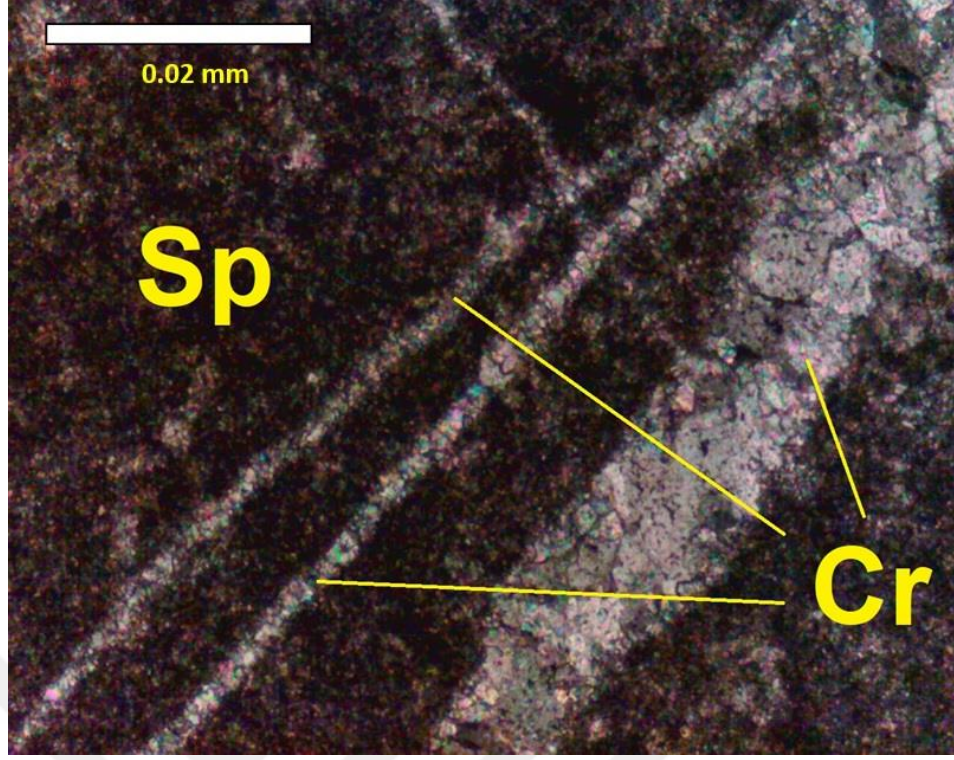
Eskişehir ili, Sivrihisar ilçesi çevresinde yapılan saha çalışmasında kayaç el örneği Boggs 1987'e göre "kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır. Yapılan ince kesit polarizan mikroskobunda incelendiğinde de "mikritik kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır (Şekil 6.20). Bej mermeri oluşturan mikritik dokular içinde mikro çatlaklar ve bu çatlaklar içinde kalsit taneleri vardır. Genel dokuyu oluşturan tanelerin boyutları 0,002 mm ile 0,180 mm arasında değişmektedir. Ancak tane boyu dağılımının genelde 0,06- 0,08 mm dolayında olduğu saptanmıştır.



Şekil 6.20 : Sivrihisar bej mermerin polarizan mikroskobundaki genel görüntüsü (Mi: Mikritik, Ca: Kalsit).

6.2.6 Bilecik bej

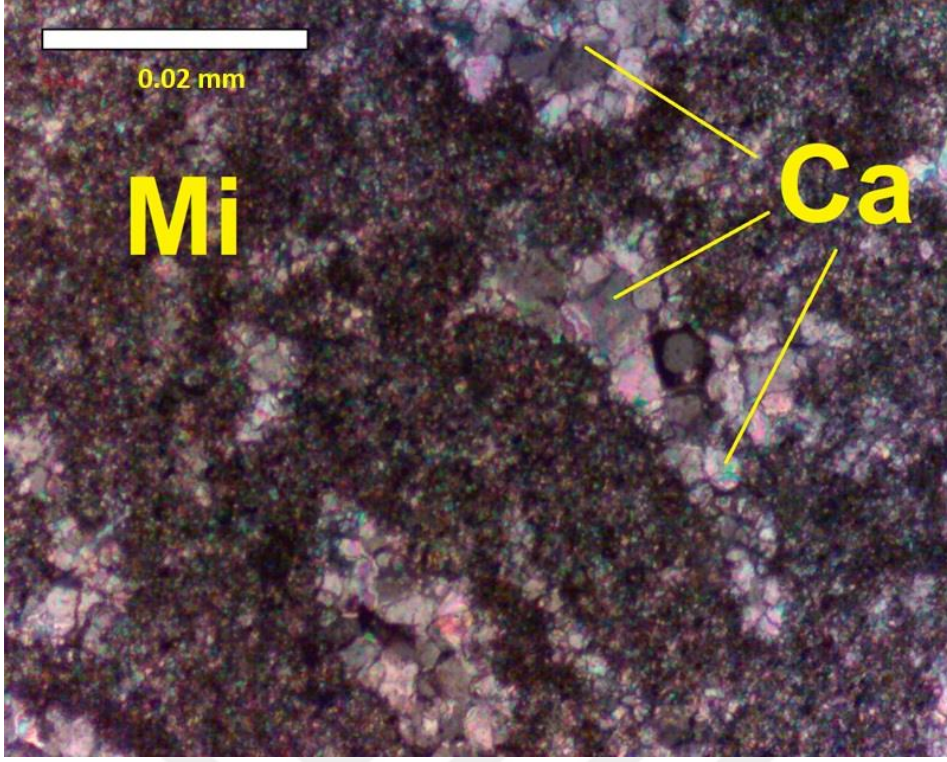
Bilecik ili çevresinde yapılan saha çalışmasında kayaç kayaç el örneği Boggs 1987'e göre "kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır. Yapılan ince kesit polarizan mikroskobunda incelendiğinde de "oolitik sparitik kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır (Şekil 6.21). Bej mermer içerisinde yer yer oolitik yapılar göze çarpmaktadır. Genel dok içerisinde yoğun çatlaklar göze çarpmakta ve içlerinde kalsit dolgular içermektedir. Tanelerin boyutları 0,005 mm ile 0,250 mm arasında değişmektedir. Ancak tane boyu dağılımının genelde 0,08-0,10 mm dolayında olduğu saptanmıştır.



Şekil 6.21: Bilecik bej mermeri polarizan mikroskobundaki genel görüntüsü (Sp: Sparitik, Cr: Çatlak).

6.2.7 Karaman traverten

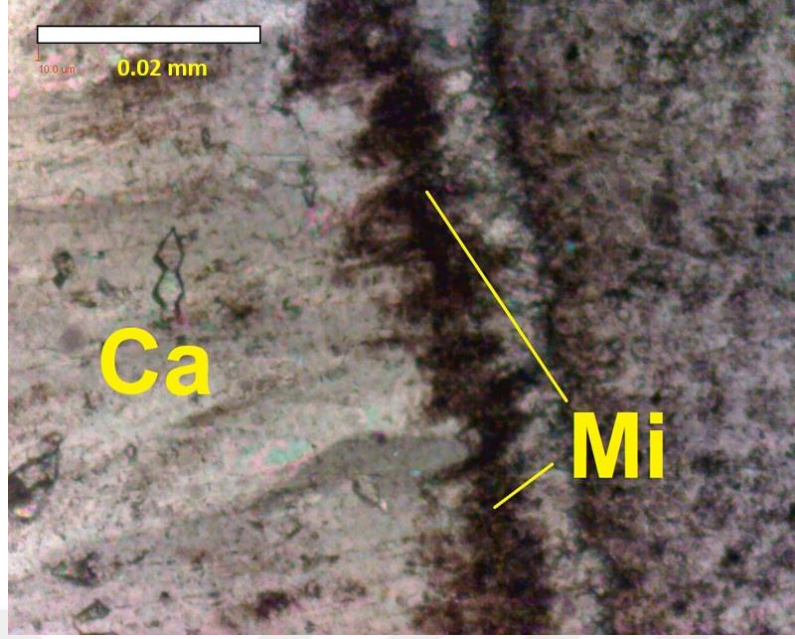
Karaman ili çevresinde yapılan saha çalışmasında kayaç el örneği Boggs 1987'e göre "traverten" olarak adlandırılmıştır. Yapılan ince kesit polarizan mikroskobunda incelendiğinde de "mikritik kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır (Şekil 6.22). Travertende egemen olarak boşluklu dokuya sahip olmadığı belirlenmiştir. Travertenden yapılan ince kesitlerin incelenmesinde ana çatıyı oluşturan tanelerin mikritik olduğu taneler olduğu, bu taneler arasında yer yer kalsit minerallerinin boşlukları doldurduğu gözlenmiştir. Traverteni oluşturan tanelerin boyutları 0,025 mm ile 0,450 mm arasında değişmektedir. Ancak tane boyu dağılımının genelde 0,2-0,4 mm dolayında olduğu saptanmıştır.



Şekil 6.22 : Karaman travertenin polarizan mikroskopundaki genel görüntüsü (Mi: Mikritik, Ca: Kalsit).

6.2.8 Manisa Kula traverten

Manisa ili, Kula ilçesi çevresinde yapılan saha çalışmasında kayaç el örneği Boggs 1987'e göre "traverten" olarak adlandırılmıştır. Yapılan ince kesit polarizan mikroskopunda incelendiğinde de "traverten" olarak adlandırılmıştır. (Şekil 6.23) Travertende tabakalanma oldukça belirgindir. Geniş kalsit tabakalarından sonra mikritik dokulu bir alan gözlenmektedir. Bu ardalanma devam etmektedir. Traverteni oluşturan tanelerin boyutları 0,03 mm ile 0,60 mm arasında değişmektedir. Ancak tane boyu dağılımının genelde 0,3-0,4 mm dolayında olduğu saptanmıştır.



Şekil 6.23 : Manisa Kula travertenin polarizan mikroskobundaki genel görüntüsü (Ca: Kalsit, Mi: Mikritik).

İnce kesit analizleri sonuçlarında tane boyut dağılımları için en düşük, ortalama ve en yüksek tane boyutları ölçülmüştür. Her bir doğal taş için olan tane boyut dağılımları Çizelge 6.7’de verilmiştir. Ayriyeten her bir doğal taş için yüzde oranlarında mineralojik bileşimi, çimentolanma tipi, dokusu ve kayaç türleri belirlenmiştir. Detaylı petrografik sonuçlar Çizelge 6.8’de verilmiştir. Bu çalışmalarda 8 farklı sedimanter kökenli doğal taşlar bej ve traverten olarak analizlere tabi tutulmuştur.

Çizelge 6.7 : Görüntü analizlerine göre kayaçların ortalama tane boyutu.

Örnek	Tane Boyutu (mm)		
	<u>En düşük</u> (mm)	<u>En yüksek</u> (mm)	<u>Ortalama</u> (mm)
Emirdağ Gümüş Traverten	0,10	0,25	0,125
Emirdağ Klasik Traverten	0,08	0,20	0,150
Şuhut Noçe Traverten	0,05	0,35	0,150
Isparta Bej	0,005	0,20	0,08
Sivrihisar Bej	0,002	0,18	0,07
Bilecik Bej	0,005	0,25	0,09
Karaman Traverten	0,025	0,45	0,30
Manisa Kula Traverten	0,03	0,60	0,35

Çizelge 6.8 : Kayaçların petrografik analiz sonuçları.

Örnek	Alındığı Yer	Mineralojik Bileşim (%)	Çimento Türü	Doku	Kayaç Türü
Emirdağ Gümüş Traverten	Afyon/Emirdağ	Kal.:99 Opk.:1	Karbonat	Mikritik	Kireçtaşı
Emirdağ Klasik Traverten	Afyon/Emirdağ	Kal.:99 Opk.:1	Karbonat	Mikritik	Kireçtaşı
Şuhut Noçe Traverten	Afyon/Şuhut	Kal.:100	Karbonat	Mikritik	Kireçtaşı
Isparta Bej	Isparta	Kal.:99 Opk.:1	Karbonat	İntraklastlı mikritik kireçtaşı	Dolomitik Mermer
Sivrihisar Bej	Eskişehir/Sivrihisar	Kal.:100	Karbonat	Mikritik	Kireçtaşı
Bilecik Bej	Bilecik	Kal.:100	Karbonat	Oolitik sparitik kireçtaşı	Kireçtaşı
Karaman Traverten	Karaman	Kal.:99 Opk.:1	Karbonat	Mikritik	Kireçtaşı
Manisa Kula Traverten	Manisa/Kula	Kal.:100	Karbonat	Mikritik	Kireçtaşı

7. PERFORMANS TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Doğal taş işleme tesislerinde performans tahminleri maliyet azaltıcı etkisi nedeniyle önemli bir çalışma alanıdır. Direkt etkileyen faktörlerin ortaya çıkartılması bu çalışmanın da ana amacıdır. Birçok parametre S/T makinelerinin performansını etkilemektedir. Bunlar kısaca şöyle sıralanabilir; doğal taşlara ait fiziksel ve mekanik özellikler, doğal taşlara ait mineralojik ve petrografik analiz, testerenin çapı, çevresel hızı, makinenin kurulu gücü, makinenin kullanım ömrü, kesici elmasların aşınma miktarı ve operatör tecrübesi. Bu gibi parametreler S/T makinelerinin alansal plaka üretim oranını etkilerler ve işletmelerin üretim planları, iş bitim süreleri ve kontrol mekanizmalarını direkt etkileyen faktörlerdir.

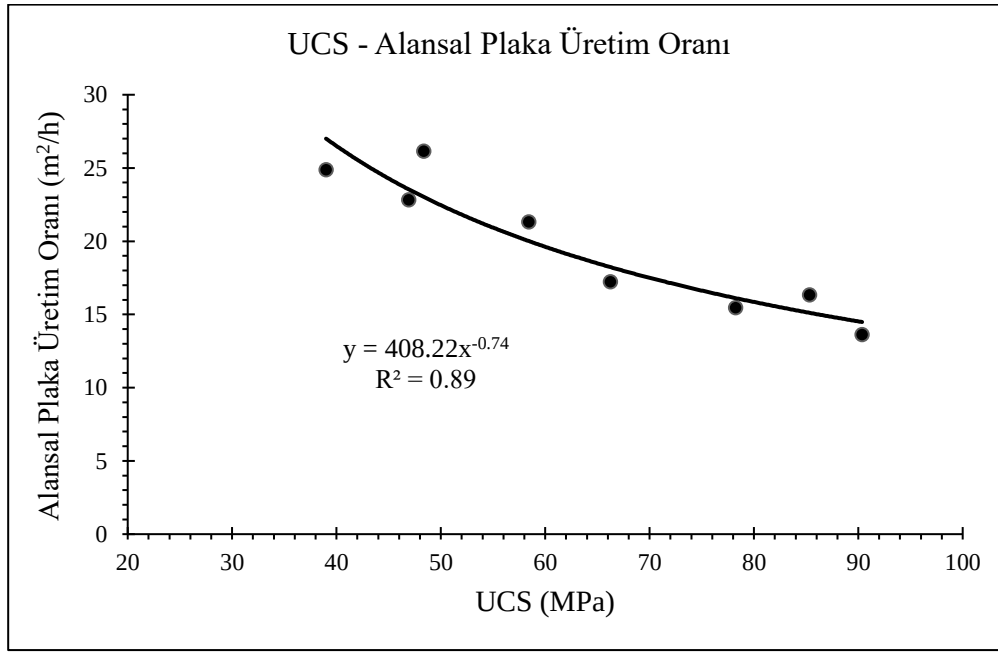
Bu bölümde karşılaştırmalardan doğru sonuçlar elde etmek amacıyla seçilen dört ayaklı S/T makinelerine yönelik doğal taşların kesimini direkt etkilediği düşünülen fiziksel ve mekanik özellikler ile S/T makinelerinin her bir doğal taş a ait olan alansal plaka üretim oranları arasında basit ve çoklu regresyon analizleri yapılmıştır. Literatürde yer alan diğer çalışmalar ile karşılaştırmalar sedimanter ve metamorfik kökenlere göre yapılmıştır.

7.1 Basit Regresyon Analizleri

İstatistik bilimine göre basit regresyonun tanımı kısaca bir bağımlı ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkinin incelenmesi ve kuvvet derecesinin belirlenmesi yöntemidir. Yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen tüm veriler ile alansal plaka üretim oranı (m^2/h) arasında basit regresyon analizleri Microsoft Excel programı kullanılarak yapılmıştır. Bu bölümde yapılan regresyon analizleri ve yorumlamaları yapılacaktır.

İlk olarak doğal taşların kesilebilirliğine yönelik en etkili parametre olduğu düşünülen tek eksenli basınç dayanımı ile alansal plaka üretim oranı arasındaki ilişkiler de incelenmiş olup literatür ile de karşılaştırılmıştır. Çevim (2016) yüksek lisans tezinde 6 adet sedimanter 3 adet metamorfik kökenli doğal taş incelemiş olup 0,81 belirleme katsayısına ulaşmıştır. Tumaç ve diğ. (2018) 16 farklı metamorfik kökenli doğal

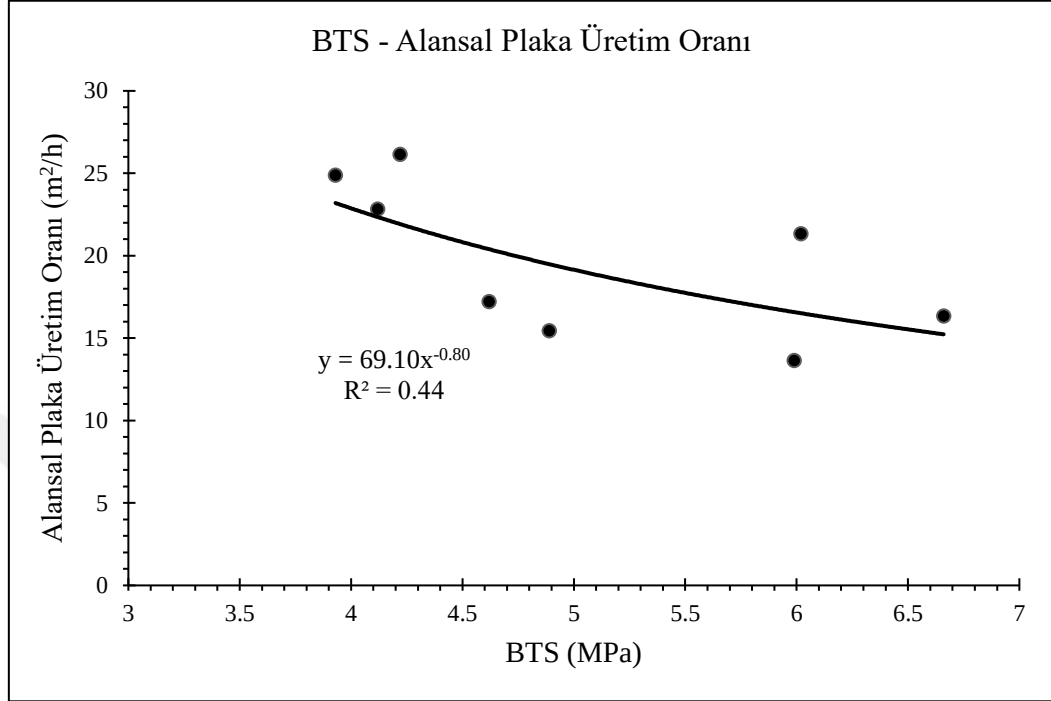
taşların analizlerinde tek eksenli basınç dayanımı ile alansal plaka üretim oranları arasında 0,65 belirleme katsayısı ve 9 adet sedimanter kökenlilerde ise 0,58 belirleme katsayısı ile ilişkileri ortaya koymuştur. Bu çalışmada ise 8 farklı sedimanter kökenli doğal taşlara yönelik elde edilen belirleme katsayısı 0,89 ile anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Şekil 7.3). Sonuç olarak hem metamorfik hem de sedimanter kökenli kayalarda tek eksenli basınç dayanımı alansal plaka üretimini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir.



Şekil 7.1 : Tek eksenli basınç dayanımı ve alansal plaka üretim oranı.

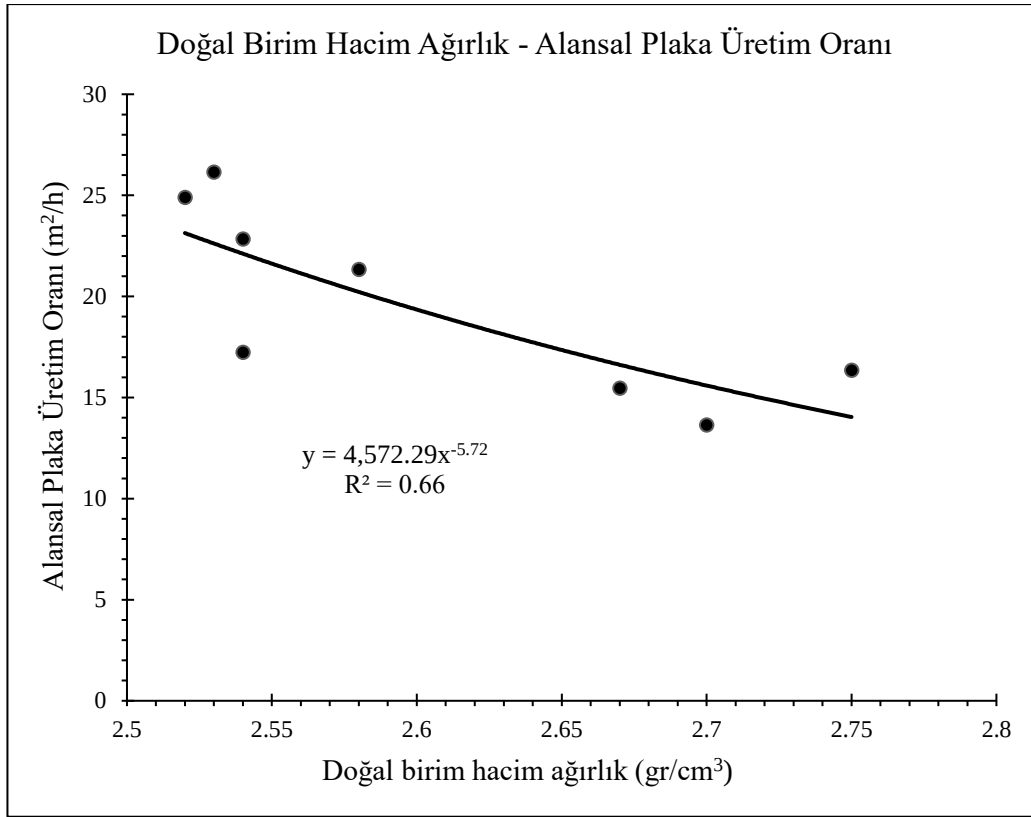
Brazilian çekme dayanımı ile alansal plaka üretim oranı arasındaki ilişki incelenmiş olup çıkan sonuçlar benzer literatür çalışmaları ile de kıyas edilmiştir. Fener ve diğ. (2007) yaptığı çalışmada sekiz farklı doğal taşın BTS ve alansal plaka üretim oranları karşılaştırılmış ve 0,77 belirleme katsayısı sonucu ortaya çıkmıştır. Tumaç (2015) yaptığı çalışmada yedi farklı doğal taş analiz edilmiş ve BTS ile alansal plaka üretim oranı arasında 0,71 belirleme katsayısı sonucuna ulaşılmıştır. Bir başka çalışma olan Çevim (2016) yüksek lisans tezinde ise BTS ile alansal plaka üretim oranı arasındaki belirleme katsayısı 0,39 olarak ortaya çıkmıştır. Bir diğer çalışma olan Tumaç ve diğ. (2018) 16 farklı metamorfik kökenli doğal taşın basit regresyon analizlerinde 0,54 belirleme katsayısına; 9 farklı sedimanter kökenli doğal taşlarda ise 0,33 belirleme katsayısına ulaşılmıştır. Bu çalışmada ise 8 farklı sedimanter kökenli doğal taşlara yönelik BTS ile alansal plaka üretim oranları arasında 0,44 belirleme katsayısına

ulaşılmıştır (Şekil 7.2). Literatür çalışmaları ve bu çalışmaya bakılarak sedimanter kökenli kayalarda BTS çekme dayanımının alansal plaka üretimi oranına etkisi metamorfik kökenliler ile yakın bir ilişkiye sahip olduğu yorumu yapılabilir.



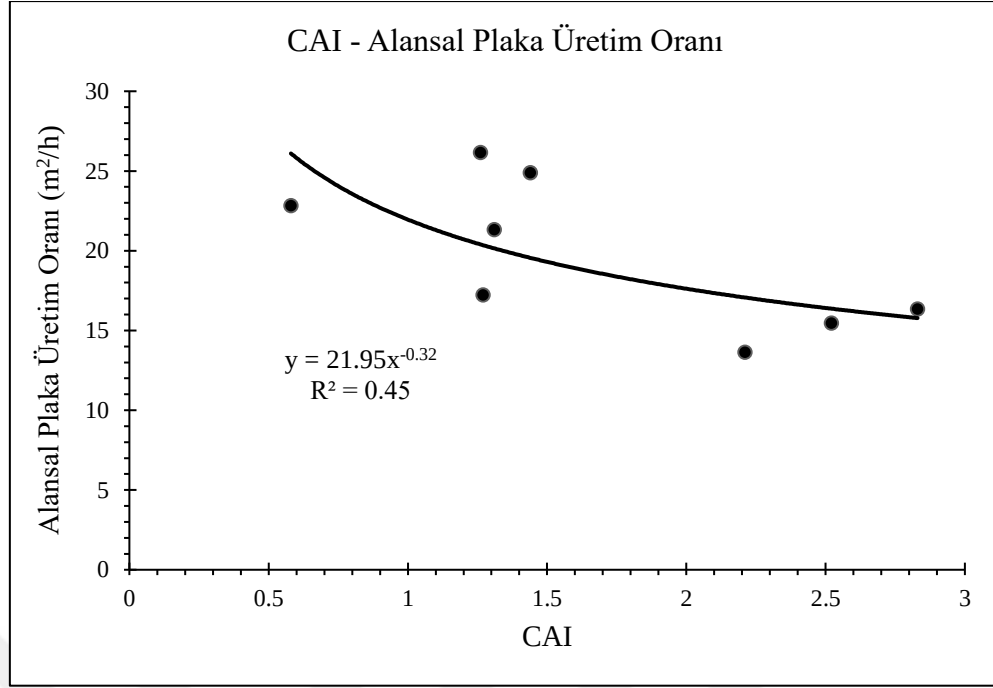
Şekil 7.2 : Brazilian çekme dayanımı ve Alansal plaka üretim oranı.

Bir diğer laboratuvar çalışmaları sonucu ulaşılan her bir doğal taş a ait doğal birim hacim ağırlık ile alansal plaka üretim oranları arasındaki ilişki incelenmiştir. Literatürde Çevim (2016) sedimanter kökenli yoğunlukta doğal taşları analiz ettiği yüksek lisans tezinde 0,60 belirleme katsayısına ulaşmıştır. Tumaç ve diğ. (2018) çalışmasında 16 adet metamorfik kökenli doğal taşı analiz etmiş ve yoğunluk ile alansal plaka üretim oranları arasında 0,01 belirleme katsayısı ile korelasyon olmadığı sonucuna varmıştır. Aynı çalışmada 9 farklı sedimanter kökenli doğal analizinde ise 0,25 belirleme katsayısına ulaşmıştır. Bu çalışmada ise 8 farklı sedimanter kökenli doğal taşlara yönelik 0,65 belirleme katsayısına ulaşılmış olup doğal birim hacim ağırlık ile alansal plaka üretim oranı arasında kuvvetli olmasa da bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 7.3). Sonuç olarak sedimanter kökenli doğal taşlarda doğal birim hacim ağırlık alansal plaka üretim oranını metamorfik kökenlilere göre daha çok etkilemektedir.



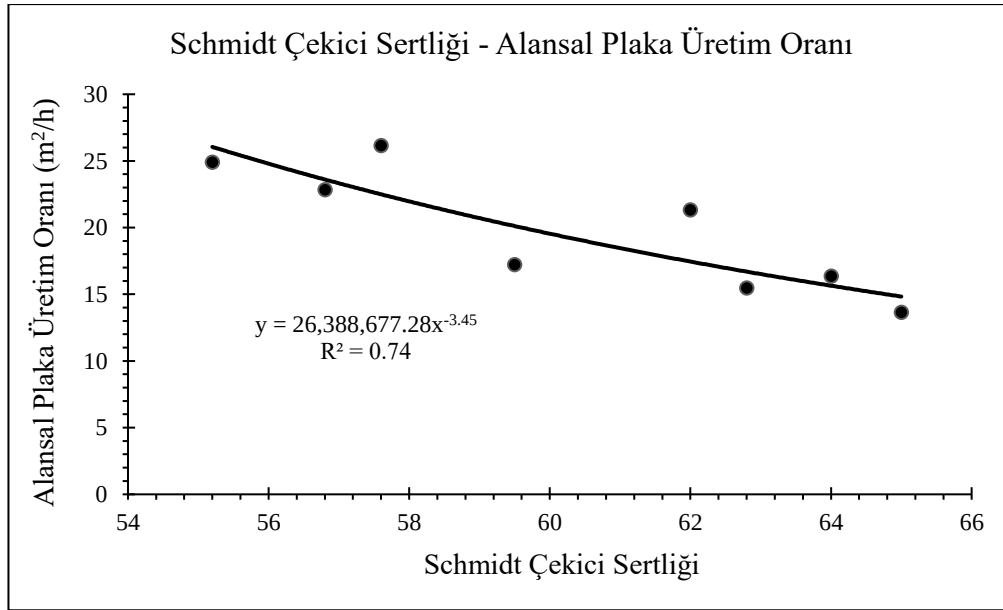
Şekil 7.3 : Doğal birim hacim ağırlık ve alansal plaka üretim oranı.

Bir diğer analiz ise Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) ile alansal plaka üretim oranları arasındadır. Çevim (2016) yüksek lisans tezinde 9 farklı doğal taş analizinde CAI ile alansal plaka üretim oranı arasında 0,40 belirleme katsayısına ulaşmıştır. Tumaç (2015) çalışmasında 7 farklı metamorfik kökenli doğal taşlar ile yaptığı analizde 0,84 belirleme katsayısına ulaşırken, yine Tumaç ve diğ. (2018) daha kapsamlı çalışmasında hem metamorfik hem de sedimanter kökenli doğal taşları analiz etmiş ve CAI ile alansal plaka üretim oranı arasında metamorfik kökenlilerde 0,09 belirleme katsayısı, sedimanter kökenli olanlarda ise 0,06 belirleme katsayısını ulaşmıştır. Bu çalışmada ise 8 farklı sedimanter kökenli doğal taşlara ait analizde 0,45 belirleme katsayısına ulaşılmıştır (Şekil 7.4). Yapılan literatürdeki çalışmalar ve bu çalışma incelendiğinde CAI ile alansal plaka üretim oranı arasındaki zayıf ilişki dikkat çekmektedir.



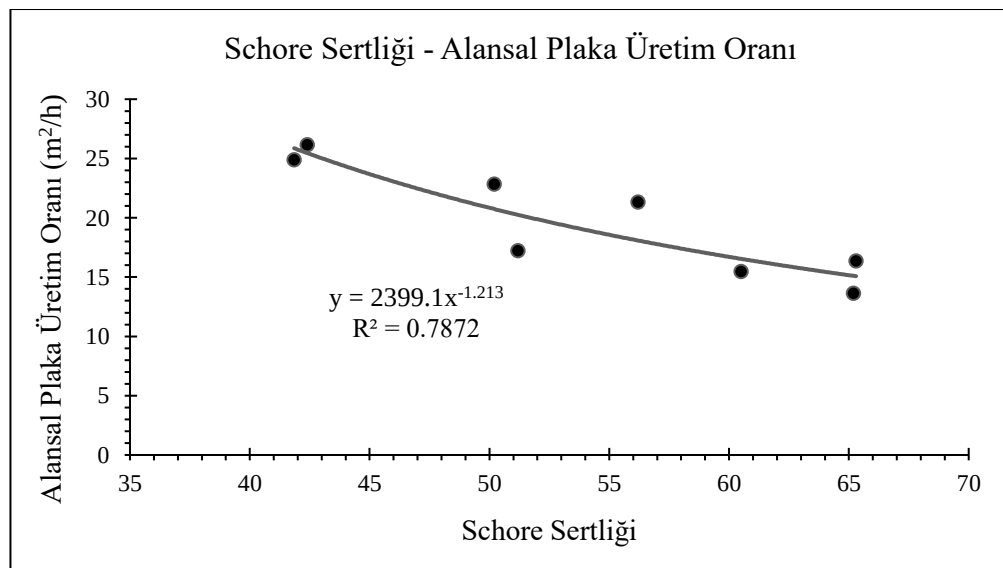
Şekil 7.4 : CAI ve alansal plaka üretim oranı.

Laboratuvar çalışmalarında aynı zaman Schmidt çekici sertliği ve Shore Scleroscope sertliği deneyleri de yapılmış olup bu iki parametrenin alansal plaka üretim oranlarına etkisi incelenmiştir. Güney (2011) çalışmasında metamorfik kökenli mermerleri çalışmış olup Schmidt çekici sertliği ile S/T üretim hızı arasında 0,24'lük zayıf bir ilişki olduğunu ortaya çıkarmıştır. Çevim (2016) sedimanter yoğunluklu yüksek lisans tezinde 0,79'luk belirleme katsayısı ile Schmidt çekici sertliği ile alansal plaka üretimi oranı arasında kuvvetli bir ilişki ortaya koymuştur. Tumaç ve diğ. (2018) çalışmasında metamorfik kökenli 16 doğal taş için 0,38; sedimanter kökenli 9 doğal taş için ise 0,59 belirleme katsayılarına ulaşmıştır. Sedimanter kökenli sekiz doğal taşın incelendiği bu çalışmada ise 0,74 belirleme katsayısına ulaşılmıştır (Şekil 7.5). Bu sonuçlara göre Schmidt çekici sertliği ile alansal plaka üretim oranları arasında daha anlamlı ilişkiler sedimanter kökenli kayalarda göze çarpmaktadır.



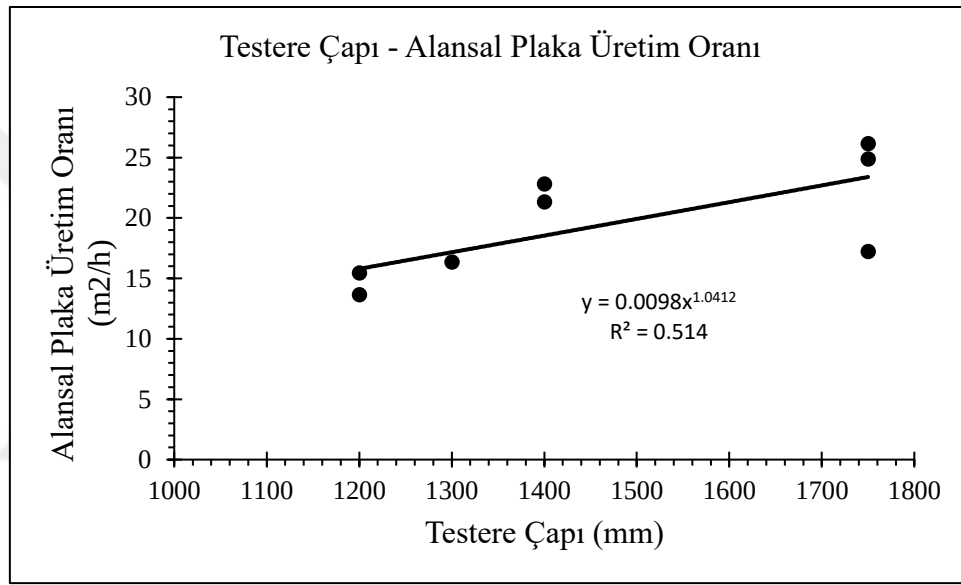
Şekil 7.5 : Schmidt çekici sertliği ve alansal plaka üretim oranı.

Shore scleroscope sertliği için ise Güney (2011) Shore sertliği ile S/T saatlik plaka üretimi arasında 0,53'lük belirleme katsayısına sahip bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Çevim (2016) 0,75 belirleme katsayısına; Tumaç ve diğ. (2018) metamorfik kökenli doğal taşlar için 0,44 ve sedimanter kökenli doğal taşlar için 0,85 belirleme katsayıları bulunmuştur. Bu çalışmada ise 0,79 belirleme katsayısına ulaşılmıştır (Şekil 7.6). Bu sonuçlara göre Shore scleroscope sertliği ile alansal plaka üretim oranları arasında anlamlı ilişkiler saptanmıştır. Sedimanter kökenli doğal taşlarda daha yüksek korelasyon göze çarpmaktadır.



Şekil 7.6 : Shore sertliği ve alansal plaka üretim oranı.

Bir diğ er etken olabileceği d üş n len parametre ise S/T makinelerinde yer alan dikey testerelerin çapıdır. Sekiz farklı sedimanter k okenli doğal ta lar farklı S/T makinelerinde kesildiği ve dairesel testerelerin çapları farklı olduğu için alansal plaka üretim oranını etkileyebileceği d üş n lm şt r. Şekil 7.7’de g r leeği üzere çap arttıkça alansal plaka üretim oranı da artmaktadır. Bunun sebebi olarak artan çap ile birlikte çevresel hızdaki artış olduğu d üş n lmektedir. Ancak testere çapının sürekli arttırılması testerenin mukavemetini bozacağı, daha yüksek maliyetlere neden olacağı ve titre imlerden kaynaklı kesim hassasiyetini bozacağı için testere çaplarındaki artışlar sınırlı olmaktadır.



Şekil 7.7 : Testere  apı ve alansal plaka üretim oranı.

Tüm sonuçlar gözden geçirildiğinde basit regresyon analizinde alansal plaka üretim oranını en anlamlı etkileyen deneyin tek eksenli basınç dayanımı olduğu ortaya çıkmıştır. (R² = 0,89). Alansal plaka üretim oranı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki Denklem 7.1’de özetlenmiştir.

$$AP O = 408,22 (UCS)^{-0,741} \quad (7.1)$$

Burada;

AP O : Alansal plaka üretim oranı, m²/h

UCS : Tek eksenli basınç dayanımı, MPa

7.2 Çoklu Regresyon Analizi ve Modeller

İstatistik analizlerinde çoklu regresyon analizi bir sonucu etkileyen ve bağımsız değişken olarak da bilinen birden fazla parametrenin bağımlı değişkenleri etkileme düzeylerinin belirlenmesi amacıyla kullanılır. Yalnızca bir bağımsız ve bir bağımlı değişkenin olduğu basit regresyon analizinin yetersiz kaldığı noktalarda çoklu regresyon analizleri kullanılmaktadır. Bir bağımsız değişkenin anlamlı sonuçlar ortaya koyamadığı durumlar birden fazla bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiler çoklu regresyon ile irdelenebilir. Bu çalışmada hem doğrusal hem de doğrusal olmayan çoklu regresyon analizleri yapılmış olup, doğrusal olmayan analizlerde daha anlamlı sonuçlara ulaşamadığı için tüm modeller çoklu doğrusal regresyon analizleri ile oluşturulmuştur. Çoklu doğrusal regresyon analizlerinde bağımlı değişken (Y) alansal plaka üretim oranı (APÜO, m²/h); bağımsız değişkenler ise tek eksenli basınç dayanımı (UCS, MPa), Brazilian dolaylı çekme dayanımı (BTS, MPa), doğal birim hacim ağırlık (γ , gr/cm³), Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI), Schmidt çekiç sertliği (SHH), Shore scleroscope sertliğidir (SSH). Yapılan çoklu doğrusal regresyon analizlerinde çıkan modeller için anlamlılık derecelerini ölçmek için P-değeri ve F-anlamlılık değerlerinin %95 güven aralığında (<0,05) olmasına dikkat edilmiştir. Varyans analizlerinde Excel programında elde edilen ANOVA tablosundaki F değerinin, F tablosu değerinden yüksek olması göz önünde bulundurulmuştur. Değişkenlerin Excel'den elde edilen t istatistik değerlerinin t dağılımı tablosundaki aralığa düşüp düşmediğine bakılmıştır. %95 güven aralığını sağlayamayan modeller için güven aralığı düşürülerek ortaya çıkan modeller incelenmiştir. İstatistik biliminde bir diğer dikkat edilen husus olan varyans şişirme faktörü (variation inflation factor-VIF) kontrol edilerek modeller oluşturulmuştur.

Modelleme çalışmasında ilk olarak, İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından lisanslanan IBM SPSS programı kullanılmış olup tüm bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken olan alansal plaka üretim oranı arasındaki ilişkiler adım adım (stepwise) regresyon yöntemiyle test edilmiştir. Tüm denemeler arasında program bir bağımsız değişken bir bağımlı değişken modeli olan tek eksenli basınç dayanımı ile alansal plaka üretim oranının olduğu modeli seçmiş ve diğer bağımsız değişkenleri devre dışı bırakmıştır. Yukarıda bahsi geçen ve bulduğumuz basit regresyon modelinin en anlamlı model olduğu bu program sayesinde de doğrulanmıştır.

SPSS programının bulduğu sonuç teorik olarak en anlamlı model olsa da diğer değişkenlerin de yer aldığı birden fazla bağımsız değişkenli modeller çoklu regresyon analizine tabi tutulmuş olup bazı anlamlı sonuçlara ulaşılmıştır.

7.2.1 Tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve Schmidt çekici yüzey sertliği ile oluşturulan model

Microsoft Office Excel programında ve Minitab programında tüm iki değişkenli regresyon analizleri denenmiş olup en anlamlı ilişki tek eksenli basınç dayanımının Brazilian çekme dayanımına oranı ile Schmidt yüzey sertliği arasında olduğu ortaya çıkmıştır. Bu iki bağımsız değişkenin, bağımlı değişken olan alansal plaka üretim oranını etkileme düzeyi %95 güven aralığında 0,90 belirleme katsayısı (R^2) doğruluğunda elde edilmiştir. Ortaya çıkan model, Denklem 7.2’de, varyans analizi (ANOVA) ise Çizelge 7.1’de özetlenmiştir.

$$AP\ddot{U}O = 76,33 - 0,9 (UCS/BTS) - 0,735 (SHH) \quad (7.2)$$

Burada;

AP $\ddot{U}$ O : Alansal plaka üretim oranı, m²/h

UCS : Tek eksenli basınç dayanımı, MPa

BTS : Brazilian çekme dayanımı, MPa

SHH : Schmidt çekici yüzey sertliği

Çizelge 7.1 : UCS, BTS ve SHH değerlerinin çoklu lineer regresyon analizinde ANOVA tablosu.

	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	2	137,136	68,568	21,20	0,003
Fark	5	15,871	3,174		
Toplam	7	153,007			

Burada;

df : Özgürlük derecesi

SS : Girdilerin karelerinin toplamı

MS : Girdilerin karelerinin ortalaması

F : F değeri

Anlamlılık F : F değerinin anlamlılık derecesi

Varyans analizi tablosunda dikkat edilmesi gereken husus F-anlamlılık değerinin 0,05 değerinden olabildiğince küçük olmasıdır. Bu değer düştükçe anlamlılık düzeyi artmaktadır. Çizelge 7.1’de görüleceği üzere Excel programından alınan tabloda F değeri 21,20’dir. F-tablosunda (F-distribution) df_1 2, df_2 ise 5 seçilerek okuma yapılmış ve F değerinin 5,79 olduğu görülmüştür. Tablodan okunan değer 5,79 Excel tablosundaki F değeri olan 21,20 değerinden küçüktür. ANOVA tablosundaki F değerinin, F-tablosundaki F değerinden yüksek olması ilişkinin anlamlı olduğunu göstermektedir.

İstatistikte bir diğer önemli dikkat edilmesi gereken nokta çoklu doğrusal bağlantı (multicollinearity) problemidir. Montgomery ve Runger’e (2014) göre çoklu doğrusal bağlantıda bağımsız değişkenlerin kendi aralarından ilişkinin yüksekliği, bu bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni küçük değişimlerle birlikte oldukça fazla etkilemesidir. Çoklu doğrusal bağlantısı yüksek olan bağımsız değişkenlerin yer aldığı modelde oluşturulan modellerin sınır ve limit değerlerinde yanlış sonuçlar verme olasılığı artmaktadır. Bu problemin de önüne geçmek için varyasyon şişirme faktörü (Variation inflation factor-VIF) 10’dan küçük olmalıdır.

İkili regresyon analizlerinde VIF değerinin de elde edildiği analizler MINITAB programı kullanılarak elde edilmiştir. Çizelge 7.2 incelendiğinde VIF değerinin 10’dan küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca P değerlerinin 0,05’den küçük olduğu da görülmektedir. Yani güven aralığı değeri %95’te bu model testi geçmektedir. T-istatistik değerlerine bakıldığında ise t-tablosundan elde edilen iki kuyruklu tip t değerleri olan +/- 2,36 aralığının dışında kaldığı görülmektedir. Yani model bu testi de geçmektedir.

Çizelge 7.2 : Minitab programından elde edilen istatistik değerleri.

	Katsayılar	SE Coef.	t-istatistik	P değeri	VIF
Sabit	76,33	11,95	6,39	0,001	
UCS/BTS	-0,9732	0,3552	-2,74	0,041	1,554
SHH	-0,7347	0,2327	-3,16	0,025	1,554

7.2.2 Doğal birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı ile oluşturulan model

İkili çoklu doğrusal regresyonların manuel olarak denenmesine devam edilmiş ve güven aralığı %90'a düşürülerek tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve doğal birim hacim ağırlık değerlerinin kullanıldığı yeni bir model oluşturulmuştur. Bu modelin belirleme katsayısı 0,85'tir. Denklem 7.3'te bu model verilmiştir.

$$AP\ddot{U}O = 99,5 - 25,3 \gamma - 1,10 (UCS/BTS) \quad (7.3)$$

Burada;

APÜO : Alansal plaka üretim oranı, m²/h

UCS : Tek eksenli basınç dayanımı, MPa

BTS : Brazilian çekme dayanımı, MPa

γ : Doğal birim hacim ağırlık (gr/cm³)

Çizelge 7.3 incelendiğinde F değerinin 14,13 olduğu görülmektedir. Yüzde 90 güven aralığının F-tablosu incelendiğinde kritik F değerinin 3,78 olduğu tablodan okunmaktadır. Excel'den elde edilen çizelgede ise F değeri 14,13'tür ve tablodan okunan F değerinden yüksektir. Bu da oluşturulan modelin anlamlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7.3 : Doğal birim hacim ağırlık, UCS ve BTS değerlerinin çoklu regresyon analizinde ANOVA tablosu.

	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	2	130,009	65,005	14,13	0,009
Fark	5	22,998	4,600		
Toplam	7	153,007			

Minitab programından elde edilen veriler Çizelge 7.4'te gösterilmiştir. Elde edilen t istatistik değerlerinin t-tablosundan okunan iki kuyruklu t değeri olan +/- 1,895 değerinin dışında kaldığı görülmektedir ve model bu testi başarıyla geçmektedir. Aynı zamanda P değerlerinin de %90 güven aralığı için 0,10'den küçük olduğu görülmekte ve model bu testi de geçmektedir. VIF değerinin ise 1,471 ile 10'dan küçük olduğu görülmektedir. Modelde kullanılan bağımsız değişkenler arasındaki çoklu doğrusal

bağılantılarının (multicollinearty) yüksek olmadığı ve varyans şişirme faktörünün düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 7.4 : Minitab programından elde edilen istatistik değerleri.

	Katsayılar	SE Coef	t-istatistik	P değeri	VIF
Sabit	99,53	25,98	3,83	0,012	
γ	-25,33	10,97	-2,31	0,069	1,471
UCS/BTS	-1,0993	0,4160	-2,64	0,046	1,471

Tüm basit regresyon ve çoklu doğrusal regresyon denemelerinde en anlamlı sonuçlar basit regresyonda UCS ile kurulan modelde, çoklu doğrusal regresyon analizlerinde ise iki bağımsız değişkenin yer aldığı modellerde ortaya çıkmıştır. Bağımsız değişkenlerin arttığı üçlü ve dördü doğrusal regresyon analizlerinde ise anlamlı ilişkilerin olduğu modeller bulunamamıştır.

7.3 Geliştirilen Modellerin Doğrulanması

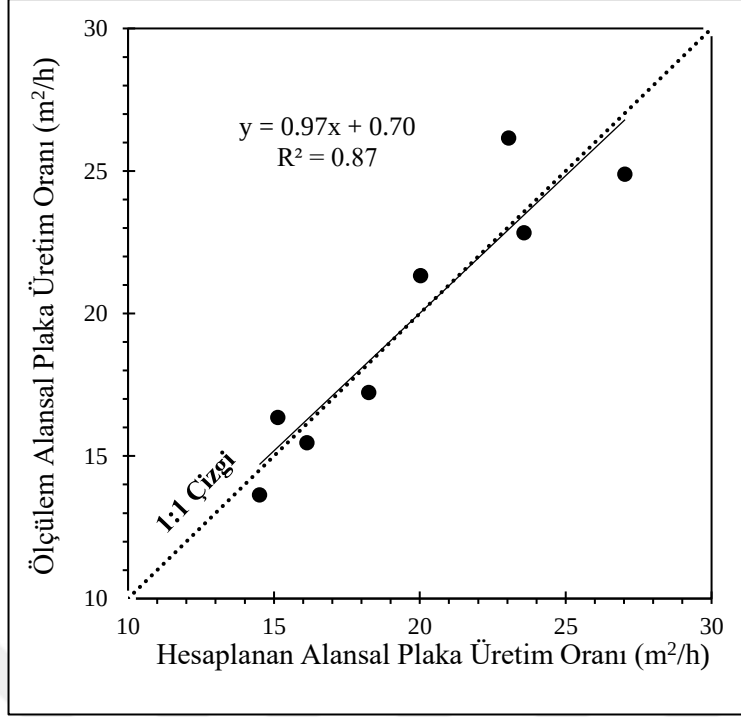
7.3.1 Ölçülen ile hesaplanan alansal plaka üretim oranları karşılaştırılması

Yapılan tüm regresyon denemeleri sonucunda anlamlı olduğu düşünülen üç farklı model geliştirilmiştir. En anlamlı model SPSS programının da otomatik olarak ortaya çıkardığı tek eksenli basınç dayanımının yer aldığı basit regresyon modelidir. İki bağımsız değişkenin kullanıldığı diğeri iki model ise manuel olarak ortaya çıkarılmıştır. Denklem 7.2'deki model %95 güven aralığında tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve Schmidt çekici yüzey sertliğinin olduğu modeldir. Bir diğeri model ise denklem 7.3'deki doğal birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımının olduğu %90 güven aralığındaki modeldir. Bu üretilen modellerden hesaplanan alansal plaka üretim oranı ile ölçülen alansal plaka üretim oranları karşılaştırmaları yapılmıştır. Oluşturulan modellerden hesaplanan alansal plaka üretim oranları ile ölçülen alansal plaka üretimlerine ait sonuçlar Çizelge 7.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 7.5 : Ölçülen APÜO ve Denklemlerden Hesaplanan APÜO.

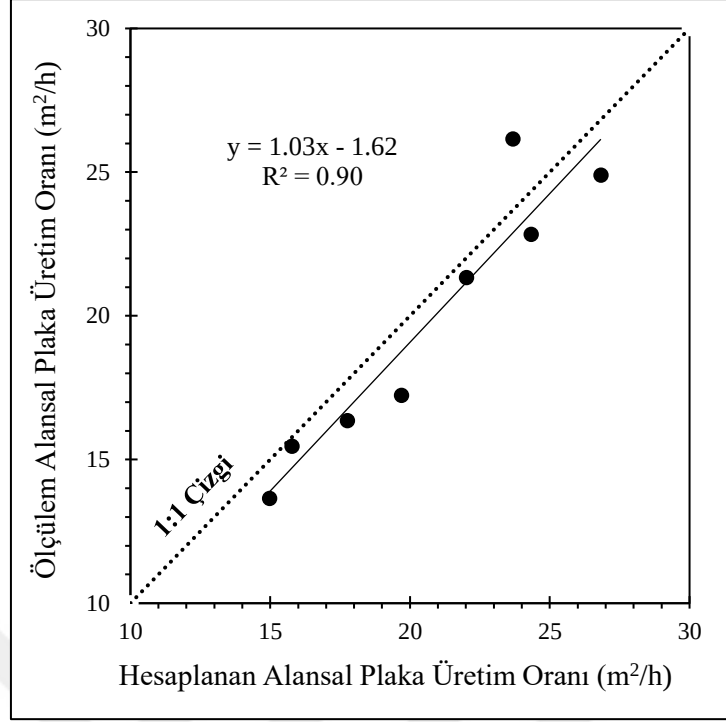
	Ölçülen APÜO (m ² /h)	Denklem 7.1 Hesaplanan APÜO (m ² /h)	Denklem 7.2 Hesaplanan APÜO (m ² /h)	Denklem 7.3 Hesaplanan APÜO (m ² /h)
Şuhut Noçe Traverten	21,33	20,03	22,02	23,55
Isparta Bej	16,35	15,14	17,76	15,83
Sivrihisar Bej	15,46	16,14	15,77	14,35
Bilecik Bej	13,64	14,51	14,98	14,60
Karaman Traverten	22,83	23,57	24,33	22,71
Manisa Kula Traverten	17,23	18,26	19,69	19,47
Emirdağ Gümüş Traverten	24,89	27,03	26,83	24,83
Emirdağ Klasik Traverten	26,15	23,05	23,68	22,89

Denklem 7.1’de sadece tek eksenli basınç dayanımının kullanıldığı modelden tahmin edilen alansal plaka üretim oranı ile ölçülen alansal plaka üretim oranı karşılaştırılmış olup Şekil 7.8’de görüleceği üzere 0,87 belirleme katsayısı ile anlamlı bir ilişki ortaya çıkmıştır.



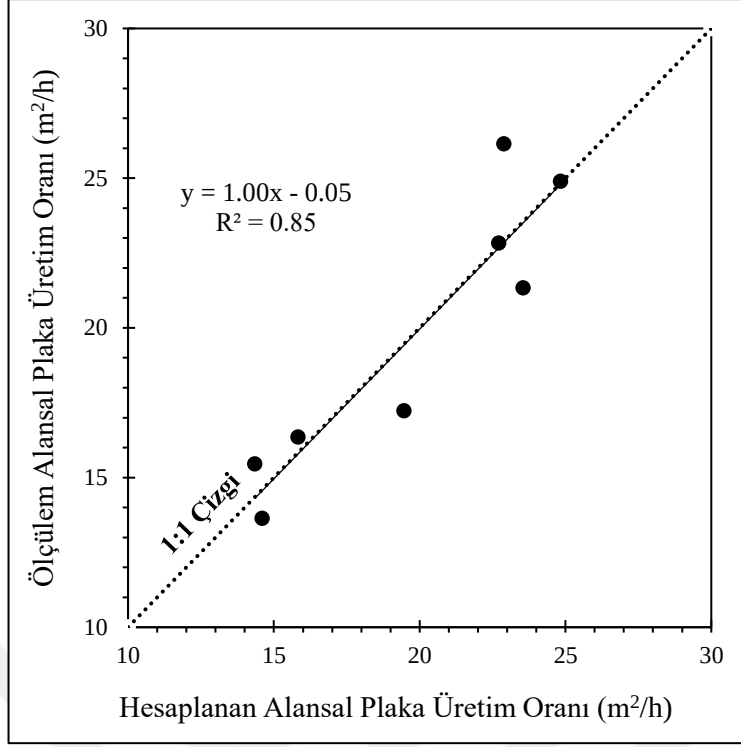
Şekil 7.8 : Ölçülen ve Denklem 7.1 ile hesaplanan alansal plaka üretim oranlarının karşılaştırılması.

Denklem 7.2’de tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve Schmidt çekici yüzey sertliği kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model üzerinden alansal plaka üretim oranları hesaplanmış ve ölçülen alansal plaka üretim oranları ile arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan incelemeye göre hesaplanan alansal plaka üretim oranı ile ölçülen alansal plaka üretim oranı arasında 0,90 belirleme katsayısına sahip bir ilişki bulunmuştur. Şekil 7.9’de ölçülen ile hesaplanan alansal plaka üretim oranları arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 7.9 : Ölçülen ve Denklem 7.2 ile hesaplanan alansal plaka üretim oranlarının karşılaştırılması.

Son olarak Denklem 7.3'te doğal birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı ile oluşturulan modelden alansal plaka üretim oranları hesaplanmıştır. Arazide ölçümleri yapılan alansal plaka üretim oranları ile hesaplanan alansal plaka üretim oranları arasındaki korelasyon incelenmiş ve 0,85 belirleme katsayısı ile anlamlı bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 7.10).



Şekil 7.10 : Ölçülen ve Denklem 7.3 ile hesaplanan alansal plaka üretim oranlarının karşılaştırılması.

7.3.2 Literatürdeki veriler ile doğrulama

Bu bölümde 2018 yılında yapılmış olan Tumaç ve arkadaşlarının çalışmasındaki 9 adet sedimanter kökenli doğal taşlara ait alansal plaka üretim oranları bu tezde önerilen denklem 7.1, denklem 7.2 ve denklem 7.3 ile tekrardan hesaplanmıştır. Tumaç (2018) çalışmasında kullanılan sedimanter kökenli doğal taşların fiziksel mekanik özellikleri çizelge 7.6’da verilmiştir.

Çizelge 7.6 : Tumaç (2018) fiziksel ve mekanik özellikler.

Doğal taş adı	Doğal Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	UCS (MPa)	BTS (MPa)	CAI	Schmidt çekici sertliği	Shore scleroscope sertliği
Karacabey siyah limestone	2,7	70,8	5,8	2,63	38,1	34,3
Eskisehir supreme limestone	2,74	89,0	5,3	2,44	72,0	51,9
Antalya limestone	2,73	55,3	4,9	2,10	39,3	31,3
Burdur bej	2,72	112,3	4,3	1,4	61	59,1

Çizelge 7.6 (devam) : Tumaç (2018) fiziksel ve mekanik özellikler.

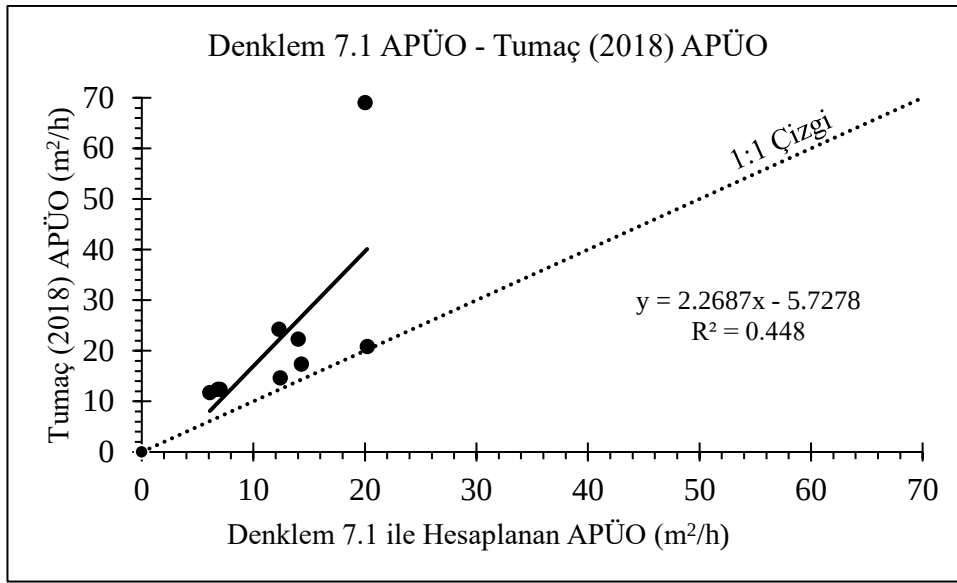
Doğal taş adı	Doğal Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	UCS (MPa)	BTS (MPa)	CAI	Schmidt çekici sertliği	Shore scleroscope sertliği
Söğüt bej	2,73	111,9	6,9	1,9	63,3	59,9
Korkuteli bej	2,7	120,3	9,4	1,3	65,6	62,3
Bucak beyaz traverten	2,4	45,1	4	0,6	43,2	37,1
Kaklık traverten	2,14	11,0	4,4	0,4	40,1	26,6
Denizli sarı traverten	2,5	50,5	4,8	0,7	39	30

Bu tezde önerilen denklemlerden çıkan sonuçlar ile Tumaç (2018) çalışmasındaki alansal plaka üretim oranları 1:1 çizgisinin de yer aldığı grafikler üzerinde gösterilmiştir. Tumaç'a (2018) ait alansal plaka üretim oranları ile bu tezde önerilen üç farklı model ile hesaplanan alansal plaka üretim oranları çizelge 7.7'de görülmektedir.

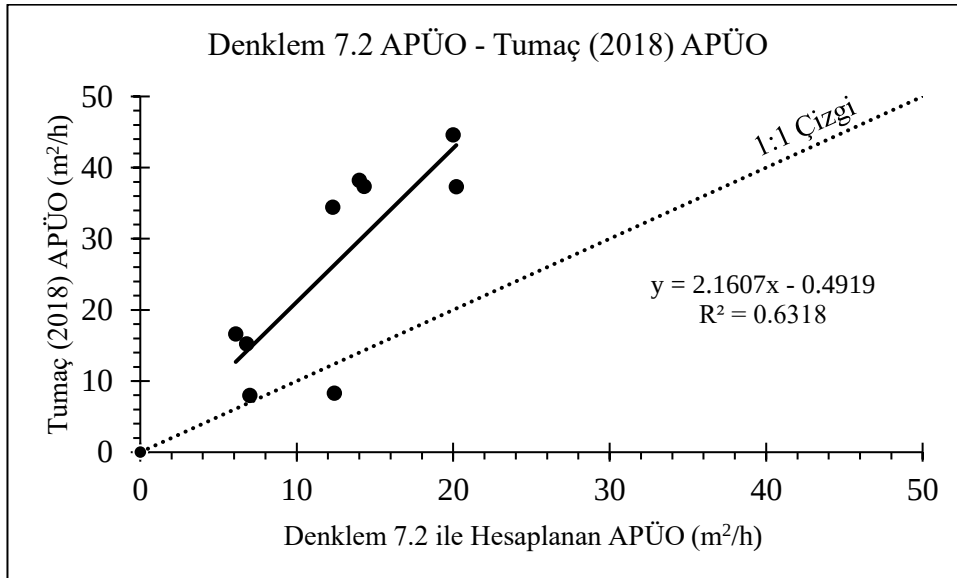
Çizelge 7.7 : Tumaç (2018) APÜO ve Denklemlerden Hesaplanan APÜO.

	Tumaç (2018) APÜO (m ² /h)	Denklem 7.1 Hesaplanan APÜO (m ² /h)	Denklem 7.2 Hesaplanan APÜO (m ² /h)	Denklem 7.3 Hesaplanan APÜO (m ² /h)
Karacabey siyah limestone	14,3	17,38	37,34	17,76
Eskisehir supreme limestone	12,4	14,67	8,30	11,71
Antalya limestone	20,2	20,87	37,29	18,02
Burdur bej	7,0	12,35	7,99	1,96
Söğüt bej	6,8	12,38	15,21	12,59
Korkuteli bej	6,1	11,73	16,60	17,11
Bucak beyaz traverten	12,3	24,27	34,43	26,38
Kaklık traverten	20,0	69,06	44,61	42,61
Denizli sarı traverten	14,0	22,32	38,20	24,68

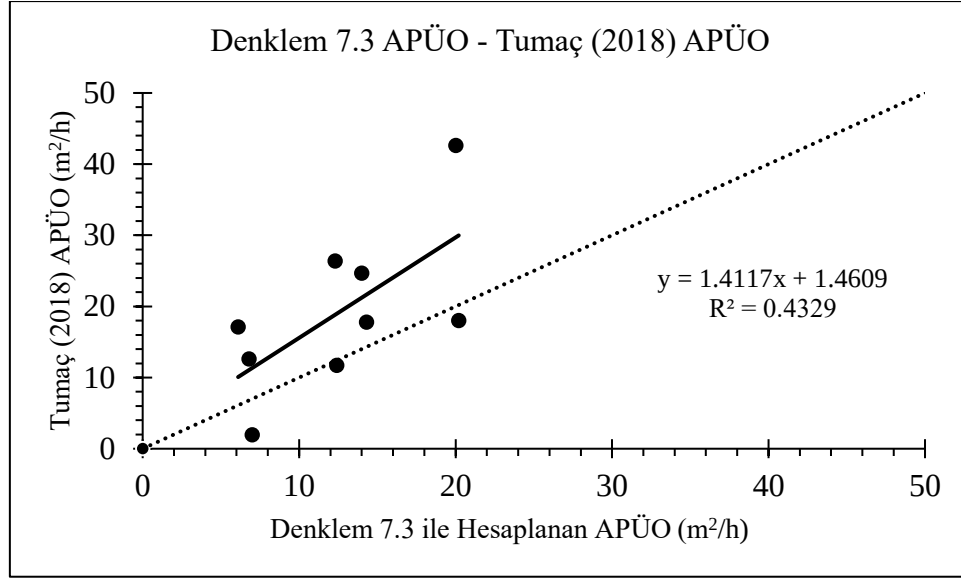
Şekil 7.11’de denklem 7.1 ile hesaplanan alansal plaka üretim oranları ile Tumaç (2018) alansal plaka üretim oranları arasındaki ilişki verilmiştir. İlişki incelendiğinde tek eksenli basınç dayanımının yüksek ve düşük olduğu doğal taşlarda denklem 7.1’in anlamlı sonuçlar vermediği görülmüştür. Denklem 7.2 ve denklem 7.3 ile hesaplanan APÜO ve Tumaç (2018) APÜO değerleri arasındaki kıyaslamalar şekil 7.12 ve şekil 7.13’de verilmiştir.



Şekil 7.11 : Tumaç (2018) APÜO ve Denklem 7.1 ile hesaplanan APÜO karşılaştırması.



Şekil 7.12 : Tumaç (2018) APÜO ve Denklem 7.2 ile hesaplanan APÜO karşılaştırması.



Şekil 7.13 : Tumaç (2018) APÜO ve Denklem 7.3 ile hesaplanan APÜO karşılaştırılması.



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada doğal taş işleme fabrikalarında kullanılan S/T makinelerinin performans tahminlerine yönelik araştırmalar yapılmıştır. Türkiye'nin dünya doğal taş sektöründeki payı bu çalışmaların da önemini arttırmaktadır. S/T makinelerine yönelik bu gibi çalışmalar üretim verimliliğini arttırıcı etkisi nedeniyle önemli bir yere sahiptir. S/T makinelerine yönelik performans tahminleri doğal taş işleme fabrikalarının kuruluşuna, yatırım maliyetlerine, üretim planlamasına ve talep karşılama oranlarına yönelik güçlü yorumlar sunabilmektedir. Bu tez kapsamında önerilen modeller ile hem literatürde eksikliği bulunan sedimanter kökenli doğal taşlara yönelik çalışma sayısı arttırılmış hem de S/T makinelerine yönelik denetim ve üretim verimliliğini arttırıcı öngörüler sunulmuştur. Önerilen modeller kullanılarak alansal plaka üretim oranları farklı bir doğal taş için fiziksel ve mekanik özellikleri kullanılarak önceden tahmin edilebilir. Üretim esnasında geçen süre ölçümü ile hesaplanan süre arasında yüksek farklar mevcut ise üretimi etkileyen doğal taşın kendi fiziksel ve mekanik özellikleri dışında S/T makinesinin kendi performansı ve çevresel faktörler denetlenebilir.

Bu tez kapsamında çalışılmış olan sedimanter kökenli doğal taşlar incelenmiş olup bu doğal taşlar şunlardır; Isparta bej, Sivrihisar bej, Bilecik bej, Şuhut Noçe traverten, Karaman traverten, Manisa Kula traverten, Emirdağ gümüş traverten, Emirdağ klasik travertendir. Her bir doğal taşla yönelik doğal taş işleme fabrikalarında süre ölçümleri yapılmış, ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak her bir doğal taş için alansal plaka üretim oranı m^2/h biriminde bulunmuştur. Laboratuvar ortamında fiziksel ve mekanik özelliklerin tayini için tek eksenli basınç dayanımı (UCS), Brazilian dolaylı çekme dayanımı (BTS), doğal birim hacim ağırlık (γ), Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI), Schmidt çekici yüzey sertliği (SHH) ve Shore scleroscope yüzey sertliği (SSH) deneyleri yapılmıştır. Daha sonra istatistiksel analizler kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Bu analizler İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından lisanslı olarak kullanıma sunulan IBM SPSS, Microsoft Office Excel ve Minitab programları

kullanılarak yapılmıştır. Analizler basit ve çoklu lineer regresyon olarak iki çeşit olarak yapılmıştır. Analizler yapılırken belirleme katsayısı (R^2), F anlamlılık, t-testi, P değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı ve varyans şişirme faktörünün (VIF) 10'un altında olmasına dikkat edilmiştir. İlk olarak basit regresyon analizinde 0,89 R^2 'ye sahip tek eksenli basınç dayanımının yer aldığı model en anlamlı sonucu vermiş olup, tek eksenli basınç dayanımı ile alansal plaka üretim oranı (APÜO) arasındaki ters orantılı ilişki açığa çıkarılmıştır. Daha sonra çoklu lineer regresyon analizleri yapılmış olup yukarıda bahsi geçen tüm testleri geçen iki model bulunmuştur. Denklem 7.2'de verilen ilk model %95 güven aralığında 0,90 R^2 ile tek eksenli basınç dayanımının Brazilian çekme dayanımına oranı (UCS/BTS) ile Schmidt çekici yüzey sertliğinin yer aldığı modeldir. Diğer model ise %90 güven aralığında ve 0,85 R^2 ile denklem 7.3'de verilen doğal birim hacim ağırlık ile tek eksenli basınç dayanımının Brazilian çekme dayanımına oranının (UCS/BTS) olduğu modeldir ve bu model de yukarıda bahsedilen tüm testleri geçmiştir. Daha sonra arazide ölçümleri yapılan alansal plaka üretim oranları ve istatistik analizlerinden ortaya çıkan modeller kullanılarak hesaplanan alansal plaka üretim oranları 1:1 ekseninin de yer aldığı grafikler üzerinde karşılaştırılmıştır. Hem ölçülen hem de hesaplanan alansal plaka üretim oranları arasında anlamlı yakınlıklar olduğu gözlemlenmiştir. Daha sonra Tumaç (2018) çalışmasındaki 9 farklı sedimanter kökenli doğal taş a ait alansal plaka üretim oranları ile bu tezde önerilen 3 farklı model ile hesaplanan alansal plaka üretim oranları karşılaştırılmıştır. Modellerden hesaplanan alansal plaka üretim oranlarında tek eksenli basınç dayanımının çok yüksek ve çok düşük olduğu değerlerde hesaplanan ile ölçülen alansal plaka üretim oranları arasında yüksek farklar olduğu dikkat çekmiştir.

Bu tez kapsamında ortaya çıkan sonuçlara göre doğal taşların S/T makinelerinde kesilebilirliklerine yönelik performans tahminlerinin yapılmasında fiziksel ve mekanik özelliklerin kullanılabileceği görülmüştür. Geliştirilen modeller incelendiğinde 1:1 eğilim çizgisine en yakın olan modelin Denklem 7.3'teki modelin; belirleme katsayısının en yüksek olduğu modelin ise Denklem 7.2'deki çoklu lineer regresyonda iki bağımsız değişkenin kullanıldığı modeller olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise doğal taş kesilebilirliğinde birden çok parametrenin etkili olması ve bu parametrelerin bir arada olduğunda daha anlamlı modeller ortaya çıkarmasıdır. Basit regresyon analizlerinde bir bağımsız değişkenin yer aldığı modellerin literatürdeki metamorfik

kökenli doğal taşlar için ortaya çıkan bir bağımsız değişkenli modellere göre daha anlamlı tahminler yapılabileceği bu çalışma kapsamında gözlemlenmiştir. Bu sonucun pekiştirilmesi amacıyla ileriki çalışmalar sedimanter kökenli doğal taşlara yönelik analiz ve veri sayısı arttırılmalı ve tekrardan metamorfik kökenliler ile kıyas edilmeli ve doğal taşların kesilebilirliğine yönelik doğal taşların kökenin etkisi daha kapsamlı olarak araştırılmalıdır.

Bu tez çalışmasında S/T makinelerinin performans tahminlerine yönelik doğal taşlara ait fiziksel ve mekanik özellikler kullanılmıştır. Ancak doğal taş kesilebilirliğini etkileyen tek parametreler fiziksel ve mekanik özellikler değildir. Yapılacak tahminlerin daha başarılı sonuçlar vermesi için S/T makinelerinin tipi, kullanılan testerelerin kalitesi, dişli sayısı, motor gücü, devir sayısı, S/T makinelerinde kullanılan dairesel testerelerin elmaslarının aşınma miktarları göz önünde bulundurulması gerekir. Diğer önemli hususlar ise S/T makinelerini kullanan operatörlerin kalitesi, makinelerin periyodik bakımlarının durumudur. Bu gibi parametrelerin doğal taşların kesilebilirliğine ve S/T makinelerinin performans tahminlerine etkisinin azımsanamayacak etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple ileriki araştırmalarda bu tez çalışmasında yer almayan bu faktörlerin de dikkate alınması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- 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).
- Bağcıvandemir, M.** (1997). *Mermer oyma makinası tasarımı ve kesme hareketlerinin invertörle kontrolü*. (Yüksek lisans tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Boggs, S. J.** (1987). Principle of sedimentology and stratigraphy, Merrill Publishing Company.
- Brook, B.** (2002). Principles of diamond tool technology for sawing rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **39** (1), 41-58.
- Burgess, R. & Birle, J.** (1978). Circular sawing granite with diamond saw blades, *Proceedings of the fifth industrial diamond seminar*, 3-10.
- Büyüksağış, İ. S.** (1998). *Dairesel testereli blok kesme makinalarında mermerlerin kesilebilirlik analizleri*. (Doktora tezi). Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Büyüksağış, İ. S., Atıcı, Ü. & Ersoy, A.** (2003). Travertenlerde tabaka yönünün kesme verimi üzerine etkileri, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu*, 189-199.
- Büyüksağış, İ. S. & Gürcan, S.** (2005). ASTM ve TSE doğal taş standartlarının karşılaştırılması, *Madencilik*, **44** (1), 33-41.
- Ceylanoglu, A. & Gorgulu, K.** (1997). The performance measurement results of stone cutting machines and their relations with some material properties, *Proc. of the sixth international symposium on mine planning and equipment selection, Rotterdam, Balkema*, 393-398.
- Clausen, R., Wang, C. Y. & Meding, M.** (1996). Characteristics of acoustic emission during single diamond scratching of granite, *Industrial Diamond Review*, **56** (570), 96-99.
- Çevim, K. C.** (2016). *Doğal taş fabrikalarında kullanılan dairesel testereli blok kesme (S/T) makineleri için performans tahmin modelinin geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi) retrieved from <https://tez.yok.gov.tr/>
- Çukurova Üniversitesi.** (t.y)., *Malzemelerin Mekanik Özellikleri* [PowerPoint sunumu] retrieved from https://abs.cu.edu.tr/Dokumanlar/2015/JS%20307/373795728_malzemelerin_mekanik_ozellikleri_compatibility_mode.pdf
- Delgado, N. S., Rodríguez-Rey, A., Suárez del Río, L. M., Sarriá, I. D., Calleja, L.**

- & Ruiz de Argandona, V. G.** (2005). The influence of rock microhardness on the sawability of Pink Porrino granite (Spain), *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **42 (1)**, 161-166.
- Ekincioglu, G. & Akbay, D.** (2021). Değerlendirme: 2020 Yılı Türkiye Doğal Taş Sektörü, *International Marble & Natural Stone Congress, Diyarbakır*, 127-136.
- 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.
- Fowell, R.J., McFeat-Smith, I.** (1976). Factors influencing the cutting performance of a selective tunneling machine, *International Symposium IMM (Tunneling '76)*, 301-309.
- Gunaydin, O., Kahraman, S. & Fener, M.** (2004). Sawability prediction of carbonate rocks from brittleness indexes, *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, **104 (4)**, 239-243.
- 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.
- Hausberger, P.** (1989). Causes of the different behaviour of rocks when machined with diamond tools, *Industrial Diamond Review*, **3**, 1-25.
- ISRM** (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring *ISRM Turkish National Group*, Ankara: Kozan Ofset.
- Kahraman, S., Fener, M. & Gunaydin, O.** (2004). Predicting the sawability of carbonate rocks using multiple curvilinear regression analysis, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **41 (7)**, 1123-1131.
- Kahraman, S., Altun, H., Tezekici, B. S. & Fener, M.** (2006). Sawability prediction of carbonate rocks from shear strength parameters using artificial neural networks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **43 (1)**, 157-164.
- Jeoloji bilgi** (t.y). Erişim: 5 Nisan 2022, <http://jeolojibilgi.blogspot.com/2012/05/kayac-cevrimi-dongusu.html>
- McFeat-Smith, I.** (1977). Rock property testing for the assessment of tunneling machines performance, *Tunnels Tunneling*, Mart 29-33.
- Montgomery, D.C. & Runger, G. C.** (2014). Applied Statistics and Probability for Engineers. 6th ed. Wiley Press, U.S.A.
- Norling, R.** (1971). Mechanical properties and the composition of some Swedish natural stone types and their effect on cutting results, *Presentation at the Conference on Diamond in the Construction and Stone Industry*, Germany.
- Onargan, T., Köse, H. & Deliormanlı, A.** (2006). Mermer (4. Baskı), İzmir, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını.

- Ribeiro, R. P., Paraguassú, A. B. & Rodrigues, J. E.** (2007). Sawing of blocks of siliceous dimension stone: influence of texture and mineralogy, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **66** (1), 101-107.
- Ticaret Bakanlığı** (2021). Sektör Raporları: Doğal Taş Sektörü, Erişim: 10 Mayıs 2022, <http://www.ekonomi.gov.tr>
- 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.** (2016). Artificial neural network application to predict the sawability performance of large diameter circular saws, *Measurement*, **80**, 12-20.
- Tumac, D. and 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 Science*, **101**, 18-32.
- Tutmez, B., Kahraman, S. & Gunaydin, O.** (2007). Multifactorial fuzzy approach to the sawability classification of building stones, *Construction and Building Materials*, **21** (8), 1672-1679.
- Wei, X., Wang, C. Y. & Zhou, Z. H.** (2003). Study on the fuzzy ranking of granite sawability, *Journal of Materials Processing Technology*, **139** (1-3), 277-280.
- Zhang, S. H. & Lu, F.** (2003). A new method of grading the sawability of natural rock materials, *Machining of Natural Stone Materials*, **250**, 293-296.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Arif Gümüş

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2022, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Mühendisliği Programı