

**METAMORFİK KÖKENLİ KAYAÇLARIN
BİLGİSAYAR KONTROLLÜ MAKİNE (CNC) İLE
İŞLENEBİLİRLİĞİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beytullah KARAMAN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Gencay SARIŞIK

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat, 2016

Bu tez çalışması 13.GÜZSAN.01 numaralı proje ile AKÜ-BAPK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**METAMORFİK KÖKENLİ KAYAÇLARIN BİLGİSAYAR
KONTROLLÜ MAKİNE (CNC) İLE İŞLENEBİLİRLİĞİNİ
ETKİLEYEN PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ**

Beytullah KARAMAN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Gencay SARIŞIK

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat, 2016

TEZ ONAY SAYFASI

Beytullah KARAMAN tarafından hazırlanan “Metamorfik Kökenli Kayaçların Bilgisayar Kontrollü Makine (CNC) ile İşlenebilirliğini Etkileyen Parametrelerin Belirlenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 04/02/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Gencay SARIŞIK

Başkan	: Prof. Dr. Ahmet ŞENTÜRK Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,	İmza
Üye	: Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi,	İmza
Üye	: Doç. Dr. M. Kemal ÖZFIRAT Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,	İmza
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Gencay SARIŞIK Afyon Kocatepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi,	İmza
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Erkan ÖZKAN Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,	İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

04/02/2016

İmza

Beytullah KARAMAN

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

METAMORFİK KÖKENLİ KAYAÇLARIN
BİLGİSAYAR KONTROLLÜ MAKİNE (CNC) İLE İŞLENEBİLİRLİĞİNİ
ETKİLEYEN PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

Beytullah KARAMAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Gencay SARIŞIK

Ülkemizde bilgisayar kontrollü makineler (CNC) ile doğal taşların işlenmesi hızla yaygınlaşmaktadır. Doğal taş işletmeleri ilk yatırım maliyeti yüksek olan bu makinelerin verimli olarak kullanılmasında bazı problemler yaşamaktadırlar. Bu problemlerin en önemlileri doğal taşın işlenmesine uygun ve verimli kesici uç takımının kullanılmamasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada, metamorfik kökenli kayaçların 4 eksenli bilgisayar kontrollü makinelerin (CNC) kullanımı ile kesici uç takımlarla işlenmesinde kesme parametrelerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu deneysel çalışmalarda, 5 farklı metamorfik kökenli kayaçların (5 Mermer) $300 \times 300 \times 30$ mm boyutunda iki farklı çapta karbür frezeli kesici uç (6,0 ve 8,0 mm), 3 farklı kesme derinliği (1,2 mm, 1,6 mm ve 2,0 mm), 3 farklı ilerleme hızı (2000, 2500 ve 3000 mm/dk) ve iki farklı işleme türü (dış hatlar ve çizgisel) kullanılmıştır. Yaygın olarak kullanılan ve oluşumlarına göre sınıflandırılmış olan 5 farklı tür metamorfik kökenli kayaçların, bir seri karakterizasyon testleri (fiziksel ve mekanik özellikleri, mineralojik ve petrografik özellikleri) yapılmıştır. Bilgisayar Kontrollü Makine ile işleme türü, kesici uç çapı, kesme derinliği, ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme genişliği mermerlerin işlenebilirliğe etkileri belirlenerek, elde edilen

kesme kuvvetleri (F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t), güç tüketimi ve spesifik enerji değerleri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Mermerlerin F_z kuvvetleri ve spesifik enerji değerlerini etkileyen parametreler fiziksel ve mekanik özellikler olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan mermerlerin istatistiksel analiz sonucunda F_z kuvvetleri ve güç tüketimi değerlerine göre işlenebilirlik derecesi ve enerji tüketimi sınıflaması önerilmiştir.

2016, xvi + 147 sayfa

Anahtar Kelimeler: Metamorfik kökenli kayalar (Mermer), Jeomekanik özellikler, Bilgisayar kontrollü makine (CNC), Kesici uç takımı, İlerleme hızı, Kesme genişliği, Kesme derinliği, Kesme Kuvvetleri, Güç Tüketimi, Spesifik Enerji.

ABSTRACT

M.Sc Thesis

DETERMINATION OF THE PARAMETERS AFFECTING THE PROCESSABILITY OF METAMORPHIC ORIGIN ROCKS WITH COMPUTER NUMERICAL CONTROLLED (CNC) MACHINE

Beytullah KARAMAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Gencay SARIŞIK

Processing the natural Stones with Computer Numerical Controlled (CNC) Machines is rapidly becoming widespread in our country. Natural stone managements have problems with using these machines efficiently which have high initial costs. The most significant of these problems results from not using cutting edge equipment which is not appropriate to the natural stone process and which is not efficient enough.

In this study, by using cutting edge equipment within 4-axed Computer Numerical Controlled Machine, cutting parameters affecting the processability of different metamorphic origin rocks were investigated. In experimental study, 5 different metamorphic origin rocks (5 marble) in 300×300×30 mm dimensions were processed by using cutting edge equipment in two different calibers (6,0 and 8,0 mm), three different feed speed (2000, 2500 and 3000 mm/min), three different axial depth of cutting (1,2, 1,6 and 2,0 mm) and in two different draining types (external lines and linear) with fiberglass flat cutting edge equipment. A total of 5 kinds of metamorphic origin rocks (5 marbles) were categorized according to their commonly used geological formations and were subjected to various characterization tests (mineralogical and petrographic characteristics, as well as physical and mechanical properties). The effects of processing type, cutting diameter, axial depth of cutting, feed speed, cutting speed, cutting width of processing equipment of Computer Numerical Controlled Machine on the

processability of marbles were diagnosed and cutting forces (F_x , F_y , F_z , F_c and F_t), power consumption, specific energy values were analyzed statistically. It was found that the parameters that affected F_z forces and specific energy of marbles were physical and mechanical properties. Workability and energy consumption classification based on F_z forces and power consumption was recommended based on statistical analyses conducted on marbles used in the study.

2016, xvi + 147 pages

Keywords: Metamorphic origin rocks (Marble), Geomechanical properties, Computer numerical controlled (CNC), Cutting diameter, Feed speed, Cutting width, Axial depth cutting, Cutting forces, Power consumption, Specific energy.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması 13.GÜZSAN.01 numaralı proje ile destekleyen AKÜ-BAPK'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Gencay SARIŞIK'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ahmet ŞENTÜRK'e ve Yrd. Doç. Dr. Erkan ÖZKAN'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında gerekli numunelerin temininde yardımlarını esirgemeyen Anadolu Mermer ve Mercanlar Mermer'e göstermiş oldukları yakın ilgi ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Beytullah KARAMAN
AFYONKARAHİSAR, 2016

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1 Doğal Taşın (Mermer) Petrografik, Endüstriyel Tanımı ve Sınıflandırılması.....	4
2.1.1 Doğal Taşların / Mermerlerin Sınıflandırılması	4
2.1.1.1 Magmatik Kökenli Doğaltaşlar.....	5
2.1.1.2 Sedimanter Kökenli Doğaltaşlar	6
2.1.1.3 Metamorfik Kökenli Doğaltaşlar	8
2.2 Bilgisayarlı Nümerik Kontrol (CNC) Makinesi	8
2.2.1 CNC ve Takım Tezgahları	9
2.2.2 CNC Takım Tezgahları.....	11
2.3 İşlenebilirlik	14
2.4 Kesici Takımlar.....	15
2.4.1 Yüksek Hız Çeliği.....	17
2.4.2 Sementit Karbürler	18
2.4.3 Kaplamalı Sementit Karbürler	18
2.4.4 Sermetler (CT)	20
2.4.5 Seramikler (CC)	20
2.4.6 Elmas ve Kübik Bor Nitrür Kesici Takımlar	22
2.5 Önceki Çalışmalar.....	23
2.5.1 CNC Makinesi ile Yapılan Çalışmalar	23
2.5.2 Kesme Kuvvetleri, Spesifik Enerji ve Güç Tüketimi	26
2.5.3 Takım Ömrü, Kesici Takım ve Uç Aşınması.....	32
3. MATERYAL ve METOT	44
3.1 Çalışmada Kullanılan Metamorfik Kökenli Kayaçlar	44

3.2 Çalışmada Kullanılan Kesici Uç Takımları	45
3.3 Bilgisayar Kontrollü Doğal taş İşleme Makinesinin (CNC) Genel Yapısı.....	45
3.3.1 Bilgisayar Kontrollü Doğal Taş İşleme Makinasının (CNC) Üniteleri ..	46
3.4 Çalışmada Kullanılan Programlar	47
3.4.1 AlphaCAM Çizim Programı	47
3.4.2 Recon Programı	48
3.5 CNC Güç ve Yük Ölçer Test Cihazı.....	49
3.5.1 Ölçüm Ünitesi	49
3.5.2 Kontrolör Cihazı	50
3.5.3 Defne Lab Soft Programı	52
3.6 Deneysel Çalışmalar	53
3.6.1 Metemorfik Kökenli Kayaçların Jeomekanik Özellikleri.....	54
3.6.2 Bilgisayar Kontrollü Makinesi (CNC) ile İşlenebilirlik Deneyleri.....	56
3.6.3 Aşınma Ölçümleri.....	63
3.7 Deney Parametreleri ve Hesaplamalar.....	64
4. BULGULAR ve DEĞERLENDİRMELER.....	70
4.1 Mermer Numunelerinde İşlenebilirlik Deneylerinde Kuvvet Ölçüm Değerlerinin Analizi	70
4.2 Mermer Numunelerinde İşlenebilirlik Deneylerinde Güç Tüketim Değerlerinin Analizi	85
4.3 Mermer Numunelerinde İşlenebilirlik Deneylerinde Spesifik Enerji Değerlerinin Analizi	97
4.4 Mermer Numunelerinin İşlenebilirlik ve Enerji Tüketimine Göre Sınıflandırılması	115
4.5 Mermer Numunelerinde İşlenebilirlik Deneylerinde Zamana Bağlı Spesifik Enerji Değerlerinin Analizi	120
4.6 Mermer Numunelerinde İşlenebilirlik Deneylerinde Aşınma Değerlerinin Analizi	122
4.7 Mermer Numunelerin Jeomekanik Özelliklerinin Kesme Kuvveti ve Spesifik Enerjiye Etkisi	124
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	129
5.1 Sonuçlar	129
5.2 Öneriler	137
6. KAYNAKLAR.....	139
ÖZGEÇMİŞ.....	147

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A_d	Aşınma değeri
d	Devir sayısı
dk	Dakika
g	Gram
P	Güç tüketimi
J	Joule
D	Kesici çapı
$d_{p(1,2,3)}$	Kesme derinliği
d_1	Kesici uç çapı
M_{d1}	Kesici uç ilk ağırlık
M_{d2}	Kesici uç son ağırlık
l_2	Kesici uzunluk
V_c	Kesme hızı
F_z	Kesme kuvveti
kW	Kilowatt
m	Metre
m^3	Metre küp
MPa	Megapaskal
n	Mil hızı
mm	Milimetre
mm^3	Milimetre küp
ms	Milisaniye
F_{x1}	Mutlak ileri kesme kuvveti
F_{x2}	Mutlak geri kesme kuvveti
F_{y1}	Mutlak ileri kesme kuvveti
F_{y2}	Mutlak geri kesme kuvveti
N	Newton
b	Numune eni
l	Numune boyu
E_{c1}	Ortalama spesifik enerji
F_t	Radyal kesme kuvveti
s	Saniye
$^{\circ}C$	Santigrat derece
d_2	Sap çapı
cm^3	Santimetre küp
Q_w	Talaş hacmi
F_c	Teğetsel kesme kuvveti
E_{c2}	Toplam spesifik enerji
t_2	Toplam zaman
l_1	Uç uzunluk
W	Watt
t_1	Zaman

Kısaltmalar

AD	Aşınma dayanımı
BD	Basınç dayanımı
CAD	Bilgisayar destekli tasarım
BHA	Birim hacim ağırlık
CAM	Bilgisayar destekli üretim
CNC	Bilgisayarlı nümerik kontrol
DD	Darbe dayanımı
SPSS	İstatistiksel program
KS	Knoop sertlik
NC	Nümerik kontrol
P	Porozite
SE	Su emme
ANOVA	Varyans analizi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Takım tezgahların sınıflandırılması (Cevindik 2009).....	10
Şekil 2.2 Takım malzemesi seçimini etkileyen faktörler (Aydemir 2006).	16
Şekil 3.1 Mermer numunesinin görünümü.....	44
Şekil 3.2 Frezeli kesici uçların görünümü.....	45
Şekil 3.3 Doğal taş sektöründe kullanılan Bilgisayar Kontrollü Doğal taş işleme makinaları (CNC) genel görünümü.....	46
Şekil 3.4 Bilgisayar Kontrollü Doğal Taş İşleme Makinalarının (CNC) üretim yöntemi akış şeması.	46
Şekil 3.5 CNC makina sistemini oluşturan unsurlar a) Mekanik b) Kontrol ünitesi c) Vakumlu pompası d) Tezgah e) Elektrik panosu f) Fiberglass (karbür) frezeli kesici uç.....	47
Şekil 3.6 AlphaCAM çizim programının ara yüzü.....	48
Şekil 3.7 Recon programının ara yüzün genel görünümü.	49
Şekil 3.8 CNC güç ve yük ölçer cihazı teknik çiziminin görünümü.	50
Şekil 3.9 CNC Makinesinde güç ve yük ölçer cihazı ile ölçüm ünitesi görünümü.....	50
Şekil 3.10 Güç ve yük ölçer cihazının kontrolör ünitesi akım şeması.	51
Şekil 3.11 Güç ve yük ölçer cihazının kontrolör ünitesi.	51
Şekil 3.12 Defne Lab Soft programın arayüzü.....	52
Şekil 3.13 Bilgisayarda kullanılan Defne Lab Soft programın bilgi giriş ekranın arayüzü.	53
Şekil 3.14 Verilerin Defne Lab Soft programında görünümü.....	53
Şekil 3.15 M1 mermer numunesinin ince kesit görüntüsü.....	56

Şekil 3.16 İşlenebilirlik çalışmasında kullanılan CNC makinesinin genel görünümü...	57
Şekil 3.17 Deneysel işlenebilirlik çalışmada kullanılan mermer numunesinin modellemesi.	58
Şekil 3.18 Modellemenin simülasyon görüntüsü.	58
Şekil 3.19 Kesici ucun işleme türü göre takım yolu ataması.	59
Şekil 3.20 İşleme türünün seçilmesi.	59
Şekil 3.21 Dış hatlar işleme türünün kesim parametreleri.	60
Şekil 3.22 Dış hatlar işleme türünün takım ayarları.	60
Şekil 3.23 Dış hatlar ve çizgisel işleme türünün simülasyon görünümü.	61
Şekil 3.24 CNC makinesinde işlenmiş mermer numunelerinin görünümü.	63
Şekil 3.25 Aşınma ölçme işleminde kullanılan hassas terazi.	64
Şekil 3.26 Kuvvetlerin vektörel eksenleri.	65
Şekil 3.27 İşleme esnasında oluşan kuvvetlerin şematik gösterimi.	66
Şekil 4.1 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde işleme türüne göre kuvvet ölçüm değerleri.	71
Şekil 4.2 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesici uç çapına göre kuvvet ölçüm değerleri.	73
Şekil 4.3 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme derinliğine göre kuvvet ölçüm değerleri.	76
Şekil 4.4 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde ilerleme hızına göre kuvvet ölçüm değerleri.	78
Şekil 4.5 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme hızına göre kuvvet ölçüm değerleri.	81

Şekil 4.6 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliğine göre kuvvet ölçüm değerleri.....	84
Şekil 4.7 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde işleme türüne göre güç tüketimi değerleri.	86
Şekil 4.8 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesici uç çapına göre güç tüketimi değerleri.	88
Şekil 4.9 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme derinliği göre güç tüketimi değerleri.	90
Şekil 4.10 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde ilerleme hızına göre güç tüketimi değerleri.	92
Şekil 4.11 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme hızına göre güç tüketimi değerleri.	94
Şekil 4.12 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliğine göre güç tüketimi değerleri.	96
Şekil 4.13 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde işleme türüne göre ortalama spesifik enerji değerleri.	98
Şekil 4.14 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde işleme türüne göre toplam spesifik enerji değerleri.	99
Şekil 4.15 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesici uç çapına göre ortalama spesifik enerji değerleri.	101
Şekil 4.16 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesici uç çapına göre toplam spesifik enerji değerleri.	102
Şekil 4.17 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme derinliğine göre ortalama spesifik enerji değerleri.	104
Şekil 4.18 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme derinliğine göre toplam spesifik enerji değerleri.	105

Şekil 4.19 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde ilerleme hızına göre ortalama spesifik enerji değerleri.	107
Şekil 4.20 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde ilerleme hızına göre toplam spesifik enerji değerleri.	108
Şekil 4.21 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme hızına göre ortalama spesifik enerji değerleri.	110
Şekil 4.22 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme hızına göre toplam spesifik enerji değerleri.	111
Şekil 4.23 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliği göre ortalama spesifik enerji değerleri.	113
Şekil 4.24 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliğine göre toplam spesifik enerji değerleri.	114
Şekil 4.25 Mermer numunelerinde zamana göre toplam spesifik enerji değerleri.....	121
Şekil 4.26 Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliğine ve kesici uç çapına göre toplam aşınma değerleri.....	123
Şekil 4.27 Mermer numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin kesme kuvvetine etkisi.	125
Şekil 4.28 Mermer numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin spesifik enerjiye etkisi.	127

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Doğaltaşların Sınıflandırılması (Kulaksız 2007).	5
Çizelge 2.2 Yerel ve Bölgesel Metamorfizma Çeşitleri (Kulaksız 2007).	8
Çizelge 3.1 Deneysel çalışmada kullanılan mermer numunelerinin özellikleri.	44
Çizelge 3.2 Deneysel çalışmada kullanılan frezeli kesici uçların teknik özellikleri.	45
Çizelge 3.3 Deneysel çalışmada kullanılan mermerlerin jeomekanik özellikleri.	54
Çizelge 3.4 Çalışmada kullanılan doğal taşların mineralojik ve petrografik tanımlamaları.	55
Çizelge 3.5 Mineralojik ve petrografik tanımlamalarda kullanılan tane boyutları (Kulaksız, 2007'den derlenmiştir).	56
Çizelge 3.6 Deneysel işlenebilirlik çalışmasında programda yapılan modellemenin kodları.	62
Çizelge 3.7 Deneysel işlenebilirlik çalışmasında kullanılan mermerlerin işleme parametreleri.	64
Çizelge 4.1 Mermer numunelerinin kuvvet değerlerinin işleme türüne göre istatistiksel analizi.	70
Çizelge 4.2 Mermer numunelerinin kuvvet değerlerinin kesici uç çapına göre istatistiksel analizi.	72
Çizelge 4.3 Mermer numunelerinin kuvvet değerlerinin kesme derinliğine göre istatistiksel analizi.	75
Çizelge 4.4 Mermer numunelerinin kuvvet değerlerinin ilerleme hızına göre istatistiksel analizi.	78
Çizelge 4.5 Mermer numunelerinin kuvvet değerlerinin kesme hızına göre istatistiksel analizi.	80

Çizelge 4.6 Mermer numunelerinin kuvvet değerlerinin kesme genişliği göre istatistiksel analizi.	83
Çizelge 4.7 Mermer numunelerinin güç tüketim değerlerinin işleme türüne göre istatistiksel analizi.	85
Çizelge 4.8 Mermer numunelerinin güç tüketiminin kesici uç çapına göre istatistiksel analizi.	87
Çizelge 4.9 Mermer numunelerinin güç tüketiminin kesme derinliğine göre istatistiksel analizi.	89
Çizelge 4.10 Mermer numunelerinin güç tüketiminin ilerleme hızına göre istatistiksel analizi.	91
Çizelge 4.11 Mermer numunelerinin güç tüketiminin kesme hızına göre istatistiksel analizi.	93
Çizelge 4.12 Mermer numunelerinin güç tüketiminin kesme genişliğine göre istatistiksel analizi.	95
Çizelge 4.13 Mermer numunelerinin spesifik enerji değerlerinin işleme türüne göre istatistiksel analizi.	97
Çizelge 4.14 Mermer numunelerinin spesifik enerji değerlerinin kesici uç çapına göre istatistiksel analizi.	100
Çizelge 4.15 Mermer numunelerinin spesifik enerji değerlerinin kesme derinliğine göre istatistiksel analizi.	103
Çizelge 4.16 Mermer numunelerinin spesifik enerji değerlerinin ilerleme hızına göre istatistiksel analizi.	106
Çizelge 4.17 Mermer numunelerinin spesifik enerji değerlerinin kesme hızına göre istatistiksel analizi.	109
Çizelge 4.18 Mermer numunelerinin spesifik enerji değerlerinin kesme genişliğine göre istatistiksel analizi.	112

Çizelge 4.19 Mermer numunelerinin işlenebilirlik ve enerji tüketimine göre sınıflandırması.....	115
Çizelge 4.20 Mermer numunelerinin işleme türü ve kesici uç çapında işlenebilirlik ve enerji tüketimine göre sınıflandırması.	116
Çizelge 4.21 Mermer numunelerinin kesme derinliği ve ilerleme hızında işlenebilirlik ve enerji tüketimine göre sınıflandırması.....	117
Çizelge 4.22 Mermer numunelerinin kesme hızı ve kesme genişliğinde işlenebilirlik ve enerji tüketimine göre sınıflandırması.	119
Çizelge 4.23 Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde aşınma değerlerinin kesici uç çapı ve kesme genişliğine göre istatistiksel analizi.....	122
Çizelge 4.24 Mermer numunelerini mineralojik ve petrografik tanımlamalarda kullanılan tane boyutuna göre sınıflama.	128

1. GİRİŞ

Dünyada, doğal olan yapı malzemelerine artan talepten dolayı doğal taş işleme tesislerinin ve ocaklarının sayısında bir artış gözlenmektedir. Bunun doğal sonucu olarak da, doğal taş işleme tesislerinin ve ocaklarının üretim sonucunda oluşan doğal taş atıklarının belirli bölgelerde depolanması sonucunda çevre kirliliğini artırmakta ve tabii güzelliğin bozulmasına sebep olmaktadır (Şentürk vd. 1996).

Doğal taşlar, yenilenemeyen doğal kaynaklardır. Son yıllarda ülkemiz doğal taş sektöründe üretim miktarında büyük bir artış kaydedilmiştir. Doğal taşların, ocaklarda ve işleme tesislerinde uygun üretiminin yapılamaması sonucu olarak blok verimliliği düşmekte ve ekonomik değeri olmayan doğal taş atıkların miktarı artmaktadır. Doğal taş üretiminde ekonomik değeri olan blokların ve molozların yanında ekonomik değeri olmayan küçük ebatlı atık malzemelerden, katma değeri yüksek ürünler üretilmesi için Bilgisayar kontrollü makinalarının yaygınlaştırılması bu çalışmada vurgulanacaktır. Bilgisayar kontrollü doğal taş makineleri ile yeni ürünlerin üretilmesinin sürekli bir şekilde yapılması, modellemesi yapılan tasarımların uygulanabilmesi ve ürünlerin belirli tolerans hataları ile standart olarak üretilebilmektedir. Bilgisayar Kontrollü Makinalar ile ürünlerin farklı tasarımlarda olması, standartlara uygun ve seri olarak üretilmesi firmaların markalaşmasını ve rekabette üstünlük sağlamasını sağlayacaktır (Sarışık ve Oyman 2009, Sarışık ve Özkan 2015).

Doğal taşların düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi gerekmektedir. Kesme işlemi sonucunda doğal taş tozu ortaya çıkmaktadır. Doğal taşların kesiminde soğutma suyu kullanıldığından ve toz bastırıcı olarak sulu kesim yapıldığından, doğal taş kesiminden çıkan ince şlam boyutundaki parçacıklar başlangıçta ıslak olarak depo edilmekte veya doğrudan araziye bırakılmaktadır. Dolayısıyla çevre kirlenmesi söz konusudur. Son yıllarda yapılarda doğal taşların kullanımı giderek artmaktadır (Sarışık ve Özkan 2015).

Bilgisayar kontrollü makinelerin ilk yatırım maliyetlerinin küçük ölçekli işletmeler için yüksek olmasından dolayı bu tür işletmeler klasik yöntemle Bilgisayar kontrollü makinelerin ürettiklerini üretmeye çalışmaktadırlar. Ancak klasik yöntemle atölye

işletmeciliğinin en önemli avantajı yapılacak dekoratif ürünlerde boyutun sınırsız olmasıdır. Bilgisayar kontrollü makinelerde ise yapılacak ürünün boyutu makinenin işleme boyutları ile sınırlıdır. Klasik yöntemde üretilecek ürün makine boyutlarına indirildikten sonra yapılacak işleme göre makine seçimi yapılır. Bu makinelerden en çok kullanılanı doğal taş sütun yapmak için kullanılan tornalardır. Bununla beraber klasik üretim yönteminde çalışılan makinede operatör devamlı olarak mekanik tehlikelere maruz kalmaktadır. Orta ve büyük ölçekli işletmeler ürün çeşitliliğini artırmak için bilgisayar kontrollü makinelere son yıllarda yatırım yapmaktadırlar. Afyon ili içerisinde 4 adet bilgisayar kontrollü robot ve 8 adet bilgisayar kontrollü Doğal taş işleme makinesi bulunmaktadır (Sarıışık ve Özkan 2015).

Doğal taş atölyelerinin çalışma ortamlarının iyileştirilmesi, uygun makine ve teçhizatın kullanılmasının teşviki için Ar-Ge çalışmalarının yapılması önem kazanmaktadır. Bu amaçla gerek verimliliğin artması gerekse uygun standartlarında bir ürün elde etmek için yeni teknolojilere sahip makinelere ihtiyaç duyulmaktadır. Doğal taş sektörü için tasarlanmış/uyarlanmış Bilgisayar Kontrollü Doğal Taş İşleme Makinelerinin (CNC) doğal taş atölyeleri tarafından kullanımının artması doğal taş sektöründe ürünlerin çeşitliliğinin artmasını sağlayacağı için önemlidir. Yeni teknolojilerle ve tasarımlarla üretilen ürünlerin yurt içi ve yurt dışı ihtisas fuarlarında sergilenmesi ile Türkiye'nin katma değeri yüksek ürünlerden oluşan doğal taş ihracatının artmasını sağlayacaktır.

Tez çalışması aşağıdaki kısımları kapsamaktadır.

- İlk adımda metamorfik kökenli 5 farklı mermer numuneleri 300×300×30 mm boyutunda belirlenmiştir.
- İkinci adımda AlphaCAM programında 120×25 mm boyutunda 18 adet dikdörtgen modellenerek, takım ataması yapılmış ve NC kodları alınmıştır.
- Üçüncü adımda mermer numunelerin işlenebilirlik ölçümleri yük ve güç ölçer test cihazı ile Defne Lab.Soft programı kullanılarak, kuvvetler ve güç tüketimi ölçülmüştür.
- Dördüncü adımda Bilgisayar Kontrollü Makinelerinin işleme türü, kesici uç çapı, ilerleme hızı, dalış hızı, kesme derinliği, kesme hızı ve kesme genişliği

metamorfik kökenli mermerlerin işlenebilirliğe etkileri istatistiksel olarak varyans analizi yapılarak değerlendirilmiştir.

- Beşinci adımda kesici uç takımları her işlem sonrası hassas terazide ölçümleri yapılarak, aşınma değerleri tespit edilerek, aşınmaya etki eden parametreler belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Doğal Taşın (Mermer) Petrografik, Endüstriyel Tanımı ve Sınıflandırılması

Petrografik tanıma göre; kireçtaşı (kalker) dolomitik kalker ve/veya bunların değişik oranlarından oluşan karbonatlı kayaçların değişik sıcaklık ve basınçta metamorfizmaya uğrayarak, tekrar kristalleşmesi sonucu oluşan yeni doku ve yapıya sahip metamorfik (başkalaşım) kalsit kristallerinden oluşan kayaçlara mermer adı verilmektedir (Kulaksız 2007).

Ticari (endüstriyel) anlamda doğal taş; ekonomik olarak uygun boyutlarda blok (kütük) olarak kesilip çıkarılabilen, istenilen ebatlarda düzgün olarak kesilip, talabe göre cilalanıp, parlatılabilen kayaçlar olarak tanımlanmaktadır (Kulaksız 2007).

2.1.1 Doğal Taşların / Mermerlerin Sınıflandırılması

Doğaltaşlar seçilen kriterlere göre değişik şekillerde sınıflandırılabilirler (Kulaksız 2007). Ticari ve petrografik olarak yapılan bir sınıflandırması Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Doğaltaşların Sınıflandırılması (Kulaksız 2007).

Ticari Adlandırma		Petrografik (Kaya Bilimi) Adlandırma				
		Magmatik Kayaçlar		Metamorfik Kayaçlar	Sedimanter Kayaçlar	
Hakim Bileşenler		Plutonik	Volkanik			
Sert Taş (Granit)	Granit, Granodiyorit Kumtaşı, Grovak, Gabro, Norit, Andezit, Bazalt, Kuvarsit, Kalksilikatik Şistler, Gnayslar, Yeşil Kayaçlar, Bazik ve Ultra Bazik vb.	Silis ve/veya Silikatlı Mineraller İçerenler veya Kayaç Kırıntıları ve Matriks/Çimento İçerenler	Monzonit-Diyorit Granit ve Granit Ailesi Kayaçları Siyenit ve Siyenit Ailesi Kayaçları Gabro ve Gabro Ailesi Kayaçları	Fonolitler Foyoidler Bazalt, Andezit, Dasit	Gnayslar, Leptinitler Şistler ve Kalksilikatlı Şistler	1.Konglomera 2.Kumtaşı (Grovak-Arkoz)
	Sleyt	Sleyt/ Arduvaz	Ultra Bazik Kayaçlar Yeşil Kayaçlar		Kuvarsit ve Sleyt Serpantinit, Amfibolit, Şist/ Hornfels	
Mermer	Kireçtaşı, Mermer ve Traverten Grubu	Karbonat, Dolomit ve/veya Çimento Matriks İçerenler		Mermer ve Dolomitik Mermerler	Kireçtaşı, Dolomit Breşler Traverten	
Diğer	Alabatr Pumis Grubu	Diğer		Aglomera, Volkanik Tüfler	Jips Alabatr	

2.1.1.1 Magmatik Kökenli Doğaltaşlar

Magmatik kayaçları oluşturan magma çok karmaşık bir kimyasal bileşime sahiptir. Bu bileşimin içerdiği SiO₂ miktarına bağlı olarak bu kayaçlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Kulaksız 2007).

SiO₂ oranı % 66'dan büyük olanlara asidik,

SiO₂ oranı % 55 - % 66 arasında olanlara intermediyer (nötr) ,

SiO₂ oranı % 45 - % 55 arasında olanlara bazik,

SiO₂ oranı % 45' den küçük olanlara ultra bazik, adı verilmektedir.

Yapı, doku, mineralojik ve jeolojik konumları itibariyle magmatik kayaçlar üç ana gruba ayrılırlar. Bunlar;

a- Derinlik Kayaçları

b- Damar Kayaçları

c- Yüzey kayaçları

Derinlik kayaçları, magmanın yer kabuğu derinliklerinde, yavaş soğuma ve tam kristalleşme sonucu oluşan kayaçlardır. Bu kayaçlarda matriks yoktur. Kayaçlar genellikle eşit ve yaklaşık eşit boyutlu, aynı veya farklı cins minerallerden oluşmaktadır. Bu minerallerde tam kristalleşme gözlenmektedir (Kulaksız 2007).

Damar kayaçları, plütonik ve volkanik kayaçlardan yapı, doku ve jeolojik konumları ile ayırt edilebilmektedirler. Damar kenarına doğru tane boyutları, ortadan inceye doğru olup kayaç holokristalin bir dokuya sahiptir. Bu tip kayaçlarda, koyu renkli mineraller kayaca hâkim durumdadır (Kulaksız 2007).

Volkanik kayaçlar, magmanın değişik yüzey koşullarında soğuması ile oluşurlar. Bu kayaçlar genelde kimyasal bileşenleri derinlik kayaçlarının yüzey koşullarında oluşmasına bağlı olarak isimlendirilir (Kulaksız 2007). Doğaltaş olarak değerlendirilebilecek volkanik kayaçlar; andezit, trakit, bazalt, fonolit ve dasitlerdir.

2.1.1.2 Sedimanter Kökenli Doğaltaşlar

Tortulların (kırıntılı veya kimyasal) taşınma ortamında ve doğal koşullar altında üst üste paralel olarak yığılmasına tabakalanma (katmanlaşma) adı verilir. Tabaka ise; bu çökeltme havzasının alt ve üst yüzeylerindeki oluşum özellikleri nedeniyle ayrılan en küçük kayaç birimidir (Kulaksız 2007).

Tabakalanma genellikle 1 cm'den kalın olur. Kalınlığı 30 cm'yi aşan tabakalara "kalın tabaka", 100 cm'den büyük tabakalara ise "çok kalın tabaka" adı verilmektedir. Sedimentasyonda tabakadan da küçük birimler vardır. Bu birimlere "lamina " denir. Yalnız laminalar her ortamda teşekkül edemediklerinden, sedimentasyonda ilk birim

olarak “ tabaka” alınmaktadır. Laminaların kalınlığı 1 cm’den küçüktür. İnce lamina ise tabaka kalınlığı 0,3 cm’den az olanlara denir (Kulaksız 2007).

Sedimanter kayaçlarda tabaka kalınlığı genellikle bir santimetrenin üstünde olup bu tabakanın kalınlığı bazen birkaç metreye kadar da ulaşabilmektedir. Eğer katman kalınlığı 1 cm’nin altında ise yapraklanma (laminasyon) meydana gelir (Kulaksız 2007).

Tabaka yapıları değişik şekillerde çizgisel, dairesel, eliptik, parabolik veya düzensiz konumda bulunabilir. Bazı tabakalar veya laminasyon ise içerdikleri tane boyutu ve dizilimleriyle isimlendirilirler. Bunlara örnek olarak çapraz tabakalanmalar ve dereceli tabakalanmalar gösterilebilir (Kulaksız 2007).

Sedimanter kayaçlarda, tektonik kuvvetlerin etkisi altında çatlak ve dilinimlerden dolayı tabakalanmaya benzer yeni yapılar meydana gelebilir (Kulaksız 2007).

Tortul kayalar yeryüzündeki ortamlarda düşük sıcaklık ve basınç altında kırıntılı (sedimanlar) taneciklerin belli bir ortamda yığılması ve pekişmesi sonucu oluşurlar. Kayaç oluşturan bu tanecikler;

- a) Silikatlar ve bununla ilgili diğer silikatlı tanecikler (Detritik, klastik allojen ve kırıntılı kayaç parçacıklarını içerirler).
- b) Kimyasal ve biyo-kimyasal tanecikler: özellikle karbonatlı malzemeler (Kristalin/ kriptokristalin dokulu bu kayaçlar sedimanların inorganik kimyasal reaksiyonlar sonucu bitki ve hayvan kalıntılarının birikmesi ile oluşur).
- c) Daha önce kimyasal veya biyo-kimyasal olarak meydana gelmiş taneciklerden oluşan tanecikler.

Bu üç bileşenin karışım miktarlarından sedimanter (tortul) kayaçlar meydana gelirken kayaç isimlendirmeleri bu karışım miktarına göre yapılmaktadır. Kırıntılı malzemelerden oluşan konglomera, kumtaşı, siltaşı gibi sedimanter kayaçlar veya kimyasal ve biyo-kimyasal yollardan oluşan kireçtaşı, dolomit ve alçıtaşı gibi kırıntılı taneciklerden oluşmayan kayaçlardır. Buna karşın bazı karbonatlı kayaçlar da detritik olarak oluşabilirler (Kulaksız 2007).

2.1.1.3 Metamorfik Kökenli Doğaltaşlar

Yer kabuğunda köken kayaç ne olursa olsun belli bir basınç ve sıcaklık altında kayaçların yapısal ve dokusal özellikleri ile beraber mineralojik yönden değişikliğe uğramalarına metamorfizma (başkalaşım), bunun sonucunda oluşan kayaçlara da metamorfik kayaçlar denilmektedir. Basınç ve sıcaklık derecesine göre oluşan metamorfik kayaçlar farklı mineral bileşimlerinden dolayı farklı isimler almaktadır (Kulaksız 2007).

Metamorfizma ve/veya metamorfizma kriterlerine göre kayaçlar değişik şekillerde sınıflandırılırlar. Bu kriterler yerel alanlar, kayacın bölgesel bulunuş şekli ve sıcaklık-basınç artışıdır (Kulaksız 2007).

Bu kıstaslardan yerel alanlarda çoğunlukla kontakt veya kataklastik metamorfizma (dinamo metamorfizma) gelişmektedir. Gömülme ya da bölgesel metamorfizmada ise sıcaklık-basınç sınırı, mevcut kayacın kısmen veya tamamen erimesi ile sınırlanmaktadır. Yerel ve bölgesel metamorfizma çeşitleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Yerel ve Bölgesel Metamorfizma Çeşitleri (Kulaksız 2007).

Yerel Metamorfizmalar	Bölgesel Metamorfizma
Dokanak (Kontakt) Metamorfizma	Gömülme Metamorfizması
Hidrotermal Metamorfizma	Dinamo-Termal Metamorfizma
Piro-Metamorfizma	Okyanus Tabanı Metamorfizması
Dinamik Metamorfizma	

Metamorfizma sırasında kayacın ilksel yapı ve doku özellikleri değişmeden kalabileceği gibi etken kuvvetlerin, sıcaklığın ve basıncın etkisiyle bu yapı ve doku özellikleri silinip kayaç yeni özellikler kazanabilir (Kulaksız 2007).

2.2 Bilgisayarlı Nümerik Kontrol (CNC) Makinesi

Bilgisayarlı Nümerik Kontrol de (Computer Numerical Control) temel düşünce takım tezgahlarının sayı, harf vb. sembollerden meydana gelen ve belirli bir mantığa göre

kodlanmış komutlar yardımıyla işletilmesi ve tezgah kontrol ünitesinin (MCU) parça programıyla kontrol edilebilmesidir (Büyüksahin 2005).

Bilgisayarlı Nümerik Kontrol de tezgah kontrol ünitesinin kompütürize edilmesi sonucu programların muhafaza edilebilmelerinin yanında parça üretiminin her aşamasında programı durdurma, programda gerekli olabilecek değişiklikleri yapabilme, programa kalınan yerden tekrar devam edebilme ve programı son şekliyle hafızada saklamak mümkündür. Bu nedenle programın kontrol ünitesine bir kez yüklenmesi yeterlidir (Büyüksahin 2005).

CNC freze ile imalatta temel düşünce takım tezgâhlarına bağlı kesicinin sayı, harf vb. sembollerden meydana gelen ve belirli bir mantığa göre kodlanmış komutlar yardımıyla hareket ettirilmesi sonucunda parça üzerinden talaş kaldırılması sürecidir (Günaydın 2014).

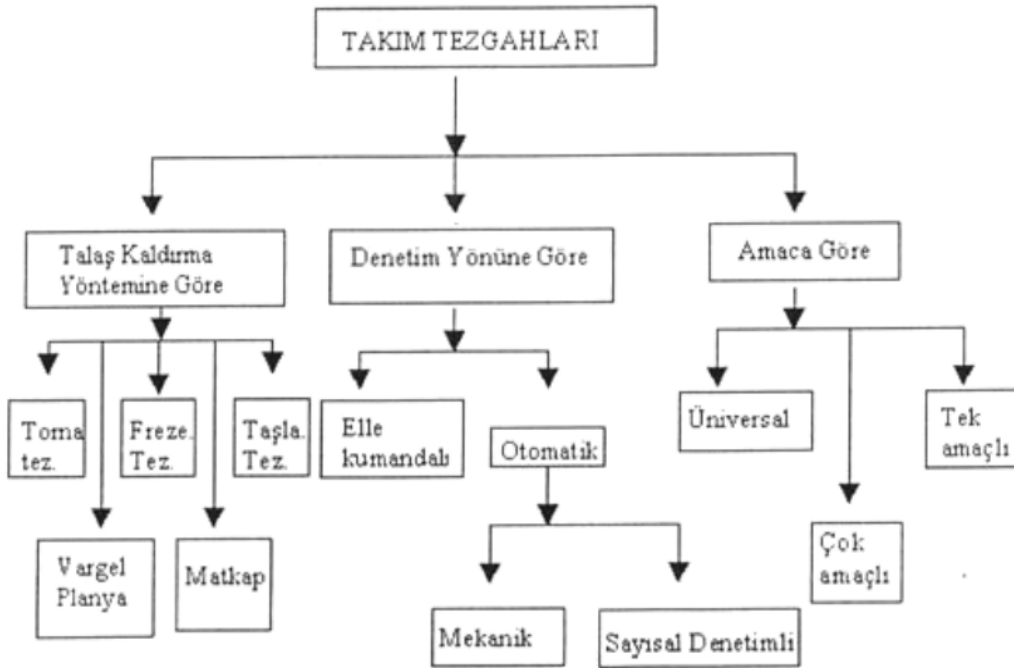
2.2.1 CNC ve Takım Tezgahları

Hammadde halinde bulunan bir malzemedan istenilen şekil, biçim ve görünüşe uygun bir malzeme elde etmek için kullanılan üretim araçlarına takım tezgâhı denir. Takım tezgâhları ile başta metal olmak üzere ağaç, mermer, plastik vb. diğer malzemeler işlenebilir (Cevindik 2009).

Takım tezgâhına bağlanan hammadde tezgâhın amacına, görevine ve fonksiyonlarına uygun ve takım tezgâhının belirli parçalarına verilen hareketler sayesinde bir dizi işlemde geçer. Bu tür tezgâhlarda yapılan imalat talaşlı imalat ve talaşsız imalat olmak üzere ikiye ayrılır. Talaşlı imalat, iş parçasının yüzeyinden talaş (parça) kaldırmak suretiyle yapıldığı için bu adı almıştır. Tornalama, frezeleme, vargelleme, delme, broşlama, taşlama, honlama, lebleme gibi işlemler talaşlı imalat yöntemine girerken döküm, dövme, presleme, haddeleme, çekme, sıvama, bükme, kaynak yapma, lehimleme, yapıştırma gibi işlemler de talaşsız imalat yöntemine girmektedir. Tüm bu işlemlerin ortak özelliği takım, parça ve işlem üçlüsü üzerine kurulmasıdır (Cevindik 2009).

Eskiden daha çok talaşsız imalat yöntemleri kullanılırken şimdi talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır (Cevindik 2009).

Takım tezgâhları talaş kaldırma yöntemine göre, denetim sistemine göre ve amacına göre olmak üzere üç şekilde sınıflandırılabilir. Talaş kaldırma yöntemine tezgâhların, takım ile parçanın hareketleri de göz önünde bulundurularak torna, freze, matkap vb. gibi isimler alır. Denetim sistemine göre tezgâhların, işlenen parçanın kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği gibi teknolojik verileri göz önünde bulundurularak nümerik kontrol (NC) ve bilgisayar destekli nümerik kontrol (CNC) çeşitleri vardır. Amaçlarına göre tezgâhların, farklı parçaları işleyebilme kabiliyetlerine göre Üniversal, tek amaçlı veya çok amaçlı olmak üzere üç çeşidi vardır. Üniversal tezgâhlarda her türlü parça işlenebilirken, çok amaçlı tezgâhlarda işlenebilecek parça çeşidi sınırlıdır. Tek amaçlı tezgâhlarda ise sadece tek çeşit işlem yapılır. Örneğin, çok amaçlı tezgâhlardan çubuk işleme tezgâhlarında sadece silindirik parçalar işlenirken, tek amaçlı tezgâhlardan vida açma tezgâhlarında sadece vida açma işlemi yapılabilmektedir (Cevindik 2009).



Şekil 2.1 Takım tezgahların sınıflandırılması (Cevindik 2009).

2.2.2 CNC Takım Tezgahları

Teknolojik gelişmelere paralel olarak takım tezgâhlarında kaliteyi artırmak, kolay üretilebilirliği sağlamak, düşük maliyet ve işleme koşullarının kolaylıkla değiştirilmesini sağlamak amacıyla otomasyona geçilmiştir. Böylece parçanın işlenmesine ait bilgi verilerin insan tarafından verildiği konvansiyonel tezgâhlardan sonra verilerin tezgâhın anlayabileceği kodlardan oluşmuş program tarafından verildiği nümerik (sayısal) kontrollü takım tezgâhları ortaya çıkmıştır (Cevindik 2009).

Nümerik kontrol (NC), "Bir hareketi sayısal olarak kontrol etmek veya harekete sayısal olarak kumanda etmektir". Başka bir tanımla nümerik kontrol, "belirli bir sayı sistemine göre kodlandırılmış giriş sinyallerinin uygun mantık devrelerine bir sistemi kontrol etmek amacıyla uygulanması ve verilen komutlara uygun olarak istenilen çıkışın belirli bir tolerans içerisinde sağlanmasına denir (Cevindik 2009).

NC (Numerical Control - Sayısal Kontrol) takım tezgâhlarında üretilmek istenen parçanın özelliklerine ve parçanın şekline bağlı olarak program, tezgâhın kontrol ünitesine yazılır. Tezgâhta okunan bilgiler doğrultusunda hareket komutu tezgâhın hareketli parçalarına gönderilir ve gerekli parçaların hareket etmesi sağlanarak parça işlenir (Cevindik 2009)

Nümerik Kontrol (NC) metal ve diğer tür malzemelerin talaş kaldırmak suretiyle işlenmesinde kullanılan her türlü takım tezgahında yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu tezgahlardan bazıları şunlardır:

- Torna tezgahı (Lathe Machine)
- Freze tezgahı (Milling Machine)
- Matkap tezgahı (Drilling Machine)
- Borlama Tezgahı (Boring Machine)
- Taşlama Tezgahı (Grinding Machine)

Bütün NC takım tezgahlarının kendilerine özgü kapasite, operasyon yetenekleri ve bir takım karakteristik özellikleri vardır. Bu nedenle tezgahın sahip olmadığı hiçbir işleme

özelliği o tezgaha yaptırılmaz. NC takım tezgahlarında hafıza bulunmadığından bu tür tezgahlarda blok verileri sıra ile okunur ve işleme konulur. Bir iş parçasının imalatı esnasında tezgahın kontrol ünitesi (Machine Control Unit) bir bloktaki bütün verileri okur ve tezgahta gereken işlem operasyonlarını yerine getirir. Operasyonlar tamamlandıktan sonra bir sonraki bloka geçirilir. Bu işlem sırasıyla program sonuna kadar devam eder (Büyükşahin 2005).

Parça programları standard kağıt şerit üzerindeki yer ve diziliş şekillerine göre farklı nümerik (sayısal) ve alfa nümerik (alfa sayısal) değer ve anlamları vardır (Büyükşahin 2005).

Yine teknolojik gelişmelerle birlikte, bilgisayarın da hayatımıza girmesiyle birlikte üzerinde program kodlarını depolamayan NC tezgâhların bilgisayar ile entegrasyonu sonucunda CNC (Computer Numerical Control - Bilgisayarlı Nümerik Kontrol) tezgâhlar ortaya çıkmıştır. CNC tezgâhları belirli harf, rakam ve sembollerden oluşan ve belirli bir mantığı olan kodlanmış komutlara bağılı olarak tezgâha bağılı iş parçasını işleyen makinedir (Cevindik 2009).

CNC tezgâhlarının ve işleme teknolojilerinin geliştirilmesinin amaçları;

- Üretimin hızının artırılarak birim maliyetinin azaltılması.
- Şekil ve ölçü zorluğu olan, çok işlem gerektiren parçaların üretiminin kolaylıkla yapılabilmesi.
- Seri imalat parçalarının şekil ve ölçü hassasiyetinin bozulması ve kolayca kontrol edilebilmesi.
- Klasik yöntemlerle işlenmesi mümkün olmayan parçaların üretiminin yapılması (Günaydın 2014).

CNC takım tezgahlarının fiziksel tasarım ve konstrüksiyonları NC tezgahların aynıdır. Ancak NC takım tezgahlarında yapımları pratikte mümkün ve ekonomik olmayan bir dizi fonksiyonel özellikler bu tür tezgahlara ilave edilmiştir.

Bu özellikler şunlardır;

- Tezgaha yüklenmiş olan parça programları, kontrol ünitesi hafızasında saklanabilir, buradan çağrılarak defalarca işletilir.

- Tezgah kontrol ünitesini besleyen özel bir güç kaynağı mevcuttur. Tezgahın enerjisi kesilse bile program vb. veriler muhafaza edilir.
- Parça programı üzerinde yapılması düşünülen değişiklikler istenildiği anda ve kolaylıkla yapılır. Değiştirilmiş olan program son şekliyle hem işletilir hem de hafızada saklanır.
- Bazı rutin operasyonlar program içerisinde döngüler (Cycles) şeklinde tanımlanır ve gerekli yerlerde kullanılır. (Delik delme, delik büyütme, dikdörtgen cep frezeleme, kademeli ve konik tornalama, radyüs tornalama vb.)
- Bir iş parçası üzerinde döngüler dışındaki tekrarlanması gereken operasyonların programlama (ana program - Main Program) içerisinde bir kez yazılır ve Alt Program (Sub Program) adıyla isimlendirilirler. Ana programın uygulanması sırasında bu alt programlar gerekli yerlerde çağrılarak işlem tamamlanır. Buna örnek olarak ADANA yazısının programını verebiliriz. Burada A harfi için bir alt program yazılır. Ancak bu program farklı X mesafesinde sadece koordinat tanımlamaları yapılmak suretiyle uygulanır. Böylece normal program %40 daha kısaltılmış olur.
- Bir parçanın programı yazıldığında normal olarak belirli tür ve çaptaki kesicilere işlenir.
- Programlama esnasında kesici çapının dikkate alınarak bazı belirli ölçüsel kaydırmaların yapılması gerekir. Halbuki kesici telafisi (Cutter Compensation) kolaylığı ile bu kaydırmalar CNC kontrol ünitesi (CNC Control Unit) tarafından programın işletimi esnasında yapılır. Kullanılan kesici kırıldığında ve aynı çapta başka bir kesici bulunamadığı durumlarda farklı çaptaki kesici ile programa kalınan yerden devam edebilme kolaylığı sağlar. Kontrol ünitesi yeni kesicinin çapına göre gerekli ölçüsel kaydırmaları yapar.
- Bilgisayar sayesinde konum değiştirmeler, devir sayısı ve ilerlemelerde optimum değerlere ulaşır. Bunun sonucu olarak CNC takım tezgahlarında ideal çalışma koşulları sağlanmış olur. Alın tornalama işleminde iş parçasının çapı sürekli olarak değiştiğinden buna bağlı olarak devir sayısının da değişmesi gerekir (Constant Surface Speed). Sonuç olarak elde edilen yüzey kalitesi ve hassasiyet konvansiyel tezgahlara (Conventional Machines) kıyaslanmayacak derecede iyidir.

- CNC kontrol ünitesinde bilgisayar kullanımı sonucu diğer pek çok bilgisayar ve sistemleriyle iletişim kurabilme avantajına sahiptir.
- Parça imalatınageçilmeden önce görüntü ünitesi (Visual Display Unit) yardımıyla grafik olarak parça programının benzetimi mümkündür.
- Kesici aletlerin değiştirilmeleri her hangi bir manuel müdahale olmaksızın yapılır. Bunun için dönerli taretler (Rotary Turrets) yada paletli kesici magazinleri kullanılır.

2.3 İşlenebilirlik

Genellikle iş parçasının işlenebilme kabiliyeti, uygun kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak bir malzemeyi (çoğunlukla metal) talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirebilmenin nispi kolaylığı veya zorluğu olarak tanımlanabilir. Kesici takımlardaki gelişmeler, değişen koşullar ve metotlar nedeniyle işlenebilirlik kavramı ifade edilmesi zor olan bir kavramdır. İş parçası malzemelerinin metalürjisi, mekaniği, ısıl işlemleri, katkı maddeleri, içerisindeki kalıntılar, yüzeyindeki sert tabakanın kalınlığı gibi özellikler işlenebilirliği etkiler. Bu etkilerin yanı sıra işlenebilirlik üzerinde kesici kenarın, takım tutucunun, takım tezgâhının, işlemlerin ve işleme koşullarının da etkisi büyüktür. Malzemeler için işlenebilirlik verileri talaşlı imalat işlemlerinde daha sonra iyileştirilebilecek başlangıç değerlerinin belirlenmesine yardımcı olurlar (Domaç 2011).

İşlenebilirlik, uygun kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak bir malzemeyi (çoğunlukla metal) talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirebilmenin nispi kolaylığı veya zorluğudur. İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, işlenebilirlik sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır (Nas 2008).

İşlenebilirliği değerlendirmek için çeşitli kıstaslar kullanılır. Bunlardan en yaygın olanları:

- Takım ömrü;
- Kesme kuvvetleri ve harcanan enerji veya güç;

- İşlenen yüzey kalitesidir.

Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısı iletkenlik, pekleşme ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Örnek olarak, sertlik arttıkça kesici takımın aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalmaktadır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (Built-Up-Edge - BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalmaktadır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir (Nas 2008).

2.4 Kesici Takımlar

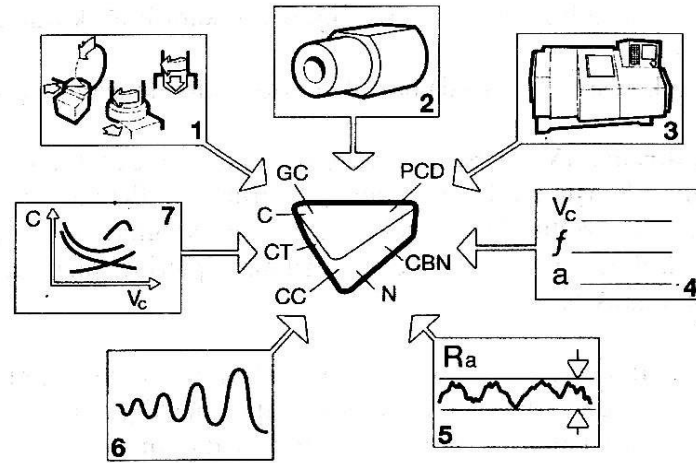
Kesici takımlar, bir takım tezgâhına tespit edilerek endüstriyel bir ürüne şekil veren aletlerdir. Bu şekil verme işlemi genellikle malzemedeki talaş kaldırılarak meydana gelmektedir. Değişik makine ve makine parçalarının imalatını sağlamak için kullanılan kesici takımın, talaş kaldırma esnasında oluşan yüksek zorlamaları karşılaması zorunludur. Günümüz sanayisindeki rekabet ortamı, gelişen teknoloji nedeniyle meydana gelen talaş kaldırma yöntemlerinin çeşitliliği ve farklılıkları sonucunda metalik ve metalik olmayan çok sayıda kesici takım malzemesinin geliştirilmesini sağlamıştır. Halen dünyanın çeşitli yerlerinde farklı çevre şartlarında talaş kaldırma işlemleriyle değişik makinelerin üretimi sağlanmaktadır. Bir çok uygulama için birden fazla takım malzemesi uygun olabilir. Sonuç olarak takım seçimi; malzemenin kolay temin edilebilirliği ve ekonomikliğine bağlıdır (Ekmen 2015).

Talaş kaldırma işlemlerinde ya tornalama işleminde olduğu gibi tek noktalı takımlarla sürekli kesme işlemi ya da frezeleme işleminde olduğu gibi çok uçlu takımlarla kesme işlemi yapılır. Sürekli kesme işleminde kesici uçta yüksek sıcaklıklar oluşurken süreksiz kesme işleminde ise kesici uçlar darbeli yüklere maruz kaldığından daha büyük kuvvet ve sıcaklık değişimleri meydana gelir. İşlenen malzemelerin iç yapısına ve istenilen yüzey kalitesine göre uygun kesme hızlarında çalışması gereklidir (Aydemir 2006).

Talaş kaldırma işlemlerinde belirli bir malzeme için uygun takım seçimi bunların mekanik özellikleriyle belirlenir. Uygun takım malzemesinin seçiminde takımın kesme işlemi ve fonksiyonu üzerine nasıl etki edeceğinin belirlenmesi için bu malzemelerin

fiziksel mekaniksel özelliklerinin anlaşılması gerekmektedir. Fiziksel ve mekaniksel özellikler. Malzeme karakteristikleri olup belli kesme şartları altında kesici malzemenin nasıl performans göstereceğini belirler. Tornalama tezgahında yapılacak bir işlem için uygun kesici takımın seçimi takım malzemesi ve geometrisinin yanı sıra aşağıdaki faktörlerden etkilenir. Şekil 3.2’de tornalamada takım malzemesi seçimini etkileyen belli başlı faktörler gösterilmiştir (Aydemir 2006).

1. İşlemin tipi
2. İş parçasının şekli ve malzemesi
3. Takım tezgahı
4. Kesme parametreleri
5. Arzu edilen yüzey kalitesi
6. Genel rijitlik
7. İşleme maliyetleri



Şekil 2.2 Takım malzemesi seçimini etkileyen faktörler (Aydemir 2006).

Talaşlı imalat işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takımların etkin bir şekilde uzun süre kesme işlemi yapabilmesi için kesici takım malzemeleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır (Nas 2008).

1. Yüksek sertlik ve sıcak sertlik,
2. Yüksek tokluk,
3. İş parçasına karşı kimyasal olarak asallık,
4. Oksidasyon ve kimyasal olarak çözünmeye (dissolution) karşı kararlılık,

5. Isıl şoklara karşı direnç,

Ticari olarak bugün mevcut takım malzemelerinin değişik uygulamalarındaki performansları; takım ömrüne, talaş kaldırma miktarına, yüzey hassasiyetine ve takım maliyetine bağlı olarak değişmektedir (Ekmen 2015).

2.4.1 Yüksek Hız Çeliği

20. yüzyılın başından beri bilinen ve sürekli geliştirilen kesici takım grubu olup diğer takım malzemelerine nazaran düşük maliyeti ve işlenebilme özelliği nedeniyle yüksek hız takım çelikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek hız çelikleri, yerini birçok uygulamada toz metalürjisi tekniği ile üretilen, daha yüksek hızlarda kesme işlemi yapabilen ve aşınma dirençleri daha yüksek olan sert metallere bırakmıştır. Fakat yüksek hız çelikleri tokluk değerlerinin yüksek olması sebebiyle bazı talaşlı imalat yöntemlerinde önemini yitirmemiştir. Genelde helisel matkap, azdırma çakıları, kılavuzlar, parmak freze gibi kesici takım malzemelerinde hala kullanılmaktadırlar (Ekmen 2015).

Hız çelikleri, yüksek alaşımlı asal çeliklerdir. 600°C sıcaklığa kadar sertliklerini muhafaza ederler. Yüksek kesme hızlarında (30/50 m/dk) talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlardır. Yüksek hız takım çelikleri T ve M olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. Bunlar ilk alaşım olan Tungsten ve Molibden yüzdesine göre belirlenir. T serisi %12-20 tungsten ve diğer alaşım elementi olarak Vanadyum ve Kromla birlikte kobalttan oluşurken M serisi yaklaşık %3,5-10 Molibden ile diğer alaşım elementleri olarak Kobalt, Krom ve Vanadyum içerir. Genel olarak M serisi, T serisinden daha yüksek abrasyon aşınma direncine sahip olmakla birlikte daha ucuz ve ısıl işlemde daha az bozulma göstermektedir (Ekmen 2015).

Yüksek hız çeliği, karbon ve düşük alaşımlı çeliklere nazaran yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilen yüksek alaşımlı bir takım çeliğidir ve günümüzde kullanılan en önemli takım malzemelerinden biridir. Matkap, kılavuz, freze çakıları ve tığlar gibi karmaşık geometriye sahip kesici takımların üretiminde yaygın olarak kullanılırlar.

Yüksek hız çeliği kesici takımlar sementit karbür ve seramik gibi daha sert kesici takımlardan daha iyi tokluk özellikleri sergilerler. Taşlamayla istenilen geometriye kolayca getirilebildikleri için, imalatçılar tarafından tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takım olarak da kullanılırlar. Yüksek hız çeliği takımlar, özellikle matkaplar, kesme performanslarının önemli ölçüde artırılması için TiN ile kaplanırlar (Nas 2008).

2.4.2 Sementit Karbürler

Sementit karbür kesici takımlar ilk olarak tungsten karbür (WC) ve kobalt (Co) parçacıklarından toz metalürjisi yöntemleriyle üretilmişlerdir. Sert WC parçacıklarından dolayı dökme demir ve çelik dışı metallerin işlenmesinde yüksek hız çeliğinden daha yüksek kesme hızlarında etkin bir şekilde kullanılmıştır (Nas 2008).

Çelik ve WC-Co arasındaki güçlü bir kimyasal reaksiyondan dolayı takım-talaş ara yüzeyinde adhezyon ve difüzyon vasıtasıyla özellikle çeliklerin işlenmesi esnasında hızlı krater aşınması olduğu için, WC-Co sementit karbür kesici takımlara TiC ve TaC ilave edilerek krater aşınma direnci önemli derecede iyileştirilmiştir. WC-TiC-TaC-Co kesici takımlar çeliğin işlenmesinde kullanılabilir (Nas 2008).

Çelik dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılan sementit karbür kesici takımlar alüminyum, pirinç, bakır, magnezyum, titanyum ve dökme demirin işlenmesinde kullanılır. Çelik türü malzemeler için olan sementit karbür ise düşük alaşımlı, paslanmaz ve diğer alaşımlı çeliklerin işlenmesinde kullanılır. Bu tür kesici takımlarda WC ile birlikte TiC ve/veya TaC'de kullanılır. Çoğunlukla % 10–25 oranında TiC ve TaC aynı oranda WC azaltılarak ilave edilir. Bu yapı, bu tür kesici takımlarda çeliğin işlenmesinde krater aşınma direncini artırır fakat çelik dışı malzemelerin işlenmesinde hızlı yan yüzey aşınmasına sebep olur (Nas 2008).

2.4.3 Kaplamalı Sementit Karbürler

Kaplamalı karbürlerin (GC) bulunması sonucunda tokluğun artmasıyla aşınma direncinin düşmesi gerektiği düşüncesi ortadan kalkmış ve değişik kalitelere ideal

takım malzemelerine yakın malzemeler elde edilmiştir. İlk ortaya çıkmalarından itibaren kaplamalı karbür malzemelerde elde edilen iyileştirmeler sonucu bu malzemeler en fazla kullanılan takım malzemeleri haline gelmişlerdir. Bugün tornalama işlemlerinin % 75'i, frezeleme işlemlerinin % 40'dan fazlası kaplamalı karbür takımlar ile yapılmaktadır (Aydemir 2006).

Sementit karbürlerin aşınmaya dirençli TiC, TiN ve/veya Al₂O₃ gibi malzemelerle kaplanması kesici takım alanındaki en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilir. Kimyasal (CVD) veya fiziksel (PVD) buhar çökeltme yöntemleriyle sementit karbür altlık üzerine birkaç mikron kalınlığında tek veya çoklu katman olarak kaplanan bu malzemeler, sementit karbür kesici takımın performansını önemli ölçüde artırır (Nas 2008).

Kesici uçlarda tabaka kalınlığındaki artışın negatif bir etkisinin olduğunun gözlenmesinden dolayı çok nadiren toplam 12 mikrondan daha kalın bir tabaka ile kaplanırlar. Aşınma direnci tabaka kalınlığı arttıkça artar. Ancak bu durumda kırılma ortaya çıkar ve kaplama tabakasının soyulması bir problem teşkil etmeye başlar. Daha ince bir kaplama ise daha yüksek bir tokluk sağlar (Aydemir 2006).

Kaplamalar, geliştirildikleri ilk zamanlarda tek katman olarak uygulanmıştır fakat son zamanlarda çok katlı kaplamalar geliştirilmiştir. WC-Co kesici takıma, adhesiv olarak iyi birleşmelerinden ve birbirlerine yakın ısı iletkenlik katsayılarından dolayı çoğunlukla TiN veya TiCN uygulanır. Bu ilk katmanın üzerine TiN, TiCN ve Al₂O₃ uygulanması yaygındır (Nas 2008).

Kobalt esaslı karbürli kesiciler, bünyesindeki sert karbürler dolayısıyla iyi aşınma direncine sahip olduklarından endüstride çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlardan düz WC-Co alaşımlı takımlarda iki esas değişken, kobalt içeriği ve WC'nin tane boyutu, takım performansına etki ettiği için dökme ve dövme demir gibi malzemelerin işlenmesinde kullanılırken çelik dereceli kesicilerin özelliğini ise hem WC-Co alaşımına katılan TiC ve TaC'lerin yüzdesi ve kobalt içeriği, hem de karbürlerin üretimi, sinterleme ve diğer değişkenlerden etkilendiğini göstermektedir (Aydemir 2006).

2.4.4 Sermetler (CT)

Sermet ifadesi seramik ve metal kelimelerinden türetilmiştir ve sementit karbürlerin müşterek ismidir. Sermet kesici takımında sert parçacıklar WC'den ziyade TiC, TiCN ve/veya TiN esaslı seramik parçacıklardan oluşurken birleştirici faz da nikel ve/veya molibdenden oluşur. Sermet kesici takımlar da sementit karbür gibi toz metalurjisi yöntemleriyle üretilirler. Çelik, paslanmaz çelik ve dökme demirin bitirme ve yarı bitirme işlemlerinde yüksek kesme hızlarında kullanılırlar. Çeliklerin işlenmesinde kullanılan sementit karbür kesici takımlardan genellikle daha yüksek hızlarda kullanılırlar. Düşük ilerleme hızları kullanılarak iyi bir yüzey elde edilerek çoğunlukla taşlama işlemine gerek kalmaz (Nas 2008).

Oldukça kırılgan bir takım malzemesi olmalarına karşın sermetler oldukça zor talaş kaldırma işlemlerinde daha iyi bir tokluk sağlamak amacıyla geliştirilmişlerdir. Bu malzemeler sadece çeliklerde orta ince işlemlerde kullanılmak için geliştirilmiş malzemeler olmayıp frezeleme işlemlerinde ve paslanmaz çeliklerin tornalanması işlemlerinde de kullanılmaktadırlar (Aydemir 2006).

Ağır koşulların söz konusu olduğu profil işleme işlemleri için sermet takımlar uygun değildir. Sermet takımlar ortadan yükseğe değişen kesme hızlarında, orta ilerleme değerlerinde, takım ömrü ve yüzey kalitesinin ölçüt olarak kullanıldığı elverişli koşullarda, daha küçük işleme paylarının söz konusu olduğu kopya işlemlerinde daha avantajlıdırlar (Aydemir 2006).

2.4.5 Seramikler (CC)

Seramik kesici takımlar esas olarak alüminyum oksit (Al_2O_3) ve silisyum nitrür (Si_3N_4) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Sementit karbür kesici takımlarla karşılaştırıldıklarında yüksek sertlik ve sıcak sertlik, yüksek aşınma ve plastik deformasyon direnci ve iyi kimyasal kararlılık özelliklerine sahip olmakla birlikte düşük ısıl şok direnci ve kırılma tokluğu özellikleri sergilerler. Al_2O_3 seramik kesici takımlar dökme demir ve çelik dökümün yüksek hızlarda işlenmesinde başarıyla kullanılırlar. Yük etkisinde şekil

değiştirmeyen bir bağlama gerçekleştirildiğinde, sertleştirilmiş çeliklerin bitirme işlemleri yüksek hız, düşük ilerleme ve düşük talaş derinliği kullanılarak gerçekleştirilebilir (Nas 2008).

Seramik takımlar sert, yüksek sıcak sertliğe sahip, iş parçası malzemesi ile reaksiyona girmeyen takımlardır. Uzun bir takım ömrüne sahiptirler ve yüksek kesme hızlarında talaş kaldırabilirler. Doğru uygulamalarda çok yüksek talaş debilerine erişebilirler. Seramiklerle bütün malzemeler işlenmez, en belli başlı uygulama alanları: gri dökme demir, ısıl dirençli alaşımlar, sertleştirilmiş çelikler, sfero dökme demir ve bazı durumlarda çeliktir (Aydemir 2006).

Seramik kesme takımı kullanırken iş parçasını soğutmakta başka soğutucuya ihtiyaç yoktur. Seramik kullanarak, sert madenlere göre 2-3 misli daha fazla kesme hızları kolayca elde edilir. Daha iyi sağlıklı ve sertlik karakteristikleri gösteren karışık seramikler gelişmektedir. Buna bir örnek silisyum nitrür tabanlı olan “sialon”dur. Adı ana maddelerin sembollerinden oluşmuştur. Misal olarak, SİN (Silisyum Nitrür) ve Al_2O_3 (Alüminyum Oksit) gibi olabilir. Seramik bileşenlerine göre üç gruba ayrılırlar. Bunlar: Saf Alüminyum Oksidi (Al_2O_3) Sermet (Cermet=Ceramic+Metals) denilen ve Al_2O_3 ile Mo, Cr, Fe, Ni gibi metallerin karışımı ile oluşan AIO, WC, TiC gibi metal karbürlerin alaşımlarıdır (Aydemir 2006).

Seramik takımlar gevrek olduğundan kolaylıkla talaşlama eğilimine sahiptir. Darbeli kesme için sadece ideal şartlar altında tatmin edicidir. Seramiklerin ilk maliyeti karbürli takımlardan daha yüksektir. Diğer kesici takımlardan daha rijit ve güçlü tezgahlara gereksinim vardır. Bununla beraber, bunlarda daha yüksek kesme hızları gereklidir. Bu ve benzer sebepler seramiklerin kesici takım malzemesi olarak kullanılmasına sınırlamalar getirmektedir (Aydemir 2006).

Üretimlerindeki ve sinterlenmelerindeki iyileştirmelerle ve tokluklarını artırıcı çeşitli elementlerin katılmasıyla seramik kesici takımlar daha iyi dayanım, ısıl şok direnci ve kırılma tokluğu gibi özelliklere sahip olmuşlardır ve dolayısıyla uygulama alanları genişlemiştir (Nas 2008).

2.4.6 Elmas ve Kübik Bor Nitrür Kesici Takımlar

Doğal elmas (tek kristalli), çok kristalli elmas (Polycrystalline Diamond - PCD) ve kübik bor nitrit (Cubic Boron Nitride - CBN) çok sert kesici takımlar grubuna giren malzemelerdir. Doğada bilinen en sert malzeme doğal elmadır. Sementit karbür veya Al_2O_3 'ten yaklaşık olarak 3–4 kat daha serttir. Anizotropik özellik sergilediği için ölçüm yapılan kristal düzlemine bağlı olarak sertliği 6500 – 12000 VSD arasında değişir. Çok yüksek sertliği, mükemmel aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, düşük genleşme katsayısı ve ısıl şok direncini artıran yüksek iletkenliği ve iyi uç keskinliği tek kristalli elması takım malzemesi olarak cazip hale getirmiştir. Elmas kesici takımlar yüksek sertliklerinden dolayı karbür ve seramik kesici takımlardan aşınma direnci abrasif aşınma mekanizmasının hakim olduğu yerlerde çok daha iyidir (Nas 2008).

Kesici takım olarak tek kristalli elmas özel uygulamalar için kullanılır. En yüksek sertliği veren kristal yönlenmesi seçilir ve kesici takım geometrisine lepleme ile getirilir. Kesici uçlar mükemmel biçim hassasiyetine getirilir, uçlar hazırlanır ve çok yüksek hassasiyette ve kalitede bitirme yüzeyleri elde edilebilir. Optik aletlerin üretimi için kullanılır. Bununla birlikte, düşük tokluklarından, kesici takım geometrisine getirilmemesi ve yüksek maliyetlerinden dolayı tek kristalli elmas kesici takımların kullanımları oldukça sınırlıdır (Nas 2008).

Çok kristalli elmas (Polycrystalline Diamond - PCD) kesici takımlar yapay elmasın grafitik karbondan çok yüksek sıcaklık ve basınç altında üretiminden sonra kullanılmaya başlanmıştır. Çeşitli boyut ve şekillerde üretilen elmas parçacıklar bir metalik birleştirici ile birlikte bir araya getirilerek sıcak presleme yöntemiyle çok yüksek basınç altında kesici takım geometrisinde imal edilir. Çoğunlukla 0,5 – 1 mm kalınlığındaki PCD, sementit karbür alt katman üzerinde kesici takım olarak kullanılır (Nas 2008).

PCD kesici takımlar rasgele yönlenmiş elmas parçacıklarından oluştuğu için çoğu uygulamalarda izotropik davranış sergilerler. Doğal elmastan elde edilebilecek kadar mükemmel bir kesici ucun PCD kesici takımla elde edilmesi mümkün olmamakla

birlikte kesici uç deformasyona daha az duyarlıdır. Bununla birlikte diğer kesici takımlarla karşılaştırıldığında aşınmaya karşı dayanımı mükemmeldir. Çok uzun süre kesme hassasiyetini koruduğu için özel uygulamalar için çok uygundur. Doğal elmas gibi demir dışı ve metal dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılır Yüksek dayanım ve sertliğine rağmen yüksek sıcaklıkta çeliğin işlenmesinde hızlı takım aşınmasından dolayı kullanılmaz. Yüksek sıcaklıkta elmasın grafitte dönüşümü ve/veya elmas ile demir veya atmosfer arasındaki etkileşimden dolayı hızlı takım aşınması gerçekleşir (Nas 2008).

Yapay elmas üretiminde kullanılan aynı teknoloji ile hegzagonal bor nitritten (Cubic Boron Nitride - CBN) üretimi gerçekleştirilmiştir. 3500 – 4500 VSD sertliği ile elmastan sonra sertlikte ikinci sırada yer alır. 1100 °C sıcaklıkta sertliği 1800 – 2000 VSD olup sementit karbürün oda sıcaklığındaki sertliğine tekabül eder. Mükemmel aşınma direnci, iyi ısı iletkenliği, düşük sürtünme ve ısıl genleşme katsayıları diğer özellikleridir (Nas 2008)

PCD kesici takımlarda olduğu gibi CBN parçacıkları çok yüksek basınçlar kullanılarak kesici takım haline getirilir. Yoğunluğunu artırmak için başlangıç parçacıklara bir miktar metal tozu ilave edilir. CBN demir, kobalt ve nikel esaslı malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Titanyum, alüminyum ve zirkonyum gibi nitrit ve bor oluşturan elementlerle reaksiyona girer (Nas 2008).

2.5 Önceki Çalışmalar

2.5.1 CNC Makinesi ile Yapılan Çalışmalar

Bilgisayarların akıl almaz bir hızda gelişmelerinin sonucunda tasarımlar çok hızlı değişmekte, otomobil gibi çok komplike olan makineler bile her an yeni tasarımlarıyla piyasaya çıkmaktadırlar. Bu hızlandırılmış tasarım süreci, imalatı da bu hıza ayak uydurmaya zorlamış ve CNC makineleri de yaygınlaşmaya başlamıştır. Tamamen bilgisayar kontrollü olarak çalışan CNC'ler tasarlanan bir parçanın birkaç saat içinde prototipini elinizde tutuyor olabilmenizi sağlar ki, bu tasarımın geliştirilebilmesi ve test

edilebilmesi için inanılmaz bir fayda sağlamaktadır. Tabii ki seri üretimdeki bir parçanın hassas ve hızlı üretilmesini sağlaması da diğer çok büyük bir faydasıdır (Büyükşahin 2005).

Bilgisayarlı Nümerik Kontrol de (Computer Numerical Control) temel düşünce takım tezgahlarının sayı, harf vb. sembollerden meydana gelen ve belirli bir mantığa göre kodlanmış komutlar yardımıyla işletilmesi ve tezgah kontrol ünitesinin (MCU) parça programıyla kontrol edilebilmesidir (Büyükşahin 2005).

Hayatımızın her alanında bilgi işlem teknolojisi hızla gelişmektedir. Bilgi işlem teknolojisinin gelişmesi özellikle imalat endüstrisinde önemli değişikliklere sebep olmuştur. Bu değişimlere paralel olarak universal imalat tezgahları yerini bilgisayar kontrollü tezgahlara bırakmıştır (Kutlu 2006).

Günümüzdeki bilgisayar teknolojisi her alanda olduğu gibi talaşlı üretimin tasarımdan, üretimine ve satışına kadar geçen süreçte etkin olarak kullanılmaktadır. Üretim şartlarının bilgisayar ortamında tasarımı, analizi ve bilgisayar kontrollü tezgahlarda en hassas biçimde son ürün olarak imal edilmesi gibi aşamaların tümünde optimum üretim şartlarını elde etmek amaç bilgisayarların hesaplamadaki hızlarından faydalanılmaktadır. Gelişen Yapay Zeka Teknikleri de talaşlı üretimin doğal sürecinde son on yılda önemli bir yer almış olup, tasarım ve analiz programlarının geliştirilmesinde, işleme şartlarının optimizasyonunda ve simülasyonunda, işleme anında gelişen problemlerin izlenmesinde ve önlenmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Çolak 2006).

İmalat sanayinde temel üretim yöntemlerinden birisi de talaşlı imalattır. Talaşlı imalat, gelişen teknolojiyle birlikte, sürekli yeni ve modern işleme tekniklerinin geliştirilmesiyle daha da önem kazanmıştır (Gezgin 2007).

Gelişmiş ülkeler arasındaki aşırı küreselleşme yarışı birçok alanda olduğu gibi, talaşlı imalat sanayiinde de rekabeti arttırmıştır. Bu rekabet ortamı, birçok yeni şirketin

ürünlerini daha kaliteli üretmeye ve aynı zamanda üretim maliyetini azaltmaya zorlamaktadır (Gezgin 2007).

Dong-Woo *et al.* (1998) talaş kaldırma işlemlerinde takım durum izleme yöntemleri konusunda yapılan araştırmaları incelemiştir. Torna ve freze tezgâhlarında talaş kaldırma işlemleri en çok incelenen işleme biçimleri olup takım aşınması, titreşim, takım kırılması, talaş oluşumu ve tipi ile takım geometrisi genel olarak ele alınan konulardandır. Konular ile ilgili yapılan analizlerde kesme kuvvetleri, akustik yayım ve ivmelenme ölçümleri en çok tercih edilen yöntemlerdir. Takım durum izlemede kullanılan algılayıcıların ve kullanılan yöntemlerin uluslararası standartlara uygun olmasına rağmen henüz endüstrinin isteklerine tam olarak cevap verebilecek bir model geliştirilememiştir. Bu alanda araştırmaların yoğun olarak devam ettiği görülmektedir.

Erer'in (2000) yaptığı bu çalışmada CNC takım tezgâhları hakkında genel bir açıklamaya yer verilmiş, CNC tezgâhların tanımı yapılarak endüstriye getirdiği kolaylıklardan ve gelişmesinde etkili olan teknolojik değişimin nedenlerinden bahsedilmiştir. CNC takım tezgâhlarının çalışma prensiplerinden ve sistemlerinden bahsederek kullanım kolaylığına dikkati çekmiştir. CNC tezgâhların ürettiği iş parçalarının universal ve diğer imalat takım tezgâhlarına göre daha hassas ve standart oldukları üzerinde durularak gelecekte universal tezgâhların kullanımının giderek azalacağından bahsedilmiştir.

Sprunt'un (2000) yaptığı bu çalışmada, düşük maliyetli üç eksenli bir CNC freze tasarımının amacı, nümerik kontrollü makine takımlarının getirdiği avantajları ahşap işleme makinelerinde uygulanabilirliğinin araştırılması. Fiyatı düşürmek için tek ray sistemli bir tasarım yapıldı. Yaptığı tasarımda destekleme parçalarının sayılarını en aza indirilerek gerekli olan diğer parçaların üretim maliyetlerini en aza düşürülmeye çalışılmıştır.

Özdeveci (2001) tez çalışmasında, yurt dışından ithal edilen eğitim tipi CNC torna ve freze tezgâhlarının çok pahalı olduğunu belirterek, eğitim çalışmalarında kullanılmak üzere bilgisayar denetimli bir freze tezgâhı tasarlamış ve imal etmiştir. Öğrenciyi bir

sürü kuru teorik bilgilerden kurtardığını ve öğrencinin programı makineye yükler yüklemeyi hemen görebildiğini ve böylece öğrencinin talaş kaldırma işlemlerini daha kolay kavrayacağını ve uygun takım, alet seçme yeteneklerini geliştireceğini ileri sürmektedir.

Varol, Yalçın ve Yılmaz'ın (2005) bilgisayar ve bilişim teknolojisindeki gelişmelerin imalat teknolojilerindeki yansımalarını konu alan çalışmalarında; Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD), Bilgisayar Destekli İmalat (CAM), Esnek İmalat (FM) ve nihayetinde Bilgisayar Tümüleşik İmalat (CIM) sistemlerinin ortaya çıkması üzerinde durulmuştur. İmalattaki otomasyon ve esnekliğin, üretim miktarını ve kaliteyi artırdığından aynı zamanda maliyet ve üretim zamanını da azalttığından bahsedilmiş. İleri İmalat uygulamalarının en geniş uygulama alanı olan talaşlı imalat alanında da, bilgisayar destekli teknolojilerin oldukça hızlı geliştiğinin üzerinde de durulmuştur.

2.5.2 Kesme Kuvvetleri, Spesifik Enerji ve Güç Tüketimi

Nishimatsu (1972) çalışmasında, kayaç kesme mekanizması üzerine bir teori önermiş ve kayaç kesmedeki hasar süreçleri üzerindeki gözlemlerini rapor haline getirmiş, kayaç kesimi için Merchant'ın ortaya koyduğu analitik yaklaşımlarını kullanmış. Kesme işleminde, elde edilen talaşlarda hiçbir plastik deformasyonun olmadığını vurgulamıştır.

Unver (1992) çalışmalarında, karmaşık bir işlem olan kayaların tezgâhlarda kesilmesi işleminde kayaç kesilebilirliği açısından en önemli faktörlerin genel kayaç sertliği ve sert minerallerin tane boyutları olduğunu gözlemlemiş ve açıklamış olduğu istatistiksel yöntemler ile kayaç kesilebilirlik tahmininin güvenli bir şekilde yapılabileceğini belirtmiştir.

Tönshoff *et al.* (1993) çalışmalarında, dairesel kayaç kesme tezgâhında kullanılan 900 mm çaplı bir elmas kesici diskle doğal taşların kesilmesinde ortaya çıkan kesme kuvvetlerini elde etmiş olup ilerleme hızı, çevresel hız, kesme kuvvetleri ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerini dinamometreyle ölçmüşlerdir. Kesme derinliğinin ve kesme hızının artmasıyla normal ve teğetsel kuvvetlerinin de arttığını, çevresel hızın

artması ile kesme kuvvetlerinin bir miktar düşme gösterdiğini, kesme esnasında elde edilen normal kuvvetlerin, teğetsel kuvvetlere göre daha büyük kuvvet değerleri olduğunu gözlemlemişlerdir.

Lou and Chen (1999) yaptıkları çalışmada freze ile işleme sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğü ile titreşim sinyalleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Takım üzerindeki titreşim ve sapmalar ve hem de iş parçasındaki titreşimler ölçülmüştür. Elde edilen deneysel veriler Bulanık sistem ile analiz etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmaya göre devir sayısı, talaş derinliği ve titreşim ile yüzey pürüzlülüğü arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bulanık sistem ile veriler işlenerek değerlendirilmiş, buna göre deneysel veriler ile teorik sonuçlar karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça uyum içersinde oldukları görülmüştür.

Lee *et al.* (2001) çalışmalarında, yüksek hızla frezeleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve bu esnada oluşan titreşimleri araştırmışlardır. Araştırmacılar, normal kesme hızlarında yapılan işleme şartlarında oluşan kesme kuvvetlerin ve işleme parametrelerinin tespit edilmesinin kesme parametrelerinin incelenmesinin yeterli olacağını belirtmişlerdir. Ancak, yüksek hızla işlemede yeterli olmadığını belirtmişlerdir. Yüksek hızla işleme şartlarında işlenen parçaların geometrik tamlığı ve yüzey kalitesi kesme sırasında oluşan titreşimlerin etkisinin büyük olduğu ve bu şartlarda yapılan işlemenin gerçek anlamda incelenip irdelenerek benzetim edilebilmesi için titreşimlerinde dikkate alınmasının gerekli olduğu vurgulanmaktadır. Kesme sırasında oluşan titreşimlerin en büyük nedenlerden birinin kesici ekseninin sapması olduğu belirtilmiştir. Elde edilen deneysel veriler hazırlanan bir program ile irdelenmiştir. Buna göre, işlenen yüzeyin pürüzlülük değerleri ile deneysel verileri işleyip benzetim eden algoritmanın sonuçları mukayese edilmiştir. Bu bağlamda deneysel veriler ile simülasyon sonuçlarının yaklaşık aynı olduğu ve kesme sırasında oluşan titreşimlerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkin bir parametre olduğu çalışma sonucunda tespit edilmiştir.

Chungchoo and Saini (2002) çalışmalarında, CNC tornalama işlemlerinde belirli zaman aralığında kesme, ilerleme ve radyal kuvvetlerini Sinir Ağları Yöntemi ile incelemiştir. Sınırlayıcı kriter olarak takım geometrisini ve giriş açısını kullanan yazar, bu iki kritere uygun deneysel çalışmaları kullanarak kural tabanı oluşturmuştur. Yapılan çalışma sonunda elde edilen veriler grafiksel olarak sunulmuştur.

Wong and Hamouda (2002) çalışmalarında, CNC tornalama işlemlerinin kesme parametreleri belirlenirken akıllı sistemler kullanılmış. Deneysel sonuçları buldukları sonuçlarla kıyaslama yapılmış. Elde ettikleri değerleri grafiksel olarak vermişlerdir.

Tönshoff *et al.* (2002) çalışmalarında, Nishimatsu (1972) 'nun kesme işleminde elde edilen talaşlarda hiçbir plastik deformasyonun olmadığı gözlemini farklı değerlendirerek, kesme işleminde kayaç üzerinde hem elastik ve hem de plastik deformasyon bölgesinin oluştuğunu vurgulamışlardır.

Wang and Clausen (2003) çalışmalarında, elmas kataraklarla kesme işlemi sırasında kesme kuvvetlerini ve aşınmaya bağlı hasar durumlarını araştırmışlardır.

Wang *et al.* (2004) çalışmalarında, takviye edilmiş betonların elmas kesici disklerle kesilebilirliğini araştırmış olup ilerleme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca maksimum kuvvetleri çelik fiberle takviye edilmiş beton blokta elde etmiş olup, burada elde edilen kuvvetlerin takviye edilmiş betonların dayanımıyla orantılı olduğunu söylemişlerdir. Takviye elemanının betonun dayanımını artırdığından, kesme işleminin önemli ölçüde zorlaştığına değinmiş olup Cu/Sn-Co soket bileşiminin beton kesme işleminde uygun olmadığı belirlenmiştir.

Xu *et al.* (2003) çalışmalarında, elmas bir kesici diskle granitin kesilmesi işleminde kuvvet oranlarını, kesme performansı açısından incelemişlerdir.

Büyüksağış vd. (2003) çalışmalarında, altı çeşit travertenin blok kesme makinesiyle kesimi sırasında, doğal taşın tabaka yönlerinin spesifik enerjiye etkisini araştırmışlar ve kesme işleminde elde edilen spesifik enerjilerin tabaka yönlerine göre farklılık gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Tabakaya dik yönde bulunan spesifik enerjilerin, paralel

durumda bulunanlara göre daha büyük değerlerde olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte mekanik testlerde, eğilme ve aşınma dayanımlarının belirlenmesinde tabaka yönlerinin önemli etkisini de vurgulamışlardır.

Büyüksağış ve Gökten (2005) çalışmalarında, yedi çeşit doğal taşın kesilebilme durumlarını bir blok kesme makinesi ile belirlenmiş olup, spesifik enerji değerlerini karşılaştırmışlardır. Bununla birlikte yapılan bu çalışmada sığ kesme derinliği ve düşük ilerleme hızlarında elmas kesicinin verimsiz kestiğini, söz konusu doğal taşlar için kesme derinliği ve ilerleme hızlarının artmasıyla elmas testerenin daha verimli kestiğini de vurgulamışlardır.

Ersoy ve Atıcı (2004) çalışmalarında, farklı kayaçlar, elmas soketler ve farklı kesme parametreleri kullanarak spesifik enerjinin değişimini ve dairesel testereleler üzerine etki eden kesme kuvvetlerini araştırmış, kesme kuvvetlerinin ilerlemeye ve talaş derinliğine bağlı olarak arttığını fakat çevresel hızın artmasıyla teğetsel kuvvetlerin düştüğünü gözlemlemişlerdir. Kesme derinliği ve ilerleme oranlarının artmasının spesifik enerjinin de azalmasına neden olduğu, bu azalmanın, kesme derinliğinin artmasıyla maksimum olarak gerçekteştiğine değinilmiştir. Ayrıca, kesme kuvvetleri ve spesifik enerjinin belirlenmesinde kayaç türlerinin mukavemeti, sertliği, aşındırıcılığı önemli faktörler olarak vurgulanırken daha sert ve mukavemeti yüksek olan kayaçların spesifik enerjilerin, yumuşak ve daha az mukavemetli kayaçlara göre düşük değerlerde elde edildiği de taraflarınca gözlemlenmiştir.

Ersoy ve Atıcı (2004) çalışmalarında, 16 tip kayacı üç tip elmas diskli testerenin kullanımıyla 400 mm çapında, farklı çalışma parametrelerinde kesmiş ve yeni bir parametre olarak tanımlanan spesifik deformasyon enerjisini (SEdef), tek eksenli basma dayanımında gerilme – deformasyon eğrisinin altındaki alandan hesaplamışlardır. Bu metotla spesifik kesme enerjisini (SEkes), kesme performansı ve temel mekanik kaya karakterleri arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılmasını sağlamanın yanı sıra spesifik kesme enerjisini (SEkes) ile spesifik deformasyon enerjisini (SEdef) arasında oldukça kuvvetli doğrusal bir ilişkinin olduğunu tespit etmişlerdir.

Ersoy ve Atıcı (2005) çalışmalarında, testerenin yapılan işleme ve doğal taşın özelliklerine bağlı olarak spesifik enerjideki değişimini araştırmışlardır.

Xu and Li (2003) çalışmalarında, su, hava, suda çözülebilir yağ ve gres yağının disk performansı üzerindeki etkisini incelemişler , gres yağında daha büyük teğetsel ve normal kuvvetler elde etmişlerdir. Bu sonuçları spesifik enerji açısından değerlendirdiklerinde, minimum enerji değerini suda çözülen yağda elde etmişlerdir.

Polini and Turchetta (2004) mermer kesim işleminde kesme parametreleri ve kesici optimizasyonu üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında mermere etkiyen kuvvetlerden hareketle hesaplanabilen spesifik enerji modelini kullanmışlardır.

Chen (2000) ise bu tarz bir çalışmada orta setlikteki çelikten yapılmış CNB kesici kullanarak yaptığı kesme deneylerinde oluşan kesme kuvvetleri ve kesilen mermer yüzeylerindeki deformasyonu araştırmıştır.

Tunç (2006) 5 eksen frezeleme süreçlerinin geometrik analizi ve optimizasyonunu konu alan çalışmasında, küresel uçlu takım kullanan 5-eksen frezeleme süreçleri için tam bir geometrik çözümleme modeli sunmuş ve 5-eksen için değişik koşullarda en iyi değerleri araştırmış. Ayrıca kesme stratejilerini çeşitli kriterlere göre karşılaştırmış ve en uygun stratejili bir model geliştirmiştir.

Ucun vd. (2008) çalışmalarında, Blue Pearl ve Aksaray Yaylak adındaki iki kayaç türü üzerinde elmas kesici diskin performansını araştırmışlardır. Yapılan araştırmaların sonucunda, Blue Pearl'ün kesme kuvvetleri, spesifik enerji ve güç tüketiminin Aksaray Yayıktan daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Ucun vd. (2009) çalışmalarında, bor yağ katkılı soğutma sıvısının kesme performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yapılan bu araştırmalar sonucunda, su-bor yağı kullanılmasıyla güç tüketiminde, spesifik enerjide ve elmas soket aşınmasında belirgin bir azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Ucun vd. (2013) yaptıkları başka bir çalışmada bor yağı ile birlikte Ace-cool, sıvı sabun ve su kesme sıvısı olarak kullanılmıştır. Daha

önceki çalışmada olduğu gibi güç tüketimi, spesifik enerji, kesme kuvvet ve elmas soket aşınmasında azalma meydana gelmiştir.

Rosa *et al.* (2004) çalışmalarında, farklı türdeki kayaların farklı elmas kesicilerle kesilmesi sırasında kesme kuvvetleri ve elektrik enerji tüketimlerini deneysel olarak incelemi ve çevresel hızın artmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığı sonucunu elde etmişlerdir. Bunun yanı sıra, kesme hızının artmasıyla elektrik enerjisinin önemli ölçüde arttığını, daha sert olan elmas soketlerin daha az enerji tüketimine sebep olduğunu ve daha düşük kesme kuvvetlerinin meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Hu *et al.* (2006) çalışmasında, farklı elmas soket genişliklerini kullanarak betonun kuru kesilme işlemi sırasında disk üzerine etki eden titreşim ve tepkisel kuvvetleri ölçmüş, kesme hızının artışıyla x, y ve z yönündeki tepkisel kuvvetlerin arttığını ve titreşim genliğinde düşmenin olduğunu gözlemlemiştir. Bununla birlikte, burada soket genişliği en küçük olanın kuvvet ve titreşim yönünden optimum olduğunu tespit etmişlerdir.

Han *et al.* (2007) çalışmalarında, normal elmas soketli ve ince kesitli kesici disklerle granitin kesilmesi sırasındaki disk performansını deneysel çalışmada incelemiş, kesme kuvvetlerini ve gücü deneysel olarak ölçmüşlerdir. Sonuç olarak her iki testere için gücün ve kuvvetlerin kesme derinliğinin artmasıyla birlikte arttığını tespit etmişlerdir.

Yu *et al.* (2006) çalışmalarında, farklı geometrik şekle sahip olan bir elmas soket tasarlayıp standart soketlerle performans deneylerini incelemişlerdir. Bunun sonucunda ise, bu yeni tasarlanan elmas soketteki güç tüketiminin ve tepki kuvvetlerinin, daha düşük değerlerde kaldığını elde etmişlerdir.

Yalçın vd. (2007) çalışmalarında, oluşturulan bulanık mantık denetleyicide, kesme kuvvetini etkileyen özgül talaş kaldırma oranının, ilerleme parametresi olarak, kesme derinliğini giriş parametresi olarak, kesme kuvvetini ise çıkış parametresi olarak belirlemiş, her bir giriş-çıkış parametresi için uygun üyelik fonksiyonları belirlemişlerdir. Oluşturulan bulanık mantık denetleyicisiyle giriş değerine göre sistemde oluşan kesme kuvveti değerleri tahmin edilmiş, deneysel sonuçlar sonucunda,

bulanık mantık denetleyici ile kesme kuvvetinin tahminlerinin doğru olarak yapılabileceğini gözlemleyip ortaya koymuşlardır.

Güneş vd. (2008) çalışmalarında, bilgisayar tabanlı bir yan-kesme makinası kullanarak, iki farklı granit örneği üzerinde kesme hızının kuvvet ve enerji gereksinimlerinin üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırmanın sonucunda kesme derinliğinin azaltırken, ilerleme hızının ise artırılması sonucunda uygulamanın kesme kuvvetleri, güç tüketimi ve spesifik enerjinin gerekliliği üzerinde olumlu etki yarattığını belirtmiştir.

Caner ve Akarlan (2009) çalışmalarında, Yapay Sinir Ağları ve ANFIS kullanarak, mermer kesme parametrelerinin enerji tüketimine etkisini tahmin etmişlerdir. Tahmin edilen verilerin sonuçları ile deneyden elde edilen verilerin sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmanın sonucunda ise, tahmin edilen verilerin deneysel verilere yakın olduğunu gözlemlemişlerdir.

Dursun ve Çimen (2010) çalışmalarında, mermer kesme makinelerindeki elektrik enerji sarfiyatının azaltılması için bir evirici uygulaması yapılmış, uygulamada kullanılan eviricinin kontrol parametresini sabit tutarken ve frekans parametresini değiştirerek enerji tüketim miktarlarını karşılaştırmışlardır. Eviricide kontrol tekniği olarak açık döngü V/f kontrol metodu seçerek, devir sayısının değiştirilmesiyle aktif, reaktif ve spesifik enerjide değişimler meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

2.5.3 Takım Ömrü, Kesici Takım ve Uç Aşınması

Kesici takımların bu yüksek maliyeti, uygun takım ve doğru kesme şartlarını seçmeyi zorunlu kılmaktadır. Doğru kesici takımın seçimi, işleme sırasında maksimum verimliliğin elde edilmesi için de önemlidir. Bütün kesici takımlar talaş kaldırma işlemleri sırasında aşınır ve bu aşınma, kesici takımın ömrünü tamamlayıncaya kadar devam eder. Takım aşınması kaçınılmazdır. Ancak, bu aşınmanın ne kadar ve hangi tipte olduğu önemlidir. İdeal takım ömrü yaklaşık 15 dakika olarak belirlenmiştir. Daha

az takım ömürleri, kesici uç değiştirme sıklığını arttıracadıından dolayı işleme süresini de arttıracaktır (Gezgin 2007).

Talaş kaldırma sırasında sürtünme ve sıcaklık artışı meydana gelir. Bu durum da kesici takımın aşınmasına neden olur. Takımın aşınması takım malzemesi, iş parçası malzemesi, takım geometrisi, kesme koşulları gibi bir çok faktöre bağlıdır. Takımın izin verilen aşınma miktarına erişinceye kadar geçen süreye takım ömrü olarak ifade edilir. Takım ömrü aşınma hızına bağlı olduğundan, aşınmanın yavaşlatılması takım ömrünü arttıracaktır. Talaş kaldırma sırasında takımlar çok şiddetli koşullar altında çalışmak durumunda kalırlar. Takımda oluşan sıcaklık ve gerilmeler yüzeyden başlayan bir hasarın oluşumuna yol açar. Oluşan hasar takımın kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirmesini engeller. Bu nedenle çeşitli yöntemlerle yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi ya da yüzeyin sürtünme, korozyon gibi bozucu etkilerden izole edilmesi yoluna gidilir. Bu amaçla takım malzemesine yüzey sertleştirme yöntemleri uygulanabilir ya da yüzeyi koruyucu bir tabaka ile kaplanabilir (Hamzaoğlu 2008).

Takım ömrü, kesicinin kesme yaparken, kesme özelliğini kaybedene kadar geçen süreye denir. Takım malzemesi, iş parçası malzemesi, kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, talaş geometrisi gibi faktörler takım ömrünü belirlemektedir. Bunun yanında yüzey kalitesi de takım ömrünün belirlenmesinde önemlidir. Frezeleme işlemi bir bitirme işlemi olmasa da, daha sonraki işlemlere iyi bir geçiş yapmak veya bazı hallerde doğrudan kullanım için, yüzey kalitesinin iyi olması gerekmektedir (Gezgin 2007).

Titreşimin kesici takım ömrüne ve işlenen yüzey kalitesine, kesici takım ile iş parçası arasında sürekli oluşan bir titreşimin mevcut olması nedeniyle, kötü etkisi vardır. Talaş kaldırma esnasında, genellikle, zorlanmış titreşim ve kendiliğinden doğan titreşim olmak üzere iki tür titreşim ortaya çıkmaktadır. Zorlanmış titreşim, tezgahın mekanik hareketlerinden dolayı ileri gelirken kendiliğinden doğan titreşim ise talaş kaldırma olayından dolayı meydana gelen titreşimdir. Genelde kendiliğinden doğan titreşim, kesme hızı arttığı zaman kesme kuvvetlerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu titreşimlerin en kötü hali ise, işlenen yüzeyde titreşimden doğan takım izleri bırakacak derecede büyük olan “tırlama” olarak adlandırılan titreşimin ortaya çıkmasıdır ki bu doğrudan yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki yapar. Talaş kaldırma esnasında oluşan bu

olayı önlemek için iş parçası bağlama mesafesi mümkün olduğunca en aza indirilmeli, iş parçası dengeli tespit edilmeli ve kesici takım altına altlıklar konulmalı, kuvvet altında şekil değiştirmeyen tezgah ve takımlar kullanılmalı, tezgahın hareket eden elemanlar arasındaki boşluklar en aza indirilmelidir (Nas 2008).

Gelişen teknoloji ile birlikte yüksek sıcaklıklara dayanıklı kesici takımların üretilmesi sayesinde verimlilik arttırılmış ve daha hassas yüzeyler elde edilmiştir. Özellikle kaplamalı karbür uçlar, karbür tanelerinin boyutu ve kaplama özelliğinden dolayı talaşlı imalatta çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Yapılan bilimsel araştırmalarda genellikle kaplamalı karbür uçlar tercih edilmektedir (Gezgin 2007).

Kesici uç maliyetleri, firmalar açısından önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle frezeleme işlemlerinde çok fazla kesici uç kullanıldığından dolayı maliyet daha da artmaktadır. Bu durum, rekabet ortamındaki kesici takım firmalarını, freze takımları üzerinde daha fazla araştırma yapmaya zorlamaktadır. Bunun sonucunda, kesici uç özelliği ve sayısı farklı birçok freze başlığı imal edilmiştir. İmalatçı firmalar yaptıkları işin durumuna göre en uygun freze takımını seçmeleri gerekmektedir. Burada, uçun kalitesi veya uygunluğu kadar kullanılacak uç sayısı da önemlidir. Her zaman çok uçlu kesici kullanmak avantajlı olmamaktadır. Kullanılacak uç sayısının seçiminde, işleme süresi, maliyet, yüzey pürüzlülüğü, tezgâh gücü ve işleme türü (kaba veya ince paso) gibi faktörlerin göz önüne alınması gerekmektedir. Çok uçlu kesicilerde üretilen parça sayısı, tek uçlu kesicilerden daha fazla olmaktadır. Ancak, bu durumda uç maliyetini artırmakta ve daha kötü yüzey kalitesi elde edilmektedir. İşleme sonucu üzerinde titreşimin önemli olduğu durumlarda ve iyi yüzey kalitesi elde etmek için daha az sayıda uç kullanılmalıdır. Ayrıca, uç sayısının artmasıyla kesme kuvvetlerinin artacağından dolayı tezgâh gücünün de dikkate alınması gerekmektedir (Gezgin 2007).

İşleme parametrelerinin en önemlileri hiç şüphesiz kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğidir. Kesici takım düşük kesme hızlarında çalıştırıldığında, işleme süresi artacağından dolayı çok zaman kaybı olurken, aşırı hızda sürtünme ve ısıdan dolayı çabuk aşınacak ve takımın değiştirilip tekrar takılması da zaman kaybına yol açacaktır. Bu şartlarda, kesilen malzemeler için uygun kesme hızının seçimi gerekir. Bununla

birlikte, uygun ilerleme miktarı da önemli olup, düşük ilerleme miktarında frezeleme işlemi çok geç bitecektir. İlerleme miktarı yüksek olduğunda takım kırılabilir veya az talaş derinliği verildiğinde işlemi tamamlamak için birden fazla paso gerekecek ve dolayısıyla bu da daha fazla zaman kaybına neden olacaktır. Bu nedenle, kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği her frezeleme işleminde dikkate alınması gereken üç faktördür (Gezgin 2007).

Kesim hızı her kesici takım ve doğal taş için farklıdır ve uygun hız belirlenmelidir. Çok düşük bir kesim hızı ise elmas tanelerinin iş görmeden yanmasına ve yuvalarından işlevini yerine getiremeden ayrılmasına neden olur. Her iki durumda da, kesici takım ömrü normalin birkaç katına düşer (Budak 2010).

Kesme hızı, kesme esnasında kesici takımın dönen iş parçası üzerinden dakikada metre cinsinden aldığı yol olarak ifade edilir. Frezelemede kesme hızı kesici takımın çapına göre verilir. Uygun kesme hızının seçiminin optimum ve ideal kesme şartlarının belirlenmesinde önemli bir faktör olduğu açıktır. Kesme hızı oldukça düşükse çok az sayıda parça üretilecek, takım ucunda talaş sıvanması - yapışması meydana gelebilecek ve takım değişikliğine neden olacaktır. Eğer kesme hızı çok yüksekse, takım hızla bozulacak ve sıkça takım değişikliğine gidilecek. Bu nedenlerden dolayı herhangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir. En iyi ilerleme miktarı ve talaş derinliği düşünüldüğü zaman, her zaman mümkün olan en derin talaş ve en hızlı ilerleme miktarı seçilir, çünkü bunlar takım ömrünü kesme hızından daha az oranda azaltacaktır. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrünü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir (Domaç 2011).

Kesim hızı her kesici takım ve doğal taş için farklıdır ve uygun hız belirlenmelidir. Çok düşük bir kesim hızı ise elmas tanelerinin iş görmeden yanmasına ve yuvalarından işlevini yerine getiremeden ayrılmasına neden olur. Her iki durumda da, kesici takım ömrü normalin birkaç katına düşer (Budak 2010).

Kesme hızı, kesme esnasında kesici takımın dönen iş parçası üzerinden dakikada metre cinsinden aldığı yol olarak ifade edilir. Frezelemede kesme hızı kesici takımın çapına göre verilir. Uygun kesme hızının seçiminin optimum ve ideal kesme şartlarının belirlenmesinde önemli bir faktör olduğu açıktır. Kesme hızı oldukça düşükse çok az sayıda parça üretilecek, takım ucunda talaş sıvanması - yapışması meydana gelebilecek ve takım değişikliğine neden olacaktır. Eğer kesme hızı çok yüksekse, takım hızla bozulacak ve sıkça takım değişikliğine gidilecek. Bu nedenlerden dolayı herhangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir. En iyi ilerleme miktarı ve talaş derinliği düşünüldüğü zaman, her zaman mümkün olan en derin talaş ve en hızlı ilerleme miktarı seçilir, çünkü bunlar takım ömrünü kesme hızından daha az oranda azaltacaktır. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrünü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir (Domaç 2011).

Kesme hızı ve ilerleme hızı birbirine çok yakın şekilde bağlıdır. ilerleme hızı; kesmek üzere döndürülen freze takımının altından, iş parçasının bir dakikada milimetre cinsinden aldığı yoldur (Domaç 2011).

Talaş derinliği, takımın iş parçası içine dikey olarak aldığı yoldur. Talaş derinliğinin uygun seçilmemesi işleme zamanını ve maliyeti etkilemektedir. Talaş derinliğinin yeterli verilmemesi durumunda, işlemi tamamlamak için birden fazla paso gerekecek ve dolayısıyla bu da daha fazla zaman kaybına neden olacaktır (Domaç 2011).

Kesme şartları (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) optimize edilmeli, aşınma kriterine ulaşmış olan aşınmış bir takımla talaş kaldırma işlemi devam ettirilmemelidir (Nas 2008).

Wright and Cassapi (1985) çalışmalarında, kayaç kesilebilirliğini etkileyen faktörlerle ilgili bir çalışma yapmış olup yapılan bu deneysel çalışmada, doğal taş içerisindeki kuvars oranının elmas soket aşınması üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu söylemişlerdir. Yine bu çalışmada, minerallerin mohs sertliği ve petrografik analizleri ile elmas soket aşınması arasında bir bağlantının kurulmasının oldukça güç olduğunu

vurgulamış, spesifik aşınma oranları ile güç tüketimi arasında yakın ilişki olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Cassapi (1987) çalışmasında, farklı granit türü kayaların elmas kesici disklerle kesilmesinde aşınma davranışlarını araştırmış olup, doğal taşın sertliğinin artmasının, kesilme esnasında soket aşınmanın artmasının temel nedeni olduğu tespit etmiştir.

Jennings and Wright (1989) çalışmalarında, farklı kayaç türlerinin elmas soketlerle kesilmesi işleminde aşınma ve güç tüketimini incelemiş olup, elmas soketin aşınmasına doğal taşın minerolojik özelliklerinin önemli rol oynadığını ve kayaç sertliğinin artmasıyla kesme işleminin zorlaştığını tespit etmişlerdir. En yüksek aşınma miktarlarının, sertliği yüksek kayaçlarda elde edildiğini, güç tüketiminin doğal taşın sertliğiyle doğrudan ilişkili olduğunu vurgulamışlardır.

Tönshoff *et al.* (1993, 1994) ve Wobker and Przywara (1994) tarafından yapılan çalışmalarda makine - kesici uç - kayaç arasındaki etkileşim mekanizmaları tanımlanarak, makine çalışma büyüklüklerinin optimizasyonu, talaş oluşum mekanizması ve çalışma büyüklüklerine göre şekilsel değişimleri gözlemlenmiş ve kesilen kayaç için en uygun kesicinin belirlenmesi konuları araştırılmıştır. Bu çalışmalar dairesel testerelerle kayaç kesme prosesine oldukça önemli açıklıklar getirmekte uygun, makine çalışma şartlarının ve kesici seçiminin nasıl yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Karagöz ve Zeren (2001) çalışmalarında, Co, Ni ve Cu+Sn toz tanelerinden oluşan matriks bileşimini sabit tutarak sinterleme koşullarını ve uygulanan sıcak preslemede basıncı 350 MPa, sinterleme sıcaklığını ise 730 °C olarak sabitleyip sinterleme süresini değiştirmişler. Ayrıca yumuşak mermer türü, doğaltaş kesiminde sabit aşınma hızı altında malzemenin aşınma tutumunu belirlemişlerdir. Bu doğrultuda doğaltaş kesme koşullarında yapılan aşınma testlerinde etken aşınma mekanizmaları saptanarak malzemenin aşınma karakteristiğini ortaya koymuşlardır.

Liu *et al.* (2002) çalışmalarında, yüksek kesme hızında yüzey frezeleme işleminde kesici takımlarda oluşan aşınmaları incelemişler. Çalışmalarında, PCBN takım, seramik takım, kaplamalı karbür takım ve ince taneli karbür takım kullanmışlar. Bu takımlarla, dökme demirin, temperli karbon çeliğinin (% 0,45 karbon) ve sertleştirilmiş karbon çeliğinin (% 0,45 karbon) yüzeyini frezeleyerek kesici takımın üst ve yan yüzeylerinde oluşan aşınma mekanizmalarını belirlemeye çalışmıştır. Üst ve yan yüzeydeki takım aşınması, yüksek hızlarda, kesici kenara çok yakın yerde olduğu, yüksek kesme sıcaklıkları ve kesme kuvvetleri ile takımdaki aşınmanın arttığını tespit etmişlerdir. Bu nedenle, yüksek kesme hızlarında çalışacak takım malzemesinin belirlenmesinde, yüksek ısı ve aşınma direnci, kimyasal dayanıklılık ve bunun yanında kaplama kalitesini dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Bayram vd. (2003) çalışmalarında, soketlerdeki birim aşınmalar ile kesim hızı ve kayaç özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmış burada elmas soketlerde meydana gelen birim aşınmalarla kesim hızı arasında yüksek ilişki olduğunu, aynı zamanda birim aşınmalarla kayaç özelliklerinden darbe dayanımını, Schmidt sertliğini, Shore sertliğini ve elastisite modülü arasında da yüksek ilişkiler olduğu sonucuna varmışlardır. Elde edilen sonuçlara dayanarak elmas lamalı kataraklarla levha üretimine yönelik önerilerde bulunmuşlardır.

Richetti *et al.* (2004) çalışmalarında, AISI 1045 ve AISI 8640 çeliklerinin yüzey frezelenmesinde, uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisini incelemişlerdir Farklı kesme şartlarında yapılan çalışmada, freze başlığına 1, 2, 3 ve 6 sayıda kesici uç takmak suretiyle malzemelerin yüzeyi frezelenmiştir. Takım ömrünü belirlemek için yan kenar aşınması dikkate alınmıştır. Deneyler sonucunda, freze başlığındaki kesici uç sayısının artmasıyla takım ömrünün azaldığı elde edilmiştir. Bu durum kesici uç sayısının artmasıyla yüksek kesme sıcaklıklarının oluşmasına atfedilmiştir. Buna karşın, aynı işleme sürecinde kaldırılan talaş hacminin kesici uç sayısı ile de arttığı gözlemlenmiştir.

Kuljanic (1973) çalışmasında, takım ömrü üzerindeki ısıl etki ve mekanik çarpışmanın etkilerini incelemiştir Takımın iş parçasına girişinde oluşturduğu çarpışmanın, iki ucun aynı zamanda kesmeye başlamasından dolayı takım ömrü üzerinde önemli bir etkiye

sahip olmadığını belirtmiş. Bununla birlikte, kesici uç sayısının artması, iş parçası ve takım sıcaklığının artmasına ve takım ömrünün azalmasına sebep olmuştur. Bir önceki çalışmadan farklı olarak ise, uç sayısının azalması ile takım ömrü arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı belirlenmiş ve uç sayısının takım ömrüne etkisinin kesme hızı, dış başına ilerleme ve iş parçası- takım-makine uyumuna bağlı olduğunu belirtmiştir.

Kim *et al.* (2001) çalışmalarında işleme zor malzemelerin yüksek hızlarda işlenmesinde kesme ortamlarının işlenebilirlik üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada, TiAlN kaplı karbür ve TiN kaplı HSS takım kullanılarak, sertleştirilmiş çelik (HRC42- HRC50-HRC60) ve Inconel 718 malzemeler üzerinde frezeleme işlemi yapılmıştır. Frezeleme işlemlerini kuru, su soğutuculu ve basınçlı hava ortamında gerçekleştirmiştir. Basınçlı hava ile soğutma için deney düzeneği hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, kesme ortamında kullanılan basınçlı hava soğutucusunun takım ömrünü diğer ortamlara göre daha da arttırdığı rapor edilmiştir. Ayrıca, HSS takımda 0,1 mm yan kenar aşınması değerinden sonra, aşırı çentik aşınması olduğu da gözlemlenmiştir.

Abou *et al.* (2005) çalışmalarında, AISI 304 paslanmaz çeliğin yüksek kesme hızında parmak freze ile işlenmesinde yeni geometrilere sahip karbür uçların performansını araştırmışlardır. Bu çalışmada, takım aşınmasının artmasına neden olan muhtemel başarısızlık nedenleri tartışılmış ve kesme hızı ile ilerleme miktarı etkileşimlerinin takım ömrü ve takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yan yüzeylerde oluşan çentik aşınmasının, takımdaki hâkim aşınma mekanizmasının olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, SEM incelemeleri ve EDAX analizleri sonucunda takım üzerinde mikro çatlakların ve difüzyon aşınma mekanizmasının olduğu belirtilmiştir. Kesme hızının artması ile takım ömrünün azalacağı belirtilmiş ve yüksek kesme hızında ilerleme miktarının değişmesiyle takım ömrünün az miktarda etkileneceği de ifade edilerek gözlemlenmiştir.

Giu *et al.* (1999) yapılan çalışmada, kaplamaların takım ömrüne etkisini belirlemek amacıyla kaplamasız karbür, TiN, TiAlN ve ZnN kaplamalı uç kullanarak AISI 4140 çelik malzemenin yüzeyi frezelenmiştir Tek uç kullanılarak yapılan çalışmada, en

yüksek aşınma direncine TiAlN kaplamalı kesici uçlar ile ulaşılmıştır. Düşük kesme hızlarında , talaş yığılması (BUE) oluşması, yüksek kesme hızlarında ise kesme bölgesindeki sıcaklıktan dolayı aşınmanın arttığı tespit edilmiştir. Kesme hızı ve ilerleme miktarlarının artmasıyla takım ömrünün kısaldığı ve ayrıca, takım ömrü üzerinde kesme hızının takım ömrüne etkisinin ilerleme miktarından daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Habalı (2003) doktora çalışmasında kesici takım kaplama malzemelerinin takım-talaş ara yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deneyler sonucunda, en düşük sıcaklıkların en üst katman olarak TiN uygulanmış üç katlı kaplamaya sahip takımlarla elde edildiği ve bu durumda TiN kaplamasının düşük sürtünme katsayısına sahip olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca, kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla sıcaklığın arttığı ve kesme hızının sıcaklık üzerindeki etkisinin ilerlemeden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Jawaid *et al.* (2000) çalışmalarında, PVD ile TiN ve CVD ile TiCN+Al₂O₃ kaplı iki karbür takımla Ti 6Al 4V titanyum alaşımının yüzeyini frezeleyerek aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. Kesici takımın yan ve üst yüzeylerinde oluşan adhezyon, difüzyon, plastik deformasyon, talaş yığılması (BUE), termal çatlaklar ve sürtünme (attrition) aşınma mekanizmalarını SEM incelemeleri ve EDAX analizleri ile incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda, 55 m/min'lık kesme hızı ve 0,1 mm/z ilerleme miktarında 30 dakikalık takım ömrüne ulaşılmıştır. CVD kaplı takımın performansı PVD kaplı takımdan daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kesme hızı ve ilerleme miktarının artırılmasıyla takım ömrünün azaldığı da belirtilmiştir.

Nordin *et al.* (2000) çalışmalarında ,östenitik paslanmaz çeliğinin frezelenmesinde çok katmanlı PVD TiN/ TaN kaplı takımların aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. Çalışmada, SEKN 1204 AZ sinterlenmiş karbür takım kullanarak AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin yüzeyi frezelenmiştir. Deneyler sonucunda, kesici takımın yan ve üst yüzeylerinde, adhezyon aşınması, abrasiv aşınma, çentik aşınması, mekanik çatlaklar, plastik deformasyon ve krater aşınma mekanizmalarının olduğu gözlenmiştir. Çok katmanlı kaplamalar tek katlı kaplamalardan daha iyi takım ömrü performansı göstermiştir. Bu sonuçla birlikte ayrıca TiN kaplama TaN kaplamadan daha iyi takım

ömrü performansı vermiştir. Kaplama kalınlığının takım ömrü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı da vurgulanmıştır.

D'Errico *et al.* (1998) çalışmalarında, frezeleme işleminde sermet takımların takım ömrü üzerindeki performanslarını araştırmışlardır. Çalışmada, AISI- SAE 1045 karbon çeliğinin yüzey frezelenmesinde yedi farklı sermet uç kullanılmıştır. Kesici takımın yan yüzeyinde oluşan yan kenar aşınması incelenmiştir. TiCN içeriği en yüksek ucun takım ömründe en iyi performansı verdiği elde edilmiştir. İlerleme miktarındaki değişmelerle takım ömrünün yaklaşık % 30 oranında azalma gösterdiği belirtilmiştir.

Diniz *et al.* (1999) çalışmalarında, yüzey frezeleme işlemlerinde, takım ve iş parçasının birbirine göre olan pozisyonlarının takım ömrü, takım aşınması ve bitirme yüzeyi kalitesine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada, P25 kalitesinde karbür uç kullanılarak AISI 1045 çeliğin yüzeyi frezelenmiştir. Bu amacı gerçekleştirmek için, iş parçası ve takım farklı bağıl pozisyonlarda kullanılmıştır. Takım ve iş parçasının pozisyonun J parametreleri; J1=4,75 mm, J2 = 11,75 mm, J3 = 18,75 mm, J4 = 25,75 mm ve J5 = 32,75 mm olarak belirlenmiştir. Aşınan takımlar SEM mikroskopuyla incelemeye alınmıştır. Deneyler sonucunda, düşük J değerinde kesmede, takım ömrünün arttığı diğer taraftan iş parçası yüzey pürüzlülüğünün bu bağıl pozisyonların değişmesinden etkilenmediği gözlenmiş ve rapor edilmiştir.

Orhan vd. (2007) çalışmalarında, değiştirilebilir uçlu freze çakısı ile işlemede takım aşınması ile titreşim arasındaki ilişkiyi incelemişler. Bu amaçla bir CNC dik işleme tezgahında çeşitli işleme deneyleri yapmışlardır. Deneylerde kesici uç olarak CBN ve işparçası olarak da 35 HRC sertliğinde AISI D3 soğuk iş takım çeliği kullanmışlardır. Titreşimler sadece işleme yönünde ölçülmüştür. Diğer yönlerdeki titreşimler ise etkilerinin ve genliklerinin nispeten düşük olması nedeniyle ölçülmesinde gerek görmemiştir.

Ucun vd. (2011) yaptıkları çalışmada granitlerin dairesel testere ile kesme işleminde elmas konsantrasyonu ve matris malzemenin elmas soket aşınması üzerine etkisini incelemişlerdir. İçerisinde W-Co yüzdesi daha çok olan elmas soketteki aşınma miktarı

daha düşük seviyede kalmıştır. Elmaslarda dökülme, mikro ve makro kırılma ve yüzey düzleşmesi gibi hasarlar meydana gelmiştir. Meydana gelen bu hasarlardan özellikle elmas dökülmesi kuvvetlerin ve soket aşınmasının etkisiyle daha çok görüldüğü Ucun vd. (2012) yaptıkları başka bir çalışmada mikro mekaniik modelleme ile belirlenmiştir.

Özdemir ve Çakır (2008) çalışmalarında kesici takım geometrisinin ve kesme parametrelerinin başlangıç aşınmasına olan etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada iş parçası malzemesi östemperlenmiş dökme demir olup kesici takım olarak ISO TNMG 160408 (K10) sinterlenmiş karbür kesici uçlar kullanılmıştır. İşlemlerde iki farklı yanaşma açısı (60° ve 93°) kullanılmış, böylelikle talaş derinliği, kesme hızı, ilerleme gibi kesme parametrelerinin yanı sıra yanaşma açılarının da başlangıç aşınmasına etkileri incelenmiştir. İlk olarak sabit bir kesme hızı ve sabit yanaşma açısı için talaş derinliğine ve ilerleme artışına bağlı olarak başlangıç aşınmasındaki değişim incelenmiştir. 1 mm talaş derinliğinden 1,5 mm talaş derinliğine çıkılması başlangıç aşınmasını yaklaşık iki kat arttırmıştır. Buna karşın 1,5 ve 2 mm talaş derinliğinde 0,14 ve 0,18 mm/dev ilerleme hızlarında elde edilen aşınma değerleri hemen hemen eşittir. Bu ise bu talaş derinliği ve ilerleme değerleri için talaş derinliğindeki artışın aşınma üzerine etkisi olmadığı anlamına gelmektedir. Talaş derinliği ile birlikte ilerlemenin artmasının aşınma oranını arttırıcı etkisi olduğu gözlenmektedir .

Sözöz (2008) CNC tornalama işleminde takım aşınmasının optimizasyonunu konu alan çalışmasında, CNC Tornalama işlemlerinde, kesme parametrelerinden takım aşınmasının önceden tahmini son derece önemlidir. Takım aşınmasının en aza indirilmesi dolayısıyla maliyetin düşürülmesi ancak kesme parametrelerinin optimizasyonu ile mümkündür. Kesme parametrelerini en iyi şekilde seçildiğinde takım aşınması minimum değerde olmalıdır. Yaptığı araştırmada kesme parametrelerinin optimizasyonu ile çok önemli ölçüde takım aşınmasında iyileştirmeleri tespit etmiştir.

Wang and Clausen (2002) yaptığı çalışmada elmas takım ve soketlerin mermer kesme sürecinde aşınma davranışlarını incelemiştir. Kesme prosesinde kinematik davranışları inceleyerek farklı kesme durumlarındaki elmas segmentlerinin aşınma davranışları ele alınmıştır. Deneysel yapılan çalışma sonucunda sulu ve kuru kesme

prosesleri olarak iki farklı kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesme derinliğinin artması, soketlerin dış yüzeylerine gelen kuvvetleri de arttırmaktadır. Farklı yapıda elmas tanecikleri dikkate alındığında testerenin üzerine gelen kesme kuvvetleri de farklılık göstermektedir. Kesme sürecinde tek tip mermer kullanılmış ve bütün süreçlerde sabit bir çevresel hız kabul edilmiştir. Çalışmada elde edilen diğer bir sonuç ise; kesme işlemlerinde soğutma sıvısı kullanılmasının soketin aşınmasını azaltıldığı gözlemlenmiştir.

Elmas soketlerin takıldığı dairesel testereleler üzerine de çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Dairesel testerelelerin dinamik davranışları ve kesme yöntemlerinin üzerine literatürde bilgilere rastlanmaktadır (Taşgetiren vd. 2004, Aslantaş vd. 2009, Uçun vd. 2005). Analitik yaklaşım ve modellemelerle elmas soket tasarımı, kesme kuvvetlerinin saptanması gibi çalışmalar da mevcuttur. Ayrıca elmas soketli dairesel testereleler ile kesici uçların performansları karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Fakat Bilgisayar Kontrollü Makineler (CNC) ile işlenen kayaçların kesici uç takımlarını etkileyen parametreleler üzerine yapılan çalışmalar oldukça az ve kısıtlıdır. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalarda ise içten soğutmalı kesici uçlar kullanarak, daha düşük devir hızı ve ilerleme hızında kesme kuvvetleri, spesifik enerji ve elmas kesici uçların aşınmaları belirlenmiştir (Polini and Turchetta 2004; Turchetta 2012). Bu tez çalışmasında daha kapsamlı bir çalışma yapılarak, Mermer Sektöründe yaygın olarak kullanılan Bilgisayar Kontrollü Makinelerde (CNC) fiberglass (karbür) frezeli kesici uç takımları kullanarak, işleme türü, kesici uç çapı, kesme derinliği, ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme genişliği parametreleleri incelenmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Çalışmada Kullanılan Metamorfik Kökenli Kayaçlar

Deneysel çalışmalarda, metamorfik kökenli kayaç grubuna giren mermerler kullanılmıştır. Afyonkarahisar’da faaliyet gösteren mermer fabrikalarından 300 ×300 × 30 mm boyutunda cilalı numuneler hazırlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan mermer numunelerin özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneysel çalışmada kullanılan mermer numunelerinin özellikleri.

Mermer Numunesinin Ticari Adı	Verilen Kod	Numune Boyutu (mm)	Numune Adedi	Yüzey İşlemesi
Afyon Beyaz	M1	300 × 300 × 30	15	Cilalı
Afyon Şeker	M2	300 × 300 × 30	15	Cilalı
Afyon Gri	M3	300 × 300 × 30	15	Cilalı
Afyon Menekşe	M4	300 × 300 × 30	15	Cilalı
Afyon Kaplanpostu	M5	300 × 300 × 30	15	Cilalı

Deneysel çalışmada kullanılan mermer numunesinin görünümü Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Mermer numunesinin görünümü.

3.2 Çalışmada Kullanılan Kesici Uç Takımları

Bilgisayar Kontrollü Doğal Taş makinesinde işlenebilirlik deneylerinde fiberglass (karbür) parmak freze kesici uç takımları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan frezeli kesici uç takımlarının teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan frezeli kesici uçların görünümü Şekil 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Deneysel çalışmada kullanılan frezeli kesici uçların teknik özellikleri.

Kod	Kesici Uç Çapı/d ₁ (mm)	Sap Çapı/d ₂ (mm)	Kesici Uzunluk/l ₂ (mm)	Uç Uzunluk /l ₁ (mm)	Freze Ucu	Ağız Sayısı	Helis Açısı (°)
MFR-6	6,0	6	25	76	36677	4	25
MFR-7	8,0	8	25	63	36697	14	25



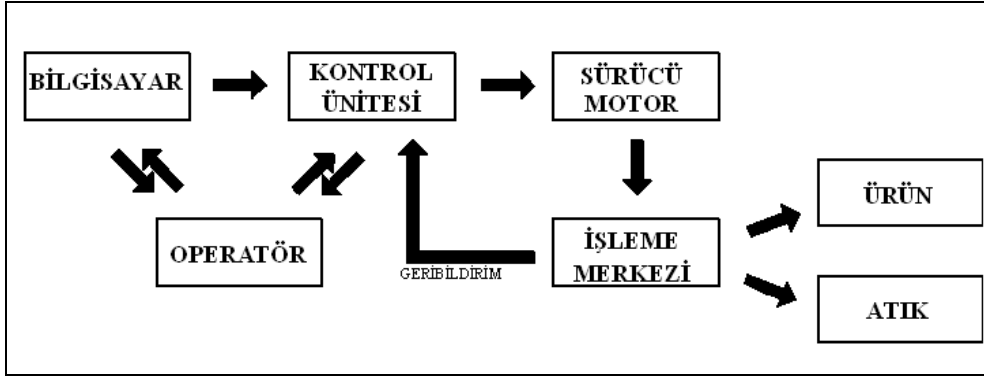
Şekil 3.2 Frezeli kesici uçların görünümü.

3.3 Bilgisayar Kontrollü Doğal taş İşleme Makinesinin (CNC) Genel Yapısı

Bilgisayar Kontrollü Doğal Taş İşleme Makinaları (CNC) genelde üzerine malzemenin konulacağı çalışma tezgâhı, elektrik motoru, farklı parçaların hareketini sağlayan pnömatik veya hidrolik güç üniteleri, kontrol paneli ve gerekli yazılımdan oluşmaktadır. Bu tip makinalar bilgisayar kontrollü tam otomatik sistemlerdir (Şekil 3.3). CNC makinası kullanımı ile üretim yönteminin akış şeması Şekil 3.4’de verilmiştir.



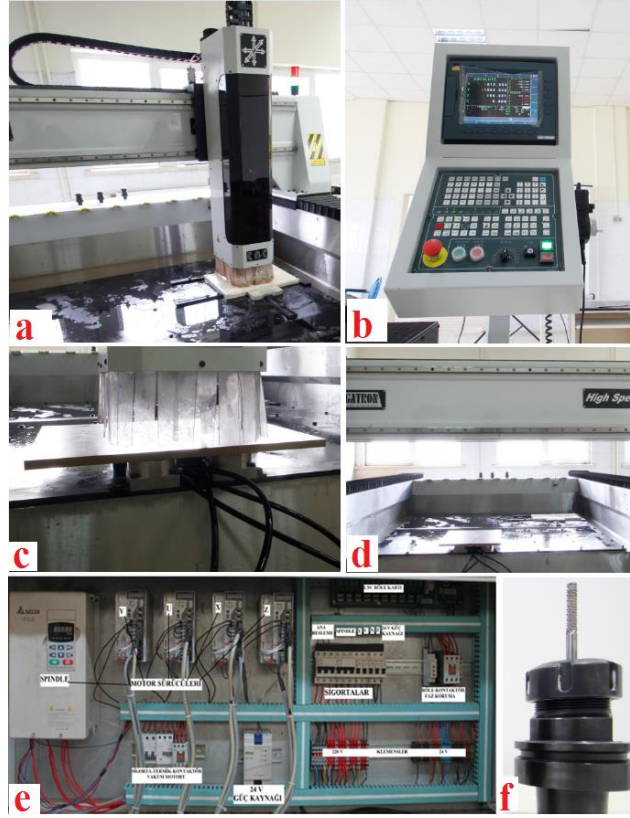
Şekil 3.3 Doğal taş sektöründe kullanılan Bilgisayar Kontrollü Doğal taş işleme makinaları (CNC) genel görünümü.



Şekil 3.4 Bilgisayar Kontrollü Doğal Taş İşleme Makinalarının (CNC) üretim yöntemi akış şeması.

3.3.1 Bilgisayar Kontrollü Doğal Taş İşleme Makinasının (CNC) Üniteleri

Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğaltaş İşleme Laboratuvarında doğal taş sektörü için kullanılan Megatron Marka 4-Eksenli CNC makinesi bulunmaktadır. Doğal taş sektöründe kullanılan CNC makinesinin üniteleri; mekanik, kontrol ünitesi, elektrik panosu ve vakum pompasından oluşmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 CNC makina sistemini oluşturan unsurlar a) Mekanik b) Kontrol ünitesi c) Vakumlu pompası d) Tezgah e) Elektrik panosu f) Fiberglass (karbür) frezeli kesici uç.

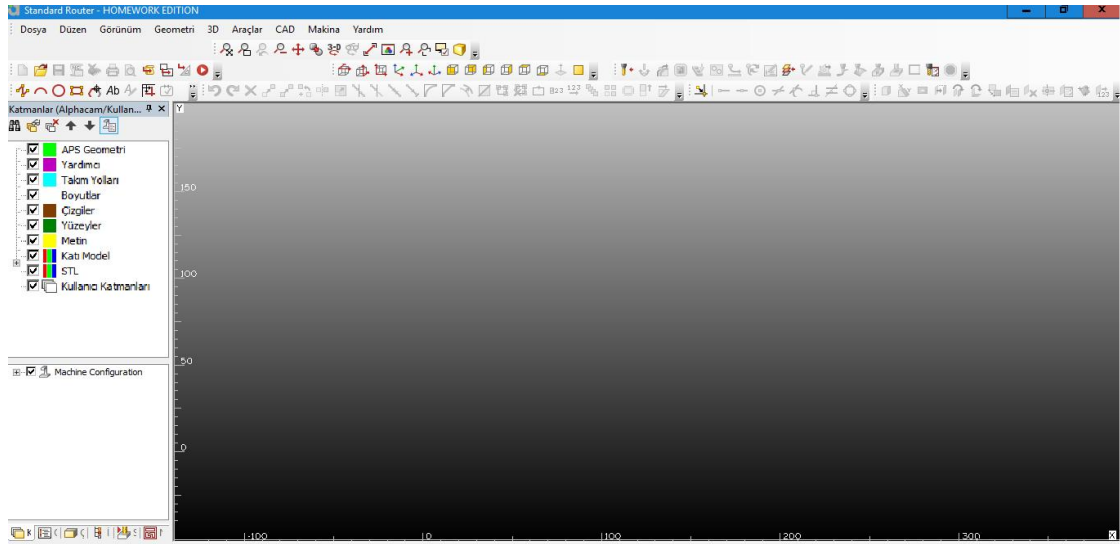
Makinenin mekanik aksamını gövde ve köprü oluşturmaktadır. Gövdenin üzerinde metal vakum tablası, kenarlarında Y ve Z eksenlerinin hareket ettiği kramayer dişli ve raylar bulunur. Köprü ise eksen hareketlerini sağlayan motorları ve kramayer dişlileri üzerinde barındıran hareketli kısımdır. Kontrol ünitesi her türlü makine kontrolünün sağlandığı ve ilgili programların çalıştırıldığı ana merkezdir. Kontrol ünitesi LCD ekran, tuş takımı ve el çarkından oluşmaktadır. Makine üzerindeki vakum tablası makinenin ebadına göre 6 veya 8 bölmeden oluşmaktadır.

3.4 Çalışmada Kullanılan Programlar

3.4.1 AlphaCAM Çizim Programı

Bu program Windows tabanlı bir yazılımdır. Programın CAD ve CAM desteği bulunmaktadır. CNC Makinalarında kullanılmak için tasarlanan parçaların takım

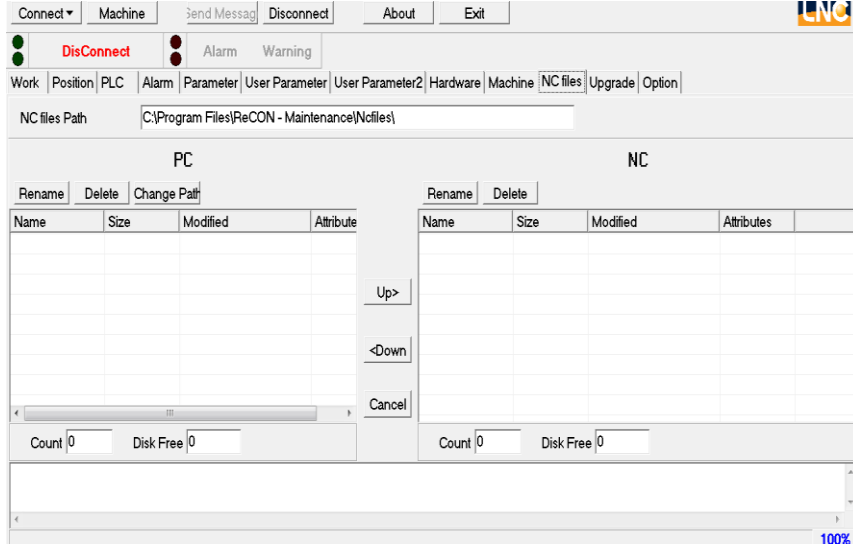
yollarının tanıtılması için kullanılır. AlphaCAM ile 2D ve 3D çizimler yapmak mümkündür. Programda çizimler genel olarak Cad ve cam programları mantığı ile yapılır.3 boyutlu Sürfece işlemlerimizin de temelini oluşturan 2 boyut çizimlerdir. Alpha CAM' in endüstri standartı ve CNC kullanıcılarının birinci tercihi olmasını sağlayan en önemli nedenlerden biri kullanım kolaylığıdır. Takım atama ve işleme teknikleri özel olarak tasarlanmıştır. AlphaCAM Router modellerine entegre edilmiştir. Deneyde kullanılan doğal taşlar üzerinde yapılacak olan işlemin nasıl yapılacağını ve kesim parametrelerini belirlemek için Alpha CAM çizim programı kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 AlphaCAM çizim programının ara yüzü.

3.4.2 Recon Programı

Recon programı, bilgisayardan makineye bağlanarak dosya alışverişini sağlayan programdır. Program bilgisayarda kayıtlı olan dosyanın (NC kodları) seçilerek programla bilgisayardan makineye (CNC) kayıt edilmesi işlemi gerçekleştirir. Recon programının ara yüzün genel görünümü Şekil 3.7’da gösterilmiştir.



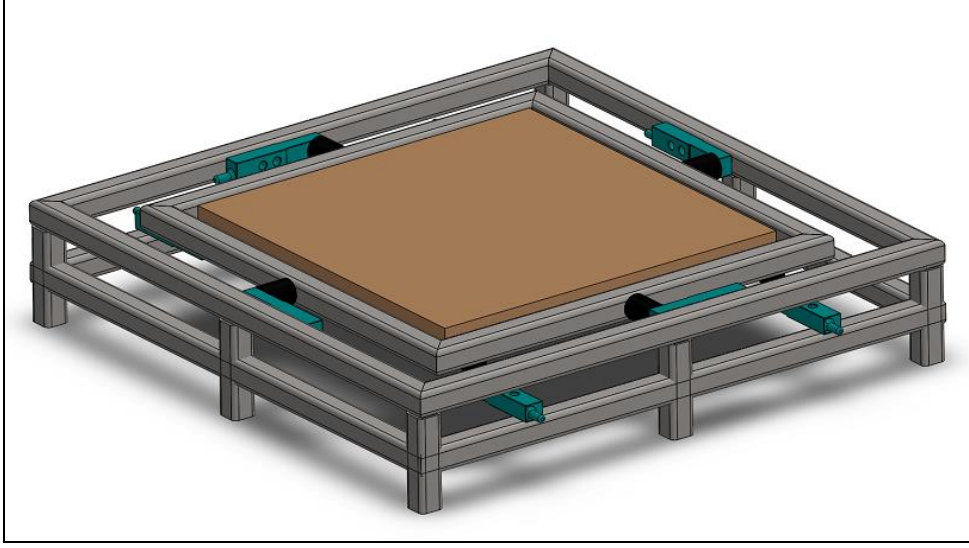
Şekil 3.7 Recon programının ara yüzünün genel görünümü.

3.5 CNC Güç ve Yük Ölçer Test Cihazı

Proje kapsamında imal edilen CNC güç ve yük ölçer test cihazı olarak isimlendirilen test cihazında üç ana ünite bulunmaktadır. Bu cihaz ölçüm ünitesi, kontrolör ünitesi ve Defne Lab Soft Programından oluşmaktadır.

3.5.1 Ölçüm Ünitesi

CNC Makinasında güç ve yük ölçer cihazı ile ölçüm ünitesi teknik çizimi Şekil 3.8’de, teknik ölçüm ünitesi görünümü Şekil 3.9’da verilmiştir. Ölçüm kısmı 304 kalite paslanmaz çelik malzemeden yapılmıştır (AISI 304). Ayrıca gövdenin terazide durması için ayarlanabilir ayaklar bulunmaktadır. Üzerinde 8 adet LoadCELL (yük hücresi) cihazı bulunmaktadır. Bu cihazların 4 tanesi Z ekseninde dik kuvvetin ölçümünde 2 tanesi X ekseninde ileri ve geri kuvvet ölçümünde 2 tanesi Y ekseninde ileri ve geri kuvvetlerin ölçümünde kullanılmaktadır. Numunenin sabitlenmesi için kaydırılabilir sıkıştırma aparatları bulunan numune çerçevesi 8 adet yük hücresi ile temas halindedir. Böylece iç çerçeveye sabitlenmiş mermer numunesine uygulanan kuvvetler herhangi bir kayıp olmadan yük hücresine iletilmektedir. Yük hücresine etki eden bu kuvvetler 0-2 mV (milivolt) arasında değerler şeklinde kontrolör cihazına iletilmektedir.



Şekil 3.8 CNC güç ve yük ölçer cihazı teknik çiziminin görünümü.

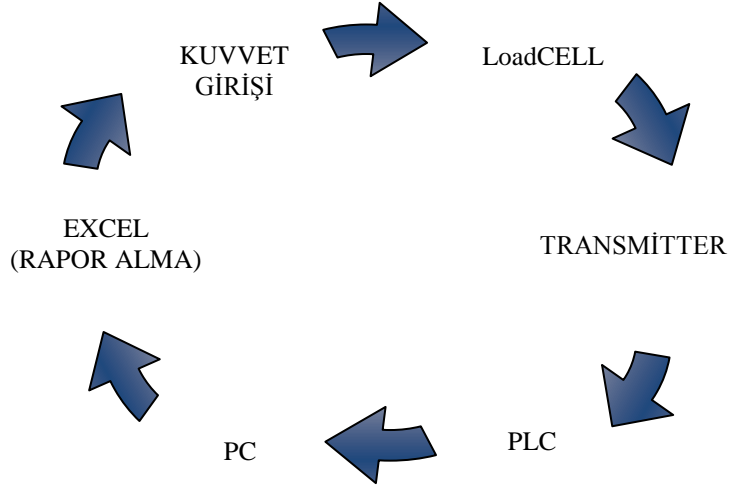


Şekil 3.9 CNC Makinesinde güç ve yük ölçer cihazı ile ölçüm ünitesi görünümü.

3.5.2 Kontrolör Cihazı

İçinde yük hücrelerine ait transmitterler, PLC ünitesi, güç kaynağı ve çeşitli bağlantı elemanları bulunmaktadır. Kontrolör cihazının ön yüzünde Yük hücrelerden gelen kabloların bağlanabileceği bağlantı noktası bulunmaktadır. Arka yüzünde cihazın 220 volt güç girişi ve Ethernet bağlantı noktası bulunmaktadır. Çalışma prensibi Yük hücrelerinden gelen 0-2 mV (milivolt) arası sinyallerle ve CNC makinesinden gelen amper bilgisi transmitterler vasıtasıyla 0-10 V sinyal aralığında çevrilerek PLC' ye

cihazın analog girişlerine aktarılır. PLC cihazı analog girişlerine gelen bu değerleri içindeki yazılım ile işleyerek bilgisayar programına Ethernet bağlantısı üzerinden gönderilir. Güç ve yük ölçer cihazının kontrolör ünitesi akım şeması Şekil 3.10'da, kontrolör ünitesi Şekil 3.11'de gösterilmektedir.



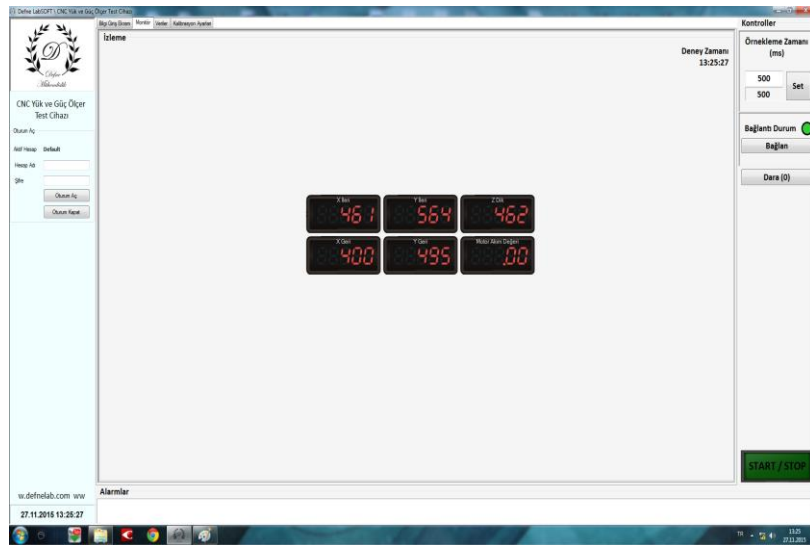
Şekil 3.10 Güç ve yük ölçer cihazının kontrolör ünitesi akım şeması.



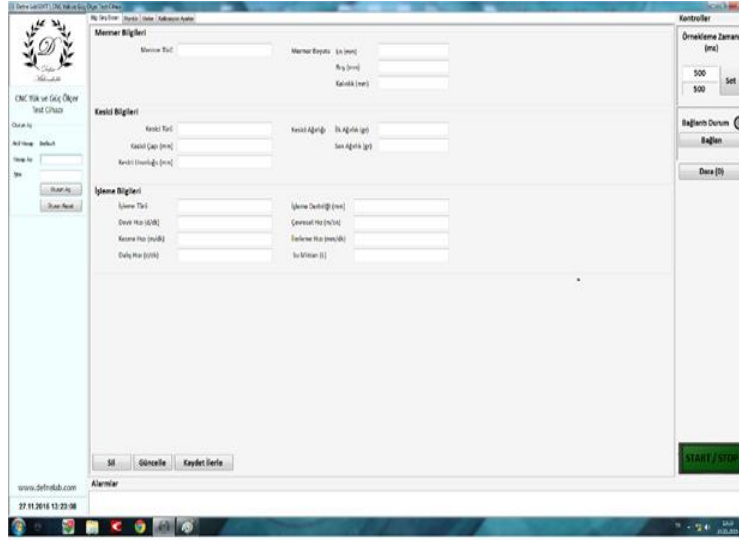
Şekil 3.11 Güç ve yük ölçer cihazının kontrolör ünitesi.

3.5.3 Defne Lab Soft Programı

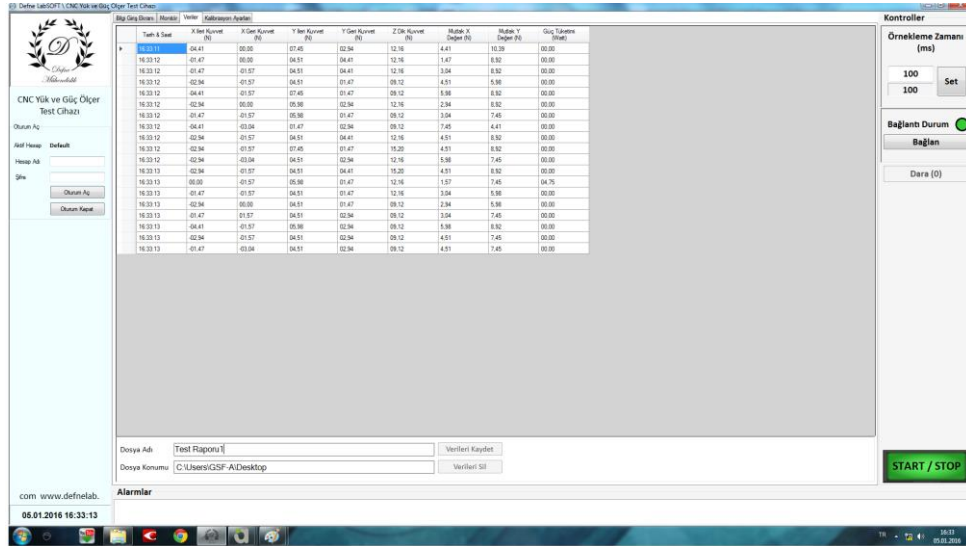
PLC den gelen işlenmiş bilgiler bilgisayara kurulmuş olan Defne Lab soft CNC güç ve yük ölçer test cihazı yazılımına aktarılır. Bu yazılıma gelen sinyalleri belirlenen aralıklarda (100 ms) olarak N cinsinden kuvvet değerlerine çevrilir. Aynı zamanda gelen amper bilgisinin sinyallerinde Watt cinsinden değere çevirir. Aynı zamanda yazılım sayesinde deneyde kullanılan numuneye ait bilgileri, kesici uca ait bilgiler ve işlemeye ait çeşitli deney parametreleri raporda sunulmaktadır. Deney öncesinde programın arayüzüne yazılan parametreler; mermer bilgileri (tür ve boyut), kesici bilgileri (türü, çapı, ağırlığı), işleme bilgileri (işleme türü, kesme derinliği, çevresel hız (m/sn), kesme hızı (m/dk), ilerleme hızı (d/dk), su miktarı (L)'dir. Çevrilen ve girilen bu değerler ve bilgiler zamana karşı tabloya dökülerek deney bitiminde Excel tablosu halinde kullanıcıya sunulur. Excel tablosuna aynı zamanda deneye ait değerlerin grafiği çizdirilir. Defne Lab Soft Programın arayüzü Şekil 3.12'de verilmiştir. Bilgisayarda kullanılan Defne Lab Soft Programın bilgi giriş ekranının arayüzü Şekil 3.13'de verilmiştir. Verilerin Defne Lab Soft Programında görünümü Şekil 3.14'de verilmiştir.



Şekil 3.12 Defne Lab Soft programın arayüzü.



Şekil 3.13 Bilgisayarda kullanılan Defne Lab Soft programın bilgi giriş ekranının arayüzü.



Şekil 3.14 Verilerin Defne Lab Soft programında görünümü.

3.6 Deneysel Çalışmalar

Bu araştırma kapsamında yapılan çalışmalar, genel olarak farklı metamorfik kökenli mermerlerin Bilgisayar Kontrollü Doğal Taş İşleme Makine (CNC) ile işlenmesinde oluşan kuvvetler ölçümleri, güç tüketimi, spesifik enerji ve aşınma değerleri temel alınarak yapılan işleme optimizasyonunu içermektedir. Bununla birlikte işlemede kullanılacak kesici uç takımının işleme performansına etkisinin incelenmesi de amaçlanmıştır. Araştırma kapsamında yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir;

- Hazırlık aşaması: Bu aşama, Bilgisayar Kontrollü Doğal Taş İşleme Makinesinde (CNC) işlenecek metamorfik kökenli kayaların ve kesici uç takımlarının teminini kapsamaktadır.
- Laboratuvar aşaması: Alınan mermerlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Bilgisayar Kontrollü Doğal Taş İşleme Makinesinde (CNC) işlenebilirlik deneyleri bu aşamada yapılmıştır.
- Değerlendirme aşaması: Bu aşamada yapılan çalışmalar, elde edilen laboratuvar verileri ışığında SPSS 20.0 programı kullanılarak istatistiksel ilişkilerin belirlenmesi yapılmıştır.

3.6.1 Metemorfik Kökenli Kayaların Jeomekanik Özellikleri

Laboratuvar çalışmalarının ilk aşamasında, mermerlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır. Doğal taşlardan alınan numuneler üzerinde Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarında TS EN standartlarına uygun olarak aşağıdaki deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen, kesimi gerçekleştirilen mermerlere ait fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Deneyde kullanılan mermerlerin jeomekanik özellikleri.

Mermer Numuneleri	BHA (kg/m³)	P (%)	SE (%)	KS	BD (MPa)	ED (MPa)	DD (MPa)	AD (cm³/50cm²)
M1	2690	0,32	0,66	131,14	59,85	9,03	24	37,09
M2	2700	0,28	0,58	135,76	62,16	9,28	25	36,35
M3	2715	0,25	0,42	137,89	64,85	9,46	26	35,73
M4	2720	0,22	0,36	145,78	70,45	10,12	29	33,85
M5	2730	0,13	0,18	162,45	78,04	11,74	32	30,85

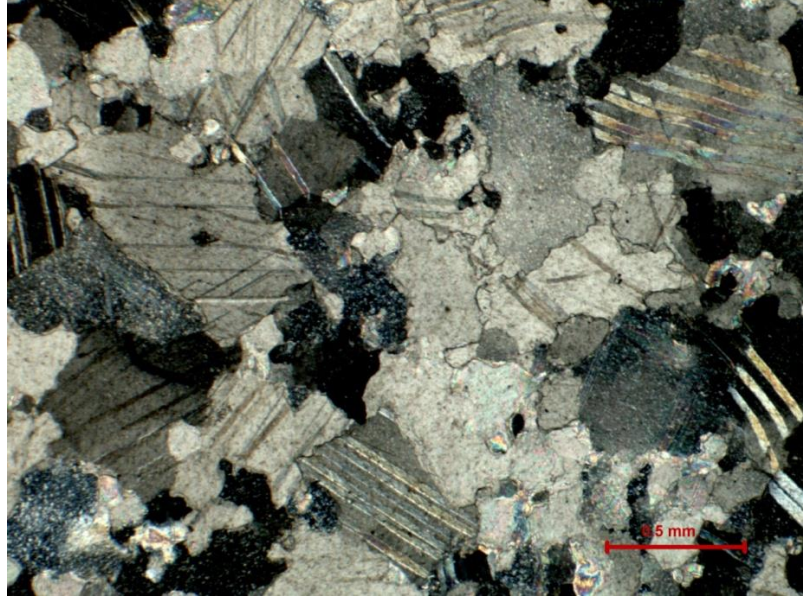
BHA: Birim hacim ağırlık, kg/m³; P: Porozite, %; SE: Su emme, %; KS: Knoop sertlik, BD: Basınç dayanımı, MPa; ED: Eğilme dayanımı, MPa; DD: Darbe dayanımı, MPa; AD: Aşınma dayanımı, cm³/50cm²

Bu araştırma kapsamında deneysel çalışmalarda işlenebilirliği yapılan mermerlerin mineralojik ve petrografik açıdan tanımlamaları da yapılmış ve Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Çalışmada kullanılan doğal taşların mineralojik ve petrografik tanımlamaları.

Mermer Numuneleri	Petrografik İsim Mineral Bileşimi Oranı (%)	Dokusu, yapısı ve tane şekli
M1		İnce kristalli, mezokristalin boyutlu, polisentetik ikizlenme gösteren, mozaik dokulu, metamorfik kökenli hakiki mermerdir.
M2		Orta kristalli, mezokristalin boyutlu, polisentetik ikizlenme gösteren, mozaik dokulu, metamorfik kökenli hakiki mermerdir.
M3	Mermer Kalsit >95	Orta-ince kristalli, mezokristalin boyutlu, polisentetik ikizlenme gösteren, granoblastik-mozaik dokulu, metamorfik kökenli hakiki mermerdir. Kayaç içerisinde organik kalıntılar bulunmaktadır.
M4		Breşik yapılı, orta kristalli, mezokristalin boyutlu, polisentetik ikizlenme gösteren, granoblastik (taneli) yapılı, metamorfik kökenli hakiki mermerdir. Kayacın beyaz kısımlarında kalsit, renkli kısımlarında özellikle demir oksit, opak mineraller ve mangan bulunmaktadır.
M5		Orta-iri kristalli, mezokristalin boyutlu, polisentetik ikizlenme gösteren, mozaik dokulu, metamorfik kökenli hakiki mermerdir. Kayaç içerisinde organik kalıntılar bulunmaktadır.

Yapılan mineralojik ve petrografik tanımlamalarda kullanılan tane boyutları değer aralıkları Çizelge 3.5’de verilmiştir. Şekil 3.15’de M1 mermer numunesinin ince kesit görünümü verilmiştir.



Şekil 3.15 M1 mermer numunesinin ince kesit görüntüsü.

Çizelge 3.5 Mineralojik ve petrografik tanımlamalarda kullanılan tane boyutları (Kulaksız, 2007'den derlenmiştir).

Metamorfik Kayaçlar

İnce kristal	<0,1 mm
Orta kristal	0,1-10 mm
İri kristal	>10 mm

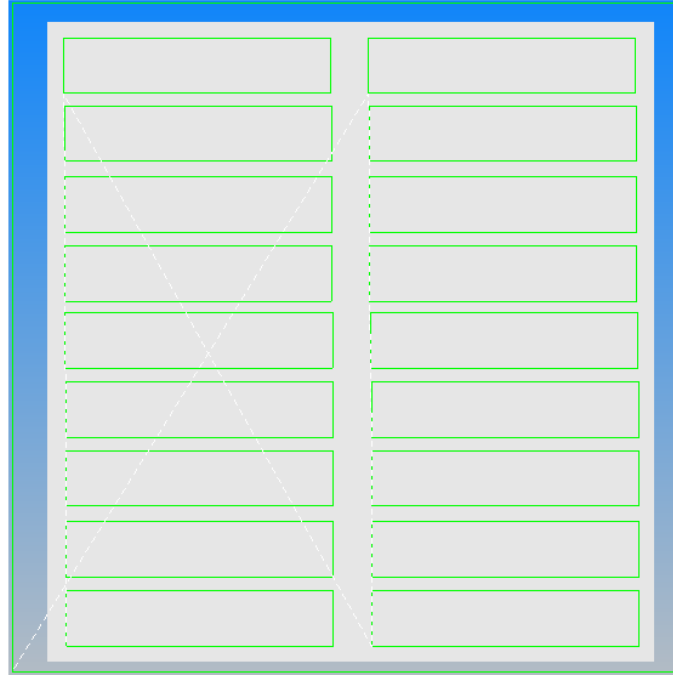
3.6.2 Bilgisayar Kontrollü Makinesi (CNC) ile İşlenebilirlik Deneyleri

Bilgisayar Kontrollü Makinesi (CNC) ile işlenebilirlik deneyleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilgisayar Kontrollü Makineler (CNC) ile Doğal Taş İşleme Laboratuvarında yapılmıştır. Bilgisayar Kontrollü (CNC) makinenin genel görünümü Şekil 3.16'da verilmiştir.

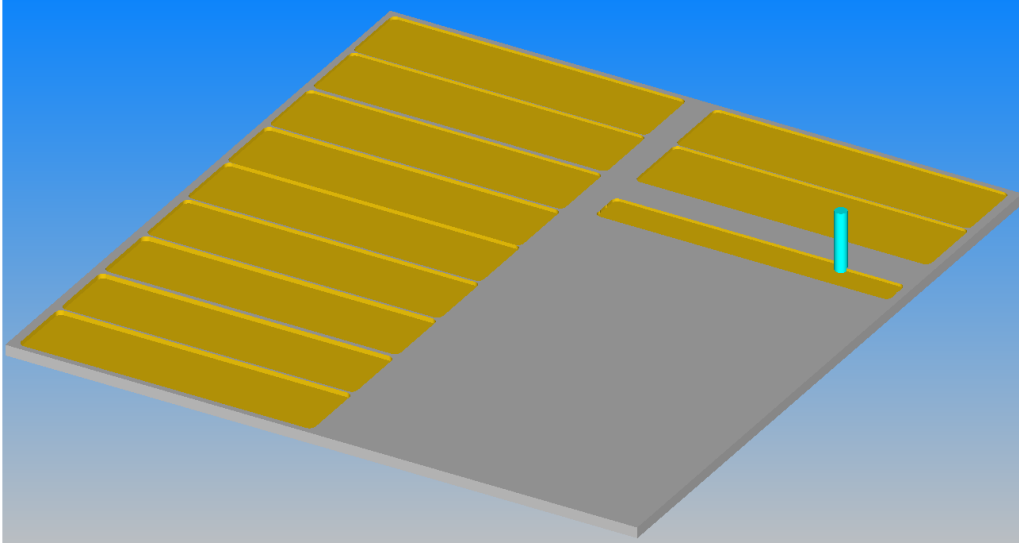


Şekil 3.16 İşlenebilirlik çalışmasında kullanılan CNC makinesinin genel görünümü.

İşlenebilirlik deneysel çalışmalarında modelleme işleme türü, kesme derinliği, ilerleme hızı, dalış hızı ve kesim genişliği parametrelerine göre yapılmıştır. İlk olarak çizimi yapılacak geometrinin boyutu belirlenerek genel boyut x ve y koordinatlarında üzerinde çizilmiştir. Daha sonra genel geometrinin içerisine işleme yapılacak 120*25 mm boyutundaki dikdörtgen 18 adet olarak çizilmiştir (Şekil 3.17). Çizilen ilk 9 dikdörtgen işleme türü dış hatlara ve diğer dikdörtgenler ise çizgisel işleme türüne göre tasarlanmıştır. Çizilen her dikdörtgen için 1.2 mm, 1.6 mm ve 2.0 mm kesme derinliği, 2000-2500-3000 (mm/dk) ilerleme hızı belirlenmiştir. Modellemenin simülasyon görüntüsü Şekil (3.18).

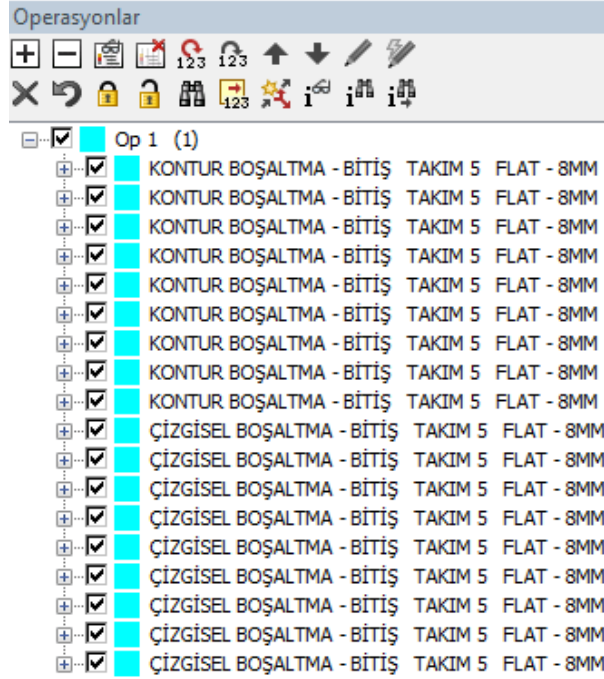


Şekil 3.17 Deneysel işlenebilirlik çalışmada kullanılan mermer numunesinin modellemesi.



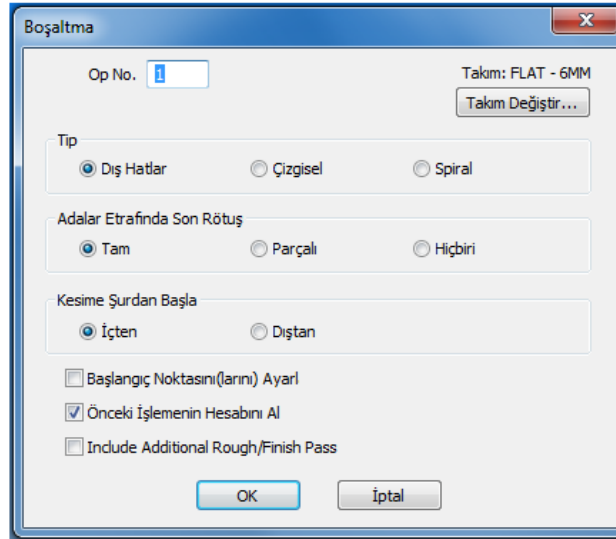
Şekil 3.18 Modellemenin simülasyon görüntüsü.

Program da yapılan modellemenin bazı opsiyonel ayarları çizgisel ve dış hatları işleme türlerinde aynıdır. Deneysel 6,0 mm çapında radyüs kesici ucun işlenebilirlik deneysel çalışmasında opsiyonel ayarları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 3.19).



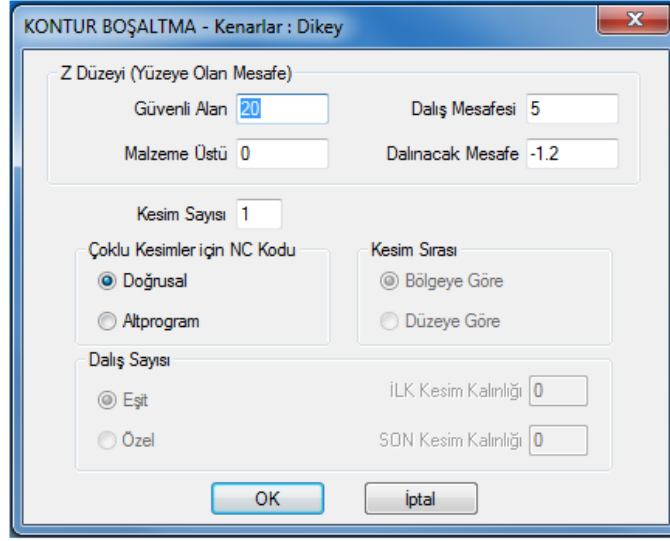
Şekil 3.19 Kesici ucun işleme türü göre takım yolu ataması.

Deneysel çalışmalarda AlphaCAM programında yapılan modellemede uygulanacak olan işleme türü dış hatlar ve çizgisel olarak tercih edilmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 İşleme türünün seçilmesi.

AlphaCAM programında işleme türü seçildikten sonra kesme derinliği, güven alanı ve d alınacak mesafe belirlenmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Dış hatlar işleme türünün kesim parametreleri.

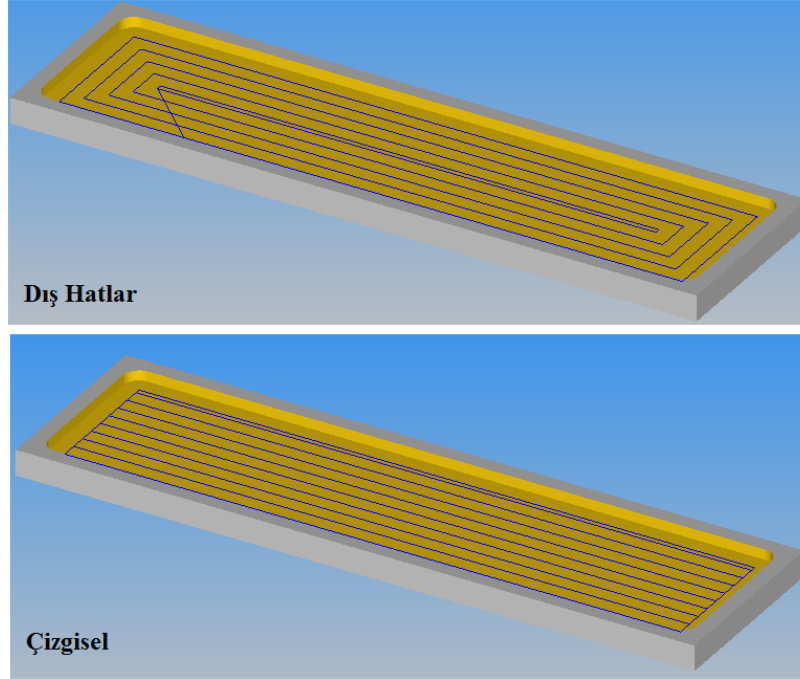
AlphaCAM programında devir hızı, dalış hızı, ilerleme hızı ve kesim genişliği belirlenmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Dış hatlar işleme türünün takım ayarları.

AlphaCAM programında dış hatlar ve çizgisel işleme türü mermer yüzeyinde farklı şekilde hareket ettiği için tercih edilmiştir. Kontur boşaltma işleminde seçilen dış hatlar işleme türü mermer numunenin orta kısmından işleme başlayıp, kesici ucu yukarı kaldırmadan enine ve boyuna içten dışarı doğru hareketidir. Çizgisel işleme türü

mermer numunenin köşesinden başlayıp, kesici ucu yukarı kaldırmadan boyuna ileri geri hareketdir. Bu iki önemli işleme türünün en önemli farklarından biride işleme süresinin NC kodunda çizgisel işleme türünden 1 sn daha fazla olmasıdır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 Dış hatlar ve çizgisel işleme türünün simülasyon görünümü.

İşlenebilirlik deneysel çalışmaları kapsamında AlphaCAM programında çizilen model CNC makinesi ile mermer numunelerinde uygulaması Şekil 3.24’de verilmiştir.

Bu işlemlerden sonra G kodlarının alınması ve Recon programıyla CNC makinasına tanımlanması işlemi gerçekleştirilmiştir. 6,0 mm kesici ucun deneysel işlenebilirlik çalışmasında G kodların görünümü Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 Deneysel işlenebilirlik çalışmasında programda yapılan modellemenin kodları.

Program Kodları	X Koordinat Değerleri	Y Koordinat Değerleri	Z Koordinat Değerleri
Süre	-	-	-
11DK 0SN			
G90G17G21M09	-	-	-
M06 T5			
S10000			
M03			
M08			
G0	-	-	Z20
G0	X34.81507	Y273.90515	
G00			Z10.
G01			Z-1.2 F1000
	X129.81507		
	X34.81507		
	X37.31507	Y271.40515	
	X132.31507	Y276.40515	
	X32.31507	Y271.40515	
.....
G00	-	-	Z20.
M05	-	-	-
M09	-	-	
M30			

İşlenebilirlik deneysel çalışmaları kapsamında AlphaCAM programında çizilen model CNC makinesi ile mermer numunelerinde uygulaması Şekil 3.24’de verilmiştir.



Şekil 3.24 CNC makinesinde işlenmiş mermer numunelerinin görünümü.

3.6.3 Aşınma Ölçümleri

Aşınma ölçümleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilgisayar Kontrollü Doğal Taş İşleme Laboratuvarında yapılmıştır. Aşınma ölçümü laboratuvar ölçekli hassas terazide yapılmıştır. Ölçme işlemi, kesici uç işleme girmeden önce ağırlığı alınır. İşlemden sonra da kesici uç por çöz temizleyici ile temizlenip kurumaya bırakılır ve kuruma işleminden sonra ağırlığı alınır. Daha sonra ağırlık kaybı ucun aşınma miktarı olarak değerlendirilir. Aşınma ölçme işlemi Şekil 3.25’de gösterilmiştir.



Şekil 3.25 Aşınma ölçme işleminde kullanılan hassas terazi.

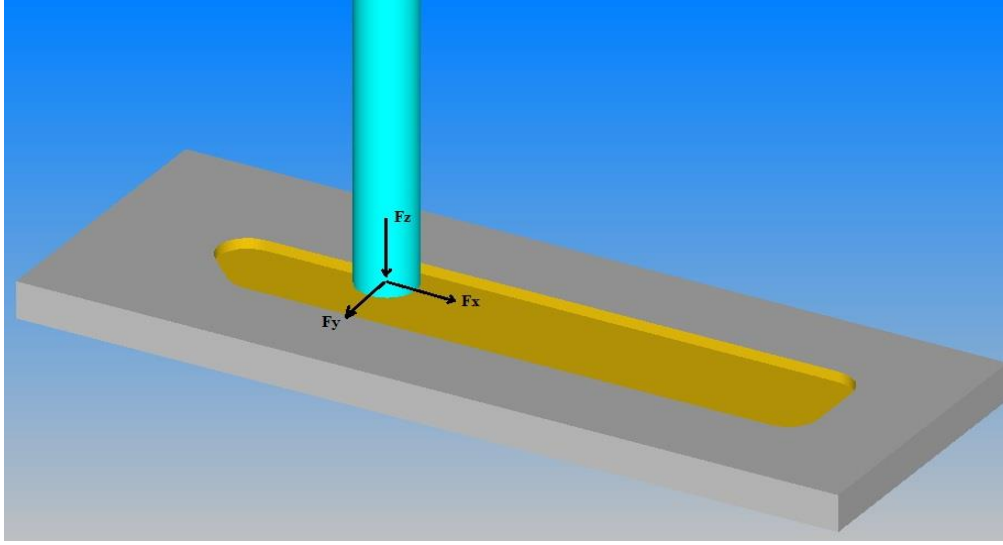
3.7 Deney Parametreleri ve Hesaplamalar

Çalışmada kullanılan mermer numunelerin işlenebilirlik deneylerinde kullanılan parametreler Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Deneysel işlenebilirlik çalışmasında kullanılan mermerlerin işleme parametreleri.

Mermer Numuneleri	İşleme Türü	Kesici Uç Çapı (mm)	Kesme Derinliği (mm)	Devir Hızı (d/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Dalış Hızı (d/dk)	Kesme Hızı (m/dk)	Kesme Genişliği (mm)
M1							188	3,0
M2	Dış	6,0	1,20	10000	2000,00		207	4,0
M3	Hatlar	8,0	1,60	11000	2500,00	1000,00	251	6,0
M4	Çizgisel		2,00		3000,00		276	8,0
M5								

Güç ve yük ölçer test cihazında yapılan deneylerde Defne Lab Soft Programı ara yüzü ile ölçülen F_x , F_y ve F_z kesme kuvvet değerleri Excel programına kaydedilmiştir. Kesme kuvvetlerinin vektörel eksenleri Şekil 3.26’da verilmiştir.



Şekil 3.26 Kuvvetlerin vektörel eksenleri.

Kesme hızı, kesici çapı (mm) mil hızı (d/dk) pi sayısı ve zaman kullanılarak hesaplanır. Eşitlik 3.1 ile ifade edilir.

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \quad (3.1)$$

V_c = Kesme hızı (m/dk)

n = Mil hızı (d/dk)

D = Kesici çapı (mm)

İşlenebilirlik deneylerinde elde edilen F_x kesme kuvveti eşitliği 3.2 ile ifade edilir.

$$F_x = |F_{x1}| + |F_{x2}| \quad (3.2)$$

F_x =Kesme kuvveti (N)

F_{x1} = Mutlak ileri kesme kuvveti(N)

F_{x2} = Mutlak geri kesme kuvveti(N)

İşlenebilirlik deneylerinde elde edilen F_y kesme kuvveti eşitliği 3.3 ile ifade edilir.

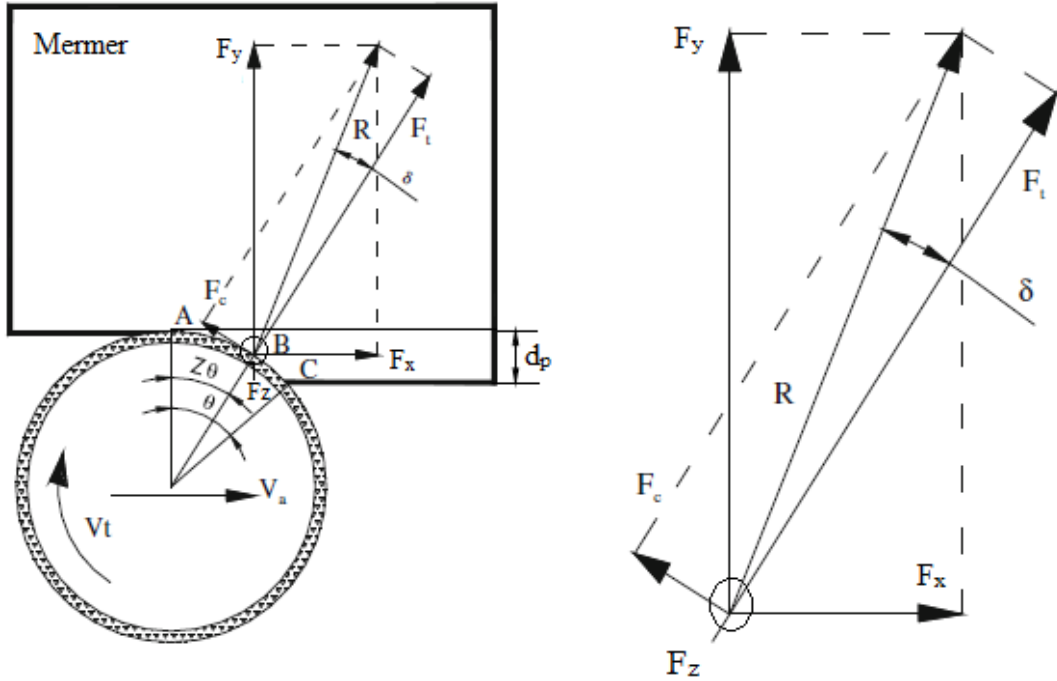
$$F_y = |F_{y1}| + |F_{y2}| \quad (3.3)$$

F_y =Kesme kuvveti (N)

F_{y1} = Mutlak ileri kesme kuvveti (N)

F_{y2} = Mutlak geri kesme kuvveti (N)

Mermer plakasının işlenmesi esnasında oluşan kuvvetlerin şematik gösterimi Şekil 3.27'de verilmiştir.



Şekil 3.27 İşleme esnasında oluşan kuvvetlerin şematik gösterimi.

R bileşke kuvveti, F_x ve F_y kesme kuvvetleri kullanarak N cinsinden hesaplanır. Eşitlik 3.4 ile ifade edilir.

$$R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (3.4)$$

R= Bileşke Kuvveti (N)

F_x = Kesme Kuvveti (N)

F_y = Kesme kuvveti (N)

R ve F_x arasındakiki β açısı eşitliği 3.5 ile ifade edilir.

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right) \quad (3.5)$$

Freze kesici uç ile kayaç arasındakiki θ temas açısı eşitliği 3.6 ile ifade edilir.

$$\theta = \cos^{-1}\left(1 - \frac{2d_p}{d}\right) \quad (3.6)$$

Kesme kuvvetinin teğetsel kuvveti F_c ve radyal kuvveti F_t bileşenleri, elde edilen R değeri ile hesaplanabilir. Eşitlik 3.7 ve 3.8 ile ifade edilir.

$$F_c = R \sin \delta \quad (3.7)$$

$$F_t = R \cos \delta \quad (3.8)$$

F_t ve F_c arasındakiki δ açısı eşitliği 3.9 ile ifade edilir.

$$\delta = \beta - Z\theta \quad (3.9)$$

Z parametresi, kesici uçla kayaç arasındakiki temas AC yayı üzerindeki bileşke kuvvetin R uygulama noktasının konumuna bağlıdır. Z parametresi eşitliği 3.10 ile ifade edilir.

$$Z = \frac{AB}{AC} \quad (3.10)$$

Güç tüketim değerleri mermer numunesinin işlenmesi boyunca kesici uçların bağlı olduğu gücü 7,5 kW olan elektrik motorundan alınmıştır. Bu değerler kesici uçların mermer numunesinin işlenmesi esnasındaki güç tüketim miktarını (P) göstermektedir.

Spesifik enerji birim hacimdeki mermerin kesilmesi için gerekli enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Spesifik enerji miktarı, makinanın güç tüketimi (P), kesim süresi (t) ve mermer numunesinden kaldırılan talaş hacmi (Q_w) kullanılarak, hesaplanır. Talaş hacmi ise işleme türüne uygulanan geometrik şeklin; uzunluğu, genişliği ve kesme derinliği değerlerinin çarpılması şeklinde hesaplanır. Talaş hacmi eşitliği 3.11 ile ifade edilir.

$$Q_w = b \times l \times d_{p(1,2,3)} \quad (3.11)$$

Q_w = Talaş hacmi (mm^3)

b = Numunenin boyu (mm)

l = Numunenin eni (mm)

$d_{p(1,2,3)}$ = Kesme derinliği (mm)

Ortalama spesifik enerji ise eşitliği 3.12 ile ifade edilir.

$$E_{c1} = \frac{\sum_{j=1}^n P_j}{n} \times t_1}{Q_{w(1,2,3)}} \quad (3.12)$$

E_{c1} = Ortalama Spesifik Enerji (J/mm^3)

P = Güç tüketimi (Watt)

t_1 = 0,1 (ms)

Q_w = Talaş hacmi (mm^3)

Toplam spesifik enerji eşitliği 3.13 ile ifade edilir.

$$E_{c2} = \frac{\sum_{j=1}^n P_j}{n} \times \sum_{j=1}^n t_{2j}}{Q_{w(1,2,3)}} \quad (3.13)$$

E_{c2} = Toplam Spesifik Enerji (J/mm^3)

P = Güç tüketimi (Watt)

t_2 = Toplam zaman (s)

Q_w = Talaş hacmi (mm^3)

İşlenebilirlik deneylerinde kesici uç takımlarının işleme öncesi (M_{d1}) ve sonrası (M_{d2}) hassas terazide tartımları yapılarak aşınma değeri (A_d) hesaplanmıştır.

Aşınma değeri eşitliği 3.14 ile ifade edilir.

$$A_d = M_{d1} - M_{d2} \quad (3.14)$$

A_d = Aşınma değeri (g)

M_{d1} = Kesici ucun işleme öncesi ağırlığı (g)

M_{d2} = Kesici ucun işleme sonrası ağırlığı (g)

4. BULGULAR ve DEĞERLENDİRMELER

4.1 Mermer Numunelerinde İşlenebilirlik Deneylerinde Kuvvet Ölçüm Değerlerinin Analizi

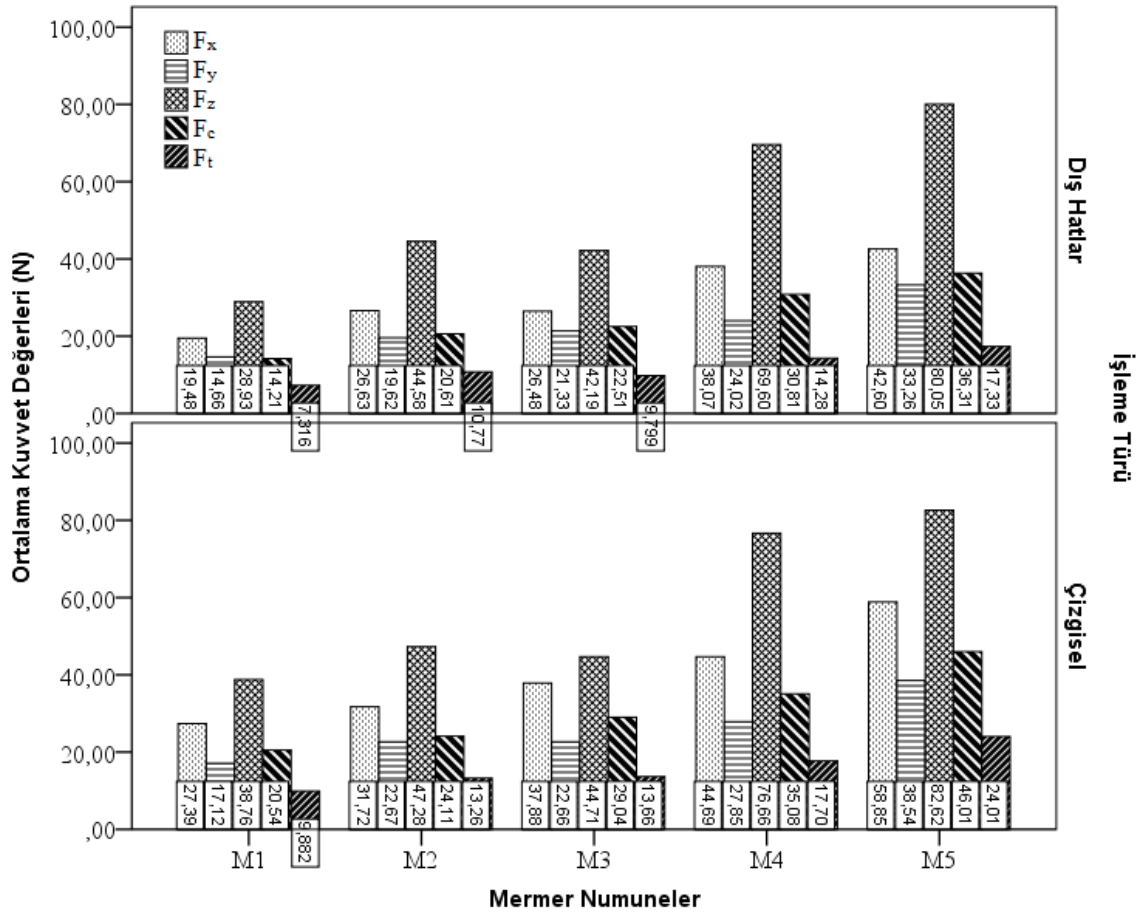
Çalışmada işlenebilirlik deneylerinde kullanılan mermer numunelerinin kuvvet ölçüm değerlerinin istatistiksel olarak analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde kuvvet değerleri (5 mermer \times 2 işleme türü \times 2 kesici uç çapı \times 4 kesme hızı \times 3 kesme derinliği \times 3 ilerleme hızı \times 5 farklı kuvvet) ile varyans (ANOVA) analizi uygulanmıştır. Toplamda ortalama olarak 3600 adet veri kullanılmıştır.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen kuvvet değerlerinin işleme türü göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde işleme türü arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde işleme türü etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri çizgisel işleme türünde daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Mermer numunelerinin kuvvet değerlerinin işleme türüne göre istatistiksel analizi.

Kuvvet Türü	İşleme Türü	Veri Sayısı	Kuvvet Değerleri (N)				95% Güven Aralığı	
			Ortalama Kuvvet (N)	Standart Sapma (N)	Standart Hata (N)	Anlamlılık Düzeyi	Alt Limit	Üst Limit
F_x	Dış Hatlar	360	30,65	16,66	0,87804	<0,001	28,92	32,38
	Çizgisel	360	40,11	23,63	1,24551	<0,001	37,66	42,56
F_y	Dış Hatlar	360	22,58	11,56	0,60922	<0,001	21,38	23,78
	Çizgisel	360	25,77	12,95	0,68276	<0,001	24,42	27,11
F_z	Dış Hatlar	360	53,07	36,37	1,91683	<0,001	49,30	56,84
	Çizgisel	360	58,01	36,40	1,91861	<0,001	54,23	61,78
F_c	Dış Hatlar	360	24,89	18,51	0,97563	<0,001	22,97	26,81
	Çizgisel	360	30,96	24,07	1,26882	<0,001	28,46	33,45
F_t	Dış Hatlar	360	11,90	9,10	0,47985	<0,001	10,95	12,84
	Çizgisel	360	15,70	11,99	0,63213	<0,001	14,46	16,95

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde işleme türüne göre ölçülen ve hesaplanan kuvvet değerleri Şekil 4.1 'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde işleme türüne göre kuvvet ölçüm değerleri.

Mermer numunelerinde işleme türüne göre dış hatlar ve çizgisel işlemede F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerlerine doğru artış olduğu tespit edilmiştir. M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer numunelerinde çizgisel işlemede kuvvet değerleri, dış hatlardaki işlemede kuvvet değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. M1 mermer numunesinde dış hatlar işleme türünde F_t teğetsel kuvveti 7,82 N ile en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde dış hatlar işleme türünde F_z kesme kuvveti 80,05 N en yüksek değeri almıştır. M1 mermer numunesinde çizgisel işleme F_t teğetsel kuvveti 9,88 N en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde çizgisel işleme türünde F_z kesme kuvveti 82,62 N ile en yüksek değeri almıştır. Buna göre mermer numunesinde dış hatlar ve çizgisel işleme türünde kuvvetler arasında $F_z > F_x > F_c > F_y > F_t$ bağıntısı ortaya çıkmaktadır. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet ölçüm değerlerine bakıldığında dış hatlar ve çizgisel işleme türünde M1, M2 ve M3 mermer türlerindeki

kuvvetler normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi tüm kuvvet değerleri oldukça yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M4 ve M5 mermer numunesi dış hatlar ve çizgisel işleme türünde işlenebilirliği oldukça zor olduğu görülmektedir.

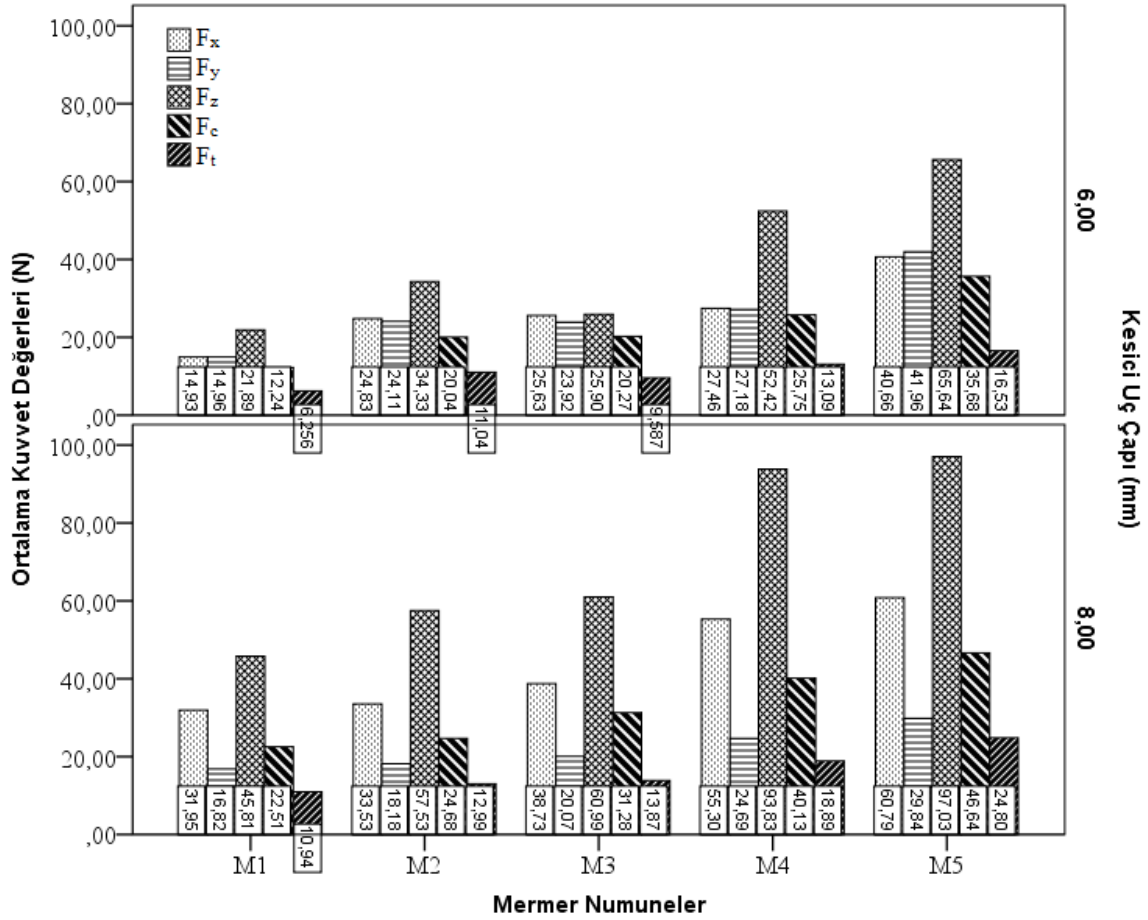
Çizgisel işleme türünün dış hatlar işleme türünden kuvvet değerlerinin yüksek çıkmasının nedeni mermer yüzeyinde çizgisel işleme türünün sadece boyuna ileri geri hareket etmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle mermerlerde işleme türünden dış hatların seçilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen kuvvet değerlerinin kesici uç çapına göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_n ve F kuvvet değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde kesici uç çapı arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde kesici uç çapı etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri 8,0 mm kesici uç çapında daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Mermer numunelerinin kuvvet değerlerinin kesici uç çapına göre istatistiksel analizi.

Kuvvet Türü	Kesici Uç Çapı (mm)	Veri Sayısı	Kuvvet Değerleri (N)				95% Güven Aralığı	
			Ortalama Kuvvet (N)	Standart Sapma (N)	Standart Hata (N)	Anlamlılık Düzeyi	Alt Limit	Üst Limit
F_x	6,0	360	26,70	14,77	0,77837	<0,001	25,17	28,23
	8,0	360	44,06	22,62	1,19222	<0,001	41,71	46,40
F_y	6,0	360	26,42	14,74	0,77699	<0,001	24,90	27,95
	8,0	360	21,92	8,89	0,46853	<0,001	21,00	22,84
F_z	6,0	360	40,04	21,91	1,15480	<0,001	37,76	42,31
	8,0	360	71,04	41,21	2,17187	<0,001	66,77	75,31
F_c	6,0	360	22,80	18,72	0,98684	<0,001	20,86	24,74
	8,0	360	33,05	23,18	1,22181	<0,001	30,64	35,45
F_t	6,0	360	11,30	9,04	0,47624	<0,001	10,37	12,24
	8,0	360	16,30	11,83	0,62324	<0,001	15,07	17,52

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesici uç çapına göre ölçülen ve hesaplanan kuvvet değerleri Şekil 4.2 'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesici uç çapına göre kuvvet ölçüm değerleri.

Mermer numunelerinde 6,0 ve 8,0 mm kesici uç çapına göre F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet ölçüm değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Bu artışlarda M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer numunelerinde 8,0 mm kesici uç çapında kuvvet değerleri, 6,0 mm kesici uç çapındaki kuvvet değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. M1 mermer numunesinde 6,0 mm kesici uç çapında F_t teğetsel kuvveti değeri 6,26 N ile en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 6,0 mm kesici uç çapında F_z kesme kuvveti değeri 65,64 N ile en yüksek değeri almıştır. M1 mermer numunesinde 8,0 mm kesici uç çapında F_t teğetsel kuvveti 10,94 N en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 8,0 mm kesici uç çapında F_z kesme kuvveti 97,03 N ile en yüksek değeri almıştır. Buna göre mermer numunesinde 6,0 mm ve 8,0 mm kesici uç çapında kuvvetler arasında $F_z > F_x > F_c > F_y > F_t$ bağıntısı ortaya çıkmaktadır. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerlerine bakıldığında 6,0 mm kesici uç

apında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki kuvvetler normal değerler almaktadır. Buna göre 6,0 mm kesici uç çapında işlenebilirliği normal olduğu anlaşılmaktadır Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet ölüm değerlerine bakıldığında 8,0 mm kesici uç çapında M1, M2 ve M3 mermer türlerindeki kuvvetler normal değerler almaktadır. M4 ve M5 mermer numunesi 8,0 mm kesici uç çapında tüm kuvvet değerleri oldukça yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M4 ve M5 mermer numunelerinde 8,0 mm kesici uç çapında işlenebilirliği oldukça zor olduğu tespit edilmiştir.

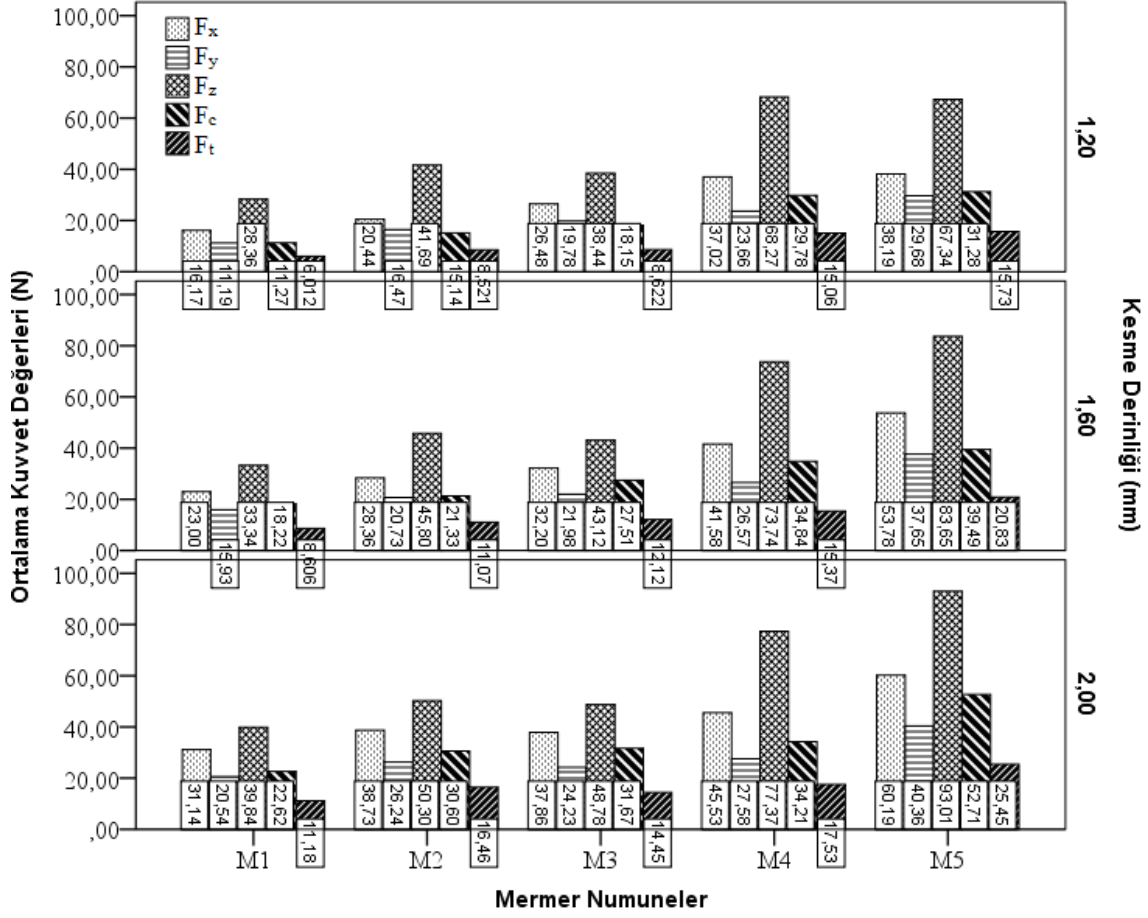
Kesici uç çapının artmasıyla kuvvet değerleri önemli lde artmıştır. Kesici takım çapının artması ile birim zamanda kesmesi gereken mermer talaş miktarı artmaktadır. Bu mermer talaş miktarının artmasıyla daha fazla sürtünme meydana gelmekte ve dolayısıyla kesme kuvvetleri önemli lde artmaktadır. Bu nedenle 8,0 mm kesici uç çapında talaş miktarının artmasıyla daha fazla sürtünme meydana gelmiş ve dolayısıyla kesme kuvvetleri önemli lde artmıştır.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen kuvvet değerlerinin kesme derinliğine göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde kesme derinliği arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde kesme derinliği etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri 2,0 mm kesme derinliğinde daha yüksek olduğu görülmektedir (izelge 4.3).

Çizelge 4.3 Mermer numunelerinin kuvvet değerlerinin kesme derinliğine göre istatistiksel analizi.

<i>Kuvvet Türü</i>	<i>Kesme Derinliği (mm)</i>	<i>Veri Sayısı</i>	<i>Kuvvet Değerleri (N)</i>				<i>95% Güven Aralığı</i>	
			<i>Ortalama Kuvvet (N)</i>	<i>Standart Sapma (N)</i>	<i>Standart Hata (N)</i>	<i>Anlamlılık Düzeyi</i>	<i>Alt Limit</i>	<i>Üst Limit</i>
F _x	1,20	240	27,66	16,13	1,04134	<0,001	25,61	29,71
	1,60	240	35,78	20,87	1,34744	<0,001	33,13	38,44
	2,00	240	42,69	22,66	1,46262	<0,001	39,81	45,57
F _y	1,20	240	20,16	11,12	0,71801	<0,001	18,74	21,57
	1,60	240	24,57	12,74	0,82222	<0,001	22,95	26,19
	2,00	240	27,79	12,04	0,77715	<0,001	26,26	29,32
F _z	1,20	240	48,82	32,26	2,08270	<0,001	44,72	52,92
	1,60	240	55,93	37,50	2,42082	<0,001	51,16	60,70
	2,00	240	61,86	38,24	2,46868	<0,001	56,99	66,72
F _c	1,20	240	21,13	16,83	1,08641	<0,001	18,98	23,27
	1,60	240	28,28	20,340	1,31296	<0,001	25,69	30,86
	2,00	240	34,36	25,06	1,61736	<0,001	31,18	37,55
F _t	1,20	240	10,79	8,42	0,54380	<0,001	9,72	11,86
	1,60	240	13,60	10,88	0,70235	<0,001	12,22	14,98
	2,00	240	17,01	11,94	0,77091	<0,001	15,49	18,53

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme derinliğine göre ölçülen ve hesaplanan kuvvet değerleri Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme derinliğine göre kuvvet ölçüm değerleri.

Mermer numunelerinde 1,2 mm, 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğine göre F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Bu artışlarda mermer numunelerinde 2,0 mm kesme derinliğinde kuvvet değerleri daha yüksek olduğu görülmektedir. M1 mermer numunesinde 1,2 mm kesme derinliğinde F_t teğetsel kuvveti değeri 6,01 N ile en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde F_z kesme kuvveti değeri 67,34 N ile en yüksek değeri almıştır. M1 mermer numunesinde 1,6 mm kesme derinliğinde F_t teğetsel kuvveti değeri 8,61 N ile en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 1,6 mm kesme derinliğinde F_z kesme kuvveti değeri 83,65 N ile en yüksek değeri almıştır. M1 mermer numunesinde 2,0 mm kesme derinliğinde F_t teğetsel kuvveti değeri 11,18 N ile en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 2,0 mm kesme derinliğinde F_z kesme kuvveti değeri 93,01 N ile en yüksek değeri almıştır. Buna göre 1,2 mm, 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde $F_z > F_x > F_c > F_y > F_t$ bağıntısı ortaya

çıkıştır. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerlerine bakıldığında M1, M2 ve M3 mermer numunelerinde 1,2 mm, 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde işlenebilirlikleri ideal olduğu anlaşılmıştır. Ancak M4 ve M5 mermer numunesi 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde tüm kuvvet değerleri oldukça yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M4 ve M5 mermer numunelerinde 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde işlenebilirliği oldukça zor olduğu tespit edilmiştir.

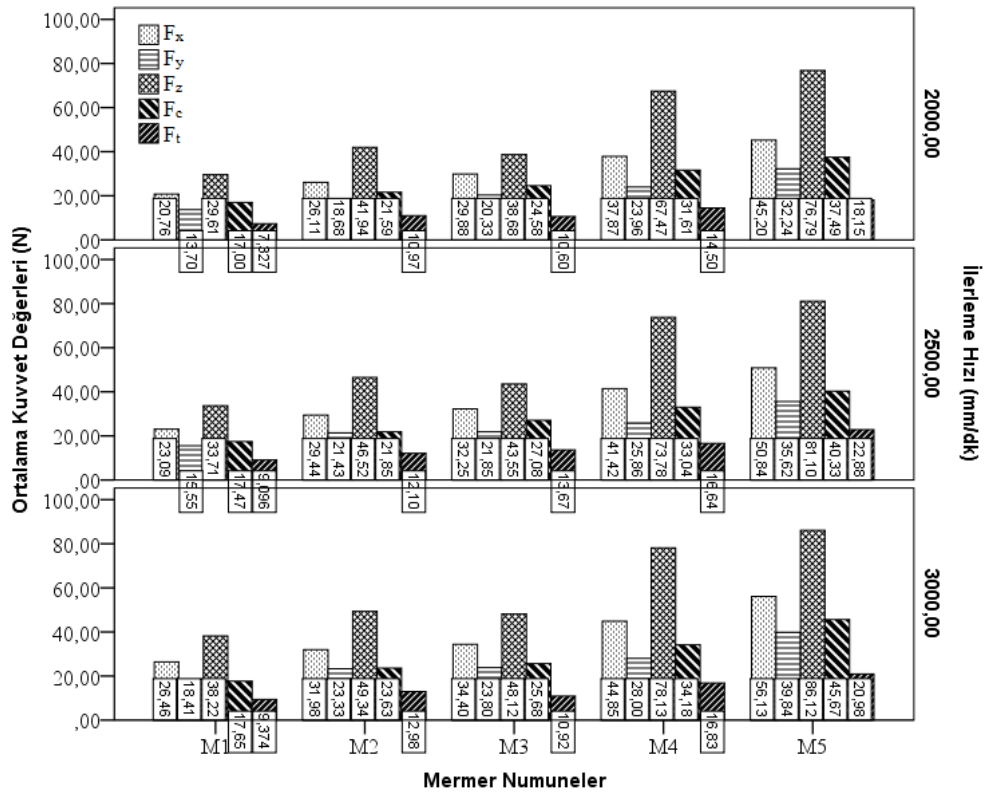
Kesme derinliği artmasıyla kuvvet değerleri önemli ölçüde artmıştır. Kesici takım kesme derinliğinin artmasıyla ile birim zamanda kesmesi gereken mermer talaş miktarı artmaktadır. Mermer talaş miktarının artmasıyla daha fazla sürtünme meydana gelmekte ve dolayısıyla kesme kuvvetleri önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle 2,0 mm kesme derinliğinde talaş miktarının artmasıyla daha fazla sürtünme meydana gelmiş ve dolayısıyla kesme kuvvetleri önemli ölçüde artmıştır.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen kuvvet değerlerinin ilerleme hızına göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde ilerleme hızı arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde ilerleme hızı etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri 3000 mm/dk ilerleme hızında daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Mermer numunelerinin kuvvet değerlerinin ilerleme hızına göre istatistiksel analizi

Kuvvet Türü	İlerleme Hızı (mm/dk)	Veri Sayısı	Kuvvet Değerleri (N)			95% Güven Aralığı		
			Ortalama Kuvvet (N)	Standart Sapma (N)	Standart Hata (N)	Anlamlılık Düzeyi	Alt Limit	Üst Limit
F _x	2000	240	31,96	19,38	1,25115	<0,001	29,49	34,43
	2500	240	35,41	21,06	1,35967	<0,001	32,73	38,09
	3000	240	38,76	21,92	1,41499	<0,001	35,97	41,55
F _y	2000	240	21,78	11,33	0,73125	<0,001	20,34	23,22
	2500	240	24,06	12,19	0,78681	<0,001	22,51	25,61
	3000	240	26,68	13,09	0,84526	<0,001	25,01	28,34
F _z	2000	240	50,90	34,76	2,24350	<0,001	46,48	55,32
	2500	240	55,73	36,44	2,35211	<0,001	51,10	60,36
	3000	240	59,98	37,66	2,43109	<0,001	55,20	64,77
F _c	2000	240	26,45	19,76	1,27583	<0,001	23,94	28,97
	2500	240	27,95	21,08	1,36063	<0,001	25,27	30,63
	3000	240	29,36	23,95	1,54619	<0,001	26,31	32,41
F _t	2000	240	12,31	10,02	0,64702	<0,001	11,03	13,58
	2500	240	14,88	11,26	0,72700	<0,001	13,45	16,31
	3000	240	14,22	10,98	0,70889	<0,001	12,82	15,61

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde ilerleme hızına göre ölçülen ve hesaplanan kuvvet değerleri Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde ilerleme hızına göre kuvvet ölçüm değerleri.

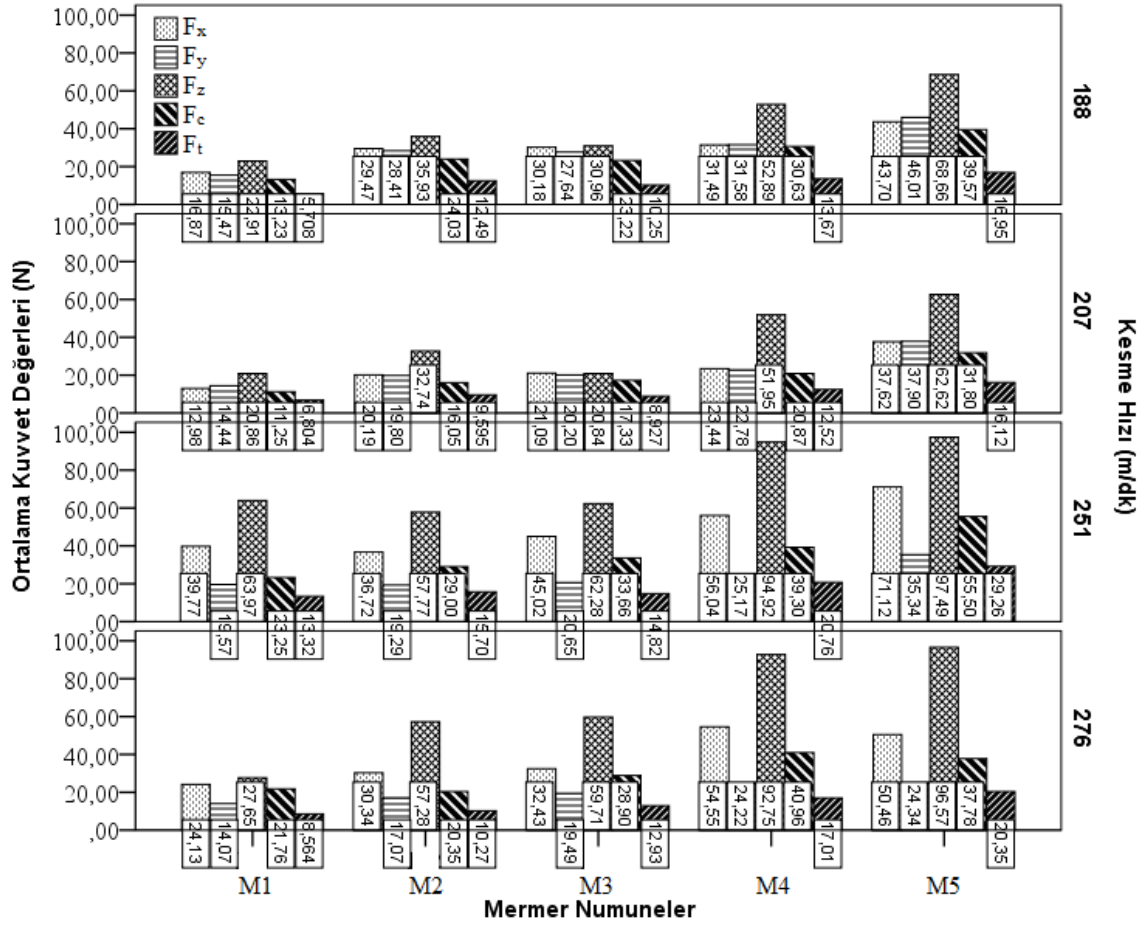
Mermer numunelerinde 2000, 2500 ve 3000 mm/dk ilerleme hızına göre F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Bu artışlarda mermer numunelerinde 3000 mm/dk ilerleme hızında kuvvet değerleri daha yüksek olduğu görülmektedir. M1 mermer numunesinde 2000 mm/dk ilerleme hızında F_t teğetsel kuvveti değeri 8,83 N ile en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde F_z kesme kuvveti değeri 76,79 N ile en yüksek değeri almıştır. M1 mermer numunesinde 2500 mm/dk ilerleme hızında F_t teğetsel kuvveti değeri 9,10 N ile en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde F_z kesme kuvveti değeri 81,10 N ile en yüksek değeri almıştır. M1 mermer numunesinde 3000 mm/dk ilerleme hızında F_t teğetsel kuvveti değeri 9,37 N ile en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde F_z kesme kuvveti değeri 86,12 N ile en yüksek değeri almıştır. Buna göre 2000, 2500 ve 3000 mm/dk ilerleme hızında $F_z > F_x > F_c > F_y > F_t$ bağıntısı ortaya çıkmıştır. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet ölçüm değerlerine bakıldığında M1, M2 ve M3 mermer numunelerinde 2000, 2500 ve 3000 mm/dk ilerleme hızında işlenebilirlikleri ideal olduğu anlaşılmıştır. Ancak M4 ve M5 mermer numunesi 2000, 2500 ve 3000 mm/dk ilerleme hızında tüm kuvvet değerleri oldukça yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M4 ve M5 mermer numunelerinde 2000, 2500 ve 3000 mm/dk ilerleme hızında işlenebilirliği oldukça zor olduğu tespit edilmiştir.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen kuvvet değerlerinin kesme hızına göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde kesme hızı arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde kesme hızı etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri 6 mm kesici uç çapında 188 m/dk kesme hızında, 8 mm kesici uç çapında ise 251 m/dk daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Mermer numunelerinin kuvvet değerlerinin kesme hızına göre istatistiksel analizi.

<i>Kuvvet Türü</i>	<i>Kesme Hızı (m/dk)</i>	<i>Veri Sayısı</i>	<i>Kuvvet Değerleri (N)</i>				<i>95% Güven Aralığı</i>	
			<i>Ortalama Kuvvet (N)</i>	<i>Standart Sapma (N)</i>	<i>Standart Hata (N)</i>	<i>Anlamlılık Düzeyi</i>	<i>Alt Limit</i>	<i>Üst Limit</i>
F _x	188	180	30,34	14,85	1,10672	<0,001	28,15	32,52
	207	180	23,06	13,80	1,02833	<0,001	21,03	25,09
	251	180	49,73	24,12	1,79757	<0,001	46,19	53,28
	276	180	38,38	19,49	1,45267	<0,001	35,51	41,25
F _y	188	180	29,82	15,33	1,14283	<0,001	27,57	32,08
	207	180	23,02	13,32	0,99316	<0,001	21,06	24,98
	251	180	24,00	9,66	0,72032	<0,001	22,58	25,43
	276	180	19,84	7,51	0,55967	<0,001	18,73	20,94
F _z	188	180	42,27	21,51	1,60323	<0,001	39,10	45,43
	207	180	37,80	22,14	1,65020	<0,001	34,55	41,06
	251	180	75,29	39,68	2,95761	<0,001	69,45	81,12
	276	180	66,79	42,37	3,15782	<0,001	60,56	73,02
F _c	188	180	26,13	20,36	1,51759	<0,001	23,14	29,13
	207	180	19,46	16,31	1,21605	<0,001	17,06	21,86
	251	180	36,14	25,46	1,89770	<0,001	32,40	39,89
	276	180	29,95	20,26	1,50984	<0,001	26,97	32,93
F _t	188	180	11,81	9,27	0,69131	<0,001	10,45	13,18
	207	180	10,79	8,79	0,65493	<0,001	9,50	12,08
	251	180	18,77	12,56	0,93630	<0,001	16,93	20,62
	276	180	13,82	10,50	0,78292	<0,001	12,28	15,37

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme hızına göre ölçülen ve hesaplanan kuvvet değerleri Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme hızına göre kuvvet ölçüm değerleri.

Mermer numunelerinde 6 mm kesici uç çapında 207 m/dk kesme hızından 188 m/dk kesme hızına, 8 mm kesici uç çapından 276 m/dk kesme hızından 251 m/dk kesme hızına doğru F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Bu artışlarda mermer numunelerinde 251 m/dk kesme hızında kuvvet değerleri daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre kesme hızı artıkça tüm kuvvetlerde düşme görülmektedir. M1 mermer numunesinde 6 mm kesici uç çapında 188 mm/dk kesme hızında F_t teğetsel kuvveti 5,71 N en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde F_z kesme kuvveti değeri 68,66 N en yüksek değeri almıştır. M1 mermer numunesinde 8 mm kesici uç çapında 251 mm/dk kesme hızında F_t teğetsel kuvveti 13,32 N en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde F_z kesme kuvveti değeri 97,49 N en yüksek değeri almıştır. Buna göre tüm kesme hızlarında $F_z > F_x > F_c > F_y > F_t$ bağıntısı ortaya çıkmıştır. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerlerine bakıldığında

M1, M2 ve M3 mermer numunelerinde 188 ve 207 m/dk kesme hızında işlenebilirlikleri ideal olduğu anlaşılmıştır. Ancak M4 ve M5 mermer numunesi 251 ve 276 m/dk kesme hızında tüm kuvvet değerleri oldukça yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M4 ve M5 mermer numunelerinde 251 ve 276 m/dk kesme hızında işlenebilirliği oldukça zor olduğu tespit edilmiştir.

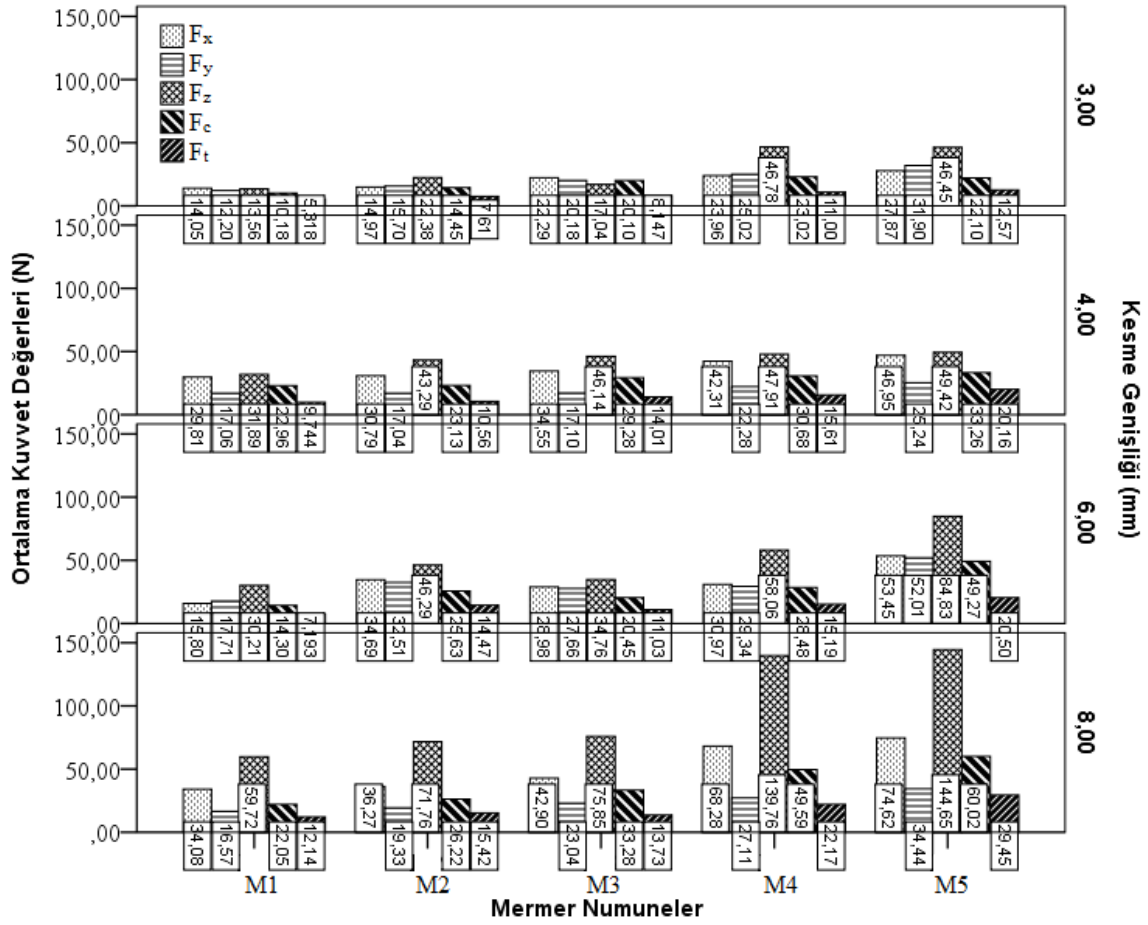
Kesme işleminde 6,0 ve 8,0 mm kesici uç takımlarında devir hızı arttıkça kesme hızları artmış, tüm kuvvetlerde düşme meydana gelmiştir. Bu nedenle 6 mm kesici uç çapında 188 m/dk kesme hızında ve 8 mm kesici uç çapında 251 m/dk kesme hızında tüm kuvvetler daha yüksek çıkmıştır.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen kuvvet değerlerinin kesme genişliğine göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde kesme genişliği arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde kesme genişliği etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri 8 mm kesme genişliğinde daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.6 Mermer numunelerinin kuvvet değerlerinin kesme genişliği göre istatistiksel analizi.

Kuvvet Türü	Kesme Genişliği (mm)	Veri Sayısı	Kuvvet Değerleri (N)				95% Güven Aralığı	
			Ortalama Kuvvet (N)	Standart Sapma (N)	Standart Hata (N)	Anlamlılık Düzeyi	Alt Limit	Üst Limit
F _x	3,0	180	20,63	8,99	0,67013	<0,001	19,30	21,95
	4,0	180	36,88	12,50	0,93191	<0,001	35,04	38,73
	6,0	180	32,78	16,80	1,25251	<0,001	30,30	35,25
	8,0	180	51,23	27,68	2,06351	<0,001	47,16	55,30
F _y	3,0	180	21,00	12,56	0,93635	<0,001	19,15	22,85
	4,0	180	19,75	7,20	0,53701	<0,001	18,69	20,81
	6,0	180	31,85	14,80	1,10291	<0,001	29,67	34,02
	8,0	180	24,10	9,85	0,73437	<0,001	22,65	25,55
F _z	3,0	180	29,24	15,91	1,18627	<0,001	26,90	31,58
	4,0	180	43,73	10,83	0,80698	<0,001	42,14	45,32
	6,0	180	50,83	21,80	1,62493	<0,001	47,62	54,03
	8,0	180	98,35	42,29	3,15232	<0,001	92,12	104,57
F _n	3,0	180	17,97	13,44	1,00206	<0,001	15,99	19,95
	4,0	180	27,86	15,46	1,15238	<0,001	25,59	30,14
	6,0	180	27,63	21,81	1,62530	<0,001	24,42	30,83
	8,0	180	38,23	28,01	2,08794	<0,001	34,11	42,35
F _t	3,0	180	8,93	6,35	0,47302	<0,001	7,99	9,86
	4,0	180	14,02	8,78	0,65453	<0,001	12,73	15,30
	6,0	180	13,68	10,59	0,78931	<0,001	12,12	15,23
	8,0	180	18,58	13,89	1,03511	<0,001	16,54	20,62

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliğine göre ölçülen ve hesaplanan kuvvet değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliğine göre kuvvet ölçüm değerleri.

Mermer numunelerinde 3,0 mm, 4,0 mm, 6,0 mm ve 8,0 mm kesme genişliğine göre F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Bu artışlarda mermer numunelerinde 8,0 mm kesme genişliğinde kuvvet değerleri daha yüksek olduğu görülmektedir. M1 mermer numunesinde 3,0 mm kesme genişliğinde F_t teğetsel kuvvet değeri 5,82 N ile en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde F_z kesme kuvveti değeri 46,45 N en yüksek değeri almıştır. M1 mermer numunesinde 8,0 mm kesme genişliğinde F_t teğetsel kesme kuvvet değeri 12,14 N en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde F_z kesme kuvveti değeri 144,65 N en yüksek değeri almıştır. Buna göre tüm kesme genişliğinde $F_z > F_x > F_c > F_y > F_t$ bağıntısı ortaya çıkmıştır. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerlerine bakıldığında M1, M2 ve M3 mermer numunelerinde 3,0 ve 4,0 mm kesme genişliğinde işlenebilirlikleri ideal olduğu anlaşılmıştır. Ancak M4 ve M5 mermer numunesi 6,0 ve 8,0 mm kesme genişliğinde

tüm kuvvet değerleri oldukça yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M4 ve M5 mermer numunelerinde 6,0 ve 8,0 mm kesme genişliğinde işlenebilirliği oldukça zor olduğu tespit edilmiştir.

4.2 Mermer Numunelerinde İşlenebilirlik Deneylerinde Güç Tüketim Değerlerinin Analizi

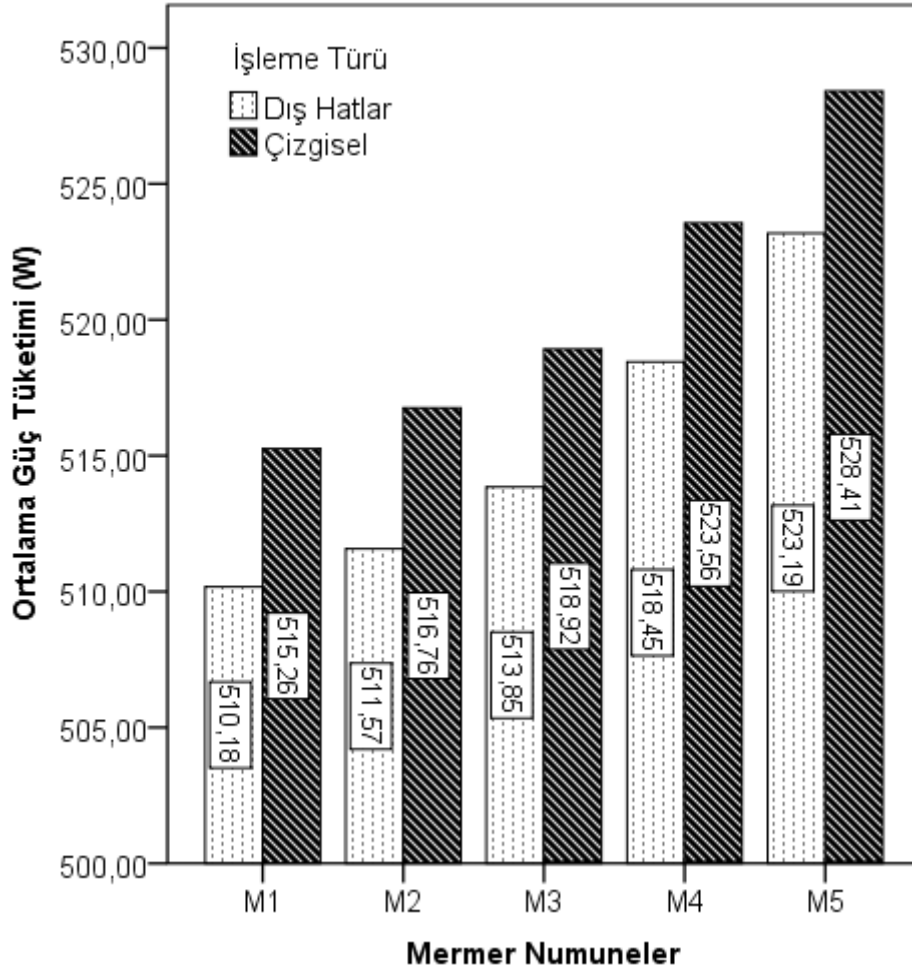
Çalışmada işlenebilirlik deneylerinde kullanılan mermer numunelerinin güç tüketimi değerleri istatistiksel olarak analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri (5 mermer \times 2 işleme türü \times 2 kesici uç çapı \times 4 kesme hızı \times 3 kesme derinliği \times 3 ilerleme hızı) varyans (ANOVA) analizi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Toplamda ortalama olarak 720 adet veri kullanılmıştır.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen güç tüketimi değerlerinin işleme türüne göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde işleme türü arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde işleme türü etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri çizgisel işleme türünde daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 Mermer numunelerinin güç tüketim değerlerinin işleme türüne göre istatistiksel analizi.

İşleme Türü	Veri Sayısı	Güç Tüketim Değerleri (W)				95% Güven Aralığı	
		Ortalama Güç (W)	Standart Sapma (W)	Standart Hata (W)	Anlamlılık Düzeyi	Alt Limit	Üst Limit
Dış Hatlar	360	515,45	11,51	0,6068750	<0,001	514,25	516,64
Çizgisel	360	520,58	11,53	0,6079729	<0,001	519,39	521,78

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde işleme türüne göre ölçülen güç tüketimi değerleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde işleme türüne göre güç tüketimi değerleri.

Mermer numuneleri işleme türünde çizgisel işlemedeki güç tüketimi değerleri dış hatlar işleme türüne göre daha yüksek olduğu görülmektedir. M1 mermer numunesinde dış hatlar işleme türünde güç tüketimi 510,18 W değeri ile en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde çizgisel işleme türünde güç tüketimi 528,41 W en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerlerine bakıldığında dış hatlar ve çizgisel işleme türünde M1, M2 ve M3 mermer türlerindeki güç tüketimi normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi güç tüketimi değerleri arttığı görülmektedir. Buna göre M1, M2 ve M3 mermer numuneleri daha az enerji tüketimi ile dış hatlar işleme türü tercih edilmesi öngörülmüştür.

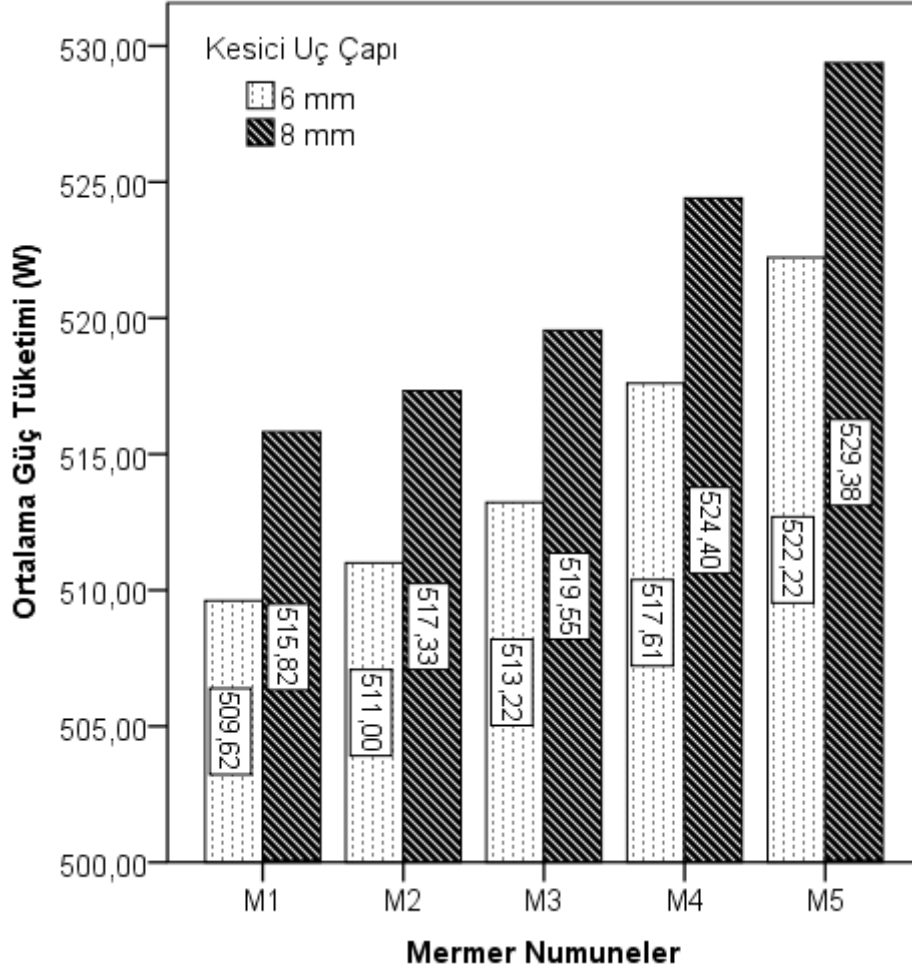
Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen güç tüketimi değerlerinin kesici uç çapına göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde güç

tüketimi değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde kesici uç çapı arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde kesici uç çapı etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri 8,0 mm kesici uç çapında daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8 Mermer numunelerinin güç tüketiminin kesici uç çapına göre istatistiksel analizi.

Kesici Uç Çapı (mm)	Veri Sayısı	Güç Tüketim Değerleri (W)			Anlamlılık Düzeyi	95% Güven Aralığı	
		Ortalama Güç (W)	Standart Sapma (W)	Standart Hata (W)		Alt Limit	Üst Limit
6,0	360	514,73	11,70	0,6166083	<0,001	513,52	515,95
8,0	360	521,30	10,97	0,5783234	<0,001	520,16	522,43

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesici uç çapına göre ölçülen güç tüketimi değerleri Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesici uç çapına göre güç tüketimi değerleri.

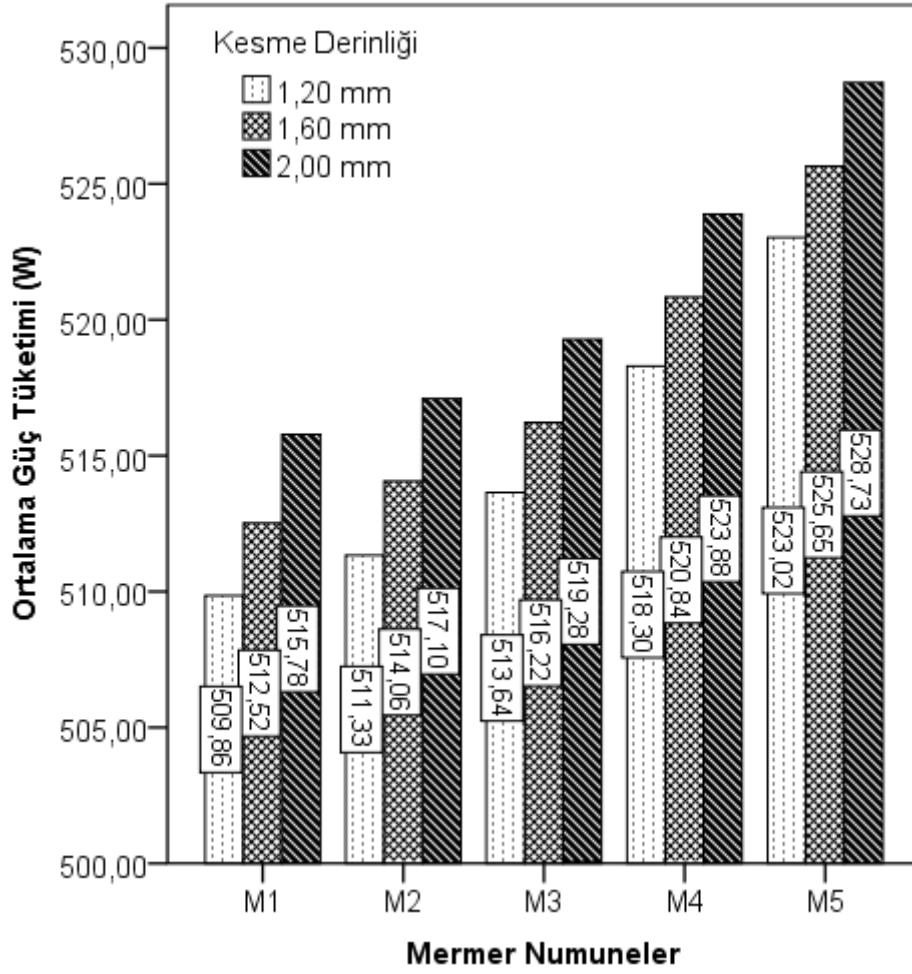
Mermer numunelerinde 8,0 mm kesici uç çapında güç tüketimi değerleri 6,0 mm kesici uç çapında güç tüketimi değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 6,0 mm kesici uç çapında güç tüketimi 509,62 W en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesin 8,0 mm kesici uç çapında güç tüketimi 529,38 W en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerlerine bakıldığında 6,0 mm kesici uç çapında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki güç tüketimi normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 8,0 mm kesici uç çapında güç tüketimi değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Buna göre M1, M2 ve M3 mermer numuneleri daha az enerji tüketimi ile 6,0 mm kesici uç çapı tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen güç tüketimi değerlerinin kesme derinliğine göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde kesme derinliği arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde kesme derinliği etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri 2,0 mm kesme derinliğinde daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9 Mermer numunelerinin güç tüketiminin kesme derinliğine göre istatistiksel analizi.

Kesme Derinliği (mm)	Veri Sayısı	Güç Tüketim Değerleri (W)			Anlamlılık Düzeyi	95% Güven Aralığı	
		Ortalama Güç (W)	Standart Sapma (W)	Standart Hata (W)		Alt Limit	Üst Limit
1,20	240	515,23	11,67	0,7532813	<0,001	513,75	516,71
1,60	240	517,86	11,71	0,7561672	<0,001	516,37	519,35
2,00	240	520,95	11,36	0,7331547	<0,001	519,51	522,40

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme derinliğine göre ölçülen güç tüketimi değerleri Şekil 4.9'de verilmiştir.



Şekil 4.9 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme derinliği göre güç tüketimi değerleri.

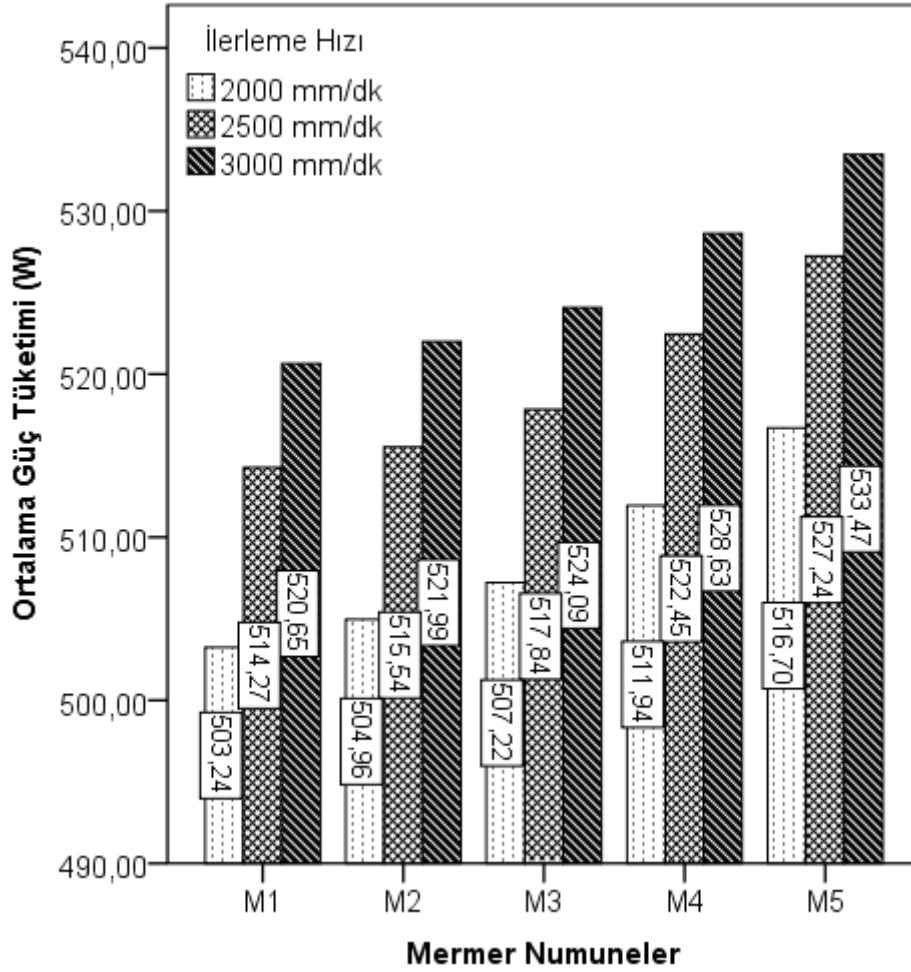
Mermer numunelerinde 2,0 mm kesme derinliğinde güç tüketimi değerleri, 1,6 mm ve 1,2 mm kesme derinliğinde güç tüketimi değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 1,2 mm kesme derinliğinde güç tüketimi 509,86 W en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 2,0 mm kesme derinliğinde güç tüketimi 528,73 W en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerlerine bakıldığında 1,2 mm kesme derinliğinde M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki güç tüketimi normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 2,0 mm kesme derinliğinde güç tüketimi değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Buna göre M1, M2 ve M3 mermer numuneleri daha az enerji tüketimi ile 1,20-1,60 mm kesme derinliğinde tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen güç tüketimi değerlerinin ilerleme hızına göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde ilerleme hızı arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde ilerleme hızı etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri 3000 mm/dk ilerleme hızında daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10 Mermer numunelerinin güç tüketiminin ilerleme hızına göre istatistiksel analizi.

İlerleme Hızı (mm/dk)	Veri Sayısı	Güç Tüketim Değerleri (W)			Anlamlılık Düzeyi	95% Güven Aralığı	
		Ortalama Güç (W)	Standart Sapma (W)	Standart Hata (W)		Alt Limit	Üst Limit
2000	240	508,81	9,92	0,6404823	<0,001	507,55	510,07
2500	240	519,47	9,62	0,6212978	<0,001	518,24	520,69
3000	240	525,76	8,96	0,5785444	<0,001	524,62	526,90

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde ilerleme hızına göre ölçülen güç tüketimi değerleri Şekil 4.10'de verilmiştir.



Şekil 4.10 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde ilerleme hızına göre güç tüketimi değerleri.

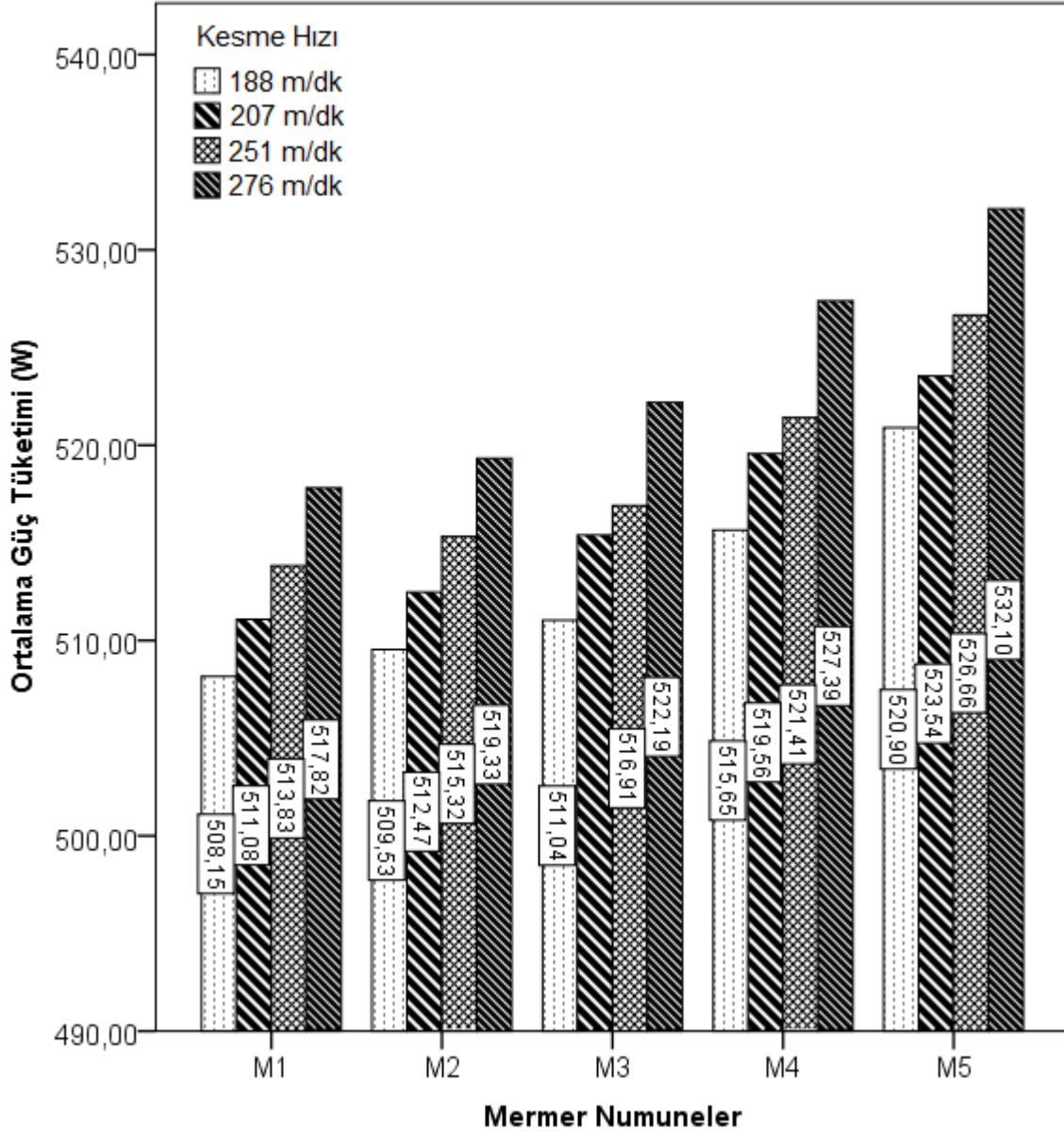
Mermer numunelerinde 3000 mm/dk ilerleme hızında güç tüketimi değerleri, 2000 ve 2500 mm/dk ilerleme hızında güç tüketimi değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 2000 mm/dk ilerleme hızında güç tüketimi 503,24 W en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 3000 mm/dk ilerleme hızında güç tüketimi 533,47 W en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerlerine bakıldığında 2000 mm/dk ilerleme hızında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki güç tüketimi normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 3000 mm/dk ilerleme hızında güç tüketimi değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Buna göre M1, M2 ve M3 mermer numuneleri daha az enerji tüketimi ile 2000 mm/dk ilerleme hızı tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen güç tüketimi değerlerinin kesme hızına göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde kesme hızı arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde kesme hızı etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri 276 m/dk kesme hızında daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11 Mermer numunelerinin güç tüketiminin kesme hızına göre istatistiksel analizi.

Kesme Hızı (m/dk)	Veri Sayısı	Güç Tüketim Değerleri (W)			Anlamlılık Düzeyi	95% Güven Aralığı	
		Ortalama Güç (W)	Standart Sapma (W)	Standart Hata (W)		Alt Limit	Üst Limit
188	180	513,05	11,08	0,8262249	<0,001	511,42	514,68
207	180	516,41	12,08	0,9005265	<0,001	514,63	518,19
251	180	518,83	10,45	0,7792487	<0,001	517,29	520,36
276	180	523,76	10,95	0,8162088	<0,001	522,15	525,38

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme hızına göre ölçülen güç tüketimi değerleri Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme hızına göre güç tüketimi değerleri.

Mermer numunelerinde 276 m/dk kesme hızında güç tüketimi değerleri, 188, 207 ve 251 m/dk kesme hızında güç tüketimi değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 188 m/dk kesme hızında güç tüketimi 508,15 W değeri ile en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 276 m/dk kesme hızında güç tüketimi 532,10 W en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerlerine bakıldığında 188 ve 207 m/dk kesme hızında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki güç tüketimi normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 276

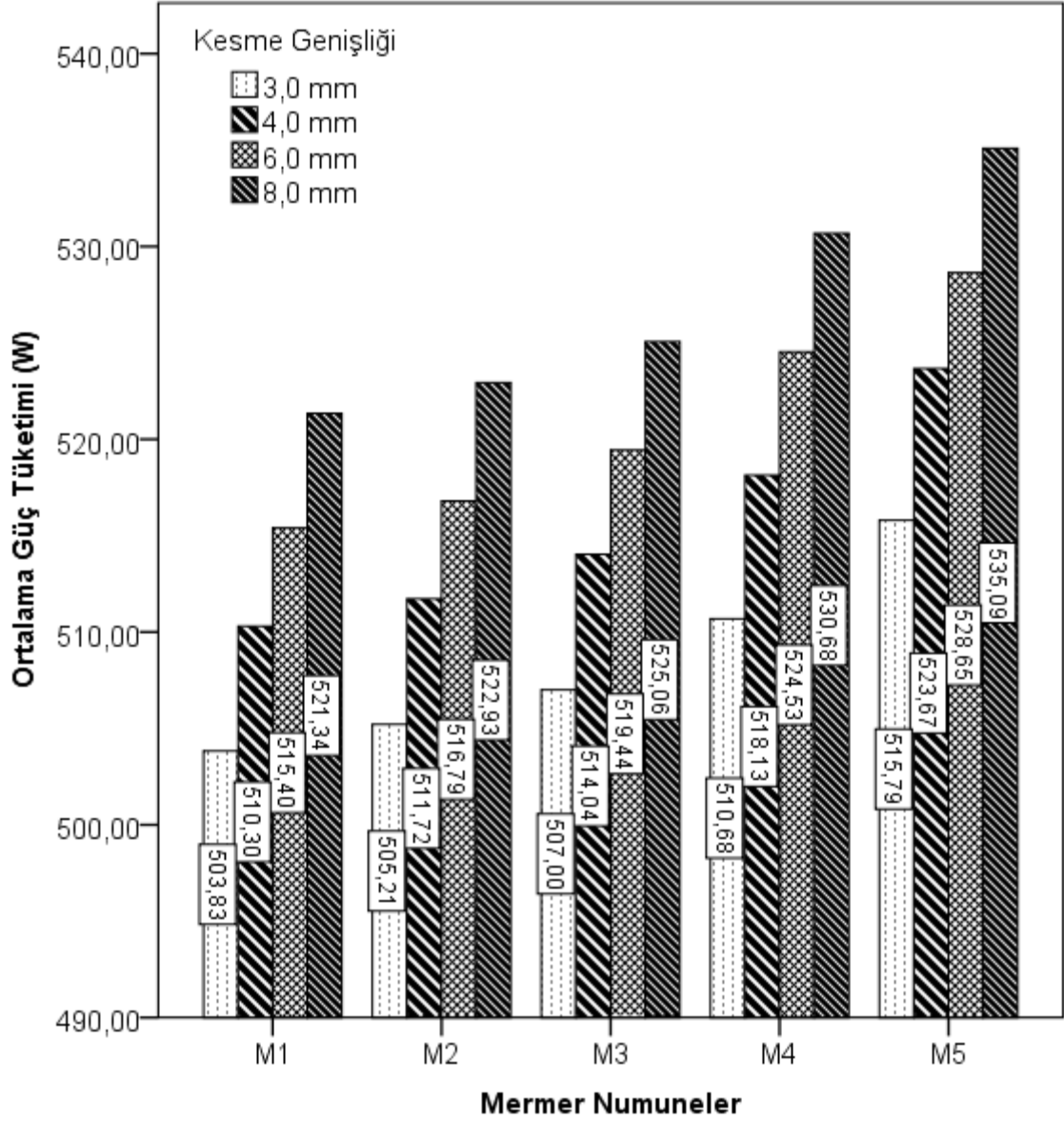
m/dk kesme hızında güç tüketimi değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Buna göre M1, M2 ve M3 mermer numuneleri daha az enerji tüketimi ile 188 ve 207 m/dk kesme hızı tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen güç tüketimi değerlerinin kesme genişliğine göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde kesme genişliği arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde kesme genişliği etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri 8,0 mm kesme genişliğinde daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12 Mermer numunelerinin güç tüketiminin kesme genişliğine göre istatistiksel analizi.

Kesme Genişliği (mm)	Veri Sayısı	Güç Tüketim Değerleri (W)			Anlamlılık Düzeyi	95% Güven Aralığı	
		Ortalama Güç (W)	Standart Sapma (W)	Standart Hata (W)		Alt Limit	Üst Limit
3,0	180	508,50	10,64	0,7928494	<0,001	506,94	510,07
4,0	180	515,57	8,83	0,6580715	<0,001	514,27	516,87
6,0	180	520,96	9,13	0,6803121	<0,001	519,62	522,30
8,0	180	527,02	9,88	0,7364144	<0,001	525,57	528,47

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliğine göre ölçülen güç tüketimi değerleri Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliğine göre güç tüketimi değerleri.

Mermer numunelerinde 8,0 mm kesme genişliğinde güç tüketimi değerleri, 3,0, 4,0 ve 6,0 mm kesme genişliğinde güç tüketimi değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 3,0 mm kesme genişliğinde güç tüketimi 503,83 W en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 8,0 mm kesme genişliğinde güç tüketimi 535,09 W en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerlerine bakıldığında 3,0 ve 4,0 mm kesme genişliğinde M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki güç tüketimi normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi

6,0 ve 8,0 mm kesme genişliğinde güç tüketimi değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Buna göre M1, M2 ve M3 mermer numuneleri daha az enerji tüketimi ile 3,0 ve 4,0 mm kesme genişliği tercih edilmesi öngörülmüştür.

4.3 Mermer Numunelerinde İşlenebilirlik Deneylerinde Spesifik Enerji Değerlerinin Analizi

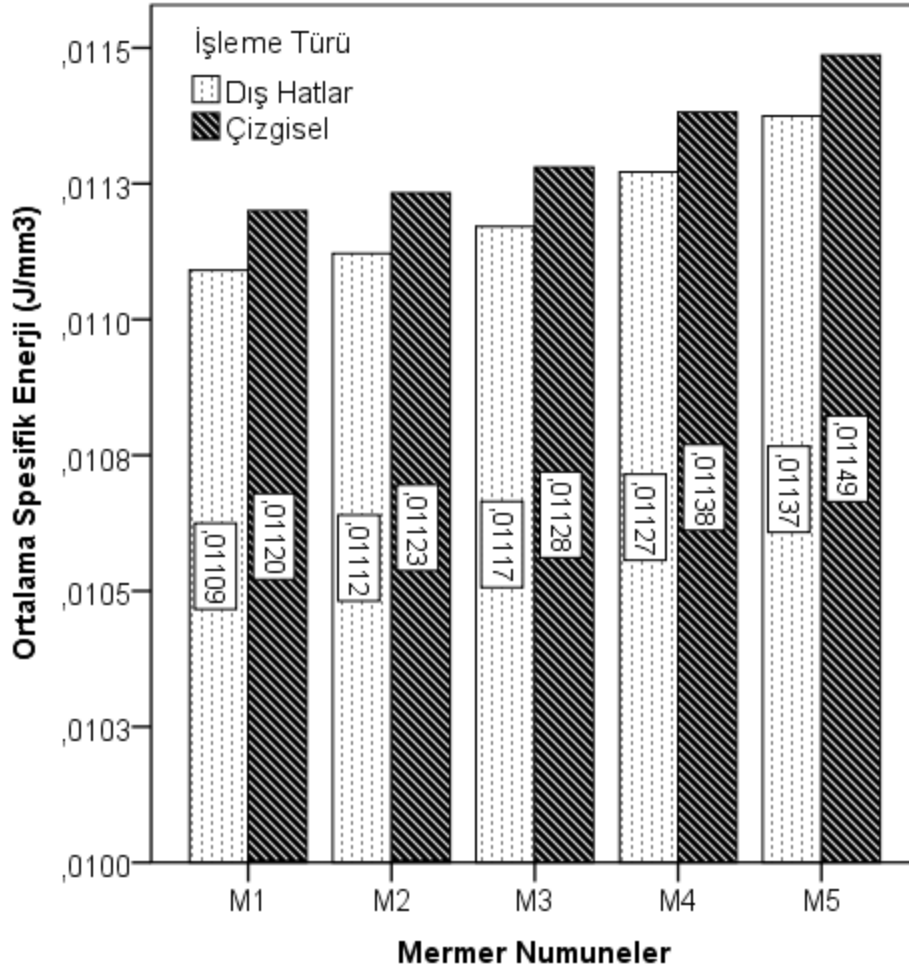
Çalışmada işlenebilirlik deneylerinde kullanılan mermer numunelerinin ortalama ve toplam spesifik enerji değerlerinin istatistiksel olarak analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde ortalama ve toplam spesifik enerji değerleri (5 mermer \times 2 işleme türü \times 2 kesici uç çapı \times 4 kesme hızı \times 3 kesme derinliği \times 3 ilerleme hızı) varyans (ANOVA) analizi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Toplamda ortalama olarak 1440 adet veri kullanılmıştır.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen ortalama ve toplam spesifik enerji değerlerinin işleme türü göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde ortalama ve toplam spesifik enerji değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde işleme türü arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde işleme türü etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde ortalama ve toplam spesifik enerji değerleri çizgisel işleme türünde daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13 Mermer numunelerinin spesifik enerji değerlerinin işleme türüne göre istatistiksel analizi.

Spesifik Enerji	İşleme Türü	Veri Sayısı	Spesifik Enerji (J/mm^3)				95% Güven Aralığı	
			Ortalama Spesifik Enerji (J/mm^3)	Standart Sapma (J/mm^3)	Standart Hata (J/mm^3)	Anlamlılık Düzeyi	Alt Limit	Üst Limit
Ortalama	Dış Hatlar	360	0,01121	0,00233	0,0001229	<0,001	0,01096	0,01145
	Çizgisel	360	0,01132	0,00235	0,0001237	<0,001	0,01107	0,01156
Toplam	Dış Hatlar	360	3,59	1,07	0,0565977	<0,001	3,48	3,70
	Çizgisel	360	3,81	1,06	0,0560181	<0,001	3,70	3,92

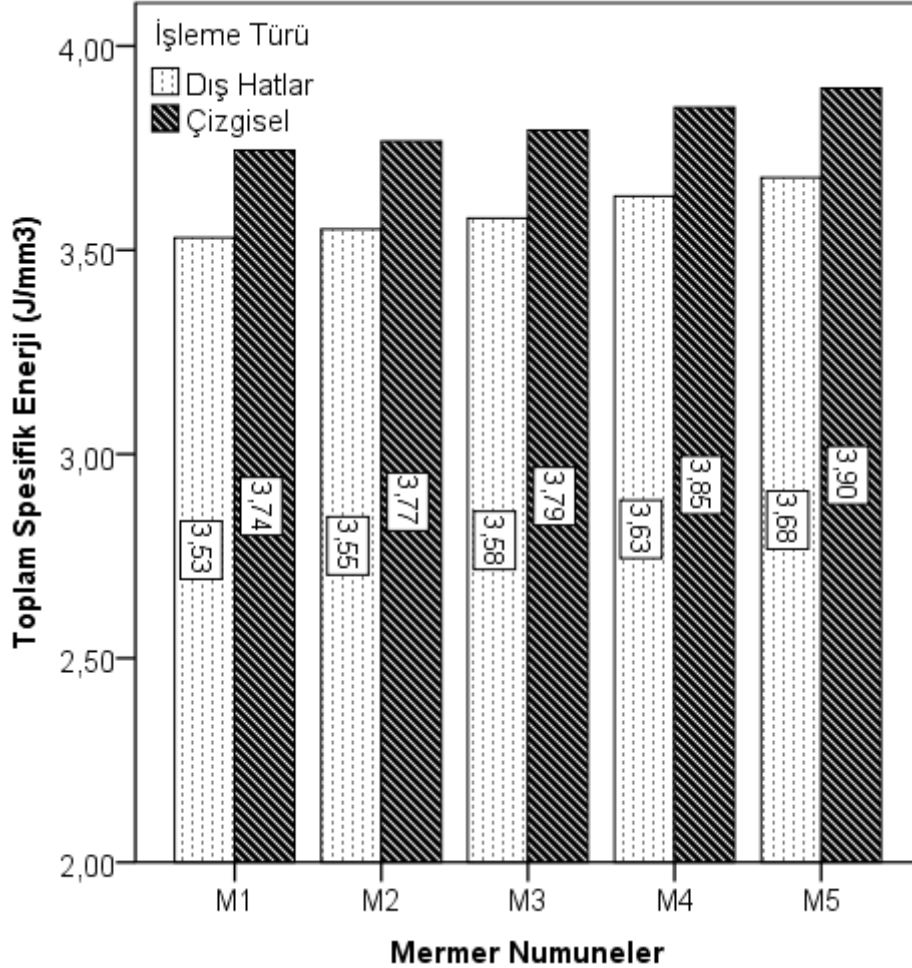
Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde işleme türüne göre ortalama spesifik enerji değerleri Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.13 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde işleme türüne göre ortalama spesifik enerji değerleri.

Mermer numunelerinde çizgisel işlemede ortalama spesifik enerji değerleri, dış hatlar işlemede ortalama spesifik enerji değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde dış hatlar işleme türünde ortalama spesifik enerji $0,01109 \text{ J/mm}^3$ en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde çizgisel işleme türünde ortalama spesifik enerji $0,01149 \text{ J/mm}^3$ ile en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde ortalama spesifik enerji değerlerine bakıldığında dış hatlar ve çizgisel işleme türünde M1, M2 ve M3 mermer türlerindeki ortalama spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi ortalama spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde ortalama spesifik enerji değerine göre dış hatlar işleme türü tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde işleme türüne göre toplam spesifik enerji değerleri Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde işleme türüne göre toplam spesifik enerji değerleri.

Mermer numunelerinde çizgisel işlemede toplam spesifik enerji değerleri, dış hatlar işlemede toplam spesifik enerji değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde dış hatlar işleme türünde toplam spesifik enerji $3,53 \text{ J/mm}^3$ en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde dış hatlar işleme türünde çizgisel işleme türünde toplam spesifik enerji $3,90 \text{ J/mm}^3$ en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde toplam spesifik enerji değerlerine bakıldığında dış hatlar ve çizgisel işleme türünde M1, M2 ve M3 mermer türlerindeki toplam spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi toplam spesifik enerji değerleri yüksek

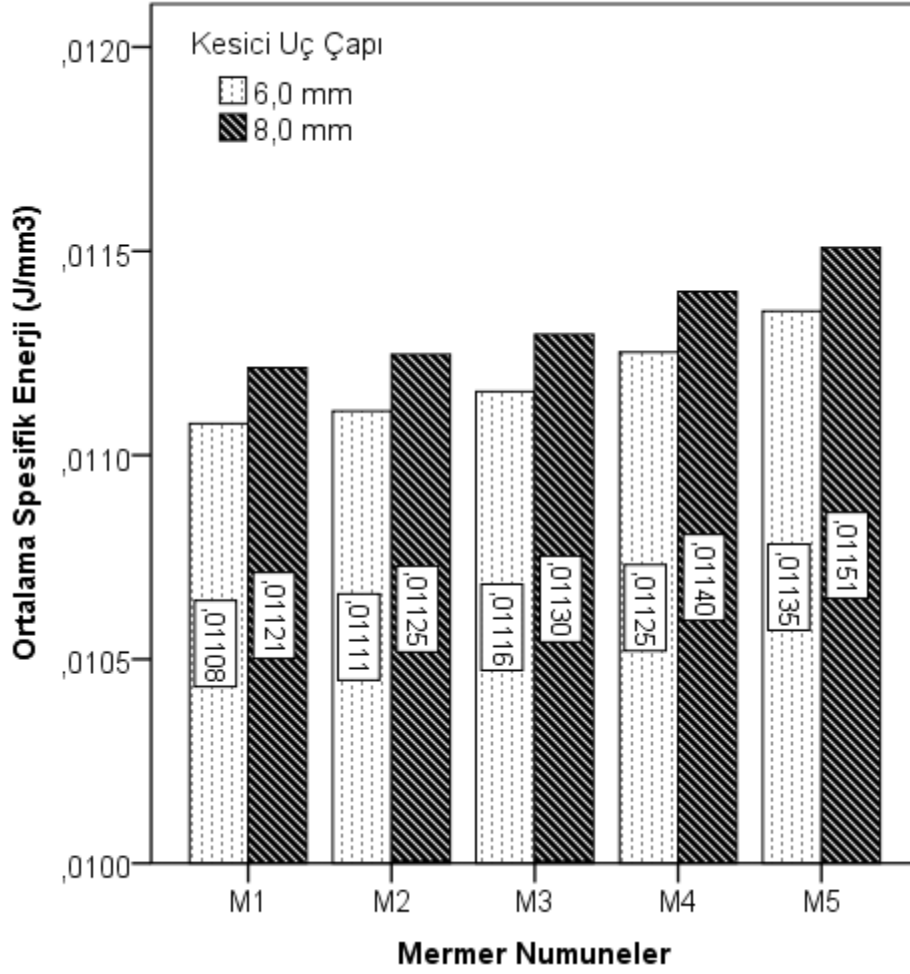
değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde toplam spesifik enerji değerine göre dış hatlar işleme türü tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen ortalama ve toplam spesifik enerji değerlerinin kesici uç çapına göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde ortalama ve toplam spesifik enerji değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde kesici uç çapı arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde kesici uç çapı etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde ortalama spesifik enerji değerleri 8,0 mm kesici uç çapında daha yüksek olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde toplam spesifik enerji değerleri 8,0 mm kesici uç çapında daha düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14 Mermer numunelerinin spesifik enerji değerlerinin kesici uç çapına göre istatistiksel analizi.

Spesifik Enerji	Kesici Uç Çapı (mm)	Veri Sayısı	Spesifik Enerji (J/mm^3)			Anlamlılık Düzeyi	95% Güven Aralığı	
			Ortalama Spesifik Enerji (J/mm^3)	Standart Sapma (J/mm^3)	Standart Hata (J/mm^3)		Alt Limit	Üst Limit
Ortalama	6,0	360	0,01119	0,00232	0,0001224	<0,001	0,01094	0,01143
	8,0	360	0,01133	0,00235	0,0001241	<0,001	0,01109	0,01158
Toplam	6,0	360	3,96	1,11	0,0585070	<0,001	3,85	4,08
	8,0	360	3,44	0,97	0,0510550	<0,001	3,34	3,54

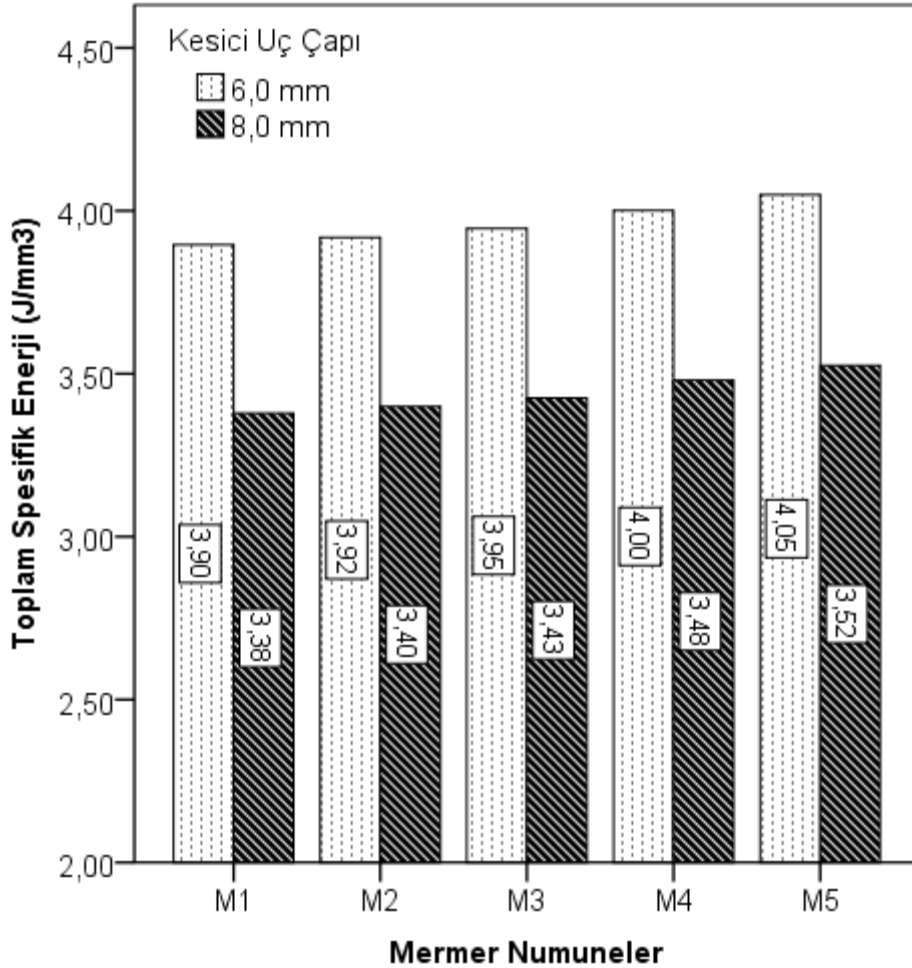
Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesici uç çapına göre toplam ortalama spesifik enerji değerleri Şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.15 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesici uç çapına göre ortalama spesifik enerji değerleri.

Mermer numunelerinde 8,0 mm kesici uç çapında ortalama spesifik enerji değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 6,0 mm kesici uç çapında ortalama spesifik enerji $0,01108 \text{ J/mm}^3$ en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 8,0 mm kesici uç çapında ortalama spesifik enerji $0,01151 \text{ J/mm}^3$ en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde ortalama spesifik enerji değerlerine bakıldığında 6,0 mm kesici uç çapında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki ortalama spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 8,0 mm kesici uç çapında ortalama spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde ortalama spesifik enerji değerine göre 6,0 ve 8,0 mm kesici uç çapı tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesici uç çapına göre toplam spesifik enerji değerleri Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesici uç çapına göre toplam spesifik enerji değerleri.

Mermer numunelerinde 6,0 mm kesici uç çapında toplam spesifik enerji değerleri 8,0 mm kesici uç çapında toplam spesifik enerji değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 8,0 mm kesici uç çapında toplam spesifik enerji 3,38 J/mm³ en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde, 6,0 mm kesici uç çapında toplam spesifik enerji 4,05 J/mm³ en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde toplam spesifik enerji değerlerine bakıldığında 8,0 mm kesici uç çapında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki toplam spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 6,0 mm kesici uç çapında toplam spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer

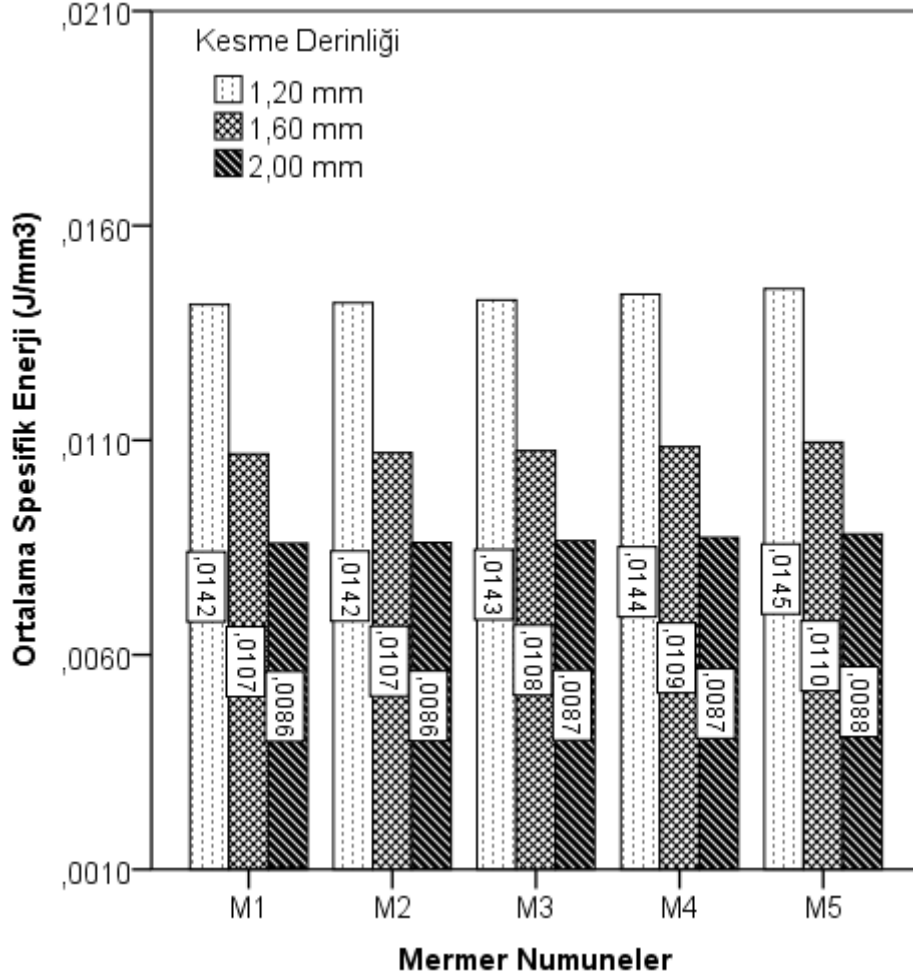
numunesinde toplam spesifik enerji değerine göre 6,0 ve 8,0 mm kesici uç çapı tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen ortalama ve toplam spesifik enerji değerlerinin kesme derinliğine göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde ortalama ve toplam spesifik enerji değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde kesme derinliği arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde kesme derinliği etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde ortalama ve toplam spesifik enerji değerleri 1,2 mm kesme derinliğinde daha yüksek olduğu görülmektedir. (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15 Mermer numunelerinin spesifik enerji değerlerinin kesme derinliğine göre istatistiksel analizi.

<i>Spesifik Enerji</i>	<i>Kesme Derinliği (mm)</i>	<i>Veri Sayısı</i>	<i>Spesifik Enerji (J/mm³)</i>			<i>Anlamlılık Düzeyi</i>	<i>95% Güven Aralığı</i>	
			<i>Ortalama Spesifik Enerji (J/mm³)</i>	<i>Standart Sapma (J/mm³)</i>	<i>Standart Hata (J/mm³)</i>		<i>Alt Limit</i>	<i>Üst Limit</i>
Ortalama	1,20	240	0,01431	0,00032	0,0000209	<0,001	0,01427	0,014353
	1,60	240	0,01078	0,00024	0,0000158	<0,001	0,01075	0,010820
	2,00	240	0,00868	0,00019	0,0000122	<0,001	0,00866	0,00870
Toplam	1,20	240	4,69	0,95	0,0612902	<0,001	4,57	4,81
	1,60	240	3,55	0,72	0,0462594	<0,001	3,46	3,64
	2,00	240	2,86	0,58	0,0374652	<0,001	2,79	2,94

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme derinliğine göre ortalama spesifik enerji değerleri Şekil 4.17’de verilmiştir.

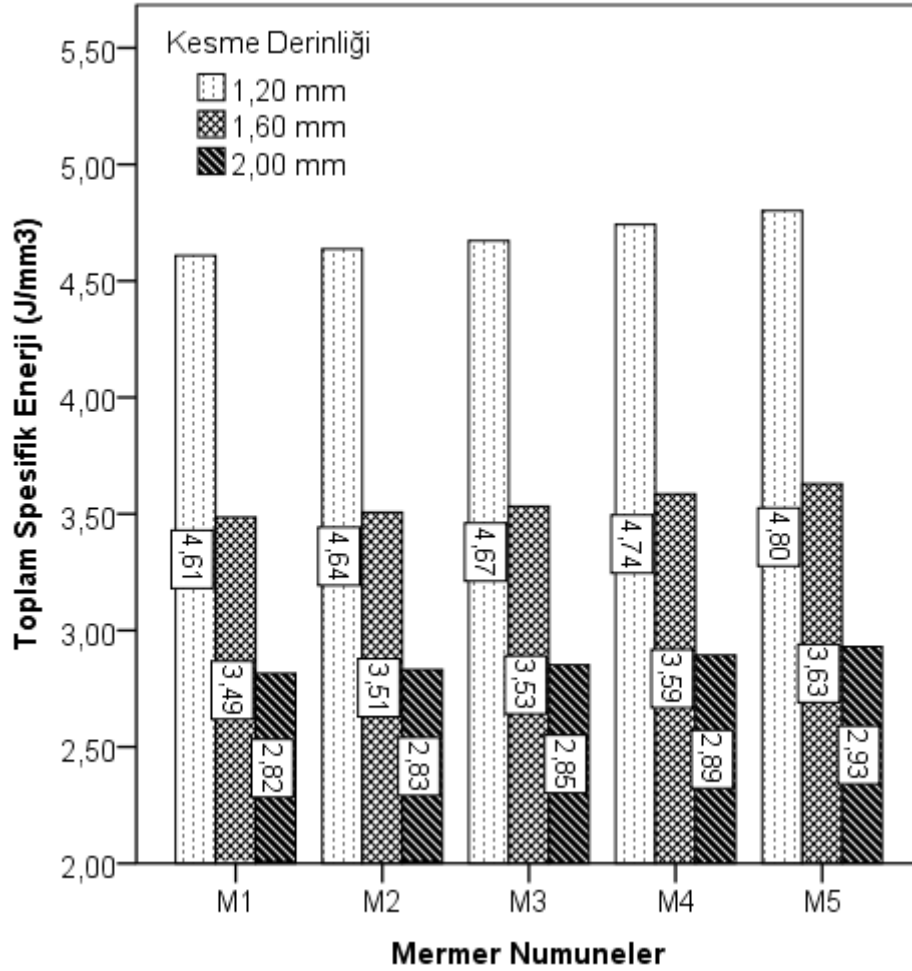


Şekil 4.17 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme derinliğine göre ortalama spesifik enerji değerleri.

Mermer numunelerinde 1,2 mm kesme derinliğinde ortalama spesifik enerji değerleri, 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde ortalama spesifik enerji değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 2,0 mm kesme derinliğinde ortalama spesifik enerji $0,0086 \text{ J/mm}^3$ en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde, 1,2 mm kesme derinliğinde ortalama spesifik enerji $0,0145 \text{ J/mm}^3$ en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde ortalama spesifik enerji değerlerine bakıldığında 1,2 mm, 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde M1, M2 ve M3 mermer numunelerinde ortalama spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 1,2 mm, 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde ortalama spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde

ortalama spesifik enerji değerine göre 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme derinliğine göre toplam spesifik enerji değerleri Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme derinliğine göre toplam spesifik enerji değerleri.

Mermer numunelerinde 1,2 mm kesme derinliğinde toplam spesifik enerji değerleri, 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde toplam spesifik enerji değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 2,0 mm kesme derinliğinde toplam spesifik enerji $2,82 \text{ J/mm}^3$ en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 1,2 mm kesme derinliğinde toplam spesifik enerji $4,80 \text{ J/mm}^3$ değeri ile en yüksek değeri

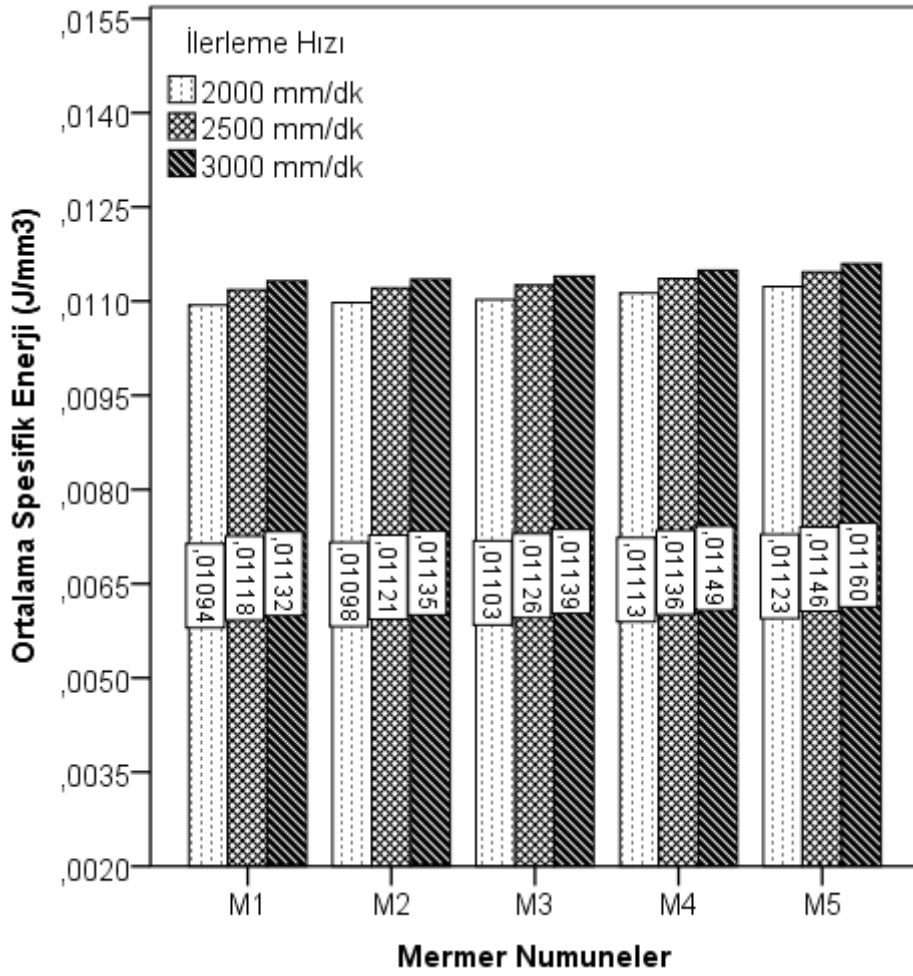
almıştır. Mermer numunelerinde toplam spesifik enerji değerlerine bakıldığında 2,0 mm kesme derinliğinde M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki toplam spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 1,2 mm kesme derinliğinde toplam spesifik enerji değerleri en yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde toplam spesifik enerji değerine göre 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen ortalama ve toplam spesifik enerji değerlerinin ilerleme hızına göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde ortalama ve toplam spesifik enerji değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde ilerleme hızına arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde ilerleme hızı etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde ortalama spesifik enerji değerleri 3000 mm/dk ilerleme hızında daha yüksek olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde toplam spesifik enerji değerleri 3000 mm/dk ilerleme hızında daha düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16 Mermer numunelerinin spesifik enerji değerlerinin ilerleme hızına göre istatistiksel analizi.

	İlerleme Hızı (mm/dk)	Veri Sayısı	Spesifik Enerji (J/mm^3)			95% Güven Aralığı		
			Ortalama Spesifik Enerji (J/mm^3)	Standart Sapma (J/mm^3)	Standart Hata (J/mm^3)	Anlamlılık Düzeyi	Alt Limit	Üst Limit
Ortalama	2000	240	0,01106	0,00229	0,0001481	<0,001	0,01077	0,01135
	2500	240	0,01129	0,00235	0,0001514	<0,001	0,01099	0,01159
	3000	240	0,01143	0,00237	0,0001529	<0,001	0,01113	0,01173
Toplam	2000	240	4,16	1,15	0,0744654	<0,001	4,02	4,31
	2500	240	3,65	0,99	0,0642455	<0,001	3,52	3,77
	3000	240	3,29	0,87	0,0562291	<0,001	3,18	3,40

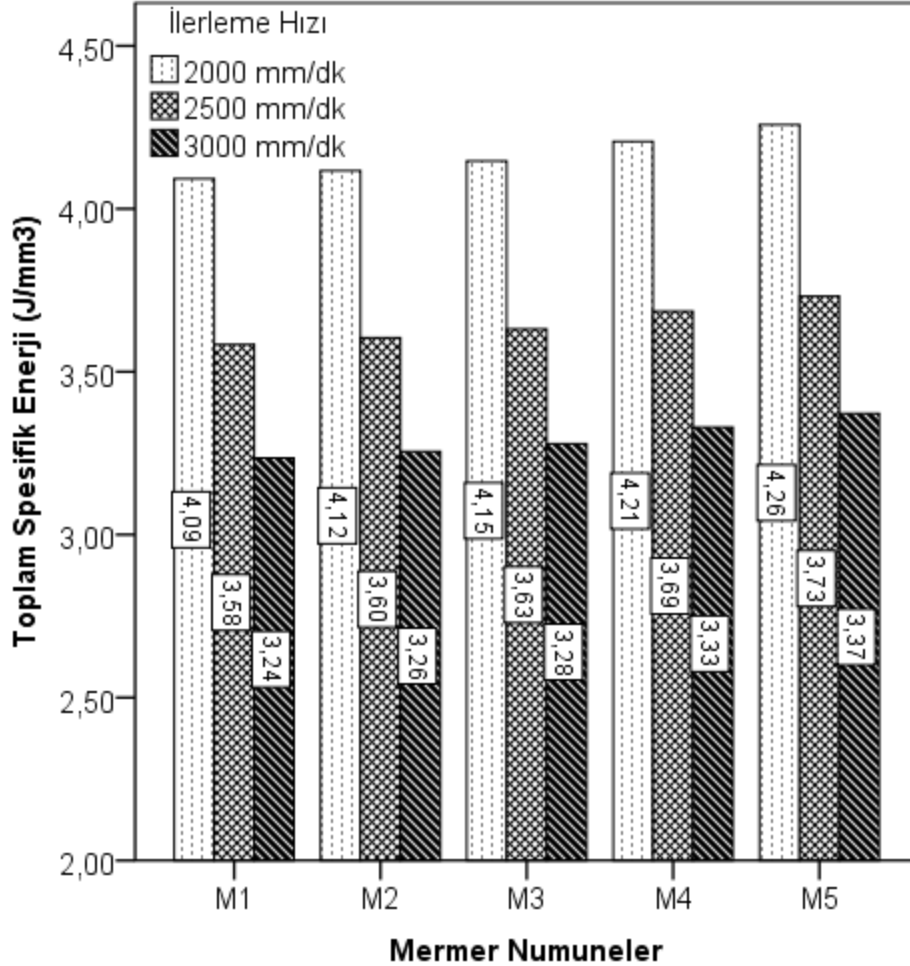
Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde ilerleme hızına göre ortalama spesifik enerji değerleri Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde ilerleme hızına göre ortalama spesifik enerji değerleri.

Mermer numunelerinde 3000 mm/dk ilerleme hızında ortalama spesifik enerji değerleri, 2000 ve 2500 mm/dk ilerleme hızında ortalama spesifik enerji değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 2000 mm/dk ilerleme hızında ortalama spesifik enerji 0,01094 J/mm³ en düşük değeri alırken, M5 mermer 3000 mm/dk ilerleme hızında ortalama spesifik enerji 0,01160 J/mm³ değeri ile en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde ortalama spesifik enerji değerlerine bakıldığında 2000 mm/dk ilerleme hızında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki ortalama spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 3000 mm/dk ilerleme hızında ortalama spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde ortalama spesifik enerji değerine 2500 mm/dk ilerleme hızı tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde ilerleme hızına göre toplam spesifik enerji değerleri Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde ilerleme hızına göre toplam spesifik enerji değerleri.

Mermer numunelerinde 2000 mm/dk ilerleme hızında toplam spesifik enerji değerleri, 2500 ve 3000 mm/dk ilerleme hızında toplam spesifik enerji değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 3000 mm/dk ilerleme hızında toplam spesifik enerji $3,24 \text{ J/mm}^3$ en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 2000 mm/dk ilerleme hızında toplam spesifik enerji $4,26 \text{ J/mm}^3$ değeri ile en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde toplam spesifik enerji değerlerine bakıldığında 3000 mm/dk ilerleme hızında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki toplam spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 2000 mm/dk ilerleme

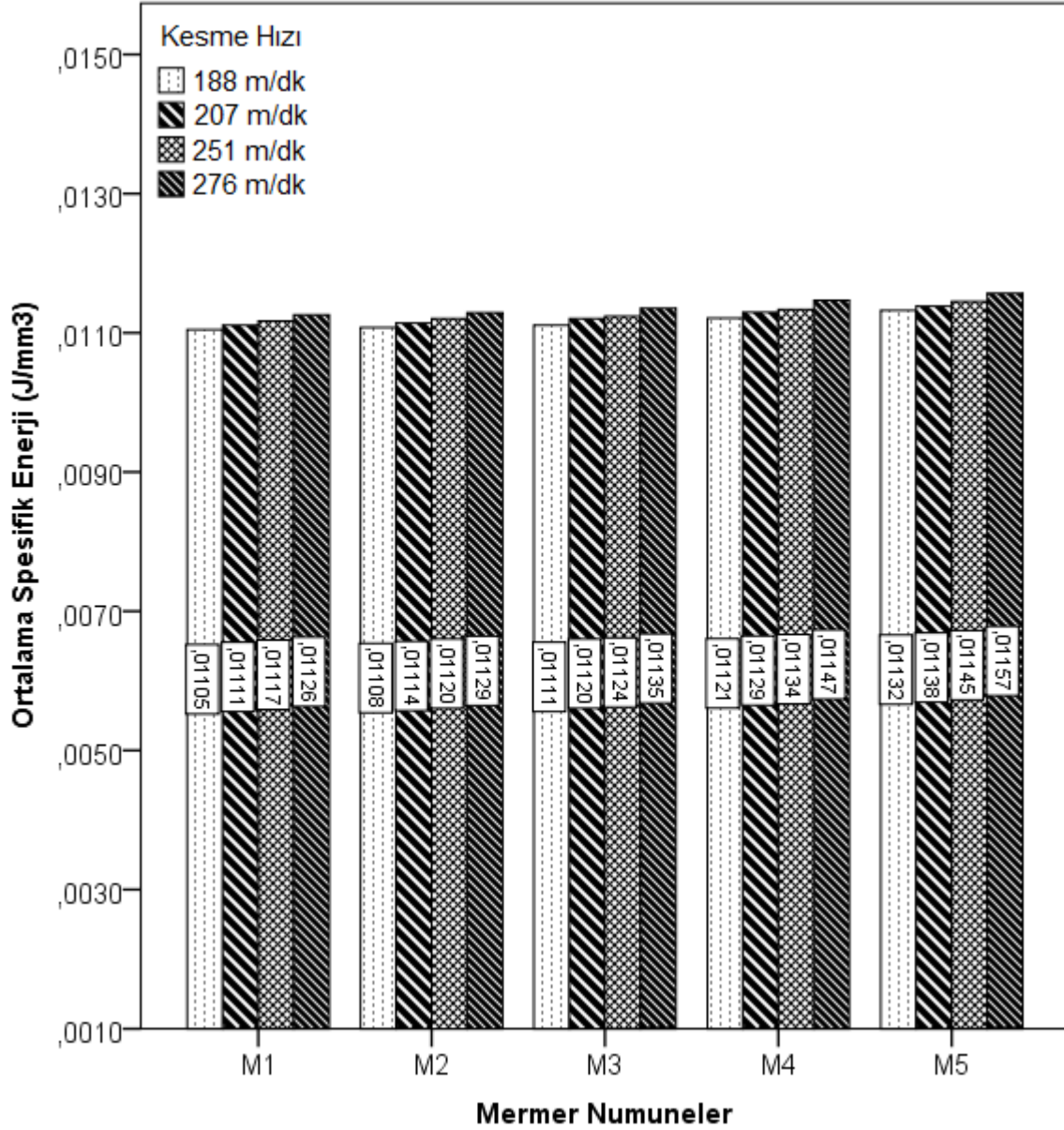
hızında toplam spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde toplam spesifik enerji değerine göre 2500 mm/dk ilerleme hızı tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen ortalama ve toplam spesifik enerji değerlerinin kesme hızına göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde ortalama ve toplam spesifik enerji değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde kesme hızı arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde kesme hızı etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde ortalama spesifik enerji değerleri 276 m/dk kesme hızında daha yüksek olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde toplam spesifik enerji değerleri 251 m/dk hızında daha düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17 Mermer numunelerinin spesifik enerji değerlerinin kesme hızına göre istatistiksel analizi.

Spesifik Enerji	Kesme Hızı (m/dk)	Veri Sayısı	Spesifik Enerji (J/mm^3)			Anlamlılık Düzeyi	95% Güven Aralığı	
			Ortalama Spesifik Enerji (J/mm^3)	Standart Sapma (J/mm^3)	Standart Hata (J/mm^3)		Alt Limit	Üst Limit
Ortalama	188	180	0,01113	0,00232	0,0001727	<0,001	0,01081	0,01149
	207	180	0,01123	0,00233	0,0001740	<0,001	0,01088	0,01157
	251	180	0,01128	0,00234	0,0001747	<0,001	0,01093	0,01162
	276	180	0,01139	0,00237	0,0001767	<0,001	0,01103	0,01174
Toplam	188	180	3,96	1,11	0,0829452	<0,001	3,79	4,12
	207	180	3,97	1,11	0,0827657	<0,001	3,80	4,13
	251	180	3,43	0,97	0,0720870	<0,001	3,29	3,57
	276	180	3,45	0,97	0,0725108	<0,001	3,31	3,59

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme hızına göre ortalama spesifik enerji değerleri Şekil 4.21'de verilmiştir.

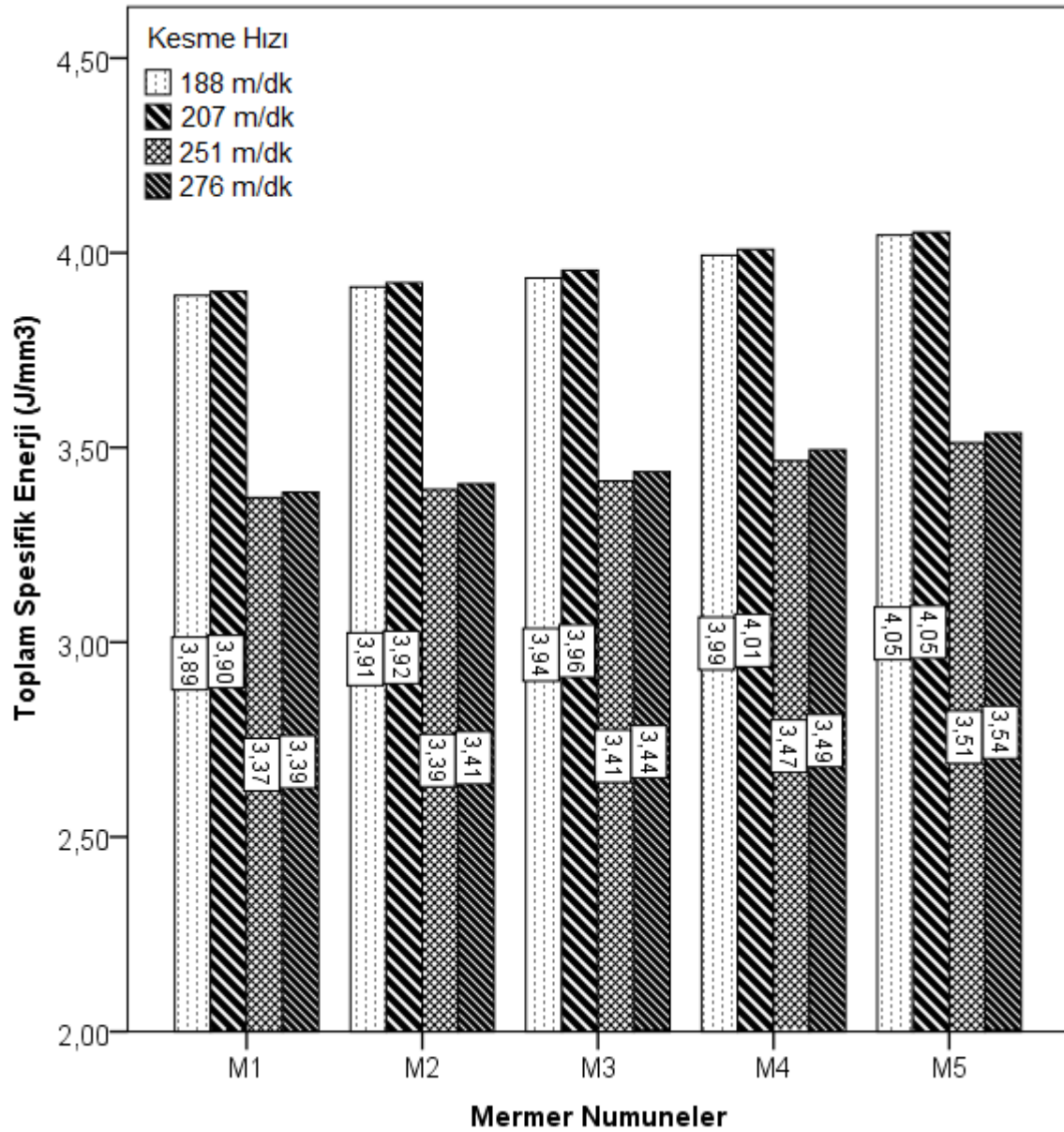


Şekil 4.21 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme hızına göre ortalama spesifik enerji değerleri.

Mermer numunelerinde 276 m/dk kesme hızında ortalama spesifik enerji değerleri, 188, 207 ve 251 m/dk kesme hızında ortalama spesifik enerji değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 188 m/dk kesme hızında ortalama spesifik enerji $0,01105 \text{ J/mm}^3$ en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 276 m/dk kesme hızında ortalama spesifik enerji $0,01157 \text{ J/mm}^3$ değeri ile en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde ortalama spesifik enerji değerlerine bakıldığında 188 ve 207 m/dk kesme hızında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki ortalama

spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 276 m/dk kesme hızında spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde ortalama spesifik enerji değerine göre 188 mm/dk, 207 mm/dk ve 251 mm/dk kesme hızı tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme hızına göre toplam spesifik enerji değerleri Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme hızına göre toplam spesifik enerji değerleri.

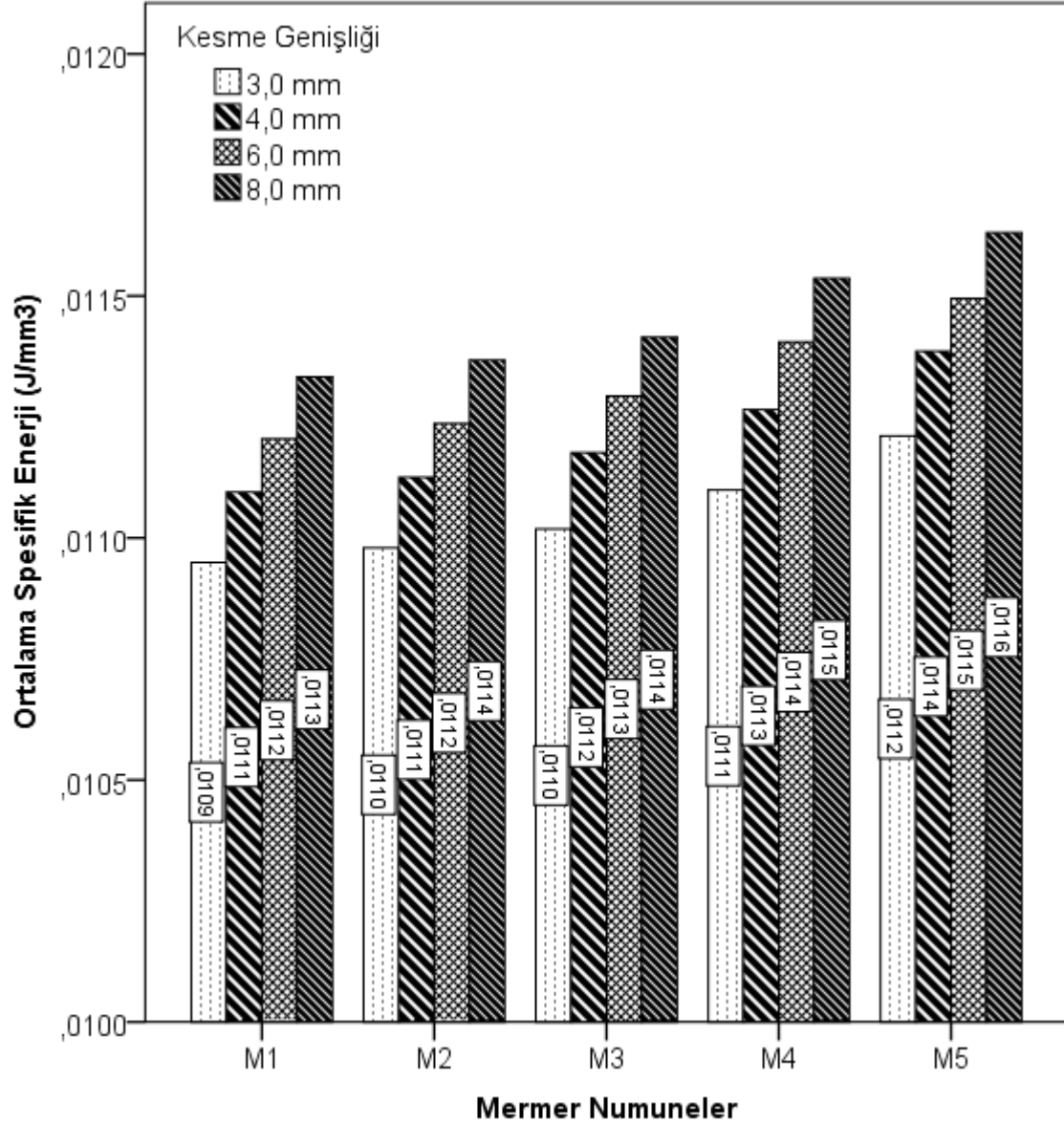
Mermer numunelerinde 207 m/dk kesme hızında toplam spesifik enerji değerleri, 188, 207 ve 251 m/dk kesme hızında ortalama spesifik enerji değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 251 m/dk kesme hızında toplam spesifik enerji $3,37 \text{ J/mm}^3$ en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 188 ve 207 m/dk kesme hızında toplam spesifik enerji $4,05 \text{ J/mm}^3$ değeri ile en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde toplam spesifik enerji değerlerine bakıldığında 251 ve 276 m/dk kesme hızında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki ortalama spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 276 m/dk kesme hızında toplam spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde toplam spesifik enerji değerine göre. 251 mm/dk kesme hızı tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen ortalama ve toplam spesifik enerji değerlerinin kesme genişliğine göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde ortalama ve toplam spesifik enerji değerleri bakımından $p < 0,001$ anlamlılık düzeyinde kesme genişliği arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde kesme genişliği etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde ortalama spesifik enerji değerleri 8,0 mm kesme genişliğinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde toplam spesifik enerji değerleri 8,0 mm kesme genişliğinde daha düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18 Mermer numunelerinin spesifik enerji değerlerinin kesme genişliğine göre istatistiksel analizi.

Spesifik Enerji	Kesme Genişliği (mm)	Veri Sayısı	Spesifik Enerji (J/mm^3)			Anlamlılık Düzeyi	95% Güven Aralığı	
			Ortalama Spesifik Enerji (J/mm^3)	Standart Sapma (J/mm^3)	Standart Hata (J/mm^3)		Alt Limit	Üst Limit
Ortalama	3,0	180	0,01105	0,00228	0,0001702	<0,001	0,01072	0,01139
	4,0	180	0,01121	0,00233	0,0001739	<0,001	0,01087	0,01155
	6,0	180	0,01133	0,00236	0,0001758	<0,001	0,01098	0,01167
	8,0	180	0,01146	0,00238	0,0001771	<0,001	0,01111	0,01181
Toplam	3,0	180	4,58	1,05	0,0784247	<0,001	4,43	4,74
	4,0	180	3,98	0,92	0,0689209	<0,001	3,84	4,11
	6,0	180	3,34	0,77	0,0572879	<0,001	3,23	3,45
	8,0	180	2,90	0,67	0,0498084	<0,001	2,81	3,00

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliğine göre ortalama spesifik enerji değerleri Şekil 4.23'de verilmiştir.

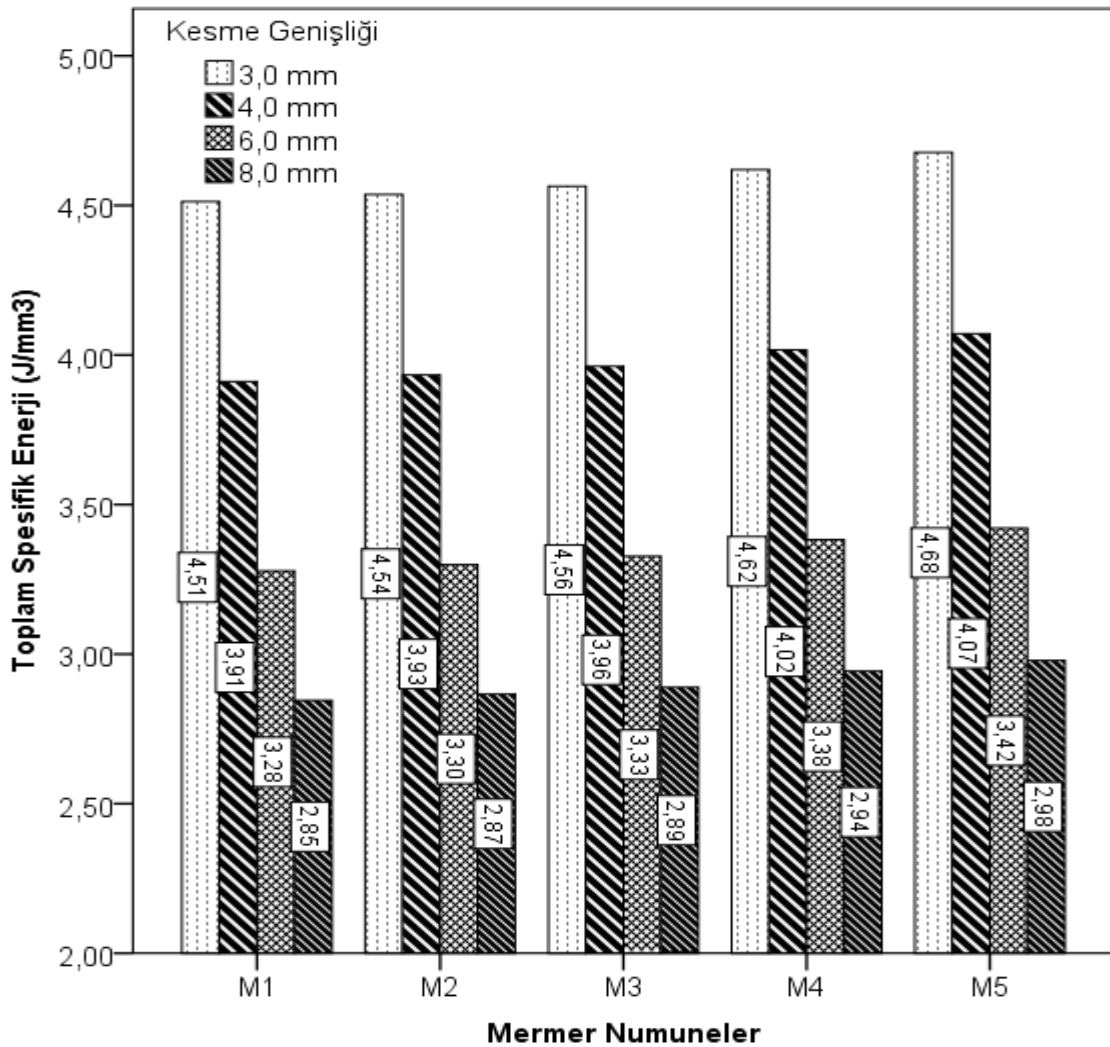


Şekil 4.23 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliği göre ortalama spesifik enerji değerleri.

Mermer numunelerinde 8,0 mm kesme genişliğinde ortalama spesifik enerji değerleri, 3,0, 4,0 ve 6,0 mm kesme genişliğinde ortalama spesifik enerji değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 3,0 mm kesme genişliğinde ortalama spesifik enerji 0,0109 J/mm³ en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 8,0 mm

kesme genişliğinde ortalama spesifik enerji $0,0116 \text{ J/mm}^3$ ile en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde ortalama spesifik enerji değerlerine bakıldığında 3,0 ve 4,0 mm kesme genişliğinde M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki ortalama spesifik enerji düşük değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 6,0 ve 8,0 mm kesme genişliğinde ortalama spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde ortalama spesifik enerji değerine göre. 4,0 ve 6,0 mm kesme genişliği tercih edilmesi öngörülmüştür.

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliğine göre toplam spesifik enerji değerleri Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.24 Mermer numunelerinde işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliğine göre toplam spesifik enerji değerleri.

Mermer numunelerinde 3,0 mm kesme genişliğinde toplam spesifik enerji değerleri, 4,0, 6,0 ve 8,0 mm kesme genişliğinde toplam spesifik enerji değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 8,0 mm kesme genişliğinde toplam spesifik enerji $2,85 \text{ J/mm}^3$ en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 3,0 mm kesme genişliğinde $4,68 \text{ J/mm}^3$ değeri ile en yüksek değeri almıştır. Mermer numunelerinde toplam spesifik enerji değerlerine bakıldığında 6,0 ve 8,0 mm kesme genişliğinde M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki toplam spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 3,0 ve 4,0 mm kesme genişliğinde toplam spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde toplam spesifik enerji değerine göre. 4,0 ve 6,0 mm kesme genişliği tercih edilmesi öngörülmüştür.

4.4 Mermer Numunelerinin İşlenebilirlik ve Enerji Tüketimine Göre Sınıflandırılması

Çalışmada işlenebilirlik deneylerinde kullanılan mermer numunelerinin Fz kuvveti ve güç tüketimi değerleri ile varyans (ANOVA) analizi yapılarak, % 95 güven aralığında alt ve üst limit değerleri dikkate alınarak, işlenebilirlik derecesi ve enerji tüketimi sınıflandırılması yapılmıştır. Mermer numunelerinin işlenebilirlik derecesi ve enerji tüketimi sınıflandırması Çizelge 4.19’de verilmiştir.

Çizelge 4.19 Mermer numunelerinin işlenebilirlik ve enerji tüketimine göre sınıflandırması.

<i>F_z Kesme Kuvveti (N)</i>	<i>İşlenebilirlik Derecesi</i>	<i>Güç Tüketimi (W)</i>	<i>Enerji Tüketimi</i>
< 20	Çok Kolay(ÇK)	< 510	Çok Düşük(ÇD)
20-60	Kolay (K)	510-520	Düşük (D)
60-90	Zor (Z)	520-530	Orta(O)
> 90	Çok Zor (ÇZ)	> 530	Yüksek (Y)

İşlenebilirlik derecesi ve enerji tüketimi sınıflandırması dikkate alınarak, işlem türü ve kesici uç çapına göre mermer numunelerinin hangi sınıflama içinde yer aldığı Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20 Mermer numunelerinin işleme türü ve kesici uç çapında işlenebilirlik ve enerji tüketimine göre sınıflandırması.

Mermer Numuneleri	İşleme Türü	Kesici Uç Çapı (mm)	F _z Kesme Kuvveti (N)	Sınıf	Güç Tüketimi (W)	Sınıf
M1	Dış Hatlar	6,0	17,35	ÇK	507,04	ÇD
		8,0	40,51	K	513,31	D
M2	Dış Hatlar	6,0	26,42	K	512,19	D
		8,0	51,10	K	518,33	D
		6,0	32,68	K	508,41	ÇD
		8,0	56,49	K	514,73	D
M3	Dış Hatlar	6,0	35,99	K	513,60	D
		8,0	58,57	K	519,92	D
		6,0	23,56	K	510,70	D
		8,0	60,81	Z	517,00	D
M4	Dış Hatlar	6,0	28,24	K	515,74	D
		8,0	61,18	Z	522,10	O
		6,0	49,11	K	515,10	D
		8,0	90,09	ÇZ	521,81	O
M5	Dış Hatlar	6,0	55,73	K	520,12	O
		8,0	97,58	ÇZ	527,00	O
		6,0	63,88	Z	519,78	D
		8,0	96,21	ÇZ	526,59	O
M5	Çizgisel	6,0	67,39	Z	524,66	O
		8,0	97,85	ÇZ	532,17	Y
		8,0	97,85	ÇZ	532,17	Y

M1 mermer numunesinde dış hatlar işleme türü ve 6,0 mm kesici uç çapında Fz kuvveti 20 N'dan düşük olduğu için işlenebilirliği çok kolay seviyededir. M1 ve M2 numuneleri dış hatlar işleme türü ve 6,0 mm kesici uç çapında güç tüketimi değeri 510 W değerinden düşük olduğu için enerji tüketimi çok düşük seviyededir. M4 ve M5 numunelerin işleme türlerinde ve 8,0 mm kesici uç çapında Fz kuvveti 90 N'dan büyük olduğu için işlenebilirliği çok zor seviyededir. M4 ve M5 numunelerinde işleme türlerinde ve 8,0 mm kesici uç çapında güç tüketimi 520-530 W değerleri aralığında olduğu için enerji tüketimi orta seviyededir. Sadece M5 numunesinde çizgisel işleme türü ve 8,0 mm kesici uç çapında güç tüketimi 530 W değerinden büyük olduğu için enerji tüketimi yüksek seviyededir. Bütün bu sonuçlar değerlendirildiğinde, işlenebilirlik ve enerji tüketimine sınıflandırmasına göre; 8,0 mm kesici uç çapında ve işleme türünde M4 ve M5 numuneler hariç diğer numunelerin, işlenebilirlik derecesi kolay ve enerji tüketimi düşük veya orta seviyede olduğu için işlenebilirliği öngörülmektedir. İşlenebilirlik derecesi ve enerji tüketimi sınıflandırması dikkate alınarak, kesme derinliği ve ilerleme hızına göre mermer numunelerinin hangi sınıflama içinde yer aldığı Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21 Mermer numunelerinin kesme derinliği ve ilerleme hızında işlenebilirlik ve enerji tüketimine göre sınıflandırması.

Mermer Numuneleri	Kesme Derinliği (mm)	İlerleme Hızı (mm/dk)	F_z Kesme Kuvveti (N)	Sınıf	Güç Tüketimi (W)	Sınıf
M1	1,20	2000	24,44	K	500,33	ÇD
		2500	28,67	K	511,61	D
		3000	31,97	K	517,62	D
	1,60	2000	29,29	K	502,77	ÇD
		2500	33,17	K	513,83	D
		3000	37,56	K	520,98	O
	2,00	2000	35,11	K	506,63	ÇD
		2500	39,28	K	517,37	D
		3000	45,12	K	523,33	O
M2	1,20	2000	37,53	K	502,12	ÇD
		2500	42,30	K	512,79	D
		3000	45,23	K	519,08	D
	1,60	2000	42,34	K	504,67	ÇD
		2500	45,93	K	515,40	D
		3000	49,13	K	522,12	O
	2,00	2000	45,93	K	508,09	ÇD
		2500	51,32	K	518,43	D
		3000	53,65	K	524,77	O
M3	1,20	2000	33,86	K	504,49	ÇD
		2500	38,48	K	515,11	D
		3000	42,98	K	521,33	O
	1,60	2000	39,11	K	506,86	ÇD
		2500	43,14	K	517,58	D
		3000	47,11	K	524,23	O
	2,00	2000	43,06	K	509,32	ÇD
		2500	49,02	K	520,82	O
		3000	54,25	K	526,71	O
M4	1,20	2000	62,80	Z	509,28	ÇD
		2500	68,86	Z	520,02	O
		3000	73,14	Z	525,81	O
	1,60	2000	68,28	Z	511,63	D
		2500	73,88	Z	522,15	O
		3000	79,07	Z	528,73	O
	2,00	2000	71,32	Z	514,93	D
		2500	78,60	Z	525,37	O
		3000	82,19	Z	531,34	Y
M5	1,20	2000	62,28	Z	514,06	D
		2500	67,39	Z	524,78	O
		3000	72,37	Z	530,23	Y
	1,60	2000	79,03	Z	516,36	D
		2500	83,17	Z	526,86	O
		3000	88,75	Z	533,74	Y
	2,00	2000	89,05	Z	519,67	D
		2500	92,75	ÇZ	530,08	Y
		3000	97,24	ÇZ	536,43	Y

M1 mermer numunesinde kesme derinliği ve ilerleme hızlarında F_z kuvveti 20 N'dan büyük olduğu için işlenebilirliği kolay seviyededir. M1 ve M2 numuneleri 1,2 -1,6 mm kesme derinliği ve 2000 mm/dk ilerleme hızında güç tüketimi değeri 510 W

değerinden düşük olduğu için enerji tüketimi çok düşük seviyededir. M4 ve M5 numunelerin ilerleme hızlarında ve işleme derinliklerinde Fz kuvveti 60-90 N değerleri aralığında olduğu için işlenebilirliği zor seviyededir. Sadece M5 numunesinde 2,00 kesme derinliği ve 2500-3000 m/dk ilerleme hızlarında Fz kuvveti 90 N'dan büyük olduğu olduğu için işlenebilirliği çok zor seviyededir. Ayrıca M4 ve M5 numunelerin 1,2-1,6 mm işleme derinliklerinde ve 2500 mm/dk ilerleme hızında güç tüketimi değeri 520-530 W değeri seviyesinde olduğu için enerji tüketimi orta seviyededir. M5 numunesi işleme derinliklerinde ve 3000 mm/dk ilerleme hızında güç tüketimi değeri 530 W değerinden büyük olduğu için enerji tüketimi yüksek seviyededir. Bütün bu sonuçlar değerlendirildiğinde, işlenebilirlik ve enerji tüketimine sınıflandırmasına göre; ilerleme hızlarında ve işleme derinliklerinde M4 ve M5 numuneler hariç diğer numunelerin, işlenebilirlik derecesi kolay ve enerji tüketimi düşük veya orta seviyede olduğu için işlenebilirliği öngörülmektedir.

İşlenebilirlik derecesi ve enerji tüketimi sınıflandırması dikkate alınarak, kesme hızı ve kesme genişliğine göre mermer numunelerinin hangi sınıflama içinde yer aldığı Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.22 Mermer numunelerinin kesme hızı ve kesme genişliğinde işlenebilirlik ve enerji tüketimine göre sınıflandırması.

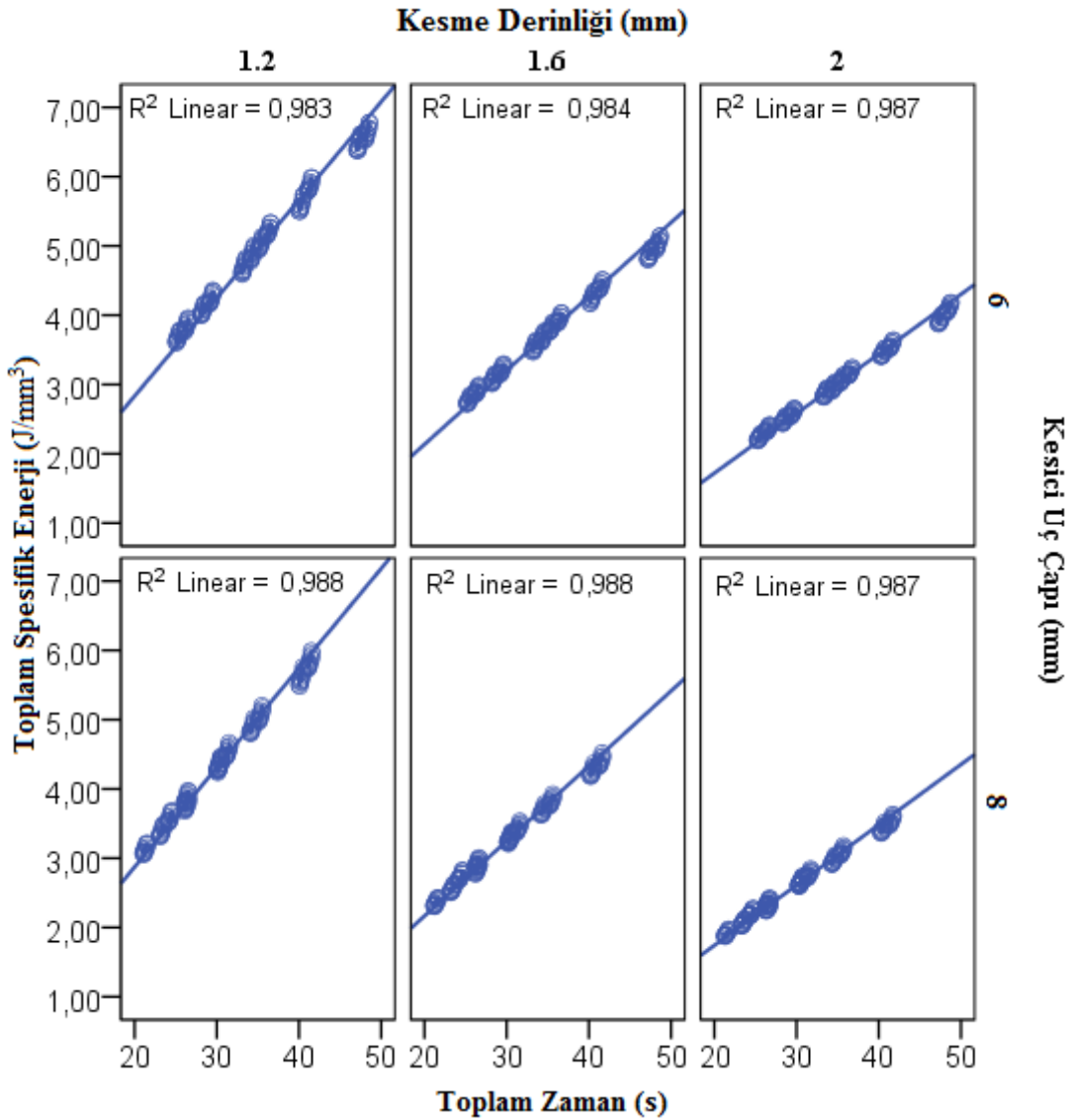
Mermer Numuneleri	Kesme Hızı (m/dk)	Kesme Genişliği (mm)	F_z Kesme Kuvveti (N)	Sınıf	Güç Tüketimi (W)	Sınıf	
M1	188	3,0	14,91	ÇK	502,83	ÇD	
		6,0	30,91	K	513,48	D	
	207	3,0	12,22	ÇK	504,83	ÇD	
		6,0	29,51	K	517,33	D	
	251	4,0	34,58	K	508,72	ÇD	
		8,0	93,35	ÇZ	518,93	D	
	276	4,0	29,21	K	511,88	D	
		8,0	26,08	K	523,75	O	
	M2	188	3,0	25,15	K	504,21	ÇD
			6,0	46,70	K	514,85	D
207		3,0	19,61	ÇK	506,21	ÇD	
		6,0	45,87	K	518,73	D	
251		4,0	42,55	K	510,13	D	
		8,0	72,99	Z	520,51	O	
276		4,0	44,03	K	513,30	D	
		8,0	70,54	Z	525,36	O	
M3		188	3,0	16,22	ÇK	505,78	ÇD
			6,0	45,69	K	516,29	D
	207	3,0	17,86	ÇK	508,21	ÇD	
		6,0	23,83	K	522,58	O	
	251	4,0	52,55	K	511,63	D	
		8,0	72,01	Z	522,18	O	
	276	4,0	39,73	K	516,44	D	
		8,0	79,68	Z	527,94	O	
	M4	188	3,0	45,30	K	510,15	D
			6,0	60,48	Z	521,15	O
207		3,0	48,26	K	511,21	D	
		6,0	55,64	K	527,91	O	
251		4,0	48,98	K	515,74	D	
		8,0	140,86	ÇZ	527,09	O	
276		4,0	46,83	K	520,52	O	
		8,0	138,66	ÇZ	534,26	Y	
M5		188	3,0	51,79	K	515,15	D
			6,0	85,52	Z	526,65	O
	207	3,0	41,11	K	516,44	D	
		6,0	84,13	Z	530,65	Y	
	251	4,0	50,26	K	520,74	O	
		8,0	144,73	ÇZ	532,59	Y	
	276	4,0	48,57	K	526,60	O	
		8,0	144,56	ÇZ	537,59	Y	

M1, M2, M3 numunelerinde 188 m/dk kesme hızlarında ve 3,0 mm kesme genişliğinde F_z kuvveti 20 N'dan düşük değer olduğu için işlenebilirliği çok kolay seviyededir. M1, M2, M3 numunelerinde 188 m/dk kesme hızlarında ve 3,0 mm kesme genişliğinde güç tüketimi 510 W değerinden düşük olduğu için enerji tüketimi çok düşük seviyededir. M4, M5 numunelerinde 188 m/dk kesme hızlarında ve 3,0 mm kesme genişliğinde F_z kuvveti 20-60 N değerleri aralığında olduğu için işlenebilirliği kolay seviyededir.

Ayrıca M4, M5 numunelerinde 188 m/dk kesme hızlarında ve 3,0 mm kesme genişliğinde genişliğinde güç tüketimi 510-520 W değerleri aralığında olduğu için enerji tüketimi düşük seviyededir. Tüm mermer numunelerin 207 m/dk kesme hızlarında ve 6.0 mm kesme genişliğinde F_z kuvveti 20 - 60 N değerleri aralığında olduğu içinde işlenebilirliği kolay seviyededir. M1, M2, M3 numunelerinde 207 m/dk kesme hızlarında ve 6.0 mm kesme genişliğinde güç tüketimi 510-520 W değerleri aralığında olduğu için enerji tüketimi düşük seviyededir. Mermer numunelerin 251 m/dk kesme hızlarında ve 4,0 mm kesme genişliğinde F_z kuvveti 20 - 60 N değerleri aralığında olduğu içinde işlenebilirliği kolay seviyededir. Ayrıca M1, M2, M3 numunelerinde 251 m/dk kesme hızlarında ve 4,0 – 8,0 mm kesme genişliğinde güç tüketimi 510-520 W değerleri aralığında olduğu için enerji tüketimi düşük seviyededir. M5 numunesi 251 ve 276 m/dk kesme hızında ve 8,0 mm kesme genişliğinde güç tüketimi değeri 530 W değerinden büyük olduğu için enerji tüketimi yüksek seviyededir. Bütün bu sonuçlar değerlendirildiğinde, işlenebilirlik ve enerji tüketimine sınıflandırmasına göre; 251 ve 276 m/dk kesme hızında ve 8,0 mm kesme genişliğinde M4 ve M5 numuneler hariç diğer numunelerin, işlenebilirlik derecesi kolay ve enerji tüketimi düşük veya orta seviyede olduğu için işlenebilirliği öngörülmektedir.

4.5 Mermer Numunelerinde İşlenebilirlik Deneylerinde Zamana Bağlı Spesifik Enerji Değerlerinin Analizi

Çalışmada kullanılan mermer numunelerinin kesme derinlikleri ve kesici uç çaplarına göre toplam spesifik enerji değerlerinin zamana göre etkileri lineer regresyon analizi ile incelenmiştir. Şekil 4.25' de toplam spesifik enerji değerleri ile zamanları arasına lineer regresyon modeli analizi sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.25 Mermer numunelerinde zamana göre toplam spesifik enerji değerleri.

Yapılan analizlerde mermer numunelerinde R^2 katsayısı 0,988 – 0,983 değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre 1,2 mm kesme derinliğinde 6,0 mm kesici uç çapında R^2 değeri 0,983 ve 8,0 kesici uç çapında ise R^2 değeri 0,988 olarak hesaplanmıştır. 1,6 mm kesme derinliğinde 6,0 mm kesici uç çapında R^2 değeri 0,984 ve 8,0 mm kesici uç çapında ise R^2 değeri 0,988 olarak hesaplanmıştır. 2 mm kesme derinliğinde 6,0 mm kesici uç çapında R^2 değeri 0,987 ve 8,0 mm kesici uç çapında ise R^2 değeri 0,987 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre kesme derinliği ve kesici uç çaplarında toplam spesifik enerji ile zaman arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Buna göre mermer numunelerinde işleme derinliklerine göre zaman arttıkça toplam spesifik enerji

değerleri de artmaktadır. Sonuç olarak mermer numunelerinin işlenmesinde işleme türüne ve kalitesini göz önüne alarak kesme derinliğini ve kesici uç çapını doğru seçmek için bu parametreler dikkete alınmalıdır.

4.6 Mermer Numunelerinde İşlenebilirlik Deneylerinde Aşınma Değerlerinin Analizi

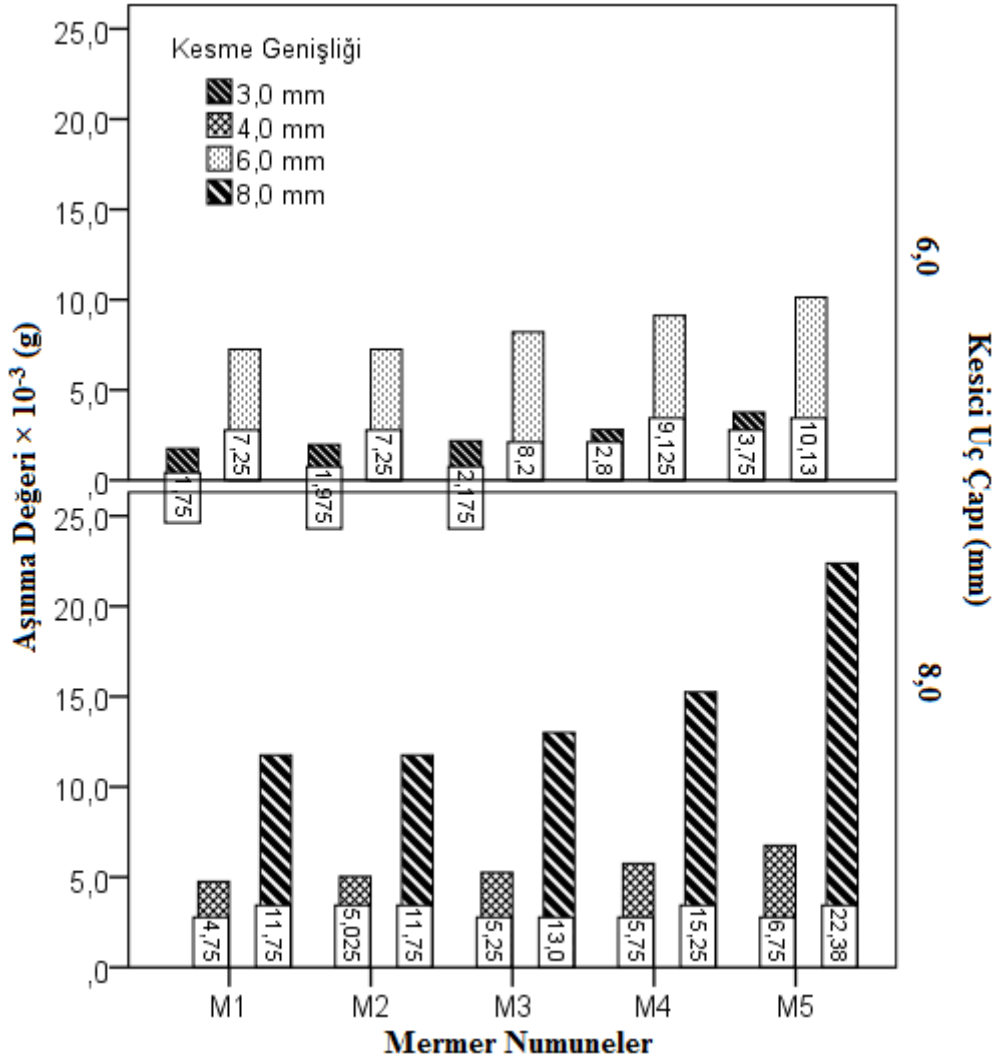
Çalışmada işlenebilirlik deneylerinde kullanılan mermer numunelerinin kesici uç çapının aşınma değerleri istatistiksel olarak analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde kesici uç çaplarının aşınma değerleri(5 mermer × 2 kesici uç çapı × 4 kesme genişliği) varyans (ANOVA) analizi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Mermer numunelerin işlenebilirlik deneylerinde elde edilen kesici uç çaplarındaki aşınma değerleri kesici uç çapı ve kesme genişliğine göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde kesici uç çaplarındaki aşınma değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlık düzeyinde kesici uç çapı ve kesme genişliği arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin kesici uç çapında aşınma değerlerinde kesici uç çapı ve kesme genişliği etkili olduğu görülmüştür. Mermer numunelerinde aşınma değerleri 8,0 mm kesici uç çapında 8,0 mm kesme genişliğinde daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23 Mermer numunelerinin işlenebilirlik deneylerinde aşınma değerlerinin kesici uç çapı ve kesme genişliğine göre istatistiksel analizi.

Parametreler	Veri Sayısı	Aşınma Değerleri (g)				95% Güven Aralığı		
		Ortalama Aşınma (g)	Standart Sapma (g)	Standart Hata (g)	Anlamlılık Düzeyi	Alt Limit	Üst Limit	
Kesi Uç Çapı (mm)	6,0	360	5,44	3,17	0,1671	<0,001	5,11	5,77
	8,0	360	10,16	5,86	0,3090	<0,001	9,55	10,77
Kesme Genişliği (mm)	3,0	180	2,49	0,92	0,0683	<0,001	2,36	2,62
	4,0	180	5,50	0,89	0,0667	<0,001	5,37	5,64
	6,0	180	8,39	1,35	0,1006	<0,001	8,19	8,59
	8,0	180	14,83	4,95	0,3687	<0,001	14,10	15,55

Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliğine ve kesici uç çapına göre aşınma değerleri Şekil 4.26'da verilmiştir



Şekil 4.26 Mermer numunelerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme genişliğine ve kesici uç çapına göre toplam aşınma değerleri.

Mermer numunelerinde 8,0 mm kesme genişliğinde aşınma değerleri, 3,0, 4,0 ve 6,0 mm kesme genişliğindeki aşınma değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. M1 mermer numunesinde 6,0 mm kesici uç çapında 3,0 mm kesme genişliğinde aşınma değeri $1,75 \times 10^{-3}$ g en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesi 6,0 mm kesme genişliğinde $10,13 \times 10^{-3}$ g en yüksek değeri almıştır.

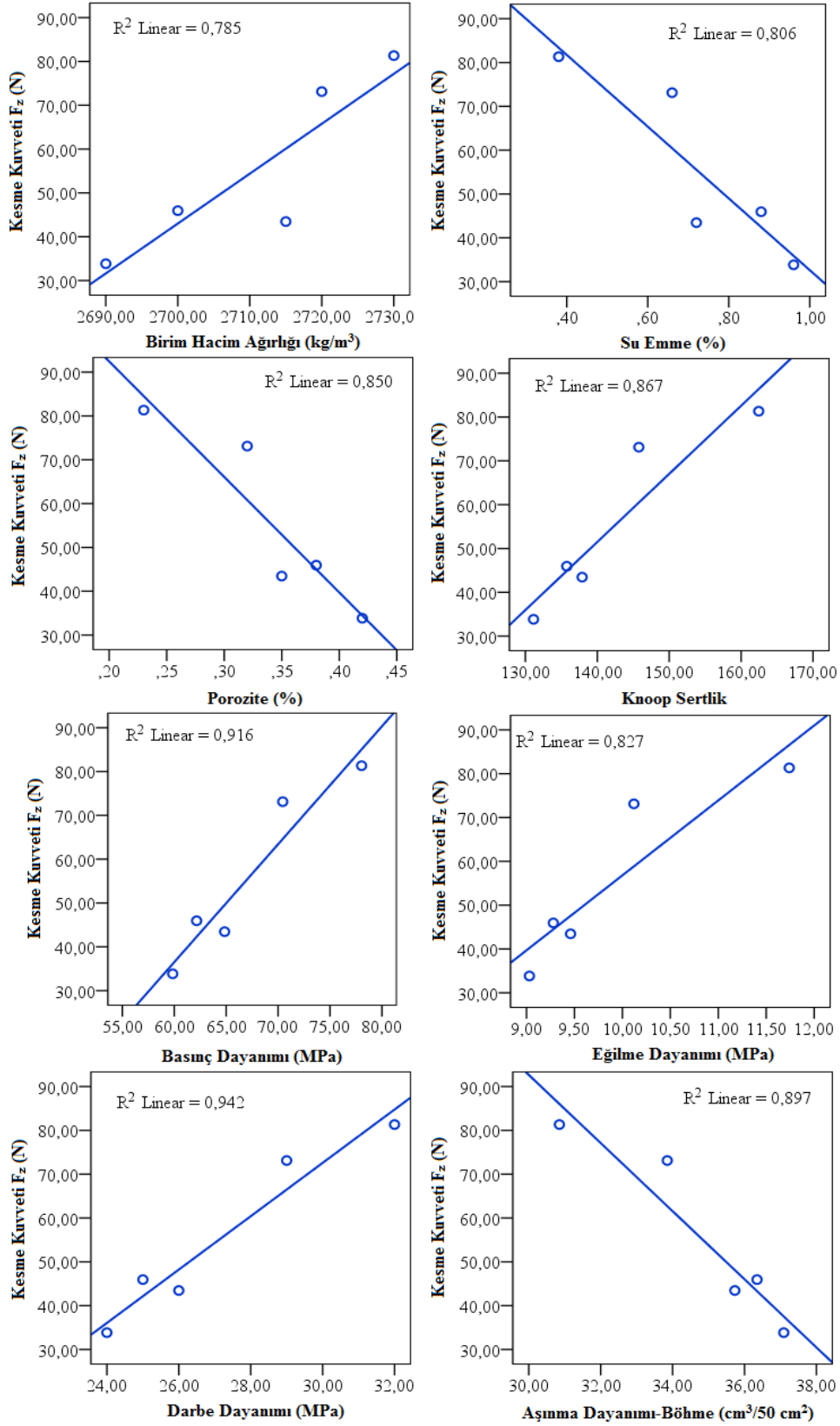
M1 mermer numunesinde 8,0 mm kesici uç çapında 4,0 mm kesme genişliğinde aşınma değeri $4,75 \times 10^{-3}$ g en düşük değeri alırken, M5 mermer numunesinde 8,0 mm kesme genişliğinde $22,38 \times 10^{-3}$ g en yüksek değeri almıştır.

Mermer numunelerinde aşınma değerlerine bakıldığında 3,0 mm kesme genişliğinde

tüm mermer numunelerinde aşınma değerleri normal değer alırken 8,0 mm kesme genişliğinde kesici uç çapındaki en yüksek değerleri aldığı görülmektedir. Buna göre mermer numunelerin işlenebilirliğinde kesici uç çapı maliyetleri göz önüne alınarak 6,0 ve 8,0 mm kesme genişliği M4 ve M5 mermer numunesinde önerilmemektedir.

4.7 Mermer Numunelerin Jeomekanik Özelliklerinin Kesme Kuvveti ve Spesifik Enerjiye Etkisi

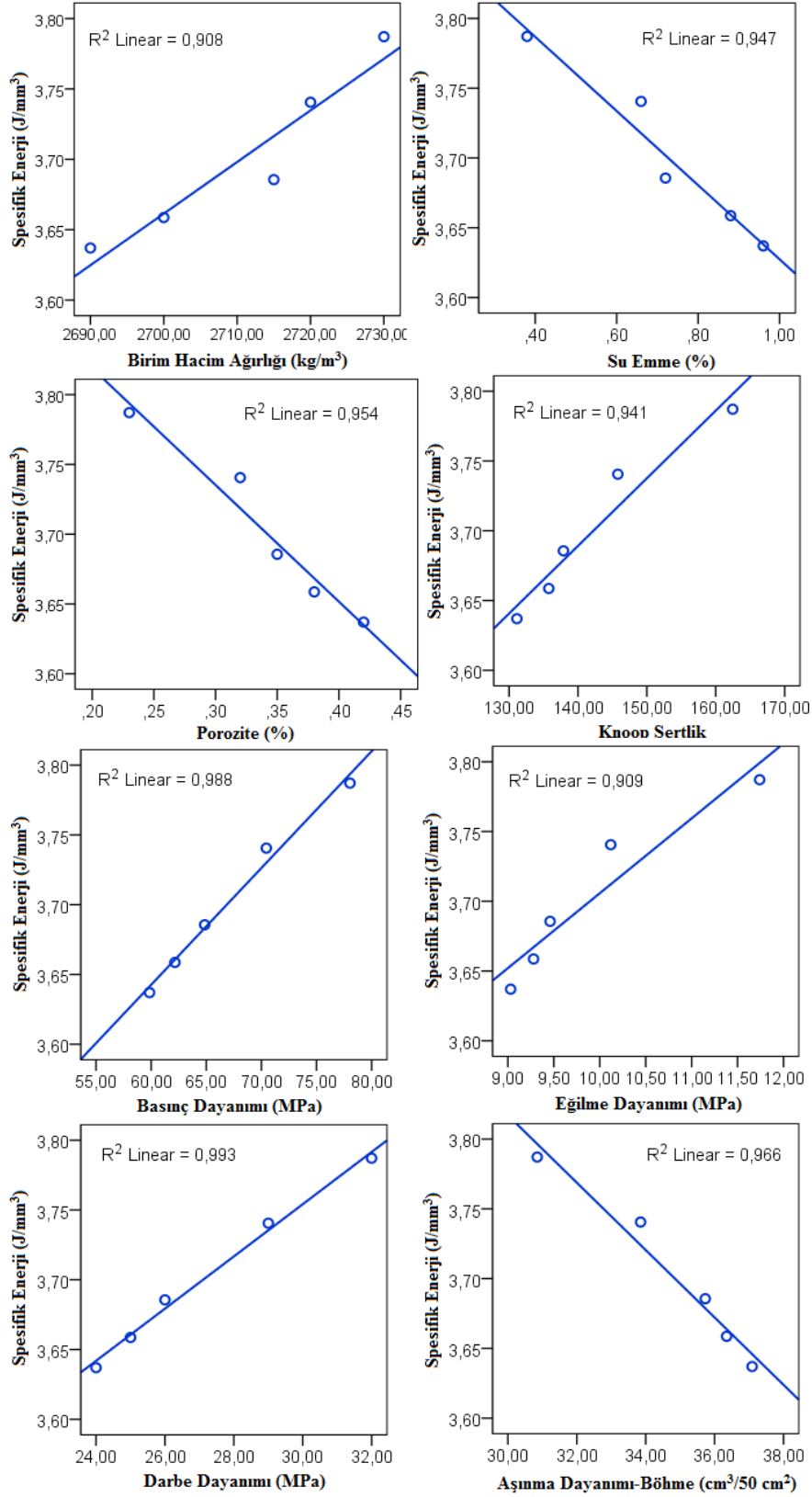
Çalışmada kullanılan numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinden birim hacim ağırlık, porozite, su emme, knoop sertliği, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve aşınma dayanımının F_z kesme kuvvetine olan etkileri basit regresyon analizi ile incelenmiştir. Şekil 4.27’de F_z kesme kuvveti ile fiziksel ve mekanik özelliklerin arasındaki basit regresyon analizi modeli sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.27 Mermer numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin kesme kuvvetine etkisi.

Çalışmada yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucunda ölçülen kesme kuvvetine değerleri ile mermerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri arasında anlamlı ilişkilerin varlığı görülmüştür. Yapılan analizlerde, mermer numunelerinde R^2 katsayısı 0.785-0.942 değerleri elde edilmektedir. Bu değere göre kesme kuvveti ile birim hacim ağırlık, porozite, su emme, knoop sertliği, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve aşınma dayanımı arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Buna göre mermerlerde porozite, su emme ve aşınma dayanımı azaldıkça, kesme kuvveti artmakta, knoop sertliği, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı oranı arttıkça, kesme kuvveti değerleri artmaktadır. M1 mermer numunesinden M5 mermer numunesine doğru gidildikçe sertlik, darbe dayanımı ve basınç dayanımı artmaktadır. Bu artışla birlikte kesme kuvvetleride artmaktadır. En büyük kesme kuvvet değerleri sertlik, darbe dayanımı ve basınç dayanımının en yüksek olduğu M5 mermer türünde elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinden birim hacim ağırlık, porozite, su emme, knoop sertliği, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve aşınma dayanımının spesifik enerjiye olan etkileri basit regresyon analizi ile incelenmiştir. Şekil 4.28'de spesifik enerji ile fiziksel ve mekanik özelliklerin arasındaki basit regresyon analizi modeli sonuçları verilmiştir



Şekil 4.28 Mermer numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin spesifik enerjiye etkisi.

Çalışmada yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucunda güç tüketimi ve zaman verileri kullanılarak hesaplanan spesifik enerji değerleri ile mermerlerin fiziksel-mekanik özellikleri arasında anlamlı ilişkilerin varlığı görülmüştür. Bu deneylerden elde edilen veriler yardımıyla CNC makinelerinin verimliliğinin önceden tahmini için çeşitli eşitlikler geliştirilmiştir. Bu eşitlikler özellikle spesifik enerji tahmininde kullanılabilir. İşlenebilirlik deneylerine tabi tutulan mermerlerin fiziksel-mekanik özellikleri ile spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkiler görülmektedir. Yapılan analizlerde, mermer numunelerinde R^2 katsayısı 0.908-0.993 değerleri elde edilmektedir. Bu değere göre spesifik enerji ile birim hacim ağırlık, porozite, su emme, knoop sertliği, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve aşınma dayanımı arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Buna göre mermerlerde porozite, su emme ve aşınma dayanımı azaldıkça, spesifik enerji artmakta, knoop sertliği, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı oranı arttıkça, spesifik enerji değerleri artmaktadır. Özellikle birim hacim ağırlık, su emme, porozite, knoop sertliği, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve aşınma dayanımı değerinin spesifik enerji değerinin tahmininde önemli bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.

Yapılan mineralojik ve petrografik tanımlamalarda kullanılan tane boyutları değer aralıklarına göre mermer numuneleri Çizelge.4.24'de sınıflaması verilmiştir.

Çizelge 4.24 Mermer numunelerini mineralojik ve petrografik tanımlamalarda kullanılan tane boyutuna göre sınıflama.

<i>Kristal Boyutu</i>	<i>Tane Boyutu</i>	<i>Sınıflama</i>
İnce kristal	<0,1 mm	M1
Orta kristal	0,1-10 mm	M2, M3, M4
İri kristal	>10 mm	M5

Mermerlerin tane şekli, tane boyutu ve tanelerin birbirine kenetlenme derecesi fiziko-mekanik özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle çalışmada özellikle metamorfik kökenli kayaçlardan hakiki mermerler dikkate alınmıştır. İnce taneli kalsit kristallerinden oluşan M1 mermer numunesinde işlenebilirliği çok kolay olmaktadır. Orta taneli kalsit kristalinden oluşan M2 ve M3 mermer numunesinde işlenebilirlik kolay olurken, yine orta taneli kalsit kristalinden oluşan M4 mermer numunesi breşik yapılı, özellikle demir oksit ve opak mineralli içerdiği için zor işlenmektedir. İri kalsit kristalinden oluşan M5 mermer numunesi ise işlenebilirliği oldukça zor olmaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Çalışmada işlenebilirlik deneylerinde kullanılan mermer numunelerinin kuvvet ölçüm değerlerinin istatistiksel olarak analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde kuvvet değerleri ile varyans (ANOVA) analizi uygulanmıştır. Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde işleme türü, kesici uç çapı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme hızı ve kesme genişliği arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde işleme türü, kesici uç çapı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme hızı ve kesme genişliği etkili olduğu görülmüştür.

- Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri çizgisel işleme türünde daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre mermer numunesinde dış hatlar ve çizgisel işleme türünde kuvvetler arasında $F_z > F_x > F_c > F_y > F_t$ bağıntısı ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak M4 ve M5 mermer numunesi dış hatlar ve çizgisel işleme türünde işlenebilirliği oldukça zor olduğu görülmektedir.
- Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri 8,0 mm kesici uç çapında daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre mermer numunesinde 6,0 mm ve 8,0 mm kesici uç çapında kuvvetler arasında $F_z > F_x > F_c > F_y > F_t$ bağıntısı ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak M4 ve M5 mermer numunelerinde 8,0 mm kesici uç çapında işlenebilirliği oldukça zor olduğu tespit edilmiştir.
- Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri 2,0 mm kesme derinliğinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre 1,2 mm, 1,6 ve 2,0 mm kesme derinliğinde $F_z > F_x > F_c > F_y > F_t$ bağıntısı ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak M4 ve M5 mermer numunelerinde 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde işlenebilirliği oldukça zor olduğu tespit edilmiştir.
- Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri 3000 mm/dk ilerleme hızında daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre 2000, 2500 ve 3000 mm/dk ilerleme hızında $F_z > F_x > F_c > F_y > F_t$ bağıntısı ortaya çıkmıştır. Sonuç

olarak M4 ve M5 mermer numunelerinde 2000, 2500 ve 3000 mm/dk ilerleme hızında işlenebilirliği oldukça zor olduğu tespit edilmiştir.

- Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri 6 mm kesici uç çapında 188 m/dk kesme hızında, 8 mm kesici uç çapında ise 251 m/dk daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre tüm kesme hızında $F_z > F_x > F_c > F_y > F_t$ bağıntısı ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak M4 ve M5 mermer numunelerinde 251 ve 276 m/dk kesme hızında işlenebilirliği oldukça zor olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kesme hızı artıkça tüm kuvvetlerde düşme görülmektedir.
- Mermer numunelerinde F_x , F_y , F_z , F_c ve F_t kuvvet değerleri 8,0 mm kesme genişliğinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre tüm kesme genişliğinde $F_z > F_x > F_c > F_y > F_t$ bağıntısı ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak M4 ve M5 mermer numunelerinde 6,0 ve 8,0 mm kesme genişliğinde işlenebilirliği oldukça zor olduğu tespit edilmiştir.

Çizgisel işleme türünün dış hatlar işleme türünden kuvvet değerlerinin yüksek çıkmasının nedeni mermer yüzeyinde çizgisel işleme türünün sadece boyuna ileri geri hareket etmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle mermerlerde işleme türünden dış hatların seçilmesi öngörülmüştür.

Kesici uç çapının ve kesme derinliğinin artmasıyla kuvvet değerleri önemli ölçüde artmıştır. Kesici takım çapının ve kesme derinliğinin artması ile birim zamanda kesmesi gereken mermer talaş miktarı artmaktadır. Bu mermer talaş miktarının artmasıyla daha fazla sürtünme meydana gelmekte ve dolayısıyla kesme kuvvetleri önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle 8,0 mm kesici uç çapında ve 2,0 mm kesme derinliğinde talaş miktarının artmasıyla daha fazla sürtünme meydana gelmiş ve dolayısıyla kesme kuvvetleri önemli ölçüde artmıştır.

Kesme işleminde 6 ve 8 mm kesici uç takımlarında devir hızı artıkça kesme hızları artmış, tüm kuvvetlerde düşme meydana gelmiştir. Bu nedenle 6 mm kesici uç çapında 188 m/dk kesme hızında ve 8 mm kesici uç çapında 251 m/dk kesme hızında kesme kuvvetleri daha yüksek çıkmıştır.

M4 ve M5 mermer numunelerinde çizgisel işleme türünde, 8,0 mm kesici uç çapında, 2,0 mm kesme derinliğinde, 3000 mm/dk ilerleme hızı, 8,0 mm kesme genişliğinde ve 251 m/dk kesme hızının seçilmesi durumunda mermer plakasının işlenmesi esnasında tüm kuvvetler en yüksek değerlere çıkmaktadır. Kesici uç takımlarının hasara uğramasına, düzgün bir işlemenin gerçekleşmemesine neden olmaktadır.

Çalışmada işlenebilirlik deneylerinde kullanılan mermer numunelerinin güç tüketimi değerleri istatistiksel olarak analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri varyans (ANOVA) analizi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde işleme türü, kesici uç çapı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme hızı ve kesme genişliği arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde işleme türü, kesici uç çapı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme hızı ve kesme genişliği etkili olduğu görülmüştür.

- Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri çizgisel işleme türünde daha yüksek olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerlerine bakıldığında dış hatlar ve çizgisel işleme türünde M1, M2 ve M3 mermer türlerindeki güç tüketimi normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi güç tüketimi değerleri arttığı görülmektedir. Buna göre M1, M2 ve M3 mermer numuneleri daha az enerji tüketimi ile dış hatlar işleme türü tercih edilmesi öngörülmüştür.
- Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri 8,0 mm kesici uç çapında daha yüksek olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerlerine bakıldığında 6,0 mm kesici uç çapında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki güç tüketimi normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 8,0 mm kesici uç çapında güç tüketimi değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Buna göre M1, M2 ve M3 mermer numuneleri daha az enerji tüketimi ile 6,0 mm kesici uç çapı tercih edilmesi öngörülmüştür.
- Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri 2,0 mm kesme derinliğinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerlerine bakıldığında 1,2 mm kesme derinliğinde M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer

türlerindeki güç tüketimi normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 2,0 mm kesme derinliğinde güç tüketimi değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Buna göre M1, M2 ve M3 mermer numuneleri daha az enerji tüketimi ile 1,20-1,60 mm kesme derinliğinde tercih edilmesi öngörülmüştür.

- Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri 3000 mm/dk ilerleme hızında daha yüksek olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerlerine bakıldığında 2000 mm/dk ilerleme hızında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki güç tüketimi normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 3000 mm/dk ilerleme hızında güç tüketimi değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Buna göre M1, M2 ve M3 mermer numuneleri daha az enerji tüketimi ile 2000 mm/dk ilerleme hızı tercihi tercih edilmesi öngörülmüştür.
- Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri 276 m/dk kesme hızında daha yüksek olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerlerine bakıldığında 188 ve 207 m/dk kesme hızında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki güç tüketimi normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 276 m/dk kesme hızında güç tüketimi değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Buna göre M1, M2 ve M3 mermer numuneleri daha az enerji tüketimi ile 188 ve 207 mm/dk kesme hızı tercihi tercih edilmesi öngörülmüştür.
- Mermer numunelerinde güç tüketimi değerleri 8,0 mm kesme genişliğinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde güç tüketimi değerlerine bakıldığında 3,0 ve 4,0 mm kesme genişliğinde M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki güç tüketimi normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 6,0 ve 8,0 mm kesme genişliğinde güç tüketimi değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Buna göre M1, M2 ve M3 mermer numuneleri daha az enerji tüketimi ile 3,0 ve 4,0 mm kesme genişliği tercihi tercih edilmesi öngörülmüştür.

M4 ve M5 mermer numunelerinde çizgisel işleme türünde, 8,0 mm kesici uç çapında, 2,0 mm kesme derinliğinde, 3000 mm/dk ilerleme hızı, 8,0 mm kesme genişliğinde ve 276 m/dk kesme hızında daha fazla güç tüketimi olduğu görülmektedir. Bu durum makinenin işleme esnasında daha çok zorlandığını ve enerji tüketiminin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Çalışmada işlenebilirlik deneylerinde kullanılan mermer numunelerinin ortalama ve toplam spesifik enerji değerlerinin istatistiksel olarak analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde ortalama ve toplam spesifik enerji değerleri varyans (ANOVA) analizi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Mermer numunelerinde ortalama ve toplam spesifik enerji değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde işleme türü, kesici uç çapı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme hızı ve kesme genişliği arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin işlenebilirliğinde işleme türü, kesici uç çapı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme hızı ve kesme genişliği etkili olduğu görülmüştür.

- Mermer numunelerinde spesifik enerji değerleri çizgisel işleme türünde daha yüksek olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde spesifik enerji değerlerine bakıldığında dış hatlar ve çizgisel işleme türünde M1, M2 ve M3 mermer türlerindeki spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde spesifik enerji değerine göre dış hatlar işleme türü tercih edilmesi öngörülmüştür.
- Mermer numunelerinde spesifik enerji değerleri 8,0 mm kesici uç çapında daha düşük olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde spesifik enerji değerlerine bakıldığında 6,0 mm kesici uç çapında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 8,0 mm kesici uç çapında spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde spesifik enerji değerine göre 6,0 ve 8,0 mm kesici uç çapı tercih edilmesi öngörülmüştür.
- Mermer numunelerinde spesifik enerji değerleri 1,2 mm kesme derinliğinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde spesifik enerji değerlerine bakıldığında 1,2 mm, 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde M1, M2 ve M3 mermer numunelerinde spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 1,2 mm, 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde spesifik enerji değerine göre 1,6 mm ve 2,0 mm kesme derinliğinde tercih edilmesi öngörülmüştür.

- Mermer numunelerinde spesifik enerji değerleri 3000 mm/dk ilerleme hızında daha düşük olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde spesifik enerji değerlerine bakıldığında 2000 mm/dk ilerleme hızında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 3000 mm/dk ilerleme hızında spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde spesifik enerji değerine 2500 mm/dk ilerleme hızı tercih edilmesi öngörülmüştür.
- Mermer numunelerinde spesifik enerji değerleri 251 m/dk hızında daha düşük olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde spesifik enerji değerlerine bakıldığında 188 ve 207 m/dk kesme hızında M1, M2, M3, M4 ve M5 mermer türlerindeki spesifik enerji normal değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 276 m/dk kesme hızında spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde spesifik enerji değerine göre 251 mm/dk kesme hızı tercih edilmesi öngörülmüştür.
- Mermer numunelerinde spesifik enerji değerleri 6,0 mm kesme genişliğinde daha düşük olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde spesifik enerji değerlerine bakıldığında 3,0 ve 4,0 mm kesme genişliğinde mermer türlerindeki spesifik enerji düşük değerler alırken, M4 ve M5 mermer numunesi 6,0 ve 8,0 mm kesme genişliğinde spesifik enerji değerleri yüksek değerler aldığı görülmektedir. Sonuç olarak M1, M2 ve M3 mermer numunesinde spesifik enerji değerine göre 4,0 mm ve 6,0 mm kesme genişliği tercih edilmesi öngörülmüştür.

Spesifik enerji miktarının en düşük elde edildiği işleme parametreleri, makinenin işlemlerini en verimli şekilde yaptığını göstermektedir. M4 ve M5 mermer numunelerinde çizgisel işleme türünde, 8,0 mm kesici uç çapında, 2,0 mm kesme derinliğinde, 3000 mm/dk ilerleme hızı, 8,0 mm kesme genişliğinde ve 276 m/dk kesme hızında daha fazla spesifik enerji olduğu görülmektedir. 1,2 mm işleme derinliklerinde yüksek spesifik enerji miktarı elde edilmiştir. Bu sonuçta 1,2 mm kesme derinliğinde makinenin tüketim gücüne karşılık mermer numunesinden kaldırılan talaş hacminin az olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum 1,2 mm kesme derinliğinde mermer

numunelerinde verimsiz bir işlemeye neden olduğunu göstermektedir.

Çalışmada işlenebilirlik deneylerinde kullanılan mermer numunelerinin F_z kuvveti ve güç tüketimi değerleri ile varyans (ANOVA) analizi yapılarak, minimum ve maksimum değer aralıkları dikkate alınarak, işlenebilirlik derecesi ve enerji tüketimi sınıflandırılması yapılmıştır.

- İşlenebilirlik derecesi ve enerji tüketimi sınıflandırması dikkate alınarak, işlem türü ve kesici uç çapına göre mermer numunelerinin hangi sınıflama içinde yer aldığı belirlenmiştir. M4 ve M5 numuneler hariç diğer numunelerin, 8,0 mm kesici uç çapında ve işleme türünde işlenebilirlik derecesi kolay ve enerji tüketimi düşük veya orta seviyede olduğu için işlenebilirliği öngörülmektedir.
- İşlenebilirlik derecesi ve enerji tüketimi sınıflandırması dikkate alınarak, kesme derinliği ve ilerleme hızına göre mermer numunelerinin hangi sınıflama içinde yer aldığı belirlenmiştir. M4 ve M5 numuneler hariç diğer numunelerin, ilerleme hızlarında ve işleme derinliklerinde işlenebilirlik derecesi kolay ve enerji tüketimi düşük veya orta seviyede olduğu için işlenebilirliği öngörülmektedir.
- İşlenebilirlik derecesi ve enerji tüketimi sınıflandırması dikkate alınarak, kesme hızı ve kesme genişliğine göre mermer numunelerinin hangi sınıflama içinde yer aldığı belirlemiştir. M4 ve M5 numuneler hariç diğer numunelerin, 251 ve 276 m/dk kesme hızında ve 8,0 mm kesme genişliğinde işlenebilirlik derecesi kolay ve enerji tüketimi düşük veya orta seviyede olduğu için işlenebilirliği öngörülmektedir.

Çalışmada kullanılan mermer numunelerinin işleme derinlikleri ve kesici uç çaplarına göre toplam spesifik enerji değerlerinin aşınmaya göre etkileri lineer regresyon analizi ile incelenmiştir. Bu değerlere göre kesme derinliği ve kesici uç çaplarında toplam spesifik enerji ile zaman arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Buna göre mermer numunelerinde işleme derinliklerine göre zaman arttıkça toplam spesifik enerji değerleri de artmaktadır. Sonuç olarak mermer numunelerinin işlenmesinde işleme türüne ve kalitesini göz önüne alarak kesme derinliğini ve kesici uç çapını doğru seçmek için bu parametreler dikkate alınmalıdır.

Çalışmada işlenebilirlik deneylerinde kullanılan mermer numunelerinin kesici uç çapının aşınma değerleri istatistiksel olarak analizi yapılmıştır. Mermer numunelerinde kesici uç çaplarının aşınma değerleri varyans (ANOVA) analizi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Mermer numunelerinde kesici uç çaplarındaki aşınma değerleri bakımından $p < 0.001$ anlamlık düzeyinde kesici uç çapı ve kesme genişliği arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer numunelerinin kesici uç çapında aşınma değerlerinde kesici uç çapı ve kesme genişliği etkili olduğu görülmüştür.

Mermer numunelerinde aşınma değerleri 8,0 mm kesici uç çapında 8,0 mm kesme genişliğinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Mermer numunelerinde aşınma değerlerine bakıldığında 3,0 mm kesme genişliğinde tüm mermer numunelerinde aşınma değerleri normal değer alırken 8,0 mm kesme genişliğinde kesici uç çapındaki en yüksek değerleri aldığı görülmektedir. Buna göre mermer numunelerin işlenebilirliğinde kesici uç çapı maliyetleri göz önüne alınarak 6,0 ve 8,0 mm kesme genişliği M4 ve M5 mermer numunesinde önerilmemektedir.

Çalışmada yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucunda ölçülen kesme kuvvetine değerleri ile mermerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri arasında anlamlı ilişkilerin varlığı görülmüştür. Buna göre mermerlerde porozite, su emme ve aşınma dayanımı azaldıkça, kesme kuvveti artmakta, knoop sertliği, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı oranı arttıkça, kesme kuvveti değerleri artmaktadır. M1 mermer numunesinden M5 mermer numunesine doğru gidildikçe sertlik, darbe dayanımı ve basınç dayanımı artmaktadır. Bu artışla birlikte kesme kuvvetleride artmaktadır. En büyük kesme kuvvet değerleri sertlik, darbe dayanımı ve basınç dayanımının en yüksek olduğu M5 mermer türünde elde edilmiştir.

Çalışmada yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucunda güç tüketimi ve zaman verileri kullanılarak hesapladığımız spesifik enerji değerleri ile mermerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri arasında anlamlı ilişkilerin varlığı görülmüştür. Bu deneylerden elde edilen veriler yardımıyla CNC makinelerinin verimliliğinin önceden tahmini için çeşitli eşitlikler geliştirilmiştir. Bu eşitlikler özellikle spesifik enerji tahmininde

kullanılabilecektir. İşlenebilirlik deneylerine tabi tutulan mermerlerin fiziksel-mekanik özellikleri ile spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkiler görülmektedir.

Mermerlerin tane şekli, tane boyutu ve tanelerin birbirine kenetlenme derecesi fiziko-mekanik özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle çalışmada özellikle metamorfik kökenli kayalardan hakiki mermerler dikkate alınmıştır. İnce taneli kalsit kristallerinden oluşan M1 mermer numunesinde işlenebilirliği çok kolay olmaktadır. Orta taneli kalsit kristalinden oluşan M2 ve M3 mermer numunesinde işlenebilirlik kolay olurken, yine orta taneli kalsit kristalinden oluşan M4 mermer numunesi breşik yapılı, özellikle demir oksit ve opak mineralli içerdiği için zor işlenmektedir. İri kalsit kristalinden oluşan M5 mermer numunesi ise işlenebilirliği oldukça zor olmaktadır.

5.2 Öneriler

Bilgisayar kontrollü doğal taş işleme makinasının doğal taş sektöründe kullanılan klasik doğal taş tornalarıyla kıyaslandığı zaman tezgâhın ayarlama zamanı çok kısadır. Ayarlama, ölçü kontrolü, manuel hareket gibi nedenlerle oluşan zaman kayıpları ortadan kalkmıştır. Kesme parametrelerinin optimum seviyede olması, insandan kaynaklanan hataları minimuma indirmiştir. Bilgisayar kontrollü doğal taş işleme makinasında dairesel bir parçanın işlenmesi sırasında kesici takım içten dışa doğru gittikçe devir sayısı otomatik olarak azaltmaktadır. Tezgâh operasyonları yüksek bir hassasiyete sahiptir. Tezgâhın çalışma temposu, kesme hızı her zaman yüksek ve aynıdır. İnsan faktörünün imalatta fazla etkili olmamasından dolayı seri ve hassas üretim sağlanmaktadır. Bu tip makinalar sulu işleme yaptığı için el tornalarıyla kıyaslandığında çalışma ortamı daha sağlıklı olmaktadır. İş kazası ve özellikle mesleki anlamda maruz kalınan gürültü ve toz maddelerden dolayı tedavisi zor ya da imkânsız mesleki hastalıklara yakalanma riski azalmaktadır.

İlk yatırım maliyeti diğer makinalara göre yüksektir. Klasik tornalar ile kıyaslandığında daha titiz kullanım ve bakım istemektedir. CNC makinesinin kullanımı ve ürün tasarımı için CAM programını bilen kalifiye elemana ihtiyaç duyulmaktadır.

Doğal taş sektöründe özellikle doğal taş parça atıklarının değerlendirilmesi için el sanatları alanında üretimi sağlayacak uzmanlaşmış elemanlar yetiştirilerek, teknolojik değişimin takip edilerek, uygun standartlarda ürün kalitesine erişilmesine yönelik, bölgedeki dekoratif ürün çeşitliliğinin yaygınlaştırılması gerçekleştirilebilir. Doğal taş sektöründe bilgisayar kontrollü doğal taş işleme makinası kullanılarak maruz kalınan fiziksel (gürültü, titreşim) ve kimyasal risk etmenleri (toz, asit) azaltılabilir. Doğal taş sektöründe doğal taş işlemeciliğinin yeni tasarım yoluyla modern yaşamda kullanılabilecek ürünlere dönüştürülmesi için yeni teknolojilerin kullanılması önemlidir. Ülkemizde bulunan doğal taş rezervlerinin yeni kullanım alanlarının araştırılması ve ekonomisinin oluşturulmasına katkı sağlanmalıdır. Doğal taş sanayi dalında tasarım, temiz üretim, artıkların değerlendirilmesi yoluyla dünya çapında farkındalık oluşturulmalıdır. Ülkemizde tüm paydaşlarımızla çeşitli kamu kurumlarımızın ve AB tarafından verilen fonlardan daha etkin yararlanmasının sağlanması gerekmektedir. Ülkemizdeki mevcut kaynaklarını bilim, teknoloji ve yenilik yoluyla faydaya dönüştürmesini ve yeni kaynaklar oluşturmasını sağlayacaktır. Bundan sonraki çalışmalarda ise farklı kayaçlarda farklı devir hızı ve ilerleme hızında farklı derinliklerdeki işlemede harcanan enerji miktarının tespit edilerek üretim maliyeti hesaplanması yapılmalıdır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre bundan sonraki çalışmalar için;

- Kireç taşı ve traverten gibi kayaçlarda bu çalışmanın geliştirilmelidir.
- Elektrolize kesici uçların performansları karşılaştırılmalıdır.
- Kesici uçların aşınmaları Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM) ile incelenmelidir.
- Yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek, etkili parametrelerin neler olduğu belirlenmelidir.
- Sabit kesme hızında, farklı ilerleme hızı ve kesme derinliğinde denemeler yapılarak, kesme kuvveti, güç tüketimi ve spesifik enerjileri tespit edilmesi önerilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Abou-El-Hossein, K.A., Yahya, Z. (2005). High-speed end-milling of AISI 304 stainless steels using new geometrically developed carbide inserts. *Journal of Materials Processing Technology*, **162–163**: 596–602.
- Aslantaş, K., Özbek O., Uçun, İ., Büyüksağış, İ.S. (2009). Investigation of the effect of axial cutting force on circular diamond sawblade used marble processes, *Materials and Manufacturing Processes*, **24(12)**: 1423-1430.
- Aydemir, O.A. (2006). Torna ve freze tezgahlarında bilgisayar destekli kesici takım seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Bayram, F., Kulaksız, S., Özçelik, Y. (2003). Katraklarda mermerlerin fiziki-mekanik özelliklerinin ve kesim hızının elmas soketlerdeki aşınmalara etkisi. Türkiye 4. Mermer Sempozyumu, Afyonkarahisar, 18 – 19 Aralık.
- Budak, S. (2010). Mermer kesici takımlarda matris kompozisyonunun aşınma performansına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.
- Büyüksağış, İ.S., Göktan, R.M. (2005). Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter. *Journal of Materials Processing Technology*, **169**: 258-262.
- Büyüksağış, İ.S., Atıcı, Ü., Adem, E. (2003). Travertenlerde tabaka yönünün kesme verimi üzerine etkileri. IV. Mermer Sempozyumu, 18-19 Aralık, 189-199.
- Büyüksahin, U. (2005). 3 Eksenli CNC tezgah tasarımı ve uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Caner, M., Akarşlan, E. (2009). Mermer kesme işleminde spesifik enerji faktörünün ANFIS ve YSA yöntemleri ile tahmini. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Pamukkale Üniversitesi, **15-2**: 221-226.
- Cassapi, V.B. (1987). Application of rock hardness and abrasive indexing to rock excavating equipment selection. Ph. D. Thesis, University of Nottingham, U. K.

- Cevindik, M. (2009). Üç eksenli CNC ile mermer işlemede elektrik enerji tüketimine etki eden parametreler. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Chen W. (2000). Cutting forces and surface finish when machining medium hardness steel using CBN tools. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **40**: 455-466.
- Chungchoo, C. and Saini, D. (2002). On-line tool wear estimation in cnc turning operations using fuzzy neural network model. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **42**: 29-40.
- Çolak, O. (2006). CNC freze tezgâhı için kesme parametrelerinin akıllı yöntemlerle elektronik ortamda optimizasyonu. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Diniz, A.E. and Filho, J.C. (1999). Influence of the relative positions of tool and workpiece on tool life, tool wear and surface finish in the face milling process. *Wear*, **232**: 67-75.
- Dong-Woo, Cho Sang J.L. and Chong N.C. (1998). The state of machining process monitoring research in korea. *Int. Journal of Machine Tools & Manufacture*, **39**: 1697-1715.
- Dursun, M., Çimen, H. (2010). Eviricili ve eviricisiz mermer kesme işleminin elektrik enerjisi üzerine etkisi. *Mühendislik ve Mimarlık Fakülte Dergisi*, Gazi Üniversitesi, **25-2**: 381-388.
- D'Errico G.E., Bugliosi, S. and Guglielmi, E. (1998). Tool-life reliability of cermet inserts in milling tests. *Journal of Materials Processing Technology*, **77**: 337-343.
- Domaç, H. (2011). Frezeleme işleminde kesici uç yarıçapı ve uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin araştırılması ve imalatı. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Ekmen, M.S. (2015). Frezelemede takım helis açısı ve kesme yüksekliğinin titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.

- Erer, H., (2000). CNC Takım tezgâhlarının gelişimi. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Mühendis ve Makina Dergisi*, **486**: 37 – 40.
- Ersoy, A., Atıcı, U. (2005). Specific energy prediction for circular diamond saw in cutting different types of rocks using multivariable linear regression analysis. *Journal of Mining Science*, **41-3**: 240-260.
- Ersoy, A., Atıcı, U. (2004). Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks. *Diamond and Related Materials*, **13**: 22-37.
- Ersoy, A., Atıcı, Ü. (2004). Spesifik kesme enerjisi ile spesifik deformasyon enerjisinin değerlendirilmesi. 7. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas, 21-22 Ekim.
- Gezgin, A. (2007). Prizmatik parçaların frezelenmesi esnasında, kesici uç sayısının takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Giu, J., Barber, G., Tung, S. and Gu, R. (1999). Tool life and wear mechanism of uncoated and coated milling inserts. *Wear*, **225–229**: 273–284.
- Günaydın, E. (2014). Mikro frezeleme uygulamalarında en uygun takım yolunun ve kesme parametrelerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Güneş, Y.N., Gökten, R.M. (2008). Effect of sawing rate on force and energy requirements in the circular sawing of granites. *Mühendislik ve Mimarlık Fakülte Dergisi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, **21-2**: 59-74.
- Habalı, K. (2003). Kesici takım kaplama malzemesinin takım-talaş ara yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Hamzaoğlu, E.E. (2008). Plazma nitrürlemenin WC-Co kesici uçların performansına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Malzeme ve İmalat Mühendisliği, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Han, Q.L., Li, Y. and Xu, X.P. (2007). A comparative study of stone sawing with thin and normal blades. *Key Engineering Materials*, **329**: 687-692.

- Hu, S., Wang, C., Chen, B. and Hu, Y. (2006). Dry-cutting concrete study of diamond saw blade with different segment width. *Materials Science Forum*, **532-533**: 321-324.
- Jawaid, A., Sharif, S. and Koksai, S. (2000). Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, **99**: 266–274.
- Jennings, M. and Wright, D. (1989). Guidelines for sawing stone. *Industrial Diamond Review*, **2**:70-75.
- Karagöz, Ş., Zeren, M. (2001). Mermer kesiminde kullanılan elmas kesici takımlarda aşınma karakteristiği. 3.Mermer Sempozyumu, Afyonkarahisar, 3-5 Mayıs.
- Kim, S.W., Lee, D.W., Kang, M.C. and Kim, J.S. (2001). Evaluation of machinability by cutting environments in high-speed milling of difficult- to-cut materials. *Journal of Materials Processing Technology*, **111**: 256–260.
- Kulaksız, S. (2007). Doğal taş (Mermer) maden işletmeciliği ve işleme teknolojileri, Ankara 7-134 .
- Kuljanic, E. (1973). An investigation of wear in single-tooth and multi-tooth milling. Institute of Machine Tools, *Zagreb*, 102.
- Kutlu, M. (2006). Üç eksenli masa tipi cnc freze tezgâhı tasarım ve imalatı. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Lee, K.Y, Kang, M.C, Jeong,Y.H, Lee,D.W. and Kim J.S. (2001). Simulation of surface roughness and profile in high speed end milling. *J. Material Processing Technology*, **113**: 410-415.
- Liu, Z.Q., Ai, X., Zhang, H., Wang, Z.T. and Wan, Y. (2002). Wear patterns and mechanisms of cutting tools in high-speed face milling. *Journal of Materials Processing Technology*, **129**: 222–226.
- Lou, S.J. and Chen, J.C. (1999). In-Process surface roughness recognition (issrr) system in end-milling operations. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **15**: 200-209.

- Nas, E. (2008). Frezeleme işleminde kesici uç sayısının titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Nishimatsu, Y. (1972). The mechanics of rock cutting. *International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences*, **9**: 261-270.
- Nordin, M., Sundström, R., Selinder, T.I. and Hogmark, S. (2000). Wear and failure mechanisms of multilayered PVD TiN/TaN coated tools when milling austenitic stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, **133–134**: 240–246.
- Orhan, S., Er, A.O., Camuşcu N., Aslan E. (2007). Tool wear evaluation by vibration analysis during end milling of AISI D3 Cold work tool steel with 35 HRC hardness. *NDT&E International*, **40**: 121-126.
- Özdemir, K., Çakır, M.C. (2008). Kesme parametrelerinin başlangıç aşınmasına olan etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Uludağ Üniversitesi **13**: 2.
- Özdeveci, M. (2001). Eğitim tipi CNC frezesinin tasarımı ve imalatı. makine eğitimi A.B.D. makine eğitimi programı. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Polini, W. and Turchetta S. (2004). Force and specific energy in stone cutting by diamondmill. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **44**: 1189-1196.
- Richetti, A., Machado, A.R., Da Silva, M.B., Ezugwu, E.O. and Bonney, J. (2004). Influence of the number of inserts for tool life evaluation in face milling of steels. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **44**: 695–700 (2004).
- Rosa, L.G., Amaral, P.M., Anjinho C.A. and Fernandes, J.C. (2004). Evaluation of diamond tool behaviour for cutting stone materials. *Industrial Diamond Review*, **1**: 45-50.

- Sarıışık, G., Oyman, E. (2009). Mermer atıklarının değerlendirilmesinde bilgisayar kontrollü doğal taş işleme makinaları (CNC) kullanımını ile yeni ürün geliştirme, mermer artıklarının değerlendirilmesi ve çevresel etkilerinin azaltılması. I. Mermer Artıklarının Değerlendirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması Sempozyumu, Diyarbakır, 16-17 Ekim.
- Sarıışık G ve Özkan E, (2015). Bilgisayar kontrollü makineler (CNC) ile doğal taş artıklarının işlenmesi ve modellenmesi. 7. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 3-4 Mart.
- Sözöz H., Girit O., Kalaycı H., Akçay S. (2008). CNC Tornalama işleminde takım aşınmasının optimizasyonu. Proceedings of 12th International Materials Symposium (IMSP'2008), İstanbul, 15- 17 October.
- Sprunt, A.D. (2000). A Three Axis CNC router design. Submitted to the Department of Mechanical Engineering in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Bachelor of Science At The Massachusetts Institute of Technology, USA
- Şentürk, A, Gündüz L, Tosun YI, Sarıışık A. (1996). Marble technology (in Turkish). Tuğra Ofset, Isparta, 242 sf.
- Taşgetiren, S., Ucu, İ. (2004). Mermer kesme diskinin sonlu elemanlar metodu ile doğal frekansların belirlenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Teknolojik Araştırmalar, **C(1)**: 9-17.
- Tönshoff, H. K., Hillmann-Apmann, H. and Asche, J. (2002). Diamond tools in stone and civil engineering industry: cutting principles, wear and applications. *Diamond and Related Materials*, **11**: 736-741.
- Tönshoff, H.K., Wobker, H.G. and Przywara, R. (1993). Das arbeitsverhalten von werkzeugen zum Trennschleifen von gestein. *Industrial Diamond Review*, **3**: 198-205.
- Tunç, T. (2006). 5-Eksen frezeleme süreçlerinin geometrik analizi ve optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilimdalı, İstanbul.
- Turchetta, S. (2012). Cutting force and diamond tool wear in stone machining, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **61**: 441–448.

- Ucun, İ., Aslantaş, K., Büyükağış, İ.S., Taşgetiren, S. (2013). Effect of cooling liquids on cutting process using diamond segmented disc of naturel stones. *J. of Proc IMECHE Partc: Mechanical Engineering Science* **227(10)**: 2315-2327.
- Ucun, İ., Aslantaş, K., Büyükağış, İ.S., Taşgetiren, S. (2012). Micromechanical modelling of diamond debonding in couposite segments, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, **50 (2)**: 609-626.
- Ucun, İ., Aslantaş, K., Büyükağış, İ.S., Taşgetiren, S. (2011). An investigation of the effect of diamond concertration and matrix material couposition in the circular sowing process of granites, *proc. IMECHE Partc: Journal of Mechanical Sience* , **225**: 17-27.
- Ucun, İ., Büyükağış, İ.S., Aslantaş, K. (2009). Mermer kesme işleminde bor yağı katkılı soğutma sıvısının disk performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Mühendislik ve Mimarlık Fakülte Dergisi, Gazi Üniversitesi*, **24-3**: 435-441.
- Ucun, İ., Aslantaş, K., Büyüksağış, İ.S. (2008). Kayaç kesme işleminde kullanılan elmas soketli kesici diskin kesme performansının incelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Teknolojik Araştırmalar*, **3**: 33-40.
- Ucun, İ., Taşgetiren, S. (2005). Mermer kesme disklerinin sonlu elemanlar metodu ile zorlanmış titreşim analizi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Teknolojik Araştırmalar*, **C(2)**: 25-31.
- Unver, B. (1992). Kayaların testerelerle kesilebilirliğinin pratik olarak belirlenebilmesi için istatistiksel bir yaklaşım. *Madencilik Dergisi*, **31**: 3.
- Varol, R., Yalçın B., Yılmaz N. (2005). Bilgisayar destekli imalatta (CAM), CAM programi kullanılarak parça imalatının gerçekleştirilmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **3**: 47-57.
- Yalçın, B., Ucun, İ., Koru, M. (2007). Mermer kesme testerelerinde oluşan kesme kuvvetinin bulanik mantık (BM) yöntemiyle modellenmesi. *Mühendislik ve Mimarlık Fakülte Dergisi, Gazi Üniversitesi*, **22-2**: 329-336.
- Yu, Y.Q., Zhang, Y.F., Li, Y. and Xu, X.P. (2006). Sawing of granite with side-slotted diamond segments. *Key Engineering Materials*, **315-316**: 103-107.

- Xu, X., Li, Y. and Yu, Y. (2003). Force ratio in the circular sawing of granites with a diamond segmented blade. *Journal of Materials Processing Technology*, **139**: 281-285.
- Xu, X.P. and Li, Y. (2003). The effects of swarf in the diamond sawing of granite. *Key Engineering Materials*, **250**: 187-193.
- Wang, C.Y., Hu, Y.N. and Ding, H.N. (2004). Cutting forces in sawing process of reinforced concrete. *Materials Science Forum*, **471-472**: 292-297.
- Wang, C.Y. and Clausen, R. (2003). Computer simulation of stone frame sawing process using diamond blades. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **43**: 559-572.
- Wang C.Y. and Clausen R. (2002). Marble cutting with single point cutting tool and diamond segments. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **42**: 1045-1054.
- Wobker, H.G. and Przywara, R. (1994). Trennschleifen von beton und naturstein. *Bauverfahrenstechnik*, Februar, 9-13.
- Wong, S.V. and Hamouda, A.M.S. (2002). Robotics and computer-integrated manufacturing. **18-1**: 1-12
- Wright, D.N. and Cassapi, V.B. (1985). Factors influencing stone sawability. *Industrial Diamond Review*, **2**: 84-87.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Beytullah KARAMAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar-1988
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0543 882 01 34 - beytullah_88-25@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyon Lisesi, 2006
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Maden Mühendisliği Bölümü, 2013
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
2016

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

2013-2014 Uğur Mermer San. Tic. Ltd. Şti. Üretim Müdürü
2014-2015 Merdivenci Mermer ve İnş.San. Tic. Ltd. Şti. İşletme Müdürü

Yayınları (SCI ve diğer) :

A.Sarışık ve B. Karaman. (2015). Traverten Artıklarının Mikron Tane Boyutunda Yeni Ürün Olarak Çimentolu Dolguda Kullanımının Araştırılması. Ulusal 7.Kırmetaş Sempozyumu, İstanbul, 5-6 Mart