



**NANO GÜMÜŞ KATKILI BİTKİSEL ESASLI
KESME SIVISININ FREZELEME İŞLEMİNDEKİ
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Enes KILINÇARSLAN

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Hüseyin ÇETİN**

**NANO GÜMÜŞ KATKILI BİTKİSEL ESASLI KESME SIVISININ
FREZELEME İŞLEMİNDEKİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Enes KILINÇARSLAN

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Mayıs 2020**

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Enes KILINÇARSLAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANO GÜMÜŞ KATKILI BİTKİSEL ESASLI KESME SIVISININ FREZELEME İŞLEMİNDEKİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Enes KILINÇARSLAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Hüseyin ÇETİN

Mayıs 2020, 67 sayfa

Metal kesme işlemlerinde kullanılan kesme sıvılarının tribolojik performansı ve sürdürülebilirlik niteliği uzun ve kısa vadede elde edilecek işleme verimini doğrudan etkilemektedir. Yağlama ve soğutma kabiliyeti yüksek sıvıların kullanılması ile kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme sıcaklığı azaltılarak takım ucu ve iş parçasında meydana gelen mekanik hasarların önüne geçilebilir. Ayrıca bu sıvıların toksik madde içermemeleri, geri dönüşebilir olmaları ve minimum miktarda kullanılmaları sürdürülebilir bir üretim sağlamak açısından oldukça önemlidir. Bu doğrultuda bu çalışmada nano partikül katkılı bitkisel kesme sıvılarının tribolojik performansı incelenmektedir. Bitkisel esaslı yağlayıcı olarak kanola yağı, nano partikül katkısı olarak nano gümüş seçilmiştir. Çalışma kapsamında AA7075-T6 malzemesi kuru işleme, bor yağı, bitkisel yağlayıcı ve nano gümüş katkılı bitkisel yağlayıcı şartları altında frezeleme deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler öncesinde sıvıların fiziksel özellikleri incelenmiştir. İşleme

parametreleri olarak farklı ilerlemeve talaş derinliği belirlenmiş, kesme hızı sabit kabul edilmiştir. Deneysel sonuçlarında yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığı, talaş morfolojileri ve takım aşınması incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre F_x kesme kuvvetinin oluşumunda ilerleme oranı, talaş derinliği ve yağlama parametrelerinin etki oranları sırasıyla %3,91, %8,06 ve %79,0 şeklindedir. F_y kuvvetinin oluşumunda ise ilerleme oranı, talaş derinliği ve yağlama parametrelerinin etki oranları sırasıyla %0,26, %4,42 ve %87,3 şeklindedir. Kesme sıvılarından bor yağı ve kanola yağı kesme kuvvetlerini azaltmada birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Nano partikül katkısı ise kesme kuvvetlerinin bir miktar artmasına sebep olmuştur. Yüzey pürüzlülüğünün oluşumunda etkili parametreler sırasıyla yağlama, ilerleme oranı ve talaş derinliği şeklinde, etki oranları ise sırasıyla %91,60, %0,21 ve %0,01 şeklindedir. Kesme sıcaklığının oluşumunda ise etkili parametreler sırasıyla yağlama, ilerleme oranı ve talaş derinliği şeklinde, etki oranları ise sırasıyla %79,56, %1,79 ve %0,48 şeklindedir. Nano gümüş katkısı yüzey pürüzlülüğü, talaş morfolojisi, takım aşınması ve kesme sıcaklığı açısından diğer sıvılara oranla yüksek performans sağlamıştır. Deneysel parametrelerin optimum seviyelerini belirlemek amacıyla S/N ve Yanıt Yüzey analizine göre optimizasyon gerçekleştirilmiştir. İlerleme oranı ve kesme derinliği açısından düşük işleme şartları optimum olarak belirlenmiştir. nAg katkısı ile elde edilen kesme sıvısı, kesme kuvvetleri dışında diğer çıkış parametrelerinde optimum yağlama koşulu olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Nano gümüş katkısı, kanola esaslı yağlayıcı, MMY, AA7075-T6, frezeleme, ANOVA.

Bilim Kodu : 91425

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF NANO SILVER ADDED VEGETABLE BASED CUTTING FLUID IN MILLING PROCESS

Enes KILINÇARSLAN

**Karabuk University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN

May 2020, 67 pages

Tribological performance and sustainability of cutting fluids used in metal cutting processes directly affect the processing efficiency to be obtained in the long and short term. By using cutting fluids with high lubrication and cooling capabilities, cutting forces, surface roughness, tool wear and cutting temperature can be reduced, and mechanical damage to the tool tip and workpiece can be prevented. It is also important that these fluids do not contain toxic substances, they are recyclable and used in minimum amounts in order to ensure sustainable production. Accordingly, in this study, the tribological performance of nano particle-added vegetable cutting fluids was examined. Canola oil was chosen as a vegetable-based lubricant, and nano silver was chosen as a nanoparticle additive. Within the scope of the study, milling experiments of AA7075-T6 material were carried out under the conditions of dry machining, boron oil, vegetable based lubricant and nano-silver added vegetable based lubricant. Physical properties of liquids were examined before experiments.

Different feed and depth of cut were determined as machining parameters, cutting speed was accepted as constant. As a result of the experiments, surface roughness, cutting forces, cutting temperature, chip morphologies and tool wear were examined. According to the results obtained, the effect rate of feed rate, depth of cut and lubrication parameters in the formation of the F_x cutting force were 3.91%, 8.06% and 79.0%, respectively. The effect rate of feed rate, depth of cut and lubrication parameters in the formation of the F_y cutting force were 0.26%, 4.42% and 87.3%, respectively. Boron oil and canola oil gave close results in reducing cutting forces. On the other hand, nano particle additive caused some increase in cutting forces. The effective parameters in the formation of surface roughness were lubrication, feed rate and depth of cut, respectively, and the effect rates were 91.60%, 0.21% and 0.01%, respectively. The effective parameters in the formation of the cutting temperature were lubrication, feed rate and depth of cut, respectively, and the effect rates were 79.56%, 1.79% and 0.48%, respectively. Nano silver additive provided high performance compared to other liquids in terms of surface roughness, chip morphology, tool wear and cutting temperature. In order to determine the optimum levels of experimental parameters, optimization was performed according to S/N and Response Surface analysis. Low machining conditions were optimally determined in terms of feed rate and depth of cut. The cutting fluid obtained by nAg additive was determined as the optimum lubrication condition in the other output parameters except the cutting forces.

Keywords : Nano silver additive, canola-based lubricant, MQL, AA7075-T6, milling, ANOVA.

Science Code : 91425

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Hüseyin ÇETİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bütün hayatım boyunca maddi, manevi desteklerini benden esirgemeyen, eğitimim için her türlü zorluğa katlanan anneme ve babama, her koşulda yanımda olan kardeşlerime tüm kalbimle teşekkür ederim.

Maddi ve manevi her konuda ve koşulda, yardımlarını esirgemedен yanımda olan sevgili eşim Sena KILINÇARSLAN'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | vi |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xiv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xv |
| | |
| BÖLÜM 1 | 1 |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2 | 6 |
| METAL KESME SIVILARI | 6 |
| 2.1. KESME SIVILARININ FONKSİYONLARI..... | 6 |
| 2.1.1. Yağlama..... | 6 |
| 2.1.1.1. Kesme Sıvılarının Yağlama Mekanizmaları..... | 7 |
| 2.1.2. Soğutma | 8 |
| 2.1.3. Korozyon Oluşumunu Engelleme | 9 |
| 2.2. KESME SIVILARININ PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELER..... | 9 |
| 2.2.1. pH Değeri..... | 9 |
| 2.2.2. Viskozite | 9 |
| 2.2.3. Yoğunluk | 10 |
| 2.2.4. Isıl İletkenlik Katsayısı | 10 |
| 2.2.5. Buharlaştırma Isısı, Parlama ve Yanma Noktaları | 10 |
| 2.3. KESME SIVILARININ BİLEŞENLERİ..... | 11 |
| 2.3.1. Mineral Esaslı Yağlar | 11 |
| 2.3.2. Bitkisel Esaslı Yağlar | 11 |

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 2.3.3. Sentetik Kesme Sıvıları | 12 |
| 2.3.4. Yarı Sentetik Kesme Sıvıları | 12 |
| 2.4. KATKI MADDELERİ | 12 |
| 2.4.1. EP Katkısı | 13 |
| 2.4.2. Film Katkısı | 13 |
| 2.4.3. Korozyon Önleyiciler | 13 |
| 2.4.4. Deterjan & Dispersanlar | 14 |
| 2.4.5. Pas Önleyiciler | 14 |
| 2.4.6. Aşınma Önleyiciler | 14 |
| 2.4.7. Köpüklenme Önleyiciler | 14 |
| 2.4.8. Donma Noktası Düşürücüler | 14 |
| 2.4.9. Biositler | 15 |
| 2.4.10. Nanopartikül Katkıları | 15 |
| 2.4.10.1. Nano Gümüş Partikülleri | 15 |
| 2.5. KESME SIVILARININ UYGULANMA METOTLARI | 16 |
| 2.5.1. Sürekli Akış Tekniği | 16 |
| 2.5.2. Sis Püskürtme Tekniği | 16 |
| 2.5.2.1. Minimum Miktarda Yağlama Metodu | 17 |
| 2.6. KESME SIVILARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ | 17 |
| BÖLÜM 3 | 19 |
| ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ FREZELENMESİ | 19 |
| 3.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI | 19 |
| 3.1.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması | 20 |
| 3.1.2. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler | 21 |
| 3.2. FREZELEME İŞLEMİ | 22 |
| 3.2.1. Çevresel Frezeleme | 23 |
| 3.2.1.1. Aynı ve Zıt Yönlü Frezeleme | 23 |
| 3.2.2. Alın Frezeleme | 24 |
| 3.3. FREZELEMEDE TALAŞ KALDIRMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER .. | 25 |
| 3.3.1. Frezeleme İşleminde Oluşan Kesme Kuvvetleri | 26 |

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 3.3.2. Yüzey Pürüzlülüğü | 27 |
| 3.3.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler..... | 27 |
| | |
| BÖLÜM 4 | 29 |
| MATERYAL VE METOT | 29 |
| 4.1. KESME SIVILARININ HAZIRLANMASI..... | 29 |
| 4.2. İŞ PARÇASI MALZEMESİ VE ÖZELLİKLERİ..... | 32 |
| 4.3. DENEYSEL KURULUM VE İŞLEME PARAMETRELERİ | 33 |
| | |
| BÖLÜM 5 | 36 |
| DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA..... | 36 |
| 5.1. KESME KUVVETLERİ SONUÇLARI | 36 |
| 5.1.1. F_x Kesme Kuvveti Sonuçları | 36 |
| 5.1.2. F_y Kesme Kuvveti..... | 39 |
| 5.1.3. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları..... | 41 |
| 5.1.4. Takım Ucu Aşınması | 47 |
| 5.1.5. Kesme Bölgesi Sıcaklığı..... | 48 |
| 5.1.6. Deneysel Parametrelerin Optimizasyonu | 52 |
| | |
| BÖLÜM 6 | 56 |
| SONUÇ VE ÖNERİLER | 56 |
| | |
| KAYNAKLAR | 59 |
| ÖZGEÇMİŞ | 67 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1. Sürdürülebilir yağlama..... | 18 |
| Şekil 3.1. Çevresel frezeleme çeşitleri | 23 |
| Şekil 3.2. Aynı ve zıt yönlü frezeleme | 24 |
| Şekil 3.3. Alın frezeleme çeşitleri | 25 |
| Şekil 3.4. Talaş kaldırma kuvveti ve bileşenleri | 26 |
| Şekil 4.1. Nano-gümüş partiküllerinin Tollens' yöntemi ile üretilmesi..... | 30 |
| Şekil 4.2. nAg partiküllerinin UV grafiği | 30 |
| Şekil 4.3. nAg partiküllerinin TEM görüntüsü..... | 31 |
| Şekil 4.4. Deneylerde kullanılan kesme sıvıları | 31 |
| Şekil 4.5. Deneylerde kullanılan iş parçasının perspektif görünümü..... | 33 |
| Şekil 4.6. Deneylerde kullanılan takım tezgahı ve ekipmanlar | 35 |
| Şekil 4.7. Deneysel kurulum aşamaları | 35 |
| Şekil 5.1. F_x kesme kuvveti için değişken tablosu | 37 |
| Şekil 5.2. F_x kuvveti sonuçlarının işleme parametrelerine bağlı değişimi | 37 |
| Şekil 5.3. F_y kesme kuvveti için değişken tablosu | 39 |
| Şekil 5.4. F_y kuvveti sonuçlarının işleme parametrelerine bağlı değişimi | 40 |
| Şekil 5.5. Yüzey pürüzlülük değerleri için değişken tablosu | 41 |
| Şekil 5.6. Yüzey pürüzlülük sonuçlarının işleme parametrelerine bağlı değişimi | 41 |
| Şekil 5.7. Yağ filminin yüzeye tutunma kabiliyeti: a) BEY+DS, b) BEY+nAg+DS44 | |
| Şekil 5.8. BEY+ nAg+ DS kolloidal süspansiyonu kullanılması sonucu elde edilen talaşın EDX analizi | 44 |
| Şekil 5.9. Talaş morfolojilerinin SEM görüntüleri..... | 46 |
| Şekil 5.10. Takım aşınmaların optik mikroskop görüntüleri | 48 |
| Şekil 5.11. Sıcaklık değerleri için değişken tablosu | 49 |
| Şekil 5.12. Sıcaklık sonuçlarının işleme parametrelerine bağlı değişimi | 49 |
| Şekil 5.13. Kesme bölgesi sıcaklık değerleri | 51 |
| Şekil 5.14. Minimum kesme kuvvetleri için optimum işleme parametreleri..... | 52 |

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 5.15. Minimum yüzey pürüzlülük değerleri için optimum işleme parametreleri | 53 |
| Şekil 5.16. Minimum kesme sıcaklığı değerleri için optimum işleme parametreleri | 54 |
| Şekil 5.17. Minimum çıkış parametre değerleri için belirlenen optimum işleme parametreleri | 55 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| Çizelge 3.1. Alüminyum alaşımları, özellikleri ve kullanım alanları | 20 |
| Çizelge 3.2. Isıl işlem türleri ve sembolleri | 21 |
| Çizelge 4.1. Kesme sıvılarının özellikleri | 32 |
| Çizelge 4.2. 7075 malzemesinin alaşım elementleri | 32 |
| Çizelge 4.3. Deneysel parametreler | 34 |
| Çizelge 5.1. F_x kesme kuvvetinin ANOVA sonuçları..... | 37 |
| Çizelge 5.2. F_y kesme kuvvetinin ANOVA sonuçları..... | 40 |
| Çizelge 5.3. Yüzey pürüzlülük değerleri için ANOVA sonuçları | 42 |
| Çizelge 5.4. Sıcaklık değerleri için ANOVA sonuçları | 49 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

| | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Ag | : gümüş |
| AgNO ₃ | : gümüş nitrat |
| Al ₂ O ₃ | : alüminyum oksit |
| Bar | : basınç birimi |
| cal | : kalori |
| cm | : santimetre |
| Cu | : bakır |
| D | : freze çapı |
| dak | : dakika |
| dev/dak | : bir dakikadaki devir sayısı |
| F _t | : teğetsel kuvvet |
| F _a | : makaslama kuvveti |
| F _b | : basma kuvveti |
| F _c | : kesme kuvveti |
| F _f | : ilerleme kuvveti |
| F _s | : sürtünme kuvveti |
| F _n | : normal kuvvet |
| F _r | : radyal kuvvet |
| F _x | : x eksenindeki kuvvet |
| F _y | : y eksenindeki kuvvet |
| F _z | : talaş kaldırma kuvveti |
| f _z | : diş başı ilerleme |
| GPa | : gigapascal |
| gr | : gram |
| h | : saat |
| HV | : vickers sertliği |

| | |
|-----------|--|
| H_3BO_3 | : borik asit |
| K | : kelvin |
| kg | : kilogram |
| kJ | : kilojoule |
| kV | : kilovolt |
| kW | : kilowatt |
| m | : metre |
| Mg | : magnezyum |
| ml | : mililitre |
| mm | : milimetre |
| Mn | : mangan |
| MoS_2 | : molibden disülfid |
| MPa | : megapascal |
| N | : Newton |
| n | : devir sayısı |
| $NaBH_4$ | : sodyum borhidrür |
| NH_3 | : amonyak |
| NaOH | : sodyum hidroksit |
| pH | : asitlik derecesi |
| rpm | : revolutions per minute (dakikadaki dönme sayısı) |
| R_a | : ortalama çizgi değeri |
| R_p | : maksimum tepe yüksekliği |
| R_q | : geometrik ortalama değeri |
| R_t | : maksimum tepe- çukur yüksekliği |
| R_v | : maksimum çukur derinliği |
| R_z | : on nokta yüksekliği |
| S | : kükürt |
| Si | : silisyum |
| TiO_2 | : titanyum dioksit |
| W | : watt |
| V_c | : kesme hızı |
| V_f | : ilerleme hızı |
| Z | : kesici diş sayısı |

| | |
|--------------------|--------------------|
| Zn | : çinko |
| ZnO | : çinko oksit |
| π | : pi sayısı |
| $^{\circ}\text{C}$ | : santigrat derece |
| Ω | : ohm |
| μm | : mikrometre |

KISALTMALAR

| | |
|--------|--|
| ANOVA | : Analysis of Variance (Varyans Analizi) |
| BEY | : Bitkisel Esaslı Yağlayıcı |
| BUE | : Built Up Edge (Yığıntı Talaş) |
| BY | : Bor Yağı |
| DS | : Distile Su |
| EDX | : Energy Dispersive X-Ray (Enerji Dağılımlı X-Işını) |
| EP | : Extreme Pressure (Aşırı Basınç) |
| HSS | : High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği) |
| MMY | : Minimum Miktarla Yağlama Yöntemi |
| MQL | : Minimum Miktarla Yağlama Yöntemi |
| MS | : Mean Square (Kareler Ortalaması) |
| nAg | : Nano Gümüş |
| SEM | : Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskopi) |
| SS | : Sum Of Squares (Kareler Toplamı) |
| UV-vis | : Ultraviolet-Visible Spectrophotometry |
| TEM | : Transmission Electron Microscopy (Geçirimli Elektron Mikroskopi) |
| YD | : Yüzdeler Dağılımı |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sürdürülebilir üretim anlayışı çevresel, ekonomik ve sosyal faktörler dikkate alınarak mevcut kaynakların etkin kullanımı ile üretim yapmayı amaçlar. Bu bağlamda sürdürülebilir üretim anlayışı ürün, süreç ve sistem düzeyinde üç ana kavramı irdeler [1]. Günümüz imalat endüstrisinde sürdürülebilirliğin yanısıra yüksek verim ve ürün kalitesi de talep edilmektedir. Bu doğrultuda tercih edilen yüksek işleme şartları, kesme bölgesinde yüksek sıcaklık sorununu ortaya çıkartmaktadır. Kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklık, iş parçasında ve takım ucunda mekanik problemler meydana getirmektedir. Mekanik problemleri minimize etmek, ortaya çıkan ısı miktarını ve kesme kuvvetlerini azaltmak amacı ile kesme sıvıları kullanılmaktadır. Kesme sıvılarının sürdürülebilir üretim anlayışına uygun nitelikte olması için üstün tribolojik performans sağlayabilmelerinin yanında toksik madde içermemeleri, geri dönüşebilir ve organik yapıda olmaları gerekmektedir.

Kimyasal bileşenlerine göre kesme sıvıları mineral, sentetik, yarı sentetik ve bitkisel esaslı olmak üzere sınıflandırılır. Mineral yağlayıcılar petrolün rafine edilmesi ile, sentetik ve yarı sentetik yağlayıcılar laboratuvar ortamında, bitkisel esaslı yağlayıcılar ise doğal kaynaklardan elde edilirler [2]. Kullanım alanlarına göre yağlayıcı seçimi değişmektedir ancak petrol esaslı (mineral) yağlayıcıların kullanımı diğerlerine kıyasla daha yaygındır [3]. Doğada çözünemeyen ve imalat sırasında yüksek ısı ile buharlaşan bu yağlar uygulama esnasında operatör sağlığı açısından, uygulama sonrasında ise yer altı ve yer üstü kaynakların kirlenmesi açısından olumsuz etki oluşturmaktadır. Bu doğrultuda bitkisel esaslı kesme sıvılarının metal kesme uygulamalarında kullanımının önemi şu şekilde sıralanabilir [4];

- Moleküler yapısı sayesinde yağ filmi oluşturma ve penetrasyon kabiliyeti yüksektir. Bu sayede kesme bölgesinde sürtünme kuvvetini azaltarak yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesinde, kesme kuvvetlerinin ve takım aşınmasının azalmasında etkili rol oynar.
- Bitkisel kesme sıvılarının pH değerinin 9-9,5 arasında olması sayesinde insan sağlığına zarar vermeden kesme bölgesinin korunması mümkün olmaktadır [5,6].
- Parlama ve kaynama noktasının yüksek oluşu sebebiyle, duman ve alev oluşumu düşüktür.
- Toksik madde içermemesi ve doğada çözünebilmesi sayesinde çevre kirliliğine sebep olmaz.

Shashidhara ve Jayaram, bitkisel yağların kesme sıvısı olarak metal kesme proseslerinde sağladıkları performansları inceleyen çalışmaları derlemişlerdir. İnceledikleri çalışmalarda soya fasulyesi, ayçiçeği ve kolza tohumu yağları yaygın olarak kullanılan kesme sıvılarıdır. Bitkisel kesme sıvılarının gerek işlenebilirlik özellikleri gerekse çevre dostu olmaları sebebiyle mineral esaslı yağlara alternatif olduklarını belirtmişlerdir [3]. Mahadi vd. AISI 431 çeliğinin tornalanmasında bitkisel ve mineral esaslı kesme sıvılarının tribolojik performansını karşılaştırmışlardır. Bitkisel esaslı yağlayıcıyı kesme bölgesine minimum miktarda yağlama (MQL) yöntemi ile mineral esaslı yağlayıcıyı ise geleneksel yağlama yöntemi uygulamışlardır. Kullandıkları bitkisel yağlayıcı miktarının mineral esaslı yağlayıcıya oranla çok daha düşük olmasına rağmen yüzey pürüzlülüğünü %0,31 oranında azalttığını tespit etmişlerdir [7]. Tahir vd. farklı kayma hızı (0,1, 0,2, 0,3 m/s), yük (50, 75, 100 N) ve sıcaklık (25, 40, 60 °C) parametreleri altında gerçekleştirdikleri aşınma deneylerinde hurma yağının tribolojik özelliklerini değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre hurma yağı kuru koşullara kıyasla sürtünme katsayısı ve aşınmayı %16 oranında azaltarak üstün tribolojik özellik göstermiştir [8]. Woma vd. kesme sıvısı olarak bitkisel yağlayıcıların incelendiği çalışmaları özetlemişlerdir. Bitkisel yağların mineral yağlarla karşılaştırıldığında yüksek parlama noktasına, viskoziteye ve yağlama kabiliyetine sahip olduklarını ifade etmişlerdir. Ayrıca sürdürülebilir bir kaynak olan bitkisel yağlayıcılar toprak

hava ve su kirliliği açısından mineral yağlayıcılara kıyasla daha az tehlikeli olduklarını savunmuşlardır [9].

Metal kesme uygulamalarında bitkisel esaslı yağlayıcıların ve MQL yönteminin kullanımının hem sürdürülebilirliği sağlamak hem de iş parçası ve takım ucunda meydana gelen deformasyonları minimize etmek açısından olumlu etkilerinin olduğu açıktır. Ancak kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklığın minimizasyonu yeterli seviyede olmamakta, ilave katkılara ihtiyaç duyulmaktadır [10–15]. Bu doğrultuda kesme sıvılarının ısıl iletkenlik performansını arttırmak amacıyla nano partikül katkıları kullanılmaktadır. Nano partikül katkıları ile ısıl iletkenlik ve penetrasyon kabiliyetleri yüksek kesme sıvıları geliştirilmektedir. MQL yöntemi, bitkisel esaslı yağlayıcı ve nano partikül katkılarının eş zamanlı kullanımı ile, sürdürülebilir üretim anlayışından sapmadan termal ve mekanik problemleri minimize etmek mümkün olmaktadır. Günümüzde hemen hemen her endüstriyel alanda kullanılan nano partiküllerin toksisite etkileri üzerine çok sayıda çalışma yapılmaktadır [16]. Ancak niceliksel ekotoksisite veri eksikliği sebebiyle nano partiküllerin çevre ve insan sağlığına zararları henüz tam anlamıyla bilinmemektedir [17]. Bununla birlikte bazı nano partiküller gıda, sağlık, tekstil ve kozmetik sektörlerinde yaygın olarak kullanılmakta ve çevre dostu olarak kabul görmektedirler [18,19]. Bu noktada MQL yöntemi ile kesme sıvılarının asgari miktarda kullanımı nano partikül kaynaklı ekolojik sorunların şiddetini de azaltabilir [1]. Hegab vd. farklı soğutma ve yağlama yöntemlerini enerji tüketimi, maliyet, işlenebilirlik verimi, çevre ve insan sağlığı gibi sürdürülebilirlik kriterleri çerçevesinde değerlendirmişlerdir. Değerlendirme sonucunda sürdürülebilirliğe uygun ve tribolojik performansı yüksek yöntemlerin kriyojenik soğutma ve nano akışkan- MQL yöntemi olduğunu bildirmişlerdir [1]. Sen vd. ve Sidik vd. bitkisel esaslı nano akışkan-MQL yönteminin kesme parametrelerine etkileri üzerine yapılan çalışmaları derlemiştir. Yapılan çalışmalara göre tornalama, delme ve frezeleme gibi metal kesme uygulamalarında nano boyutta elmas, Al_2O_3 , MoS_2 , H_3BO_3 , SiO_2 , Ag, Au, CuO ve TiO_2 gibi element ve bileşikler kullanılmaktadır. Asgari miktarda kullanılan nano partiküller sahip oldukları üstün özellikleri sayesinde kesme parametrelerini iyileştirmektedir [10,13,20]. Khan vd. %0,1, %0,25, %0,5 ve %1 konsantrasyonlarda nano bakır ve nano gümüş partiküllerini hindistancevizi yağı ile sentezleyerek kesme sıvıları üretmişlerdir.

Tornalama işleminde kullanılacak kesme sıvılarının sürtünme katsayılarını pin-on-disk testi ile belirlemişlerdir. Nano partikül katkısıyla sürtünme katsayısının, kesme sıcaklığının ve kesme kuvvetlerinin azaldığını bildirmişlerdir. Kesme parametrelerini iyileştirme açısından nano bakır katkısı, kesme sıcaklığını ~%5, kesme kuvvetlerini ~%10 sürtünme katsayısını ise %30 oranında düşürerek nano gümüş katkısına göre daha iyi sonuç vermiştir [21]. Yi vd. Ti-6Al-4V alaşımının ağırlıkça %0,1, %0,3 ve %0,5 konsantrasyonlarında nano grafen esaslı kesme sıvısı ile işlenmesini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda kesme kuvvetleri, takım aşınması ve meydana gelen titreşimi analiz etmişlerdir. Nano akışkan kullanımı ile kesme kuvvetlerinin %50,83 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca takım aşınmasının da %0,1, %0,3 ve %0,5 konsantrasyonlarında sırasıyla %44,1, %53,9 ve %71,3 oranında azaldığını tespit etmişlerdir [22]. Okokpujie vd. frezeleme işleminde çeşitli nano akışkanlar kullanarak kesme sıcaklığında meydana gelen değişimi incelemişlerdir. Deneyler sonucunda kuru işlemeye göre kesme sıcaklığını TiO₂ nano-akışkanın %7,15, Al₂O₃ nano-akışkanın ise %9,76 oranında azalttığını gözlemlemişlerdir. 2. pasoda ise kesme sıcaklığını Al₂O₃ ve SiO₂ nano-akışkanlarının sırasıyla %6,27 ve %4,64 oranında azalttığını, TiO₂ nano-akışkanın ise %0,29 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir [23].

Literatür çalışmaları incelendiğinde günümüz imalat sisteminin sürdürülebilirlikten sapmadan yüksek işleme verimi elde etme, yüksek kalitede ürünler üretme ve enerji sarfiyatını azaltma arayışında olduğu tespit edilmiştir. Hedeflenen amaçlar doğrultusunda kesme işlemi yapılırken kesme kuvvetlerini, takım aşınmasını ve kesme sıcaklığını düşürmek, yüzey kalitesini arttırmak esastır. Bu amaçla bu çalışmada kesme sıvısı olarak bitkisel esaslı yağlayıcı, uygulama metodu olarak MQL yöntemi ve tribolojik performans ajanı olarak nano-partikül katkısı kullanılmaktadır. Bitkisel esaslı yağlayıcı olarak kolza (kanola) yağı, nano partikül katkısı olarak da nano-gümüş seçilmiştir. Literatür çalışmaları incelendiğinde kolza yağının içeriğinde bulunan uzun hidrokarbon zincirleri sayesinde üstün yağlama kabiliyetine sahip olduğu tespit edilmiştir [24]. Gümüş elementi ise 429 W/mK ısı iletkenlik katsayısı sayesinde yüksek ısı taşıma kapasitesine sahiptir [25]. Bu sayede kesme bölgesindeki ısı transferi etkin bir şekilde sağlanacak ve yüksek sıcaklık oluşumu engellenecektir. Ayrıca nano gümüş partikülleri sağlık, kozmetik, tekstil ve

gıda gibi sektörlerde kullanılıyor olması sebebiyle ekosistem ile uyumludur [18,19]. Çalışma kapsamında AA7075-T6 alaşımı kuru işleme, bor yağı, bitkisel yağlayıcı ve nano gümüş katkılı bitkisel yağlayıcı şartları altında frezeleme deneylerine tabi tutulmuştur. İşleme parametreleri olarak farklı ilerleme ve talaş derinliği belirlenmiş, kesme hızı sabit kabul edilmiştir. Deneyler sonucunda yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, talaş morfolojileri ve takım aşınması incelenmiştir.

BÖLÜM 2

METAL KESME SIVILARI

Frezeleme, tornalama, delme ve taşlama gibi metal kesme uygulamalarında kesici takım ile iş parçasının birbirlerine temas halinde gerçekleştirdikleri göreceli hareket sonucu talaş kaldırılır. Talaş kaldırma esnasında iş parçası ve takım ucu arasında sürtünme, aşınma, gerilme ve sıcaklık gibi fiziksel olaylar meydana gelir. Metal kesme uygulamalarında sürtünmeyi, takım aşınmasını, kesme sıcaklığını ve kuvvetlerini azaltma, yüzey kalitesini artırma ve talaşları kesme bölgesinden uzaklaştırma amacıyla kesme sıvıları kullanılmaktadır. Kullanılan kesme sıvılarının sahip olması gereken başlıca özellikler mevcuttur. Bu özellikler temelde yağlama ve soğutma şeklinde karşımıza çıkarken; talaş uzaklaştırma, korozyonu engelleme, yüzey kalitesini artırma, kesme kuvvetlerini düşürme, güç tüketimini azaltma, yüzeyler arası metal yapışmasını engelleme ve iş parçasının metalürjik özelliklerini koruma şeklinde özele indirgenebilir.

2.1. KESME SIVILARININ FONKSİYONLARI

2.1.1. Yağlama

Yağlamanın fonksiyonunun amacı birbirine temas halinde bulunan metal yüzeylerin arasında bir yağ filmi oluşturarak yüzeyleri birbirinden ayırmak, bu sayede sürtünme kuvvetini azaltmaktır. Yağ filminin oluşumu kullanılan sıvının adezyon ve kohezyon kuvvetleri ile alakalıdır. Sıvının adezyon kuvveti kohezyon kuvvetinden büyük olduğu durumda yüzeye tutunabilir ve yağ filmi oluşturabilir. Yağlayıcıların yüzeyde oluşturdukları film tabakası ile metal-metal temasını engellemeleri yapışma kabiliyeti olarak adlandırılır [26]. İyi bir yağlayıcılığa sahip olan kesme sıvıları şu fonksiyonları da yerine getirir:

- Yüzeyler arası sürtünme kuvvetini düşürür bu sayede sürtünme kaynaklı oluşan ısıyı engeller.
- Yüzeyler arası meydana gelen kayganlık sayesinde talaş ve kopan parçalar kesme bölgesinden uzaklaşır.
- Yığıntı talaş (BUE) oluşumunu engelleyerek yüzey kalitesinin artmasına olanak sağlar.
- Yüzeylerde koruyucu tabaka oluşturduğu için korozyon oluşumunu engeller.
- Yüzeyler arası adezyon aşınmasını minimize eder [27].

2.1.1.1. Kesme Sıvılarının Yağlama Mekanizmaları

Kesme sıvılarının yağlayıcılık karakteristikleri yağlama mekanizmaları ile açıklanabilir. Bu yağlama mekanizmalarından bir veya birkaçı uygulanan çalışma koşullarına göre belirlenebilir.

Sınır Yağlama

Pratikte yaygın bir şekilde karşılaşılan sınır yağlama mekanizmasında yüzeyler arasında yağlayıcı bulunmasına rağmen yüzeyler birbirinden tamamen ayrılmaz ve bazı noktalarda temas söz konusu olur. Bu mekanizmada yağ filmi yüzeylere Van der Walls kuvvetleri ile tutunur. Yağlayıcı film kalınlığı 1-10 nm arasında değişirken yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısı sıvı viskozitesinden bağımsız bir haldedir [27].

Hidrodinamik Yağlama

Sıvı yağlama veya kalın film yağlama olarak da bilinen hidrodinamik yağlama mekanizmasında temas yüzeyleri birbirinden tamamen ayrıdır. Yüzeyler arasında kesme sıvısının sağladığı hidrodinamik basınç sayesinde yüzeyler birbirine temas etmez. Yağlayıcının sahip olduğu viskozite, yüzeylerin durumu ve kayma hızına bağlı olarak arasındaki sürtünme engellenir [28,29].

Polar Yağlama

Bu mekanizma kesme sıvılarında bulunan polar katkıları sayesinde gerçekleşir. Polar katkıları metal yüzeyinde birleşerek polarite sayesinde birbirlerini iterler. Bu sayede yüzeyler birbirine temas etmez ve yüksek yağlayıcılık elde edilir. Bu mekanizmanın yağlayıcılık karakteri seçilen polar katkılarının türüne ve miktarına bağlı olarak belirlenir [28].

Aşırı Basınçlı (EP) Yağlama

Bu yağlama mekanizmasında yağlayıcının sahip olduğu EP katkısı sayesinde metal yüzeyleri arasında bir kimyasal reaksiyon gerçekleşir ve oldukça dayanıklı bir yağ filmi oluşur. Reaksiyon sonucu meydana gelen metal tuzlarının sağladığı bu yağ filmi çok yüksek sıcaklıklarda bile bozulmayarak yağlama işlevini yerine getirir [27].

2.1.2. Soğutma

Talaş kaldırma esnasında meydana gelen sürtünme ve deformasyon sebebiyle ısı açığa çıkar. Kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklığın azaltılmaması takım ömrü ve iş parçasının yüzey kalitesinde azalmaya sebep olur. Kesme sıvılarının kullanımı ile kesme bölgesinde ortaya çıkan ısı absorbe edilir. Kesme sıvılarının soğutma fonksiyonları sahip oldukları özgül ısı ve ısı iletme kabiliyetlerine, viskozitesine ve kimyasal özelliklerine bağlıdır [27,30]. Suyun soğutma kabiliyeti yağlayıcılara göre daha yüksek olmasına karşın tek başına kullanıldığında yağlayıcılık performansı yetersiz kalmakta ve paslanmaya sebep olmaktadır. İyi bir soğutuculuğa sahip kesme sıvıları şu fonksiyonları da yerine getirir:

- BUE oluşumunu engeller.
- Yüzeyler arası metal yapışmasını ve kaynamasını engeller.
- İş parçasının metalürjik özelliklerinin korunmasını sağlar.

2.1.3. Korozyon Oluşumunu Engelleme

Kesme işlemine tabi tutulan metaller, yüzeylerindeki koruyucu tabakanın kalkması sonucunda hızlı bir şekilde korozyona uğrama ve paslanma eğiliminde olurlar. Kesme sıvılarının metal yüzeyinde oluşturduğu koruyucu tabaka sayesinde yüzeyi nem ve oksijene karşı koruyarak oksitlenme ve diğer korozif aşınmaların oluşumunu engeller [31].

2.2. KESME SIVILARININ PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELER

Metal kesme sıvılarının sağladığı fonksiyonlar sahip oldukları bazı fiziksel ve kimyasal parametrelere bağlıdır. Bu parametrelerin optimum seviyede seçilmesi hem yüksek işleme veriminin sağlanması hem de insan ve çevre sağlığı bakımından oldukça önemlidir. Bu parametreler, pH, viskozite, yoğunluk, ısıl iletkenlik, yanma ve parlama noktası şeklinde sıralanabilir.

2.2.1. pH Değeri

Metal kesme uygulamalarında kesme sıvılarının pH değeri genellikle alkali olarak ayarlanır. Genel olarak 9-9,5 olarak ayarlanan pH değeri, kullanım alanına göre değişkenlik gösterebilir [32,33]. pH seviyesinin belirlenen alt limitten daha düşük olması (<8,5) kesme sıvısının yağlama karakteristiklerinde düşümlere, metallerde korozyona ve yüzey kalitesinde bozulmalara sebebiyet vermektedir. pH değerinin 9,5'ü aştığı durumlarda alkali seviyesi artacak ve işçi sağlığı üzerinde olumsuz etkiler söz konusu olacaktır [5].

2.2.2. Viskozite

Kesme performansını etkileyen parametrelerden bir diğeri olan viskozite, kesme sıvılarının kesme bölgesinde tutunabilme kabiliyetini etkilemektedir. Kullanılacak sıvının viskozite değerinin, uygulanacak yağlama metoduna göre ayarlanması gerekir. Geleneksel yağlama yöntemlerinde viskozitesi yüksek kesme sıvıları

sürtünme ve aşınmayı daha etkili bir şekilde minimize edebilir. Ancak meydana gelen kalın yağ filmi işlem sonrasında iş parçası ve takım ucunda artık şeklinde kalır. Bu da kalite kontrol açısından istenmeyen bir durum oluşturur. Bununla birlikte kesme sıvısının pülverize edilerek uygulandığı yağlama metotlarında sıvıların düşük viskozite değerine sahip olması beklenmektedir. Artan viskozite değeri, pülverizasyonu zorlaştırarak kesme sıvısının takım iş parçası ara yüzeyine nüfuziyetini engelleyecektir. Soğutma kapasitesi bakımından da düşük viskoziteli sıvılar daha avantajlıdır ancak bu sıvıların buharlaşma ve alevlenme noktaları, yüksek viskoziteli sıvılara oranla daha düşüktür [32,33].

2.2.3. Yoğunluk

Kesme sıvılarının su ile homojen bir şekilde emülsiyon oluşturulabilmeleri açısından sıvıların yoğunluğunun suyun yoğunluğuna yakın değerlerde olması gerekir. Kesme sıvılarının yoğunluğunun ~1 g/ml yakın olması yağ-su emülsiyonunun stabilitesinde önemlidir [32,34].

2.2.4. Isıl İletkenlik Katsayısı

Isıl iletkenlik parametresi, kesme sıvılarının ısı taşıma karakteristiklerini, dolayısıyla soğutma performansını doğrudan etkiler. Düşük ısı taşınım katsayısına sahip olan kesme sıvılarının kullanılması, kesme bölgesinde ısı birikmesine sebep olarak ısı kontrolünü zorlaştırır. Son yıllarda kesme sıvılarının ısıl iletkenlik katsayılarının artırılması amacıyla sıvılara nano partikül katkısı yapılmaktadır [35,36].

2.2.5. Buharlaşma Isısı, Parlama ve Yanma Noktaları

Buharlaşma ısısı kesme sıvılarının sıvı halden gaz haline geçmesi için gereken ısı miktarıdır. Parlama noktası ise uçucu olan yağlayıcıların yanmaya başlamadan önce alev alması gereken minimum sıcaklık derecesidir. Yanma sıcaklığı ise sıvının alev aldıktan sonra devamlı bir şekilde yanmasını sağlayacak minimum sıcaklık değerini ifade eder. Yüksek sıcaklıkların söz konusu olduğu talaşlı imalatta, kesme sıvılarının

buharlaşma, parlama ve yanma parametreleri iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından oldukça önemlidir [32].

2.3. KESME SIVILARININ BİLEŞENLERİ

Kimyasal bileşenlerine göre kesme sıvıları mineral, sentetik, yarı sentetik ve bitkisel esaslı olmak üzere sınıflandırılabilir. Mineral yağlayıcılar petrolün rafine edilmesi ile, sentetik ve yarı sentetik yağlayıcılar laboratuvar ortamında, bitkisel esaslı yağlayıcılar ise doğal kaynaklardan elde edilirler [2].

2.3.1. Mineral Esaslı Yağlar

Kullanımı oldukça yaygın olan mineral yağlar, petrol kaynaklı yağların rafine edilmesi ile üretilir. Üretim aşamasında ham yağlar, vakum destilasyonu, propan ile asfalttan arındırma, solvent rafinasyonu, waxtan arıtma ve hidrojenerasyon gibi aşamalardan oluşur. Bu işlemler sonucunda yağlara renk, koku, viskozite, doğunluk derecesi gibi özellikler eklenir [27]. Mineral yağlar, saf ve karışım halinde kullanılabilir. Soğutma kabiliyetleri iyi olmamakla beraber yağlama ve korozyona karşı koruma kabiliyetleri oldukça iyidir [30]. Mineral esaslı yağların yanma ve duman oluşurma eğilimler yüksektir. Doğada çözünemeyen ve imalat sırasında yüksek ısı ile buharlaşabilen bu yağlar uygulama esnasında operatör sağlığı açısından, uygulama sonrasında ise yer altı ve yer üstü kaynakların kirlenmesi açısından olumsuz etki oluşurmaktadır.

2.3.2. Bitkisel Esaslı Yağlar

Mineral esaslı yağların evre ve insan sağlığına olumsuz etkileri sebebiyle, bitkisel esaslı yağların kullanımına eğilim artmaktadır. Bitkisel esaslı yağlar bitki tohumlarından üretilen ve içeriğinde yağ asitleri ve bileşikler içeren yağlardır. Kolza yağı, hindistan cevizi yağı, hurma yağı, ayçiçek yağı ve kanola yağı gibi bitkisel yağlar yaygın olarak kullanılır. Bitkisel esaslı yağların mineral esaslı yağlayıcılara oranla daha pahalı olmalarına karşın doğada yok edilebilir, geri dönüşebilir ve yenilenebilir olmaları açısından önem taşımaktadırlar. Yanma ve duman oluşurma

eğilimleri düşüktür. Polar özelliklerinden dolayı yüzeye yapışma ve yağlama kabiliyetleri oldukça yüksektir ancak oksidatif kararlılığı düşüktür [30,33].

2.3.3. Sentetik Kesme Sıvıları

Sentetik kesme sıvıları laboratuvar ortamında üretilen mineral yağ içermeyen sıvılardır. Bu yağların yağlama, soğutma ve korozyonu önleme kabiliyetleri yüksektir. Yüksek hızlı işlemlerde kullanılabilir. Parlama, alevlenme, duman oluşturma eğilimleri düşüktür. Servis ömrü yüksektir. Mineral ve bitkisel bazlı kesme sıvılarda karşılaşılan sorunlara daha az rastlanır. Sıvıların bazı özelliklerini geliştirmek adına içeriklerine pas önleyiciler, etanolamin, fosfatlar ve boratlar, sabunlar ve ıslatma ajanları, fosforlu, klorlu ve kükürtlü katkı maddeleri ilave edilebilir [32,37]. Fosfat esterler, polyester ve polibütenler başlıca sentetik kesme sıvılarını oluşturmaktadırlar [31]. Kimyasal katkı içeren bu sıvılar sprey halinde atmosfere karıştığı durumlarda insan sağlığına zarar verebilmektedir.

2.3.4. Yarı Sentetik Kesme Sıvıları

Belirli oranlarda madeni yağ, su ve emülsiyonların oluşturduğu kesme sıvılardır. Kullanım amaçlarına göre bu sıvılara EP, pas, köpük önleyici, bakteri oluşumunu engelleyici katkılar eklenebilir. Bu sıvılar hem suda çözünen hem de sentetik yağların avantajlarını taşıyarak karışımı oluşturan bileşenlerin karakteristik özelliklerini sergilerler. Soğutma ve ıslatma kabiliyetleri yüksektir. Geri dönüşüm maliyetleri yüksektir [28,33].

2.4. KATKI MADDELERİ

Tek başına yetersiz performans sergileyen kesme sıvılarına yeni bir özellik katmak, mevcut bir özelliği geliştirmek, istenmeyen bir özelliği yok etmek veya minimize etmek amacıyla sıvı içerisine katkı maddeleri ilave edilebilmektedir. Kesme sıvılarına eklenen bu katkıların, çözünecekleri sıvının ve diğer katkı maddelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini bozmadan, köpük, pas ve korozyon önleme, donma noktasını düşürme, EP ve antioksidan etki sağlama gibi fonksiyonlarının bir veya

birkaçını gerçekleştirmeleri beklenir [31]. Genel olarak katkı maddeleri fiziksel veya kimyasal yeni bir özellik kazandırma durumuna göre iki grupta toplanabilir. Kimyasal katkı maddeleri korozyon, oksidasyon ve aşınma önleyiciler, EP, deterjan ve dispersanlar katkıları olarak sıralanabilir. Fiziksel katkı maddeleri ise donma noktası düşürücü, köpük önleyici ve viskozite endeksi düzenleyici katkıları şeklinde sıralanabilir. Bunların dışında günümüzde nano-teknolojinin gelişmesi ile kesme sıvılarına nano partiküller katılmaya başlanmıştır. Bu doğrultuda yağ veya su bazlı bir akışkana nano boyutlu seramik veya metal partiküller eklenerek nano partikül takviyeli kesme sıvıları elde edilmektedir. Elde edilen bu nanoakışkanlar, geleneksel kesme sıvılarına kıyasla yüksek termal iletkenliğe, yüksek ısı taşınım katsayısına ve yüksek viskoziteye sahiptir [10,21,35].

2.4.1. EP Katkısı

Metal-metal temasını engellemek amacıyla eklenen bu katkıları iş parçası ve takım ucu ara yüzünde kimyasal reaksiyon oluşturarak yüzeylerin birbirine kaynamasını ve tutunmasını engeller. Sürtünme kuvvetini ve aşınmayı azaltarak yüzeyler üzerindeki yük taşıma kapasitesini azaltırlar. Kükürt, klor, fosfor içerirler [27,33].

2.4.2. Film Katkısı

Metal-metal temasını engellemek amacıyla iş parçası ve takım ucu ara yüzeyinde emilerek sınır yağlayıcı görevini üstlenirler. İçeriklerinde feti asitleri, esterler, alkoller, amidler, aminleri ve alkil asit fosforları bulunabilir [27].

2.4.3. Korozyon Önleyiciler

Bu katkıları metalik yüzeylerde oluşturdukları film ile yüzeyleri asidik artıkları nötralize ederek kimyasal etkilerinden korurlar. Korozyon önleyiciler sülfür, fosfor, organik sülfidler, metal tuzları, fosforik asit, nitrit, heksamin, fenilendiamin, dimetiletanolamin, trietanolanin gibi bileşikler içerirler [37].

2.4.4. Deterjan & Dispersanlar

Deterjan ve Dispersanlar yağların içinde bulunan tortu, çamur, reçine gibi katı parçacıkları dağıtarak temizleme işlevi gören polar maddelerdir. Bu katkılar, kalsiyum tuzları, sentetik sülfonik asitler, baryum, kükürt ve fosfor gibi bileşikler içerirler [33].

2.4.5. Pas Önleyiciler

Pas önleyiciler metalik yüzeylerle kimyasal reaksiyona girmeden film oluşturarak pas oluşumu için gerekli olan su ve oksijenin geçişini engellerler. Bu katkılar, aminler, hayvansal yağlar, yağ asitleri ve sülfonat gibi bileşikler içerirler [37].

2.4.6. Aşınma Önleyiciler

Çinko, sülfür ve fosfor içeren bu katkılar metal yüzeyleri arasında reaksiyona girerek yeni tabaka oluşturur. Bu tabaka sayesinde yüksek termal stabilite ve aynı zamanda yüksek aşınma direnci sağlanmaktadır [33].

2.4.7. Köpüklenme Önleyiciler

İyi dağılıma ve yüzey gerilimine sahip olan köpük önleyiciler kesme sıvısına hava girişiyle meydana gelen köpük yüzeylerinin üzerini kaplar bu sayede kesme sıvısının havadan kolayca ayrılmasını sağlar. Bu katkılar silikon, alkol ve suyla çözülmeyen poliglikoller içermektedir [37].

2.4.8. Donma Noktası Düşürücüler

Bu katkılar, düşük sıcaklarda yağların temel maddesi olan hidrokarbonların oluşturduğu wax kristal yapısının büyümesini engelleyerek yağ akışını sağlar. Donma noktası düşürücüler polimetakrilat esterleri, naftalen gibi bileşikler içerirler [33].

2.4.9. Biositler

Yağların içeriğinde bulunan organik maddeler sebebiyle kesme sıvıları zamanla mikrobiyolojik olarak bozulmaya başlar. Bunun sonucunda da kötü koku oluşumu, pH değerinde düşüş ve korozyon oluşumu gözlenir. Kesme sıvılarına eklenen biositler sayesinde mikro organizmaların üremeleri ve çoğalmaları engellenir [27].

2.4.10. Nanopartikül Katkıları

Son yıllarda kesme sıvılarına nano partikül katkısı yapılarak sıvıların tribolojik performansını arttırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu doğrultuda kesme sıvılarına boyutu ~100 nm'den küçük olan nano ölçekteki metal veya seramik partiküller eklenmekte ve yeni nano akışkanlar geliştirilmektedir. Yaygın olarak Al_2O_3 , MoS_2 , H_3BO_3 , SiO_2 , Ag, Au, CuO ve TiO_2 gibi element ve bileşikler nano boyutlarda kesme sıvılarına eklenmektedir [10,13,20]. Akışkan içerisine süspansiyon edilen nano partikülleri akışkanların yüzey alanını, konsantrasyonunu ve efektif yüzey kapasitesini artırır [38]. Bu şekilde elde edilen nano akışkanların ısı transfer özellikleri, kesme bölgesine nüfuz etme ve sürtünme katsayısını düşürme kabiliyeti geleneksel sıvılara kıyasla artmaktadır.

2.4.10.1. Nano Gümüş Partikülleri

Nano gümüş partikülleri sağlık, kozmetik, tekstil ve gıda gibi bir çok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır [18,19]. Gümüş 429 W/mK ısı iletkenlik katsayısı ile yüksek ısı taşıma kapasitesine sahip bir elementtir [25]. Bu sayede nano gümüş partiküllerinin sahip olduğu yüksek ısı transfer kabiliyeti sayesinde eklendikleri kesme sıvılarına termal iletkenlik artırıcı bir etki sağlar. Nano gümüş partiküllerinin katkı maddesi olarak kullanımı ile kesme bölgesindeki sıcaklığın, iş parçasında yüzey pürüzlülüğünün ve takım ucunda oluşan aşınmanın azalması mümkün olmaktadır [31,39,40].

2.5. KESME SIVILARININ UYGULANMA METOTLARI

Talaş kaldırma işlemlerinde kesme bölgesinin etkin bir şekilde yağlanması, soğutulması ve talaşların kesme bölgesinden uzaklaştırılması açısından kesme sıvısının doğru uygulanması oldukça önemlidir. Günümüzde geleneksel olarak kullanılan sürekli akış ve manuel metotların yanısıra yalnızca kesme bölgesine yeterli miktarda sıvı akışını gerçekleştiren metotlar kullanılmaktadır. Kullanılan metotlar takım içinden veya takım dışından uygulanabilmektedir.

2.5.1. Sürekli Akış Tekniği

Frezeleme, tornalama ve delik delme gibi talaş kaldırma işlemlerinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntem ile kesme sıvısı kesme bölgesine hortum, boru veya nozul sistemi ile uygulanır. Kesme sıvısı kesme bölgesine rahatlıkla erişmektedir ancak bu yöntemde yüksek miktarda kesme sıvısı kullanımı söz konusudur [30].

2.5.2. Sis Püskürtme Tekniği

Sis püskürtme yöntemi yağ damlacıklarının basınçlı hava akımına karışması sağlanarak sis oluşturulduğu bir kesme sıvısı uygulama yöntemidir. Oluşturulan bu sis sayesinde kesme sıvısı yalnızca kesme bölgesine nüfuz eder böylece yüksek miktarda kesme sıvısının kullanımı söz konusu olmaz. Kesme bölgesindeki yağlama ve soğutma işlevlerinin sağlanmasının yanısıra talaşların kuru kalması da bu yöntemin bir avantajıdır. Ancak bu yöntemde püskürtülen kesme sıvısının operatör tarafından solunmaması için ortamın iyi bir şekilde havalandırılması gerekmektedir.

Son yıllarda kullanım alanı oldukça genişleyen, yalnızca kesme bölgesine gerekli miktarda kesme sıvısını pülverize ederek yağ filmi oluşturan Minimum Miktarda Yağlama (MMY) metodu bir sis püskürtme uygulamasıdır.

2.5.2.1. Minimum Miktarda Yağlama Metodu

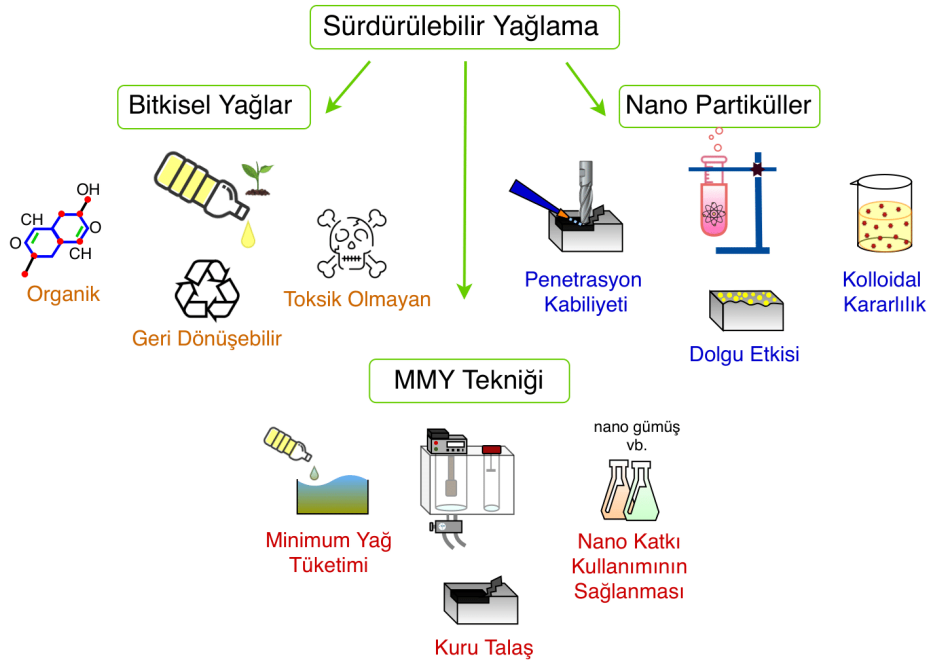
MQL tekniği, basınçlı nozul sayesinde pülverize ettiği kesme sıvısının doğrudan takım talaş ara yüzeyine nüfuz edebilmesini sağlar. Yüksek basınç ile çalışan MQL yöntemi, soğutma, yağlama ve talaş uzaklaştırma olmak üzere üç temel görevi yerine getirir [41]. Bu yöntem ile kullanılan kesme sıvısı miktarının çok düşük olması ve bunun büyük çoğunluğunun sıcak temas yüzeyi sebebi ile buhar olarak uzaklaşması sonucunda ortaya ıslak talaş çıkmaz, kesme sıvısı etrafa yayılmaz ve operatöre temas etmez. Bu yöntem sayesinde yüksek konsantrasyonda performans ajanı (katışkı) kesme bölgesine penetre edilebilir. Geleneksel yağlama yöntemlerinde yağ akış parametresi l/dk cinsinden ölçülmekte iken MMY tekniğinde ml/sa cinsinden ölçülmektedir [38]. Bu teknik kullanım alanlarına göre harici ve dahili olarak uygulanabilmektedir.

2.6. KESME SIVILARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ

Talaşlı imalat işlemlerinde kesme sıvılarının kullanımı ile kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme bölgesi sıcaklığı azalmakta dolayısıyla işleme verimi oldukça artmaktadır. Ancak kesme sıvılarının sağladığı avantajların yanında dezavantajlar da bulunmaktadır. Kesme sıvılarının temini, kullanımı ve kullanım sonrası imha edilmesi aşamasında süreç kontrolü düzgün yapılmadığında çevre kirliliği, insan ve diğer canlılarda çeşitli hastalıklar söz konusu olmaktadır. Kesme sıvılarının sebep olduğu hastalıklar dermatit, folliculitis, cilt kanseri ve solunum rahatsızlıkları şeklinde sıralanabilir [42]. Bu durumda kesme sıvılarının sürdürülebilir üretim anlayışına uygun bir şekilde kullanımı gereklidir. Kesme sıvılarının sürdürülebilir üretim anlayışına uygun nitelikte olması için üstün tribolojik performans sağlayabilmelerinin yanında toksik madde içermemeleri, geri dönüşebilir ve organik yapıda olmaları gerekmektedir. Ayrıca kesme sıvılarının yalnızca içeriğinin değil aynı zamanda kullanım miktarının da minimizasyonu gerekmektedir. Metal kesme uygulamalarında bitkisel esaslı yağlayıcıların ve MQL yönteminin kullanımının hem sürdürülebilirliği sağlamak hem de iş parçası ve takım ucunda meydana gelen deformasyonları minimize etmek açısından olumlu etkileri vardır. Ancak kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklığın minimizasyonu yeterli seviyede

olmamakta, ilave katkılara ihtiyaç duyulmaktadır [10–15]. Bu doğrultuda kesme sıvılarının ısı iletkenlik performansını arttırmak amacıyla nano partikül katkıları kullanılmaktadır. Nano partikül katkıları ile ısı iletkenlik ve penetrasyon kabiliyetleri yüksek kesme sıvıları geliştirilmektedir. MQL yöntemi, bitkisel esaslı yağlayıcı ve asgari seviyedeki nano partikül katkılarının eş zamanlı kullanımı ile, sürdürülebilir üretim anlayışından sapmadan termal ve mekanik problemleri minimize etmek mümkün olabilmektedir.

Kullanım aşamasından sonra kesme sıvıları konsantrasyon, nötralizasyon, bakteri ve iletkenlik gibi parametrelerin kontrolü sonucunda tekrar kullanılabilirliği incelenir. Tekrar kullanımı mümkün olan kesme sıvıları dinlendirme ve çeşitli süzdürme işlemlerine tabi tutularak geri dönüşümü sağlanır [43]. Geri dönüşümü mümkün olmayan, kullanım ömrünü tamamlamış sıvılar ise çeşitli ayrıştırma sonucu imha edilmelidir.



Şekil 2.1. Sürdürülebilir yağlama.

BÖLÜM 3

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ FREZELENMESİ

3.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

Alüminyum elementi doğada beyaz renkte bulunan oldukça hafif bir elementtir. Alüminyumun sahip olduğu yüksek elektrik ve ısı iletkenlik, yüksek korozyon dayanımı, sıcak ve soğuk şekillendirilebilme kabiliyeti ve geri dönüşebilirliği sayesinde demir esaslı malzemeler dışında yaygın olarak kullanılan mühendislik malzemesidir [44]. Günümüzde elektrik, inşaat, kimya, gıda, makine parçaları, uçak ve taşıt sanayisi gibi birçok sektörde kullanılan alüminyum sıcak ve soğuk şekillendirilebilir malzemelerdir. Alüminyum elementinin sahip olduğu kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir [45,46].

- Özgül Ağırlık: 2,78 gr/cm³
- Erime Sıcaklığı: 660 °C
- Erime Isısı: -390 KJ/kg
- Elastisite Modülü: 66 GPa
- Isıl Genleşme Katsayısı: 24x10⁻⁶ 1/K
- Isı İletim Katsayısı: 230 W/mK
- Elektrik İletim Katsayısı: 40m/Ωmm²

Alüminyum doğada genellikle boksit cevheri halinde bulunur. Saf alüminyum boksit cevherinden elde edilir. Boksit cevherinden alümina, alüminadan elektroliz yöntemi ile alüminyum üretimi birincil üretim yöntemi olarak adlandırılır. Hurdadan alüminyum üretimi ise ikincil üretim olarak adlandırılır [44,45].

3.1.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum elementinin sahip olduğu üstün özelliklerin yanısıra mukavemet, sertlik özellikleri, döküm ve kaynak kabiliyetleri düşüktür. Bu özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla alüminyum elementine çeşitli elementler katılarak alaşımlar oluşturulmakta ve ısıl işlemler uygulanmaktadır. Bu alaşım elementleri bakır, çinko, silisyum, demir, mangan, magnezyum, titanyum ve nikel şeklinde sıralanabilir. Bu alaşımların mekanik ve kimyasal özellikleri içeriğindeki saf alüminyum ve diğer elementlerin oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir [47,48]. Alüminyum alaşımları kendi içlerinde dövme ve döküm alaşımları olmak üzere ikiye ayrılır. Her iki grup da ısıl işlem uygulanabilir ve uygulanamaz olarak iki şekilde incelenir [47]. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılmasında 4 haneli sayı sistemi kullanılır. Bu sayılardan ilk ikisi temel alaşım elementlerini belirtirken diğer sayılar ise alaşımın bileşimini ifade eder [46]. Alüminyum alaşımları 1XXX,2XXX,3XXX,4XXX,5XXX,6XXX,7XXX ve 8XXX şeklinde serilerle gruplandırılır. Bu serilerin temel alaşım elementleri, özellikleri ve kullanım alanları Çizelge 3.1’de verilmiştir [46,49,50].

Çizelge 3.1. Alüminyum alaşımları, özellikleri ve kullanım alanları [46,49,50].

| Alaşım Serisi | Alaşım Elementi | | Özellikleri | Kullanım Alanı |
|---------------|-----------------|----------|---|--|
| | Dövme | Döküm | | |
| 1XXX | Saf | Saf | Yüksek elektrik ve ısıl iletkenlik. | Ambalaj, folyo, depolama tankları ve zırhlama. |
| 2XXX | Cu | Cu | Yüksek dayanım, düşük korozyon direnci. | Havacılık, uzay, yapı elemanları, taşıt tekerlek jantları, pistonlar ve silindir kafaları. |
| 3XXX | Mn | Si-Cu-Mg | Yüksek korozyon direnci, kaynak kabiliyeti ve işlenebilirlik. | Ambalaj, çatı kaplama, kimyasal madde ve gıda taşıma ekipmanları. |

Çizelge 3.1. (devam ediyor).

| | | | | |
|-------------|-------|----|---|---|
| 4XXX | Si | Si | Yüksek kaynak ve lehimleme kabiliyeti. | Kaynak telleri, motor blokları ve supap gövdeleri. |
| 5XXX | Mg | Mg | Yüksek dayanım ve korozyon direnci. | Kazan ana yapı elemanları, kazanlar, depolama tankları ve tren vagonları. |
| 6XXX | Mg-Si | - | Yüksek dayanım ve korozyon direnci. | Yapı elemanları, tren vagonları, deniz taşıtları. |
| 7XXX | Zn | Zn | Yüksek mukavemet, korozyon direnci ve kopma dayanımı. | Yapı elemanları, askeri taşıt ve köprüler, vagonlar, zırh levhaları. |
| 8XXX | Li | Sn | Yüksek yorulma direnci ve tokluk. | Havacılık uygulamaları. |

3.1.2. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler

Alüminyum alaşımlarının dayanımları ısıtma, bekletme ve soğutma şeklinde gerçekleşen ısıl işlemler yoluyla arttırılmaktadır. Uygulanan ısıl işlem türleri belirli sembollerle ifade edilerek alaşım numaralarının yanına eklenir. Isıl işlem türleri ve sembolleri Çizelge 3.2’de verilmiştir [45,47,51].

Çizelge 3.2. Isıl işlem türleri ve sembolleri [45,47,51].

| Sembol | Isıl İşlem Türü | |
|---------------|------------------------|--|
| F | Üretildiği şekilde | |
| O | Tavlama | |
| H | H | Soğuk şekillendirme |
| | H1 | Yalnızca soğuk şekillendirme |
| | H2 | Soğuk şekillendirme ve kısmi tavlama |
| | H3 | Soğuk şekillendirme ile kararlı hale getirilme |

Çizelge 3.2. (devam ediyor).

| | | |
|---|----------------|--|
| W | Solüsyona alma | |
| T | T | Yaşlandırma |
| | T1 | Doğal yaşlandırma |
| | T2 | Soğuk şekillendirme ve doğal yaşlandırma |
| | T3 | Çözeltiye alma, soğuk şekillendirme ve doğal yaşlandırma |
| | T4 | Çözeltiye alma ve doğal yaşlandırma |
| | T5 | Yapay yaşlandırma |
| | T6 | Çözeltiye alma ve yapay yaşlandırma |
| | T7 | Çözeltiye alma ve aşırı yaşlandırma ile kararlı hale getirme |
| | T8 | Çözeltiye alma, soğuk şekillendirme ve yapay yaşlandırma |
| | T9 | Çözeltiye alma, yapay yaşlandırma ve soğuk şekillendirme |
| | T10 | Soğuk şekillendirme ve yapay yaşlandırma |
| | T351 | Hadde ürünleri için çözeltiye alma, gerilim giderme ve doğal yaşlandırma |
| | T651 | Levhalar için gerilim giderme yapay yaşlandırma |

3.2. FREZELEME İŞLEMİ

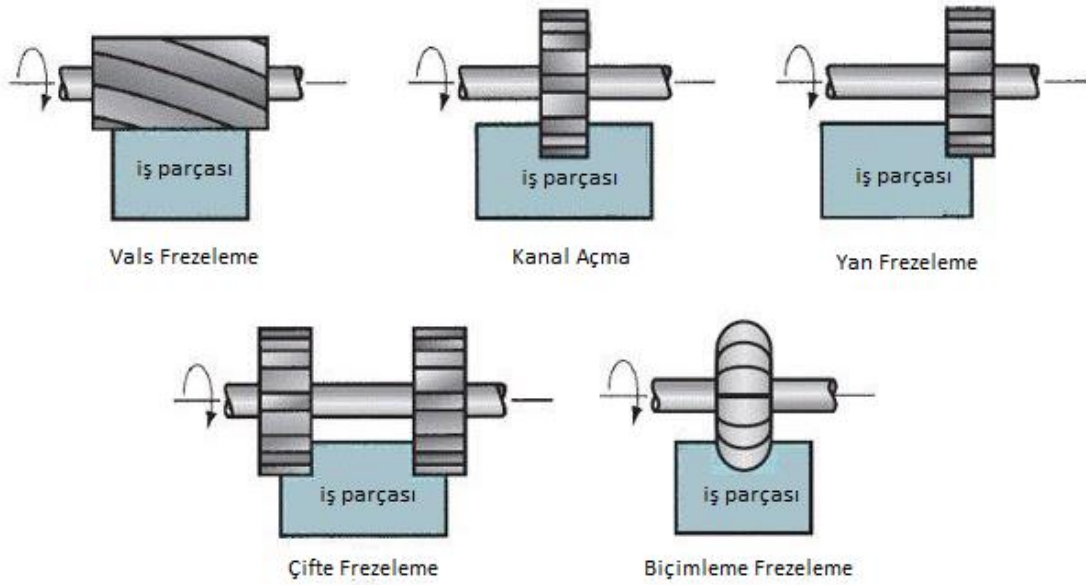
Frezeleme işlemi kendi ekseninde dönen bir kesici takımın iş parçasından talaş kaldırma suretiyle belirli bir şekil, boyut ve yüzey kalitesine sahip bir parçayı üretmek üzere kullanılan işlemlerdir [42,52]. Frezeleme işleminde kesici takımın dönme eksenini ilerleme doğrultusuna dikler. Bu işlemde kesici takım freze çakısı, kesme kenarları ağız ve diş, kesme tezgâhı ise freze tezgâhı olarak adlandırılır. Freze çakısının geometrisi ve izlediği yola bağlı olarak düzlem, eğik veya dairesel formda çeşitli yüzeyler, vidalar ve kanallar elde edilebilmektedir [52,53].

Freze tezgahını oluşturan bileşenler iş mili, tabla, araba, konsol ve malafa şeklinde sıralanabilir. Freze tezgahında iş milinin yatay veya düşey konumda olması frezeleme işleminin yatay veya düşey konumda kullanılabilirliğini belirler. Freze tezgahında z eksenini boyunca kesme derinliği ayarlanırken, y eksenini boyunca ilerleme

hareketi gerçekleştirilir. X eksenini boyunca ise kesme hareketi gerçekleşir [31]. Bu sebeple frezeleme işlemlerinde x ve y eksenlerinde meydana gelen kesme kuvvetleri dikkate alınır.

3.2.1. Çevresel Frezeleme

Frezeleme işlemleri en genel haliyle çevresel frezeleme ve alın frezeleme olarak iki gruba ayrılır. Çevresel frezeleme yöntemlerinde kesici takımın dönme yönü iş parçasının yüzeyine paraleldir. Kesme işlemi freze çakısının dış kenarları ile gerçekleştirilir. Çevresel frezeleme işlemi kendi içinde vals frezeleme, kanal açma, yan frezeleme, çift frezeleme ve biçimleme frezeleme işlemlerine ayrılır (Şekil 3.1) [53].

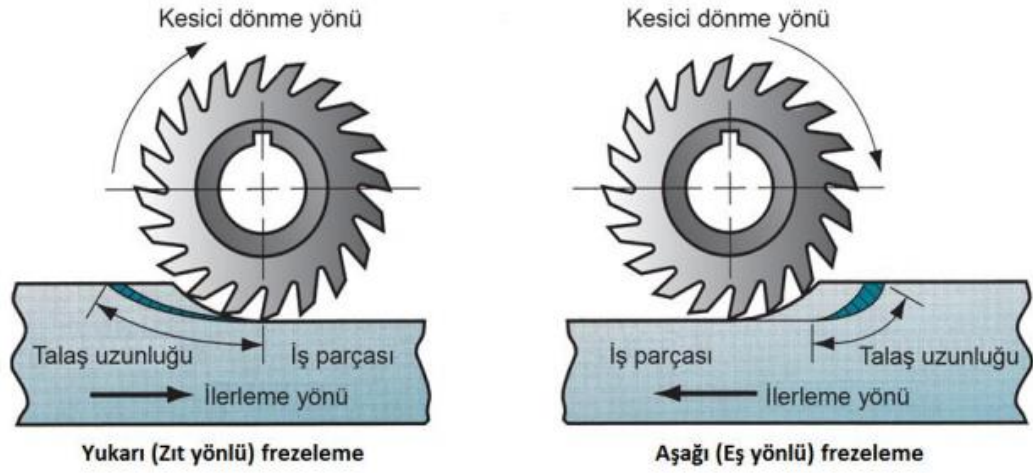


Şekil 3.1. Çevresel frezeleme çeşitleri [53].

3.2.1.1. Aynı ve Zıt Yönlü Frezeleme

Frezeleme işlemleri talaş kaldırma yönüne bağlı olarak aynı yönde ve zıt yönde frezeleme olarak ikiye ayrılır (Şekil 3.2) [54]. Zıt yönlü frezelemede kesici takımın dönüş yönü iş parçasının ilerleme yönüne zıttır. Bu yöntemde talaş aşağıdan yukarı kaldırılırken talaş kalınlığı minimumdan maksimuma doğru ilerler. Dolayısıyla talaş

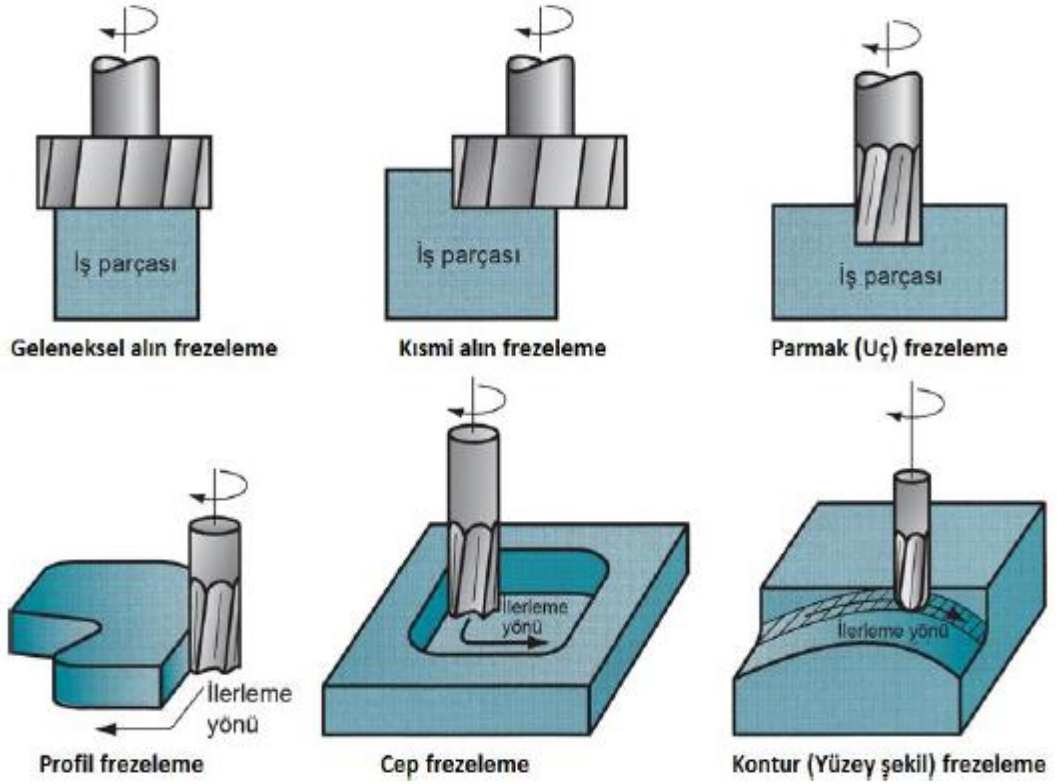
kalınlığının artmasıyla kesme kuvvetleri de artar. Aynı yönde frezelemede ise kesici takımın dönüş yönü ile iş parçasının ilerleme yönü aynıdır. Bu yöntemde talaş kalınlığı giderek azalır. Talaş yukarıdan aşağı kaldırılır. Talaş kalınlığının azalması ile kesme kuvvetleri de azalır [31]. Günümüzde kullanılan frezeleme işlemleri genellikle aynı yönlüdür. Zıt yönlü frezelemede kesici takım iş parçasını tabladan ayırmaya zorlar. Bu sebeple yüksek kesme kuvvetleri meydana gelir. Ayrıca kesicisi takımın iş parçasına ilk girişinde talaş kaldıramaması nedeniyle parçayı ezer [55]. Günümüzde zıt yönlü frezeleme işlemi döküm yoluyla üretilen parçaların işlenmesinde kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 3.2. Aynı ve zıt yönlü frezeleme [54].

3.2.2. Alın Frezeleme

Alın frezeleme işlemlerinde kesici takımın dönme eksenini iş parçasının yüzeyine diktir. Talaş kaldırma işlemi kesici takımın dış ve uç kesici kenarları vasıtasıyla gerçekleşir. Alın frezeleme işlemleri geleneksel alın frezeleme, kısmi alın frezeleme, parmak frezeleme, profil, cep ve yüzey frezeleme şeklinde sıralanabilir (Şekil 3.3) [53].



Şekil 3.3. Alın frezeleme çeşitleri [53].

3.3. FREZELEMEDE TALAŞ KALDIRMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

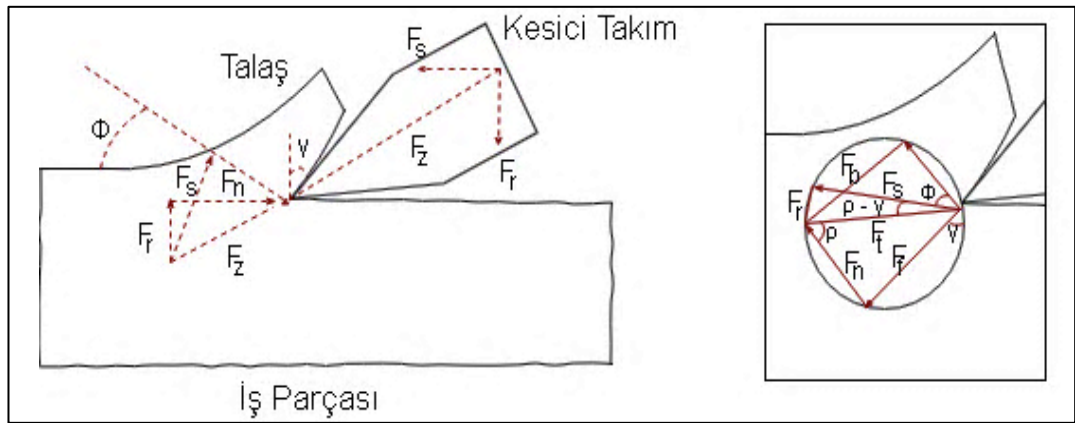
Talaş kaldırma işlemi kesici takım ile iş parçasının belirli bir miktarda kuvvetle birbirine temas etmesi sonucu meydana gelen elastik ve plastik şekil değişimini, sürtünmeyi, aşınmayı, sıcaklığı ve titreşimi barındıran karmaşık fiziksel bir olaydır [42]. Talaş kaldırma işlemine etki eden parametrelerin etkilerinin bilinmesi ve bu parametrelerin optimizasyonu işlem verimi elde etmek açısından oldukça önemlidir. Frezeleme ve diğer talaş kaldırma işlemlerinde talaş kaldırmayı etkileyen başlıca faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Kesme hızı, V_c (m/dak)
- İlerleme hızı, F (mm/dak)
- Talaş derinliği a_p , (mm)
- Kesme açısı
- Soğutma sıvısı

- Takım geometrisi
- Kesici takım ömrü, T_c (s)
- Titreşim, V_i

3.3.1. Frezeleme İşleminde Oluşan Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işleminin gerçekleşmesi için kesici takım üzerine kesme düzleminde meydana gelen dirençlere karşı bir kesme kuvveti (F_z) uygulanır. Kesme düzleminde meydana gelen bu kuvvetler takım-talaş ve takım-iş parçasında oluşan sürtünme kuvvetinden oluşur. F_z kuvvetinin takım-talaş ara yüzünde meydana getirdiği bileşen kuvvetler, kesme kuvveti (F_c), radyal kuvvet (F_r), makaslama kuvveti (F_a), basma kuvveti (F_b), sürtünme kuvveti (F_f) ve normal kuvvet (F_n) şeklinde sıralanabilir (Şekil 3.4) [31].



Şekil 3.4. Talaş kaldırma kuvveti ve bileşenleri [31].

Frezeleme işleminde meydana gelen kesme kuvvetleri, kullanılan yöntem, kesici takım ve iş parçası malzemesine, kesici takım ve iş parçası geometrisine, kesme açısına, ilerleme miktarına, kesme derinliğine, aşınma ve sürtünme miktarına bağlı olarak değişmektedir [55].

3.3.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Kesici takımın iş parçasından talaş kaldırması esnasında meydana getirdiği titreşim sebebiyle iş parçası yüzeyinde çeşitli düzensizlikler meydana gelir. Bu düzensizlikler nominal yüzey çizgisinin altında veya üstünde sapmalara sebep olur. Bu sapmalara yüzey pürüzlülüğü adı verilir [53]. Yüzey pürüzlülüğü talaşlı imalatta oldukça önemli bir kalite karakteristiğidir. İşlenecek parçaların pürüzlülüğünün minimize edilmesi ve uygun toleranslarda üretilmesi, ürün kalitesi ve çalışma ömrü koşulları açısından oldukça önemlidir.

Yüzey pürüzlülüğün karakterize edilmesinde kullanılan birçok parametre bulunmaktadır. ISO standartlarına göre işlenen yüzeylerin kontrol ve toleransı için kullanılan parametreler şu şekilde sıralanabilir [56]:

- R_a : Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (μm)
- R_q : Geometrik ortalama değeri (μm)
- R_y : En büyük yüzey pürüzlülük değeri (μm)
- R_t : Pürüzlülük yüksekliği (μm)
- R_z : 5 en yüksek 5 en alçak tepe noktasının ortalaması (μm)
- R_{max} : En büyük pürüzlülük derinliği (μm)
- R_p : Maksimum tepe yüksekliği (μm)
- R_v : Maksimum çukur derinliği (μm)

3.3.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler

Yüzey pürüzlülüğünün minimize edilmesi takım tezgahının rijitliğinin sağlanması ve işleme parametrelerinin optimizasyonu sayesinde gerçekleştirilir. Yüzey pürüzlülüğünün oluşumunda etkili olan parametreler şu şekildedir:

- Kesme hızı,
- İlerleme oranı,
- Talaş derinliği,

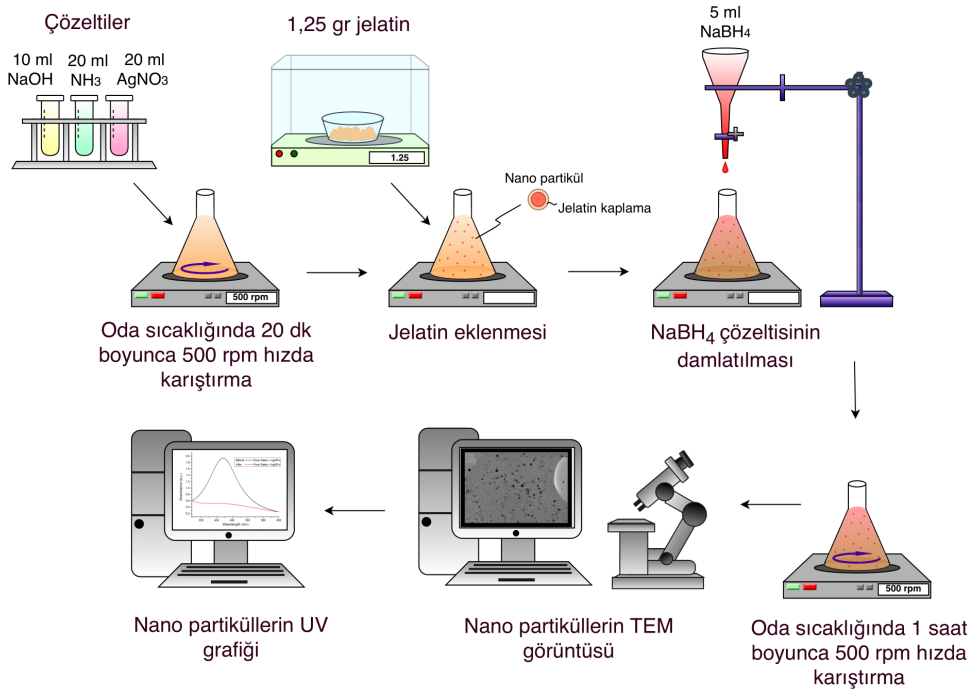
- Kullanılan kesme sıvısının yağlama ve soğutma kabiliyeti,
- Takım geometrisi,
- Takım ve tezgâhın rijitliği,
- Kullanılan iş parçasının mekanik özellikleri,
- Kullanılan takım ucunun mekanik özellikleri [31].

BÖLÜM 4

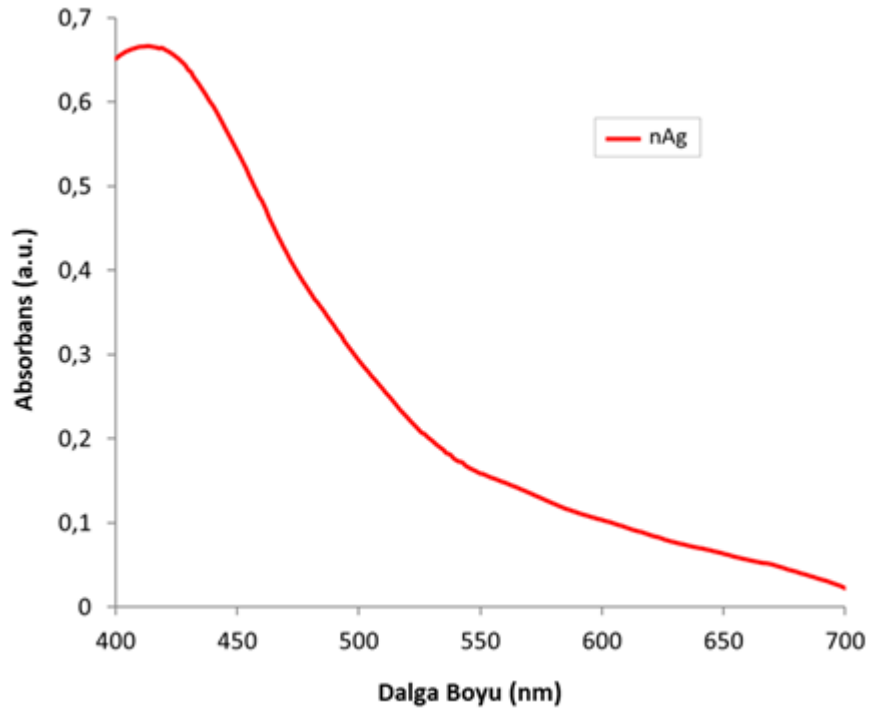
MATERYAL VE METOT

4.1. KESME SIVILARININ HAZIRLANMASI

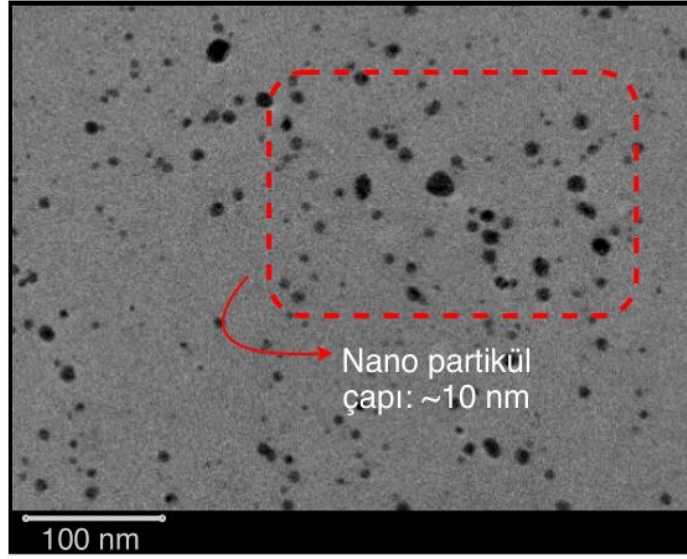
Çalışma kapsamında bor yağı (BY), bitkisel esaslı yağlayıcı (BEY) ve nano gümüş (nAg) katkılı bitkisel yağlayıcı olmak üzere 3 farklı kesme sıvısı kullanılmıştır. Bor yağı ve bitkisel esaslı yağlayıcı %95 oranında distile su (DS) ile seyreltilmiştir. Nano gümüş katkılı kesme sıvısında hacimce %5 nAg, %5 BEY, %90 oranında DS kullanılmıştır. Nano gümüş partikülleri Tollens' yöntemi ile elde edilmiştir (Şekil 4.1). Bu yöntemde 20 ml $2,5 \cdot 10^{-3}$ M gümüş nitrat (AgNO_3), 20 ml $1,25 \cdot 10^{-2}$ M amonyak (NH_3) ve 10 ml $5 \cdot 10^{-2}$ M sodyum hidroksit (NaOH) çözeltileri oda sıcaklığında 500 rpm hızda 20 dakika boyunca karıştırılmıştır. Karıştırma işleminin ardından çözeltiliye 1,25 gram toz jelatin ilave edilmiştir. Daha sonra 5 ml 0,1 M NaBH_4 çözeltisi hazırlanan karışıma damlatılarak eklenmiştir. Damlatma işlemi sonrasında 500 rpm hızda 1 saat karıştırılan çözelti, karanlık ortamda tutularak filtre edilmiştir. Elde edilen nano partiküllerin optik özellikleri UV-vis (Ultraviolet-visible Spectrophotometry) ile ölçülerek absorbans değeri ~ 420 nm olarak elde edilmiştir. Partikül boyutu ise transmisyon elektron mikroskobu (TEM-Jeol 2100F RTEM 200 kV) ile analiz edilerek partikül çapı ~ 10 nm olarak belirlenmiştir. Nano partikül üretim aşamalarını Eltuğral vd. yaptıkları çalışmada ayrıntılı şekilde belirtmiştir [57].



Şekil 4.1. Nano-gümüş partiküllerinin Tollens' yöntemi ile üretilmesi.

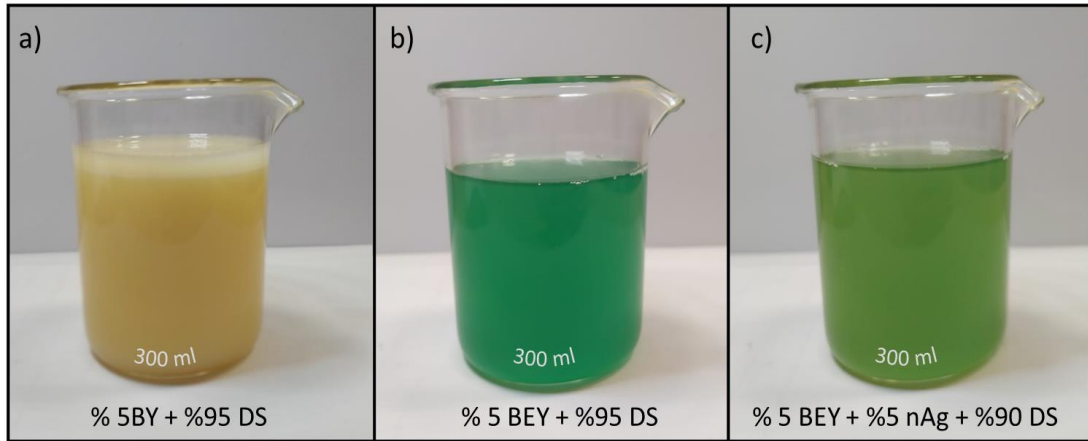


Şekil 4.2. nAg partiküllerinin UV grafiği.



Şekil 4.3. nAg partiküllerinin TEM görüntüsü.

300 ml'lik numunelerde hazırlanan kesme sıvıları homojen bir şekilde manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Hazırlanan kesme sıvılarının pH, viskozite, sürtünme katsayısı ve ısı transfer katsayısı ölçülerek deneysel çalışmaya uygunluğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.1). Kesme sıvıları kesme işlemi esnasında MQL sistemi ile 50 ml/h debi ve 5 bar basınç ile kesme bölgesine püskürtülmüştür.



Şekil 4.4. Deneylerde kullanılan kesme sıvıları.

Çizelge 4.1. Kesme sıvılarının özellikleri.

| Kesme Sıvıları | pH (±0,05) | Viskozite(mm ² /s) (40 °C 'de) | Isı Transfer Katsayısı (W/mK) (±0,01) |
|------------------------|---------------|--|--|
| %5 BY+ %95 DS | 9,46 | 7,50 | 0,5861 |
| %5 BEY+ %95 DS | 10,05 | 9,98 | 0,5879 |
| %5 BEY+ %5 nAg+ %90 DS | 10,18 | 9,67 | 0,5998 |

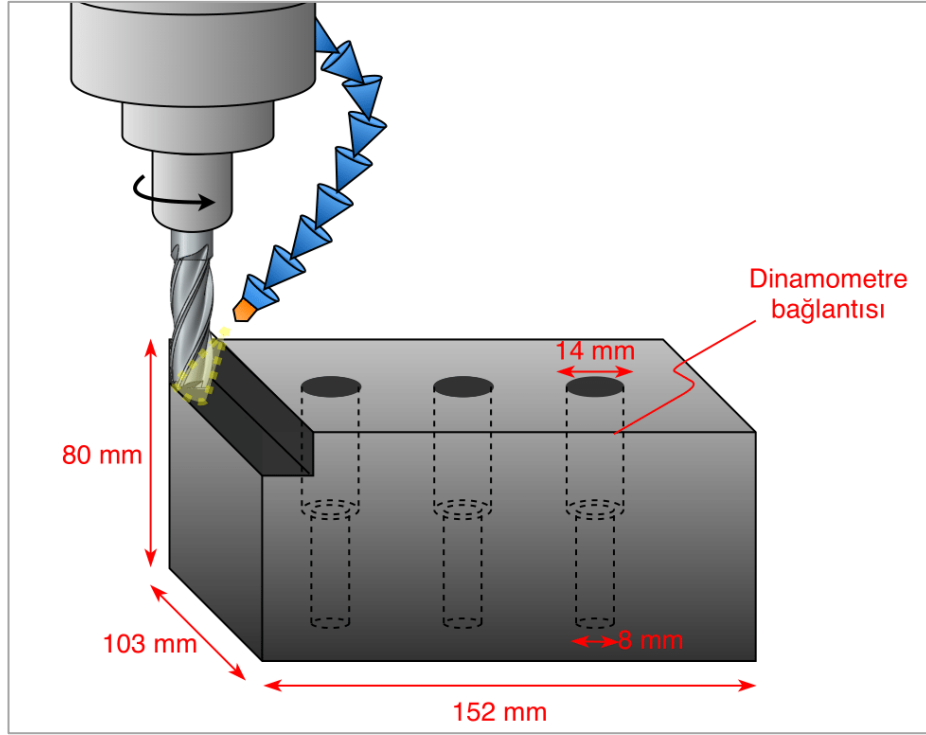
4.2. İŞ PARÇASI MALZEMESİ VE ÖZELLİKLERİ

Deneyleerde iş parçası olarak 7XXX serisi AA7075-T6 alaşımı kullanılmıştır. AA7075-T6 alaşımı bakır (Cu), magnezyum (Mg), manganez (Mn), demir (Fe), silisyum (Si), krom (Cr) ve çinko (Zn) elementleri ile alaşımlandırılmış ve yapay yaşlandırılmıştır. Alaşım elementlerinin ağırlıkça % bileşimi Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çekme dayanımı ~570 MPa, akma dayanımı ~400 MPa, mikro sertliği ~168 Hv değerindedir [58]. Bu alaşım sahip olduğu yüksek korozyon dayanımı, işleme kabiliyeti, yorulma dayanımı, mukavemet ve sertlik değeri sebebiyle kritik mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Levha, çubuk, boru, profil, levha ve sac ürünler elde edilebilmektedir.

Çizelge 4.2. 7075 malzemesinin alaşım elementleri.

| Cu | Mg | Mn | Fe | Si | Cr | Zn |
|------|----------|------|------|------|-------|----------|
| ~1,6 | 2,1- 2,9 | ~0,3 | ~0,5 | ~0,4 | ~0,23 | 5,1- 6,1 |

Deneyleerde 152x103x80 mm boyutlarında blok kullanılmış ve dinamometre bağlantısı için 14 mm çapında 3 adet kademeli delik delinmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Deneysel çalışmada kullanılan iş parçasının perspektif görünümü.

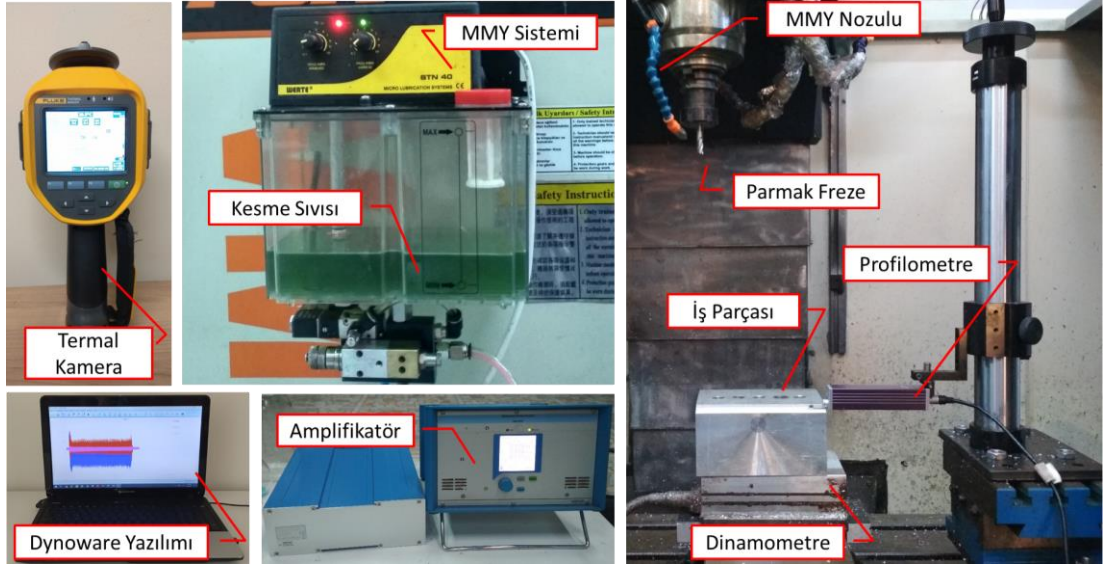
4.3. DENEYSEL KURULUM VE İŞLEME PARAMETRELERİ

Deneysel çalışmalarda yüzey frezeleme işlemi yapılmıştır. Frezeleme işlemi maksimum güç kapasitesi 7,5 kW ve maksimum hızı 10000 rpm olan bilgisayar kontrollü (CNC) Falco MC855 TL-1 freze tezgâhı ile gerçekleştirilmiştir. Kesici takım olarak yüksek hız çeliğinden imal edilmiş 4 ağızlı 10 mm çapında DIN 844 standardına sahip HSS-E (%8 Co) parmak freze tercih edilmiştir. Frezeleme deneylerinde giriş parametreleri olarak sabit kesme hızı (90 m/dk), üç seviyeli ilerleme oranı (0,050, 0,100, 0,150 mm/diş), üç seviyeli talaş derinliği (0,50, 0,1, 0,15 mm) ve dört farklı yağlama koşulu (kuru, BY+DS, BEY+DS, BEY+ nAg+ DS) seçilmiştir (Çizelge 4.3). Çıkış parametreleri olarak kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, talaş morfolojisi, kesme sıcaklığı ve takım aşınması incelenmiştir. Giriş parametrelerinin çıkış parametrelerine etkisi ve deneysel parametrelerin istatistiksel anlamlılık değeri varyans analizi (ANOVA) metodu ile incelenmiştir. Deneysel parametrelerin optimum seviyelerini belirlemek amacıyla S/N ve Yanıt Yüzey analizine göre optimizasyon gerçekleştirilmiştir.

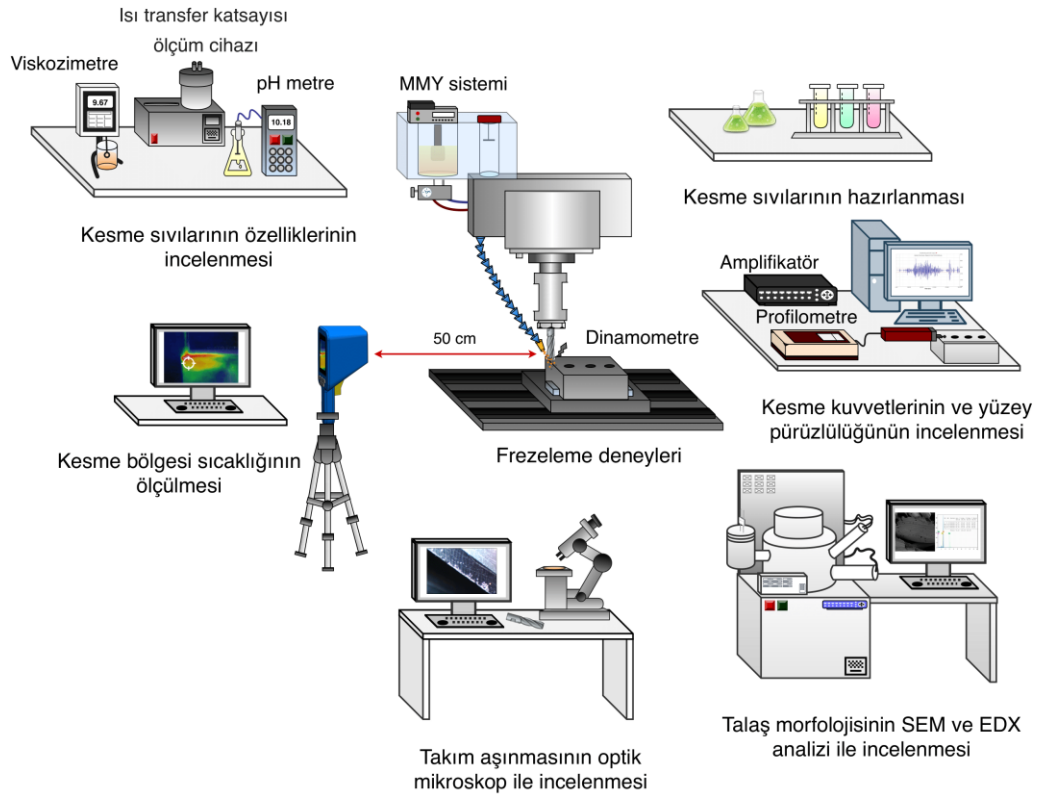
Kesme kuvvetlerinin ölçümü için tabla üzerine Kistler Multi-Component Dynamometer kuvvet ölçüm cihazı bağlanmıştır. İş parçası üç adet kademeli delik ile dinamometreye rijit bir şekilde sabitlenmiştir. Dinamometreden alınan kuvvet sinyalleri amplifikatör ile F_x , F_y , F_z bileşenleri cinsinden bilgisayar ortamına aktarılmış, Kistler DynoWare yazılımı ile sayısal değerlere ve grafik haline getirilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri Mitutoyo SurfTest SJ-310 Stylus tipi ölçüm cihazı ile 3 tekrarlı olarak R_a cinsinden ölçülmüştür. Talaş morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (Carl Zeiss Gemini FESEM) ile, talaş üzerindeki kalıntıların kimyasal bileşimi ise enerji dağıtıcı spektroskopi (EDAX) ile görüntülenmiştir. Kesici takım aşınması optik mikroskop (Nikon Smz800) ile 40x büyütme oranlarında görüntülenerek belirlenmiştir. Kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklık değerleri Fluke termal kamera ile ölçülmüştür. Termal kamera kesme bölgesine 50 cm uzaklıkta sabitlenerek kesme işlemi esnasında meydana gelen sıcaklık değerleri ölçülmüş, ortalama değerler baz alınmıştır. Deneyleerin gerçekleştirilmesinde kullanılan takım tezgâhı ve ekipmanlar Şekil 4.6’da deneysel kurulum aşamaları ise Şekil 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Deneysel parametreler.

| Yağlama Koşulu | İlerleme Oranı (f_z) (mm/diş) | Talaş Derinliği (a_p) (mm) |
|-----------------------|---|--|
| Kuru | 0,050 | 0,50 |
| BY+ DS | 0,100 | 1,00 |
| BEY+ DS | 0,150 | 1,50 |
| BEY+ nAg+ DS | | |



Şekil 4.6. Deneylerde kullanılan takım tezgahı ve ekipmanlar.



Şekil 4.7. Deneysel kurulum aşamaları.

BÖLÜM 5

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. KESME KUVVETLERİ SONUÇLARI

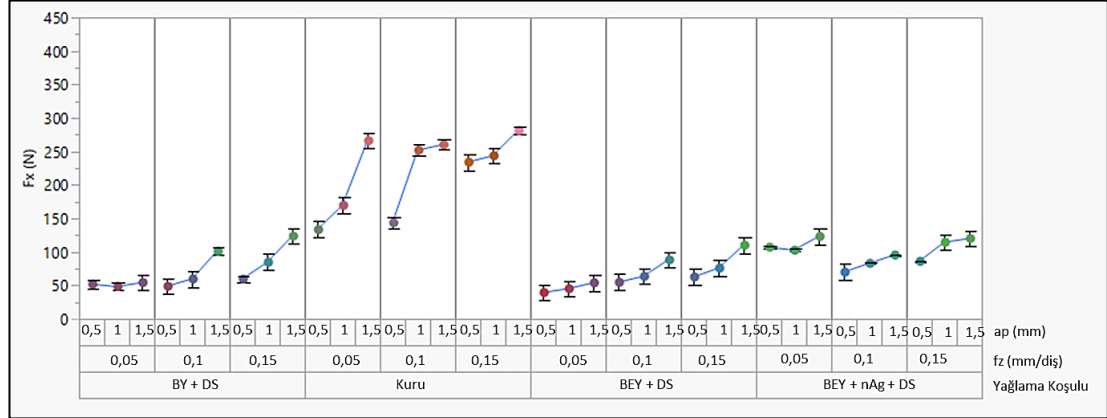
Yüzey frezeleme işlemlerinde F_z kuvvetinin ihmal edilebilir seviyede olması sebebiyle [59] F_x ve F_y kuvvetleri dikkate alınmıştır. Deney sonuçlarının istatistiksel anlamlılığı ve deneysel parametrelerin etkileşimi ANOVA tablolarına göre analiz edilmiştir. Bu tablolarda her bir faktörün istatistiksel anlamlılığını gösteren P değeri, serbestlik derecesi DF, kareler toplamı SS, kareler ortalaması MS, yüzdellik dağılımı YD ve F değerleri bulunmaktadır. Belirlenen değişkenlerin etkisi F değerlerinin karşılaştırılması ile bulunmaktadır.

5.1.1. F_x Kesme Kuvveti Sonuçları

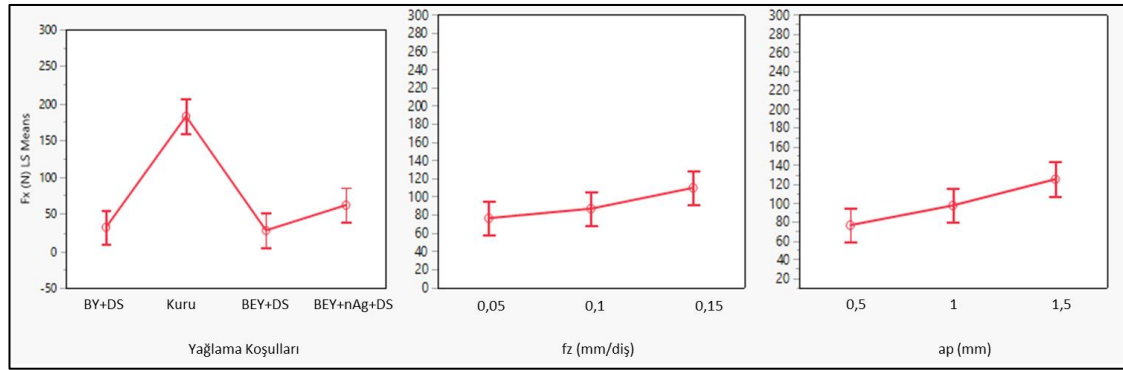
F_x kuvvetinin oluşumunda deneysel parametrelerin etkileri Şekil 5.1 ve 5.2’de verilmiştir. Deneyler sonucunda en yüksek kesme kuvveti sonucunu veren kuru işleme şartıdır. BY+DS ve BEY+DS sıvıları birbirine yakın sonuçlar vermiştir. BEY+ nAg+ DS kolloidal süspansiyonunun kullanılması ile kesme kuvvetleri artış göstermiştir. Kesme derinliği parametresi arttıkça F_x kuvveti de artış göstermiştir. Kesme derinliğinin artışı plastik deformasyona uğrayacak yüzey miktarını artırır bu sebeple kesme kuvvetleri de artar.

İlerleme oranı parametresi arttıkça da F_x kuvvetinde artış gözlemlenmektedir. Bunun sebebi olarak güç tüketimi gösterilebilir. İlerleme oranı arttıkça plastik deformasyon artacağı için gerekli güç ihtiyacı da artacaktır. Artan güç tüketimi kesme işlemi için gerekli olan enerji miktarı artışını, dolayısıyla artan kesme kuvvetini ifade etmektedir [60]. Ayrıca yüksek işleme şartları sonucunda takım ucundaki gerilmenin artması ve aşınmaların gerçekleşmesi kesme kuvvetlerini arttırıcı etkiye sahiptir. Kuram vd.

yaptıkları çalışmada kesme kuvvetleri ve takım aşınması arasında lineer bir ilişki den bahsetmişlerdir [34].



Şekil 5.1. F_x kesme kuvveti için değişken tablosu.



Şekil 5.2. F_x kuvveti sonuçlarının işleme parametrelerine bağlı değişimi.

Çizelge 5.1. F_x kesme kuvvetinin ANOVA sonuçları.

| Parametreler | DF | SS | MS | F-değeri | P-değeri | %YD |
|-----------------|----|--------|---------|----------|----------|-------|
| f_z (mm/diş) | 2 | 7005 | 3502,4 | 7,78 | 0,007 | %3,91 |
| a_p (mm) | 2 | 14450 | 7224,8 | 16,05 | 0,000 | %8,06 |
| Yağlama | 3 | 141621 | 47207,1 | 104,86 | 0,000 | %79,0 |
| $f_z * a_p$ | 4 | 731 | 182,7 | 0,41 | 0,801 | %0,40 |
| $f_z * Yağlama$ | 6 | 4607 | 767,9 | 1,71 | 0,203 | %2,57 |
| $a_p * Yağlama$ | 6 | 5314 | 885,6 | 1,97 | 0,150 | %2,96 |
| Hata | 12 | 5402 | 450,2 | | | %3,01 |

Çizelge 5.1. (devam ediyor).

| | | | | | | |
|--------------------|--------|--------|--|--|--|--|
| Toplam | 35 | 179130 | | | | |
| R- sq | %96,98 | | | | | |
| R- sq (adj) | %91,20 | | | | | |

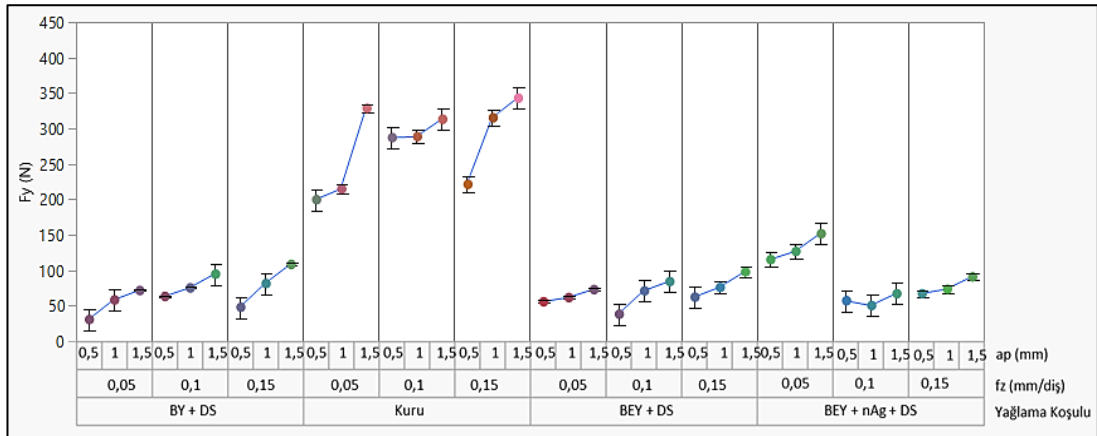
F_x kesme kuvvetlerinin ANOVA sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Bu tabloda bulunan p-value değerleri ($p < 0,05$ anlamlılık seviyesi) belirlenmiş olan her parametrenin F_x kesme kuvveti değişiminde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. F_x kuvvetinin oluşumunda ilerleme oranı, talaş derinliği ve yağlama parametrelerinin etki oranları sırasıyla %3,91, 8,06 ve %79,0 şeklindedir. Hata oranı %3,01’dir. Deneysel parametrelerinin etkileşimleri söz konusu olduğunda yağlama parametresinin ilerleme oranı ve talaş derinliği parametreleriyle olan etkileşim değerleri oldukça yakındır. Deneysel modelin sonuçları açıklayabilme yeterliliğini ifade eden R-sq ve R-sq (adj) değerleri %96,98 ve %91,20 şeklindedir. Elde edilen grafik ve tabloların sonucunda belirlenmiş olan deneysel modelin F_x kuvvetini belirlemede anlamlı sonuçlar verdiği, yağlama parametresinin F_x kuvvetini belirlemede diğer parametrelere oranla daha yüksek etkiye sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. İlerleme oranı ve talaş derinliğinin artışının ise F_x kesme kuvvetini arttırdığı sonucu çıkmaktadır.

Talaş kaldırma esnasında kesme kuvvetinin değişiminde sürtünme ve aşınma mekanizmalarının etkisi de yüksektir [61]. Kesme işlemi gerçekleşirken yüzeyler arasındaki sürtünmenin ve aşınmanın artması, plastik deformasyon için gerekli olan kesme kuvvetlerini de artırır. Kesme sıcaklığının değişimi ise kesme kuvvetlerini azaltıcı veya arttırıcı etkide bulunabilir. Sıcaklığın artması ile iş parçası yüzeyi yumuşayarak daha kolay deforme olabilir bu sayede kesme kuvvetleri de düşebilir. Öte yandan sıcaklığın artması özellikle alüminyum alaşımlarında yığıntı talaş oluşumunu artırır. Bunun sonucunda kararlı bir kesme işlemi gerçekleşmez, titreşim artar ve dolayısıyla kesme kuvvetleri de artar. Yapılan çalışmalar kesme bölgesinin soğutulmasının kesme kuvvetleri üzerinde değişken sonuçlar elde ettiğini göstermektedir. Khandekar vd. kesme bölgesinin soğutulmamasının takım aşınmasına sebep olacağı bu sebeple de kesme kuvvetlerinin artacağını

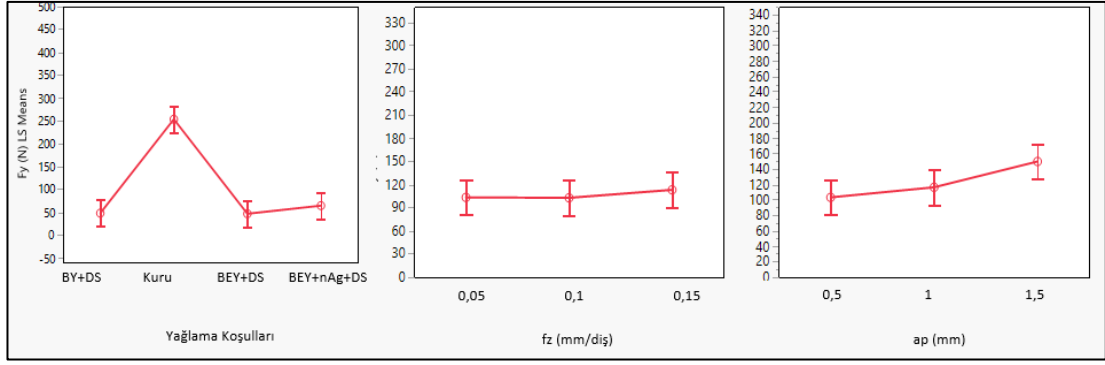
belirtmişlerdir [62]. Kadirgama vd. ve Batarya vd. ise kesme sıcaklığının artmasının malzemenin yumuşamasına ve kesme kuvvetlerinin düşmesine sebep olduğunu belirtmişlerdir [63,64]. Bu çalışmada gözlemlenen nAg katkısının kesme kuvvetlerini artırması durumuna sebep olarak kesme yüzeyinin soğuması sonucunda plastik deformasyonun zorlaşması gösterilebilir.

5.1.2. F_y Kesme Kuvveti

F_y kuvvetinin oluşmasında deneysel parametrelerin etkisi Şekil 5.3 ve 5.4'te verilmiştir. Deneysel parametrelerin değişimi F_y kuvvetinin üzerinde F_x kuvvetinin değişimine benzer sonuç vermiştir. En yüksek kesme kuvvetleri kuru işleme sonucu elde edilmiştir. BEY+DS ve BY+DS kesme sıvıları ile birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. nAg katkısı F_x kuvvetinde olduğu gibi F_y kuvvetinde de kesme kuvvetlerinin bir miktar artmasına sebep olmuştur. Kesme derinliğinin artması plastik deformasyona uğrayacak yüzey alanını ve sürtünme kuvvetini arttıracaktır [65]. Bu sebeple F_y kuvveti de bu parametrelerin artışına bağlı olarak artış göstermiştir. Aynı şekilde ilerleme oranının artması güç tüketimi ile bağlantılı olduğundan, ilerleme oranına bağlı olarak F_y kuvvetinin de artması beklenen bir durumdur.



Şekil 5.3. F_y kesme kuvveti için değişken tablosu.



Şekil 5.4. F_y kuvveti sonuçlarının işleme parametrelerine bağlı değişimi.

Çizelge 5.2. F_y kesme kuvvetinin ANOVA sonuçları.

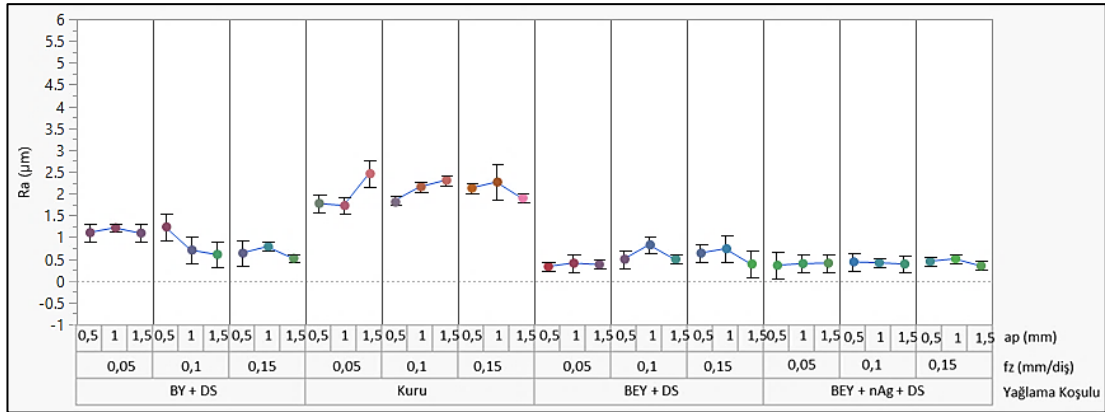
| Parametreler | DF | SS | MS | F-değeri | P-değeri | % YD |
|------------------------|--------|--------|---------|----------|----------|-------|
| f_z (mm/dis) | 2 | 814 | 406,9 | 0,93 | 0,421 | %0,26 |
| a_p (mm) | 2 | 13827 | 6913,5 | 15,82 | 0,000 | %4,42 |
| Yağlama | 3 | 273117 | 91039,0 | 208,32 | 0,000 | %87,3 |
| $f_z * a_p$ | 4 | 2463 | 615,7 | 1,41 | 0,290 | %0,78 |
| $f_z * \text{Yağlama}$ | 6 | 11463 | 1910,5 | 4,37 | 0,014 | %3,66 |
| $a_p * \text{Yağlama}$ | 6 | 5887 | 981,1 | 2,25 | 0,110 | %1,88 |
| Hata | 12 | 5244 | 437,0 | | | %1,67 |
| Toplam | 35 | 312814 | | | | |
| R- sq | %98,32 | | | | | |
| R- sq (adj) | %95,11 | | | | | |

ANOVA sonuçlarını veren Çizelge 5.2'deki p-value değerleri ($p < 0,05$ anlamlılık seviyesi) kesme derinliği ve yağlama parametrelerinin F_y kesme kuvveti değişiminde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. F_y kuvvetinin oluşumunda ilerleme oranı, talaş derinliği ve yağlama parametrelerinin etki oranları sırasıyla %0,26, %4,42 ve %87,3 şeklindedir. Hata oranı %1,67'dir. İlerleme oranı ve yağlama parametresinin etkileşimi diğer parametrelerin etkileşimine göre daha baskın çıkmıştır. R-sq ve R-sq (adj) değerleri %98,32 ve %95,11 şeklinde bulunmuştur. Grafik ve tablo sonuçlarına göre belirlenmiş olan deneysel modelin F_y kuvveti değişiminde fiziksel olarak anlamlı sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır.

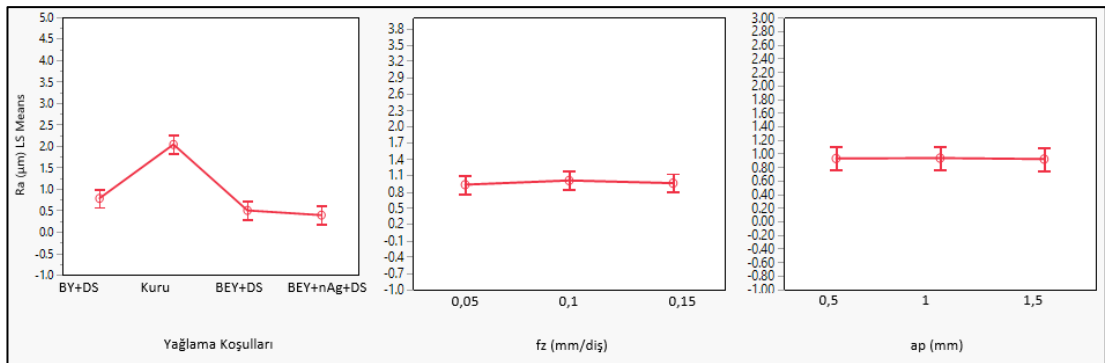
Bununla birlikte yağlama ve kesme derinliği parametrelerinin F_y kuvvetinin değişiminde ilerleme oranına kıyasla daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

5.1.3. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

Deneysel sonuçta elde edilen yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri Şekil 5.5 ve 5.6'da verilmiştir. Elde edilen grafiklere göre yüzey pürüzlülük değerlerinde en iyi sonuçları veren yağlama koşulları sırasıyla BEY+ nAg+ DS, BEY+DS, BY+DS ve kuru işleme şartı şeklindedir. Kesme derinliği ve ilerleme oranının etkisi, yağlama parametresine kıyasla yetersiz kalmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde yağlama parametresinin bu denli etkili olmasının sebebi kesme sıvılarıyla kuru işleme şartlarının beraber incelenmesidir. Sıvı kullanımı sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kuru işlemeye kıyasla oldukça düşüktür. Bu sebeple en baskın parametre yağlama koşulu olmuştur.



Şekil 5.5. Yüzey pürüzlülük değerleri için değişken tablosu.



Şekil 5.6. Yüzey pürüzlülük sonuçlarının işleme parametrelerine bağlı değişimi.

Çizelge 5.3. Yüzey pürüzlülük değerleri için ANOVA sonuçları.

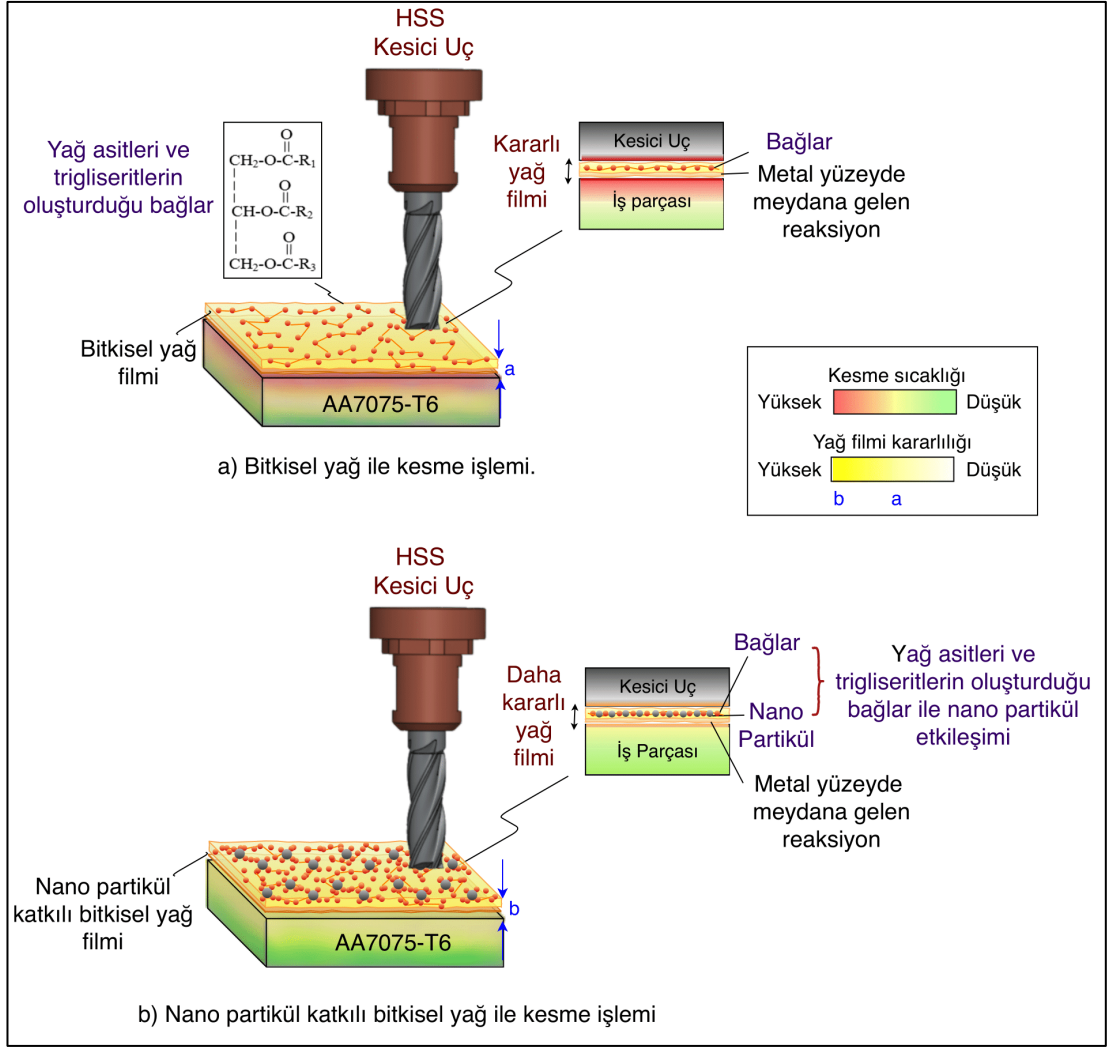
| Parametreler | DF | SS | MS | F-değeri | P-değeri | %YD |
|--------------------|--------|---------|---------|----------|----------|--------|
| f_z (mm/diş) | 2 | 0,0362 | 0,01810 | 0,58 | 0,575 | %0,21 |
| a_p (mm) | 2 | 0,0014 | 0,00069 | 0,02 | 0,978 | %0,01 |
| Yağlama | 3 | 15,5101 | 5,17003 | 165,78 | 0,000 | %91,60 |
| f_z*a_p | 4 | 0,3863 | 0,09657 | 3,10 | 0,057 | %2,28 |
| f_z* Yağlama | 6 | 0,2075 | 0,03459 | 1,11 | 0,412 | %1,22 |
| a_p* Yağlama | 6 | 0,4151 | 0,06919 | 2,22 | 0,113 | %2,45 |
| Hata | 12 | 0,3742 | 0,03119 | | | %2,21 |
| Toplam | 35 | 16,9308 | | | | |
| R- sq | %97,79 | | | | | |
| R- sq (adj) | %93,55 | | | | | |

Çizelge 5.3'e göre yüzey pürüzlülüğünün oluşumunda en etkili parametreler sırasıyla yağlama, ilerleme oranı ve talaş derinliği şeklinde, etki oranları ise sırasıyla %91,60, %0,21 ve %0,01 şeklindedir. Deneysel parametrelerinin etkileşimleri söz konusu olduğunda lubrication* a_p etkileşiminin etkisi %2,45, f_z*a_p etkileşiminin etkisi %2,28, lubrication* f_z etkileşimin etkisi ise %1,22 şeklinde bulunmuştur. R-sq ve R-sq (adj) değerlerinin %97,79 ve %93,55 olarak bulunmuş olması deneysel modelin anlamlılığını ifade etmektedir.

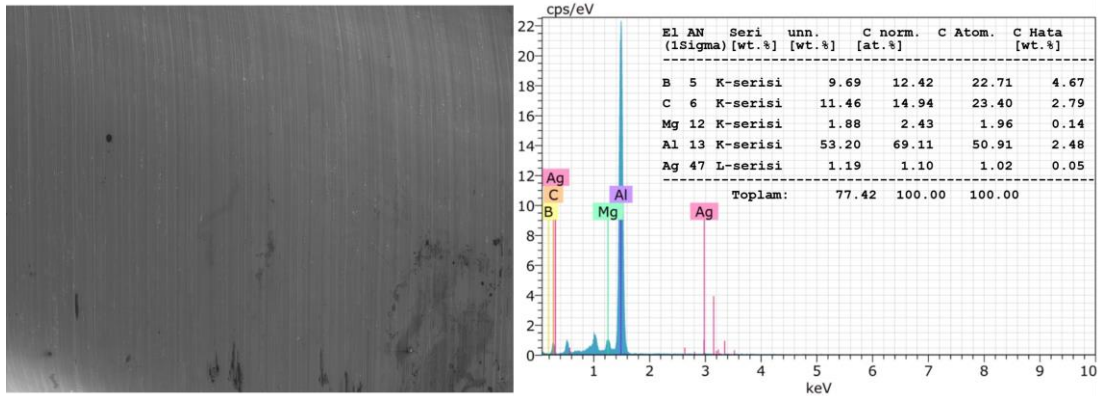
Deneysel yüksek işleme hızlarında daha kararlı bir kesme işleminin gerçekleşmesi sebebiyle yüzey pürüzlülük değerleri düşük işleme şartlarına göre düşüktür. BY+DS ve BEY+DS kesme sıvılarının yüzey pürüzlülük değerleri birbirine yakındır ancak düşük işleme şartlarında BEY+DS sıvısı BY+DS sıvısına oranla daha yüksek performans sağlamıştır (Şekil 14). Bunun sebebi olarak bitkisel yağların yağ filmi oluşturma kabiliyetleri gösterilebilir. Kolza yağı gibi diğer bitkisel yağlar, uzun yağ asidi zincirlerinden ve trigliseritlerden oluşur [24]. Bu yağ asitleri ve trigliseritlerin oluşturduğu bağlar, metalik yüzeylerde mknatis etkisi göstererek yüksek mukavemetli bir yağ filmi oluşturur. Oluşan yağ filmi yüksek sıcaklıklarda metalik yüzeylerle etkileşime girerek yüzeyler arasındaki teması engeller, sürtünme ve

aşınmayı azaltır [66–68]. BEY+DS sıvısının BY+DS sıvısına oranla daha yüksek viskoziteye sahip olması da oluşturduğu yağ filminin yüzeye daha iyi tutunmasını sağlayan başka bir etkidir (Çizelge 4.1).

BEY+nAg+DS sıvısında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri diğer kesme şartlarına göre oldukça düşüktür. nAg katkısı eklendiği BEY+DS sıvısının ısı transfer katsayısını, viskozitesini (Çizelge 4.1) ve yüzeye tutunma kabiliyetini arttırmıştır. Yüzeye tutunma kabiliyetinin artması, nano partiküllerin bitkisel yağların içeriğinde bulunan polar molekülleri ile etkileşimi sonucu gerçekleşmektedir. Nano partiküller bu etkileşim ile yüzeydeki yağ filminin daha kararlı olmasını sağlamaktadır [10] (Şekil 5.7). Bunun yanısıra nano partiküllerin sahip olduğu mekanik davranışlar sebebiyle de yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesine katkı sağlamaktadırlar. Birbirine göre göreceli hareket eden iki metal yüzey arasında bulunan ve dairesel yapıya sahip nano partiküller yuvarlanma, doldurma, parlatma ve tamir etme etkileriyle yüzey kalitesini arttırmaktadır [11]. Nano partiküllerin bu etkileri, yüzeyler arasındaki yük taşıma kapasitesini artırma, kayma sürtünmesini azaltma, yüzeyde meydana gelen çukur noktalarını doldurma ve yüzeydeki tepe noktalarını aşındırarak onarma şeklinde gerçekleşmektedir [69–72]. Şekil 5.8’de talaş üzerinde Ag elementinin varlığı bu durumu ispat etmektedir. Khan vd. nano boyutlardaki gümüş, bakır ve kurşun gibi metallerin tamir etkisini sağlamada oldukça etkili olduğunu belirtmiştir [21].



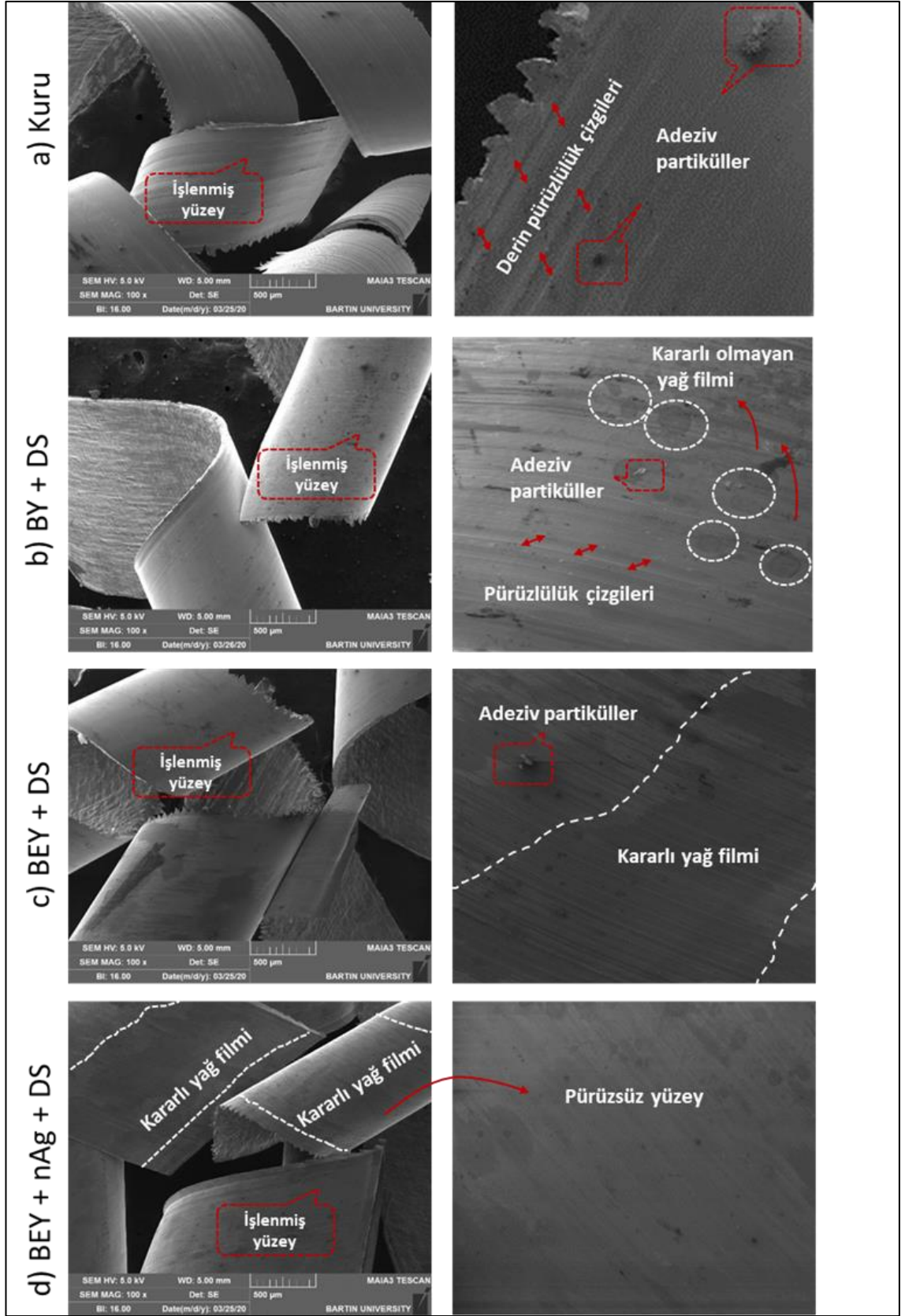
Şekil 5.7. Yağ filminin yüzeye tutunma kabiliyeti: a) BEY+DS, b) BEY+nAg+DS.



Şekil 5.8. BEY+ nAg+ DS koloidal süspansiyonu kullanılması sonucu elde edilen talaşın EDX analizi.

Yüzey pürüzlülüğünün oluşumunda ilerleme oranı ve talaş derinliğinin etkisi, yağlama parametresine kıyasla oldukça düşüktür. Bu sebeple sabit ilerleme oranı (0,15 mm/diş) ve talaş derinliği (1,5 mm) şartları altında incelenen talaş morfolojileri Şekil 5.9'da verilmiştir. Deneyler sonucunda meydana gelen talaşların SEM görüntüleri incelendiğinde en pürüzlü yüzeyin kuru işleme sonrası meydana geldiği görülmektedir (Şekil 5.9a). Aşınma ve sürtünmenin artmasıyla iş parçasından kopan parçacıklar sıcaklık oluşumu sebebiyle talaş yüzeyine kaynaklanarak yapışmıştır. BY+DS emülsiyonu ile gerçekleştirilen deneylerde talaş yüzeyi ise kuru işlemeye kıyasla daha az pürüzlüdür (Şekil 5.9b). Sıcaklık oluşumunun sebep olduğu adezyon yapışması bu deneylerde de gözlemlenmiştir. BY+DS emülsiyonunun kullanılmasıyla yağ filminin oluştuğu ancak kararlı yapıda olmadığı görülmektedir.

BEY+DS emülsiyonunun kullanılması ile BY+DS emülsiyonuna oranla daha az pürüzlü talaş yüzeyi elde edilmiştir (Şekil 5.9c). Talaş yüzeyinde kararlı yapıda yağ filmi oluşumu gözlemlenmektedir ancak bu deneylerde de sıcaklık oluşumu sebebiyle adezyon yapışması meydana gelmiştir. BEY+ nAg+ DS kolloidal süspansiyonunda ise diğer deneylere kıyasla pürüzsüz bir talaş yüzey elde edilmiştir (Şekil 5.9d). Talaşların yüzeyinde kararlı bir yağ filmi oluşumu gözlenmektedir. Kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklığın absorbe edilmesi sebebiyle yüzeyde adezyon yapışması oluşmamıştır.

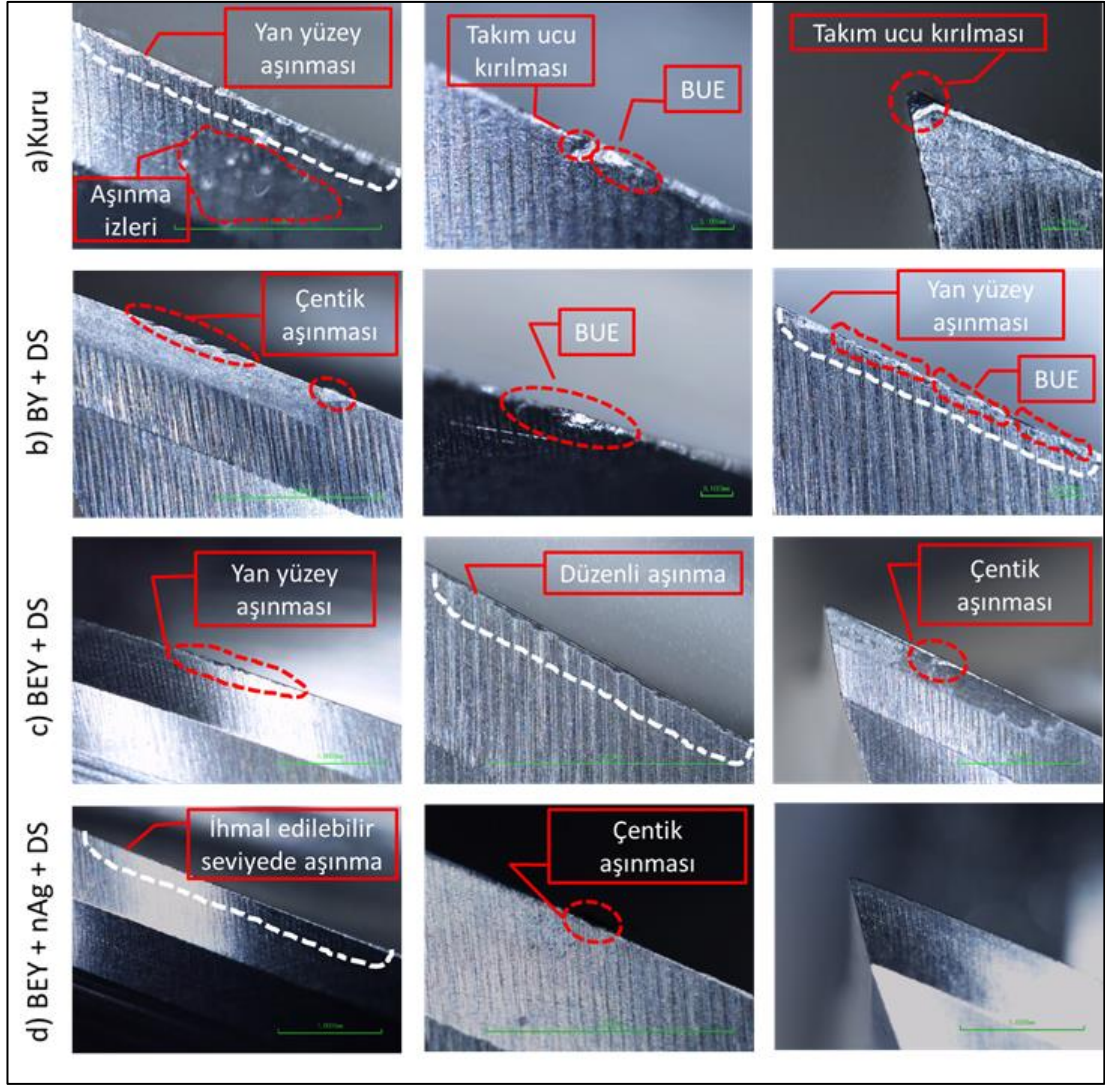


Şekil 5.9. Talaş morfolojilerinin SEM görüntüleri.

5.1.4. Takım Ucu Aşınması

Alüminyum alaşımları sünek malzemeler olup düşük erime sıcaklığına sahip malzemelerdir. Yüksek işleme şartlarında meydana gelen sıcaklık ve basınç sebebiyle bu alaşımların talaş parçaları kesici takıma yapışma eğilimindedir, dolayısıyla yığıntı talaş (BUE) oluşumu gözlenir. Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde takım aşınmasından ziyade BUE oluşumu karşımıza çıkan kritik bir problemdir. Takım ucunun ömrü ve etkinliği, iş parçasının ise ölçüsel hassasiyeti açısından bu problemlerin kontrolü son derece önemlidir. Bu sebeple alüminyum alaşımların işlenmesinde EP (aşırı basınç) katkılı kesme sıvılarının kullanılması önerilmektedir [30].

Sabit ilerleme oranı (0,15 mm/diş) ve talaş derinliği (1,5 mm) şartları altında gerçekleştirilen deneylerde farklı yakınlaştırma oranları ile incelenen takım aşınması görüntüleri Şekil 5.10'da verilmiştir. Kuru şartlarda gerçekleştirilen deneylerde kesme kuvvetlerinin ve kesme sıcaklığının yüksek olması sonucunda takım ucunda kenar aşınması, çentik aşınması, takım ucu kırılması ve BUE oluşumu gözlemlenmektedir (Şekil 5.10a). BY+DS sıvısının kullanımında ise kenar aşınması çentik aşınması ve BUE oluşumuna rastlanmıştır (Şekil 5.10b). BY+DS emülsiyonunun yağlayıcılığı sayesinde kuru işleme şartlarına kıyasla aşınma azalmıştır ancak BUE oluşumu engellenememiştir. Bunun sebebi olarak bor yağının meydana getirdiği yağ filminin kararlı olmayışı gösterilebilir. Yağ filminin etkili olmadığı bölgelerde metal-metal teması söz konusu olmuş bu yüzden kesici takım aşınması ve yığıntı talaş oluşumu önlenememiştir. BEY+DS emülsiyonunun kullanıldığı deneylerde takım aşınması bazı bölgelerde gerçekleşmiş olsa da BUE oluşumu engellenmiştir (Şekil 5.10c). Bunun sebebi olarak kanola yağının içeriğinde bulunan kükürt elementinin (%0,4) EP etkisi oluşturması gösterilebilir [73,74]. Kükürt elementinin oluşturduğu EP etkisi ile yağ ve metalik yüzey, yüksek sıcaklıklarda tepkimeye girerek yüksek mukavemetli bir yağ filmi oluşturur bu sayede BUE oluşumu engellenir [75]. BEY+ nAg+ DS sıvısının kullanılması durumunda ise ihmal edilebilir seviyede aşınmalar gerçekleşmiştir ancak metal yüzeyler arasında oluşan kararlı yağ filmi sayesinde kesme yüzeyindeki ısı absorbe edilerek BUE oluşumu engellenmiş ve aşınma azalmıştır (Şekil 5.10d).

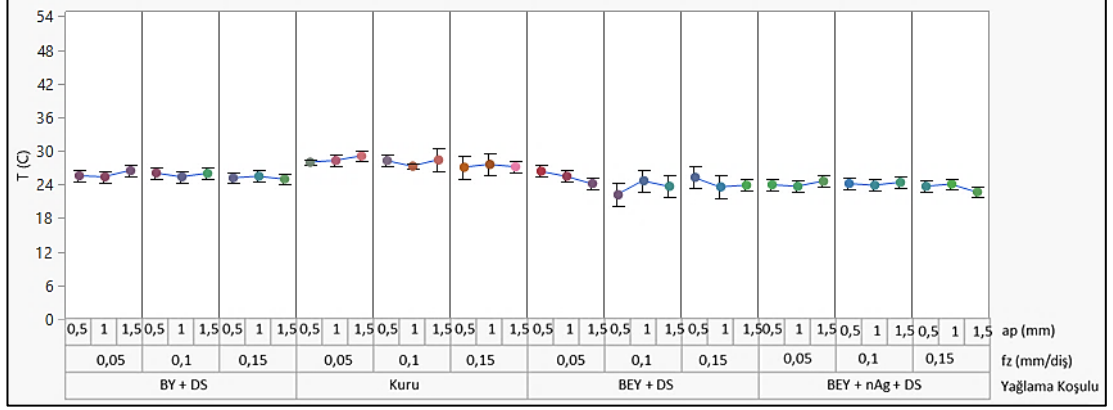


Şekil 5.10. Takım aşınmalarının optik mikroskop görüntüleri.

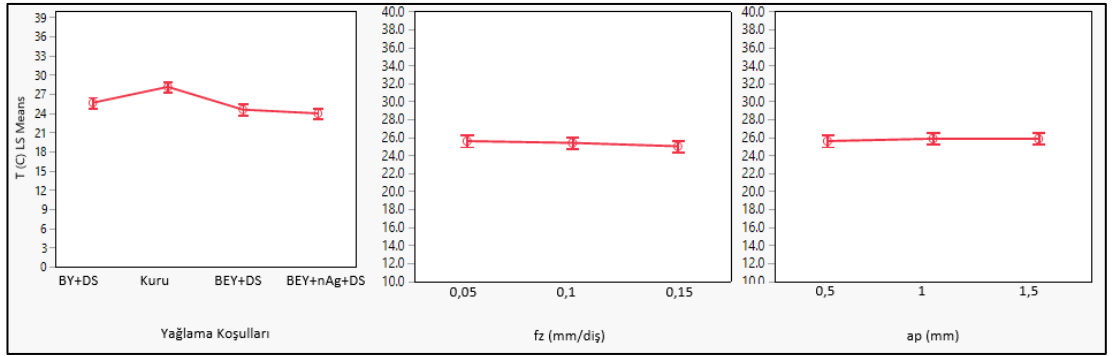
5.1.5. Kesme Bölgesi Sıcaklığı

Deneysel sonuçlarda elde edilen kesme bölgesi sıcaklık ölçüm değerleri ve parametre etkileri Şekil 5.11 ve 5.12’de verilmiştir. Deneysel sonuçlarına göre en düşük kesme sıcaklıkları sırasıyla BEY+ nAg+ DS, BEY+DS, BY+DS ve kuru işleme şartlarında elde edilmiştir (Şekil 5.12). Kesme sıcaklığının önlenmesindeki en önemli etken kullanılan kesme sıvılarının ısı transfer özellikleri olmaktadır. BEY+DS emülsiyonunun BY+DS emülsiyonuna oranla ısı transfer katsayısının, viskozitesinin (Çizelge 4.1) ve yağ filmi oluşturma kabiliyetinin daha yüksek oluşu kesme sıcaklığını önlemede daha etkili olmasına sebep olmuştur. BY+DS sıvısının meydana

getirdiği yağ filmi metal-metal temasını engelleyerek sürtünmeyi, dolayısıyla kesme kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünü azaltabilmiştir.



Şekil 5.11. Sıcaklık değerleri için değişken tablosu.



Şekil 5.12. Sıcaklık sonuçlarının işleme parametrelerine bağlı değişimi.

Çizelge 5.4. Sıcaklık değerleri için ANOVA sonuçları.

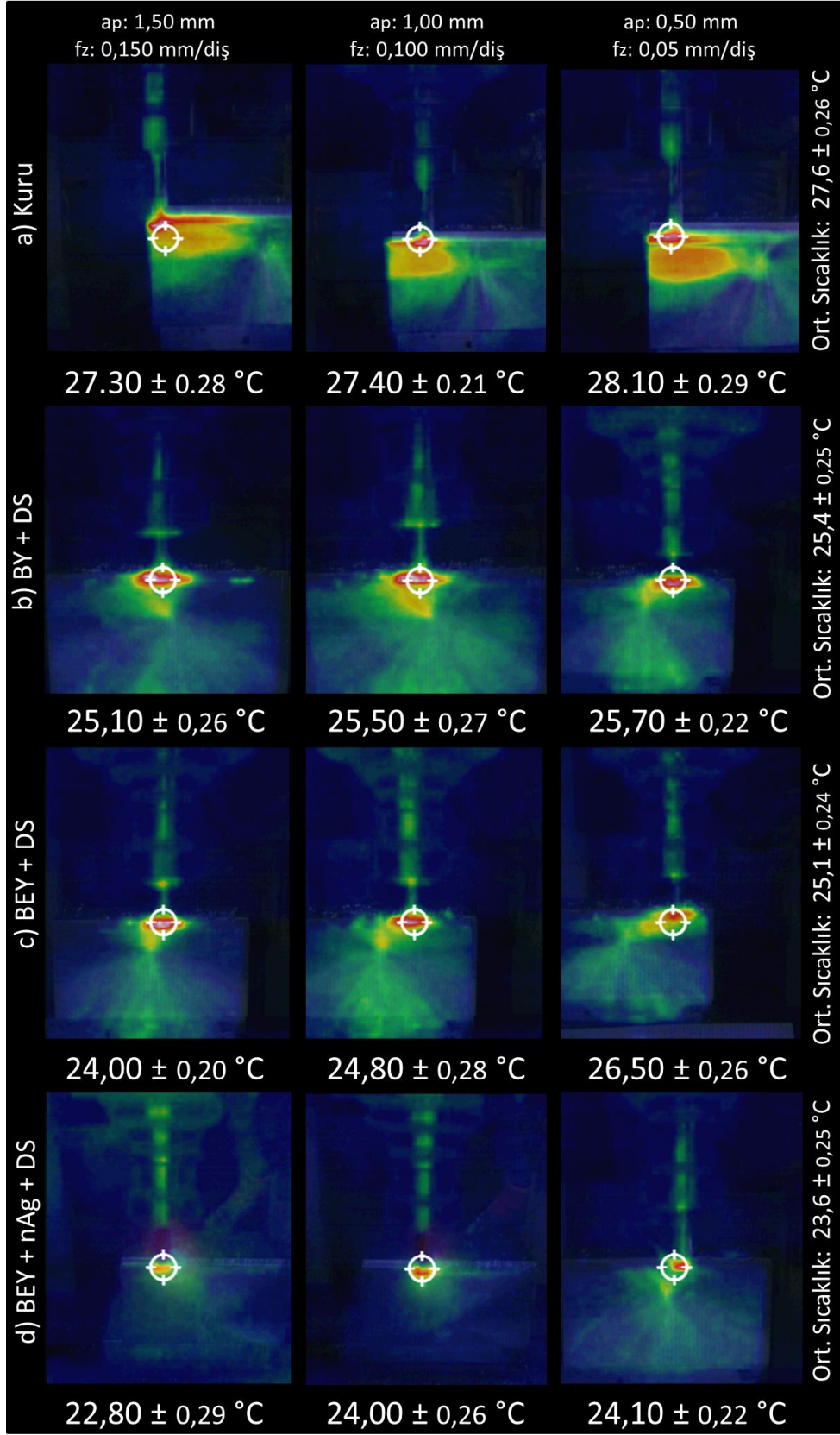
| Parametreler | DF | SS | MS | F-değeri | P-değeri | %YD |
|------------------------|----|--------|---------|----------|----------|--------|
| f_z (mm/diş) | 2 | 2,045 | 1,0225 | 1,23 | 0,326 | %1,79 |
| a_p (mm) | 2 | 0,552 | 0,2758 | 0,33 | 0,723 | %0,48 |
| Yağlama | 3 | 90,549 | 30,1830 | 36,41 | 0,000 | %79,56 |
| $f_z * a_p$ | 4 | 2,493 | 0,6233 | 0,75 | 0,576 | %2,19 |
| $f_z * \text{Yağlama}$ | 6 | 6,066 | 1,0110 | 1,22 | 0,361 | %5,33 |
| $a_p * \text{Yağlama}$ | 6 | 2,146 | 0,3577 | 0,43 | 0,844 | %1,88 |
| Hata | 12 | 9,949 | 0,8291 | | | %8,74 |

Çizelge 5.4. (devam ediyor).

| | | | | | | |
|--------------------|--------|---------|--|--|--|--|
| Toplam | 35 | 113,800 | | | | |
| R- sq | %91,26 | | | | | |
| R- sq (adj) | %74,50 | | | | | |

Çizelge 5.4'e göre kesme sıcaklığının oluşumunda en etkili parametreler sırasıyla yağlama, ilerleme oranı ve talaş derinliği şeklinde, etki oranları ise sırasıyla %79,56, %1,79 ve %0,48 şeklindedir. Hata oranı %8,74'tür. Deneysel parametrelerinin etkileşimleri söz konusu olduğunda yağlama* f_z etkileşiminin etkisi %5,33, f_z * a_p etkileşiminin etkisi %2,19, yağlama* a_p etkileşiminin etkisi ise %1,88 şeklinde bulunmuştur. R-sq ve R-sq (adj) değerleri %91,26 ve %74,50 olarak bulunmuştur.

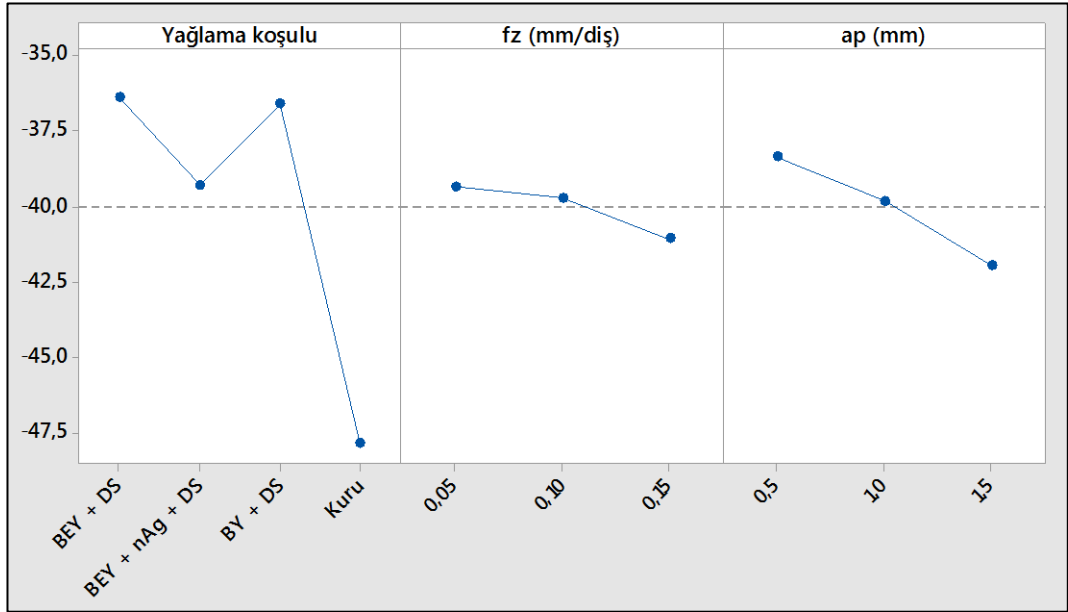
Isı transfer kabiliyeti oldukça yüksek olan gümüş elementi sayesinde nAg katkısı, eklendiği sıvının ısı transfer katsayısını arttırmıştır. BEY+ nAg+ DS sıvısı kesme işlemi esnasında meydana gelen ısıyı absorbe ederek kesme bölgesinin ısınmasını engellemiştir. Kesme işlemi esnasında elde edilen görüntüler de bu durumu kanıtlamaktadır (Şekil 5.13). Kuru işleme şartlarında meydana gelen sıcaklık kesme bölgesinden uzaklaşmadığı için malzemenin dış yüzeyinden iç tabakalarına doğru ilerlemiştir (Şekil 5.13a). Bu durum hem iş parçasının hem de kesici takımın mekanik özelliklerinin bozulmasına sebebiyet vermektedir. BY+DS ve BEY+DS emülsiyonlarının kullanıldığı deneylerde ise kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklık malzemenin iç tabakalarına ilerlemeden kısmen uzaklaşabilmiştir (Şekil 5.13b ve c). BEY+ nAg+ DS kolloidal süspansiyonun da ise meydana gelen sıcaklık yalnızca malzemenin dış yüzeyinde kalarak uzaklaşabilmiştir (Şekil 5.13d).



Şekil 5.13. Kesme bölgesi sıcaklık değerleri.

5.1.6. Deneysel Parametrelerin Optimizasyonu

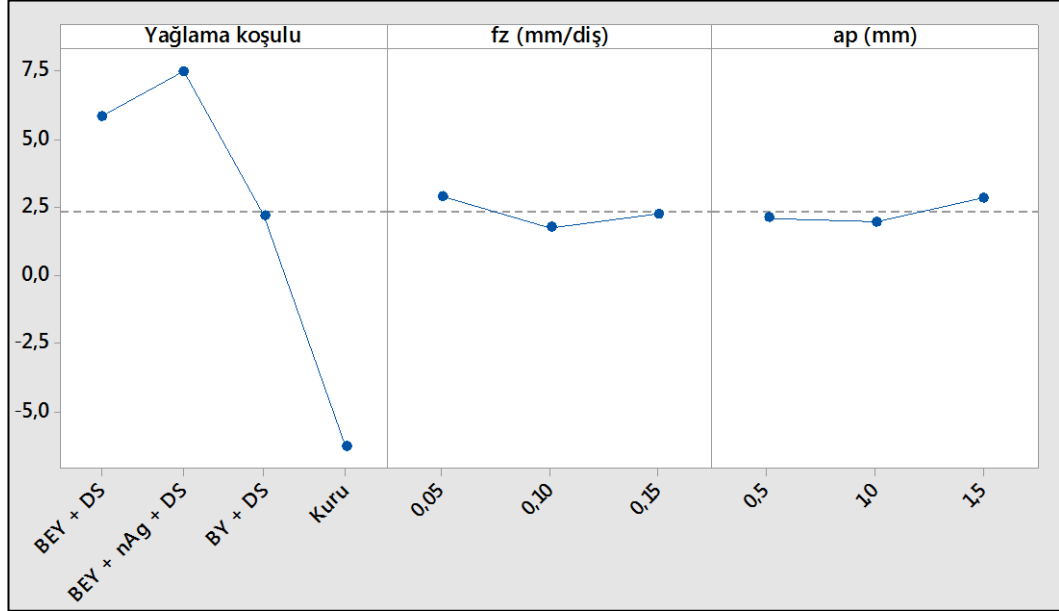
Deneysel parametrelerin S/N optimizasyonu Şekil 5.14, 5.15 ve 5.16'da verilmiştir. Elde edilen optimizasyon grafiklerine göre minimum kesme kuvvetleri için optimum yağlama koşulu BEY + DS, optimum İlerleme oranı 0,05 mm/diş, optimum kesme derinliği ise 0,5 mm olarak bulunmuştur (Şekil 5.14). Kesme kuvvetlerinin azalmasında yağlama rolünün etkisi yüksektir. nAg katkısı ile elde edilen sıvının yağlayıcılık oranı düşmüş, kesme bölgesinin soğuması sebebiyle de kesme kuvvetlerinde düşüş sağlanamamıştır. Düşük kesme kuvvetlerinin düşük ilerleme oranı ve düşük kesme derinliği sonucundan elde edilmesi sebebiyle de optimum işleme parametreleri f_z için 0,05 mm/diş, a_p için ise 0,5 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.14. Minimum kesme kuvvetleri için optimum işleme parametreleri.

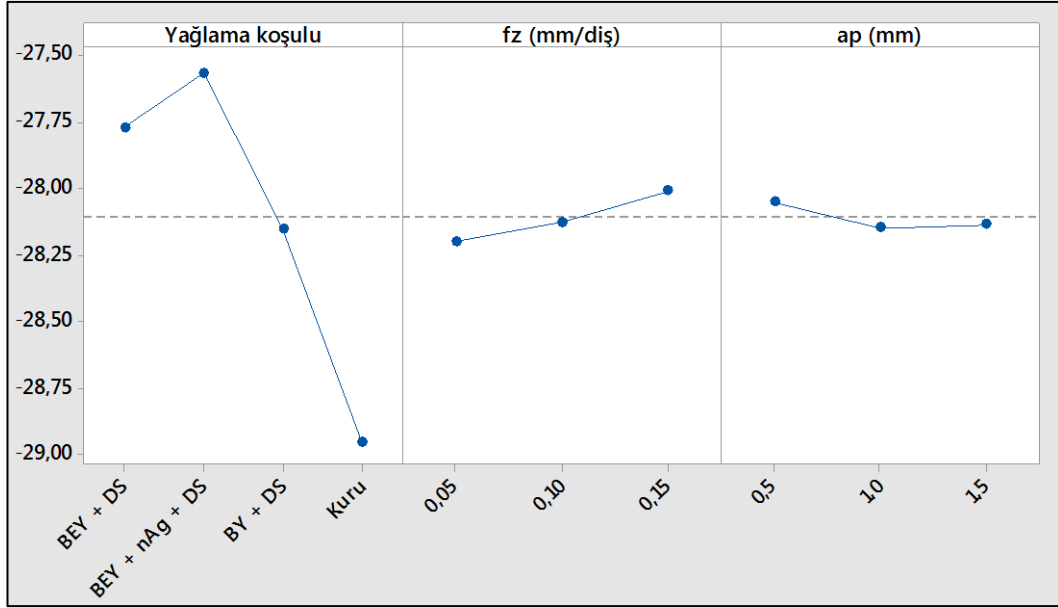
Elde edilen optimizasyon grafiklerine göre minimum yüzey pürüzlülüğü değerleri için optimum yağlama koşulu BEY + nAg + DS, optimum İlerleme oranı 0,05 mm/diş, optimum kesme derinliği ise 1,5 mm olarak bulunmuştur (Şekil 5.15). Kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklığın azaltılması, partiküllerin mekanik hareketleri ve kararlı yağ filmi oluşumu sayesinde nAg katkısı yüzey pürüzlülük değerlerinin düşmesinde oldukça etkili olmuştur. Yüzey pürüzlülüğünün düşmesinde belirlenen ilerleme oranı ve kesme derinliği seviyeleri birbirine yakın değerler

vermiştir. Düşük ilerleme oranı, yüksek kesme derinliği parametreleri sonucunda düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir.



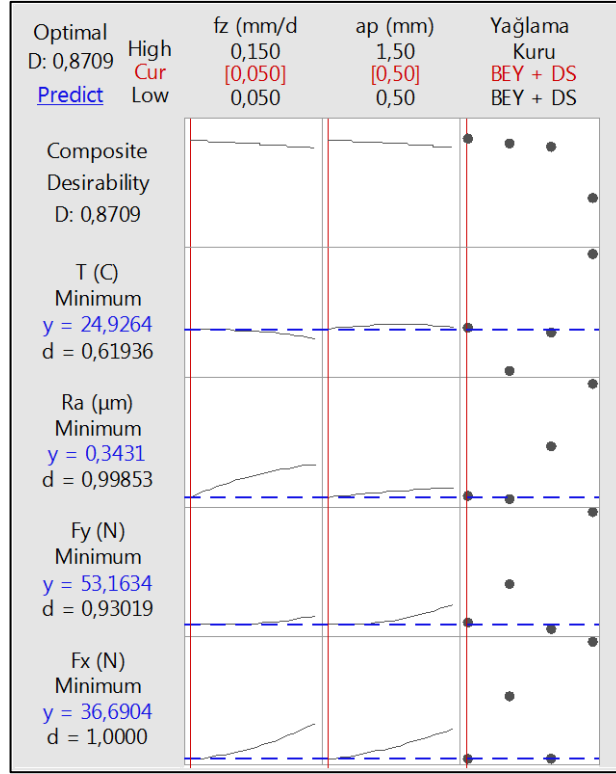
Şekil 5.15. Minimum yüzey pürüzlülük değerleri için optimum işleme parametreleri.

Elde edilen optimizasyon grafiklerine göre minimum kesme sıcaklığı değerleri için optimum yağlama koşulu BEY + nAg + DS, optimum İlerleme oranı 0,15 mm/diş, optimum kesme derinliği ise 0,5 mm olarak bulunmuştur (Şekil 5.16). nAg katkısının eklendiği sıvının ısı transfer kapasitesini, viskozitesini ve kararlı yağ filmi oluşturma kabiliyetini arttırması kesme sıcaklıklarının düşüşünde oldukça etkili olmasına sebep olmuştur. Yüksek ilerleme oranı ve düşük kesme derinliği parametreleri de düşük kesme sıcaklığının elde edilmesinde etkili olmuştur.



Şekil 5.16. Minimum kesme sıcaklığı değerleri için optimum işleme parametreleri.

Deneysel parametrelerin Yanıt Yüzey analizine göre elde edilen optimizasyon sonuçları Şekil 5.17’de verilmiştir. Çıkış parametrelerinin beraber analiz edilmesi sonucu elde edilen optimum yağlama koşulu, BEY + DS, optimum ilerleme oranı 0,05 mm/diş, optimum kesme derinliği ise 0,5 mm olarak elde edilmiştir. Optimum parametrelerin seçiminde elde edilecek kesme sıcaklığı değeri 24,92 °C, yüzey pürüzlülük değeri 0,34 μm , F_y kesme kuvveti 53,16 N, F_x kesme kuvveti ise 36,96 N olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.17. Minimum çıkış parametre değerleri için belirlenen optimum işleme parametreleri.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada nano gümüş katkılı kanola yağı esaslı kolloidal süspansiyonunun tribolojik performansını incelemek amacıyla AA7075-T6 alaşımı frezeleme deneylerine tabi tutulmuştur. Çalışma kapsamında kuru işleme, bor yağı, bitkisel yağlayıcı ve nano gümüş katkılı bitkisel yağlayıcı şartları olmak üzere 4 farklı yağlama koşu belirlenmiştir. İşleme parametreleri olarak 3 farklı seviyede ilerleme oranı, 3 farklı seviyede talaş derinliği belirlenmiş, kesme hızı ise sabit kabul edilmiştir. Deneyler sonucunda yüzey pürüzlülüğü (R_a), kesme kuvvetleri (F_x ve F_y), kesme sıcaklığı (T), talaş morfolojileri ve takım aşınması incelenmiş, giriş parametrelerinin çıkış parametrelerine etkileri tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- Elde edilen grafik ve tabloların sonucunda belirlenmiş olan deneysel modelin F_x kuvvetini belirlemede anlamlı sonuçlar verdiği, yağlama parametresinin F_x kuvvetini belirlemede diğer parametrelere oranla daha yüksek etkiye sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. F_x kuvvetinin oluşumunda ilerleme oranı, talaş derinliği ve yağlama parametrelerinin etki oranları sırasıyla %3,91, %8,06 ve %79,0 şeklindedir. Kesme sıvılarından BY+DS ile BEY+DS birbirine yakın sonuçlar vermiştir. nAg katkısı ise F_x kuvvetinin bir miktar artmasına sebep olmuştur. İlerleme oranı ve talaş derinliğinin artışı ile F_x kesme kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir.
- Deneysel parametrelerin değişimi F_y kuvvetinin üzerinde F_x kuvvetinin değişimine benzer sonuç vermiştir. En yüksek kesme kuvvetleri kuru işleme sonucu elde edilmiştir. BEY+DS ve BY+DS kesme sıvıları ile birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. nAg katkısı F_x kuvvetinde olduğu gibi F_y kuvvetinde de kesme kuvvetlerinin bir miktar artmasına sebep olmuştur. F_y kuvvetinin oluşumunda ilerleme oranı, talaş derinliği ve yağlama parametrelerinin etki

oranları sırasıyla %0,26, %4,42 ve %87,3 şeklindedir. İlerleme oranı ve talaş derinliğinin artışı ile F_y kesme kuvvetinin de arttığı gözlemlenmiştir.

- Yüzey pürüzlülüğünün oluşumunda en etkili parametreler sırasıyla yağlama, ilerleme oranı ve talaş derinliği şeklinde, etki oranları ise sırasıyla %91,60, %0,21 ve %0,01 şeklindedir. Kesme derinliği ve ilerleme oranının etkisi, yağlama parametresine kıyasla yetersiz kalmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yüzey pürüzlülük değerlerinde en iyi sonuçları veren yağlama koşulları sırasıyla BEY+nAg+DS, BEY+DS, BY+DS ve kuru işleme şartı şeklindedir. BEY+nAg+DS sıvısının en iyi yüzey pürüzlülük değerlerini vermesindeki sebep sıvının ısı iletkenlik katsayısının, viskozitesinin ve kararlı yağ filmi oluşturma kabiliyetinin yüksek olması gösterilebilir. Ayrıca nano partiküllerin mekanik davranışları sonucunda yüzey kalitesinin iyileştiği belirlenmiştir.
- Talaş morfolojisi ve takım aşınması açısından elde edilen sonuçlara göre BEY+nAg+DS sıvısının kararlı yağ filmi oluşturma ve yüksek ısı transfer kabiliyeti sayesinde iş parçasında ve takım ucunda meydana gelen hasarları azalttığı belirlenmiştir. Soğutma kabiliyeti sayesinde özellikle alüminyum malzemelerin işlenmesinde sıklıkla meydana gelen BUE oluşumunu azalttığı, kararlı yağ filmi oluşturma kabiliyeti sayesinde de yan yüzey ve çentik aşınması oluşumunu önlediği gözlemlenmiştir.
- Kesme sıcaklığının oluşumunda en etkili parametreler sırasıyla yağlama, ilerleme oranı ve talaş derinliği şeklinde, etki oranları ise sırasıyla %79,56, %1,79 ve %0,48 şeklindedir. Deney sonuçlarına göre en düşük kesme sıcaklıkları sırasıyla BEY+nAg+DS, BEY+DS, BY+DS ve kuru işleme şartlarında elde edilmiştir. Kesme sıcaklığının önlenmesindeki en önemli etken kullanılan kesme sıvılarının ısı transfer özellikleri olmuştur. BEY+nAg+DS sıvısının ısı transfer katsayısının, viskozitesinin ve yağ filmi oluşturma kabiliyetinin diğer sıvılara oranla daha yüksek oluşu kesme sıcaklığını önlemede daha etkili olmasına sebep olmuştur.

- Optimum işleme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla S/N ve Yanıt Yüzey analizine göre optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilere göre minimum kesme kuvvetleri için optimum yağlama koşulu BEY + DS, minimum yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı değerleri için ise optimum yağlama koşulu BEY + nAg + DS olmuştur. Minimum kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri için optimum ilerleme oranı 0,05 mm/diş, minimum kesme sıcaklığı değerleri için ise optimum ilerleme oranı 0,15 mm/diş olmuştur. Minimum kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklığı değerleri için optimum kesme derinliği 0,5 mm, minimum yüzey pürüzlülüğü değerleri için ise optimum kesme derinliği 0,15 mm olmuştur. Deneysel parametrelerin beraber analiz edilmesi sonucunda ise optimum yağlama koşulu BEY + DS, ilerleme oranı 0,05 mm/diş, kesme derinliği ise 0,5 mm olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Hegab, H., Kishawy, H. A., and Darras, B., "Sustainable cooling and lubrication strategies in machining processes: A comparative study", *Procedia Manufacturing*, 33: 786–793 (2019).
2. Cetin, H., Ozcelik, B., Kuram, E., Simsek, T., ve Demirbas, E., "AISI 304L Çeliğın EP Katkılı Bitkisel Esaslı Kesme Sıvıları Kullanılarak Tornalanmasında İlerleme Hızının Aşınma Üstüne Etkisi", *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi* Balıkesir (2010).
3. Shashidhara, Y. M. and Jayaram, S. R., "Vegetable oils as a potential cutting fluid-An evolution", *Tribology International*, 43 (5–6): 1073-1081 (2010).
4. Khan, M. M. A., Mithu, M. A. H., and Dhar, N. R., "Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid", *Journal Of Materials Processing Technology*, 209 (15-16): 5573-5583 (2009).
5. Baradie, M. A. El, "Cutting Fluids: Part II recycling and clean machining", *Journal Of Materials Processing Technology*, 56: 798-806 (1996).
6. Lawal, S. A., Choudhury, I. A., and Nukman, Y., "Developments in the formulation and application of vegetable oil-based metalworking fluids in turning process", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 67 (5-8): 1765-1776 (2013).
7. Mahadi, M. A., Choudhury, I. A., Azuddin, M., Yusoff, N., Yazid, A. A., and Norhafizan, A., 'Vegetable Oil-Based Lubrication in Machining: Issues and Challenges', *IOP Conference Series: Materials Science And Engineering*, 530 (1): (2019).
8. Tahir, M., Mohammed, A. S., and Muhammad, U. A., "Evaluation of friction and wear behavior of date palm fruit syrup as an environmentally friendly lubricant", *Materials*, 12 (10): (2019).

9. Woma, T. Y., Lawal, S. A., Abdulrahman, A. S., Olutoye, M. A., and Ojapah, M. M., "Vegetable oil based lubricants: Challenges and prospects", *Tribology Online*, 14 (2): 60–70 (2019).
10. Sen, B., Mia, M., Krolczyk, G. M., Mandal, U. K., and Mondal, S. P., "Eco-Friendly Cutting Fluids in Minimum Quantity Lubrication Assisted Machining: A Review on the Perception of Sustainable Manufacturing", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, , (2019).
11. Reverberi, A. P., D'Addona, D. M., Bruzzone, A. A. G., Teti, R., and Fabiano, B., "Nanotechnology in machining processes: Recent advances", *Procedia CIRP*, 79: 3–8 (2019).
12. Duc, T. M., Long, T. T., and Chien, T. Q., "Performance evaluation of MQL parameters using Al₂O₃ and MoS₂ nanofluids in hard turning 90CrSi steel", *Lubricants*, 7 (5): (2019).
13. Li, B., Li, C., Zhang, Y., Wang, Y., Jia, D., Yang, M., Zhang, N., Wu, Q., Han, Z., and Sun, K., "Heat transfer performance of MQL grinding with different nanofluids for Ni-based alloys using vegetable oil", *Journal Of Cleaner Production*, 154: 1–11 (2017).
14. Padhy, C. and Singh, P., "Effects of the tribological behaviour of h-bn mql nano cutting fluid (Ncf-mql) on turning inconel 625", *INCAS Bulletin*, 11 (4): 107–121 (2019).
15. Koshy, C. P., Rajendrakumar, P. K., and Thottackkad, M. V., "Evaluation of the tribological and thermo-physical properties of coconut oil added with MoS₂ nanoparticles at elevated temperatures", *Wear*, 330–331: 288–308 (2015).
16. Romero-Franco, M., Godwin, H. A., Bilal, M., and Cohen, Y., "Needs and challenges for assessing the environmental impacts of engineered nanomaterials (ENMs)", *Beilstein Journal Of Nanotechnology*, 8 (1): 989–1014 (2017).
17. Dağlıoğlu, Y., "Ekotoksosite Deneylelerinde Nanopartikül Karakterizasyonunun Önemi ve Yöntemleri", *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, (2018).
18. Siddiqi, K. S., Husen, A., and Rao, R. A. K., "A review on biosynthesis of silver nanoparticles and their biocidal properties", *Journal Of Nanobiotechnology*, 16 (1): (2018).

19. Syafiuddin, A., Fulazzaky, M. A., Salmiati, S., Kueh, A. B. H., Fulazzaky, M., and Salim, M. R., "Silver nanoparticles adsorption by the synthetic and natural adsorbent materials: an exclusive review", *Nanotechnology For Environmental Engineering*, 5 (1): 1–18 (2020).
20. Sidik, N. A. C., Samion, S., Ghaderian, J., and Yazid, M. N. A. W. M., "Recent progress on the application of nanofluids in minimum quantity lubrication machining: A review", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 108: 79–89 (2017).
21. Khan, M. S., Sisodia, M. S., Gupta, S., Feroskhan, M., Kannan, S., and Krishnasamy, K., "Measurement of tribological properties of Cu and Ag blended coconut oil nanofluids for metal cutting", *Engineering Science And Technology, An International Journal*, 22 (6): 1187–1192 (2019).
22. Yi, S., Li, J., Zhu, J., Wang, X., Mo, J., and Ding, S., "Investigation of machining Ti-6Al-4V with graphene oxide nanofluids: Tool wear, cutting forces and cutting vibration", *Journal Of Manufacturing Processes*, 49 (November 2019): 35–49 (2020).
23. Okokpujie, I. P., Ohunakin, O. S., Adelekan, D. S., Bolu, C. A., Gill, J., Atiba, O. E., and Aghedo, O. A., "Experimental investigation of nano-lubricants effects on temperature distribution of mild steel machining", *Procedia Manufacturing*, 35: 1061–1066 (2019).
24. Zareh-Desari, B. and Davoodi, B., "Assessing the lubrication performance of vegetable oil-based nano-lubricants for environmentally conscious metal forming processes", *Journal Of Cleaner Production*, 135: 1198–1209 (2016).
25. Mirzaii, M., Sadeghi, M., and Gholamzadeh, Z., "Targetry for cyclotron production of no-carrier- added cadmium-109 from $^{nat}\text{Ag} (p , n) ^{109}\text{Cd}$ reaction", *International Journal of Radiation Research* (2009).
26. Simsek, B. T., "Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının ve Takım Tutucuların Frezelemedeki Performansının Araştırılması", *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü* (2010).
27. Gündoğdu, E., "Kesme Sıvılı ve Kuru Talaşlı İşlemenin İş Parçası ve Kesici Takım Üzerindeki Etkileri", *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2006).

28. Hüseyinoglu, M., "7075 Alüminyum Alaşımının Freze İle İşlenmesinde Minimum Soğutma Sıvısı Kullanmanın Performans Karakteristiklerine Etkisi", Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (2008).
29. Bayko Sahin, O., "Karbon Nanotüp Katkılı Yağlayıcıların Segman Aşınmasına Etkisinin İncelenmesi", *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2019).
30. Kuram, E., "Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Delmedeki Performansının Araştırılması", *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü* (2009).
31. Kabave Kilincarslan, S., "NANO GÜMÜŞ VE ORGANİK BORAT KATKILI KESME SIVILARININ FREZELEME İŞLEMİNDEKİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ", *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2019).
32. Bakırcı, B., "Kesme Sıvılarının Karakterizasyonu Ve Elektrokoagülasyon İle Atıksulardan Arıtımı", *Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2014).
33. Dolapcı, F., "Bitkisel Kesme Sıvılarının Bileşim-Özellik Bağlılıklarının Modellenmesi", *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü* (2010).
34. Kuram, E., Ozcelik, B., Simsek, B. T., and Demirbas, E., "The effect of extreme pressure added vegetable based cutting fluids on cutting performance in milling", *Industrial Lubrication And Tribology*, 65 (3): 181–193 (2013).
35. Dai, W., Kheireddin, B., Gao, H., and Liang, H., "Roles of nanoparticles in oil lubrication", *Tribology International*, 102: 88–98 (2016).
36. Das, A., Patel, S. K., and Das, S. R., "Performance comparison of vegetable oil based nanofluids towards machinability improvement in hard turning of HSLA steel using minimum quantity lubrication", *Mechanics & Industry*, 20 (5): 506 (2019).
37. Karahan, M., "Ham Soya Yağından Metal Kesme Sıvı Eldesi ve Karakterizasyonu", *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü* (2013).
38. Ozcan, A. E., "Minimum Miktarla Yağlama Sistemine Katılan Aşındırıcı Toz Miktarının Kesme İşlemine Etkilerinin İncelenmesi", *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü / .*

39. Saravanakumar, N., Prabu, L., Karthik, M., and Rajamanickam, A., "Experimental analysis on cutting fluid dispersed with silver nano particles", *Journal of Mechanical Science and Technology* 28 (2): 645–651 (2014).
40. Cetin, M. H. and Kabave Kilincarslan, S., 'Effects of cutting fluids with nano-silver and borax additives on milling performance of aluminium alloys', *Journal Of Manufacturing Processes*, 50: (2020).
41. Yıldırım, Ç. V., Kıvık, T., Sarıkaya, M., and Erzincanlı, F., 'Determination of MQL Parameters Contributing to Sustainable Machining in the Milling of Nickel-Base Superalloy Waspaloy', *Arabian Journal For Science And Engineering*, 42 (11): 4667–4681 (2017).
42. Buyruk, M., 'Minimum Miktarda Yağlama Yönteminin AISI 304 Paslanmaz Çeliğin İşlenebilirliğine Etkisi', *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2017).
43. Cakir, A., Kavak, N., and Seker, U., "Recycling of Cutting Fluids Used in Machining Process for Sustainable Production", *Mühendis ve Makine* 58: 15–30 (2017).
44. Bebekoğlu, S., "Havacılık Sanayinde Kullanılan, 2024 ve 7075 Alüminyum Alaşımlarının, TIG Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesi, Makro ve Mikro Yapı İle Mukavemet Özelliklerinin İncelenmesi", *İstanbul AREL Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2019).
45. Mercan, E., "5XXX-6XXX Alüminyum Alaşımlarının Otomatik MIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması", *Karabük Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü* (2018).
46. Açar, S., "AA7075-T6 Alüminyum Alaşımının Minimum Miktarda Yağlama Yöntemi İle Talaşlı İşlenebilirliğinin Araştırılması", *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2014).
47. Batuk, Ç., "AA7075 Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirilebilirliğine İşlem parametrelerinin Etkisi", *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2018).
48. Gurler, M., "Alüminyum Alaşımlarının Sürtünme Kaynak Özellikleri", *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* .
49. Kalyoncu, S., "Alüminyum Alaşımlarında Alçak Basınçlı Döküm Simülasyonu", *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2020).

50. Taban, E., "5xxx Serisi Alüminyum Alaşımlarının TIG, MIG ve Sürtünen Eleman İle Birleştirme Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi", *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
51. Özakin, B., "Alüminyum Alaşımlarının Farklı Ortamlardaki Gerilmeli Korozyon Davranışının İncelenmesi", *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2014).
52. Şahin, N., 'Kalıp Çeliklerinin Freze Tezgahında İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin, takım-talaş arayüzey sıcaklığı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlüğüne etkisinin araştırılması', *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2012).
53. Şah, A., 'Frezeleme İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne ve Kesme Enerjisine Etkisinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu', *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2018).
54. Erdin, M. E., "Hitit Üniversitesi Ders Notları" *Hitit Üniversite Mühendislik Fakültesi*, .
55. Yıldız, T., "Paslanmaz Çeliklerin Frezelenmesinde Minimum Miktarda Yağlama Etkisinin İstatistiksel Olarak Araştırılması", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2019).
56. Pagheri, P., "Frezeleme Esnasında Oluşan Titreşim, Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel Olarak Analizi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2019).
57. Eltugral, N., Simsir, H., and Karagoz, S., "Preparation of nano-silver-supported activated carbon using different ligands", *Research On Chemical Intermediates*, 42 (3): 1663–1676 (2016).
58. Malyer, E., "Examining the Residual Stress on the Burnished AA7075-T6 Aluminum Alloy", *Journal Of Polytechnic*, 0900 (3): 565–573 (2018).
59. Safari, H., Sharif, S., Izman, S., Jafari, H., and Kurniawan, D., "Cutting force and surface roughness characterization in cryogenic high-speed end milling of Ti-6Al-4V ELI", *Materials And Manufacturing Processes*, 29 (3): 350–356 (2014).
60. Cetin, M. H. and Kabave Kilincarslan, S., "Effects of cutting fluids with nano-silver and borax additives on milling performance of aluminium alloys", *Journal Of Manufacturing Processes*, 50: 170–182 (2020).

61. Chuangwen, X., Ting, X., Huaiyuan, L., Zhicheng, S., Hongbing, J., and Mandong, L., "Friction, wear, and cutting tests on 022Cr17Ni12Mo2 stainless steel under minimum quantity lubrication conditions", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 90 (1–4): 677–689 (2017).
62. Khandekar, S., Sankar, M. R., Agnihotri, V., and Ramkumar, J., "Nano-cutting fluid for enhancement of metal cutting performance", *Materials And Manufacturing Processes*, 27 (9): 963–967 (2012).
63. Kadirgama, K., Abou-El-Hossein, K. A., Mohammad, B., Al-Ani, H., and Noor, M. M., "Cutting force prediction model by FEA and RSM when machining Hastelloy C-22HS with 90° holder", *Journal Of Scientific And Industrial Research*, 67 (6): 421–427 (2008).
64. Bartarya, G. and Choudhury, S. K., "Effect of Cutting Parameters on Cutting Force and Surface Roughness During Finish Hard Turning AISI52100 Grade Steel", *Procedia CIRP*, 1 (mm): 651–656 (2012).
65. Çalişkan, H., Kurbanoglu, C., Panjan, P., and Kramar, D., "Investigation of the performance of carbide cutting tools with hard coatings in hard milling based on the response surface methodology", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 66 (5–8): 883–893 (2013).
66. Lawal, S. A., Choudhury, I. A., and Nukman, Y., "Application of vegetable oil-based metalworking fluids in machining ferrous metals - A review", *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, 52 (1): 1–12 (2012).
67. Debnath, S., Reddy, M. M., and Yi, Q. S., "Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: A review", *Journal Of Cleaner Production*, 83: 33–47 (2014).
68. Wang, Y., Li, C., Zhang, Y., Yang, M., Li, B., Jia, D., Hou, Y., and Mao, C., "Experimental evaluation of the lubrication properties of the wheel/workpiece interface in minimum quantity lubrication (MQL) grinding using different types of vegetable oils", *Journal Of Cleaner Production*, 127: 487–499 (2016).
69. Zhang, X., Li, C., Zhang, Y., Wang, Y., Li, B., Yang, M., Guo, S., Liu, G., and Zhang, N., "Lubricating property of MQL grinding of Al₂O₃/SiC mixed nanofluid with different particle sizes and microtopography analysis by cross-correlation", *Precision Engineering*, 47: 532–545 (2017).

70. Sayuti, M., Ming, O., Sarhan, A. A. D., and Hamdi, M., "Investigation on the morphology of the machined surface in end milling of aerospace AL6061-T6 for novel uses of SiO₂ nanolubrication system", *Journal Of Cleaner Production*, 66: 655–663 (2014).
71. Hosseini, S. F., Emami, M., and Sadeghi, M. H., "An experimental investigation on the effects of minimum quantity nano lubricant application in grinding process of Tungsten carbide", *Journal Of Manufacturing Processes*, 35: 244–253 (2018).
72. Sayuti, M., Sarhan, A. A. D., and Tanaka, T., "Cutting force reduction and surface quality improvement in machining of aerospace duralumin AL-2017-T4 using carbon onion nanolubrication system", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1493–1500 (2017).
73. Bork, C. A. S., Gonçalves, J. F. de S., Gomes, J. de O., and Gheller, J., 'Performance of the jatropha vegetable-base soluble cutting oil as a renewable source in the aluminum alloy 7050-T7451 milling', *CIRP Journal Of Manufacturing Science And Technology*, 7 (3): 210–221 (2014).
74. Holmberg, K., Andersson, P., and Erdemir, A., 'Global energy consumption due to friction in passenger cars', *Tribology International*, 47: 221–234 (2012).
75. Vinogradov, G. V. and Morozova, O. E., 'A study of the wear of steel under heavy loads with lubricants containing sulphur-based additives', *Wear*, 3 (4): 297–308 (1960).

ÖZGEÇMİŞ

Enes KILINÇARSLAN, 1992 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladıktan sonra 2011 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2015 yılında hak kazandığı çift anadal programı ile Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde de öğrenim görmeye başladı. 2017 yılında Makine Mühendisliği ve Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Lisans Programlarından mezun oldu. Aynı yıl başladığı Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrencisidir. Yüksek lisans tez konusu "Nano Gümüş Katkılı Bitkisel Esaslı Kesme Sıvısının Frezeleme İşlemindeki Performansının İncelenmesi" şeklindedir. 2016 yılında başladığı Kardemir A.Ş.'de çeşitli pozisyonlarda çalışmış olup halen İç Denetim Direktörlüğü'nde İç Denetçi olarak çalışmaktadır. Evlidir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kılavuzlar Toki Konutları B2/1 Daire:3 MERKEZ/KARABÜK

Tel : (539) 274 69 83

E-posta : eneskilincarslan@gmail.com