



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**NANOPARTİKÜLLÜ MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA
YÖNTEMİNİN CW511L ALAŞIMININ SÜRDÜRÜLEBİLİR
İMALATINA ETKİSİ**

MERT SAPAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. FUAT KARA**

DÜZCE, 2022

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

NANOPARTİKÜLLÜ MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA
YÖNTEMİNİN CW511L ALAŞIMININ SÜRDÜRÜLEBİLİR
İMALATINA ETKİSİ

Mert SAPAZ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Fuat KARA

Düzce Üniversitesi

Eş Danışman

Öğr. Gör. Dr. Onur ÖZBEK

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Fuat KARA

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Engin NAS

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDIN

Karabük Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 23/06/2022

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

23 Haziran 2022

Mert SAPAZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı değerli hocalarım Doç. Dr. Fuat KARA ve Öğr. Gör. Dr. Onur ÖZBEK'e teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca deneylerimi gerçekleştirdiğim Düzce Üniversitesi Cumayeri Meslek Yüksekokulu'na ve desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Engin NAS hocama teşekkür ederim.

Bu tez çalışması boyunca yardımlarını ve değerli katkılarını esirgemeyen sevgili aileme, çalışma arkadaşlarıma ve Emre ŞIK'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP- 2021.06.05.1216 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

23 Haziran 2022

Mert SAPAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. PİRİNÇ ALAŞIMLARI.....	4
2.1. PİRİNÇ ALAŞIMLARININ TARİHÇESİ.....	4
2.2. PİRİNÇ ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ.....	4
2.3. BAKIR – ÇİNKO FAZ DİYAGRAMI VE KAFES SİSTEMİ	5
2.4. YAPILARINA GÖRE PİRİNÇ ALAŞIMLARI	5
2.4.1. Alfa Pirinçleri	5
2.4.2. Alfa-Beta Pirinçleri	6
3. KESME SIVILARI.....	7
3.1. KESME SIVILARININ SINIFLANDIRILMASI.....	7
3.1.1. Yağ Bazlı Kesme Sıvıları	8
3.1.1.1. Mineral Yağlar.....	8
3.1.1.2. Hayvansal Yağlar.....	9
3.1.1.3. Bitkisel Yağlar.....	9
3.1.2. Su Bazlı Kesme Sıvıları.....	9
3.1.2.1. Emülsiyon Yağlar.....	9
3.1.2.2. Yarı Sentetik Yağlar	10
3.1.2.3. Sentetik Yağlar.....	10
3.2. KESME SIVILARININ ÇEVRE VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ.....	11
3.2.1. Cilt Hastalıkları.....	11
3.2.2. Solunum Hastalıkları.....	11
4. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA sistemi	13
4.1. NANOPARTİKÜLLER VE ÖZELLİKLERİ.....	14
5. LİTERATÜR TARAMASI.....	16
6. MATERYAL METOT.....	31

6.1. DENEY NUMUNESİ MALZEMESİ	31
6.2. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU ..	31
6.3. DENEYLERDE KULLANILAN KESME PARAMETRELERİ	32
6.4. DENEYLERDE KULLANILAN MQL SİSTEMİ VE MQL SIVISI	33
6.5. DENEYLERDE KULLANILAN NANOPARTİKÜLLERİN HAZIRLANMASI	35
6.6. KESME SIVILARININ VİSKOZİTE ÖLÇÜMÜ	37
6.7. KESME BÖLGESİ SICAKLIKLARININ ÖLÇÜLMESİ.....	39
6.8. KESİCİ TAKIM AŞINMASI DEĞERLERİNİN ÖLÇÜLMESİ	40
6.9. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ.....	42
6.10. DENEY DÜZENİĞİ	43
7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	46
7.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	46
7.2. KESME BÖLGESİ SICAKLIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ	55
7.3. KESİCİ TAKIM AŞINMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ	60
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	74
8.1. SONUÇLAR.....	74
8.2. ÖNERİLER.....	75
9. KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	86

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Kesme sıvılarının sınıflandırılması [46].	8
Şekil 4.1. Tek kanallı dıştan püskürtmeli MQL sisteminin şematik gösterimi.	14
Şekil 6.1. Deney numunesi malzemesi.	31
Şekil 6.2. CNMG 120408 K10 kaplamasız tungsten karbür kesici takım boyutları [95].	32
Şekil 6.3. TCLNR 2020 K serisi takım tutucu boyutları [96].	32
Şekil 6.4. Bielomatik B1-210 MQL Sistemi [97].	34
Şekil 6.5. MQL sisteminde kullanılan nozul sistemi.	35
Şekil 6.6. Nanopartiküllerin hazırlanması aşamaları a) Nanopartiküllerin hazırlanması ve ölçülmesi b) Mekanik karıştırma prosesi c) Ultrasonik karıştırma prosesi d) Manyetik karıştırma prosesi.	37
Şekil 6.7. Anton Paar MCR102e reometre cihazı.	38
Şekil 6.8. Termal kameranın deney düzeneğindeki konumu.	39
Şekil 6.9. FEI Quanta FEG 250 taramalı elektron mikroskop.	41
Şekil 6.10. Dino Lite 2.0 mikroskop [98].	41
Şekil 6.11. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı [99].	42
Şekil 6.12. Phase View marka optik profilometre.	43
Şekil 6.13. Accuway SJ 20 CNC torna tezgahı.	44
Şekil 6.14. Deney düzeneği a) CNC torna tezgahı b) MQL sistemi c) Termal sıcaklık programı d) Dijital mikroskop programı e) Deney numunesi f) Termal kamera g) Kesici takım ğ) Kesici takım tutucu h) MQL nozulu.	45
Şekil 7.1. Farklı işleme koşullarında Ra değerleri (V=160 m/dk).	47
Şekil 7.2. Farklı işleme koşullarında Ra değerleri (V=240 m/dk).	48
Şekil 7.3. Farklı işleme koşullarında Ra değerleri (V=320 m/dk).	48
Şekil 7.4. Farklı işleme koşullarında Ra değerleri (V=400 m/dk).	49
Şekil 7.5. Farklı kesme sıvılarının dinamik viskozite değerleri.	49
Şekil 7.6. Farklı işleme koşullarında Rz değerleri (V=160 m/dk).	50
Şekil 7.7. Farklı işleme koşullarında Rz değerleri (V=240 m/dk).	50
Şekil 7.8. Farklı işleme koşullarında Rz değerleri (V=320 m/dk).	51
Şekil 7.9. Farklı işleme koşullarında Rz değerleri (V=400 m/dk).	51
Şekil 7.10. Sabit kesme hızı ve ilerleme hızında kuru işleme koşulunda yüzey topografyası değerleri (V=160 m/dk, f=0,16 mm/dev).	54
Şekil 7.11. Sabit kesme hızı ve ilerleme hızında MQL işleme koşulunda yüzey topografyası değerleri (V=160 m/dk, f=0,16 mm/dev).	54
Şekil 7.12. Sabit kesme hızı ve ilerleme hızında MQL+ÇDKN işleme koşulunda yüzey topografyası değerleri (V=160 m/dk, f=0,16 mm/dev).	55
Şekil 7.13. Sabit kesme hızı ve ilerleme hızında MQL+Nano Grafen işleme koşulunda yüzey topografyası değerleri (V=160 m/dk, f=0,16 mm/dev).	55
Şekil 7.14. Farklı kesme koşulları altında talaş akışının ve kesme bölgesi sıcaklığının termal görüntüsü.	56
Şekil 7.15. Farklı işleme koşullarında en yüksek kesme bölgesi sıcaklıkları (V=160 m/dk).	58
Şekil 7.16 Farklı işleme koşullarında en yüksek kesme bölgesi sıcaklıkları (V=240 m/dk).	59
Şekil 7.17. Farklı işleme koşullarında en yüksek kesme bölgesi sıcaklıkları (V=320 m/dk).	59

Şekil 7.18. Farklı işleme koşullarında en yüksek kesme bölgesi sıcaklıkları (V=400 m/dk).	60
Şekil 7.19. Farklı işleme koşullarında kesici takım yanak aşınması değerleri (V=160 m/dk).	62
Şekil 7.20. Farklı işleme koşullarında kesici takım yanak aşınması değerleri (V=240 m/dk).	63
Şekil 7.21. Farklı işleme koşullarında kesici takım yanak aşınması değerleri (V=240 m/dk).	63
Şekil 7.22. Farklı işleme koşullarında kesici takım yanak aşınması değerleri (V=240 m/dk).	64
Şekil 7.23. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda SEM fotoğrafı (V=400 m/dk, f=0,16 mm/dev).	66
Şekil 7.24. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda EDX 1 ve EDX 2 analizleri (V=400 m/dk, f=0,16 mm/dev).	66
Şekil 7.25. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda SEM fotoğrafı (V=400 m/dk, f=0,24 mm/dev).	67
Şekil 7.26. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda EDX 1 ve EDX 2 analizleri (V=400 m/dk, f=0,24 mm/dev).	68
Şekil 7.27. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda SEM fotoğrafı (V=400 m/dk, f=0,32 mm/dev).	68
Şekil 7.28. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda EDX 1 ve EDX 2 analizleri (V=400 m/dk, f=0,32 mm/dev).	69
Şekil 7.29. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda SEM fotoğrafı (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).	69
Şekil 7.30. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda EDX 1 ve EDX 2 analizleri (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).	70
Şekil 7.31. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda EDX 3 analizi (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).	70
Şekil 7.32. Karbür kesici takımın MQL işleme koşulunda SEM fotoğrafı (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).	71
Şekil 7.33. Karbür kesici takımın MQL işleme koşulunda EDX 1 ve EDX 2 analizi (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).	71
Şekil 7.34. Karbür kesici takımın MQL+ÇDKN işleme koşulunda SEM fotoğrafı (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).	72
Şekil 7.35. Karbür kesici takımın MQL+ÇDKN işleme koşulunda EDX 1 analizi (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev),	72
Şekil 7.36. Karbür kesici takımın MQL+Nano Grafen işleme koşulunda SEM fotoğrafı (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).	73
Şekil 7.37. Karbür kesici takımın MQL+Nano Grafen işleme koşulunda EDX 1 analizi (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).	73

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 6.1. CW511L pirinç alaşımının ağırlıkça kimyasal bileşimi.	31
Çizelge 6.2. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.	33
Çizelge 6.3. Bielomatik B1-210 modeli teknik özellikleri.	34
Çizelge 6.4. Samnos ZM22W yağı teknik özellikleri.	34
Çizelge 6.5. Nanografen özellikleri	36
Çizelge 6.6. Çok duvarlı karbon nanotüp özellikleri.	36
Çizelge 6.7. Sodyum dodesil sülfat özellikleri.	36
Çizelge 6.8. Anton Paar MCR102e reometre teknik özellikleri.	38
Çizelge 6.9. OPTRIS marka PI 450 termal kamera teknik özellikleri.	40
Çizelge 6.10. Dino Lite 2.0 mikroskop teknik özellikleri.	42
Çizelge 6.11. Mahr PS10 profilometre cihazı teknik özellikleri	43
Çizelge 6.12. Accuway SJ 20 CNC torna tezgahının teknik özellikleri.	44



KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
Al_2O_3	Alüminyum Oksit
AlTiN	Alüminyum Titanyum Nitrür
ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
BUE	Built Up Edge (Yığıntı Talaş Oluşumu)
CBN	Cubic Bor Nitride (Kübik Bor Nitrür)
CNC	Computer Numerical Control
CVD	Chemical Vapour Deposition (Kimyasal Buhar Biriktirme)
ÇDKN	Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
EDX	Energy Dispersive X-Ray (Enerji Dağılımlı X-Işını)
H_3BO_3	Borik Asit
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
MIT	Massachusetts Institute of Technology (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü)
MoS_2	Molibden Disülfid
MQL	Minimum Quantity Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama)
NC	Numerical Control (Nümerik Kontrol)
PVD	Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)
RPM	Revolutions Per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)
S/N	Signal/Noise Rate (Sinyal/Gürültü Oranı)
SEM	Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrür
TiN	Titanyum Nitrür
TiO_2	Titanyum Dioksit

SİMGELER

a	Kesme Derinliği, (mm)
Al	Alüminyum
B	Bor
C	Karbon
C	Karbon
Cr	Krom
Cu	Bakır
cP	Centipoise, (0,001 Pa·s)
f	İlerleme Hızı, (mm/dev)
F	Kesme kuvveti, (N)
HRC	Rockwell sertlik değeri
Mo	Molibden
Ni	Nikel
O	Oksijen
MPa	Mega Paskal, (10^6 N/m ²)
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri, (μ m)
Rp	En büyük tepe yüksekliği, (μ m)
Rt	En büyük yüksekliği, (μ m)
Rv	En büyük çukur yüksekliği, (μ m)
Rz	En yüksek 5 girinti ve çıkıntının ortalama yüzey (μ m)
Ti	Titanyum
V	Kesme Hızı, (m/dk)
Vb	Yanak aşınması, (mm)
Zn	Çinko
μ m	Mikron metre
α	Alfa
β	Beta
γ	Gama

ÖZET

NANOPARTİKÜLLÜ MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA YÖNTEMİNİN CW511L ALAŞIMININ SÜRDÜRÜLEBİLİR İMALATINA ETKİSİ

Mert SAPAZ

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Fuat KARA, Öğr. Gör. Dr. Onur ÖZBEK

Haziran 2022, 85 sayfa

Makine, imalat ve savunma sanayisinde her geçen gün kullanımı artan aynı zamanda çevreci MQL (Minimum Quantity Lubrication - Minimum Miktarla Yağlama) yöntemi geleneksel soğutma sıvılarının yerini almaktadır. MQL yönteminde yapılan talaş kaldırma işlemlerinde uygulanan basınçlı hava, kullanılan malzeme ve kesici takım arasında bir yağ filmi oluşturmasıyla kesme bölgesinde sürtünmenin azalmasına sebep olmaktadır. Aynı zamanda kesme bölgesinde oluşan ısının talaş ile uzaklaştırılmasına, kesme bölgesinin daha az ısınmasına ve bununla birlikte kesici takım ömrüne pozitif etki etmektedir. Artan kesici takım ömrü ve ürün kalitesi ile birlikte azalan kesme kuvveti sayesinde kesme sıvıları talaşlı imalatla verimliliğin artmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada CW511L pirinç malzemesi kuru, MQL, MQL+ÇDKN (Çok Duvarlı Karbon Nanotüp), MQL+Nano Grafen yöntemleri ile tornalanarak gerçekleştirilmiştir. Nano MQL yöntemiyle yapılacak deneylerde kesme sıvısı içerisine nano boyutta tozlar ilave edilerek yapılmıştır. Tornalama deneyleri 160, 240, 320, 400 m/dk kesme hızlarında, 0,16, 0,24, 0,32 ve 0,40 mm/dev ilerleme hızlarında, 1,5 mm sabit talaş derinliğinde ve kaplamasız tungsten karbür kesici takımlarla yapılmıştır. Toplam 64 adet deney yapılmış olup deneyler sonucunda iş parçası yüzey pürüzlülüğüne, yüzey topografyasına, kesme bölgesi sıcaklığına, kesici takım aşınmasına etkileri ve farkları ortaya koyularak incelenmiştir. Deneyler sonucunda MQL+Nano Grafen yönteminin kuru işlemeye göre yüzey pürüzlülüğünde %57,75, kesme bölgesi sıcaklığında %16,46, kesici takım aşınmasında ise %59,26 daha iyi değerler elde edilmiştir.

Anahtar sözcükler: CW511L, MQL, Nano Grafen, Nano MQL, Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Aşınması.

ABSTRACT

THE EFFECT OF THE MINIMUM QUANTITY LUBRICATION METHOD WITH NANOPARTICLES ON THE SUSTAINABLE MANUFACTURING OF CW511L ALLOY

Mert SAPAZ

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Manufacturing
Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fuat KARA, Dr. Onur ÖZBEK

June 2022, 85 pages

The environmentally friendly MQL (Minimum Quantity Lubrication) method, which is increasingly used in the machinery, manufacturing and defense industries, replaces traditional coolants. Compressed air applied in machining processes performed in the MQL method creates an oil film between the material used and the cutting tool, causing a decrease in friction in the cutting area. At the same time, it has a positive effect on the removal of the heat generated in the cutting zone with chips, less heating of the cutting zone, and on the life of the cutting tool. Thanks to the increased cutting tool life and product quality, as well as the reduced cutting force, cutting fluids increase productivity in machining. In this study, CW511L brass material was turned by dry, MQL, MQL+ÇDKN (Multi-Walled Carbon Nanotube), MQL+Nano Graphene methods. In the experiments to be carried out with the nano MQL method, nano-sized powders were added into the cutting fluid. Turning experiments were carried out with uncoated tungsten carbide cutting tools at cutting speeds of 160, 240, 320, 400 m/min, feed rates of 0,16, 0,24, 0,32 and 0,40 mm/rev and a fixed depth of cut of 1,5 mm. A total of 64 experiments were carried out and as a result of the experiments, the effects and differences on the workpiece surface roughness, surface topography, cutting zone temperature, cutting tool wear were examined. As a result of the experiments, 57,75% better values in surface roughness, 16,46% in cutting zone temperature and 59,26% better in cutting tool wear were obtained compared to dry machining of MQL+Nano Graphene method.

Keywords: CW511L, MQL, Nano Graphene, Nano MQL, Surface Roughness, Tool Wear.

1. GİRİŞ

18. yüzyıl Sanayi Devrimi öncesinde kesme ve şekillendirme işlemi, insan gücü kullanılarak el aletleri yardımıyla yapılmaktaydı. Sanayi Devrimi ile birlikte, insan ve hayvan gücüne dayalı tarımsal toplum yapısından makine gücüne dayalı kentsel toplum yapısına geçiş başlamıştır. İskoç mucit ve mühendis James Watt tarafından geliştirilen ve sanayinin hizmetine sunulan buhar makineleri, Sanayi Devrimi'nin başlamasına büyük katkı sağlamıştır. Buhar makinesinin icadı ve geliştirilmesine paralel olarak Danimarkalı bilim adamı Hans Christian Oersted ve İngiliz fizikçi Michael Faraday manyetik alan, elektromanyetizma ve elektromanyetik indükleme üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda, 1821 yılında Michael Faraday ilk elektrik motoru keşfi ile günümüz talaşlı imalatın temelleri atılmıştır [1]–[7].

18. ve 19. yüzyıllarda bilim ve sanayideki büyük atılım sonrasında metal parçalar, kol gücüne dayalı geleneksel üretim yöntemi yerini universal tezgahlara bırakmıştır. 19. yüzyılın ortalarında, universal tezgahların kullanılması, parçaların belirli bir tolerans aralığında seri bir şekilde üretiminin başlamasında önemli bir etken olmuştur. 20. yüzyılda gelişimini sürdüren otomotiv, savunma ve havacılık endüstrilerindeki ihtiyaçlar doğrultusunda, farklı türde ve işlevde universal tezgah çeşitleri ortaya çıkmıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrasında havacılık endüstrisinde kompleks uçak parçalarının istenilen boyut ve ölçüde üretilmesinde ciddi zorluk ve zaman kaybı yaşanmıştır. ABD hava kuvvetlerinin talimatı üzerine Parsons Corporation şirketi ve MIT (Massachusetts Institute of Technology) Üniversitesi işbirliğiyle NC (Numerical Control) sistemine sahip freze tezgahı üretilmiştir. 1960 ve 1970'li yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda, delikli şerit sistemi ile aldıkları komutları uygulayan NC tezgahlar yerini günümüzde kullanılan CNC (Computer Numerical Control) tezgahlara bırakmıştır. CNC tezgahların doğuşu ile birlikte talaşlı imalat istenilen boyut, yüzey kalitesi ve seri üretim kapasitesine sahip tezgahlar geliştirilmiştir [1]–[9].

20. yüzyılda gelişen talaşlı imalat teknolojisi ile birlikte yüksek kesme ve ilerleme hızlarına ihtiyaç duyulmuştur. Artan kesme hızı ve ilerleme hızı sonucunda takım-talaş

ara yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklıklar, takım ömrünü ve parça kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. F.W. Taylor yaptığı çalışmalarda, talaş kaldırma işlemi sırasında az miktarda su kullanarak kesme hızında %40'a varan artış elde etmiştir. Taylor'ın yapmış olduğu çalışmalar sonrasında kesme sıvıları talaşlı imalat tekniklerinin ve kesici takım malzemelerinin ilerlemesine paralel olarak gelişimlerini sürdürmüştür. Günümüzde talaşlı imalatta iş parçasının doğru ve istenilen kalitede olmasında kesme sıvıları önemli bir rol oynamaktadır. Kesme sıvıları takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmeyi minimuma indirerek kesme bölgesinde oluşan ısının azaltılmasında doğrudan etkisi bulunmaktadır. Kesme bölgesinde oluşan ısının azaltılması, kesici takım ömrünün iyileşmesini ve iş parçasının yüzey kalitesinin artmasını sağlamaktadır [10]–[13].

Kesme sıvıları, soğutma ve yağlama özelliği ile üretim verimliliğinin artmasında önemli bir rol oynasa da, toplam üretim maliyetinin %7 ile %17 arasında değişen bir kısmını oluşturması, aynı zamanda doğaya ve insan sağlığına ciddi ölçüde zarar vermesi, sürdürülebilirlik açısından ciddi dezavantajlar oluşturmaktadır [14]–[17].

Sürdürülebilirlik, verimli bir kaynak kullanımı ile çevreye ve insan sağlığına zarar veren etkilerin ortadan kaldırılması, gelecek nesillerin ekonomik, ekolojik ve aynı zamanda sosyal koşullarına devam edebilmelerini sağlamaları olarak tanımlanabilir. 20. yüzyılın ikinci yarısındaki imalat sektöründe artan endüstriyelleşme, kesme sıvısı olarak madeni ve sentetik yağ tüketimini arttırmıştır. Kullanılan bu yağların geri dönüşümünün zor olması, kullanımı tamamlandıktan sonra bertaraf edilmemesi durumunda çevreye verdiği ekolojik zararın büyük olması, aynı zamanda insan vücuduna ve solunum yoluna verdiği rahatsızlıkların ciddi boyutta olması, imalat alanında sürdürülebilir bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır [11], [18]–[27].

İmalat alanında sürdürülebilir yaklaşımın sağlanması adına geleneksel soğutma-yağlama sistemlerine alternatif olarak MQL yöntemi ortaya çıkmıştır. MQL yöntemi, genel olarak bitkisel bazlı kesme sıvılarının kullanıldığı basınçlı hava yardımıyla kesici takım içinden veya dışından kesme bölgesine püskürtülmesiyle gerçekleştirilen bir soğutma-yağlama yöntemidir. MQL yönteminde kullanılan bitkisel bazlı kesme sıvıları, hem insan sağlığına hem de çevreye ekolojik olarak zarar vermezken aynı zamanda üretim maliyetlerini azaltmaktadır. Son yıllarda MQL yönteminde kullanılan kesme sıvısı içerisine nanopartiküllerin eklenmesi ile kesme bölgesinde oluşan ısının ortamdan daha verimli bir

şekilde uzaklaştırılması sağlanmıştır. Nanopartiküllerin yüksek termal iletkenliği ile talaşın kesme bölgesinden daha rahat uzaklaştırıldığı, iş parçası yüzey kalitesini arttırdığı, ayrıca kullanılan kesici takım aşınmasını pozitif yönde etkilediği ortaya koyulmuştur [14], [24]–[28].

Bu çalışmada, son yıllarda kullanımı gittikçe artan CW511L pirinç alaşımının tornalanması esnasında MQL yönteminde kullanılan bitkisel esaslı kesme sıvısının içerisine ilave edilen çok duvarlı karbon nanotüp ve nano grafenin, kesme bölgesi sıcaklığına, kesici takım aşınmasına ve iş parçası yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiş ve en uygun işleme parametreleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmayla geleneksel kesme sıvılarına alternatif olan MQL yöntemiyle işlemenin, sürdürülebilir imalata katkı sağlanması amaçlanmıştır.



2. PİRİNÇ ALAŞIMLARI

2.1. PİRİNÇ ALAŞIMLARININ TARİHÇESİ

Tarihi milattan öncesine dayanan pirinç, bakır ve çinko elementlerinin alaşımından oluşan bir alaşım malzemesidir. Pirinç ilk olarak Asya Kıtasında keşfedilerek kullanılmaya başlanmıştır. Genellikle altın rengine benzerliğinden dolayı para, süs eşyası, heykel ve savaş aletleri yapımında sıklıkla kullanılmıştır. Çinko metalinin ergime ve kaynama noktalarının çok yüksek olmamasına rağmen üretimi için 1000 °C'den daha yüksek sıcaklıklar gerektiği için yıllar boyunca pirinç imalinde zorluklar yaşanmıştır [29]–[31]. Sanayi Devrimi ile birlikte 1738'de William Champion, kalamın ve odun kömüründen damıtılarak çinko üretimi patentini almasıyla pirinç üretimi kolaylaşarak önemi artmıştır. Bu dönemde üretilen pirinçler tekstil sanayisine yönelik iğnelerde kullanılmıştır. 1894'te Alexander Dick tarafından icat edilen ekstrüzyon presleri, pirinç boru üretimine olanak sağlamıştır. Günümüzde ise pirinç alaşımları yüksek termal ve elektriksel iletkenliğin yanı sıra olağanüstü antibakteriyel özelliklere sahip olmasından dolayı elektrik, elektronik, otomotiv ve sağlık sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [29]–[37].

2.2. PİRİNÇ ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Pirinç alaşımları, süneklik, kolay dövülebilirlik, kolay işlenebilirlik, yüksek korozyon direnci, yüksek darbe dayanımı, güneş ışığı karşısında renk değiştirmeme, kıvılcım çıkarmama, uygun maliyet, iyi mukavemet özellikleri, yüksek termal ve elektriksel iletkenlik özelliklerine sahiptirler. Pirinç alaşımlarında kullanılan çinko elementinin hacimce oranının değişmesi, farklı renklerde pirinç alaşımlarının oluşmasını sağlamaktadır. Pirinç üretiminde bakır elementinin içerisine %10 oranında çinko elementi ilavesi ile bronz renk, %15 oranında çinko elementi ilave edilmesiyle altın renk, %20-38 oranında çinko elementi ilave edilmesiyle sarı renk, %45 ve üzeri bir oranda çinko elementi ilavesi ile gümüşü bir beyaz renk elde edilmektedir [32]–[37]

2.3. BAKIR – ÇİNKO FAZ DİYAGRAMI VE KAFES SİSTEMİ

Pirinç alaşımını oluşturan bakır-çinko faz diyagramında 3 (alfa, beta ve gama) temel tip faz vardır. Alfa (α) fazı %37 oranından daha az çinko elementi içeren pirinç alaşımlarıdır. Alfa pirinci yüzey merkezli kübik yapıdadır. Alfa pirinci iyi mukavemet ve süneklik özelliğine sahiptir ve talaşsız olarak imali mümkündür. Beta (β) katı çözültisi %32-37 oranında çinko elementi içeren pirinç alaşımlarıdır. Beta pirinci hacim merkezli kübik kristal yapıdadır. Beta pirinci sıcak işlem kabiliyetinin en yüksek olduğu pirinç alaşımlarının başında gelir. Beta pirinci alfa pirincine göre daha sert ve kırılgan yapıdadır. β fazı 458- 468 °C sıcaklık aralığında çinko bileşimine göre β' fazına dönüşür. β fazındaki düzensiz yapı β' fazına dönüşüm sonrasında bakır ve çinko atomları düzenli yapıya girmektedir. % 37-46 oranları arasında çinko elementi içeren alaşımlarda ise alfa ve beta fazları bir arada bulunmaktadır. Gama (γ) fazında %45 oranından fazla çinko elementi içeren pirinç alaşımlarıdır. Gama pirincin yapısında bulunan Cu_2Zn_3 kristallerinden dolayı hem sıcak hem de soğuk olarak işlenebilirliği düşüktür. Gama pirincin endüstride kullanım alanı bulunmamaktadır [32]–[39].

2.4. YAPILARINA GÖRE PİRİNÇ ALAŞIMLARI

Endüstride kullanılan pirinçler yapılarına göre alfa ve alfa-beta olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

2.4.1. Alfa Pirinçleri

Alfa pirinçleri yapılarında α fazı içeren YMK yapıya sahip katı çözültileridir. Alfa pirinçleri oluşumu sırasında yaşanan dengesiz soğuma ile birlikte az da olsa beta fazı içerebilmektedir. Alfa pirinçleri oda sıcaklığında sünek olmaları dolayısıyla kolay işlenebilmektedir. Alfa pirinçlerine döküm ve plastik şekillendirme (derin çekme, eğme, soğuk haddeleme vb.) işlemleri sonucunda oluşabilecek kalıntı gerilmeleri ve gerilmeli korozyon kırılganlığını önlemek adına gerilim giderme tavlama yapılmaktadır. Oksijen, karbondioksit ve deniz suyu içeren ortamlarda kullanıldığında alfa pirinçlerinde çinkosuzlaşma oluşmaktadır. Çinkosuzlaşmayı önlemek adına pirinç alaşımın içerisine kalay ya da antimon ilave edilmektedir. Alfa pirinçlerin içerisine çinko elementi ilavesiyle mukavemeti arttırılmaktadır. Alfa pirinçleri genel olarak süs eşyalarında,

madeni paralarda, takılarda, kablolarda, soketlerde, fişek kutularında, mühimmat malzemelerinde, perde yaylarında sıklıkla kullanılmaktadır [32]–[41].

2.4.2. Alfa-Beta Pirinçleri

Alfa-beta pirinçleri yapılarında $\alpha+\beta'$ fazlarından içeren katı çözeltileridir. Bu pirinç alaşımları %54 ile %62 oranı arasında bakır elementi içermektedir. Alfa-beta pirinçleri içerdiği β' fazından dolayı alfa pirinçlerine göre oda sıcaklığında işlenmesi daha zor, sert ve gevrek bir yapıdadır. β fazının HMK yapıya sahip olmasından dolayı, Alfa-beta pirinçlerinin plastik şekillendirme işlemi yüksek sıcaklıkta uygulanmaktadır. Alfa-beta pirinçleri, alfa pirinçlerine göre daha yüksek mukavemet özelliklerine sahiptir ve genellikle somun, cıvata, musluk, conta, vana, su sayaçları, dişli parçaları, debriyaj diskleri gibi ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır [32]–[41].

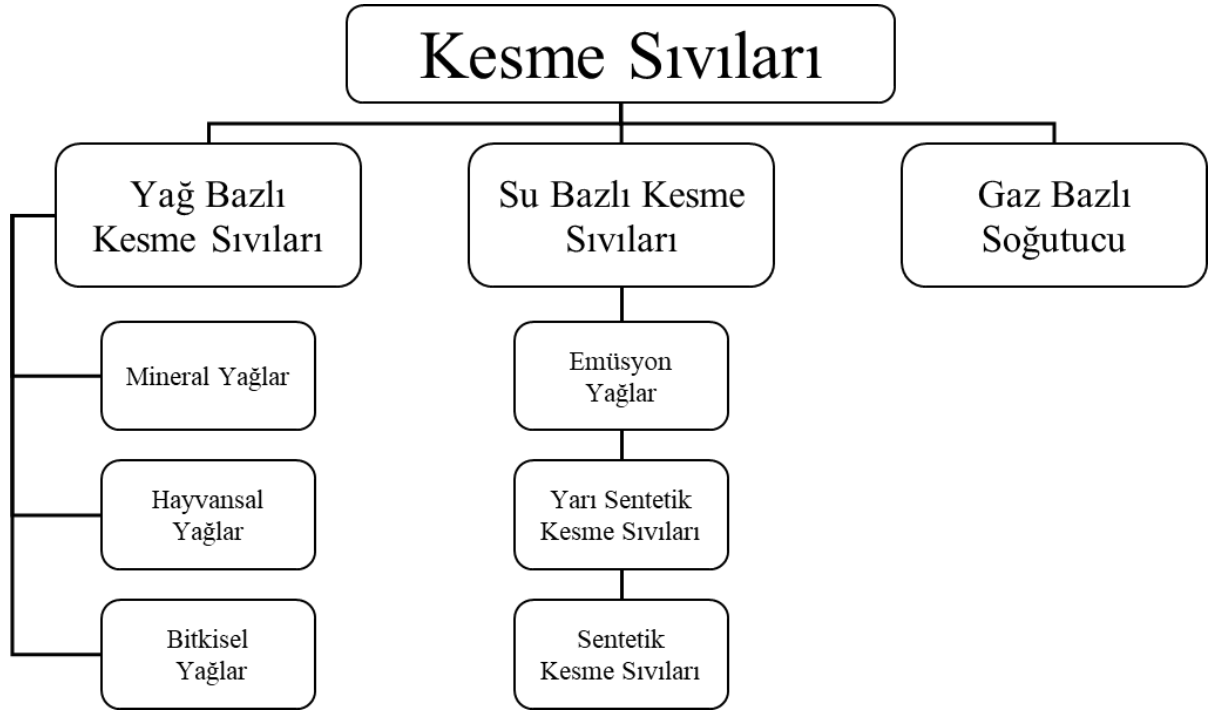


3. KESME SIVILARI

Talaşlı imalatla üretilen parçaların istenilen boyut ve yüzey kalitesinde olması aranan en temel özelliklerin başında gelmektedir. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takım ve iş parçası yüzeyinde sürtünme sonucu yüksek ısı meydana gelmektedir. Kesme bölgesinde oluşan yüksek ısı ile birlikte kesici takımlarda aşınmanın artması işlenen parçanın yüzey kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple talaş kaldırma işlemi esnasında kullanılan kesme sıvıları soğutma ve yağlama özelliği sayesinde kesme bölgesinde oluşan ısıyı ve sürtünmeyi azaltarak kesici takım ömrünün artmasını sağlamaktadır. Aşınmanın azalması, kesme sıvısının oluşturduğu yağ filmi sayesinde sürtünmenin kontrol altında tutulması, azalan kesici takım titreşimi ve kesme kenarının profilini uzun süre koruyabilmesi ile birlikte işlenen parçanın yüzey kalitesini artırmasına ve kesme kuvvetinin azalmasına olumlu etki etmektedir [10]–[13]. Artan takım ömrü ve ürün kalitesi ile birlikte azalan kesme kuvveti sayesinde kesme sıvıları talaşlı imalatla verimliliğin artmasına doğrudan etki etmektedir [10]–[13], [42]–[45].

3.1. KESME SIVILARININ SINIFLANDIRILMASI

Kesme sıvılarının genel olarak talaş kaldırma işlemi sırasında 2 temel fonksiyonu bulunmaktadır. Birincisi, talaş kaldırma esnasında kesme bölgesinde oluşan ısının atılmasıyla, kesme bölgesini soğutma fonksiyonudur. İkincisi ise kesici takım ile iş parçasının birbirlerine temas ettiği bölgede oluşan yüksek sürtünme kuvvetini azaltarak yağlama fonksiyonudur. Kesme sıvıları kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması Şekil 3.1’de verilmiştir [45]–[49].



Şekil 3.1. Kesme sıvılarının sınıflandırılması [46].

3.1.1. Yağ Bazlı Kesme Sıvıları

3.1.1.1. Mineral Yağlar

Mineral yağlar, hafif metallerin (alüminyum, pirinç, magnezyum vb.) işlenmesinde sıklıkla kullanılan, petrolden elde edilen hidrokarbonlardır. Mineral yağların, takım-iş parçası ara yüzeyini yağlama özellikleri çok yüksektir. Yağlama özelliğinin yüksek olması sayesinde kesme bölgesinde sürtünme ve sürtünme kaynaklı ısının azaltılmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Mineral esaslı kesme yağları, takım-iş parçası ara yüzeyini yağlarken, iş parçasının işlenmesi esnasında, tezgahın hareketli parçalarını da yağlar, ayrıca işlenmiş yüzeyde ve makine parçalarında korozyon ve oksidasyonu önlemeye katkıda bulunur. Saf mineral yağların, yağlama ve korozyona dayanım özelliklerinin yüksek olmasına rağmen, soğutma özellikleri iyi değildir. Bu sıvıların başka bir dezavantajı ise üstün yağlama özelliklerini yüksek sıcaklıklarda kaybetmeleridir. Bu özelliklerinden dolayı hafif metallerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılırlar [45]–[47].

Mineral yağlar, saf ve karışım halinde kullanılmakta olup naftenik mineral yağlar ve parafinik mineral yağlar olmak üzere iki temel kategoriye ayrılmaktadır. Mineral yağ içerisinde naftenik bağlı karbon atomları baskınsa “naftenik bazlı” yağlar, içerisinde

parafinik bağı karbon atomları baskınsa “parafinik bazlı” yağlar olarak adlandırılır. Parafinik yağlar daha iyi oksidatif kararlılık sağlar ve iş parçasının işlenmesi esnasında daha az dumanlanmaya sebep olurlar. Fakat yağlayıcı katkıları naftenik yağlar içinde daha fazla çözünülebilir ve uyumlu oldukları için naftenik yağlar daha çok tercih edilmektedir [45], [46].

3.1.1.2. *Hayvansal Yağlar*

Hayvansal yağlar, yüksek yağ oranına sahip hayvanlardan elde edilen, yağlama oranı yüksek yağ gruplarındandır. Hayvansal yağlardan özellikle yağ oranı yüksek olan domuz yağı sıklıkla tercih edilmektedir. Hayvansal yağlar organik ve çevreci bir yağ grubu olsa da üretim maliyetlerinin yüksek olması, kolay bozulma eğiliminde olmaları, bakteri üretmesi ve gelişimine müsait olmaları sebebiyle çok fazla tercih edilmemektedir [45], [47].

3.1.1.3. *Bitkisel Yağlar*

Bitkisel yağlar, mineral ve sentetik yağların olumsuz etkileri üzerine ortaya çıkmış olup biyolojik olarak çözünebilen bitkilerin tohumlarından üretilmektedir. Bitkisel yağlar yağlayıcılığı arttıran doğal feti asitleri ve bileşiklerini içerirler. Kanada yağı ve kolza tohumu bitkisel yağlarda en çok tercih edilen maddelerin başında gelmektedir. Bitkisel yağ moleküllerinin dipolar, yoğun ve homojen hizalanması güçlü ve dayanıklı bir yağlayıcı film tabakası oluşumunu sağlamaktadır. Oluşturduğu yağlayıcı film tabakası sayesinde sürtünme ve ısı oluşumunu azaltarak, iş parçası kalitesini ve genel işlem verimliliğini artırır. Bitkisel yağlar yüksek viskozitedeki mineral yağlara göre daha yüksek bir parlama noktasına sahiptir ve duman oluşumu riski daha azdır. İnsan sağlığına ve çevreye zararı olmayan bitkisel yağlar, mineral yağlara göre üretim maliyeti daha yüksektir [13], [45], [48], [49].

3.1.2. **Su Bazlı Kesme Sıvıları**

3.1.2.1. *Emülsiyon Yağlar*

Emülsiyon yağlar, genel olarak mineral yağ, emülgatör, korozyon inhibitörü ve koruyucu katkı maddelerinin belirli oranda suya karıştırılmasıyla elde edilen bir yağ çeşididir. Emülsiyon yağlarda suyun yağ oranı 7:1,10:1 ve 30:1 gibi oranlarda olmaktadır. Emülsiyon yağlarındaki tane büyüklükleri genellikle 2-50 µm boyutları arasındadır.

Mineral yağlar su ile karıştırıldıklarında sütlü veya stms emülsiyonlar oluştururlar. Emülsiyon yağların uzun ömürlü bir kullanım sağlayabilmesi ve talaşlı imalat operasyonlarında verimli olabilmesi için karışımın homojen kalması ve pH dengesinin istenilen şartlarda sağlanması gerekmektedir [45], [47].

Emülsiyon yağlar, yağ ve su karışımından oluştuğu için soğutma ve yağlama özelliği yüksektir. Bu sebeple demir esaslı ve demir esaslı olmayan metallerin işlenilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca tezgahın hareketli parçalarının üzerinde bir yağ filmi oluşturarak pasa karşı koruma sağlarlar. Fiyatları diğer kesme sıvılarına göre ucuz olmasına rağmen mikrobik saldırılara duyarlılıkları, duman oluşturma eğiliminin yüksek olması, cilt hastalığı oluşturma riskleri ve imha edilmesinin zor olması olumsuz taraflarıdır [15], [45], [47].

3.1.2.2. *Yarı Sentetik Yağlar*

Yarı sentetik yağlar içerisinde %2 - %30 arasında mineral yağ içeren ve geriye kalanı emülsiyon yapıcılar ve sudan oluşan bir hibrit yağdır. Yarı sentetik yağların içerisinde bulunan emülsiyon partikül boyutları 0,1 ile 0,01 μm olmaktadır. Genel olarak yarı sentetik yağlar şeffaf veya opak görünümünde olmaktadır. Pas nleme ve yağlayıcılık özellikleri yüksek olan yarı sentetik yağlar aynı zamanda ısıyı hızlı bir şekilde dağıtır ve içerdiği yağ koruyucu sayesinde film tabakası oluşturarak korozyonu önler. Bir başka avantajı ise kfe ve bakteriye karşı dayanımları yüksektir ve uzun tank ömrü vardır. Saf yağlara ve znlebilen yağlara göre yağ oranı daha düşük olduğu için daha az dumanlanma oluştururlar. Ierisinde bulunan kimyasal katkılardan dolayı kolay köpüklenme, çabuk buharlaşma ve yağ esaslı kesme sıvılarına göre yağlayıcı etkisi daha az olması dezavantaj yarattığı durumlardır [45], [47], [50].

3.1.2.3. *Sentetik Yağlar*

Sentetik yağlar, petrol veya mineral yağ içermeyen, su içerisine belirli oranda kimyasal eklenerek elde edilen bir kesme yağı çeşididir. İyi bir soğutma performansı gösteren sentetik yağlar içerisinde bulunan kimyasallar sayesinde korozyon ve bakteri nleyiciliği de yüksektir. Sentetik yağlar soğutma kabiliyetinin yüksek olması dolayısıyla, yüksek kesme hızlarında iyi bir yüzey kalitesi elde edilmektedir. Kullanıldığı yerlerde köpük ve duman oluşumu yapmayan bir yağ çeşididir. Sentetik yağlar doğal bir yağdan elde edilmediği için yağlayıcılık özelliği diğer türlere göre daha düşüktür. Bu durum en büyük

dezavantajlarından biridir [48], [49], [53].

3.2. KESME SIVILARININ ÇEVRE VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ

Talaşlı imalat endüstrisinde artan taleple birlikte kesme sıvılarına duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Kullanılan kesme sıvılarının üretim kapasitesi ve verimliliğine pozitif yönde etki etmiş olsa da çevre ve insan sağlığını negatif yönde etkilemektedir. Kullanılan kesme sıvılarının doğru yöntemlerle bertaraf edilmemesi, çalışma ortamında deriyle veya buhar yoluyla temas edilmesi çevre ve insan sağlığına ciddi ölçüde zarar vermektedir [15], [16]. Kesme sıvıları kullanımı sonucunda, cilt hastalıkları (dermatit, folliculitis ve cilt kanseri) ve solunum rahatsızlıkları gibi mesleki hastalıklar meydana gelebilmektedir [17].

3.2.1. Cilt Hastalıkları

Cilt hastalıkları, genellikle herhangi bir kişisel koruyucu ekipman kullanılmadan doğrudan kesme sıvısına temas ile meydana gelmektedir. Gerekli koruyucu ekipman kullanılsa bile kullanılan makine ve ekipmanların uygun bir şekilde korunmadığı durumlarda kesme sıvısı sıçraması ile de oluşabilmektedir. Kesme sıvısının cilt ile teması durumunda en sık karşılaşılan meslek hastalığı dermatittir. Dermatit cildin tahriş olmasıyla kaşıntı, çatlak, pullanma, su toplaması, çatlaması veya kabarcık gibi belirtiler göstererek ortaya çıkmaktadır. Dermatit genellikle su bazlı kesme sıvıları ile temas halinde görülmektedir. Diğer bir cilt hastalığı ise folliculitistir. Folliculitis cildin kesme sıvısına temas ederek tahriş olması nedeniyle deri gözeneklerinin iltihaplanmasıdır. Kesme sıvısı ve içerisinde bulunan kimyasallar deri gözeneklerini tıkayarak cilt yüzeyinde sivilce ya da yara oluşmasına sebep olmaktadır. Folliculitis yağ bazlı kesme sıvılarına temas halinde daha çok görülmektedir. Kesme sıvısı ile uzun süreli temas halinde en ileri derece cilt hastalığı cilt kanseridir. İleri derecedeki dermatit ve gerekli edilmemiş mineral yağlar cilt kanseri riskini arttırmaktadır [16], [17].

3.2.2. Solunum Hastalıkları

Kesici takımın iş parçası üzerinden talaş kaldırması esnasında yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır. Oluşan yüksek sıcaklık sonucunda kesme sıvısında buharlaşma meydana gelmektedir. Kesme sıvısında oluşan buharlaşma, çalışma ortamındaki havalandırma

yetersizliği ve kişisel koruyucu ekipmanların kullanılmaması durumunda solunum yolu rahatsızlıkları meydana gelmektedir. Kesme sıvısında oluşan buharlaşmanın yoğun bir şekilde solunum yolu ile vücut içenisine alınması durumunda; baş ağrısı, akciğer tahrişi, boğaz ağrısı, burun tahrişi, öksürük, hırıltılı ve nefes darlığı gibi hastalıklara sebep olmaktadır. Gerekli önlemlerin alınmaması ve semptomların ilerlemesi durumunda hipersensitivite pnömonisi, astım, kronik bronşit ve akciğer yetmezliği gibi ileri solunum yolu hastalıklarına yol açmaktadır [16], [17].

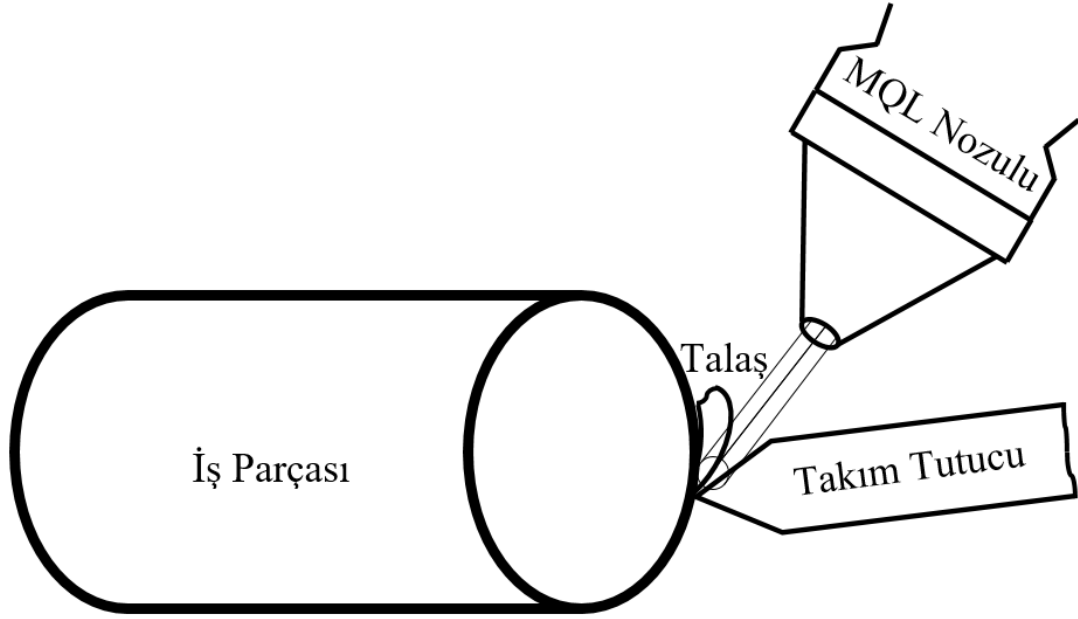


4. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA SİSTEMİ

Kesme sıvıları, talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takım ile iş parçası arasındaki soğutma, yağlama görevi ile üretim verimliliğini artırmaktadır. Aynı zamanda kesme sıvıları talaşın kesme bölgesinden rahat uzaklaşmasını sağlayarak kesici takım ömrü ve yüzey kalitesine pozitif bir etki yaratmaktadır. Ancak kesme sıvılarının talaşlı imalat sürecinde avantajlarının yanı sıra birçok dezavantajları da bulunmaktadır. İçeriğindeki kimyasal bileşenlerinden dolayı ten ile temas edilmesi veya yoğun bir şekilde solunması sonucunda insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bununla birlikte kesme sıvılarının kullanıldıktan sonra doğru yöntemler ile bertaraf edilmeden toprağa karışması doğaya zarar vermektedir. Ayrıca kesme sıvılarının artan maliyeti, stoklanması ve kullanıldıktan sonra bertaraf edilmesi, toplam üretim maliyetinde ciddi bir yük oluşturmaktadır. Geleneksel kesme sıvısının artan maliyetleri, çevre ve çalışma ortamının sürdürülebilirliğine negatif etkisinden dolayı MQL sistemi tercih edilmeye başlanmıştır [12], [14]–[16].

1990'ların ortasında ortaya çıkmış olan MQL sistemi çok az miktar yağ damlacığının basınçlı hava yardımıyla karıştırılarak kesme bölgesine nozul yardımıyla iletilmesi esasına dayanmaktadır. MQL sistemi çok az miktarda yağ damlacığı kullanılması dolayısıyla kuru işlemeye yakın bir metottur ve mikro yağlama olarak da tanımlanmaktadır. Geleneksel sulu kesme ile MQL kıyasladığımızda MQL sisteminde yapılan mikro yağlama sayesinde (5-100 ml/h) 1000 kata varan bir kesme sıvısı tüketim farkı bulunmaktadır. Bu sebeple MQL sisteminde kullanılan kesme sıvısı maliyeti geleneksel sulu kesme yönteminde kullanılan kesme sıvısı maliyetine göre ciddi oranda düşüktür. MQL sisteminde genel olarak bitkisel yağlar ve bunun yanında su bazlı kesme sıvıları da kullanılabilir. MQL sistemi uygulanış biçimine göre nozul yardımıyla dışarıdan püskürtmeli ve kesici takım içerisine kanallar açılarak içten püskürtmeli olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu iki yöntem de kendi içerisinde tek ve çift kanallı olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Tek kanallı sistemlerde kullanılan yağ–hava karışımı dışarıda hazırlanarak kesme bölgesine iletilirken, çift kanallı da ise kullanılan yağ ve hava ayrı sistemler üzerinden gelerek nozul ya da kesici takım içerisine girdikten sonra karışmakta

ve kesme bölgesine iletilmektedir. Tek kanallı dışarıdan püskürtmeli MQL sisteminin şematik gösterimi Şekil 4.1’de verilmiştir [24], [25].



Şekil 4.1. Tek kanallı dıştan püskürtmeli MQL sisteminin şematik gösterimi.

4.1. NANOPARTİKÜLLER VE ÖZELLİKLERİ

İlk olarak Michael Faraday’ın ortaya attığı nanopartiküller, günümüzün gelişen teknolojisi ve artan ihtiyaçlar doğrultusunda kullanımı gitgide artmaktadır. 100 nm ve altında kalan tozlar olarak tanımlanan nanopartiküller uzay, otomotiv, biyomedikal, kimya ve elektrik-elektronik sektörleri başta olmak üzere birçok endüstride kullanım alanına sahiptir. Genel olarak nanoboyutlu malzemeler metal, yarı iletken veya karbon gibi farklı malzemelerden, farklı üretim teknikleri kullanılarak nanokristaller nanotüpler, nanopartiküller, nanoteller, nanoçubuklar veya nano ince filmler üretilmektedir [24], [51].

Nanoteknolojideki gelişmeler ve nanopartiküllerdeki ısı transferindeki başarıları talaşlı imalat endüstrisindeki araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Talaşlı imalatla yaşanan en büyük problemlerin başında kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklığın kesici takım ve iş parça yüzeyinde oluşturduğu negatif etkidir. Oluşan bu etkinin azaltılması amacıyla kesme sıvısı içerisine nanoboyuttaki tozların eklenmesiyle soğutma, yağlama ve ısı iletkenlik özellikleri iyileştirilerek kesme bölgesindeki sıcaklığın, kesme kuvveti ve takım

aşınmasının azalmasına pozitif etki etmektedir. Talaşlı imalat sırasında kullanılan malzeme, kesici takım ve işleme parametrelerine göre molibden disülfür, grafit, grafen, kalsiyum florid, silikon dioksit borik asit, karbon nanotüp, zirkonyum dioksit, karbon, alüminyum oksit gibi nanopartiküller kesme sıvısı içerisinde kullanılır [24], [52], [53].



5. LİTERATÜR TARAMASI

Dhar ve arkadaşları, minimum miktarda yağlamanın kesme bölgesi sıcaklığına, kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelendiği bir çalışmada, 125 mm çapında ve 760 mm boyunda AISI 4340 çeliğini sabit kesme hızında (110 m/dk), sabit ilerlemede (0,16 mm/dev) ve sabit kesme derinliğinde (1,5 mm) tornalanarak gerçekleştirmişlerdir. Tornalama işlemi 3 farklı (kuru, geleneksel soğutma ve MQL) yöntem ile yapılmıştır. MQL yöntemi ile yapılan tornalama işleminde diğer yöntemlere göre daha düşük bir kesme bölgesi sıcaklığı elde edildiği bu durumun kesici takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü ciddi ölçüde iyileştirdiğini göstermişlerdir [28].

Karabatak ve Kara, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin kaplamasız seramik takımla sert tornalanmasında kesme parametrelerinin etkisi incelenerek uygun işleme parametrelerini belirlemişlerdir. Deneyler Taguchi L9 deney tasarımına göre yapılmış olup üç farklı kesme hızı (50, 100, 150 m/dk), üç farklı ilerleme hızı (0,08, 0,16, 0,24 mm/dev) ve üç farklı kesme derinliğinde (0,25, 0,50, 0,75 mm) uygulamışlardır. Deneyler sonucunda kesme hızının 100 m/dk, ilerleme hızının 0,08 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,25 mm olduğu parametrelerde yüzey pürüzlülüğünün en iyi sonucu verdiğini görmüşlerdir. En iyi parametrelerdeki yüzey pürüzlülüğü değerleri (Ra) 0,280 μm ve 0,245 μm olarak bulunmuştur. Deney sonuçları ANOVA ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerine bakılmış olup ilerleme hızı %77,88, kesme hızı %14,12 ve kesme derinliğinin %6,89 oranında etkili olduğunu tespit etmişlerdir [54].

Özbek ve Saruhan, AISI D2 soğuk iş takım çeliği kuru ve MQL koşulları altında CVD ve PVD kaplamalı 2 farklı kesim takımla sabit kesme derinliği (1 mm) ve 3 farklı ilerleme hızında (60, 90 ve 120 m/dk) torna tezgahında işlenmesi sonucunda takım aşınması, kesme sıcaklığı, titreşim genliği ve parçanın yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, MQL ile işleme sırasında Ra değerinin %88, Rz değerinde ise %91 oranında iyileşme gerçekleşmiştir. MQL ile işlemenin kuru işlemeye göre CVD kaplamalı kesici takımla %267, PVD kaplamalı kesici takımda ise %200 oranında takım ömrünü uzattığı gözlemlenmiştir. PVD kaplamalı kesici takımların, CVD kaplamalı

takımlardan daha düşük kesme sıcaklıkları üretmiştir. Ayrıca PVD kaplamalı kesici takımların titreşim genliği değeri CVD kaplamalı kesim takımlara oranla daha düşük çıkmıştır. PVD kaplamalı takımlar, tüm kesme koşullarında daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri göstermiştir. Takım aşınmasında da aynı şekilde PVD kaplamalı takımların CVD kaplamalı takımlara kıyasla tüm kesme hızlarında daha iyi aşınma performansı sergilemiştir. Kuru işlemede, PVD kaplamalı takım ömrü CVD kaplamalı takımdan dört kat daha uzun olduğunu gözlemlemişlerdir. MQL işleme altında, PVD kaplamalı takımlarda CVD kaplamalı takımlara oranla üç kat daha uzun takım ömrü sergilediğini belirtmişlerdir [55].

Yazid ve arkadaşları, MQL sisteminde kullanılan yağ debisinin pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde 103 mm çapında ve 157 mm uzunluğunda süper alaşım olan Inconel 718 malzemesi kullanılmış olup farklı kesme hızlarında (90, 120, 150 m/dk), farklı ilerleme hızlarında (0,10, 0,15 mm / dev) ve farklı kesme derinliklerinde (0,30, 0,50 mm) kuru, farklı MQL debilerinde (50 ml/h, 100 ml/h) ve PVD kaplamalı TiAlN karbür kesici takımlarla tornalamışlardır. Tüm deneylerde kuru işlemeye göre MQL yöntemi ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin en iyi olduğunu söylemişlerdir. Yüzey pürüzlülük değerlerini kesme hızı ile ilişkilendirdiklerinde 90 m/dk kesme hızında elde ettikleri yüzey pürüzlülüğü değerlerinin 150 m/dk kesme hızında elde ettikleri değerlere göre daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir. MQL yöntemi ile 50 ml/h yağ debisinde yapılan tornalama işleminde en iyi yüzey pürüzlülük değerlerini elde ettiklerini ortaya koymuşlardır [56].

Yıldırım ve arkadaşları, MQL yönteminde AISI 4340 çeliğin kaplamalı karbür kesici takımla tornalanması sırasında farklı yağ debisi ve farklı püskürtme mesafesinin kesme parametrelerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelenmişlerdir. Yapmış oldukları deney çalışmaları farklı kesme hızlarında, farklı ilerleme hızlarında ve sabit kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. MQL sıvısı olarak bitkisel ve mineral yağ kullanmış olup farklı debide ve farklı püskürtme mesafesinde yapılmıştır. Deneyler sonucunda bitkisel kesme sıvısının yüzey pürüzlülüğünün düşürülmesinde pozitif etkisi olduğunu söylemişlerdir. Oluşan bu durumu bitkisel kesme sıvısının kesme yüksek viskozitesi ile ilişkilendirmişlerdir. En iyi yüzey pürüzlülüğü değerini bitkisel kesme sıvısında 300 m/dk kesme hızında 0,1 mm/dev ilerleme hızında, 80 ml/h kesme sıvısı debisinde ve 20 mm nozul mesafesi olduğunu söylemişlerdir [57].

Rahim ve Dorairaju, AISI 1045 malzemesinin MQL yöntemi ile farklı nozul püskürtme çapı ve farklı nozul mesafeleri kullanarak tornalayarak en uygun parametreleri belirlemişlerdir. Tornalama deneyleri 3 farklı kesme hızında (100, 160, 220 m/dk), 2 farklı ilerleme hızında (0,15 ve 0,30 mm/dev), sabit kesme kesme derinliğinde (0,2 mm), 3 farklı MQL hava basıncında (0,2, 0,3, 0,4 MPa), 2 farklı nozul püskürtme çapında (2,5 ve 3,0 mm) ve 4 farklı nozul mesafesinde (3, 6, 7, 9 mm) gerçekleştirmişlerdir. MQL yöntemi ile tornalama işleminde en uygun kesme kuvveti ve kesme sıcaklık değerlerini 3 mm nozul çapında elde ettiklerini bildirmişlerdir [58].

Sharma ve Sidhu, AISI D2 soğuk iş takım çeliği kuru ve MQL yöntemi ile tornalanmışlardır. Deneyleri 3 farklı kesme hızında (79, 96 ve 130 m/dk), 3 farklı ilerleme hızında (0,05, 0,10 ve 0,16 mm/dev), 1 mm kesme derinliğinde, 5 bar MQL hava basıncı ve kesici uç olarak tungsten karbür uç (CNMG12408) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. MQL deneylerinde Accu lube LB-6000 bitkisel kesme yağı kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, kesme bölgesi sıcaklığının kuru işlemeye göre MQL yöntemi kullanıldığında %50 düştüğü, aynı zamanda kuru işlemeye göre MQL yönteminin %55 oranında daha iyi yüzey pürüzlülük değeri gözlemlenmiştir [59].

Khan ve Dhar, MQL yönteminin kuru işlemeye kıyasla kesme sıcaklığı, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelenmiştir. Çalışma kapsamında AISI 1060 çeliğinin karbür kaplamalı kesici takımlarla dört farklı kesme hızında (72, 94, 139 ve 164 m/dk), 4 farklı ilerleme hızında (0,10, 0,13, 0,16 ve 0,20 mm/dev), sabit kesme derinliğinde (1,5 mm), MQL hava basıncı (7 bar) ve MQL yağ debisinde (60 ml/h) tornalanarak gerçekleştirilmiştir. Tornalama işleminin MQL yöntemi ile yapılmasının kuru tornalamaya göre kesme hızını %5-%15 oranında azalttığını, buna bağlı olarak takım aşınması; ölçülerdeki hatalarda, yüzey pürüzlülüğünün azalmasına ve kesme bölgesindeki sıcaklığın düşüşünü olumlu şekilde etkilediğini bildirmişlerdir [60].

Chinchanikar ve Choudhury, AISI 4340 çeliğini kuru ve MQL yöntemi ile 3 farklı kesici takımla tornalanmasının kesici takım ömrü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde 3 farklı kesme hızı (100, 125 ve 150 m/dk), sabit ilerleme (0,088 mm/dev) ve sabit kesme derinliğinde (0,33 mm) gerçekleştirilmiştir. MQL yöntemi ile yapılan deneyler, kuru kesme işlemi ile yapılan deneylere göre kullanılan tüm kesici takımların ömürlerinde iyileşmeler gözlemlenmiş olup, en yüksek takım ömrü performansını 150

m/dk kesme hızında nanokristalin EDX kaplamalı karbür takımlarla MQL yöntemi ile işlenmesinde elde etmişlerdir. MQL yöntemi ile yapılan deneylerde kuru işlemeye göre takım ömründe %20-25'lik bir iyileşme görmüşlerdir. Bu durumu MQL yöntemi ile elde edilen düşük kesme sıcaklığına bağlamışlardır [61].

Sivaiah ve Chakradhar, MQL ve kriyojenik işlemin kesme sıcaklığı, takım aşınması, yüzey bütünlüğü (yüzey pürüzlülüğü ve yüzey topografyası) ve talaş morfolojisi farklarını karşılaştırmışlardır. AISI 630 çeliği MQL, kriyojenik, ıslak ve kuru işlem yöntemleri ile sabit kesme hızında (78,5 m/dk), sabit ilerlemede (0,143 mm/dev) ve 5 farklı kesme derinliğinde (0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1 mm) tornalayarak gerçekleştirilmiştir. Kriyojenik soğutma işleminin sıvı nitrojenle gerçekleştirildiğini söylemişlerdir. Deneyler sonucunda kesme sıcaklığı, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, yüzey topografyası ve talaş morfolojisinde en iyi sonuçları kriyojenik işlem ile elde ettiklerini; MQL, ıslak ve kuru koşulların takip ettiği sonucunu ortaya koymuşlardır. MQL ve kriyojenik işlemin takım aşınması ve yüzey kalitesinde ciddi bir iyileşme sağladığını bildirmişlerdir [62].

Carou ve arkadaşları, MQL yöntemi ile yapılan tornalama işleminin takım ucundaki titreşimin yüzey kalitesine etkisi incelendiği başka bir çalışmada magnezyum alaşımli UNS M11917 malzemesinin kuru ve MQL yöntemleri ile tornalamışlardır. Kesici takım tutucusu içerisine yerleştirdikleri sensör ile titreşim ölçümü yapmışlardır. Yapılan ölçümler sonucunda titreşim değerlerinin yüzey kalitesiyle doğru orantılı olduğunu, ilerleme hızı arttıkça titreşimin arttığı, bu artışın yüzey pürüzlülüğünü arttırdığını ortaya koymuşlardır. MQL yöntemi ile yapılan tornalama işleminin kuru tornalama işlemine göre titreşim değerini azalttığını ölçmüşlerdir [63].

Viswanathan ve arkadaşları, magnezyum alaşımının MQL yöntemi ile incelendiği çalışmada 300 mm uzunluğunda ve 60 mm çapında magnezyum alaşımli AZ91D malzemesi kuru ve MQL yöntemi ile tornalanarak takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini incelemişlerdir. Deneyler 3 farklı kesme hızında, 3 farklı ilerleme hızında ve 3 farklı kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. MQL yönteminde 6 bar basınç ve 60 ml/h debi kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü için en uygun koşulun MQL yöntemi ile 140 m/dk kesme hızı; 0,10 mm / dev ilerleme hızı ve 0,5 mm kesme derinliği olduğunu bildirmişlerdir [64].

Ekinovic ve arkadaşları, MQL yönteminde kullanılan yağ hava aerosolüne su ekleyerek

bu iki metodun karşılaştırıldığı farklı bir çalışmada düşük karbonlu St52–3 çeliği kuru ve MQL ortamda tornalamışlardır. Yağ debisini 10-50 ml/saat arasında, su debisini ise 0,3–1,7 l/saat arasında belirlemişlerdir. MQL kullanılarak yapılan deneylerde kesme kuvvetinin kuru tornalama deneylerine göre %17 oranında düştüğünü tespit etmiş olup en optimum sonuçları 10ml/h yağ ve 1,7 ml/h su debisi parametrelerinde elde ettiklerini bildirmişlerdir [65].

Kedare ve arkadaşları, kalıp çeliğinin parmak freze ile frezelenmesi işleminde MQL ve geleneksel sıvı soğutma yöntemleri arasındaki farkı karşılaştırmışlardır. Frezeleme işlemi minitab15 ile Taguchi L9 deney tasarım yöntemleriyle tasarlanarak 3 farklı kesme hızı (160, 225, 300 RPM), 3 farklı kesme derinliğinde (0,1, 0,2 ve 0,3 mm) ve sabit ilerleme hızında HSS parmak freze gerçekleştirilmiştir. MQL yönteminde sabit yağ debisinde (9000 ml/saat) ve sabit basınçla (5 bar) uygulamışlardır. Deney sonuçlarında minimum miktarda yağlama yöntemiyle elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin geleneksel soğutmaya kıyasla yüzey kalitesinin %27'ye kadar iyileştiğini belirtmişlerdir. İşleme esnasında kullanılan sıvının da azalması göz önünde bulundurulduğunda minimum miktarda yağlama yönteminin geleneksel soğutma yöntemine alternatif olabileceğini ortaya koymuşlardır [66].

Braga ve arkadaşları, alüminyum-silikon alaşımlı A356 malzemesi MQL yöntemi ile delinmesinin takım aşınması, delik yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Deneyler sabit kesme hızında (300 m/dk), 2 farklı ilerleme hızında (0,10, 0,20 mm/dev), kaplamasız ve elmas kaplı karbür takımlarla gerçekleştirmişlerdir. Kaplamalı karbür takımlarla ve kaplamasız takımlarla MQL yöntemi ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçların bir birine yakın olduğunu bildirmişlerdir [67].

Hadad ve Sadeghi, farklı noktalarından aynı anda MQL işleminin uygulandığı farklı çalışmada AISI 4140 çeliğinin kuru, geleneksel soğutma sıvısı ve MQL yöntemi ile tornalanmasının kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım sıcaklığı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Tornalama deneyleri 3 farklı kesme hızı (50,2, 100,4 ve 141,4 m/dk), iki farklı ilerleme hızı (0,09, 0,22 mm/dev), 3 farklı kesme derinliğinde (0,5, 1 ve 1,5 mm) ve HSS kesici takımla tornalamışlardır. MQL deneylerinde soğutma-yağlama işlemi takım talaş yüzeyinden, takımın yan yüzeyinden ve her iki yüzden aynı anda olmak üzere 3 farklı şekilde yapılmıştır. Deneyler sonucunda tek bir noktadan uygulanan MQL

sıvısının kuru işlemeye göre kesici takım sıcaklığını yaklaşık 200°C düşürdüğü, her iki noktadan verilen MQL sıvısının ise kuru işlemeye göre yaklaşık 350°C düşürdüğünü söylemişlerdir. MQL yöntemi ile yapılan tornalama işleminde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kuru işlemeye göre daha iyi olduğunu, ayrıca talaş derinliğinin artmasının tüm koşullarda yüzey pürüzlülüğünü arttırdığını gözlemlemişlerdir. En iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerini her iki noktadan aynı anda uygulanan MQL yöntemi ile elde etmişlerdir. En yüksek kesme kuvvetini parçanın kuru tornalanmasında, bunları geleneksel yağlama yöntemi ve MQL yöntemi takip etmektedir. En düşük kesme kuvvetini ise aynı şekilde iki noktadan aynı anda uygulanan MQL yöntemi ile elde etmişlerdir [68].

Saini ve arkadaşları, 39 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin kuru ve MQL yöntemleriyle 2 farklı kaplamalı karbür kesici takımla (CVD, PVD) tornalanmasının kesme kuvveti ve kesici takım sıcaklığı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Deneyleri farklı kesme hızlarında, farklı ilerleme hızlarında ve sabit kesme derinliğinde gerçekleştirmişlerdir. MQL yöntemi ile yapılan deneylerde kullanılan mineral yağ sabit basınçta (4 bar) ve sabit yağ debisini (300 ml/h) parametrelerinde gerçekleştirmişlerdir. MQL yöntemi ile tornalama işleminin CVD kaplamalı takımlarda %17,07 oranında, PVD kaplamalı takımlarda ise %13,25 kesme kuvvetini azalttığını bildirmişlerdir. Ayrıca MQL yöntemi ile tornalamanın CVD kaplamalı takımlarda %5,73 oranında PVD kaplamalı takımlarda ise %6,72 oranında kesici takım ucundaki sıcaklığı azalttığını gözlemlemişlerdir. Genel olarak PVD kaplamalı takımların CVD kaplamalı takımlara kıyasla daha iyi sonuç verdiğini, bununla PVD kaplamalı takımlardaki TiAlN tabakasının kesme işlemi sırasında iyi bir ısı yalıtımı sağlamasına bağlamışlardır [69].

Bhowmick ve Alpas, dökme magnezyum alaşımının (AZ91) MQL yöntemi ile frezelenmesinin takım aşınması ve kesme bölgesi sıcaklığına etkisini incelemişlerdir. Frezeleme işlemi, HSS kesici takımlarla 4 farklı kesme hızında (1000, 1500, 2000 ve 2500 rpm), 4 farklı ilerleme hızında (0,10, 0,15, 0,20 ve 0,25 mm/dev) kuru, geleneksel kesme sıvısı ve MQL yöntemi ile frezeleme işlemi yapılarak karşılaştırılmıştır. MQL deneylerinde sabit hava basıncı (0,6 MPa) ve sabit akış hızında (30 ml/saat) gerçekleştirmişlerdir. Kaplamalı HSS takımlarla 30 ml/saat akış hızında gerçekleştirilen MQL deneylerinde takım ömründe ciddi bir iyileşme elde etmişlerdir. Ayrıca MQL deneylerinde diğer yöntemlere göre düşük sürtünme katsayısı ile kesme bölge sıcaklığını

ciddi bir şekilde azalttığını, bununda kesici takım oluşan BUE oluşumunu azalttığını bildirmişlerdir [70].

Pasam ve arkadaşları, AISI 1040 çeliğinin kuru ve MQL yöntemleri ile yüksek kesme hızlarında işlenmesi sırasında takım aşınması, yüzey pürüzlülük, kesme kuvveti ve kesme sıcaklığı performansını incelemişlerdir. Aynı zamanda bu parametreleri MQL yöntemi ile incelerken yağa katılan nano ve mikro boyutta parçacıkların farklarını da ortaya koymuşlardır. AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında nano ve mikro ölçeklerde MoS₂ (molibden disülfüt) ve H₃BO₃ (borik asit) katkılı MQL yöntemlerini kullanmışlardır. Deneyler sonucunda tüm yağlama durumlarında performansı kuru işlemeden daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir. Nanoboyutta parçacık katkılı MQL yönetimi ile takım aşınması, yüzey pürüzlülük, kesme kuvveti ve kesme sıcaklığı parametrelerin tümünde mikro boyutta parçacık katkılı MQL yöntemine göre daha iyi sonuç verdiği, en iyi performansı nanoboyutta MoS₂ katkılı MQL yöntemi ile elde etmişlerdir [71].

Cönger ve arkadaşları, alüminyum 6061 malzemesi kuru, MQL ve nano MQL yöntemleriyle frezelenmenin kesme kuvvetine, yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Deneyler sabit kesme derinliği (1,5 mm), sabit ilerleme (0,1 mm/dev), sabit kesme (250 m/dk) ve APHT 100308FR-27P kaplamasız karbür uç kullanmışlardır. MQL yöntemiyle yapılan deneylerde hem katkısız hem de nano MoS₂ katkılı bitkisel kesme sıvısı kullanılmış olup 2 farklı yağ debisinden (26 ml/saat, 52 ml/saat) gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda MQL yöntemi ile frezelemede, kuru işlemeye göre yüzey pürüzlülüğü azalmış, kesme ve ilerleme kuvvetleri düştüğünü belirtmişlerdir. MQL yöntemi ile frezelemede debi arttırıldıkça, nano MoS₂ katkılı ve katkısız durumlarda yüzey pürüzlülüğü değeri, kesme ve ilerleme kuvvetleri azaldığını söylemişlerdir. En iyi yüzey pürüzlülük değerini nano MoS₂ katkılı debinin 52 ml/saat olduğu parametrelerde elde ettiğini bildirmişlerdir [72].

Joshi ve arkadaşları, inconel 600 malzemesini, kuru, MQL ve nano Al₂O₃ katkılı MQL yöntemleri ile tornalanarak yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Nano katkılı MQL yöntemi ile yapılan tornalama işleminde diğer yöntemlerden daha iyi yüzey kalitesi değerleri elde etmişlerdir. Nano MQL yönteminin düşük ve orta kesme hızlarında, ilerlemelerde ve kesme derinliğinde büyük ölçüde etkisinin arttığı yüksek kesme hızı, paso ve ilerlemede ise performansının düştüğünü belirtmişlerdir. Bu performans

düşüklüğünü hava-yağ karışımı aerosolün efektif bir şekilde kesme bölgesine ulaşamamasından kaynaklı olduğunu bildirmişlerdir [73].

Lee ve arkadaşları, MQL yönteminde kullanılan kesme sıvısı içerisine nano Al_2O_3 tozları ve nanoboyutta elmas tozları ekleyerek taşlama işlemindeki kesme parametrelerinin yüzey kalitesi ve kesme kuvveti üzerine etkilerini incelemişlerdir. Taşlama işlemi sabit kesme hızında (80,000 RPM), sabit ilerleme (120 mm/dk), sabit kesme derinliğinde (5 μm) ve 20 paso atarak gerçekleştirmişlerdir. Nano MQL işleminde 30 ve 150 nm boyutlarında Al_2O_3 ve elmas nano tozlar kesme yağına ağırlıkça %2 ve %4 oranlarında ekleyerek hazırlamışlardır. Kuru taşlama deneylerinde en yüksek kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiş olup MQL ve nano MQL karşılaştırdıklarında nano MQL işleminin hem kesme kuvvetinde hem de yüzey pürüzlülüğünde daha iyi sonuç verdiğini görmüşlerdir. En düşük kesme kuvvetinin 30 nm boyutlarında ağırlıkça %4 nano elmas toz katkılı MQL yöntemi ile elde etmişlerdir. En düşük yüzey pürüzlülük değerlerine ise 30 nm boyutlarında ağırlıkça %2 nano Al_2O_3 toz katkılı MQL yöntemi ile ettiklerini ortaya koymuşlardır [74].

Sharma ve arkadaşları, MQL yöntemine eklenen TiO_2 nano parçacıkların yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, kesme kuvveti ve talaş morfolojisi etkisini incelemişlerdir. AISI 1040 çeliği sabit kesme hızı (96,7 m/dk), sabit ilerleme (0,1 mm/dev), sabit kesme derinliğinde (1 mm) karbür takımlarla kuru, geleneksel soğutma sıvısı ve MQL yöntemleriyle tornalayarak gerçekleştirmişlerdir. Nano parçacıklı MQL deneylerinde akışkan hızı 50 mL/dk olup 5 bar hava basıncı parametreleri kullanılmıştır. Nano parçacıklı MQL yöntemiyle yapılan deneylerde takım aşınmasının %58,1-%35,85 aralığında düştüğünü, kesme kuvvetini ise %62,6-%34,8 aralığında düşürdüğünü belirtmişlerdir. Kuru ve geleneksel soğutma yöntemi ile yapılan tornalama deneylerine göre nano parçacıklı MQL yönteminde daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri ve talaş morfolojisi elde etmişlerdir [75].

Mahadi ve arkadaşları, AISI 431 çeliğinin MQL yöntemi ile tornalamasında ilave edilen borik asit tozunun geleneksel yağma yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Tornalama deneyler iki farklı kesme hızı (150 ve 200 m/dk), iki farklı ilerleme hızı (0,16 ve 0,24 mm/dev), iki farklı kesme derinliğinde (0,5 ve 1,0 mm) MQL yönteminde bitkisel palm yağın içine ortalama 8 μm boyutundan küçük borik asit tozu ilave edilerek gerçekleştirmişlerdir.

Borik asit tozu ilaveli MQL yöntemi ile yapılan deneylerde ortalama % 7,21 oranında yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği ve uygulamış oldukları ANOVA analizi ile ilerleme hızı arttıkça yüzey kalitesinin düştüğünü söylemişlerdir. İlerleme hızı 0,16 mm/dev'den yükseldiğinde ortalama yüzey pürüzlülüğünün % 55,2 oranında arttığını bildirmişlerdir [76].

Gupta ve arkadaşları, MQL yönteminde kullanılan farklı nano parçacık türlerinin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme parametreleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Deneylerde 52 mm çapında, 150 mm uzunluğunda 22 HRC sertlik değerine sahip titanyum alaşımlı malzeme kullanmışlardır. Titanyum alaşımlı malzeme bitkisel esaslı MQL sıvısı içerisinde ağırlıkça %3 oranında ve ortalama çapı 40 nm 3 farklı nano parçacık kullanılarak CBN takımlarla tornalamışlardır. Deneyler sonucunda 215 m/dk daha düşük kesme hızlarında, ilerleme hızı 0,10 mm/dev daha düşük ilerleme hızlarında MQL yönteminde kullanılan grafit nano parçacıklarının tornalama sırasında kesme kuvvetlerini, takım aşınmasını, yüzey pürüzlülüğünü ve kesme sıcaklığını en aza indirdiğini söylemişlerdir [77].

Vasu ve Reddy, MQL yönteminde kullanılan bitkisel sıvıya farklı oranlarda Al_2O_3 nanopartiküller kullanılarak işlenmesinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme bölgesindeki sıcaklığa etkisini incelemişlerdir. Deneyler Inconel 600 süper alaşımın kuru, MQL, MQL+ Al_2O_3 nanopartiküller ile tornalanarak gerçekleştirmişlerdir. MQL yönteminde kullanılan bitkisel esaslı sıvı içerisine hacimce %4, %6 oranında Al_2O_3 nanopartikülleri ilave edilerek 5 bar hava basıncı ve 100 ml/h debide uygulamışlardır. Hacimce %6 oranında Al_2O_3 nanopartikülleri kullanılan deneylerde kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme bölgesindeki sıcaklığın kuru, MQL yöntemlerine göre azaldığını dile getirmişlerdir. Bunun yanında MQL yönteminde kullanılan Al_2O_3 nanopartikülleri ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda MQL yönteminin kullanımının artmasının geleneksel kesme sıvılarının çevre ve işçi sağlığına verdiği zararlı etkiyi azaltacağını vurgulamışlardır [78].

Khalil ve arkadaşları, MQL sıvısı içerisine ilave edilen yüzey aktif sodyum dodesil benzen sülfonat maddesinin takım aşınmasına etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde 50 mm çapında 100 mm uzunluğunda AISI 1050 çeliği sabit kesme hızında (1273 rpm), sabit ilerleme hızında (0,2 mm/dev), sabit kesme derinliğinde (0,1 mm) ve kaplamalı karbür

kesici takımla tornalamışlardır. Tornalama deneyleri kuru, Al_2O_3 nanopartikül ilaveli MQL ve Al_2O_3 +Sodyum dodesil benzen sülfonat ilaveli MQL yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. MQL deneylerinde kullanılan bitkisel sıvı içerisinde hacimce %0,1 Al_2O_3 nanopartikülleri ve %3 sodyum dodesil benzen sülfonat ilave etmişlerdir. MQL sıvısı içerisinde ilave edilen Al_2O_3 nanopartiküllerin kesme bölgesindeki ısının düşürülmesine ve talaşın kesme bölgesinden daha rahat uzaklaşmasına sebep olduğunu ayrıca yüzey aktif sodyum dodesil benzen sülfonat ilavesinin takım aşınmasını azalttığını ve takım ömrünü uzattığını bildirmişlerdir [79].

Khandekar ve arkadaşları, kesme sıvısına eklenen Al_2O_3 nanopartiküllerin takım aşınması, kesme kuvveti, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve talaş kalınlığına etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde 100 mm çapında 500 mm boyunda AISI 4340 çeliği kullanılmış olup sabit kesme hızı (350 m/dk), sabit ilerleme hızı (0.1 mm/dev) ve sabit kesme derinliğinde (1 mm) kaplamasız sementit karbür takımlarla kuru, geleneksel kesme sıvısı ve Al_2O_3 katkılı kesme sıvısı kullanarak tornalamışlardır. Geleneksel kesme sıvısına %1 Al_2O_3 nanopartiküllerin eklenmesi ile nano kesme sıvısı oluşturmuşlardır. Al_2O_3 nanopartikül katkılı kesme sıvısının eklenmesinin kuru tornalamaya kıyasla %50, geleneksel kesme sıvısına göre ise %30 oranında kesme kuvvetini azalttığını söylemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünde ise Al_2O_3 nanopartikül katkılı kesme sıvısının kuru işlemeye göre Ra değerinde %54,5, geleneksel kesme sıvısına kıyasla %28,5 oranında azalttığını ortaya koymuşlardır. Al_2O_3 nanopartiküllerin soğutma-yağlama özelliğini artırarak yan yüzey ve krater aşınmasını ciddi oranda azalttığını gözlemlemişlerdir [80].

Gupta ve arkadaşları, MQL yönteminde kullanılan farklı nano tozların kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. 150 mm uzunluğunda 50 mm çapında titanyum alaşımlı malzemesi MQL sıvısı içerisinde 3 farklı maximum 40 nm boyutundaki (alüminyum oksit, molibden disülfat ve grafit) tozları kullanılarak CBN kesici takımlarla tornalamışlardır. MQL sıvısı içerisinde ağırlıkça %3 oranında nano tozlar ilave edilerek 5 bar basınç altında 30 ml/saat akış hızında gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda en düşük kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülük değerlerinin nano boyutta grafit katkılı MQL yöntemi ile elde etmişlerdir. Bu durumu grafitin yeterli yağlama sağlayan katmanlı yapısına ve ısıyı kesme bölgesinden etkili bir şekilde uzaklaştıran daha yüksek bir termal iletkenliğine bağlamışlardır [81].

Seyedzavvar ve arkadaşları, MQL sıvısı içerisine eklenen nano grafit tozlarının sertleştirilmiş AISI 1045 çeliğinin taşlanmasıdaki etkilerini araştırmışlardır. Taşlama deneyleri kuru, geleneksel yağlama ve MQL yöntemi ile sabit kesme hızında (2300 dev/dk), sabit ilerleme hızında (1 m/dk) ve 3 farklı kesme derinliğinde (10, 25, ve 40 μ m) ardışık 10 paso atılarak gerçekleştirmişlerdir. MQL taşlama deneyleri 4 bar hava basıncı ile 5 ml/dk akış hızında ve yüzde 3 farklı oranda (0,15, 0,25 ve 0,35) ve ortalama 32 nm boyutunda nano grafit konsantrasyonu ile gerçekleştirilmiştir. MQL yöntemi ile uygulanan teğetsel kuvvet geleneksel yağlama yöntemine kıyasla %19,05 azalma gözlemlenmiştir. MQL sıvısında kullanılan nano grafit tozlarının konsantrasyonun artması ısı transfer katsayısının yükselmesini bu da diğer yöntemlere göre kesme bölgesi sıcaklığının azalmasına pozitif bir katkı sağladığını söylemişlerdir. Hacimce %0,35 nano grafit konsantrasyonlu MQL yöntemiyle elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin geleneksel yağlama yöntemlerine kıyasla %43,55 ile %48,77 oranında iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Taşlama yüzeyine grafit nanopartiküllerin sızması ve temas alanında etkili bir yağlama filmi oluşturarak taşlama yüzeyindeki aşındırıcı kumların kayma etkisine bağlı olarak iş parçasının yüzey tabakasının plastik deformasyonu nedeniyle, nano grafit tozlarının mikro sertliği arttırdığını bildirmişlerdir [82].

Prasad ve Srikant, MQL yöntemine eklenen nano grafit parçacıkların kesme kuvveti, kesme sıcaklığı, yüzey kalitesi ve kesici takım aşınmaları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında AISI 1040 çeliği kuru, geleneksel kesme sıvısı ve MQL sıvısına farklı oranlarda (ağırlıkça, %0,1, 0,3 ve 0,5) 80 nm boyutlarında grafit tozlarının eklenmesiyle tornalamışlardır. Yapılan deneyler sonucunda kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve kesici takım yanak aşınmasında geleneksel kesme sıvısı ile işleme en iyi performansı gösterirken, ardından nano grafit katkılı nanoakışkan kesme koşulu gelmektedir. MQL yöntemine ağırlıkça nano grafit katkısının artmasıyla kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve kesici takım yanak aşınmasında iyileşme olduğunu dile getirmişlerdir [83].

Roy ve Ghosh, MQL yönteminin kesme bölgesi sıcaklığına ve kesme kuvvetine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, AISI 4140 çeliği kuru, ıslak ve MQL yöntemleri ile tornalamışlardır. Deneyler 5 farklı kesme hızında (100, 150, 200, 250 ve 300 m/dk), 3 farklı ilerleme hızında (0,05, 0,1 ve 0,2 mm/dev), sabit kesme derinliğinde (0.4 mm) ve kaplamalı sementit karbür takımlarla gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda MQL

sıvısı içerisine çok duvarlı karbon nanotüpün kesme bölgesinde oluşan sıcaklığı %10-30 oranları arasında düşürdüğünü belirtmişlerdir [84].

Sharma ve arkadaşları, AISI D2 soğuk iş takım çeliği tornalanması sırasında nano karbon parçacıkların MQL kesme sıvısına entegre edilmesinin kesme bölgesindeki sıcaklık ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelemişlerdir. Deneyleri üç farklı kesme hızında (51, 78 ve 123 m/dk), 3 farklı ilerleme hızında (0,10, 0,15 ve 0,20 mm/dev), 1 mm kesme derinliğinde, MQL hava basıncı (5, 6 ve 7 bar) ve kesici uç olarak tungsten karbür uç (CNMG 120408) kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. MQL yönteminde kesme sıvısının içine entegre edilen nano karbon parçacıkların sadece kesme yağı ile yapılan MQL yöntemine göre kesme bölgesindeki sıcaklığı düşürdüğü bu durumun takım aşınmasını olumlu yönde etkilediğini söylemişlerdir. Nano karbon parçacıklarının MQL yöntemine entegre edilmesinin yüzey pürüzlülüğünü de iyileştirdiğini tespit etmişlerdir [85].

Patole ve Kulkarni, AISI 4340 çeliğini MQL yöntemi ile tornalanmasında çok duvarlı karbon nanotüpün ilavesinin kesme parametrelerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Tornalama deneyleri beş farklı ilerleme hızı değerinde (0,04, 0,06, 0,08, 0,1, 0,12 mm/dev), üç farklı kesme derinliğinde (0,5, 1, 1,5 mm) değeri ve iki kesme hızında (75, 90 m/dk) gerçekleştirmişlerdir. Nanoakışkanların yüksek ısı taşıma kapasitesi ve yağlayıcı özelliği sayesinde MQL yöntemine ciddi bir katkı sağlayarak kesme bölgesindeki sıcaklığı diğer yöntemlere göre daha çok azalttığı bu durumun takım aşınması ve yüzey kalitesini arttırdığını bildirmişlerdir [86].

Pirinç alaşımları yüksek termal ve elektriksel iletkenliğin yanı sıra olağanüstü antibakteriyel özelliklere sahip olmasından dolayı elektrik ve elektronik, otomotiv ve sağlık sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [34]. Pirinç alaşımı üzerine yapılan çalışmaları incelediğimizde birçok farklı pirinç alaşımının birlikte incelendiği bir çalışmada 35 mm çapında 200 mm boyunda ekstrüde edilmiş CW510L, CW511L ve C27450 pirinç malzemelerinde ısıtılma işlemi talaş formu, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. CW510L (60 dakika 775 °C), CW511L (120 dakika 850 °C) ve C27450 (120 dakika 850 °C) ısıtılma işlemi uygulanmıştır. Deneyler CW510L, CW511L malzemelerinde uygulanan ısıtılma işlemi kesme kuvvetini düşürdüğü, C27450 malzemesinde ise kesme kuvvetini arttırdığını ortaya koymuşlardır. Uygulanan ısıtılma işlemi yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelediklerinde, en büyük değişimin CW511L

malzemesinin Rt deęerinde 40,1 μm 'den 26,0 μm 'ye dūştüğünü bildirmişlerdir [87].

Benzer bir çalışmada dōrt farklı kurşunsuz pirinç alaşımının (CW510L, CW511L, C27450 ve CW614N) tornalamasında işlenebilirlik için kritik parametreleri belirleyerek en uygun işleme parametreleri tespit etmişlerdir. Deneyler Taguchi L16 deney tasarımına göre yapılmış olup farklı kesme hızları, farklı ilerleme hızları ve farklı kesme derinliğinde yapmışlardır. Sonuçları varyans analizi ile incelemişlerdir. CW511L malzemesinin en iyi yüzey pürüzlölüğü değerleri belirledikleri en uygun işleme parametreleri kesme hızı için 1750 rpm, derinlik kesimi için 0,50 mm ve ilerleme hızı için ise 150 mm/dk olduğunu söylemişlerdir. Yapmış oldukları varyans analizi ile yüzey pürüzlölüğünü %55,31 oranında ilerleme hızı etkilediğini tespit etmişlerdir [88].

Davim ve arkadaşları, CuZn39Pb3 pirinç malzemesi MQL ve geleneksel yağlama yönteminin karşılaştırıldığı bir çalışmada; CuZn39Pb3 pirinç malzemesi deneyleri üç farklı kesme hızında (100, 200 ve 300 m/dk), 4 farklı ilerleme hızında (0,05, 0,10, 0,15 ve 0,20 mm/dev), sabit kesme derinliğinde (2 mm), ve 3 farklı MQL yağ debisinde (50, 100, 200 ml/h) tornalayarak gerçekleştirmişlerdir. Kesme kuvvetinde her iki yağlama yönteminde çok büyük fark olmadığını, kesme kuvvetinin en düşük 200 m/dk kesme hızında elde edildiğini tespit etmişlerdir. Yüzey pürüzlölüğünün artan ilerleme hızı ile arttığını, 200 ml/h yağ debisinde her iki yağlama yönteminin benzer yüzey pürüzlölük değerleri çıkardığını ortaya koymuşlardır [89].

Aynı malzeme üzerine yapılan başka bir çalışmada CuZn39Pb3 pirinç malzemesi MQL yöntemi ile karbür kesici takımla tornalamasında optimum kesme parametrelerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Deneyler Taguchi L9 deney tasarımına göre yapılmış olup üç farklı kesme hızı (100, 200, 400 m/dk), üç farklı ilerleme hızı (0,05, 0,10, 0,015 mm/dev) ve üç farklı yağlayıcı miktarında (50, 100, 200 ml/h) yapılmıştır. ANOVA analizi ile en uygun proses parametrelerinin önem seviyelerini belirlemek amacıyla kullanmışlardır. ANOVA analizi ile ilerleme hızının en belirleyici faktör olduğunu MQL ve kesme hızının takip ettiğini dile getirmişlerdir. Deneyler sonucunda en uygun işleme parametrelerinin 200 m/dk kesme hızında, 0,05 ilerlemede ve 200 ml/h yağlayıcı miktarında olduğunu belirtmişlerdir. Bu parametrelerde yapılan tornalama deneylerinde kesme kuvvetinin ve yüzey pürüzlölük değerlerinin en aza indirgediğini bildirmişlerdir [90].

Huang ve arkadaşları, SKD 11 malzemesinin frezelenmesinde MQL yöntemine eklenen çok duvarlı karbon nanotüpler kesme parametrelerine, yüzey kalitesi, kesme sıcaklığı ve takım aşınması etkilerini incelemişlerdir. Frezeleme işlemi 3 farklı yağlama yönteminde (Kuru, MQL ve MQL+Çok duvarlı karbon nanotüp), sabit kesme parametrelerinde ve 20 mm çapında çift kaplamalı (TiAlN+TiN) karbür kesici takımla yapmışlardır. MQL yönteminde bitkisel sıvı kullanılmış olup sabit basınç (4 bar) altında, sabit yağ debisinde (60 ml/saat) ve ağırlıkça %0,5 oranında çok duvarlı karbon nanotüp ilavesi ile gerçekleştirmişlerdir. Kesme uzunluğunun artması ile tüm yağlama koşullarında kesme sıcaklığının doğrudan arttığını söylemişlerdir. En büyük kesme kuvveti sırasıyla kuru, MQL ve MQL+Çok duvarlı karbon nanotüp elde etmişlerdir. Tüm işleme parametreleri ve yapılan deneylerde yüzey kalitesi, kesme sıcaklığı ve takım aşınmasını incelediklerinde en uygun sonucu MQL yöntemine ilave edilen çok duvarlı karbon nanotüp elde etmişlerdir. Bu durumu çok duvarlı karbon nanotüplerin yüksek termal ısı iletkenliğine, sağladığı yüksek aşınma direncine ve takım-iş parçası arasında oluşturduğu yağ film tabakasının yağlayıcılık özelliği ile ilişkilendirmişlerdir [91].

Uysal, AISI 430 Ferritik paslanmaz çeliği nanoakışkan kullanılarak frezelenmesinde kesme bölgesi sıcaklığına etkisi incelenmiştir. Frezeleme işlemi sabit kesme hızı (100 m/dk), sabit ilerleme hızı (180 mm/dk), sabit talaş derinliği (0,5 mm) ve tungsten karbür kesici takımla gerçekleştirmiştir. MQL yönteminde çok duvarlı karbon nanotüp katkılı bitkisel sıvı kullanılmış olup 5 bar sabit basınç ve iki farklı debisi değerlerinde (20ml/h ve 40 ml/h) uygulamıştır. MQL yöntemi ile yapılan deneylerde elde edilen kesme bölgesi sıcaklık değerlerinin kuru işlemeye göre daha düşük olduğu aynı zamanda çok duvarlı nanotüp katkısının ve MQL debisinin artmasına bağlı olarak kesme sıcaklığının azaldığını dile getirmiştir. En düşük kesme sıcaklığını MQL sıvısına ağırlıkça %0,15 oranında çok duvarlı karbon nanotüp ilavesinde elde etmiştir. Bu durumu çok duvarlı karbon nanotübün %0,15'den %0,2'ye çıkmasının artan viskozite değeri ve çökme eğiliminden dolayı sıcaklık değerlerinde bir miktar artışa sebep olduğunu bildirmiştir [92].

Park ve arkadaşları, AISI 1045 çeliğin frezelenmesinde nano grafen katkılı MQL yönteminin takım aşınması üzerinde etkilerini incelemişlerdir. Frezeleme işlemi kuru geleneksel kesme sıvısı, nano grafen katkılı ve katkısız kesme sıvıları kullanılarak karşılaştırmışlardır. Deneylerde 1 ve 15 µm çapları arasında değişen ve 10 nm kalınlığında nano grafen tozları kullanmışlardır. Deneyler sonucunda nano grafen katkılı

MQL yöntemiyle yapılan deneylerde en az takım aşınması elde edilirken 0.1µm çapında ağırlıkça %0.1 nano grafen katkısının bitkisel yağ içinde daha iyi dağılım gösterdiği ve kesme performansını arttırdığını belirtmişlerdir [93].

Samuel ve arkadaşları, yağlama ve soğutma performansını arttırmak amacıyla kesme sıvısına eklenen grafen tozu ve karbon nanotüp kıyaslamışlardır. Yapılan mikro tornalama deneylerinde AISI 1018 çeliği kullanılmış olup, kesme sıvısı olarak yarı sentetik Castrol Clearedge kullanılmışlardır. Kesme sıvısına farklı oranlarda grafen tozu (%0,1, 0,2 ve 0,3) ve sabit oranda (%0,5) tek duvarlı karbon nanotüp ve çok duvarlı karbon nanotüp ilave etmişlerdir. Grafen taneciklerinin ağırlığının artması ile yağlama ve soğutma verimliliğinin arttığını, kesme sıvısının katı-sıvı ara yüzey temas alanını artırarak su fazının buharlaştırılmasıyla soğutmanın daha etkin yapıldığı, grafen tabakalarının yağlayıcı özelliğiyle sürtünme ile birlikte ısıyı kesme bölgesinden daha fazla uzaklaştırdığını ifade etmişlerdir [94].

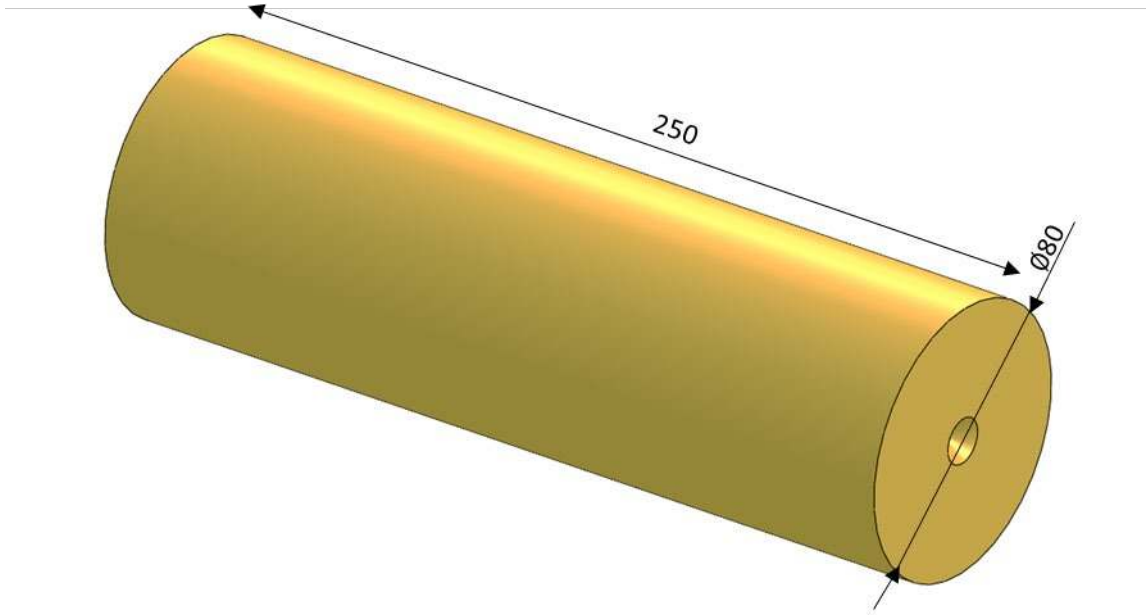
MQL yöntemi ile gerçekleştirilen literatür çalışmaları incelendiğinde, MQL sisteminin kesici takım ömrü ve yüzey kalitesine pozitif etki ederek geleneksel soğutma ve yağlama yöntemlerine ciddi oranda alternatif olma özelliği taşımaktadır. Aynı zamanda MQL sisteminde bitkisel bazlı kesme sıvılarının kullanılması insan sağlığına ve ekolojik sürdürülebilirliğe pozitif etki etmektedir. Bunun yanı sıra bitkisel bazlı kesme sıvılarının kullanım sonrasında bertaraf edilmesine gerek duyulmaması toplam üretim maliyetinin azalmasını sağlamaktadır. Son yıllarda MQL sisteminin verimliliğini daha da arttırmak amacıyla MQL sistemine nanopartiküller eklenmiştir. Eklenen nanopartiküller üstün yağlayıcılık özellikleri, yüksek termal iletkenliği ve yüksek ısı iletim katsayısına sahip olmasından dolayı kesme bölgesindeki oluşan sıcaklığın düşmesine pozitif etki ederek iş parçası yüzey kalitesinin artmasına ve kesici takım aşınmasının yavaşlamasını sağlamaktadır.

Yapılan literatür araştırmalar sonucunda, CW511L pirinç alaşımının 4 farklı kesme hızında, 4 farklı ilerleme hızında ve sabit talaş derinliğinde kuru, MQL ve nano MQL yöntemleri ile tornalanmasının yüzey pürüzlülüğü, kesme bölgesi sıcaklığı ve kesici takım aşınmasına etkileri incelenmiştir.

6. MATERYAL METOT

6.1. DENEY NUMUNESİ MALZEMESİ

Bu çalışmada, korozyon direnci, termal ve elektrik iletkenliği yüksek pirinç alaşımı CW511L (CuZn38As) malzemesi kullanılmıştır. Tornalama deneyleri Şekil 6.1’de verilen 250 mm boyunda ve Ø80 mm çapında CW511L malzemesi iki alın yüzeyinden punta delikleri açılarak gerçekleştirilmiştir. CW511L pirinç alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Deney numunesi malzemesi.

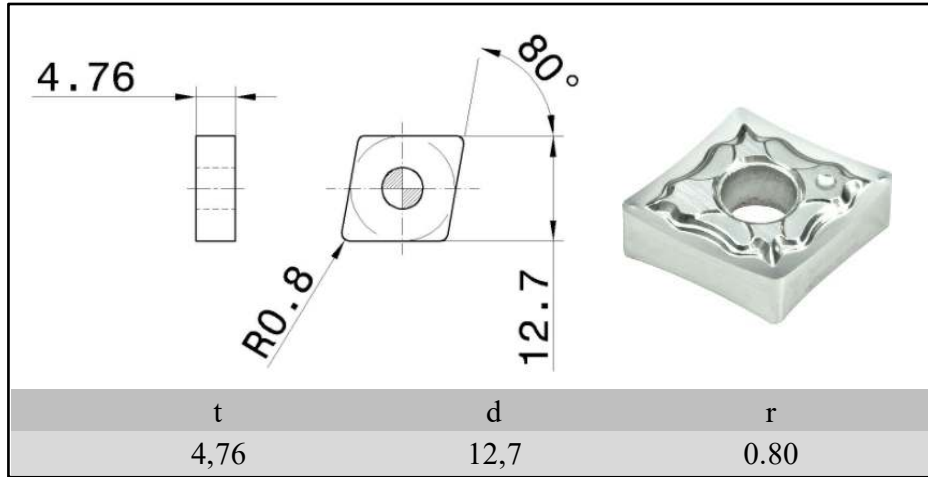
Çizelge 6.1. CW511L pirinç alaşımının ağırlıkça kimyasal bileşimi.

Element	Cu	Zn	Pb	Fe	Ni	Al	As	Sn
%	61.5	37.7	0.2	0.1	0.3	0.05	0.05	0.1

6.2. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU

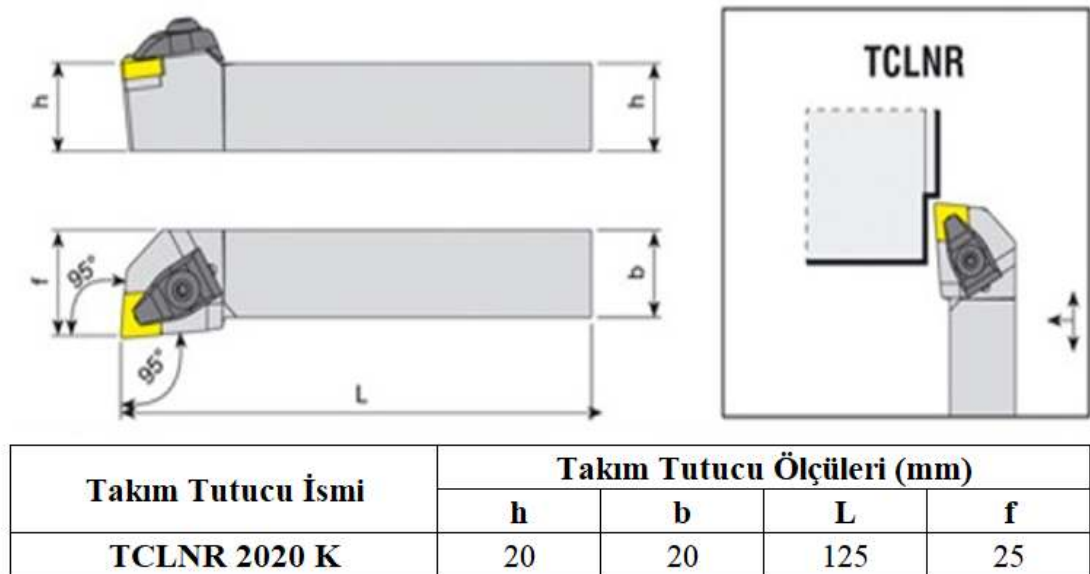
Tornalama deneyleri, TaeguTec marka CNMG 120408 K10 kaplamasız tungsten karbür

kesici takım ile gerçekleştirilmiştir. Kesici takım boyutları Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. CNMG 120408 K10 kaplamasız tungsten karbür kesici takım boyutları [95].

Tornalama deneylerinde kesici takımın torna tezgâhına bağlanabilmesi için AKKO firmasına ait TCLNR 2020 K serisi takım tutucu kullanılmıştır. Takım tutucu boyutları Şekil 6.3’de verilmiştir.



Şekil 6.3. TCLNR 2020 K serisi takım tutucu boyutları [96].

6.3. DENEYLERDE KULLANILAN KESME PARAMETRELERİ

Tornalama deneyleri 4 farklı kesme hızı ve 4 farklı ilerleme hızında 4 farklı soğutma

yönteminde, sabit kesme derinliğinde ve sabit talaş derinliğinde uygulanmıştır. Çizelge 6.2’de kesme parametreleri verilmiştir.

Çizelge 6.2. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.

Malzeme	Soğutma Yöntemi	Kesme Hızı	İlerleme Hızı	Kesme Derinliği	Talaş Hacmi
		(V) m/dk	(f) mm/dev	(mm)	(mm ³)
CW511L	Kuru	160	0,16	1,5	10000
	MQL	240	0,24		
	MQL+Çok Duvarlı Karbon Nanotüp	320	0,32		
		400	0,40		
	MQL+Nano Grafen				

6.4. DENEYLERDE KULLANILAN MQL SİSTEMİ VE MQL SIVISI

Deneylerde MQL sistemi olarak Şekil 6.4’de görülen Bielomatik firması tarafından üretilmiş olan B1-210 modeli kullanılmıştır. MQL sisteminin teknik özellikleri ise 6.3’de verilmiştir.



Şekil 6.4. Bielomatik B1-210 MQL Sistemi [97].

Çizelge 6.3. Bielomatik B1-210 modeli teknik özellikleri.

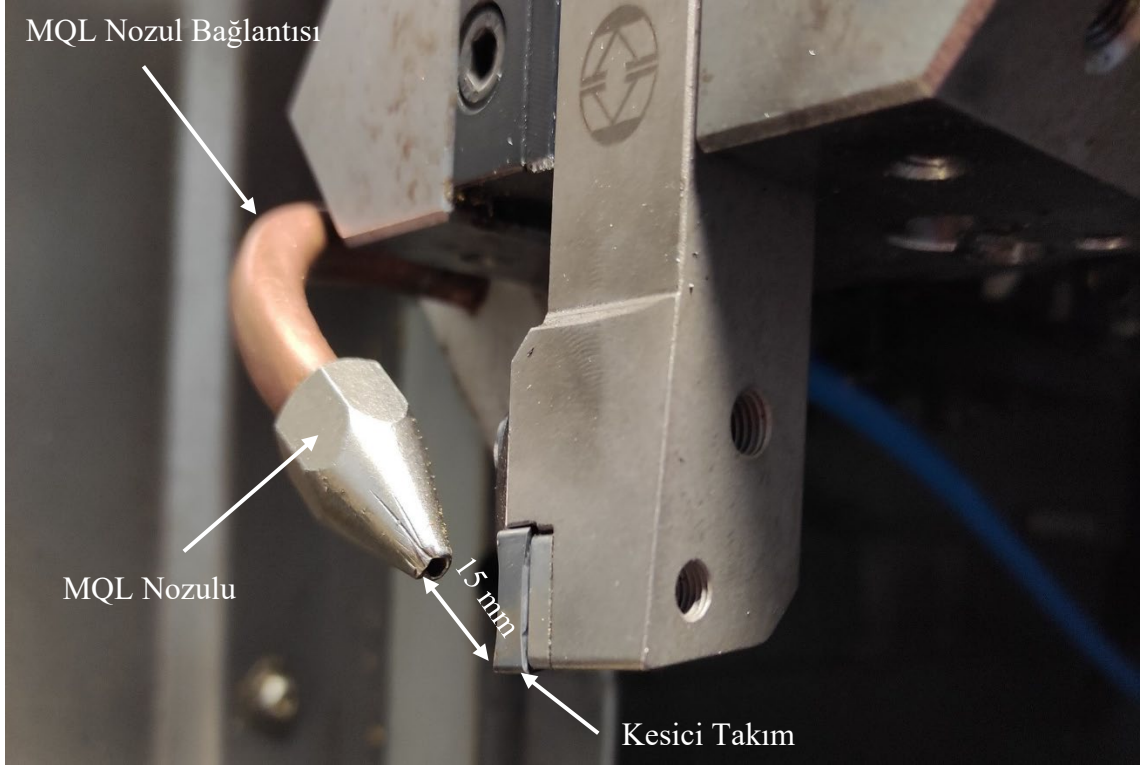
Tank Kapasitesi	1,8 lt
Çalışma Basıncı	5-10 Bar
Yağ miktarı	50-150 ml/s
Hava tüketimi	45 m ³ /s
Kalibrasyon	Manuel

MQL deneylerinde kesme sıvısı olarak bitkisel esaslı %100 çözülebilen Samnos ZM22W yağı kullanılmıştır. Yağın teknik özellikleri Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Samnos ZM22W yağı teknik özellikleri.

Kinematik Viskozite	1,7 mm ² /s (20°C) - 1,0 mm ² /s (40°C)
Yoğunluk	ca. 1 g/cm ³ (20°C)
Buhar Basıncı	23 hPA (20°C)
Kaynama Noktası	100 °C
PH	7-9
Renk	Renksiz

MQL deneyleri 6 bar sabit basınç altında, 150 ml/s sabit yağ debisinde ve 15 mm sabit nozul mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.5’de MQL sisteminde kullanılan nozul bağlantı şekli verilmiştir.



Şekil 6.5. MQL sisteminde kullanılan nozul sistemi.

6.5. DENEYLERDE KULLANILAN NANOPARTİKÜLLERİN HAZIRLANMASI

Nano MQL deneylerde kullanılan nanoakışkanların hazırlanmasında kesme sıvısı olarak, çevre dostu olan bitkisel esaslı Samnos ZM22W yağı kullanılmıştır. Kesme sıvısının işleme esnasındaki performansını arttırmak amacıyla, kesme sıvısı içerisine hacimce %0,5 olacak şekilde nano grafen ve çok duvarlı karbon nanotüp ilave edilerek 2 farklı nano MQL sıvısı hazırlanmıştır. Kullanılan çok duvarlı karbon nanotüp partiküllerinin ağırlıkça %12'sini grafen oluşturmaktadır. Hazırlanan MQL sıvılarının içerisine nanopartiküllerin yanı sıra sodyum dodesil sülfat eklenerek karışımın daha homojen olması sağlanmıştır. Kullanılan nanopartiküller yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığını koruma, etkin yağlama ve yüksek ısı iletim katsayısı özelliklerine sahiptir. Nanopartiküllere ait teknik özellikler Çizelge 6.5 ile Çizelge 6.7 arasında verilmiştir.

Çizelge 6.5. Nanografen özellikleri

Saflık	%99
Boyut	5 nm
Çap	30 µm
İletkenlik	1100-1600 s/m
Renk	Gri

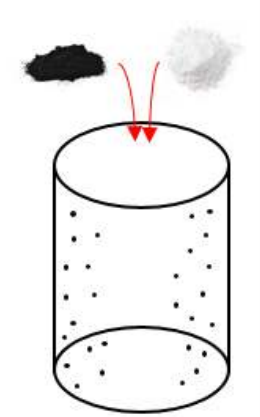
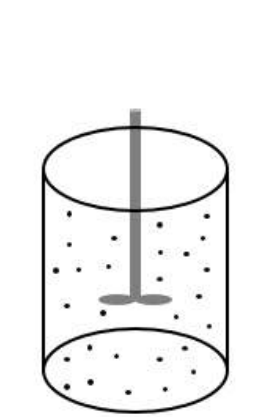
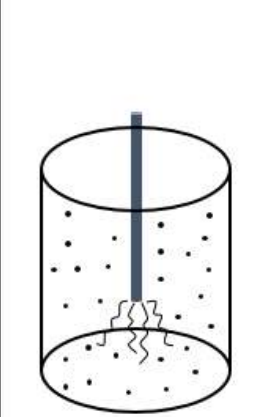
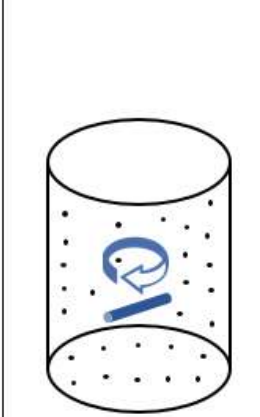
Çizelge 6.6. Çok duvarlı karbon nanotüp özellikleri.

Saflık	%97
Boyut	5 nm
Uzunluk	15-25 µm
İletkenlik	1000-1500 s/m
Renk	Siyah

Çizelge 6.7. Sodyum dodesil sülfat özellikleri.

Saflık	%99.5
Moleküler Ağırlık	288.38
Erime Noktası	203-208 °C
Renk	Beyaz

Nanopartiküllerin hazırlanması 4 temel aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada hacimce %0,5 olacak şekilde hassas terazide nano grafen, çok duvarlı karbon nanotüp ve sodyum dodesil sülfat tozları ölçülmüştür. İkinci aşamada ise ölçülen tozlar hacimce %99,5 olacak şekilde Samnos ZM22W kesme sıvısı içerisine ilave edilerek Heidolph marka Hei-Torque Precision 200 modeli kullanılarak, 60 dakika boyunca 700 dev/dk ile mekanik olarak karıştırılmıştır. Mekanik karıştırma işlemi sonrasında üçüncü aşamda Bandelin Sonopuls marka UW 3200 model kullanılarak, 60 dakika boyunca ultrasonik karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik karıştırma işlemi sonrasında dördüncü aşamada Termal marka N11150M model manyetik karıştırıcı yardımıyla 120 dakika boyunca 1600 dev/dk'da son karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Nanopartiküllerin hazırlanması işlemleri Şekil 6.6'da verilmiştir.

1. Adım (a)	2. Adım (b)	3. Adım (c)	4. Adım (d)
			
			

Şekil 6.6. Nanopartiküllerin hazırlanması aşamaları a) Nanopartiküllerin hazırlanılması ve ölçülmesi b) Mekanik karıştırma prosesi c) Ultrasonik karıştırma prosesi d) Manyetik karıştırma prosesi.

6.6. KESME SIVILARININ VİSKOZİTE ÖLÇÜMÜ

Hazırlanana kesme sıvılarının dinamik viskozite ölçümü Anton Paar MCR102e marka reometre cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Dinamik viskozite ölçüm işlemi rotasyonel hız 0,1-200 RPM aralığında artan ve azalan hızda 2 adımda gerçekleştirilmiştir. Dinamik viskozite ölçümü işlemi Şekil 6.7’de verilmiştir. Anton Paar MCR102e cihazının teknik özellikleri Çizelge 6.8’de verilmiştir.



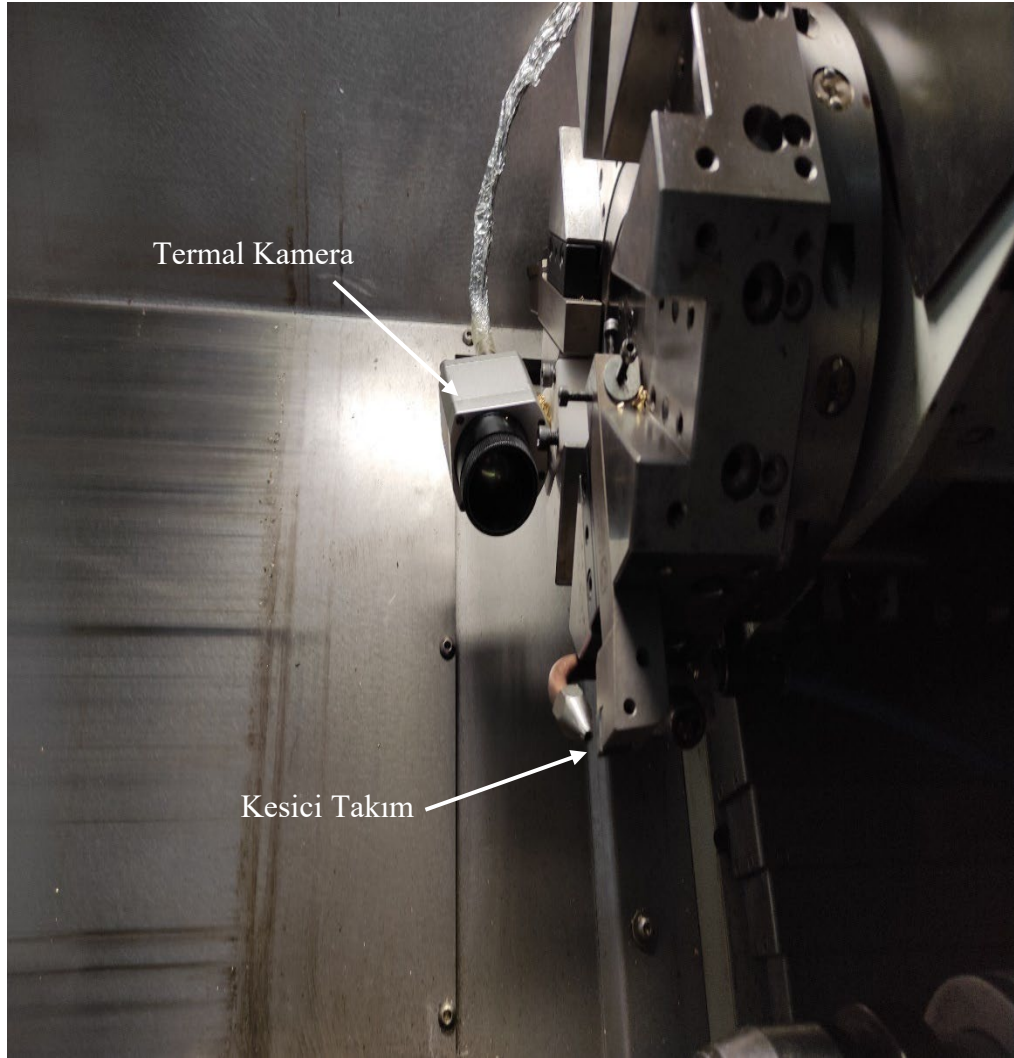
Şekil 6.7. Anton Paar MCR102e reometre cihazı.

Çizelge 6.8. Anton Paar MCR102e reometre teknik özellikleri.

Boyutlar	444 x 678 x 586 mm
Ağırlık	42 kg
Minimum Tork (Rotasyon)	5 nNm
Maksimum Tork	200 nNm
Minimum Açısal Sapma	0,5 μ rad
Maksimum Açısal Sapma	∞
Normal Kuvvet Aralığı	-50 ila 50 N
Maksimum Sıcaklık Aralığı	-160 ila +1.000 °C
Maksimum Basınç	1000 Bar

6.7. KESME BÖLGESİ SICAKLIKLARININ ÖLÇÜLMESİ

Tornalama deneylerinde kesici takımın iş parçası üzerinde talaş kaldırma esnasında kesme bölgesinde oluşan sıcaklık OPTRIS marka PI 450 termal kamera ile ölçülmüştür. Kesme işlemi esnasında kesici takım hareketi ile birlikte kameranın da hareket edebilmesi amacıyla kamera tarete sabitlenmiştir. Her bir deney için video çekimi yapılarak kesme bölgesinde oluşan en yüksek sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklık değerleri kesme parametreleri ve kesme ortamları ile ilişkilendirilmiştir. Termal kameranın deney düzeneğindeki konumu Şekil 6.8’de, termal kamera teknik özellikleri ise Çizelge 6.9’da verilmiştir.



Şekil 6.8. Termal kameranın deney düzeneğindeki konumu.

Çizelge 6.9. OPTRIS marka PI 450 termal kamera teknik özellikleri.

Model	PI 450
Boyut	46x56x90 mm
Ağırlık	320 gr
Sıcaklık Aralığı	-20 °C ile 900 °C
Spektral Aralık	7,5-13 µm
Görüntü Frekansı	80 Hz
Optik Çözünürlük	382x288 piksel detektör
Güç kaynağı	USB üzerinden

6.8. KESİCİ TAKIM AŞINMASI DEĞERLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Kesme işlemi esnasında kesici takım iş parçasından talaş kaldırmaktadır. Talaş kaldırma sırasında oluşan sıcaklık ve sürtünme ile birlikte kesici takımda aşınma meydana gelmektedir. Yapılan deneylerde kesici takımda oluşan yanak aşınması Dino Lite 2.0 mikroskop ile ölçülmüştür. Mikroskop ölçümleri sonucunda aşınma tipleri ve aşınma mekanizmalarının daha detaylı incelenebilmesi amacıyla FEI Quanta FEG 250 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile fotoğrafları çekilmiş olup Şekil 6.9’da verilmiştir. Kesici takım aşınmasının ölçüldüğü Dino Lite 2.0 mikroskop Şekil 6.10’da verilmiştir. Ayrıca Dino Lite 2.0 mikroskobun teknik özellikleri Çizelge 6.10’da verilmiştir.



Şekil 6.9. FEI Quanta FEG 250 taramalı elektron mikroskop.



Şekil 6.10. Dino Lite 2.0 mikroskop [98].

Çizelge 6.10. Dino Lite 2.0 mikroskop teknik özellikleri.

Çözünürlük	1,3 Megapiksel
Büyütme	200x
Bağlantı	USB 2.0
LED Türü	Beyaz
LED Sayısı	8 Adet
İR Filtresi	>650 nm

6.9. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ

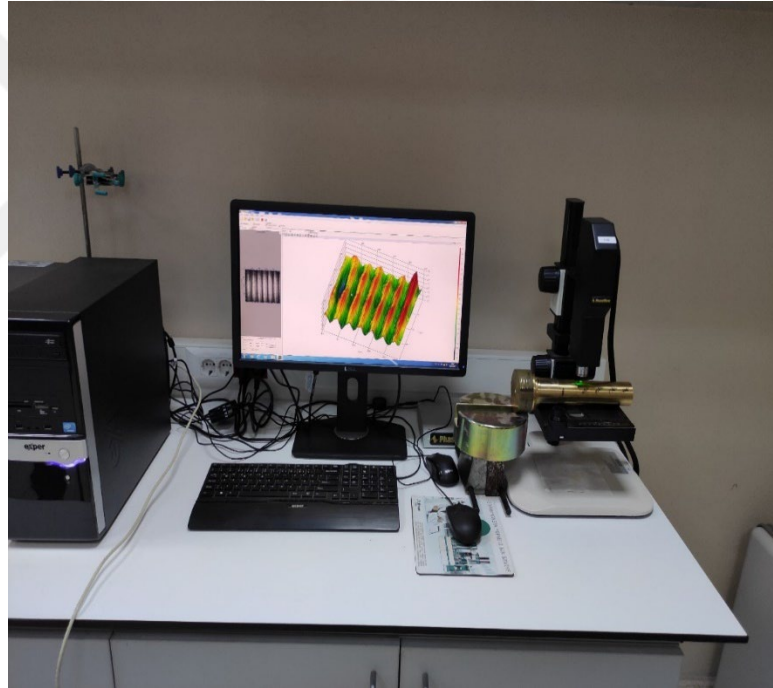
Yapılan her bir deney sonrasında iş parçası yüzey kalitesinin belirlenmesi amacıyla Mahr PS10 profilometre cihazı kullanılmıştır. Her bir ölçümde 3 farklı noktadan yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalaması (R_a) ve en büyük 5 girinti ve 5 çıkıntının aritmetik ortalaması (R_z) ölçümleri Şekil 6.11'deki cihazla gerçekleştirilmiştir. Mahr PS10 profilometre cihazı teknik özellikleri Çizelge 6.11'de verilmiştir. Malzemenin yüzey değerleri ve yüzey topografyası değerlendirilmesi adına Phase View marka optik profilometre kullanılmıştır ve Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.11. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı [99].

Çizelge 6.11. Mahr PS10 profilometre cihazı teknik özellikleri

Model	PS10
Boyutlar	160x77x50 mm
Ağırlık	500 gr
Ölçme Kuvveti	0,7 mN
Ölçme Prensibi	Tarama Ucu Yöntemi
Girdi	Endüktif Destekli Prob
Ölçüm Aralığı	350 μ m
Profil Çözünürlüğü	32 nm, 16 nm, 8 nm
Uç Malzemesi	Elmas
İğne Uç Yarı Çapı	2 μ m
Örnekleme Uzunluğu Sayısı	1-5
Hareket Uzunluğu	1, 2, 4, 8, 12, 16 mm
Hareket Değerlendirme Uzunluğu	1,25-4, 0-12,5 mm
Ölçülebilen Parametreler	Ra, Rz, Rmax
Kalibrasyon İşlevi	Dinamik



Şekil 6.12. Phase View marka optik profilometre.

6.10. DENEY DÜZENEGİ

Tornalama deneyleri Düzce Üniversitesi Cumayeri Meslek Yüksek Okulu laboratuvarında bulunan 7,5 kW gücünde Fanuc kontrol üniteli Accuway SJ-20 marka CNC torna tezgâhı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan CNC torna tezgahı Şekil

6.13’de gösterilmiş, teknik özellikleri ise Çizelge 6.12’de verilmiştir.



Şekil 6.13. Accuway SJ 20 CNC torna tezgahı.

Çizelge 6.12. Accuway SJ 20 CNC torna tezgahının teknik özellikleri.

CNC Tezgah Gücü	7,5 kW
İşletim Sistemi	Fanuc OT
Maksimum Tornalama Çapı	225 mm
Maksimum Tornalama Boyu	320 mm
Maksimum İş Devri	6000 dev/dk
Taret İstasyonu Sayısı	8 Adet
Kater Boyutu	20x20 mm
Ayna Çapı	6 inç
Ölçü Hassasiyeti	0,001 mm

CNC torna tezgahına MQL sistemi ve kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın ölçüldüğü termal kamera eklenmiş olup deney düzeneği Şekil 6.14’de verilmiştir.



Şekil 6.14. Deney düzeneği a) CNC torna tezgahı b) MQL sistemi c) Termal sıcaklık programı d) Dijital mikroskop programı e) Deney numunesi f) Termal kamera g) Kesici takım ğ) Kesici takım tutucu h) MQL nozulu.

7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

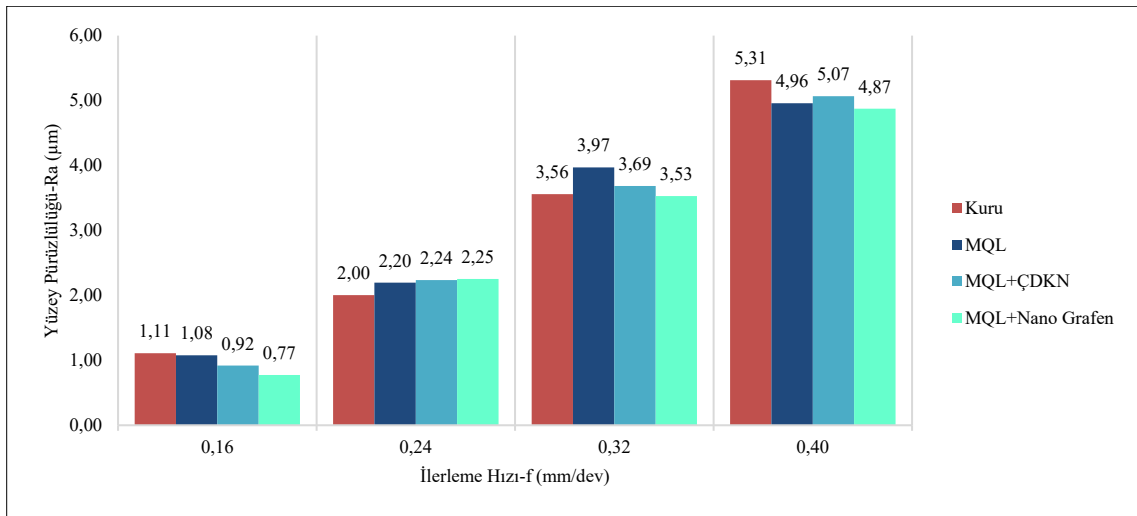
7.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

CW511L iş parçası kaplamasız tungsten karbür takımlar ile 4 farklı kesme hızında (160, 240, 320, 400 m/dk), 4 farklı ilerleme hızında (0,16, 0,24, 0,32 ve 0,40 mm/dev) ve 4 farklı işleme koşullarında (Kuru, MQL, MQL+ÇDKN, MQL+Nano Grafen) tornalama yapılarak gerçekleştirilmiştir. Tornalama deneyleri sonucunda oluşan Ra ve Rz değerleri Şekil 7.1 ile Şekil 7.8 arasında verilmiştir.

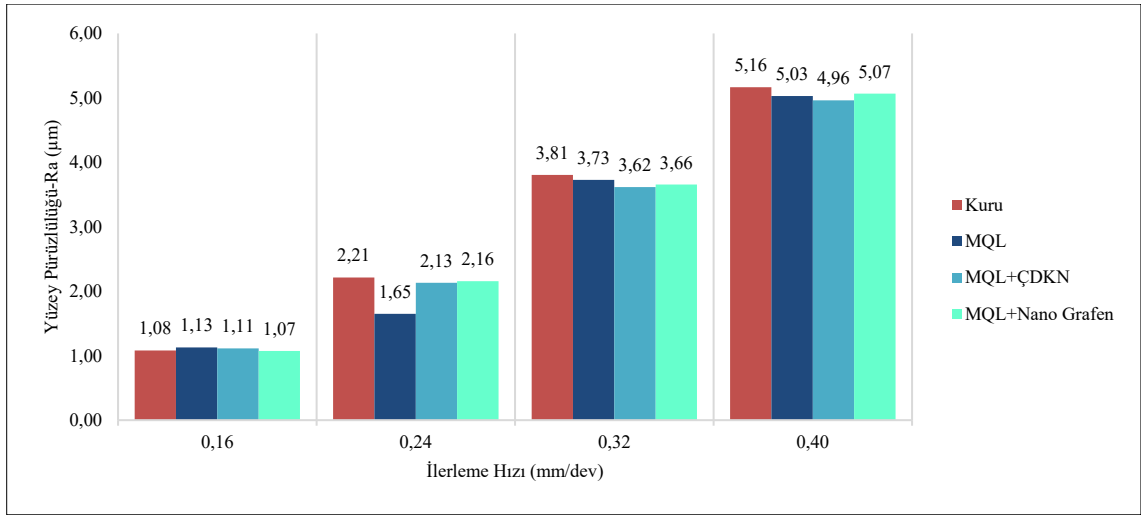
Yapılan deneyler sonucunda; tüm işleme parametrelerinde Ra değerleri 0,77–5,31 μm aralığında ölçülmüştür. Şekil 7.1 ile Şekil 7.4 arasındaki grafikleri incelendiğinde; yapılan deneylerde en düşük Ra değeri (0,77 μm) en düşük kesme hızı ve en düşük ilerleme hızında MQL+Nano Grafen işleme yönteminde elde edilmiştir. En yüksek Ra değeri (5,31 μm) en düşük kesme hızı ve en yüksek ilerleme hızında kuru kesme koşulunda tespit edilmiştir. Tüm kesme koşullarında yüzey pürüzlülüğü ile ilerleme hızı arasında doğru orantılı olup artan ilerleme hızı ile birlikte Ra değerinde de artış görülmektedir. İlerleme hızındaki artış birim zamanda iş parçası üzerinden kaldırılacak talaş miktarının da artmasını sağlamaktadır. Birim zamanda artan talaş miktarıyla kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın, kesme kuvvetinin ve kesici takım aşınmasının artması sonucunda yüzey pürüzlülüğünde artış meydana getirdiği düşünülmektedir [100]–[102]. Ayrıca MQL sistemine eklenen nanopartiküllerin kesme sıvısının viskozitesini artırarak kesici ve iş parçası arasındaki temas alanının yağlama özelliğini geliştirmek, sürtünmeyi azaltmak ve kesici takımın hızlı aşınmasını engelleyerek yüzey pürüzlülüğüne pozitif etki etmiştir [27], [103], [104]. Kesme sıvılarındaki dinamik viskozite değişimi Şekil 7.5’de verilmiştir. Farklı bir pirinç malzemenin MQL ve geleneksel soğutma yönteminin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; yüzey pürüzlülüğü değerinin artan kesme hızı ve ilerleme hızı ile paralel olarak arttığı bildirilmiştir [89].

Kuru işleme yöntemi ile yapılan deneylerde Ra değerleri 1,02–5,31 μm aralığında ölçülmüştür. Aynı ilerleme hızı parametrelerinde kuru işlemeye göre MQL sisteminde Ra değerinde %31,99’a varan oranda iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir. Aynı ilerleme hızı parametrelerinde gerçekleştirilen deneylerde, kuru işlemeye kıyasla MQL+ÇDKN yönteminde %34,13, MQL+Nano Grafen yönteminde %36,01’e varan oranlarda daha

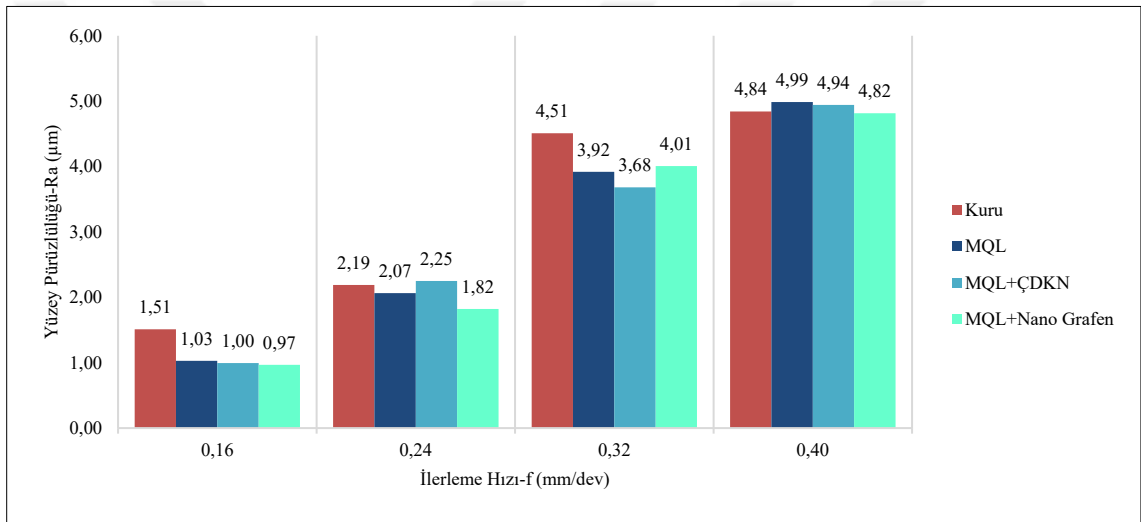
düşük Ra değerleri elde edilmiştir. MQL işleme yöntemi ile yapılan deneylerde Ra değerleri 1,03–5,03 μm aralığında ölçülmüştür. Aynı ilerleme hızı parametrelerinde MQL işlemeye göre MQL+ÇDKN yönteminde %20,01, MQL+Nano Grafen yönteminde %28,09'a varan oranlarda daha düşük Ra değerleri tespit edilmiştir. MQL sıvısı içerisine eklenen nanopartiküllerin viskozite, yağlayıcılığı ve termal iletkenliğinin yüksek olması sebebiyle nano MQL sisteminde daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir [24], [77]. MQL+ÇDKN işleme yöntemi ile yapılan deneylerde Ra değerleri 0,92–5,07 μm aralığında ölçülmüştür. Genel olarak MQL+ÇDKN yöntemi ile yapılan deneylerde MQL+Nano Grafen yöntemine göre yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilmiştir. MQL+Nano Grafen yöntemi ile MQL+ÇDKN yöntemine kıyaslayacak olursak aynı ilerleme hızı parametrelerinde MQL+Nano Grafen yöntemi ile %22'lere varan oranlarda daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri gözlemlenmiştir. Tüm deneyler göz önüne alındığında aynı ilerleme hızlarında genel olarak en iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri MQL+Nano Grafen uygulamasında elde edilmiş olup Ra değerleri 0,77–5,07 μm aralığında ölçülmüştür. MQL+Nano Grafen yönteminin viskozite, ısı iletkenliği ve yağlayıcılık özelliğinin MQL+ÇDKN tozlarına göre daha yüksektir. Bu durum kesme bölgesinde oluşan sürtünmenin ve sıcaklığın azalmasını sağlayarak kesme performansına pozitif etki etmektedir [94], [105], [106]. Kesme performansındaki bu artış MQL+Nano Grafen yönteminde daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerinin elde edilmesini sağladığı düşünülmektedir.



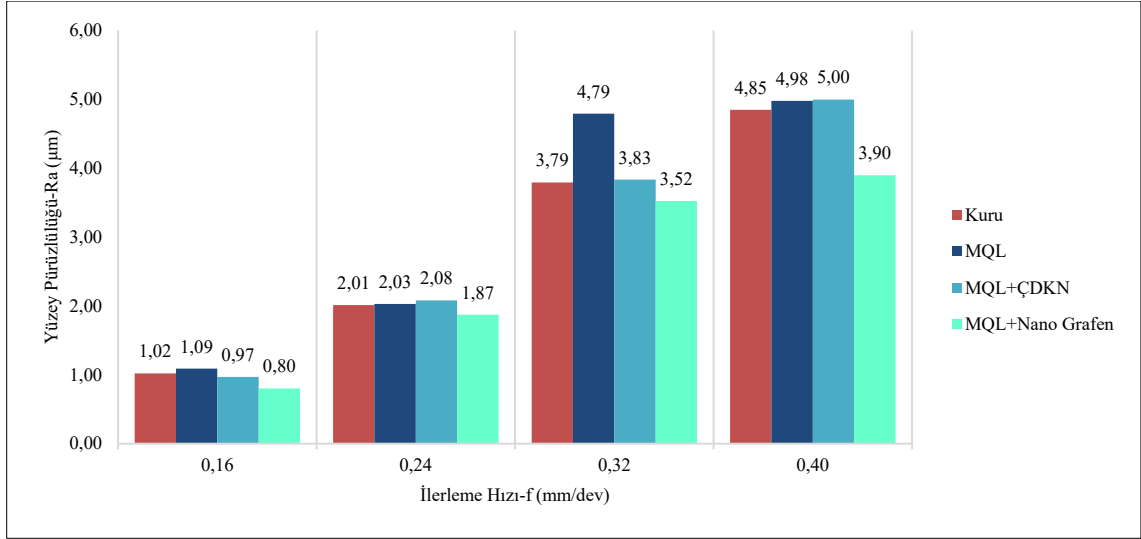
Şekil 7.1. Farklı işleme koşullarında Ra değerleri (V=160 m/dk).



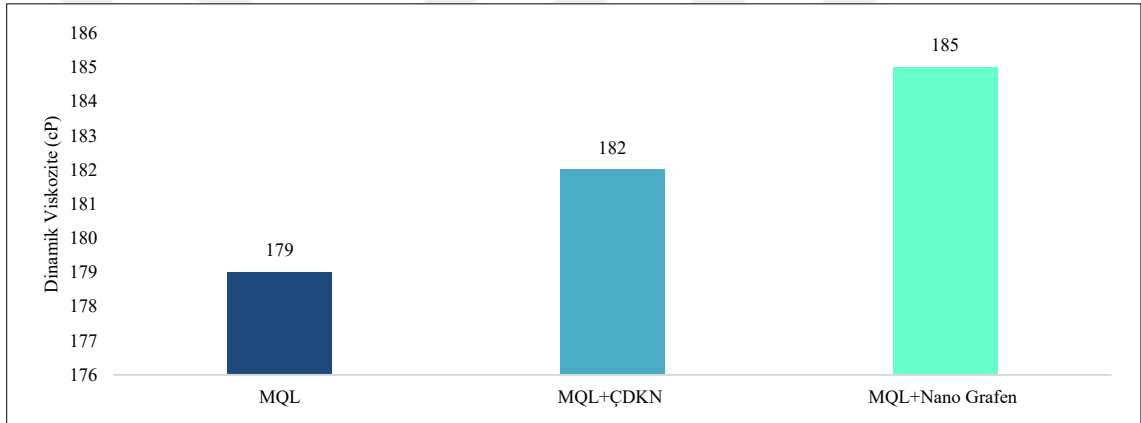
Şekil 7.2. Farklı işleme koşullarında Ra değerleri (V=240 m/dk).



Şekil 7.3. Farklı işleme koşullarında Ra değerleri (V=320 m/dk).



Şekil 7.4. Farklı işleme koşullarında Ra değerleri (V=400 m/dk).



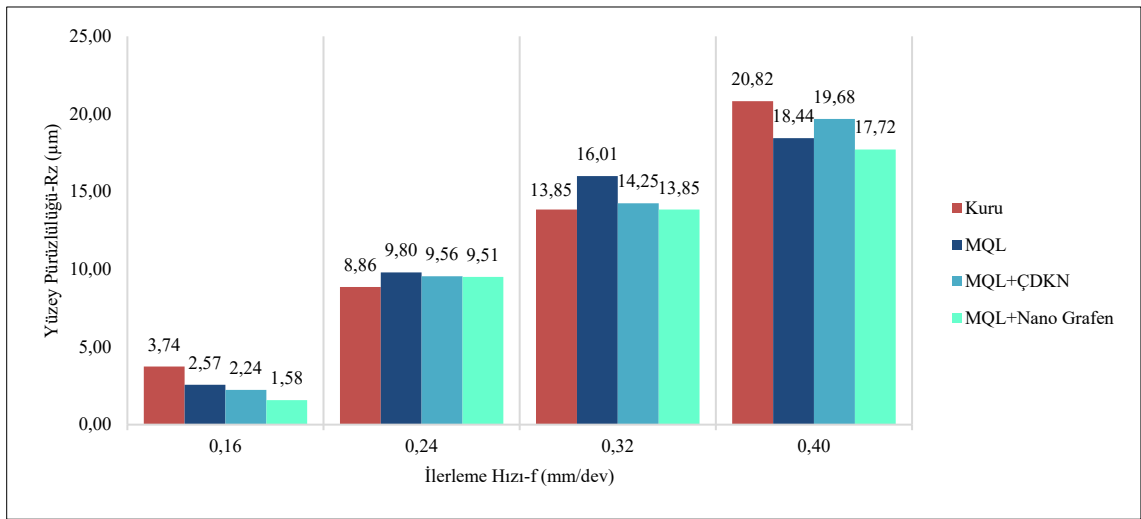
Şekil 7.5. Farklı kesme sıvılarının dinamik viskozite değerleri.

Yapılan deneyler sonucunda; tüm işleme parametrelerinde Rz değerleri 1,58–20,82 μm aralığında ölçülmüştür. Şekil 7.6 ile Şekil 7.9 arasındaki grafikleri incelediğimizde; yapılan deneylerde en düşük Rz değeri (1,58 μm) 160 m/dk kesme hızında, 0,16 mm/dev ilerleme hızında MQL+Nano Grafen yönteminde elde edilmiştir. En yüksek Rz değeri (20,82 μm) 160 m/dk kesme hızında, 0,40 mm/dev ilerleme hızında kuru kesme koşulunda gözlemlenmiştir. Ra değerlerinde olduğu gibi tüm kesme koşullarında yüzey pürüzlülüğü ile ilerleme hızı birbiri ile doğru orantılı olup artan ilerleme hızı ile birlikte Rz değerinde arttığı görülmektedir.

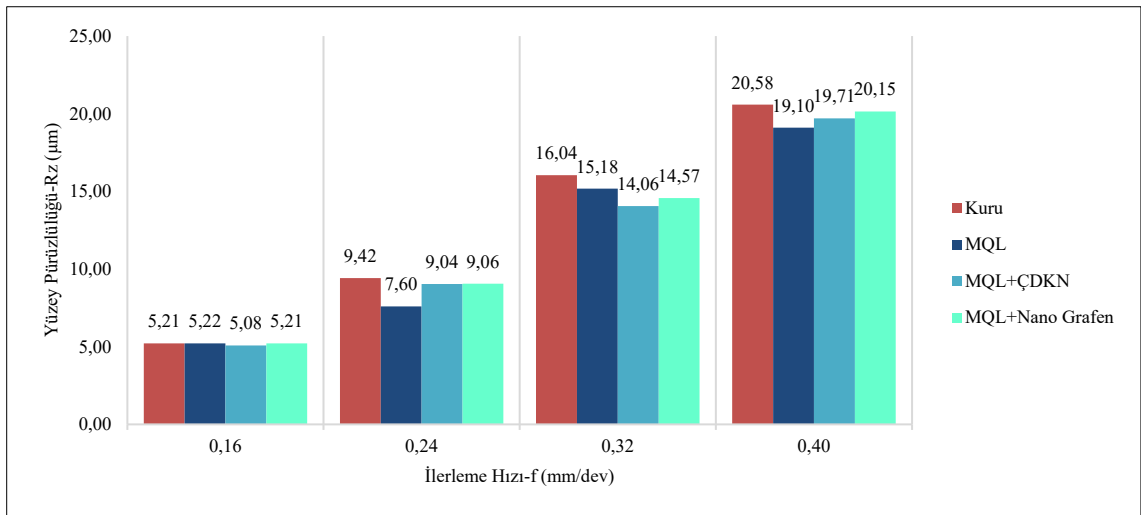
Aynı ilerleme hızı parametrelerinde kuru işlemeye göre MQL sisteminde Rz değerinde %34,65'e varan oranda iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde aynı ilerleme

hızı parametrelerinde gerçekleştirilen deneylerde, kuru işlemeye kıyasla MQL+ÇDKN yönteminde %40,10, MQL+Nano Grafen yönteminde %57,75'e varan oranlarda daha düşük Rz değerleri ölçülmüştür. MQL sistemindeki Rz değerleri ile nano tozların ilave edildiği MQL sistemlerini kıyaslayacak olursak, aynı ilerleme hızı parametrelerinde MQL işlemeye göre MQL+ÇDKN yönteminde %19,85, MQL+ Nano Grafen yöntemi yönteminde %38,52'ye varan oranlarda daha düşük Rz değerleri elde edilmiştir.

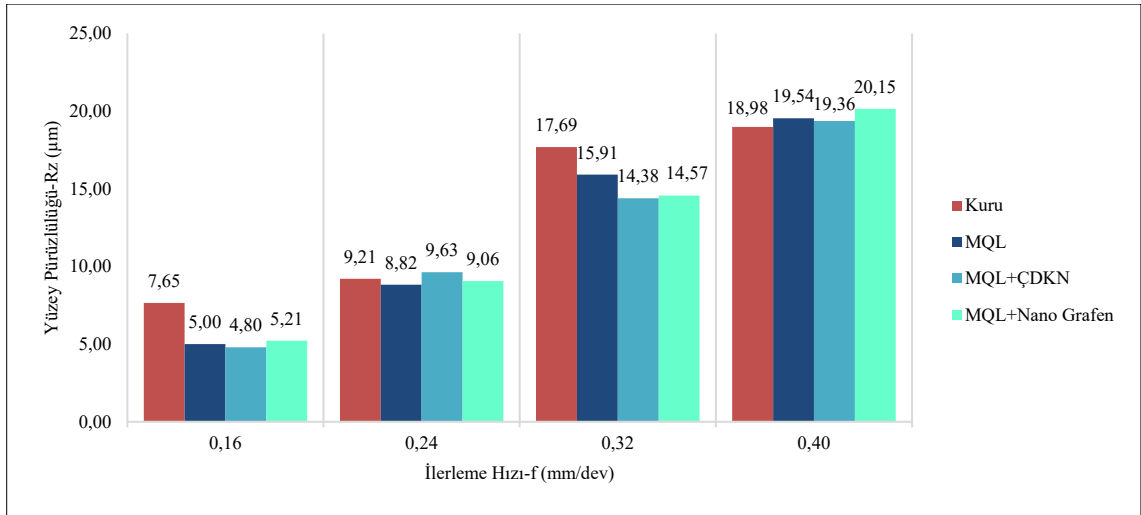
Nano toz ilave edilerek uygulanan MQL sistemlerini kendi içinde kıyaslayacak olursak aynı ilerleme hızı parametrelerinde MQL+Nano Grafen yöntemi ile MQL+ÇDKN yöntemine göre %29,46'lara varan oranlarda daha düşük Rz değerleri tespit edilmiştir.



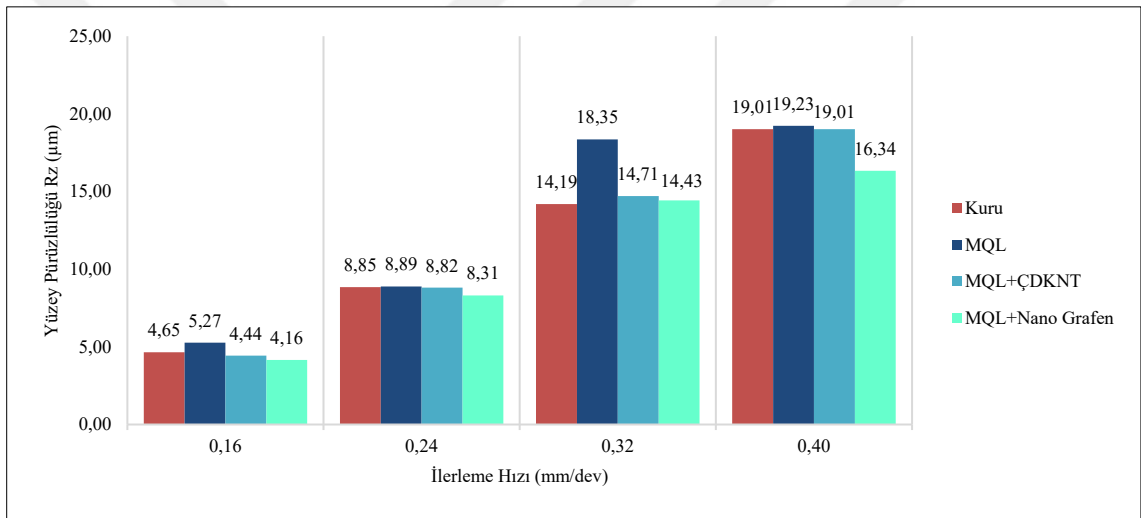
Şekil 7.6. Farklı işleme koşullarında Rz değerleri (V=160 m/dk).



Şekil 7.7. Farklı işleme koşullarında Rz değerleri (V=240 m/dk).



Şekil 7.8. Farklı işleme koşullarında Rz değerleri (V=320 m/dk).



Şekil 7.9. Farklı işleme koşullarında Rz değerleri (V=400 m/dk).

CW511L malzemesi yüzey topografyasının değerlendirilmesi için 160 m/dk kesme hızında, 0,16 mm/dev ilerleme hızında ve 4 farklı işleme koşullarında (Kuru, MQL, MQL+ÇDKN, MQL+Nano Grafen) tornalama yapılarak gerçekleştirilmiştir. Tornalama deneyleri sonucunda oluşan Ra, Rv (En büyük çukur derinlik değeri), Rp (En büyük tepe yükseklik değeri), Rt (En büyük yükseklik değeri) ve Rz değerleri Şekil 7.10 ile Şekil 7.13 arasında verilmiştir.

Şekil 7.10 ile Şekil 7.13 arasındaki grafiklerde Ra değerlerini incelediğimizde; Ra değerleri 1,11–0,77 µm arasında ölçülmüştür. Tüm işleme koşullarında en düşük Ra değeri MQL+Nano Grafen yönteminde elde edilirken, en yüksek Ra değeri kuru işleme

koşulunda elde edilmiştir. Kuru işlemeye göre MQL yönteminde %2,79, MQL+ÇDKN yönteminde %17,02, MQL+Nano Grafen yönteminde %30,10 oranlarında daha düşük Ra değerleri tespit edilmiştir. MQL yöntemi ile nano toz ilave edilen MQL yöntemlerini kıyaslayacak olursak, MQL işlemeye göre MQL+ÇDKN yönteminde %14,63, MQL+Nano Grafen yönteminde %28,09'lara varan oranlarda Ra'nın azaldığı görülmüştür. MQL+Nano Grafen yöntemi ile MQL+ÇDKN yöntemini kendi içinde kıyaslayacak olursak, MQL+Nano Grafen yöntemi ile MQL+ÇDKN yöntemine göre %15,76 oranında daha düşük Ra değerleri gözlemlenmiştir.

Rv değerleri -2,27 ile -0,97 μm arasında ölçülmüştür. Tüm işleme koşullarında en düşük Rv değeri kuru işleme yönteminde elde edilirken, en yüksek Rv değeri MQL+Nano Grafen yönteminde görülmüştür. Kuru işlemeye göre MQL yönteminde %29,07 MQL+ÇDKN yönteminde %32,59, MQL+Nano Grafen yönteminde %57,26'lara varan oranlarda daha yüksek Rv değerleri tespit edilmiştir. MQL işlemeye göre MQL+ÇDKN yönteminde %4,96, MQL+Nano Grafen yönteminde %39,75 oranında daha yüksek Rv değerleri elde edilmiştir. MQL+Nano Grafen yöntemi ile MQL+ÇDKN yöntemine göre %36,60 oranında daha düşük Rv değerleri tespit edilmiştir. Kuru işleme yönteminden MQL+Nano Grafen yöntemine gidildikçe malzeme yüzeyindeki çukurluğun derinliği azalmakta, bu durum malzemede daha iyi bir yüzey kalitesine sahip olmasını sağlamaktadır.

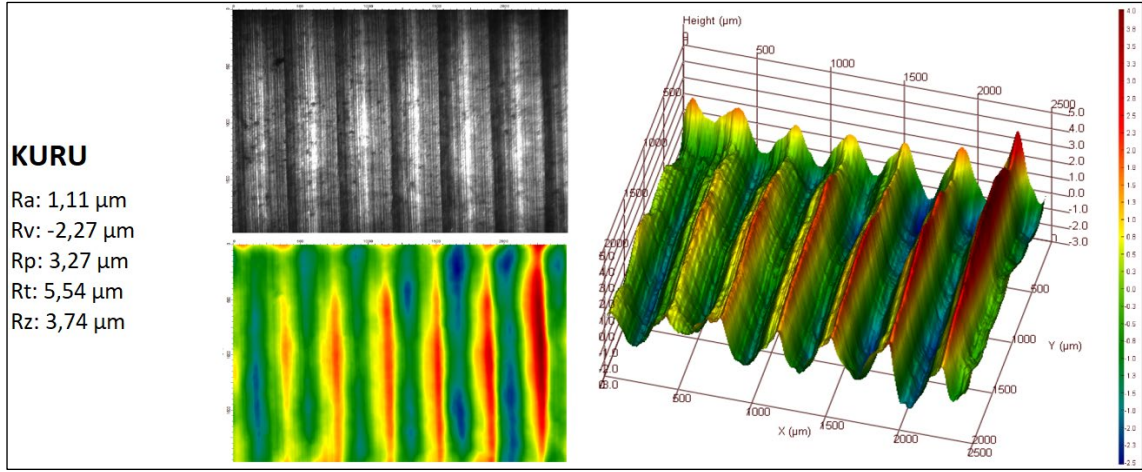
Rp değerleri 3,27–0,84 μm arasında ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek Rp değeri kuru işleme yönteminde elde edilirken, en düşük Rp değeri MQL+Nano Grafen yönteminde elde edilmiştir. MQL yönteminde kuru işlemeye göre %47,40 daha düşük Rp değeri tespit edilmiştir. Kuru işleme ile nano tozların ilave edildiği MQL yöntemlerini kıyaslayacak olursak, MQL+ÇDKN yönteminde %60,85, MQL+Nano Grafen yönteminde %74,31 oranında daha düşük Rp değerleri gözlemlenmiştir. MQL yöntemi ile işlemeye göre MQL+ÇDKN yönteminde %25,58, MQL+Nano Grafen yönteminde %51,16 oranında daha yüksek Rp değerleri elde edilmiştir. Nano toz ilave edilerek uygulanan MQL sistemlerini kendi içinde kıyaslayacak olursak, MQL+Nano Grafen yöntemi ile MQL+ÇDKN yöntemine göre %34,37 oranında daha düşük Rp değeri ölçülmüştür.

Rt değeri Rv ile Rp değerlerinin toplamı ile elde edilmekte olup 5,54–1,81 μm arasında

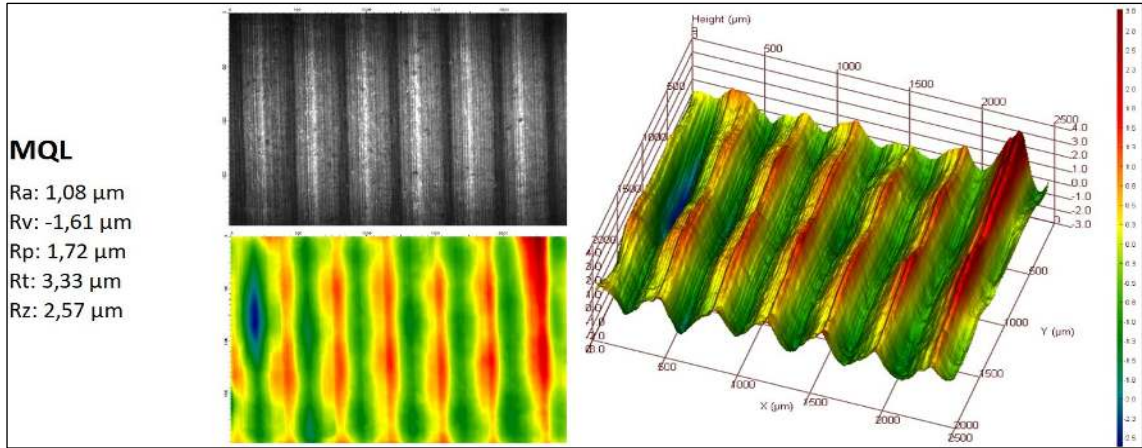
ölçülmüştür. Tüm işleme koşullarında en yüksek Rt değeri kuru işleme yönteminde elde edilirken, en düşük Rt değeri MQL+Nano Grafen yönteminde elde edilmiştir. Kuru işlemeye göre MQL yönteminde %39,89, MQL+ÇDKN yönteminde %49,27, MQL+Nano Grafen yönteminde %67,32 oranlarında daha düşük Rt değerleri tespit edilmiştir. MQL işlemeye göre MQL+ÇDKN yönteminde %15,61, MQL+Nano Grafen yönteminde %45,64 oranında daha yüksek Rt değerleri görülmektedir. MQL+Nano Grafen yöntemi ile MQL+ÇDKN yöntemine göre %35,58 oranında daha düşük Rt değeri ölçülmüştür.

Rz değerleri 3,74–1,58 µm aralığında olduğu görülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek Rz değeri kuru işleme yönteminde elde edilirken, en düşük Rz değeri MQL+Nano Grafen yönteminde elde edilmiştir. MQL yönteminde kuru işlemeye göre %31,28 daha düşük Rz değeri görülmektedir. Kuru işleme ile nano tozların ilave edildiği MQL yöntemlerini kıyaslayacak olursak, MQL+ÇDKN yönteminde %40,10, MQL+Nano Grafen yönteminde %57,75 oranında daha düşük Rz değerleri ölçülmüştür. MQL yöntemi ile işlemeye göre MQL+ÇDKN yönteminde %12,84, MQL+Nano Grafen yönteminde %38,52 oranında daha düşük Rz değerleri tespit edilmiştir. Nano toz ilave edilerek uygulanan MQL sistemlerini kendi içinde kıyaslayacak olursak, Nano Grafen yöntemi ile MQL+ÇDKN yöntemine göre %29,49 oranında daha düşük Rz değeri elde edilmiştir.

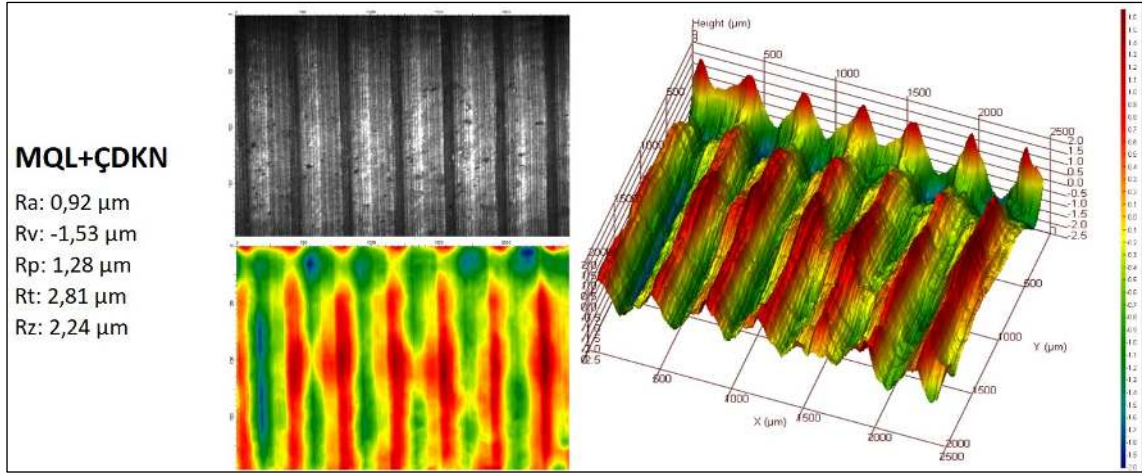
Tüm sonuçlar incelendiğinde en iyi Ra, Rv, Rp, Rt ve Rz değerleri MQL+Nano Grafen yöntemi ile elde edilirken bu yöntemi MQL+ÇDKN, MQL ve daha sonrada kuru işleme yöntemi takip etmektedir. Kuru işleme yönteminden MQL+Nano Grafen yöntemine ilerledikçe malzeme yüzeyindeki tepe ve çukur derinliği azalmakta bu durumda malzemenin daha iyi bir yüzey kalitesine sahip olmasını sağlamaktadır. Kuru işlemeye göre MQL sisteminin yağlama ve soğutma özelliği sayesinde daha iyi bir yüzey topografyası elde edilmiştir. MQL sistemine eklenen nano tozların yüzey kalitesini pozitif yönde etkilemektedir. Ancak nano grafen tozlarının ÇDKN tozlarına göre ısı iletkenlik ve yağlayıcılık özelliğinin yüksek olması sebebiyle yüzey topografyasına etkisinin daha yüksek olduğu düşünülmektedir.



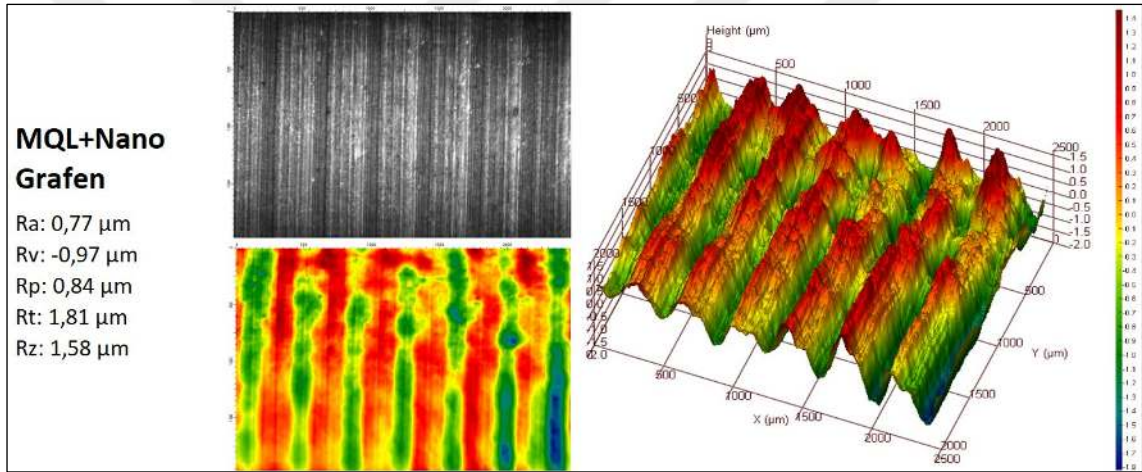
Şekil 7.10. Sabit kesme hızı ve ilerleme hızında kuru işleme koşulunda yüzey topografyası değerleri ($V=160$ m/dk, $f=0,16$ mm/dev).



Şekil 7.11. Sabit kesme hızı ve ilerleme hızında MQL işleme koşulunda yüzey topografyası değerleri ($V=160$ m/dk, $f=0,16$ mm/dev).



Şekil 7.12. Sabit kesme hızı ve ilerleme hızında MQL+ÇDKN işleme koşulunda yüzey topografyası değerleri ($V=160$ m/dk, $f=0,16$ mm/dev).

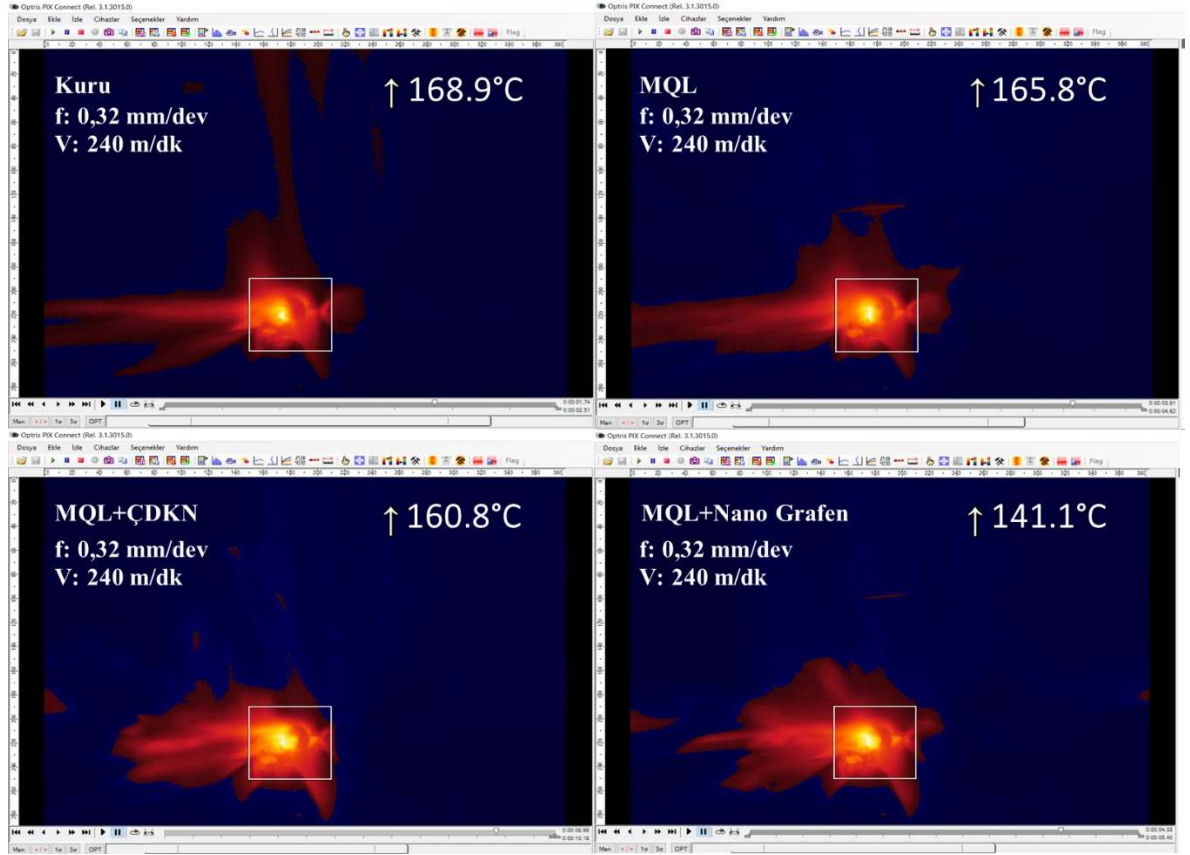


Şekil 7.13. Sabit kesme hızı ve ilerleme hızında MQL+Nano Grafen işleme koşulunda yüzey topografyası değerleri ($V=160$ m/dk, $f=0,16$ mm/dev).

7.2. KESME BÖLGESİ SICAKLIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Talaşlı imalat işlemlerinde kesici takımın iş parçasından talaş kaldırması esnasında kesme bölgesinde yüksek miktarda ısı oluşmaktadır. Oluşan yüksek miktarda ısı kesici takımın sertliğine negatif yönde etkileyerek çabuk aşınmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın ölçülmesi büyük önem arz etmektedir. Yapılan deney çalışmaları kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar termal kamera ile ölçülerek tespit edilmiştir. Ölçümler sonucunda literatürdeki yüksek kesme bölgesi sıcaklıklarına

erişilmemiştir ancak kullanılan farklı yöntemler arasında kesme bölgesi sıcaklığı farkları oluşmuştur.



Şekil 7.14. Farklı kesme koşulları altında talaş akışının ve kesme bölgesi sıcaklığının termal görüntüsü.

Yapılan deneyler sonucunda; tüm işleme parametrelerinde kesme bölgesindeki sıcaklık değerleri 132,5–204,7°C derece aralığında ölçülmüştür. Şekil 7.15 ile Şekil 7.18 arasındaki grafikleri incelediğimizde; yapılan deneylerde en düşük kesme bölgesi sıcaklığı değeri (132,5°C) 240 m/dk kesme hızında, 0,16 mm/dev ilerleme hızında MQL+Nano Grafen işleme yönteminde elde edilmiştir. En yüksek kesme bölgesi sıcaklığı değeri (204,7°C) 400 m/dk kesme hızında, 0,40 mm/dev ilerleme hızında kuru kesme koşulunda gözlemlenmiştir. Tüm kesme koşullarında kesme bölgesindeki sıcaklık değerleri ile ilerleme hızı birbiri ile doğru orantılı olup artan ilerleme hızı ile birlikte kesme bölgesindeki sıcaklık değerinin de arttığı görülmektedir. İlerleme hızının artması kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmenin artmasına aynı zamanda kesme kuvvetinin de artmasını sağlamaktadır. Bu durumun kesme bölgesi sıcaklığını yükselttiği

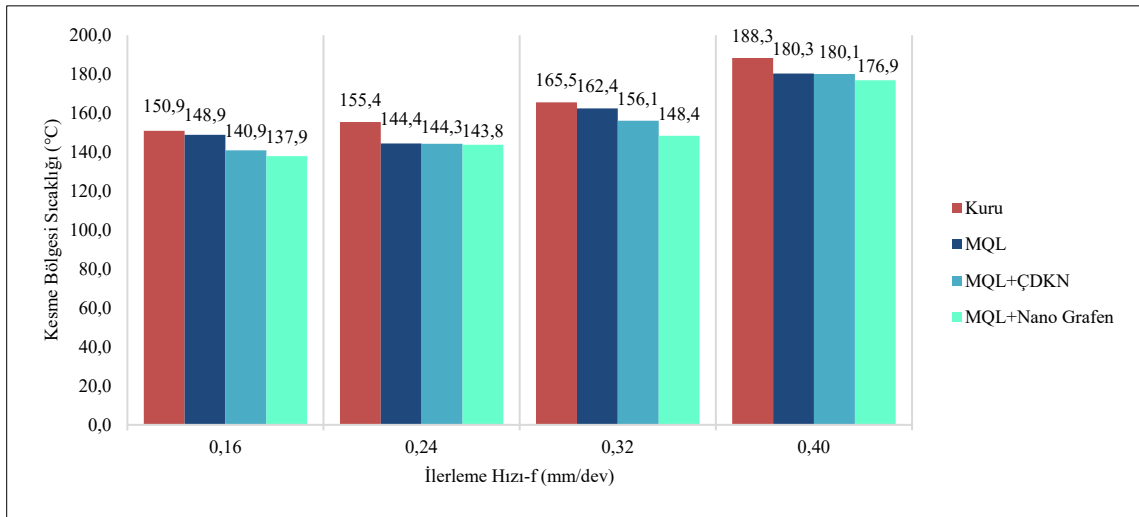
görülmüştür [55], [60].

Kuru işleme yöntemi ile yapılan deneylerde kesme bölgesindeki sıcaklık değerleri 149,4–204,7°C aralığında ölçülmüştür. Genel olarak en yüksek kesme bölgesi sıcaklıkları kuru işleme ile elde edilmiştir. Aynı ilerleme hızlarında; kuru işlemeye göre MQL yöntemiyle daha düşük kesme bölgesi sıcaklığı elde edilmiştir. MQL yöntemi ile kuru işlemeyi oransal olarak kıyasladığımızda kesme bölgesinde %9,87'ye varan oranlarda sıcaklık düşüşü gözlemlenmiştir. Bu düşüşün MQL yönteminde kullanılan yüksek basınçlı kesme sıvısının, kesme esnasında oluşan talaşı kesme bölgesinden uzaklaştırarak kesici takım ile iş parçası arasında soğutma ve yağlama görevi yapmasıyla açıklanabilir [14], [25]. MQL yönteminin kesme bölgesi sıcaklığına etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; AISI D2 soğuk iş takım çeliği kuru ve MQL yöntemi ile karbür takımlarla tormalanmıştır. Deneyler sonucunda; kesme bölgesi sıcaklığının kuru işlemeye göre MQL yöntemi kullanıldığında %50 düştüğü bildirilmiştir [59]. Başka bir çalışmada kuru işlemeye göre MQL yöntemi ile CVD takımla tormalanmasının %20-25,75 oranlarda, PVD kaplı takımlarda ise %16,92-24,13 arasında değişen oranda kesme bölgesinde oluşan sıcaklığı azalttığını söylemişlerdir [55]. Genel olarak literatürde çelik malzeme grubu üzerine çalışmalar yapılmış olup çelik grubunun termal iletkenliği 10,9 ile 83,8 W/mK arasındadır [107]. Çalışmada kullanılan CW511L malzemesinin termal iletkenliği 114 W/mK'dir [108]. Deneylerde kullanılan CW511L malzemesinin termal iletkenliğinin yüksek olması sebebiyle tormalama işlemi esnasında oluşan sıcaklık iş parçası üzerinde dağıldığından kesici takım üzerinde kalmamaktadır. Böylece kesici takım üzerinde belirlenen kesme bölgesi sıcaklıkları benzer çalışmalara göre kıyaslandığında düşük çıkmaktadır. Bu durum kuru işleme ile MQL yöntemi arasında literatürdeki çalışmalar kadar yüksek sıcaklık farkları oluşmadığı düşünülmektedir.

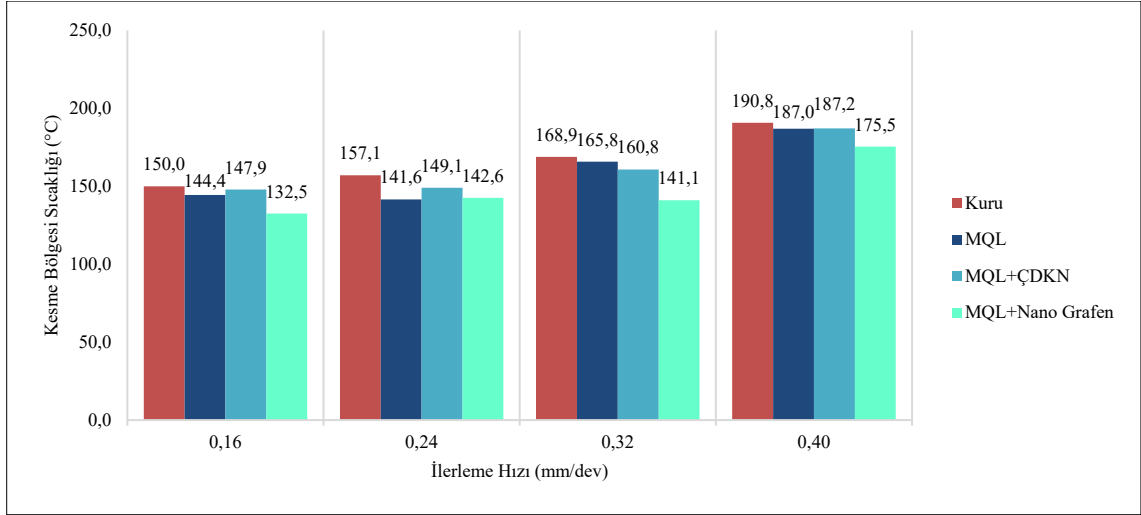
MQL işleme yöntemi ile yapılan deneylerde kesme bölgesindeki sıcaklık değerleri 140,3–202,0°C aralığında ölçülmüştür. Aynı ilerleme hızı parametrelerinde MQL sistemi ile nano toz ilave edilen MQL sistemlerini kıyasladığımızda, MQL+ÇDKN yönteminde %5,37, MQL+Nano Grafen yönteminde ise %14,90'a varan oranlarda daha düşük kesme bölgesi sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

MQL sıvısı içerisine eklenen nanopartiküllerin kesme bölgesinde oluşan sıcaklığa etkisini incelediğimizde; MQL+ÇDKN yöntemi ile yapılan deneylerde kesme bölgesindeki

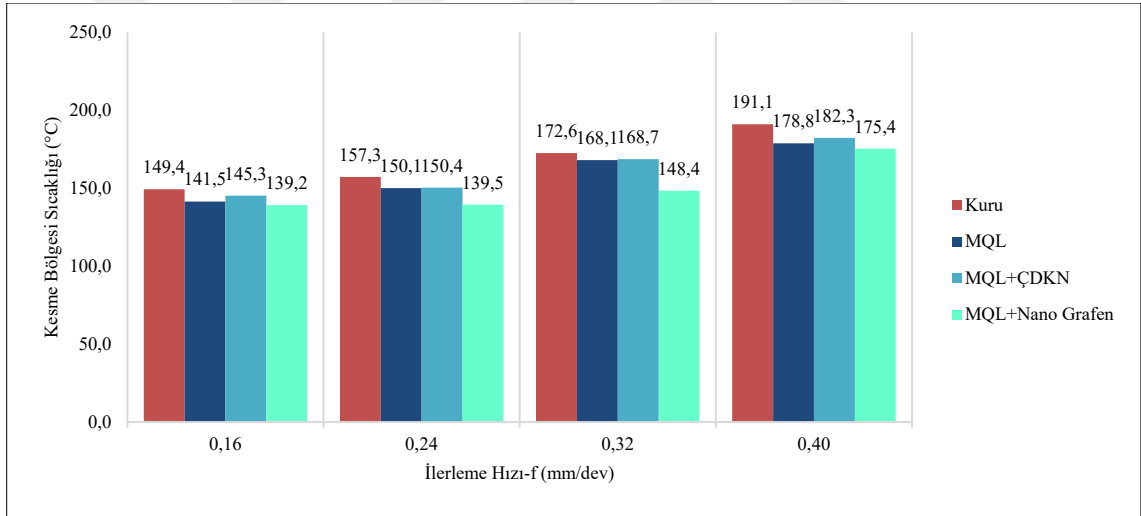
sıcaklık değerleri 140,9–199,4°C aralığında ölçülmüştür. MQL+ÇDKN yöntemi ile yapılan deneylerde kuru işleme yöntemine kıyasla %7,14'e varan oranlarda sıcaklık düşüşü gözlemlenmiştir. Yapılan tüm çalışmalarda aynı ilerleme hızlarında en düşük kesme bölgesi sıcaklıkları MQL+Nano Grafen yöntemi ile elde edilmiş olup deneylerde kesme bölgesindeki sıcaklık değerleri 132,5–197,9°C aralığında ölçülmüştür. MQL+Nano Grafen yöntemi kuru işlemeye göre %16,46 oranında, MQL+ÇDKN yöntemine göre %12,25'e varan oranlarda sıcaklık düşüşü tespit edilmiştir. MQL+ÇDKN yöntemine göre MQL+Nano Grafen yönteminde daha düşük sıcaklıklar elde edilmiştir. Bu durumun MQL sıvısına eklenen nano grafen tozların ÇDKN tozlarına göre yüksek ısı iletkenliği ve yağlayıcılık etkisi sayesinde sıcaklığı kesme bölgesinden rahat bir şekilde uzaklaştırmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Farklı nano tozların kullanılarak kesme bölgesindeki sıcaklığın incelendiği bir çalışmada en düşük kesme bölgesi sıcaklıklarının grafit katkılı MQL yönteminde elde ettiklerini söylemişlerdir [81]. Farklı nano tozların kıyaslandığı başka bir çalışmada AISI 1018 çeliği mikro tornalama yapılarak kesme bölgesinde oluşan sıcaklığı incelemişlerdir. Eklenen grafen tozlarının ÇDKN yöntemine göre daha düşük kesme bölgesi sıcaklıkları tespit etmişlerdir. Bu durumu nano grafen tozlarının nano karbon tüpe kıyasla yüksek ısı iletkenliği ve yağlayıcılık etkisinden kaynaklandığını dile getirmişlerdir [94].



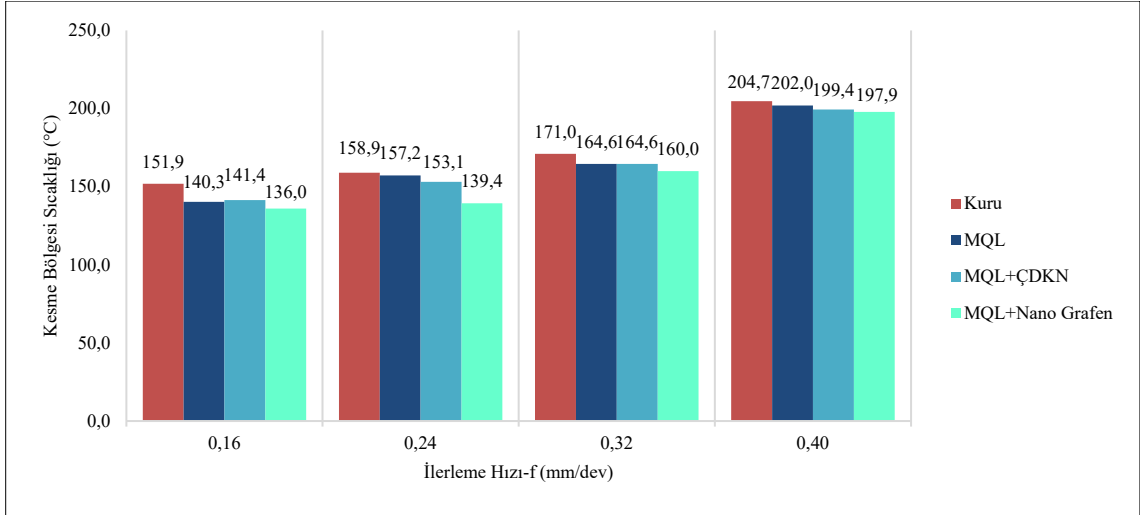
Şekil 7.15. Farklı işleme koşullarında en yüksek kesme bölgesi sıcaklıkları (V=160 m/dk).



Şekil 7.16 Farklı işleme koşullarında en yüksek kesme bölgesi sıcaklıkları (V=240 m/dk).



Şekil 7.17. Farklı işleme koşullarında en yüksek kesme bölgesi sıcaklıkları (V=320 m/dk).



Şekil 7.18. Farklı işleme koşullarında en yüksek kesme bölgesi sıcaklıkları (V=400 m/dk).

7.3. KESİCİ TAKIM AŞINMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan deneyler sonucunda; tüm işleme parametrelerinde kesici takımın yanak aşınması değerleri 0,022–0,054 mm aralığında ölçülmüştür. Şekil 7.19 ile Şekil 7.22 arasındaki grafiklerde yanak aşınması değişimleri gösterilmiştir. Tüm aşınma deneylerinde literatür çalışmalarına kıyasla düşük aşınma değerleri elde edilmiştir. Deney malzemesinin termal iletkenliğinin literatürde incelenen çalışmalarındaki malzemelerden daha yüksek olması dolayısıyla oluşan sıcaklık malzeme üzerinde kalmakta ve kesme bölgesinde kalmamaktadır. Kesme bölgesinde yüksek sıcaklıkları çıkılamamasından dolayı kesici takım üzerinde yüksek ısı oluşmamaktadır ve kesici takım formunu koruyabilmektedir. Bu sebeple daha düşük kesici takım aşınması değerlerinin oluştuğu düşünülmektedir.

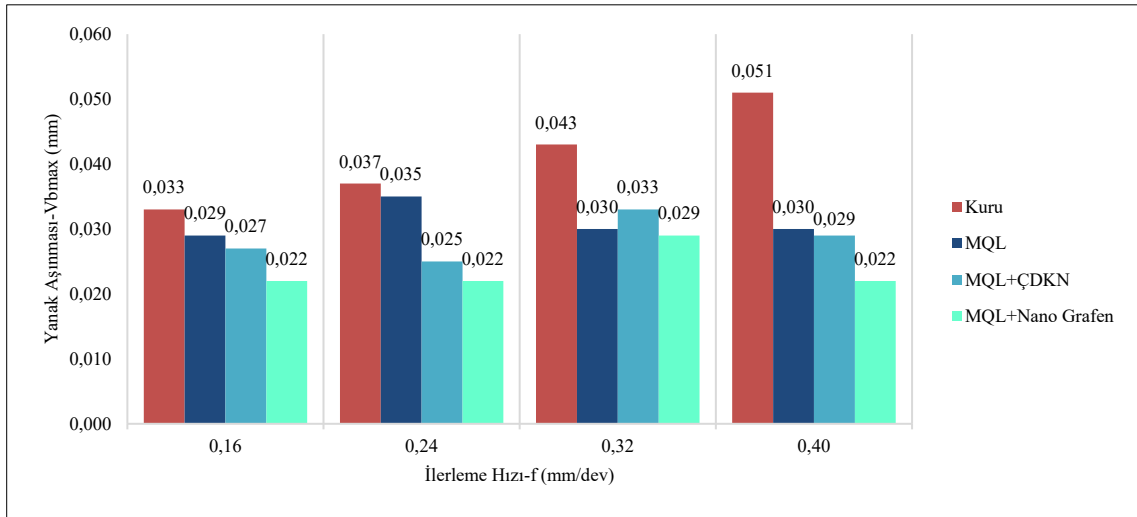
Kuru kesme koşullarında kesici takım aşınması ile ilerleme hızı arasında doğru orantılı olup artan ilerleme hızı ile birlikte V_{bmax} değerlerinde de artış görülmektedir. Ancak diğer işleme yöntemlerinde bu durum saptanamamıştır. Tüm takım aşınması deneylerinde genel olarak en yüksek yanak aşınma değeri kuru işleme yönteminde elde edilmiştir. En yüksek takım aşınması (0,054 mm) 400 m/dk kesme hızında, 0,4 mm/dev ilerleme hızında kuru işleme yönteminde elde edilmiştir. MQL yönteminde kullanılan kesme sıvısının soğutma özelliği sayesinde kesme bölgesi sıcaklığını düşürmesi ve yağlayıcılık özelliği sayesinde kesme bölgesinde daha az sürtünme oluşturması sonucunda kuru işlemeye göre

daha az aşındığı gözlemlenmiştir. Aynı ilerleme hızı parametrelerinde kuru işlemeye kıyasla MQL yönteminde %46,30'a varan oranda takım aşınması azalmıştır. MQL yöntemi ile kuru işlemeye kıyaslandığı bir çalışmada AISI-1060 çeliğinin tornalanması sonucunda aynı işleme parametrelerinde MQL yönteminde daha düşük takım aşınması elde ettiklerini söylemişlerdir [60]. Benzer şekilde AISI 4340 çeliğinin kuru ve MQL yöntemleri ile tornalanmasının kesici takım ömrü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. MQL yöntemi ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçların kuru işlemeye göre takım ömründe %20-25'lik iyileşme gözlemlediklerini söylemişlerdir [61]. Dökme magnezyum alaşımının MQL yöntemi ile frezelenmesinin takım aşınmasına etkisinin incelendiği bir çalışmada; MQL yöntemi ile kesme bölgesinde daha düşük kesme sıcaklığı ve düşük sürtünme sayesinde daha düşük takım aşınması değerleri elde edilmiştir [70].

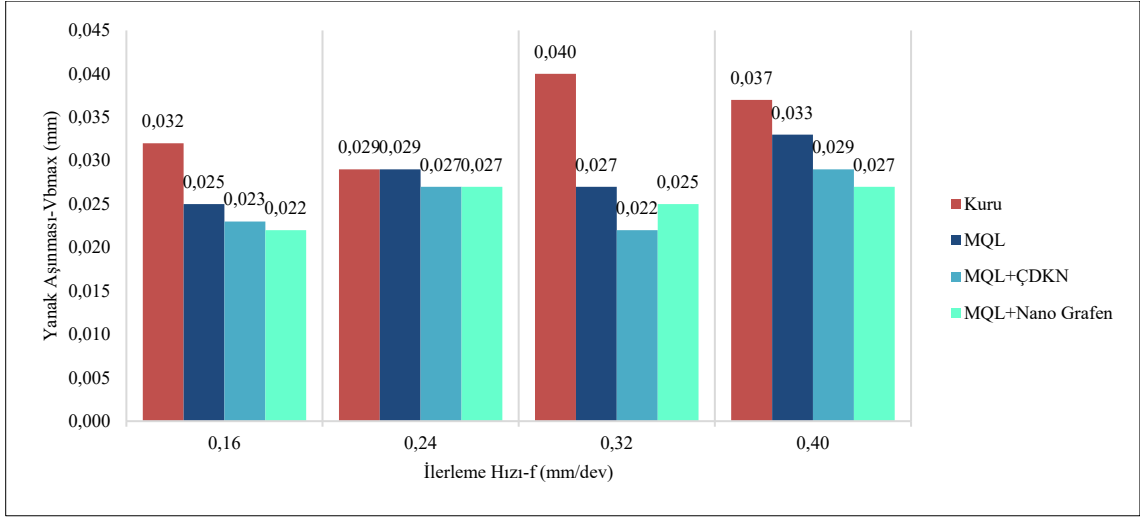
MQL sıvısı içerisine eklenen nanopartiküllerin kesici takım aşınmasına etkisini incelediğimizde; MQL+ÇDKN yönteminde elde edilen kesici takım aşınması değerlerinin hem kurudan hem de MQL yönteminden daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Fakat MQL yöntemi ile elde edilen değerler ile MQL+ÇDKN yöntemi ile elde edilen değerler arasında çok ciddi bir fark bulunmamaktadır. Bu durum her iki yöntemde elde edilen kesme bölgesi sıcaklıkların yakın olmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Aynı ilerleme hızı parametrelerinde kuru işlemeye göre %50, MQL yöntemine göre ise %28,57'ye varan oranlarda daha düşük takım aşınması sonuçları elde edilmiştir. Bu durum MQL sıvısı içerisine bulunan ÇDKN partiküllerinin yüksek viskozite, termal ısı iletkenliği, takım-iş parçası arasında oluşturduğu yağ film tabakası özelliği sayesinde hem kuru tornalamadan hem de MQL yönteminden daha düşük yatak aşınması değerlerinin elde edilmesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. AISI 4340 iş parçasının tornalandığı bir çalışmada; MQL sıvısının içerisine eklenen ÇDKN'ün takım aşınmasına etkisini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda ÇDKN yüksek ısı taşıma kapasitesi ve yağlayıcı özelliği sayesinde kesme bölgesindeki sıcaklığı diğer yöntemlere göre daha çok azalttığı bu durumun takım aşınmasını pozitif etkilediğini dile getirmişlerdir [86].

Tüm aşınma deneylerinde genel olarak en düşük yatak aşınma değeri MQL+Nano Grafen işleme yönteminde elde edilmiştir. Tüm deneyler değerlendirildiğinde en düşük takım aşınması (0,022 mm) MQL+Nano Grafen işleme yönteminde elde edilmiştir. Aynı ilerleme hızı parametrelerinde kuru işlemeye göre %59,26, MQL yöntemi göre %37,14 ve MQL+ÇDKN yöntemine göre %24,14'e varan oranlarda daha düşük takım aşınması

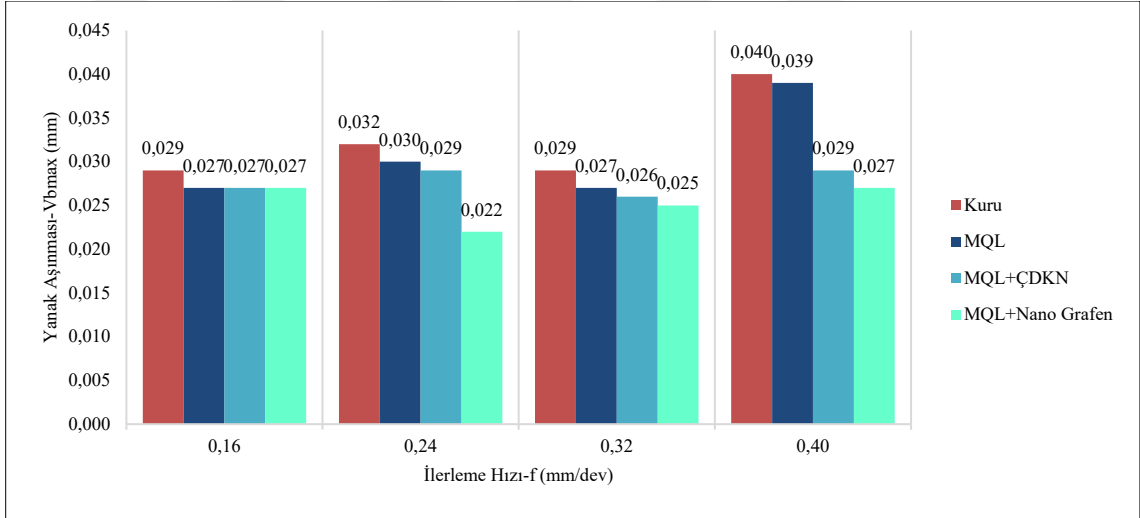
sonuçları ölçülmüştür. Nano grafen tozlarının ÇDKN kıyasla daha yüksek viskozite, ısı iletkenlik ve yağlayıcılık özelliğine sahiptir. Bu durum ısının kesme bölgesinden daha rahat uzaklaşmasına ve kesme kuvvetlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Böylelikle takımın daha az aşınmasına ve daha verimli işleme performansına sahip olmasında pozitif etki sağladığı düşünülmektedir. AISI D2 soğuk iş takım çeliği tornalanmasının MQL kesme sıvısı içerisine eklenen nano karbon parçacıklarının takım aşınmasına etkisini incelemiştir. MQL yönteminde kesme sıvısının içine entegre edilen nano karbon parçacıkların sadece kesme yağı ile yapılan MQL yöntemine göre kesme bölgesindeki sıcaklığı düşürdüğü bu durumun takım aşınmasını olumlu yönde etkilediğini söylemişlerdir [85]. Grafen ve tek duvarlı karbon nanotüpün karşılaştırıldığı bir çalışmada; MQL yönteminde kullanılan grafen tabakalarının yağlayıcı özelliğiyle ve yüksek ısı iletkenliği sayesinde ısıyı kesme bölgesinden daha fazla uzaklaştırdığını bu sebeple en iyi sonuçların MQL+Nano Grafen ile elde ettiklerini söylemişlerdir [94].



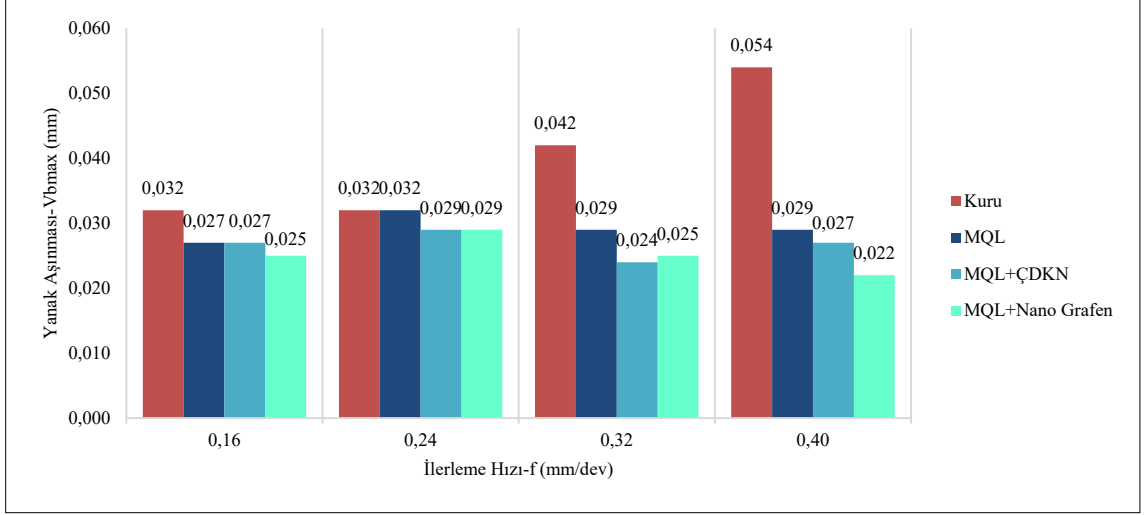
Şekil 7.19. Farklı işleme koşullarında kesici takım yanak aşınması değerleri (V=160 m/dk).



Şekil 7.20. Farklı işleme koşullarında kesici takım yanak aşınması değerleri (V=240 m/dk).



Şekil 7.21. Farklı işleme koşullarında kesici takım yanak aşınması değerleri (V=240 m/dk).



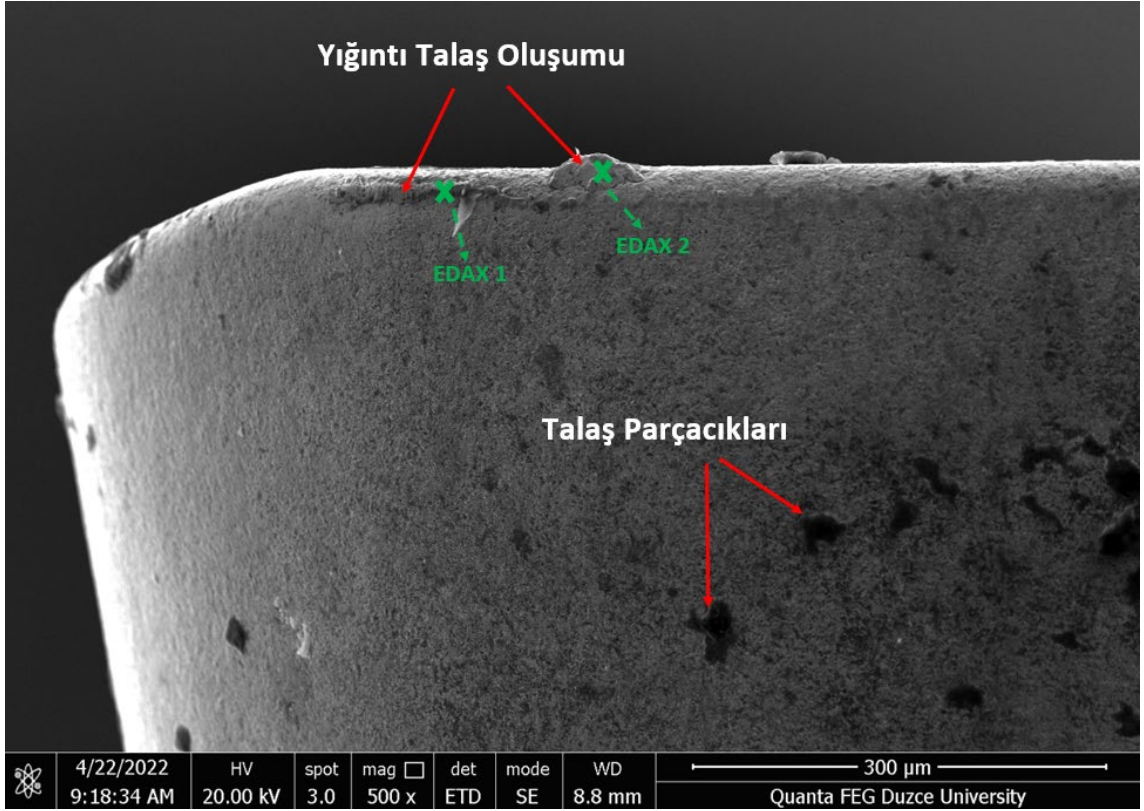
Şekil 7.22. Farklı işleme koşullarında kesici takım yanak aşınması değerleri (V=240 m/dk).

Şekil 7.23 ile Şekil 7.31 arasında sabit kesme hızı (400 m/dk) ve dört farklı ilerleme hızı (0,16, 0,24, 0,32 ve 0,40 mm/dev) kullanılarak kuru kesme koşulunda gerçekleştirilen deneyler sonucunda kaplamasız tungsten karbür kesici takımların 500 kat büyütülmüş SEM (Scanning Electron Microscope) fotoğrafları ve EDX (Energy Dispersive X-Ray) analizleri verilmiştir. Şekil 7.32 ile Şekil 7.37 arasında sabit kesme hızında (400 m/dk) ve sabit ilerleme hızında (0,40 mm/dev) kullanılarak 3 farklı kesme koşullarında (MQL, MQL+ÇDKN, MQL+Nano Grafen) gerçekleştirilen deneyler sonucunda kaplamasız karbür kesici takımların 500 kat büyütülmüş SEM fotoğrafları ve EDX analizleri verilmiştir.

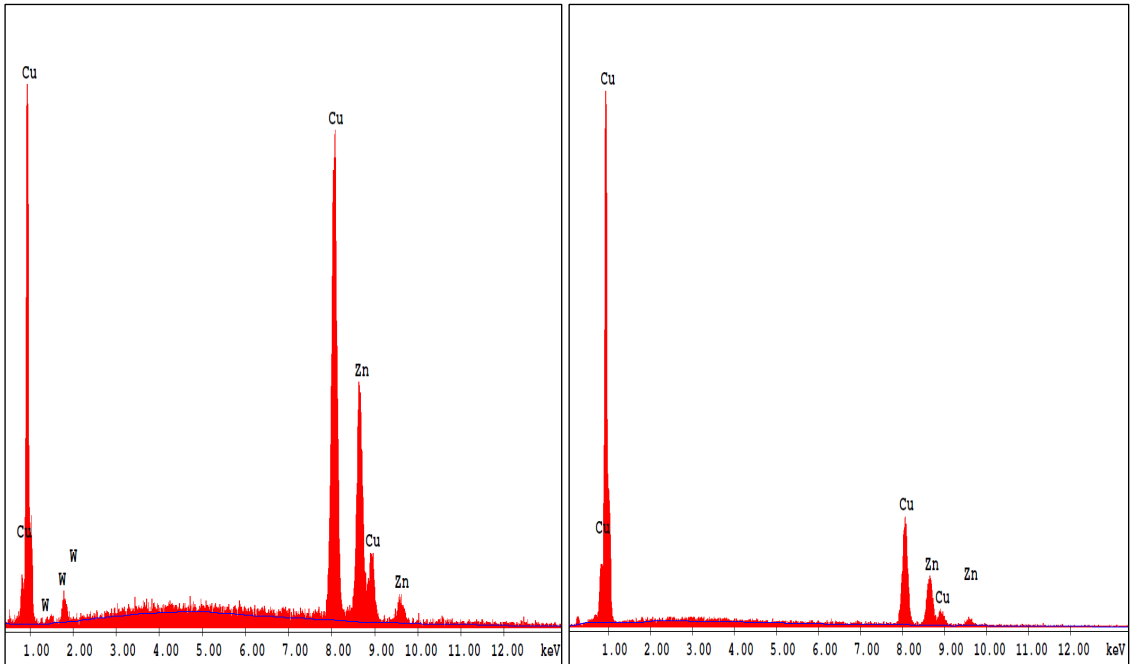
Kuru kesme koşullarındaki SEM fotoğrafları incelediğimizde, kullanılan tüm kesici takımlarda yığıntı talaş oluşumu görülmektedir. Artan ilerleme hızı ile birlikte yığıntı talaş oluşumu artmaktadır. Yığıntı talaş oluşumu gözlemlenen yerlerden alınan EDX analizi sonucunda, bu bölgelerde yüzdesel olarak en fazla Cu ve Zn elementleri görülmüştür. Deneylerde iş parçası olarak kullanılan CW511L pirinç alaşımının kimyasal içeriğinde yüzdesel olarak en fazla bulunan Cu ve Zn elementlerinin EDX analizinde çıkması yığıntı talaş oluşumunu ispatlamaktadır. Şekil 7.29'da kuru kesme koşulunda yapılan deney çalışmasında 2 farklı bölgede kesici takım kırılması gözlemlenmiştir. Artan ilerleme hızı ile birlikte kesme kuvvetinin artması sonucunda kesici takımda kırılma olduğu düşünülmektedir. Şekil 7.30'da kesici takımın kırılan bölgesinde alınan EDX

analizinde sonucunda, bu bölgede yüzdesel olarak en fazla W elementi görülmüştür. Şekil 7.31’de kullanılan karbür kesici takımın iş parçasına temas etmediği bölgeden EDX analizi alınmıştır. Analiz sonucunda yüzdesel olarak en fazla W elementinden oluşması kesici takımda gerçekleşen kırılmayı ispatlamaktadır.

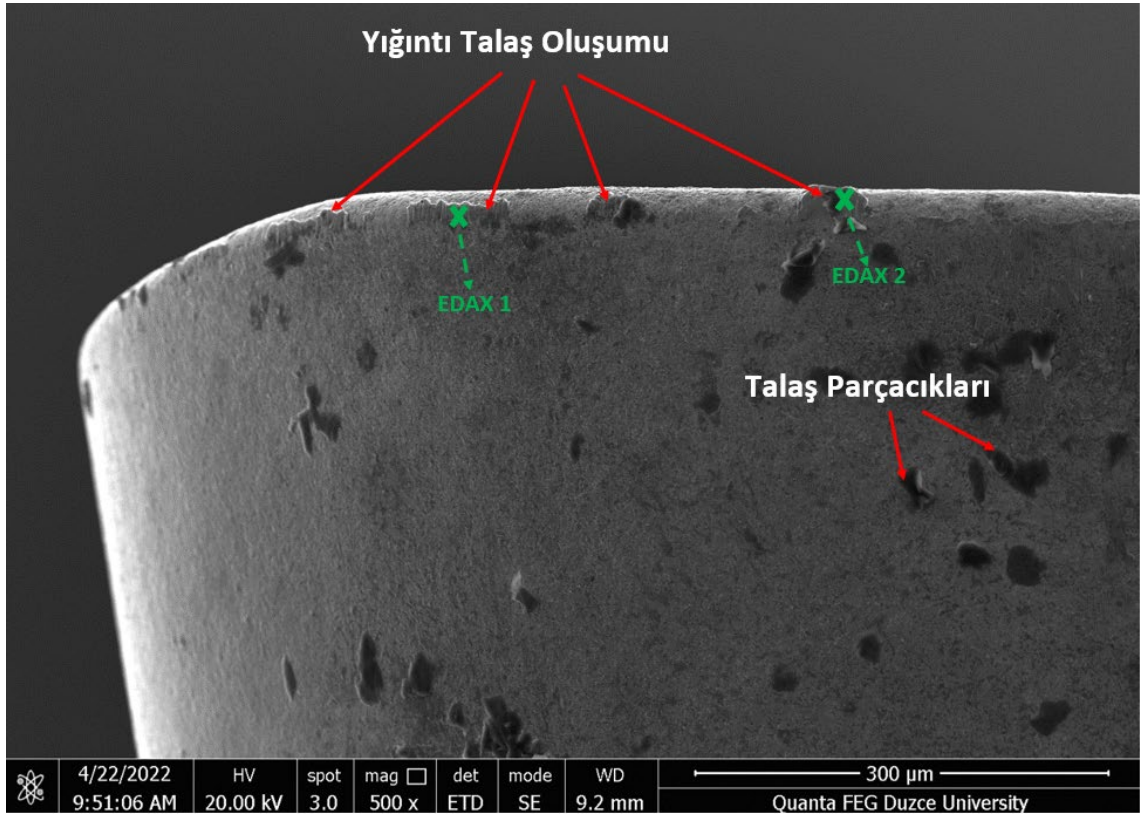
MQL ve MQL sıvısı içerisine eklenen nanopartiküllerin SEM fotoğraflarını incelediğimizde, kuru kesme koşullarında çekilen SEM fotoğraflarına göre daha az yığıntı talaş oluşumu gözlemlenmiştir. Bu durum MQL sıvısının soğutma ve yağlama özelliği sayesinde talaş kesme bölgesinde daha rahat uzaklaşarak kesici takım üzerinde daha az yığıntı talaş oluşturduğu düşünülmektedir. MQL yöntemi kullanılarak dökme magnezyum alaşımının frezelenmesinin kesici takıma etkisinin incelendiği bir çalışmada, MQL yönteminin kesici takımda yığıntı talaş oluşumunu azalttığını söylemişlerdir [70]. Şekil 7.36’daki SEM görüntüsü incelendiğinde MQL+Nano Grafen kesme koşulunda gerçekleşen deneyde yığıntı talaş oluşumu gözlemlenmemiştir. Nano Grafen tozlarının yüksek ısı iletkenliği ve kesme sıvısındaki viskozitesi artırması sayesinde kesme bölgesinde oluşan sıcaklık talaş ile birlikte uzaklaşmaktadır. Bu durum kesici takım üzerinde daha az ısı oluşmasını sağlayarak hem kesici takım aşınmasının hem de yığıntı talaşın daha az oluşmasına pozitif etki ettiği düşünülmektedir. Bu sebeple MQL+Nano Grafen kesme koşulunda yığıntı talaş oluşmadığı düşünülmektedir.



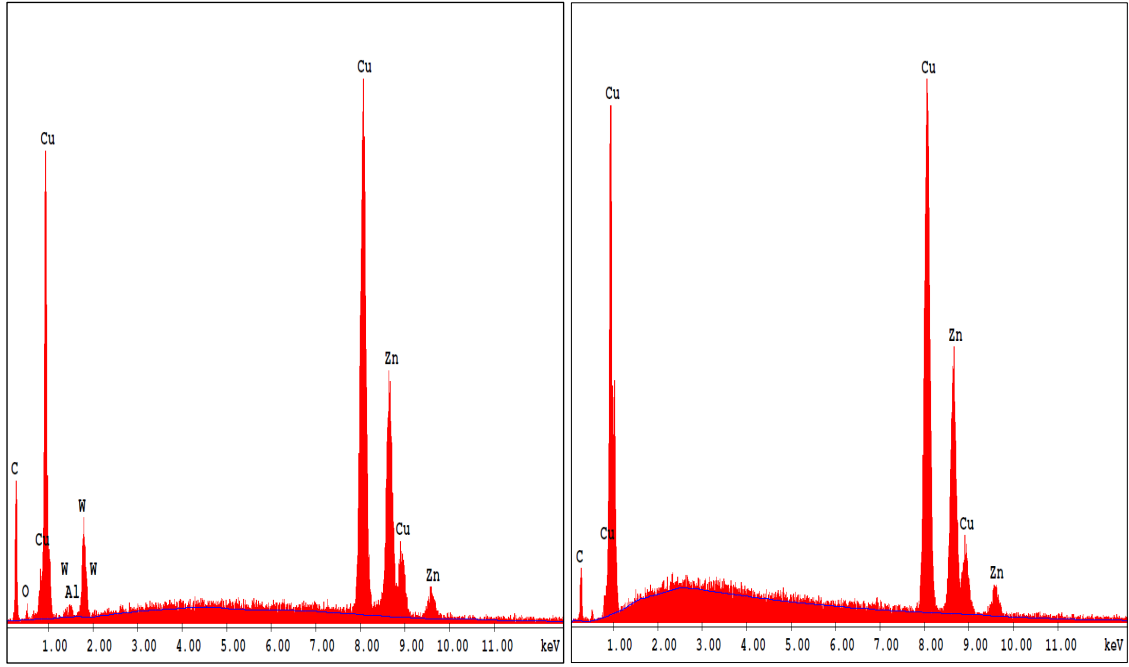
Şekil 7.23. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda SEM fotoğrafı (V=400 m/dk, f=0,16 mm/dev).



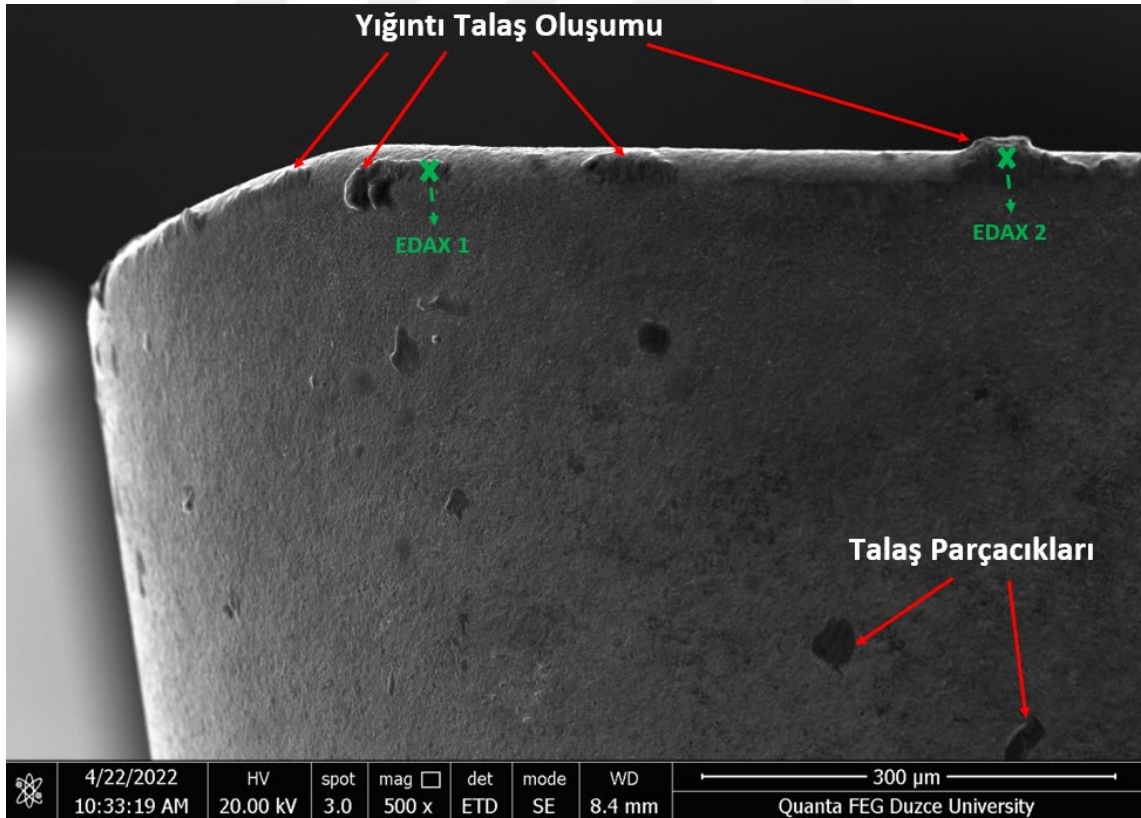
Şekil 7.24. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda EDX 1 ve EDX 2 analizleri (V=400 m/dk, f=0,16 mm/dev).



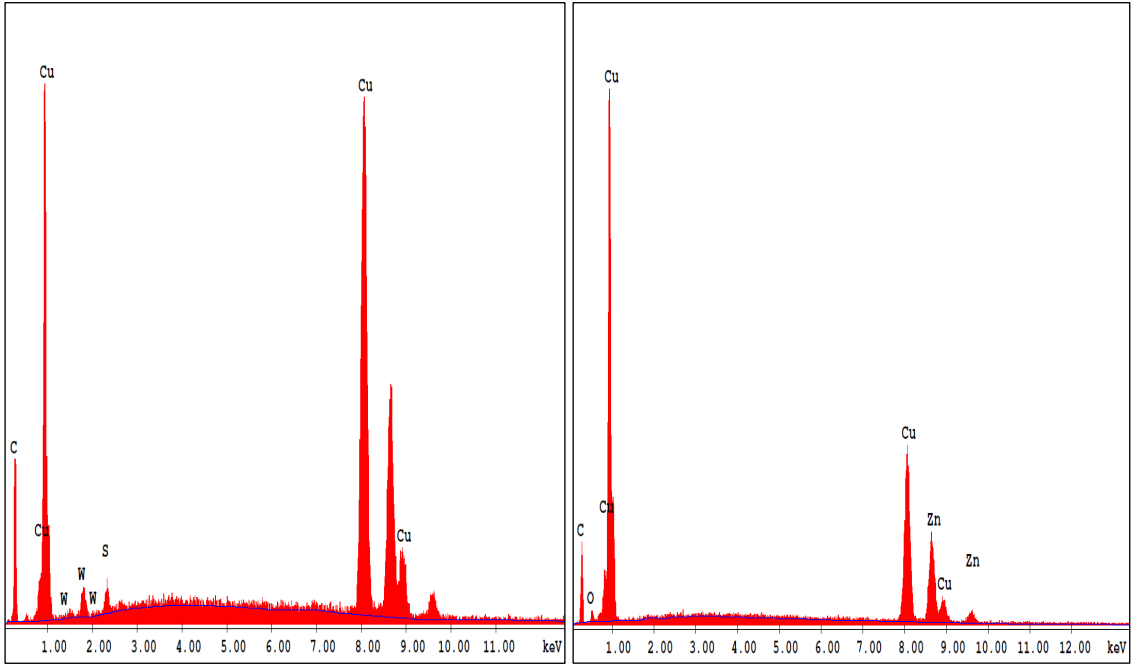
Şekil 7.25. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda SEM fotoğrafı ($V=400$ m/dk, $f=0,24$ mm/dev).



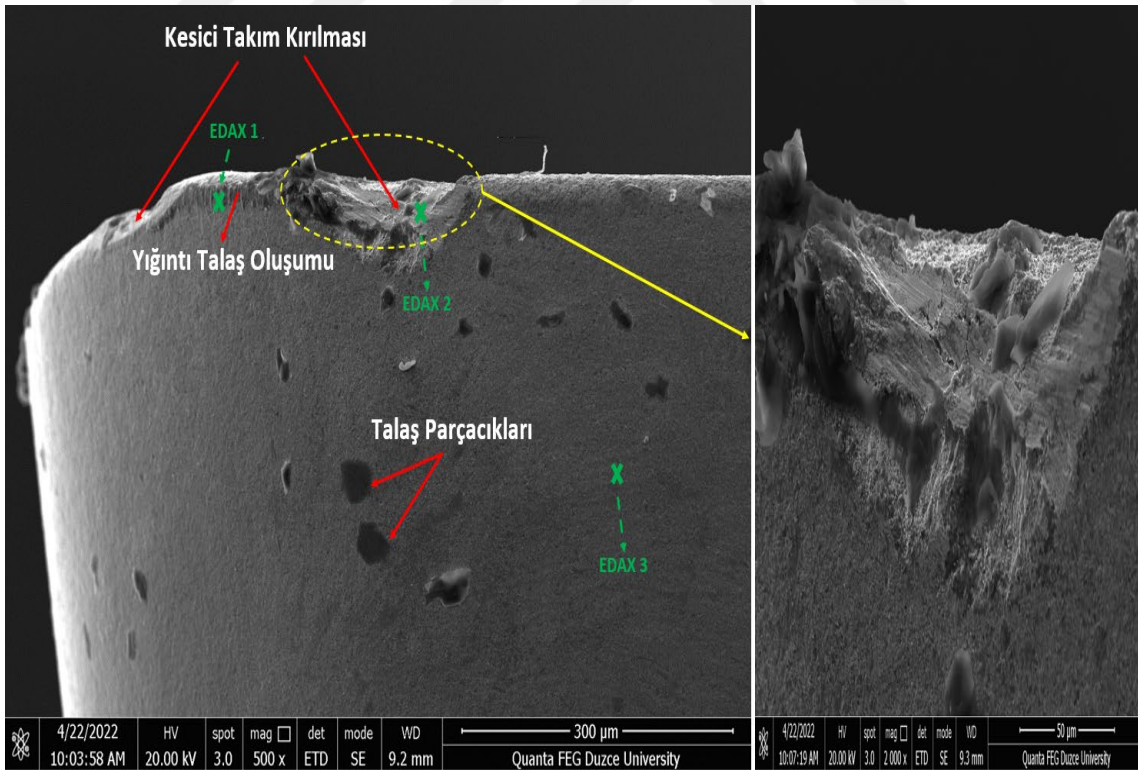
Şekil 7.26. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda EDX 1 ve EDX 2 analizleri (V=400 m/dk, f=0,24 mm/dev).



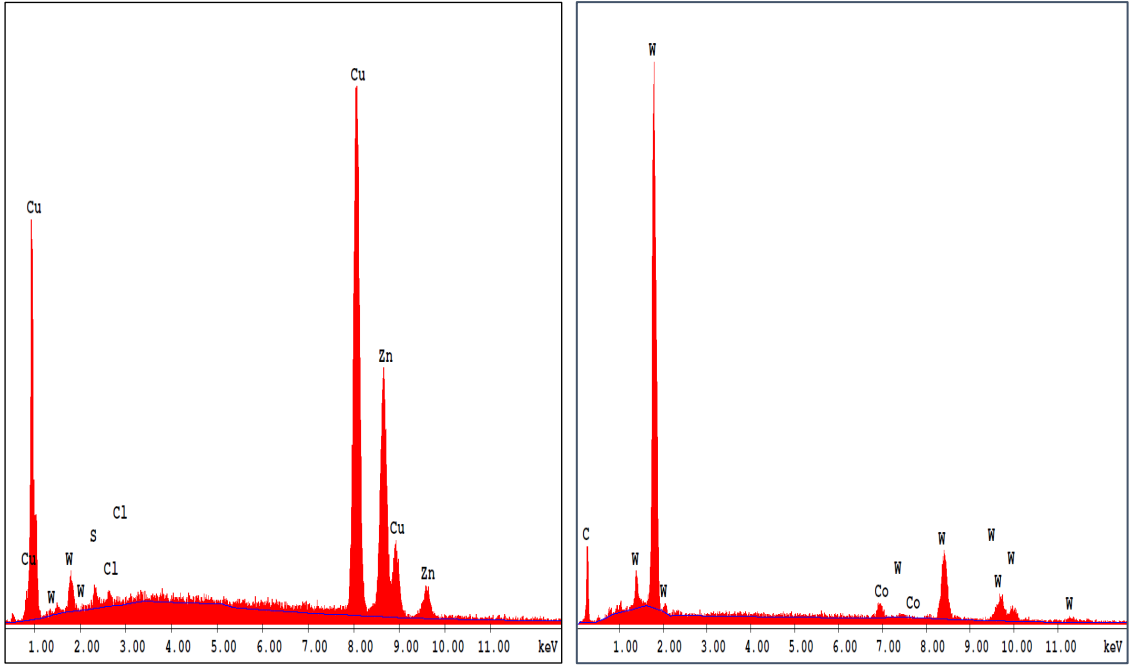
Şekil 7.27. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda SEM fotoğrafı (V=400 m/dk, f=0,32 mm/dev).



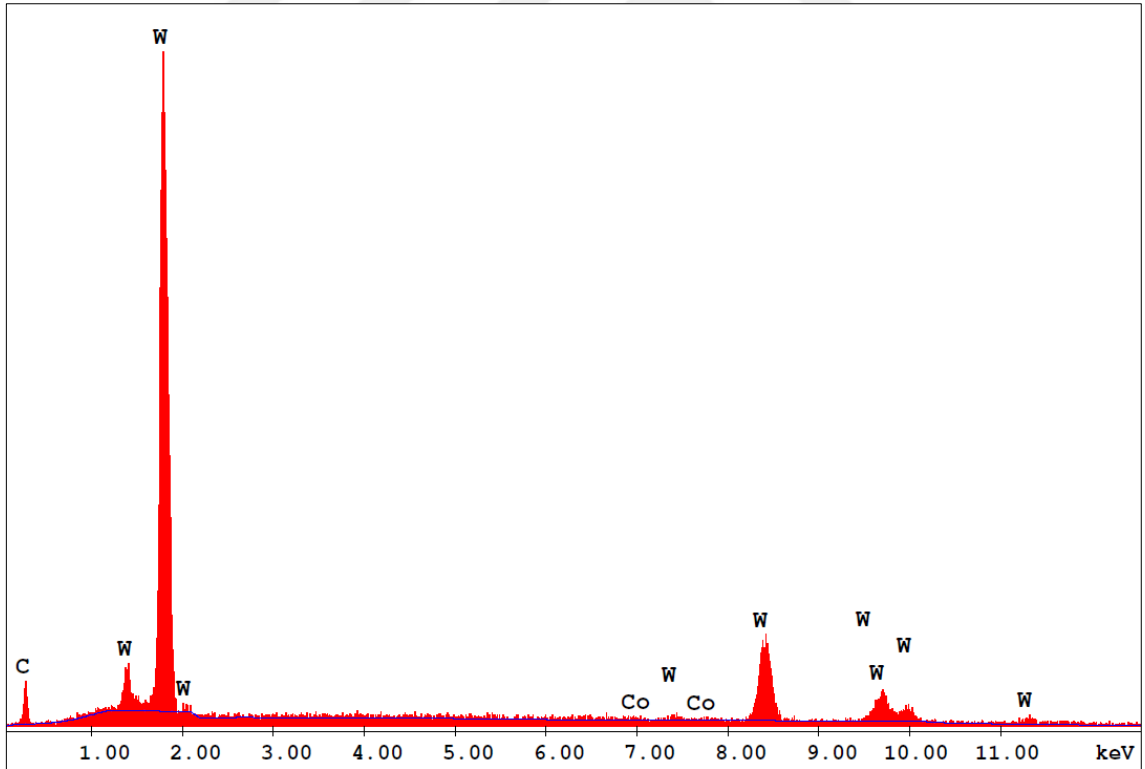
Şekil 7.28. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda EDX 1 ve EDX 2 analizleri (V=400 m/dk, f=0,32 mm/dev).



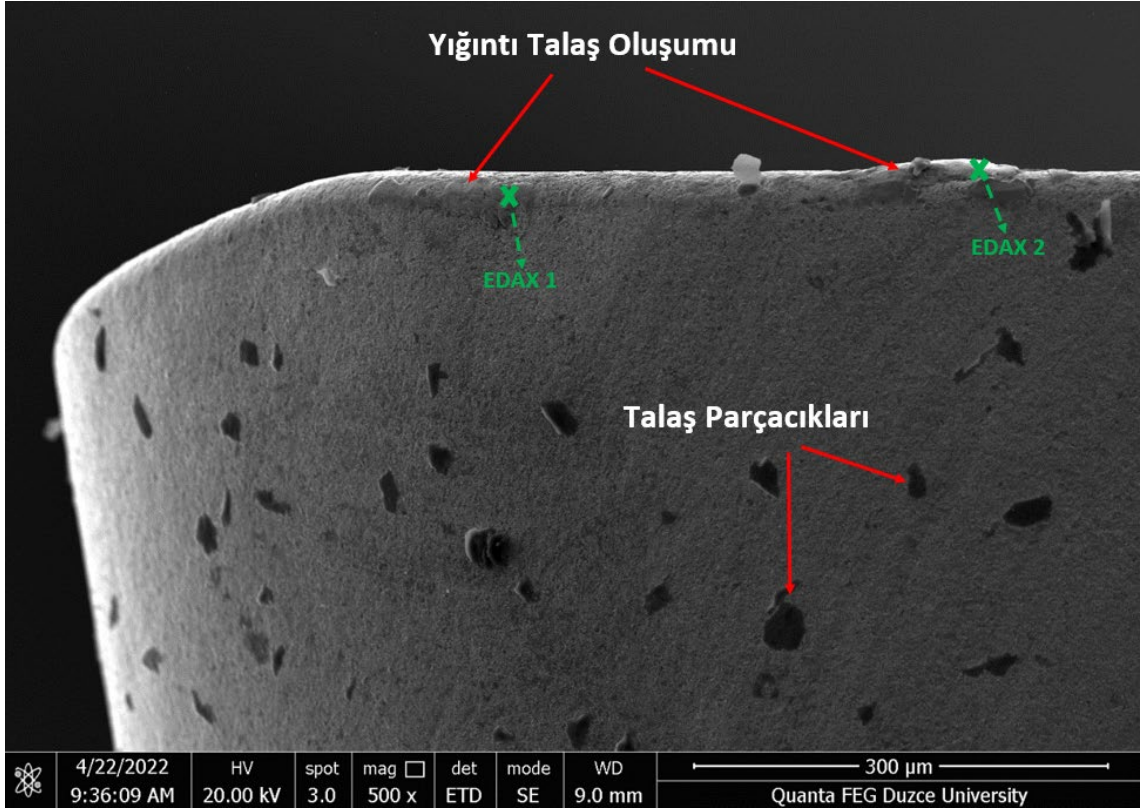
Şekil 7.29. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda SEM fotoğrafı (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).



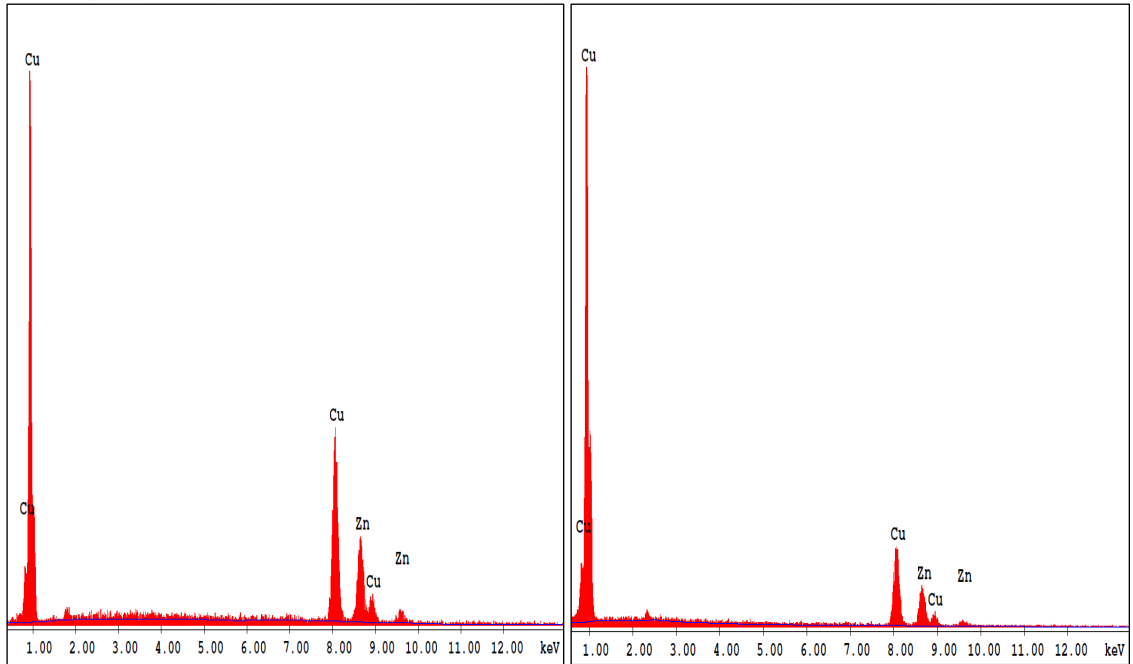
Şekil 7.30. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda EDX 1 ve EDX 2 analizleri (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).



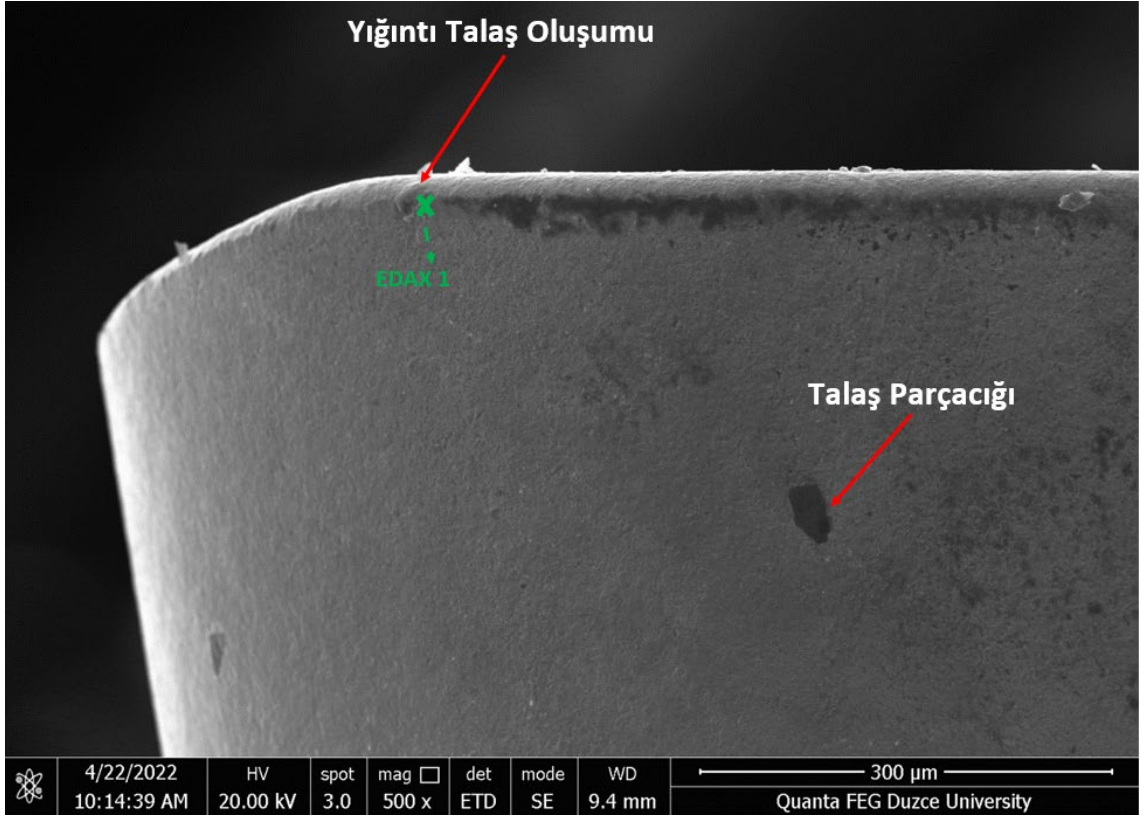
Şekil 7.31. Karbür kesici takımın kuru işleme koşulunda EDX 3 analizi (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).



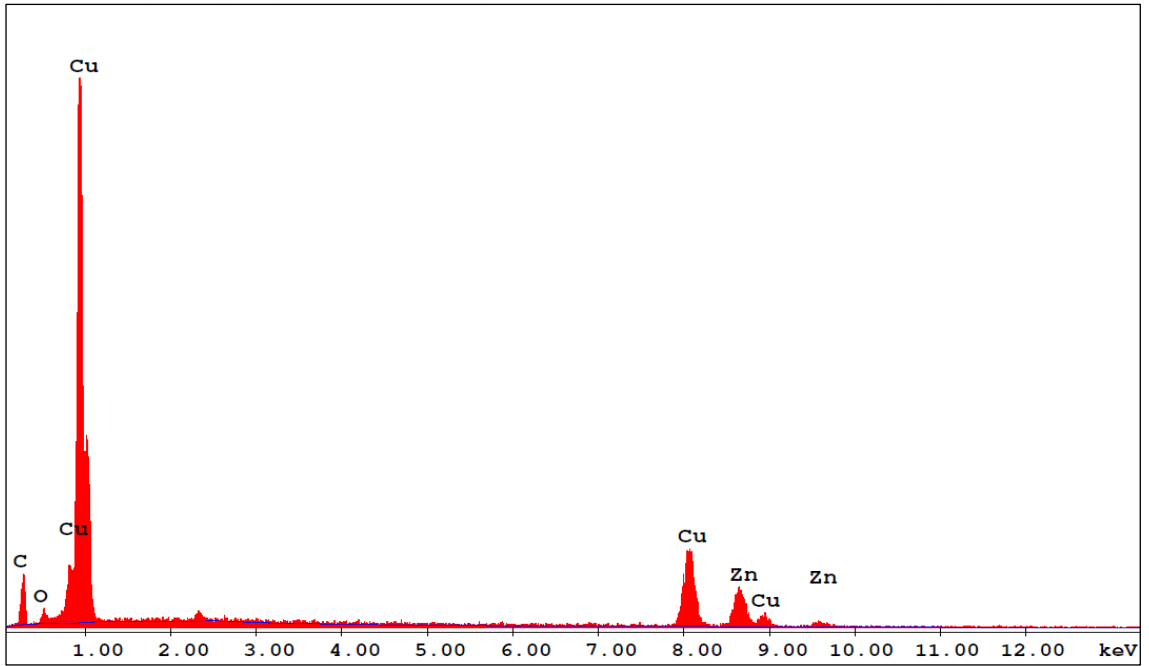
Şekil 7.32. Karbür kesici takımın MQL işleme koşulunda SEM fotoğrafı ($V=400$ m/dk, $f=0,40$ mm/dev).



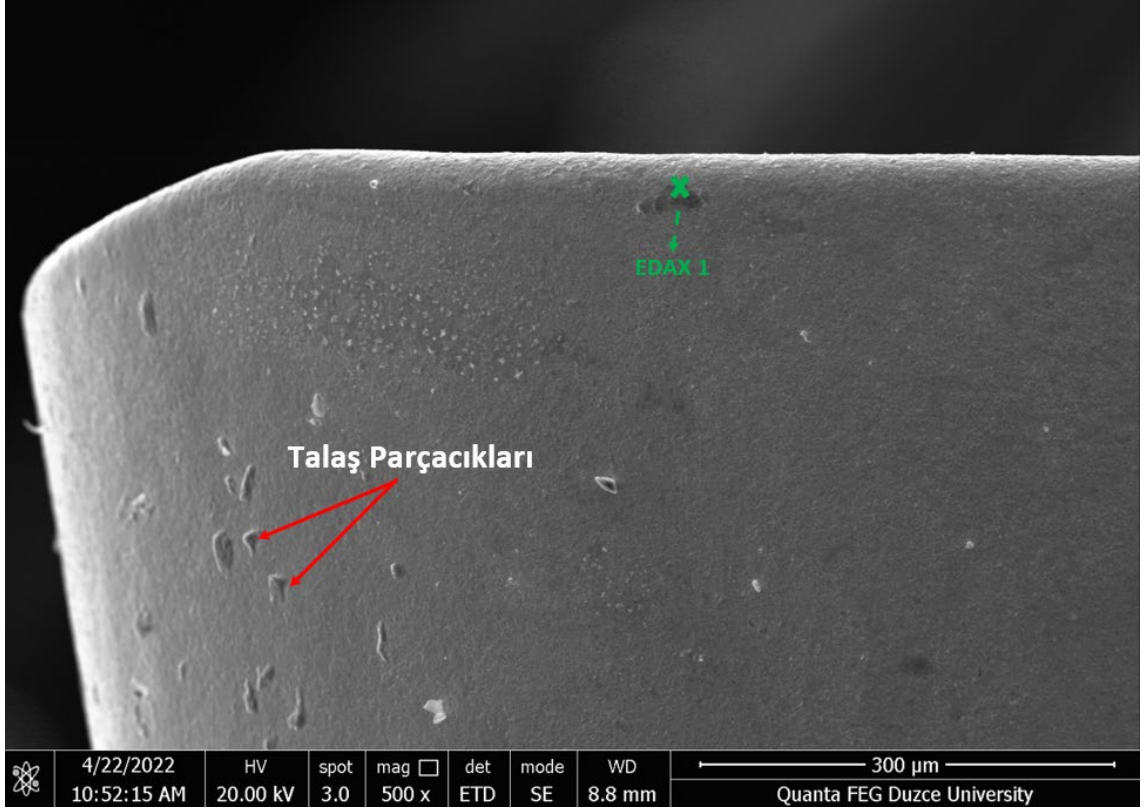
Şekil 7.33. Karbür kesici takımın MQL işleme koşulunda EDX 1 ve EDX 2 analizi ($V=400$ m/dk, $f=0,40$ mm/dev).



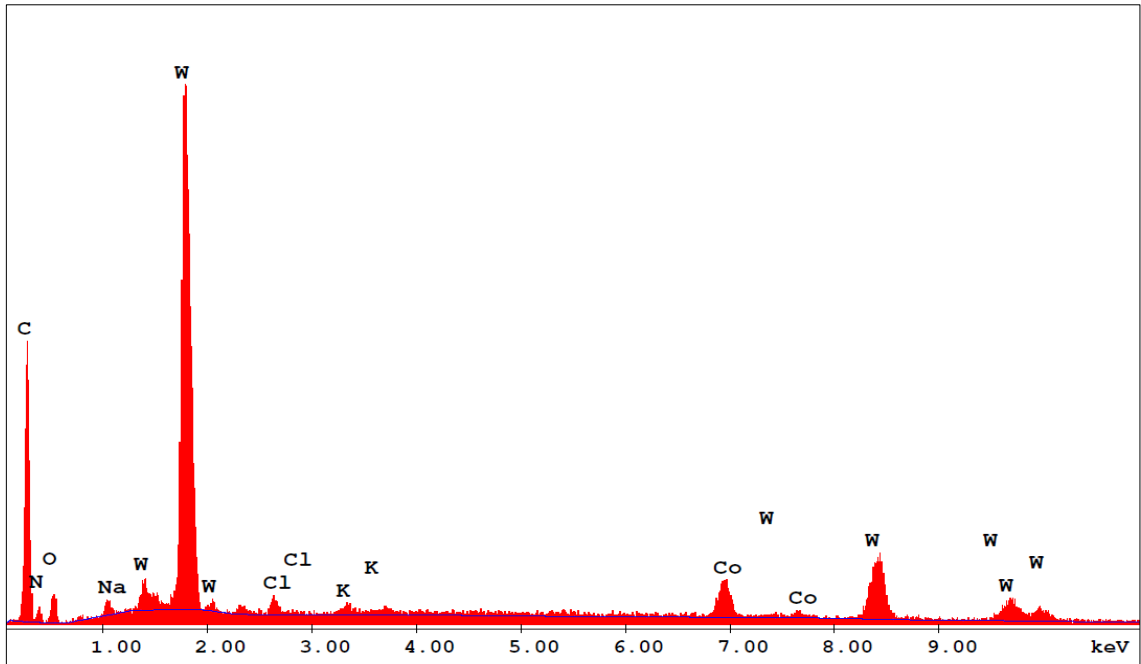
Şekil 7.34. KARBÜR kesici takımın MQL+ÇDKN işleme koşulunda SEM fotoğrafı
(V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).



Şekil 7.35. KARBÜR kesici takımın MQL+ÇDKN işleme koşulunda EDX 1 analizi
(V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).



Şekil 7.36. Karbür kesici takımın MQL+Nano Grafen işleme koşulunda SEM fotoğrafı (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).



Şekil 7.37. Karbür kesici takımın MQL+Nano Grafen işleme koşulunda EDX 1 analizi (V=400 m/dk, f=0,40 mm/dev).

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında yüksek pirinç alaşımlı CW511L malzemesi farklı kesme parametrelerinde ve farklı işleme koşullarında tornalanarak yüzey pürüzlülüğü, kesme bölgesi sıcaklığı ve takım aşınmasının sürdürülebilir imalata etkileri incelenmiştir. Deneyler 4 farklı kesme hızında, 4 farklı ilerleme hızında, 4 farklı işleme koşullarında ve sabit kesme derinliğinde kaplamasız tungsten karbür takımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

8.1. SONUÇLAR

- Genel olarak en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru işleme koşulunda elde edilirken en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri MQL+Nano Grafen yönteminde elde edilmiştir. MQL yönteminde kesme sıvısına eklenen nanopartiküllerin yüzey pürüzlülüğüne pozitif etki ederek ciddi oranda düşürdüğü gözlemlenmiştir. Aynı ilerleme hızında Ra değerlerinde, kuru işlemeye göre kıyaslandığında MQL yönteminde %31,99, MQL+ÇDKN yönteminde %34,13, MQL+Nano Grafen yönteminde %36,01'lere varan oranlarda iyileşme sağladığı görülmüştür. Aynı ilerleme hızında Rz değerlerinde, kuru işlemeye göre kıyaslandığında MQL yönteminde %34,65, MQL+ÇDKN yönteminde %40,10, MQL+Nano Grafen yönteminde %57,75'lere varan oranlarda iyileşme sağladığı tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ile ilerleme hızı arasında doğru orantı olup ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır. Yüzey topoğrafyasının incelendiği deneylerde en düşük Ra, Rv, Rp, Rt ve Rz değerleri MQL+Nano Grafen yöntemi ile elde edilirken en yüksek değerler kuru işleme yönteminde elde edilmiştir. Hem MQL yönteminin hem de MQL yönteminde kullanılan nanopartiküllerin yüzey topoğrafyasına pozitif etki ettiği gözlemlenmiştir.
- Tüm kesme koşullarında en yüksek kesme bölgesi sıcaklık değeri kuru işleme yönteminde oluşurken, en düşük kesme bölgesi sıcaklık değeri MQL+Nano

Grafen yönteminde oluşmuştur. Aynı ilerleme hızında kesme bölgesi sıcaklık değerlerinde, kuru işlemeye göre kıyaslandığında MQL yönteminde %9,87, MQL+ÇDKN yönteminde %7,14, MQL+Nano Grafen yönteminde %16,46'lara varan oranlarda kesme bölgesindeki sıcaklığın azaldığı tespit edilmiştir. Kullanılan MQL sisteminin ve nanopartiküllerin kuru işlemeye kıyasla kesme bölgesi sıcaklığının azalmasında etkili olmuştur. Kesme bölgesi sıcaklığı ile ilerleme hızı arasında doğru orantı olup ilerleme hızının artmasıyla kesme bölgesi sıcaklık değerleri de artmıştır.

- Yapılan kesici takım aşınması deneylerinde en yüksek kesici takım aşınması kuru işleme koşulunda gözlemlenirken en düşük kesici takım aşınması MQL+Nano Grafen yönteminde meydana gelmiştir. Kuru işlemeye kıyasla daha iyi bir ilerleme hızında Vbmax değerlerinde, kuru işlemeye göre kıyaslandığında MQL yönteminde %46,30, MQL+ÇDKN yönteminde %50, MQL+Nano Grafen yönteminde %59,26'lara varan oranlarda daha az takım aşınmıştır. MQL yönteminde kesme sıvısına eklenen nanopartiküllerin aşınma performansına pozitif bir etki etmiştir. Aynı zamanda kullanılan MQL sisteminin ve nanopartiküllerin kesici takım üzerinde yığıntı talaş oluşumunu azalttığı gözlemlenmiştir.

8.2. ÖNERİLER

- Yapılan çalışmada MQL sisteminde kullanılan kesme sıvısı, nozul mesafesi ve debisi sabittir. Bu parametreleri değiştirilerek ya da yeni parametreler ile tornalama yapılarak yüzey pürüzlülüğü, kesme bölgesi sıcaklığı ve kesici takım aşınmasına etkisi araştırılabilir.
- Yapılan çalışmada MQL, nano MQL ve kuru işleme yöntemleri kıyaslanmıştır. Kriyojenik soğutma ile MQL ve nano MQL yöntemlerinin yüzey pürüzlülüğü, kesme bölgesi sıcaklığı kesici takım aşınmasına ve ömür değişimlerine etkisi incelenebilir.
- Kesme kuvvetlerinin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınmasına etkileri tespit edilebilir.

- Farklı kesme derinliklerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınmasına etkisi ölçülebilir.



9. KAYNAKLAR

- [1] J. D. Vries, “The industrial revolution and the industrious revolution,” *The Journal of Economic History*, c. 54, sayı 2, ss. 249–270, 1994.
- [2] K. Schwab, *The fourth industrial revolution*, 1. baskı, New York, USA: Crown Business Yayıncılık, 2017, ss. 1-173.
- [3] P. Hudson, “Writing and rewriting history,” *The industrial revolution*, 1. baskı. Londra, İngiltere: Bloomsbury Yayıncılık, 2014, böl. 1, ss. 9-35.
- [4] S. Alçın, “Üretim için yeni bir izlek: sanayi 4.0,” *Journal of Life Economics*, c. 3, sayı 2, ss. 19–30, 2016.
- [5] A. M. Küçükkalay, “Endüstri devrimi ve ekonomik sonuçlarının analizi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, sayı 2, ss. 51–68, 1997.
- [6] D. Günay, “Sanayi ve sanayi tarihi,” *Mimar ve Mühendis Dergisi*, sayı 31, ss. 8–14, 2002.
- [7] E. Yörükoğulları, Ö. Orhun, H. G. Topdemir ve E. İhsanoğlu, *Bilim ve Teknoloji Tarihi*, 1. baskı, Eskişehir, Türkiye: Anadolu Üniversitesi Yayıncılık, 2013, ss. 2-210.
- [8] A. E. Özcan, “Minimum miktarda yağlama sistemine katılan aşındırıcı toz miktarının kesme işlemine etkilerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [9] Anonim, (2021, 4 Nisan). [Online]. Erişim: <https://www.cnc.com/the-history-of-computer-numerical-control-cnc>
- [10] I. S. Jawahir, P. C. Wanigaratne ve X. Wang, “Product design and manufacturing processes for sustainability,” *Mechanical Engineers' Handbook*, 3. baskı. New York, USA: John Wiley & Sons Yayıncılık, 2006, böl. 12, ss. 414-439.
- [11] F. W. Taylor, “On the art of metal cutting,” *Trans ASME*, sayı 28, ss. 31–58, 1907.
- [12] N. R. Dhar, M. T. Ahmed, ve S. Islam, “An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel,” *International Journal of Machine Tools Manufacture*, c. 47, sayı 5, ss. 748–753, 2007.
- [13] E. Kuram, B. Ozcelik, E. Demirbas, E. Şık, ve I. N. Tansel, “Evaluation of new vegetable-based cutting fluids on thrust force and surface roughness in drilling of AISI 304 using Taguchi method,” *Materials and Manufacturing Processes*, c. 26,

sayı 9, ss. 1136–1146, 2011.

- [14] K. Weinert, I. Inasaki, J. W. Sutherland, ve T. Wakabayashi, “Dry machining and minimum quantity lubrication,” *CIRP Annals*, c. 53, sayı 2, ss. 511–537, 2004.
- [15] D. P. Adler, W. W.-S. Hii, D. C. Michalek ve J. W. Sutherland, “Examining the role of cutting fluids in machining and efforts to address associated environmental/health concerns,” *Machining Science and Technology*, c. 10, sayı 1, ss. 23–58, 2006.
- [16] O. Duman ve Y. Bozkurt, “İş sağlığı ve güvenliğinde metal işleme sıvıları,” *İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi*, c. 4, sayı 1, ss. 27–43, 2021.
- [17] E. Yücel, M. Günay, M. Ayyıldız, Ö. Erkan, ve F. Kara, “Talaşlı imalatta kullanılan kesme sıvılarının insan sağlığına etkileri ve sürdürülebilir kullanımı,” 6. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Elazığ, Türkiye, 2011, ss. 116–121.
- [18] Karl R. Haapala, Fu Zhao, Jaime Camelio, John W. Sutherland, Steven J. Skerlos, David A. Dornfeld, I. S. Jawahir, Andres F. Clarens ve Jeremy L. Rickli, “A review of engineering research in sustainable manufacturing,” *Journal of Manufacturing Science and Engineering Trans. ASME*, c. 135, sayı 4, 2013.
- [19] T. N. Gladwin, J. J. Kennelly, ve T.-S. Krause, “Shifting paradigms for sustainable development: implications for management theory and research,” *Academy of Management Review*, c. 20, sayı 4, ss. 874–907, 1995.
- [20] A. Moldavska ve T. Welo, “The concept of sustainable manufacturing and its definitions: A content-analysis based literature review,” *Journal of Cleaner Production*, c. 166, ss. 744–755, 2017.
- [21] R. Goodland ve G. Ledec, “Neoclassical economics and principles of sustainable development,” *Ecological Modelling*, c. 38, sayı 1–2, ss. 19–46, 1987.
- [22] M. A. Rosen ve H. A. Kishawy, “Sustainable manufacturing and design: Concepts, practices and needs,” *Sustainability*, c. 4, sayı 2, ss. 154–174, 2012.
- [23] G. Muammer ve F. Z. Kara, “Sürdürülebilir kalkınmada işletmenin rolü: kurumsal vatandaşlık,” *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, c. 14, sayı 2, ss. 221–233, 2007.
- [24] A. K. Sharma, A. K. Tiwari, ve A. R. Dixit, “Effects of minimum quantity lubrication (MQL) in machining processes using conventional and nanofluid based cutting fluids: a comprehensive review,” *Journal of Cleaner Production*, c. 127, ss. 1–18, 2016.
- [25] B. Boswell, M. N. Islam, I. J. Davies, Y. R. Ginting, ve A. K. Ong, “A review identifying the effectiveness of minimum quantity lubrication (MQL) during conventional machining,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 92, sayı 1–4, ss. 321–340, 2017.
- [26] Y. Kaynak, T. Lu, ve I. S. Jawahir, “Cryogenic machining-induced surface

- integrity: A review and comparison with dry, MQL, and flood-cooled machining,” *Machining Science and Technology*, c. 18, sayı 2, ss. 149–198, 2014.
- [27] Z. Said, M. Gupta, H. Hegab, N. Arora, A. M. Khan, M. Jamil ve E. Bellos, “A comprehensive review on minimum quantity lubrication (MQL) in machining processes using nano-cutting fluids,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 105, sayı 5, ss. 2057–2086, 2019.
- [28] N. R. Dhar, M. Kamruzzaman, ve M. Ahmed, “Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 172, sayı 2, ss. 299–304, 2006.
- [29] P. T. Craddock, “The composition of the copper alloys used by the Greek, etruscan and Roman civilisations. 2. The Archaic, Classical and Hellenistic Greeks,” *Journal of Archaeological Science*, c. 4, sayı 2, ss. 103–123, 1977.
- [30] N. Gane, “The effect of lead on the friction and machining of brass,” *Philosophical Magazine A*, c. 43, sayı 3, ss. 545–566, 1981.
- [31] A. Ehsani ve E. Y. Yazıcı, “Anadolu’da bakır madenciliği ve kullanımının kısa tarihçesi,” *MT Bilimsel*, sayı 9, ss. 43–48, 2016.
- [32] H. Demirci, “CuZn30 pirinç malzemesinde numune boyutunun hall-petch bağıntısına etkisinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2019.
- [33] S. B. Şentürk, “Pirinç alaşımlarının ekstrüzyonda meydana gelen üretim hatalarının tespiti, nedenleri ve çözüm yolları,” Yüksek lisans tezi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [34] C. Nobel, F. Klocke, D. Lung, ve S. Wolf, “Machinability enhancement of lead-free brass alloys,” *Procedia CIRP*, c. 14, ss. 95–100, 2014.
- [35] A. Yazan, “Pirinç alaşımlarının çinkosuzlaşma korozyonuna alüminyum, nikel ve kalay alaşım elementlerinin etkileri,” Yüksek lisans tezi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [36] B. Zeren, “Soğuk çekilmiş alfa-beta pirincinde gerilim giderme tavlamaının kalıntı gerilim etkisinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2019.
- [37] T. Kesici, “%70 Cu - %30 Zn pirinç alaşımlarında tav parametrelerinin derin çekilebilirliğe etkileri,” Yüksek lisans tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, 2006.
- [38] P. Kejzlar, J. Machuta, ve I. Nová, “Comparison of the structure of CuZn40MnAl

- alloy casted into sand and metal moulds,” *Manufacturing Technology*, c. 17, sayı 1, ss. 44–48, 2017.
- [39] A. Şahinoğlu ve A. Güllü, “CuZn39Pb3 malzemenin torna tezgâhında işlenmesinde oluşan akım, ses şiddeti, titreşim ve yüzey pürüzlülük değeri arasındaki ilişkinin incelenmesi,” *Politeknik Dergisi*, c. 23, sayı 3, ss. 615–624, 2020.
- [40] H. Mindivan, “Yüksek mukavemetli pirinçlerin mikroyapı ve aşınma özelliklerine ısıtılma işleminin etkisi”, Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2001.
- [41] C. Vilarinho, J. P. Davim, D. Soares, F. Castro, ve J. Barbosa, “Influence of the chemical composition on the machinability of brasses,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 170, sayı 1–2, ss. 441–447, 2005.
- [42] M. C. Çakır, *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*, 2. baskı, Bursa, Türkiye: Dora Yayıncılık, 2010, ss. 1–525.
- [43] J. S. Agapiou ve D. A. Stephenson, *Metal Cutting Theory And Practice*, 3. Baskı, Boca Raton, ABD: CRC Taylor and Francis Group, 2016, ss. 1–969.
- [44] U. Şeker, A. Çakır ve N. Kavak, “Sürdürülebilir üretim için talaşlı imalatla kullanılan kesme sıvılarının geri dönüşümü,” *Mühendis ve Makine Dergisi*, c. 58, sayı 684, ss. 15–30, 2017.
- [45] S. Debnath, M. M. Reddy, ve Q. S. Yi, “Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review,” *Journal of Cleaner Production*, c. 83, ss. 33–47, 2014.
- [46] M. A. El Baradie, “Cutting fluids: Part I. Characterisation,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 56, sayı 1–4, ss. 786–797, 1996.
- [47] Iowa Waste Reduction Center, *Cutting Fluid Management: Small Machining Operations*, 3. baskı, Iowa, USA: Iowa Waste Reduction Center, 2003, ss. 1–54.
- [48] E. Kuram, B. Ozcelik, ve E. Demirbas, P. Hudson, “Environmentally friendly machining: vegetable based cutting fluids,” *Green Manufacturing Processes and Systems*, 1. baskı. Berlin, Almanya: Springer Yayıncılık, 2013, böl. 2, ss. 23–47.
- [49] S. A. Lawal, “A review of application of vegetable oil-based cutting fluids in machining non-ferrous metals,” *Indian Journal of Science and Technology*, c. 6, sayı 1, ss. 3951–3956, 2013.
- [50] J. B. Zimmerman, A. F. Clarens, K. F. Hayes, ve S. J. Skerlos, “Design of hard water stable emulsifier systems for petroleum- and bio-based semi-synthetic metalworking fluids,” *Environmental Science Technology*, c. 37, sayı 23, ss. 5278–5288, 2003.
- [51] Y. Yang, Z. G. Zhang, E. A. Grulke, W. B. Anderson, ve G. Wu, “Heat transfer

- properties of nanoparticle-in-fluid dispersions (nanofluids) in laminar flow,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, c. 48, sayı 6, ss. 1107–1116, 2005.
- [52] S. Pervaiz, S. Kannan, ve H. A. Kishawy, “An extensive review of the water consumption and cutting fluid based sustainability concerns in the metal cutting sector,” *Journal of Cleaner Production*, c. 197, ss. 134–153, 2018.
- [53] R. Saidur, K. Y. Leong, ve H. A. Mohammed, “A review on applications and challenges of nanofluids,” *Renewable Sustainable Energy Reviews*, c. 15, sayı 3, ss. 1646–1668, 2011.
- [54] M. Karabatak ve F. Kara, “AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün deneysel optimizasyonu,” *Politeknik Dergisi*, c. 19, sayı 3, ss. 349–355, 2016.
- [55] O. Özbek ve H. Saruhan, “The effect of vibration and cutting zone temperature on surface roughness and tool wear in eco-friendly MQL turning of AISI D2,” *Journal of Materials Research and Technology*, c. 9, sayı 3, ss. 2762–2772, 2020.
- [56] M. Z. A. Yazid, G. A. Ibrahim, A. Y. M. Said, C. H. CheHaron, ve J. A. Ghani, “Surface integrity of Inconel 718 when finish turning with PVD coated carbide tool under MQL,” *Procedia Engineering*, c. 19, ss. 396–401, 2011.
- [57] Ç. V. Yıldırım, T. Kıvak, M. Sarıkaya, ve Ş. Mert, “AISI 4340’ın tornalanmasında minimum miktarda yağlama (MMY) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması,” *7. Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2016, ss. 222–231
- [58] E. A. Rahim ve H. Dorairaju, “Evaluation of mist flow characteristic and performance in minimum quantity lubrication (MQL) machining,” *Journal of the International Measurement Confederation*, c. 123, ss. 213–225, 2018.
- [59] J. Sharma ve B. S. Sidhu, “Investigation of effects of dry and near dry machining on AISI D2 steel using vegetable oil,” *Journal of Cleaner Production*, c. 66, ss. 619–623, 2014.
- [60] M. M. A. Khan ve N. R. Dhar, “Performance evaluation of minimum quantity lubrication by vegetable oil in terms of cutting force, cutting zone temperature, tool wear, job dimension and surface finish in turning AISI-1060 steel,” *Journal of Zhejiang University Science*, c. 7, sayı 11, ss. 1790–1799, 2006.
- [61] S. Chinchankar ve S. K. Choudhury, “Hard turning using HiPIMS-coated carbide tools: Wear behavior under dry and minimum quantity lubrication (MQL),” *Journal of the International Measurement Confederation*, c. 55, ss. 536–548, 2014.
- [62] P. Sivaiah ve D. Chakradhar, “Effect of cryogenic coolant on turning performance characteristics during machining of 17-4 PH stainless steel: A comparison with MQL, wet, dry machining,” *CIRP Journal of Manufacturing Science and*

Technology, c. 21, ss. 86–96, 2018.

- [63] D. Carou, E. M. Rubio, C. H. Lauro, ve J. P. Davim, “The effect of minimum quantity lubrication in the intermittent turning of magnesium based on vibration signals,” *Journal of the International Measurement Confederation*, c. 94, ss. 338–343, 2016.
- [64] R. Viswanathan, S. Ramesh, ve V. Subburam, “Measurement and optimization of performance characteristics in turning of Mg alloy under dry and MQL conditions,” *Journal of the International Measurement Confederation*, c. 120, ss. 107–113, 2018.
- [65] S. Ekinovic, H. Prcanovic, ve E. Begovic, “Investigation of influence of MQL machining parameters on cutting forces during MQL turning of carbon steel St52-3,” *Procedia Engineering*, c. 132, ss. 608–614, 2015.
- [66] S. B. Kedare, D. R. Borse, ve P. T. Shahane, “Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on surface roughness of mild steel of 15HRC on universal milling machine,” *Procedia Materials Science*, c. 6, ss. 150–153, 2014.
- [67] D. U. Braga, A. E. Diniz, G. W. A. Miranda, ve N. L. Coppini, “Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and a diamond coated tool in the drilling of aluminum-silicon alloys,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 122, sayı 1, ss. 127–138, 2002.
- [68] M. Hadad ve B. Sadeghi, “Minimum quantity lubrication-MQL turning of AISI 4140 steel alloy,” *Journal of Cleaner Production*, c. 54, ss. 332–343, 2013.
- [69] A. Saini, S. Dhiman, R. Sharma, ve S. Setia, “Experimental estimation and optimization of process parameters under minimum quantity lubrication and dry turning of AISI-4340 with different carbide inserts,” *Journal of Mechanical Science and Technology*, c. 28, sayı 6, ss. 2307–2318, 2014.
- [70] S. Bhowmick ve A. T. Alpas, “The role of diamond-like carbon coated drills on minimum quantity lubrication drilling of magnesium alloys,” *Surface and Coatings Technology*, c. 205, sayı 23–24, ss. 5302–5311, 2011.
- [71] V. K. Pasam, R. Srikant Revuru, ve S. Gugulothu, “Comparing the performance & viability of nano and microfluids in minimum quantity lubrication for machining AISI1040 steel,” *Materials Today Proceedings*, c. 5, sayı 2, ss. 8016–8024, 2018.
- [72] D. Cönger, U. Emiroğlu, A. Uysal, E. Altan, “Alüminyum 6061 malzemenin MQL yöntemi ile frezelenmesinde nano MoS₂ katkılı kesme sıvısı kullanımının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi,” *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, c. 17, sayı 1, ss. 31–37, 2019.
- [73] K. Kishore Joshi, R. K. Behera, ve Anurag, “Effect of minimum quantity lubrication with Al₂O₃ nanofluid on surface roughness and its prediction using hybrid fuzzy controller in turning operation of Inconel 600,” *Materials Today*

Proceedings, c. 5, sayı 9, ss. 20660–20668, 2018.

- [74] P. H. Lee, J. S. Nam, C. Li, ve S. W. Lee, “An experimental study on micro-grinding process with nanofluid minimum quantity lubrication (MQL),” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, c. 13, sayı 3, ss. 331–338, 2012.
- [75] A. K. Sharma, A. K. Tiwari, R. K. Singh, ve A. R. Dixit, “Tribological investigation of TiO₂ nanoparticle based cutting fluid in machining under minimum quantity lubrication (MQL),” *Materials Today Proceedings*, c. 3, sayı 6, ss. 2155–2162, 2016.
- [76] M. A. Mahadi, I. A. Choudhury, M. Azuddin, ve Y. Nukman, “Use of boric acid powder aided vegetable oil lubricant in turning AISI 431 steel,” *Procedia Engineering*, c. 184, ss. 128–136, 2017.
- [77] M. K. Gupta, P. K. Sood, ve V. S. Sharma, “Optimization of machining parameters and cutting fluids during nano-fluid based minimum quantity lubrication turning of titanium alloy by using evolutionary techniques,” *Journal of Cleaner Production*, c. 135, ss. 1276–1288, 2016.
- [78] V. Vasu ve G. P. K. Reddy, “Effect of minimum quantity lubrication with Al₂O₃ nanoparticles on surface roughness, tool wear and temperature dissipation in machining Inconel 600 alloy,” *Proceedings Institution Mechanical Engineers Part N: Journal Nanoengineering Nanosystems*, c. 225, sayı 1, ss. 3–15, 2011.
- [79] A. N. M. Khalil, M. A. M. Ali, ve A. I. Azmi, “Effect of Al₂O₃ nanolubricant with SDBS on tool wear during turning process of AISI 1050 with minimal Quantity lubricant,” *Procedia Manufacturing*, c. 2, ss. 130–134, 2015.
- [80] S. Khandekar, M. R. Sankar, V. Agnihotri, ve J. Ramkumar, “Nano-cutting fluid for enhancement of metal cutting performance,” *Materials Manufacturing Processes*, c. 27, sayı 9, ss. 963–967, 2012.
- [81] M. K. Gupta, M. Mia, C. I. Pruncu, A. M. Khan, M. A. Rahman, M. Jamil, ve V. S. Sharma, “Modeling and performance evaluation of Al₂O₃, MoS₂ and graphite nanoparticle-assisted MQL in turning titanium alloy: an intelligent approach,” *Journal Brazilian Society Mechanical Sciences Engineering*, c. 42, sayı 4, ss. 1–21, 2020.
- [82] M. Seyedzavvar, M. Shabgard, ve M. Mohammadpourfard, “Investigation into the performance of eco-friendly graphite nanofluid as lubricant in MQL grinding,” *Machining Science Technology*, c. 23, sayı 4, ss. 569–594, 2019.
- [83] M. M. S. Prasad ve R. R. Srikant, “Performance evaluation of nano graphite inclusions in cutting fluids with MQL technique in turning of Aisi 1040 Steel,” *International Journal Research Engineering Technoogy*, c. 2, sayı 11, ss. 381–393, 2013.

- [84] S. Roy ve A. Ghosh, “High-speed turning of AISI 4140 steel by multi-layered TiN top-coated insert with minimum quantity lubrication technology and assessment of near tool-tip temperature using infrared thermography,” *Proceedings Institution Mechanical Engineers Part B: Journal Engineering Manufacture*, c. 228, sayı 9, ss. 1058–1067, 2014.
- [85] P. Sharma, B. S. Sidhu, ve J. Sharma, “Investigation of effects of nanofluids on turning of AISI D2 steel using minimum quantity lubrication,” *Journal Cleaner Production*, c. 108, ss. 72–79, 2015.
- [86] P. B. Patole ve V. V. Kulkarni, “Optimization of process parameters based on surface roughness and cutting force in MQL turning of AISI 4340 using nano fluid,” *Materials Today Proceedings*, c. 5, sayı 1, ss. 104–112, 2018.
- [87] A. I. Toulfatzis, G. A. Pantazopoulos, C. N. David, D. S. Sagris, ve A. S. Paipetis, “Final heat treatment as a possible solution for the improvement of machinability of pb-free brass alloys,” *Metals (Basel)*, c. 8, sayı 8, ss. 1–14, 2018.
- [88] A. I. Toulfatzis, G. A. Pantazopoulos, C. N. David, D. S. Sagris, ve A. S. Paipetis, “Machinability of eco-friendly lead-free brass alloys: Cutting-force and surface-roughness optimization”, *Metals (Basel)*, c. 8, sayı 4, ss. 1–18, 2018.
- [89] J. P. Davim, P. S. Sreejith, ve J. Silva, “Turning of brasses using minimum quantity of lubricant (MQL) and flooded lubricant conditions,” *Materials Manufacturing Processes*, c. 22, sayı 1, ss. 45–50, 2007.
- [90] V. N. Gaitonde, S. R. Karnik, ve J. P. Davim, “Selection of optimal MQL and cutting conditions for enhancing machinability in turning of brass,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 204, sayı 1–3, ss. 459–464, 2008.
- [91] W. T. Huang, D. H. Wu, S. P. Lin, ve W. S. Liu, “A combined minimum quantity lubrication and MWCNT cutting fluid approach for SKD 11 end milling,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 84, sayı 5–8, ss. 1697–1704, 2016.
- [92] A. Uysal, “Ferritik paslanmaz çeliğin çok duvarlı karbon nanotüp katkılı kesme sıvısı kullanılarak minimum miktarda yağlama yöntemi ile frezelenmesinde kesme sıcaklığının incelenmesi,” *Journal Faculty Engineering Architecture Gazi University*, c. 32, sayı 3, ss. 645–650, 2017.
- [93] K. H. Park, B. Ewald, ve P. Y. Kwon, “Effect of nano-enhanced lubricant in minimum quantity lubrication balling milling,” *Journal Tribology*, c. 133, sayı 3, ss. 1–8, 2011.
- [94] J. Samuel, J. Rafiee, P. Dhiman, Z. Z. Yu, N. Koratkar, “Graphene colloidal suspensions as high performance semi-synthetic metal-working fluids,” *Journal Physical Chemistry*, c.115, sayı 8, ss. 3410–3415, 2010.
- [95] Anonim, (2022, 8 Mayıs). [Online]. Erişim: <https://www.imc->

companies.com/taegutec/ttkcatalog/Item.aspx?cat=5510414&fnum=41&mapp=I
S&GFSTYP=M&srch=1

- [96] Anonim, (2022, 8 Mayıs). [Online]. Erişim: https://mrktakim.com/index.php?route=product/product&product_id=2813
- [97] Anonim, (2022, 8 Mayıs). [Online]. Erişim: http://www.bielomatik.com.cn/fileadmin/Dokumente/EN/Schmiersysteme/Brochure_MQL_EN_0316KL.pdf
- [98] Anonim, (2022, 8 Mayıs). [Online]. Erişim: https://www.dino-lite.com/products01.php?index_m1_id=9
- [99] Anonim, (2022, 8 Mayıs). [Online]. Erişim: <https://www.bergeng.com/product/MARSURF-PS-10.html>
- [100] P. G. Benardos ve G. C. Vosniakos, “Predicting surface roughness in machining: A review,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, c. 43, sayı 8, ss. 833–844, 2003.
- [101] M. C. Cakir, C. Ensarioglu, ve I. Demirayak, “Mathematical modeling of surface roughness for evaluating the effects of cutting parameters and coating material,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 209, sayı 1, ss. 102–109, 2009.
- [102] N. A. Özbek, “Effects of cryogenic treatment types on the performance of coated tungsten tools in the turning of AISI H11 steel,” *Journal of Materials Research and Technology*, c. 9, sayı 4, ss. 9442–9456, 2020.
- [103] Y. Zhang, C. Lin, D. Jia, D. Zhang ve X. Zhang, “Experimental evaluation of MoS₂ nanoparticles in jet MQL grinding with different types of vegetable oil as base oil,” *Journal of Cleaner Production* c. 87, ss. 930-940, 2015.
- [104] M. Q. Pham, H. S. Yoon, V. Khare ve S. H. Ahn, “Evaluation of ionic liquids as lubricants in micro milling–process capability and sustainability,” *Journal of Cleaner Production*, c. 76, ss. 167–173, 2014.
- [105] Z. Guo, D. Zhang, ve X. G. Gong, “Thermal conductivity of graphene nanoribbons,” *Applied Physics Letters*, c. 95, sayı 16, ss. 9–12, 2009.
- [106] D. J. Yang, Q. Zhang, G. Chen, S. F. Yoon, J. Ahn, S. G. Wang, Q. Zhou, Q. Wang, J. Q. Li, “Thermal conductivity of multiwalled carbon nanotubes,” *Metals*, c. 66, sayı 16, ss. 1–6, 2002.
- [107] M. J. Peet, H. S. Hasan, ve H. K. D. H. Bhadeshia, “Prediction of thermal conductivity of steel,” *International Journal of Heat Mass Transfer*, c. 54, sayı 11–12, ss. 2602–2608, 2011.
- [108] Anonim, (2022, 12 Mayıs). [Online]. Erişim: <https://www.sarbak.com.tr/dokuman/alasimlar/S511-1.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mert SAPAZ

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2022
Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2018
Lise	Elektrik Elektronik Bölümü	Yakacık Anadolu Meslek Lisesi	2013

YAYINLAR

M. Sapaz, M. Denizli, F. Kara, “AISI H13 Çeliğinin Sert Tornalanmasının Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınmasına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi,” *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON)*, Kocaeli, Türkiye, 2019, c.1, ss 732-738.

M. Sapaz, F. Kara, O. ÖZBEK, “Experimental Investigation of Surface Roughness and Tool Wear in Machining of CW511L Brass Alloy,” *II. International Halich Congress on Multidisciplinary Scientific Research*, İstanbul, Turkey, 2021, ss 525-532.