

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

**DOĞAL TAŞ KESME İŞLEMİNDE BOR KARBÜR KATKILI ELMAS
SOKETLERİN KESİLEBİLİRLİK PARAMETRELERİ ÜZERİNE
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Gökhan EKİNCİOĞLU

**Danışman
Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ**

**DOKTORA TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2017**



© 2017 [Gökhan EKİNCİOĞLU]

TEZ ONAYI

Gökhan EKİNCİOĞLU tarafından hazırlanan " **Doğal Taş Kesme İşleminde Bor Karbür Katkılı Elmas Soketlerin Kesilebilirlik Parametreleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması** " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Servet DEMİRDAĞ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Turgay ONARGAN
Dokuz Eylül Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Özgür AKKOYUN
Dicle Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Gökhan EKİNCİOĞLU



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	3
1.2. Elmas Soketli Dairesel Testereler	6
1.2.1. Testere gövdesi	9
1.2.2. Soket	10
1.2.2.1. Matriks	10
1.2.2.2. Elmas	12
1.3. Dairesel Testerelerde Kesimi Etkileyen Parametreler	16
1.3.1. Kayaç özellikleri	17
1.3.2. Makine	18
1.3.3. Testere çevresel hızı.....	18
1.3.4. Kesme hızı	20
1.3.5. Su miktarı	21
1.3.6. Testere dizayn parametreleri.....	21
1.4. Dairesel Testereli Kesim Makinelerinde Kesme Yöntemleri	22
1.5. Dairesel Testere Sistemi Kesme Mekanizması.....	23
1.6. Dairesel Testerelerle Kesme İşlemi Kinematiği.....	26
1.7. Elmas Soketlerin Aşınma Mekanizması	29
1.7.1. Elmasta meydana gelen aşınma.....	31
1.7.2. Matrikste meydana gelen aşınma	32
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	34
2.1. Özgül Kesme Enerjisi ve Kesme Kuvvetleri Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar	34
2.2. Soket Aşınması Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar	37
2.3. Gürültü Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar	39
2.4. Soket Matriksi Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar	40
2.4.1. Soket matriksinde bor katkısı kullanılan çalışmalar	41
2.5. Doktora Tez Çalışmasının Literatüre Katkısı.....	42
3. MATERYAL VE YÖNTEM	44
3.1. Numunelerin Hazırlanması.....	47
3.2. Bor Karbür.....	48
3.3. Bor Karbür Katkılı Soket ve Dairesel Testere Üretimi	49
3.4. Bor Karbür Katkısız ve Katkılı Soketlerin Metalografik Özellikleri	52
3.4.1. Birim hacim ağırlık, bağıl yoğunluk ve porozite değerlerinin belirlenmesi.....	52
3.4.2. Mikro sertlik değerlerinin belirlenmesi	53
3.4.3. Ağırlıkça aşınma kaybı değerlerinin belirlenmesi.....	54
3.4.4. SEM analizleri	55
3.5. Dairesel Testereli Kesme Deney Setinin Geliştirilmesi.....	56

	Sayfa
3.5.1. Enerji analizörü.....	58
3.5.2. Gürültü ölçer	59
3.5.3. Kayaç Kesme programı	60
3.6. Kesilebilirlik Parametrelerinin Belirlenmesi.....	61
3.6.1. Net güç tüketim değerlerinin belirlenmesi	62
3.6.2. Özgül kesme enerjisi değerlerinin belirlenmesi.....	63
3.6.3. Aşınma ölçüm sisteminin oluşturulması ve özgül aşınma değerlerinin belirlenmesi	66
3.6.4. Gürültü seviyesi değerlerinin belirlenmesi.....	70
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	72
4.1. Kayaç Özellikleri.....	72
4.1.1. Mineralojik ve petrografik özellikler	72
4.1.2. Fiziksel özellikler	73
4.1.3. Mekanik özellikler	74
4.1.4. Kimyasal analiz.....	75
4.2. Bor Karbür Katkısız ve Katkılı Elmas Soketlerinin Metalografik Özellikleri.....	76
4.2.1. Teorik yoğunluk, birim hacim ağırlık, bağıl yoğunluk ve porozite değerlerinin belirlenmesi	76
4.2.2. Mikro sertlik değerleri.....	79
4.2.3. Ağırlıkça aşınma kaybı değerleri.....	81
4.2.4. SEM analiz sonuçları	83
4.3. Kesme Deneyleri Sonuçları.....	96
4.3.1. Net güç tüketim değerleri.....	96
4.3.2. Özgül kesme enerjisi değerleri.....	97
4.3.3. Özgül aşınma değerleri.....	99
4.3.4. Gürültü seviyesi değerleri.....	101
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	103
5.1. Metalografik Özelliklerin Kesme Parametreleri Üzerine Etkileri.....	103
5.1.1. Net güç tüketimi ile metalografik özellikler arasındaki ilişkiler	103
5.1.2. Özgül kesme enerjisi ile metalografik özellikler arasındaki ilişkiler.....	107
5.1.3. Gürültü seviyesi ile metalografik özellikler arasındaki ilişkiler	110
5.1.4. Özgül aşınma ve ağırlıkça aşınma kaybı ile metalografik özellikler arasındaki ilişkiler	113
5.2. Özgül Aşınma ve Özgül Kesme Enerjisi Arasındaki İlişki.....	117
5.3. Bor Karbür Katkısız ve Katkılı Dairesel Testerelerin Maliyet Analizi....	117
5.4. Dairesel Testere Birim Metrekare Maliyet İle Metalografik Özellikler Arasındaki İlişkiler	120
5.5. Bor Karbür Katkısının Tesisin Enerji ve Testere Maliyeti Üzerine Etkisinin Tahmin Edilmesi.....	122
5.6. Sonuçlar.....	125
KAYNAKLAR.....	132
ÖZGEÇMİŞ.....	140

ÖZET

Doktora Tezi

DOĞAL TAŞ KESME İŞLEMİNDE BOR KARBÜR KATKILI ELMAS SOKETLERİN KESİLEBİLİRLİK PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Gökhan EKİNCİOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ

Granit en sert doğal taşlardan birisi olup atmosferik şartlara karşı gösterdiği direnç ve estetik görünümüne sahip olması nedeni ile zemin ve duvar kaplamasının yanı sıra mutfak tezgâhları gibi yapı sektöründe birçok alanda kullanılmaktadır. Granitin dayanımının yüksek olması, çok iyi cila kabul etmesi ve parlaklığını uzun süre koruması ile farklı mineral çeşitliliğine bağlı olarak sahip olduğu estetik görünümü granite olan ilgiyi gün geçtikçe artırmaktadır. Ancak granit grubu sert taşların üretimi karbonatlı kayaçlar ile kıyaslandığında kesme verimleri düşük ve testere tüketimleri yüksektir.

Ülkemizde ve dünyada özellikle granit türü sert doğal taşların kesme işlemlerinde kullanılan soketlerin ömürlerinin kısa sürede tükenmesi ve buna bağlı olarak birim metrekare başına düşen üretim maliyetinin artması önemli bir sorun oluşturmaktadır. Soketin iki ana yapısı olan matriks ve elmas arasındaki bağı kuvvetlendirmek ve matriksin aşınma dayanımı arttırmak için matrikse karbürler ilave edilmektedir. Yüksek sertliği ve buna bağlı olarak aşınma dayanımını arttırması nedeni ile elmas ve kübik bor nitrürden sonra en sert malzeme olarak bilinen bor karbür soket matriksinde kullanılmaya başlanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında öncelikle bor karbür katkılı elmas soketin aşınmaya karşı direncinin arttırılması amaçlanmış olup, bunun yanı sıra güç tüketimi, özgül kesme enerjisi ve gürültü gibi kesilebilirlik parametrelerinin de belirlenerek kesme veriminin ortaya konulması hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle çalışma kapsamında bir adedi bor karbür katkısız (% 0 B₄C) referans dairesel testere olmak üzere 7 adedi farklı bor karbür oranında (% 1-2-3-4-5-6-7 B₄C) 350 mm çapında 8 adet dairesel testere üretilmiş olup aynı çalışma parametrelerinde tek bir granit türü üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Dairesel testere etrafına kaynaklanan soketler haricinde fazladan üretilen her bir grup bor karbür katkısız ve katkılı soketlerin teorik yoğunlukları, birim hacim ağırlıkları, porozite, Knoop Sertlik değerleri ile ağırlıkça aşınma kaybı gibi metalografik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca numunelerin kırık yüzeylerinden de SEM analizleri gerçekleştirilerek mikro yapısal özellikleri ortaya konulmuştur.

Çalışma sonunda bor karbür katkı oranındaki artışa göre kesilebilirlik parametrelerindeki değişimler grafiklerle incelenmiş olup gerek özgül kesme enerjisi gerekse özgül aşınma değişim değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilen maliyet analizi sonrasında %1 bor karbür katkılı elmas soketlerin granit işleme tesislerinde kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Bor karbür katkısı ile elmas soket metalografik özelliklerinde değişimlerin olduğu gözlenmiştir. Bor karbür katkılı soketlerin metalografik özelliklerindeki değişimlerin net güç tüketimi, özgül kesme enerjisi tüketimi, gürültü ve özgül aşınma gibi kesilebilirlik parametreleri üzerine etkilerini görmek amacıyla da metalografik özellikler ile kesilebilirlik parametreleri arasında ilişkiler regresyon analizleri ile istatistiksel olarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda soketlerin metalografik özellikleri ile kesilebilirlik parametreleri arasında anlamlı ilişkiler bulunmuş olup soket üretiminden sonra soket metalografik özelliklerinin belirlenmesi ile soketlerin kesilebilirlik parametrelerinin tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

Dünyada bor ürünlerinin, deterjan sanayisinden jet yakıt üretimine kadar birçok sektörde 250'yi aşkın malzemede kullanıldığını görülmektedir. Dünya rezervlerinin % 72'sine sahip olduğumuz bor minerallerinin hammadde olarak birçok sektörde kullanılması, bor ve türevlerinin ülke ekonomisine katkısını daha önemli hale getirmiştir. Bu çalışma kapsamında da yerli üretim olan rafine bor ürünü bor karbürün maden ihracatı içerisinde % 46'lık gelire sahip doğal taş sektöründe kullanılan dairesel kesici takım matriks yapısında kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal taş, granit, özgül kesme enerjisi, bor karbür, dairesel testere, özgül aşınma, elmas, matriks

2017, 141 sayfa

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS ON CUTABILITY PARAMETERS OF BORON CARBIDE DOPED DIAMOND SOCKETS IN NATURAL STONE CUTTING PROCESS

Gökhan EKİNCİOĞLU

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

Supervisor: Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ

Because of having good results of resistance against atmospheric conditions and aesthetics of floor and wall coverings, granite which is one of the hardest natural stones, used in many areas of construction sector as well as kitchen worktops. The interest of granite is increasing day by day, due to its high resistance and highly absorption of varnish, the long term protection of its luster and the aesthetic appearance depending on its different mineral diversity. However, when the production of granite group hard stones compared with the carbonated rocks, their cutting efficiency is low and saw consumption is high.

In our country and in the world, the depletion of sockets life, which are used for cutting process of granite type hard natural stones, and accordingly the increase in the production cost per square meter constitutes a major problem. In order to strengthen the bond between the two main structures of the socket, the matrix and the diamond, and to increase the wear resistance of the matrix carbides are added to the matrix. Due to its high hardness and accordingly the increasing wear resistance boron carbide known as the hardest material after diamond and cubic boron nitrides, has begun to be used in socket matrix.

In the scope of this thesis, firstly, it is aimed to increase the resistance against abrasion of boron carbide doped diamond sockets, in addition to this, it is aimed to determine cutting efficiency by determining cutability parameters such as power consumption, specific cutting energy and noise. For this purpose, first of all 8 circular saws with a diameter of 350 mm (1-2-3-4-5-6-7 B₄C%) which 7 of them different boron carbide ratio with one of them boron carbide non-additive (0 B₄C%) reference circular saw were produced and cutting tests were carried out on a single granite type at the same operating parameters.

Except for the sockets that are welded around the circular saw, the metallographic properties such as the theoretical densities, unit volume weights, porosity, Knoop Hardness values and weight loss of weaving of each group of boron carbide additive and additive sockets are determined. In addition, their

microstructural features have been revealed by performing SEM analyzes on the samples of the fractured surfaces.

At the end of the study, according to the increase in the boron carbide additive ratio the cutability parameters have been examined by graphs and it has been determined that diamond sockets with 1% boron carbide can be used in the granite processing plants by taking into account both specific cutoff energy and the specific wear change values. It has been observed that there is a change in the metallographic properties of diamond socket and boron carbide additive. Relations between metallographic properties and cutability parameters have been statistically analyzed by regression analysis in order to see the effects of the changes in the metallographic properties of boron carbide doped sockets on the cutability parameters such as exact power consumption, specific cutting energy consumption, noise and specific wearing. As a result of the examinations, it has been found that there are significant relationships between the metallographical properties of the sockets and the cutability parameters and after socket production cutability parameters of sockets can be estimated by determining socket metallographic properties.

It can be seen that boron products are used in more than 250 materials in many sectors from detergent industry to jet fuel production. The use of boron minerals, which we have 72% of world reserves, as raw materials in many sectors makes the contribution of boron and its derivatives to the country's economy more important. Within the scope of this study, it has been determined that domestic refined boron product can be used in circular cutting tool matrix construction which is used in natural stone industry with 46% of the boron carbide in mineral exports.

Keywords: Natural stone, granite, specific cutting energy, boron carbide, circular saws, specific wearing, diamond, matrix

2017, 141 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan desteklerini esirgemeyen değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kesme deneylerinin yapılmasında bölümün laboratuvar ve diğer imkânlarından yararlanmamı sağlayan Maden Müh. Bölüm Başkanı Prof. Dr. Ata Utku AKÇIL'a teşekkür ederim. Tez çalışmalarım kapsamında öneri ve görüşleri ile verdikleri destekten dolayı Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK'e, Prof. Dr. Servet DEMİRDAĞ'a, Prof. Dr. Turgay ONARGAN'a, Doç. Dr. Özgür AKKOYUN'a, Prof. Dr. Adnan ÇALIK'a, Doç. Dr. Nazmi ŞENGÜN'e, SEM analizlerinin yorumlanmasında destek veren Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN'e, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında aşınma deneylerini gerçekleştirmemde yardımcı olan Uzman Selçuk KARATAŞ'a, kesme çalışmalarım için numune desteği veren GRANİTAŞ Kırşehir Fabrika Müdürü Sayın Necdet EVREN'ne, Teknik Müdür Sayın Bahri ÖZBEK ve Üretim Planlama Yetkilisi Sayın Yıldırım Fatih ŞİRİN'e, dairesel testere üretimini sağlayan, bu kapsamda bilgi ve tecrübesini esirgemeyen NEK ELMAS TEKNOLOJİLERİ firma sahibi Sayın Köksal YILMAZ'a ve firma çalışanlarından Sayın Mehmet YILAN'a, dairesel testerele referans noktası açılmasında destek veren EKİP SOKET firmasına ve firma üretim sorumlusu Sayın Doğan BUDAK'a, mineralojik ve petrografik inceleme çalışmalarında yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK ve Öğr. Gör. Engin EKDUR'a, kesme programını hazırlayan Yrd. Doç. Dr. Said Mahmut ÇINAR'a, çalışmalarım sırasında desteğini gördüğüm Arş. Gör. Deniz AKBAY'a teşekkür ederim.

3100-D2-12 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmalarım süresince benden manevi desteğini esirgemeyen, gösterdiği hoşgörü ve sabrından dolayı sevgili eşim Pınar EKİNCİOĞLU'na teşekkür ederim.

Gökhan EKİNCİOĞLU
ISPARTA, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Türkiye'nin yıllara göre doğal taş ihracatı.....	2
Şekil 1.2. Maden ve doğal taş ihracatının yıllara göre dağılımı.....	2
Şekil 1.3. Elmas soketli dairesel testere kullanılan dört ayaklı blok kesme makinesi	7
Şekil 1.4. Elmas soketli dairesel testere ve elemanları	8
Şekil 1.5. Elmas kesici diskler	8
Şekil 1.6. Elmas tanesinin arkasında oluşan kuyruk yapısı	12
Şekil 1.7. Standart sentetik elmas ürünlerin karakteristik örnekleri.....	13
Şekil 1.8. Elmas tane büyüklüğü ile kesilen kaya arasındaki ilişki	15
Şekil 1.9. Yukarı ve aşağı kesme yöntemlerinin görünümü	23
Şekil 1.10. Kesme zonunun şematik olarak görünümü.....	23
Şekil 1.11. Talaş oluşumu sırasında meydana gelen üç aşama	25
Şekil 1.12. Mermer kesme işlemlerinde talaş oluşum mekanizması.....	26
Şekil 1.13. Yukarı yönlü kesme için kesme işlemi kinematiği.....	27
Şekil 1.14. Aşağı yönlü kesme için kesme işlemi kinematiği	27
Şekil 1.15. Elmas tanelerinde gözlenen hasar tipleri.....	31
Şekil 1.16. Aşınmış matriks yüzeyinin görünümü	32
Şekil 3.1. Hisar Gri numunelerinin 5x10x25 cm boyutlarındaki görünümü	45
Şekil 3.2. Doktora çalışma planı	47
Şekil 3.3. Fiziko-mekanik deneyler için farklı ebatlarda hazırlanan Hisar Gri numunelerinin görünümü	48
Şekil 3.4. Numune boyutlandırma diski ve karot makinesinin görünümü	48
Şekil 3.5. Elmas soket matriksinde kullanılan bor karbürün görünümü	50
Şekil 3.6. Bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketli dairesel testerelelerin görünümü	51
Şekil 3.7. Mikro sertlik ölçme cihazı.....	54
Şekil 3.8. Aşınma deney setinin genel görünümü	55
Şekil 3.9. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görünümü	56
Şekil 3.10. Kesme seti elemanlarının genel görünümü.....	57
Şekil 3.11. Enerji analizörünün görünümü	58
Şekil 3.12. Gürültü ölçer görünümü	59
Şekil 3.13. Kesme programı ara yüz görünümü.....	60
Şekil 3.14. Kesme deneylerinden görünüm.....	61
Şekil 3.15. Anlık güç ve gürültü değerleri	62
Şekil 3.16. B ₄ C katkısız testereye ait anlık güç tüketimi.....	63
Şekil 3.17. %1 B ₄ C katkılı testereye ait Güç-Zaman Grafiği.....	64
Şekil 3.18. Kesme deneyi öncesinde beton blok ile testere bilenmesinden görünümü.....	65
Şekil 3.19. Kesme deneyi sonrası numunelerin görünümü.....	66
Şekil 3.20. SENSORPARK yazılımın ara yüz görünümü	67
Şekil 3.21. Doğrusal ölçüm cihazı için testere üzerinde açılan referans noktası	68
Şekil 3.22. Soketlerin aşınma ölçümü için kullanılan işaretleme sistemi.....	68
Şekil 3.23. Aşınma ölçüm sistemi ve ölçüm anından genel görünüm.....	69
Şekil 3.24. % 1 B ₄ C katkılı testereye ait gürültü seviyesi-kesim süresi grafiği.....	71

	Sayfa
Şekil 4.1. Hisar Gri örneğinin çift (a) ve tek (b) nikol görüntüleri.....	72
Şekil 4.2. Fiziksel özelliklerin belirlenmesinden görünüm.....	74
Şekil 4.3. Mekanik özelliklerin belirlenmesinden görünüm.....	75
Şekil 4.4. Birim hacim ağırlık deneylerinden görünüm	77
Şekil 4.5. Bor karbür katkısının birim hacim ağırlık ve teorik yoğunluğa etkisi.....	78
Şekil 4.6. Bor karbür katkısına göre porozite ve bağıl yoğunluk değişimi	79
Şekil 4.7. Bor karbür katkısına göre Knoop Sertlik (HK) değeri değişimi.....	81
Şekil 4.8. Aşınma deney seti	81
Şekil 4.9. Aşınma öncesi ve sonrası alınan tartımlardan görünüm	82
Şekil 4.10. Bor karbür katkısına göre aşınma kaybı değişimi	83
Şekil 4.11. B ₄ C katkısız socketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	84
Şekil 4.12. B ₄ C katkısız socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	85
Şekil 4.13. %1 B ₄ C katkılı socketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	86
Şekil 4.14. %1 B ₄ C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	86
Şekil 4.15. %2 B ₄ C katkılı socketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	87
Şekil 4.16. %2 B ₄ C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	88
Şekil 4.17. %3 B ₄ C katkılı socketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	89
Şekil 4.18. %3 B ₄ C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	89
Şekil 4.19. %4 B ₄ C katkılı socketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	90
Şekil 4.20. %4 B ₄ C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	91
Şekil 4.21. %5 B ₄ C katkılı socketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	92
Şekil 4.22. %5 B ₄ C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	92
Şekil 4.23. %6 B ₄ C katkılı socketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	93
Şekil 4.24. %6 B ₄ C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	94
Şekil 4.25. %7 B ₄ C katkılı socketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	94
Şekil 4.26. %7 B ₄ C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	95
Şekil 4.27. Bor karbür katkısına göre net güç tüketim değişimi	97
Şekil 4.28. Bor karbür katkı oranına göre özgül kesme enerjisi değerleri değişimi.....	99
Şekil 4.29. Bor karbür katkı oranına göre özgül aşınma değerleri değişimi	100
Şekil 4.30. Bor karbür katkı oranına göre gürültü değerleri değişimi.....	102

	Sayfa
Şekil 5.1. Net güç- birim hacim ağırlık ilişkisi.....	104
Şekil 5.2. Net güç- porozite ilişkisi	105
Şekil 5.3. Net güç- knoop sertlik ilişkisi (% 0 B ₄ C dahil)	106
Şekil 5.4. Net güç- knoop sertlik ilişkisi (%0 B ₄ C hariç)	106
Şekil 5.5. Net güç- aşınma miktarı ilişkisi.....	107
Şekil 5.6. Özgül kesme enerjisi- birim hacim ağırlık ilişkisi.....	107
Şekil 5.7. Özgül kesme enerjisi- porozite ilişkisi	108
Şekil 5.8. Özgül kesme enerjisi - knoop sertlik ilişkisi (% 0 B ₄ C dahil)	109
Şekil 5.9. Özgül kesme enerjisi - knoop sertlik ilişkisi (%0 B ₄ C hariç)	109
Şekil 5.10. Özgül kesme enerjisi - aşınma miktarı ilişkisi	110
Şekil 5.11. Gürültü- birim hacim ağırlık.....	110
Şekil 5.12. Gürültü- birim hacim ağırlık ilişkisi (%0-4-5-6-7).....	111
Şekil 5.13. Gürültü- porozite ilişkisi	111
Şekil 5.14. Gürültü- porozite ilişkisi (%0-4-5-6-7).....	112
Şekil 5.15. Gürültü- knoop sertlik ilişkisi	112
Şekil 5.16. Özgül aşınma- birim hacim ağırlık ilişkisi.....	113
Şekil 5.17. Aşınma kaybı- birim hacim ağırlık ilişkisi.....	114
Şekil 5.18. Özgül aşınma- porozite ilişkisi.....	114
Şekil 5.19. Aşınma kaybı-porozite ilişkisi	115
Şekil 5.20. Özgül aşınma- Knoop sertlik ilişkisi	115
Şekil 5.21. Aşınma kaybı- Knoop sertlik ilişkisi	116
Şekil 5.22. Özgül aşınma- Aşınma kaybı ilişkisi	116
Şekil 5.23. Özgül aşınma-ölgül kesme enerji ilişkisi.....	117
Şekil 5.24. Bor karbür oranına göre birim maliyet değişimi dağılımı.....	120
Şekil 5.25. Birim maliyet- teorik yoğunluk ilişkisi.....	121
Şekil 5.26. Birim maliyet - birim hacim ağırlık ilişkisi	121
Şekil 5.27. Birim maliyet- porozite ilişkisi	122
Şekil 5.28. Birim maliyet-sertlik ilişkisi	122
Şekil 5.29. Bor karbür katkı oranına göre ölgül aşınma ve ölgül kesme enerjisi dağılımı.....	123

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Örnek bir kesici diskin malzeme kompozisyonu	9
Çizelge 1.2. Elmas soketli dairesel testereler ile ilgili özellikler.....	9
Çizelge 1.3. Elmas tane boyutunun ANSI mesh standardında gösterilmesi	16
Çizelge 1.4. Kesme işlemini etkileyen parametreler	17
Çizelge 1.5. Doğal taş cinsine göre önerilen çevresel hızlar.....	19
Çizelge 1.6. Testerelerin çapına göre çevresel hız değerleri.....	20
Çizelge 1.7. Farklı taşlar için önerilen çevresel hızlar	20
Çizelge 1.8. Dairesel testerelerin testere çapına göre en düşük ve en yüksek soğutma suyu miktarı	21
Çizelge 1.9. Elmas kesici disklerde aşınmaya etki eden faktörler	30
Çizelge 3.1. Elmas soketlerde kullanılan bor karbür içeriği	50
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan bor karbür katkısız ve katkılı elmas soket özellikleri.....	51
Çizelge 3.3. Dijital ses ölçüm cihazına ait teknik özellikler	59
Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan kesme parametre değerleri	65
Çizelge 3.5. İşletme sağlığı açısından kabul edilebilir en yüksek gürültü seviyeleri	70
Çizelge 4.1. Fiziksel özellikler	74
Çizelge 4.2. Mekanik özellikler	75
Çizelge 4.3. Kimyasal analiz sonuçları	76
Çizelge 4.4. Bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketlerin teorik yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri	77
Çizelge 4.5. Bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketlerin porozite ve bağıl yoğunluk değerleri.....	79
Çizelge 4.6. Knoop Sertlik (HK) değerleri	80
Çizelge 4.7. Aşınma deneyi sonuçları.....	82
Çizelge 4.8. Net güç (P_{net}) tüketim değerleri	96
Çizelge 4.9. Özgül kesme enerjisi değerleri	98
Çizelge 4.10. Özgül aşınma değerleri	100
Çizelge 4.11. Gürültü seviyesi değerleri.....	101
Çizelge 5.1. Çalışmada kullanılan bor karbür, diğer matriks tozları ve elmasın birim fiyatları ile menşeler.....	118
Çizelge 5.2. Birim soket, 350 mm'lik dairesel testere ve tahmini birim m ² maliyetleri	119
Çizelge 5.3. Bor karbür katkılı testere kullanılması durumunda işletme aylık toplam enerji ve testere maliyeti değişim miktarı tahmini	124

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

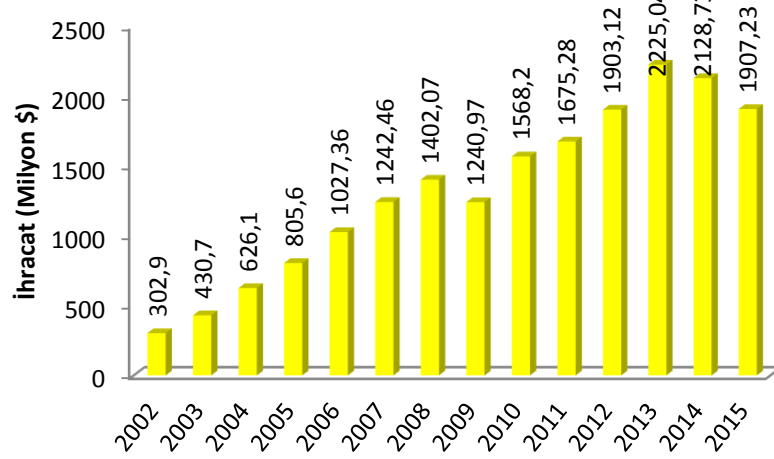
A	Numunenin havadaki ağırlığı
B	Numunenin su içerisindeki ağırlığı
BÇD	Brazilian çekme dayanımı
BD	Basınç dayanımı
BHA	Birim hacim ağırlık
BY	Bağıl yoğunluk
D	Kesici disk çapını
d	Kesme derinliği
ds	Ölçümün yapıldığı sıcaklıktaki suyun yoğunluğu
F _N	Normal kuvvet
F _T	Teğetsel kuvvet
F _X	Dairesel testere kesme yönünde oluşan yatay (x) kuvvet
F _Y	Dairesel testere kesme yönünde oluşan düşey (y) kuvvet
F _Z	Dairesel testere kesme yönüne dik oluşan eksenel (z) kuvvet
G _s	Elmas soket genişliği
h	Kesme derinliği
h _c	Elmas ilerleme derinliği
h _{eq}	Talaş kalınlığı
HK	Knoop sertlik değeri
h _m	Deforme olmuş maksimum talaş kalınlığı
Is ₍₅₀₎	Nokta yük dayanım indeksi
l _k	Deforme olmayan talaş yüzeyi
n	Makine devri
N _A	Elmasın birim yüzey alanda kesici köşe sayısı
Ø _D	Dairesel testere çapı
ÖKE	Özgül kesme enerjisi
p	Porozite
P _b	Testere boşta iken çekilen güç değeri
P _k	Testere tam kesimde iken çekilen güç değeri
P _{net}	Kesim için harcanan net güç değeri
Q	Kesme hızı
SH	Shore sertlik değeri
TA	Temas alanı
TY	Teorik yoğunluk
V _ç	Dairesel testerenin çevresel hızı
V _i	İlerleme hızı
V _K	Kesme hızı
W _s	Soket genişliği
α	Normal kuvvetin etki (aşındırma) açısı
φ _k	Dairesel testerenin kayaçla temas açısı

1. GİRİŞ

Dünyanın en zengin doğal taş oluşumlarının bulunduğu Alp kuşağında yer alan Türkiye, çok çeşitli ve büyük miktarda mermer rezervine sahiptir. Türkiye, bu kaynaklara ilaveten gelişmekte olan sanayisi ve üretimde kullandığı teknoloji ile dünyanın en önemli doğal taş üreticileri arasında yer almaktadır (M.M.O., 2005).

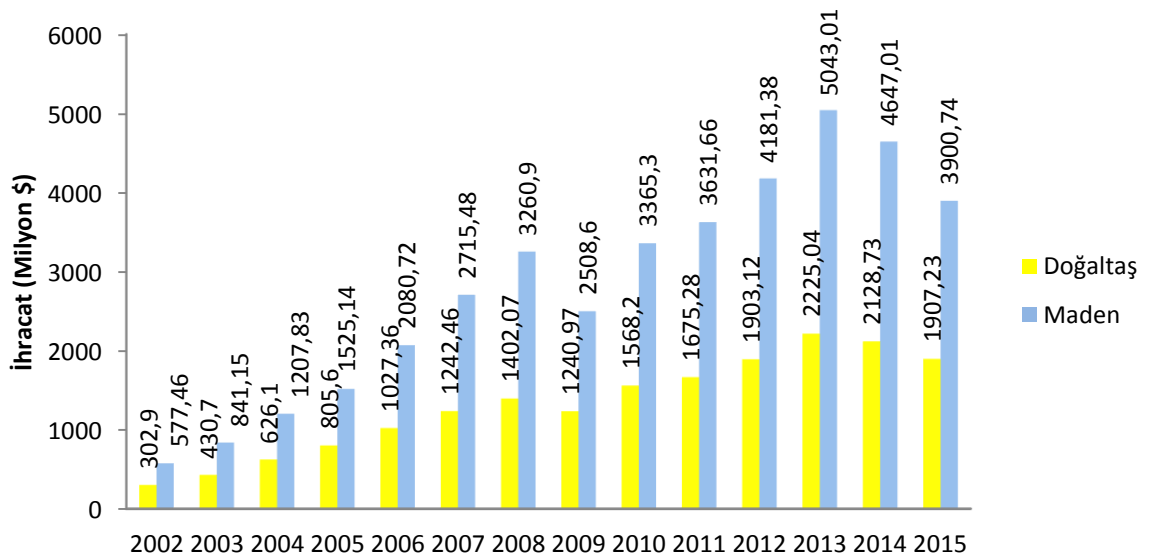
Doğal taşların blok üretiminde ve işlenmesinde kullanılan teknolojilerdeki gelişmelerin bir sonucu olarak, yüksek kaliteli ürünlerin giderek daha ekonomik bir şekilde elde edilmesi mümkün olmuştur. Bunun bir sonucu olarak, bu tür malzemelere olan ilgi ve tüketici sayısı da artmıştır. Dünya doğal taş sektöründeki ticaret hacmi her yıl % 8 civarında bir büyüme göstermektedir (Montani, 2005; Yılmaz, 2009). Doğal taş sektöründeki bu olumlu gelişmeler, Türkiye gibi zengin rezervlere sahip ülkeler için umut vericidir (Yılmaz, 2009).

Türkiye doğal taş sektöründe, 2.100 adet doğal taş ocağı, küçük ve orta ölçekli 1.500 fabrika ve 7.500 atölyede yaklaşık 250.000 kişi istihdam edilmektedir. Üretimin tamamına yakın kısmı özel sektör tarafından yapılmaktadır. Türkiye'de yıllık doğal taş üretimi 4 milyon m³ civarında olup işleme tesislerinin toplam plaka üretim kapasitesi 6,5 milyon m² civarındadır. Doğal taş, blok veya kesilmiş, parlatılmış olarak ihraç edilmektedir. Doğal taş ihracatında katma değeri en yüksek ürün, işlenmiş mermer ve işlenmiş travertendir. Sektörün ihracat potansiyeli, yatırımlara paralel olarak hızla gelişmektedir. Türkiye'nin yıllara göre doğal taş ihracatı Şekil 1.1' de verilmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye'nin yıllara göre doğal taş ihracatı (MİGEM, 2016)

Hızla ilerlemekte olan doğal taş sektörü, son yıllarda madencilik sektörümüzün en önemli alt sektörlerinden biri haline gelmiştir. Doğal taş sektörü, sadece madencilik sektörümüzün en önemli alt sektörlerinden biri olarak ortaya çıkmamış, aynı zamanda gelişimini arttırarak sürdürmesi bakımından Türkiye ekonomisinin de en önemli yapı taşlarından biri olmaya aday duruma gelmiştir (Onargan vd., 2005). Doğal taş sektörü madencilik sektörü içerisinde lokomotif bir konumda olup 2015 yılı maden ihracatımızın % 49'unu doğal taş ihracatı oluşturmuştur. Şekil 1.2'de 2002 yılından 2015 yılına kadar maden doğal taş ihracatının yükselen grafiği verilmiştir.



Şekil 1.2 . Maden ve doğal taş ihracatının yıllara göre dağılımı (MİGEM, 2016)

Türkiye'nin doğal taş üretimi ve ihracatı sürekli artmakla birlikte, uluslararası piyasada henüz istenilen konuma gelememiştir. Dünya rezervlerinin önemli bir bölümüne sahip olmasına rağmen, Türkiye'nin dünya doğal taş pazarındaki payı % 5 civarındadır. Dış satım gelirlerindeki artışlar, uluslararası standartlara uygun kalitede işleme tekniklerinin de geliştirilmesi zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. Dünya doğal taş pazarının önemli bir miktarı (yaklaşık % 71'i) işlenmiş ürünlerden oluşmaktadır (Alper, 2008; Yılmaz, 2009). Bu nedenle, doğal taşların daha kaliteli ve rekabet edebilir fiyatlarla işlenip dış pazarlara sunulabilmesi ülkemiz ekonomisi için büyük önem taşımaktadır (Yılmaz, 2009).

1.1. Çalışmanın Amacı

Dünya doğal taş sektörü içerisinde Türkiye'nin payı ilk 5 arasında değişmektedir. Gerek karbonat kökenli doğal taşların rezerv açısından varlığı gerekse üretim-ihracat açısından ekonomik büyüklüğü dünyada doğal taş sektörü içindeki ekonomik yerini bir kez daha perçinlemektedir. Türkiye'nin 2015 yılı içindeki maden ihracatının payı %2,7 dolaylarında gerçekleşmiştir. Tüm maden ihracatının sadece %49'luk kısmını tek başına doğal taş sektörü gerçekleştirmiştir. Geri kalan %51'lik payı ise diğer bilinen tüm madenlerin ihracatından sağlanmıştır. Bu rakamlar doğal taş sektörünün diğer maden sektörü içindeki yerini ve ekonomik büyüklüğünü göstermektedir.

Sektör; yüksek ihracat potansiyeli, iç piyasa tüketimi, doğal taş makineleri üretimi ve ihracatı ile Türkiye ekonomisine önemli bir katkı sağlamaktadır. Özellikle son dönemde mermer üretiminde, klasik mermer üretim yöntemlerinin değişmeye başlaması, nitelikli işgücü ve ileri teknolojiye dayanan modern üretim yöntemlerinin daha çok kullanılmaya başlanması, büyük firmaların yapmış oldukları yatırımlarla birlikte bütünleşmiş üretim yapan tesislerin de devreye girmesiyle işlenmiş mermer üretiminde büyük artış kaydedilmiştir (Uyanık, 2008). Kuşkusuz son yıllarda gerçekleşen üretim artışındaki en önemli nedenlerden bir tanesi dairesel testere üzerinde bulunan ve kayacın kesimini sağlayan elmas soket üretim tekniklerinin gelişmesidir.

Doğal taşların ülkemizde ve Dünyada işletilmesinde karşılaşılan en büyük problemlerden birisi doğal taş kesiminde kullanılan kesicilerin ömürlerini kısa sürede tamamlayarak doğal taş üretim maliyetlerinin büyük ölçüde artmasına neden olmasıdır. Kayaçlar için uygun tür yapıdaki kesicilerin belirlenmesi doğal taş işleme maliyetlerinin azalmasında önemli bir yer tutmaktadır. Diğer yandan kayaçların kesiminde kullanılan kesicilerin çoğunun ithal edilmekte olduğu düşünülürse, sorunun önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Mermer üretim maliyeti, büyük ölçüde kesici verimliliği tarafından kontrol edilmekte olup, bu durum kesici aşınma şartları tarafından oldukça önemli şekilde etkilenmektedir (Ersoy ve Atıcı, 1999).

Ülkemizde ve dünyada özellikle granit türü sert doğal taşların kesme işlemlerinde kullanılan soketlerin ömürlerinin kısa sürede tükenmesi ve buna bağlı olarak birim metrekare başına düşen üretim maliyetinin artması önemli bir sorun oluşturmaktadır.

Metalik matriksin aşınma direncini arttırmak ve elmas ile matriks ara yüzeyinde bağı güçlendirmek amacı ile matrikse karbürler ilave edilmektedir. Yüksek ergime noktası, yüksek sertliği, düşük yoğunluğu, yüksek kimyasal kararlılık ve mükemmel mekanik özelliklere sahip bor karbür son zamanlarda ileri teknoloji için önemli bir malzeme haline gelmiştir. Bor karbür elmas ve kübik bor nitrürden sonra bilinen en sert malzemedir. Yüksek sertliğinden dolayı aşınma direncinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. (Pierson,1996; Ma vd., 2010; Islak vd., 2012).

Bu çalışma da öncelikle doğal taş kesme işleminde kullanılan elmas soketlerin matriks kompozisyonuna bor karbür takviyesi ile elmas soketin aşınmaya karşı direncinin arttırılması amaçlanmış olup bunun yanı sıra güç tüketimi, özgül kesme enerjisi ve gürültü gibi kesilebilirlik parametrelerinin de belirlenerek kesme verimlerinin ortaya konulması hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle çalışma kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenen 3100-D2-12 no'lu proje ile BD Kimya ve Kimyasal Maddeler Tic. Ltd. Şti.'den yerli üretim olan bor karbür temini

gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında ise tez çalışmasında kullanılan granit numunesinin fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri dikkate alınarak NEK Elmas Teknolojileri firması tarafından bir adedi bor karbür katkısız (%0 B₄C) referans dairesel testere olmak üzere 7 adedi farklı oranlarda (%1-2-3-4-5-6-7 B₄C) bor karbür katkılı 350 mm çapında 8 adet dairesel testere üretilmiştir.

Dairesel testere etrafına kaynaklanan soketler haricinde fazladan üretilen her bir grup bor karbür katkısız ve katkılı soketlerin Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu Kaya Mekaniği Laboratuvarında teorik yoğunlukları, birim hacim ağırlıkları, porozite, Knoop Sertlik gibi metalografik özelliklerinin yanı sıra Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan aşınma deney seti ile ağırlıkça aşınma kaybı değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde numunelerin kırık yüzeylerinden de SEM analizleri gerçekleştirilerek mikro yapısal özellikleri incelenmiştir.

Bor karbür katkısız ve katkılı dairesel testere üretimi ve soketlerin metalografik özelliklerinin belirlenmesi sonrasında Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Doğal Taş Teknolojisi Laboratuvarında bulunan yarı otomasyonlu mermer kesme seti deney düzeneği kullanılarak bilimsel olarak kuvars monzonit olarak tanımlanan ve ticari ismi Hisar Gri olan tek bir granit türü üzerinde testere çevresel hızı, kesme derinliği, kesme hızı ve su miktarı gibi çalışma parametreleri sabit tutularak aynı koşullar altında 8 farklı oranda üretilen B₄C katkılı 350 mm'lik dairesel testere ile kesme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kesme çalışmaları öncesinde deney düzeneği elektrik panosuna güç tüketimini belirlemek amacıyla hassasiyeti yüksek bir enerji analizörü bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Kesme işlemleri sırasında enerji analizöründen ve gürültü ölçerden saniyede 5 adet veri alabilen ve çalışma için özel hazırlanan kesme yazılımı kullanılmıştır. Kesme deneyleri sonrasında elde edilen verilere göre kesim sırasında harcanan net güç tüketimi, özgül kesme enerjisi ve gürültü seviyesi değerleri ile kesim sonrasında soketlerdeki aşınmayı belirlemek amacıyla oluşturulan aşınma ölçüm sistemi ile özgül aşınma değerleri belirlenmiştir.

Çalışma sonunda bor karbür katkı oranındaki artışa göre kesme verim parametrelerindeki değişimler grafiklerle incelenmiş olup gerek özgül kesme enerjisi gerekse özgül aşınma değişim değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilen maliyet analizi sonrasında %1 bor karbür katkılı elmas soketlerin granit işleme tesislerinde kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Bor karbür katkısı ile elmas soket metalografik özelliklerinde değişimlerin olduğu gözlenmiştir. Bor karbür katkılı soketlerin metalografik özelliklerindeki değişimlerin net güç tüketimi, özgül kesme enerjisi tüketimi, gürültü ve özgül aşınma gibi kesilebilirlik parametreleri üzerine etkilerini görmek amacıyla da metalografik özellikler ile kesilebilirlik parametreleri arasında ilişkiler regresyon analizleri ile istatistiksel olarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda soketlerin metalografik özellikleri ile kesilebilirlik parametreleri arasında anlamlı ilişkiler bulunmuş olup soket üretiminden sonra soket metalografik özelliklerinin belirlenmesi ile soketlerin kesilebilirlik parametrelerinin tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen bulguların, doğal taş sektöründe özellikle granit türü sert taş kesimi gerçekleştiren tesislere, soket üretimi yapan firmalara ve bu alanda çalışan araştırmacılara da ışık tutacağı düşünülmektedir.

1.2. Elmas Soketli Dairesel Testereler

M.Ö. 150’de Hindistan’ın, içi oyularak elmas yerleştirilmiş kesici takımları Çin ‘e sattığı bilinmektedir. Bu ilk elmaslı kesici takımlar, çok sert olan değerli süs taşlarının oyulması ve kesilmesi amacıyla kullanılmıştır (Zeren, 1999).

Endüstride ise doğal taşların ilk kesimine 1854 yılında Paris’te başlanmıştır; 1885’te ilk başarılı çalışma gerçekleştirilmiştir. Çapı iki metre olan bu testere, çelikten üretilmiş ve soketteki elmaslar 0.8 karattan büyük seçilmiştir. Elmas taneleri bakır soketlerin içerisine açılan deliklere yerleştirildikten sonra elektrik arkı ile sinterlenmiştir. Soketlerde 0.75 mm’lik elmaslar yüzeyde kalarak kesme sağlanmıştır. Ancak, soketlerin kesme işlemi sırasında koparak fırlaması tehlike yaratmıştır. 1930’lu yıllarda, toz metalürjisi tekniklerinin geliştirilmesi ile

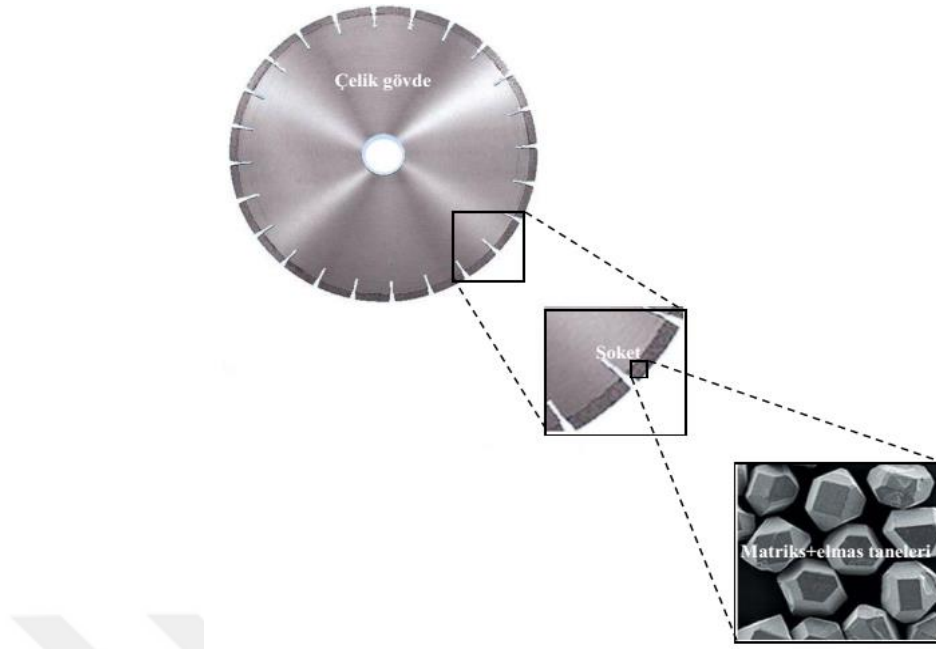
birlikte sinterize soketlerin üretimi ve kullanımı daha da artmıştır. Dairesel testerelerin ilk üretiminden günümüze kadar geçen yaklaşık 150 yıllık süreç sonunda, mekanik dayanımları daha yüksek, kayaç türlerine uygun yüksek ömür ve verimlilikte soketler ile daha dayanımlı kesme makineleri geliştirilmiştir (Jennings ve Wright, 1989; Şengün, 2009).

Doğal taş sektöründe blok kesme makineleri (S/T), yatay yarma makinesi, köprü kesme makinesi, baş kesme makinesi, yan kesme makinesi gibi makinelerde elmas soketli dairesele testereler kullanılarak kesme işlemi gerçekleştirilmektedir (Şekil 1.3).



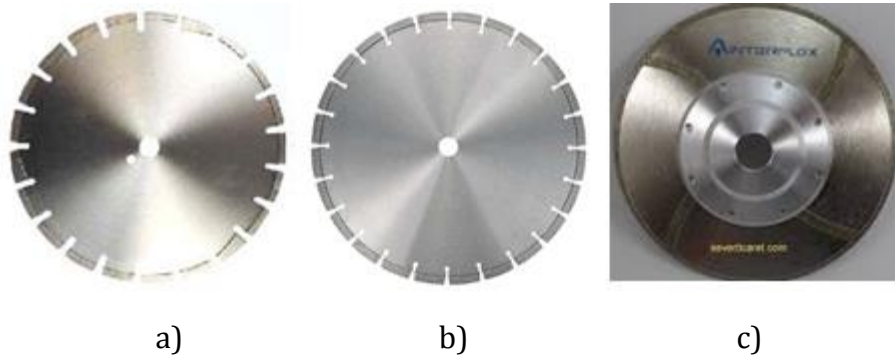
Şekil 1.3. Elmas soketli dairesele testere kullanılan dört ayaklı blok kesme (ST) makinesi

Bu makinelerde kesme aparatı olan dairesele testere düşey ve/veya yatay yönde tek testereden olabildiği gibi, çoklu dairesele testereden de oluşabilmektedir. Dairesel testereler özel alaşımlı çelik gövde ve belirli aralıklarla gövdeye kaynak edilmiş elmas soketlerden oluşmaktadır (Şekil 1.4). Kesim işlemi hakiki mermer türü kayaçlarda tek hamlede yapılırken, granit türü sert kayaçlarda kesim işlemleri çok kademele gerçekleştirilmektedir (Bayram, 2008).



Şekil 1.4. Elmas soketli dairesel testere ve elemanları (Yılmaz, 2009)

Günümüz doğal taş endüstrisinde genellikle standart kanallı, dar kanallı ve sürekli kesici disk olmak üzere üç farklı kesici disk kullanılmaktadır. Şekil 1.5’de farklı elmas kesici diskler verilmiştir. Standart kanallı kesici diskler, yüksek kesme hızının istendiği mermer, granit ve traverten gibi doğal taşların kesilmesinde kullanılır. Dar kanallı kesici diskler, standart kanallıya göre daha iyi yüzey kalitesi elde etmek amacıyla kullanılır. Sürekli disklerde, üzerinde hiçbir kanal bulunmamakta ve çevresi belirli bir kalınlıktaki elmas soketler ile kaplanmıştır. Bu gibi diskler ile çok hassas kesme yüzeylerinin elde edilmesi amaçlanmaktadır ve sık kesme koşullarına daha uygundur (Aslantaş vd., 2009).



Şekil 1.5. Elmas kesici diskler a) Standart kanallı b) Dar kanallı c) Sürekli kesici disk

1.2.1. Testere gövdesi

Doğal taş endüstrisinde kullanılan kesici testereleler genellikle AISI 1075 yüksek karbonlu çeliklerden imal edilmektedir. Bu çelikler, kaynak edilebilme özelliklerini iyileştirmek ve mukavemetini artırmak için ısıt işlemlere tabi tutulmaktadır (Budak, 2010). Örnek bir kesici diskin kimyasal kompozisyonu Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Örnek bir kesici diskin malzeme kompozisyonu (Ucun vd., 2008; Aslantaş vd., 2009)

% C	% Si	% Mn	% Cr	% P	% Mo	% Al	% S	% B
0,771	0,201	0,69	0,241	0,017	0,027	0,003	0,004	0,0032

Testereleler kullanım amacına göre; farklı çap ve gövde kalınlıklarında üretilmektedir. Testerenin dönme hareketi, ortasından geçen bir mil tarafından gerçekleştirilmekte olup, testerenin bu mil üzerine sağlamca oturtulması için uygun çapta flanşlar kullanılmaktadır. Kullanılan soketlerin sayısı ve geometrik özellikleri testere çapına göre değişmektedir (Onargan vd., 2005; Kulaksız, 2005; Yılmaz, 2009). Elmas soketli dairesel testerelelerle ilgili bazı teknik özellikler Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Elmas soketli dairesel testereleler ile ilgili özellikler (Sonmak,1994; Yılmaz, 2009)

Testere çapı (mm)	Soket sayısı	Soket Ölçüleri (mm)			Gövde kalınlığı (mm)	Gövde göbek çapı (mm)	Minimum flanş Çapı (mm)	Motor gücü (kw)	Su ihtiyacı (lt/dk)	Ağırlık (kg)
		En	Yükseklik	Boy						
250	15	2,2	7	33	1,6	30	100	5,5-7,5	6-10	0,6
300	21	2,6	7	38	2,2	60	120	7,5-11	10-15	1
350	21	3	7	38	2,2	60	140	7,5-11	10-15	1,7
350	25	3	7	40	2,2	60	140	7,5-11	10-15	1,7
400	28	3,4	7	40	2,5	60	150	7,5-11	10-15	2,6
450	32	3,8	7	40	2,8	60	160	11-15	15-20	3
500	36	4	7	40	3	60	170	11-15	15-20	4
600	36	4,6	7	40	3,4	60	180	15-18,5	20-30	7,4
600	42	4,6	7	40	3,4	60	180	15-18,5	20-30	7,4
700	40	5,3	7	40	4	60	200	22-30	30-40	11,5
800	46	5,8	7	40	4,5	80	225	30-37	30-40	14
900	64	6,5	7	24	4,75	80	250	30-37	30-40	24
1000	70	7	7	24	5	80	250	37-45	40-50	30
1200	80	7,5	8	24	5,5	80	300	45-55	50-60	52
1400	92	8	8	24	6	120	325	45-75	60-70	78

Çizelge 1.2. Elmas soketli dairesel testereler ile ilgili özellikler (Sonmak,1994; Yılmaz, 2009)(Devam)

1600	104	9	9	24	7	120	375	45-75	60-70	107
1800	120	10	10	24	7,5	120	400	55-75	70-80	148
2000	132	11	10	24	8	120	425	55-75	70-80	180
2500	140	13	11	24	9	120	450	75-90	80-100	318

1.2.2. Soket

Kesici testerinin çevresine belli sayılarda bağlanan ve mermeri kesmeyi sağlayan kesici uçlara “soket” adı verilmektedir. Soketler kompozit olarak imal edilmekte ve esas kesme işlemini, içlerinde bulunan elmaslar sağlamaktadır. Elmas soketler, matriks (tungsten karbür, çelik alaşımlar veya ağır, sert metal alaşımlarının karışımı) ve elmas (suni veya doğal elmas, her ikisinin karışımı) karışımındandır. Bu nedenle, matriksin ve elmasın aşınma karakteristikleri birbirlerinden farklıdır (Şengün, 2009). Verimli bir kesim için, soketi oluşturan matriks ile elmas tanelerinin birbirleriyle uyumlu olarak aşınmaları son derece önemlidir (Yılmaz, 2009).

Elmas soket, matriks ve elmas taneciklerinden meydana gelen kompozit bir malzeme olduğundan, üretim yöntemi soket kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Malzemede kullanılacak toz boyutları ve kalitesi soketin kalitesini belirlemekte, sinterleme ve presleme koşulları elmas soketin mukavemetini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle elmas taneciği ile matriksin iyi bir bağ yapması, kesme sırasında soket hasarlarını en aza indirecektir (Aslantaş vd., 2009).

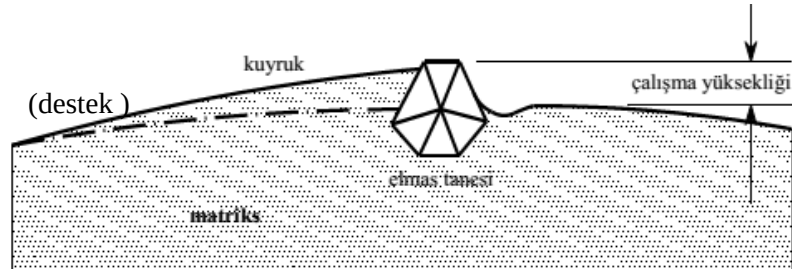
1.2.2.1. Matriks

Matriks, elmas tanelerini bir arada tutmaya yarayan bağlayıcı soket elemanıdır. İyi bir matriksten beklenen, elmas tanelerini sıkıca kavraması ve kesim esnasında elmas tanelerini destekleyerek kopmaları engellemesidir. Matriksin elmas tanelerini tutma yeteneği, matriksi oluşturan metal tozlarının bileşimi ve

sinterleme koşulları (sıcaklık, basınç ve süre) ile yakından ilgilidir (Karagöz ve Zeren, 2001; Yılmaz, 2009)

Matriks dizaynında elmasları bir arada tutan bir bağlantı evresinden ve sinterleme koşullarında gözenekleri kapatmaya yarayan bir dolgu evresinden yararlanır. Bağlantı evresi için kobalt, nikel, bakır, demir elementleri ve bu elementlerin kombinasyonlarından faydalanılır. Dolgu evresi için genelde sinterleme koşullarında ergiyen 'bronz' veya 'pirinç' kullanılır (Starck, 1993; Karagöz ve Zeren, 2001) . Değişik bakır alaşımları yüksek sertlik matriksinde yalnız dolgu evresi olarak kullanılırken, düşük sertlikteki bir matriks dizaynı için miktarsal olarak yüksek tutulmaktadır (Kennametal, 1986; Karagöz ve Zeren, 2001).

Kesici takımın ömrü açısından elmaslar tamamen kaybolmadan ve elmaslarda hasar oluşturmada metal matriks optimum bir hız ile aşınmalıdır. Aşınan matriks yüzeyinde talaş akma kanallarının oluşması ve iş parçası malzemesi talaşının bu kanallardan dışarı atılması gerekir. Çok kolay bir şekilde aşınan matriks, elmasların aşırı bir şekilde zayıflayarak kopma şeklinde aşınmasına yol açabilir. Çok sert bir matriks ise yüzeydeki elmasların bir süre sonra kesme yüzeylerini yitirmeleri, alttan da yeni kesici yüzeylerin çıkmaması neticesinde kesme işleminin kesintiye uğramasına neden olur (Zeren, 1999). Bu nedenle, sert taşların kesiminde matriksin 'yumuşak'; görece yumuşak taşların kesiminde ise matriksin 'sert' yapıda olması elmas tanelerini tutma yeteneğini artırmaktadır. Matriksin elmas tanelerini tutma yeteneğini artıran bir diğer faktör ise, kesme yönüne bağlı olarak gelişen ve 'kuyruk' adı verilen koruyucu yapıdır (Şekil 1.6). Kuyruk, matriksin elmas tanesinin arkasında erozyona uğramadan kalan parçası olup, elmas tanesini destekleyici bir görev üstlenir (Büttner, 1974; Konstanty, 1991; Yılmaz, 2009).



Şekil 1.6. Elmas tanesinin arkasında oluşan kuyruk yapısı (Jennings and Wright, 1989)

1.2.2.2. Elmas

Kimyasal olarak elmas, kristalize karbondur. Milyonlarca yıl önce karbon, yüksek sıcaklık ve basınç (1100-1300 °C ve en fazla 7 GPa) altında, bazen 80 km'den daha derinlerde kristallere dönüşmüştür. Kristalin ideal şekli oktahedraldir (8 yüzlü). Yoğunluğu 3,52 g/cm³'tür. Elmas kristalleri, açık sarı renkten sarı-yeşile kadar değişik renklerde olabilmektedir. Bilinen en sert malzemedir (Bayram, 2002; Bayram, 2008).

Doğal elmaslar volkanik etkiler sonucu yüksek basınç ve sıcaklık altında oluşmaktadır. Volkandaki lavların soğuması ile gazların büyük bir kısmı açığa çıkmaktadır. Gazların açığa çıkması ile boşluklar meydana gelir. Böylece içerdeki gazların büyük bir kısmı dışarı çıkar. Eğer boşluklarda CO₂ gazı varsa ve ağırlığı dolayısıyla kaçamamışsa, bu durumda bileşimindeki oksijen iç yüzey kısımlarını okside ederek ayrılır. Bunun sonucu olarak açığa çıkan karbon, yüksek ısı ve basıncın etkisiyle kristalleşir ve elmas halini alır (Atıcı, 1999; Aslantaş vd., 2009). Doğadan saf olarak çıkartılan elmasların istenilen geometrilerde olmaması, endüstrideki uygulamaları sentetik (yapay) elmasa yönlendirmiş ve günümüzde özellikle kesici takım teknolojisinde en çok kullanılan elmas çeşidi haline gelmiştir (Aslantaş vd., 2009).

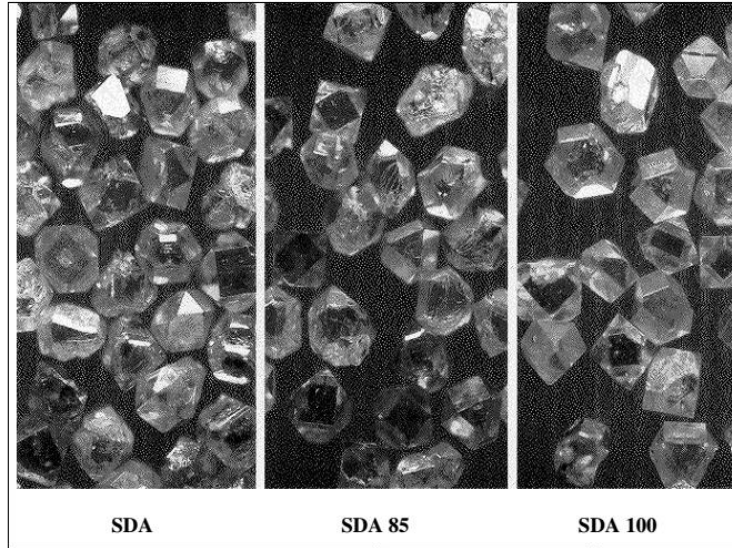
Kesici takım üreticileri, kesici takımlarda giderek artan şekilde doğal elmas yerine sentetik elmas [polikristal elmas (PCD)] kullanımını homojenliği ve ucuz olması sebebiyle tercih etmektedirler (Kulaksız, 2005).

Elmas taneleri, taş yüzeyi ile temasa geçerek kesim işlemini gerçekleştiren soket elemanlarıdır. Uygulamada, kesimi yapılacak malzemeye uygun tür, boyut ve konsantrasyondaki elmas tanelerinin seçimi büyük önem taşımaktadır (Konstanty,1991; Jennings ve Wright, 1989; Yılmaz, 2009).

i. Elmas tane türleri:

En büyük elmas üreticisi ve pazarlayıcısı olan De Beers firması, ürettiği elmas tiplerini üç ayrı kategoride toplamıştır (Bayram, 2008).

a) SDA Boyutu: 250 μm (60 US Mesh)'den daha iri tane boyutuna, düzgün kübik oktahedral kristal yapısına ve ayrıca en yüksek dayanım ve aşınma direnci için ideal boyutlara sahiptir. SDA 100 ve SDA 100+ serisi sert kayaçların verimli kesilmesi için ideal boyuttadır. SDA 85 ve SDA 85+ orta sertlikte ve aşındırma özelliğine sahip kayaçlarda kullanılabilen ve çok geniş bir kullanım alanına sahip olan aşındırıcılardır. Şekil 1.7'de standart sentetik elmas ürünlerin karakteristik örnekleri verilmiştir.



Şekil 1.7. Standart sentetik elmas ürünlerin karakteristik örnekleri (Atıcı, 2005)

b) MDA Boyutu: Bu boyut elmaslar, SDA sınıfındaki şekil ve dayanım özelliklerine benzer özellikler taşır. Ancak, 250 μm 'den daha küçük

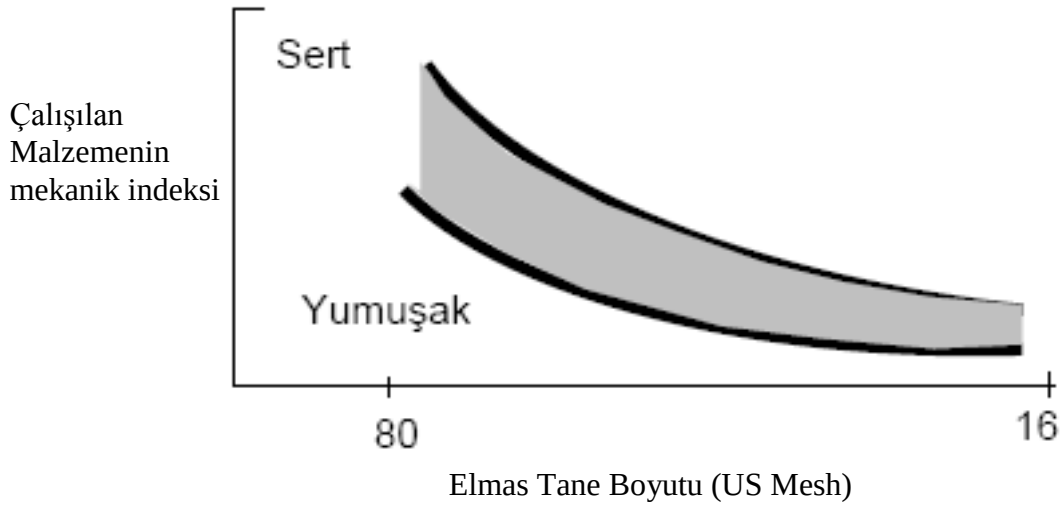
boyutlardadır. Bu nedenle daha ince yüzey işlemleri gerektiren taşlama, öğütme işlemlerinde de kullanılabilirler.

c) Doğal Boyutlar: Doğal elmas aşındırıcılarının sentetik elmas aşındırıcılara göre birçok avantajları vardır. Doğal elmas aşındırıcıların daha hızlı kesim yapmaları, temas edilen kayaç yüzeyinin daha geniş bir alana sahip olması, bu avantajlar arasında sayılabilir. Değişik boyutta olabilirler, ancak çok zor bulunmaları ve çok pahalı olmaları kullanımlarında sorun oluşturmaktadır.

Bir elmas soket yüzeyindeki elmas kristallerin yüzey yoğunluğu (birim yüzey alanında elmas tane sayısı), soketin ömrünü ve gerekli kesme kuvvetlerini belirleyerek soket performansına doğrudan etki etmektedir. Kesme yüzeyindeki kristal yoğunluğu ise, sokette kullanılan elmas miktarı (% hacim) ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek bir performans elde edilmesi için, elmas tane boyutu ile elmas miktarının mutlaka dengelenmesi gerekmektedir (Karagöz ve Zeren, 1996-a ve b; Bayram, 2008).

ii. Elmas tane boyutu:

Kesici takım özelliklerinin iş parçasının işlenebilirliği açısından belirlenmesinde elmas tane boyutu önemli rol oynamaktadır. Takım ömrü ve üretim hızını etkileyen tane boyutu seçimi, işlenecek malzeme özelliklerine bağlı olmaktadır. Sert olmayan malzemelerin kesilme işleminde iri boyutlu elmaslar önerilmektedir. Bunun nedeni, partikül başına düşen yükün yumuşak malzemelerde yüksek olmamasıdır. Sert malzemelerde iri elmas tanelerinin kullanılması ise elmasın penetrasyonunu kısıtlar. Genel olarak, aşırı tane boyutuna sahip elmas tanelerinde geniş aşınma bantları oluşur. Bu nedenle ince elmaslar sert malzemelerde daha yüksek performans vermektedir (Zeren, 1999). Elmas tane boyutu ile kesilecek malzeme arasındaki ilişki Şekil 1.8'de gösterilmiştir. Dairesel testerelerdeki soketlerde elmasların tane boyu, onun matriks yüzeyinde çıkıntı yaptığı yüksekliktir. Şekil 1.6'da elmasın çalışma yüksekliği de gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Elmas tane büyüklüğü ile kesilen kaya arasındaki ilişki (Jennings ve Wright, 1989)

Çeşitli uygulamalar için kesilecek malzemenin özelliklerine bağlı olarak önerilen elmas tane boyutları aşağıda verilmiştir (Yılmaz, 2009).

40/50 US mesh – sert ve ince taneli malzemeler (granit, bazalt)

30/40 US mesh – orta sertlikteki malzemeler (gerçek mermerler)

20/30 US mesh – görece yumuşak malzemeler (kireçtaşı, traverten)

Elmas tane boyutundaki bir değişim, kesici disk çapının bir fonksiyonu da olabilmektedir. Örneğin; fazla kumlu olmayan bir granitin kesiminde kullanılacak 600 mm çaplı bir kesici diskte normal olarak 40/50 veya 45/60 US mesh elmas kullanılmaktadır. Oysa aynı iş parçası için 2 metrelik bir kesici disk çapında 35/45 US mesh elmas tane boyutuna ihtiyaç vardır. Daha yüksek üretim hızlarında ve yüksek konsantrasyon uygulamalarında daha fazla enerjiye gereksinim olacaktır (Zeren, 1999).

Elmas taneciğinin boyutu ANSI mesh standardına göre US mesh olarak gösterilir ve elek boylarını ifade etmektedir (Aslantaş vd., 2009). Çizelge 1.3’de elmas tane boyutunun ANSI mesh standardında gösterimi verilmiştir.

Çizelge 1.3. Elmas tane boyutunun ANSI mesh standardında gösterilmesi (Gürçay, 2005; Aslantaş vd., 2009)

US Mesh	Ortalama Tane Boyutu (μm)	Karat başına düşen tane sayısı
25/30	650	450
30/35	545	750
25/40	460	1250
40/45	385	2150
45/50	325	3600
50/60	275	6000
60/70	230	10000
70/80	195	16900

iii. Elmas konsantrasyonu:

Soketteki elmas oranı % cinsinden ifade edilmektedir. 4.4 karat/cm³ (1 karat = 0.205 gr) %100 konsantrasyon olarak kabul edilir ve bütün ayarlamalar bu oran esas alınarak yapılmaktadır. % 20-%30 arası elmas oranına sahip soket ile traverten ve mermer, %30-%40 arasındaki elmas oranına sahip soket ile granit türü sert taşların kesilmesi mümkündür.

Sert ve çok aşındırıcı kayalarda elmas oranının yüksek olması istenmektedir. Elmas oranının azaltıldığı durumlarda, tek elmasa binen yük artmaktadır. Böylece belli bir noktaya kadar elmas tanesinin uzaklaştıracağı malzemenin miktarını arttıracaktır. Ancak artan yük değeri her bir elmas tanesinin matriksten kopmasına neden olacaktır. Bunun tam tersi olarak elmas oranı artırıldığı durumlarda, çok yüksek kesme enerjisine gereksinim duyulacaktır. Elmas taneye binen yük azalacak, elmas tanenin ilerleme derinliği azalacaktır. Elmasların parlaması ve körlenmesi sonucunda verimsiz kesme elde edilecektir (Konstanty, 1991).

1.3. Dairesel Testerelerde Kesimi Etkileyen Parametreler

Kayaçların dairesele testerelerle kesilebilirliklerini etkileyen başlıca faktörler makine parametreleri ve kayaç özellikleridir. Bunun yanında operatör tecrübesi ve çalışma ortamı koşulları da etkilidir. Makine parametrelerinden; soğutma

suyu testereyi soğutmak ve kesilen kırıntıları ortamdan uzaklaştırması açısından önemlidir. Kesme derinliği de dairesel testerele ile kesme işleminde etkilidir. Orta ve düşük sertlikteki kayaların kesiminde kesme derinliği bir kesimde tamamen kesilebilirken sert kayalarda kademeli kesim yapılmalıdır (Şentürk vd., 1996; Şengün, 2009). Ayrıca yüksek kesme hızları testerenin çabuk bitmesine, düşük kesme hızları ise testerenin körelmesine neden olmaktadır. Kesme işlemini etkileyen parametreler Tönshoff vd. (1993)'nin sunduğu çizelge Şengün (2009) tarafından değiştirilerek Çizelge 1.4'de verilmiştir.

Çizelge 1.4. Kesme işlemini etkileyen parametreler (Tönshoff vd., 1993, Şengün 2009)

	KAYAÇ	MAKİNA			
	Materyal	Yapı	Soğutucu sıvı	Testere	
				Soket	Disk
Oransal Etkileşim	- Tane büyüklüğü - Gözeneklilik - Dayanım - Sertlik - Gevreklik - Kırılma tokluğu	- Dayanım - Titreşim oranı	- Basınç - Akış miktarı	- Geometri - Yapı - Tane Cinsi - Tane Boyutu - Konsantrasyon	- Geometri - Montaj - Ön Gerilim - Gerilim
		Çalışma Ayarları			
	Geometri	- Kesme Derinliği - Kesme Hızı - Çevresel Hız			
	Tespit (Bağlama)				
İşleme Değerlerinin Değişimi	- Kuvvetler Oluşumu - Kontak Bölgelerinden Isı Dağılımı - Statik Disk Burulması	- Kesilen Parçaların Titreşimi - Makinenin Titreşimi - Disklin Titreşimi			
Çalışma Sonuçları	KAYAÇ		TESTERE		
	Dış yüzey	Ölçü hassasiyeti	Soket	Disk	
	- Pürüzlülük - Kenar Pürüzlülüğü	- Yüzey Düzlülüğü - Paralellik	- Elmas Tane Aşınması - Matriks Aşınması	Gerilim Durumu	

1.3.1. Kayaç özellikleri

Kayaçlar tek bir mineralden oluşabildikleri gibi birkaç mineralden veya mineral grubundan da oluşabilmektedir. Bu minerallerin cinsleri, % miktarları, tane boyutları, tanelerin dokusal ilişkileri incelenerek tanımlamalar yapılabilmekte, bu da mineralojik analizle mümkün olmaktadır. Mineralojik analizi kesme işlemi için çok önemli yapan unsur; kayaların bünyelerinde içerdikleri sert mineraller ile kuvars miktarıdır. Kuvars miktarı ne kadar fazla olursa ve tane boyu olarak da ne kadar büyük olursa kesme işlemi o kadar zorlaşacaktır. Kuvars içeriği ilk aşamada dairesel testerele keskinleştirmekte ve kesme hızını arttırmaktadır.

Ancak ileri aşamalarda dairesel testereleri aşındırarak ömürlerini azaltmaktadır (Jennings ve Wright, 1989; Özçelik vd., 2008).

1.3.2. Makine

Makinenin en önemli özelliği yapısal konstrüksiyonudur. Makinenin temel parçalarının mümkün olduğunca sağlam dökme demirden veya ısıt işlemlerden geçirilmiş özel alaşımlı çeliklerden imal edilmesi gerekir. Makinede istenilmeyen titreşimlerin oluşmaması için mümkün olduğunca az hareketli parçalar bulunmalıdır. Makine zemine iyice oturtulmalı ve oturduğu zeminin etrafı titreşim önleyici malzemelerle çevrilmelidir. Bu sayede bir makinenin oluşturduğu titreşimin diğer bir makineyi etkilemesi önlenmiş olacaktır (Büyüksağış, 1998). Titreşim, soketlerin aşınmasını da hızlandırır. Ayrıca, vagon testere ile tam paralel şekilde hareket etmelidir, aksi halde kesim hassasiyeti azalır ve ürün kalitesi düşer (Polmak; Sonmak, 1994; Yılmaz, 2009).

Makine ile ilgili diğer bir önemi unsur makinenin motor gücüdür. Makinenin motor gücü kesilecek kayacın gerektirdiği güç tüketimini karşılayabilir olmalıdır. Sert bir kayacı yetersiz bir motor gücü ve zayıf konstrüksiyonla kesmek ekonomik olmayacağı gibi, yumuşak bir kayaç için gereğinden fazla motor gücü ile kesmek de ekonomik olmayacaktır (Tönhsöff vd., 1993; Büyüksağış, 1998).

1.3.3. Testere çevresel hızı

Testerinin çevresel hızı, kesilecek malzemenin sertliği, dayanımı ve aşındırıcılık özelliği göz önüne alınarak seçilmektedir. Çevresel hız, testere ömrünü önemli ölçüde etkilemektedir. Farklı malzeme kesimi için farklı çevresel hızlar gerekmekte, kesici ömrünün ve kesme hızının optimum olmasını kontrol etmektedir. Örneğin, kumtaşı gibi kesimi kolay olan malzemeler yüksek kesici devri (60 m/s), yüksek kuvars içeren kesimi zor olan granitler düşük kesici devri gerektirmektedir (Jennings ve Wright, 1989, Özçelik vd., 2008). Bazı dairesel testere üretimi yapan firmaların genel olarak kayaç tipi ve kuvars içeriğine göre tavsiye ettikleri testere çevresel hızları Çizelge 1.5’ de verilmiştir.

Çizelge 1.5. Doğal taş cinsine göre önerilen çevresel hızlar (Sinter Soket, 2016)

Malzeme	Standart Çevresel Hız (m/s)
Granit	25-35
Mermer	40-45
Traverten	50-60

İstenilen çevresel hızı karşılayacak motor devirleri testere imalatçısı firmalar tarafından verilmektedir. Gereğinden küçük çevresel hızlarda, elmasın kesme işlemini gerçekleştirebileceği çarpma hızı azalacağından verimsiz bir kesme işlemine neden olduğu gibi, testerenin aşınmasını hızlandırır. Gereğinden daha yüksek çevresel hız durumunda ise, soketler üzerindeki elmas tanecikleri yeterli kesme işlemi yapamadan matriksten kopmakta veya körlenmekte ve bunların sonucunda testerenin çabuk tükenmesine neden olmaktadır (Sakaoğlu, 2008).

Uygun disk çapı seçimi, kesme ve aşınma hızı göz önünde tutularak belirlenir. Büyük çaplı disklerin çizgisel hızı, küçük çaplı disklerin çizgisel hızından daha düşük olduğundan, kesme işlemi sırasında elmas tanecikleri daha uzun süre soğuma fırsatı bulacak ve dolayısıyla daha geç aşınacaktır. Soket malzemesi, disk çapı ve makine devrine de bağlı olarak yüksek yüzey kalitesi temini için diskin çizgisel hızı yüksek, kesme derinliği az ve ilerleme hızı düşük olmalıdır.

Elmaslı kesici disklerle mermer, granit, taş v.b. kesiminde yüksek yüzey kalitesi elde edilmesinde soket malzemesi, disk çapı ve makine devri (rpm) önemli olmaktadır. Diskin çizgisel hızı Eşitlik 1.1. ile hesaplanabilir (Zeren, 1999).

$$V_p = D \cdot \pi \cdot n / 60000 \quad (1.1)$$

Burada;

V_p : diskin çevresel hızını

n : makine devrini (dev/dk)

D : kesici disk çapı (mm) dir.

Buna göre kesici disk çapı ve makina devrine bağlı olarak hesaplanan ve tavsiye edilen çevresel hız Çizelge 1.6'da verilmiştir. (Unimas, 1986; Zeren, 1999).

Çizelge 1.6. Testereilerin çapına göre çevresel hız değerleri (Sinter Soket, 2016)

Testere Çapı (mm)	Çevresel Hız (m/s)							
	25	30	35	40	45	50	55	60
	Motor Devirleri (rpm)							
200	2400	2900	3400	3800	4300	4800	5300	5700
250	1900	2300	2700	3100	3400	3800	4200	4600
300	1600	1900	2200	2500	2800	3200	3500	3800
350	1400	1600	1900	2200	2500	2700	3000	3300
400	1200	1400	1700	1900	2100	2400	2700	2900
500	950	1100	1300	1500	1700	1900	2100	2300
550	900	1000	1200	1400	1600	1700	1900	2100
600	800	950	1100	1300	1400	1600	1800	1900
700	700	800	950	1100	1300	1400	1500	1600
800	600	700	850	950	1050	1200	1350	1450
900	500	600	750	850	950	1100	1200	1300
1000	475	650	750	850	950	1050	1150	1250
1100	450	600	700	800	850	950	1050	1100
1200	400	550	650	700	800	900	950	1050
1400	340	410	480	550	610	680	750	820
1600	300	360	420	480	540	600	660	720
1800	270	320	370	430	480	530	580	640
2000	240	290	340	380	430	480	530	570
2500	190	230	270	310	350	380	420	460

1.3.4. Kesme hızı

Kesme hızı birim zamanda testerenin ilerleme hızı veya birim zamanda kesilen malzeme miktarı olarak tanımlanır. Birim cm^2/dk veya m^2/saat 'tir (Özder, 2002).

Doğal taş sektöründe, ekonomik açıdan bakıldığında kesme hızı (üretim hızı) ve testere ömrü en önemli faktörler olmaktadır. Bununla birlikte, bu parametrelerin taşıdığı önem sırası tesisin gereksinimleri ve öncelikleri tarafından belirlenmektedir. Genel olarak, çok yüksek kesme hızları matriksin çabuk aşınmaya yol açmakta, çok düşük kesme hızları ise elmas tanelerinin yeterli kesim yapamadan körlenmelerine (parlamasına) neden olmaktadır. Kesilecek taş türüne göre önerilen kesme hızları, Çizelge 1.7'de verilmiştir (Yılmaz, 2009).

Çizelge 1.7. Farklı taşlar için önerilen çevresel hızlar (Sonmak, 1994; Yılmaz, 2009)

Taş türü	Kesme hızı (cm^2/dk)
Granit	100-150
Mermer	800-2500
Traverten	1000-3000

1.3.5. Su miktarı

Kesme sırasında diskin ve elmas soketin üzerinde sürtünme sonucunda oluşan ısının azaltılması için mutlaka yeterli miktarda su ile soğutulmaları gerekir. Su, kesme sonucunda oluşan talaşları ortamdan uzaklaştırır ve malzemelerin yüzeylerinde oluşan ısının azaltılmasını sağlar. Dairesel testerelerin testere çapına göre en düşük ve en yüksek soğutma suyu miktarları Çizelge 1.8’de verilmiştir.

Çizelge 1.8. Dairesel testerelerin testere çapına göre en düşük ve en yüksek soğutma suyu miktarı (Güçlü, 2006)

Testere çapı (mm)	Testere başına en düşük soğutma suyu miktarı (ℓ/dk)	Testere başına en yüksek soğutma suyu miktarı (ℓ /dk)
300/400	10	15
450/550	15	22
600/625	20	30
700/750	30	40
800/900	30	45
1000/1100	40	60
1200/1300	50	75
1400/1600	60	90
1700/2000	70	120

1.3.6. Testere dizayn parametreleri

Testerinin dizayn parametrelerinden soket (elmas ve matriks), testere çapı, su kanalları ve flanş özellikleri dairesel testerelerde önemli olmaktadır. Özellikle soketler kesilecek doğal taşın uygun olmasıdır. Çünkü soketlerin doğal taşı aşındırarak kesmesi kadar doğal taşın soketi aşındırarak körelen elmasların yerine yeni elmasların soket yüzeyine çıkmasını sağlamalıdır. Eğer matriks kesilen doğal taşın daha sert olursa, elmas kesme işlevini yaparken aşınacak ve körelecektir. Matriks yeterli seviyede aşınmadığı için körelen elmas hâlâ matriks tarafından tutulacak ve yeni elmas yüzeyleri kayaya temas edemediği için

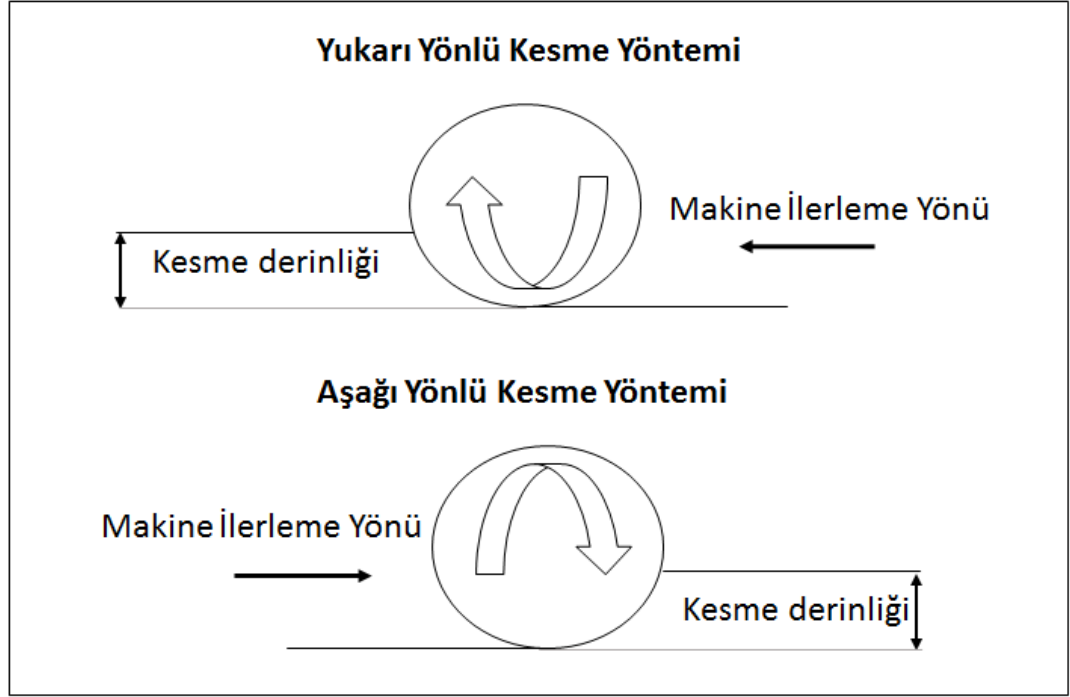
testerelerin kesim hızı düşerek başarısız olacaktır. Bu nedenle, elmaslarla matriksin eş zamanlı aşınması gerekmektedir (Şengün, 2009).

1.4. Dairesel Testereli Kesim Makinelerinde Kesme Yöntemleri

Dairesel testereli kesim makinelerinde kesme şekli iki türdür. Birinci durum diskin dönüş yönü ile kesme (ilerleme) yönünün aşağı olduğu, ikinci durum ise bunun tersi yani disk dönüş yönü ile kesme yönünün yukarı olduğu durumdur. Yukarı yönlü kesime göre aşağı yönlü kesme durumunda oluşan düşey kuvvetler büyük, yatay kuvvetler düşüktür. Yukarı yönlü kesme işleminde disk kesilen parçayı yukarı kaldırmaya çalışırken, aşağı yönlü kesmede ise parçayı tablaya bastırmaya çalışacaktır. Şekil 1.9'da yukarı ve aşağı kesme yöntemlerinin görünümü verilmiştir.

Bu kesme türleri Akkurt (1996) tarafından da karşılaştırılmıştır. Yukarı ve aşağı yönlü kesmenin birbirlerine göre bazı üstün ve olumsuz yönleri şunlardır (Büyüksağış, 1998).

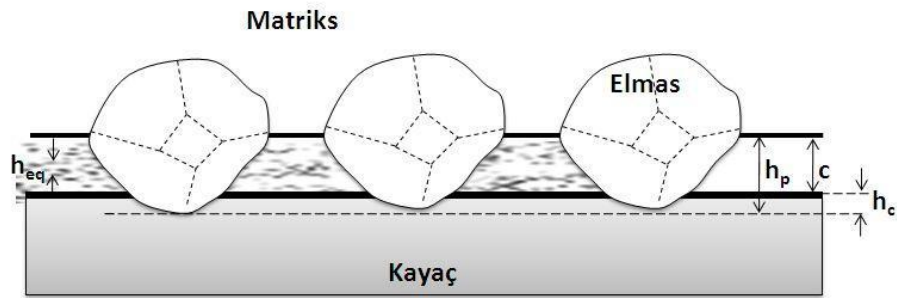
- Yukarı yönlü kesmede, başlangıçta kesme kuvveti sıfır olup kademeli olarak yükselmektedir. Ancak parçayı (kayacı) yukarı doğru kaldırmaya çalışması ve titreşime neden olması, kesim yüzeyinin düzgün olmaması dezavantajıdır.
- Aşağı yönlü kesmede, başlangıçta kesme kuvveti maksimum olup kademeli olarak azalmaktadır. Kesilen kayacı bastırması ise titreşimin oluşmasını azaltacak ve kesilen yüzeyin kalitesini arttıracaktır.
- Aşağı yönlü kesmede, disk kayaca ani olarak temas etmekte ve büyük bir hacmi kesmeye çalışmaktadır. Özellikle sert kayaçların kesilmesinde bu durum elmas soketin ömrünü azaltacak, çatlamasına ve düşmesine neden olacaktır.
- Yukarı yönlü kesmede, disk öncelikle küçük bir hacim kesmeye çalışmakta bu nedenle sokete uygulanan gerilim de düşük olmaktadır. Bu soket ömrünün artmasını sağlayacağından sert kayaçların kesimi için alternatif bir yöntemdir.



Şekil 1.9. Yukarı ve aşağı kesme yöntemlerinin görünümü

1.5. Dairesel Testere Sistemi Kesme Mekanizması

Konstanty (2000), kesme sırasında oluşan kesme zonunu incelemiş ve talaş kalınlığını (h_{eq}), elmas kesme derinliğini (h_c), matiks ile kayaç arasındaki açıklığı (c) ve çalışma yüksekliğini (h_p) Şekil 1.10'da olduğu gibi göstermiştir. Kesme zonunun bu şekilde ifade edilebilmesi için elmasların hepsinin aynı kesme yüksekliğinde yerleştirildiği ve matiks ile kayaç arasındaki açıklığın kesme zonu boyunca aynı olduğu kabul edilmiştir (Kulaksız, 2005; Şengün, 2009).



Şekil 1.10. Kesme zonunun şematik olarak görünümü (Konstanty, 2000)

Elmas tanesi kayada kesme yaparken çentik kuvvetini uygulamaktadır. Dairesel kesmede, elmas ilerleme derinliğini (h_c) Eşitlik 1.2. ile ve kesme işleminde oluşan talaşların kalınlıkları ise Eşitlik 1.3. ile ifade edilmektedir (Büyüksağış, 1998; Kulaksız, 2005, Şengün, 2009). Çalışma yüksekliği (h_p), elmas tane boyutu, dayanımı ve oranının kombinasyonu sonucu oluşmaktadır. Elmas oranı sabit tutulup tane boyutu arttığında çalışma yüksekliği artmaktadır. Elmas çıkıntısı, kesme işlemi sırasında oluşan talaşın ortamı terk etmesi için gerekli açıklığı oluşturmamasından dolayı, kesme işleminin verimliliğini doğrudan etkilemektedir (Şengün, 2009).

$$h_c = \sqrt{\frac{Q}{V_c * TA * N_A}} \quad (1.2)$$

$$h_{eq} = \frac{Q}{V_c} \quad (1.3)$$

Burada;

h_c = Elmas ilerleme derinliği, μm

h_{eq} = Talaş kalınlığı, μm

Q = Kesme hızı, cm^2/dak

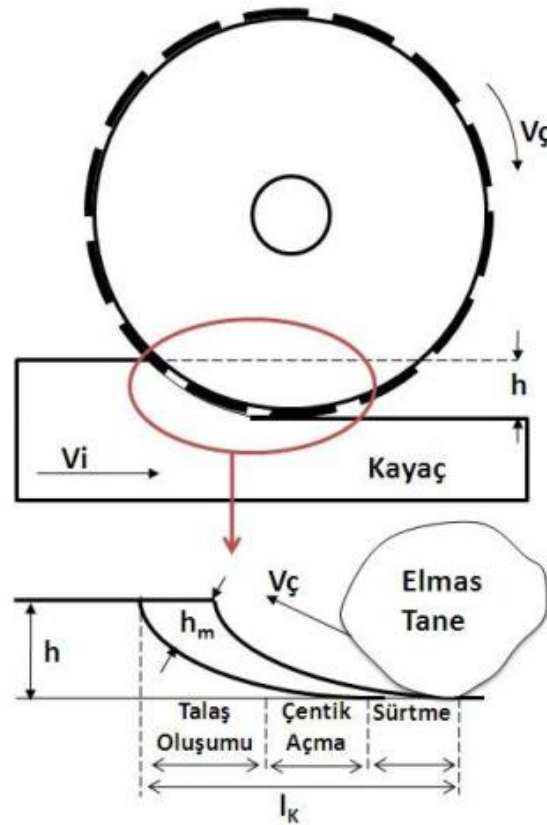
V_c = Testere çevresel hızı, cm/dak

TA = Temas alanı, cm^2

N_A = Elmasın birim yüzey alanda kesici köşe sayısıdır.

Kayaçların dairesel testereler ile kesme işlemlerinde, kayaç yüzeyi ile sadece elmas taneleri temas etmektedir. Eğer kesici testere yeni ise elmas tanelerinin yüzeye çıkmaları için testereler bilenmelidir. Aşırı bilenmede ise elmas taneleri üzerlerine gelen kuvvetleri karşılayacak yeteri kadar bağ kuvveti kalmayacağı için sokette elmas kopmaları meydana gelecektir. Verimli bir kesme için hem elmas taneleri hem de elmas tanelerini tutan matriks beraber aşınmalıdır. Chen ve Rowe (1996), dairesel testereler ile kesme işleminde, kesme işleminin üç ana aşamadan oluştuğunu ifade etmektedir. Bu aşamalar;

- *Sürtünme aşaması*; elmas tanesinin, kesme yüzeyi ile temas ettiği anda sistemin elastik deformasyonuna bağlı olarak kesme işlemi yapmadan kaydığı aşamadır.
- *Çentik açma aşaması*; elmas tane ile kesilecek malzeme arasındaki gerilmenin, elastik limitten sonra artış gösterdiği ve bunun sonucunda plastik deformasyonun olduğu aşamadır.
- *Talaş oluşumu (Kesme) aşaması*; kesilen malzeme uygulanan kuvvetin etkisi ile öne doğru yığılma göstererek elmas tanelerinin kenarlarına oluk açmakta ve malzeme yırtılma gerilmesine dayanamayarak talaş oluşmaktadır (Şekil 1.11).

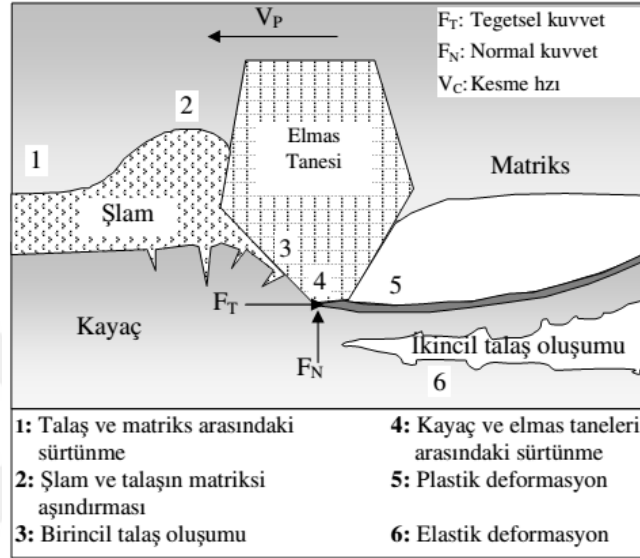


l_k : Deforme olmayan talaş yüzeyi (μm), h_m : Deforme olmuş maksimum talaş kalınlığı (μm)

Şekil 1.11. Talaş oluşumu sırasında meydana gelen üç aşama (Chen ve Rowe, 1996; Şengün, 2009)

Bilenmiş soketlerle kesmede, kuvvetin etkisi ile kesici elmas ucun ön kısmındaki kayaç yüzeyinde çatlaklar oluşur ve ince kayaç partikülleri (talaşlar) kayaktan parçalanarak ayrılır. Buna “birincil çatlak oluşumu” denir. Kesici ucun alt

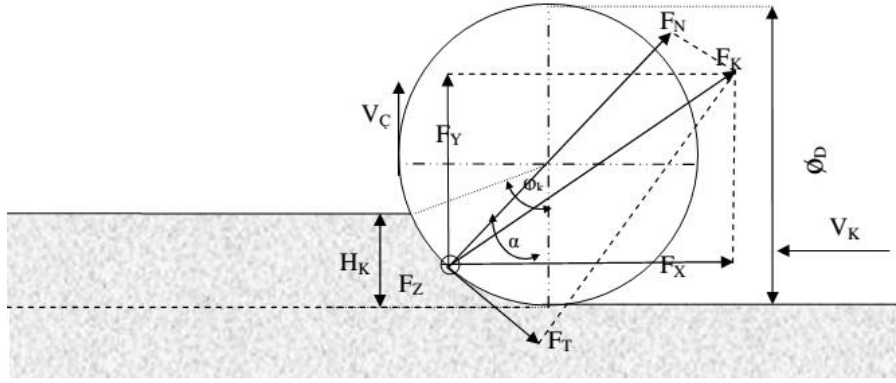
kısımında ise yüksek basınç oluşurken, kesici ucun arka kısmında basıncın boşalmasıyla çekme gerilmesi oluşur. Böylece kayacın dış yüzeyinde çatlaklar ve lokal tahribatlar meydana gelir. Buna da “ikincil çatlak oluşumu” denir (Bienert, 1978; Tönshoff vd., 1993; Büyüksağış, 1998). Bu çatlak oluşum bölgeleri Şekil 1.12’de verilmiştir.



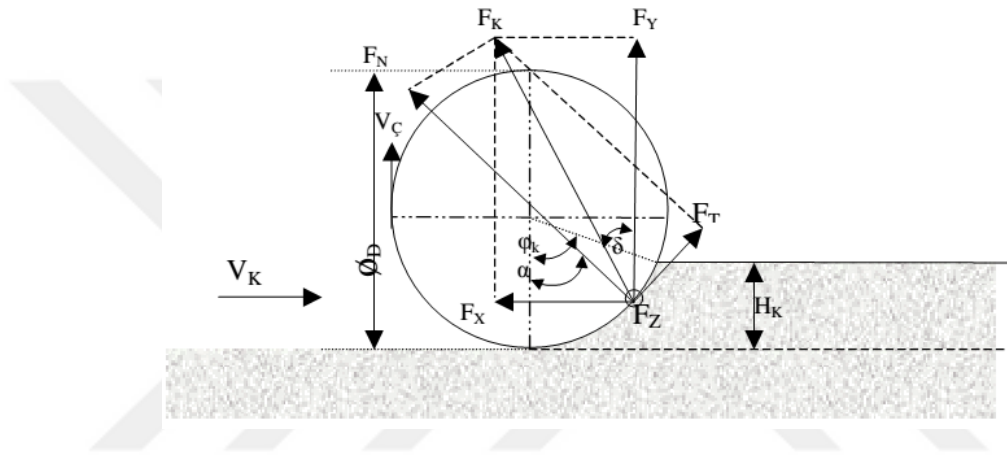
Şekil 1.12. Mermer kesme işlemlerinde talaş oluşum mekanizması (Tönshoff vd., 1993)

1.6. Dairesel Testerelerle Kesme İşlemi Kinematığı

Dairesel testereler ile kesme işleminde, testere ile kesilen kayacın arasındaki kinematik ilişki soket yüzeyindeki her bir elmas tanesi için geçerli olmaktadır. Kesme işlemi için önceden yapılan çalışmaların dayandığı ana temel; dairesele testere üzerindeki elmas tanesinin mekaniğidir. Testerenin kayacı kesmesi sırasında herhangi bir elmas tanesinde kuvvetler ve bileşenleri meydana gelir (Tönshoff vd., 1993; Li vd., 2002; Şengün, 2009). Kayacın kesme işleminde dairesele testerenin yukarı ve aşağı yönlü kesme işlemlerinde oluşan kuvvetleri ve bileşenleri Şekil 1.13 ve 1.14’de gösterilmektedir.



Şekil 1.13. Yukarı yönlü kesme için kesme işlemi kinematığı (Tönshoff vd., 1993;)



Şekil 1.14. Aşağı yönlü kesme için kesme işlemi kinematığı (Tönshoff vd., 1993;)

Burada;

F_X : Dairesel testere kesme yönünde oluşan yatay (x) kuvvet (N)

F_Y : Dairesel testere kesme yönünde oluşan düşey (y) kuvvet (N)

F_Z : Dairesel testere kesme yönüne dik oluşan eksenel (z) kuvvet (N)

F_N : Normal kuvvet (N)

F_T : Teğetsel kuvvet (N)

V_C : Dairesel testerenin çevresel hızı (m/s)

V_K : Kesme hızı (m/s)

ϕ_D : Dairesel testere çapı (mm)

d : Kesme derinliği (mm)

ϕ_K : Dairesel testerenin kayaçla temas açısı (derece)

α : Normal kuvvetin etki (aşındırma) açısı (derece)

Yatay (F_X), düşey (F_Y) ve eksenel (F_Z) kuvvetler ölçümler sonucu bulunan kuvvetlerdir. Bu kuvvetlerin yardımıyla yukarı yönlü kesme işlemi için; (Tönshoff vd., 1993)

$$F_N = F_Y \cos \alpha + F_X \sin \alpha \quad (1.4)$$

$$F_T = F_Y \sin \alpha + F_X \cos \alpha \quad (1.5)$$

Aşağı yönlü kesme durumunda Normal kuvvet (F_N) ve Teğetsel kuvvet (F_T) için

$$F_N = F_Y \sin \alpha + F_X \cos \alpha \quad (1.6)$$

$$F_T = F_X \cos \alpha - F_Y \sin \alpha \quad (1.7)$$

$$F_K = (F_N^2 + F_T^2)^{1/2} \quad (1.8)$$

bağıntıları yazılabilir.

Dairesel testerenin kayacı kavrama açısı (ϕ_k) Eşitlik 1.9 ile normal kuvvetin etki açısı(α) Eşitlik 1.10 ile hesaplanabilmektedir.

$$\phi_k = \arccos \left[1 - \frac{2d}{H} \right] \quad (1.9)$$

$$\alpha = w \phi_k \quad (1.10)$$

Aşındırma açısına ait w faktörünün değeri, Tobias (1965) tarafından kayalar için $w=0.7$ olarak önerilmiştir. Bir dairesele testerenin kesme işlemini gerçekleştirebilmesi için gerekli motor kuvveti (P_c)

$$P_c = F_T V_c \quad (1.11)$$

bağıntısıyla hesaplanabilmektedir.

Birim zamanda dairesele testere tarafından kesilen hacim (Q_w) için harcanan enerji miktarı Tönshoff vd.. (1993)'e göre Özgöl Kesme Enerjisi (ÖE) olarak tanımlanmakta ve Eşitlik 1.12 ile hesaplanabilmektedir.

$$\text{ÖKE} = \frac{P_C}{Q_W} = \frac{F_T V_C}{d G_S V_K} \quad (1.12)$$

Burada;

G_S : Elmas soket genişliğidir (mm).

Bir elektrik motor gücünün tam verimle kullanılamadığı düşünülürse, gerekli motor kuvveti Eşitlik 1.13 ile hesaplanabilir (Saçkan, 1981; Büyüksağış, 1998).

$$P_C = P_m \xi \quad (1.13)$$

Burada;

P_m : Motor gücü (kW, HP)

ξ : Motor gücü verimi (%)

Teğetsel kuvvetin (F_T) normal kuvvete (F_N) oranı kesme kuvvetleri oranı (δ) olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir;

$$\delta = \frac{F_T}{F_N} \quad (1.14)$$

Kesme hızının dairesel testere çevresel hızına oranı, kesme hızları oranı (q) olarak;

$$q = \frac{V_K}{V_C} \quad (1.15)$$

bağıntısıyla ifade edilmektedir.

1.7. Elmas Soketlerin Aşınma Mekanizması

Elmas soketler mermer, granit gibi doğal taşların kesme işleminde kullanılan kesici takımlardır. Elmas soketler toz metalurjisi tekniği kullanılarak değişik elementlerin belirli oranlarda karıştırılması sonucunda üretilmektedir. Kesici

diskte, soket matriksi ile doğal taş arasındaki sürtünmenin etkisi ile zamanla aşınma meydana gelmektedir (Ucun ve Büyüksağış, 2009).

Doğal taşların ülkemizde ve Dünyada işletilmesinde karşılaşılan en büyük problemlerden birisi doğal taş kesiminde kullanılan kesicilerin ömürlerini kısa sürede tamamlayarak doğal taş üretim maliyetlerinin büyük ölçüde artmasına neden olmasıdır. Kayaçlar için uygun tür yapıdaki kesicilerin belirlenmesi doğal taş işleme maliyetlerinin azalmasında önemli bir yer tutmaktadır. Diğer yandan kayaçların kesiminde kullanılan kesicilerin çoğunun ithal edilmekte olduğu düşünülürse, sorunun önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Doğal taş üretim maliyeti, büyük ölçüde kesici verimliliği tarafından kontrol edilmekte olup, bu durum kesici aşınma şartları tarafından oldukça önemli şekilde etkilenmektedir (Ersoy ve Atıcı, 1999).

Kayaç kesme işleminde kayaç özellikleri, kesme parametreleri, kesici dizayn parametreleri, makine özellikleri, soğutma sıvısı gibi faktörler elmas soketlerin aşınmasını etkilemektedir (Çizelge 1.9). Elmas soketlerde meydana gelen aşınma elmas ve matriks aşınması olarak incelenebilir (Atıcı, 2005).

Çizelge 1.9. Elmas kesici disklerde aşınmaya etki eden faktörler (Atıcı, 2005)

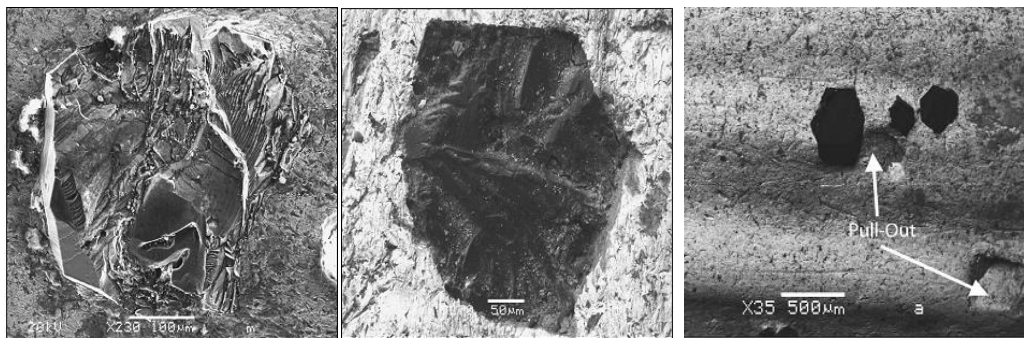
Kayaç özellikleri	Dokusal	Tane boyutu, Tane şekli, Mineral tipi ve içeriği, Çimentolanma derecesi ve tipi, Bağ yapısı
	Mekanik	Dayanım, Sertlik, Aşındırıcılık, Porozite, Basınç
	Yapısal	Kırıklar, Çatlaklar, Tabakalanma, Yönlenme, Doğrultu Eğim
	İklimsel	Alterasyon, Su içeriği
Kesme Parametreleri		Kesme kuvveti, İlerleme hızı, Kesme hızı, Çevresel hız Kesme derinliği, Spesifik enerji
Kesici Dizayn Parametreleri		Kesme modu, Kesme yönü, Elmas özellikleri, Matriks özellikleri, Testerenin profili
Sıcaklık		Termal şok, Ani yükleme
Makine Özellikleri		Güç, Sarsıntı
Soğutma Sıvısı		Soğutma sıvısının miktarı ve saflığı
Diğer		Operatör faktörü, Çevre İklim

1.7.1. Elmasta meydana gelen aşınma

Elmaslar, endüstrinin her alanında aşındırıcı-kesici madde olarak kullanılmaktadır. Endüstride doğal ve sentetik olmak üzere iki farklı elmas türü bulunmaktadır. Doğal taş endüstrisinde genellikle kolay bulunabilmesi ve ekonomik olması sebebi ile sentetik elmaslar daha çok tercih edilmektedir (Ucun ve Büyüksağış, 2009).

Elmas kesici disklerde asıl kesme işlemini yapan elmas taneciklerdir ve bunun sonucu olarak ta kesme esnasında farklı kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu kuvvetler etkisinde elmas taneciklerde aşağıdaki hasarlar görülmektedir.

- Elmas düzleşmesi, genellikle elmas taneciği termal yüklere maruz kaldığında görülmektedir.
- Elmas kırılması, kayaca ilk temas anında veya kesme esnasında anlık kuvvet artışlarında görülmektedir. Ayrıca, kalitesi düşük elmasların kullanılması kırılmaları önemli ölçüde artırmaktadır.
- Elmas dökülmesi, elmas taneciğini tutan matriks bağının kuvvetli olmaması ve üzerine etki eden kuvvetlerin etkisi ile meydana gelmektedir. Şekil 1.15’de elmas tanelerinde gözlenen hasar tipleri verilmiştir.



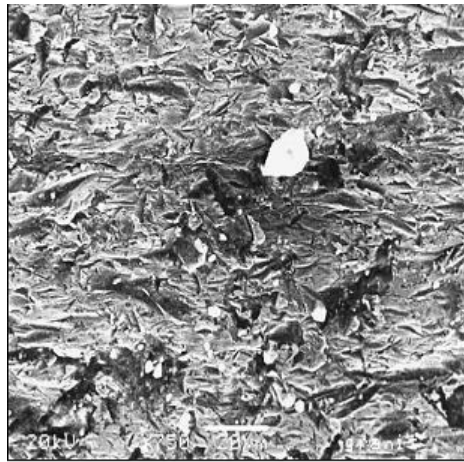
Şekil 1.15. Elmas tanelerinde gözlenen hasar tipleri (Ersoy vd., 2005)

Bu hasarların oluşmasında, işleme parametreleri, elmas tanecik boyutu, elmas konsantrasyonu, elmas kalitesi, kayaç sertliği ve minerolojik özellikleri, soğutma durumu gibi birçok faktör de etkili olmaktadır (Aslantaş vd., 2009).

Granit gibi sert kayaçların kesilmesinde elmas tanecikler daha küçük boyutta ve yüksek konsantrasyonda seçilir. Eğer elmas boyutu büyük olursa, matriksten yüksekliği daha fazla olacaktır ve ani tekrarlı yükler sonucunda daha fazla kırılma meydana gelecektir. Sertliği düşük kayaçlarda ise; daha az yoğunluk ve büyük boyutlarda elmas tanecikleri seçilir. Küçük boyutlarda elmas kullanımı soket yüzeyine talaşın sıvanmasına neden olmakta ve kesimi zorlaştırmaktadır. Yüksek sertliğe sahip kayaçların işlenmesinde dayanımı ve tokluğu yüksek kübik oktahedral elmas tanecikler kullanılması daha verimli kesimlere olanak sağlar (Aslantaş vd., 2009).

1.7.2. Matrikste meydana gelen aşınma

Matriks, elmas taneciklerini tuttuğu gibi, sokete de bir geometri kazandırmaktadır. Elmas-matriks bağlantısının elmasın rahatça yerini terk etmemesi için iyi olması gerekir; elmasın hızlı bir şekilde oturduğu yeri terk etmesi verimi düşürür. İdeal bir şekilde kesme işlemi yapan elmas kesici takımında matriks aynı zamanda optimal bir hızla aşınmalıdır. Alttan sağlam, yeni keskin elmas kesici yüzeylerin devreye girmesiyle kesme işleminin kesintisiz sürmesi gerekir (Kargöz ve Zeren, 2002). Soket matriksinde görülen aşınma türleri yapışma (adhesive), abrasive (sürtünme), erozif ve yayınma (diffusion) şeklindedir (Tönshoff vd., 2002; Aslantaş vd., 2009). Şekil 1.16'da yüzeyi aşınmış matriksin örnek bir görünümü verilmiştir.



Şekil 1. 16. Aşınmış matriks yüzeyinin görünümü (Ersoy vd., 2005)

Elmas soketin aşınmasında doğrudan kayaç malzemesinin önemli bir etkisi bulunmaktadır. Genellikle, sokette abrazif ve erozif aşınma türleri görülmektedir. Abrazif aşınma, kesme esnasında matriks yüzeyinin kazılması ile meydana gelmektedir. Erozif aşınma daha çok kesme esnasında elmas taneciklerinin önünde meydana gelmektedir. Kesme esnasında elmas tanecik önünde toplanan mikron boyuttaki kayaç parçacıkları hemen kesme ortamından uzaklaşmamaktadır ve sürtünmenin etkisi ile bir süre sonra tanecik önü aşınarak krater oluşmaktadır. Soket ilk kullanıldığında böyle bir kanalın olmadığı ve zamanla oluştuğu görülmektedir. Elmas soketlerde bu kanalların oluşması istenmeyen bir durumdur ve sonuçta bütün elmas taneciklerinin önünde oluşmaktadır (Aslantaş vd., 2009).



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Elmas kesiciler ile kesme işlemi yaparken soket performansı verim ve maliyet açısından çok önemlidir. Doğal taş işletmeleri, kesme performansı yüksek, uzun ömürlü, az enerji tüketen ve ekonomik elmas kesicileri talep etmektedir. Soket üreticilerinin ise, bu özelliklerin hepsini bir anda sağlaması mümkün görünmemektedir. Örneğin, kesme performansı yüksek elmas soketlerde daha kaliteli elmas tanecikler kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı maliyet önemli ölçüde artmaktadır. Performansı düşük olan kesiciler ise hem daha fazla enerji harcayacak hem de verimin düşük olmasıyla birim zamandaki üretim kapasitesini düşürecektir. Bu nedenle optimum kesme parametrelerinin ve soket özelliklerinin belirlenmesi üretim kapasitesi açısından önemlidir (Aslantaş vd., 2009).

Literatürde de doğal taş kesme işleminin optimizasyonu, enerji tahmini, soket aşınması ve soket yapısı ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Kayaçların kesilebilirliğinin ve elmas kesici takım metalürjisinin dahi iyi anlaşılması için gerçekleştirilen çalışmalardan bazıları aşağıda bölümler halinde özetlenmiştir.

2.1. Özgül Kesme Enerjisi ve Kesme Kuvvetleri Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar

Ünver (1992), kayaçların kesilebilirliğinin belirlenebilmesi amacıyla Cassapi'nin 1987 yılında gerçekleştirdiği kesme deneylerinden elde edilen sonuçları kullanarak istatistiksel yaklaşımlarda bulunmuştur. Kesme kuvvetinin ve testerede oluşan aşınmanın belirlenebilmesi amacıyla çoklu regresyon yöntemi ile modeller ortaya koymuştur. İstatistiksel analizler sonucunda kayaç sertliğinin ve sert minerallerin tane boyutları arttıkça kesme işleminin zorlaştığını ortaya koymuştur.

Büyüksağış (1998), 7 adet mermer üzerinde kesme deneyleri yapmıştır. Yapılan bu kesme deneylerinden elde edilen verilere göre kesme kuvvetlerini ve özgül enerji değerlerini hesaplamıştır. Kesme deneylerinde kullandığı mermerlerin

fiziksel ve mineralojik özelliklerini belirledikten sonra çoklu regresyon tekniğini kullanarak mermerler için gerekli olan kesme kuvveti ve özgül enerji değerlerinin kayaç özellikleri ile belirlenebilmesi için ampirik yaklaşımlar ortaya koymuştur.

Xu (1999), dairesel testereli kesme makinesinde beş farklı granit kesmiştir. Bu kesimlerde, kesme kuvvetlerini ölçmüş ve kesimlerde harcanan özgül kesme enerjilerini hesaplamıştır. Kesim yapılan granit yüzeylerini mikroskopta incelemiş ve kayaç sürtünme katsayısı ile enerji arasındaki ilişkiyi incelemiş olup sürtünme katsayısının artması ile kesimde harcanan enerjinin de arttığını ortaya koymuştur.

Atıcı (1999), mermer fabrikalarında ST'ler üzerindeki analog göstergelerden makinenin çektiği amper değerlerini dikkate alarak farklı kesme kuvvetlerinde ve farklı testere çaplarında spesifik enerji değerlerini 3 farklı kayaç üzerinde gözlemlemiştir.

Karakuş (1999), mermer fabrikasında ST'ler üzerinde 4 farklı kayaç için performans ölçümleri yapmış ve mermerlerin kesilebilirlik parametrelerini incelemiştir. Çalışmada, kayaçların fiziko-mekanik özellikleri ile net kesme enerjisi arasındaki ilişkileri incelenmiştir.

Büyüksağış vd. (2003), travertenlerin kesilmesinde tabakalanma yönünün etkisini araştırmak üzere 6 farklı travertende kesme deneyleri yapmışlardır. Çalışma sonucunda, özgül enerji tüketiminin tabakalanmaya paralel yönde kesimin, tabakalanmaya dik yöndeki kesiminden daha az olduğunu belirlemişlerdir.

Büyüksağış ve Gökten (2005), kesme verimliliği için özgül enerjiyi bir kriter olarak ele almışlar ve 7 farklı hakiki mermer için optimum kesme koşullarını belirlemek amacıyla dairesel testere ile kesimler yapmışlardır. Çoklu regresyon analizi ile özgül kesme enerjisini; Cerchar aşındırma indeksi, Mohs sertliği ve tek eksenli basma dayanımı ile ilişkilendirmişlerdir.

Atıcı (2005), farklı jeolojik kökene sahip 10 farklı kayaç üzerinde farklı kesme derinlikleri, farklı kesme hızları ve farklı çevresel hızlarda kesme deneyleri gerçekleştirerek özgül kesme enerjisi ve testerelerde oluşan aşınma oranları ile kayaç özellikleri arasındaki ilişkileri incelemiştir.

Büyüksağış (2007), 6 adet granit numunesi üzerinde dairesel testere ile aşağı ve yukarı yönlü olmak üzere kesme deneyleri yapmıştır. Yapılan bu kesme deneylerinde özgül enerji ve soketlerdeki özgül aşınma değerlerini hesaplamıştır. Kesme deneylerinde kullandığı granit numunelerinin fiziksel, mekanik ve mineralojik özelliklerini belirledikten sonra çoklu regresyon analizleri ile özgül enerji ve özgül aşınma değerleri arasında ampirik yaklaşımlar ortaya koymuştur.

Yılmaz, Güneş ve Göktan (2008), iki farklı granit numunesi ile farklı kesme derinliklerinde, farklı ilerleme hızlarında kesme deneyleri gerçekleştirerek kesme derinliğinin ve ilerleme hızının kesme kuvvetleri, güç tüketimi ve özgül enerji gereksinimleri üzerinde etkilerini incelemiştir.

Ucun vd. (2008), 2 farklı kayaç türü için kesme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Her iki kayaç türü için kesme kuvvetleri, güç tüketimi, spesifik enerji ve gürültü değerlerini belirlemişlerdir.

Şengün (2009), 15 farklı kayacın kırılma tokluğu ve gevreklik değerleri ile dairesel testereler ile kesme işlemleri sonucunda belirlemiş olduğu özgül enerji değerleri arasındaki ilişkileri incelemiştir. Kayaç özellikleri ile özgül enerjinin tahmin edilmesine yönelik basit ve çoklu regresyon analizlerinin yanı sıra bulanık mantık tabanlı analiz tekniği kullanılarak modeller oluşturmuştur.

Şengün vd. (2009), 4 farklı magmatik kökenli kayaç türünü kullanarak kesme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sabit kesme parametrelerinde ölçülen verilerden her kayaç türü için özgül kesme enerjisini hesaplamışlardır. Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin kesme enerjisine etkisini belirlemek amacıyla regresyon analizleri yapmışlar ve kesme işleminde kayaçların fiziksel

özelliklerinden gözeneklilik ve mekanik özelliklerinden basınç dayanımının etki rol oynadığını belirlemiştir.

Ucun vd. (2009), mermer kesme işleminde bor yağı katkılı soğutma sıvısının disk performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Bor yağının kesme kuvvetleri, güç tüketimi, soket aşınması ve kesme sırasında çıkan gürültü üzerine etkisini araştırmışlardır. Bor yağı oranının artmasına bağlı olarak, yukarıda belirtilen parametrelerde belirli oranda azalmanın olduğunu belirlemiştir. Bor yağının fazla kullanılması durumunda ise mermer yüzeyine talaş sıvanmasını arttırdığını ve mermer yüzey görünümünü nispeten bozduğunu gözlemlemiştir.

Yurdakul ve Akdaş (2012), 3 ayrı taş işleme tesisinde 7 farklı blok kesme makinesinde 6 farklı karbonat kökenli kayacın kesilebilirliklerinin belirlenebilmesi amacıyla özgül kesme enerjisi” değerlerini hesaplamışlar ve kayaçların fiziko-mekanik özellikleri ile özgül kesme enerjisi değerleri arasındaki ilişkileri istatistiksel analizler ile incelemiştir.

Yurdakul (2015), granit işleme tesisinde farklı kesme yönlerinde kesme derinlikleri ve ilerleme hızları gibi kesme parametrelerinin değiştirilmesi ile sağlanan 12 farklı kesme koşulunun güç tüketimi üzerine etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda dairesel testerele ile aşağı yönlü kesimin güç tüketiminde daha avantajlı olduğunu belirlemiştir.

Güneş, Yılmaz, vd. (2015), mineralojik-petrografik ve fiziko-mekanik özellikler açısından farklılıklar gösteren asidik ve bazik magmatik kayaçların kesilebilirlik karakteristikleri deneysel olarak incelemiştir. Bazik örneklerin özgül aşınma değerlerinin asidik olanlara göre daha yüksek olduğunu belirlemiştir.

2.2. Soket Aşınması Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar

Ersoy ve Atıcı (1999), mermer kesicilerin aşınma mekanizmalarını incelemişler ve mermer kesici takımların aşınmasında birinci derecede abrasiv aşınmanın (aşındırıcı aşınma) etkili olduğunu belirtmişlerdir. Kesici takımın tasarım ve

Çalışma parametrelerinin kesimi yapılacak kayaca göre belirlenmesinin kesme verimini ve kesici takım ömrünü arttırmakla beraber üretim maliyetini dşrecekini de vurgulamışlardır.

Xu vd. (2002), iki farklı tipte granit kesiminde elmas tanelerin üzerine etkiyen yatay ve dikey kuvvetleri değerlendirmişlerdir. Elmas-granit kesme zonunda oluşan sıcaklığı termokupl ile ölçmüşlerdir. Ölçülen bu sıcaklık değerinin elmas aşınmasında önemli olduğunu belirlemişlerdir.

Eyüboğlu vd. (2003), aynı ocaktan çıkarılan 24 andezit bloğunun fiziko-mekanik özellikleri ile fabrika ortamında gerçekleştirilen blok kesim işlemleri sonrasında testerede meydana gelen aşınma oranlarını belirlemişlerdir. Belirlenen aşınma oranları ile kayacın fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir.

Ersoy vd. (2005), on farklı sert aşındırıcı kayaç üzerinde sabit çevresel hızda farklı ilerleme hızlarında ve kesme derinliklerinde kesme deneyleri gerçekleştirerek soketlerdeki aşınmayı her bir kayaç türü için belirlemişlerdir. Kayaç zellikleri ve özgül enerji değerlerini kullanarak soketlerdeki aşınmanın tahmini için istatistiksel analizler gerçekleştirmişlerdir. Soketlerdeki aşınmanın birçok şekilde olabilecekini fakat kayaç kesme işleminde en yaygın aşınmanın abrasiv aşınma olduğunu belirtmişlerdir.

Polini ve Turchetta (2005), iki farklı testere ile iki farklı granit numunesi üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kesme deneyleri sonrasında hem çapsal hem de ağırlıkça azalmalarla testerelerdeki aşınmaları belirleyerek aşınma değerleri ile kesim sırasında ortaya çıkan malzeme hacmi arasındaki ilişkileri ortaya koymuşlardır.

zelik vd. (2008), soket matriksinde ve elmas boyutlarında değişiklik yapmadan farklı elmas konsantrasyonlarında üretilen soketler ile 2 farklı çapta testere kullanarak kesme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kesme derinliği ve elmas

konsantrasyonların artmasına bağlı olarak birim aşınmanın azaldığını belirlemişlerdir.

Bayram vd. (2012), Rozalya Bej ticari isimli kireçtaşı numunesi üzerinde farklı ilerleme ve farklı çevresel hızlarda kesimler gerçekleştirmişler. Farklı koşullarda yapılan kesim çalışmalarında kesimde etkin düzey tepkisel kesme kuvveti, birim aşınma ve birim enerji değerlerini belirlemişlerdir. Regresyon analizi ile birim aşınma ve birim enerji model eşitliklerini türetmişlerdir.

2.3. Gürültü Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar

Şengün vd. (2010), çeşitli mermer işleme fabrikalarında oluşan gürültü düzeylerini belirlemiş ve sınır değerlerle karşılaştırmalarını yapmışlardır. Çalışma sonunda mermer işleme fabrikalarındaki gürültü düzeyinin sürekli çalışma için izin verilen sınır değerlerden yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Bayram vd. (2011), ticari ismi Afyon Beyaz olan hakiki mermer üzerinde farklı çevresel hızlarda ve farklı ilerleme hızlarında kesme deneyleri gerçekleştirmişler ve kesimde oluşan gürültü seviyesinin kesme parametreleriyle ilişkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda ölçülen gürültü seviyelerinin kesme kuvveti, birim aşınma ve birim enerji değerleriyle ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Şengün vd. (2013), 10 farklı kayaç üzerinde gerçekleştirmiş oldukları kesme deneylerinde testerenin boştaki ve yükteki durumuna göre gürültü seviyesi ölçümleri ile testere devir ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Kayaçların fiziksel, mekanik özellikleri ve kesme deneylerinde belirlenen özgül kesme enerjisi değerlerinin, testere devri ve gürültü değerleri ile arasındaki ilişkileri istatistiksel olarak incelemişlerdir. Bir mermer fabrikasında ortalama 85-95 dB gürültü seviyelerinde çalışıldığı için sertliği ve dayanımı yüksek kayaçlarda ilave iş güvenliği ve işçi sağlığı önlemlerinin alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Yılmaz, Güneş (2013), sandviç-çekirdek testere ve geleneksel testere olmak üzere iki farklı testerenin güç tüketimi, kuvvet oranı, spesifik aşınma oranı ve

gürültü emisyonu üzerine etkilerini Blue Pearl granit numunesinde gerçekleştirilen kesme deneyleri ile incelemiştir. Çalışma sonucunda sandviç-çekirdek testerenin diğerine göre güç tüketiminin ve spesifik aşınma miktarının daha az olmasının yanı sıra sandviç çekirdekli testerenin ortalama ses düzeyinin geleneksel testereye göre yaklaşık 10 dB daha düşük olduğunu belirlemiştir.

2.4. Soket Matriksi Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar

Luo ve Liao (1995), elmas tipi ve tane boyutunun kesme performansına etkisini araştırmışlardır. Aynı konsantrasyona sahip ince taneli ve iri taneli elmas testerele ile granit numunelerinde kesme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sert kayalar için ince taneli elmas soketlerin iri taneli soketlere göre daha iyi performans gösterdiğini fakat kesme kuvvetlerinin diğerine göre yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Webb (1999), elmas tanelerini Cr ve Ti ile kaplamıştır. Kaplanmış olanların kaplanmamış olanlara göre kesme performanslarının daha yüksek olduğunu belirlemiştir.

Xu ve Yu (2005), Ti-Cr kaplamalı ve kaplamasız elmas tanelerini üç farklı matriks yapısında kullanarak 350 mm'lik dairesel testere ile tek bir granit numunesi üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kesme deneyleri sonrasında soketlerin aşınma değerlerinin azaldığını belirlemişlerdir.

Li vd. (2002), granit üzerinde Ti-Cr kaplı elmas tanelerinden oluşan soketlerle deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Dairesel testerelede granit kesiminde düşük maliyetli kesim için düşük aşınma miktarı, düşük enerji tüketimi ve yüksek kesme verimliliğini vurgulamışlardır. Soketlerdeki aşınmanın makina parametrelerine, elmas takım yüzeyine ve kesimi gerçekleştirilen kayalarla ilintili olduğunu belirtmişlerdir.

Karagöz ve Zeren (2002), Co, Ni ve Cu+Sn toz tanelerinden oluşan matriks bileşimi, sıcak preslemede uygulanan basınç ve sinterleme sıcaklığı sabit

tutularak 3 farklı sinterleme süresinde soket üretimi gerçekleştirmişlerdir. Daha sonrasında sabit aşınma hızı altında malzemenin aşınma tutumunu belirlemişlerdir.

Büyüksağış (2003), elmas soketli dairesel testerelerin kesme parametreleri ile elmas soket özellikleri ve seçim parametrelerini açıklayarak talaş oluşum mekanizması ile aralarındaki ilişkileri belirtmiştir.

Çelik vd. (2011), Fe-Cu-Co-Sn matriksli elmas kesici takım içerisinde bu elementlerin oranları sabit tutarak 4 farklı oranda Ti ilave etmişler ve Ti'un alaşımın sertliğine olumlu etki ettiğini ve mukavemetinin artmasına katkı sağladığını belirlemişlerdir. Ayrıca Ti ilavesi ile alaşımın tokluğunun düştüğü ve buna paralel olarak numunelerin eğilme dayanımının bir miktar azaldığını gözlemlemişlerdir.

2.4.1. Soket matriksinde bor katkısı kullanılan çalışmalar

Hwang vd. (2005), yaptıkları çalışmada soket matriksi içerisinde kobalt yerine bor katkılı nikel alüminyum kullanmışlardır. Çalışma sonunda bor katkılı soketin sertlik ve çekme dayanımlarının arttığını belirlemişlerdir.

Özel vd. (2009), Cu-%5 Al toz karışımı içerisine %5, %10 ve %20 oranında B₄C ilave edilerek aynı sintreleme koşullarında Cu-Al-B₄C metal matrisli kompoziti üretmişlerdir. Preslenen numunelerin optik mikroyapı incelemeleri ile birlikte sertlik değerleri ölçülmüşlerdir. %20 B₄C ilaveli numunede en yüksek sertlik değerini tespit etmişlerdir.

Öksüz vd. (2011), elmas konsantrasyonları ve bronz oranları sabit tutularak kobalt ve demir oranları aynı olmak üzere iki tipte mermer soketi üretmişlerdir. Daha sonrasında ise bu iki tip soket matriksine % 0.7 oranında B₄C ilave etmişler ve B₄C ilavesinin soket sertliği ve aşınma dayanımı üzerinde etkisini araştırmışlardır. Üretilen her bir kompozit malzeme için 5 ayrı noktadan 100 kgf kuvvet altında Brinell sertlik değerleri ölçülmüş ve ortalama sertlik değerleri

belirlenmiştir. Fe ilavesi ile matriks sertliğinin azaldığını, B₄C ilavesi ile matriks sertliğini arttığını belirlemişlerdir.

Islak vd. (2012), bor karbür katkısının elmas soketlerin mikro yapısı ve mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. 700 derece, 35 MPa basınç altında 3 dakikalık sinterleme süresinde bor karbür katkısız ve ağırlıkça %2, %5 ve %10 bor karbür katkılı olmak üzere dört farklı soket imal etmişlerdir. Bor miktarının artması ile sertliğin arttığını ancak eğilme dayanımının azaldığını belirlemişlerdir.

2.5. Doktora Tez Çalışmasının Literatüre Katkısı

Literatürde kayaçların kesilebilirlikleri üzerine yapılmış bilimsel çalışmalar incelendiğinde genellikle testere çapı, testere devri, kesme derinliği, ilerleme hızı, kesme kuvvetleri, özgül enerji ve özgül aşınma gibi kesme parametreleriyle kayaçların mineralojik, fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerinin dikkate alındığı görülmektedir.

Soket matriksinin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalarda ise sinterleme süresi sıcaklığı ve basıncı gibi soket üretim parametrelerinin belirlenmesi, elmas oranlarının değiştirilmesi, matrikse kobalt, titanyum ve molibden gibi elementlerin ilavesinin etkileri de birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Ancak bu çalışmalar metalografik incelemelerle sınırlı kalmıştır.

Özellikle sert taş üretimi gerçekleştiren doğal taş tesislerinin en önemli maliyet kalemleri testere ve enerji tüketimidir. Bu tez çalışması kapsamında öncelikle bor karbür katkılı elmas soketin aşınmaya karşı direncinin arttırılması amaçlanmış olup, bunun yanı sıra güç tüketimi, özgül kesme enerjisi ve gürültü gibi kesilebilirlik parametrelerinin de belirlenerek kesme veriminin ortaya konulması hedeflenmiştir. Bu amaçla çalışma kapsamında bir adedi bor karbür katkısız (% 0 B₄C) referans dairesel testere olmak üzere 7 adedi farklı oranlarda (% 1-2-3-4-5-6-7 B₄C) bor karbür katkılı 350 mm çapında 8 adet dairesel testere endüstriyel şartlarda üretilmiştir. Dairesel testere etrafına kaynaklanan soketler

haricinde fazladan üretilen her bir grup bor karbür katkısız ve katkılı soketlerin teorik yoğunlukları, birim hacim ağırlıkları, porozite, Knoop Sertlik değerleri ile ağırlıkça aşınma kaybı gibi metalografik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca numunelerin kırık yüzeylerinden de SEM analizleri gerçekleştirilerek mikro yapısal özellikleri ortaya konulmuştur.

Çalışma sonunda bor karbür katkı oranındaki artışa göre kesme verim parametrelerindeki değişimler grafiklerle incelenmiş olup gerek özgül kesme enerjisi gerekse özgül aşınma değişim değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilen maliyet analizi sonrasında %1 bor karbür katkılı elmas soketlerin granit işleme tesislerinde kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Bor karbür katkısı ile elmas soket metalografik özelliklerinde değişimlerin olduğu gözlenmiştir. Bor karbür katkılı soketlerin metalografik özelliklerindeki değişimlerin net güç tüketimi, özgül kesme enerjisi tüketimi, gürültü ve özgül aşınma gibi kesilebilirlik parametreleri üzerine etkilerini görmek amacıyla da metalografik özellikler ile kesilebilirlik parametreleri arasında ilişkiler regresyon analizleri ile istatistiksel olarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda soketlerin metalografik özellikleri ile kesme verim parametreleri arasında anlamlı ilişkiler bulunmuş olup soket üretiminden sonra soket metalografik özelliklerinin belirlenmesi ile soketlerin kesilebilirlik parametrelerinin tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Granit en sert doğal taşlardan birisi olup atmosferik şartlara karşı gösterdiği direnç ve estetik görünüme sahip olması nedeni ile zemin ve duvar kaplamasının yanı sıra mutfak tezgâhları gibi yapı sektöründe birçok alanda kullanılmaktadır.

Granitin dayanımının yüksek olması, çok iyi cila kabul etmesi ve parlaklığını uzun süre koruması ile farklı mineral çeşitliliğine bağlı olarak sahip olduğu estetik görünümü granite olan ilgiyi gün geçtikçe artırmaktadır. Ancak granit grubu sert taşların üretimi karbonatlı kayaçların üretimi ile kıyaslandığında enerji ve testere maliyeti daha yüksek olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji ve testere maliyetinin yüksek olmasına ek olarak üretim miktarlarının da düşük olması yine önemli bir maliyet kalemi olan işçilik maliyetini arttırmakta ve bu durum da birim m² başına düşen plaka maliyetini etkilemektedir.

Granitlerin kesilebilirlik karakteristiklerini etkileyen en önemli parametrenin mineralojik-petrografik özellikleri olduğu daha önce yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında bor karbür katkılı soketler ile özellikle granit kesiminde testere ömrünün arttırılması hedeflenerek testerenin enerji tüketimi ve hem bir kesme parametresi olması hem de işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından gürültü değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra tez çalışmasının diğer bir amacı da bor karbür katkılı soketlerin sertlik, porozite ve birim hacim ağırlık, ağırlıkça aşınma kaybı gibi metalografik özelliklerinin kesilebilirlik parametreleri üzerine etkilerini de incelemektir.

Bu amaçla soket üretiminden önce çalışmada kullanılması planlanan granit numunesi belirlenmiştir. Çalışmada Eskişehir Sivrihisar bölgesinde GRANİTAŞ firması tarafından üretimi gerçekleştirilen ve homojen bir yapıya sahip, ticari ismi Hisar Gri olan 5x10x25 cm boyutlarındaki prizmatik granit numuneleri temin edilmiştir. Temin edilen numunelerin genel görünümü Şekil 3.1’de verilmiştir.



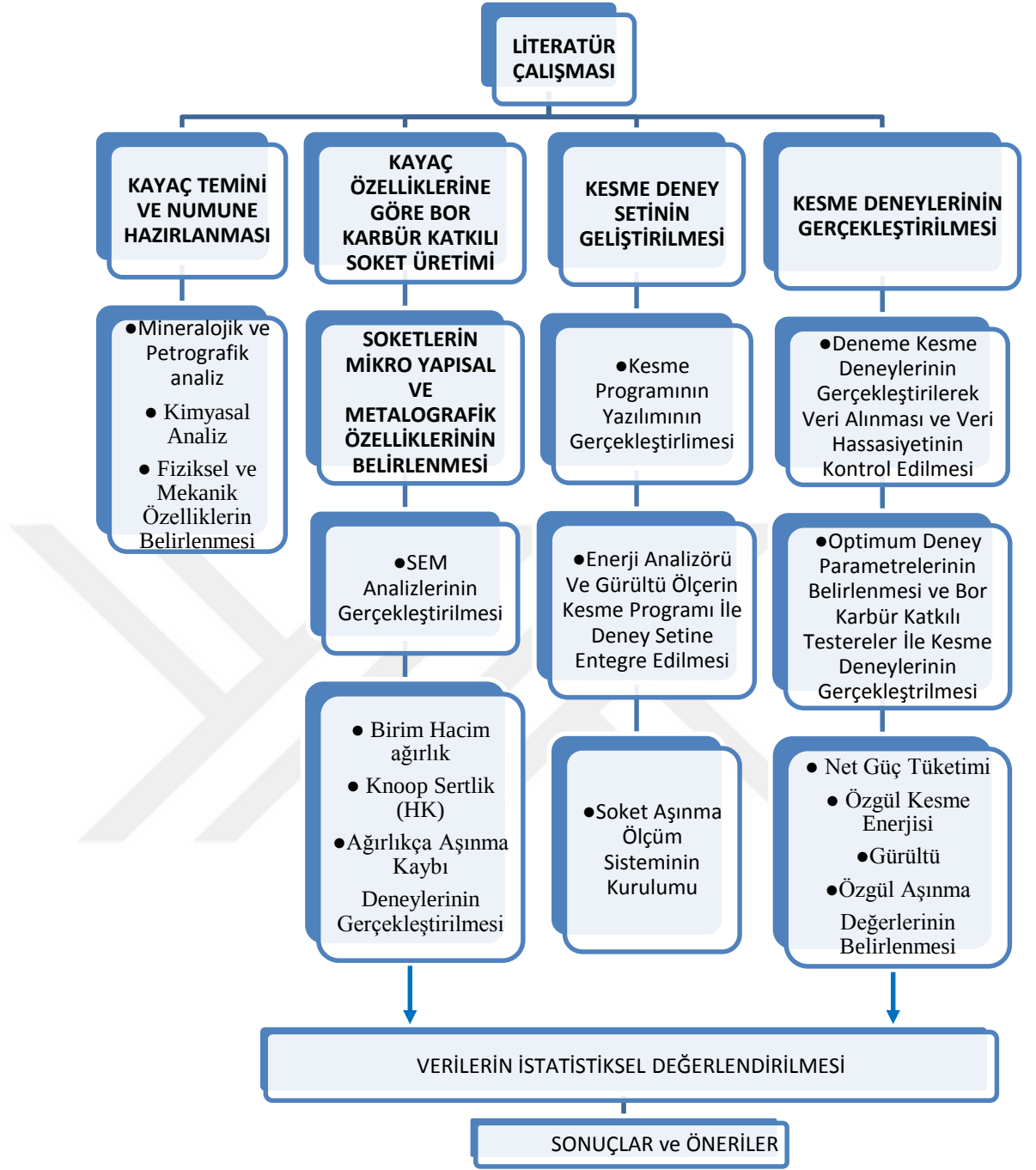
Şekil 3.1. Hisar Gri numunelerinin 5x10x25 cm boyutlarındaki görünümü

Numune temini sonrasında kayacın mineralojik-petrografik ve fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra kimyasal analizleri de yaptırılmış olup elde edilen sonuçlar bu çalışmada soket üretim desteği veren NERGİS Elmas Teknolojileri firması ile paylaşılmıştır. Paylaşılan kayaç özellikleri dikkate alınarak firmanın da deneyimleri ile kayacın yapısına uygun olarak bir adedi bor karbür katkısız referans (% 0 B₄C) soket olmak üzere farklı bor karbür oranlarında (% 1-2-3-4-5-6-7 B₄C) elmas soketler üretilmiştir.

Aynı sinterleme şartlarında üretilen bir adedi bor karbür katkısız (referans soket), yedi adedi ise bor karbür katkılı olmak üzere 8 takım elmas soket doğal taş işleme tesislerinde özellikle köprü kesme, yan kesme ve ebatlama makinelerinde çoğunlukla kullanılan 350 mm çapındaki testere etrafına kaynaklanarak dairesel testere üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma da öncelikle bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketlerin teorik yoğunlukları, birim hacim ağırlıkları, porozite, Knoop Sertlik (HK) değerleri ile ağırlıkça aşınma kaybı miktarları gibi metalografik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonrasında ticari ismi Hisar Gri olan ve bilimsel olarak kuvars-monzonit olarak tanımlanan tek bir sert taş türü üzerinde 8 farklı dairesel testere ile *çevresel hız, kesme derinliği, ilerleme hızı* ve *su miktarı* gibi çalışma parametreleri sabit tutularak kesme deneyleri

gerçekleştirilmiştir. Kesme deneylerinden alınan veriler ile *net güç tüketimi*, *ölgül kesme enerjisi*, *ölgül aşınma* ve *gürültü değeri* belirlenerek bor karbür katkısız ve katkıli dairesel testerelerin kesme verimleri ortaya konulmuştur. Deneyler sonrasında bor karbür katkısız ve bor karbür katkıli soketlerin metalografik özelliklerinin net güç tüketimi, ölgül kesme enerjisi, ölgül aşınma ve gürültü üzerine etkileri basit ve çoklu regresyon analizleri ile istatistiksel olarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda soketlerin metalografik özellikleri ile kesilebilirlik parametreleri arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Bu doktora çalışması kapsamında çalışma algoritması Şekil 3.2’de şematik olarak gösterilmiştir.





Şekil 3.2. Doktora çalışma algoritması

3.1. Numunelerin Hazırlanması

GRANİTAŞ firmasından temin edilen Hisar Gri numunelerinin mineralojik-petrografik, fiziko-mekanik özellikleri ile kimyasal analizleri öncesinde numune hazırlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler TS EN standartları ve Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği Standartlarında (ISRM, 1981) belirtilen

numune boyutlarında Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü Doğal Taş Analiz Laboratuvarında hazırlanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Fiziko-mekanik deneyler için farklı ebatlarda hazırlanan Hisar Gri numunelerinin görünümü

Numune boyutları, Şekil 3.4’de gösterilen numune boyutlandırma ekipmanları yardımıyla boyutlandırılmıştır.



Şekil 3.4. Numune boyutlandırma diski ve karot makinesinin görünümü

3.2. Bor Karbür

Dünyada bilimsel ve teknolojik gelişimlerin getirdiği çağdaş uygulamalara bakıldığında bor ürünlerinin deterjan sanayinden jet yakıt üretimine kadar birçok sektörde 250’yi aşkın malzemedeki kullanıldığı görülmektedir. Dolayısı ile

bor minerallerinin hammadde olarak birçok sektörde kullanılması bor ve türevlerinin ülke ekonomisine katkısını daha önemli hale getirmiştir.

Bor karbür, dünyada yüzlerce bor kimyasalı arasında yüksek pazar hacmine sahip önemli bir bor uç ürünüdür (Alp vd., 2013). Son zamanlarda yüksek ergime noktası, yüksek sertliği, düşük yoğunluğu, yüksek kimyasal kararlılık ve mükemmel mekanik özelliklere sahip bor karbür ileri teknoloji için önemli bir malzemedir. Bor karbür elmas ve kübik bor nitrürden sonra bilinen en sert malzemedir (Pierson,1996; Ma, vd., 2010; Islak vd., 2011). Bor karbür, fiziksel özelliklerine bağlı olarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Testereler gibi seramikler ve sert çalışma malzemelerinin işlenmesinde de kullanılır (Karaçay, 2008).

Bu çalışmada da yüksek sertliğinden dolayı elmas soket matriksinin aşınma direncini arttırmak ve elmas ile matriks ara yüzeyinde bağı güçlendirmek amacıyla özellikle granit gibi sert doğal taşların kesiminde soket matriksinin aşınma direncinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Dünya bor rezervlerinin % 72'sinin Türkiye'de bulunması, rafine bor ürünlerinin katma değerinin yüksek olması ve çalışma kapsamında rafine bor ürünü olan bor karbürün doğal taş sektörü içerisinde kullanımının araştırılması dünya ile daha rekabetçi bir doğal taş sektörü olması açısından yapılan çalışma önemli olmaktadır.

3.3. Bor Karbür Katkılı Soket ve Dairesel Testere Üretimi

Ülkemizde ve dünyada özellikle granit türü sert doğal taşların kesme işlemlerinde kullanılan soketlerin ömürlerinin kısa sürede tükenmesi ve buna bağlı olarak birim metrekare başına düşen üretim maliyetinin artması önemli bir sorun oluşturmaktadır.

Sert kayaçların kesiminde kullanılan soketlerdeki elmas çalışma yüksekliği düşük olmaktadır. Bunun nedeni elmas tanesine binen yükü azaltmak ve elmas

tanenin kırılmasını önlemektir. Ayrıca bu durum ek bir sorunda oluşturmaktadır. Elmas tane yüksekliğinin azalmasının matriksin daha fazla aşınmasına sebep olduğu belirlenmiştir (Denkana vd., 2004). Çalışma kapsamında da öncelikle elmas soketin aşınmaya karşı direncini arttırmak amacıyla BD Kimya ve Kimyasal Maddeler Tic. Ltd. Şti. firmasından yerli üretim olan bor karbür temin edilerek soket matriksinde kullanılmıştır. Temin edilen bor karbürün Şekil 3.5’de görünümü, Çizelge 3.1’de ise kimyasal içeriği verilmiştir.



Şekil 3.5. Elmas soket matriksinde kullanılan bor karbürün görünümü

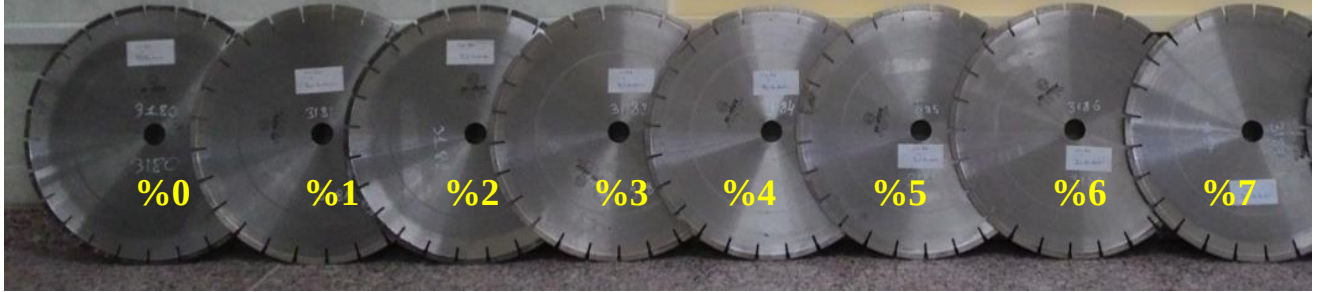
Çizelge 3.1. Elmas soketlerde kullanılan bor karbür içeriği

Element	%
B	75-77
C	18-21
O	0,1*
Fe	0,15-0,25 *
Si	0,1 *

* maksimum değer

Daha sonrasında temini gerçekleştirilen bor karbür NERGİS Elmas Teknolojileri şirketi tarafından bir adedi bor karbür katkısız (%0 B₄C) referans soket olmak üzere 7 farklı oranda (% 1-2-3-4-5-6-7 B₄C) granit kesimine uygun bor karbür katkısız ve katkılı 350 mm çapında 8 adet dairesel testere üretimi gerçekleştirilmiştir. Soketler 35 MPa basınç altında 730 °C sıcaklıkta ve 3 dakika

sinterleme süresinde üretilmiştir. Soket matrikslerinde arttırılan bor karbür oranına göre kobalt oranı azaltılmıştır. Şekil 3.6’da bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketli dairesel testerelerin görünümü verilmiştir.



Şekil 3.6. Bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketli dairesel testerelerin görünümü

Üretimi gerçekleştirilen bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketli dairesel testerelerin özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çalışmada NERGİS Elmas Teknolojileri firmasının ticari kaygıları göz önünde bulundurulduğundan dolayı bor karbür katkı oranları haricinde matrikste kullanılan diğer metal oranları verilmemiştir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan bor karbür katkısız ve katkılı elmas soket özellikleri

B ₄ C (%)	Soket ölçüleri (mm)			Elmas Konsantrasyonu (%)	Ortalama Elmas Tane Boyutu (µm)	Elmas Soket Sayısı Adet
	W (Genişlik)	L (boy)	H (yükseklik)			
0	3,30	38,88	7,78	30	325	25
1	3,23	38,76	8,37	30	325	25
2	3,22	38,73	8,52	30	325	25
3	3,24	38,75	8,47	30	325	25
4	3,220	38,75	9,10	30	325	25
5	3,23	39,38	8,77	30	325	25
6	3,24	38,70	8,89	30	325	25
7	3,22	38,70	9,31	30	325	25

3.4. Bor Karbür Katkısız ve Katkılı Soketlerin Metalografik Özellikleri

Bor karbür katkılı elmas soketlerin metalografik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çalışma kapsamında birim hacim ağırlık, teorik yoğunluk, porozite, bağıl yoğunluk, sertlik ve aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde Bor karbür katkılı elmas soketlerin kırık yüzeylerinden sem analizleri gerçekleştirilmiş olup mikro yapısal özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

3.4.1. Bor karbür katkılı elmas soketlerin birim hacim ağırlık, bağıl yoğunluk ve porozite değerlerinin belirlenmesi

Doğal taş kesme işlemlerinde kullanılan elmaslı takımlar toz metalurjisi yöntemi ile üretilmektedir. Bu yöntem ile öncelikle soğuk pres daha sonrasında yüksek sıcaklıklarda presleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem kullanılarak daha az kalıp-metal tozu ara yüzey sürtünmesi ile daha düşük presleme basınçlarında daha yüksek yoğunluğun elde edildiği görülmüştür (Sun vd. 2009; Özel vd., 2009; Islak, 2011).

Sinterleme işlemleri sonrasında malzemelerin yoğunluğu ve porozitesi büyük öneme sahiptir. Porozite, bir malzemenin mekanik özelliklerini ve aşınma davranışlarını etkiler. Bu çalışma kapsamında da sıcak presleme yöntemi ile üretilen bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketlerin Arşimed prensibine göre birim hacim ağırlıkları ile bağıl yoğunluk ve porozite değerleri belirlenmiştir.

Birim hacim ağırlık değerleri ASTM B 311-08 standardına göre belirlenmiştir. Bu yöntemle göre önce numunelerin havada kuru ağırlıkları ölçülmüş olup; daha sonra numuneler darası alınan metal bir sepet ile saf su dolu ölçüm kabına batırılmıştır. Numuneler suyun içerisinde tekrar tartıldıktan sonra yoğunlukları aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanmıştır (Kır, 2012).

$$BHA = (A * ds)/(A - B) \quad (3.1)$$

Bu bağıntıda;

BHA: Birim hacim ağırlık (gr/cm³),

A: Numunenin havadaki ağırlığı (gr),

B: Numunenin su içerisindeki ağırlığı (gr),

ds: Ölçümün yapıldığı sıcaklıktaki suyun yoğunluğu (gr/cm³)

Daha sonra bulunan değerlerin teorik yoğunluğa göre ne oranda tutturulabildiğini anlayabilmek amacıyla her bir numunenin bağıl yoğunlukları ile porozite değerleri hesaplanmıştır.

$$BY = BHA / TY * 100 \quad (3.2)$$

Bu bağıntıda;

BY: Bağıl Yoğunluk (%)

BHA: Birim hacim ağırlık (gr/cm³)

TY: Numunenin toz karışım oranları esas alınarak hesaplanan teorik yoğunluğu (gr/cm³)

$$p = 100 - BY \quad (3.3)$$

Bu bağıntıda;

p: porozite (%)

BY: Bağıl Yoğunluk (%)

3.4.2. Mikro sertlik değerlerinin belirlenmesi

Matriksin en önemli görevi, içinde bulunan elmas taneciklerini sıkı bir şekilde tutmaktır. Elmas tanelerinin matriks tarafından tutulması ile ilgili basit modeller geliştirilmiş olmakla birlikte kullanım esnasında elmas taneciğinin matriksten çıkması ile ilgili yeterli bir açıklama yapmak çok zordur. Çalışma sırasında matrikse değişken yükler etki ettiği için yorulmaya maruz kalmaktadır. Ayrıca uygulamada sertlik, akma dayanımı ve darbe dayanımı gibi bazı mekanik

özelliklerin matriksin elması tutma yeteneğini kontrol ettiği bilinmektedir (Kır, 2012).

Matrikslerin sertliği büyük ölçüde kullanılan tozun kimyasal bileşimi ile üretim parametrelerine bağlı olup; uygulamada sertlik soketler için temel kalite kontrol parametresi olarak kabul edilir (Kır, 2012).

Çalışma kapsamında sıcak presleme yoluyla elde edilen bor karbür katkılı elmas soketlerin mikro sertliklerinin belirlenmesi amacıyla Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu Kaya Mekaniği Laboratuvarında bulunan MITECH marka mikro sertlik ölçme cihazında Knoop Sertlik (HK) değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Mikro sertlik ölçme cihazı

3.4.3. Ağırlıkça aşınma kaybı değerlerinin belirlenmesi

Deneysel çalışmalar için üretilen granit kesici bor karbür katkılı soketlerinin aşınma performanslarının ortaya konulması amacıyla aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri için Şekil 3.8’de gösterilen aşındırma

deney düzeneği kullanılmıştır. Aşınma deneylerinde B₄C katkısız ve katkılı soketler Şekil 3.8’de 4 numara ile gösterilen numune tutucu pim ile öncelikle sabitlenmiş daha sonrasında dakikada 30 devir dönen elmas pim üzerine 2 kg/cm²’lik bir yük ile temas ettirilerek 13 m yol almıştır. Soketlerin aşınma değerleri ağırlık kaybı (gr) olarak belirlenmiştir.

Aşınma deneyleri öncesinde B₄C katkısız ve katkılı soketlerin kuru ağırlıkları alınmıştır. Aşınma deneyleri sonucunda soketler tekrar tartılarak aşınma kayıpları belirlenmiştir. Deneylerde 10⁻⁵ gr hassasiyetindeki Precisa marka terazi kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Aşınma deney setinin genel görünümü

3.4.4. SEM analizleri

Bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketlerin mikro yapısal incelemeleri kapsamında sinterleme işlemleri sırasında bor karbürün diğer matriks tozları ile arasındaki bağı görmek amacıyla Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430 VP model taramalı elektron mikroskobunda (Şekil 3.9) numunelerin kırık yüzeylerinde sem analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görünümü

3.5. Dairesel Testereli Kesme Deney Setinin Geliştirilmesi

Doğal taşların dairesel testereler ile gerçekleştirilen kesme analizlerinde testerenin çevresel hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve soğutma suyu miktarı gibi parametreler kesme sırasında tüketilen özgül kesme enerjisini ve soketlerdeki aşınma miktarını önemli oranda etkilemektedir. Kesme seti yukarıda belirtilen parametreleri kontrol edebilecek şekilde farklı zamanlarda yapılan çalışmalarla tasarımı gerçekleştirilmiş olup testere performanslarının ortaya konmasındaki en önemli parametreler olan güç tüketimi, özgül kesme enerjisi, özgül aşınma ve kesim esnasında oluşan gürültü seviyesi belirlenmiştir.

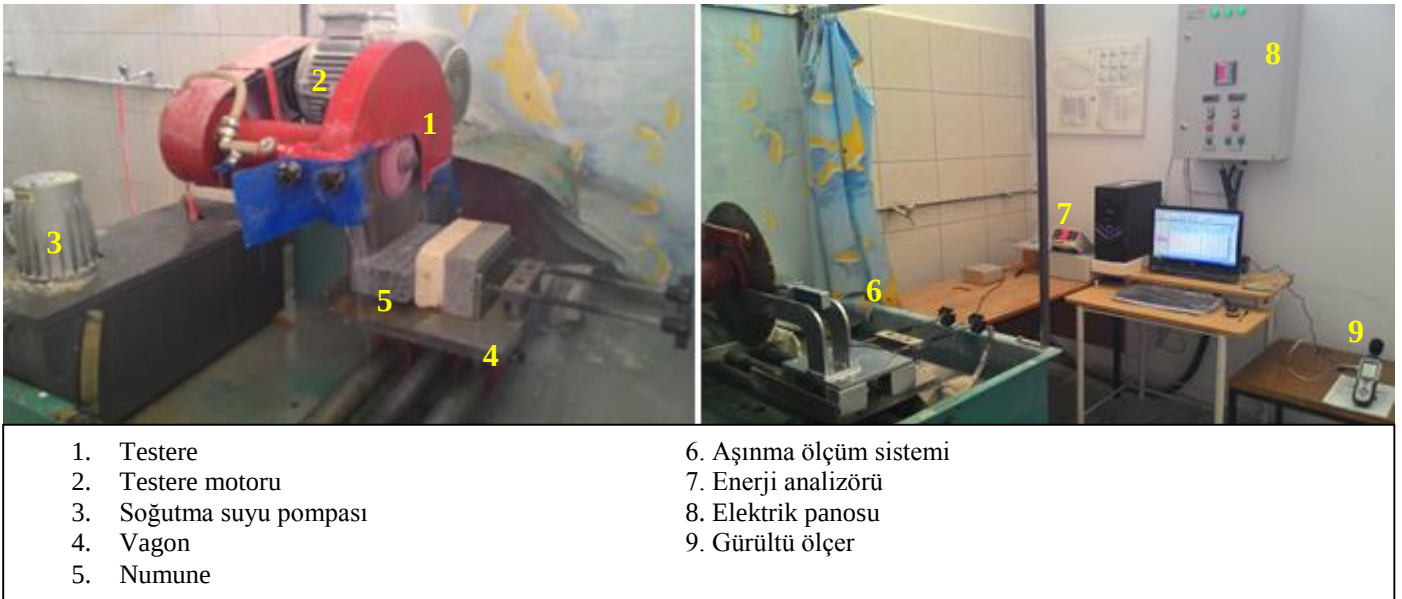
Kesme setinde, kesme işlemi için 5.5 kW'lık elektrik motoru ve kayaç bloğun bulunduğu vagonun hareketini sağlamak amacıyla 1 kW'lık redüktörlü elektrik motoru bulunmaktadır. Kesme işleminin gerçekleşmesi için testerenin düşey düzlemde ileri-geri hareketi yerine, kesilecek parçanın hareket ettirilmesi makinanın daha kolay tasarımlandırılmasına yardımcı olacağı düşüncesiyle tercih edilmiştir. Bu makinede kesilecek numunenin konulduğu arabanın alt bölümüne özel olarak tasarımlandırılan bir dişli mil ile arabanın hareketi, mekanik olarak düzgün ve darbesiz olacak şekilde sağlanmıştır (Şengün, 2009).

Kesme işleminde makineye bağlı parametrelerden çevresel hızı (dolayısıyla testere devrini) değiştirebilmek amacıyla 5.5 kW'lık OMRON V1000 model invertör ve ilerleme hızını değiştirebilmek için ise 1.5 kW'lık OMRON VS

mini-J7 model invertör bulunmaktadır. Bu sayede testerenin çevresel hızı 0-80 m/s, ilerleme hızı ise 0-1.5 m/dak aralığında ayarlanabilmektedir. Testerenin kesme derinliği ise kayaç numunesinin altına veya kayacın oturduğu tablanın altına farklı kalınlıklarda takozlar konularak ayarlanmıştır. Araba hareketinin başlangıç ve bitiş noktalarının belirlenmesi amacıyla, sınır noktalarına 2 adet sınır anahtarı bulunmaktadır. Testerenin dönüş hızının doğruluğu, harici bir KONSTAR DT-2236B model takometre cihazı ile kontrol edilmiştir (Şengün, 2009).

Çalışma kapsamında kesme sırasında tüketilen özgül kesme enerjisinin belirlenmesi amacı ile Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Doğal Taş Teknolojisi Laboratuvarında bulunan kesme setinin elektrik panosuna HİOKİ marka enerji analizörünün bağlantısı gerçekleştirilmiştir.

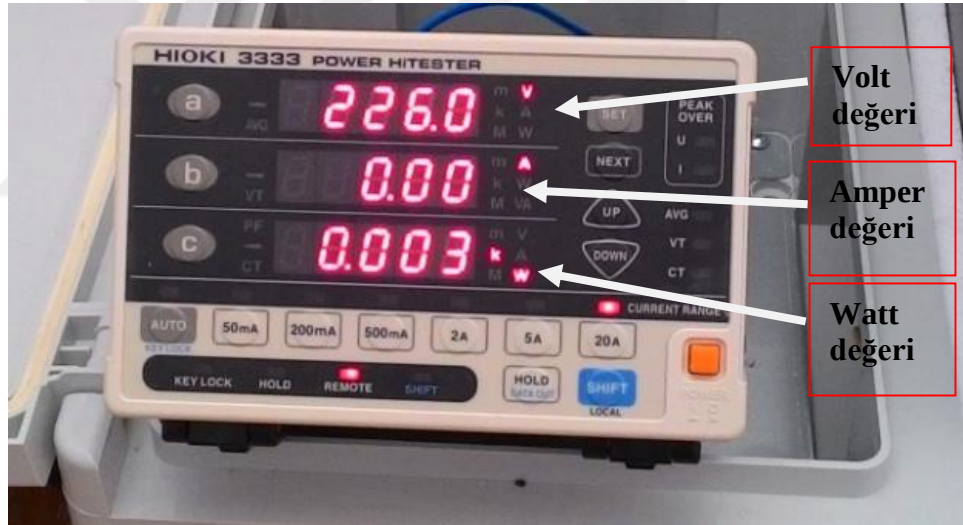
Kesme deneyleri esnasında enerji analizörü ve gürültü ölçerden alınan verilerin bilgisayar ekranından kontrolü, grafiklerle izlenmesi ve verilerin kayıt edilmesi proje için yazılan bir kesme programı ile sağlanmıştır. Ayrıca kesimler sonrasında soketlerdeki özgül aşınma değerlerinin belirlenmesi amacı ile aşınma ölçüm sistemi oluşturulmuştur. Şekil 3.10'da kesme deney seti elemanlarının genel görünümü verilmiştir.



Şekil 3.10. Kesme seti elemanlarının genel görünümü

3.5.1. Enerji analizörü

Enerji analizörü testere motorunun elektrik enerjisi tüketimini tespit etmek üzere kullanılmaktadır. İnvertörler ise doğrusal yükler olmadığından şebekeden çektikleri akımın dalga şekli uygulanan gerilimden farklı olmaktadır. Bu durum çekilen akımda harmonikler oluşturmakta ve normal ölçü aletleri ile bu akımı ölçmek imkânsız hale gelmektedir. Kesme deney setinin testere motorunun da invertör ile kontrol edilmesi nedeni ile kesme işlemi esnasında harmonik analizi yapabilen bir analizörünün kullanmasını zorunlu hale gelmiş olup Çınar, 2007'nin önerisi doğrultusunda kesme deneylerinde dairesel testerelerin aktif güç tüketimlerinin hassas hesaplanması için sistematik olarak saniyede 5 adet veri alabilen Şekil 3.11'de görünümü verilen HIOKI-3333 marka enerji analizörünün kesme deney seti elektrik panosuna bağlantısı gerçekleştirmiştir.



Şekil 3.11. Enerji analizörünün görünümü

Daha sonrasında da RS-232 seri bağlantısı ile enerji analizörünün bilgisayar ile haberleşmesi sağlanmıştır. Kesme programının ara yüzü ile enerji analizöründen alınan verilerin bilgisayar ekranından kontrolü ve grafiklerle izlenebilmesi sağlanmıştır. Program ile saniyede 5 adet veri alınmış olup txt dosyası olarak kaydedilmiştir. Kesim sonrasında da txt dosyaları Excel ortamında açılarak her bir testerenin tüketmiş olduğu net güç değerleri hesaplanmıştır. Kesme deneyi sonrasında elde edilen veriler ve veriler ile oluşturulan güç-zaman grafiğinin Excel ortamındaki görünümü Şekil 3.15'te verilmiştir.

3.5.2. Gürültü ölçer

Gürültünün şiddetini ölçen cihazlara gürültü ölçer veya ses ölçer denilmektedir. Bu cihazlar gürültünün şiddetini desibel (dB) olarak gösterir. Desibel, ölçülen bir değerin seçilen bir referans değerine olan oranının logaritması olup, ölçeksiz bir birimdir. Referans değer olarak, insan kulağının işitebileceği en düşük ses şiddeti 0 dB kabul edilmektedir (Yılmaz, 2009).

Çalışmada, kayaç kesme işlemleri sırasında, Çizelge 3.3’de teknik özellikleri verilen CEM DT-8852 model ses seviyesi ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.12). Kesme programı ara yüzü ile gürültü ölçerden alınan verilerin bilgisayar ekranından kontrolü ve grafiklerle izlenebilmesi sağlanmıştır. Program ile saniyede 5 adet veri alınmış olup txt dosyası olarak kaydedilmiştir. Kesim sonrasında da txt dosyaları Excel ortamında açılarak her bir testerenin oluşturduğu gürültü değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.12. Gürültü ölçer görünümü

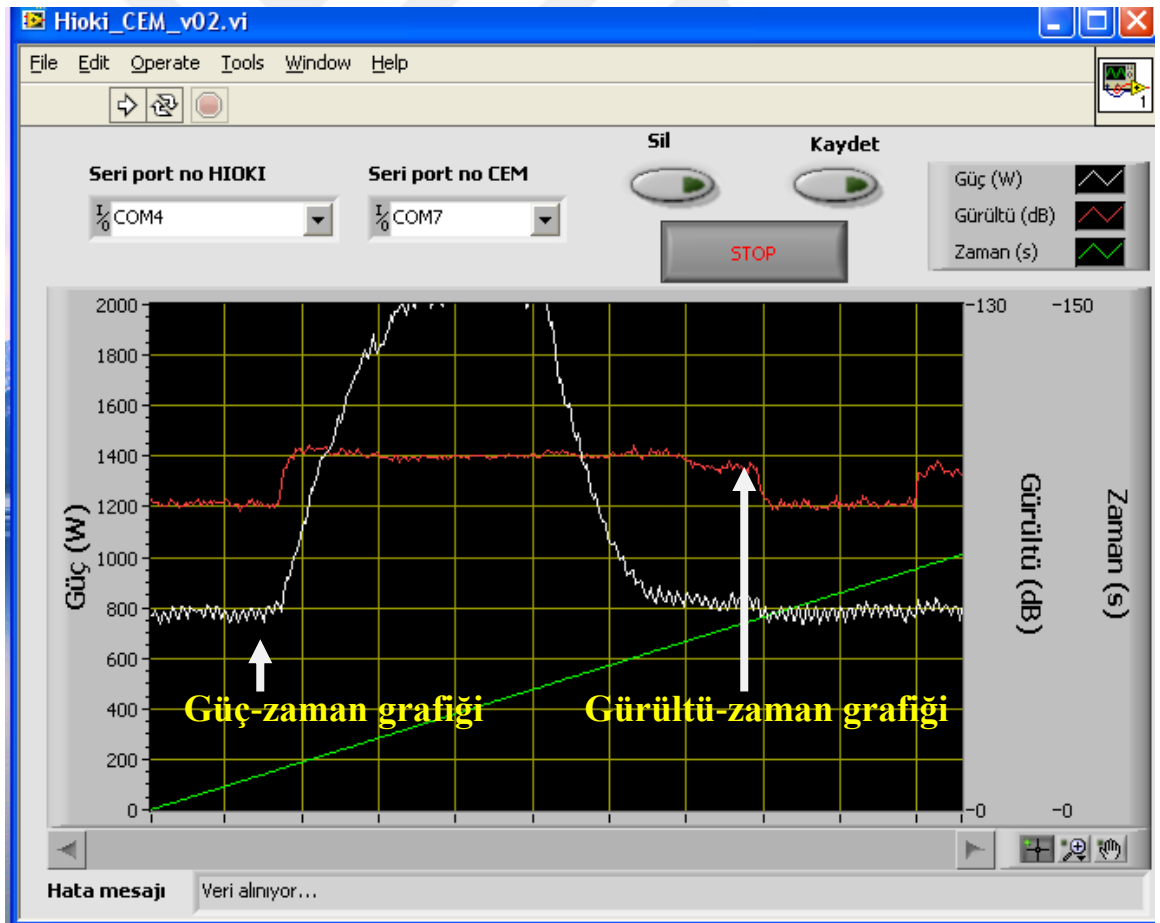
Çizelge 3.3. Dijital ses ölçüm cihazına ait teknik özellikler

Tanım	Değer
Frekans aralığı	31.5 Hz-8 kHz
Doğruluk	± 1.4 dB
Otomatik ölçüm aralığı	30-130 dB
Çözünürlük	0.1 db

3.5.3. Kayaç Kesme programı

Granit numunelerini kesme deneyleri esnasında enerji analizörü ve gürültü ölçerden alınan verilerin bilgisayar ekranından kontrolü ve grafiklerle izlenmesi proje için yazılan kesme programı ile sağlanmıştır. Kayaç kesme işlemleri sırasında aktif güç tüketimi ve gürültü ölçümlerinin yapılabilmesi için öncelikle enerji analizörü ve gürültü ölçerin bilgisayarın seri portları ile bağlantısı gerçekleştirilmiştir.

Kesime başlamadan önce program ekranında “Play” (▶) butona basılmakta ve o andan itibaren program güç ve gürültü ölçümüne başlamaktadır. Aynı zamanda ölçüm sırasında program ara yüzünde bulunan grafik ile kesim sırasında elde edilen güç ve gürültü değerleri de izlenebilmektedir (Şekil 3.13).



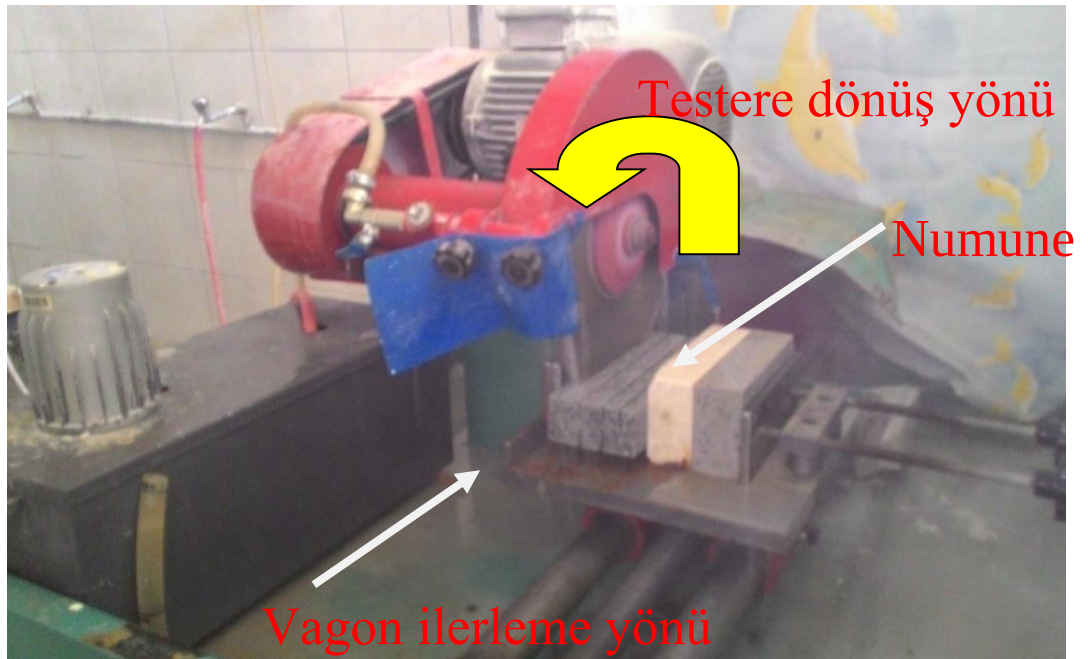
Şekil 3.13. Kesme programı ara yüz görünümü

Ölçüm bittikten sonra öncelikle kaydet butonu ile veriler txt dosyası olarak kaydedilmiştir. Daha sonrasında da stop butonu kullanılarak veri alımı durdurulmuştur. Kesim sonrasında da kaydedilen txt dosyaları Excel ortamında açılarak gerekli veri analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.6. Kesilebilirlik Parametrelerinin Belirlenmesi

Doğal taşların elmas soketli dairesel testerelerle kesme işlemi oldukça kompleks bir mekanizmaya sahip olup kesilecek olan taşın mineralojik-petrografik özellikleri ve fiziko-mekanik özelliklerinin yanı sıra dairesel testerenin çevresel hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme yönü, soğutma suyu debi miktarı ve soket yapısı dairesel testerenin kesme verimini etkilenmektedir.

Bu çalışma kapsamında da doğal taş kesme işleminde kullanılan elmas soketlerin matriksi içerisinde farklı oranlarda bor karbür kullanılmış olup bor karbürün hem sertlik, porozite ve birim hacim ağırlık gibi soket metalografik özelliklerine etkisi hem de doğal taş kesme işlemlerinde net güç tüketimi, özgül kesme enerjisi tüketimi, özgül aşınma ve gürültü gibi kesilebilirlik parametreleri üzerine etkileri incelenmiştir. Şekil 3.14'te kesme deneylerinden bir görünüm verilmiştir.

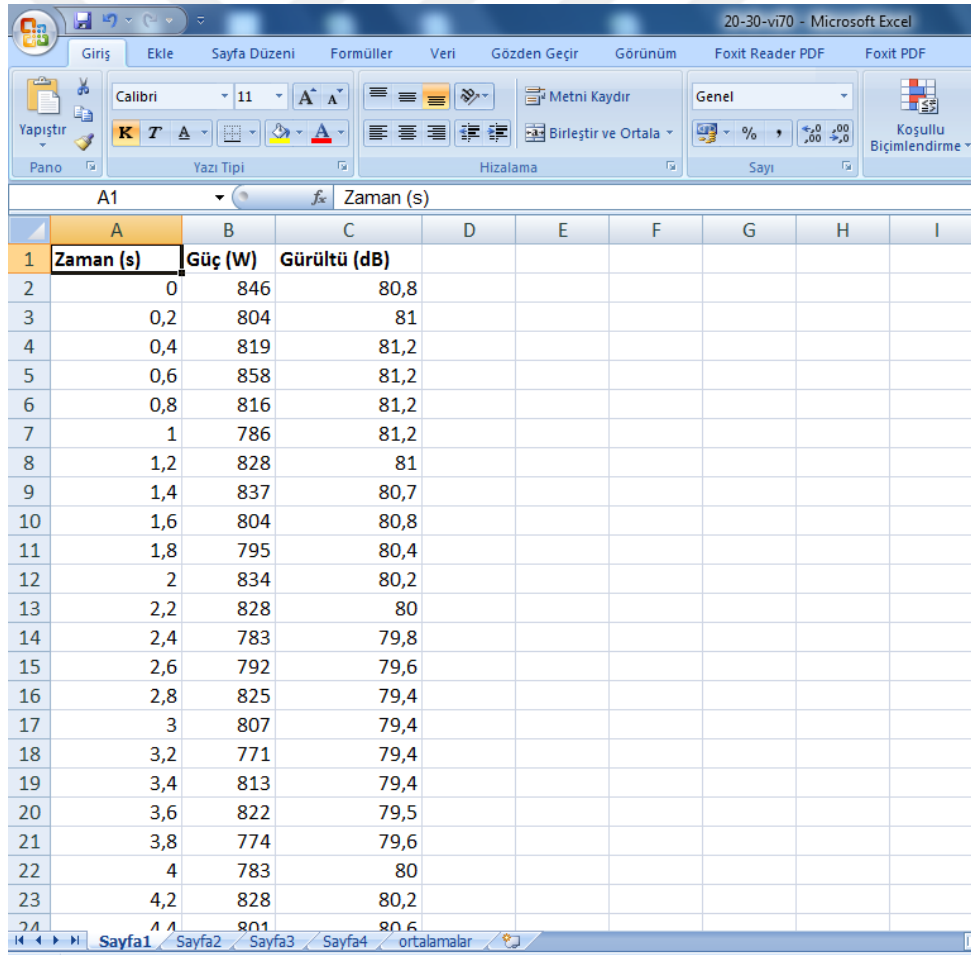


Şekil 3.14. Kesme deneylerinden görünüm

3.6.1. Net güç tüketim değerlerinin belirlenmesi

Doğal taş sektöründe özellikle nihai ürün üretimi gerçekleştiren tesislerde en önemli maliyet kalemlerinden birisi de elektrik giderleridir. Bu nedenle elmas soketlerin kesme verimi enerji maliyeti açısından önemli bir hale gelmektedir. Dairesel testerelerin kesme veriminin ortaya konulması açısından net güç tüketim değerlerinin belirlenmesi kesme analizlerinde önemli bir parametredir.

Çalışmada kesme işlemleri esnasında kesme programı kullanılarak hem güç hem de gürültü değerlerinden sistematik şekilde saniyede 5 adet veri alınmıştır. Şekil 3.15’de bir kesme deneyi sonrasında elde edilen anlık güç ve gürültü verilerinin Excel ortamındaki görünümü verilmiştir.

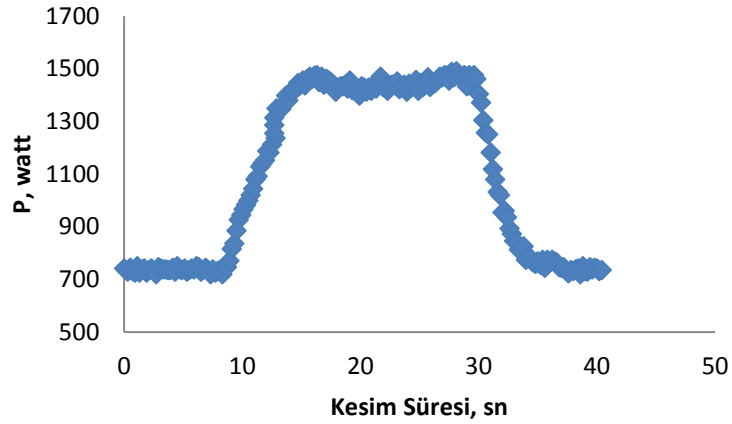


The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Zaman (s)	Güç (W)	Gürültü (dB)						
2	0	846	80,8						
3	0,2	804	81						
4	0,4	819	81,2						
5	0,6	858	81,2						
6	0,8	816	81,2						
7	1	786	81,2						
8	1,2	828	81						
9	1,4	837	80,7						
10	1,6	804	80,8						
11	1,8	795	80,4						
12	2	834	80,2						
13	2,2	828	80						
14	2,4	783	79,8						
15	2,6	792	79,6						
16	2,8	825	79,4						
17	3	807	79,4						
18	3,2	771	79,4						
19	3,4	813	79,4						
20	3,6	822	79,5						
21	3,8	774	79,6						
22	4	783	80						
23	4,2	828	80,2						
24	4,4	801	80,6						

Şekil 3.15. Anlık güç ve gürültü değerleri

Bu çalışmada, biri bor karbür katkısız 7 adedi farklı oranlarda bor karbür katkılı dairesel testerenin kesim sırasında anlık güç tüketim değerleri bir enerji analizörü yardımıyla ölçülmüş ve kesme programı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 3.16'da 30 m/s çevresel hızda, 10 mm kesme derinliğinde ve 70 cm/dk ilerleme hızında gerçekleştirilen bir kesme işleminde B₄C katkısız soketli dairesel testerenin anlık güç-zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 3.16. B₄C katkısız testereye ait anlık güç tüketimi

3.6.2. Özgül kesme enerjisinin değerlerinin belirlenmesi

Özgül kesme enerjisi, birim hacimdeki kayacı kesmek için gereksinim duyulan enerji miktarı olarak tanımlanır ve J/mm³ biriminde ifade edilir. Verimli bir kesme işleminin yapılabilmesi, kesme hızının maksimum ve özgül kesme enerjisinin minimum olmasına bağlıdır. Bu şartların sağlanması kesme işleminin en ekonomik olduğu durumdur. Bu nedenle, özgül kesme enerjisi, kesme verimliliğinin bir ölçüsü ve kriteridir (Şengün, 2009).

Endüstriyel uygulamalarda her ne kadar birim zamandaki üretim miktarının arttırılmasına dikkat edilse de bu işlem için harcanan enerji tüketimi görece göz ardı edilmektedir. Ancak, kesme işleminin ekonomik olabilmesi birim zamanda en çok üretimin ve az enerji tüketiminin sağlanmasına bağlıdır (Büyüksağış,1998).

Çalışmada özgül kesme enerjisi değerlerini hesaplamak için öncelikle anlık güç değerleri elde edilmiş sonrasında güç-zaman grafiği çizilmiştir (Şekil 3.17). Grafik

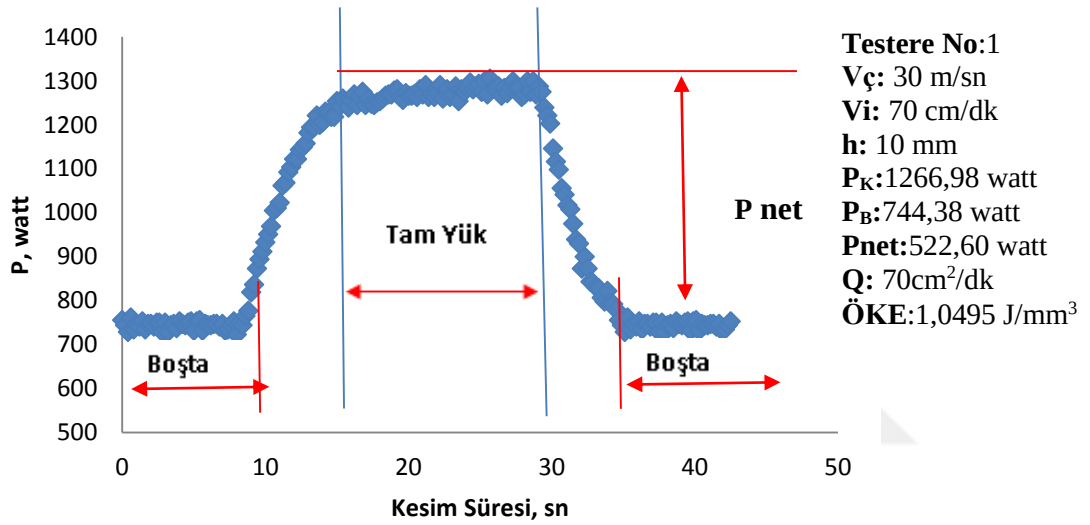
üzerinden makinenin boшта çalışması sırasında çekilen güç değeri ve tam kesim sırasında çekilen güç değerleri belirlenmiştir. Bu iki değer arasındaki fark kesim için harcanan net güç değerini vermektedir (Eşitlik 3.2).

$$P_{net} = P_k - P_b \quad (3.4)$$

P_{net} = Kesim için harcanan net güç değeri, watt

P_k = Testere tam kesimde iken çekilen güç değeri, watt

P_b = Testere boшта iken çekilen güç değeri, watt



Şekil 3.17. %1 B4C katkılı testereye ait Güç-Zaman Grafiği

Çalışmada özgül enerji değerleri ise Eşitlik 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır. Kesim sırasında harcanan net güç ve özgül enerji değerleri Şengün vd. (2009)'e göre belirlenmiştir.

$$\text{ÖKE} = P_{net} / (0,1666 \cdot h \cdot W_s \cdot V_i) \quad (3.5)$$

ÖKE = Özgül kesme enerjisi, j/mm³

h = Kesme derinliği, mm

W_s = Soket genişliği, mm

V_i = İlerleme hızı, cm/dak

Çalışmada biri bor karbür katkısız ((% 0 B₄C) 7 adedi farklı orandaki bor karbür katkılı (% 1-2-3-4-5-6-7 B₄C) 8 adet dairesel testerenin kesme verimlerinin belirlenmesi amacıyla testere çevresel hızı, ilerleme hızları, kesme derinliği ve su miktarı gibi kesme parametreleri sabit tutulmuş olup kesme deneylerinde de tek bir doğal taş türü kullanılmıştır. Kesme deneylerinde sabit tutulan çalışma parametreleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kesme deneylerinde sabit tutulan çalışma parametreleri

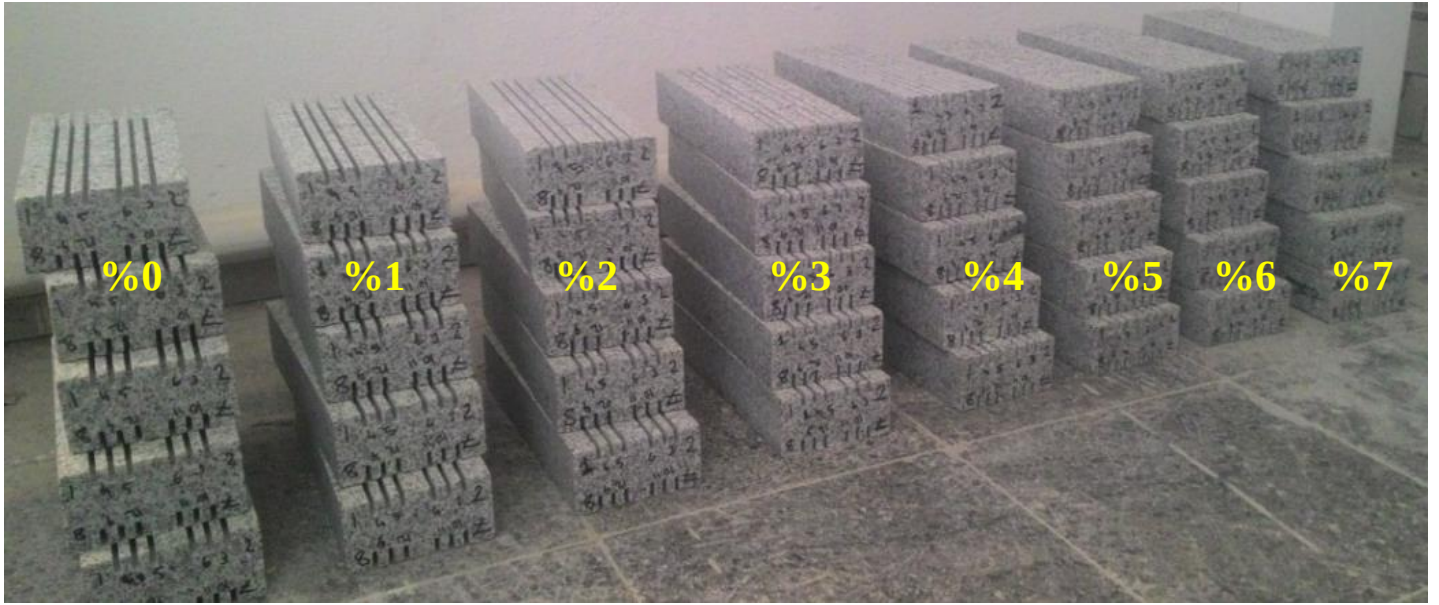
Çevresel hız (V _ç), m/sn	Kesme derinliği (hk), mm	İlerleme hızı (Vi), cm/dk	Alansal net kesme hızı (Q _{net}), cm ² /dk
30	10	70	70

Deneylerde, doğal taş sektöründe yaygın olarak kullanılan aşağı-yönlü kesme yöntemi seçilmiştir. Kesme deneyleri öncesinde aşındırıcı özellikte beton bloklar ile testere bilenmesi sağlanmıştır (Şekil 3.18). Beton ile testere açma işleminin gerçekleştirilmesi sonucunda bir miktar ortaya çıkan elmasların kesme yüksekliklerinin arttırılması ve tam olarak açılmalarını sağlamak amacıyla asıl kesme işlemleri öncesinde 576 adet kesim sonucunda 14400 cm²’lik alanın kesimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18. Kesme deneyi öncesinde beton blok ile testere bilenmesinden görünüm

Deneylerde soğutma suyu miktarının etkisini ortadan kaldırmak için ortama sabit miktarda 10 lt/dak olarak harici bir pompa yardımıyla soğutma suyu verilmiştir. Kesme deneylerinde her bir blok numunede 12 adet kesim yapılmıştır. Her bir testere için 5 adet blok numune üzerinde 60 kesim toplamda ise 8 adet dairesel testere için 480 adet ve 12000 cm²'lik kesim gerçekleştirilmiştir. Kesme deneyleri sonrasında bor karbür katkısız ve katkılı dairesel testerele ile kesilen 5x10x25 cm ebatlarındaki blok numunelerinin kesme işlemleri sonrasındaki görünümü Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.19. Kesme deneyi sonrası numunelerin görünümü

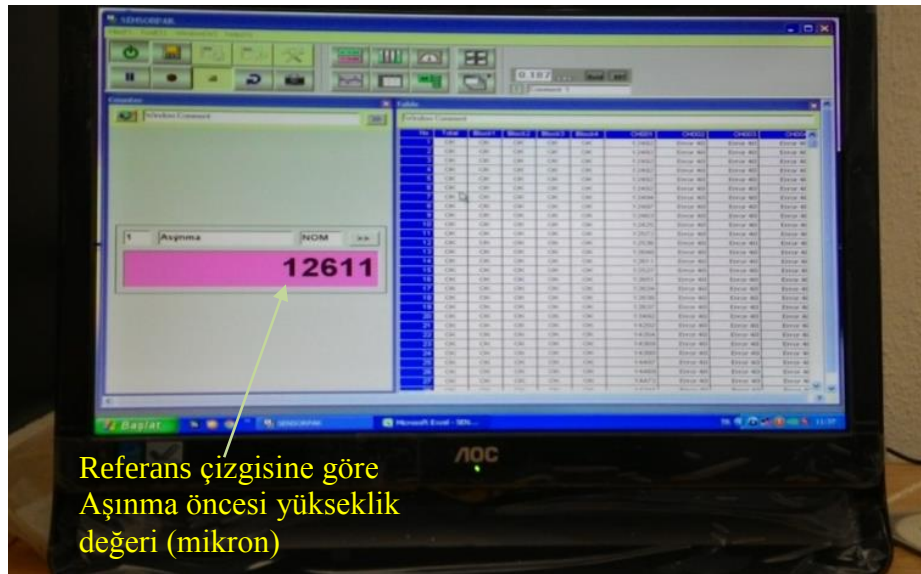
3.6.3. Aşınma ölçüm sisteminin oluşturulması ve özgül aşınma değerlerinin belirlenmesi

Kesme esnasında elmas soket ve kayaç arasında meydana gelen sürtünmeden dolayı matriks yüzeyinde aşınmalar meydana gelmektedir. Sürtünme esnasında matriks yüzeyinde aşınmanın etkisiyle kanallar oluşurken, elmas tanecikleri de kesme işlemini gerçekleştirmekte daha sonra sürtünme ve kuvvetlerin etkisiyle kesme özelliğini belirli bir çalışma sonrasında yitirmektedir (Aslantaş, vd, 2009). Doğal taş işleme tesislerinde, enerji tüketiminin yanı sıra testere ömrü de önemli maliyet kalemleri arasındadır. Bu nedenle, herhangi bir uygulama için en uygun

Çalışma koşullarının belirlenmesi istenildiğinde, testerenin özgül aşınma değerlerinden yararlanılabilmektedir (Yılmaz, 2009).

Elmas soketler kesim sırasında belli bir gövdeye bağlı olduğundan bu gövde üzerinden aşınma ölçümü yapmak hem zor hem de hataya çok müsait bir işlemdir. Aşınma lmne dayalı çalışmalarda, meydana gelen aşınmaların doğru şekilde ölçümü çalışmanın sağlıklı olarak sonuçlanmasında ana etken olmaktadır. Bu yüzden yapılan çalışmalarda elle kumanda edilen dijital ölçüm cihazlarından ziyade daha hassas ölçüm sistemleri (doğrusal ölçüm cihazları, lazerli ölçüm cihazları vb.) kullanma gerekliliği ortaya çıkmıştır (Bayram, 2008).

Bu alışma kapsamında da elmas soketlerdeki aşınmayı belirlemek amacıyla bir aşınma ölçüm sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan sistemde 1 adet 1 μ m hassasiyetinde 25 mm ölçüm yapabilen MİTUTOYO marka dikey doğrusal ölçüm cihazı, dikey doğrusal ölçüm cihazından gelen verileri sayısal hale getiren MİTUTOYO marka dijital sinyal çevirici ile yapılan ölçümlerin bilgisayar ortamına aktarımını sağlayan SENSORPAK yazılımı bulunmaktadır. Bu yazılım ile ölçüm zaman aralıkları ayarlanmış ve istenen zaman dilimlerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. şekil 3.20’de SENSORPAK yazılımının ara yüz görünümü verilmiştir.



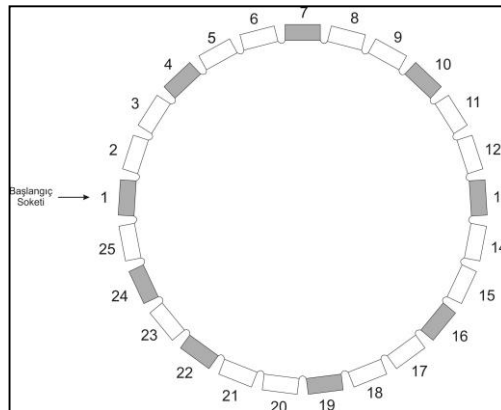
şekil 3.20. SENSORPAK yazılımının ara yüz görünümü

Ayrıca dikey doğrusal ölçüm cihazının bağlandığı taşınabilir dört adet mıknatıslı ayakta oluşan taşınabilir özel bir platform imal ettirilmiştir. Kesme deneyleri sonunda sistem hareketli vagon üzerine belirlenen noktaya yerleştirilmekte ve ölçümler alınmaktadır. Ölçüm alımına başlamadan önce testere su kanalı üzerinde soketçi firma tarafından açılan referans çizgisine prob yerleştirilerek program üzerinden yükseklik sıfırlaması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Doğrusal ölçüm cihazı için testere üzerinde açılan referans noktası

Referans alındıktan sonra doğrusal ölçüm cihazının ucu soket yüzeyine teması gerçekleştirilerek Şekil 3.22’de gösterilen işaretleme sisteminde belirlenen soketlerin yüzeyi taranmıştır. Testere üzerinde yapılan her ölçümde toplam 9 adet soketten ölçüm alınmıştır.



Şekil 3.22. Soketlerin aşınma ölçümü için kullanılan işaretleme sistemi

Kesim sonrasında prob aynı referans çizgisine getirilerek belirlenen soketlerin yüzeyleri tekrar taranmış olup kesim öncesi ve sonrasındaki yükseklik değerlerinin farkı alınmıştır. Daha sonrasında soket yüksekliğindeki boyca azalma değerinin kesilen alana bölünmesi ile $\mu\text{c}/\text{m}^2$ birimi olarak özgül aşınma değeri belirlenmiştir. Ölçüm alınından sonra aşınma ölçüm sistemi vagon üzerinden kuru bir ortama kaldırılmıştır. Aşınma ölçüm sistemi ve ölçüm anının genel görünümü verilmiştir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Aşınma ölçüm sistemi ve ölçüm anından genel görünümü

3.6.4. Gürültü seviyesi değerlerinin belirlenmesi

Madencilik sektöründe ve özellikle mermer sektöründe, işlemler sırasında kullanılan iş makinelerinden kaynaklanan aşırı seviyelerde gürültü kirliliği ile karşı karşıya kalınmaktadır. Mermer ocaklarından çıkarılan mermer blokları, mermer işleme fabrikalarında inşaat sektöründe binaların iç ve dış kaplamalarında ve yer döşemelerinde çeşitli ebatlarda kullanılmak üzere elmas uçlu lamalar ve elmaslı dairesel testereler ile kesilmektedir. Bu kesme işlemleri sırasında aşırı gürültü seviyelerine ulaşılması ihtimali göz önünde bulundurulduğunda, işçi sağlığının korunabilmesi açısından gürültünün kesinlikle limit değerlerin altında tutulması gerektiği bilinmektedir. Bu nedenle, gürültüye neden olan kaynaklar belirlendikten sonra, gürültünün oluşması önlenmeli veya gürültü limit değerlerin altına çekilmesi gerekmektedir. 15 Şubat 2003 tarihli Gürültü Yönetmeliği'ne göre gürültünün şiddeti yanında, gürültülü ortamda çalışılan sürenin de insan sağlığı üzerinde etkili olduğu belirtilerek çalışma saatlerinin ortamın gürültü düzeyine göre saptanmasının gerektiği vurgulanmıştır (Çizelge 3.5) (Şengün vd. 2010).

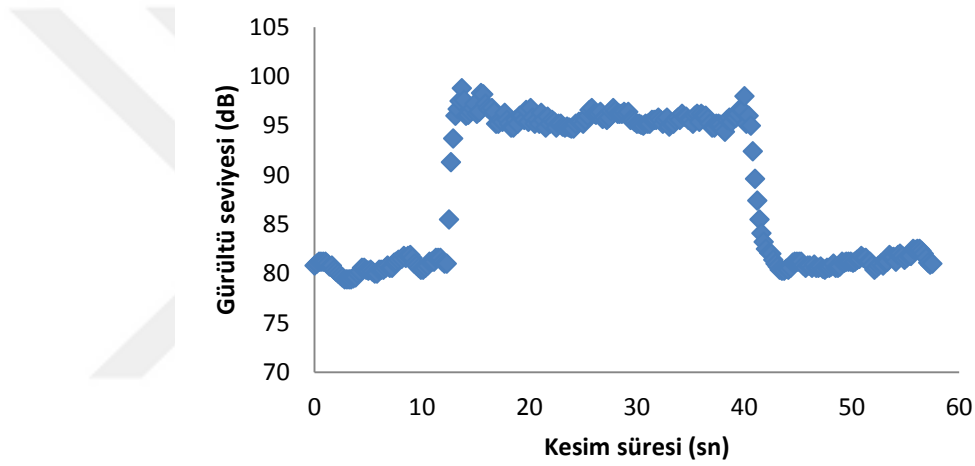
Çizelge 3.5. İşletme sağlığı açısından kabul edilebilir en yüksek gürültü seviyeleri (Anonim, 1986, Şengün vd. 2012)

En yüksek gürültü düzeyi (dB(A))	Çalışma süresi (h/gün)
80	7,5
90	3
95	2
100	1
105	1/2
110	1/4
115	1/8

Doğal taşların kesimi esnasında testerenin taşa uyguladığı kuvvetler sonucunda, testere gövdesinde ve taşta oluşan titreşimlerin yarattığı şok ses dalgaları havada gürültü olarak yayılır. Oluşan gürültünün şiddeti testere tasarımına (gövdede kullanılan çeliğin özellikleri, gövde kalınlığı, testere çapı, soket geometrisi ve sayısı, su kanalları arasındaki genişlik) kesilen taşa (sertlik, mineralojik özellikler

vb.) ve çalışma parametrelerine (kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, çevresel hız ve soğutma suyu miktarı) bağlıdır (Yılmaz, 2009).

Bu çalışmada da biri bor karbür katkısız olmak üzere 7 farklı orandaki bor karbür katkılı 8 adet dairesel testerenin kesim esnasında oluşturduğu gürültü seviyesi hem kesilebilirlik parametresi olarak hem de insan sağlığı açısından incelenmiştir. Ölçümler sırasında kesme işleminin gerçekleştiği bölge ile gürültü ölçer arasındaki mesafe 2 m olarak sabit tutulmuştur. Gürültü seviyeleri makine sesine duyarlı olan dB(C) bandında ölçülmüştür. Şekil 3.24'te % 1 B₄C katkılı testereye ait gürültü seviyesi-kesim süresi verilmiştir.



Şekil 3.24. % 1 B₄C katkılı testereye ait gürültü seviyesi-kesim süresi grafiği

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

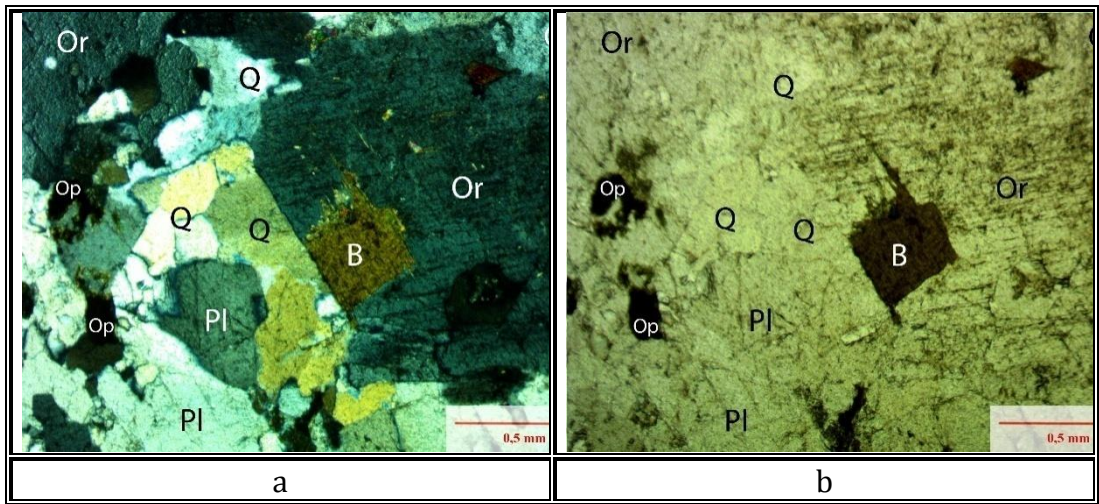
4.1. Kayaç Özellikleri

Doğal taş kesme işlemlerinde en önemli konulardan biri kesme işlevini yerine getirecek olan elmas soketin doğal taşın yapısına uygun olarak seçilmesi gerektiğidir.

Literatürde kayaçların fiziksel, mekanik özelliklerinin elmas soketlerin performanslarında etkili olduğu belirtilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle kesme deneylerinde kullanılan numunenin yapısına uygun elmas soketi belirlemek amacıyla mineralojik, petrografik, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra kimyasal analizi de gerçekleştirilmiştir.

4.1.1. Mineralojik ve petrografik özellikler

Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği ince kesit laboratuvarında Hisar Gri numunesine ait ince kesitler hazırlanmış, Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu bünyesinde bulunan AOB&OPTİMUS marka mikroskop ile mineralojik analizleri gerçekleştirilmiştir. Hisar Gri örneğinin çift (a) ve tek (b) nikol görüntüleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Hisar Gri örneğinin çift (a) ve tek (b) nikol görüntüleri

Kayaç holokristalin hipidiyamorf taneler dokusudur. Ana bileşenlerinden alkali feldispatlarda ortoklaslarda karlspat, mikroklinlerde kafes tipi polisentetik ikizlenmeler mevcuttur. Bu minerallerde yer yer killeşme türü bozunmalar gözlenmektedir. Alkali feldispatlar içinde kuvars minerallerinin kenetlenmesi ile oluşan grafik doku bulunmaktadır. Plajiyoklas mineralleri (albit / oligoklas) polisentetik ikiz lamelleri ve zonlu dokuya sahiptir. Bununla birlikte, minerallerin orta kısımlarından itibaren serisitleşme mevcuttur. Kuvars mineralleri özşekilsiz, bozunma göstermeyip, dalgalı sönme göstermektedir. Örnek içerisinde koyu renkli mineralleri, kahverengi renk tonunda ve kuvvetli pleokroizması ve levhamsı şekli ile tipik biyotit mineralleri ve daha az miktarda bulunan yeşilimsi renkte ve çubuksu prizmatik şekilli taneler halinde amfibol grubu mineraller (hornblend) oluşturmaktadır. Az miktarda renksiz piroksen minerallerinden ojitler gözlenmiştir. Tali mineralleri, genellikle kapanım şeklinde zirkon, titanit (sfen) ve opak mineraller oluşturmaktadır. Sahip olduğu mineralojik bileşim ve dokusal özelliklerine bakılarak, kayaç kuvars monzonit olarak adlandırılmıştır.

Tüm açık renkli bileşenler içerisinde kuvars oranı %5-20, plajiyoklas oranı tüm feldispatlar içerisinde %35-65, alkali feldspat oranı %35-65 olarak belirlenmiştir. Tane boyu 5 mm-1 cm arasında olduğundan faneritik dokulu olduğu belirlenmiştir.

4.1.2. Fiziksel özellikler

Numunelerin fiziksel özellikleri TS EN 13755 (2003), TS EN 14157 (2005)'e göre belirlenmiştir. Bu bölümde numunelerin özgül ağırlığı, birim hacim ağırlığı, görünür porozitesi, toplam porozitesi, kütlece ve hacimce su emme oranı ve böhme yüzey aşınma gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.2'de gerçekleştirilen deneylerin görünüşleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Hisar Gri kayacının fiziksel özellikleri

	Minimum	Ortalama	Maksimum	Standart sapma	Deney sayısı
Özgöl Ağırlık	2,689	2,697	2,701	0,0006	3
Birim Hacim Ağırlık (gr/cm³)	2,613	2,622	2,632	0,0006	10
Ağırlıkça Su Emme (%)	0,399	0,424	0,435	0,013	10
Hacimce Su Emme (%)	1,048	1,112	1,167	0,03	10
Toplam Porozite (%)	2,380	2,784	3,030	0,23	10
Böhme Yüzey Aşınma (cm³/50cm²)	7,601	7,640	7,677	0,03	3



Şekil 4.2. Fiziksel özelliklerin belirlenmesinden görünümeler

4.1.3. Mekanik özellikler

İncelenen kayaç örneklerinin mekanik özellikleri TS EN 1926 (2000), TS EN 14205, ISRM (1985) ve ISRM (1981)'e göre belirlenmiştir. Mekanik özelliklerin tayininde kayaçların basınç dayanımı (BD), nokta yükü dayanım indeksi ($Is_{(50)}$), indirek çekme dayanımı (BÇD), Shore (SH) ve Knoop Sertliği (HK) deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 4.2’de deneylerin görünümüleri ise Şekil 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Hisar Gri kayacının mekanik özellikleri

	Minimum	Ortalama	Maksimum	Standart sapma	Deney Sayısı
BD (MPa)	174,78	206,63	237,07	18,74	9
Is₍₅₀₎ (MPa)	7,10	7,97	9,36	0,82	13
BÇD (MPa)	8,13	9,85	10,54	0,77	10
HK	315,65	445,82	622,12	72,71	40
SH	79,5	90,8	98,2	5,4	40



Şekil 4.3. Mekanik özelliklerin belirlenmesinden görünümeler

4.1.4. Kimyasal analiz

Kimyasal analizler için çalışmada kullanılan kayaç öncelikle AEÜ Kaman Meslek Yüksekokulu Kaya Mekaniği Laboratuvarındaki çeneli kırıcıda kırılmış ve bilyalı değirmende öğütülerek kimyasal analiz boyutu olan 100 μm 'nin altına indirilmiştir. Öğütülmüş numunenin kimyasal analizi Kanada ACME Analiz laboratuvarında yaptırılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal İçerik	%
SiO ₂	67,82
Al ₂ O ₃	15,42
Fe ₂ O ₃	2,57
MgO	0,84
CaO	4,30
Na ₂ O	4,45
K ₂ O	2,57
TiO ₂	0,31
P ₂ O ₅	0,18
MnO	0,08

4.2. Bor Karbür Katkısız ve Katkılı Elmas Soketlerin Metalografik Özellikleri

Bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketlerin metalografik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla teorik yoğunlukları, birim hacim ağırlıkları, poroziteleri, Knoop sertlikleri (HK) ile ağırlıkça aşınma kaybı değerleri belirlenmiş olup mikroyapısal özelliklerinin ortaya konması amacıyla da kırık yüzeylerinden SEM görüntüleri alınmıştır.

4.2.1. Teorik yoğunluk, birim hacim ağırlık, bağıl yoğunluk ve porozite değerleri

Bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketlerin ASTM B 311-08 standardına göre birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Bu yöntemle göre önce numunelerin havada kuru ağırlıkları ölçülmüş olup; daha sonra numuneler darası alınan metal bir sepet ile saf su dolu ölçüm kabına batırılmıştır. Numuneler suyun içerisinde tekrar tartıldıktan sonra birim hacim ağırlıkları 3.6 bağıntısına göre belirlenmiştir. Şekil 4.4’de birim hacim ağırlık deneylerinin görünümü verilmiştir.



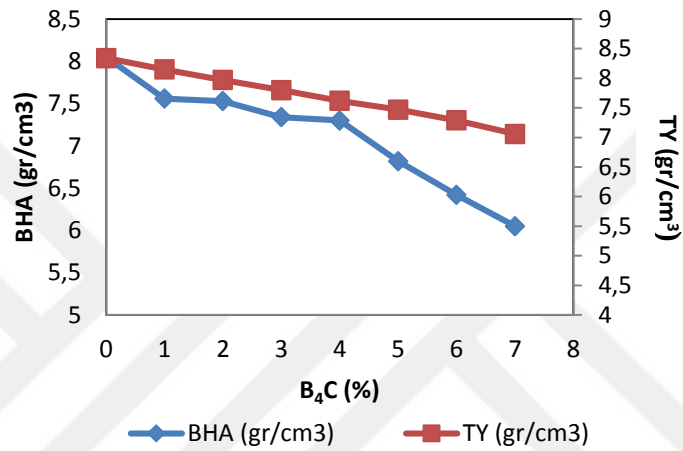
Şekil 4.4. Birim hacim ağırlık deneylerinden görünüm

Elmas soketlerin teorik yoğunlukları ise matriks içerisinde bulunan bor karbür, kobalt, nikel, bronz ve elmas oranlarına göre hesaplanmıştır. Bor karbür katkılı ve katkısız elmas soketlerin birim hacim ağırlıkları ve teorik yoğunlukları Çizelge 4.4. de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketlerin teorik yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri

Teorik Yoğunluk (gr/cm ³)			Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)		
%B ₄ C	Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma	Deney sayısı
0	8,34	0,014	8,05	0,11	3
1	8,15	0,004	7,56	0,15	3
2	7,97	0,001	7,53	0,12	3
3	7,80	0,001	7,34	0,04	3
4	7,62	0,002	7,30	0,02	3
5	7,47	0,001	6,82	0,07	3
6	7,29	0,051	6,42	0,06	3
7	7,06	0,111	6,05	0,11	3

Bor karbür miktarının artması ile birim hacim ağırlığın azaldığı belirlenmiştir. Bu durum matriks içerisinde kullanılan kobalt ($8,90 \text{ gr/cm}^3$), nikel ($8,85 \text{ gr/cm}^3$) ve bronz ($8,60 \text{ gr/cm}^3$) göre bor karbür yoğunluğunun ($2,52 \text{ gr/cm}^3$) düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Rahimian vd., 2009, Islak vd., 2012). Şekil 4.5'te bor karbür katkısının birim hacim ağırlık ve teorik yoğunluğa etkisi gösterilmiştir. Bu durum bor karbürün ergime noktasının diğer matriks malzemelerine göre yüksek olmasından dolayı sinterleme işlemini olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.

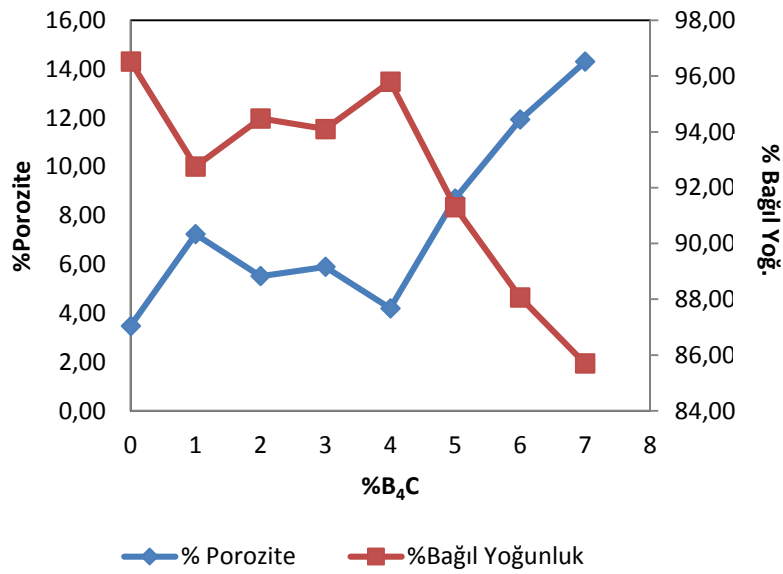


Şekil 4.5. Bor karbür katkısının birim hacim ağırlık ve teorik yoğunluğa etkisi

Bor karbür katkısının poroziteyi arttırdığı gözlemlenmiştir (Çizelge 4.5). Porozite oranının artması bor karbür ve diğer matriks malzemesi ara yüzeyindeki bağlanmanın ergime noktaları arasındaki farka bağlı olarak sağlam olmadığını ve sokette boşluklara neden olduğu öngörülmektedir. Gerçekleştirilen SEM analizleri sonucunda da porozitenin arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.6'da bor karbür katkısına göre porozite ve bağıl yoğunluk değişimi verilmiştir.

Çizelge 4.5. Bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketlerin porozite ve bağıl yoğunluk değerleri

%B ₄ C	Porozite (%)	Bağıl Yoğunluk (%)	Standart Sapma	Deney Sayısı
0	3,48	96,52	0,68	3
1	7,24	92,76	1,81	3
2	5,52	94,48	1,48	3
3	5,90	94,10	0,48	3
4	4,20	95,80	1,88	3
5	8,70	91,30	0,91	3
6	11,93	88,07	0,75	3
7	14,31	85,69	0,48	3



Şekil 4.6. Bor karbür katkısına göre porozite ve bağıl yoğunluk değişimi

4.2.2. Mikro sertlik değerleri

Uygun olarak yoğunlaşan matriks-elmas karışımıyla matris bileşimine bağlı olarak en yüksek sertlik değeri elde edilir. Diğer taraftan, soketin yapısı herhangi bir yönden zarar görürse ya da yoğunlaşma tamamlanamaz ise, sertlik belirlenen

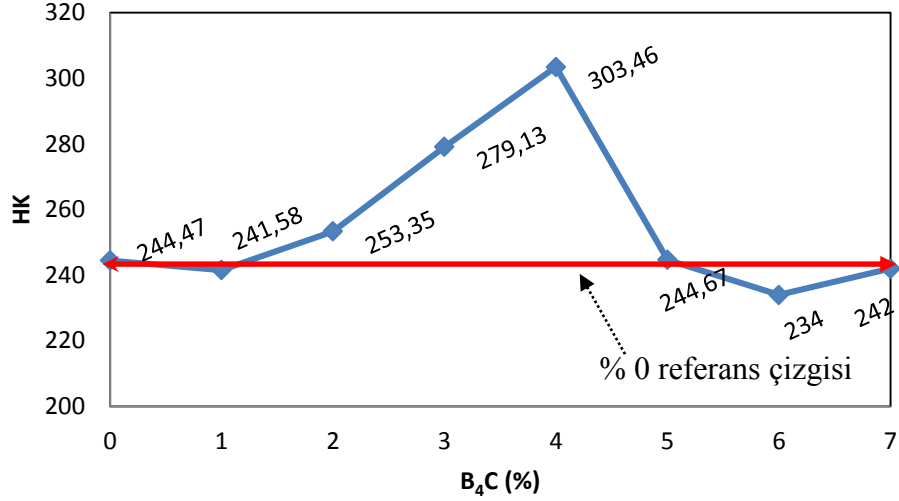
oranda olmaz. Bunun sonucunda matriks aşınma dayanımı düşük olur ve matriksin elması tutma kabiliyeti zayıflar (Çelik, 2009).

Çalışma kapsamında sıcak presleme yoluyla elde edilen bor karbür katkılı elmas soketlerin sertliklerinin belirlenmesi amacıyla Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu Kaya Mekaniği Laboratuvarında bulunan MITECH marka mikro sertlik ölçme cihazında Knoop sertlik (HK) değerleri ölçülmüştür.

Sertlik ölçümlerinde her bir gruba ait 3'er adet 3,2x10x40 mm boyutlarında elmas soketler kullanılmıştır. Ölçümlerde her bir soket yüzeyinden sık aralıklarla 50 kez ölçüm gerçekleştirilmiş olup toplamda 1200 adet sertlik ölçümü yapılmış ve ortalamaları alınmıştır (Çizelge 4.6). Şekil 4.7'de bor karbür katkısına göre Knoop Sertlik değeri değişimi verilmiştir.

Çizelge 4.6. Knoop Sertlik (HK) değerleri

%B₄C	HK	Standart sapma
0	244,47	49,79
1	241,58	59,13
2	253,35	53,41
3	279,13	60,66
4	303,46	65,94
5	244,67	60,04
6	234	53,56
7	242	63,66



Şekil 4.7. Bor karbür katkısına göre Knoop Sertlik (HK) değeri değişimi

4.2.3. Ağırlıkça aşınma kaybı değerleri

Kompozit malzemelerde takviye elemanlarının kullanılması, yumuşak yapı içerisinde sert fazlar oluşturmak; hem aşınma ve hem de tokluğu arttırmaktadır (Özay ve Hasçalık; 2004). Sertliğin artması yüzeyden parça kopmasını azaltacağı için aşınma dayanımı artar. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde doğal taş kesme işleminde elmas soketler üzerinde abrazif aşınmanın meydana geldiği belirlenmiştir. Bu nedenle elmas soketlerin aşınma dayanımını artırmak amacıyla sıcak presleme yöntemi kullanılarak farklı oranlarda bor karbür katkılı elmas soket üretimi gerçekleştirilmiştir. Bor karbür katkısının aşınma dayanımına etkisini görmek amacıyla Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunan aşınma deney seti kullanılarak aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.8’de aşınma deneyinin görünümü verilmiştir.



Şekil 4.8. Aşınma deney seti

Aşınma deneylerinde numune öncelikle sabitlenmiş daha sonrasında dakikada 30 devir dönen elmas pim üzerine 2 kg/cm² lik bir yük ile temas ettirilerek 13 m yol almıştır. Aşınma deneylerinde her bir grup elmas soketlerden ikişer adet numune kullanılmıştır. Numunelerin yüzeyi aşınma deneyi öncesinde ve sonrasında yüzeyleri alkolle temizlenmiştir. Deneylerde 10⁻⁵ gr hassasiyetindeki Precisa marka terazi kullanılmıştır (Şekil 4.9).



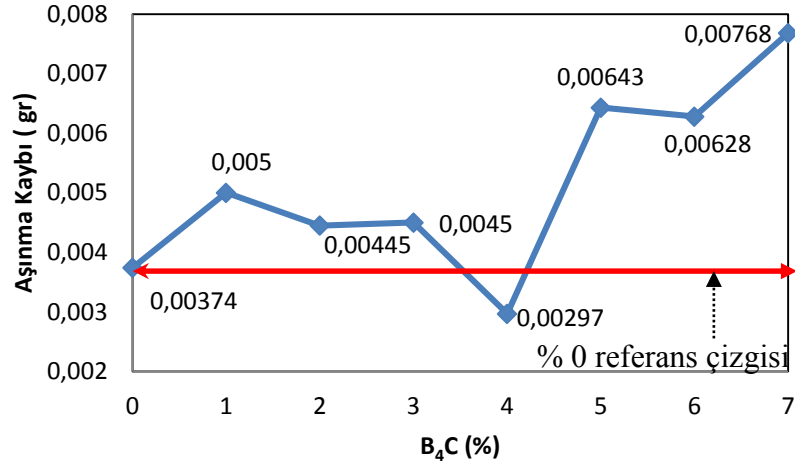
Şekil 4.9. Aşınma öncesi ve sonrası alınan tartımlardan görünüm

Aşınma deneyleri öncesinde numunelerin kuru ağırlıkları alınmıştır. Deney sonrasında numuneler tekrar tartılarak, aşınma öncesi ve aşınma sonrası ağırlık farkları alınarak ağırlıkça aşınma kayıpları belirlenmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Aşınma deneyi sonuçları

%B ₄ C	Aşınma Kaybı (gr)	Standart Sapma	Deney Sayısı
0	0,00374	0,0012	2
1	0,00500	0,0004	2
2	0,00445	0,0045	2
3	0,00450	0,0017	2
4	0,00297	0,0019	2
5	0,00643	0,0021	2
6	0,00628	0,0063	2
7	0,00768	0,0032	2

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en az kütle kaybının % 4 bor karbür katkılı elmas soket olduğu ve aşınmaya karşı en yüksek direnç gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 4.10'da bor karbür katkısına göre aşınma kaybı değişimi verilmiştir.

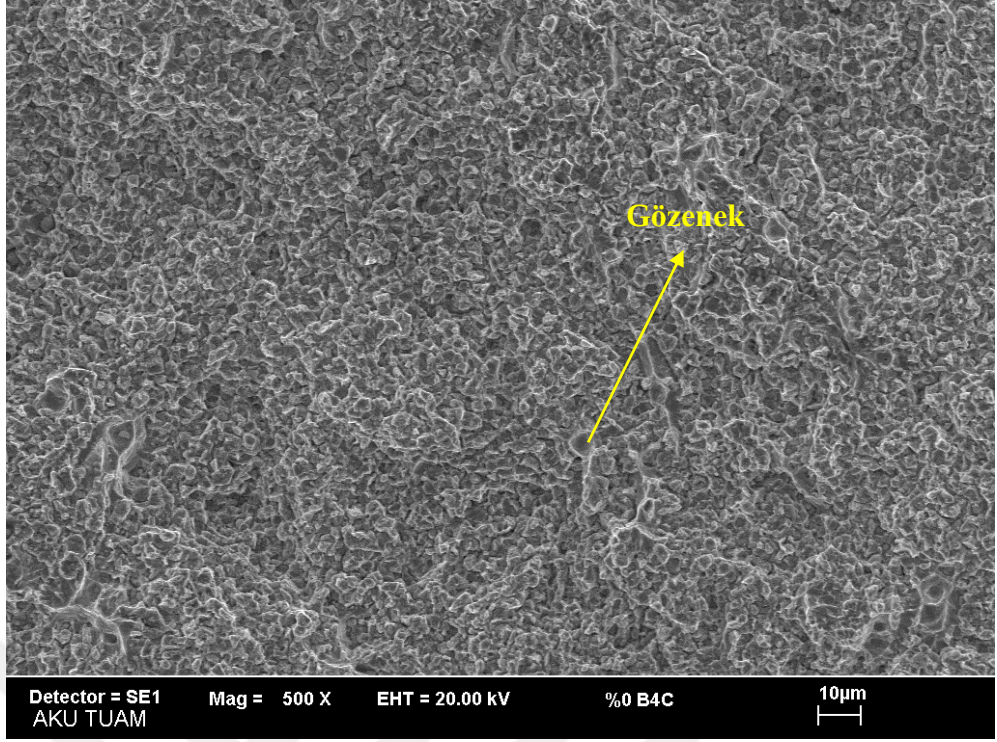


Şekil 4.10. Bor karbür katkısına göre aşınma kaybı değişimi

4.2.4. SEM analiz sonuçları

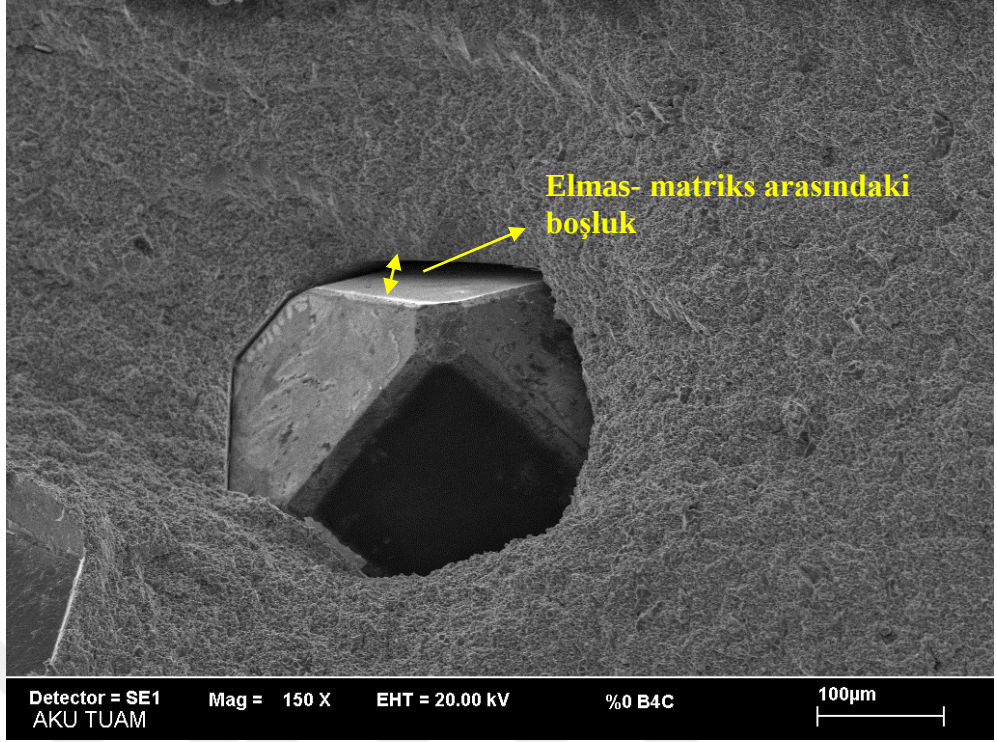
Bor karbür katkısız ve katkılı soketlerin kırık yüzeylerinden SEM analizleri gerçekleştirilerek B₄C'nin soket matrisi içerisindeki etkisi araştırılmıştır.

Bor karbür katkısız sokette homojen bir morfoloji gözlenmiştir. Metalografik deneyler sonucunda elde edilen porozite değerinde olduğu gibi yapıda porozite oranının düşük olduğu ve gözeneklerin yaklaşık 2-4 mikron aralığında olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.11'de kırılma yüzeyinin 500 kat büyütülmüş SEM görüntüsü verilmiştir.



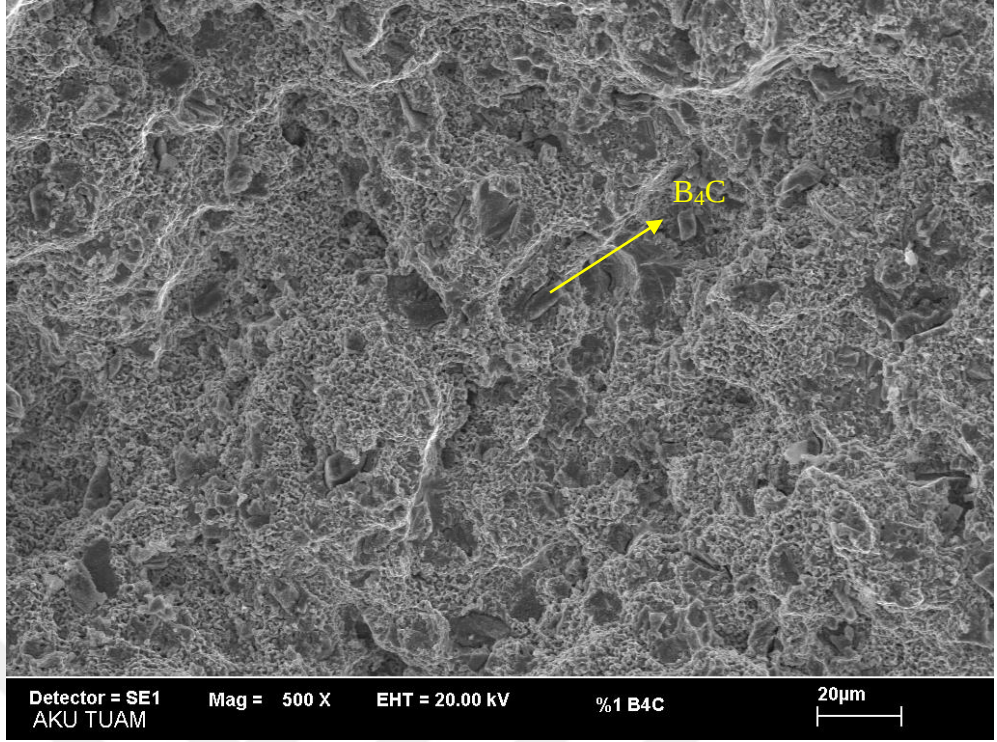
Şekil 4.11. B₄C katkısız soketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

Şekil 4.12 incelendiğinde bor karbür katkısız sokette elmas matriks arasında yaklaşık 8 mikronluk bir boşluk belirlenmiş olup elmas matriks ara yüzey bağının iyi olmadığı belirlenmiştir. Bunun nedeninin sinterleme şartlarına bağlı olarak matriks malzemesinin iyi ıslatma özelliğini azalttığı düşünülmektedir.

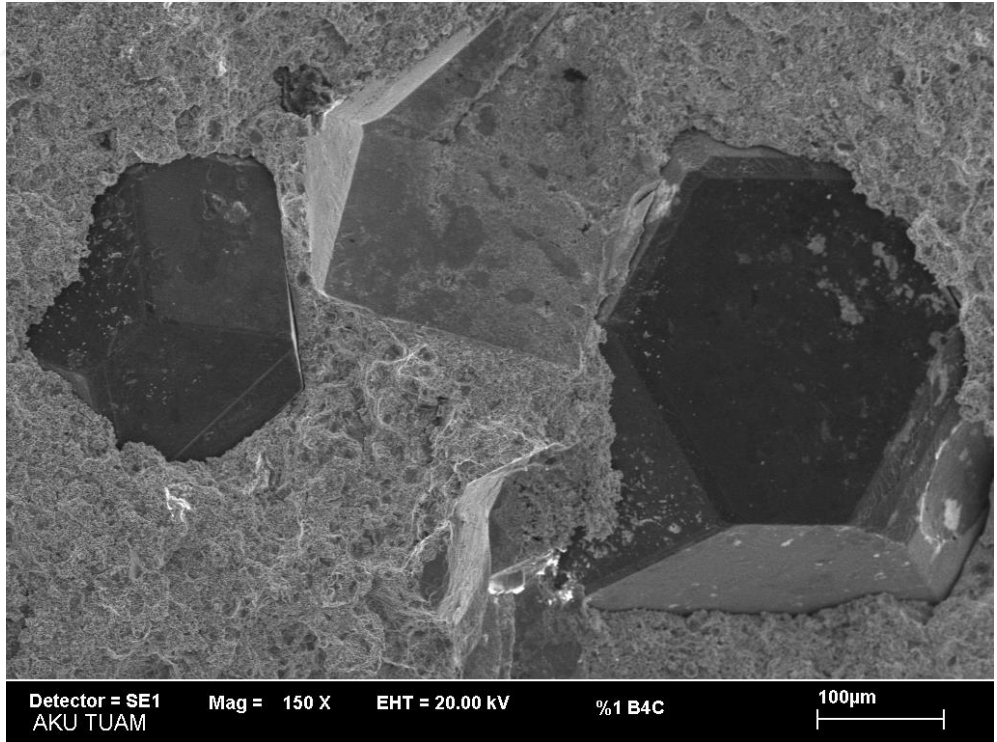


Şekil 4.12. B₄C katkısız socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

%1 B₄C katkılı socket SEM görüntüsü incelendiğinde porozitenin artmış olduğu gözlemlenmiş olup yaklaşık 10-12 mikron aralığında gözeneklerin olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.13). Ayrıca elmas matriks ara yüzey bağının bor karbür katkısızına göre daha iyi olduğu görülmüştür (Şekil 4.14).

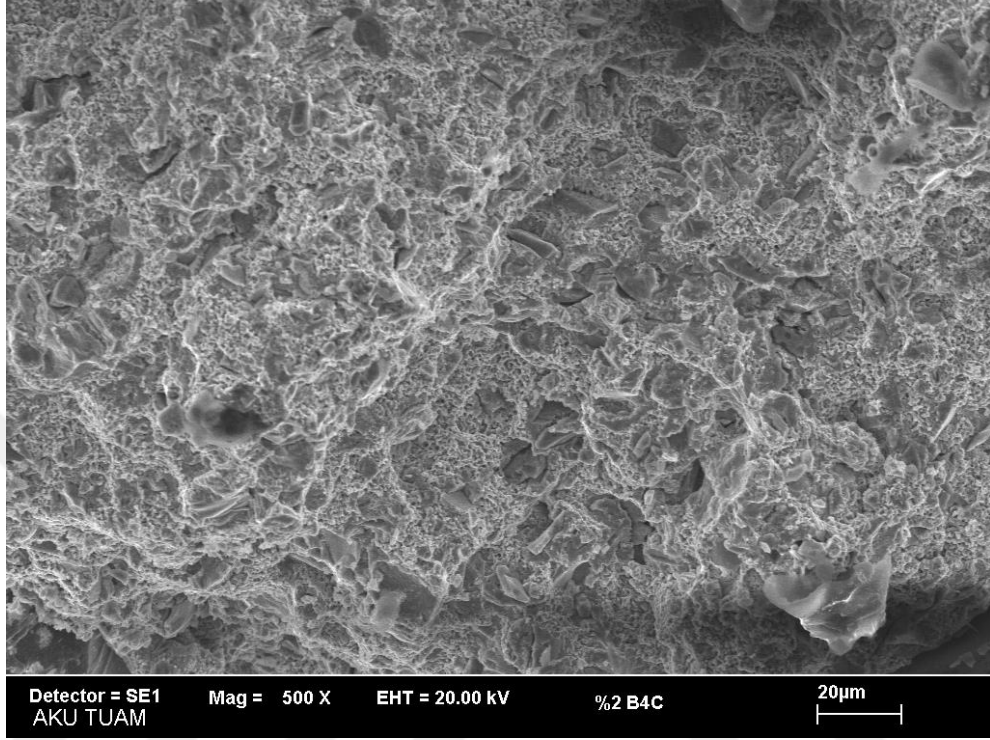


Şekil 4.13. %1 B₄C katkılı socketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü



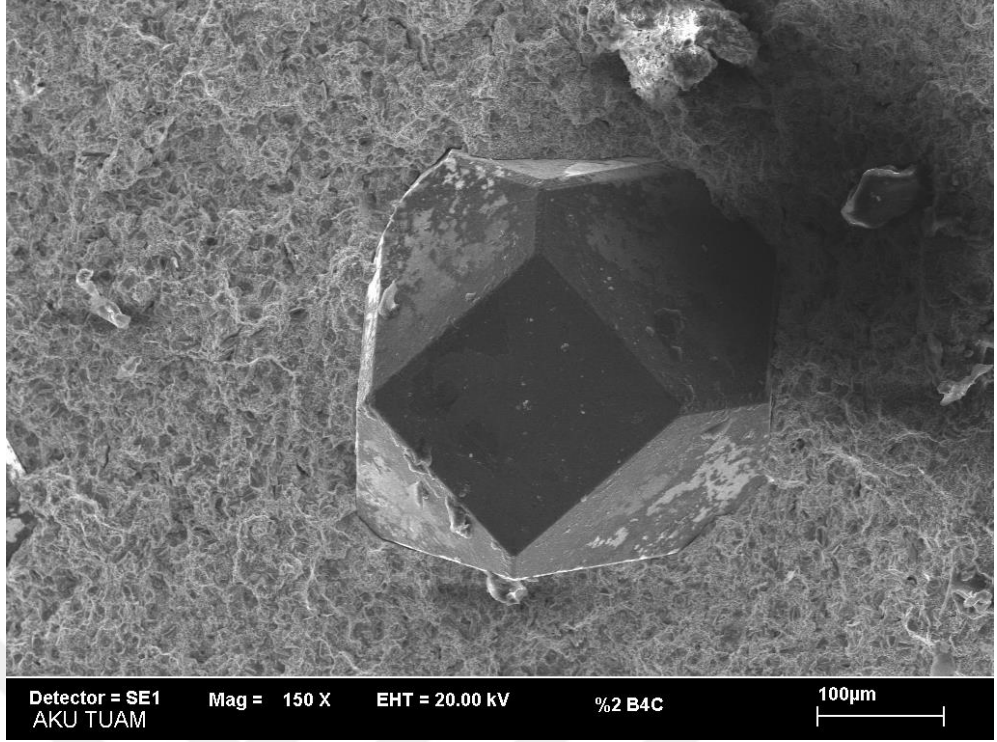
Şekil 4.14. %1 B₄C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

% 2 B₄C katkılı soketlerde porozitenin arttığı gözlenmiş olup matriks yapısının %1 B₄C'ye göre daha düzgün olduğu belirlenmiştir. Yapının düzelmesine bağlı olarak mikro sertliğinde arttırdığı düşünülmektedir (Şekil 4. 15).



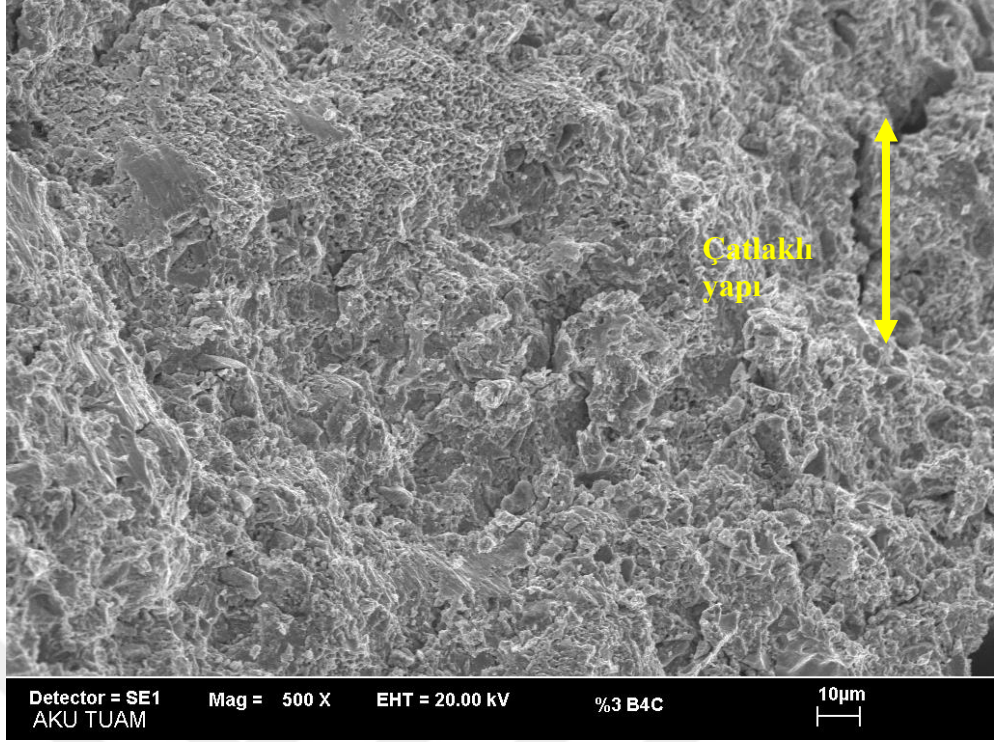
Şekil 4.15. %2 B₄C katkılı soketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

% 2 B₄C katkılı soketlerde de % 1 B₄C katkılı soketlerde olduğu gibi elmas matriks ara yüzey bağının iyi olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.16).

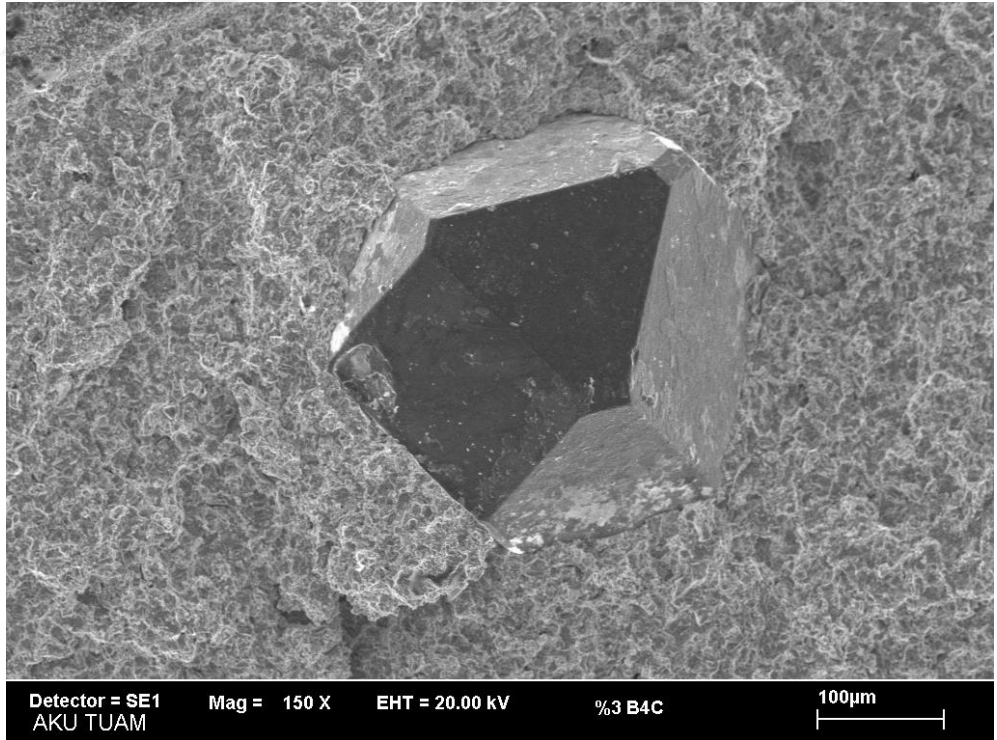


Şekil 4.16. % 2 B₄C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

Şekil 4.17’de %3 B₄C bor karbür katkılı socket matriksinde yaklaşık 40-50 mikron boyutunda çatlaklar gözlenmiş olmasına rağmen Şekil 4.18’de matriks elmas ara yüzeyinde bağlanmanın iyi olduğu gözlenmiştir.

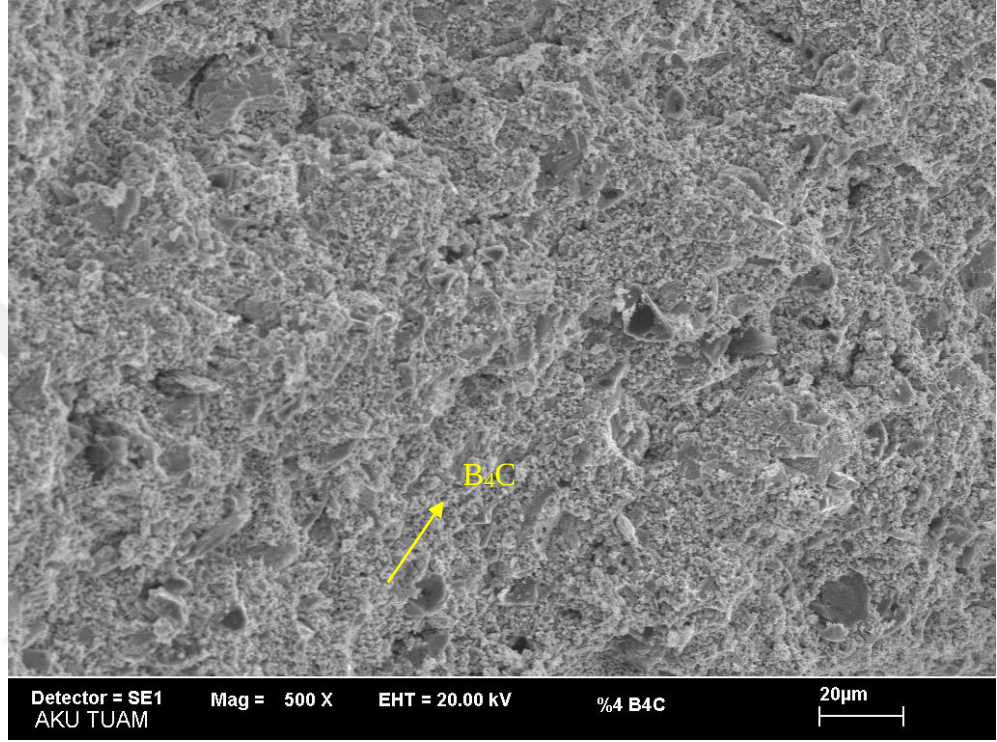


Şekil 4.17. %3 B₄C katkılı socketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

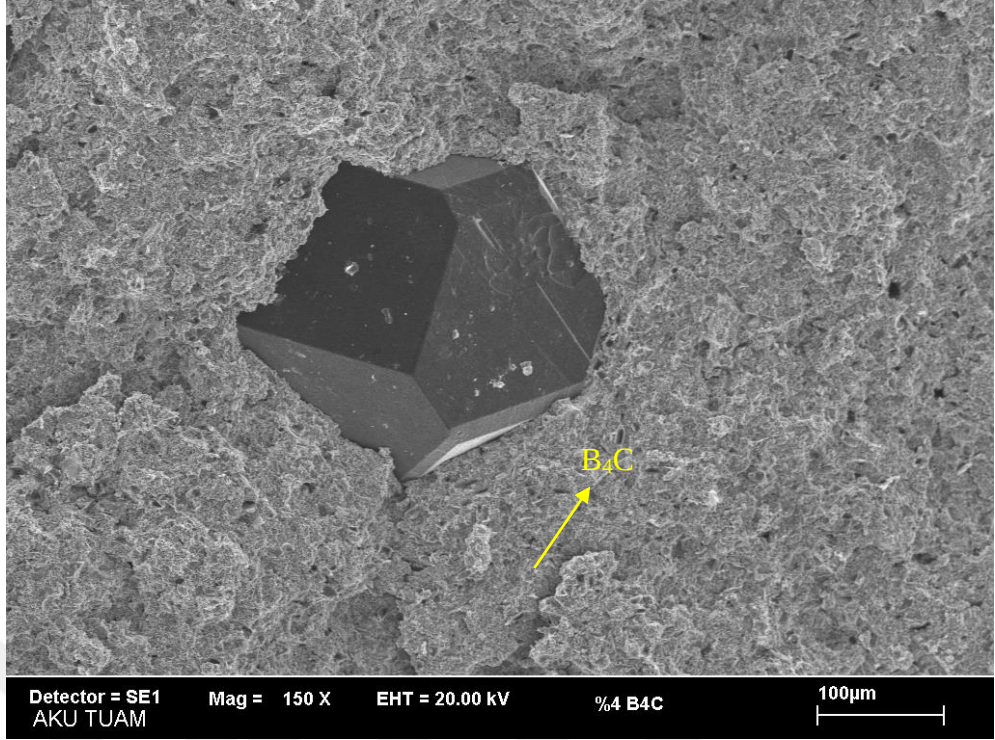


Şekil 4.18. % 3 B₄C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

% 4 B₄C katkılı sokette 3-8 mikron boyutunda B₄C taneleri gözlenmiştir (Şekil 4.19.) B₄C dağılımının diğer soketlere göre daha homojen dağıldığı belirlenmiştir. Bu durumun sertlik artışını etkilediği düşünülmektedir. Aynı zamanda matriksin plaka şeklinde kırıldığı gözlenmiştir. Elmas matriks ara yüzeyinin düzgün olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.20).

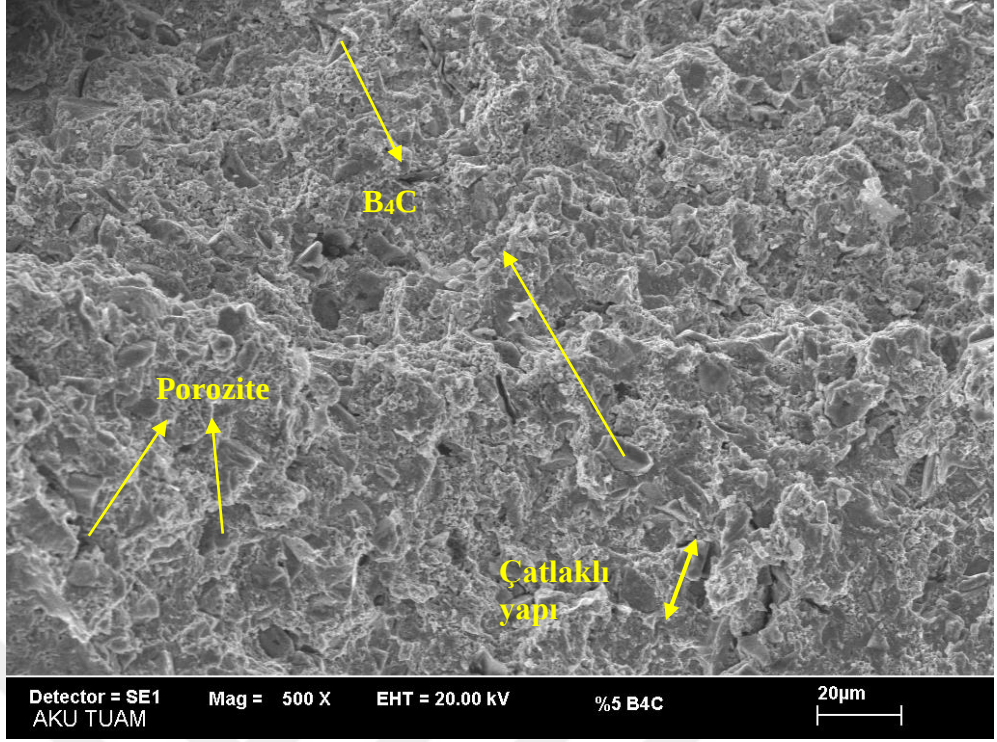


Şekil 4.19. %4 B₄C katkılı soketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

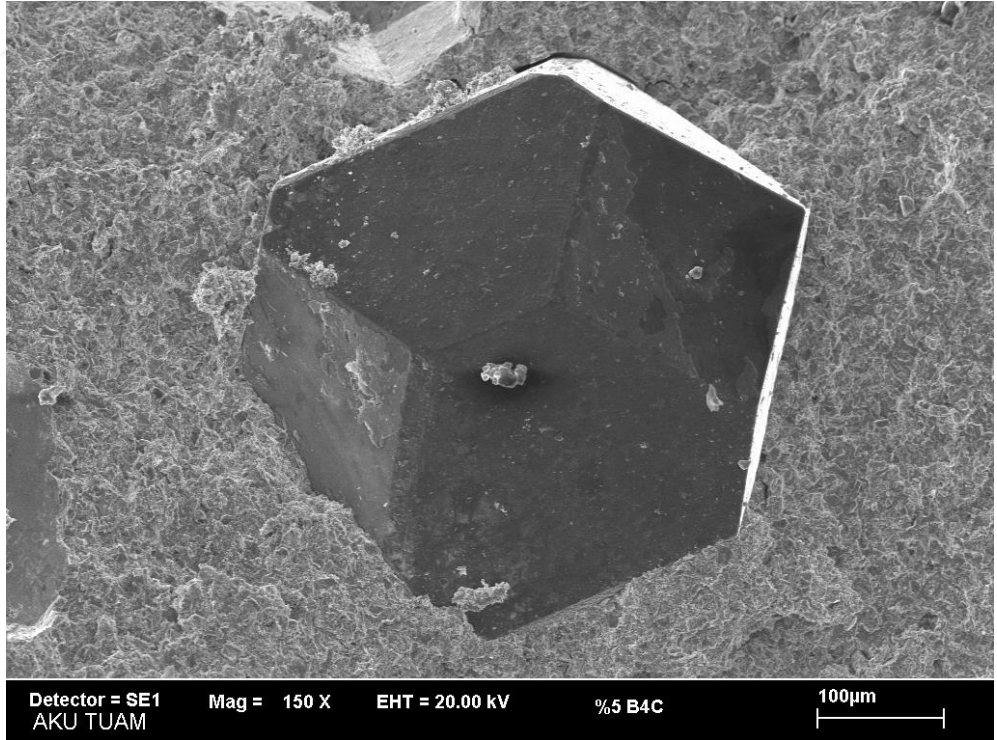


Şekil 4.20. % 4 B₄C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

% 5 B₄C katkılı sokette de 3-8 mikron boyutunda B₄C taneleri belirlenmiş olup matriks içerisinde B₄C'nin homojen dağılmadığı gözlenmiştir. Matrikste kaba taneli bir yapının olduğu gözlenmiş olup zayıf bağlanmanın olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.21). Bu durum sinterleme şartlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sinterleme süresi, basıncı ve sıcaklığı gibi sinterleme parametrelerinin artan bor karbür takviyesine göre optimize edilerek daha düzgün bir matriks yapının elde edilebileceği düşünülmektedir.

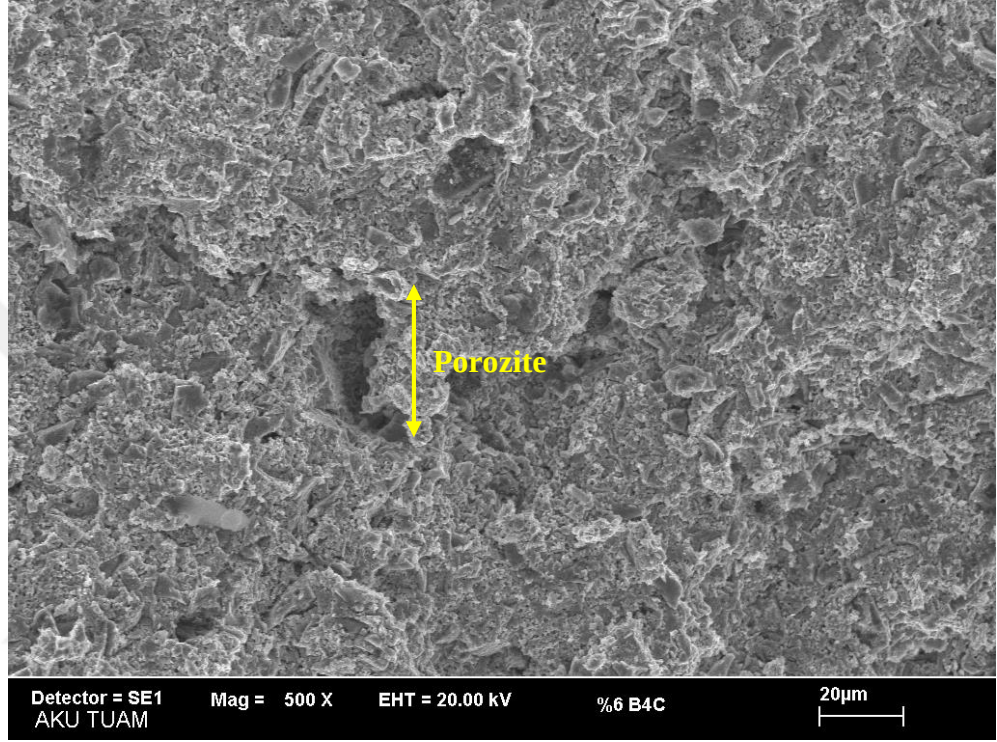


Şekil 4.21. %5 B₄C katkılı socketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü



Şekil 4.22. % 5 B₄C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

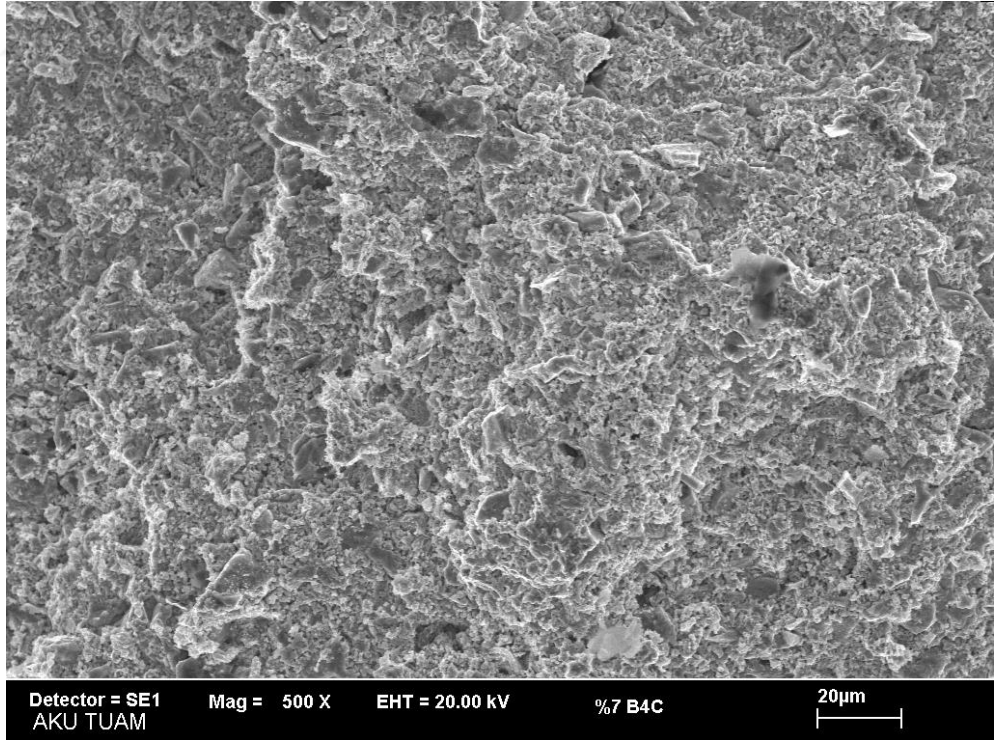
Şekil 4.23 incelendiğinde % 6 B₄C katkıli soket matriks içerisinde yaklaşık 35- 40 mikron boyutunda arttığı gözlenmiştir. Porozite artışı % 7 B₄C katkıli soket matriksinde de gözlenmiştir (Şekil 4.25-4.26). Bu durumu gerçekleştiren metalografik deneyler sonucunda da belirlenen porozite değerleri ile de desteklenmektedir.



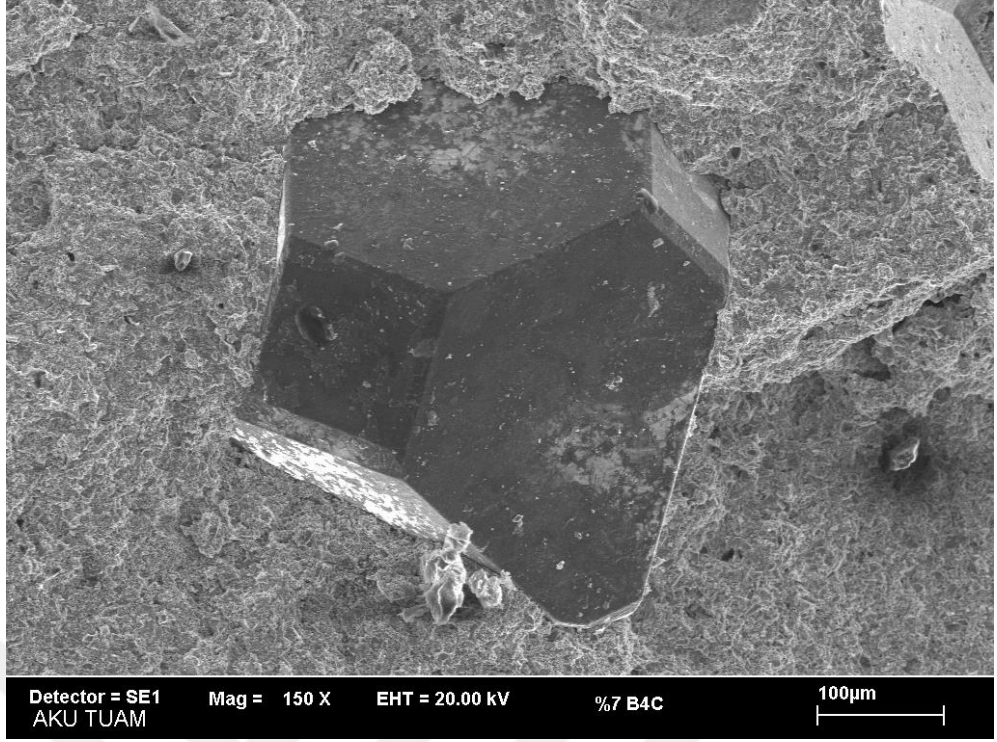
Şekil 4.23. %6 B₄C katkıli soketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü



Şekil 4.24. % 6 B₄C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü



Şekil 4.25. %7 B₄C katkılı socketin 500 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü



Şekil 4.26. % 7 B₄C katkılı socketin 150 kat büyütülmüş kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

4.3. Kesme Deneyleri Sonuçları

Bor karbür katkılı dairesel testereler ile gerçekleştirilen kesme deneyleri sonucunda her bir testerenin kesim sırasında tüketmiş olduğu *net güç, özgül kesme enerjisi, gürültü seviyeleri* ile kesim sonrasında da *özgül aşınma değerleri* belirlenmiştir.

4.3.1. Net güç tüketimi değerleri

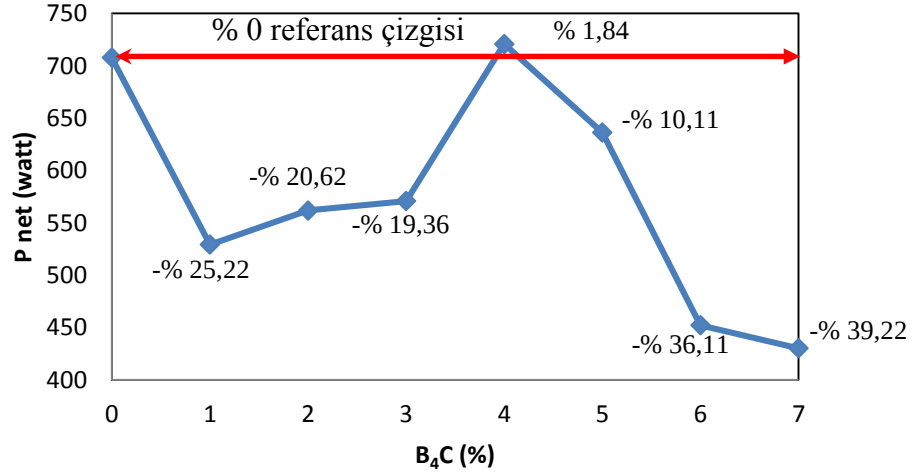
Doğal taş sektöründe özellikle dairesel testere ile granit ebatlama işlemi gerçekleştirilen tesislerde enerji tüketimi önemli bir maliyet kalemini oluşturmaktadır. Bu nedenle kesim esnasında harcanan güç değerleri kesme analizlerinde gerek maliyet gerekse kesme verimi açısından önemli bir parametre olmaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen kesme deneylerinde bor karbür katkısız ve katkılı dairesel testerelerin güç tüketim değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Net güç (P_{net}) tüketim değerleri

%B ₄ C	P_{net} (watt)				
	Minimum	Ortalama	Maksimum	Standart sapma	Kesim sayısı
0	642,72	707,85	760,93	28,87	60
1	429,70	529,32	618,96	57,14	60
2	511,72	561,86	677,82	50,09	60
3	481,62	570,81	651,79	53,60	60
4	675,24	720,85	785,93	48,25	60
5	575,64	636,28	713,81	37,05	60
6	386,38	452,23	522,77	36,55	60
7	368,72	430,26	480,07	33,52	60

Elde edilen sonuçlar neticesinde en yüksek tüketim değeri bor karbür katkısız ve % 4 bor karbür katkılı testerede elde edilmiş olup referans testereye göre %1.84 daha fazla güç tüketiminin olduğu belirlenmiştir. % 4 bor karbür katkılı testerenin güç tüketiminin yüksek çıkma sebebinin 303,46 HK değeri ile en yüksek sertliğe sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. En düşük tüketim ise

% 14,31'lik en yüksek porozite değerine bağlı olarak % 7 bor karbür katkıli dairesel testerede elde edilmiştir. Bor karbür katkısız testereye göre güç tüketiminde % 39,22'lik bir azalmanın olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.27'de bor karbür katkısına göre testerelerin net güç tüketim değerleri ve referans testereye göre bor karbür katkıli testerelerin değişim oranları verilmiştir.



Şekil 4.27. Bor karbür katkısına göre net güç tüketim değişimi

Elde edilen sonuçlara göre **bor karbür katkıli dairesel testerelerin bor karbür katkısız göre tasarruflu olduğu söylenebilir**. Ancak kesme verimi açısından dairesel testerelerin özgül kesme enerjisi ve özgül aşınma değerleri ile birlikte değerlendirilmeleri gerekmektedir.

4.3.2. Özgül kesme enerjisi değerleri

Özgül kesme enerjisi, birim hacimdeki kayacı kesmek için gereksinim duyulan enerji miktarı olarak tanımlanır ve J/mm³ birimiyle ifade edilir. Verimli bir kesme işleminin yapılabilmesi, kesme hızının maksimum ve özgül kesme enerjisinin minimum olmasına bağlıdır. Bu şartların sağlanması kesme işleminin en ekonomik olduğu durumdur. Bu nedenle, özgül kesme enerjisi, kesme verimliliğinin bir ölçüsüdür.

Doğal taş ocaklarında ve fabrikalarda kesim işlemleri maliyet açısından önemli bir kalemi oluşturmaktadır. Bu maliyet girdilerini optimize edebilmek için kazı

parametrelerinin belirlenmesi ve performans testlerinin yapılması oldukça önemlidir.

Kesme işleminde harcanan enerji, kayaca ve makineye bağlı parametrelerle değişmektedir. Kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri ve sert mineral içeriği kesme işlemini etkilemektedir. Ayrıca, kesme işlemini yapacak testerenin dönüş hızı (çevresel hız), testerenin kayacın içerisindeki ilerleme hızı (kesme hızı), testerenin kesme derinliği, kesici soketin yapısı ve makinenin gücü özgül kesme enerjisini etkileyen makine parametreleridir.

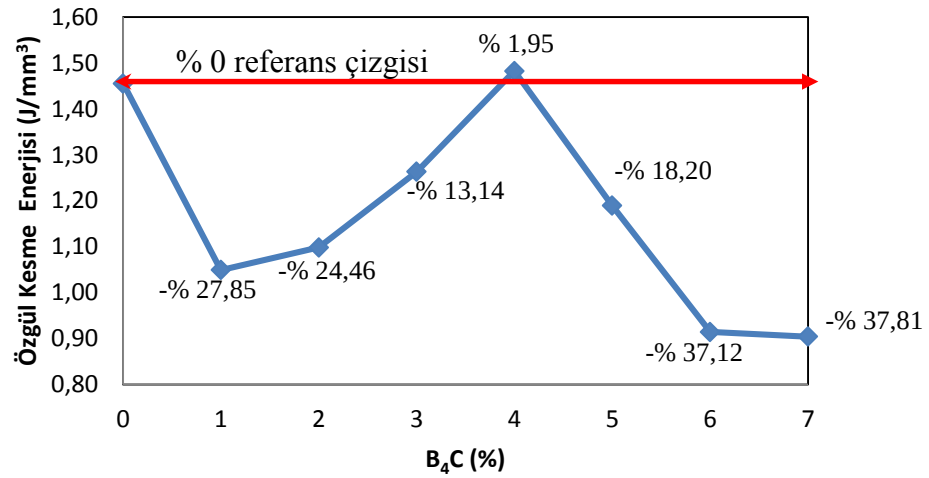
Kesme verimliliği açısından kayacın özelliklerine bağlı parametreler değiştirilemezken kesici makineye bağlı parametrelerin değiştirilmesi mümkün olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında da tek bir granit numunesi üzerinde belirlenen sabit kesme parametrelerinde elmas soket matriksi içerisinde biri bor karbür katkısız olmak üzere %1-2-3-4-5-6-7 oranlarında bor karbür katkılı 8 adet dairesel testerenin özgül kesme enerjisi üzerine etkisi incelenmiştir. Kesme deneyleri sonrasında elde edilen veriler Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Özgül kesme enerjisi değerleri

%B ₄ C	Özgül Kesme Enerjisi (J/mm ³)				
	Minimum	Ortalama	Maksimum	Standart sapma	Kesim sayısı
0	1,3469	1,4553	1,5153	0,051	60
1	0,8883	1,0493	1,2197	0,095	60
2	0,9895	1,0986	1,2575	0,081	60
3	1,0586	1,2632	1,4495	0,069	60
4	1,3945	1,4826	1,5498	0,076	60
5	1,0715	1,1896	1,2862	0,078	60
6	0,7449	0,9144	1,0477	0,075	60
7	0,7258	0,9044	1,0313	0,061	60

Elde edilen veriler incelendiğinde en yüksek özgül kesme enerji değerleri birbirlerine yakın değerler olmakla birlikte % 0 ve % 4 bor karbür katkılı dairesel testereelerde elde edilmiştir. Ancak % 4 bor karbür katkılı dairesel testere %0'a göre %1.95 daha fazla enerji tüketmiştir. Metalografik ve mikro yapı

incelemelerinde de gözlendiği üzere bu iki tip soketin porozite değerlerinin birbirlerine yakın olduğu sertlik değerlerinde ise % 4 bor karbür katkılı soketin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En düşük özgül kesme enerji değeri gerek sertliğinin düşük gerekse porozite değerinin yüksek olmasına bağlı olarak yumuşak bir yapıya sahip olan % 7 bor karbür katkılı testerede elde edilmiştir. Şekil 4.28'de özgül enerji değerlerinin bor karbür katkı oranına göre değişimi verilmiştir.



Şekil 4.28. Bor karbür katkı oranına göre özgül kesme enerji (ÖKE) değerleri değişimi

4.3.3. Özgül aşınma değerleri

Doğal taş kesme işlemlerinde kesici takımın ömrü açısından elmas ve matriks optimum bir şekilde aşınmalıdır. Bu nedenle soketlerde kullanılan elmas tipinin yanı sıra kesici takımın ömrü açısından matriks seçimi önemli olmaktadır.

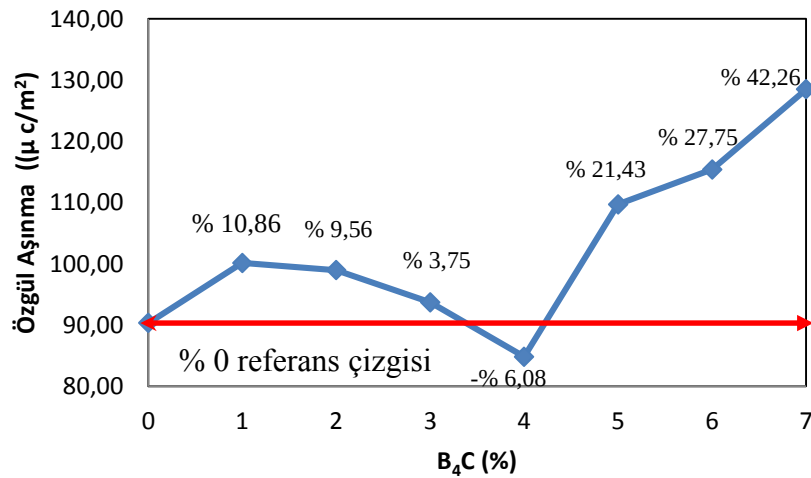
Ülkemizde ve dünyada özellikle granit türü sert doğal taşların kesme işlemlerinde kullanılan soketlerin ömürlerinin kısa sürede tükenmesi ve buna bağlı olarak birim metrekare başına düşen üretim maliyetinin artması önemli bir sorun oluşturmaktadır. Dünyada granit kullanımındaki artış ile toplam üretim maliyetini düşürmek ve üretim verimliliğini artırmak amacıyla elmas testere ile işlem parametrelerinin aşınma davranışının optimize edilmesine büyük bir talep bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında da elmas soketlerin aşınma dayanımını arttırmak amacıyla matriks içerisine %0-1-2-3-4-5-6-7 oranlarında bor karbür katkısı gerçekleştirilmiştir. Kesme deneyleri sonrasında ölçülen özgül aşınma değerleri $\mu\text{m}/\text{m}^2$ olarak belirlenmiş ve aşınma sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. B₄C katkısız ve katkılı testerelerin özgül aşınma değerleri

%B ₄ C	Özgül Aşınma ($\mu\text{c}/\text{m}^2$)
0	90,34
1	100,15
2	98,98
3	93,73
4	84,84
5	109,70
6	115,41
7	128,52

Soket sertliğinin artmasına bağlı olarak yüzeyden parça kopmasını azaltacağı için aşınma dayanımı artması beklenen bir durumdur. Bölüm 4.5'te de verildiği üzere en yüksek sertlik değeri %4 B₄C oranında belirlenmiştir. Yüksek sertlik değerine bağlı olarak en düşük özgül aşınma değeri % 4 B₄C oranında elde edilmiş olup bor karbür katkısız sokete göre % 6,08 daha az aşınmış ve testere ömrü artmıştır. En yüksek aşınma değeri ise %7 bor karbür oranında elde edilmiştir. Şekil 4.29'da bor karbür katkı oranına göre özgül aşınma değerlerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 4.29. Bor karbür katkı oranına göre özgül aşınma değerleri değişimi

4.3.4. Gürültü seviyesi değerleri

Günümüzde çok genel mesleki hastalıklardan birisi de aşırı gürültü nedeniyle oluşan işitme kaybıdır. Bu nedenle mermer kesme ve işleme fabrikalarında özellikle sürekli disk tipi kesiciler kullanıldığında ortaya çıkan gürültünün azalması için çalışmalar yapılmaktadır. Yasal uygulamalar işçilerin düşük gürültülü makinelerde çalışmalarını ve gürültü azaltıcı takım kullanmalarını zorunlu kılmaktadır.

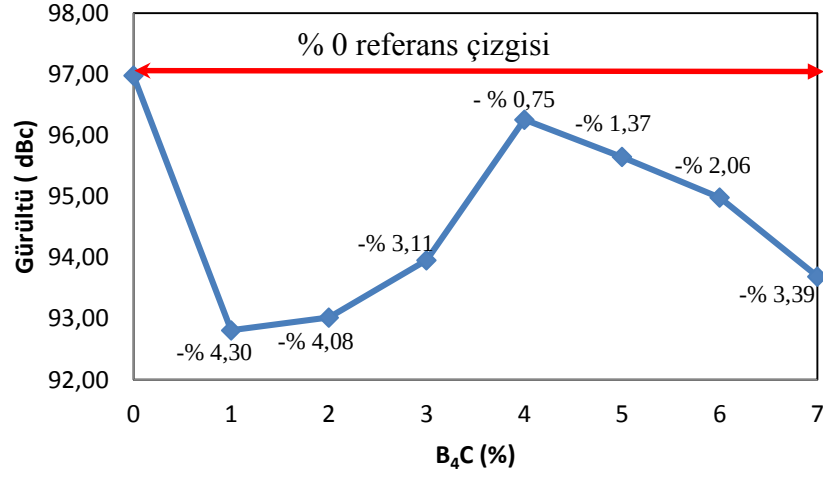
Testere ve kayaç arasında oluşan titreşimler testerenin taşa uyguladığı kuvvetler sonucunda, testere gövdesinde ve taşa oluşan titreşimlerin yarattığı şok ses dalgaları havada gürültü olarak yayılır. Oluşan gürültünün şiddeti testere tasarımına (gövdede kullanılan çeliğin özellikleri, gövde kalınlığı, testere çapı, soket geometrisi ve sayısı, su kanalları arasındaki genişlik) kesilen taşa (sertlik, mineralojik özellikler vb.) ve çalışma parametrelerine (kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, çevresel hız ve soğutma suyu miktarı) bağlıdır (Yılmaz, 2009).

Bu çalışmada da biri bor karbür katkısız olma üzere 7 farklı oranlardaki bor karbür katkılı 8 adet dairesel testerenin hem kesilebilirlik parametresi olarak hem de insan sağlığı açısından gürültü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ölçümler sırasında kesme işleminin gerçekleştiği bölge ile gürültü seviyesi ölçüm cihazı arasındaki mesafe 2 m olarak sabit tutulmuştur. Gürültü seviyeleri makine sesine duyarlı olan dB(c) bandında ölçülmüştür. Elde edilen veriler Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Gürültü seviyesi değerleri

Gürültü seviyesi (dB(c))					
%B ₄ C	Minimum	Ortalama	Maksimum	Standart sapma	Kesim sayısı
0	96,33	96,98	97,79	0,31	60
1	91,53	92,81	93,66	0,71	60
2	92,17	93,02	93,74	0,21	60
3	92,85	93,96	94,70	0,41	60
4	95,75	96,25	96,99	0,34	60
5	95,28	95,65	95,96	0,29	60
6	94,32	94,98	96,51	0,53	60
7	93,05	93,69	95,55	0,50	60

En yüksek gürültü değerleri birbirlerine yakın değer olmakla beraber bor karbür katkısız (% 0) ve % 4 bor karbür katkılı elmas soketlerde olduğu görülmüştür. En düşük değer ise %1 bor karbür katkılı soketlerde elde edilmiş olup bor karbür katkısız soketlere göre % 4,30 oranında bir gürültü azalmasının olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.30'da bor karbür katkı oranına göre gürültü değerlerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 4.30. Bor karbür katkı oranına göre gürültü değerleri değişimi

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

5.1. Metalografik Özelliklerin Kesme Parametreleri Üzerine Etkileri

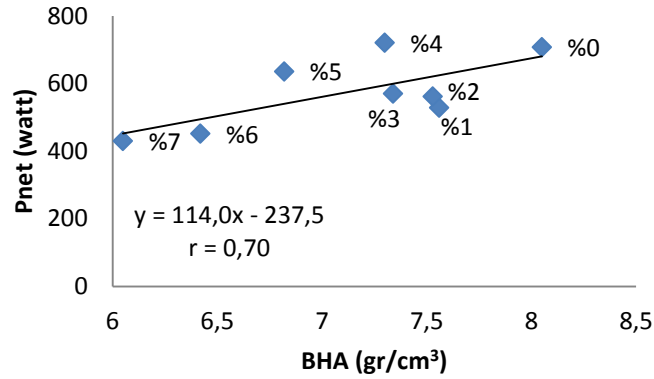
İki değişken arasındaki ilişkinin doğrudan ifadesine korelasyon denir. İki değişken arasındaki ilişkinin yada korelasyon derecesini belirlemek için kullanılan istatistiksel yöntem ise korelasyon analizi denir. Korelasyon analizinde amaç; bağımsız değişken (X) değiştiğinde, bağımlı değişkenin (Y) ne yönde değişeceğini görmektir. Bağımlı değişken tahmin edilen ya da hesaplanan değişkendir. Bağımsız değişken tahmin için kullanılan değişkendir. Korelasyon analizi sonucunda, ilişki olup olmadığı ve varsa bu ilişkinin derecesi korelasyon katsayısı ile hesaplanır. Korelasyon katsayısı " r " ile gösterilir ve -1 ile +1 arasında değerler alır. Korelasyon katsayısı 0,00-0,25 aralığında "Çok Zayıf"; 0,26-0,49 aralığında "Zayıf"; 0,50-0,69 aralığında "Orta"; 0,70-0,89 aralığında "Yüksek", 0,90-1,00 aralığında ise "Çok Yüksek" olarak yorumlanır (Doymuş, 2016).

Çalışmanın bu bölümünde bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketlerin birim hacim ağırlık, porozite, sertlik ve aşınma değeri gibi metalografik özelliklerinin doğal taş kesilebilirlik parametrelerinden net güç tüketimi, özgül kesme enerjisi, özgül aşınma ve gürültü değerleri üzerine etkileri görmek amacıyla korelasyon analizleri gerçekleştirilmiş olup elde edilen korelasyon katsayı (r) değerleri yorumlanmıştır.

5.1.1. Net güç tüketimi ile metalografik özellikler arasındaki ilişkiler

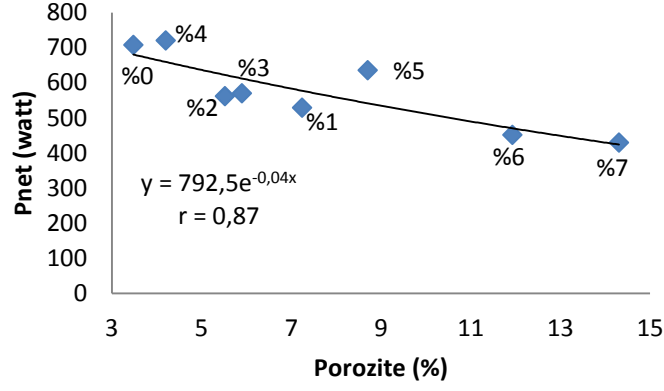
Bor karbür katkısız ve katkılı dairesel testerelerin net güç tüketim değerleri ile soketlerin birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde artan doğrusal 0,70 korelasyon katsayılı anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Şekil 5.1). Soket yoğunluğunun artmasına bağlı olarak net güç değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Bor karbür katkı oranındaki artış değerine bağlı olarak soketlerin BHA değerlerinde düşüş gözlenmiş olup soket matriksinde tam yoğunlaşmanın sağlanamamasına bağlı olarak özellikle % 5-6-7 B₄C oranların da soket sertliği azalmış, % 0-1-2-3-4 B₄C oranlarında ise sertlik artmıştır. Sertlik değerinin

artması ve aşınma değerlerinin azalmasına bağlı olarak yeni elmas tanelerinin ortaya çıkamadığı ve kesme için gereksinim duyulan güç tüketiminin arttığı düşünülmektedir.



Şekil 5.1. Net güç- birim hacim ağırlık ilişkisi

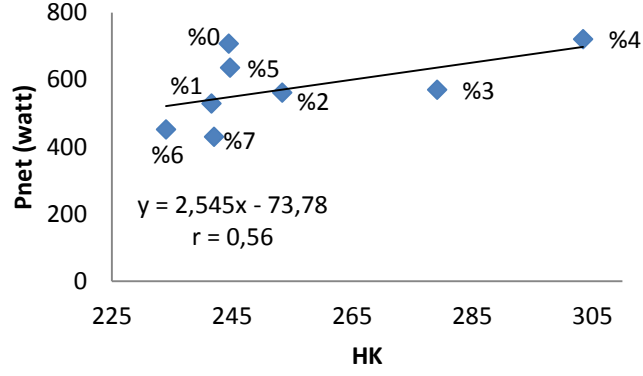
Net güç tüketimi ile porozite değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde negatif üstel bir ilişki olduğu belirlenmiş olup yüksek korelasyon katsayısı ($r=0,87$) elde edilmiştir (Şekil 5.2). Buradan çıkan sonuca göre elmas soket porozitesinin artması ile güç tüketiminin azaldığı belirlenmiştir. B_4C oranının artması ile B_4C ve diğer matriks malzemesi arasındaki ergime noktalarındaki farka bağlı olarak porozitenin arttığı belirlenmiştir. Porozitenin artmasına bağlı olarak soket aşınması artmaktadır. Artan aşınma sonucunda yeni elmas tanelerinin soket yüzeyine çıkması ile kesme işlemini kolaylaştırması ve buna bağlı olarak kesme için gereksinim duyulan net güç tüketiminin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Soket üretimi sonrasında testere kesme veriminin önceden ortaya konulabilmesi açısından elmas soketlerin porozite değerlerinin belirlenmesi ile önemli kesilebilirlik parametrelerinden biri olan güç tüketimini tahmin etmede birim hacim ağırlık değerlerine göre önemli bir metalografik özellik olduğu görülmüştür.



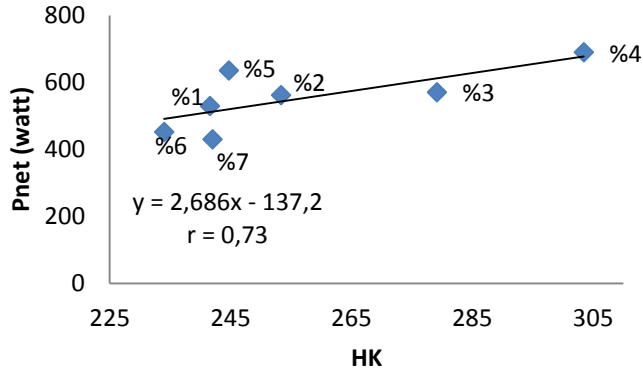
Şekil 5.2. Net güç- porozite ilişkisi

Net güç tüketimi ile elmas soketlerin Knoop Sertlik değerleri arasındaki ilişki B₄C katkısız soket dahil ve hariç olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Her iki ilişkide doğrusal artan bir ilişki olduğu belirlenmiş olup sertlik değerinin artması ile güç tüketiminin de arttığı belirlenmiştir. Bor karbür katkısız soketin dahil edildiği net güç tüketimi-Knoop sertlik (HK) değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0,56 olup orta düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.3.). Ancak Şekil 5.4'te de gözlemlendiği gibi sadece bor karbür katkılı testerelerin net güç tüketimi ile sertlik değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde 0,73 korelasyon katsayısı elde edilmiş olup Şekil 5.3'e göre daha anlamlı bir sonuç elde edilmiştir. Buradan çıkan sonuca göre soketlerin sertlik değerinin de yine güç tüketimini tahmin etmede önemli bir parametre olduğu görülmüştür.

% 0-1-2-3-4 B₄C katkılı soketlerin bağıl yoğunluk değerlerinin % 5-6-7 B₄C katkılı soketlerinkine göre yüksek olmasına bağlı olarak mikro sertlik değerlerinin de yüksek olduğu belirlenmiştir. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'ten de gözlemlendiği üzere özellikle % 2-3-4 B₄C katkılı soketlerin sertlik değerlerinin artmasına bağlı olarak matriks aşınması azalmış ve soket yüzeyine yeni elmasların çıkmasını engellemiştir. Bunun sonucunda kesme işleminde zorlanma olmasına bağlı olarak soketler kesme için daha yüksek enerjiye ihtiyaç duyduğundan dolayı güç tüketiminde artışa sebep olduğu düşünülmüştür.

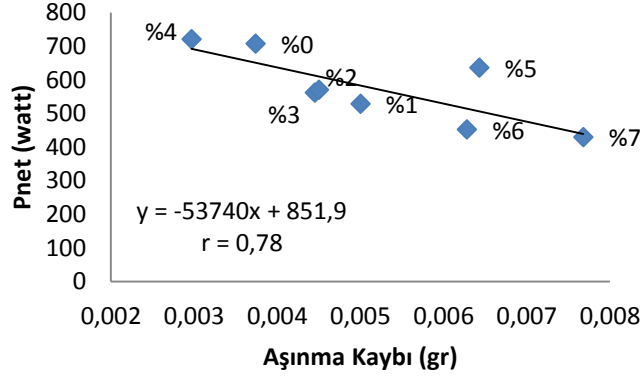


Şekil 5.3. Net güç- Knoop sertlik ilişkisi (% 0 B₄C dahil)



Şekil 5.4. Net güç- Knoop sertlik ilişkisi (%0 B₄C hariç)

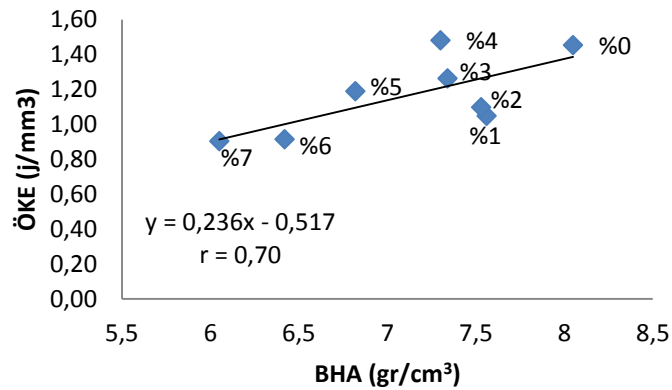
Net güç tüketim değerleri ile aşınma deney seti üzerinde gerçekleştirilen ve ağırlık kaybı olarak belirlenen aşınma miktarı değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde negatif doğrusal bir ilişkinin varlığı belirlenmiş olup yüksek bir korelasyon katsayısı ($r=0,78$) elde edilmiştir (Şekil 5.5). Soketlerdeki aşınma miktarı arttıkça güç tüketiminin azaldığı belirlenmiştir. Şekil 5.5'deki dağılım incelendiğinde sertliği en yüksek olarak belirlenen %4 B₄C katkılı elmas sokette en az olmakla birlikte sertliği azalan %5-6-7 B₄C katkılı soketlerde özellikle %7 B₄C katkılı sokette aşınmanın arttığı gözlenmiştir.



Şekil 5.5. Net güç- aşınma miktarı ilişkisi

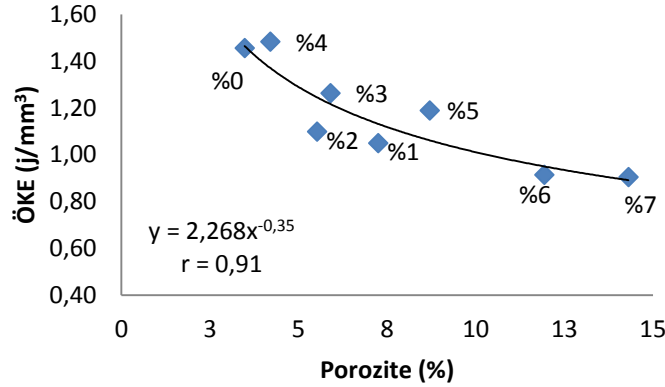
5.1.2. Özgül kesme enerjisi ile metalografik özellikler arası ilişkiler

Bor karbür katkılı ve katkısız elmas soketlerin özgül kesme enerjisi değerleri ile metalografik özellikleri arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiş olup kesme deneyleri öncesinde özgül kesme enerjinin tahmin edilmesinde önemli parametreler olduğu görülmüştür. Özgül kesme enerji ile birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde 0,70 korelasyon katsayılı artan doğrusal bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 5.6). Bor karbür katkı oranındaki artış değerine bağlı olarak soketlerin BHA değerlerinde azalmaların olduğu gözlenmiş olup soket matriksinde tam yoğunlaşmanın sağlanamamasına bağlı olarak özellikle % 5-6-7 B₄C oranların da soket sertliği azalmış, % 0-1-2-3-4 B₄C oranlarında ise sertlik artmıştır. Sertlik değerinin azalması ve aşınma değerlerinin artmasına bağlı olarak soket yüzeyine yeni elmas tanelerinin çıktığı ve kesme için gereksinim duyulan özgül kesme enerjisinin azaldığı düşünülmektedir.



Şekil 5.6. Özgül kesme enerjisi- birim hacim ağırlık ilişkisi

Şekil 5.7’de özgül kesme enerjisi değerleri ile porozite arasında ilişki incelenmiştir. Burada ÖKE-BHA değerleri arasındaki ilişkiye göre yüksek bir korelasyon katsayısı ($r=0,91$) elde edilmiş olup porozitenin özgül kesme enerjisi tahmininde daha etkin bir parametre olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir. Porozite, bir malzemenin mekanik özelliklerini ve mekanik aşınma davranışlarını etkilemektedir. Porozitenin artmasına bağlı olarak malzemenin dayanımı azalır ve buna bağlı olarak matriksin aşınma miktarı da artar. Özellikle % 5-6-7 B₄C katkılı soketlerin porozite değerlerindeki artışa bağlı olarak aşınma miktarının artması ve yeni elmaslar tanelerinin soket yüzeyine çıkması ile kesme işlemini kolaylaştırmasından dolayı özgül kesme enerjisi değerlerinin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

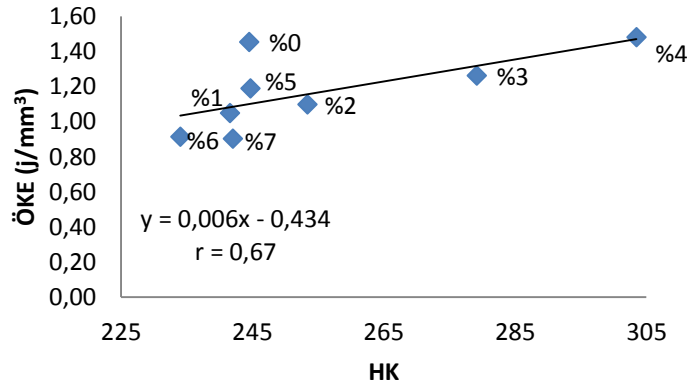


Şekil 5.7. Özgül kesme enerjisi- porozite ilişkisi

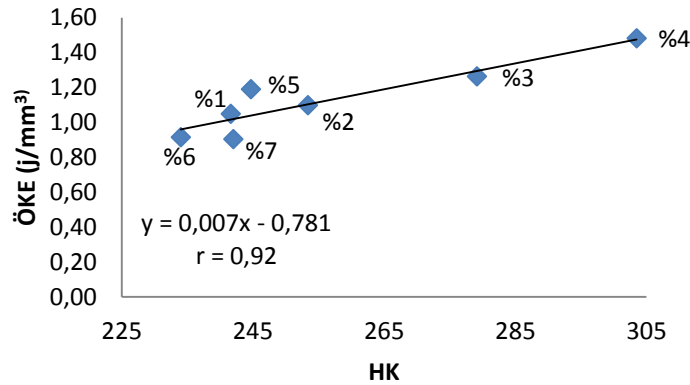
Özgül kesme enerjisi değerleri ile Knoop sertlik (HK) değerleri Şekil 5.8’de bor karbür katkısız soket verileri dahil ve Şekil 5.9’da bor karbür katkısız soket verileri hariç olmak üzere iki şekilde incelenmiştir. Her iki şekilde de özgül kesme enerjisi ve sertlik değerleri arasında artan doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür. Şekil 5.8’de 0,67 gibi orta düzeyde bir ilişki Şekil 5.9’da ise 0,92 korelasyon katsayısı ile çok yüksek bir ilişki elde edilmiştir.

Uygun olarak yoğunlaşan matriks-elmas karışımıyla matris bileşimine bağlı olarak en yüksek sertlik değeri elde edilir. % 0-1-2-3-4 B₄C katkılı soketlerin bağlı yoğunluk değerlerinin % 5-6-7 B₄C katkılı soketlere göre yüksek olmasına bağlı olarak mikro sertlik değerlerinin de yüksek olduğu belirlenmiştir. Şekil 5.8 ve

Şekil 5.9'da da görüldüğü üzere özellikle % 2-3-4 B₄C katkılı soketlerin sertlik değerlerinin artmasına bağlı olarak matriks aşınması azalmakta ve soket yüzeyine yeni elmasların çıkmasını engellemektedir. Bunun sonucunda soketler kesme için daha yüksek enerjiye ihtiyaç duyduğundan dolayı özgül kesme enerjisi değerlerinde artışa sebep olduğu düşünülmektedir.



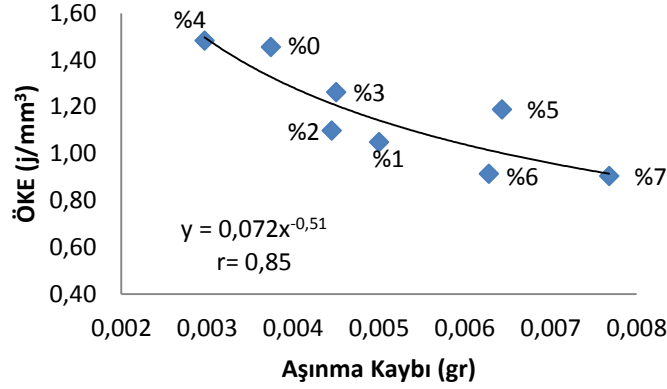
Şekil 5.8. Özgül kesme enerjisi - Knoop Sertlik ilişkisi (% 0 B₄C dahil)



Şekil 5.9. Özgül kesme enerjisi - Knoop Sertlik ilişkisi (%0 B₄C hariç)

Özgül kesme enerjisi değerleri ile aşınma deneyi sonucunda ağırlık kaybı (gr) olarak elde edilen aşınma miktarı değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde üstel azalan yüksek korelasyon değeri ($r=0,85$) olan bir ilişki elde edilmiştir. Şekil 5.10 incelendiğinde aşınma miktarı arttıkça özgül kesme enerjisinin azaldığı görülmektedir. Soket sertliği arttıkça matriks yüzeyinden parça kopması zorlaşmaktadır. Kesim esnasında matriks ile elmas aynı oranda aşınmayıp elmas körleşmekte ve soketler kesme için daha yüksek enerjiye ihtiyaç duymaktadır.

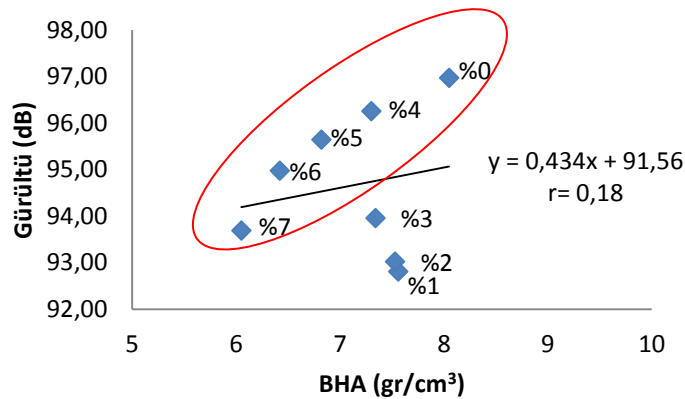
Şekil 5.10'da ki dağılım incelendiğinde Knoop Sertliği en yüksek olarak belirlenen %4 B₄C katkılı elmas sokette aşınmanın en az olduğu görülmekle birlikte sertliği azalan %5-6-7 B₄C katkılı soketlerde özellikle %7 B₄C katkılı sokette aşınmanın artmasına bağlı olarak özgül kesme enerjisinde azalmanın olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.10. Özgül kesme enerjisi - aşınma kaybı ilişkisi

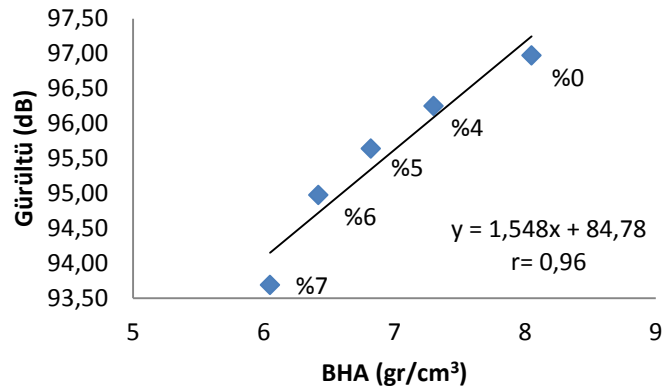
5.1.3. Gürültü seviyesi ile metalografik özellikler arası ilişkiler

Kesme deneyleri sonucunda elde edilen gürültü seviyeleri ile soket metalografik özelliklerinden birim hacim ağırlık, sertlik ve porozite değerleri arasında ilişkiler incelenmiştir. Şekil 5.11'de gürültü ve birim hacim ağırlık arasındaki ilişki incelendiğinde anlamlı bir korelasyon değeri elde edilememiştir. Ancak grafik üzerinde belirtilen alan içerisinde kalan noktaların dağılıma göre bir ilişkinin varlığından söz edilebilir.



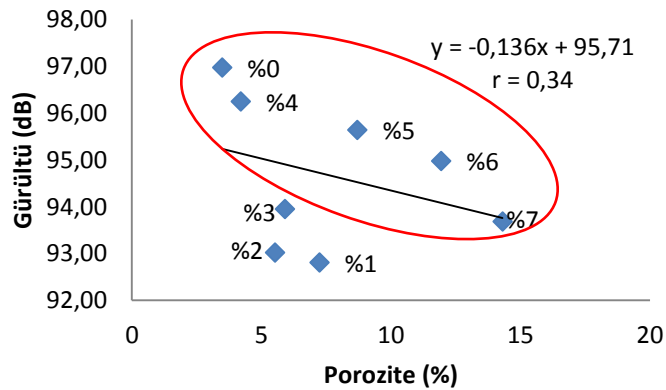
Şekil 5.11. Gürültü- birim hacim ağırlık

Şekil 5.12’de yukarıda belirtilen alan içerisinde kalan % 0-4-5-6-7 B₄C katkıli dairesel testerelerin gürültü ve birimi hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. % 0-4-5-6-7 B₄C katkıli soketlerin birim hacim ağırlık değerlerinin artan bor karbür oranı ile azaldığı belirlenmiştir. Azalan birim hacim ağırlık değerleri ile aşınma değerleri artmış ve soket yüzeyine yeni elmas tanelerinin çıkması ile kesme işlemi kolaylaşmıştır. Kesilebilirlik parametrelerinden biri olan gürültü değerlerinin soket birim hacim ağırlık değerlerinin artması ile zorlaşan kesme işlemine bağlı olarak arttığı belirlenmiş olup çok yüksek korelasyon katsayılı ($r=0,96$) doğrusal bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.



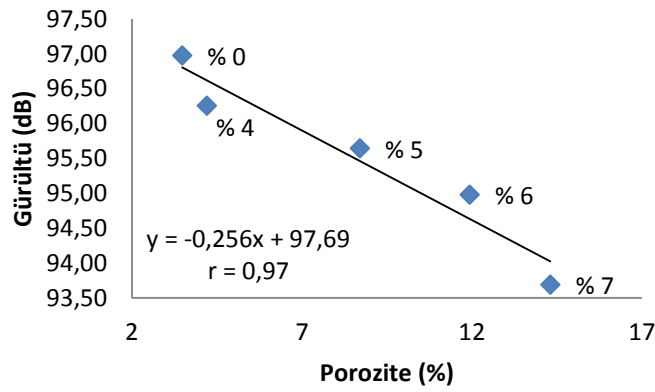
Şekil 5.12. Gürültü- birim hacim ağırlık (% 0-4-5-6-7 B₄C) ilişkisi

Şekil 5.13’te gürültü ve porozite arasındaki ilişki incelendiğinde anlamlı bir korelasyon değeri elde edilememiştir. Ancak şekil üzerinde işaretli alan içerisindeki noktalar dikkate alındığında bir ilişkinin varlığından söz edilebilir.



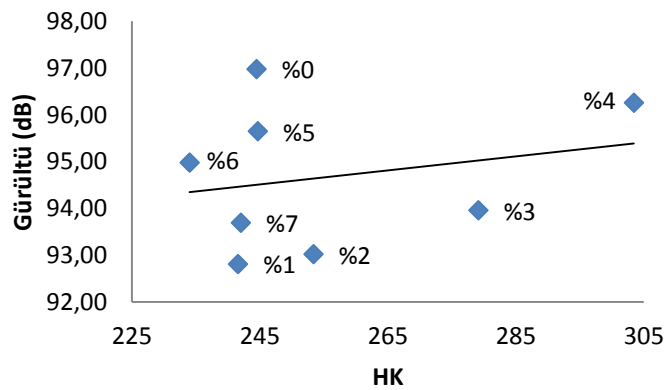
Şekil 5.13. Gürültü- porozite ilişkisi

Şekil 5.14'te %0-4-5-6-7 B₄C katkıli soketlerin gürültü ve soket porozite değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Gürültü ve soket porozite değerleri arasında çok yüksek korelasyon katsayılı negatif doğrusal bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Artan bor karbür oranı ile soket yapısında meydana gelen porozitenin artmasına bağlı olarak soket aşınma değerleri artmış ve soket yüzeyine çıkan yeni elmas tanelerinin etkisi ile kesme işleminin kolaylaşmasına bağlı olarak gürültü değerlerinin azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.14. Gürültü- porozite (%0-4-5-6-7 B₄C) ilişkisi

Şekil 5.15'te gürültü ile Knoop sertlik değerleri arasında ilişki incelendiğinde anlamlı bir sonuç elde edilememiştir.

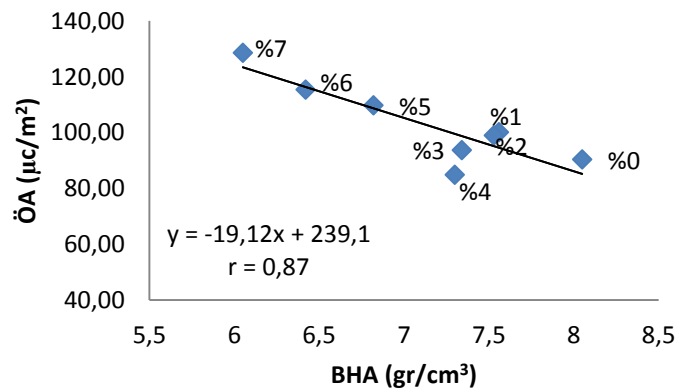


Şekil 5.15. Gürültü- Knoop sertlik ilişkisi

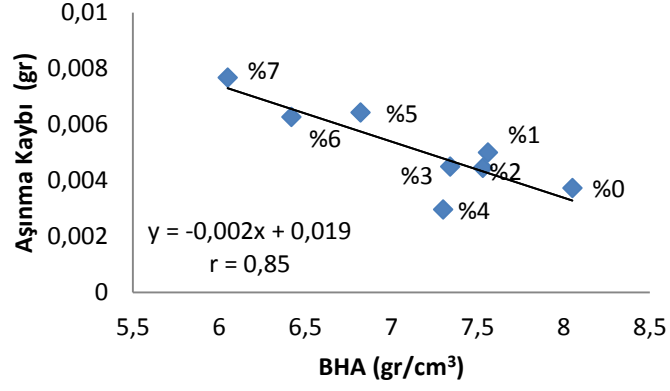
5.1.4. Özgöl aşınma ve ağırlıkça aşınma kaybı ile metalografik özellikler arasındaki ilişkiler

Bor karbür katkısız ve katkılı soketlerin birim hacim ağırlık, porozite ve sertlik değerleri ile aşınma deneyinden elde edilen ağırlık kaybına göre belirlenen aşınma miktarı değerleri ile kesme deneyleri sonucunda elde edilen özgöl aşınma değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Her iki aşınma değeri ile metalografik özellikler arasında benzer şekilde yüksek ve çok yüksek korelasyon katsayılı ilişkiler elde edilmiştir.

Bor karbür katkısız ve katkılı soketlerin birim hacim ağırlık, porozite, sertlik değerleri ile kesme deneyleri sonucunda elde edilen özgöl aşınma ve aşınma miktarı değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Şekil 5.16-5.17 incelendiğinde özgöl aşınma ve aşınma miktarı değerleri ile birim hacim ağırlık değerleri arasında azalan doğrusal bir ilişkinin varlığı belirlenmiş olup yüksek korelasyon katsayıları ($r=0,87$; $r=0,85$) elde edilmiştir. Soketlerin birim hacim ağırlık değerlerinin artması ile doluluk oranları artarak aşınmaya karşı direnç kazanmış ve aşınma değerleri azalmıştır. Özellikle %5-6-7 B₄C katkılı soketlerin bağül yoğunluk değerlerindeki azalışa bağül olarak %0-1-2-3-4 B₄C katkılı soketlere göre daha yüksek aşınma miktarlarının olduğu görülmüştür.

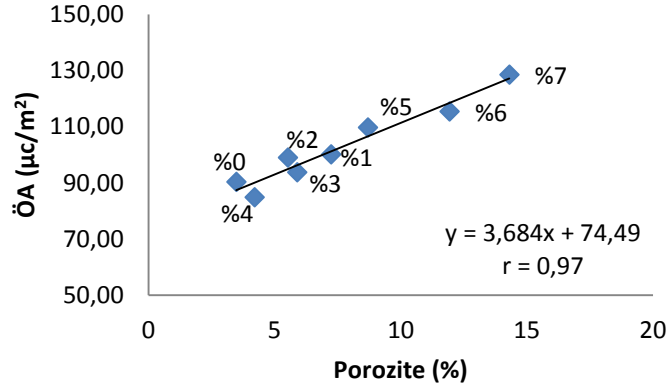


Şekil 5.16. Özgöl aşınma- birim hacim ağırlık ilişkisi

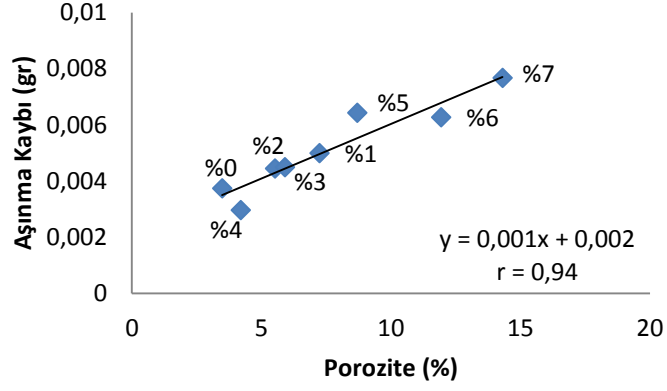


Şekil 5.17. Aşınma kaybı- birim hacim ağırlık ilişkisi

Şekil 5.18-5.19 incelendiğinde özgül aşınma ve aşınma miktarı değerleri ile porozite değerleri arasında artan doğrusal bir ilişki olup çok yüksek korelasyon katsayıları ($r=0,97$; $r=0,94$) elde edilmiştir. Porozitenin artmasına bağlı olarak soket sertliğinin azalması ile soket yüzeyinden parça kopması artmış olup özgül aşınma değerlerinde de artış gözlemlenmiştir. Özellikle %5-6-7 B₄C katkılı soketlerin porozite değerlerindeki artışa bağlı olarak soketlerin aşınma değerlerinin %0-1-2-3-4 B₄C katkılı soketlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

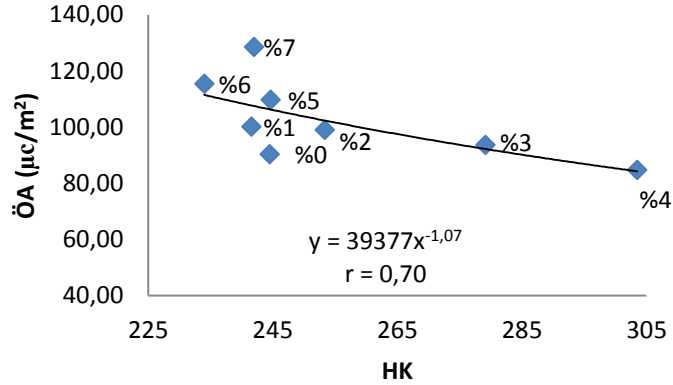


Şekil 5.18. Özgül aşınma- porozite ilişkisi

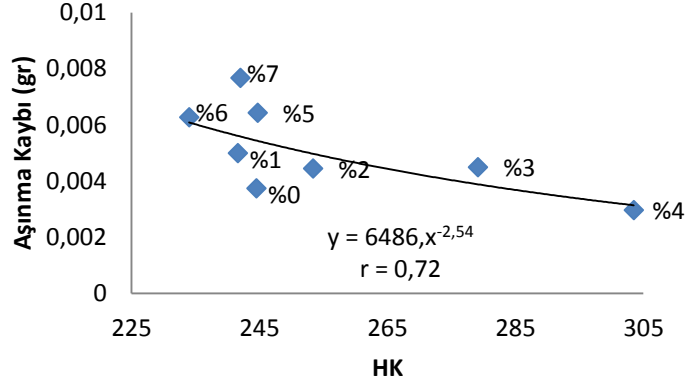


Şekil 5.19. Aşınma kaybı-porozite ilişkisi

Şekil 5.20-5.21 incelendiğinde özgül aşınma ve aşınma miktarı değerleri ile Knoop Sertlik (HK) değerleri arasında üstel azalan ilişkilerin olduğu belirlenmiş olup 0,70 ve 0,72 gibi anlamlı korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Aşınma miktarında azalmanın sebebinin sertlik değerlerinin artmasına bağlı olarak matriks yüzeyinden parça kopmasının zorlaşmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Şekil 5.20 ve şekil 5. 21 'de görüldüğü üzere sertlik değerleri yüksek olan %3 ve %4 B₄C katkılı soketlerin aşınma değerlerinin diğer soketlere göre düşük olduğu belirlenmiştir.



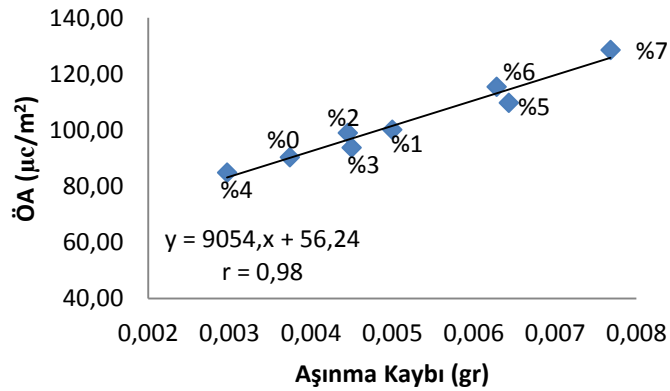
Şekil 5.20. Özgül aşınma- Knoop sertlik ilişkisi



Şekil 5.21. Aşınma kaybı - Knoop sertlik ilişkisi

Kesme deneyleri sonrasında belirlenen özgül aşınma değerleri ile ağırlıkça aşınma kaybı değerleri arasındaki ilişki incelemiş olup oldukça yüksek korelasyon katsayılı ($r=0,98$) doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Şekil 5.22’de özgül aşınma- aşınma kaybı ilişkisi verilmiştir. Her iki değişken arasında yüksek korelasyon katsayılı ($r=0,98$) doğrusal bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Kesme çalışmaları öncesinde soketler üzerinde gerçekleştirilecek ağırlıkça aşınma kaybı deneyleri ile özgül aşınma değerlerinin tahmin edilebileceği belirlenmiştir.



Şekil 5.22. Özgül aşınma- aşınma kaybı ilişkisi

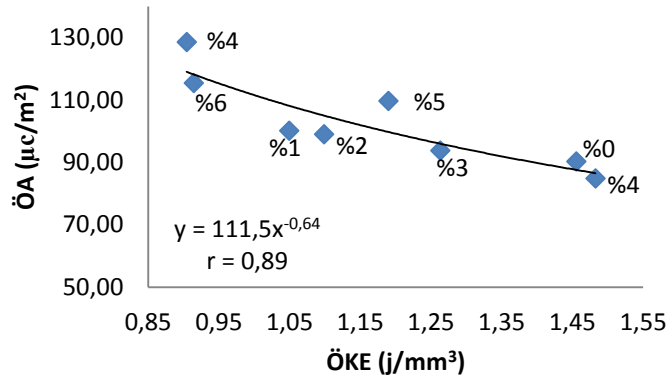
Diğer kesme parametrelerine göre soketlerin birim hacim ağırlık, porozite, sertlik ve ağırlıkça aşınma kaybı gibi metalografik özelliklerin özgül aşınma değerleri ile yüksek oranda ilişkili olduğu belirlenmiş olup kesme çalışmaları

öncesinde bu değerlerin belirlenerek testerelerin özgül aşınma değerlerinin tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

5.2. Özgül Aşınma ve Özgül Kesme Enerjisi Arasındaki İlişki

Doğal taş işleme tesislerinde, enerji tüketiminin yanı sıra testere ömrü de önemli maliyet kalemleri arasındadır. Bu nedenle, herhangi bir uygulama için en uygun çalışma koşullarının belirlenmesi istenildiğinde, testerenin özgül aşınma değerlerinden yararlanılabilmektedir (Yılmaz, 2009).

Çalışma kapsamında da özgül kesme enerjisi ve özgül aşınma arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla basit regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.23’de özgül aşınma ve özgül kesme enerjisi arasındaki ilişki incelendiğinde yüksek korelasyon katsayılı ($r=0,89$) üstel azalan bir ilişki elde edilmiştir. Soketlerin sertlik değerlerinin artmasına bağlı olarak matriks yüzeyinden parça kopmasının azalması ile aşınma azalmıştır. Aşınmanın azalmasına bağlı olarak yeni elmaslar yüzeye çıkamadığından dolayı kesme verimini düşürerek özgül kesme enerjisi değerlerinin artmasına sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.23. Özgül aşınma- özgül kesme enerjisi ilişkisi

5.3. Bor Karbür Katkısız ve Katkılı Dairesel Testerelerin Maliyet Analizi

Doğal taş kesme işlemlerinde kesici takım maliyeti ve kesici takım kesme verimi metrekare başına düşen birim maliyeti etkilemektedir. Doğal taş kesme işlemleri

için üretilen elmas soketlerde kullanılan hammaddelerin yurt dışından temin edilmesinden dolayı kesici takım maliyetlerinin azaltılması gerek soket üreticileri gerekse doğal taş işleme tesisleri açısından önemli olmaktadır.

Çalışmada kullanılan bor karbür yerli üretim olup proje kapsamında BM Bor Teknolojileri firmasından temin edilmiştir. Soket üretiminde kullanılan bor karbür, diğer matriks tozları ve elmasın birim fiyatları ile menşeleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelge 5.1 elmas soket üretimi gerçekleştirilen firmadan alınan bilgiler ile oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1. Çalışmada kullanılan bor karbür, diğer matriks tozları ve elmasın birim fiyatları ile menşeler

Elmas soket malzemeleri	Fiyat	Menşei
Kobalt	60 €/kg	Belçika
Nikel	30 €/kg	Belçika
Bronz	15 €/kg	Fransa
Elmas	0,45 \$/ karat	İngiltere
Bor karbür	750 TL/kg	Türkiye

Çalışma kapsamında bor karbür katkısız ve katkılı soketlerde kullanılan matriks tozu ve elmas oranlarına göre Çizelge 5.1’ de verilen bilgiler ışığında işçilik ve diğer üretim maliyetleri göz ardı edilerek sadece matriks toz bileşimi ve testere sac maliyet değerleri kullanılarak, birim soket ve 25 adet soketten oluşan 350 mm’lik dairesel testere maliyetleri belirlenmiştir (Çizelge 5.2).

Ülkemizde doğal taş sektöründe granit üretimi gerçekleştiren firmalarla yapılan görüşmeler neticesinde granit kesiminde kullanılan 350 mm’lik dairesel testerelerin yaklaşık ömrünün 25 m² olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında bor karbür katkılı dairesel testerelerin fabrika ortamında tahmini kesim ömrünü belirlemek amacıyla referans olarak kabul edilen bor karbür katkısız dairesel testerenin ömrü 25 m² olarak alınmış ve Bölüm 4.4.3’te verilen bor karbür katkı oranına göre özgül aşınma değişim (Şekil 4.14) değerleri kullanılarak bor karbür katkılı dairesel testerelerin tahmini kesim ömürleri belirlenmiştir. Tahmini kesim ömürleri belirlenmesi sonrasında bor karbür katkısız ve katkılı dairesel

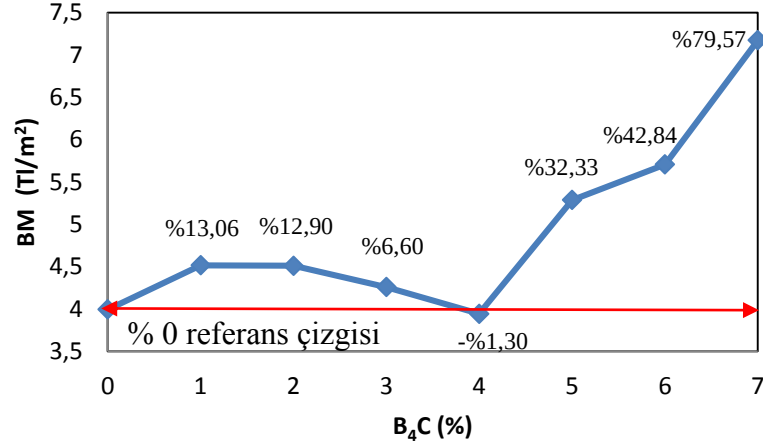
testerelerin birim m² başına düşen maliyetleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 5.2.'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Birim soket, 350 mm'lik dairesel testere ve tahmini birim m² maliyetleri

% B ₄ C	Birim soket fiyatı (TL)	350 mm'lik Testere fiyatı (TL) (25 adet soket+ sac)	Tahmini kesim ömrü (m ²)	Birim m ² maliyet (BM) (TL/m ²)	Değişim %
0	2,396	99,90	25	3,996	-
1	2,427	100,68	22,29	4,5177	13,055
2	2,480	102,01	22,61	4,5117	12,90
3	2,500	102,50	24,06	4,2598	6,60
4	2,614	105,36	26,72	3,9439	-1,30
5	2,555	103,87	19,64	5,2880	32,333
6	2,5245	103,10	18,06	5,7080	42,84
7	2,5435	103,58	14,43	7,1758	79,57

Çizelge 5.2 incelendiğinde en düşük maliyetin B₄C katkısız dairesel testerede olduğu belirlenmiştir. Diğer matriks tozlarına göre B₄C'ün kg fiyatının yüksek olmasına bağlı olarak artan B₄C oranı ile testere maliyetinin arttığı görülmüştür. En yüksek maliyetin ise % 7 B₄C katkılı dairesel testerede olduğu belirlenmiştir. Soket üreten firmaların B₄C katkılı soket imal etmeleri durumunda projeye göre daha fazla miktarda B₄C temin edeceklerinden dolayı B₄C birim fiyatının düşeceği bunun sonucunda da birim soket maliyetlerinin tez çalışması kapsamında belirlenen maliyetlerden daha az olacağı düşünülmektedir.

B₄C oranının artması ile her ne kadar testere maliyeti artmış olsa da %4 B₄C katkılı dairesel testerenin en yüksek sertlik değerine de bağlı olarak özgül aşınma değeri azalmış ve soket ömrü artmıştır. Her bir m² üretim miktarı için hesaplanan birim maliyet değerlerinde en düşük değer % 4 bor karbür katkılı dairesel testerede elde edilmiştir. Şekil 5.24'de bor karbür oranına göre birim m² maliyet (BM) değişimi verilmiştir.

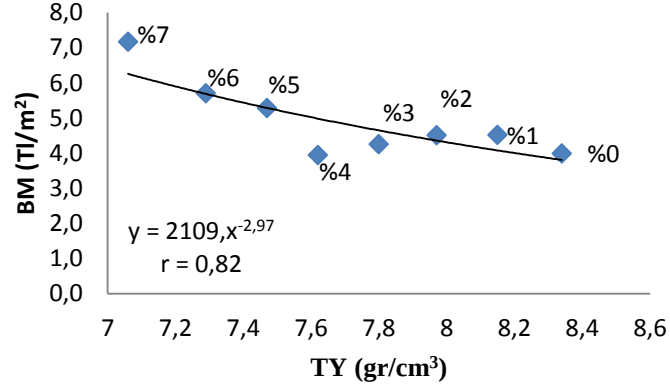


Şekil 5.24. Bor karbür oranına göre birim maliyet değişimi

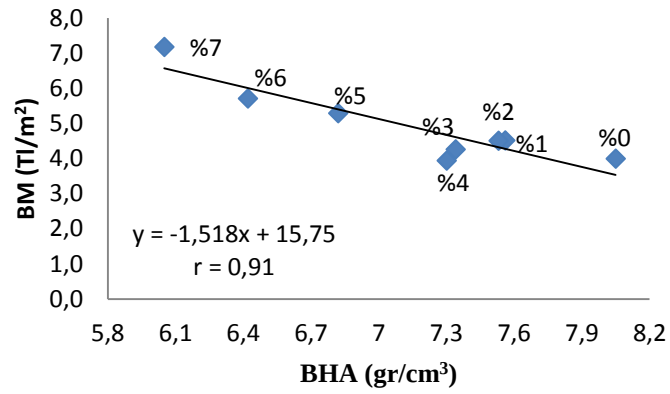
5.4. Dairesel Testere Birim Maliyet ile Metalografik Özellikler Arasındaki İlişkiler

Çalışma kapsamında doğal taş kesme işlemleri öncesinde özellikle fizibilite çalışmalarında m² başına düşen testere maliyetinin tahmin edilmesi amacıyla elmas soketlerin metalografik özellikleri ile birim maliyet arasındaki ilişkiler incelenmiş olup anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’da sırasıyla birim maliyet ile soketlerin teorik yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiş olup yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Birim maliyeti tahmininde birim hacim ağırlık değerlerinin teorik yoğunluk değerlerine göre daha anlamlı olduğu görülmüştür. Her iki şekilde de yoğunluk miktarının artmasına bağlı olarak birim maliyetin azaldığı belirlenmiştir.

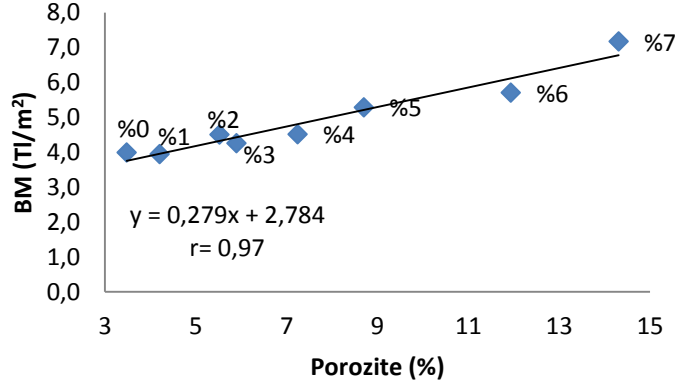


Şekil 5.25. Birim maliyet- teorik yoğunluk ilişkisi



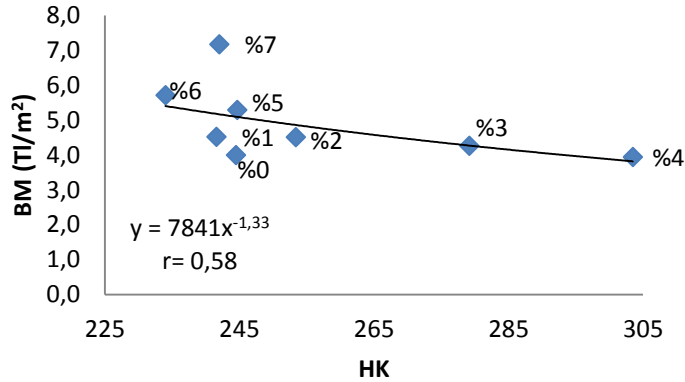
Şekil 5.26. Birim maliyet - birim hacim ağırlık ilişkisi

Şekil 5.27’de birim maliyet ile porozite değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Porozite değerlerinin artmasına bağlı olarak soket yüzeyinden parça kopması artmış ve yüksek oranda aşınma gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda da birim maliyet değerleri artmıştır. Birim maliyet değerleri ile porozite arasında diğer metalografik özelliklere göre yüksek korelasyonlu ($r=0,97$) bir ilişki elde edilmiş olup birim maliyet tahmininde daha etkin bir parametre olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.



Şekil 5.27. Birim maliyet- porozite ilişkisi

Şekil 5.28’ de birim maliyet değerleri ile Knoop sertlik değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Birim maliyet ve sertlik arasındaki ilişki diğer metalografik özellikler arasındaki ilişkilere göre görece daha düşük olmasında karşın 0,58 korelasyon katsayılı üstel azalan bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Sertlik değerlerinin artmasına bağlı olarak aşınma azalmış ve birim maliyet değerlerinde azalma meydana gelmiştir.



Şekil 5.28. Birim maliyet- Knoop sertlik ilişkisi

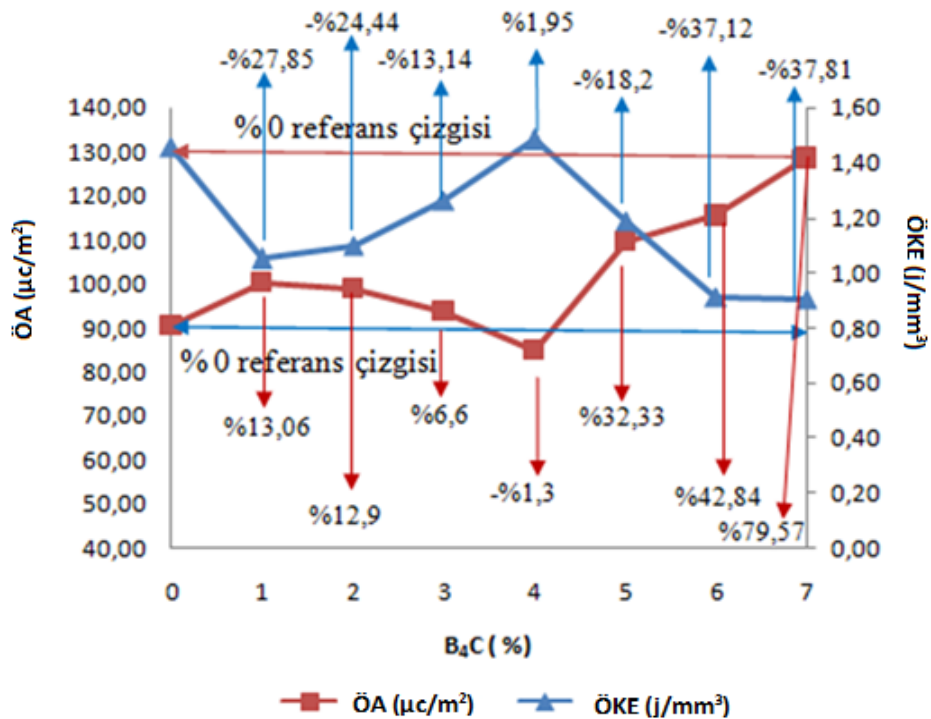
5.5. Bor Karbür Katkısının İşletmenin Enerji ve Testere Maliyeti Üzerine Etkisinin Tahmin Edilmesi

Doğal taş kesme işlemlerinde enerji ve testere maliyeti önemli maliyet kalemleri arasındadır. Bu iki kalemde iyileşmelerin sağlanması ülkemiz doğal taş

sektörünü, dünya doğal taş sektörünün zorlu rekabet şartlarında daha güçlü kılacaktır.

Doğal taş işletmeleri, kesme performansı yüksek, uzun ömürlü, az enerji tüketen ve ekonomik elmas kesicileri talep etmektedir. Soket üreticilerinin ise, bu özelliklerin hepsini bir anda sağlaması mümkün görünmemektedir (Aslantaş vd. 2009).

Bu çalışma kapsamında da elmas soketlere bor karbür katkısının kesme verimine etkisinin gözlemlenmesinin yanı sıra çalışmanın ana amaçlarından biride bor karbür oranındaki değişime göre elde edilen özgül aşınma ve özgül kesme enerjisi değerlerinin minimum noktalarını belirleyerek işletme maliyetlerini azaltılması noktasında da uygun değer bor karbür oranının belirlenmesi amaçlanmıştır. Şekil 5.29'da bor karbür katkı oranına göre özgül aşınma ve özgül kesme enerjisi dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.29. Bor karbür katkı oranına göre özgül aşınma ve özgül kesme enerjisi dağılımları ile değişim oranları

Tez çalışmaları kapsamında sektörde hizmet veren ve sadece dairesel testereler ile sert taş üretimi gerçekleştiren bir firmanın yetkili kişisi ile gerçekleştirilen görüşmede tesisin aylık enerji maliyetinin 30000 TL, testere maliyetinin ise 35000 TL olduğunu belirtmiştir. İşçilik ve diğer gider kalemleri arasında enerji ve testere maliyeti işletmenin % 65 gibi çok yüksek miktarda bir gider kalemini oluşturmaktadır.

Şekil 5.30'da verilen bor karbür katkılı testerelerin bor karbür katkısız referans dairesel testereye göre özgül kesme enerjisi ve özgül aşınmadaki değişim oranlarına bağlı olarak yukarıda belirtilen tesisin bor karbür katkılı testere kullanılması durumunda hem testere hem de enerji maliyetlerinin belirlenerek işletmenin toplam aylık maliyetlerindeki değişim miktarları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Bor karbür katkılı testere kullanılması durumunda işletme aylık toplam enerji ve testere maliyeti değişim miktarı tahmini

%B ₄ C	Özgül aşınma değişim oranı (%)	Testere maliyeti (TL)	Özgül kesme enerjisi değişim oranı (%)	Enerji maliyeti (TL)	İşletme aylık toplam enerji ve testere maliyeti (TL)	Maliyet değişimi (%)
0	-	35000	-	30000	65000	-
1	13,06	39569,25	-27,85	21645,00	61214,25	-5,82
2	12,9	39515	-24,44	22668,00	62183	-4,33
3	6,6	37310	-13,14	26058,00	63368	-2,51
4	-1,3	34545	+1,95	30585,00	65130	+0,20
5	32,33	46316,55	-18,2	24540,00	70856,55	+9,01
6	42,84	49994	-37,12	18864,00	68858	+5,94
7	79,57	62849,5	-37,81	18657,00	81506,5	+25,39

Çizelge 5.3'te görüldüğü üzere işletme % 1-2-3 bor karbür katkılı testere kullanması durumunda tasarruf sağlayacağı görülmektedir. % 4 bor karbür katkılı dairesel testerelerin özgül aşınmasının düşük olmasına bağlı olarak testere birim m² maliyetinin en az olmasına karşın özgül kesme enerjisi tüketiminin diğer testerelere göre yüksek olmasından dolayı toplam maliyeti bor karbür katkısız ve % 1-2-3 bor karbür katkılı dairesel testerelere göre yüksek olduğu belirlenmiştir. % 4 ve sonrasındaki bor karbür oranlarda ise işlemin tamamen ekonomikliğini kaybettiği görülmüştür.

Yukarıda hesaplanan veriler ışığında gerek işletme ve ülke ekonomisine sağlayacağı katkı gerekse insan sağlığı açısından en düşük gürültü seviyesine sahip olmasından dolayı % 1 B₄C katkılı dairesel testerenin kullanılmasının daha doğru olacağı görülmektedir.

% 2 ve % 3 bor karbür oranlarının bor karbür katkısız referans testereye göre işletme maliyetlerinin ekonomik olması aynı zamanda düşük gürültü seviyeleri de göz önünde bulundurulduğunda tercih edilebilecekleri görülmektedir.

Ancak bundan sonraki çalışmalarda % 1-2-3 oranlarındaki bor karbür katkılı testerelerin farklı kesim şartlarındaki (farklı kesme hızlarında ve farklı çevresel hızlarda) göstereceği performansların belirlenmesi ve elde edilen verilere göre uygun değer bor karbür oranının belirlenmesinin daha doğru olacağı düşünülmüştür.

5.6. Sonuçlar

Dayanımının yüksek olması, çok iyi cila kabul etmesi ve parlaklığını uzun süre koruması ile farklı mineral çeşitliliğine bağlı olarak sahip olduğu estetik görünümü granite olan ilgiyi gün geçtikçe artırmaktadır. Ancak granit türü sert taşların ebatlama işlemleri, karbonatlı kayaçların ebatlama işlemleri ile kıyaslandığında kesme verimleri düşük ve testere tüketimleri yüksektir.

Ülkemizde ve dünyada özellikle granit türü sert doğal taşların kesme işlemlerinde kullanılan soketlerin ömürlerinin kısa sürede tükenmesi ve buna bağlı olarak birim metrekare başına düşen üretim maliyetinin artması önemli bir sorun oluşturmaktadır.

Soketin iki ana yapısı olan matriks ve elmas arasındaki bağı kuvvetlendirmek ve matriksin aşınma dayanımı arttırmak için matrikse karbürler ilave edilmektedir. Yüksek sertliği ve buna bağlı olarak aşınma dayanımı arttırması nedeni ile elmas ve kübik bor nitrürden sonra en sert malzeme olarak bilinen bor karbür soket matriksinde kullanılmaya başlamıştır.

Bu çalışma da öncelikle doğal taş kesme işleminde kullanılan elmas soketlerin matriks kompozisyonuna bor karbür takviyesi ile elmas soketin aşınmaya karşı direncinin arttırılması amaçlanmış olup bunun yanı sıra güç tüketimi, özgül kesme enerjisi ve gürültü gibi kesilebilirlik parametrelerinin de belirlenerek kesme verimlerinin ortaya konulması hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle çalışma kapsamında bir adedi bor karbür katkısız (% 0 B₄C) referans dairesel testere olmak üzere 7 adedi farklı bor karbür oranında (% 1-2-3-4-5-6-7 B₄C) 350 mm çapında 8 adet dairesel testere üretilmiştir. Dairesel testere etrafına kaynaklanan soketler haricinde fazladan üretilen her bir grup bor karbür katkısız ve katkılı soketlerin teorik yoğunlukları, birim hacim ağırlıkları, porozite, Knoop sertlik değerleri ile ağırlıkça aşınma gibi metalografik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca numunelerin kırık yüzeylerinden de SEM analizleri gerçekleştirilerek mikro yapısal özellikleri ortaya konulmuştur.

Çalışma ile edilen veriler ışığında varılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Gerçekleştirilen kesme deneyleri sonunda bor karbür katkılı soketlerin aşınma ömrü, özgül kesme enerjisi ve gürültü değerlerine üzerine olumlu etkileri olup **doğal taş sektöründe kullanılabilirliği belirlenmiştir. % 1 bor karbür katkılı soketler kullanılması durumunda yaklaşık % 5,82 oranında enerji tasarrufu elde edilmiştir. Ülkemizdeki enerji maliyetleri göz önüne alındığında dairesel testere ile ebatlama işlemi gerçekleştiren yaklaşık 1500 fabrika ve 3000 mermer atölyesinde anlamlı oranda enerji tüketiminin azaltılması gerek sektöre gerekse ülke ekonomisine büyük katkılar sağlayacak olup dünya doğal taş sektöründe ülkemizi daha rekabetçi hale getireceği düşünülmektedir.**

- İşletme ve ülke ekonomisine sağlayacağı katkının yanı sıra nispeten de olsa % 4,3'lük azalan gürültü seviyesi ile çalışma koşullarının iyileştirilmesine bağlı olarak gerek işçi sağlığı ve güvenliği açısından gerekse iş verimi üzerindeki olumlu etkileri göz önüne alındığında en düşük gürültü seviyesine sahip olmasından dolayı **% 1 B₄C katkılı dairesel testerenin kullanılmasının doğal taş sektörüne ayrıca bir katkısı olacağı düşünülmüştür.**

- % 2 ve % 3 bor karbür katkılı soketlerin bor karbür katkısız referans testereye göre işletme maliyetlerinin ekonomik olması aynı zamanda düşük gürültü seviyelerine sahip olmaları da göz önünde bulundurulduğunda tercih edilebilecekleri görülmektedir.
- Bundan sonra gerçekleştirilecek çalışmalarda uygun sinterleme şartlarında üretilen **% 0,5-1,5-2,5 oranlarındaki** bor karbür katkılı testerelerin farklı kesim şartlarındaki (farklı kesme hızlarında ve farklı çevresel hızlarda) göstereceği performansların belirlenmesinin yanı sıra maliyet değerleri de göz önünde bulundurularak elde edilecek verilere göre **uygun değer bor karbür oranının** belirlenmesinin daha doğru olacağı düşünülmüştür.
- Bor karbür miktarının artması ile birim hacim ağırlığın azaldığı belirlenmiştir. Bu durum matriks içerisinde kullanılan kobalt (8,90 gr/cm³), nikel (8,85 gr/cm³) ve bronz (8,60 gr/cm³) göre bor karbür yoğunluğunun (2,52 gr/cm³) düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Rahimian vd., 2009, Islak vd., 2012).
- **Bor karbür katkısının poroziteyi arttırdığı gözlemlenmiştir.** Porozite oranının artması bor karbür ve diğer matriks malzemesi ara yüzeyindeki bağlanmanın ergime noktaları arasındaki farka bağlı olarak sağlam olmadığını ve soket yüzeyinde boşluklara neden olduğu öngörülmektedir. Gerçekleştirilen SEM analizleri sonucunda da porozitenin arttığı gözlemlenmiştir.
- SEM analizleri sonrasında % 4 bor karbür takviyesinden sonraki %5-6-7 bor karbür takviyeli soket matrikslerin de kaba taneli bir yapının olduğu gözlenmiş olup zayıf bağlanmanın olduğu belirlenmiştir. Bu durumun sinterleme şartlarından da kaynaklanabileceği düşünülmektedir. **Sinterleme süresi, basıncı ve sıcaklığı gibi sinterleme parametrelerinin artan her bir bor karbür takviye oranına göre optimize edilerek daha homojen bir matriks yapının elde edilebileceği düşünülmektedir.**
- SEM analiz görüntülerinden de gözlemlendiği üzere düzgün bir matriks yapısına sahip olmasına bağlı olarak en yüksek sertlik değerlikli % 4 bor karbür

katkılı elmas soketin aşınma deneyleri sonucunda diğer soketlere göre aşınmaya karşı daha yüksek direnç gösterdiği belirlenmiştir.

- Matrikste kullanılan diğer tozlar ile bor karbürün ergime noktaları arasındaki farka bağlı olarak özellikle % 5-6-7 B₄C katkıli soketlerde ara yüzey bağlanmasının iyi olmadığı düşünülmektedir. Bu bağlanmanın istenen düzeyde olmamasına nedeniyle kesme esnasında B₄C'nin matriksten ayrılması ve bu ayrılma gerçekleştiğinde B₄C'nin yüksek sertliğine bağlı olarak soket üzerinde kayaç haricinde ekstra bir aşındırıcı etkisi göstererek matriks aşınmasını arttırdığı düşünülmektedir.

- Özgül kesme enerjisi, birim hacimdeki kayacı kesmek için gereksinim duyulan enerji miktarı olarak tanımlanır ve J/mm³ birimiyle ifade edilir. Verimli bir kesme işleminin yapılabilmesi, kesme hızının maksimum ve özgül kesme enerjisinin minimum olmasına bağlıdır. Bu şartların sağlanması kesme işleminin en ekonomik olduğu durumdur. Bu nedenle, özgül kesme enerjisi, kesme verimliliğinin bir ölçüsüdür. En yüksek özgül kesme enerjisi değerleri birbirlerine yakın değerler olmakla birlikte % 0 ve % 4 bor karbür katkıli dairesel testerebor karbür katkısız göre %1.95 daha fazla enerji tüketmiştir. Metalografik incelemelerde de gözlendiği üzere bu iki tip soketin porozite değerlerinin birbirlerine yakın olduğu sertlik değerinin ise % 4 bor karbür katkıli soketin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. % 4 bor karbür katkıli soketlerin diğer soketlere göre sertliğinin yüksek olması özgül kesme enerjisi değerini arttırdığı düşünülmektedir. En düşük özgül kesme enerjisi değeri % 7 bor karbür katkıli testerede elde edilmiştir. % 7 bor karbür katkıli testerenin en düşük porozite değerine sahip olması nedeni ile daha yumuşak bir yapıya sahip olması ve buna bağlı olarak özgül kesme enerjisi tüketimini azalttığı düşünülmektedir.

- Kesme deneyleri sonrasında ölçülen özgül aşınma değerleri µm/m² olarak belirlenmiştir. Sertliğin artması ile matriks yüzeyinden parça kopması azaldığından dolayı en düşük özgül aşınma değeri %4 B₄C oranında elde edilmiş olup bor karbür katkısız sokete göre % 6,08 daha az aşınmış ve testere ömrü

artmıştır. En yüksek aşınma değeri ise yüksek porozite değerine bağlı olarak % 7 bor karbür katkılı testerede elde edilmiştir.

- Çalışmada bor karbür katkısız ve katkılı elmas soketlerin birim hacim ağırlık, porozite, sertlik ve aşınma değeri gibi metalografik özelliklerinin doğal taş kesilebilirlik parametrelerinden net güç tüketimi, özgül kesme enerjisi ve özgül aşınma değerleri üzerine etkileri görmek amacıyla korelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen korelasyon katsayı (r) değerleri yorumlanmış anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Bor karbür katkılı elmas soketlerin net güç tüketimi, özgül kesme enerjisi ve özgül aşınma değerlerini etkilediği belirlenmiştir. Dolayısı ile kesme çalışmaları öncesinde soketlerin sertlik, porozite, birim hacim ağırlık, aşınma kaybı metalografik özelliklerinin belirlenmesi ile kesilebilirlik parametrelerinin tahmin edilebileceği belirlenmiştir. **Fabrika koşullarında deneme yanılma yöntemi ile soket performansının belirlenmesi yerine soket üretiminden sonra belirlenecek metalografik özellikler ile soket performansının önceden tahmini ile zaman ve nakit tasarrufunun elde edilebileceği düşünülmektedir.**

- Çalışma kapsamında doğal taş kesme işlemleri öncesinde özellikle fizibilite çalışmalarında m^2 başına düşen testere maliyetinin tahmin edilmesi amacıyla elmas soketlerin metalografik özellikleri ile birim maliyet arasındaki ilişkiler incelenmiş olup anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

- Yapılan maliyet analizlerinde en düşük maliyetin B_4C katkısız dairesel testerede olduğu belirlenmiştir. **Diğer matriks tozlarına göre B_4C 'ün kg fiyatının yüksek olmasına bağlı olarak artan B_4C oranı ile testere maliyetinin arttığı görülmüştür.** En yüksek maliyetin ise % 7 B_4C katkılı dairesel testerede olduğu belirlenmiştir. Soket üreten firmaların B_4C katkılı soket imal etmeleri durumunda tez çalışması kapsamında alınan miktara göre daha fazla miktarda B_4C temini gerçekleştireceklerinden dolayı B_4C birim fiyatının düşeceği bunun sonucunda da birim soket maliyetlerinin tez çalışması kapsamında belirlenen maliyetlerden daha az olacağı düşünülmektedir.

- B₄C oranının artması ile her ne kadar testere maliyeti artmış olsa da % 4 B₄C katkıli dairesel testerenin en yüksek sertlik değerine sahip olmasına bağlı olarak özgül aşınma değeri azalmış ve soket ömrü artmıştır. Her bir m² üretim miktarı için hesaplanan birim maliyet değerlerinde en düşük değer % 4 bor karbür katkıli dairesel testerede elde edilmiştir.
- % 4 bor karbür katkıli dairesel testerenin hem özgül aşınmasının hem de özgül aşınma değerlerine bağlı olarak testere birim m² maliyetinin de düşük olmasına karşın özgül kesme enerjisi tüketiminin diğer testerele göre yüksek olmasından dolayı işletme aylık toplam maliyeti bor karbür katkısız (% 0 B₄C) ve % 1-2-3 bor karbür katkıli dairesel testerele göre yüksek olduğu belirlenmiştir. **% 4 ve sonrasındaki bor karbür oranlarında (% 5-6-7) ise işlemin tamamen ekonomikliğini kaybettiği görülmüştür.**

Dünyada bor ürünlerinin deterjan sanayinden jet yakıt üretimine kadar birçok sektörde 250'yi aşkın malzemede kullanıldığını görülmektedir. Dolayısı ile Dünya rezervlerinin % 72'sine sahip olduğumuz bor minerallerinin hammadde olarak birçok sektörde kullanılması, bor ve türevlerinin ülke ekonomisine katkısını daha önemli hale getirmiştir. **Bu çalışma kapsamında da yerli üretim olan rafine bor ürünü bor karbürün maden ihracatı içerisinde % 46'lık gelire sahip doğal taş sektöründe kullanılan dairesel kesici takım matriks yapısında kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.**

Çalışmada elde edilen sonuçlar neticesinde makine ve ekipman seçiminin önemi bir kez daha ortaya çıkmış olup kesilen kayaç yapısına göre seçilecek soket yapısı ve uygun kesme şartları ile gerek aşınma gerekse enerji maliyetlerinin azaltılması noktasında iyileştirmelerin yapılabileceği bu bilimsel çalışma kapsamında ortaya konulmaya çalışılmıştır. **Bu sonuçlara göre sanayinin, üniversite ile işbirliği yapmasının önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır.**

Literatürde kayaçların kesilebilirlikleri üzerine yapılmış çalışmalar incelendiğinde genellikle testere çapı, testere devri, kesme derinliği, ilerleme hızı, kesme kuvvetleri, özgül kesme enerjisi ve özgül aşınma gibi kesilebilirlik

parametreleriyle kayaçların mineralojik, fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerinin dikkate alındığı görülmektedir.

Soket matriksinin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalarda ise sinterleme süresi sıcaklığı ve basıncı gibi soket üretim parametrelerinin belirlenmesi, elmas oranlarının değiştirilmesi, matrikse kobalt, titanyum ve molibden gibi elementlerin ilavesinin etkileri de birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Ancak bu çalışmalar metalografik incelemelerle sınırlı kalmıştır.

Çalışma sonunda da soketlerin metalografik özellikleri ile kesme parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiş olup **soketlerin metalografik özelliklerinin belirlenerek kesme işlemleri öncesinde testere verimlerinin tahmin edilebileceği belirlenmiştir.** Çalışma ile literatürde bu konu ile ilgili açık kalan boşluğun doldurulduğu ve literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmadan elde edilen bulguların, doğal taş sektöründe özellikle granit türü sert taş ebatlama işlemini gerçekleştiren tesislere, soket üretimi yapan firmalara ve bu alanda çalışan araştırmacılara da ışık tutacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M., 1996. Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları. Birsen Yayınevi, 3. baskı, 348s, İstanbul.
- Alp, E., Karaçay, E., Cabbar, H., C., 2013. Düşük Sıcaklıkta Bor Karbür Üretimi Ve Karakterizasyonu. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 28(2), 293-302.
- Alper, S., 2008. Dünya Doğal Taş Ticareti ve Türkiye. I. Ulusal Mermer ve Doğal Taşlar Kongresi Tebliğler Kitabı, 68-74, İzmir.
- Altindag, R., Guney, A., 2006. ISRM Suggested Method for Determining Shore Hardness Value for rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 43, 996-997.
- Anonim, 1986. Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 11.12.1986 tarih ve 19308 Sayılı Resmi Gazete, Başbakanlık Basımevi, Ankara.
- Aslantaş, K., Taşgetiren, S., Büyüksağış, S., Uzun, İ., 2009. Doğal taş Sanayiinde Kullanılan Kesici Disk ve Elmas Soketlerin Kesme Performansı ve Hasar Analizi Çerçevesinde İncelenmesi, TÜBİTAK Proje No: 106M189.
- ASTM B311-08, 2008. Standard Test Method for Density of Powder Metallurgy (PM) Material Containing Less Than Two Percent Porosity, ASTM International.
- Atıcı, Ü., 1999. Mermer Kesme Makinelerindeki Kesicilerin Aşınma Mekanizmaları. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 131s, Adana.
- Atıcı, Ü., 2005. Kaya Kesilebilirliğini Etkileyen Faktörler Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 180s, Adana.
- Bayram, F., 2002. Elmas Lamalı Katraklarda Kesme Verimliliğinin İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Mühendislik Tezi, 131s, Ankara.
- Bayram, F., 2008. Karbonat Kökenli Doğal Taşların Dairesel Testere İle Kesilmesinin Optimizasyonu. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 156s, Ankara.
- Bayram, A., Yaşitli, N., E., Özçelik Y., 2011. Dairesel testereli kesimde gürültü seviyesinin kesim parametreleriyle ilişkileri, Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 407-413.
- Bayram, F., Yaşitli, N., E., Kulaksız, S., 2012. Dairesel Testereli Kesimde Birim Aşınma ve Birim Enerjinin Kestirimi. 8.Uluslararası Mermer ve Doğal taş Kongresi, 327-332.

- Bienert, P., 1978. Kreissagen Von Beton Mit Diamantwerkzeugen. Dr.-Ing. Dissertation, Universität Hannover, Deutschland.
- Büttner, 1974. Diamond tools and Stone. Industrial Diamond Review, 89-93.
- Budak, S., 2010. Mermer Kesici takımlarda Matris Kompozisyonunun Aşınma Performansına Etkisi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 100s, Elazığ.
- Büyüksağış, İ.S., 1998. Dairesel Blok Kesme Makinalarında Mermerlerin Kesilebilirlik Analizleri. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 172 s, Eskişehir.
- Büyüksağış, İ.S., Atıcı, Ü., Ersoy, A., 2003. Travertenlerde Tabaka Yönünün Kesme Verimi Üzerine Etkileri. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) Bildiriler Kitabı, 189-199.
- Büyüksağış, İ.S., 2003. Doğaltaş Kesmede Kullanılan Elmaslı Dairesel Testerelerin Tanıtımı ve Talaş Oluşum Mekanizması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4 (1-2), 19-32.
- Büyüksağış, İ.S., Göktan, R.M., 2005. Investigation of Marble Machining Performance Using an Instrumented Block-Cutter”, Journal of Materials Processing Tech., 169, 258-262.
- Büyüksağış, İ.S., 2007. Effect of Cutting Mode on the Sawability Of Granites Using Segmented Circular Diamond Sawblade”, Journal of Materials Processing Tech., 183, 399-406.
- Chen, X., Rowe, B.W., 1996. Analysis and Simulation of The Grinding Process. Part 2 Mechanics of Grinding. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 36, 883-896.
- Çelik, E., 2009. Elmaslı Kesici Takımlarda Alternatif Bağlayıcılar, Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 91s, Elazığ.
- Çelik, E., Kaplan, M., İnci, S., 2011. Fe-Cu-Co-Sn Matriksli Elmas Kesici Takımlara Ti İlavesinin Etkisi. IATS, 402-408.
- Çınar S., M., 2007. Mermer Kesme Makinelerinde Elektrik Enerjisi Tüketimi Optimizasyonu. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 128s, Afyon.
- Denkena, B., Tönshoff H.K., Friemuth, T., Glerse, A., 2004. The band saw as a tool in the natural stone industry. Industrial Diamond Review, 1, 57-62.
- Doymuş, K., 2016. Korelasyon Analizi. Erişim Tarihi: 05.01.2016. <https://kemaldoymus.files.wordpress.com/2009/12/korelasyon.ppt>

- Ersoy, A., ve Atıcı, Ü., 1999. Mermer Kesicilerin Aşınma Mekanizmaları, Türkiye 16. Madencilik Kongresi,107-115.
- Ersoy, A., Büyüksağış, S., Atıcı, Ü., 2005. Wear Characteristics Of Circular Diamond Saws in The Cutting Of Different Hard Abrasive Rocks.Wear, 258,1422–1436.
- Eyuboglu, A.,S., Ozcelik, Y., Kulaksiz, S., Engin, I., C.,2003, Statistical And Microscopic Investigation Of Disc Segment Wear Related To Sawing Ankara Andesites, International Journal Of Rock Mechanics & Mining Sciences,40,405-414.
- Güçlü Soket Tanıtım Kataloğu, 2006. Dairesel Testerelerin Kullanımında Dikkat Edilmesi Gereken Bazı Hususlar.
- Gürçay, E., A., 2005. Elmas Soketlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretiminde Kobalt-Bronz Oranının Soket Özelliklerine Etkisinin incelenmesi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67 s, Kütahya.
- Hwang, K., S., Yang, T., H., Hu, S., C., 2005.Diamond Cutting Tools With a Ni3Al Matrnx Processed by Reaction Pseudo-Hipping. Metallurgical and Materials Transactions, 36A.
- Islak, S., Kır, D., Çelik, H., Çelik, E. 2011. Bor Karbürlü Elmaslı Kesici Soketlerin Mikroyapı Ve Mekanik Özellikleri. 6. Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı Ve Sergisi, 61-68.
- Islak, S., Kır, D., Çelik, E., Çelik, H. 2012. Effect of Boron Carbide on The Microstructure and The Mechanical Properties of Segments Produced Using Hot Pressing Method. Scientific Research and Essays,7(23), 2095-2103.
- ISRM, 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring –ISRM Suggested Methods. Brown, E.T. (ed), Pergamon Pres, 211.
- ISRM, 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. And Geomech., 22 (2), 51-60.
- Jennings, M., Wright, D.,N., 1989. Guidelines for Sawing Stone. Industrial Diamond Review, 2/1989, 70-75.
- Karaçay, E. 2008. Bor Karbür Üretimi ve Karakterizasyonu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,101s. Ankara.
- Karagöz, Ş. ve Zeren, M., 1996-a. Elmas Kesici Takımların Mikroyapısal Dizaynı, Mermer Dergisi, 20-25.

- Karagöz, Ş. ve Zeren, M., 1996-b. Elmaslı Kesici Takımların Mikro yapısal Dizaynı Üzerine Araştırmalar, I. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı, 16-17 Eylül, s.459-467, Ankara.
- Karagöz Ş., M. Zeren, 2001. Mermer Kesiminde Kullanılan Elmas Kesici Takımlarda Aşınma Karakteristiği. Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM, 2001) Bildiriler Kitabı, 452-461, Afyon.
- Karagöz, Ş., Zeren, M. 2002. Doğal Taş Kesiminde Kullanılan Elmas Kesici Takımların Aşınma Karakteristiği. 3. Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı Bildiriler Kitabı, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Karakuş A., 1999. Diyarbakır Yöresinde İşletilebilir Nitelikteki Mermerlerin Kesilebilirlik Parametrelerinin İncelenmesi. Çukurova Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79s. Adana.
- KENNAMETAL. 1986. Matnks Powders, Companies for Industrial Diamonds. Macro Division of Kennametal Inc.'in Teknik Yayını, 1-15.
- Kır, D., 2012. Doğal Taş Kesici Takımlarda Kübik Bor Nitrürün (Cbn) Alternatif Aşındırıcı Olarak Kullanılmasının Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1119s, Elazığ.
- Konstanty, J. 1991. The materials science of stone sawing. Industrial Diamond Review, 27-31.
- Konstanty, J., 2000. Diamond Bonding and Matrix Wear Mechanism Involved in Circular Sawing of Stone. Industrial Diamond Review, 60, 55-65.
- Kulaksız S., 2005. Doğal taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 634 s, Ankara.
- Li, Y., Huang, H., Shen, J.Y., Xu, X.P., Gao, Y.S., 2002. Cost-effective machining of granite by reducing tribological interactions. J. Mater. Process. Technol. 129, 389-394.
- Luo, S., Y., Liao, Y., S., 1995, Study of The Behaviour Of Diamond Saw-Blades in Stone Processing, Journal of Materials Processing Technology, 51, 296-308
- Ma, Q., C., Zhang, G., J., Kan, Y., M., Xia, Y., B., Wang, P. L., 2010. Effect of Addives Introduced By Ball Milling On Sintering Behavior And Mechanical Properties Of Hot-Pressed B₄C Ceramics. Ceramics International, 36, 167-171.
- Maden İşleri Genel Müdürlüğü, 2016. Maden ve Mermer İhracatının Yıllara Göre Dağılımı, 2014. Erişim tarihi: 25.02.2016. <http://www.migem.gov.tr/>

- Maden Mühendisleri Odası, 2005. Doğal Taş ve Mermer Raporu. Erişim Tarihi: 29.09.2014. www.maden.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=120&tipi=5&sube=0
- Montani, C., 2005. Stone 2005 World Marketing Handbook, 253.
- Öksüz, K., E., Şimşir, M., Şahin, Y., 2011. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen ve Mermer Kesmede Kullanılan Kesici Uçlara B₄C İlavesinin İncelenmesi, 6. Uluslararası Toz Metalürjisi Konferansı ve Sergisi, 588-591, Ankara.
- Özay, Ç., Hasçalık, A., 2004. T/M Yöntemi İle Üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ Kompozitinde C Oranın Abrasiv Aşınma Dayanımına Etkisi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 6,175-184.
- Özçelik, Y., Ünver, B., Bayram, F., Yaşıtlı, N.,E., 2008. Bazı Doğal Taşların Dairesel Kesim Yöntemi İle Kesilebilirlik Sınıflaması Ve Kesme Mekanizmasının Sayısal Modellemesi. TÜBİTAK, 121s, Ankara
- Özder, M., O., 2002. Mermerlerin testerelerle kesilebilirliği. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87 s. Niğde.
- Özel, S., Çelik,E., Turhan, H., 2009. The Investigation of Microstructure And Mechanical Properties Of Cu-Al/B₄C Composites Produced By Using Hot Pres. E-Journal of New World Sciences Academy, 4 (1),106-112.
- Pierson, H.,O., 1996. Handbook Of Refractory Carbides And Nitrides. William Andrew pub., Noyes.
- Polmak Makina İmalat A.Ş. Elmaslı Taş Testereleri, Tanıtım Kataloğu.
- Rahimian, M., Ehsani, N., Parvin, N., Baharvandi, H.,R., 2009. The Effect of Particle Size, Sintering Temperature and Sintering Time On The Properties Of Al-Al₂O₃ Composites, Made by Powder Metallurgy. J. Mater. Proc. Technol., 209: 5387-5393.
- Saçkan, A., 1981. Elektrik makinaları-III. Milli Eğitim Basımevi, 246 s, İstanbul.
- Sakaoğlu M., 2008. Mermer Fabrikalarında Kullanılan Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makinelerinde Performans Analizleri. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 59s, Kütahya.
- Sun, J., Liu, C., Wang, R., 2009. Low Pressure Hot Pressing of B₄C Matrix Ceramic Composites Improved by Al₂O₃ and TiC additives. Materials Science and Engineering: A, 519, 27-31.
- Sinter Soket, Teknik Bilgiler. Erişim Tarihi: 05,01.2016. http://www.sintersoket.com/tek_bil.asp
- Sonmak Tanıtım Kataloğu, 1994. Elmaslı Dairesel Taş Testereleri.

- Starck, H.,C., 1993.Powders for Diamond Tools and Hardfacin.(9),1-10.
- Şengün, N., 2009. Kayaçların Kırılma Tokluğu ve Gevrekliğinin Dairesel Testereler İle Kesme Verimi Üzerine Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,165s, Isparta.
- Şengün. N., Altındağ, R., Koçcaz, C.E., 2009. Isparta Yöresinde Bulunan Bazı Magmatik Kökenli Kayaçların Kesilebilirlik Analizi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 11, Sayı 31.
- Şengün, N., Altındağ, R. Demirdağ, S., Koçcaz, C.,E. 2010. Mermer İşleme Fabrikalarında Oluşan Gürültü Kirliliğinin İşçi Sağlığı ve İlgili Mevzuat Açısından Değerlendirilmesi. İTÜ 12. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, 427-432,İstanbul.
- Şengün, N., Altındağ, R., Demirdağ, S., 2013. Dairesel Testerelerle Kesme İşleminde Testere Devir Sayısının Ve Gürültü Seviyesi Değişimlerinin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 19, 3,121-126.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ., Sarıışık, A., 1996. Mermer Teknolojisi, SDÜ Yayını, 242 s. Isparta
- TS EN 1926, 2000. Doğal Taşlar –Deney Metodları- Basınç Dayanım Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 13755, 2003. Doğal Taşlar –Deney Metodları- Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14205, 2004. . Doğal Taşlar –Deney Metodları-Knoop Sertliği. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14157, 2005. Doğal Taş –Aşınma Direncinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tönshoff, H. K., Hillmann-Apmann, H., Asche, J., 2002. Diamond Tools İn Stone And Civil Engineering industry: Cutting Principles, Wear And Applications. Diamond and Related Materials, 11,736-741.
- Tönshoff, H., K., Wobker, H.G., Przywara, R., 1993. Das Arbeitsverhalten von Werkzeugen zum trennschleifen von Gestein. Industrie Diamanten Rundschau, 198 – 205.
- Türkiye Mühendisler ve Mimarlar Odası Birliği Metalurji Mühendisleri Odası,2003. Bor Raporu. TMMOB, Ankara, 4-5,11-12.
- Onargan, T., Köse, H., Deliormanlı, H., 2005. Mermer. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 324 s, Ankara.

- Polini, W. and Turchetta, S., 2005. Evaluation of Diamond Tool Wear. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 26, 959-964.
- Ucun, I., Aslantaş, K., Taşgetiren, S., Büyüksağış, İ.S., 2008. Fracture Path Prediction Of Diamond Segment in A Marble Cutting Disc. Fatigue and Fracture of Engineering Materials, 31, 517-525.
- Ucun, İ., Büyüksağış, İ.S., 2009. Elmas Soketler Aşınmasının Belirlenmesinde Lazer Ölçüm Sisteminin Kullanılması. 5. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.
- Uyanık, T., 2008. Doğal Taşlar. T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, 14s.
- Ünver ,B., 1992, Kayların Testerelerle Kesilebilirliğinin Pratik Olarak Belirlenebilmesi İçin İstatistiksel Yaklaşım, Madencilik, 31,3.
- Xu, X., 1999. Friction Studies On The Process in Circular Sawing of Granites. Tribology Letters, 7, 221-227.
- Xu, X.P.; Li, Y.; Zeng, W.Y. and Li, L.B., 2002. Quantitative Analysis of the Loads Acting on the Abrasive Grits in the Diamond Sawing of Granites. Journal of Materials Processing Technology, 129, 50-55.
- Xu, X. and Yu, Y. 2005. Sawing Performance of Diamond With Alloy Coatings. Surface and Coatings Technology, 198, 459-463.
- Webb, S., W., 1999, Diamond Retention in Sintered Cobalt Bonds for Stone Cutting and Drilling, Diamond and Related Materials, 8, 2043-2052.
- Yılmaz, Güneş, N., Göktan, R., M., 2008, Effect of Sawing Rate on Force and Energy Requirements in The Circular Sawing Of Granites, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, XXI, S.2.
- Yılmaz, N., 2009. Magmatik Kökenli Doğal Taşların Elmas Soketli Dairesel Testerelerle Kesilebilirlik Analizleri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 209s, Eskişehir.
- Yılmaz, Güneş, N., 2013, Process Efficiency Comparison Of A Sandwich-Core Sawblade And A Conventional Sawblade Used In Stone-Machining, Journal Of Cleaner Production. 47, 26-31
- Yılmaz, Güneş, N.; Göktan, M.; Onargan, T.; 2015. Asidik ve Bazik İçerikli Ticari Granitlerin Kesilebilirlik Özelliklerinde Gözlenen Farklılıklar. Türkiye 5. Uluslararası Maden Makinaları Sempozyumu ve Sergisi, 1-2 Ekim, Eskişehir.

- Yurdakul, M., Akdaş, H., 2012, Prediction of Specific Cutting Energy for Large Diameter Circular Saws During Natural Stone Cutting. International Journal of Rock Mechanincs & Mining Sciences,53,38-44
- Yurdakul, M., 2015. Effect of Cutting Parameters on Consumed Power in Industrial Granite Cutting Process Performed with the Multi-Disc Blok Cutter. International Journal of Rock Mechanincs & Mining Sciences,76 ,104-111
- Zeren, M., 1999. Elmas Kesici Takımlarda Mikroyapısal Karakterizasyon Üzerinden Özelliklerin Optimizasyonu. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 213s, İzmit.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan EKİNCİOĞLU
Doğum Yeri ve Yılı : Kayseri, 1981
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gekincioglu@ahievran.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Ayrancı Lisesi, 1999
Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği, 2004
Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, 2008

Mesleki Deneyim

Ermer Mermer Fabrikası	2005-2007
Mehmet Akif Ersoy Üni., Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu,	2007-2008
Ahi Evran Üniversitesi, Kaman MYO. Maden Teknolojisi Programı	2008-..... (halen)

Yayınları

Ekincioglu, G., Altindag, R., Sengun, N., Demirdag, S., Guney, A. 2013. Investigation of the Relationships between Drilling Rate Index (DRI), Physico-mechanical Properties and Specific Cutting Energy for Some Carbonates Rocks. The ISRM International Symposium (Eurock 2013), Wroclaw, Poland.

Ekincioglu, G., Şengün, N., Altındağ, R., 2011. Karbonatlı Kayaçların Kırılabilirlik Değerinin Kullanarak Fiziko-Mekanik Özelliklerin Tahmin Edilmesi.

Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, Ankara, 103-111.

Ekinciöglu, G., Şengün, N., Altındağ, R., 2009. Kayaçların Delme Oranı İndeksi (DRI) İle Fiziko-Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. 4. Sondaj Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir,123-130.

Deniz, V., Ekinciöglu, G., Altındağ, R. 2006. Linyit, Taşkömürü ve Petrokok'un Kırılma Davranışlarının Karşılaştırılması. Türkiye 15. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 315-322.

