



**AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
TORNALANMASINDA TAKIM AŞINMASININ
GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE TAHMİNİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Enes ÇELİK

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ**

**AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ TORNALANMASINDA TAKIM
AŞINMASININ GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE TAHMİNİ**

Enes ÇELİK

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ

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

**KARABÜK
Ağustos 2023**

Enes ÇELİK tarafından hazırlanan “AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ TORNALANMASINDA TAKIM AŞINMASININ GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE TAHMİNİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 31/08/2023

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)
Üye : Doç. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ (KBÜ)
Üye : Doç. Dr. Nafiz YAŞAR (DPÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“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 ÇELİK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ TORNALANMASINDA TAKIM AŞINMASININ GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE TAHMİNİ

Enes ÇELİK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ

Ağustos 2023, 95 Sayfa

Bu çalışmada, AA7075-T6 alüminyum alaşımının tornalama işleminde kuru işleme yöntemi ile, değişken işleme parametrelerin (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği) talaş kaldırma süreci sonucunda meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleri, görüntü işleme teknolojisi kullanılarak takım aşınmaları, taramalı elektron mikroskobu ile takım üstü sıvanmaları ve enerji sarfiyat değerleri deneysel olarak incelemiştir. Öncelikle, CNC torna tezgâhında yapılan tornalama işleminde, kaplamalı tungstenkarbür kesici takımlar kullanılarak Marsurf PS1 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Takım aşınmaları ve talaş sıvanmalarının değerlendirilmesi için Mitutoyo marka stereo mikroskop ve EDS özellikli Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen takım aşınması değerleri görüntü işleme teknolojisi ile işlenebilmesi amacıyla Adobe Photoshop, Visual Studio 2022 ortamı ve C# dili kullanılmıştır. Çalışma sonucunda mikroskop ile elde edilen takım aşınması değerleri ile görüntü işleme teknolojisi kullanılarak elde

edilen takım aşınması değerleri görseller ve tablolar halinde yorumlanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Görüntü işleme teknolojisi kullanılarak elde edilen takım aşınması değerleri ile deneyler sonucunda elde edilen takım aşınması değerleri kıyaslanmış ve aralarında ortalama %96,28 uygunluk tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : AA7075, tornalama, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, görüntü işleme.

Bilim Kodu : 91438



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PREDICTION OF TOOL WEAR IN TURNING OF AA7075 ALUMINUM ALLOY USING IMAGE PROCESSING METHOD

Enes ÇELİK

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

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ

August 2023, 95 Pages

In this study, the surface roughness values, tool wear by using image processing technology, tool wear by using scanning electron microscopy, tool plating by using scanning electron microscopy and energy consumption values that occur as a result of the machining process with variable machining parameters (cutting speed, feed and chip depth) with dry machining method in the turning process of AA7075-T6 aluminum alloy were experimentally investigated. First of all, measurements were made with Marsurf PS1 Surface Roughness Measurement Device using coated tungsten carbide cutting tools in the turning process performed on a CNC lathe. Mitutoyo stereo microscope and Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Scanning Electron Microscope with EDS feature were used for the evaluation of tool wear and chip plating. Adobe Photoshop, Visual Studio 2022 environment and C# language were used to process the tool wear values obtained as a result of the experiments with image processing technology. As a result of the study, the tool wear values obtained with the microscope and the tool wear

values obtained using image processing technology were interpreted in visuals and tables and the results were evaluated. The tool wear values obtained using image processing technology were compared with the tool wear values obtained as a result of the experiments and an average of %96,28 conformity was determined between them.

Key Words : AA7075, turning, surface roughness, tool wear, image processing.

Science Code : 91438



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sürecinde beni destekleyen ve yanımda olan birçok kişiye en içten teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Öncelikle emekleri, yönlendirmeleri ve rehberliği ile bu tez çalışmasının ortaya çıkarılmasında tüm gücüyle yardımcı olan tez danışmanım çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ'a saygı ve şükranlarımı sunarım. Sayesinde tez çalışmamın daha iyi bir şekilde şekillenmesini sağladım.

Çalışmalarım boyunca yardımını esirgemeyen Prof. Dr. Mustafa GÜNAY'a, Doc. Dr. Mehmet BOY'a ve çalışmalarımda emeği geçen Dr. Öğr. Üyesi Hakan YILMAZ'a teşekkürü borç bilirim.

Beni hayatın her alanında destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi iletmek isterim. Her zaman yanımda oldunuz, cesaret verip motive ettiniz ve bu süreçte benim en büyük destekçilerim oldunuz.

Nişanlım Pelin ACAR'a ise, sevgisi, anlayışı ve sabrı için minnettarım. Bu zorlu dönemde beni her zaman destekledi ve güç verdi. Onun sayesinde zorlukları aşma konusundaki inancım hiç sarsılmadı.

Son olarak, çalıştığım iş yerim olan Emontek Mühendislik'e teşekkürlerimi sunmak istiyorum. İş arkadaşlarımdan anlayışı ve destekleri sayesinde bu süreci daha kolay ve keyifli bir şekilde atlattım. İş yerimde kazandığım deneyimler de tez çalışmamın zenginleşmesine katkı sağladı.

Hepinize yardımlarınız ve destekleriniz için içten teşekkürlerimi sunuyor, minnettarlığımı ifade etmek istiyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	3
2.2. AA7075 ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	7
2.3. MAKİNE ÖĞRENMESİ VE GÖRÜNTÜ İŞLEME ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	11
BÖLÜM 3	15
ALÜMİNYUM	15
3.1. ALÜMİNYUM VE ÖZELLİKLERİ.....	15
3.1.1. Alüminyum Alaşımları ve Sınıflandırılması	16
3.1.2. Dökme Alüminyum Alaşımları	17
3.1.3. Dövme Alüminyum Alaşımları	19
3.1.4. Alüminyum AA7075 Alaşımının Özellikleri	23
3.1.5. Alüminyum 7075 Alaşımının Kimyasal Özellikleri.....	23

	<u>Sayfa</u>
3.1.6. Alüminyum 7075 Alaşımının Mekanik Özellikleri.....	24
3.2.1. Talaşlı İmalat	26
3.2.2. Metal Kesme Mekanikliği.....	27
3.2.3. Yüzey Pürüzlülüğü	28
3.2.4. Kesme Parametreleri.....	31
3.2.4.1. Kesme Hızı.....	31
3.2.4.2. İlerleme Miktarı	32
3.2.4.3. Kesme Derinliği.....	32
3.2.5. Kesme Kuvvetleri	33
3.2.6. Kesici Takım.....	34
3.2.6.1. Kesici Takım Geometrisi	34
3.2.6.2. Kesici Takım Malzemeleri.....	36
3.2.6.3. Yüksek Hız Çeliği.....	36
3.2.6.4. Sementit Karbür	37
3.2.6.5. Kaplamalı Sementit Karbür	37
3.2.6.6. Sermet	38
3.2.6.7. Seramik	38
3.2.6.8. Çok Sert Kesici Takımlar.....	39
3.2.6.9. Kesici Takım Aşınması.....	39
BÖLÜM 4	41
MAKİNE ÖĞRENMESİ VE GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNOLOJİSİ.....	41
4.1. MAKİNE ÖĞRENMESİ.....	41
4.2. DERİN ÖĞRENME	43
4.3. GÖRÜNTÜ İŞLEME	43
4.3.1. Koordinat sistemi.....	44
4.3.2. Görüntü Hizalama.....	45
4.3.3. Histogram	46
4.3.4. Renkli, gri ve siyah-beyaz görüntüler.....	47
4.3.5. Görüntü filtreleme	48
4.3.6. Görüntü bölütleme (segmentasyon).....	49
4.3.7. Görüntü eşikleme.....	49

	<u>Sayfa</u>
4.3.7.1. Otsu eşikleme.....	50
4.3.8. Morfolojik Görüntü İşleme.....	50
4.3.9. Bağlantı Bileşenleri Etiketleme (Connected Component Labeling)	51
BÖLÜM 5	52
MATERYAL VE YÖNTEM	52
5.1. DENEY MALZEMESİ	52
5.1.1. İşleme Parametreleri ve Deney Düzeneği.....	53
5.2. KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU	54
5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI.....	55
5.5. TAKIM AŞINMASI VE TALAŞ SIVANMASI (BUE) ÖLÇÜMÜ	56
5.6. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM).....	56
5.7. GÖRÜNTÜ İŞLEME AŞAMALARI	56
BÖLÜM 6	57
DENEY/ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA	57
6.1. İŞLEME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE OLAN ETKİLERİ	57
6.1.1. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Olan Etkisi	57
6.1.2. İlerle miktarının Yüzey Pürüzlülüğüne Olan Etkisi	58
6.2. İŞLEME PARAMETRELERİNİN TAKIM AŞINMASINA OLAN ETKİLERİ	59
6.2.1. Kesme Hızının Takım Aşınmasına Olan Etkisi.....	59
6.2.2. İlerle miktarının Takım Aşınmasına Olan Etkisi.....	61
6.4. TAKIM AŞINMASI OLUŞAN BÖLGENİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNOLOJİSİ İLE İNCELENMESİ.....	63
6.4.1. 1. Deneyde Oluşan Takım Aşınmalarının Görüntü İşleme Teknolojisi İle İncelenmesi.....	64
6.4.2. 5. Deneyde Oluşan Takım Aşınmalarının Görüntü İşleme Teknolojisi İle İncelenmesi.....	67
6.4.3. 9. Deneyde Oluşan Takım Aşınmalarının Görüntü İşleme Teknolojisi İle İncelenmesi.....	71

6.5. TALAŞ SIVANMASI OLUŞAN BÖLGENİN TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU İLE İNCELENMESİ	74
6.5.1. 1. Deneyde Oluşan Talaş Sıvanmalarının Taramalı Elektron Mikroskopi ile İncelenmesi	75
6.5.2. 5. Deneyde Oluşan Talaş Sıvanmalarının Taramalı Elektron Mikroskopi ile İncelenmesi	77
6.5.3. 9. Deneyde Oluşan Talaş Sıvanmalarının Taramalı Elektron Mikroskopi ile İncelenmesi	79
6.6. İŞLEME PARAMETRELERİNİN ENERJİ SARFIYATINA OLAN ETKİSİ	82
6.6.1. Kesme Hızının Enerji Sarfiyatına Olan Etkisi.....	82
6.6.2. İlerleme Miktarının Enerji Sarfiyatına Olan Etkisi	83
BÖLÜM 7	85
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
SONUÇLAR	85
ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Dik Kesme Modeli	27
Şekil 3.2. Plastik Deformasyon Bölgeleri	28
Şekil 3.3. Pürüzlülüğü Tanımlayan Kullanılan Nominal Yüzeyden Sapmalar	30
Şekil 3.4. Tornalama İşleminde Kesme Kuvvetleri	33
Şekil 3.5. Kesici Takım Geometrisi	36
Şekil 4.1. Yapay Zeka, Makine Öğrenimi Ve Derin Öğrenme	42
Şekil 4.2. Görüntü Koordinat Sistemi Ve Piksel Gösterimi	45
Şekil 4.3. Görüntü Histogram Grafiği	46
Şekil 4.4. Renklerine Göre Görüntüler A) Renkli (Rgb) B) Gri C) Siyah-Beyaz....	48
Şekil 5.1. Deney Numunesinin Boyutları.....	53
Şekil 5.2. Kesici Takım Geometrisi Ve Boyutları.....	54
Şekil 5.3. Kullanılan Takım Tutucu Özellikleri	54
Şekil 5.4. Kullanılan Takım Tezgahı.....	55
Şekil 6.1. Sabit İlerleme Miktarı İle Kuru İşleme Şartlarında Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	57
Şekil 6.2. Sabit Kesme Hızı İle Kuru İşleme Şartlarında İlerleme Miktarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	58
Şekil 6.3. Sabit İlerleme Miktarı (0.20 mm/dev) İle Kuru İşleme Şartlarında Kesme Hızının Takım Aşınmasına Etkisi	60
Şekil 6.4. Sabit İlerleme Miktarı (0.30 mm/dev) İle Kuru İşleme Şartlarında Kesme Hızının Takım Aşınmasına Etkisi	60
Şekil 6.5. Sabit İlerleme Miktarı (0.40 mm/dev) İle Kuru İşleme Şartlarında Kesme Hızının Takım Aşınmasına Etkisi	61
Şekil 6.6. Sabit Kesme Hızı (300 m/dak) İle Kuru İşleme Şartlarında İlerleme Miktarının Takım Aşınmasına Etkisi	62
Şekil 6.7. Sabit Kesme Hızı (450 m/dak) İle Kuru İşleme Şartlarında İlerleme Miktarının Takım Aşınmasına Etkisi	62

Şekil 6.8. Sabit Kesme Hızı (600 m/dak) İle Kuru İşleme Şartlarında İlerleme Miktarının Takım Aşınmasına Etkisi.....	63
Şekil 6.9. Deney 1'e Ait Takım Aşınması Değerleri a) V 300 m/dak - f 0,20 mm/dev - L 800 mm b) V 300 m/dak - f 0,20 mm/dev - L 1600mm c) V 300 m/dak - f 0,20 mm/dev - L 2400 mm d) V 300 m/dak - f 0,20 mm/dev - L 3200 mm e) V 300 m/dak - f 0,20 mm/dev - L 4000 mm.....	64
Şekil 6.10. Deney 5'e Ait Takım Aşınması Değerleri a) V 450 m/dak - f 0,30 mm/dev - L 800 mm b) V 450 m/dak - f 0,30 mm/dev - L 1600 mm c) V 450 m/dak - f 0,30 mm/dev - L 2400 mm d) V 450 m/dak - f 0,30 mm/dev - L 3200 mm e) V 450 m/dak - f 0,30 mm/dev - L 4000 mm.....	68
Şekil 6.11. Deney 5'e Ait Takım Aşınması Değerleri a) V 600 m/dak - f 0,40 mm/dev - L 800 mm b) V 600 m/dak - f 0,40 mm/dev - L 1600 mm c) V 600 m/dak - f 0,40 mm/dev - L 2400 mm d) V 600 m/dak - f 0,40 mm/dev - L 3200 mm e) V 600 m/dak - f 0,40 mm/dev - L 4000 mm.....	71
Şekil 6.12. Deney 1'e Ait Talaş Sıvanması Bölgeleri (V 300 m/dak - f 0,20 mm/dev - L 4000 mm).....	75
Şekil 6.13. Deney 1'e Ait Takım Üzerinde Sıvanma Olabilecek Bölgeler.....	75
Şekil 6.14. Deney 1'e Ait Takım Kesme Ucu Yüzeyinin Element Dağılımı.....	76
Şekil 6.15. Deney 5'e Ait Talaş Sıvanması Bölgeleri (V 450 m/dak - f 0,30 mm/dev - L 4000 mm).....	77
Şekil 6.16. Deney 5'e Ait Takım Üzerinde Sıvanma Olabilecek Bölgeler.....	78
Şekil 6.17. Deney 5'e Ait Takım Kesme Ucu Yüzeyinin Element Dağılımı.....	79
Şekil 6.18. Deney 9'a Ait Talaş Sıvanması Bölgeleri (V 600 m/dak - f 0,40 mm/dev - L 4000 mm).....	80
Şekil 6.19. Deney 9'a Ait Takım Üzerinde Sıvanma Olabilecek Bölgeler.....	80
Şekil 6.20. Deney 9'a Ait Takım Kesme Ucu Yüzeyinin Element Dağılımı.....	81
Şekil 6.21. Sabit İlerleme Miktarı İle Kuru İşleme Şartlarında Kesme Hızının Enerji Sarfiyatına Olan Etkisi	82
Şekil 6.22. Sabit Kesme Hızı İle Kuru İşleme Şartlarında İlerleme Miktarının Enerji Sarfiyatına Olan Etkisi	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Saf Alüminyumun Özellikleri.....	16
Çizelge 3.2. Döküm Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	18
Çizelge 3.3. Dökme Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	19
Çizelge 3.4. AA7075 Alüminyum Alaşımı Kimyasal Bileşimi (% Ağırlık)	23
Çizelge 3.5. AA7075 Alüminyum Alaşımını Fiziksel Özellikleri.....	24
Çizelge 3.6. AA7075 Alüminyum Alaşımını Mekanik Özellikleri	24
Çizelge 5.1. Deney Numunesinin Kimyasal Bileşimi Ve Fiziksel Özellikleri	53
Çizelge 6.1. Deney 1 Yakınlık Oranları.....	67
Çizelge 6.2. Deney 5 Yakınlık Oranları.....	71
Çizelge 6.3. Deney 9 Yakınlık Oranları.....	74
Çizelge 6.4. Deney 1 Numaralandırılmış Bölgelerin Yüzdesele Element Değerleri... 76	76
Çizelge 6.5. Deney 5 Numaralandırılmış Bölgelerin Yüzdesele Element Değerleri... 78	78
Çizelge 6.6. Deney 9 Numaralandırılmış Bölgelerin Yüzdesele Element Değerleri... 81	81

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
Cr	: Krom
Si	: Silisyum
Mg	: Magnezyum
O	: Oksijen
V	: Vanadyum
Zn	: Çinko
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Ti	: Titanyum
μm	: Mikrometre
mm	: Milimetre
m	: Metre
F	: Kuvvet
V	: Kesme Hızı
f	: İlerleme Miktarı
Ra	: Yüzey Pürüzlülüğü
Mpa	: Çekme Dayanımı
W/mK	: Termal iletkenlik
W	: Watt (Enerji)
Φ	: Kayma Düzlem Açısı

KISALTMALAR

DRY : Kuru Ortam

CNC : Bilgisayar Destekli İşleme

HSS : High Speed Steel (Hız çeliği)

DoE : Deney Tasarımı

TAM : Termal Destekli İşleme

BUE : Yığılma kenar oluşumu

RMS : Ortalama

PVD : Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Salınımı)

CVD : Chemical Vapor Deposition (Kimyasal Buhar Salınımı)

EDS : Elektronik Denetleme Sistemi

SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskopu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin hız kazandığı günümüzde, üretim sektörü önemli bir dönüşüm süreci yaşamaktadır. Bu dönüşümün merkezinde malzeme işleme yöntemleri ve bununla birlikte takım aşınması tahmini gibi konular yer almaktadır. Özellikle alüminyum alaşımları, hafif yapısı ve yüksek mukavemeti nedeniyle birçok endüstriyel uygulamada tercih edilmektedir. Bu bağlamda, alüminyum alaşımı AA7075'in tornalanmasında takım aşınmasının etkili bir şekilde tahmin edilmesi, üretim süreçlerinin verimliliğini ve kalitesini artırmak adına büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışması, AA7075 alüminyum alaşımının tornalanmasında takım aşınmasının görüntü işleme yöntemi ile tahmin edilmesi amacıyla gerçekleştirilmektedir. Tornalama işlemlerinde takım aşınmasının belirlenmesi, iş parçasının kalitesini ve üretim süreçlerinin etkinliğini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle, kesme parametrelerinin ve işleme koşullarının takım aşınmasına etkilerinin derinlemesine anlaşılması ve tahmin edilmesi, endüstriyel uygulamalarda büyük avantajlar sağlayabilir.

Bu çalışmanın temel hedefleri arasında, görüntü işleme tekniklerinin kullanılmasıyla elde edilen kesme yüzeyi görüntülerinden takım aşınmasının tahmin edilmesi yer almaktadır. Bu doğrultuda, farklı kesme parametreleri altında elde edilen görüntüler üzerinde detaylı analizler yapılacak ve bu analizler sonucunda takım aşınmasının belirlenmesi için bir model geliştirilecektir. Geliştirilen model, endüstriyel uygulamalarda kesme parametrelerinin optimize edilmesi ve üretim süreçlerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılabilir.

Bu tez çalışması, alüminyum alaşımlarının tornalanmasında takım aşınması tahminine yönelik görüntü işleme yöntemlerinin potansiyelini ortaya koymayı hedeflemektedir. Elde edilecek sonuçlar, üretim sektöründe kesme işlemlerinin daha etkin ve verimli bir

şekilde yönetilmesine katkı sağlayabilecektir. Ayrıca, çalışmanın daha geniş bir perspektifte malzeme işleme yöntemlerinin geliştirilmesine ve optimize edilmesine dair literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.



BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Dahlman ve arkadaşları, sert tornalama sırasında talaş açısı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin kalıntı gerilmeler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sabit kesme hızıyla yapılan deneylerde, ilerleme miktarının artmasıyla basma gerilmelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Talaş açısının artmasıyla maksimum gerilme noktasının malzemenin iç kısmına doğru hareket ettiği gözlenmiştir. Ayrıca, kesme derinliğinin kalıntı gerilmeler üzerinde bir etkisi olmadığı vurgulanmıştır [1].

Sahoo ve arkadaşları, kaplama bulunmayan ve katman sayısı fazla kaplamalı karbür kesici takımlar kullanarak AISI 4340 çeliğinin sert tornalama işlenebilirliğini incelemiştir. Deneylerden çıkarılan kuvvetler değerlendirildiğinde, TiN ve ZrCN kaplamalı kesici takımlara göre üç boyutlu (Fr, Ff, Fc) kesme kuvvetlerinin kaplama bulunmayan kesici takımlar ile yapılan deneyler sonucunda yüksek olduğu gözlenmiştir. En büyük kuvvetin radyal kuvvet (Fr) olduğu belirtilmiştir. Kaplamalı kesici takımlarla yapılan deneyler incelendiğinde, TiN kaplamalı kesici takımın ZrCN kaplamalı takıma göre daha yüksek kesme kuvvetleri ürettiği belirlenmiştir [2].

Chou ve Song, AISI 52100 çeliğinin sert tornalama işleminde kesici uç yarıçapının etkilerini araştırmış ve kesici uç yarıçap değerinin artması ile yüzey pürüzlüğü değeri azalmıştır, ancak fazla özgül kesme enerjisi gerektiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, kesici uç yarıçapının artmasıyla kesilmemiş talaş kalınlığının azaldığına dikkat çekmişlerdir [3].

Chinchanikar ve Choudhury, farklı sertliklere sahip AISI 4340 çeliğinin kaplamalı karbür kesici takımla tornalanması sırasında malzeme sertliği ve kesme

parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. 35 ve 45 HRC sertliklerinde gerçekleştirilen deneylerde malzemenin sertliğinin artması, kesme kuvvetlerinde önemli bir artışa neden olmuştur. Ayrıca, kesme derinliğinin ve ilerleme miktarının artmasıyla kesme kuvvetlerinde bir artış olduğu, ancak kesme hızındaki artışın kesme kuvvetlerini azalttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, kesme parametrelerinin kuvvetler üzerinde bulunan etkisi oransal olarak değerlendirildiğinde, kesme derinliğinin en büyük etkiye sahip olduğu (%60-70), ilerleme miktarının (%25-30) ve kesme hızının (%4-5) ise bunu takip ettiği belirtilmiştir [4].

Attanasio ve arkadaşları, AISI 52100 çeliğin sert tornalanması sırasında beyaz ve koyu tabaka oluşumunun takım aşınmasına etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, bu oluşumun takım aşınmasına etkisinde kesme hızının belirleyici bir parametre olduğu bulunmuştur. Ayrıca, beyaz ve koyu tabakaların kalınlığının kesici takımın yan yüzey aşınmasını artırdığı belirtilmiştir [5].

Guddat ve ekibi, 58-62 HRC sertlikteki AISI 52100 rulman çeliğinin PCBN kesici takım ile sert tornalama sırasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğü üstündeki sonuçlarını incelemişlerdir. Yapılan araştırmada, ilerleme miktarının kesme kuvvetleri üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu ve geleneksel kesici uç yerine silici uç kullanıldığında ilerleme ve radyal kuvvetlerin arttığı, ancak esas kesme kuvvetinde önemli bir değişimin olmadığı gözlemlenmiştir [6].

Abukhshim ve arkadaşları, yüksek dayanımlı AISI/SAE-4140 çeliğinin yüksek hızda tornalanmasında oluşan ısı dağılımını araştırmışlardır. Metallerin yüksek kesme hızlarında işlenmesiyle, iş parçasındaki ısıl yumuşamanın arttığı ve bu nedenle kesme kuvvetlerinin azaldığı belirtilmiştir. Bu bilgiye dayanarak yüksek dayanımlı alaşım çeliğin yüksek hızda tornalanması sırasında kesici takımdaki ısı dağılım miktarının tahmin edilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Takım talaş arayüzeyinde kesici takıma iletilen ikinci ısı kaynağı oranının kesme hızıyla önemli ölçüde değiştiği gözlemlenmiştir [7].

Suresh ve arkadaşları, AISI 4340 çeliğin sert tornalanmasında kaplamalı karbür kesici takım kullanımını incelemişlerdir. Çalışmada, sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin farklı

kesme parametreleriyle sert tornalanmasında kesme kuvvetlerinin değişimini araştırmışlardır. Kesme kuvvetinin önce ilerleme hızı ve kesme derinliğiyle arttığı, daha sonra kesme hızının artışı ile azalma görülmüştür. Kuvvetlerde gözlemlenen azalma miktarı muhtemel kayma düzlemindeki sıcaklık artışı sebebiyle meydana geldiği vurgulanmıştır [8].

Hong Yan ve arkadaşları, sert tornalama işleminde AISI H13 kalıp çeliğinin kayma gerilmesini incelemişlerdir. H13 kalıp çeliğini sert tornalama işleminde kayma gerilmesini belirlemek için bir model geliştirmişlerdir. Bu model, gerginlik, gerginlik oranı ve ısıl yumuşatma etkilerini birleştiren Johnson-Cook modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Önerilen model, tahmin edilen çip morfolojileri ve kesme kuvvetleri açısından deneysel sonuçlarla ve yayınlanmış sonuçlarla uyumlu bulunmuştur. Sonuç olarak, farklı sertliklerde işlenen AISI H13 sıcak iş takım çeliğine ait aşınma gerilmesini ve deformasyon tepkisini tahmin etmek için bu modelin kullanılabileceği belirtilmiştir [9].

Oliviera ve arkadaşları, 56 HRC sertlikteki AISI 4340 çeliğinin PCBN ve whisker takviyeli kesici takımlarla sürekli ve kesikli tornalama işlemlerinde takım ömrü ve termal kararlılık değerlerini incelemişlerdir. En iyi takım ömrü sürekli tornalama ve PCBN kesici takımla elde edilmiştir. Ayrıca, sürekli ve kesikli tornalamada en iyi termal kararlılığın PCBN takımla olduğu gözlemlenmiştir [10].

Grzesik ve Zak, Al₂O₃-TiC seramik uçları kullanarak, düşük alaşımlı 41Cr4 çeliğinin sert tornalanması ve yüzey modifikasyonu ile parlatılması üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir. En düşük yüzey kalitesini elde etmek için farklı kesme parametrelerini denemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, yüksek kalitede sertleştirilmiş parçalar üretmek isteyen geleneksel tornalama ve taşlama işlemlerine alternatif bir seçenek olarak literatüre girmiştir. Bilyalı parlatma işleminde yüzey pürüzlülüğünün iyileşme yüzdesinin yaklaşık %40'tan %95'e kadar çıktığını belirtmişlerdir [11].

Kurt ve şeker, AISI 52100 çeliğinin bitirme tornalama işleminde PCBN kesici uç kullanımının, pah açısının kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkilerini

araştırmışlardır. Kesme deneyleri ve sonlu elemanlar analizi verileri, pah açısının kesme kuvveti ve kesme gerilmeleri üstünde kayda değer etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Pah açısının artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı, özellikle radyal kuvvetin diğer kuvvetlere göre daha fazla arttığı gözlemlenmiştir [12].

Kundrak ve arkadaşları, günümüzde taşlama yönteminin yerini alan sert tornalamanın hassasiyetine odaklanarak, sertleştirilmiş AISI 5115 çeliğinin PCBN kesici takımlarla işlenmesi üzerine deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Genel olarak, sert tornalama sonrasında işlenen parçalarda oluşabilecek dairesellik, silindiriklik ve paralellik hatalarını değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, dairesellik hatasının sert tornalamanın hassasiyetinde en kritik tolerans olduğuna karar vermişlerdir. En son, sert tornalamanın taşlamaya kıyasla ortalama 4-5 kata kadar daha hassas yüzeyler elde ettiği gözlemlenmiştir. [13].

Bouacha ve arkadaşları, 64 HRC sertliğindeki AISI 52100 rulman çeliğinin CBN kesici takım ile sert tornalanması sırasında yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetlerini analiz etmişlerdir. Çalışmanın amacı, kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme miktarı gibi kesme parametrelerinin bu koşullar altında yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetini nasıl etkilediğini araştırmaktır. Elde edilen sonuçlara göre, kesme kuvveti üzerinde işlenen malzemenin sertliğinin kesme hızından daha kayda değer etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, ilerleme miktarı ve kesme derinliği kesme kuvvetini artırırken, kesme hızının kesme kuvvetini azalttığı gözlemlenmiştir. Son olarak, kesme derinliğinin kesme kuvvetini etkileyen en önemli parametre olduğu gözlemlenmiştir [14].

Remadna ve Rigal, 52 HRC sertlikteki alaşımlı bir çeliğin CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme parametrelerinin takım aşınması ve kesme kuvveti üstündeki etkilerini araştırmıştır. Deney sonuçları, takım ömrü, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takımda oluşan aşınma gibi özelliklerin incelenmiştir. Kesme kuvvetinin kesme mesafesi ve takım yan aşınmasıyla arttığı ve CBN kesici takımın ömrünün kesme geometrisiyle direkt ilişkili olduğu gözlemlenmiştir [15].

2.2. AA7075 ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Fergani ve arkadaşları, AA7075-T6 alüminyum alaşımının 40 mm çaplı malzemesini kuru şartlarda tornalama işlemi yapmışlardır. PVD kaplamalı bir kübik bor nitrat (CBN) kesici uç kullanarak 0,1 mm, 1 mm ve 2 mm kesme derinliği verilerek, 0,38 mm/dev ilerleme miktarında işleme gerçekleştirilmiştir. Kesme işlemleri sırasında malzemenin kesme yüzeyinde oluşan ısıl değişikliklerin yüzey altı tane boyutu ve sertliği üstündeki etkilerini modelleme yaklaşımıyla analiz edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, kesme derinliğinin artmasıyla işleme bölgesindeki sıcaklığın da arttığı saptanmıştır. Artan sıcaklığın malzeme içerisinde tane büyümesine yol açtığı ve tane büyümesinin de malzemenin yumuşamasına ve sertliğinin azalmasına neden olduğu gözlenmiştir. Bu çalışma, işleme bölgesindeki ısıl şartların işlenen malzemenin yüzey altı yapısına etkisinin önemli olduğunu ortaya koymuştur [16].

Şahinoğlu ve arkadaşları, kuru işleme şartlarında CNC Torna tezgahında Ø50×100 mm ölçülerindeki AA7075 alüminyum alaşımını kaplamalı sement karbür kesici uçlar kullanarak tornalamışlardır. Dört farklı ilerleme miktarını, kesme hızı ve kesme derinliği kullanarak yapılan deneylerde kesme hızı değerleri olarak 50-75-100-125 m/dak, ilerleme hızı olarak 0,1-0,2-0,3-0,4 mm/dev ve kesme derinliği olarak da 1-2-2,5-3 mm değerleri kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, iş mili titreşimi ile yüzey pürüzlülüğü arasında bir ilişki olduğu ve artan iş mili titreşimiyle yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirlenmiştir. En düşük işleme parametrelerinde iş mili titreşimi ve yüzey pürüzlülüğünün minimum olduğu gözlemlenmiştir. İlerleme oranının iş mili titreşimi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin en önemli parametre olduğu, kesme hızı ve kesme derinliğinin ise iş mili titreşimi ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir [17].

Ağar, yaptığı çalışmada AA 7075-T6 alüminyum alaşımını kuru, geleneksel soğutma ve MQL (Minimum Quantity Lubrication) soğutma şartlarında tornalama işlemine tabi tutmuş ve bu şartların yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkilerini incelemiştir. Deneylerde K10 kalite CCGT 120404FN-ALU ISO standart numaralı değiştirilebilir karbür kesici uç kullanılmıştır. Geleneksel soğutmada ester yağından elde edilen

sentetik yağ kullanılırken, MQL yağlama sisteminde ise 20 ml/saat debisine sahip yağlama sistemi tercih edilmiştir. Kesme parametreleri olarak kesme hızı olarak 125-150-175 m/dak, ilerleme miktarı olarak 0,1-0,15-0,2 mm/dev ve kesme derinliği olarak da 0,75-1-1,25 mm değerleri seçilmiştir. Deneylerin sonucunda, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde iyileşmeler gözlenmiştir. En iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri, kuru, geleneksel soğutma ve MQL şartlarında sırasıyla 175 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme miktarını ve 0,75 mm kesme derinliği kullanılarak elde edilmiştir. Bu şartlarda ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise sırasıyla (kuru-geleneksel-MQL) 1,564 μm , 1,073 μm ve 0,962 μm olarak bulunmuştur. İlerleme oranı ve kesme derinliğinin artışı ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla kesici takımın sıcaklığının arttığı ve takımın daha fazla aşındığı belirlenmiştir. En düşük takım aşınmasının ise MQL şartlarında gerçekleştiği saptanmıştır [18].

Keong Ng ve arkadaşları, AA7075-T6 alüminyum alaşımını mikro ve nano ölçeklerde tek kristal elmas kesici ile işlemişlerdir. Bu işlemlerde 10 nm ila 2 μm aralığında değişen kesme kalınlıklarıyla 10 m/dak ve 150 m/dak kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, talaş şekli ve spesifik kesme enerjisi gibi parametreleri incelemişlerdir. Ayrıca bu parametreleri geleneksel (makro) işleme şartlarında elde edilen verilerle karşılaştırmışlardır. Çalışmada, kesme hızının 700 nm'den küçük deforme olmamış talaş kalınlıklarında kesme kuvvetleri üstünde göz ardı edilebilir etkisi olduğu belirlenmiştir. Deforme olmamış talaş kalınlığı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, genel olarak kesme kuvvetlerinin ise deforme olmamış talaş kalınlığıyla arttığı sonucuna varılmıştır [19].

Karabulut ve arkadaşları, AA 7075 alüminyum alaşımını farklı parametrelerde frezeleme yaparak kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme miktarının takım aşınması ve kesme kuvvetlerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında kullanılan parametreler, kesme derinliği 0,8 mm, 1 mm ve 1,3 mm; kesme hızı 170 m/dak, 220 m/dak ve 290 m/dak; ilerleme miktarı ise 0,08 mm/dev, 0,1 mm/dev ve 0,13 mm/dev olarak seçilmiştir. Bu çalışmada, kesme hızının belirli bir eşiğe kadar kesme kuvvetlerine kayda değer bir etkisinin olmadığı, ilerleme miktarı ve kesme

derinliğindeki artışın kesme kuvvetlerini orantılı bir şekilde artırdığı, ancak kesme derinliğindeki artışın ilerleme miktarındaki artışa kıyasla kesme kuvvetlerini daha fazla artırdığı belirlenmiştir. Aynı çalışmada, ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliğinin takım aşınmasına etkisinde ise kesme hızındaki değişimlerin (çok düşük kesme hızlarında BUE oluşumu hariç) takım aşınmasına önemli bir etkisinin olmadığı, ilerleme miktarı ve kesme hızındaki artışların ise takım aşınmasını anlamlı bir şekilde artırdığı gözlemlenmiştir. En düşük kesme kuvvetleri ve takım aşınmasına ise 170 m/dak kesme hızı, 0,08 mm/dev ilerleme miktarı ve 0,8 mm kesme derinliği kullanıldığında ulaşıldığı gözlemlenmiştir [20].

Rotella, AA 7075-T6 alüminyum alaşımını dört farklı soğutma yöntemiyle ve farklı parametrelerle tornalamış ve bu parametrelerin malzemenin yorulma dayanımına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Deneylerini kaplamasız kesici uç ile 20 mm çapındaki AA 7075-T6 alüminyum çubuklar üzerinde gerçekleştirmiştir. Deneylerde kullanılan soğutma yöntemleri kuru şartlar, kriyojenik soğutma, 60 ml/saat debili MQL soğutma ve 60 ml/saat debili basınçlı hava soğutmasıdır. Kesme parametreleri olarak ise 0,15 mm/dev sabit ilerleme, 0,05 mm sabit kesme derinliği ve 90 m/dak, 120 m/dak, 150 m/dak olmak üzere üç farklı kesme hızı kullanılmıştır. Deneylerin sonucunda, kriyojenik soğutma yöntemi ile gerçekleştirilen yüksek hızlı işleme parametrelerinin daha güvenilir ve uzun ömürlü ürünlerin elde edilmesini sağladığı ve yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlarla, en yüksek kesme hızının aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü ve malzeme dayanımı açısından en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından ise (en iyi sonuçtan en kötü sonuca doğru sıralama) kriyojenik soğutma, MQL yağlama, basınçlı hava ve kuru şartlarında olduğu gözlemlenmiştir. En az yüzey pürüzlülüğü kriyojenik soğutma şartlarında, tüm deneylerde en fazla yüzey pürüzlülüğü kuru işleme şartlarında görülmüştür [21].

Jomaa ve arkadaşları, AA7075-T651 alüminyum alaşımını kuru şartlarda tornalama, frezeleme ve delme işlemlerine tabi tutmuşlardır. Bu işlemlerde kullanılan parametreler, 0,05 mm/dev ile 0,025 mm/dev ilerleme oranları, 300 m/dak ile 1000 m/dak kesme hızları ve 2 mm kesme derinliğidir. Bu inceleme sonucunda ilerleme hızındaki artışın kesici takımda BUE oluşumunu artırdığı, kesme hızındaki artışın ise

BUE oluşumunu azalttığı gözlemlenmiştir. Aynı çalışmada ilerleme hızının azalmasıyla birlikte kesme hızının hem aksel hem de radyal kesme kuvvetlerine etkisinin arttığı; ayrıca kesme hızının artmasıyla radyal kesme kuvvetlerinin, kesme hızının azalmasıyla aksel kesme kuvvetlerinin arttığı sonucuna varılmıştır [22].

Cagan ve arkadaşları, AA 7075-T6 alüminyum alaşımını kuru işleme ve MQL (En Az Miktar Yağlama) ile işleme şartlarında tornalamış ve çıkan talaş geometrilerini ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Deneylerini kaplamasız sert metal uç ile 48,5 mm çapında ve 350 mm boyunda AA 7075-T6 malzeme üzerinde gerçekleştiren ekip, MQL yağlama deneylerinde 200 ml/saat debiye sahip bir püskürtücü ve Bortex ALM-700 kesme yağı kullanmıştır. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri, 400 m/dak, 450 m/dak ve 500 m/dak kesme hızları, 1 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/dev ilerleme oranlarıdır. Deneylerin sonucunda, MQL ile yapılan tornalama deneylerinde elde edilen iş parçasının yüzey kalitesinin kuru ortamdaki ortama göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Hem kuru işleme hem de MQL işleme şartlarında farklı kesme hızlarında gerçekleştirilen deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir. MQL ile tornalama işleminden sonra elde edilen talaşların kuru ortama göre daha uzun bir geometriye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, MQL ile işleme sırasında üretilen ısının talaşla daha kolay tahliye edildiğini göstermektedir. MQL işleme şartlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin kuru ortamlardan %15 daha düşük olduğu ve MQL'nin çevre dostu, yüzey kalitesini iyileştirmesini sağlayan ve güvenilir bir işleme ortamı olduğu bulunmuştur [23].

Kuram ve Özçelik tarafından yapılan deneyde, AA 7075 malzemesi üzerinde mikro frezeleme işlemleri uygulanmış ve takım aşınması ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki etkiler incelenmiştir. Deneyler, CNC Freze tezgahında Ø800 µm çapında iki ağızlı küresel uçlu bir freze çakısı kullanılarak 15×10×20 mm boyutlarındaki AA 7075 alüminyum alaşımını üstünde gerçekleştirilmiştir. İşleme parametreleri, 10.000-11.000-12.000 devir/dakika hızları, 0,5-1-1,5 µm/diş ilerleme değerleri ve 50-75-100 µm talaş derinlikleri olmak üzere farklı değerler uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre, alüminyum malzemenin yüksek sünekliği nedeniyle iş parçası yüzeylerinde plastik deformasyon izleri gözlemlenmiştir. Takım aşınmasını en aza indirmek için en uygun değerlerin 10.000 devir/dakika iş mili hızı, 0,5 µm/diş ilerleme değeri ve 50 µm kesme

derinliği olduğu gözlemlenmiştir. Öte yandan iş mili hızı ve kesme derinliğinin artmasıyla takım aşınmasının arttığı gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için ise optimum parametrelerin 12.000 devir/dakika iş mili hızı, 0,5 µm/diş ilerleme değeri ve 50 µm kesme derinliği olduğu bulunmuştur. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün, iş mili hızının artmasıyla azaldığı, diş başına ilerleme değeri ve kesme derinliğinin artmasıyla ise arttığı gözlemlenmiştir [24].

Tosun ve Hüseyinoğlu, AA7075-T6 malzemesini MQL ve geleneksel soğutma yöntemiyle CNC Freze tezgahında işleyerek yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Geleneksel soğutma sisteminde 1000 ml/dak debiye sahip bir soğutma sisteminden, MQL soğutma sisteminde ise 5 ml/dak debiye sahip bir bor yağı-su solüsyonlu soğutma tertibatından faydalanılmıştır. Deneyler, 10 mm çapında ve 30° helis açısına sahip WC-Co semente karbür, HSS ve TiCN kaplı parmak freze çakıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesme parametreleri olarak iş mili hızı olarak 260-780-1330 devir/dakika, ilerleme hızı olarak 20-40-80 mm/dakika ve kesme derinliği olarak da 1 mm değerleri seçilmiştir. Deney sonucunda hem MQL hem de geleneksel soğutma koşullarında, iş mili hızının artması ve ilerleme hızının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı belirlenmiştir. Geleneksel soğutma yöntemiyle işlenen parçalarda, yüksek iş mili hızının daha yüksek yüzey pürüzlülüğüne neden olduğu, MQL soğutma ile işlenen parçalarda ise iş mili hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gözlemlenmiştir [25].

2.3. MAKİNE ÖĞRENMESİ VE GÖRÜNTÜ İŞLEME ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kannan ve Kumar, cıvata ve somun üretiminde hatalı üretilen parçaların tespitini sağlamak üzere görüntü işleme teknolojisini kullanarak bir sistem tasarlanmıştır. Paketleme ve montaj hattından önce konveyör sistemi üzerine yerleştirilen kamera aracılığıyla cıvata ve somunların görüntüleri kaydedilmiştir. Görüntüler ve arka plan ayrıştırılarak ayırt edicilik sağlayan boyut özellikleri (uzunluk, genişlik, cıvata başının boyutu ve Şekil özellikleri) hesaplanmıştır. Elde edilen veriler, referans görüntüyle karşılaştırılarak hatalı ürünler bulunmuştur. Sistem, her bir hatalı ürünü tespit ettiğinde selenoid valflere sinyal gönderilerek, platformu eğererek ve hatalı ürünü konveyör

sistemi üzerinden uzaklaştırmaktadır. Buna benzer çalışmalar meyve, sebze ve tahıl ürünleri için de gerçekleştirilmiştir. Ürünlerin fiziksel özellikleri (renk, boy, genişlik, çap, miktar) sayısal ve görsel özellikleri kullanılarak uygun olmayan ürünler saptanmıştır. Ayrıca ürünlerin boyutlarına göre sınıflandırılmaları yapılmış ve özellikle büyük partilerde kaç farklı türde ürün olduğu ve bunların adetleri kolaylıkla tespit edilmiştir [26].

Xu ve arkadaşları, CNC tezgahında profil taşlama işlemi için görüntü işleme teknolojisi tabanlı geometrik kontrol projesi gerçekleştirmişlerdir. Taşlama yapılmadan önce, tezgaha bağlanmış kamera vasıtasıyla iş parçasının görüntüsü kaydedilmiş ve bilgisayar yardımıyla görüntü işleme teknolojisi kullanılarak kesit geometrisi çıkarılmıştır. Bu yöntem vasıtasıyla kesici kenar görüntüsü de kaydedilmiştir. Taşlama sırasında, görüntüden elde edilen değerler referans görüntüyle karşılaştırılarak profilde oluşan hataları ve kesici kenarda oluşan aşınmalar değerlendirilmiştir. Telafi etmek amacıyla parametreler hesaplanmış ve standart profil geometrisi elde edilmiştir [27].

Vargas ve Camacho, metal ve mekanik parçaların fiziksel özelliklerini tanımlamak üzere "kompleks noktalar" adında yeni bir piksel ölçümleme yöntemi önerisinde bulunmuşlardır. Başta milimetrik vidalar benzeri ufak hatalar ile farklara sahip olan mekanik parçalarda, klasik piksel hesaplama yöntemleri, hassas ölçümler yapamadığı için gerçek sonuçlar elde etmekte yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, geometrik hesaplama hatasına neden olan bu yaklaşımın yerine, malzemenin sınır bölgesine kadar ölçüm yapmak amacıyla kutupsal bir piksel bölgesinin kendi içinde toplamlarının alındığı bir yöntem önerilmiştir. Bu öneri, dört değişik standart vida grubu için uygulanmış ve etkili ölçüm sonuçları bulunmuştur [28].

Kar ve arkadaşları, 718-Inconel nikel/krom karışımının frezelenmesi esnasında iş parçası kalitesini etkileyen yüzey pürüzlülüğü, talaş kaldırma oranı ve aksel kesme kuvveti değişkenlerinin iyileştirilmesini sağlayıcı karmaşık bir mantık modellemesi önerisinde bulunmuşlardır. Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğünün tespit etmek için görüntü işleme teknolojisi kullanmışlardır. İşleme sonrasında, yüzeyden elde edilen görüntüler üzerinde histogram analizi yapılarak, görüntülerdeki yüzey

değişikliklerinin renk farklılıklarını tespit etmişlerdir. Bu renk farklılıklarına dayanarak yüzey pürüzlülük verilerini elde etmişlerdir. Sonuç olarak, en az yüzey pürüzlülüğü elde etmek için gereken işleme parametrelerini belirlemişlerdir [29].

Lins ve arkadaşları, Bilgisayarlı Sayısal denetim delme tezgahında görüntü işleme teknolojisi ile takımda oluşan aşınmaları belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, delme işlemi esnasında takımda oluşan aşınma ve bundan kaynaklanan yüzeyde oluşan form hatalarının önceden belirlenmesini sağlayacak model oluşturmuştur. ISO-3685 standardında, bir takımın kesim ağzı üzerinde aşınma bölgesinin boyutu 0,3 mm'ye dek olabilir ve bu durumda takımın hala kullanılabilir anlamında gelmektedir. Çalışma kapsamında, takımdan elde edilen görüntüler üzerinde kesici ağızda oluşan ve düz kenardan sapma şeklinde oluşmuş aşınma alanları bulunmuştur. Bu bölgelerin genişliği kenar belirleme yöntemiyle hesaplanmıştır. Alan 0,3 mm ulaşınca takım değiştirilerek delik delme başarımı artmış ayrıca yüzey kalitesi de artmıştır. Ek olarak, çalışma sonrasında mikroskop altında elde edilen aşınma görüntülerini analiz ederek takımın aşınma alanının boyutunu belirlemişlerdir. Daha sonra tekrarlanan deneyler sayesinde en az takım aşınmasına sahip frezeleme parametrelerini hesaplamışlardır [30].

Peng ve arkadaşları, aşındırma ile makine ömrünün belirlenmesi sürecinde aşınma oranını ve mekanizmasını incelemek üzere değişken görüntü işleme teknolojisini kullanmışlardır. Metal yüzeylerin çelik bilyeler vasıtasıyla aşındırılırken oluşan parçacıkların sayısı, dinamik görüntü işleme teknolojisi kullanılarak elde edilmiştir ve aşınma oranı hesaplanmıştır. Parça üzerinde oluşan kalıntıların ve çukurların boyutu, şekli ve rengi görüntü işleme teknolojisiyle oluşturularak aşınma karşı direnci ve detaylı aşınma analizi yapılmıştır [31].

Zhou ve Chen, kaynak yapan robotların kaynak kalitesini inceleyen değişken bir görüntü işleme yöntemi oluşturmuş ve altı yönlü bir kaynak robotu çalışırken lazer bir kamera kullanılarak kaynak noktasının görüntüleri elde edilmiştir. Kaynak yapılan bölgenin koordinatları, beklenen koordinatlar ile karşılaştırılarak uygunsuzluklar düzeltilmiştir. Ayrıca, kaynak ağzından gelen kaynak dikişinin boyutu ve formu görüntü işleme yöntemiyle kontrol edilmiştir [32].

Kesemen ve arkadaşları, malzeme kontrolünde kullanılan bir yöntem olan çekme deneyini dinamik görüntü işleme yöntemiyle modellenmişlerdir. Bir lastik malzeme üzerinde kaynak çizgileri oluşturularak çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney esnasında elde edilen görüntüler görüntü işleme teknikleriyle detaylandırılmıştır. Kaynak çizgilerinin sonraki adımını belirlemek üzere piksel değerlerinin korelasyonu hesaplanmıştır. Her bir adımda korelasyon oluşturularak kaynak çizgisi takibi yapılmıştır. Deney sonucunda, lastik kopmadan önce gözlemlenen son uzama verisi hesaplanmıştır. Benzer çalışma, sac metal plakaların çekme deneyi üzerinde Dunand ve arkadaşları (2010) tarafından yapılmıştır ve çentikli ve çentik bulunmayan numunelerin kırılıncaya kadar sünme bölgelerini tespit edilmiştir [33].

Zhang ve arkadaşları, kaya malzemesinin değişken kuvvetler altındaki dayanımını ve mekanik özelliklerini gözlemlmek üzere değişken görüntü korelasyonu yöntemini kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, kayadan alınan parçalar üzerine gerilim ölçer sensörler yerleştirilerek kuvvet uygulanmış ve SEM ile analiz edilmiştir. Gerilim değerine göre çatlakların ilerleme hızı ve yayılma şekli analiz edilmiştir [34].

BÖLÜM 3

ALÜMİNYUM

3.1. ALÜMİNYUM VE ÖZELLİKLERİ

Alüminyum, dünya kabuğunda en yaygın olarak bulunan üçüncü element olarak kabul edilir. Yoğunluğu $2,7 \text{ g/cm}^3$ olan bu metal, mat gümüş rengine sahip, yumuşak, sünek ve hafiftir. Yaygın olarak kullanılan bir metaldir ve ana metal olarak kullanıldığı alaşımlara "Alüminyum Alaşımları" denir. Alüminyum alaşımlarının özellikleri, alaşımı oluşturan elementlere ve bu elementlerin mikroyapısına bağlı olarak değişiklik gösterir. Alüminyum alaşımları, çinko, magnezyum, bakır, manganez, demir, silisyum, nikel, titan gibi elementlerin alüminyum ile karıştırılmasıyla elde edilir. Bu alaşımlarda alüminyum oranı genellikle %90 civarındadır ve diğer elementlerin oranı en fazla %10 kadardır.

Alüminyumun yoğunluğu çelik veya bakıra kıyasla yaklaşık üçte biri kadardır. Saf alüminyum çekme mukavemeti ortalama 49 MPa, alaşımlama süreci sonrasında çekme mukavemeti 700 MPa'ya kadar yükselir. Ayrıca alüminyum, dövülmesi, işlenmesi ve dökülmesi kolay olan bir metaldir. Yüksek mukavemet-ağırlık oranı, korozyon direnci ve işleme kolaylığı, alüminyumun mekanik bileşen uygulamalarında üstün özelliklere sahip olduğunu gösterir. Günümüzde enerji tasarrufu sağlayan, hafif, ekonomik ve yakıtı az tüketen cihazların üretilmesi açısından alüminyum alaşımları, uçak, otomobil, askeri mühimmat, makine, tren ve deniz taşıtlarının üretilmesinde gözde bir malzeme konumundadır. Çizelge 3.1.'de Saf alüminyumun özellikleri gösterilmiştir [35–37].

Çizelge 3.1. Saf alüminyumun özellikleri [35].

Madde Hali	Katı
Yoğunluk	2,71 gr/cm ³
Sıvı Haldeki Yoğunluğu	2,375 g/cm ³
Ergime Sıcaklığı	933,47 °K (660,32 °C)
Kaynama Noktası	2792 °K (2519 °C)
Ergime Isısı	10,71 kJ/mol
Buharlaştırma Isısı	294,0 kJ/mol
Isı Kapasitesi	24,2 J/(mol•K)
Isıl Genleşme katsayısı (20-100 °C)	247 W/m.K
Elektrik iletkenliği	3,81 m/Ω•mm ²
Elektrik Direnci (20°C)	26,50 nΩ•m
Isıl iletkenlik katsayısı	237 W/(m•K)
Elastiklik Modülü	69 GPa
Akma sınırı (alaşım ve ısıl işleme göre)	90-500 MPa
Ses Hızı (20 °C'de)	5000 m/s
Mohs Sertliği	2,75
Brinell Sertliği (Saf Temperlenmiş)	20 BSD

3.1.1. Alüminyum Alaşımları ve Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları, üretim metotlarına dayanarak sınıflandırılır. Dövme alüminyum alaşımlar ve döküm alaşımlar olarak başlıca iki ana gruptan oluşur. Dövme alaşımlarının mikroyapısı ve kimyasal içeriği, plastik deformasyonla şekillendirilen dövme alüminyum alaşımlarının döküm alaşımlarından önemli ölçüde farklılık gösterir. Her iki ana grup, ısıl işlem yapılabilen ve yapılabilmeyen alaşımlar olarak iki alt gruba ayrılır. Isıl işlem uygulanabilen alaşımlarda, dayanım artışı yaşlandırma işlemiyle elde edilirken, ısıl işlem yapılamayan alaşımlar katı eriyik, pekleşme veya dağılım mukavemetlenmesi yoluyla güçlendirilir.

Saf alüminyumun sertlik ve mukavemet özelliklerini artırmak amacıyla diğer metaller ile alaşım oluşturma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara istinaden bakır, silisyum, çinko, magnezyum, demir, mangan, titanyum ve nikel gibi elementler alüminyuma eklenerek çeşitli alüminyum alaşımları oluşturulmuştur. Alüminyum alaşımlarının mikroyapısı, mekanik ve kimyasal özellikleri alüminyumun saflığı, kullanılan alaşım elementine ve üretim yöntemine bağlı olarak farklılık gösterir.

Alüminyum alaşımları, dövme ve döküm olmak üzere imalat yöntemlerine göre iki ana gruba ayrılır. Her iki grup da ısıl işlem yapılabilen ve yapılamayan alaşımlardan oluşur. Bazı döküm ve dövme alaşımlarının mukavemeti ısıl işlemle arttırılamazken, bazıları belirli sıcaklıklarda belirli süreler boyunca bekletme işlemiyle güçlendirilebilir. Bu güçlendirme işlemine yaşlandırma olarak adlandırılır. Yaşlandırma, oda sıcaklığı koşullarında yapılıyorsa tabii (doğal) yaşlandırma, oda sıcaklığı dışında farklı bir sıcaklık değerinde yapılıyor ise suni (yapay) yaşlandırma olarak adlandırılır.

Alüminyum alaşımları ayrıca iyileştirme ve güçlendirme durumlarına göre sınıflandırılmıştır. Sertleştirme durumuna ve ısıl işlem uygulanıp uygulanmadığına bağlı olarak gruplandırılırlar ve belirli harflerle ifade edilirler. Üretildiği hali (F), çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanmış ise (W), tavlanmış ise (O), soğuk şekillendirilmiş ise (H) ve sıcak şekillendirilmiş ise (T) olarak tanımlanır. Gerilme sertleşmesi miktarı, ısıl işleme şekli yada bulunuyor ise diğer özel uygulamaları tanımlamak üzere H yada T'den sonra belirli standart numaralar verilir [38].

3.1.2. Dökme Alüminyum Alaşımları

Genellikle kum dökümü, pres dökümü ve sabit kalıplama gibi yöntemlerle üretilen alaşımlardır. Bu alaşımlar, yüksek fiziksel özelliklere sahip olmaları ve işlenmeleri kolay olmaları gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca, kaynaklanabilirler ve bazıları başarıyla ısıl işleme tabi tutulabilirler. Bu alaşımların dikkate değer özellikleri arasında iyi dayanım ve korozyon direnci bulunmaktadır, bu da yaygın kullanıma sahip olmaları imkanı sağlamaktadır [38].

Döküm alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimi, dövme alaşımlardan önemli ölçüde farklılık gösterir. Ana alaşım elementi olarak genellikle silisyum (%5-12 oranında) kullanılır. Silisyum, alaşımın akışkanlığını artırırken aynı zamanda mukavemetini de artıran ötektik reaksiyonlara neden olur. Isıl işlem uygulanabilen alaşımlara, mukavemeti artırmak için genellikle %0,3-1 oranında magnezyum eklenir ve bu durum Mg₂Si çökeltisinin oluşumunu sağlar. Bakır, yüksek sıcaklıklara karşı direnci artırmak için %1-4 oranında kullanılır ve CuAl₂ bileşiği şeklinde bir çökelti

fazı oluşturur. Çinko, yaşlandırma amacıyla eklenir ve MgZn₂ çökeltisinin oluşumunu sağlar. Ayrıca, döküm alüminyum alaşımlarında tane inceltici olarak bor ve titanyum gibi elementler ile ötektik yapı değiştirici olarak sodyum ve stronsiyum gibi elementler kullanılır. Kalay ve krom gibi elementler ise diğer özelliklerin kontrol edilmesinde kullanılabilir [38,39].

Döküm alüminyum alaşımları dört rakamlı simgeleme sistemine göre sınıflandırılır. İlk rakam ana alaşım elementini, ikinci ve üçüncü rakamlar alaşımın ayrıntılarını gösterir. Dördüncü rakam ise sürekli döküm (0) veya ingot (1 yada 2) olduğunu belirtir. Isıl işlem uygulanabilen alaşımlar yaşlandırma işlemiyle sertleştirilebilirken, bazıları için bu işlem uygulanamaz [38,39].

Döküm alüminyum alaşımları savunma sanayi, havacılık sanayi, otomotiv sanayi ve günlük kullanım eşyaları gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımların düşük yoğunlukları, yüksek mekanik özellikleri, kolay dökülebilme özellikleri, yüksek yüzey kalitesi, işlenebilirlik kolaylığı ve ölçüsel kararlılık gibi avantajları, kullanım alanlarının hızla artmasını sağlamaktadır [39]. Döküm alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Döküm alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [39].

Dökme Alaşımlar		Isıl İşlem
1XXX	Ticari Saflıkta Al	Yaşlandırılmaz
2XXX	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XXX	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si	Kısmen yaşlandırılabilir
4XXX	Al-Si	Yaşlandırılmaz
5XXX	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6XXX	Kullanımda değil	-
7XXX	Al-Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
8XXX	Al-Sn	Yaşlandırılabilir
9XXX	Kullanımda değil	-

3.1.3. Dövme Alüminyum Alaşımları

Dövme işlemiyle üretilen alüminyum alaşımları, plastik şekil verme yöntemleri olan dövme, haddeleme ve ekstrüzyon kullanılarak elde edilirler. Bu alaşımlar için yaygın kullanılan sembolleme sistemi, Amerikan Ulusal Standartlar Birliği (ANSA) tarafından tanımlanmış, dört basit hane şeklinde ifade edilir. İlk hanedeki rakam, alüminyum alaşımının temel alaşım elementini belirtir. İkinci hanede ise kontrol edilen ek elementlerin yüzdesi yer alır ve 1 ila 9 arasında değişebilir. Son iki hanede ise saflık derecesi (%99.XX) noktadan sonraki değeri gösterir. Örnek olarak, 1060 alaşımında son iki hanedeki rakamlar, alüminyumun %99.60 saflıkta olduğunu ifade eder [39]. Dökme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması Çizelge 3.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Dökme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [39].

Alaşım Serisi	Temel Alüminyum Alaşımı	İsıl İşlem
1xxx	Ticari Saflıkta Al (>%99 Al)	Yaşlandırılmaz
2xxx	Al-Cu ve Al-Cu-Li	Yaşlandırılabilir
3xxx	Al-Mn	Yaşlandırılmaz
4xxx	Al-Si veya Al-Mg-Si	Mg varsa Yaşlandırılabilir
5xxx	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6xxx	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7xxx	Al-Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
8xxx	Al-Li, Sn, Zr veya B	Yaşlandırılabilir
9xxx	Kullanımda değil	-

- 1XXX saf alüminyum alaşımları, %99,00 veya daha yüksek alüminyum içeriğine sahip olup, temel özellikleri arasında mükemmel korozyon direnci, yüksek ısı ve elektrik iletimi, düşük mekanik özellikler ve üstün şekillendirilebilirlik yer almaktadır. Bu alaşımlar, kolaylıkla levha, folyo ve profil formuna dönüştürülebilirler. Deformasyon sertleşmesi ile ortalama düzeyde bir dayanıklılık artışı elde edilebilir. Demir ve silisyum, bu seriye ait en önemli safsızlık unsurlarıdır. Bu tür alaşımlar genellikle kimyasal araçlar, yansıtıcılar, ısı değiştiricileri, elektrik iletkenleri, kapasitörler, folyo ambalaj malzemeleri ve dekoratif süslemeler gibi alanlarda kullanılmaktadır [40].

- 2XXX Al-Cu alaşımları, bakırın temel alaşım elementi olduğu alüminyum alaşımlarıdır. Magnezyum da bu alaşımlarda önemli bir element olarak yer alır. Mekanik özelliklerin daha da iyileştirilmesi için yaşlandırma ısıl işlemi bazen uygulanır. Sertleştirilmiş alaşımın çekme mukavemeti arttıka işlenebilirlik artar, ancak süneklik azalır. Yaşlandırılan malzemelerin elektriksel iletkenliği de düşer. Bu serinin alaşımlarının korozyon direnci, diğer alüminyum alaşımlarına göre önemli ölçüde daha düşüktür. Korozyon direncini artırmak için saf alüminyum ve/veya magnezyum silis alaşımını eklenir. Bu alaşımların yüksek sürünme mukavemeti ise dikkate değer bir özelliktir. Yüksek sürünme mukavemeti, oda sıcaklığında yüksek çekme mukavemeti ve düşük sıcaklıklarda yüksek mukavemet gerektiren tüm alanlarda kullanılmalarına olanak tanır. Bu alaşımlar, özellikle yüksek mukavemet ve hafiflik gerektiren bölgelerde tercih edilir. Uçak ve uzay yapıları, kamyon ve uçak lastikleri, kamyon süspansiyonları, uçak kanat yüzeyleri ve yapısal parçalar gibi alanlarda yaygın olarak kullanılırlar [40,41].
- 3XXX Al-Mn alaşımları, temel alaşım elementi olarak manganezi içeren alüminyum alaşımlarıdır. Genellikle, alüminyum-manganez alaşımları %1.80 manganez içermektedir. %1.5 oranında manganez ilavesi, mukavemeti önemli ölçüde artırır (100'den 170 N/mm²'ye), ancak sünekliği bir miktar azaltır. Manganez, alüminyumun çekme mukavemetini artırmada etkilidir. Bu alaşım yüksek süneklik ve mükemmel korozyon özelliklerine sahiptir. 1XXX serisine göre %20 daha yüksek bir mukavemet sergiler. Manganezin düşük çözünürlüğü, bu alaşımların üretimini sınırlar. Bu seride, özellikle 3003 alaşımını yaygın olarak üretilir ve yağ tankları, gıda kutuları ve gaz boruları gibi korozyon direncinin önemli olduğu alanlarda kullanılır [42].
- 4XXX Al-Si alaşımları, temel alaşım elementi olarak silisyumu içeren alüminyum alaşımlarıdır. Bu alaşımların en önemli özelliği, düşük silisyum katkılarıyla düşük ergime sıcaklığına sahip olmalarıdır. Alüminyumda maksimum silisyum çözünme sınırı %1.65'tir. Öte yandan 4XXX serisi alaşımlar için %2.5'e kadar silisyum içeren alaşımlar üretilebilir. Silisyum oranının artması, erime noktası aralığını daraltır ve dökülebilirliği artırır. Bu

serideki birçok alaşımın ısı işlem kabiliyeti bulunmasa da aşınma dayanımı ve korozyon direnci yüksektir. Özellikle anodik oksidasyona tabi tutulan yüksek silisyum içeren alaşımlar, koyu gri bir renge sahip olurlar ve bu nedenle mimari uygulamalarda dekoratif amaçlar için kullanılırlar. Kaynaklı yapılar, levha üretimi ve otomobil parçaları gibi alanlarda da kullanılmaktadırlar [42,43].

- 5XXX Al-Mg alaşımları, temel alaşım elementi olarak magnezyumu içeren alüminyum alaşımlarıdır. Bu alaşımların ısı işlem uygulanabilirlikleri sınırlıdır. %5'ten az magnezyum ve yetersiz silisyum içeren alaşımlar yaşlandırılmaz. Genellikle sertleştirilmiş alaşımlar soğuk şekillendirme ile elde edilir. Bu serinin alaşımlarının en karakteristik özellikleri, iyi kaynaklanabilirlik ve denizel ortamda yüksek korozyon dayanımıdır. Magnezyum yüzdesi arttıkça sertlik ve mukavemet artar, ancak süneklik azalır. Ana mekanik mukavemet arttırıcı olarak %0.8 ila 4.5 arasında magnezyum kullanılır. Alüminyum-magnezyum alaşımlarında magnezyum içeriği ne kadar yüksekse, çekme mukavemeti de o kadar yüksek olur. Bu alaşımlar tanklarda, otomobil parçalarında, dekorasyon ürünlerinde, kutularda ve vinç parçalarında yaygın olarak kullanılır [40,42,43].
- 6XXX Al-Mg-Si alaşımları, temel alaşım elementleri olarak magnezyum ve silisyumu içeren alüminyum alaşımlarıdır. Magnezyum ve silisyum kombinasyonu, Mg₂Si bileşiğini oluşturur. 6XXX serisi alaşımlar, çözeltiye alındıklarında ve yapay olarak yaşlandırıldıklarında, alüminyum matris içerisinde Mg₂Si parçacıkları oluşturur. Bu, orta düzeyde mukavemet ve sertlik sağlar. Ancak, elde edilen mukavemet değerleri 2XXX ve 7XXX serilerinde elde edilen değerlerden daha düşüktür. Bu alaşımlar yüksek şekillendirilebilirlik, kaynaklanabilirlik, işlenebilirlik ve korozyon direncine sahiptir. Kararlı yapıları ve çözünme ısı işlemi koşullarında iyi bir şekillenme özelliği sergilerler. Kimyasal bileşimleri ve iyi mekanik özellikleri nedeniyle uçaklar, uzay araçları, ulaşım araçları, demiryolu araçları gibi yapıların ve ekipmanların yanı sıra çeşitli endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılırlar. Ayrıca, ısıyla sertleştirilmiş metal alaşımları arasında soğuk şekillendirmeye uygun bir alaşım grubunu oluştururlar. Bisiklet iskeletleri, taşıma araçları,

köprü parmaklıkları ve geleneksel parçalar da kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir [44,45].

- 7XXX Al-Zn alaşımları, temel alaşım elementi olarak çinko kullanılarak oluşturulurlar. Çinko genellikle yaklaşık %5 oranında alaşıma eklenir ve yüksek çekme mukavemeti sağlar. Bu alaşımlarda, çinko ve bir miktar magnezyum ana alaşım elementleri olarak kullanılır ve malzemenin ısıtılma sertleştirilmesini mümkün kılar. Al-Zn alaşımları, alüminyum alaşımları arasında en yüksek mukavemete sahip olan seridir. Al-Zn-Mg serisi alaşımlar, orta düzeyde mukavemete sahip olan ve çökeltme ile sertleştirilebilen yapı malzemeleridir. Al-Cu-Mg alaşımlarından daha iyi korozyon direncine sahip olsalar da, Al-Mg ve Al-Mg-Si alaşımlarından daha düşük bir korozyon direncine sahiptirler. Bu alaşımların ana sertleştirici fazı β ($MgZn_2$) fazıdır ve ayrıca $CuAl_2$ ve $CuMgAl_2$ bileşikleride çökeler. Çinko kullanıldığında, malzemenin dökülebilirliği azalır ve sıcak çatlamaya ve büzölmeye neden olabilir. %8'in üzerindeki alaşımlar gerilmeli korozyon çatlaması eğilimi gösterebilir, ancak diğer alaşım elementleri ile birleştirildiğinde mukavemet önemli ölçüde artar. Bu alaşımlar, üretim sürecinde zorluklara yol açabilir ve eritme işleminden hemen sonra şekillendirme yapılmalıdır. Bunun ardından çökeltme işlemi gerçekleştirilir. Uçak parçalarının imalatında ve yüksek mukavemet gerektiren diğer alanlarda sıklıkla kullanılırlar [44,45].
- 8XXX Al-Li alaşımları, temel alaşım elementi olarak lityum içeren malzemelerdir. Bu alaşımlar özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılır ve düşük yoğunlukları, yüksek yorulma dirençleri ve iyi tokluk özellikleri ile dikkat çekerler. Her %1 lityum ilavesi, alaşımın yoğunluğunu %3 azaltırken, elastiklik modülünü %6 artırır. Genel olarak, (%1.0-2.0 aralığında) lityum içeren alaşımlar ısıtılma tabii tutulabilir. Hızlı katılaştırma yöntemi kullanılarak %4'e kadar lityum eklemek mümkündür, bu da daha yüksek mukavemet ve daha düşük ağırlık sağlar. Bu alaşımların üretim maliyeti diğer alüminyum alaşımlarına kıyasla daha yüksektir [43,44].

3.1.4. Alüminyum AA7075 Alaşımının Özellikleri

AA7075 alüminyum alaşımı, ilk olarak 1943 yılında "Alcoa" firması tarafından geliştirilmiştir. Alaşımlar hafif oldukları ve T6 ısıtılma şartları altında yüksek mukavemet özellikleri bulunması nedeniyle havacılık, uzay endüstrisi, savunma endüstrisi ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan yapısal malzemelerdir. Bu alaşımın yaygın kullanımı, yüksek mukavemet özelliklerine, yaşlandırma ile daha da arttırılabilen mukavemet özelliğine, yüksek şekillendirilebilirliğe, tokluk, iyi yorulma direncine ve düşük ağırlığa sahip olmasından kaynaklanmaktadır [46].

AA7075 gibi diğer 7XXX serisi alaşımlar, çökeltme sertleştirme ısıtılma işlemiyle mukavemeti arttırılabilen alaşımlardır. Genellikle levha şeklinde üretilirken, uygulama alanı arttıkça dövme, ekstrüzyon ve kalın levha gibi üretim yöntemleri de yaygınlaşmıştır [47].

AA7075 alüminyum alaşımının yüksek mekanik özelliklerine rağmen, düşük aktiviteli ortamlar gibi atmosferik koşullarda bile gerilim korozyon çatlmasına hassas olduğu belirlenmiştir. Bu dezavantajı gidermek için, sac malzemeler genellikle her iki tarafına korozyona dayanıklı "Alclad" metal kaplamasıyla piyasaya sunulmaktadır [48].

3.1.5. Alüminyum 7075 Alaşımının Kimyasal Özellikleri

Alüminyum 7075 alaşımının kimyasal bileşimi, alüminyum dışında çinko (%5,1-6,1 arasında), magnezyum (%2,1-%2,9 arasında) ve bakır (%1,2-2 arasında) gibi elementleri içermektedir. Ayrıca, alaşımın bileşiminde toplamı en fazla %1,6 olan demir, silisyum, mangan, krom ve titanyum gibi elementler bulunmaktadır [48]. AA7075 alüminyum alaşımı kimyasal bileşimi Çizelge 3.4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. AA7075 alüminyum alaşımı kimyasal bileşimi (% ağırlık) [48].

Alaşım Elementi	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al
Yüzde Ağırlık	5,1-6,1	2,1-2,9	1,2-2,0	Max 0,5	Max 0,4	Max 0,3	0,18-0,28	Max 0,2	Kalan

3.1.6. Alüminyum 7075 Alaşımının Mekanik Özellikleri

Alüminyum 7075 alaşımı, özellikle dayanma değerleri bakımından diğer alüminyum alaşımlarına göre üstün bir performans sergilemektedir. AA7075 alaşımının fiziksel özellikleri, ayrıntılı olarak Çizelge 3.5'te sunulmaktadır.

Çizelge 3.5. AA7075 alüminyum alaşımının fiziksel özellikleri [49].

Özgül Ağırlık	2,81 gr/cm ³
Elastik Modülü	7300 kg/mm ²
Rijitlik Modülü	2750 kg/mm ²
Ergitme Sıcaklığı Aralığı	477–635 °C
Özgül Isı (0–100 °C arasında)	0,23 cal/gr °C
Linear Genleşme Katsayısı (20–100 °C)	24–10–6 mm/°C
Özgül Elektrik Direnci (20 °C)	0,058 Ohm.mm ² /m

Alüminyum alaşımları, mekanik özelliklerini artırmak amacıyla çeşitli ısı işlemlere tabi tutulmaktadır. AA7075 alüminyum alaşımı, Al-Zn-Mg-Cu elementlerini içerdiği için, bu alaşımın mekanik özellikleri iyileştirilerek ticari olarak satışa sunulmaktadır. T6 ısı işleme, yüksek sertlik ve mukavemet sağlamak için uygulanmaktadır. AA7075 alüminyum alaşımı, T6 ısı işleme tabi tutularak 120°C'de 24 saat yaşlandırılır. Ancak, bu işlem alaşımı korozyona karşı hassas hale getirebilir. T73 ısı işleme ise, bu tür alaşımların korozyon direncini artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu ısı işleme, alaşımların korozyon direncinde büyük bir artış sağlarken, mukavemet değerlerinde %10-15 oranında azalmaya neden olur AA7075 alaşımının ısı işleme görmüş mekanik özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir [50,51].

Çizelge 3.6. AA7075 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri [52].

Isıl İşlem Kodu	Kalınlık (mm)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
T0 Sac/Plaka	0,38-50,80	Max 276	Max 145	9-10
T6 Sac	0,203-6,32	510-538	434-476	5-8
T651 Plaka	6,35-101,60	538-462	462-372	9-3
T76 Sac	3,18-6,32	503	427	8
T7651 Plaka	6,35-25,40	496-490	421-414	8-6
T73 Sac	1,02-6,32	462	286	8
T7351 Plaka	6,35-101,60	476-421	393-331	7-6

Plaka veya sac şekillerinde üretilen AA7075 alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve dökülebilirlik özelliği, alaşım elementlerinin çok küçük oranlarda katılmasıyla artmaktadır. Bu artış, yoğunluğun nispeten az bir şekilde artmasına rağmen önemli artışlar görülmektedir [48].

AA7075 alüminyum alaşımı, yüksek mukavemeti ve hafifliği sayesinde uzay ve havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle uzay ve havacılık uygulamalarında, alüminyum kaplanan saclar ve yapısal levhalar gibi bileşenler, 101,6 mm kalınlığa kadar kullanılmaktadır. Ayrıca askeri ve ticari uçaklarda üst kanat panelleri, alt yatay dengeleyici paneller, gövde kirişleri ve gövde omurga kirişleri gibi parçalar da bu alaşımdan üretilmektedir [48].

Pistonlar, piston kolları ve motor gövdeleri gibi parçalarda da AA7075 alüminyum alaşımı tercih edilmektedir. Bu malzemenin hafif olması, kullanımını cazip hale getirmektedir. Ayrıca, AA7075 alaşımının yüksek ısı iletimi özelliği sayesinde piston şeklinde kullanıldığında daha yüksek sıkıştırma uygulamasına izin vermektedir. Bu alaşım aynı zamanda silah sanayisinde, mermi yapımında, uçak iniş takımlarının çalıştırılması için kullanılan silindirlerde ve basınca dayanıklı bölgelerde kullanılmaktadır [48].

T6 ısıl işlemi, AA7075 alüminyum alaşımı için en yüksek mukavemet değerlerinin elde edildiği bir ısıl işleme yöntemidir. Bu işlem, çözündürme işlemi uygulandıktan sonra malzemeye uygulanan su verilmesi ve 120 °C'de 24 saat yaşlandırma adımlarını içerir. AA7075-T6 alüminyum alaşımı, bu işlemle mekanik özelliklerini büyük ölçüde artırabilir. Çekme dayanımı 228 MPa'dan 572 MPa'ya, akma dayanımı 103 MPa'dan 503 MPa'ya yükselirken, sertlik değeri 60 BSD'den 150 BSD'ye kadar çıkabilir. AA7075-T6 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri, ortalama olarak bir yay çeliğinin mekanik özelliklerine kadar ulaşabilir [48].

Ancak, en üst mukavemet koşullarına kadar yaşlandırılmış AA7075 alüminyum alaşımlarının taneler arası gerilim korozyon çatlamasına duyarlı olduğu ifade edilmektedir, özellikle klorür içeren ortamlarda bu etki daha belirgin hale gelir [48].

Alüminyum alaşımlarında çökelme sertleşmesi işlemi uygulandığında, çökeltiler veya çökeltilerle etkileşime girmeyen bölgeler, belirli korozyon ortamlarında matris ve etrafındaki element açısından fakir bölgelere göre anodik olarak davranır. Bu çökeltilerin tane sınırları boyunca korozyona uğraması tane sınırlarına yakın boşluklar oluşturur. Tane sınırlarına dik gelen gerilmelerin etkisiyle bu oyuklar büyüyerek oyuklanmaya neden olur [48].

AA7075 alüminyum alaşımının istenen en fazla dayanımı T6 ısıtım işlem koşullarında sağlandığı tespit edilmiştir. Yine de, korozyon direncinin azaldığı da bilinmektedir. Bu nedenle, 7xxx serisi alüminyum alaşımlarının yüksek oyuk korozyon direnci elde edebilmek için yapılan çalışmalar, ısıtım işlem koşulları ve çökelme yapıları üzerine odaklanmaktadır. Çökelme yapıları, alaşımın metalurjik özelliklerini, mekanik özelliklerini ve korozyon davranışını belirler [48].

3.2. TALAŞ KALDIRMA ESASLARI

3.2.1. Talaşlı İmalat

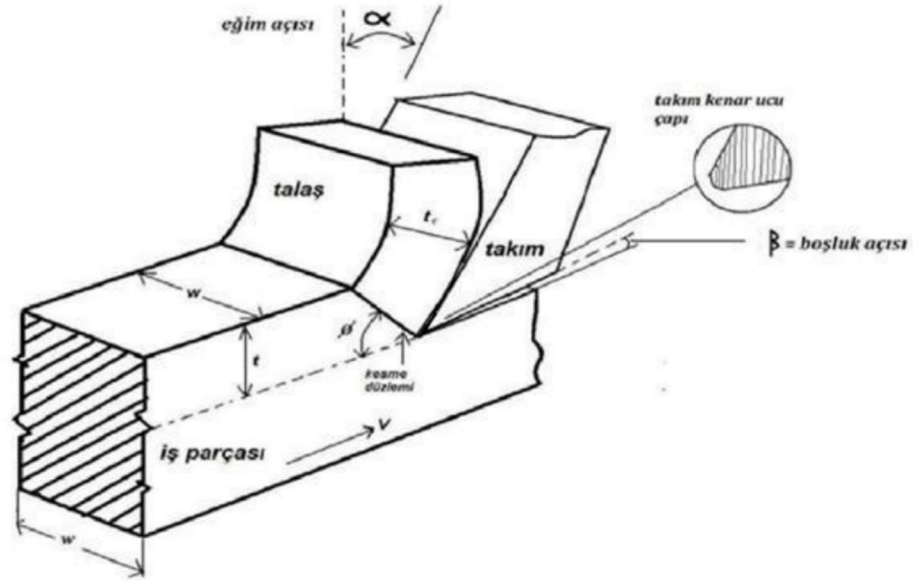
Talaşlı imalat yöntemleri, şekillendirme işlemlerinin başında gelmektedir. Bu yöntemle, iş parçalarının uygun takım tezgahı ve kesici takım seçilerek belirlenmiş geometrik şekiller, boyutlar ve yüzey kalitesi değerleri oluşturulması amacıyla fazla et kalınlıkları kısımlarının talaş biçiminde atılması prensibine dayanan bir imalat yöntemidir. Bu yöntem, metal kesme veya talaş kaldırma işlemi olarak da adlandırılır ve birçok ülke tarafından büyük miktarda maddi yatırım gerektiren bir süreç olarak görülmektedir. İmal edilen birçok ürün, nihai şeklini alabilmesi için talaş kaldırma işlemi uygulanmalıdır. Bu işlem, daha kalite ve daha az yüzey pürüzlülüğü elde etmek için gereklidir ve talaşlı imalat yöntemleri arasında en önemli yöntem olarak kabul edilmektedir. Talaşlı imalat yöntemlerinde, farklı geometri ve boyutlardaki parçaları biçimlendirmek için değişik türde tezgahlar geliştirilmiştir [12,53].

Talaş kaldırma işlemi, temel olarak yedi farklı yöntemle ayrılmaktadır: tornalama, frezeleme, delme, testere ile kesme, broşlama, planyalama ve taşlama. Bu yöntemler arasında en yaygın kullanılanlar tornalama ve frezelemedir. Tornalama yöntemi, uzun

yıllardan beri kullanılan bir yöntem olup, dairesel iş parçalarının elde edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bir takım tutucu üzerine sabit olacak şekilde bağlanmış kesici takım, dönen iş parçası ekseninde ilerletilerek ve iş parçasından bir tabaka kaldırılarak dairesel yada karmaşık profilli yüzeyler oluşturulmaktadır [53].

3.2.2. Metal Kesme Mekanikliği

Talaşlı imalat yöntemleri, endüstri, üniversite ve laboratuvar araştırmaları tarafından hâlâ çalışılan ve işleme sürecinin modellenmesi üzerine devam eden bir alandır. Bu yöntem, metal kesme mekaniğinin tanımlanmasında genellikle iki boyutlu ortogonal (dik) kesme modelinin kullanılmasına rağmen gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık bir süreci kapsar (Şekil 3.1). İki boyutlu dik kesme modeli, talaşlı imalat mekaniğini yeterli doğrulukta tanımlamasının yanı sıra basitliği sebebiyle tercih edilmektedir [54,55].

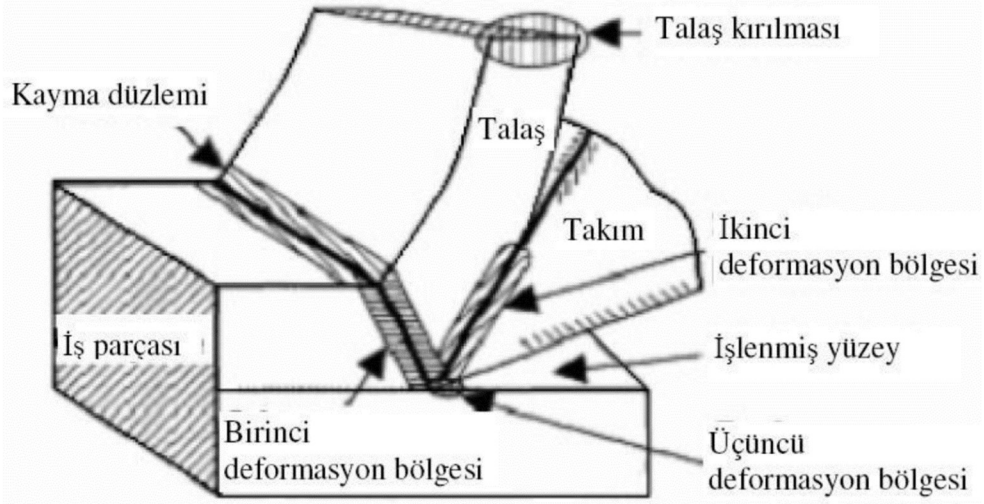


Şekil 3.1. Dik kesme modeli [53].

Dik kesme yönteminde, kesici takım kenarı ile iş parçası-takım hareket yönüne dik olarak hareket eder. Bu modelde, iş parçasının kesici takım tarafından zorlanmasıyla iş parçasının kayma gerilmesi değerinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir. Talaş oluşumu, aslında küçük bir bölgede oluşur ve plastik deformasyonun önemli ölçüde etkili olduğu bir süreçtir. Talaşlı imalat işlemi sırasında, talaş oluşumu iş parçasının

kesici takımın önündeki bölgesel deformasyonu gerçeğeşir [56]. Dik kesme işleminde sırasında üç deformasyon bölgesi oluşur, bu bölgeler Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

İlk deformasyon bölgesi, iş parçasının kesici takımın hareketiyle oluşan kayma düzlemindeki deformasyondur. Bu bölgede, iş parçası ve kesici takım arasındaki nispi hareket sonucunda iş parçasında gerilme oluşarak plastik deformasyon gerçeğeşir ve talaş oluşumu başlar. İkinci deformasyon bölgesi, sürtünme kuvveti ve takım-talaş temasından kaynaklanan basınç nedeniyle takım-talaş arayüzeyinde oluşan deformasyondur. Bu bölgede, talaş birinci deformasyon bölgesinde oluşurken kesici takımın talaş yüzeyi üzerinde kayması sonucunda ikinci kez deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır. Üçüncü deformasyon bölgesi ise kesici takımın yan yüzeyinin işlenen yüzeye temasıyla meydana gelen ve sürtünmenin etkisiyle oluşan deformasyondur [56,57].



Şekil 3.2. Plastik deformasyon bölgeleri [56].

3.2.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Metal kesme işlemi, parçaların yalnızca şekil kazanmasını değil, aynı zamanda yüzey, boyut ve geometri açısından belirli bir tolerans aralığına uygun olarak imal edilmesini amaçlar. Bu, işleme kalitesi olarak adlandırılır ve parçaların yüzey ve ölçü doğruluğunu içerir. Talaşlı imalat sırasında, işleme yöntemi, kesici takım cinsi ve işleme şartlarına bağlı olarak istenmeyen işleme izleri ve düzensiz sapmalarla birlikte

yüzey pürüzlülüğü oluşabilir. Yüzey pürüzlülüğü, nominal (anma) yüzey çizgisinin altında veya üstünde düzensiz sapmalara neden olan faktörlerin etkisiyle ortaya çıkar. Ürün kalitesi ve endüstriyel makinelerin performansını artırmak için, birleşen farklı parçaların yeterli düzeyde hassas işlenmiş yüzeylere ihtiyaç duyduğu bilinmektedir. Aynı malzemenin farklı talaşlı imalat yöntemleriyle işlendiğinde, aynı yüzey pürüzlülüğü değerine sahip olabileceği, ancak korozyon, aşınma, sürtünme ve yorulma dayanımı gibi çeşitli davranışlar sergileyebileceği bilinmektedir [58].

Yüzey pürüzlülüğünün yanı sıra, işleme izlerinin yönü ve dağılımı da malzemenin performansını için ciddi ölçüde etkileyebilir. Bu nedenle, talaşlı imalatla işlenecek parçaların yüzey pürüzlülüğü değerleri ile işleme yöntemlerinin de belirtilmesi gerekmektedir [58].

Pürüzlülük, temas oluşturan yüzeyler arasındaki sürtünme etkisi, ışık yansımaları karakteristiği, aşınma durumu, ısı iletim kapasitesi, yağ filmi tutma ve dağıtma yeteneği ile kaplama dayanıklılığı gibi parçaların çeşitli fonksiyonel özelliklerini etkileyebilir. Bu nedenlerle, makinelerin bileşenlerinin yüksek kaliteli veya istenilen kalitede üretilmesi için uygun bir yüzey pürüzlülüğü seviyesine ulaşmak büyük önem taşımaktadır [59].

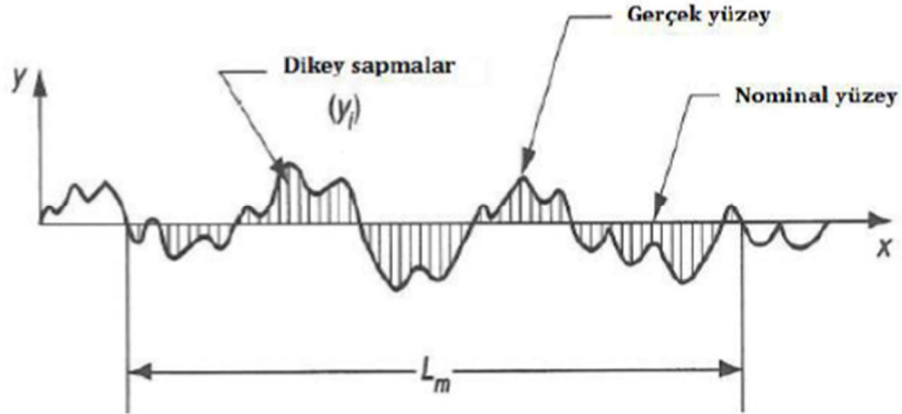
İşleme kalitesi, metal kesme teorisinin en temel özelliklerinden biridir. Talaş kaldırma sırasında oluşan yüzeylerde, pürüzlülük ve dalga olmak üzere iki ayrı yüzey sapması tespit edilir. Dalga, geometrik sapma kategorisine girer. Böylece, yüzey kalitesi, yüzey pürüzlülüğü ölçütüyle ifade edilir. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi, belirli standartlara uygun olarak gerçekleştirilir. Bu standartlara göre, pürüzler, yüzey boyunca belirli bir numunenin belirli bir profil ortalama çizgisi ve referans profiline göre değerlendirilir. Genellikle geometrik profil, referans profil olarak kullanılır [59].

Görsel olarak Şekil 3.3'te sunulan şekilde, yüzey pürüzlülüğü, belirli bir nominal yüzey boyunca oluşan dikey sapmaların ortalamasıyla hesaplanır. Mutlak değerlere dayalı sapmaların ölçülmesi sürecinde genellikle ortalama yöntemi kullanılır ve bu değer, ortalama yüzey pürüzlülüğü olarak adlandırılır [59]. Matematiksel olarak ifade edildiğinde;

$$Ra = \int_0^{L_m} \frac{|y|}{L_m} dx \quad (3.1)$$

Bu ifadede; Ra, yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değerini temsil eder. $|y|$ ise nominal yüzeyden dikey sapmayı ve L_m ise yüzey sapma ölçüm mesafesini ifade etmektedir.

Bu denklemlerde, birimler metre ve inç olarak ifade edilmiştir. Sapmaların ölçüğü oldukça küçük olduğundan, daha uygun bir ölçü birimi olan mikrometre ($\mu m = mm \times 10^{-3}$) kullanılması daha elverişlidir. Yüzey pürüzlülüğünün matematiksel ifadesinde genellikle bu birim tercih edilmektedir [60].



Şekil 3.3. Pürüzlülüğü tanımlayan kullanılan nominal yüzeyden sapmalar[60].

Yüzey pürüzlülüğü tek başına, karmaşık fiziksel özellikleri ifade etme veya değerlendirme yeteneğine sahip değildir. Örneğin, yüzey pürüzlülüğü kesici takımın köşe radyüsü r ve iş parçası yüzeyi üzerindeki ilerleme hızı f ile ilişkilendirildiğinde, aşağıdaki denklemlerde verilen formülasyonlara dayanarak ideal bir enine pürüzlülük hesaplaması yapılabilir [60].

$$R_{\max} = \frac{f^2}{8r} \quad (3.2)$$

$$Ra = \frac{R_{\max}}{4} = \frac{f^2}{32r} \quad (3.3)$$

3.2.4. Kesme Parametreleri

3.2.4.1. Kesme Hızı

Kesme hızı (V), tornalama işlemi sırasında iş parçasının kesilmemiş bölgesindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda katettiği mesafeyi ifade eden bir parametredir. Bu parametre genellikle m/dak (metre/dakika) cinsinden ölçülür ve önemli bir işleme hızı değeri olarak kabul edilir. Tornalama işleminde, kesme hızı, iş parçasının çapı (D) ve dönme sayısı (n) ile ilişkilendirilerek hesaplanır [61].

Tornalama işlemindeki kesme hızı, matematiksel ifadeyle belirtilecek olursa;
 $V = (\pi * D * n) / 1000$ (m/dak) formülüyle hesaplanır.

El boyuna dış tornalamada, parçanın çapı D'den d'ye azaltılırken, takım ağzı parça ile b doğrusu boyunca temas halindedir. Parça çapı aşağı doğru hareket ettiği için, temas boyunca kesme hızı değişir. Ancak temas çizgisi küçük olduğundan, kesme hızı parçanın başlangıçtaki çapı D'ye göre hesaplanır.

Alın tornalama işleminde takım, merkezden çevre kısmına yada çevreden merkez kısmına doğru hareket eder. Bu nedenle kesme hızı, parçanın çevresinde maksimum, merkezinde ise sıfır olacak şekilde değişir. Bununla birlikte, kesme hızı parçanın başlarken ki çapı D'ye göre belirlenir [61].

Pratikte, genellikle kesme hızı teknik ve ekonomik şartlara bağlı olarak tanımlanır veya hazırlanan tablolardan seçilir. Kesme hızı, parça malzemesine, takım malzemesine, talaş kesimine (kaba talaş, ince talaş), kesme derinliğine ve ilerlemeye, kesme sıvısına ve tezgahın yapısına bağlı olarak değişebilir. Tezgahın yapısı

açısından, yalnızca yüksek rijitlikteki tezgahlarda yüksek kesme hızları seçilebilir. Rijitliği düşük olan tezgahlarda yüksek hızlar, işlenen yüzeyin düzensiz olarak oluşmasına sebep olan titreşimlere yol açabilir. Öte yandan, tezgahın evrensel yada otomatik olması da kesme hızını doğrudan etkiler. Tornalamada önerilen kesme hızları, ilgili faktörler doğrultusunda belirtilir. Kesme hızları seçildikten yada teknik ve ekonomik koşullara uygun belirlendikten sonra parçanın dönme sayısı;

$n = (1000 * V) / (\pi * D) (d/dak)$ formülüyle hesaplanır.

Genel anlamda torna tezgahlarında, dönme hızları $n_1=n_{min}$ ve n_{max} arasında kademeli bir şekilde değişir. Bu hız kademelerine 'aşamalı hızlar' denir. Buna paralel olarak, yukarıda belirtilen (n) ilişkisi kullanılarak ilk olarak teorik dönme sayısı hesaplanır ve ardından en yakın ancak daha düşük bir hız seviyesi tercih edilir. Seçilen hız seviyesine bağlı olarak, (v) ilişkisi kullanılarak buna karşılık gelen kesme hızı hesaplanır. Sayısal kontrol sistemine sahip tezgahlar, dönme hızlarını sürekli olarak değiştirir. Bu nedenle, bu tür tezgahlarda v belirlendikten sonra (n) ilişkisi kullanılarak n hesaplanır ve böylece talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir [61].

3.2.4.2. İlerleme Miktarı

İlerleme miktarı, kesici takımın her bir iş parçasının dönüşünde iş parçası eksenine paralel olarak hareket ettiği mesafeyi ifade eder. Diğer bir deyişle, takımın bir tam devir süresinde kat ettiği mesafeyi belirtir. İlerleme miktarı (f) olarak tanımlanır ve birimi (mm/dev) olarak ifade edilir. Kesme hızları gibi, tezgahların ilerleme hızları da en düşük ve en yüksek olmak üzere iki sınır arasında değişir ve ilerleme miktarı adı verilen aşamalar halinde sunulur. Bu nedenle, teknik ve ekonomik şartlar göz önüne alındığında seçilen ilerleme miktarının, tezgahın ilerleme aşamaları içerisinde yer alması önemlidir [61].

3.2.4.3. Kesme Derinliği

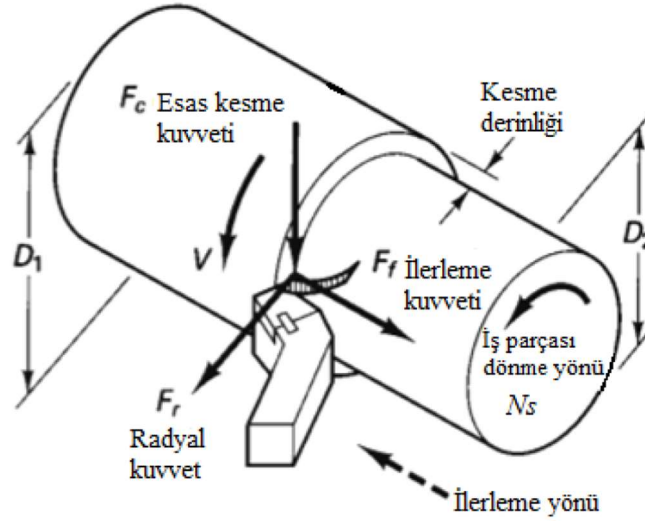
Kesme derinliği (ap), iş parçası malzemesinden kaldırılan malzemenin derinliğini ifade eder ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresi, birim

düzenlemeleri yapılarak çarpılarak genellikle metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranını sağlar [61].

Parçanın çapı başlangıçta D iken ve bir paso kaldırdıktan sonra d 'ye düşerse, paso kalınlığı dış tornalama için $ap = D - d / 2$ (mm) ve iç tornalama için $ap = d - D / 2$ (mm) şeklinde ifade edilir [61].

3.2.5. Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işlemi sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri, ısınma etkisi, takım ömrü, işlenen yüzey kalitesi ve iş parçası boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca, kesme kuvvetleri, takım tezgahlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama düzeneklerinin tasarımında da dikkate alınır [62]. Tornalama işlemi sırasında oluşan kuvvetler Şekil 3.4'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [35].

Tornalamada kesme kuvveti üç bileşenden oluşur:

- Esas kesme kuvveti (F_c): Kesme hızı yönünde etki eder. Bu en büyük kuvvet olup, metal kesme işlemi sırasında harcanan gücün genellikle %99'unu temsil eder.
- İlerleme kuvveti (F_f): Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkili olan kuvettir. Genellikle esas kesme kuvvetinin yaklaşık %50'si kadardır.
- Radyal (pasif) kuvvet (F_r): İşlenen yüzeye dik olarak etki eden kuvettir. Bu kuvvet genellikle ilerleme kuvvetinin yaklaşık %50'si kadardır [53].

Bileşke kuvvet, üç kuvvetin vektörel olarak toplanmasıyla elde edilir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$F_R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (3.4)$$

Kesme kuvvetleri, kesme işleminin performansını, üretilen parçanın kalitesini, kesici takımın aşınmasını ve üretim maliyetini etkileyen önemli faktörlerdir. Ayrıca, ilerleme hızı, kesici takım geometrisi, kesme derinliği ve kesme hızı gibi kesme koşulları, kesme kuvvetlerini direkt olarak etkiler. Bu etmenler genellikle kesme parametreleri olarak adlandırılır ve takım tezgahının gücünün hesaplanmasında ve buna bağlı olarak tezgah tasarımında büyük bir rol oynar. Bu sebeplerle, uzun bir süredir bu alan araştırmacıların dikkatini çekmiş ve hala araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Talaşlı imalat yöntemleriyle üretilen makine parçalarının uzun ömürlü, yüksek kaliteli, güvenli ve ekonomik olabilmesi için üretim sürecine etki eden tüm kuvvetlerin hassas bir biçimde tespit edilmesi gerekmektedir. Kesme kuvvetlerinin talaş kaldırma işlemi sırasında nasıl oluştuğunu belirlemek için çeşitli matematiksel ifadeler kullanılmaktadır, ancak en etkili yöntem olarak kesme kuvvetlerinin dinamometreler aracılığıyla deneysel olarak ölçülmesi tercih edilmektedir [53,62].

3.2.6. Kesici Takım

3.2.6.1. Kesici Takım Geometrisi

Tornalama işlemi sırasında kesici takımın şekli, boyutları ve kesme kenarının oluşturduğu geometrik özelliklerin bütünüdür. Bu geometri, kesici takımın performansını, iş parçasının yüzey kalitesini, talaş kaldırma verimliliğini ve takımın ömrünü etkileyen önemli bir faktördür.

Kesici takım geometrisi, genellikle kesme kenarının oluşturduğu üç temel yüzey üzerinde odaklanır: ön yüz, kesme yüzü ve yan yüz. Ön yüz, kesici takımın iş parçası ile temas ettiği yüzeydir ve kesme kuvvetlerini iletmekten sorumludur. Kesme yüzü, kesici takımın talaşın olduğu yüzeyidir ve iş parçasının yüzey kalitesini doğrudan

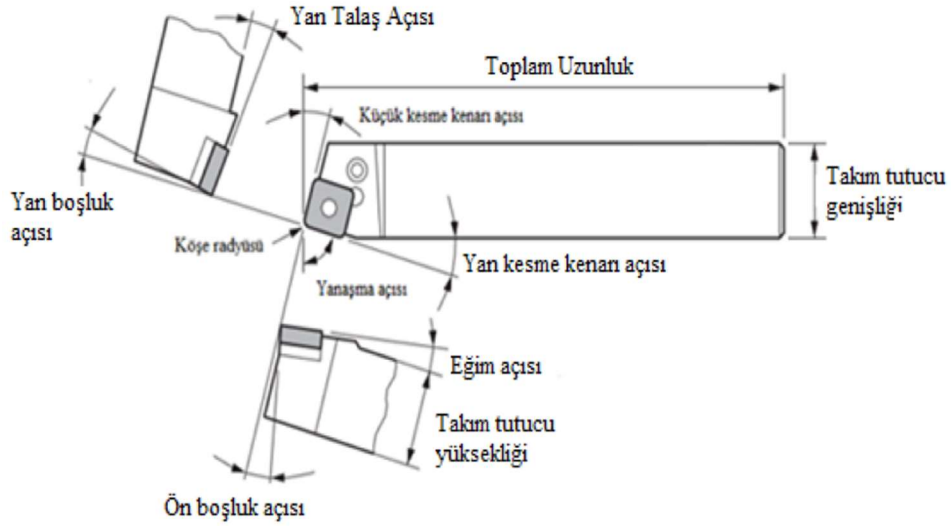
etkiler. Yan yüz ise kesici takımın yan tarafını oluşturur ve talaşın tahliyesinden sorumludur.

Kesici takım geometrisi, kesici takımın açıları ve kesme kenarının şekli gibi bir dizi parametre üzerinden tanımlanır. Ön yüz açısı (α) ve kesme yüzü açısı (γ), kesici takımın talaş kaldırma yeteneği üstünde kayda değer bir etkiye sahiptir. Bu açılar, talaşın düzgün bir şekilde tahliye edilmesini sağlayarak talaş oluşumu sırasında oluşabilecek olumsuz etkileri azaltır.

Kesici takım geometrisi ayrıca, kesme kenarının şekli ve kesici takımın kenar geometrisini içerir. Kesme kenarı, kesici takımın iş parçasıyla temas ettiği noktayı ifade eder. Kesme kenarının şekli, talaş oluşumu, talaş kaldırma verimliliği ve iş parçasının yüzey kalitesi üstünde kayda değer bir etkiye sahiptir. Bu sebeple, kesici takımın kenar geometrisi, kesme kenarının keskinliği, kenar yarıçapı ve kenar açısı gibi faktörleri dikkate alarak optimize edilmelidir.

Kesici takım geometrisi, tornalama işleminin başarılı olarak gerçekleştirilmesi için önemlidir. Doğru bir kesici takım geometrisi seçimi, iş parçasının istenen boyutsal ve yüzey kalitesine ulaşmasını sağlarken aynı zamanda takımın ömrünü ve işleme verimliliğini artırır.

Kesici takım geometrileri, talaşlı imalat işlemlerinde farklılık gösterir. Bu bağlamda, kesici takımlar genellikle noktadan kesme yapabilen ve çok noktadan kesme yapabilen kesici takımlar olarak iki temel kategoriye ayrılır. Talaşlı imalat işlemlerinin genelinde, talaş oluşum mekanizması temelde benzerdir ve tek noktadan kesme yapan kesici takımlarla çok noktadan kesme yapan kesici takımlar için benzer kurallar uygulanır. Tornalama işleminde özellikle tek noktadan kesme yapan kesici takımlar tercih edilir [63].



Şekil 3.5. Kesici takım geometrisi [64].

3.2.6.2. Kesici Takım Malzemeleri

Talaşlı imalat sürecinde, kesici takımların uzun süre etkili bir şekilde kesme işlemlerini gerçekleştirebilmeleri için belirli özelliklere sahip olmaları gerekmektedir [63]. Bu bağlamda, kesici takım malzemeleri aşağıdaki nitelikleri taşımalıdır:

- Yüksek sertlik ve sıcak sertlik özellikleri,
- Yüksek tokluk özelliği,
- İş parçasıyla kimyasal tepkimeye girmeme özelliği,
- Oksidasyon ve kimyasal çözünme karşısında kararlılık,
- Isıl şoklara karşı dayanıklılık [65].

Şu anda endüstriyel imalat sektörlerinde, talaşlı imalat yöntemlerinde kullanılan kesici takım malzemeleri içerisinde pratik olarak kullanılanlar aşağıda belirtilmiştir.

3.2.6.3. Yüksek Hız Çeliği

Yüksek hız çeliği, yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruma yeteneğiyle karbon ve düşük alaşımli çeliklerden ayrılmaktadır. Bu takım malzemesi, günümüzde önemli bir yer tutmakta olup, matkaplar, kılavuzlar, freze bıçakları ve tornavidalar gibi karmaşık geometriye sahip kesici takımların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yüksek hız çeliği kesici takımlar, daha sert kesici takımlar olan sementit karbür ve seramiklere kıyasla daha iyi tokluk özellikleri sergilemektedir. Bu takımlar, taşlama yöntemiyle istenilen geometriye kolaylıkla getirilebildiğinden, imalatçılar tarafından tek noktadan kesme işlemi yapabilen kesici takımlar olarak da tercih edilmektedir. Özellikle matkaplar, kesme performanslarının artırılması amacıyla TiN (Titanyum Nitrit) kaplamasıyla kaplanmaktadır [66,67].

3.2.6.4. Sementit Karbür

Sementit karbür kesici takımlar, başlangıçta tungsten karbür (WC) ve kobalt (Co) tozlarının metalurjik yöntemlerle üretildiği takımlardır. Bu takımlar, sert WC parçacıklarının varlığı nedeniyle dökme demir ve çelik dışı metallerin işlenmesinde yüksek hız çeliğinden daha yüksek kesme hızlarında etkin bir şekilde kullanılmıştır.

Çelik ve WC-Co arasındaki güçlü kimyasal reaksiyon nedeniyle takım-talaş ara yüzeyinde yapışma ve difüzyon oluşmakta ve özellikle çeliklerin işlenmesi sırasında hızlı bir krater aşınması meydana gelmektedir. Bu nedenle, WC-Co sementit karbür takımların krater aşınma direnci, TiC ve TaC gibi eklemelerle önemli ölçüde iyileştirilmiştir [67,68].

3.2.6.5. Kaplamalı Sementit Karbür

Sementit karbürlerin aşınma direncini artırmak amacıyla TiC, TiN ve/veya Al₂O₃ gibi malzemelerle kaplanması, kesici takım alanında gerçekleşen en önemli ilerlemelerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu kaplamalar, sementit karbür altlık yüzeyine kimyasal veya fiziksel buhar çökeltme yöntemleriyle uygulanır ve birkaç mikron kalınlığında tek veya çoklu katmanlar oluşturur. Bu kaplamalar, sementit karbür kesici takımın performansını önemli ölçüde artırabilir.

Kaplamalar, başlangıçta tek katman olarak kullanılmış olsa da son zamanlarda çok katmanlı kaplamalar geliştirilmiştir. WC-Co kesici takımlarında genellikle TiN veya TiCN, iyi bir adhezyon ve yakın ısı iletkenlik katsayılarından dolayı birincil kaplama

olarak tercih edilir. Bu ilk katmanın üzerine ise genellikle TiN, TiCN ve Al₂O₃ gibi malzemeler uygulanır [68].

3.2.6.6. Sermet

"Sermet" terimi, "seramik" ve "metal" kelimelerinden türetilmiş olup, sementit karbürlerin ortak bir adıdır. Sermet kesici takımlarda, sert parçacıklar genellikle TiC, TiCN ve/veya TiN esaslı seramik parçacıklardan oluşurken, birleştirici faz olarak ise genellikle Ni ve/veya Mo kullanılır. Sermet kesici takımlar da sementit karbür gibi toz metalurjisi yöntemleriyle üretilirler. Bu kesici takımlar, çelik, paslanmaz çelik ve dökme demirin bitirme ve yarı bitirme işlemlerinde yüksek kesme hızlarında kullanılırlar.

Sermet kesici takımlar genellikle çeliklerin işlenmesinde kullanılan sementit karbür kesici takımlardan daha yüksek hızlarda kullanılırlar. Düşük ilerleme hızlarıyla iyi bir yüzey kalitesi elde edilir ve genellikle taşlama işlemine ihtiyaç duyulmaz [53,67].

3.2.6.7. Seramik

Seramik kesici takımlar, temel olarak iki ana grupta incelenmektedir: alüminyum oksit (Al₂O₃) ve silisyum nitrür (Si₃N₄). Bu takımlar, sementit karbür kesici takımlara kıyasla yüksek sertlik, sıcak sertlik, aşınma ve plastik deformasyon direnci ile iyi kimyasal kararlılık gibi özellikler sunmaktadır. Ancak düşük ısı şok direnci ve kırılma tokluğuna sahiptirler. Al₂O₃ seramik kesici takımlar, dökme demir ve çelik dökümünün yüksek hızlarda işlenmesinde başarıyla kullanılmaktadır. Sertleştirilmiş çeliklerin finiş işlemleri, sert bağlama koşulları altında yüksek hız, düşük ilerleme miktarı ve kesme derinliği kullanılarak etkili bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Seramik kesici takımların dayanımı, ısı şok direnci ve kırılma tokluğu gibi özellikleri, üretim ve sinterleme süreçlerinde yapılan iyileştirmeler ve tokluğu artıran çeşitli elementlerin katılmasıyla geliştirilmiştir. Bu sayede uygulama alanları genişlemiştir. Doğal elmas (tek kristalli), polikristal elmas (PCD) ve kübik bor nitrür (CBN) gibi malzemeler, son derece sert kesici takım malzemeleri kategorisine dahil edilirler [63].

3.2.6.8. Çok Sert Kesici Takımlar

Elmas, tabii olarak meydana gelen ve tartışmasız bir şekilde en yüksek sertlik ve aşınma direncine sahip olan bir malzemedir. Diğer sert metal kesici uçlara kıyasla iki kat daha fazla dayanıklılık sergiler ve sıcaklıkla neredeyse hiç genleşme göstermez. Bu nedenle, dar toleranslara sahip ve son derece yüksek yüzey kalitesi gerektiren işler için tercih edilir. Demir içeren metallerin işlenmesi sırasında yüksek kesme sıcaklıklarında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar, elmasın orijinal grafit yapısına dönüşmesine yol açabilir. Bu sebeple, elmas kesiciler yalnızca demir içermeyen ve metaller dışındaki malzemelerin işlenmesinde kullanılabilir. PCD kesici takımlar ise doğal elmas gibi demir dışı ve metal dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılır ve aşınmaya karşı son derece dayanıklılık gösterir. Ayrıca, uzun süre kesme hassasiyetini koruma kabiliyeti sayesinde özel uygulamalarda kullanılır.

PCD kesici takımlar, rastgele yönlendirilmiş elmas parçacıklarından oluştuğu için çoğu uygulamada izotropik davranış sergilerler. PCD kesici takımlar, doğal elmadan elde edilebilen mükemmel bir kesici uç seviyesine ulaşmasa da, kesici uç deformasyonuna duyarlılığı azdır.

Kübik bor nitrür (CBN), elmasın ardından en fazla sertlik değerini barındıran bir kesici takım malzemesidir. CBN takımlar, dövme çelik, sertleştirilmiş çelik, dökme demir, yüzeyi sertleştirilmiş parçalar, kobalt ve demir esaslı toz metaller, perlitik dökme demir ve yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren alaşımların işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kırılgan bir malzeme olmasına rağmen seramiklere kıyasla daha tok bir yapıya sahiptir. Mükemmel aşınma direnci, iyi ısı iletkenlik, düşük sürtünme ve ısı genleşme katsayıları ise diğer özelliklerindedir [67].

3.2.6.9. Kesici Takım Aşınması

Takım ömrü genellikle belirli bir kriteri karşılamak için gereken etkili kesme zamanı veya pratik olarak iki bileme arasında geçen etkili çalışma zamanı olarak tanımlanır. Kesici takımda takım ömrü, kesici kenarın işlem gerekliliklerini yerine getiremeyecek

kadar aşınmasıyla sınırlıdır. Takımın yerine getirmesi gereken gereklilikler, istenen yüzey kalitesini, boyut hassasiyetini ve talaş kontrolünü içerir [61].

Takım ömrü, genellikle yapılan talaş kaldırma işleminin ince veya kaba olmasına bağlı olarak değişir. Kesici takımınların ömrü dakika olarak belirtilir. Kesici takım ömrü genel olarak 15 dakikadan daha kısadır ve kesici kenarın kırılmasıyla sona erer. Kesici kenarın ne zaman aşınmış olarak kabul edileceğini belirlemek için doğru tanımlamalar yapılmalıdır. Farklı işlemlerde farklı takımlarda aşınma değerleri değişebilir. Ancak, bir kesici kenar istenen yüzey kalitesini sağlamıyor ve belirli bir tolerans aralığını karşılamıyorsa, bu takım daha fazla bu işlemde kullanılamaz [69].

Aşınma biçimleri, kesici takımların maruz kaldığı farklı aşınma tiplerini tanımlamak için aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Yan yüzey aşınması
- Krater aşınması
- Talaş yığılması (BUE)
- Çentik aşınması
- Plastik deformasyon
- Termal çatlaklar
- Kenar tanecik kopması/kırılması [63].

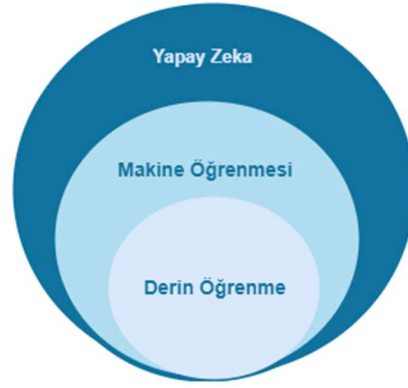
BÖLÜM 4

MAKİNE ÖĞRENMESİ VE GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNOLOJİSİ

4.1. MAKİNE ÖĞRENMESİ

Makine öğrenmesi kavramı, 1950 yılında Turing tarafından ortaya atılan "Makineler öğrenebilir mi?" sorusuna cevap aramak amacıyla ortaya çıkmıştır. Makine öğrenmesinin ilk uygulamaları, temel matematiksel yöntemler kullanılarak verilerin sınıflandırılması veya tahmin edilmesi gibi basit problemlere odaklanmıştır. 1960'lı yıllarda, "Öğrenme Teorisi" adıyla bilinen bir alan olarak makine öğrenmesi kavramı daha da gelişmiştir. 1980'lerde, bilgisayarların işlem gücündeki artış ve Veri Madenciliği teknolojilerinin ilerlemesi, makine öğrenmesinin daha da gelişmesine ve yaygınlaşmasına olanak sağlamıştır [70].

İnsan ihtiyaçlarının artması, dördüncü sanayi devrimi ve teknolojinin yaygınlaşmasıyla birlikte üretilen veri miktarı önemli ölçüde artmıştır. Özellikle 1990'lı yıllarda, insanların teknolojiye erişiminin artmasıyla birlikte işlenmeyi bekleyen birçok veri kolaylıkla toplanabilir hale gelmiştir. Aynı zamanda verilerin depolanması ve erişimi hem daha kolay hem de daha ekonomik hale gelmiştir, bu da değerli bilgilerin elde edilme talebini beraberinde getirmiştir. Günümüzde makine öğrenmesi, ses ve görüntü tanıma, Nesnelerin İnterneti, sağlık veya finans gibi çeşitli alanlarda kullanılabilmektedir [71].



Şekil 4.1. Yapay zeka, makine öğrenimi ve derin öğrenme [72].

Makine öğrenimi, bilgisayar modellerini eğitmeyi ve verilerden öğrenerek açıkça programlanmadan tahminler veya kararlar almayı amaçlayan yapay zekanın bir alt disiplini. Şekil 5.1'de, yapay zekanın geniş ve disiplinler arası bir alan olduğu ve birçok alt alanı içerdiği belirtilmiştir. Bu alt alanlar, yapay zekanın en önemli bileşenlerini temsil etmektedir.

Makine öğrenimi algoritmalarının kullanıldığı çeşitli alanlarda, bilgisayarlı görü, doğal dil işleme ve karar destek sistemleri gibi, büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Çoğu durumda, yeterli bilgi mevcut olduğunda, makine öğrenimi algoritmalarıyla büyük ve karmaşık problemlerin analizi mümkündür. Makine öğrenimi algoritmasının performansı, problem boyutu, çeşitliliği, hızı ve türü gibi faktörlere bağlıdır. Ancak, başarılı makine öğrenimi modelleri oluşturmak, temel verilerin ve çözülmekte olan problemin iyi anlaşılmasını gerektirir. Makine öğrenimindeki temel zorluklardan biri, modelin görünmeyen veriler üzerinde iyi bir performans sergilemek için aşırı öğrenmeyi önlemek ve genelleme yeteneğini iyileştirmektir. Bazı yöntemler, çapraz doğrulama teknikleri ve düzenleme yöntemlerinin kullanımını içermektedir [73,74].

Makine öğrenimi, hızla büyüyen bir alandır ve çeşitli endüstrileri dönüştürme potansiyeline sahiptir. Yeni imkanlar sunarak karmaşık problemleri çözebilir ve sağlık, finans ve ulaşım gibi çeşitli sektörlerde verimlilik, doğruluk ve otomasyon geliştirme yeteneğine sahiptir [75,76].

4.2. DERİN ÖĞRENME

Derin öğrenme, yapay sinir ağları ve insan beyninden ilham alan algoritmaları kullanarak soyut verileri modellemeyi hedefleyen, makine öğreniminin bir alt kümesidir. Derin öğrenme algoritmaları, veri setindeki bilgi yığını için kullanılır ve sonuçları iyileştirmek için deneyim kazanır, insanların tecrübelerine benzer şekilde. Derin öğrenme, her türlü düşünce gerektiren problem için sonuç üretebilir. Derin öğrenme modelleri, yapay sinir ağlarına kıyasla daha yoğun işlemler gerçekleştirdiğinden, veriyi eğitmek ve yorumlamak için güçlü çiplere ihtiyaç duyar. Bu alanda, grafik işlem birimlerinin (GPU) yetenekleri en önemli destek sağlayıcı olarak gözlemlenmiştir.

Derin öğrenme uygulamalarında, denetimli ve denetimsiz olarak adlandırılan yapı taşlarından yararlanır. Denetimli öğrenme, etiketli veri kümelerinden oluşan girişlere ve muhtemel çıktılara sahiptir. Denetimli öğrenmeyle eğitim yapılırken, girişlere etiketleme yapılır ve beklenen çıktı değerleri tanıtılır. Başarı oranının yüksek olması için eğitim verilerinin sayısı, başarıyı doğrudan etkileyen bir faktördür. Denetimsiz öğrenmede ise giriş ve çıktılara müdahale edilmeden, belirli bir yapıya sahip olmayan veri kümeleri kullanılarak işlemler gerçekleştirilir [76].

4.3. GÖRÜNTÜ İŞLEME

Görüntü işleme, imalat endüstrisinden güvenliğe, sağlıktan kalite kontrolüne birçok alanda ortaya çıkan problemlerin çözümü için görüntülerin analiz edilerek kontrol altına alınmasını amaçlayan bir alandır. Bu amaca yönelik olarak, görüntüler öncelikle belirli aşamalardan geçirilerek sayısal verilere dönüştürülür. Görüntüler, iki boyutlu bir fonksiyon olan $f(x,y)$ olarak tanımlanabilir, burada x ve y , görüntünün herhangi bir yerindeki eksene koordinatlarıdır. f fonksiyonu ise bu koordinatlardaki görüntü parçacıklarının genlik değerini ifade eder. Bu değerler, o koordinattaki pikselin yoğunluğu veya gri tonunu temsil eder. Her görüntü, bu genlik değerleri ve koordinatlara sahip, sınırlı sayıda ve birleşik piksellerden oluşan bütünleşik resim öğelerinden oluşur. Tek renkli görüntüler gri tonlu olarak adlandırılırken, renkli

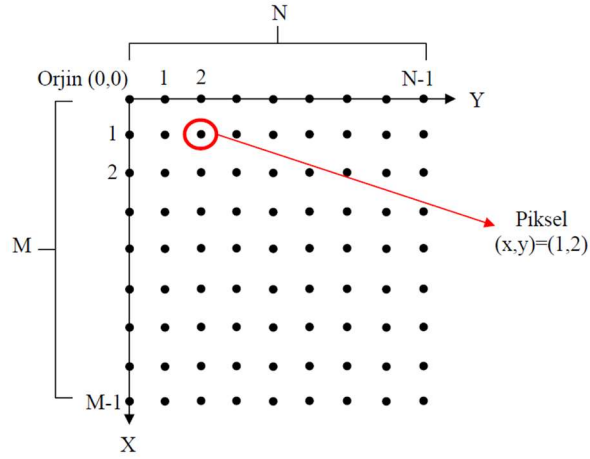
görüntüler üç temel renk olan kırmızı (R-red), yeşil (G-green), mavi (B-blue) renklerin birleşimi olan RGB formatında isimlendirilir.

Görüntü işleme işlemleri tamamlandıktan sonra, görüntüdeki nesnelere ve kavramlar hakkında öz nitelik çıkarımları yapılır. Bu çıkarım süreci, görüntünün karmaşıklığı, kalitesi ve nesnelere sınırlarının belirginliğine bağlı olarak değişebilir. Görüntü işleme, görüntünün elde edilmesi ve işlenebilir hale getirilmesiyle başlar. Bu sayede, görsel veriler analiz edilerek, hedeflenen uygulamalara yönelik bilgiler elde edilir [77].

4.3.1. Koordinat sistemi

Görüntüler, kaydedildikleri cihazların piksel kapasitesine göre $M \times N$ boyutunda bir matris şeklinde ifade edilirler. Görüntünün kalitesi arttıkça, birim alan başına düşen piksel değeri yani M (sıra) ve N (sütun) değerleri artar. Bir pikselin koordinat değerini belirlemek için $M \times N$ boyutundaki matriste karşılık gelen x ve y değerleri bulunur (Şekil 3.14). x ve y değerleri tamsayıdır ve X ve Y ekseninde her bir konum için x ve y değerleri birer artırılarak yeniden konum değeri hesaplanır. Her görüntünün sol üst köşesi referans olarak alınır ve buradaki (x, y) değeri $(0, 0)$ olarak kabul edilir. Görüntünün sağ alt köşesi ise $(x, y) = (M, N)$ değeriyle ifade edilir.

Video görüntüleri için, üçüncü bir değişken olan zaman (t) değişkeni eklenir. Video kaydedici cihazın saniyedeki alabileceği görüntü sayısı fps (frame per second) kavramı, her sahnenin farklı kılınmasını sağlayan bir değişkendir. Bu değişkenin eklenmesiyle birlikte dinamik görüntülerde koordinat sistemi $(x, y, t) = (M, N, fps)$ şeklinde gösterilir [77].



Şekil 4.2. Görüntü koordinat sistemi ve piksel gösterimi [77].

4.3.2. Görüntü Hizalama

Görüntü işlemede hizalama, birden fazla görüntüyü bir referans noktasına veya birbirine göre uyumlu hale getirme sürecidir. Bu işlem, farklı açılardan, farklı pozisyonlardan veya farklı zamanlarda elde edilen görüntülerin, aynı nesneyi veya sahneyi temsil etmesini sağlar. Hizalama işlemi sırasında, görüntüler arasındaki geometrik ve perspektifsel farklılıklar düzeltilir ve görüntüler birbirine uygun hale getirilir [78].

Görüntü hizalama işlemi, temelde iki amaç için kullanılır:

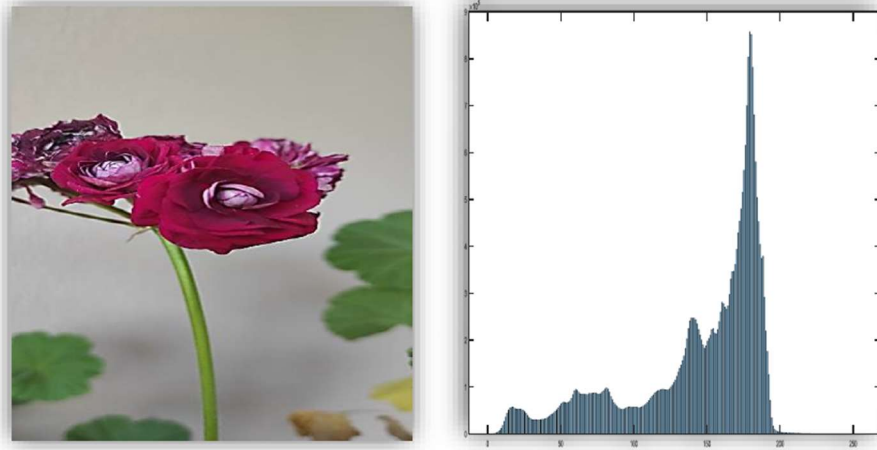
- Görüntü Karşılaştırma ve Analiz: Farklı açılardan veya zamanlardan alınan görüntülerin birbirleriyle uyumlu hale getirilmesi, bu görüntülerin içeriğini karşılaştırmayı ve benzerliklerini veya farklılıklarını analiz etmeyi mümkün kılar.
- Görüntü Birleştirme: Farklı açılardan veya pozisyonlardan elde edilen görüntüleri birbirine uyumlu hale getirerek, panoramik görüntüler veya 3D modeller oluşturmak mümkün olur [78].

4.3.3. Histogram

Histogram, bir görüntüdeki renk tonlarının kaçar adet pikselde bulunduğunu hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir. Özellikle renk tonları arasındaki kontrastın artırılması gerektiğinde sıkça kullanılan bir tekniktir. Örneğin gri tonlamalı bir resimdeki herhangi bir pikselin gri değeri s ile ifade edilirse, o gri seviyenin histogramı (h), s değerine sahip piksellerin görüntüdeki toplam sayısına (n) eşit olacaktır.

Histogram, birçok görüntü düzenlemesinin temelini oluşturur. Görüntünün histogram dağılım grafiğine göre parlak, mat, renkli, koyu gibi bölgelerin tüm piksellere normalize edilmesi veya bir yerde toplanması sayesinde netleştirme, geliştirme, düzenleme, bölümlendirme, sıkıştırma gibi işlemler gerçekleştirilebilir.

Görüntülerin histogram analizi yapıldıktan sonra, kontrastın veya netliğin fazla olduğu bölgeler tüm görüntüye normalize edilerek daha net bir görüntü elde edilebilir. Bu amaçla gri tonlamalı görüntülerde her bir grilik seviyesinin (s) yoğunluk fonksiyonu (ys) tüm görüntüye integral alınarak uygulanır. Bu işlem histogram eşitleme (E) olarak adlandırılır ve görüntüler üzerinde veri elde etme işlemini kolaylaştırır [79].



Şekil 4.3. Görüntü histogram grafiği [79].

4.3.4. Renkli, gri ve siyah-beyaz görüntüler

Sayısal görüntü işlemenin ilk aşaması, görüntülerden hangi tür verilerin elde edileceğine bağlı olarak renkli, gri veya siyah-beyaz dönüşümünün gerçekleştirilmesidir. Genellikle kameralar ile renkli (RGB) görüntüler elde edilmektedir. Eğer elde edilmek istenen verilerin renk farklılıklarına dayandığı durumlarda (örneğin sıcaklık, ton farkı vb.), RGB görüntüsü üzerinden işlemler yapılır. Bu işlem kırmızı, yeşil ve mavi renkler için ayrı ayrı matris hesaplamaları gerektirir.

Gri görüntülerde ise her bir piksel 3 farklı değer yerine tek bir değere indirgenir. Bu sebeple, renklerden ziyade şekillerin önemli olduğu görüntüler gri tonlamaya dönüştürülerek hesaplama kolaylığı sağlanır. Görüntülerin griye dönüştürülme işlemi, tonlama ve komşu değer ilişkisi temelli bir yöntemdir. Renkli resimlerdeki piksel değerleri, komşu piksel değerleriyle karşılaştırılarak beyaz ve siyah renkler arasında tonlanır. Bu şekilde, renkli görüntüde piksel değeri daha yüksek olan bölgeler siyaha yakın, daha az olan bölgeler ise beyaza yakın görülür.

Gri resmin (G) piksel değeri (p), kırmızı, yeşil ve mavi piksel değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanır. Bu sayede, görüntüdeki renk bilgisi tek bir yoğunluk değeriyle temsil edilir ve görüntü işleme aşamalarında daha pratik ve verimli analizler yapılabilir [77].

$$G_{gri}(p) = \frac{G_R(p) + G_G(p) + G_B(p)}{3} \quad (4.1)$$

Renkli ve gri görüntülerde, nesnelerin boyutları, eni, merkez noktası, uzunluğu, şekli, eğimi, alanı gibi matematiksel verileri hesaplamak için sınır bölgelerinin tek bir bit (1,0) ile ifade edilmesi, hesaplamaları kolaylaştırmaktadır. Bu tür görüntülere binary (siyah-beyaz) görüntüler denir. Bu amaçla belirlenen eşik değerinin (d) altında kalan bölgeler siyah yani "0", üzerindeki bölgeler ise beyaz yani "1" olarak temsil edilir ve

böylece siyah-beyaz bir görüntü oluşturulur. Bu işlem, görüntülerin renk veya ton farkından ziyade form farklılıklarının sınırlarını çizmektedir.

Ölçümsel veya geometrik görüntü işleme operasyonlarında, görüntüler öncelikle gri tonlamaya dönüştürülür ve ardından siyah-beyaza çevrilirler. Bu yöntem, nesnelerin çevre bölgelerinin net bir şekilde belirginleştirilmesine ve analiz edilmesine olanak tanır. Nesnelerin özelliklerini çıkarabilmek ve matematiksel hesaplamaları kolaylıkla uygulayabilmek için siyah-beyaz görüntüler kullanmak yaygın bir yöntemdir. Bu şekilde elde edilen veriler daha işlevsel ve anlamlı olur ve görüntü işleme süreçleri daha etkin olarak gerçekleştirilir [77].



Şekil 4.4. Renklerine göre görüntüler a) Renkli (RGB) b) Gri c) Siyah-beyaz [77].

4.3.5. Görüntü filtreleme

Filtreleme, nesnelerin görüntüsüyle ilgisi olmayan çevresel ve iletim araçlarından kaynaklanan gürültü ve bozulmaların giderilmesi işlemidir. Görüntü üzerinde rastgele oluşan noktalar, bazı bölgelerin daha beyaz çıkması veya normal bir dağılıma sahip olmayan genlik hataları filtreleme ile düzeltilir. Aynı zamanda, görüntüyü yumuşatma veya bulanıklaştırma amacıyla da filtreler kullanılır.

Görüntü işlemede çeşitli filtreleme uygulamaları mevcuttur. Ancak, filtreleme adımları genellikle benzer bir ilerlemeyle gerçekleştirilir. İlk olarak, filtre boyutu belirlenir (m, n) ve burada mxn boyutları her zaman tek sayı olmalıdır. Filtre uygulanacak alan seçildikten sonra bu alanın merkez noktası (x, y) belirlenir. Kullanılan filtre, matematiksel işlemleri bu merkez noktasına uygular. Filtreleme

işlemleri, her bir piksel ve komşu piksellerin değerlerini değerlendirerek yapılır. Bu işlemler; komşu piksellerin genlik değerlerinin ortalamasını almak, değerleri belirli bir katsayı ile çarpmak veya bölerek işlemek, belirli bir değerle toplamak veya çıkarmak, aralarındaki ilişkiye göre normalize etmek gibi matematiksel uygulamaları içerir. Filtre işlemi, merkez piksel için uygulandıktan sonra tüm piksellere aynı şekilde uygulanır [80].

4.3.6. Görüntü bölütleme (segmentasyon)

Bir görüntüyü homojen veya benzer özelliklere sahip bölgelere veya nesnelere ayırma işlemidir. Bu işlem, görüntü üzerindeki farklı nesnelere veya bölgeleri algılamak, sınırlarını belirlemek ve izole etmek amacıyla gerçekleştirilir. Görüntü bölütleme işlemi, bir görüntüdeki pikselleri belirli kriterlere göre gruplandırarak, farklı nesnelere veya bölgelerin sınırlarını belirler ve ayrı birer bütün olarak ele alır. Bu sayede, görüntüdeki ilgi çekici nesnelere veya özelliklere daha kolay tespit edilebilir ve analiz edilebilir. Görüntü bölütleme yöntemleri, piksel yoğunluğu, renk, dokular, kenarlar ve diğer özellikler gibi görüntüdeki farklı özellikleri kullanarak bölgeleri tanımlamak için çeşitli algoritmalar kullanılır [81].

4.3.7. Görüntü eşikleme

Eşikleme (threshold), görüntüden elde edilmek istenen verilerle ilgili olmayan, görüntü işleme aşamalarını zorlaştırıcı etkisi olan nesnelere ayrıştırılmasını sağlayan bir yöntemdir. Eşikleme, görüntülerin siyah-beyaz hale getirilmesi, arka planın kaldırılması, belirli boyutlardan küçük olan nesnelere silinmesi, kenar çizgilerinin ayırt edilmesi ve bazı nesnelere belirgin hale getirilmesi gibi kolaylaştırıcı işlemler için kullanılmaktadır.

Eşik değeri T , görüntüdeki herhangi bir piksel, piksel bölgesi veya resmin tümüne uygulanabilir. Genlik değeri $f(x,y)$ olarak ifade edilen her bir pikselin T değeriyle karşılaştırılması sonucu farklı işlem sonuçları elde edilebilir. Örneğin, $f(x,y) > T$ veya $f(x,y) < T$ işlemleri teker teker ya da birlikte kullanılarak görüntüdeki nesnelere seçilebilir. Seçilen nesnelere yeni değerler atanarak (örneğin gri resmi siyah-beyaz (1,0)

çevirme işlemi) sonraki aşamalarda hesaplama kolaylığı sağlanabilir. Bu şekilde eşikleme yöntemi, görüntü işlemede pek çok önemli analiz ve ayıklama işleminin temelini oluşturur [81].

4.3.7.1. Otsu eşikleme

Otsu eşikleme yöntemi, görüntüdeki nesne ve arka plan bölgelerini ayrıştırmak amacıyla kullanılır. Bu yöntem, görüntüdeki piksel değerlerinin histogramını analiz ederek, piksel değerlerini iki farklı sınıfa ayırmak için en uygun eşik değerini otomatik olarak belirler. Eşik değeri, görüntüdeki piksel değerleri arasında bir ayırım noktası olarak düşünülebilir. Otsu yöntemi, piksel değerlerini iki sınıfa bölen eşik değerini, piksel değerlerinin sınıflar arasındaki varyansı en küçük yapacak şekilde seçer.

Otsu eşikleme yöntemi, eşik değerini belirlemek için histogramdaki piksel değerlerinin olasılık dağılımını kullanır. Eşik değeri, iki sınıf arasındaki piksel değerlerinin varyansını maksimize edecek şekilde hesaplanır. Bu sayede, nesne ve arka plan bölgeleri daha net bir şekilde ayrıştırılır ve daha iyi bir bölümlendirme elde edilir [81].

4.3.8. Morfolojik Görüntü İşleme

Morfolojik Görüntü İşleme, matematiksel morfoloji adı verilen bir yöntemle görüntü üzerinde yapılan işlemler bütünüdür. Bu işlemler, nesnelerin şekillerini, büyüklüklerini ve konumlarını değiştirmek veya vurgulamak amacıyla kullanılır. Genellikle binary (siyah-beyaz) görüntülerde uygulanan bir tekniktir, ancak gri tonlu veya renkli görüntülerde de bazı durumlarda kullanılabilir.

Morfolojik görüntü işleme, genişletme (dilasyon) ve aşındırma (erozyon) olarak bilinen iki temel operasyona dayanır. Dilasyon işlemi, nesnelere genişleterek kenarlarını düzeltir ve bağlantılarını güçlendirir. Erozyon işlemi ise nesnelerin kenarlarını aşındırarak boyutunu küçültür ve ayrılmasını sağlar. Bu iki işlem birlikte kullanılarak görüntülerde şekil değişikliği, nesnelerin birleştirilmesi veya ayrılması gibi manipülasyonlar gerçekleştirilebilir.

Morfolojik görüntü işleme, şekil analizi, kenar tespiti, gürültü azaltma, nesne algılama ve segmentasyon gibi birçok uygulama alanında kullanılır. Morfolojik görüntü işlemenin temel amacı, nesnelerin yapısal özelliklerini vurgulamak ve görüntüdeki önemli özellikleri çıkarmaktır. Bu sayede, görüntülerdeki nesnelerin tanımlanması, analizi ve anlamlandırılması kolaylaşır. Bu yöntem, diğer görüntü işleme teknikleriyle birlikte kullanılarak daha karmaşık ve güçlü analizler elde etmeye yardımcı olur [82–84].

4.3.9. Bağlantı Bileşenleri Etiketleme (Connected Component Labeling)

Bu yöntem, nesnelerin veya bölümlerin birbirine bağlı olduğu bölgeleri etiketlemeye ve gruplamaya olanak tanır. Amacı, bir görüntüde farklı nesneleri veya bileşenleri belirleyerek bunları benzersiz etiketlerle işaretlemektir. Böylece her nesne veya bileşen, farklı bir etiket numarasıyla temsil edilir.

Bağlantı bileşenleri etiketleme işlemi, piksel tabanlı yöntemler arasında yer alır ve nesnelerin sınırlarının veya kenarlarının belirlenmesinde, nesne algılama, nesne sayma, hareket analizi ve tıbbi görüntüleme gibi birçok uygulamada kullanılır [78,85].

Bu işlem iki aşamada gerçekleştirilir:

- **Tarama Aşaması:** Görüntü üzerinde piksel piksel veya satır satır tarama yapılır. Her pikselin komşu pikselleriyle karşılaştırılır ve benzer özelliklere sahip pikseller gruplandırılır. Benzer özelliklere sahip pikseller aynı nesneye aittir ve aynı etiket numarasıyla işaretlenir.
- **Birleştirme Aşaması:** Tarama aşamasından sonra, birleştirme adımıyla aynı nesneye ait piksellerin farklı etiket numaraları taşıması durumunda bu etiketler birleştirilir. Böylece her nesne için benzersiz bir etiket numarası elde edilir.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, havacılık ve uzay endüstrisinde ve askeri ekipmanlarda yaygın olarak kullanılan AA7075-T6 alüminyum alaşımının tornalama işleminde kuru işleme yöntemi ile, değişken işleme parametrelerin (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği) yüzey pürüzlülüğüne, takım aşınmasına, takım üzeri yapışmasına olan etkileri deneysel olarak araştırılmış, görüntü işleme teknolojisi işlenerek takım aşınması değerleri tahmin edilmeye çalışılmış ve taramalı elektron mikroskobu kullanarak takım üzeri sıvanmalar incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir:

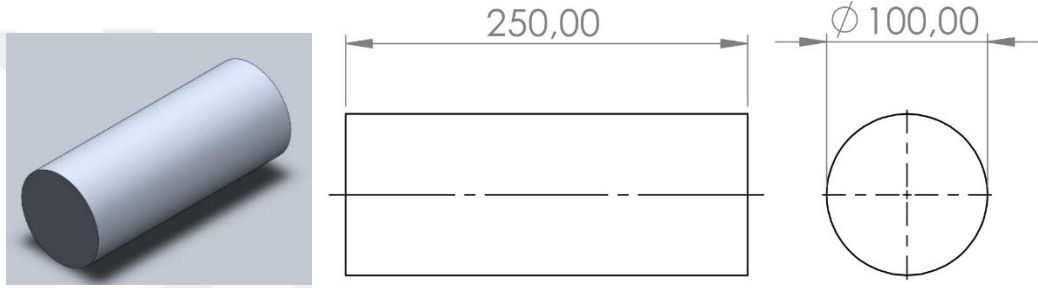
- Malzeme tedariği,
- Tornalama deneyleri,
- Görüntü işlemede kullanılmak üzere mikroskop ile takım ucu görüntülerinin elde edilmesi,
- Takım üzeri sıvanmaları incelemek üzere Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile detaylı takım ucu görüntülerinin elde edilmesi,
- Deneysel değerler ve görüntü işleme teknolojisi ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması aşamaları.

5.1. DENEY MALZEMESİ

Deneysel malzemesi olarak kullanılmak üzere AA7075-T6 alüminyum alaşımı, yüksek performanslı uygulamalar ve güvenilir dayanıklılık gerektiren çeşitli sektörlerde tercih edilen bir alüminyum alaşımı olup, Seykoç Alüminyum Paz. Ve San.Tic.Ltd.Şti'den temin edilmiştir. 100mm çapında 250mm boyunda olacak şekilde üç adet çubuk şeklinde temin edilmiştir. AA7075-T6 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 5.1'de ve deney numunesi boyutları Şekil 5.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Deney numunesinin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri.

Kimyasal Bileşimi		Fiziksel Özellikler	
Element	Miktar (%)	Özellik	Değer
Alüminyum (Al)	89,85	Yoğunluk	2,81 gr/cm ³
Çinko (Zn)	5,4	Sertlik (Hv)	176
Magnezyum (Mg)	2,5	Çekme Dayanımı	572 MPa
Bakır (Cu)	1,4	Akma Dayanımı	503 MPa
Mangan (Mn)	0,22	Kopma Uzaması	11%
Demir (Fe)	0,19	Elastisite Modulu	71,7
Krom (Cr)	0,19	Poisson Oranı	0,33
Silisyum (Si)	0,17	Ergime Sıcaklığı	635 °C
Titanyum (Ti)	0,08	Termal iletkenlik	130 W/mK



Şekil 5.1. Deney numunesinin boyutları.

5.1.1. İşleme Parametreleri ve Deney Düzenegi

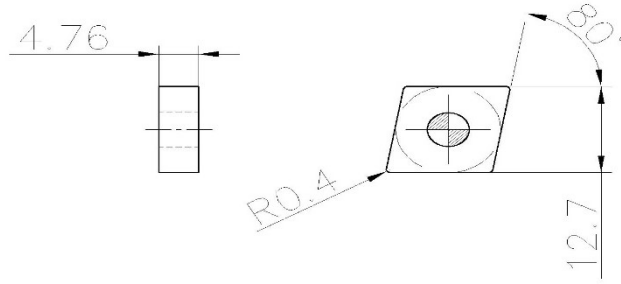
Bu çalışmada; kuru işleme şartlarında, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği olmak üzere 3 farklı işleme parametresi kullanılmıştır. Değişken kesme hızları ve ilerlemeler ile sabit kesme derinliğinde yapılan deneylerin Çizelge 6.2.'de işleme parametreleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. İşleme parametreleri.

	Deney Nu.	Vc= Kesme hızı (m/dak)	f=İlerleme miktarı (mm/dev)	a=Kesme derinliği (mm)
Seviye 1	1	300	0,20	1,00
	2	450	0,20	1,00
	3	600	0,20	1,00
Seviye 2	4	300	0,30	1,00
	5	450	0,30	1,00
	6	600	0,30	1,00
Seviye 3	7	300	0,40	1,00
	8	450	0,40	1,00
	9	600	0,40	1,00

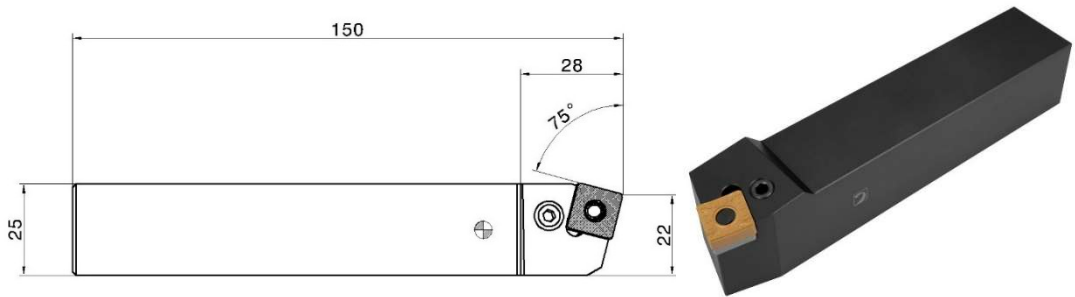
5.2. KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU

Deneyleerde K10 kalitesine sahip, kaplaması TiCN+Al₂O₃+TiCN, köşe radyusu 0.4mm, yanaşma açısı 95°, uç kalınlığı 4.76mm, kesme kenarı uzunluğu 12.9 mm, maksimum kesme boyu 3.5 mm olan CNMG 120404ML ISO standart numaralı değiştirilebilir karbür malzeme kesici takımlar kullanılmıştır. Tornalama deneyleerinde kullanılan kesici takımların geometrisi ve boyutları aşağıda sunulmuştur.



şekil 5.2. Kesici takım geometrisi ve boyutları.

Tornalama deneyleeri için tercih edilen CNMG 120404 ML kodlu kesici takımlar, CNC torna tezgahına rijit bir yapıya sahip olan PSBNR 2525 M12 kodlu bir takım tutucuyla bağlanmıştır. şekil 6.3'te takım tutucuya ait özellikler verilmektedir.



şekil 5.3. Kullanılan takım tutucu özellikleri.

5.3. KULLANILAN TAKIM TEZGAHI

Çalışmalar Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı İmalat Anabilim Dalında yer alan Taksan TTC-550 model CNC Tornada gerçekleştirilmiştir. Taksan TTC-550 CNC Torna Tezgahına ayna ile punta arasında bağlanmıştır. Taksan TTC-550 CNC Torna Tezgahının iş mili değişken kademesiz hıza sahiptir ve 4000 dev/dak'ya kadar çıkabilmekte ve gücü de 10 kW'dır. Tornalama deneylerinde kullanılan takım tezgahı Şekil 5.4. sunulmuştur.



Şekil 5.4. Kullanılan takım tezgahı.

5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI

Deneyler için Karabük Üniversitesi'nde bulunan Marsurf PS1 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler için 0,8 mm kesme uzunluğu ve 5 mm değerlendirme uzunluğu olarak belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) kullanılmıştır. 5 farklı ölçüm alınmış, en yüksek ve en düşük değerler çıkarılarak geri kalan 3 değer aritmetik ortalaması alınarak ortalama Ra değeri hesaplanmıştır.

5.5. TAKIM AŞINMASI VE TALAŞ SIVANMASI (BUE) ÖLÇÜMÜ

Takım aşınmaları ve talaş sıvanmalarının değerlendirilmesi için Karabük Üniversitesinde bulunan, Mitutoyo marka stereo mikroskop kullanılarak 5x ve 10x büyütme seviyelerinde yapılmıştır.

5.6. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM)

Değişken kesme hızları ve ilerlemeler ile sabit kesme derinliğinde yapılan deneyler sonrasında takımlarda oluşan takım aşınmaları ve takım yapışmaları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş ve aşınma durumlarına bakılmıştır. İncelemeler EDS özellikli Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Taramalı Elektron Mikroskobu tarafında Karabük Üniversitesi içerisinde bulunan Demir Çelik Enstitüsü Margem Laboratuvarlarında incelenmiştir.

5.7. GÖRÜNTÜ İŞLEME AŞAMALARI

Deneylerden elde edilen bulgular görüntü işleme teknolojisi ile işlenebilmesi için ilk olarak mikroskop ile elde edilen tüm görseller aynı olacak şekilde hizalaması yapılmıştır. Takım ucunda bulunan takım kesme bölgesi görselden kırılmıştır. Renkli görüntü işlemeye uygun olması amacıyla gri hala getirilmiştir. Görsel üzerinde histogram germe işlemi yapılmıştır. Otsu threshold yöntemi ile görüntü siyah beyaz forma çevrilmiştir. Görsel üzerinde belli bölgeler üzerinde dilasyon ve erozyon işlemleri uygulanmıştır. Elde edilen görsel üzerinde en büyük bölge dikkate alınarak alan bölme işlemi yapılmış ve bölgelerin alanı piksel cinsinden hesaplanmıştır. Görüntü işleme amacıyla Adobe Photoshop, Visual Studio 2022 ortamı ve C# dili kullanılmıştır.

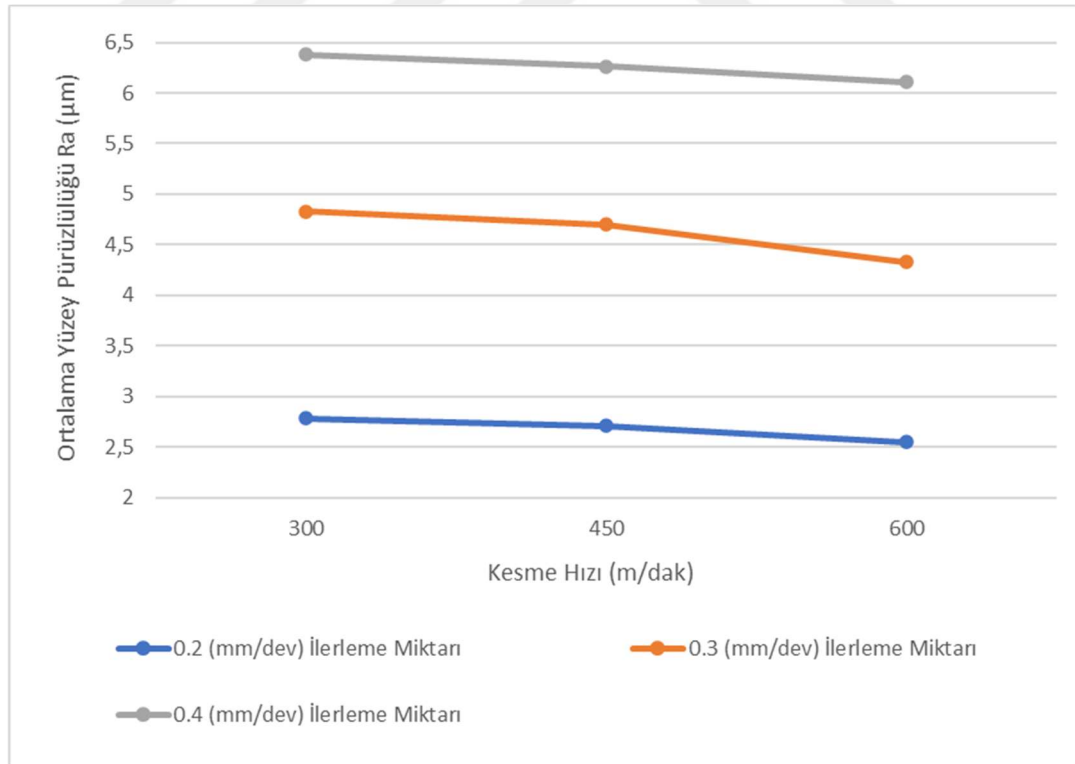
BÖLÜM 6

DENEY/ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. İŞLEME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE OLAN ETKİLERİ

6.1.1. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Olan Etkisi

Değişken kesme hızları (300, 450 ve 600 m/dk), sabit ilerleme miktarı ve sabit kesme derinliği ile kuru işleme şartlarında yapılmış olan deneylerin yüzey pürüzlülüğüne etkileri Şekil 6.1.'de verilmiştir.

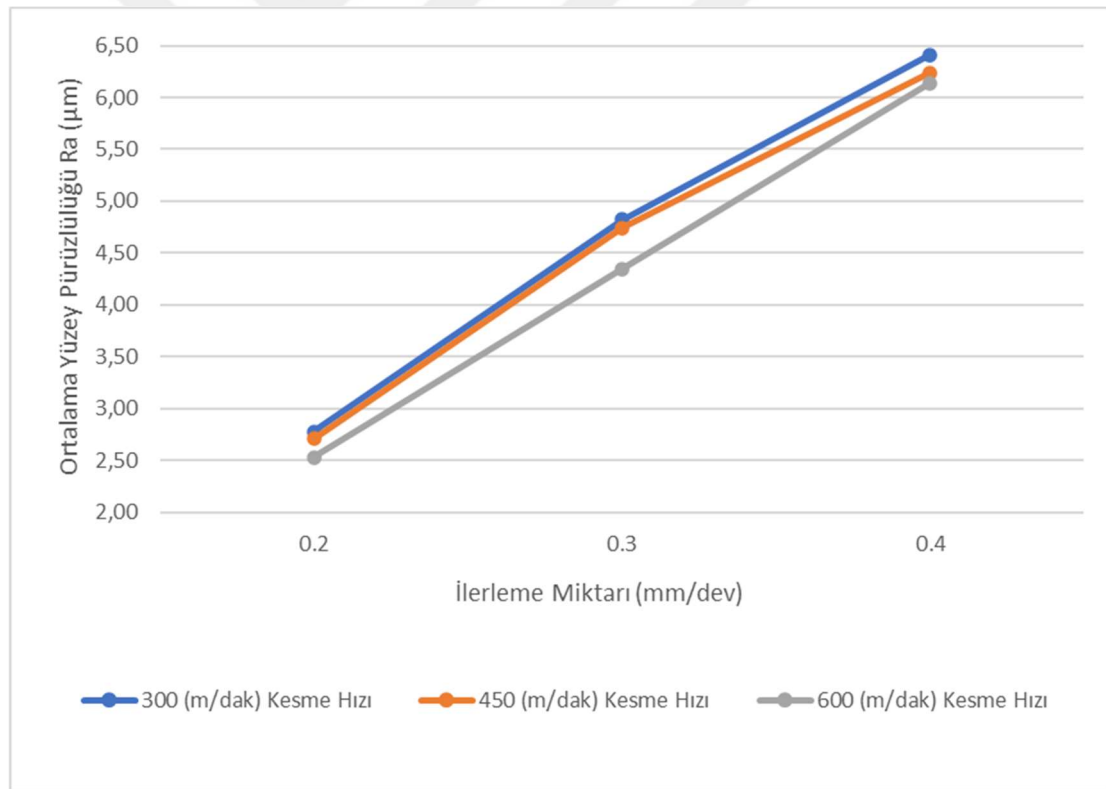


Şekil 6.1. Sabit ilerleme miktarı ile kuru işleme şartlarında kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Talaşlı imalat uygulamalarında işlenebilirlik performansının önemli bir ölçütü, yüzey pürüzlülüğüdür. Literatürde, artan kesme hızlarının yüzey pürüzlülüğünün azalmasıyla ilişkilendirildiği gözlemlenmiştir. Şekil 6.1’de anlaşıldığı üzere, kesme hızının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalma görülmüştür. Düşük kesme hızında elde edilen düşük yüzey pürüzlülüğü değerinin nedeni, kesici takımın kesme bölgesinde oluşan talaş sıvanmasına bağlı olabilir.

6.1.2. İlerle miktarının Yüzey Pürüzlülüğüne Olan Etkisi

Değişken ilerleme oranları (0.2, 0.3 ve 0.4 mm/dev), sabit kesme hızı ve sabit kesme derinliği ile kuru işleme şartlarında yapılmış olan deneylerin yüzey pürüzlülüğüne etkileri Şekil 6.2.’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Sabit kesme hızı ile kuru işleme şartlarında ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Yapılan deneylerde, ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin literatüre uyumlu bir şekilde artış gösterdiği, bu eğilimin Şekil 6.2'de sırasıyla gözlemlendiği belirlenmiştir.

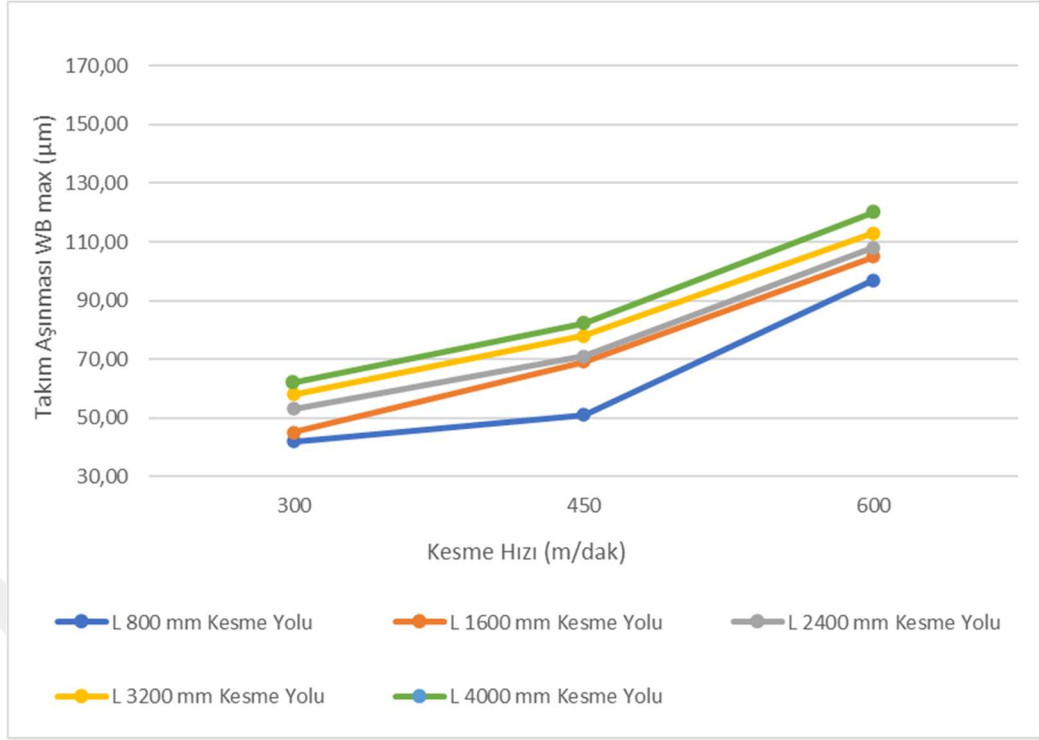
Kuru işleme koşullarında, ilerleme miktarlarının artmasıyla elde edilen en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri aşağıdaki gibidir: 0,2 mm/dev ilerleme miktarında ($V=600$ m/dak ve $a=1,00$ mm) $2,55 \mu\text{m}$, 0,3 mm/dev ilerleme miktarında ($V=600$ m/dk ve $a=1,00$ mm) $4,33 \mu\text{m}$ ve 0,4 mm/dev ilerleme miktarında ($V=600$ m/dk ve $a=1,00$ mm) ise $6,11 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir.

6.2. İŞLEME PARAMETRELERİNİN TAKIM AŞINMASINA OLAN ETKİLERİ

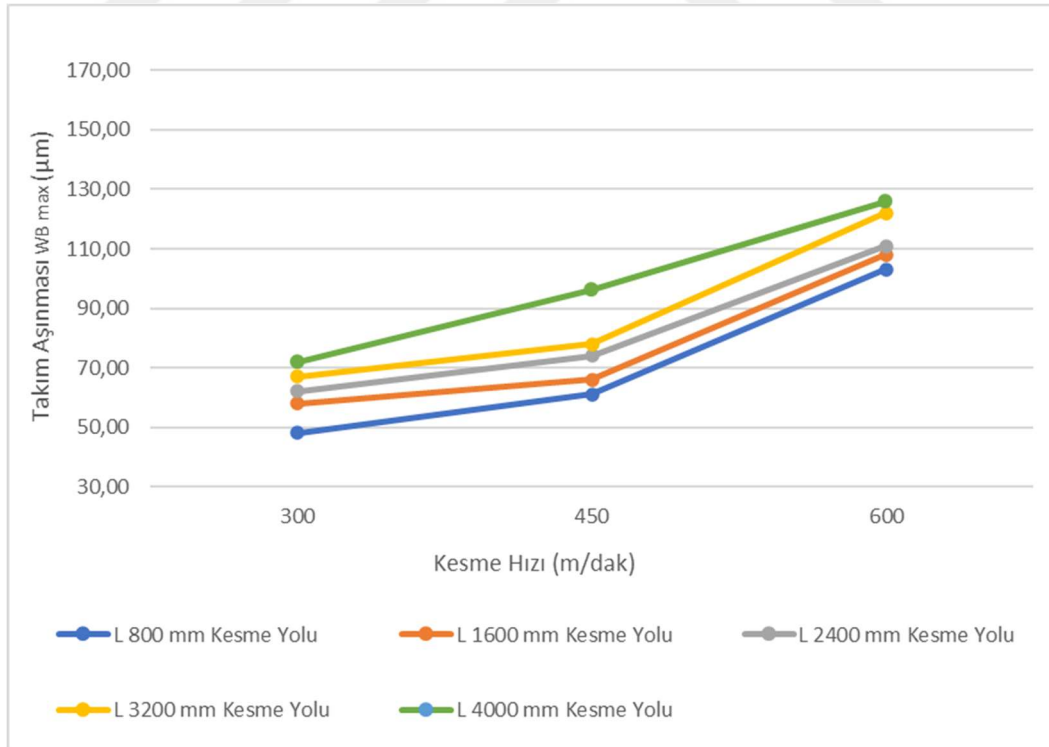
Değişken kesme hızları (300, 450 ve 600 m/dak), değişken ilerleme oranları (0.20, 0.30 ve 0.40 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (1 mm) ile kuru işleme şartlarında (800mm, 1600mm, 2400mm, 3200mm ve 4000mm) kesme yolu değerleri ile yapılmış olan deneylerin takım aşınmasına olan etkileri incelenmiştir.

6.2.1. Kesme Hızının Takım Aşınmasına Olan Etkisi

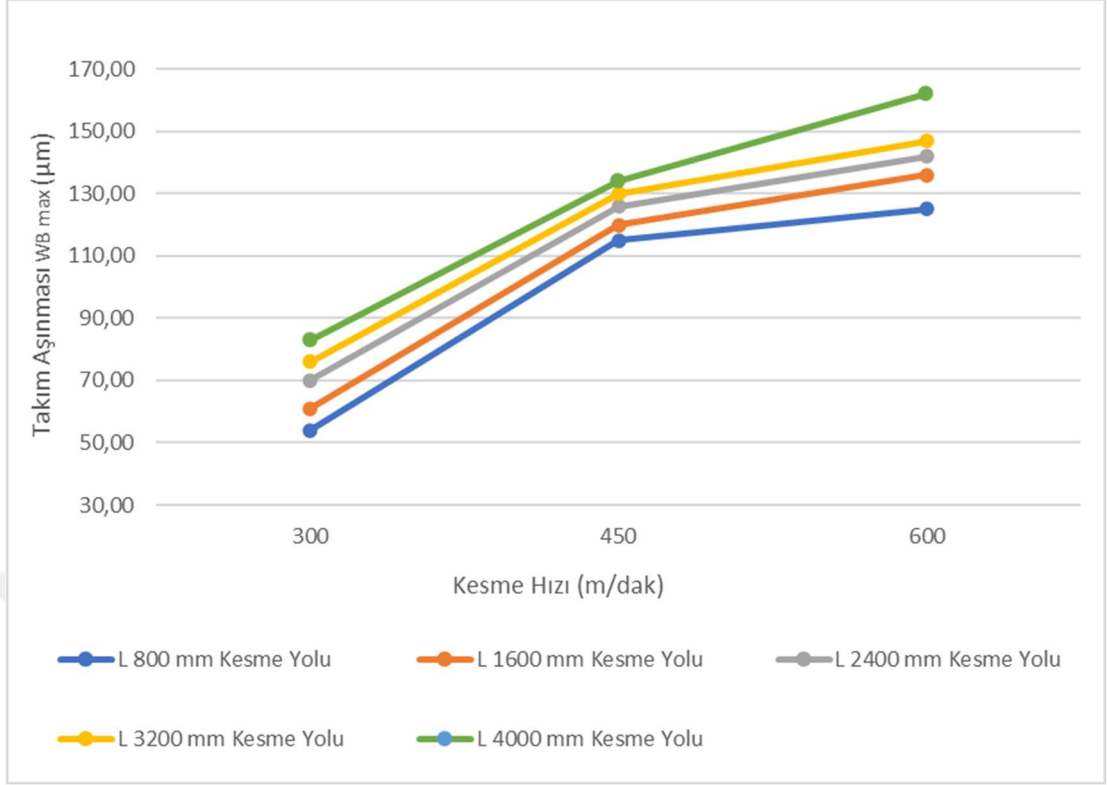
Değişken kesme hızları (300, 450 ve 600 m/dak) ve sabit ilerleme miktarının (0.20 mm/dev), ve sabit kesme derinliği (1 mm) ile kuru işleme şartlarında yapılmış olan deneylerin takım aşınması üzerine etkileri Şekil 6.3.'de verilmiştir.



Şekil 6.3. Sabit ilerleme miktarı (0.20 mm/dev) ile kuru işleme şartlarında kesme hızının takım aşınmasına etkisi.



Şekil 6.4. Sabit ilerleme miktarı (0.30 mm/dev) ile kuru işleme şartlarında kesme hızının takım aşınmasına etkisi.

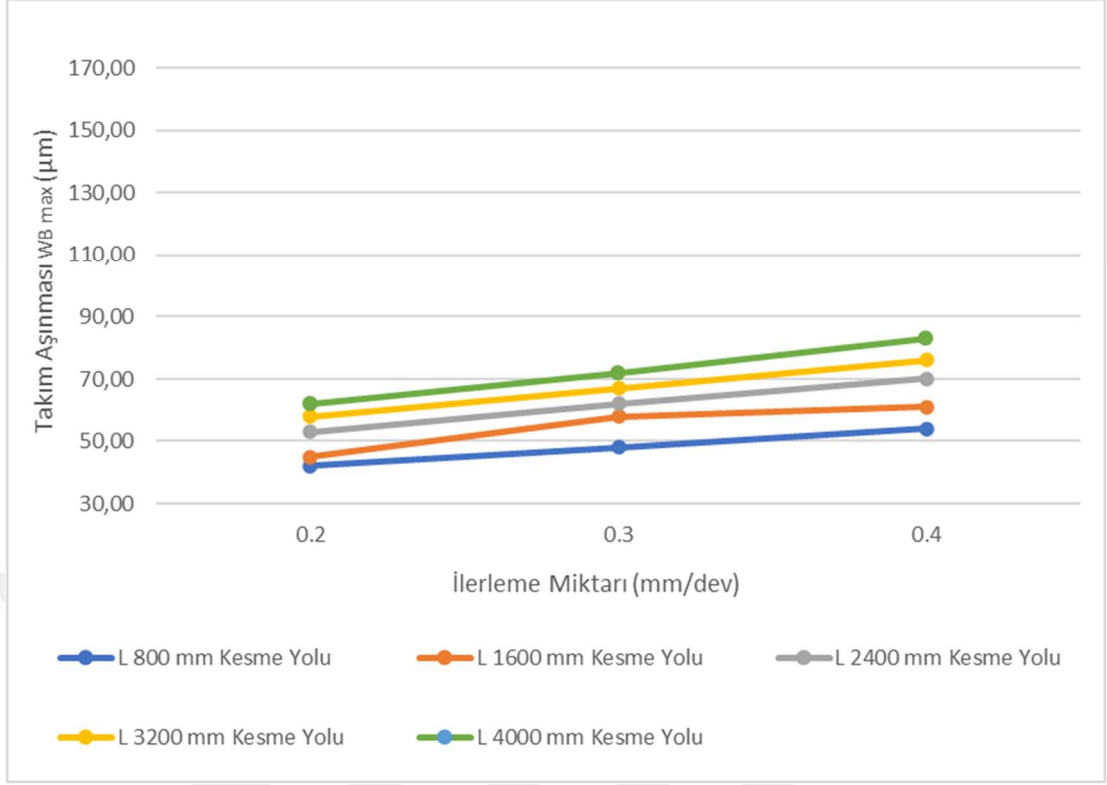


Şekil 6.5. Sabit ilerleme miktarı (0.40 mm/dev) ile kuru işleme şartlarında kesme hızının takım aşınmasına etkisi.

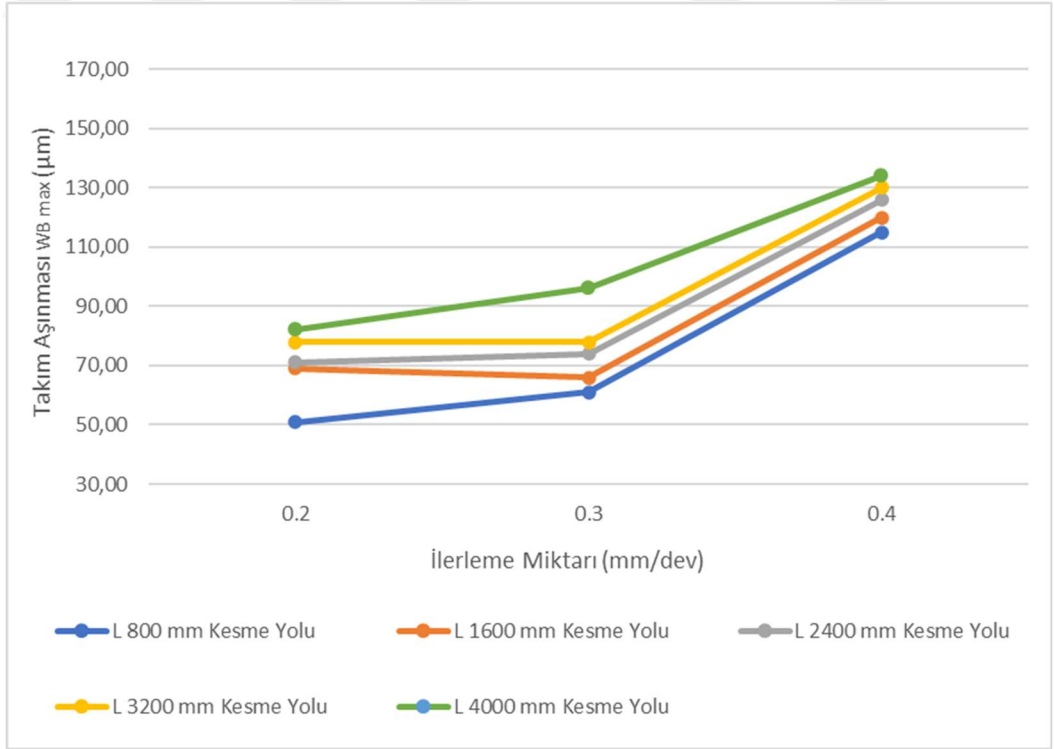
Elde edilen sonuçlara göre, kesme hızının takım aşınmasına önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Düşük kesme hızlarında takım aşınması daha az olurken, yüksek kesme hızlarında takım aşınması arttığı görülmüştür. Sabit ilerleme miktarı ve kesme derinliği koşullarında, yüksek kesme hızları daha fazla takımın aşınmasına yol açmıştır.

6.2.2. İlerle miktarının Takım Aşınmasına Olan Etkisi

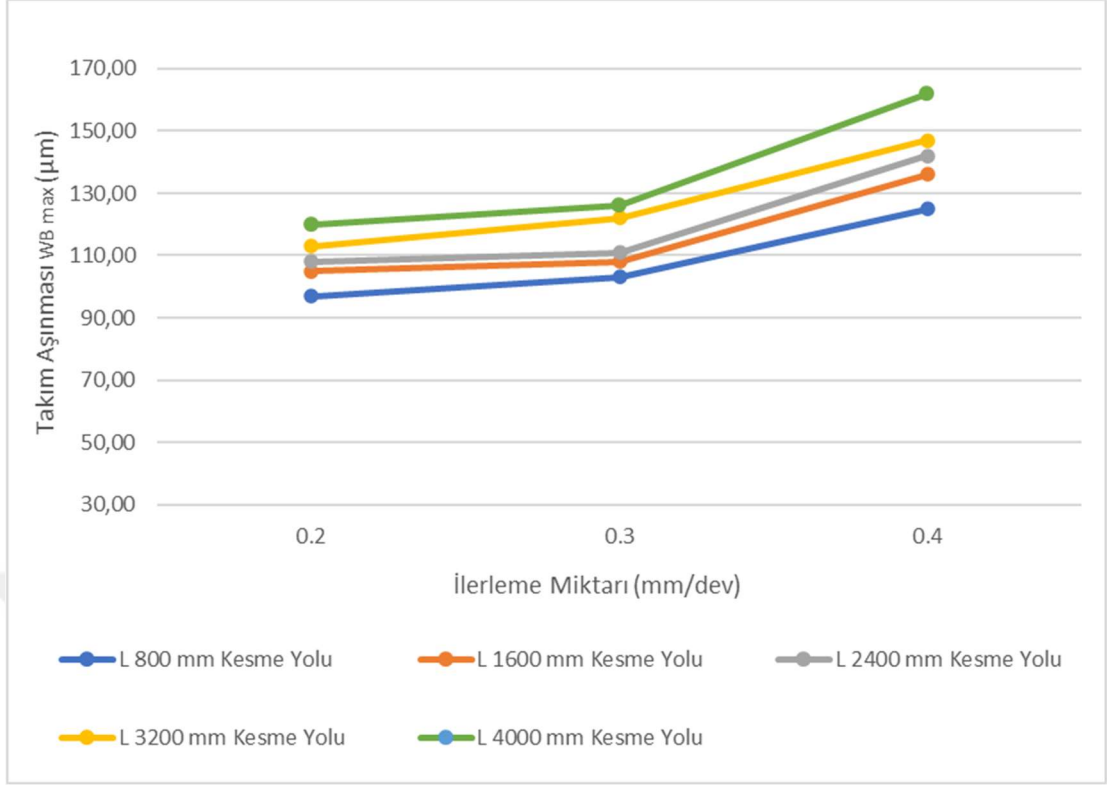
Değişken ilerleme oranları (0.2, 0.3 ve 0.4 mm/dev), sabit kesme hızı (300 m/dak) ve sabit kesme derinliği (1 mm) ile kuru işleme şartlarında yapılmış olan deneylerin takım aşınması üzerine etkileri Şekil 6.6.'da verilmiştir.



Şekil 6.6. Sabit kesme hızı (300 m/dak) ile kuru işleme şartlarında ilerleme miktarının takım aşınmasına etkisi.



Şekil 6.7. Sabit kesme hızı (450 m/dak) ile kuru işleme şartlarında ilerleme miktarının takım aşınmasına etkisi.



Şekil 6.8. Sabit kesme hızı (600 m/dak) ile kuru işleme şartlarında ilerleme miktarının takım aşınmasına etkisi.

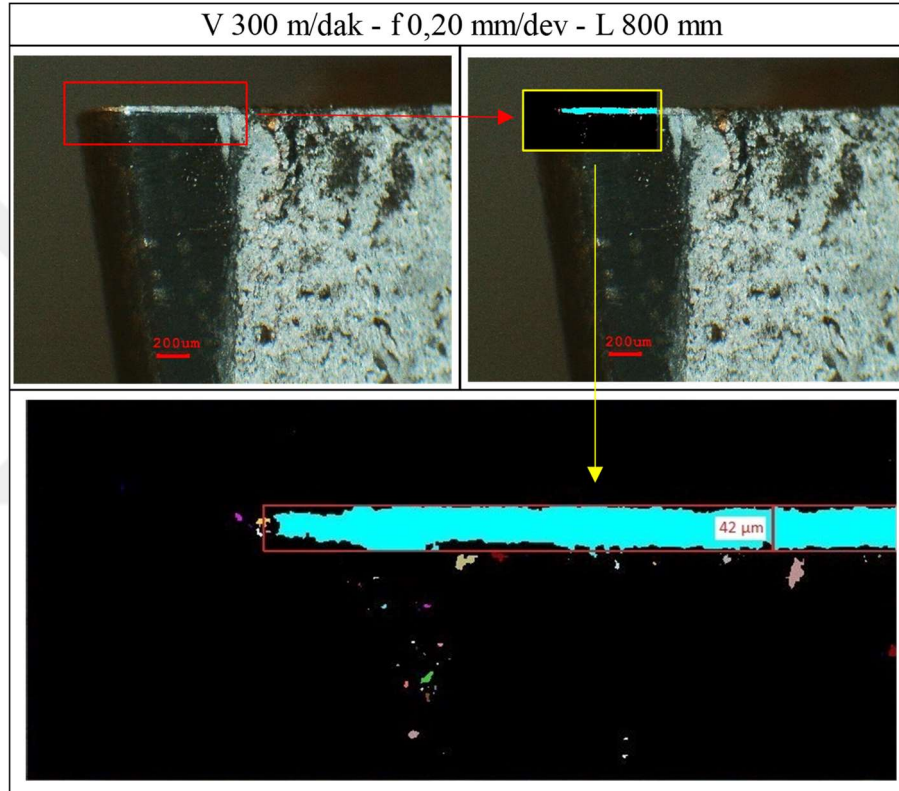
İlerleme oranının artırılması, takım aşınma değerlerinin artmasına neden olmuştur. Daha yüksek ilerleme miktarının takımın daha hızlı aşınmasına yol açtığı gözlemlenmiştir. Takım aşınma değerleri artan kesme hızıyla birlikte arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

6.4. TAKIM AŞINMASI OLUŞAN BÖLGENİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNOLOJİSİ İLE İNCELENMESİ

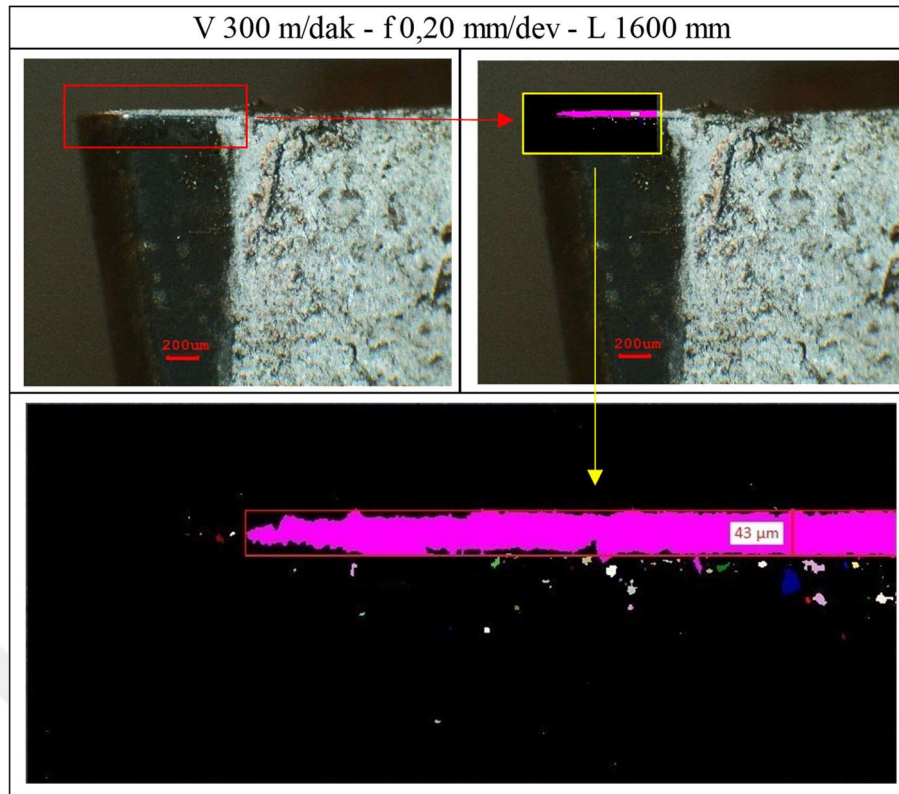
Değişken işleme parametrelerinin kesici takım aşınmasına olan etkileri, deneyler gerçekleştirilirken eş zamanlı ve deneyler sonrasında kesici takım yüzey aşınması değerleri ölçülmüştür. Kesici takım yüzey aşınması bölgeleri ilk olarak mikroskop altında daha sonra görüntü işleme teknolojisi ile incelenmiştir. Toplamda 9 farklı deney arasından 1, 5 ve 9. deneyler seçilmiştir.

6.4.1. 1.Deneyde Oluşan Takım Aşınmalarının Görüntü İşleme Teknolojisi ile İncelenmesi

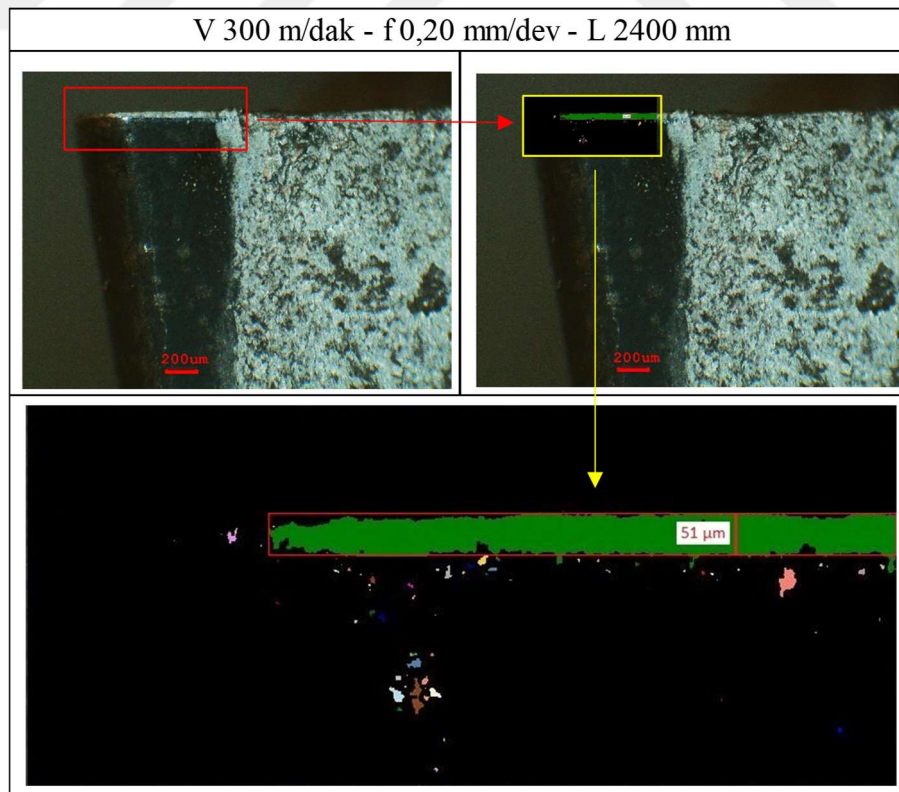
1. deneye ait takım kesme ucunun mikroskop altındaki görüntüleri, takım kesme ucunun görüntü işleme teknolojisi ile incelenmesi için seçilen bölgeleri ve takım kesme ucunda aşınma oluşan bölgenin görüntü işleme teknolojisi ile işlenmiş görüntüleri Şekil 6.9.'da verilmiştir.



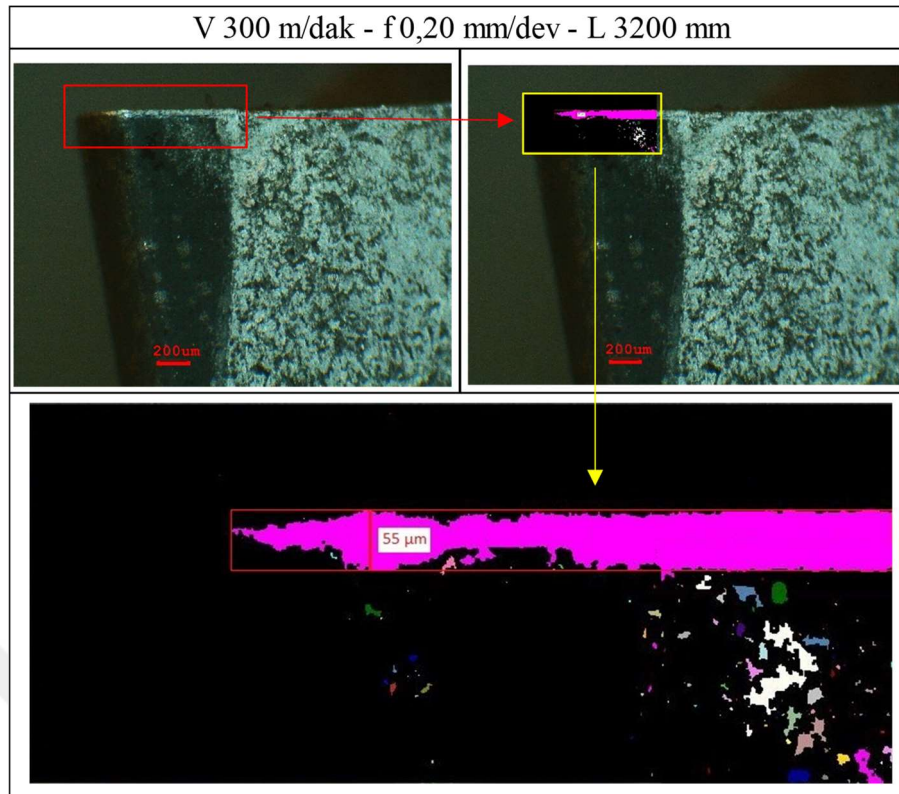
a)



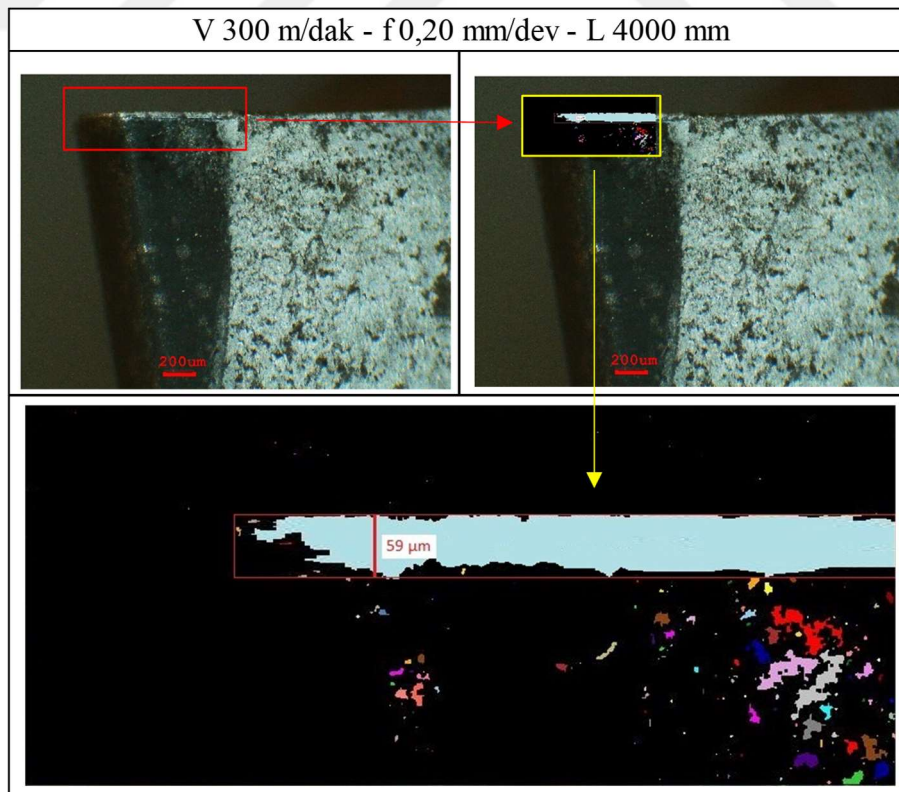
b)



c)



d)



e)

Şekil 6.9. Deney 1'e ait takım aşınması değerleri a) V 300 m/dak - f 0,20 mm/dev – L 800 mm b) V 300 m/dak - f 0,20 mm/dev - L 1600 mm c) V 300 m/dak - f 0,20 mm/dev - L 2400 mm d) V 300 m/dak - f 0,20 mm/dev - L 3200 mm e) V 300 m/dak - f 0,20 mm/dev - L 4000 mm.

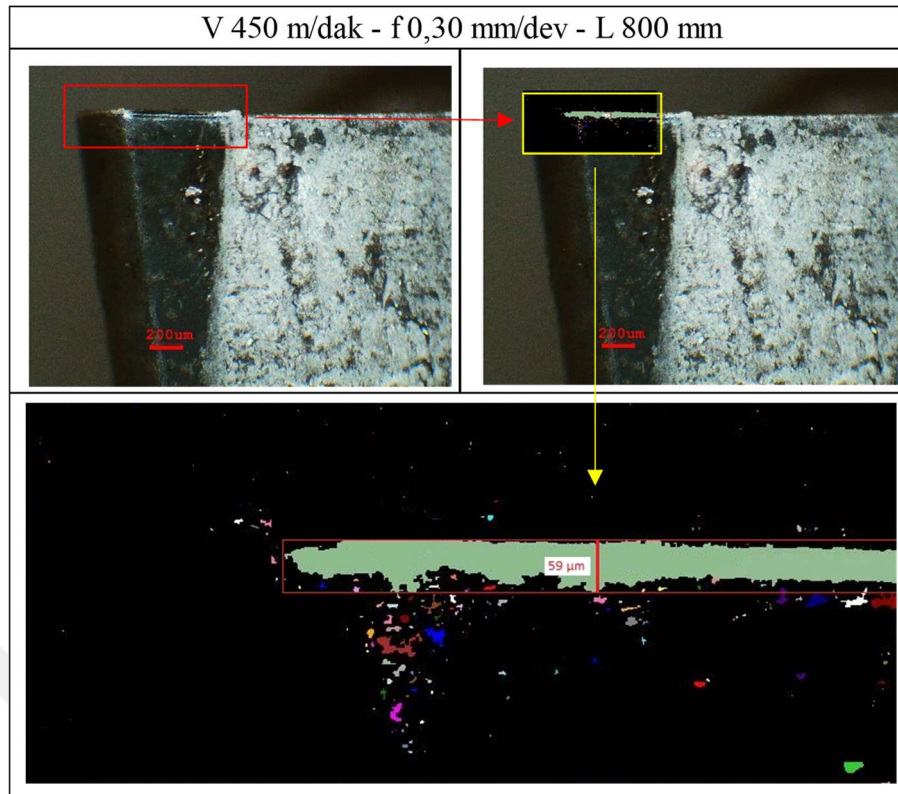
Deney 1'de oluşan takım aşınması değerleri görüntü işleme teknolojisi ile elde edilen ölçüm sonuçları 800 mm kesme yolu için 42 µm, 1600 mm kesme yolu için 43 µm, 2400 mm kesme yolu için 51 µm, 3200 mm kesme yolu için 55 µm ve 4000 mm kesme yolu için 59 µm olarak ölçülmüştür. Görüntü işleme teknolojisi uygulanarak ölçülen değerler ile mikroskop altında ölçülen değerlerin yüzdesel yakınlık oranları Çizelge 6.2.'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Deney 1 yakınlık oranları.

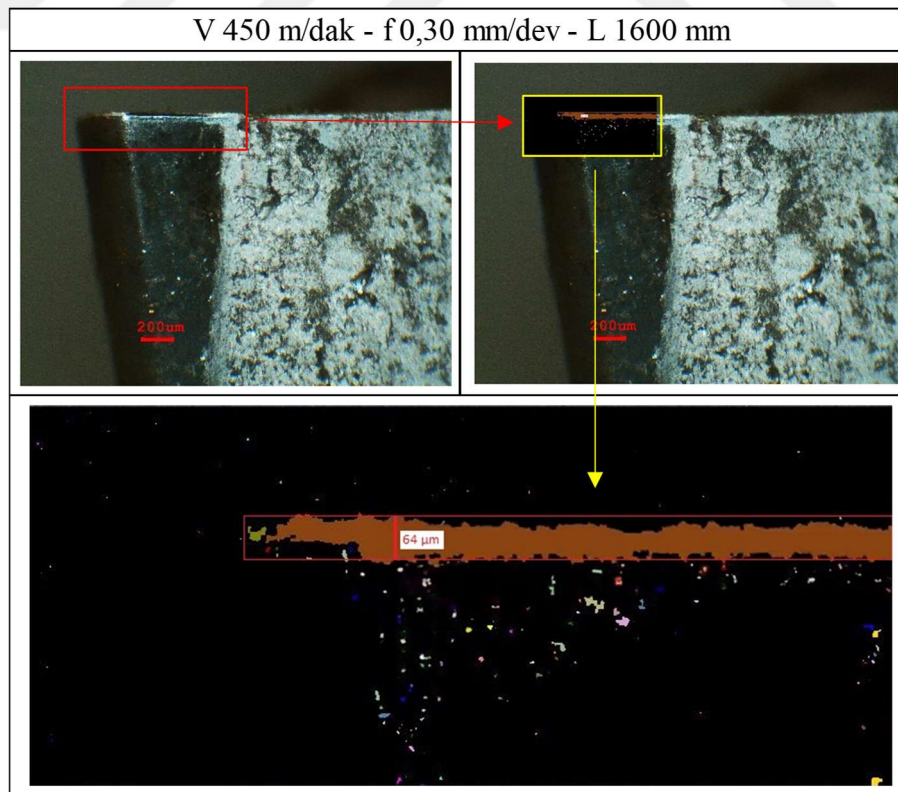
Deney Numarası		Görüntü İşleme Teknolojisi İle Elde Edilen Takım Aşınması Miktarları (µm)	Mikroskop ile Elde Edilen Takım Aşınması Miktarları (µm)	Yakınlık Değeri (%)
1	a	42	42	100,00
	b	43	45	95,56
	c	51	53	96,23
	d	55	58	94,83
	e	59	62	95,16
Deney 1 İçin Ortalama Tahmin Doğruluk Değeri				96,35

6.4.2. 5.Deneyde Oluşan Takım Aşınmalarının Görüntü İşleme Teknolojisi İle İncelenmesi

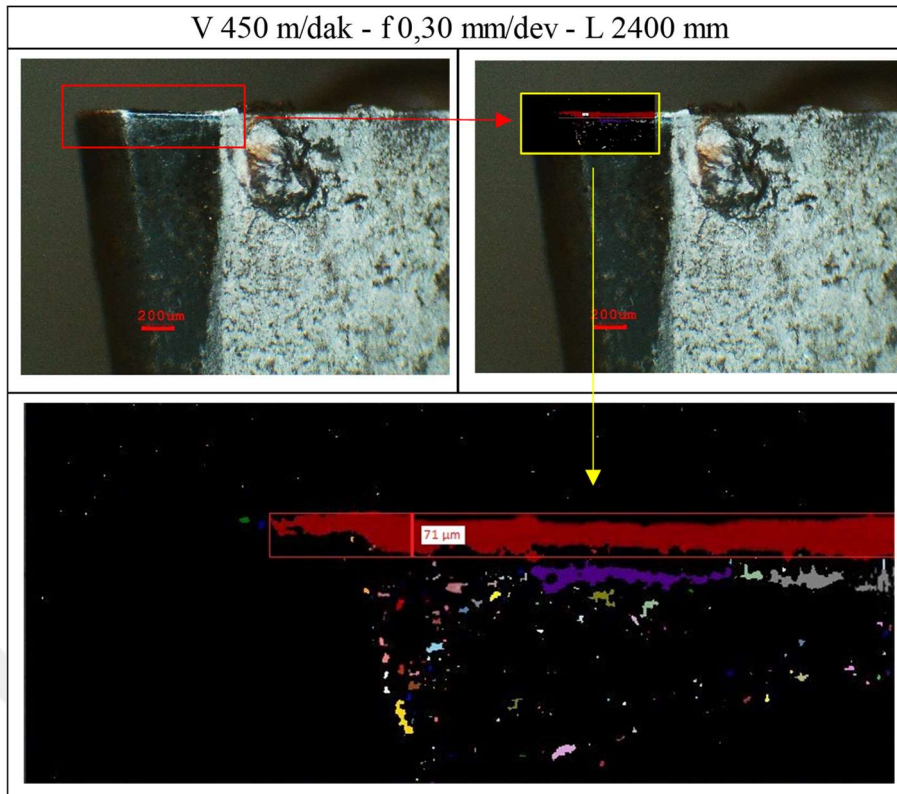
5. deneye ait takım kesme ucunun mikroskop altındaki görüntüleri, takım kesme ucunun görüntü işleme teknolojisi ile incelenmesi için seçilen bölgeleri ve takım kesme ucunda aşınma oluşan bölgenin görüntü işleme teknolojisi ile işlenmiş görüntüleri Şekil 6.10.'da verilmiştir.



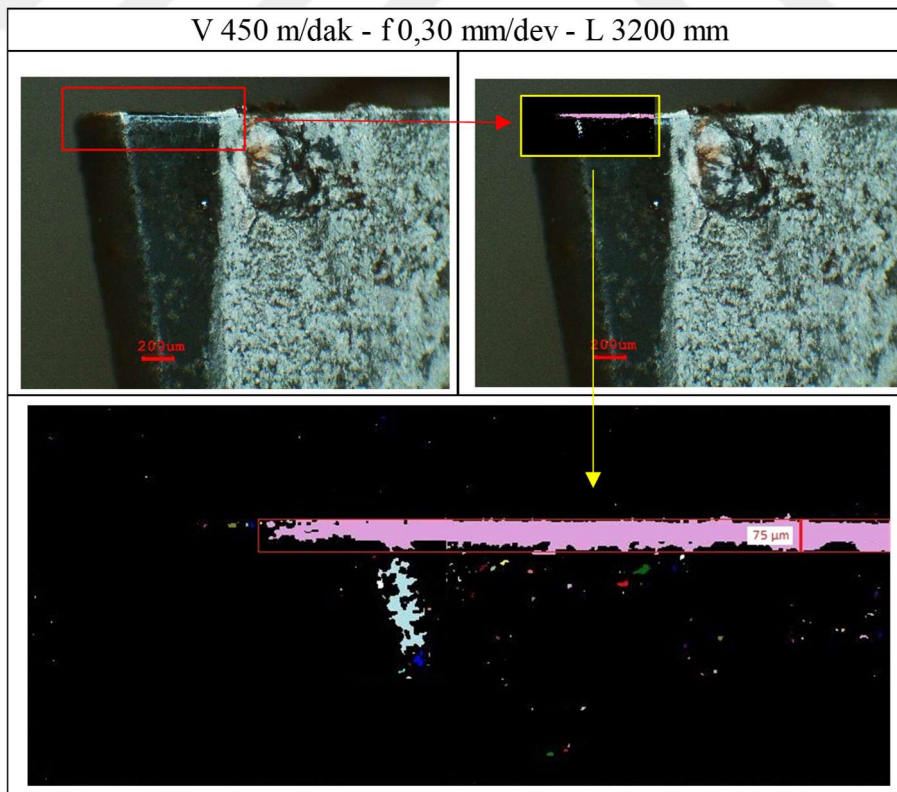
a)



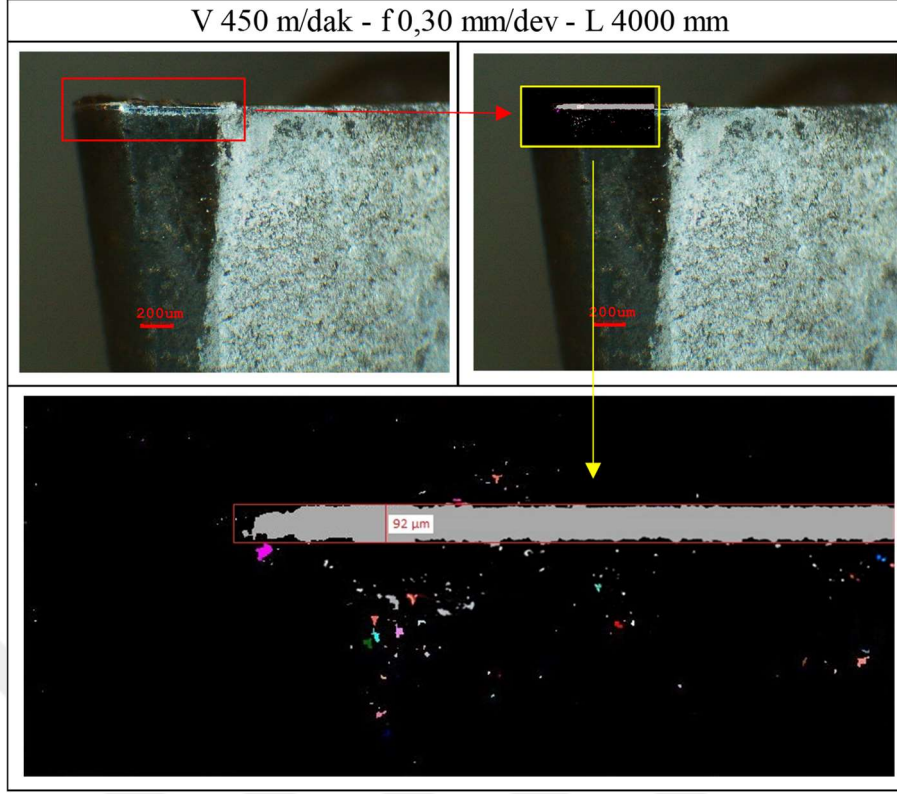
b)



c)



d)



Şekil 6.10. Deney 5'e ait takım aşınması değerleri a) V 450 m/dak - f 0,30 mm/dev – L 800 mm b) V 450 m/dak - f 0,30 mm/dev - L 1600 mm c) V 450 m/dak - f 0,30 mm/dev - L 2400 mm d) V 450 m/dak - f 0,30 mm/dev - L 3200 mm e) V 450 m/dak - f 0,30 mm/dev - L 4000 mm.

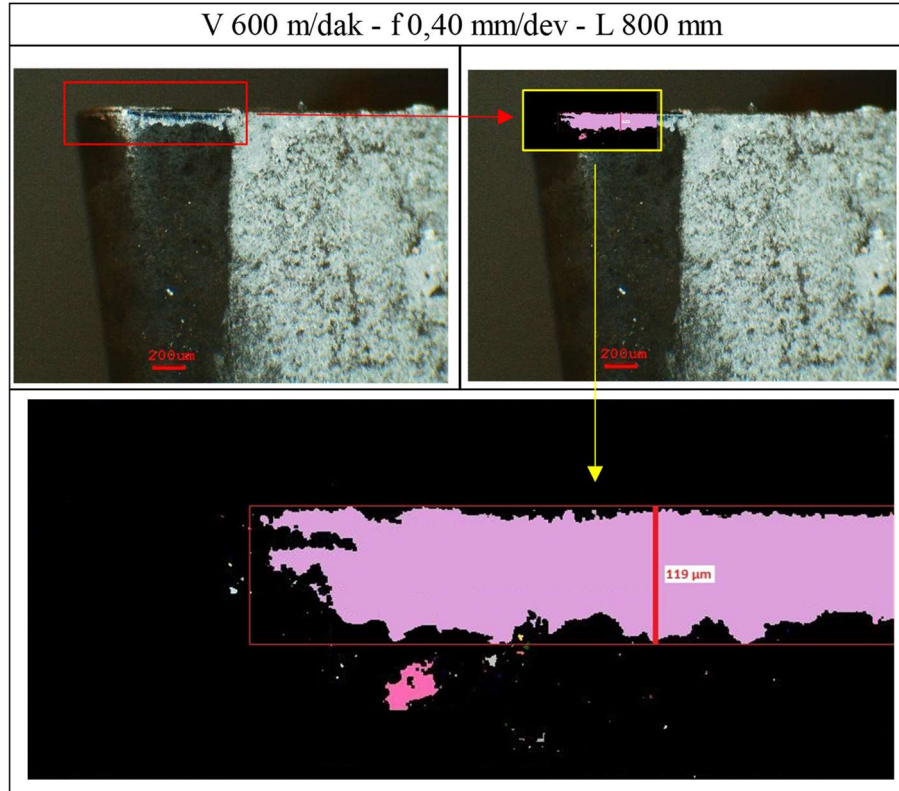
Deney 5'de oluşan takım aşınması değerleri görüntü işleme teknolojisi ile elde edilen ölçüm sonuçları 800 mm kesme yolu için 59 µm, 1600 mm kesme yolu için 64 µm, 2400 mm kesme yolu için 71 µm, 3200 mm kesme yolu için 75 µm ve 4000 mm kesme yolu için 92 µm olarak ölçülmüştür. Görüntü işleme teknolojisi uygulanarak ölçülen değerler ile mikroskop altında ölçülen değerlerin yüzdesel yakınlık oranları Çizelge 6.3.'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Deney 5 yakınlık oranları.

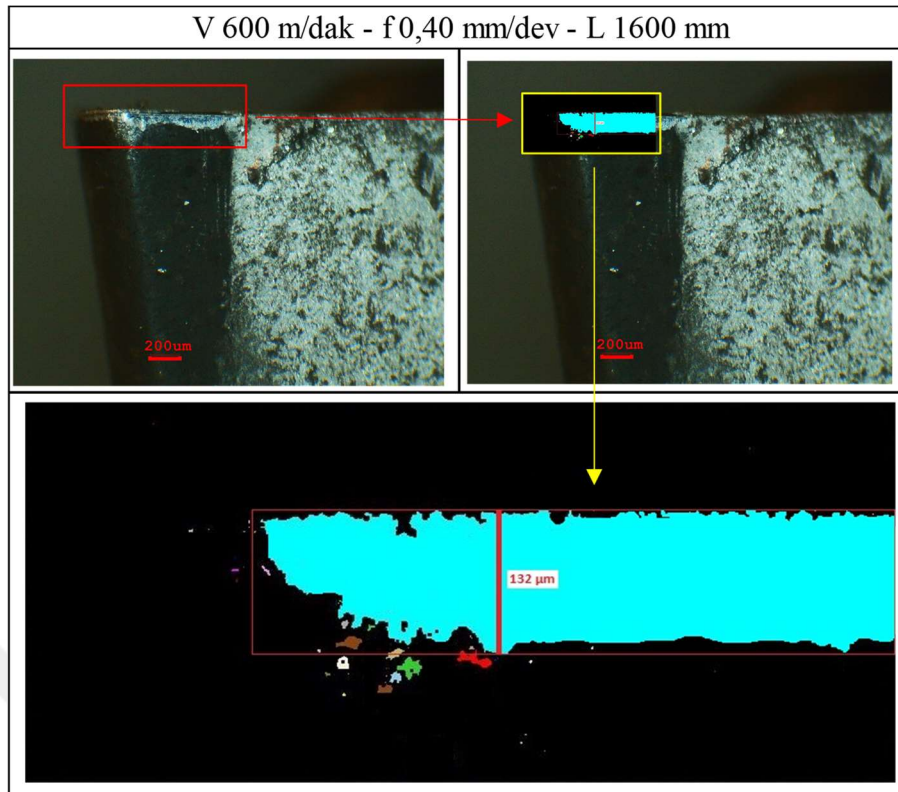
Deney Numarası	Görüntü İşleme Teknolojisi İle Elde Edilen Takım Aşınması Miktarları (μm)	Mikroskop ile Elde Edilen Takım Aşınması Miktarları (μm)	Yakınlık Değeri (%)	
5	a	59	61	96,72
	b	64	66	96,97
	c	71	74	95,95
	d	75	78	96,15
	e	92	96	95,83
Deney 5 İçin Ortalama Tahmin Doğruluk Değeri			96,32	

6.4.3. 9.Deneyde Oluşan Takım Aşınmalarının Görüntü İşleme Teknolojisi İle İncelenmesi

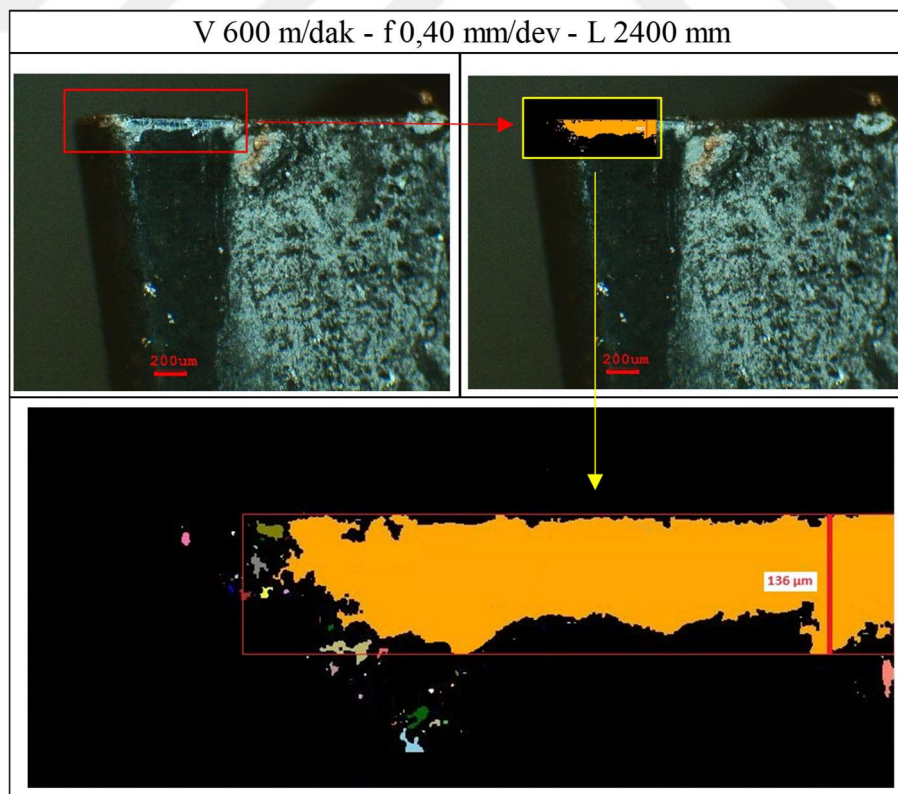
9. deneye ait takım kesme ucunun mikroskop altındaki görüntüleri, takım kesme ucunun görüntü işleme teknolojisi ile incelenmesi için seçilen bölgeleri ve takım kesme ucunda aşınma oluşan bölgenin görüntü işleme teknolojisi ile işlenmiş görüntüleri Şekil 6.11.'de verilmiştir.



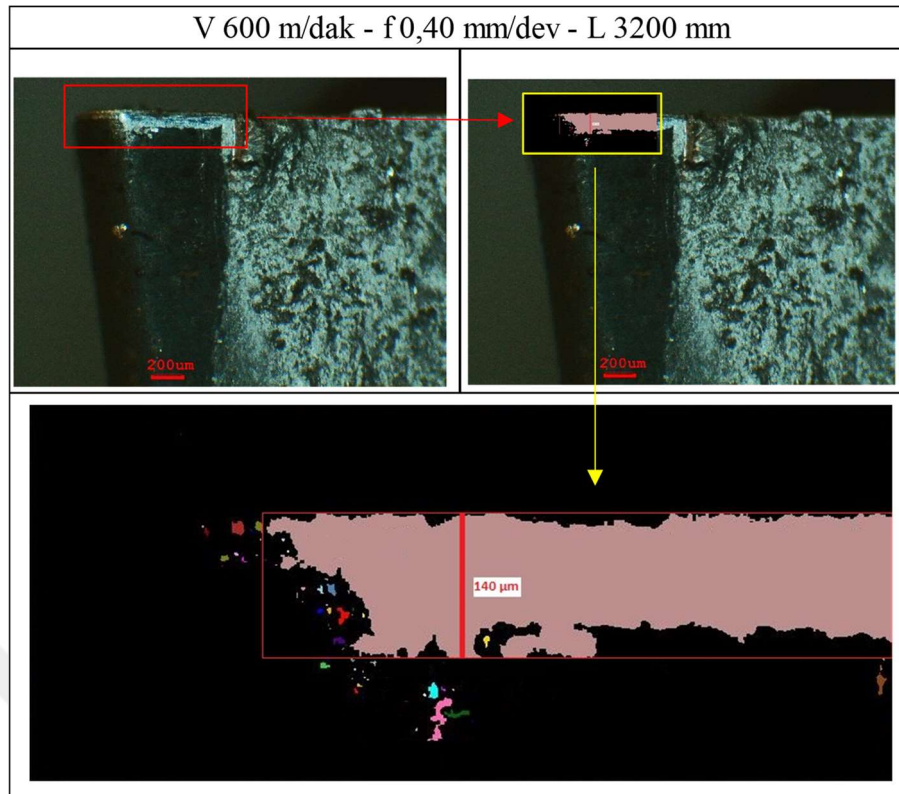
a)



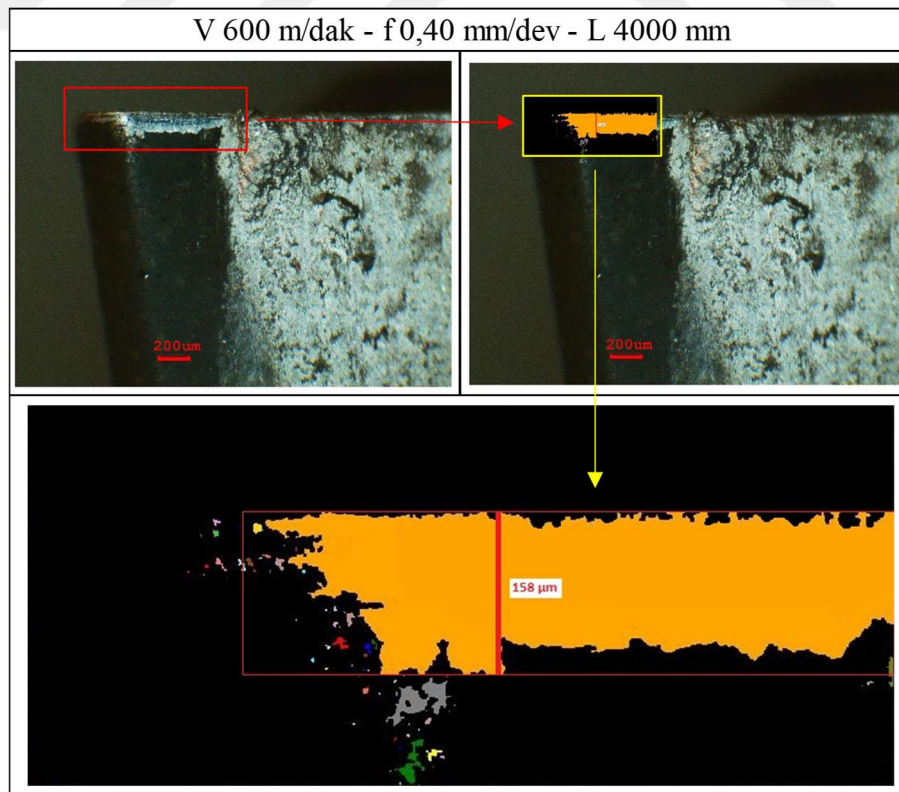
b)



c)



d)



e)

Şekil 6.11. Deney 9'e ait takım aşınması değerleri a) V 600 m/dak - f 0,40 mm/dev – L 800 mm b) V 600 m/dak - f 0,40 mm/dev - L 1600 mm c) V 600 m/dak - f 0,40 mm/dev - L 2400 mm d) V 600 m/dak - f 0,40 mm/dev - L 3200 mm e) V 600 m/dak - f 0,40 mm/dev - L 4000 mm.

Deney 9'da oluşan takım aşınması değerleri görüntü işleme teknolojisi ile elde edilen ölçüm sonuçları 800 mm kesme yolu için 119 µm, 1600 mm kesme yolu için 132 µm, 2400 mm kesme yolu için 136 µm, 3200 mm kesme yolu için 140 µm ve 4000 mm kesme yolu için 158 µm olarak ölçülmüştür. Görüntü işleme teknolojisi uygulanarak ölçülen değerler ile mikroskop altında ölçülen değerlerin yüzdesel yakınlık oranları Çizelge 6.4.'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Deney 9 yakınlık oranları.

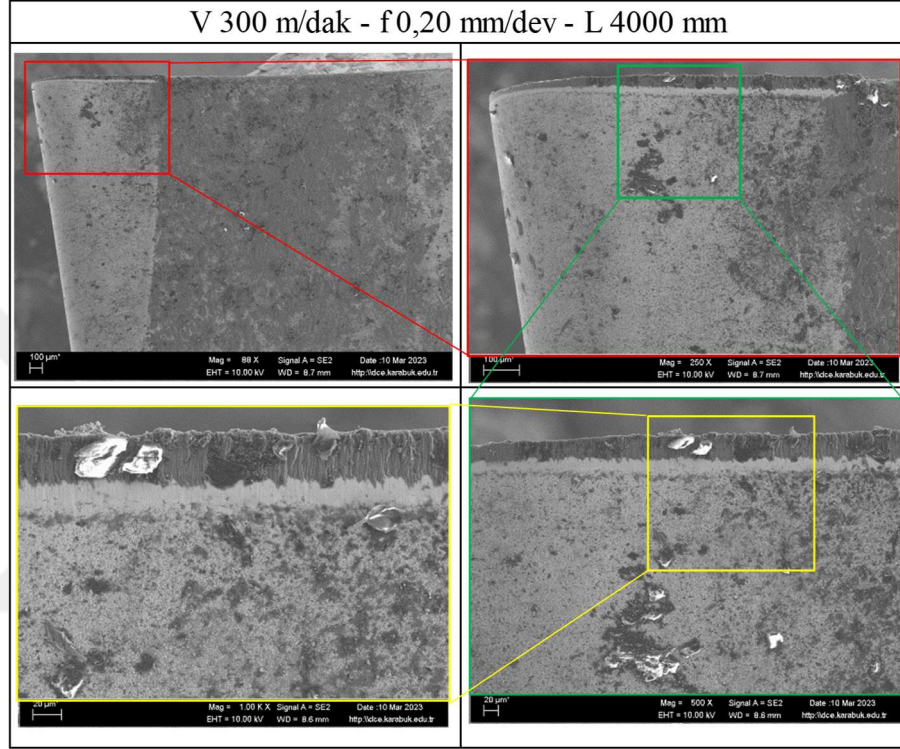
Deney Numarası	Görüntü İşleme Teknolojisi İle Elde Edilen Takım Aşınması Miktarları (µm)	Mikroskop ile Elde Edilen Takım Aşınması Miktarları (µm)	Yakınlık Değeri (%)	
9	a	119	125	95,20
	b	132	136	97,06
	c	136	142	95,77
	d	140	147	95,24
	e	158	162	97,53
Deney 9 İçin Ortalama Tahmin Doğruluk Değeri			96,16	

6.5. TALAŞ SIVANMASI OLUŞAN BÖLGENİN TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU İLE İNCELENMESİ

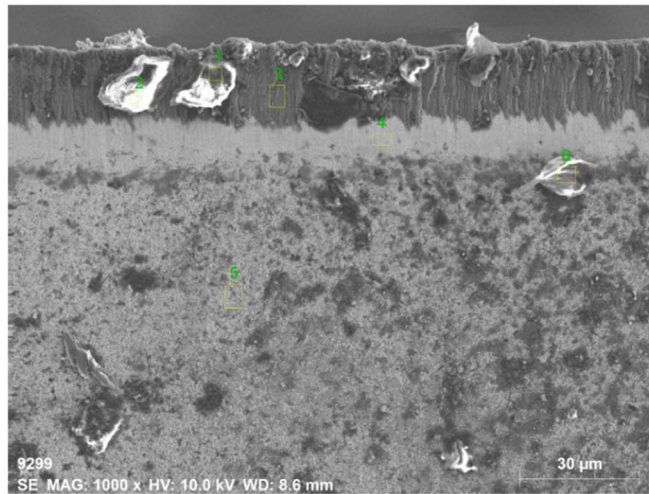
Değişken işleme parametrelerinin kesici takım üzerinde oluşan talaş sıvanmalarına olan etkileri, deneyler gerçekleştirildikten sonra kesici takım üzerinde oluşan talaş sıvanması bölgeleri tespit edilmiş ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Toplamda 9 farklı deney arasından 1, 5 ve 9. deneyler seçilmiştir.

6.5.1. 1.Deneyde Oluşan Talaş Sıvanmalarının Taramalı Elektron Mikroskopi ile İncelenmesi

1. deneye ait takım kesme ucunun taramalı elektron mikroskopi altındaki 88X, 250X, 500X ve 1000X yakınlaştırılmış görüntüleri Şekil 6.12.'de verilmiştir.



Şekil 6.12. Deney 1'e ait talaş sıvanması bölgeleri (V 300 m/dak - f0,20 mm/dev - L 4000 mm).



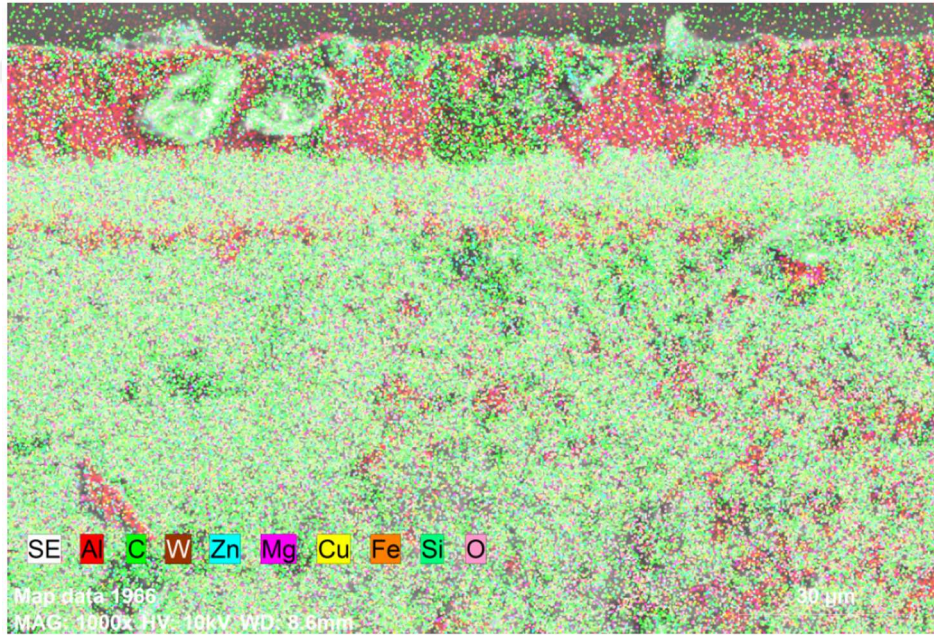
Şekil 6.13. Deney 1'e ait takım üzerinde sıvanma olabilecek bölgeler.

Deney 1'e ait Şekil 6.13'de gösterilen görselde, takım üzerinde sıvanma olabilecek bölgeler numaralar ile işaretlenmiştir. Bu bağlamda, SEM cihazı kullanılarak numaralandırılmış bölgelerin hangi elementleri içerdiği ve yüzdelik oranları Çizelge 6.5'de sunulmuştur.

Çizelge 6.5. Deney 1 numaralandırılmış bölgelerin yüzdesel element değerleri.

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Fe	Cu	Zn	W
1	63.68	30.35	0.20	0.28	0.16	0.00	0.47	4.81	0.05
2	70.67	27.03	0.14	0.12	0.11	0.00	0.40	1.54	0.00
3	20.15	3.64	2.48	63.82	0.16	0.65	2.63	6.46	0.00
4	13.84	3.01	0.00	0.95	13.64	3.01	0.00	0.00	65.55
5	19.93	7.31	0.00	0.78	11.74	4.91	0.00	0.47	54.85
6	57.35	22.49	0.97	8.87	0.62	0.00	2.26	4.29	3.13
Mean value:	40.94	15.64	0.63	12.47	4.41	1.43	0.96	2.93	20.60
Sigma:	25.61	12.38	0.97	25.38	6.45	2.07	1.17	2.62	30.89
Sigma mean:	10.45	5.05	0.40	10.36	2.63	0.84	0.48	1.07	12.61



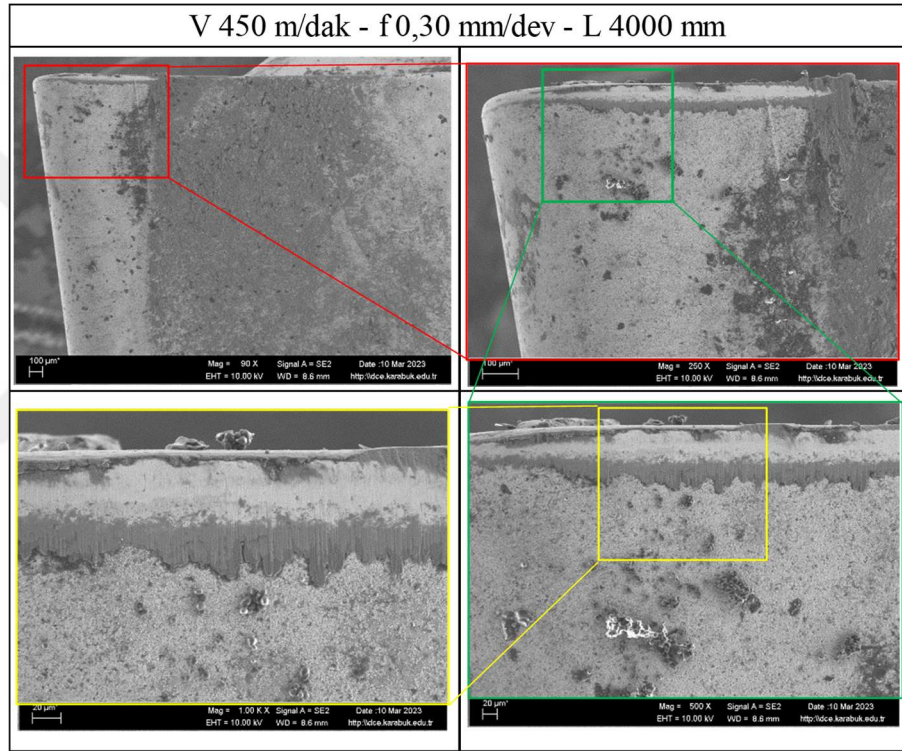
Şekil 6.14. Deney 1'e ait takım kesme ucu yüzeyinin element dağılımı.

Çizelge 6.5'de bulunan veriler incelendiğinde takım üzerindeki 3 numaralı bölgede yüksek oranda Al elementinin bulunduğu görülmekte ve Şekil 6.14.'de görüldüğü üzere kırmızı renkle gösterilen bölgeler yüksek oranda Al elementi içermektedir.

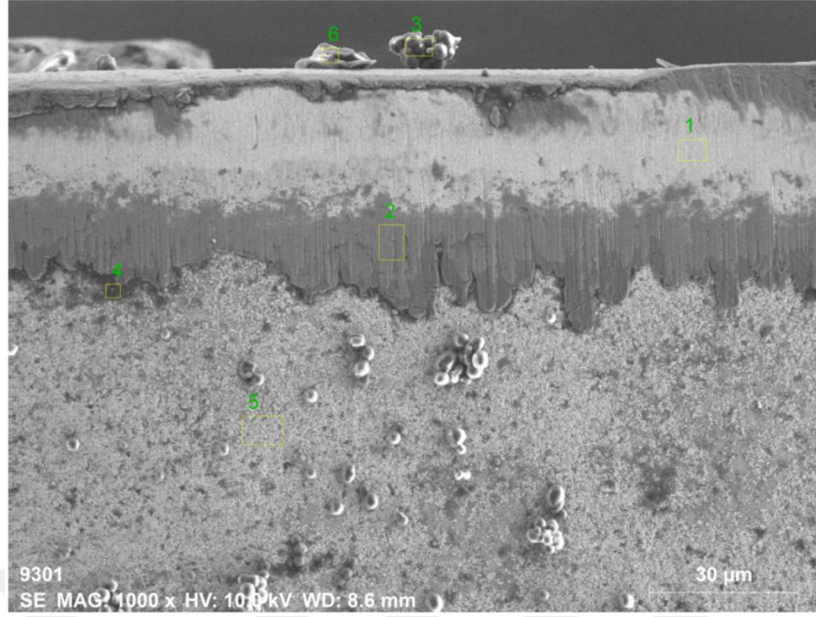
Takım yüzeyinde Al elementinin bulunması takımda 3 numaralı bölgenin talaş sıvanması olduğunu göstermektedir.

6.5.2. 5.Deneyde Oluşan Talaş Sıvanmalarının Taramalı Elektron Mikroskopi ile İncelenmesi

5. deneyde ait takım kesme ucunun taramalı elektron mikroskopi altındaki 88X, 250X, 500X ve 1000X yakınlaştırılmış görüntüleri Şekil 6.15.'de verilmiştir.



Şekil 6.15. Deney 5'e ait talaş sıvanması bölgeleri (V 450 m/dak - f 0,30 mm/dev - L 4000 mm).



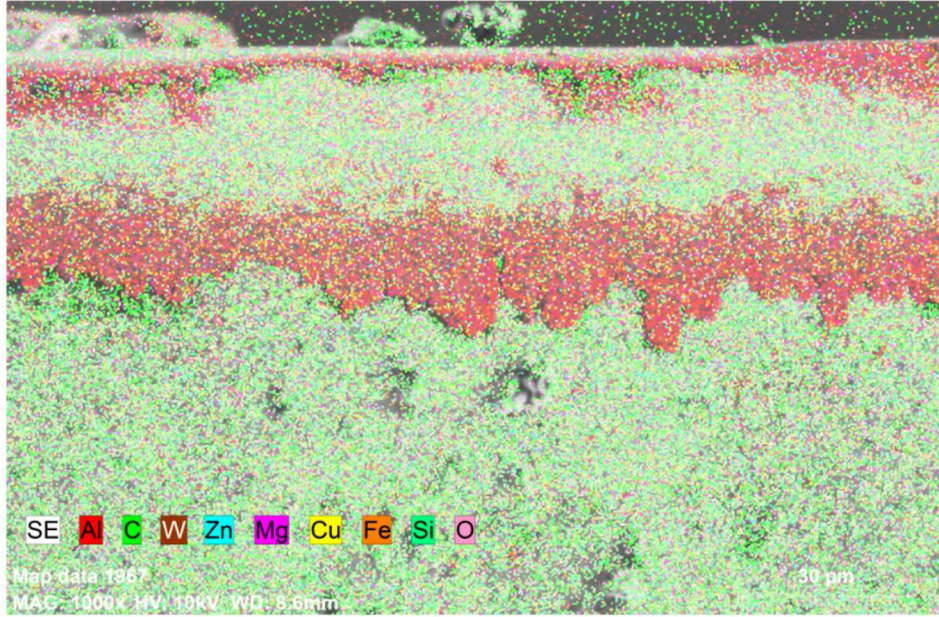
Şekil 6.16. Deney 5'e ait takım üzerinde sıvanma olabilecek bölgeler.

Deney 5'e ait Şekil 6.16'da gösterilen görselde, takım üzerinde sıvanma olabilecek bölgeler numaralar ile işaretlenmiştir. Bu bağlamda, SEM cihazı kullanılarak numaralandırılmış bölgelerin hangi elementleri içerdiği ve yüzdelik oranları Çizelge 6.6'da sunulmuştur.

Çizelge 6.6. Deney 5 numaralandırılmış bölgelerin yüzdesel element değerleri.

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Fe	Cu	Zn	W
1	10.98	1.73	0.00	0.44	14.23	0.71	0.00	0.02	71.90
2	7.56	2.63	0.76	63.01	0.00	12.52	10.44	1.22	1.86
3	55.90	38.20	0.19	0.60	0.39	0.00	0.19	3.09	1.44
4	62.50	6.92	0.00	2.33	4.96	0.00	0.00	0.31	22.99
5	21.70	3.32	0.00	0.23	11.55	4.39	0.00	0.00	58.81
6	73.32	24.70	0.04	0.34	0.51	0.00	0.00	0.58	0.52
Mean value:	38.66	12.92	0.17	11.16	5.27	2.94	1.77	0.87	26.25
Sigma:	28.59	15.08	0.30	25.42	6.23	5.00	4.25	1.18	31.71
Sigma mean:	11.67	6.16	0.12	10.38	2.54	2.04	1.73	0.48	12.95

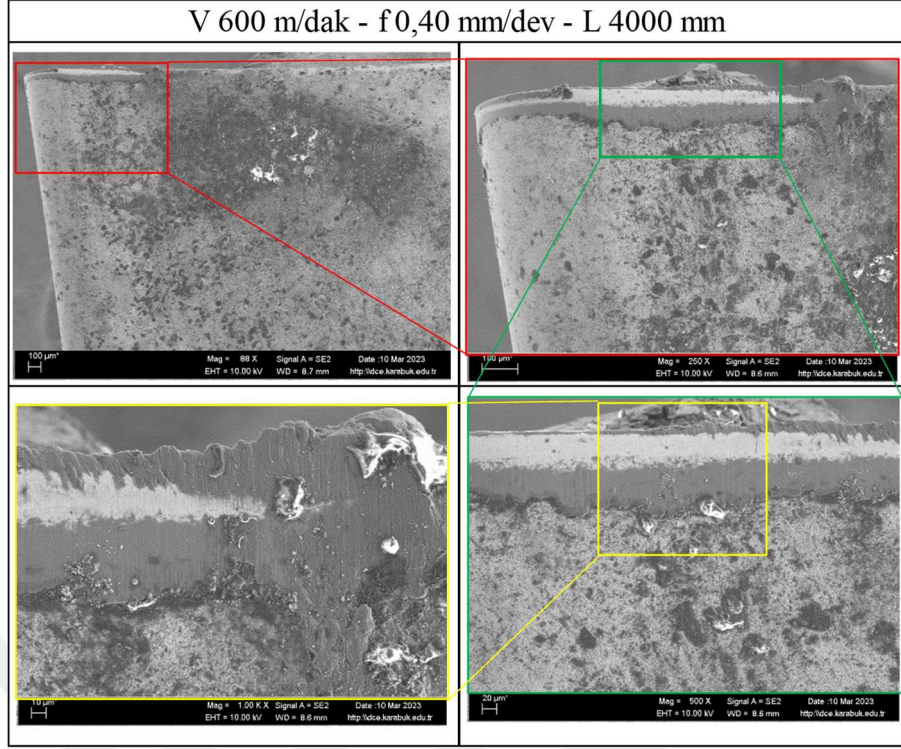


Şekil 6.17. Deney 5'e ait takım kesme ucu yüzeyinin element dağılımı.

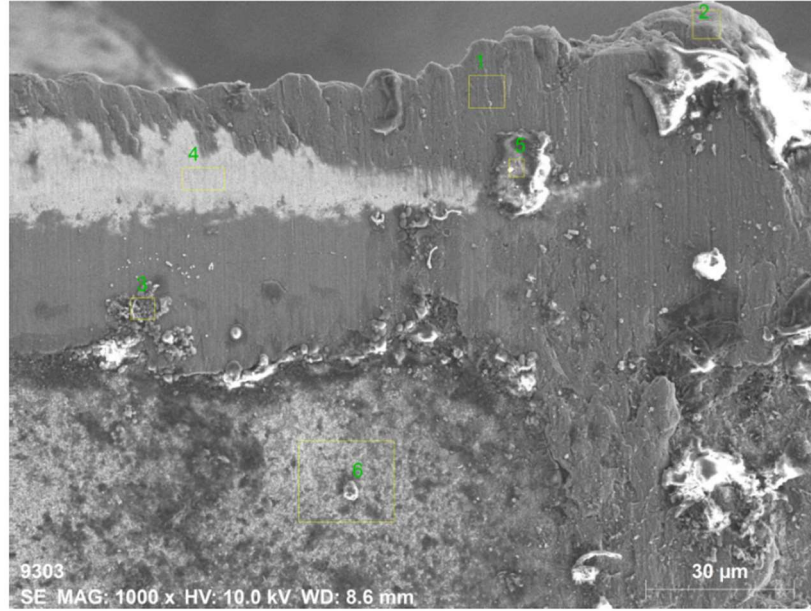
Çizelge 6.6'da bulunan veriler incelendiğinde takım üzerindeki 2 numaralı bölgede yüksek oranda Al elementinin bulunduğu görülmekte ve Şekil 6.17.'de görüldüğü üzere kırmızı renkle gösterilen bölgeler yüksek oranda Al elementi içermektedir. Takım yüzeyinde Al elementinin bulunması takımın 2 numaralı bölgenin talaş sıvanması olduğunu göstermektedir.

6.5.3. 9.Deneyde Oluşan Talaş Sıvanmalarının Taramalı Elektron Mikroskopi ile İncelenmesi

9. deneye ait takım kesme ucunun taramalı elektron mikroskopi altındaki 88X, 250X, 500X ve 1000X yakınlaştırılmış görüntüleri Şekil 6.18.'de verilmiştir.



Şekil 6.18. Deneş 9'a ait talaş sıvanması bölgeleri (V 600 m/dak - f 0,40 mm/dev - L 4000 mm).



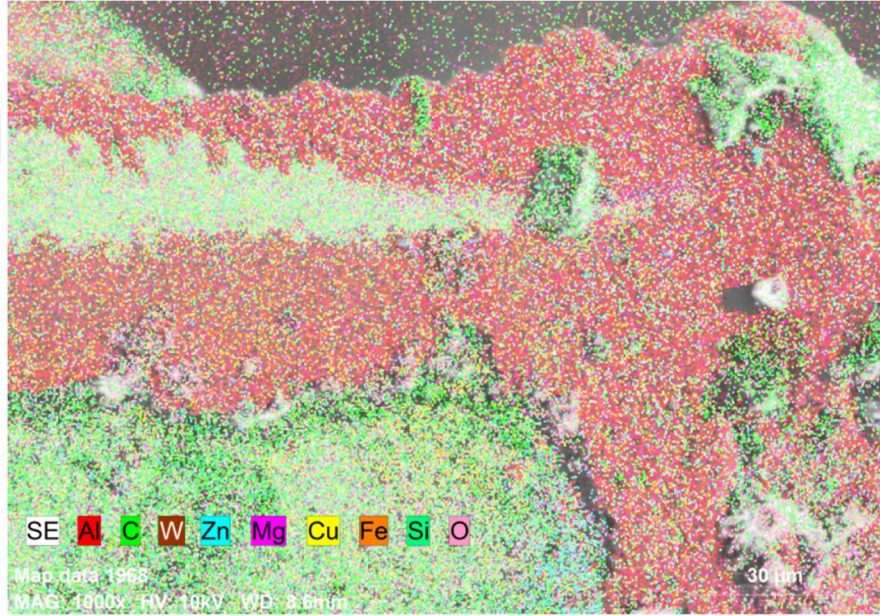
Şekil 6.19. Deneş 9'a ait takım üzerinde sıvanma olabilecek bölgeler.

Deneş 9'a ait Şekil 6.19'da gösterilen görselde, takım üzerinde sıvanma olabilecek bölgeler numaralar ile işaretlenmiştir. Bu bağlamda, SEM cihazı kullanılarak

numaralandırılmış bölgelerin hangi elementleri içerdiği ve yüzdelik oranları Çizelge 6.7'de sunulmuştur.

Çizelge 6.7. Deney 9 numaralandırılmış bölgelerin yüzdesel element değerleri.
Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Fe	Cu	Zn	W
1	7.50	3.03	2.96	75.93	0.03	0.00	3.35	7.21	0.00
2	22.54	7.92	2.20	57.29	0.00	0.57	2.24	5.65	1.59
3	16.95	44.50	0.93	28.00	0.02	0.00	3.66	5.67	0.26
4	13.51	5.12	0.18	1.36	12.39	3.14	0.00	0.00	64.31
5	60.69	27.25	0.56	1.09	0.47	0.00	0.12	9.62	0.20
6	22.36	15.91	0.00	2.10	8.54	3.70	5.31	2.42	39.65
Mean value:	23.92	17.29	1.14	27.63	3.58	1.24	2.45	5.09	17.67
Sigma:	18.88	16.01	1.18	32.43	5.48	1.72	2.09	3.43	27.70
Sigma mean:	7.71	6.53	0.48	13.24	2.24	0.70	0.85	1.40	11.31



Şekil 6.20. Deney 9'e ait takım kesme ucu yüzeyinin element dağılımı.

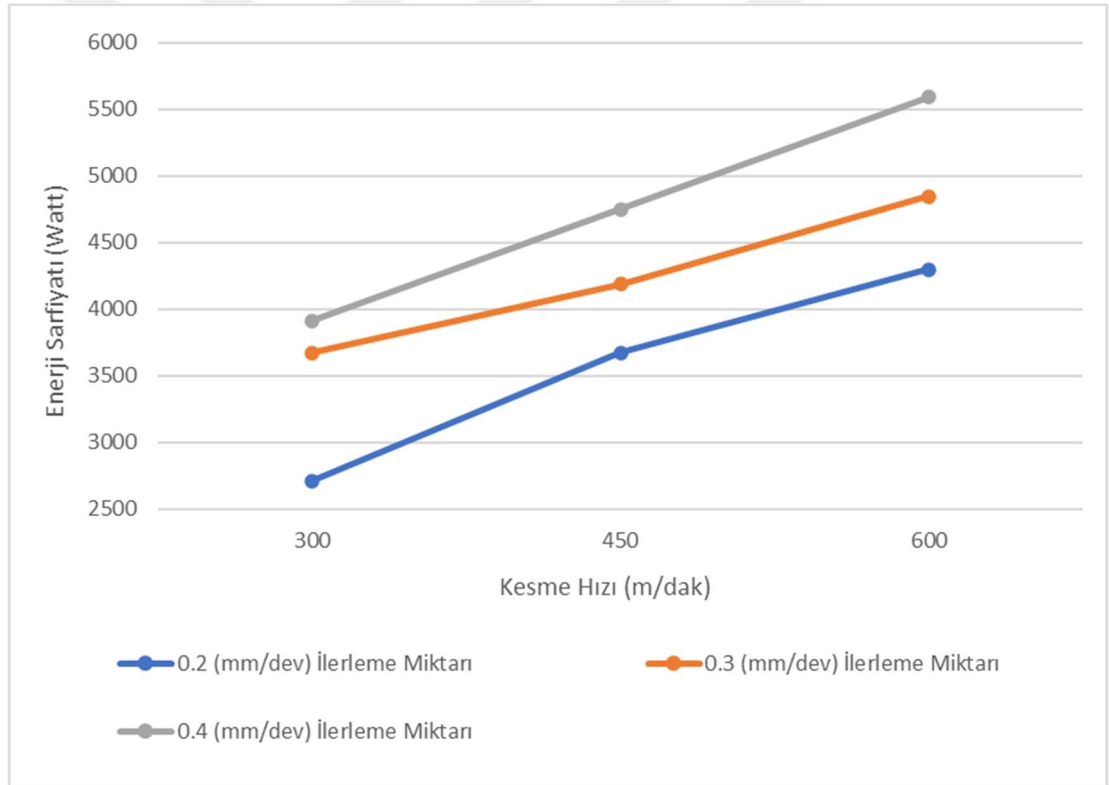
Çizelge 6.7'de bulunan veriler incelendiğinde takım üzerindeki 1 ve 2 numaralı bölgelerde yüksek oranda Al elementinin bulunduğu görülmekte ve Şekil 6.20.'de görüldüğü üzere kırmızı renkle gösterilen bölgeler yüksek oranda Al elementi içermektedir. Takım yüzeyinde Al elementinin bulunması takımda 1 ve 2 numaralı bölgelerin talaş sıvanmaları olduğunu göstermektedir.

6.6. İŞLEME PARAMETRELERİNİN ENERJİ SARFIYATINA OLAN ETKİSİ

Değişken işleme parametreleri ile AA7075 alüminyum alaşımının CNC torna tezgahında işlenmesi esnasında tüketilen enerji miktarları araştırılmıştır. Deneyler, kuru işleme ortamında gerçekleştirilmiştir.

6.6.1. Kesme Hızının Enerji Sarfiyatına Olan Etkisi

Değişken kesme hızları (300, 450 ve 600 m/dk), sabit ilerleme miktarı ve sabit kesme derinliği ile kuru işleme şartlarında yapılmış olan deneylerin enerji sarfiyat değerleri Şekil 6.21.'de verilmiştir.



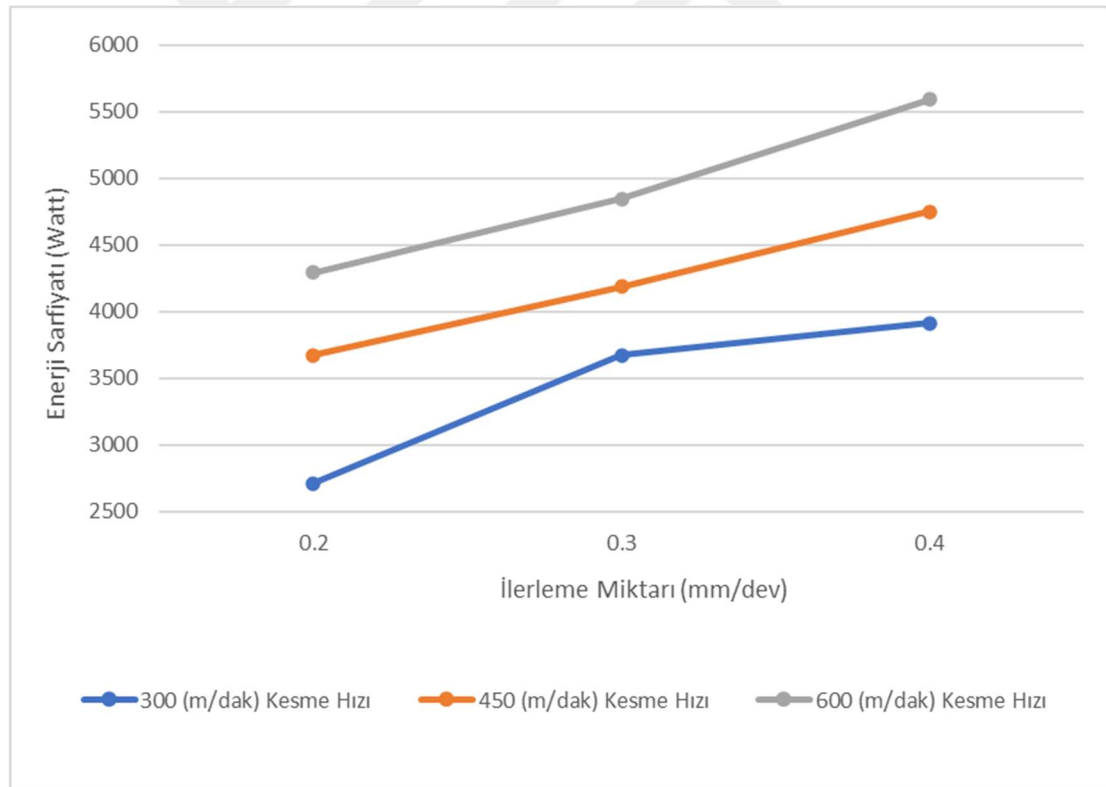
Şekil 6.21. Sabit ilerleme miktarı ile kuru işleme şartlarında kesme hızının enerji sarfiyatına olan etkisi.

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda ilerleme miktarının sabit tutulup kesme hızı değerinin (300, 450 ve 600m/dak) değiştirilmesi enerji tüketimini arttırdığı tespit edilmiştir. Kesme hızı değerinin değişmesi enerji tüketimine etkisi incelendiğinde,

yüksek kesme hızlarının daha fazla enerji tüketimine neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, daha yüksek kesme hızlarında kesme kuvvetlerinin ve talaş oluşumunun artmasıyla ilişkilendirilebilir. Artan kesme kuvvetleri, tornanın iş parçasını keserken daha fazla dirençle karşılaşmasına neden olacaktır, bu da daha fazla enerji gerektirecektir. Dolayısıyla, kesme hızının artması enerji tüketiminin artmasına sebep olmuştur.

6.6.2. İlerleme Miktarının Enerji Sarfıyatına Olan Etkisi

Değişken ilerleme miktarları (0.2, 0.3 ve 0.4 mm/dev), sabit kesme hızı (300 m/dak) ve sabit kesme derinliği (1 mm) ile kuru işleme şartlarında yapılmış olan deneylerin enerji sarfiyatı değerleri Şekil 6.22.'de verilmiştir.



Şekil 6.22. Sabit kesme hızı ile kuru işleme şartlarında ilerleme miktarının enerji sarfiyatına olan etkisi.

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda kesme hızı değerinin sabit tutulup, ilerleme miktarının (300, 450 ve 600m/dak) artırılması enerji tüketimini arttırdığı tespit edilmiştir. Daha yüksek ilerleme miktarları, tornanın iş parçasını daha hızlı kesmesine neden olacaktır. Kesme işleminin hızlanması iş parçasının daha hızlı bir şekilde şekillenmesine ve talaşın daha çabuk uzaklaştırılmasına yol açacaktır. Ancak, yüksek ilerleme miktarlarının kullanılması daha yüksek kesme kuvvetlerine ve daha yoğun bir talaş oluşumuna neden olacaktır.

Bu durumda, torna tezgahının işlem sırasında daha fazla dirençle karşılaşması gerekeceğinden ilerleme miktarının artması enerji sarfiyatı artacaktır. Dolayısıyla, ilerleme miktarının artması enerji tüketiminin artmasına sebep olmuştur.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, AA7075-T6 alüminyum alaşımının tornalama yöntemiyle değişken işleme parametrelerinin talaş kaldırma süreci sonucunda meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleri, görüntü işleme teknolojisi kullanılarak takım aşınmaları, taramalı elektron mikroskobu ile takım üstü sıvanmaları ve enerji sarfiyat değerleri deneysel olarak incelemiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Kesme hızı değerlerinin artmasıyla elde edilen en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri aşağıdaki gibidir: 300 m/dak kesme hızı değerinde ($f=0.2$ mm/dev) $2.78 \mu\text{m}$, 450 m/dak kesme hızı değerinde ($f=0.2$ mm/dev) $2.71 \mu\text{m}$, ve 600 m/dak kesme hızı değerinde ($f=0.2$ mm/dev) $2.55 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir. Kesme hızı değerinin (300-600 m/dak) %100 arttırılması yüzey pürüzlülük değerinin %8,27 azalmasına sebep olmuştur.
- İlerleme miktarlarının artmasıyla elde edilen en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri aşağıdaki gibidir: 0,2 mm/dev ilerleme miktarında ($V=600$ m/dak) $2,55 \mu\text{m}$, 0,3 mm/dev ilerleme miktarında ($V=600$ m/dak) $4,33 \mu\text{m}$ ve 0,4 mm/dev ilerleme miktarında ($V=600$ m/dak) ise $6,11 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir. İlerleme miktarının (0.2-0.4 mm/dev) %100 arttırılması yüzey pürüzlülük değerinin %139,61 artmasına sebep olmuştur.
- Sabit ilerleme miktarları ile kesme hızı değerinin (300-600 m/dak) %100 arttırılması takım aşınmasını ortalama %44,40 oranında artmasına sebep olmuştur.

- Sabit kesme hızı değerleri ile ilerleme miktarlarının (0.2-0.4 mm/dev) %100 arttırılması takım aşınmasını ortalama %22,78 oranında artmasına sebep olmuştur.
- Görüntü işleme teknolojisi kullanılarak sabit ilerleme miktarları ile kesme hızı değerinin (300-600 m/dak) %100 arttırılması takım aşınmasını ortalama %42,74 oranında arttırabileceği tespit edilmiştir.
- Görüntü işleme teknolojisi kullanılarak sabit kesme hızı değerleri ile ilerleme miktarlarının (0.2-0.4 mm/dev) %100 arttırılması takım aşınmasını ortalama %21,93 oranında arttırabileceği tespit edilmiştir.
- Görüntü işleme teknolojisi kullanılarak yapılan takım aşınması ölçümlerinde çıkan sonuçlar ile mikroskop altında ölçülen takım aşınması değerleri arasında %96,28 oranında uyumluluk elde edilmiştir.
- Taramalı elektron mikroskobu ile takım üzerinde belirlenmiş bölgelerde yüksek oranda Al elementinin bulunduğu ve takım yüzeyinde Al elementinin yüksek oranda bulunmasının takımda üzerinde talaş sıvanmaları olduğunu göstermektedir.
- Gerçekleştirilen deneyler sonucunda ilerleme miktarının sabit tutulup kesme hızı değerinin (300, 450 ve 600m/dak) değiştirilmesi enerji tüketimini ortalama %20,22 oranında arttırdığı tespit edilmiştir.
- Gerçekleştirilen deneyler sonucunda kesme hızı değerinin sabit tutulup, ilerleme miktarının (300, 450 ve 600m/dak) arttırılması enerji tüketimini ortalama %16,27 oranında arttırdığı tespit edilmiştir.

7.2. ÖNERİLER

1. Görüntü işleme teknolojisinin takım aşınması tahminindeki %96 oranındaki başarısı, farklı işleme koşulları ve malzemelerle test edildiğinde daha yakın sonuçlar görülebilir. Bu bağlamda, daha geniş ve çeşitli veri setleri oluşturmak ve değerlendirmek, tahmin doğruluğu açısından önemlidir.
2. Görüntü işleme teknolojisi ile takım aşınması tahminini daha da geliştirmek için yapay zeka ve makine öğrenme algoritmalarının entegrasyonu düşünülebilir. Bu yaklaşım, daha karmaşık ve dinamik işleme koşullarında da tahmin doğruluğunu arttıracaktır.
3. Görüntü işleme teknolojisi, gerçek zamanlı takip ve uyarı sistemleri için temel oluşturabilir. Bu tür bir sistem, takım aşınması veya performans düşüşü gibi anormallikleri hızlı bir şekilde tespit ederek operatörleri uyararak için kullanılabilir.
4. Görüntü işleme teknolojisinin tahmin doğruluğunu artırmak için farklı özelliklerin ve algoritmaların değerlendirilmesi düşünülebilir. Bu, görüntü analizi yöntemlerinin takım aşınması tahmini için daha etkili ve güvenilir hale getirilmesini sağlayabilir.
5. Görüntü işleme teknolojisinin endüstriyel uygulamalara uyarlanması, operasyonel verimliliği artırabilir ve maliyet azaltabilir. Bu doğrultuda, endüstriyel işlemlerde gerçek zamanlı tahminlerin ve analizlerin nasıl entegre edilebileceği üzerine daha fazla araştırma yapılabilir.
6. Görüntü işleme teknolojisinin takım aşınması tahmini alanında sağladığı potansiyel faydalar öz önüne alındığında, yukarıda belirtilen önerilerin bu teknolojinin daha da geliştirilmesine ve endüstriyel uygulamalara entegrasyonuna katkı sağlayacaktır. Gelecekteki çalışmaların daha kesin, güvenilir ve genellemeye uygun sonuçlar elde etmesine yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Dahlman, P., Gunnberg, F. and Jacobson, M., "The influence of rake angle, cutting feed and cutting depth on residual stresses in hard turning", *Journal Of Materials Processing Technology*, 147 (2): 181–184 (2004).
2. Sahoo, A. K., and Sahoo, B., "Experimental investigations on machinability aspects in finish hard turning of AISI 4340 steel using uncoated and multilayer coated carbide inserts", *Measurement*, 45: 2153–2165 (2012).
3. Chou, Y. and Song, H., "Tool nose radius effects on finish hard turning", *Journal Of Materials Processing Technology*, 148 (2): 259–268 (2004).
4. Chinchankar, S. and Choudhury, S. K., "Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel: An optimization approach", *Measurement*, 46 (4): 1572–1584 (2013).
5. Attanasio A., Umbrello, D., Cappellini, C., Rotella, G. and M'Saoubi, R., "Tool wear effects on white and dark layer formation in hard turning of AISI 52100 steel", *Wear*, 98-107,286-287 (2012).
6. Guddat, J., M'Saoubi, R., Alm, P. and Meyer, D., "Hard turning of AISI 52100 using PCBN wiper geometry inserts and the resulting surface integrity", *Procedia Engineering*, 19: 118–124 (2011).
7. Abukhshim, N. A., Mativenga, P. T. and Sheikh, M. A., "Investigation of heat partition in high speed turning of high strength alloy steel", *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, 45 (15): 1687–1695 (2005).
8. Suresh, R., Basavararajappa, S. and Samuel, G. L., "Some studies on hard turning of AISI 4340 steel using multilayer coated carbide too", *Measurement*, 45: 1872–1884 (2012).
9. Yan, H. H. J. and S. R., "Flow stres of AISI H13 die steel in hard machining", *Materials And Design*, 28: 272–277 (2007).
10. Oliveira, A. J., Diniz, A. E. and Ursolino, D. J., "Hard turning in continuous and interrupted cut with PCBN and whisker-reinforced cutting tools", *Journal Of Materials Processing Technology*, 209 (12–13): 5262–5270 (2009).
11. Grzesik, W. and Zak, K., "Modification of surface finish produced by hard turning using superfinishing and burnishing operations", *Journal Of Materials Processing Technology*, 212: 315–322 (2012).

12. Kurt, A. ve Şeker, U., "Kesici uç pah açısının kesme kuvvetleri ve kesici takım gerilmelerine etkisi", *Politeknik Dergisi*, 7 (4): 291–296 (2004).
13. Kundrak, J., Karpuschewski, B., Gyani, K. and Banac, V., "Accuracy of hard turning", *Journal Of Materials Processing Technology*, 202 (1–3): 328–338 (2008).
14. Bouacha, K., Yallese, M. A., Mabrouki, T. and Rigal, J. F., "Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool", *International Journal Of Refractory Metals & Hard Materials*, 28 (3): 349–361 (2010).
15. Remadna, M. and Rigal, J. F., "Evolution during time of tool wear and cutting forces in the case of hard turning with CBN inserts", *Journal Of Materials Processing Technology*, 178 (1–3): 67–75 (2006).
16. Fergani, O., Shao, Y. and Liang, S. Y., "Effect of temperature on the subsurface microstructure and mechanical properties of AA 7075-T6 in machining", *Procedia CIRP*, 13: 181–185 (2014).
17. Şahinoğlu, A., Karabulut, Ş. and Güllü, A., "Study on spindle vibration and surface finish in turning of al 7075", *Solid State Phenomena*, 261: 321–327 (2017).
18. Açar, S., "AA 7075-T6 Alüminyum alaşımının minimum miktarda yağlama yöntemiyle talaşlı işlenebilirliğinin araştırılması", *Firat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2014).
19. Ng, C. K., Melkote, S. N., Rahman, M. and Senthil Kumar, A., "Experimental study of micro- and nano-scale cutting of aluminum 7075-T6", *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, 46 (9): 929–936 (2006).
20. Karabulut, Ş., Çinici, H. and Karakoç, H., "Experimental investigation and optimization of cutting force and tool wear in milling AA7075 and open-cell sic foam composite", *Arabian Journal For Science And Engineering*, 41 (5): 1797–1812 (2016).
21. Rotella, G., "Effect of surface integrity induced by machining on high cycle fatigue life of 7075-T6 aluminum alloy", *Journal Of Manufacturing Processes*, 41 (3): 83–91 (2019).
22. Jomaa, W., Songmene, V. and Bocher, P., "Surface finish and residual stresses induced by orthogonal dry machining of AA7075-T651", *Materials*, 7 (3): 1603–1624 (2014).
23. Cagan, S. C., Venkatesh, B. and Buldum, B. B., "Investigation of surface roughness and chip morphology of aluminum alloy in dry and minimum quantity lubrication machining", *Materials Today*, 27: 1–5 (2020).

24. Kuram, E. and Ozcelik, B., "Multi-objective optimization using Taguchi based grey relational analysis for micro-milling of Al 7075 material with ball nose end mill", *Journal Of The International Measurement Confederation*, 46 (6): 1849–1864 (2013).
25. Tosun, N. ve Huseyinoglu, M., "Effect of MQL on Surface Roughness in Milling of Effect of MQL on Surface Roughness in Milling of AA7075-T6", *Materials And Manufacturing Processes*, 25 (8): 793–798 (2010).
26. Kannan, A., & Kumar, S., "Fault Detection of Mechanical Components Using Image Processing", (2021).
27. Xu, L. M., Fan, F., Zhang, Z., Chen, Y., Hu, D. J., & Shi, L., "Methodology and implementation of a vision-oriented open CNC system for profile grinding", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 100 (5–8): 2123–2131 (2019).
28. Vargas Vargas, H., & Camacho Bello, C. J., "Complex moments for the analysis of metal-mechanical parts", *Applications Of Digital Image Processing*, 107–152 (2018).
29. Kar, T., Mandal, N. K., & Singh, N. K., "Multi-response Optimization and Surface Texture Characterization for CNC Milling of Inconel 718 Alloy", *Arabian Journal For Science And Engineering*, 45 (2): 1265–1277 (2020).
30. Lins, R. G., Guerreiro, B., Marques De Araujo, P. R., & Schmitt, R., "In-process tool wear measurement system based on image analysis for CNC drilling machines", 69 (8): 5579–5588 (2020).
31. Peng, Y., Wu, T., Wang, S., & Peng, Z., "Wear state identification using dynamic features of wear debris for on-line purpose", 376–377: 1885–1891 (2017).
32. Zhou, L., Yang, C., Peng, F., Yan, R., Deng, B., & Liu, M., "Prediction of flexible cutting forces and tool deflections for general micro end mill considering tool run-out and deflection feedback", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 96 (1–4): 1428 (2018).
33. Kesemen, O., Tezel, O., Ozkul, E., & Kesim, M., "Dinamik Görüntülerde Mikro Değişimlerin Gerçek Zamanlı Ölçülmesi", (2017).
34. Zhang, Q. B., & Zhao, J., "Determination of mechanical properties and full-field strain measurements of rock material under dynamic loads", *International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences*, 60: 423–439 (2013).
35. Can, A. Ç., "Tasarımcı mühendisler için malzeme bilgisi", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 135–185 (2006).
36. Aydın, B., & Özçatalbaş, Y., "AA2014 (T6) Alaşımının İşlenebilirlik

- Özelliklerine Kesici Takım Geometrisinin Etkisi", *Makina Tasarım Ve İmalat Dergisi*, 5 (2): 89–95 (2016).
37. Özgün, S., "Galetaj Yöntemiyle İşlemede Yüzey Kalitesinin Yapay Sınır Ağları ile Modellenmesi", *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, (2010).
 38. Akça, H., "Tig yöntemiyle kaynak edilen alüminyum ve alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2006).
 39. Askeland D. R., Fulay, P. P. and Wright, W. J., "The science and engineering of materials, sixth edition", *Cengage Learning*, 539–569 (2010).
 40. Ataşen, U., "Soğuk Haddelenmiş 3003, 3105, 3005 Alüminyum Alaşımlarında Alaşım Elementi Olarak Magnezyumun Etkisi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2015).
 41. Kumru, N., "141, 145 ve 160 Tipi Döküm Alüminyum ile Plaka Tipi Alüminyum Malzemeler İçin Yorulma Makinası Tasarımı ve Eğilmeli Yorulma Davranışlarının İncelenmesi", *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, (2007).
 42. Sarsılmaz, F., "Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmiş AA7075/AA6061 Kaynaklı Bağlantıların Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2008).
 43. Açıci, N., "A356 ve A380 Alaşımlarının Eğimli Soğutucu ile Dökümü ve Yarı/Katı Dövme İşlemi", *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*, İstanbul, (2018).
 44. Öksüz, C., "Yüksek Mukavemetli (2024,6061,7075) Alüminyum Alaşımlarının Jominy Yöntemi ile Suverme Duyarlılığı", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1996).
 45. Büyükarıslan, S., "Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmiş Alüminyum Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2006).
 46. Gülerüz, K., "Deformasyon yaşlanmasının AA7075 alaşımının mekanik özelliklerine ve aşınma davranışına etkisi", *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2011).
 47. Fakıoğlu, A., "Yaşlandırılan AA7075 Alüminyum Alaşımlarının Yorulma Davranışlarının İncelenmesi", *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2012).
 48. Cirik, E., "Anodik oksidasyon işleminin 7075-T6 alüminyum alaşımının yorulma davranışına olan etkisinin incelenmesi", *Sakarya Üniversitesi Fen*

Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, (2007).

49. Internet: Inc., A. S. M., "ASM Aerospace Specification Metals, 7000 Series Aluminum Alloy", <https://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA7075T6>.
50. Tanattı, K., "Sıcak Ekstrüzyon ile Üretilen AA7075 Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Aşınma ve Korozyon Dayanımına Isıl İşlemlerin Etkisi", *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2015).
51. Park, J. K., Ardell, A. J., "Effect of retrogression and reaging treatments on the microstructure of Al-7075-T651", *Metallurgical And Materials Transactions*, 15 (8): 1531–1543 (1984).
52. Batuk, Ç., "A7075 Alüminyum Alaşımlarının Konik Şekillendirilebilirliğine İşlem Parametrelerinin Etkisi", *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2018).
53. DeGarmo, E. P., Black, J. T. and Kohser, R. A., "Materials and Processes in Manufacturing", *Prentice-Hall Inc.*, 533–600 (2013).
54. Hu, X., "An experimental and analytical study of the effect of material microstructures on the machinability of Al-Si alloys", *Michigan Technological University*, (2005).
55. Shaw, M. C., "Metal Cutting Principles", *Oxford University Press*, 19–29 (1989).
56. Sundaram, S., Senthilkumar, P., Kumaravel, A. and Manoharan, N., "Study of flank wear in single point cutting tool using acoustic emission sensor techniques", *ARP Journal Of Engineering And Applied Sciences*, 3 (4): 32–36 (2008).
57. Günay, M., "Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2009).
58. Güllü, A., Özdemir, A. ve Demir, H., "Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri ve mukayesesi", *Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi*, 6 (1–2): 79–92 (2003).
59. Sherington, I. and Smith, E. H., "Parameters for characterizing the surface topography of engineering components", *Proc. Instn Mech. Engrs*, 201 (4): 297–360 (1987).
60. Yurtkuran, H., "DIN 1.2344 Çeliğinin tornalanmasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi", *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2013).

61. Şahin, Y., "Talaş Kaldırma Prensipleri", 2. Baskı, *Nobel Basın Yayın Dağıtım*, Ankara, 163–170 (2001).
62. Zhang, J. H., "Theory and Technique of Precision Cutting", *Pergamon Press*, Oxford, 1–50 (1991).
63. Sandvik, V., "Modern Metal Cutting-A Practical Handbook", Sweden, 18–24 (1996).
64. Kyocera, "Kyocera Cutting Tools Turning Catalogue", *Yocera Industrial Ceramics Corporation*, North America, 1–75 (2012).
65. Kalpakjian, S. and Schmid, S. R., "Manufacturing Processes For Engineering Materials", *Prentice Hall*, 404–460 (2003).
66. Cho I. S., A. A. and K. J. D., "The effects of AlCrN coating, surface modification and their combination on the tribological properties of high speed steel under dry conditions", *Tribology International*, 81: 61–72 (2015).
67. Trent, E. M., "Metal Cutting", *Butterworths Press*, London, 1–171 (1989).
68. Groover, M. P., "Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems", *Prentice-Hall Inc*, New Jersey, USA, 251–639 (1996).
69. Özdemir, U. ve E. M., "Talaşlı imalat sırasında kesici takımında meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri", *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1: 37–50 (2003).
70. Stuart J. R., P. N., "Artificial Intelligence - A Modern Approach", 33–48 (2015).
71. Luger, G. F., "Artificial intelligence: structures and strategies for complex problem solving", 233–370 (2005).
72. Internet: beyaz.net, "Derin Öğrenme (Deep Learning) Nedir?", https://www.beyaz.net/tr/yazilim/makaleler/derin_ogrenme_deep_learning_nedir.html.
73. Nilsson, N. J., & Nilsson, N. J., "Artificial intelligence: a new synthesis", 37–57 (1998).
74. Bishop, C. M., "Pattern recognition and machine learning", 27–80 (2006).
75. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J., "The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction", 485–579 (2017).
76. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A., "Deep learning", *MIT Press*, Cambridge, 347–513 (2016).

77. Burger, W., & Burge, M. J., "Principles of Digital Image Processing", London, 45–150 (2013).
78. Rafael C. González, Richard E. Woods, S. L. E., "Dijital Görüntü İşleme", *Papatya Yayıncılık*, 1–464 (2009).
79. Wells, P. N. T., "Handbook of Image and Video Processing", *Physiological*, 22 (1): 263–264 (2001).
80. Iftikhar, F., "Algorithm for Image Processing Using Improved", *International Journal Of Soft Computing And Engineering*, 1–97 (2011).
81. Zhu, S., Xia, X., Zhang, Q., & Belloulata, K., "An image segmentation algorithm in image processing based on threshold segmentation", *International Conference On Signal Image Technologies And Internet Based Systems*, 673–678 (2007).
82. Gonzalez, R. C., & Woods, R. E., "Digital Image Processing", *Pearson; 3rd Edition*, 621–659 (2008).
83. Haralick, R. M., & Shapiro, L. G., "Computer and Robot Vision", Addison-Wesley., 277–326 (1992).
84. Pratt, W. K., "Digital Image Processing", Wiley-Interscience;, 632–715 (2007).
85. Sonka, M., Hlavac, V., & Boyle, R., "Image Processing, Analysis, and Machine Vision", *Cengage Learning*, 150–240 (2014).

ÖZGEÇMİŞ

Enes ÇELİK 2015 yılında Gemlik Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Lisans Programı Bölümü'nde öğrenime başlayıp, 2020 yılında başarıyla lisans eğitimini tamamladı. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Programı'na başladı. 2023 Ocak ayından itibaren BURSA / Gemlik ilinde özel bir firmada imalat ve proje mühendisi olarak işe başladı. Şu anda imalat ve proje mühendisliği görevini sürdürmektedir.