

# Mermer Fabrikalarında Kullanılan Büyük Çaplı Dairesel Testerelerin (S/T) Performans Analizi

Deniz TUMAÇ, Sahand TOLOUEİ\*

İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ayazağa Kampüsü, 34469, Maslak, İstanbul

(Geliş/Received : 01.08.2016; Kabul/Accepted : 11.10.2016)

## ÖZ

Büyük çaplı dairesel testerelerin (S/T) bloklardan plaka kesim performansları bugüne kadar birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Yapılan araştırmalarda özellikle doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri ile S/T makinesinin kesim performansı arasındaki ilişkiler irdelenmiştir.

Bu çalışmada, Muğla Milas beyaz mermeri, Afyon şeker mermeri, Antalya kireçtaşı, Milas açık beyaz mermeri ve Marmara koyu gri mermerinin fabrikalarda S/T performans ölçümleri detaylıca yapılmıştır. S/T kesimi yapılan bloklardan numuneler alınarak tek eksenli basınç dayanımı (UCS), Brazilian çekme dayanımı (BTS), Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI), Shore scleroscope sertliği, Schmidt çekici sertliği ve yoğunluk deneyleri ISRM ve ASTM standartlarına uygun olarak yapılmıştır. S/T makinelerinin plaka üretim performanslarının tahmini için basit ve çoklu regresyon analizleri yapılarak yeni bir performans tahmin modeli önerilmiştir. Basit regresyon analizlerinde kayacın hangi mekanik özelliğinin S/T performansına etkisi olduğu belirlenmiştir. Yapılan çoklu regresyon analizlerinde doğal taşların UCS ve CAI değerleri kullanılarak yeni bir istatistiksel model önerilmiştir. Önerilen modelin güvenilirliği literatürden elde edilen S/T kesim performanslarıyla irdelenmiştir. Karşılaştırmalar ve doğrulamalar önerilen modelin S/T plaka üretim tahmini için güvenilir bir araç olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Büyük çaplı dairesel testere (S/T), doğal taş, fiziksel ve mekanik özellikler, regresyon analizi.

# The Performance Analysis of Large Diameter Circular Saws (S/T) used in Natural Stone Plants

## ABSTRACT

Performance prediction of large diameter circular saws (S/T) has been studied by many researchers. Previous studies were generally based on investigating the relationship between physical and mechanical properties of natural stone and sawability performance of S/T.

Sawability performance measurements of S/T for Muğla Milas white marble, Afyon sugar marble, Antalya limestone, Milas light white marble and Marmara dark grey marble are performed in natural stone factories. Uniaxial compressive strength (UCS), Brazilian tensile strength (BTS), Cerchar abrasivity index (CAI), Shore scleroscope hardness, Schmidt hammer hardness and density tests were carried out on block samples according to ISRM and ASTM standards. Simple and multiple regression analysis were conducted

and a new model is suggested in order to predict the performance of S/T. Simple regression analysis is performed to determine the dominant properties on S/T performance. A new statistical model is suggested as a result of multiple regression analysis by using the UCS and CAI values of natural stones. The reliability of suggested model is tested against performance of large diameter circular saws obtained from literature. Verifications and comparisons showed that the model suggested in this study may be a very useful and reliable tool for prediction of areal slab production rates for S/T.

**Keywords:** Large diameter circular saw (S/T), natural stone, physical and mechanical properties, regression analysis.

## 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde doğal taşların kullanım alanlarının artması sebebiyle doğal taşlara olan talep hızla artmaktadır. Ocakta başlayan blok üretimi ve akabindeki fabrikada yapılan boyutlandırma ve nihai ürün oluşturma işlemlerinin analizi her geçen gün önem arz etmektedir.

Fabrikalarda bu amaç için kullanılan makinelerden biri olan; büyük çaplı dairesel testereler (S/T) çeşitli boyutlarda plaka üretimi yapabilme özelliğine sahiptir ve doğal

taş üretim sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. S/T makineler, doğal taş sektöründe kullanılan diğer makinelerle göre tek operatörle daha düşük maliyetlerde mükemmel üretim performansı elde etme özelliğine sahiptir. Söz konusu makinelerden çıkan plakalar genelde muntazam bir şekilde olup yeniden şekillendirmelerine gerek duyulmamaktadır. Ancak bu makinelerinde kullanım sınırlamaları vardır ve genellikle doğal taşların geoteknik özelliklerine bağlıdır.

Uygun bir makine seçimi ve makine performansı genelde doğal taşın fiziksel ve mekanik özellikleri, keski özellikleri, ilerleme (penetrasyon) oranı ve keski tüketim oranına bağlıdır. Makine performansı, doğal taş

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta: sahandd.tl@gmail.com  
Digital Object Identifier (DOI) :

fabrikalarının üretim planı ve maliyet tahmini faaliyetlerini doğrudan etkilemektedir. S/T makinelerin performans tahminine ilişkin birçok araştırma yapılmıştır. Doğal taş kesme makineleri hakkında yapılan çalışmalardan bazıları şu şekilde özetlenebilir: Burgess [1], regresyon analizleri sonucunda kesilebilirliğin tahmini için bir model geliştirmiş ve bu modelin girdi parametreleri olarak kayaçların mineralojik kompozisyonu, sertliği, tane boyutu ve aşınmaya karşı olan dirençlerini kullanmıştır. Modelin güvenilirliği ise istatistiksel analizler ile test edilmiştir. Hausberger [2], yaptığı çalışmalar sonucunda iyi tanımlanmış klivaj düzlemlerindeki mineral oranlarının artmasının doğal taş kesim işlemlerini kolaylaştırdığı sonucuna varmıştır. Ceylanoglu ve Gorgulu [3], kayaç özellikleri ve plaka üretim oranları ile spesifik kesme enerji değerleri arasında karşılaştırmalar yapmışlardır. Bu karşılaştırmalar sonucunda istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde etmişlerdir. Brook [4], yaptığı çalışmalar sonucunda Brook sertliği olarak adlandırılan yeni bir indeks test geliştirmiştir. Wie vd [5], bulanık mantık yöntemini kullanarak granitlerin kesilebilirliği ile ilgili yeni bir notlandırma sistemi geliştirmişlerdir. Yeni yapılacak projelerde kullanılacak olan dairesel testerenin seçimi için kayaçların bazı mekanik ve petrografik özelliklerinin bilinmesinin yeterli olduğunu bildirilmiştir. Gunaydin vd [6], regresyon analiz yöntemini kullanarak doğal taşların dairesel testerele ile kesilebilirliklerini literatürde var olan kırılma indeksleri ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak karbonatlı kayaçların kesilebilirliklerinin bazı kırılma indeksleri ile doğrudan tahmin edilebileceğini göstermişlerdir. Kahraman vd [7], eğrisel regresyon analizleri kullanarak büyük çaplı dairesel testerelelerin plaka üretim oranının tahmini için bir model geliştirmişlerdir. Karbonatlı kayaçların kesim performansının tahmininde kullanılacak olan bu modelin girdi parametreleri olarak; Schmidt çekici sertliği, nokta yük dayanımı, darbe dayanımı ve P dalga hızı değerlerini kullanmışlardır. Norling [8], yaptığı çalışmada taşın kesilebilirliği ve petrografik özellikleri arasında anlamlı bir korelasyon katsayısı belirlemiş ve tane boyutunun kuvars içeriğine nazaran, kesilebilirliğini daha çok etkileyebileceği kanısına varmıştır. Clausen vd [9], yaptıkları akustik emisyon testleriyle kayaçların kesilebilirlik sınıflandırmasının mümkün olduğunu göstermişlerdir. Zhang ve Lu [10], elmas kesicilerin optimum dizayn ve dönmesiyle ilgili bir araştırma yapmışlardır. Yapılan çalışmanın sonucunda elde edilen verilerin dairesel testerelelerin dizaynında ve kullanımında en iyi yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Kahraman vd [11], yapay sinir ağı modellemesi kullanarak karbonatlı kayaçların kesilebilirliğinin tahmini için bir model geliştirmiş ve bu modelin aslında istatistiksel modellerden daha güvenilir olduğunu öne sürmüşlerdir. Delgado vd [12], pembe İspanyol granitinin sertlik ve kesilme oranını araştırılmış ve bu ikisinin arasında güçlü bir istatistiksel ilişki olduğunu bulmuşlardır. S/T makinelerin performansı Tutmez vd [13], tarafından yapılan bir çalışmada değerlendirilmiştir. Bu çalışmada çok faktörlü bulanık mantık yöntemiyle yapı taşlarının kesilebilirliği

mükemmel, iyi ve zayıf olarak üç farklı grupta sınıflandırılmıştır. Yazarlar ileriki çalışmalarda doğal taşların kesiminde en uygun dairesel testerenin ve performansının değerlendirilebilmesi için bu sınıflandırmanın güvenle kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bu amaç için geliştirdikleri sınıflama sistemindeki fiziksel ve mekanik deneylerin yapılmasının yeterli olduğu görüşünü beyan etmişlerdir. Ribeiro vd [14], kayaçların kesilebilirliğiyle makine özellikleri, kesme derinliği, kayaç özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Mineralojik benzerliği çok yakın olan iki granit kesim hızlarının bir birinden çok farklı olduğunu belirlemişlerdir. Bu sonuçlara ulaşılmasının sebeplerini ise Knoop sertliği, Amsler aşınması ve granitlerin petrografik özellikleri ile açıklamışlardır. Kahraman ve Gunaydin [15], sekiz farklı karbonatlı kayaç üzerinde S/T makinelerin performansını araştırmış, sertlik indeksi ve saatlik üretim ( $m^2/h$ ) miktarı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu vurgulamışlardır. Guney [16], Muğla ilçesinde bulunan beş farklı mermer ocağından alınan numuneler üzerinde araştırmalar yapmış ve saatlik plaka üretimi ( $m^2/h$ ), kayacın yüzey sertliği ve mineral tane boyutu arasında birkaç istatistiksel model geliştirmiştir. Tumaç [17], yaptığı araştırmada S/T makinelerinin performans tahminini yapmak üzere 2 farklı model önermiştir. Söz konusu çalışmayla Schmidt çekiciden elde edilen deformasyon katsayısı ve kayacın CAI değeri kullanılarak oluşturulan abaktan S/T makine performansı yapabilmek mümkün olmuştur. Tumaç [18], S/T performans tahmini için çeşitli sahalardan alınan numuneler üzerinde UCS, CAI, porozite ve yoğunluk deneyleri yaparak yapay sinir ağıları uygulamasından yararlanmış ve bu uygulamanın yeterliliği üzerinde tartışmıştır.

Araştırmacılar kazı makinelerinin performans tahmini için basit testlerden elde edilen kayaç özelliklerini kullanarak bir metot bulmakla sıkça ilgilenmektedirler. Geçmişte yapılan araştırmalar kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin kesilebilirlikle ilişkisi olduğunu göstermiş olsa da bu konuda yapılan çalışmalar daha da geliştirilebilir. Geçmişte yapılan araştırmalardan elde edilen bulguların ışığında, bu çalışmada, UCS, BTS, CAI, Shore scleroscope sertliği, Schmidt çekici sertliği ve yoğunluk gibi kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri kullanılarak S/T makinelerin performansı (alansal net kesim hızı) arasında istatistiksel bir ilişki araştırılmıştır. Yapılan çift kuyruklu istatistiksel analizler sonucunda F-test ve t-test analizlerinden geçen % 90 güven aralığına sahip yeni model literatüre sunulmuştur. Önerilen modelin güvenilirliği literatürde daha önceden yayınlanmış olan S/T performanslarıyla da irdelenmiştir.

## 2. MALZEME VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Laboratuvar çalışmaları olarak fabrikalardan elde edilen Muğla Milas beyaz mermeri, Afyon şeker mermeri, Antalya kireçtaşı, Milas açık beyaz mermeri ve Marmara koyu gri mermeri numuneleri üzerinde yoğunluk, tek eksenli basınç dayanımı (UCS), Brazilian çekme dayanımı

(BTS), Shore scleroscope sertliği ve Schmidt çekici sertliği deneyleri ISRM [19] standartlarına uygun olarak yapılmıştır. CAI deneyleri ise ASTM [20] standardına uygun olarak yapılmıştır.

Minimum ölçüleri 25x25x30 cm olan doğal taş numuneleri doğal taş fabrikalarından laboratuvarlara getirilmiştir. Karot alma makinesi ve küçük çaplı dairesel testere kullanılarak numuneler ilgili standartların belirttiği ölçülere getirilmiştir (Şekil 1). Şekil 1a'da NX ölçülerinde karot numuneler hazırlamakta kullanılan karot alma makinesi, Şekil 1b'de ise hazırlanan karot numunelerin başlarını düzeltmekte kullanılan küçük çaplı dairesel testere görülmektedir.

N-tip Schmidt çekici kullanılarak yapılmıştır. Her bir numune için deneyler beş set olarak yapılmıştır. Her bir setin deneyinde on farklı noktadan okumalar alınmıştır. Shore Scleroscope sertliği deneyi C-2 tip Shore deney aleti kullanılarak yapılmıştır. Her bir numune için deneyler beş set olarak yapılmıştır. Her bir setin deneyinde on farklı noktadan okumalar alınmıştır. Yoğunluk tayini için tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kullanılmak üzere hazırlanan kayaç numuneleri hassas terazide tartılarak numunelerin ağırlıkları bulunmuştur. Numunelerin hacimleri hesaplanmış ve buradan kayaçların yoğunlukları (doğal birim hacim ağırlığı) bulunmuştur. Şekil 2'de laboratuvar

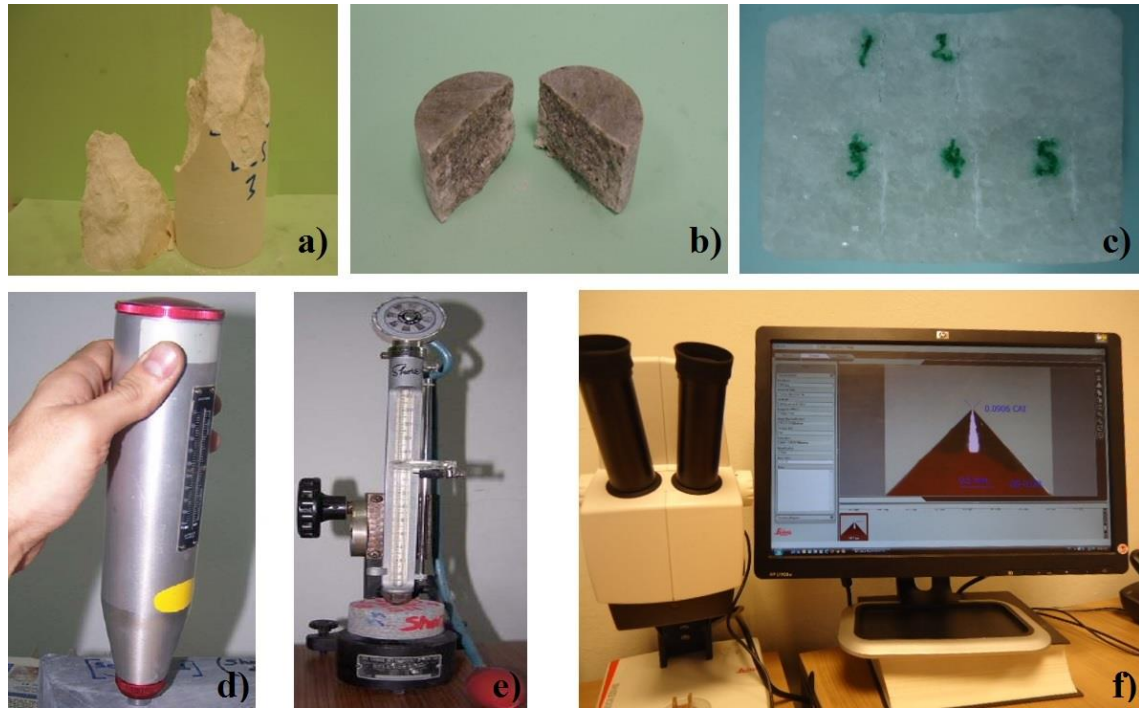


Şekil 1. Numune hazırlama (Sample preparation)

UCS deneylerinde yükseklik/çap oranı yaklaşık 2,5 olup, çapı NX (54 mm) olan karot numuneler kullanılmıştır. Deney esnasında karot üzerine sürekli olarak 0,5 kN/sn sabit bir yükleme hızında kuvvet uygulanmıştır. BTS deneylerinde ise yükseklik/çap oranı yaklaşık 0,5 ve çapı NX (54 mm) olan karot numuneler kullanılmıştır. Deney esnasında karot üzerine sürekli olarak 0,2 kN/sn olarak sabit bir yükleme hızında kuvvet uygulanmıştır. CAI deneyi; 160 kg/mm çekme dayanımı olan 90° tepe açılı konik bir uç (pin) 70 N basma kuvveti ile taze kırılmış örnek üzerinde yaklaşık bir saniye sürede 10 mm çekilmekte ve uçta oluşan aşındırma yüzeyi kayaç örneğinin aşındırıcılığını vermektedir. Konik uç, 55 Rockwell sertliğindedir. Konik uç 30X büyütme kapasitesine sahip dijital mikroskop altında incelenerek ucun yüzey çapındaki aşınması 1/1000 mm hassasiyetinde ölçülmüştür. Her 1/10 mm'ye karşılık gelen aşınma değeri 1 CAI değeri olarak belirlenmiştir. Taze kırılmış yüzey üzerinden 5 pin ile deney yapılmış ve her pinden bir birine dik 2 adet okuma alınmıştır. 10 okumanın sonucunda elde edilen aşınma miktarlarının aritmetik ortalaması doğal taşın Cerchar aşındırıcılığı olarak kabul edilmiştir. Schmidt çekici sertliği deneyleri

ortamında yapılan deneylere ait birkaç örnek verilmiştir. Şekil 2a'da UCS deneyi sonucunda kırılan bir numune, Şekil 2b'de ise BTS deneyi sonucunda kırılan bir numuneye ait örnekler verilmiştir. Şekil 2c'de bir numune üzerinde yapılan CAI deneyi sonrasında elde edilen beş deney hattı verilmiştir. Numunelerin yüzey sertliği tayinlerinde kullanılan Schmidt çekici ve Shore scleroscope deney aletleri Şekil 2d ve Şekil 2e'de verilmiştir. Şekil 2f'de ise CAI analizlerinde kullanılan mikroskop ve ölçüm sistemi görülmektedir.

Çalışılan beş farklı doğal taş numunesinin yoğunluğunun 2,69 ile 2,79 gr/cm<sup>3</sup> arasında, tek eksenli basınç dayanımının 55,3 ile 139,6 MPa arasında, Brazilian çekme dayanımının 3,9 ile 8,1 MPa arasında, Cerchar aşındırıcılık indeksinin 2,1 ile 4,8 arasında, Schmidt çekici sertliğinin 39,3 ile 74,3 arasında, Shore sertliğinin 31,3 ile 68,3 arasında değiştiği belirlenmiştir. Fiziksel ve mekanik özelliklerin toplu sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Deneylere ait fotoğraflar (The test photos)

Çizelge 1. Doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinin özeti (Summary of the physical and mechanical properties of natural stones)

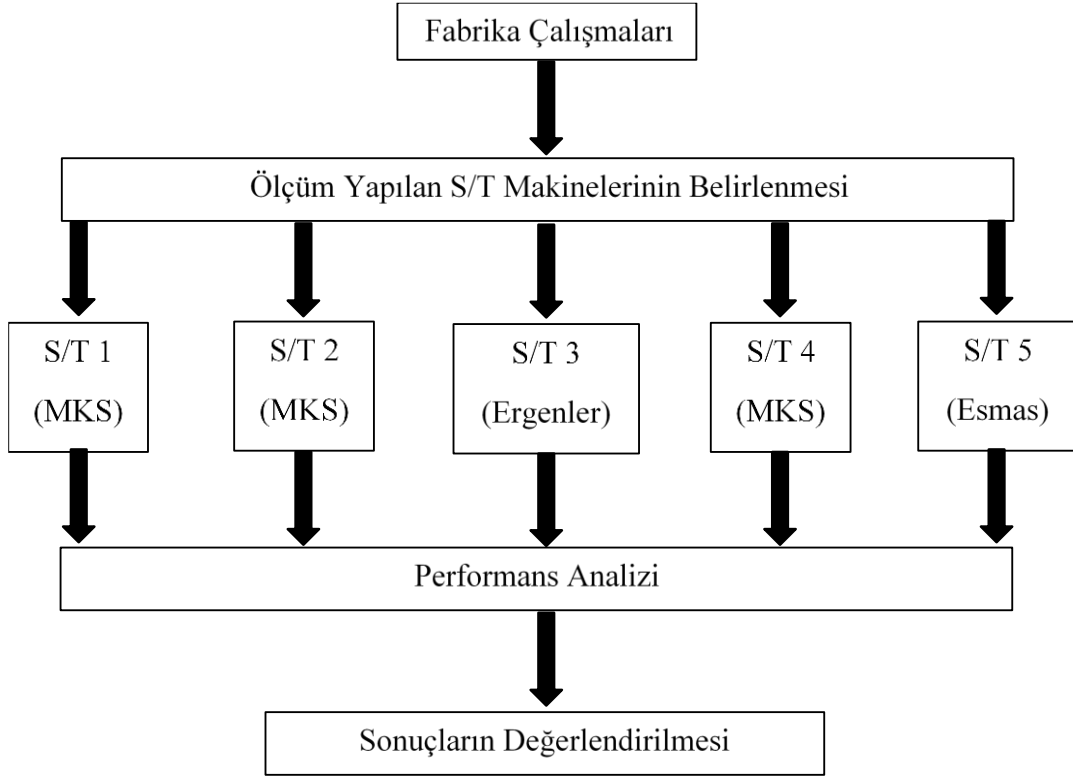
Doğal Taş Adı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	UCS (MPa)	BTS (MPa)	CAI	Schmidt Sertliği	Shore Sertliği
Muğla Milas Beyaz Mermeri	2,79	81,3	3,9	3,7	40,3	39,3
Afyon Şeker Mermeri	2,69	91,3	5,1	3,1	51,3	41,6
Antalya Kireçtaşı	2,73	55,3	4,9	2,1	39,3	31,3
Milas Açık Beyaz Mermeri	2,74	91,7	5,9	4,8	74,3	68,3
Marmara Gri Mermeri	2,69	139,6	8,1	2,9	71,1	53,6

Ülkemize önemli katma değer getirisini sağlayan doğal taş madenciliğinde plaka üretiminde fabrikalarda kullanılan ve blok kesimi yapan büyük çaplı dairesel testerelerin (S/T) performans ölçümleri bu çalışma kapsamında detaylıca yapılmıştır. Alınan ölçümler değerlendirilerek her bir makineye ait kullanım oranı değerleri hesaplanmıştır. Buradan elde edilen sonuçlara dayanarak makinelerin incelenen fabrika içerisinde verimli bir şekilde kullanılıp kullanılmadıkları incelenmiştir. Bu çalışma sırasında takip edilen tüm işlem adımları Şekil 3'te verilmiş ve plaka üretimi esnasından bir görüntü ise Şekil 4'te verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında iki farklı mermer fabrikasında beş farklı doğal taşın kesiminde bulunulmuştur. Çalışılan doğal taş bloklarının isimleri; Muğla Milas beyaz mermeri, Afyon şeker mermeri, Antalya kireçtaşı, Milas açık beyaz mermeri ve Marmara koyu gri mermeridir. Performans ölçümleri dört ayaklı MTS, Ergenler ve Esmas marka S/T makineleri üzerinde yapılmıştır. MKS ve Esmas S/T makinelerinde kullanılan dairesel

testerelerin çapları 1200 mm, Ergenler S/T makinelerinde kullanılan dairesel testerelerin çapı ise 1600 mm'dir.

Kesim işlemi esnasında testerelerin dönüş hızlarının 2220-2630 devir/dk arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Muğla Milas beyaz mermeri için fabrikada üretilen plakaların kalınlıkları 5 cm, eni 30 cm ve boyu 135 cm'dir. Afyon şeker mermeri için fabrikada üretilen plakaların kalınlıkları 5 cm, eni 30 cm ve boyu 160 cm'dir. Antalya kireçtaşı için fabrikada üretilen plakaların kalınlıkları 5 cm, eni 30 cm ve boyu 140 cm'dir. Milas açık beyaz mermeri için fabrikada üretilen plakaların kalınlıkları 5 cm, eni 30 cm ve boyu 220 cm'dir. Marmara koyu gri mermeri için fabrikada üretilen plakaların kalınlıkları 5 cm, eni 30 cm ve boyu 220 cm'dir.



Şekil 3. Performans ölçüm aşamaları (Performance prediction stages)



Şekil 4. Plaka üretimi esnasından bir görüntü (A photo of slab production stage)

Her bir doğal taş için performans ölçümü üç kez tekrarlanmıştır. Çalışılan bloğun S/T kesim performansının sonucu olarak bu üç kesimin aritmetik ortalaması alınmıştır. Muğla Milas beyaz mermerinin S/T kesim performans sonuçları Çizelge 2'de, Afyon şeker mermerinin S/T kesim performans sonuçları

Çizelge 3'te, Antalya kireçtaşının S/T kesim performans sonuçları Çizelge 4'te, Milas açık beyaz mermerinin S/T kesim performans sonuçları Çizelge 5'te ve Marmara koyu gri mermerinin S/T kesim performans sonuçları ise Çizelge 6'da detaylıca verilmiştir.

**Çizelge 2.** Muğla Milas beyaz mermeri S/T performans analizi (S/T performance analysis of Muğla Milas white marble)

Ölçüm No	1	2	3	Ortalama
Plaka Ebatları (cm x cm)	135 x 30	135 x 30	135 x 30	135 x 30
Üretilen Plaka Sayısı	24,9	21,5	27,7	24,7
Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	10,1	8,7	11,2	10,0

**Çizelge 3.** Afyon şeker mermeri S/T performans analizi (S/T performance analysis of Afyon sugar marble)

Ölçüm No	1	2	3	Ortalama
Plaka Ebatları (cm x cm)	160 x 30	160 x 30	160 x 30	160 x 30
Üretilen Plaka Sayısı	27,7	29,8	23,8	27,1
Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	13,3	14,3	11,4	13,0

**Çizelge 4.** Antalya kireçtaşı S/T performans analizi (S/T performance analysis of Antalya limestone)

Ölçüm No	1	2	3	Ortalama
Plaka Ebatları (cm x cm)	140 x 30	140 x 30	140 x 30	140 x 30
Üretilen Plaka Sayısı	47,4	46,7	50,2	48,1
Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	19,9	19,6	21,1	20,2

**Çizelge 5.** Milas açık beyaz mermeri S/T performans analizi (S/T performance analysis of Milas light white marble)

Ölçüm No	1	2	3	Ortalama
Plaka Ebatları (cm x cm)	220 x 30	220 x 30	220 x 30	220 x 30
Üretilen Plaka Sayısı	12,3	15,2	13,0	13,5
Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	8,1	10,0	8,6	8,9

**Çizelge 6.** Marmara koyu gri mermeri S/T performans analizi (S/T performance analysis of Marmara dark gray marble)

Ölçüm No	1	2	3	Ortalama
Plaka Ebatları (cm x cm)	220 x 30	220 x 30	220 x 30	220 x 30
Üretilen Plaka Sayısı	9,5	10,3	11,5	10,5
Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	6,3	6,8	7,6	6,9

Performans ölçümlerinin asıl amacı; S/T makinesinin bir saatteki metre kare cinsinden net kesim hızının belirlenmesidir. Bu kesim hızı alansal net kesim hızı (ANKH, m<sup>2</sup>/h) olarak adlandırılabilir. ANKH hesabında makinenin bir boy kesimi için kesme işlemine başlaması, bir boyun kesim süresi ve bu kesimi tamamladıktan sonra geri dönüşe başladığı zamandaki duraklamaları bu ölçüm değerine dahildir. Testere blok sonuna ulaştığında yeni plakanın kesimi için plaka kalınlığı kadar yana alınmaktadır, bu işlem otomatik olarak makine tarafından yapılmaktadır. Operatörün etkisi yok denecek kadar azdır. S/T makinesine yerleştirilen bloğun büyüklüğüne bağlı olarak plaka sayısı elde edilmektedir. Yukarıdaki çizelgelerde verilen plaka sayıları bir saatlik kesim süresi için elde edilen plaka sayılarıdır.

Çizelge 7'de ise S/T makinelerinin kesim performanslarının özetleri verilmiştir. Muğla Milas beyaz mermeri için üç performans analizinin ortalaması 10,0 m<sup>2</sup>/h, Afyon şeker mermeri için üç performans analizinin ortalaması 13,0 m<sup>2</sup>/h, Antalya kireçtaşı için üç performans analizinin ortalaması 20,2 m<sup>2</sup>/h, Milas açık beyaz mermeri için üç performans analizinin ortalaması 8,9 m<sup>2</sup>/h, Marmara koyu gri mermeri için üç performans analizinin ortalaması 6,9 m<sup>2</sup>/h olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçların daha iyi anlaşılabilmesi için ortalama üretilen plaka sayısı ve ortalama alansal net kesim hızları üç boyutlu grafik halinde Şekil 5'te verilmiştir.

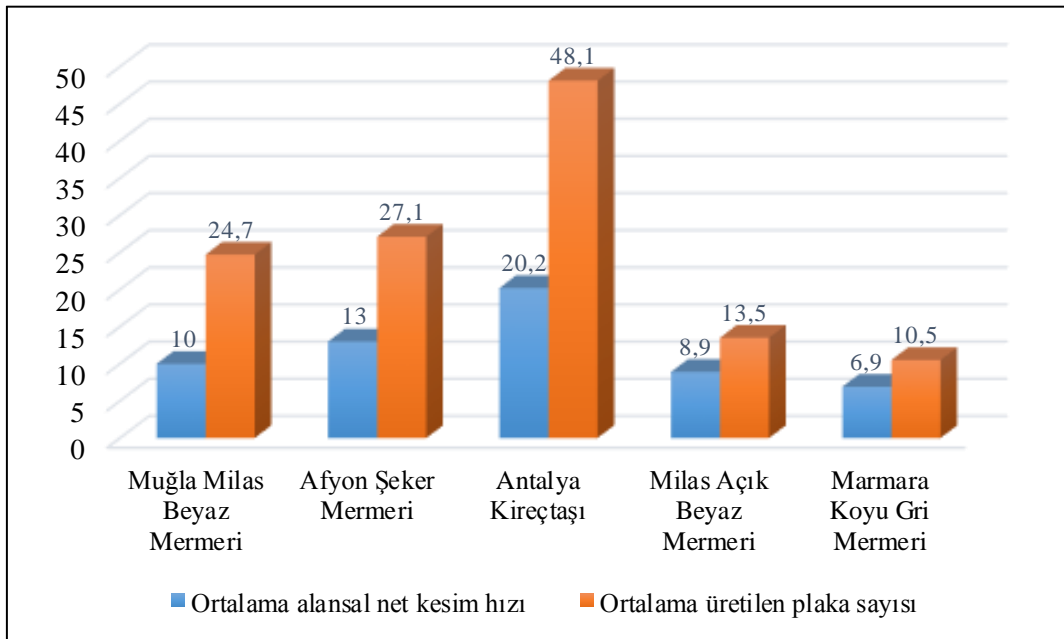
Performans ölçümlerinde yapılan gözlemlerde; Antalya kireçtaşında saatlik makine kesim performansının diğer doğal taşlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun en önemli sebebi olarak plaka kesim yönünün

tabakalanmaya paralel olması gösterilebilir. Diğer çalışılan dört doğal taş numunesi masif (tabakalanma bulunmamaktadır) yapıya sahiptir. Bu doğal taşların S/T makineleri ile kesiminde alansal net kazı hızları 6,9 ile 13,0 m<sup>2</sup>/h olarak değişmiştir. Bu değişimi etkileyen asıl sebepler, doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri olarak gösterilebilir.

dört ayaklıdır ve kesim işleminde kullanılan dairesel testerelerin dönüş hızları arasında da çok fazla fark olmadığı gözlemlenmiştir. S/T makinelerinin plaka kesim performansını etkileyen diğer parametreler göz önüne alındığında akla ilk gelen en baskın parametrenin doğal taşın fiziksel ve mekanik özellikleri olabileceği düşünülmüştür. Bu öngöründen yola çıkarak, doğal

**Çizelge 7.** S/T makinesi performans analizi ortalamaları (The results of the average S/T performance)

Gözlem Sayısı	1	2	3	4	5
Doğal Taş Adı	Muğla Milas Beyaz Mermeri	Afyon Şeker Mermeri	Antalya Kireçtaşı	Milas Açık Beyaz Mermeri	Marmara Koyu Gri Mermeri
S/T Makine Adı	MKS	MKS	Ergenler	MKS	Esmuş
Testere Çapı (mm)	1200	1200	1600	1200	1200
Testere Dönüş Hızı (devir/dk)	2400	2365	2220	2630	2245
Ortalama Plaka Ebatları (cm x cm)	135 x 30	160 x 30	140 x 30	220 x 30	220 x 30
Ortalama Üretilen Plaka Sayısı	24,7	27,1	48,1	13,5	10,5
Ortalama Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	10,0	13,0	20,2	8,9	6,9



**Şekil 5.** Ortalama alansal net kesim hızı ve üretilen plaka sayılarının grafiksel gösterimi (Graphical representation of average areal net sawing rate and slab production capacity)

### 3. ALANSAL NET KESİM HIZI TAHMİNİ İÇİN İSTATİSTİKSEL MODELLEME (STATISTICAL MODELS FOR PREDICTING AREAL SLAB PRODUCTION RATE)

Doğal taş fabrikalarında S/T makinelerinin kesim performanslarının detaylıca tutulan analizleri sonucunda her bir doğal taşın saatteki metre kare olarak ifade edilen kesim performanslarında farklı değerlere ulaşılmıştır. Yapılan çalışmalar için seçilen S/T makinelerinin hepsi

taşların laboratuvarında yapılarak elde edilen fiziksel ve mekanik deneylerinin sonuçları, S/T makinelerinin alansal net kesim hızı performansları ile irdelenmiştir. Bu irdemelerde basit ve çoklu regresyon analizleri esas alınmıştır.

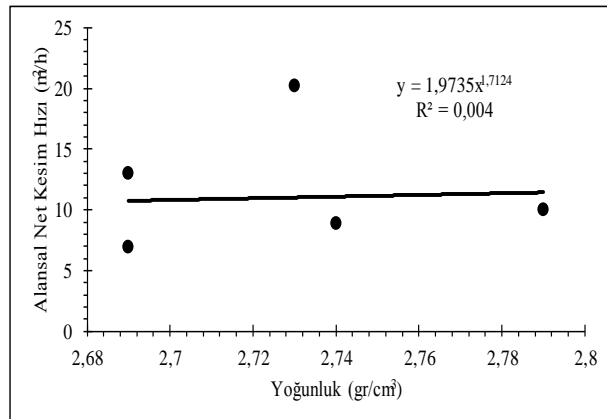
#### 3.1. Basit Regresyon Analizine Dayalı Modeller (Models Based on Simple Regression Analysis)

Basit regresyon analizi bir bağımlı ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılan

istatistiksel bir yaklaşımdır. Bu çalışmada, S/T makinelerinin alansal kesim hızı ile doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için ilk önce basit regresyon analizi kullanılmıştır. Böylelikle, hangi doğal taş özelliğinin S/T performansı üzerinde baskın olduğunu daha kolay bir şekilde anlaşılmıştır. Bu karşılaştırmalarda kısaca şu sonuçlara ulaşılmıştır:

Doğal taşların yoğunluklarının S/T kesme performansı ile olan ilişkisi Şekil 6'da verilmiştir. Bu iki parametre arasında her hangi bir ilişkinin olmadığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeni çalışılan doğal taşların yoğunluklarının çok dar bir aralıkta değişiyor olması gösterilebilir. Bundan sonraki çalışmalar için daha geniş bir aralıkta çalışılarak yoğunluğun kesme performansı üzerine olan etkisinin incelenmesi önerilmektedir.

Doğal taşların Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) değerinin S/T kesme performansı üzerindeki etkisi Şekil 7'de incelenmiştir. İki parametre arasında 0,40'lık belirleme katsayısına ( $R^2$ ) sahip zayıf bir ilişki bulunmuştur. Tuncac [17], ise CAI ile S/T performansı arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Bu çalışma kapsamında incelenen doğal taşların CAI değerlerinin 2,4 ile 4,8 arasında değiştiği bilinmektedir. Bu aralığın farklı doğal taş numuneleri ile geliştirilmesi bir sonraki çalışmalar için önerilebilir.

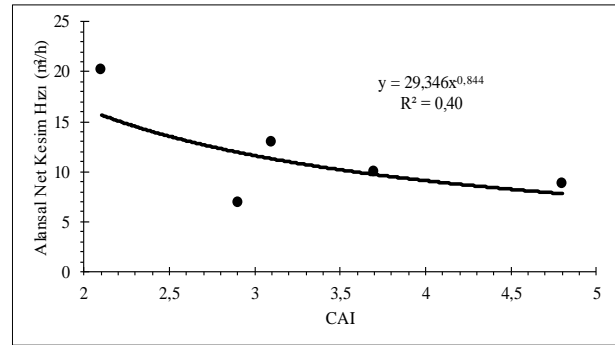


Şekil 6. Yoğunluk ile alansal net kesim hızı arasındaki ilişki (Relationship between density and areal net sawing rate)

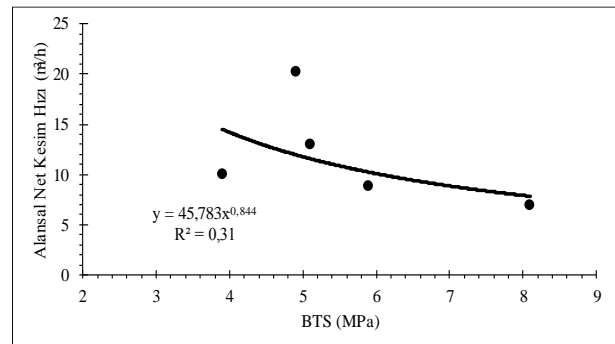
Brazilian çekme dayanımının (BTS) S/T makinelerinin alansal kesim hızı üzerindeki etkileri Şekil 8'de verilmiştir. Bu karşılaştırmalar, BTS'nin S/T makinelerinin kesim performansı üzerinde neredeyse bir etkisi olmadığını ( $R^2=0,31$ ) açıkça göstermektedir. Yine de daha sonraki çalışmalarda daha farklı çekme dayanımı özelliklerine sahip doğal taşların detaylıca incelenmesi önerilmektedir. Çünkü Fener vd [21], sekiz farklı karbonatlı kayacın kesiminde kullanılan S/T makinelerinin performans analizi sonucunda kayaçların çekme dayanımı ile S/T üretim performansı arasında 0,77 belirleme katsayısına sahip bir ilişki bulmuşlardır. Tuncac [17] ise yedi farklı karbonatlı kayacın üzerinde yaptığı analizler sonucunda; S/T makine performansı ile

BTS arasında 0,71 belirleme katsayısına sahip bir ilişki bulunmuştur.

Schmidt çekici kullanılarak elde edilen doğal taşların yüzey sertliği değerlerinin S/T kesim performansı üzerindeki etkileri Şekil 9'da verilmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen doğal taşların Schmidt yüzey sertlikleri 39,3 ile 74,3 arasında değişmektedir. Aralık olarak bakıldığında değerlerin geniş bir aralığa tekabül ettiği görülmektedir. Yapılan karşılaştırma sonucunda iki parametre arasında 0,56'lık belirleme katsayısına ( $R^2$ ) sahip orta dereceli bir ilişki bulunmuştur. Diğer yandan, Fener vd [21] ise Schmidt çekici sertliği ile S/T üretim hızı arasında 0,29 belirleme katsayısına sahip zayıf bir ilişki bulmuşlardır. Guney [16], Schmidt sertliği ile S/T üretim hızı arasında 0,24'lük zayıf bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Tuncac [17] ise bu iki parametre arasında 0,29'lük belirleme katsayısına sahip zayıf bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Bu iki parametre arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için daha fazla doğal taşın S/T ile kesim analizlerinin yapılması önem arz etmektedir.



Şekil 7. Cerchar aşındırıcılık indeksi ile alansal net kesim hızı arasındaki ilişki (Relationship between Cerchar abrasivity index and areal net sawing rate)



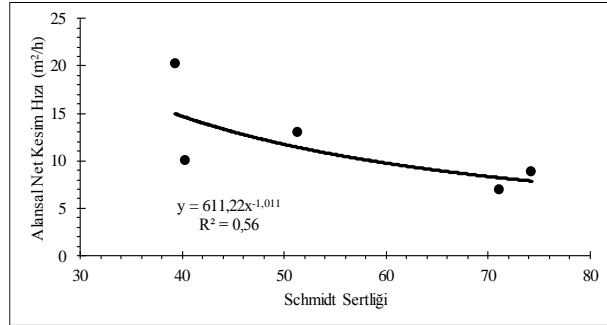
Şekil 8. Brazilian çekme dayanımı ile alansal net kesim hızı arasındaki ilişki (Relationship between Brazilian tensile strength and areal net sawing rate)

Shore scleroscope deney aleti kullanılarak belirlenen yüzey sertliklerinin S/T kesme performansına etkisi Şekil 10'da verilmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen doğal taşların Shore yüzey sertlikleri 31,3 ile 68,3 arasında değişmektedir. Doğal taşların Shore yüzey sertlik değerlerinin geniş bir aralığa tekabül ettiği görülmektedir. Yapılan karşılaştırma sonucunda iki parametre arasında 0,63'lük belirleme katsayısına ( $R^2$ )



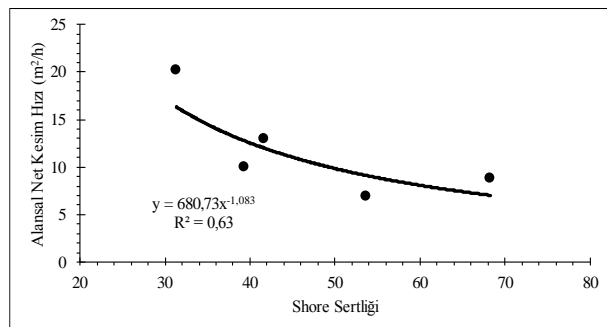
sahip orta dereceli bir ilişki bulunmuştur. Ayrıca, Guney [16], Shore sertliği ile S/T saatlik plaka üretimi arasında 0,53'lük belirleme katsayısına sahip bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Bu ilişkinin geliştirilebilmesi için daha fazla doğal taşın S/T ile kesim analizlerinin yapılması önem arz etmektedir.

Hem Schmidt hem de Shore scleroscope deney yöntemi, doğal taşların yüzey sertliği değerlerini vermektedir. Yapılan karşılaştırmalar göstermiştir ki, farklı yöntemlerle de olsa doğal taşların yüzey sertliklerinin S/T kesme performansına etkisi yok denemeyecek kadar çoktur.

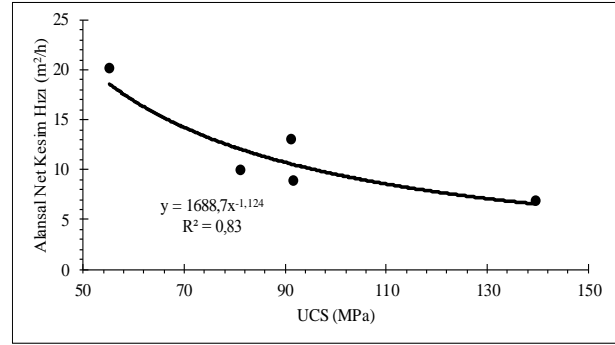


**Şekil 9.** Schmidt çekici sertliği ile alansal net kesim hızı arasındaki ilişki (Relationship between Schmidt hammer hardness and areal net sawing rate)

Kayaçların/doğal taşların en önemli mühendislik özelliklerinden birisi şüphesiz ki tek eksenli basınç dayanımlarıdır. Bu çalışma kapsamında, tek eksenli basınç dayanımının S/T kesme performansı üzerinde etkisi Şekil 11 ile incelenmiştir. Çalışılan doğal taşların basınç dayanımları 55,3 ile 139,6 MPa arasında değişmektedir. Yapılan istatistiksel karşılaştırma sonucunda iki parametre arasında 0,83'lük belirleme katsayısına ( $R^2$ ) sahip kuvvetli bir ilişki bulunmuştur. Bu karşılaştırma doğal taşların basınç dayanımlarının S/T kesim performansı (alansal net kesim hızı) üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu iki parametre arasında güçlü bir ilişki olduğu Fener vd [21] tarafından da belirtilmiştir. Basınç dayanımının S/T kesme performansını üzerine etkisini daha iyi anlayabilmek için daha fazla doğal taş üzerinde analizler yapılmalıdır.



**Şekil 10.** Shore scleroscope sertliği ile alansal net kesim hızı arasındaki ilişki (Relationship between Shore scleroscope hardness and areal net sawing rate)



**Şekil 11.** Tek eksenli basınç dayanımı ile alansal net kesim hızı arasındaki ilişki (Relationship between uniaxial compressive strength and areal net sawing rate)

### 3.2. Çoklu Regresyon Analizine Dayalı Model (Model Based on Multiple Regression Analysis)

Çoklu regresyon yöntemi sayesinde aynı anda bağımlı değişkenleri etkileyen faktörler kontrol edilebilir. Bu sebeple günümüzde çoklu regresyon analizi araştırmacılar tarafından sıkça kullanılmaktadır. Çoklu regresyon modellemesinde açıklayıcı birden fazla değişken kontrol edilebilir ve aralarındaki ilişkiler gözlemlenebilir, dolayısıyla basit regresyon analizinin yanıtıcı olabileceği durumlarda bu yöntem kullanılarak modelleme yapılabilir. Bu çalışmada, alansal net kesim hızı ve kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla çoklu regresyon analizi yapılmıştır.

Bağımlı değişken olarak alansal net kesim hızı ( $m^2/h$ ) ve bağımsız değişken olarak yoğunluk ( $g/cm^3$ ), tek eksenli basınç dayanımı (UCS, MPa), Brazilian çekme dayanımı (BTS, MPa), Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI), Schmidt çekici sertlik değeri ve Shore scleroscope sertlik değeri kullanılmış ve en uygun regresyon modeli geliştirilmiştir. Çoklu regresyon analizleri sonucunda en anlamlı olan istatistiksel modelde bağımsız değişkenler olarak UCS ve CAI kullanılmış olup aralarındaki ilişki Eşitlik 1'de sunulmuştur.

$$ANKH = -0,125UCS - 2,684CAI + 32,229 \quad (1)$$

Burada, ANKH: Alansal net kesim hızı ( $m^2/h$ ), UCS: Tek eksenli basınç dayanımı (MPa), CAI: Cerchar aşındırıcılık indeksi.

Elde edilen eşitliğin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 8'de özetlenmiştir. %90 güven aralığında yapılan analizde eğer F-test değeri F-tablo değerinden büyük ise elde edilen regresyonun anlamlı olduğu ifade edilebilir. Bu çalışmada F değeri 16,59, F tablo değeri ise 2,91 olarak bulunmuştur. F-test değerinin F-tablo değerinden büyük olması yapılan regresyonu anlamlı kılmaktadır. t-test deneyi bir regresyon modelinde her bir bağımsız değişkenin potansiyel değerini belirlemek için kullanılır. t-testinde sıfır hipotezi kullanılarak t-tablo değeriyle hesaplanan t-oranı karşılaştırılır. t-test değerinin t-tablo değerinden yüksek olması bağımsız değişkenlerin modele katkı sağladığı anlamına gelmektedir. Analizin % 90 güven aralığında yapılması nedeniyle t-tablo değeri

2,91 olarak belirlenmiştir ve Çizelge 9’da görüldüğü gibi bu değer mutlak t-oranından düşüktür. Yapılan çift kuyruk analizlerin değerlendirilmesi sonucunda yüksek güven düzeyinde ve düşük anlamlılık değerinde (0,1 den düşük p değerinde) Eşitlik 1’in istatistiksel olarak anlamlı olduğu kanısına varılmıştır. Ayrıca, regresyon analizleri sonucunda elde edilen eşitliğin bağımsız değişken gücünü ölçmek için R<sup>2</sup> olarak adlandırılan belirleme katsayısının değeri de analiz edilmiş ve R<sup>2</sup> değeri 0,94 olarak bulunmuştur. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda, doğal taşların UCS ve CAI özelliklerinin dışında kalan diğer özelliklerinin (Schmidt sertliği, Shore sertliği, BTS ve yoğunluk) alansal net kesim hızı üzerinde önemli bir etkilerinin olmadığı belirlenmiştir. Diğer değişkenler kullanılarak elde edilen çoklu regresyon modelleri, F-test ve t-test analizlerinde istenen güven aralıklarında olumlu sonuçlar vermemiştir. Bu çalışma kapsamında önerilen Eşitlik 1’in S/T makinelerinin alansal net kesim hızı tahmininde güvenilir olduğu düşünülmektedir.

### 3.3. Ölçülen ve Tahmin Edilen Net Kesim Hızlarının Karşılaştırması (Comparison of Actual and Predicted Net Sawing Rates)

S/T makinelerinin alansal net kesim performanslarının önceden belirlenmesi uygulayıcı mühendisler için karar aşamasında önemli bir yol oynar. Sadece bir modele güvenmek yerine farklı modellerle kazı performansının yapılması güvenilir sonuçlara ulaşılabildiğinde muhakkak faydalı olacaktır. Birçok araştırmacı tarafından da beyan edildiği üzere, çok fazla sayıda değişkeni barındıran modeller pratik olarak sonuca ulaşma konusunda verimli olamamaktadır. Bu sebepten ötürü, bu çalışmada yapılan detaylı analizler sonucunda doğal taşların en yaygın mekanik özelliklerinden olan UCS ve CAI parametreleri kullanılarak Eşitlik 1 geliştirilmiştir. Önerilen Eşitlik 1’in doğruluğu ise daha önceden literatüre Tumaç [17] tarafından sunulmuş olan gerçek S/T kesim performansı ile test edilmiştir. Tumaç [17]’nin S/T alansal net kesim hızı ölçümleri yaptığı doğal taşlar ve bu doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 10’da verilmiştir. Ölçülen ve tahmin

**Çizelge 8.** Seçilen çoklu regresyon modeli için varyans analizi sonucu (Variance analysis results of the selected multiple regression model)

	Karesel Hata	Kareli Ortalama	F değeri	F-tablo	F-anlamlılık
Regresyon	101,54	50,77	16,59	2,91	0,05
Kalan	6,12	3,06			
Toplam	107,66				

**Çizelge 9.** Seçilen çoklu regresyon modelinin istatistiksel sonuçları (Statistical results of the selected multiple regression model)

Değişkenler	Katsayı	Standard Hata	T-oranı	P değeri <0.1	T-tablo	Belirleme Katsayısı
Sabit	32,229	3,702	8,705	0,0129	2,91	0,88
UCS	-0,125	0,029	-4,315	0,049		
CAI	-2,684	0,881	-3,045	0,093		

**Çizelge 10.** Karşılaştırmalar için kullanılan doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri (Tumaç [17]) (Physical and mechanical properties of natural stones used for comparisons (Tumaç [17]))

Doğal Taş Adı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Porozite (%)	UCS (MPa)	BTS (MPa)	CAI	Schmidt Sertliği
Afyon Kaplan Postu Mermeri	2,81	0,27	81,3	5,1	3,05	46,3
Afyon Beyaz Mermeri	2,68	0,16	88,6	6,0	3,50	50,3
Karacabey Siyah Kireçtaşı	2,70	0,50	70,8	5,4	1,86	38,1
Manyas Beyaz Mermeri	2,71	0,40	65,3	3,9	2,00	40,0
Marmara Beyaz Mermeri	2,71	0,20	70,4	4,1	2,15	39,6
Milas Beyaz Mermeri	2,72	0,20	97,3	7,1	2,99	66,5
Eskişehir Süprem Kireçtaşı	2,74	0,30	89,0	5,3	2,44	72,0

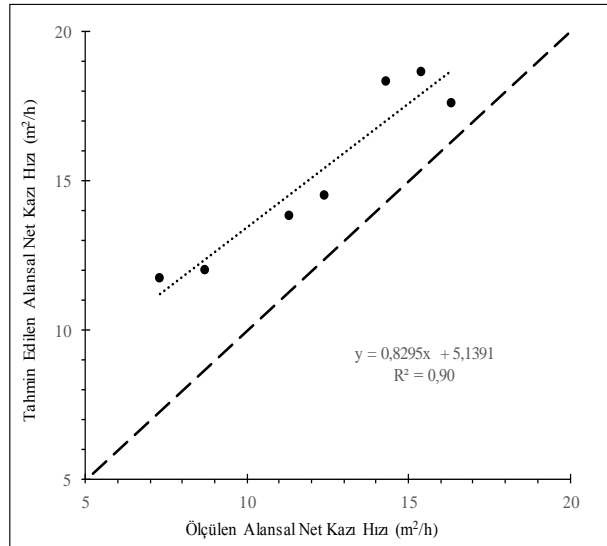
edilen alansal net kesim hızlarının özeti ise Çizelge 11’de verilmiştir.

alansal net kesim hızları üzerindeki etkilerinin araştırılması ve sonuçlarının değerlendirilmesidir. Bu

**Çizelge 11.** Ölçülen (Tumac [17]) ve tahmin edilen S/T alansal net kesim hızları (Actual (Tumac [17]) and predicted areal net sawing rate of S/T)

Doğal Taş Adı	Ölçülen Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	Tahmin Edilen Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	Yüzdesel Fark
Afyon Kaplan Postu Mermeri	11,3	13,9	23,0
Afyon Beyaz Mermeri	7,3	11,8	61,6
Karacabey Siyah Kireçtaşı	14,3	18,4	28,7
Manyas Beyaz Mermeri	15,4	18,7	21,4
Marmara Beyaz Mermeri	16,3	17,7	8,6
Milas Beyaz Mermeri	8,7	12,1	39,1
Eskişehir Süprem Kireçtaşı	12,4	14,6	17,1

Tumac [17] yayınında kullanılan S/T makinelerinin performansı bu çalışmada önerilen Eşitlik 1 ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Böylelikle önerilen Eşitlik 1’in bundan sonraki çalışmalarda kullanılıp kullanılmayacağı da test edilmiştir. Ölçülen S/T performansları ile tahmin edilen S/T performansları bire bir eksenle karşılaştırılmış ve elde edilen sonuç Şekil 12’de verilmiştir. Şekil 12’de görüldüğü üzere, ölçülen ve tahmin edilen S/T performansları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Bu iki değer arasında 0,90 belirleme katsayısına (R<sup>2</sup>) sahip bir doğruluk olduğu da anlaşılmaktadır. Ancak, daha kapsamlı değerlendirmelerin yapılabilmesi için veri sayısının artırılması ve farklı tür doğal taşlar üzerinde de çalışmaların yapılması önem arz etmektedir.



**Şekil 12.** Ölçülen (Tumac [17]) ve tahmin edilen S/T performansı (Actual (Tumac [17]) and predicted S/T performance)

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULTS AND SUGGESTIONS)

Bu çalışmanın amacı; doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinin büyük çaplı dairesel testerelerin (S/T)

çalışmada elde edilen sonuçlar kısaca şu şekilde özetlenebilir:

- S/T alansal net kesim hızı ile doğal taşların tek eksenli basınç dayanımı (UCS), Shore scleroscope sertliği ve Schmidt çekici sertliği arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Bu üç mekanik özelliğin değeri arttığında S/T performansında düşüş olduğu görülmüştür.
- Çalışılan doğal taşların Brazilian çekme dayanımı (BTS), yoğunluk ve Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) ile S/T kesim performansı arasında kayda değer anlamlılıkta ilişkiler belirlenmemiştir.
- Yapılan çoklu regresyon analizleri sonucunda; çift kuyruklu %90 güven aralığında çalışan F-test ve t-test analizlerinden geçen yeni bir model önerilmiştir. Model girdisi olarak UCS ve CAI kullanılmıştır.
- Önerilen modelin doğruluğu literatürde daha önceden yayınlanan S/T verileri ile de test edilmiştir.
- Bu çalışma farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip doğal taşlar için de yapılmalıdır. İstatistiksel güvenilirliğin artırılabilmesi için veri sayısının artırılması önem arz etmektedir.
- Operatörün S/T kesme performansına olan etkisi daha sonraki çalışmalarda muhakkak incelenmelidir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmanın yapılabilmesi için fabrikasında ve anlaşmalı çalıştıkları fabrikalarda bize imkan sağlayan Mermeras Ltd. Şti. sahibi Sayın Emek Kılıç’a teşekkürlerimizi sunarız. Bu fabrikalarda büyük çaplı dairesel testerelerin alansal net kesim hızı ölçümlerini yapan ve bu konuda lisans bitirme ödevini tamamlayan Maden Mühendisi Sayın Gencay Kıymaz’a teşekkürlerimizi sunarız.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. Burgess R. B., "Circular sawing granite with diamond saw blades", *Fifth Industrial Diamond Seminar*, 3-10, (1978).
2. Hausberger P., "Causes of the different behaviour of rocks when machined with diamond tools", *Ind Diamond Rev.*, 3: 1-25, (1989).
3. Ceylanoglu A. And Gorgulu K., "The performance measurement results of stone cutting machines and their relations with some material properties", *Sixth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, Ostrava, Czech Republic, 393-398, (1997).
4. Brook B., "Principles of diamond tool technology for sawing rock", *Int J Rock Mech Min Sci*, 39(1) :41-58, (2002).
5. Wie X., Wang C.Y. and Zhou Z.H., "Study on the fuzzy ranking of granites sawability", *J Mater Process Technol*, 139(1-3): 277-280, (2003).
6. Gunaydin O., Kahraman S. And Fener M., "Sawability prediction of carbonate rocks from brittleness indexes", *J S Afr Inst Min Metall*, 104: 239-243, (2004).
7. Kahraman S., Fener M. and Gunaydin O., "Predicting the sawability of carbonate rocks using multiple curvilinear regression analysis", *Int J Rock Mech Min Sci*, 41(7): 1123-1131, (2004).
8. Norling R.G., "Mechanical properties and the composition of some Swedish natural stone types and their effect on cutting results", *Conference on Diamond in The Construction and Stone industry*, Germany, (1971).
9. Clausen R., Wang C.Y. and Meding M., "Characteristics of acoustic emission during single diamond scratching of granite", *Ind Diamond Rev*, 3: 96-99, (1996).
10. Zhang S.H. and Lu F., "A new method of grading the sawability of natural rock materials", *Key Eng Mater*, 250: 293-296, (2003).
11. Kahraman S., Altun H., Tezekici B.S. and Fener M., "Sawability prediction of carbonate rocks from shear strength parameters using artificial neural networks", *Int J Rock Mech Min Sci*, 43(1):157-164, (2006).
12. Delgado NS, Rodriguez-Rey A, Rio LMS, Sarria ID, Calleja L. and Argandona VGR., "The influence of micro hardness on the sawability of Pink Porrino granite (Spain)", *Int J Rock Mech Min Sci*, 42(1): 161-166, (2005).
13. Tutmez B, Kahraman S. and Gunaydin O., "Multifactorial fuzzy approach to the sawability classification of building stones", *Constr Build Mater*, 21(8): 1672-1679, (2007).
14. Ribeiro RP, Paraguassu AB, Rodrigues J.E., "Sawing of blocks of siliceous dimension stone: influence of texture and mineralogy", *Bull Eng Geol Environ*, 66(1): 101-107, (2007).
15. Kahraman S. and Gunaydin O., "Indentation test to estimate the sawability of carbonate rocks", *Bull Eng Geol Environ*, 67(4): 507-511, (2008).
16. Guney A., "Performance prediction of large-diameter circular saws based on surface hardness tests for Mugla (Turkey) marbles", *Rock Mech Rock Eng*, 44(3): 357-366, (2011).
17. Tumac D., "Predicting the performance of large diameter circular saws based on Schmidt hammer and other properties for some Turkish carbonate rocks", *Int J Rock Mech Min Sci*, 75: 159-168, (2015).
18. Tumac D., "Artificial neural network application to predict the sawability performance of large diameter circular saws", *Measurement*, 80: 12-20, (2016).
19. International Society of Rock Mechanics (ISRM). "The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring", *London: Pergamon Press*, (1981).
20. American Society for Testing and Materials (ASTM). "Standard test method for laboratory determination of abrasiveness of rock using the CERCHAR method", *ASTM D7625-10*, (2010).
21. Fener M, Kahraman S. and Ozder M.O., "Performance prediction of circular diamond saws from mechanical rock properties in cutting carbonate rocks", *Rock Mech Rock Engng*, 40(5): 505-517, (2007).