



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AISI 2507 SÜPER DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİĞİN
TORNALANMASINDA HİBRİT SOĞUTMA/YAĞLAMA
TEKNİKLERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME
SICAKLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

EMRE ÇELİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. TURGAY KIVAK**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AISI 2507 SÜPER DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİĞİN
TORNALANMASINDA HİBRİT SOĞUTMA/YAĞLAMA
TEKNİKLERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME
SICAKLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Emre ÇELİK tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Turgay KIVAK

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Turgay KIVAK

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül Çakır ŞENCAN

Bülent Ecevit Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 31/12/2019

BEYAN

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

31 Aralık 2019

Emre ÇELİK



TEŐEKKÖR

Lisans ve Yűksek Lisans eęitimim boyunca, tecrűbe ve bilgi birikimlerini bana aktaran, tez çalıřmalarımda da yardımlarını esirgemeyen, bana yol gűsteren ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok saygıdeęer hocam Doç. Dr. Turgay KIVAK’a en içten duygularımla teőekkűr ederim.

Deneyler esnasında deęerli bilgilerini ve katkılarını esirgemeyen Sayın Őęr. Gűr. őenol őİRİN’e teőekkűr ederim.

Deneyler esnasında kullanılan takımların temini konusunda yardımcı olan Sayın Fatih GÖNAN’a teőekkűr ederim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve desteklerini her zaman hissettięim annem, babam, aileme ve eőim Bedriye Ebru ÇELİK’e sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

31 Aralık 2019

Emre ÇELİK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	3
2.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	5
2.1.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	6
2.1.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler	8
2.1.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler	10
2.1.4. Çökelme Sertleştirmeli Paslanmaz Çelikler	11
2.1.5. Dupleks (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler.....	12
2.1.5.1. Düşük Alaşımli Dupleks Paslanmaz Çelik	14
2.1.5.2. Orta Alaşımli Dupleks Paslanmaz Çelik.....	14
2.1.5.3. Yüksek Alaşımli Dupleks Paslanmaz Çelik	14
2.1.5.4. Süper Dupleks Paslanmaz Çelik	14
3. TALAŞLI İMALAT VE TORNALAMA.....	16
3.1. TALAŞLI İMALAT.....	19
3.1.1. İşlenebilirlik	19
3.1.2. Talaşlı İmalatta Talaş Oluşumunun Teorisi.....	21
3.1.3. Talaş Biçimleri.....	21
3.1.3.1. Süreksiz Talaş	22
3.1.3.2. Sürekli Talaş	22
3.1.3.3. Yığma Talaş	22
3.1.3.4. Tırtıklı Talaş	23
3.1.4. Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Faktörleri	23
3.1.4.1. Kesme Hızı	23
3.1.4.2. İlerleme Hızı.....	24
3.1.4.3. Talaş Derinliği.....	24
3.1.5. Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Faktörleri	25
3.1.5.1. Sıcaklık Dağılımı.....	25
3.2. TORNALAMA.....	26
3.3. KESİCİ TAKIM.....	28
3.3.1. Kesici Takım Malzemeleri.....	29
4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	31
4.1. İDEAL YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	32
4.2. DOĞAL YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	33
4.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	33
4.3.1. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri.....	34

4.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	36
4.4.1. Temas Uçlu (İğneli) Ölçüm Sistemleri	36
5. TAGUCHI METODU	38
5.1. ÇEVİRİM İÇİ KALİTE KONTROL	39
5.2. ÇEVİRİM DIŞI KALİTE KONTROL	39
5.2.1. Sistem Tasarımı	39
5.2.2. Parametre Tasarımı	39
5.2.3. Tolerans Tasarımı	40
5.3. SİNYAL GÜRÜLTÜ ORANI	40
5.4. ROBUST TASARIMI	41
5.5. VARYANS ÖLÇÜMÜ	41
5.6. REGRASYON ANALİZİ	42
5.7. VARYANS ANALİZİ (ANOVA)	42
5.7.1. Deney Tasarımının Temel İlkeleri	42
5.7.1.1. Bloklama	42
5.7.1.2. Rasgeleleştirme	42
5.7.1.3. Tekrar	43
6. TALAŞLI İMALATTA SOĞUTMA TEKNİKLERİ	44
6.1. KESME SIVILARI	44
6.1.1. Kesme Sıvılarının İnsan Sağlığına Etkileri	45
6.1.1.1. Cilt Bozuklukları	45
6.1.1.2. Solunum ile İlgili Rahatsızlıklar	46
6.1.1.3. Kanser	46
6.1.2. Kesme Sıvı Tipleri	46
6.1.2.1. Yağ Bazlı Kesme Sıvıları	48
6.1.2.2. Su Bazlı Kesme Yağları	49
6.1.2.3. Gaz Bazlı Soğutucu Yağlar	50
6.2. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MMY)	50
6.2.1. MMY Sisteminde Kesme Sıvısı	53
6.3. KRİYOJENİK SOĞUTMA	53
7. LİTERATÜR TARAMASI	54
7.1. LİTERATÜR DEĞERLENDİRİLMESİ	59
8. MALZEME VE METOT	61
8.1. İŞ PARÇASI	61
8.2. TAKIM TEZGÂHI	62
8.3. KESİCİ TAKIM	63
8.4. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MMY) SİSTEMİ	63
8.5. KRİYOJENİK SOĞUTMA SİSTEMİ	64
8.6. KESME YAĞI	65
8.7. KESME SICAKLIĞININ ÖLÇÜLMESİ	66
8.8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TOPOGRAFYASININ ÖLÇÜLMESİ	66
8.9. TAGUCHİ OPTİMİZASYON YÖNTEMİ	68
9. DENEY SONUÇLARI	70
9.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN OPTİMİZE EDİLMESİ	70
9.1.1. S/N Oranı Analizleri	70
9.1.2. Varyans Analizi (ANOVA)	72
9.1.3. Regresyon Analizi	73

9.1.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	74
9.1.4.1. <i>Yüzey Resimleri ve Topografyası</i>	76
9.2. KESME SICAKLIĞININ OPTİMİZE EDİLMESİ	79
9.2.1. S/N Oranı Analizleri	79
9.2.2. S/N Oranı Analizleri	81
9.2.3. Regresyon Analizi.....	82
9.2.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	83
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85
10.1. SONUÇLAR.....	85
10.2. ÖNERİLER.....	86
11. KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ	96



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Krom-Nikel oranına göre paslanmaz çelikler.....	5
Şekil 2.2. Östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı.....	8
Şekil 2.3. Ferritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı	9
Şekil 2.4. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı.....	11
Şekil 2.5. Çökelme sertleştirmeli paslanmaz çeliğin mikro yapısı	12
Şekil 2.6. Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çeliğin mikro yapısı	14
Şekil 3.1. Elde tutulan takım ile tornalama ve delik delme işlemleri	16
Şekil 3.2. Malzeme kaldırma işlemi sınıflandırılması	17
Şekil 3.3. a) Kesme işleminin kesit görünümü, b) Negatif talaş açısı	18
Şekil 3.4. İşlem sayısına göre talaşlı imalat işlemlerinin karşılaştırılması	19
Şekil 3.5. Talaş kaldırma süresine göre talaşlı imalat işlemlerinin karşılaştırılması	19
Şekil 3.6. Talaşlı imalatla işlenebilirliğe etki eden faktörler	20
Şekil 3.7. Ortogonal kesme: a) 3 boyutlu kesme işleme Solarak ve b) İki boyuta indirgenmiş hali.....	21
Şekil 3.8. Talaş oluşumunun dört tipi: a) Süreksiz talaş, b) Sürekli talaş, c) Yapışan köşe talaşı, d) Tırtıklı talaş	22
Şekil 3.9. a) Yığıntı talaş ve yapışma aşınması, b) Yığıntı kenar ve yığıntı talaşlı takım görüntüsü	23
Şekil 3.10. Tornalama işleminde kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği	24
Şekil 3.11. Talaşlı işlemede ısı dağılımı	25
Şekil 3.12. Sıcaklığın kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişmesi.....	26
Şekil 3.13. Talaş kaldırma işleminde oluşan yüksek sıcaklıkların dağılım eğrileri	26
Şekil 3.14. Tornalama işleminin şematik gösterimi	27
Şekil 3.15. Torna tezgâhında tornalamadan başka gerçekleştirilebilen işlemler	27
Şekil 3.16. Tornalama işlemlerine göre kesici takımlar	29
Şekil 3.17. Kesici takım malzemelerinin performansındaki gelişme	30
Şekil 4.1. Yüzey profiline etki eden unsurlar	31
Şekil 4.2. a) Keskin köşeli kesici takım ile oluşturulan ideal yüzey pürüzlülüğü modeli, b) Yuvarlak uçlu bir takım için ideal yüzey pürüzlülüğü modeli	32
Şekil 4.3. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler	34
Şekil 4.4. Yüzey pürüzlülüğündeki ölçüm uzunlukları	34
Şekil 4.5. M Sistemine göre yüzey pürüzlülük profili	35
Şekil 4.6. Profil ve genlik dağılım eğrisi	36
Şekil 4.7. Temas uçlu (iğneli) ölçme sisteminin çalışma prensibi.....	37
Şekil 6.1. Kesme sıvılarını sınıflandırılması.....	47
Şekil 6.2. Yağ filmi.....	48
Şekil 6.3. Tepe noktalarının kaynak olması.....	49
Şekil 6.4. Talaşlı imalatla maliyet dağılımı	51
Şekil 6.5. Çeşitli MMY Sistemleri.....	51
Şekil 6.6. SKF harici yağlama temel sisteminin pnömatik şeması.....	52
Şekil 6.7. SKF dâhili sistem pnömatik şeması.....	52
Şekil 8.1. Deney Seti.....	61
Şekil 8.2. Accuway JT 150 CNC torna tezgâhı	62
Şekil 8.3. CNMG 120408 ML kesici takım.....	63
Şekil 8.4. MMY Sistemi	64
Şekil 8.5. Taylor WhartonXL-45 HP sıvı azot tankı	65

Şekil 8.6. Optris PI 450 termal kamara.....	66
Şekil 8.7. MarSurf PS10 taşınabilir yüzey ölçüm cihazı	67
Şekil 8.8. Yüzey topografyası için kullanılan cihaz	68
Şekil 9.1. Yüzey pürüzlülüğü için ortalama S/N etki grafiği.....	72
Şekil 9.2. Yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilen/deney sonuçlarının karşılaştırılması...	74
Şekil 9.3. Soğutma/yağlama yöntemi ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	75
Şekil 9.4. Kesme hızı ve soğutma/yağlama yöntemine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	76
Şekil 9.5. Soğutma yağlama koşullarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	77
Şekil 9.6. Yüzey resimleri ve topografyaları a) Kuru, b) MMY, c) Kriyo ve d) Kriyo+MMY	78
Şekil 9.7. Kesme sıcaklığı için ortalama S/N etki grafiği.....	81
Şekil 9.8. Kesme sıcaklığının tahmin edilen/deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	83
Şekil 9.9. Soğutma/yağlama yöntemi ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.....	84
Şekil 9.10. Kesme hızı ve soğutma/yağlama yöntemine bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.....	84

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Paslanmaz çeliklerde alaşım elementlerin etkileri.....	4
Çizelge 2.2. Paslanmaz çeliklerin özellikleri.....	6
Çizelge 2.3. Östenitik paslanmaz çelikler ve kullanım alanları.....	7
Çizelge 2.4. Östenitik paslanmaz çelik grubunun mekanik özellikleri.....	8
Çizelge 2.5. Ferritik paslanmaz çelikler ve kullanım alanları	9
Çizelge 2.6. Ferritik paslanmaz çelik grubunun mekanik özellikleri	9
Çizelge 2.7. Martenzitik paslanmaz çelikler ve kullanım alanları.....	10
Çizelge 2.8. Martenzitik paslanmaz çelik grubunun mekanik özellikleri.....	11
Çizelge 2.9. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler ve kullanım alanları.....	12
Çizelge 2.10. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelik grubunun mekanik özellikleri	12
Çizelge 2.11. Dupleks paslanmaz çelikler ve kullanım alanları	13
Çizelge 2.12. Dupleks paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri	13
Çizelge 6.1. Kesme sıvısı tiplerinin kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri.....	47
Çizelge 8.1. Dupleks paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi.....	62
Çizelge 8.2. Dupleks paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri	62
Çizelge 8.3. Accuway JT 150 CNC tezgâhın teknik özellikleri	63
Çizelge 8.4. Kesici takıma ait teknik özellikler	63
Çizelge 8.5. SKF Lubrilean-Vario teknik özellikleri.....	64
Çizelge 8.6. Taylor WhartonXL-45 HP sıvı azot tankı teknik özellikleri	65
Çizelge 8.7. Cuttex SYN 5 kesme yağı özellikleri	65
Çizelge 8.8. PI 450 termal kamera teknik özellikleri	66
Çizelge 8.9. MarSurf PS10 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri.....	67
Çizelge 8.10. Kontrol faktörleri ve seviyeleri.....	68
Çizelge 8.11. Taguchi L ₂₇ ortogonal dizisi	69
Çizelge 9.1. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ve S/N oranları	71
Çizelge 9.2. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu.....	72
Çizelge 9.3. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu	73
Çizelge 9.4. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları ve S/N oranları	80
Çizelge 9.5. Kesme sıcaklığı için S/N yanıt tablosu.....	81
Çizelge 9.6. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları ve S/N oranları	82

KISALTMALAR

Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
ANOVA	Varyans Analizi / Analysis of Variance
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerika Test ve Malzeme Birliği)
BUE	Built Up Edge (Talaş Yapışması)
CBN	Cubic Bor Nitride (Kübik Bor Nitrür)
CNC	Computer Numeric Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
KT	Kesici Takım
Kriyo	Kriyojenik Soğutma
Kriyo+MMY	Kriyojenik Soğutma ve Minimum Miktarda Yağlama
MQL / MMY	Minimum Quantity Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama)
NC	Numeric Control (Sayısal Denetim)
NT	Nozul Tipi
PVD	Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)
SEM / TEM	Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
S/N	Signal/Noise Rate (Sinyal/Gürültü Oranı)
SYT	Soğutma/Yağlama Yöntemi
TÖ	Takım Ömrü

SİMGELER

A	Kesme derinliği, (mm)
C	Karbon
Cr	Krom
F	İlerleme hızı, (mm/dev)
F	Kesme kuvveti, (N)
F _a	Eksenele kuvvet, (N)
F _c , (F _y)	Teğetsel kuvvet, (N)
Fe	Demir
F _f , (F _x)	İlerleme kuvveti, (N)
F _r , (F _z)	Radyal kuvvet, (N)
HV	Vickers Sertliği
Mn	Manganez
Mo	Molibden
N	Devir sayısı, (dev/dak)
Ni	Nikel
P	Basınç, (kg/mm ²)
Pa	Pascal, (N/m ²)
Q	Debi, (ml/s)
R ²	Belirlilik katsayısı
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri, (μm)
Rz	5 en yüksek, 5 en alçak noktanın ortalaması (μm)
Ti	Titanyum
V	Kesme hızı, (m/dak)
V _B	Yan kenar aşınması, (mm)
Zr	Zirkonyum
μm	Mikron metre
Γ	Talaş açısı, (°)

ÖZET

AISI 2507 SÜPER DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİĞİN TORNALANMASINDA HİBRİT SOĞUTMA/YAĞLAMA TEKNİKLERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME SICAKLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Emre ÇELİK

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Turgay KIVAK

Aralık 2019, 95 sayfa

Bu çalışmada, AISI 2507 dubleks paslanmaz çeliğinin farklı soğutma/yağlama şartları altında tornalanmasında, kesme parametrelerinin kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyler üç farklı soğutma yağlama koşulu altında (MMY, Kriyo ve Kriyo+MMY), üç farklı kesme hızında (80,120 ve 160 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızında (0,16-0,20 ve 0,24 mm/dev) gerçekleştirilmiştir. Tornalama deneylerinde PVD yöntemi ile TiCN kaplanmış karbür kesici takımlar (CNMG 120408 ML) kullanılmıştır. MMY sisteminde kesme yağı olarak bitkisel esaslı kesme yağı, kriyojenik soğutma sisteminde ise sıvı azot (LN₂) kullanılmıştır. Deneyler Taguchi ortogonal dizilimli L₂₇ deney tasarımına göre gerçekleştirilmiş olup deneyler sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesinde sinyal gürültü oranları (S/N) kullanılmıştır. Faktörlerin etki seviyelerinin belirlenmesinde ise varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Ayrıca tahmin denklemlerinin oluşturulması amacıyla çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda en düşük yüzey pürüzlülük değeri Kriyo+MMY soğutma yağlama şartında, 160 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. En düşük kesme sıcaklığı ise yine Kriyo+MMY soğutma yağlama koşulunda, 80 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. MMY'nin üstün yağlama özelliği ile kriyojenik soğutmanın üstün soğutma özelliğinin kombine edilmesi yüzey kalitesinin (yüzey pürüzlülüğü ve topografyası) artması ve kesme sıcaklığının düşmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. ANOVA sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde %81,54 katkı oranı ile en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu kesme sıcaklığı üzerinde ise %91,30 katkı oranı ile en etkili parametrenin soğutma/yağlama yönteminin olduğu görülmüştür. Çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen denklemlerin belirleme katsayıları yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı için sırasıyla 0,9551 ve 0,9875 olarak belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Tornalama, Dubleks paslanmaz çelik, Taguchi metodu, MMY, Kriyojenik soğutma, Yüzey pürüzlülüğü, Kesme sıcaklığı.

ABSTRACT

THE EFFECT OF HYBRID COOLING/LUBRICATION TECHNIQUES ON SURFACE ROUGHNESS AND CUTTING TEMPERATURE IN TURNING OF AISI 2507 SUPER DUPLEX STAINLESS STEEL

Emre ÇELİK

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences,

Department of Manufacturing Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Turgay KIVAK

December 2019, 95 pages

In this study, the effects of cutting parameters on cutting temperature and surface roughness were investigated in turning of AISI 2507 duplex stainless steel under different cooling/lubrication conditions. The experiments were carried out under three different cooling lubrication conditions (MQL, Cryo and Cryo+MQL), three different cutting speeds (80, 120 and 160 m/min) and three different feed rates (0.16-0.20 and 0.24 mm/rev). In turning experiments, PVD TiCN coated carbide cutting tools (CNMG 120408 ML) were used. Vegetable based cutting oil was used as cutting oil in the MQL system and liquid nitrogen (LN2) was used in the cryogenic cooling system. The experiments were carried out according to Taguchi orthogonal L27 experimental design and signal-to-noise ratios (S/N) were used to evaluate the data obtained from the experiments. Variance analysis (ANOVA) was used to determine the effect levels of the factors. In addition, multiple regression analysis was performed to obtain estimation equations. As a result of the experimental study, the lowest surface roughness value was obtained under the Cryo+MQL cooling lubrication condition, cutting speed of 160 m/min and feed rate of 0.16 mm/rev. The lowest cutting temperature was obtained at Cryo+MQL cooling lubrication condition, cutting speed of 80 m/min and feed rate of 0.16 mm/rev. Combining the superior lubrication of MQL with the superior cooling of cryogenic cooling has been shown to have a significant effect on improved surface quality (surface roughness and topography) and reduced cutting temperature. According to the ANOVA results, the most effective parameter was the feed rate with 81.54% contribution rate on surface roughness and cooling/lubrication method with 91.30% contribution rate in tool life. As a result of multiple regression analysis, determination coefficients of the obtained equations were determined as 0.9551 and 0.9875 for surface roughness and shear temperature, respectively.

Keywords: Turning, Duplex stainless steel, Taguchi method, MQL, Cryogenic cooling, Surface roughness, Cutting temperature.

1. GİRİŞ

Krom oranı yüksek, karbon oranı ise düşük olan çelik türlerine paslanmaz çelik denir. İçeriğinde Cr, Ni, Mo, N gibi alaşım elementleri de bulunur. En az %11 krom (Cr) içeriğine sahip paslanmaz çelikler yüksek korozyon direncine sahip malzemelerdir. Paslanmaz çelikler, kimyasal içeriklerine göre ferritik, östenitik, martenzitik, çökeltme serleştirmeli ve dubleks paslanmaz çelik olarak beş grupta incelenir [1], [2]. Dubleks paslanmaz çelikler 1920'li yılların sonunda geliştirildi [3]. Dubleks paslanmaz çelikler, yüksek korozyon direnci, yüksek gerilme mukavemetleri ve düşük nikel ve molibden içeriklerinden dolayı kullanım alanı artan bir malzemedir. Dubleks paslanmaz çeliklerin daha düşük maliyetli olmaları, korozyon ortamlarda tercih sebebi olmuştur [4].

Metallerden talaş kaldırılarak şekillendirilmesi, imalat sektörünün temelini oluşturur. Talaşlı imalatın diğer imalat yöntemlerine göre talep edilmesini sebeplerinden bazıları, tezgâh ve makinelerin uzun ömürlü olması, düşük yatırım maliyetine sahip olması, işleme parametrelerinin optimizasyon yapılabilmesi ve en önemli nedeni ise elde edilen ürünlerin ölçü ve yüzey kalitesinin iyi olmasıdır [5]. Talaşlı imalat ile işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğünü azaltmak ve buna neden olan parametreleri belirleyebilmek çok önemlidir [6]. Yüzey pürüzlülüğüne etkisi olan kesme parametreleri; ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliğidir [7]. Talaş kaldırma operasyonlarında, kesici takım, talaş ve iş parçası arasındaki sürtünme, kesme bölgesinde meydana gelen ısının yükselmesine neden olmaktadır [8]. Kesme bölgesinde oluşan bu ısı ilk etapta talaşın iş parçasından ayrılmasına yardımcı olsa da daha da yükselmesiyle yüzey kalitesi ve takım aşınmasında olumsuz etkilere sebep olabilmektedir. Bu nedenle işleme esnasında oluşan sıcaklığın kontrol altına alınması son derece önem arz etmektedir [9]. Kesme bölgesindeki sıcaklığı kontrol altına almanın en bilinen yöntemi soğutma sıvısı olarak metal kesme sıvılarının kullanımıdır. Ancak son yapılan araştırmalarda da görüldüğü üzere, metal kesme sıvılarının insan sağlığı ve ekolojik çevre düzenine ciddi zararlar verdiğini göstermektedir. Bu zararları en az indirilmesi ve sürdürülebilir imalat sürecinde aktif rol üstlenilmesi için kesme sıvılarının kullanılmadığı veya sınırlı olarak kullanıldığı bazı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden en bilineni kuru işleme olmakla beraber çevreci bir işleme koşuludur. Ancak kuru işleme şartlarında, kesme sıcaklıkları önemli ölçüde

artabilmekte, kesici takım aşınmaları ve iş parçası yüzey kalitesi kötüleşebilmektedir. Bu noktada kuru işleme alternatif ve çevreci soğutma/yağlama yöntemi olarak karşımıza, yarı kuru işleme olarak da nitelendirilen Minimum Miktarda Yağlama (MMY) sistemi çıkmaktadır [10]. MMY sistemi kuru kesme koşuluna göre avantaj sağlasa da ıslak kesme performansının bir miktar gerisinde kalabilmektedir [11]. Çevreci olarak adlandırılan bir diğer yöntem ise azot (LN_2), karbondioksit (LCO_2) gibi gazların kesme bölgesinde sıvı halde kullanıldığı, kriyojenik (Kriyo) soğutma yöntemidir. Bu yöntemde ise iş parçası - 196 °C gibi bir soğutma kaynağına maruz kalmasıyla plastik deformasyon için gereken sıcaklık minimize olmakta ve talaşın iş parçasından ayrılması güçleşmektedir. Son yıllarda MMY ve Kriyo soğutma/yağlamanın aynı anda kullanıldığı bazı yöntemler üzerinde çalışmaların olduğu görülmektedir.

Talaşlı imalat yapan firmalar ürün kalitesini nasıl artıracakları ile alakalı araştırmalar yapmaktadırlar. Bu hedef doğrultusunda, kaliteyi geliştirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmişlerdir. Ancak, bu işlemlerdeki parametre değişkenliğinin çokluğu yüksek deney sayıları, yüksek maliyet ve zaman kaybı demektir [12]. Taguchi Deney Tasarımı metodu bu sorunları çözmek için ortaya çıkmıştır. Taguchi metodu, çözümün asgari sayıda deneyle elde edilmesini sağlayan, işleme kalitesini artırma ve ürün geliştirilmesini destekleyen bir yöntemdir. Bu özelliklere ek olarak ürün veya ürünün üretim şartlarına ve kontrolü mümkün olmayan faktörlere karşı asgari hassasiyeti göstermesi, olması gereken toleransların en düşük maliyetle sağlanması ve Taguchi kayıp fonksiyonu sayesinde ürünün toplamda yol açtığı kaybı asgari düzeye indirmesi yeni bir kalite maliyeti anlayışı çerçevesinde değerlendirilmesi de dâhildir. Kesme parametrelerinin optimizasyonu ile beraber imalat maliyetlerinin düşürülmesi, performans ve kalite artışı sağlaması tornalama işlemlerinde önemlidir. Taguchi metodu ile gereksiz deneyler yapılmadan zaman ve maliyet kaybını önlemeye yardımcıdır [13].

Bu çalışmada, Dupleks paslanmaz çeliğinin tornalanması esnasında MMY, Kriyo ve MMY+Kriyo soğutma sistemlerinin ve kesme parametrelerinin kesme sıcaklığına (T) ve yüzey pürüzlülüğüne (R_a) etkisi araştırılarak optimum kesme koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. İşleme parametrelerinin optimizasyonu esnasında Taguchi metodu uygulanmış olup değerlendirmede sinyal/gürültü (S/N) oranları kullanılmıştır. Varyans (ANOVA) analizi yapılarak işleme parametrelerinin kalite karakteristikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

2. PASLANMAZ ÇELİKLER

Krom oranı %10,5'in üzerinde ve %1,2 altında karbon oranı olan çelik türleri paslanmaz çeliktir. Paslanmaz çelikler korozyona karşı dayanım sağlayan ve kendini onaran yüzey tabakası (passive layer) oluşturan çelik alaşımlarıdır [14]. Paslanmaz çeliklerde yüksek korozyon dayanımı sağlayan yapı; yüzeye sıkı bir şekilde tutunan saydam bir oksit tabakadır. Paslanmaz çeliklerin kimyasal reaksiyonlara karşı pasif davranarak korozyona karşı direnç kazanmasını ince olan oksit tabakası sağlamaktadır. Bu oksit tabakası düzensiz (amorf) tabakadır. Oksit tabakası, ortamda oksijen bulunan yerlerde ve aşınma, kesme gibi etkiler ile bozulma olur ise kendini onarması ile eski özelliklerine tekrar kavuşma özelliği vardır [15].

Paslanmaz çeliğin ilk üretimi 1800'lü yılların başında başlamış olup bilim insanları tarafından demir-krom alaşımlarının asitlere karşı dayanımlı olduğu görülmüştür. Ancak çeliğin içeriğinde bulunan krom oranı düşük olması nedeni ile çelikte paslanmaya karşı istenilen dayanım sağlanamamıştır. O yıllarda üretilen tüm çelik malzemelerinde istenilen karbon oranına ulaşamadığından dolayı çeliklerde paslanma olayları oluşmuştur. Çeliklerin içerisinde yüksek olan karbon oranı korozyon dayanımını olumsuz etkilenmektedir [16].

Bugün kullanılan birçok paslanmaz çelik kalitesi 1913 ile 1935 tarihleri arasında geliştirilmiş olup İkinci Dünya Savaşı ile birlikte askeri sanayide kullanmak üzere ağırlık-mukavemet oranı daha düşük, yüksek mekanik özelliklere sahip paslanmaz çelikler üretilmiştir [17].

Paslanmaz çeliklerden beklenen temel özellikler şu şekildedir;

- Korozyon dayanımı,
- Yüksek ve düşük sıcaklığa direnç,
- İmalat kolaylığı,
- Mekanik dayanım,
- Görünüm ve geometri,
- Hijyenik özellik,
- Uzun ömür.

Paslanmaz çelikler, içeriğinde bulunan alaşım elementlerine göre ferrit yapı ve östenit yapı oluşturunca olarak iki gruba ayrılır. Ferrit yapı, östenit yapı oluşturunca ve nötr elementlerin işlevleri Çizelge 2.1’de verilmiştir [18].

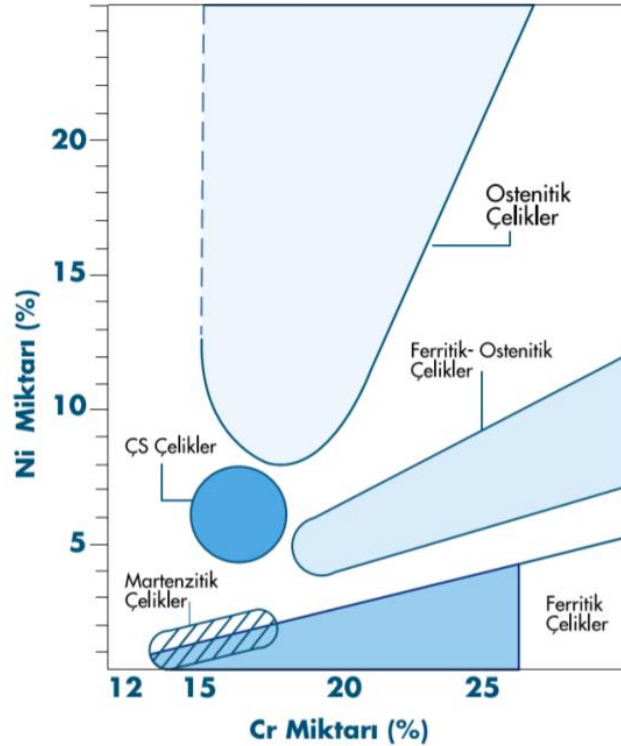
Çizelge 2.1. Paslanmaz çeliklerde alaşım elementlerin etkileri.

Element	Etkileri
<i>Alüminyum</i>	Güçlü ferrit ve nitrür yapıcıdır. İçeriğinde %12 C olan kaynak metaline eklenmesi ile yapıyı ferritik, yani sertleşemez hale getirir. Yüksek sıcaklıklarda tufalleşme dayanımını artırır [19].
<i>Krom</i>	Ferritik ve karbür oluşturunca. Ağırlıkça %12’den fazla krom içeren Fe-Cr alaşımları tamamen ferrit yapısındadır. Ferritik alaşımlarda krom, ferritik mikro yapıyı kararlı halde tutan ana alaşım elementidir. [20]. Tufalleşme ve korozyon dayanımı sağlar. Krom, paslanmaz çeliklerde yüksek sıcaklığa ve sürünmeye karşı belirgin bir etkisi yoktur [19].
<i>Molibden</i>	Ferrit oluşturunca alaşım elementidir ve varlığı ferrit oluşumuna destek olarak mikro yapının korunmasını sağlamaktadır [20].
<i>Niobyum</i>	Güçlü bir karbür ve orta düzeyde ferrit yapıcıdır. Niobyum, östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbür çökmesini dengelemede kullanılır. Sertliği ve dayanımı artırmak için bazı alaşımlara ilave edilir [19].
<i>Titanyum</i>	Kuvvetli bir karbür ve nitrür yapıcı olup kuvvetli ferrit yapısı oluşturunca. Östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbür çökmesinde dengeleme elementi olarak kullanılır. [19].
<i>Fosfor, Kükürt, Selenyum</i>	İşlenebilir kabiliyetini yükseltmesine rağmen kaynak sırasında sıcak çatlak oluşmasına neden olması sebebi ile kaynak kabiliyetini kısıtlamaktadır [18].
<i>Karbon</i>	Kuvvetli östenit oluşturunca. Krom ile reaksiyona girer ve taneler arası korozyona neden olan karbürleri oluşturunca [18].
<i>Nikel</i>	Güçlü bir östenit yapıcı ve dengeleyicidir. Korozyon direncini ve sünekliği artırır. Paslanmaz çeliklerde mekanik özellikleri iyileştirir [19].
<i>Azot</i>	Östenitik ve dubleks paslanmaz çeliklerde, ferrite karşın östenit oluşturunca bir element fonksiyonu sergiler ve sigma fazının oluşumunu yavaşlatarak korozyon direncini artırmaktır. Azotun östenit içerisindeki mukavemetlendirici etkisi özellikle kriyojenik sıcaklıklarda telaffuz edilmektedir [20].
<i>Bakır</i>	Korozyon dayanımını artırır. Gerilmeli korozyon çatlamasına karşı hassasiyeti azaltır ve yaşlanma yoluyla sertleşmeyi teşvik eder [18].
<i>Mangan</i>	Östenit yapıcıdır. Oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda östenit yapının kararlı olmasını sağlar. Lakin yüksek sıcaklıklara çıkıldığında ferrit ve manganer sülfat oluşturunca [19].
<i>Silisyum</i>	Ferrit yapıcıdır. Östenitik çeliklerde korozyon direncini artırır. Yüksek sıcaklıkta karbürizasyon direncini yükseltir [19].
<i>Niobyum</i>	Güçlü bir karbür ve orta düzeyde ferrit yapıcıdır [19].

2.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Ülkemiz endüstrisinde paslanmaz çeliklere olan ihtiyaç her geçen gün artarak devam etmektedir. Özellikle petrol, kimya, gıda endüstrisinde kullanılan depolama tankları, basınçlı tanklar, ısı eşanjörü ve paslanmaz boruların imalatında birçok türde paslanmaz çelik kullanılmaktadır [21].

Paslanmaz çeliklerde kimyasal yapı değiştirilerek farklı özelliklere sahip alaşımlar elde edilebilir. Krom oranı yükselttilerek veya nikel, molibden gibi alaşım elementleri eklenerek korozyon direnci artırılabilir. Paslanmaz çeliklerin içyapısını belirleyen en önemli elementler; krom, nikel, molibden ve mangandır. Krom ve nikel içyapının ferritik veya östenitik olmasını belirleyen elementlerdir. Paslanmaz çeliklerin yapılarında bulunan krom ve nikel oranına göre türleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir [15].



Şekil 2.1. Krom-Nikel oranına göre paslanmaz çelikler.

Paslanmaz çelikler, özellikleri ve bileşenleri bakımında beş gruba ayrılırlar.

1. Ferritik Paslanmaz Çelikler
2. Östenitik Paslanmaz Çelikler
3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler
4. Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler
5. Çökeltme Sertleştirmeli Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerin alaşım içeriği ve mekanik özelliği gibi nitelikleri Çizelge 2.2’de gösterilmiştir [22].

Çizelge 2.2. Paslanmaz çeliklerin özellikleri.

Tipi	Alaşım İçeriği %	Mikro yapı	Mekanik Özellikleri			Fiziksel Özellikleri
			Mukavemet (Mpa)		Uzama %	
			Çekme	Akma	500 mm’de	
Östenitik	15-27 Cr, 8-35 Ni, 0-6 Mo, Cu, N	Östenit	490 - 860	205 - 575	30-60	Isıl işlemle sertleştirilmez, manyetik değildir.
Ferritik	11-30 Cr, 0-4 Ni, 0-4 Mo,	Ferit	415 - 650	275 - 550	10-25	Isıl işlemle sertleştirilmez. Manyetiktir. Korozyon direnci yüksektir.
Martenzitik	11-18 Cr, 0-6 Ni, 0-2 Mo,	Martenzit	480 - 1000	275 - 860	14-30	Isıl işlem ile sertleştirilebilir Yüksek mukavemetli
Dubleks	18-27 Cr, 4-7 Ni, 2-4 Mo, Cu, N	Östenit ve Ferrit	680 - 900	410 - 900	10-48	Isıl işlem ile sertleştirilemez
Çökelme Sertleştirmeli	12-28 Cr, 4-24 Ni, 1-5 Mo, Al, Ti, Co, Cu	Östenit ve Martenzit	895 - 1100	276 - 1000	10-35	Isıl işlem ile sertleştirilebilir Yüksek mukavemet değerlerine sahiptir.

2.1.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler diğer paslanmaz çeliklere göre daha çok kullanılan çeliklerdir. Bu çelikler, soğuk işleme tabi tutuldukları zaman kısa sürede yüksek dayanım kazanırlar [23]. Paslanmaz çelik üretiminde bakıldığında dünyada %60 gibi büyük bir kısmını östenitik paslanmaz çelikler oluşturmaktadır.

Östenitik paslanmaz çelikleri genel olarak %16-25 Cr ve %7-20 Ni içeren demir-krom-nikel alaşımlarıdır. Bu alaşımlara östenitli denmesinin nedeni yapılarının normal ısı işlem sıcaklıklarında östenitli (YMK, γ demiri türü) olmasıdır. Östenitik paslanmaz çelikler,

oda sıcaklığı ile ergime sıcaklığı arasındaki sıcaklıklarda tek fazlı yüzey merkezli kübik (YMK) kristal tel kafes sistemine sahiptir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin başlıca özellikleri;

- Manyetiklenme özellikleri yoktur.
- Nispeten düşük akma dayanımı,
- Yüksek süneklik ve mükemmel darbe tokluğu gibi özellikleri vardır [24].

Östenitik paslanmaz çelikler, yüksek korozyon ve oksidasyon direnci özellikleri nedeniyle birçok uygulama alanlarına sahiptir. Bununla birlikte, bu malzemelerin zorlanma ve gerilme oranlarına karşı yüksek mekanik ve mikro yapısal duyarlılık gibi özellikler nedeniyle işlenmesi zor olarak kabul edilir [25]. Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin artırılması için bazen selenyum ilave edilir. Bu katkı maddeleri korozyon direncini zayıflatır. YMK östenitik paslanmaz çeliklerin süneklik, şekillendirilebilirlik ve korozyon dirençleri çok iyidir [26].

Östenitik paslanmaz çeliklerin kullanım alanları Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Östenitik paslanmaz çelikler ve kullanım alanları.

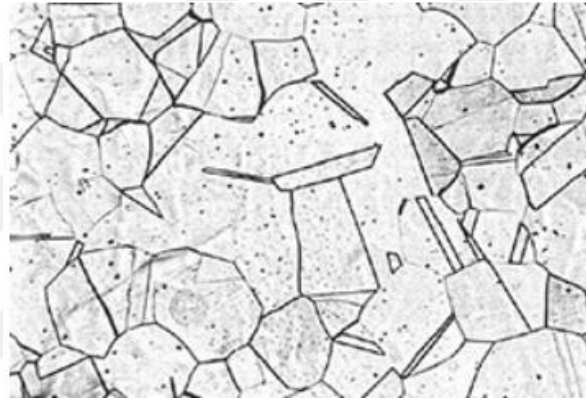
Malzeme No EN/DIN	Kullanım Alanları
1.4372	Mutfak ekipmanları, endüstriyel mutfak ve pişirici ekipmanları
1.4301	Gıda sektöründe aparat ve cihazlarda kullanılır. Kaynak edilebilir, parlatılabilir ve derin çekilebilir.
1.4303	Kimya endüstrisinde ve cıvata imalatında kullanılır.
1.4305	Gıda ve süt endüstrisinde, torna parçaları yağ, sabun, boyama, kâğıt ve tekstil endüstrisinde
1.4306	Gıda, yağ, sabun ve suni iplik endüstrisinde organik ve meyve asidine maruz parça ve araçlar
1.4311	Kimyasal aparat yapımında basınçlı kap, süt ürünleri endüstrisinde
1.4841	Fırın yapımında, buhar kazanlarında, petrol tesis ve boru hatlarında
1.4845	
1.4841	
1.4401	Kimya ve selüloz endüstrisinde parça ve aparatlar, yağ yakıt boyama, sabun ve tekstil endüstrisi, süt endüstrisinde
1.4404	
1.4406	Yüksek kimyasal dayanımlı basınçlı kap ve aparat
1.4438	Selüloz ve kimya endüstrisinde aparat yapımı ve kimyasal taşıma kabı
1.4541	Gıda, film ve fotoğraf endüstrisi, ev aletleri ve aparatlar
1.4550	
1.4571	Kimya endüstrisinde parçalar, tekstil, selüloz, boyama, fotoğraf, vb.

Çizelge 2.4’de görüldüğü gibi östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri hakkında genel bilgi verilmiştir.

Çizelge 2.4. Östenitik paslanmaz çelik grubunun mekanik özellikleri.

Elastisite Modülü (GPa)	195
Yoğunluk (g/cm³)	8
Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C)	16,6
Isıl İletkenlik (W/m⁻¹K⁻¹)	15,7
Özgül Sıcaklık (J/k°K)	50
Elektriksel Direnç (µΩcm)	74
Manyetik Geçirgenlik	1,02
Ergime Aralığı (°C)	1375-1450

Östenitik paslanmaz çeliklerin mikro yapısı Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı [27].

2.1.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler %16-30 Cr ve %0,25-0,5 C içerirler. Bu özellikteki paslanmaz çeliklerin en önemli özellikleri katı halde bir faz dönüşmesi olmadığından su verme işlemi ile sertleştirilemeyen Fe-Cr alaşımlarıdır. Ayrıca yüksek sıcaklıkta korozyon ve oksidasyon dirençleri de yüksektir [28], [29]. Karbon ve azot miktarının olabildiğince az tutulması, süneklik, korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik özelliklerini artırır [30]. Ferritik paslanmaz çeliklerin başlıca özellikleri;

- Krom miktarının artması ile korozyon direnci daha da artar.
- Isıl işlem uygulanması dayanıma etki etmez, sadece tavlanmış durumda kullanılır.
- Manyetiklenme özellikleri vardır.
- Kaynak kabiliyetleri düşüktür.
- Bu çelikler Hacim Merkezli Kübik (HMK) kristal yapılıdır.

- Kayma düzlemleri sayısı daha az olduğu için östenitik çelikler kadar kolay şekillendirilemez [31].

Ferritik paslanmaz çeliklerin kullanım alanları Çizelge 2.5’te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Ferritik paslanmaz çelikler ve kullanım alanları.

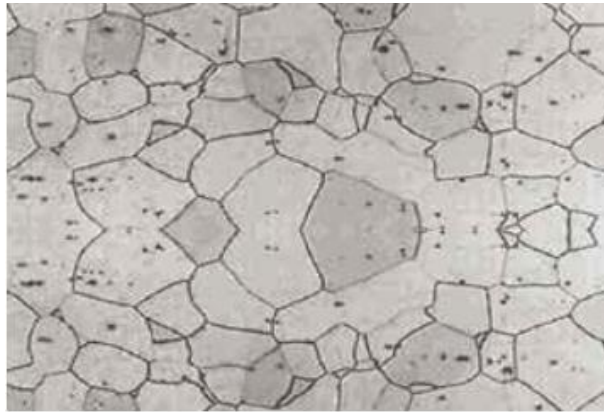
Malzeme No EN/DIN	Kullanım Alanları
1.4509	Otomotiv, endüstri ve motosiklet sektörlerinde kullanılır.
1.4512	Otomotiv, motosiklet, ulaştırma ve inşaat sektörlerinde kullanılır.
1.4016	Otomotiv, inşaat, gıda, ev ve endüstriyel sektörlerinde kullanılır.
1.4113	Otomotiv sektöründe kullanılır.
1.4510	Otomotiv, endüstriyel ve inşaat sektörlerinde kullanılır.
1.4021	Otomotiv ve motosiklet sektörlerinde kullanılır.
1.4521	İnşaat ve endüstriyel sektörlerinde kullanılır.
1.4526	İnşaat sektöründe kullanılır.
1.4006	İnşaat, endüstriyel ve ulaştırma sektörlerinde kullanılır.

Çizelge 2.6’de görüldüğü gibi ferritik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri hakkında genel bilgi verilmiştir.

Çizelge 2.6. Ferritik paslanmaz çelik grubunun mekanik özellikleri.

Elastisite Modülü (GPa)	200
Yoğunluk (g/cm ³)	7,8
Isıl Genleşme Katsayısı (μm/m°C)	10,4
Isıl İletkenlik (W/m ⁻¹ K ⁻¹)	25,1
Özgül Sıcaklık (J/k°K)	460
Elektriksel Direnç (μΩcm)	61
Manyetik Geçirgenlik	600-1100
Ergime Aralığı (°C)	1425-1530

Ferritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı Şekil 2.3’te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Ferritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı [32].

2.1.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler alaşımlarında %12-18 Cr ve %1,2'ye kadar C oranına sahiptirler. Martenzitik paslanmaz çelikler, paslanmaz çeliklerin gösterdiği korozyon direncine ek olarak iyi aşınma direncinin önemli bir performans göstergesi olduğu uygulamalarda tercih edilen malzemelerdir. Temperlenmiş, düşük karbonlu alaşıma sahip martenzitik paslanmaz çelikler en kolay işlenebilme özelliğine sahiptir [33], [34].

Diğer paslanmaz çeliklerin aksine, martenzitik paslanmaz çelikler ısıtılma işlemle özellikleri değiştirilebilir. Malzeme metalürjik olarak karmaşık olduğundan, ferrit ve östenit oluşturmada tamamen martenzitik bir yapının oluşturulması için ısıtılma işleminin titizlikle kontrolü gereklidir [35]. Isıtılma işlem uygulamasında değişkenlere olan hassasiyet çok yüksek olması nedeniyle, yapılan hatalarda hurda yüzdesi oldukça yükseltir. Bu çelikler çok pahalı olduklarından üstün korozyon direnci mutlak şart olmadığı takdirde kullanılmazlar [36].

Çizelge 2.7. Martenzitik paslanmaz çelikler ve kullanım alanları.

Malzeme No EN/DIN	Kullanım Alanları
1.4000	Su buhar için konstrüksiyon parçaları, beyaz eşya ve iç mimari sektörlerinde kullanılır.
1.4006	Kesici olmayan cerrahi aletler, gıda endüstrisinde, ölçme elemanlarında, kâğıt endüstrisinde, mekanik yapı endüstrisi sektörlerinde kullanılır.
1.4021	Mutfak bıçakları, mekanik bıçaklar, dayanıklı parçalar, cerrahi aletler, ölçme aletleri, rulmanlar gibi parçalarda kullanılır.
1.4024	Mil, pim, vana mili gibi parçalarda kullanılır.
1.4031	Kesici takımlar için sertleştirilebilir çelik, geniş bıçak, makine bıçağı, jilet, makas, ölçme takımları, rulman yatakları vb.
1.4057	Gıda endüstrisinde, vana parçalarında, kızgın buhar ya da deniz suyuna temas halindeki valf kapakları gibi yerlerde kullanılır.
1.4116	Her türlü değerli kesici parçalarında kullanılır.
1.4109	Avcı bıçaklarında, cerrahi aletlerde, yıpranmaya dayanıklı mekanik parçalarda kullanılır.
1.4112	
1.4125	

Çizelge 2.8'de görüldüğü gibi martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri hakkında genel bilgi verilmiştir.

Çizelge 2.8. Martenzitik paslanmaz çelik grubunun mekanik özellikleri.

Elastisite Modülü (GPa)	200
Yoğunluk (g/cm³)	7,8
Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C)	10,3
Isıl İletkenlik (W/m⁻¹K⁻¹)	24,2
Özgül Sıcaklık (J/k°K)	460
Elektriksel Direnç (µΩcm)	61
Manyetik Geçirgenlik	700-1000
Ergime Aralığı (°C)	1425-1530

Martenzitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı [37].

2.1.4. Çökelme Sertleştirmeli Paslanmaz Çelikler

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin esas içyapıları östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilir. Bu çeliklerde çok düşük miktarda karbon içerdiğinden martenzitik türlerinde de temel sertleşme olayı ancak çökelme ile gerçekleşir [38]. Çökelme sertleştirmeli paslanmaz çelikler Cu, Mo, Ti ve Al gibi alaşım elementleri bulunur, içeriğindeki bu elementlerin bir veya birkaçının etkisi çökelme sertleşmesi gösteren Fe-Cr-Ni'li paslanmaz çelik ailesinin bir grubudur [22].

Çökelme sertleştirmeli paslanmaz çelikler ilk olarak 1940'larda geliştirildi ve o zamandan günümüze kadar özel özelliklerinden yararlanılabilecek çeşitli uygulamalarda giderek daha önemli hale geldi. Bu özelliklerin en önemlisi imalat kolaylığı, yüksek mukavemet, iyi süneklik ve mükemmel korozyon direncidir [39].

Çökelme sertleşmesi işlemi uygulanabilen paslanmaz çelikler 1700 Mpa kadar çıkan akma dayanım değerine sahiptirler. Soğuk şekil değiştirme ve yaşlandırma ile bu değer daha da yükselir. Çökelme sertleştirmeli paslanmaz çeliklerin en yaygın olarak kullanıldıkları alanlar; uçak, uzay ve yüksek teknoloji alanlarıdır [40].

Çizelge 2.9. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler ve kullanım alanları.

Malzeme No EN/DIN	Kullanım Alanları
1.4545	Havacılık sanayisinde, dişli parçalarında ve basınç altında çalışan parçalarda kullanılır.
1.4534	Uçak iniş takımlarında, valf ve şaft mil parçalarında, petrokimyasal sıvı halinde olan parçalarda kullanılır.
1.4542	Pompa, vana şaftları, mutfak aletlerinde, petro kimya endüstrisinde ve kimyasal tesislerde kullanılır.

Çizelge 2.10'da görüldüğü gibi çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri hakkında genel bilgi verilmiştir.

Çizelge 2.10. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelik grubunun mekanik özellikleri.

Elastisite Modülü (GPa)	200
Yoğunluk (g/cm ³)	7,8
Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C)	10,8
Isıl İletkenlik (W/m ⁻¹ K ⁻¹)	22,3
Özgül Sıcaklık (J/k°C)	460
Elektriksel Direnç (µΩcm)	80
Manyetik Geçirgenlik	95
Ergime Aralığı (°C)	1400-1440

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliğin mikro yapısı Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliğin mikro yapısı [41].

2.1.5. Dupleks (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler

Dupleks (çift fazlı) paslanmaz çelikler; Fe, Cr, Ni alaşım elementlerinden oluşan iki fazlı alaşımlardır. Genellikle %20-30 Cr ve %5-10 Ni içerirler. Mikro yapılarının yarısı ferrit ve diğer yarısı östenit fazı olduğu kabul edilir [38]. Bu nedendendir ki ferritik-östenitik veya östenitik-ferritik paslanmaz çelikler olarak adlandırılırlar. Ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin en iyi ortak özelliklerini yapılarında bulundurlar. Ferritik yapıyla mukavemet ve gerilmenin korozyon çatlamasına direnç, östenitik yapı ile tokluk ve genel

korozyon direnci sağlanır. Böylece iki fazlı, ince taneli, yüksek mukavemetli ve iyi korozyon direncine sahip bir paslanmaz çelik meydana gelir [40].

Dubleks (çift fazlı) paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çelik ile benzer alaşım elementlerine sahip, ancak yüksek tavlama kuvvetleri nedeniyle işlenmesi daha zordur [42]. Üstün mekanik özellikleri ve korozyon dayanımı sağladıklarında dolayı birçok sektör alanında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [2].

Dubleks paslanmaz çelikler hem aşınmaya karşı hem de ferritik paslanmaz çeliklerin en iyi özelliklerini bir araya getirirler. Bu nedenle, yüksek mekanik dayanım ve yüksek korozyon direncinin bir kombinasyonu gerektiğinde ve gittikçe artan şekilde geleneksel paslanmaz çeliklere çekici bir alternatif olarak görülmektedir. Bununla birlikte, yüksek gerilmeli ve akma dayanımları yüksek iş sertleştirme oranı, düşük ısı iletkenliği, yüksek kırılma tokluğu, birikme kenar oluşturma (BUE) ve nispeten yüksek östenit ve azot muhtevası, modern dubleks paslanmaz çeliklerin kötü işlenebilir malzemeler olarak kabul edilir [43].

Çizelge 2.11. Dupleks paslanmaz çelikler ve kullanım alanları [44].

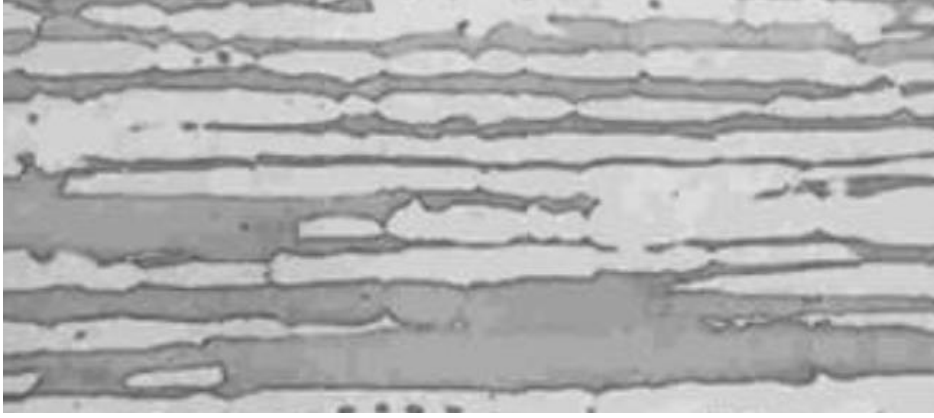
Malzeme No EN/DIN	Kullanım Alanları
1.4462	Pompa millerinde, tekne şaftlarında, pervane yapımında, özel hidroelektrik santrallerinde, gıda sektöründe, kimya sektöründe ve makine üretiminde kullanılmaktadır.
1.4410	Petrol platformları, kimyasal üretim tesisleri, ısı değiştiricileri, yüksek korozyon ve aşınma olan yerlerde, elektrik üretim tesislerinde, çok yüksek korozyon direnci istenen cıvatalarda oldukça sık kullanılmaktadır.
1.4507	1.4462 paslanmaz çeliğin yetmediği ve daha iyi korozyon direnci istenen petrol rafinerileri gibi veya benzer endüstrilerdeki millerde bu kalite paslanmaz çelik tercih edilmektedir.

Çizelge 2.12’da görüldüğü gibi çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri hakkında genel bilgi verilmiştir.

Çizelge 2.12. Dupleks paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri [45], [46].

Elastisite Modülü (GPa)	200
Yoğunluk (g/cm ³)	7,80
Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C)	13,7
Isıl İletkenlik (W/m ⁻¹ K ⁻¹)	19
Elektriksel Direnç (µΩcm)	85
Ergime Aralığı (°C)	1385-1444

Dubleks (çift fazlı) paslanmaz çeliğin mikro yapısı Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çeliğin mikro yapısı [41].

Dubleks (çift fazlı) paslanmaz çelikler, içerdikleri alaşım elementlerinin oranına göre dört ana gruba ayrılır;

2.1.5.1. Düşük Alaşımlı Dupleks Paslanmaz Çelik

Ortalama olarak %23 Cr, %4 Ni ve %0,1 N içeren dupleks paslanmaz çeliktir. Diğer dupleks paslanmaz çeliklere göre daha ucuzdur. AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin düşük gerilmeli korozyon dayanımları nedeniyle bu paslanmaz çeliklere alternatif olarak geliştirilmiştir.

2.1.5.2. Orta Alaşımlı Dupleks Paslanmaz Çelik

Ortalama olarak %22 Cr, %5 Ni, %3 Mo ve %0,17 N içeren dupleks paslanmaz çeliktir. Korozyon dayanım değeri östenitik paslanmaz çelik AISI 316 ile %6 Mo ve N içeren süper dupleks paslanmaz çeliklerinin korozyon dayanım dirençlerinin arasındadır. En yaygın olarak tercih edilen dupleks paslanmaz çelik grubudur.

2.1.5.3. Yüksek Alaşımlı Dupleks Paslanmaz Çelik

Ortalama olarak %25 Cr içeren dupleks paslanmaz çeliktir. Ayrıca Cr yanında Mo, N, Cu ve W alaşım elementleri de mevcuttur.

2.1.5.4. Süper Dupleks Paslanmaz Çelik

Ortalama olarak %25 Cr, %7 Ni, %3,7 Mo ve %0,27 N içeren dupleks paslanmaz çeliktir. Yüksek alaşımlı dupleks paslanmaz çelikler ile aynı oranda Cr içerirler. İçerdiği Mo ve N alaşım elementi ise daha yüksektir [47]. Süper dupleks paslanmaz çelik ikinci nesil paslanmaz çelik olarak adlandırılmaktadır. Bu yeni çelik kalitesi, malzemenin daha hafif

olmasına, daha fazla mekanik dayanıma ve daha uzun kullanım ve korozyon dayanımı nedeniyle tercih edilmektedir.

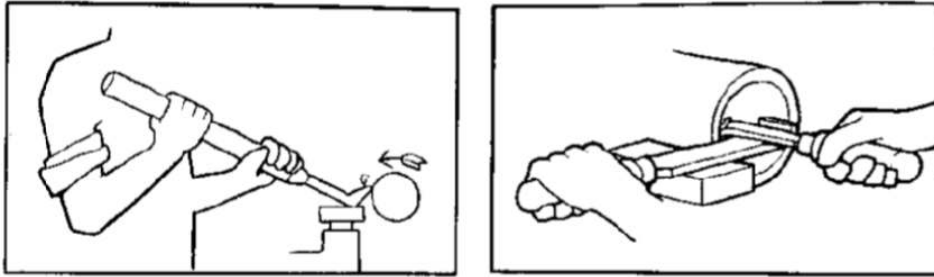
Süper dubleks paslanmaz çelikler, dubleks paslanmaz çeliklere kıyasla daha yüksek mekanik dayanıma ve üstün korozyon direncine sahiptir. Süper dubleks paslanmaz çeliklerin kullanımıyla ilişkili diğer avantajı ise maliyettir. Çünkü süper dubleks paslanmaz çelik, Ni alaşımlarına ve hatta diğer paslanmaz çeliklere göre daha ekonomik bir alternatif olarak görülmektedir.

Dubleks paslanmaz çelik ve süper dubleks paslanmaz çelik arasındaki temel fark, esas olarak bu alaşımların Cr, Ni, Mo ve N içeriğinde oluşur. Bu elementlerin bazıları esasen halojen iyonları içeren (periyodik tablonun 7A ailesine ait elemanlar) aralarında klorür iyonu içeren sulu çözeltilerden kaynaklanan, kimyasal bir saldırı şekli olan çukurlanma korozyon direncine doğrudan müdahale eder [48].



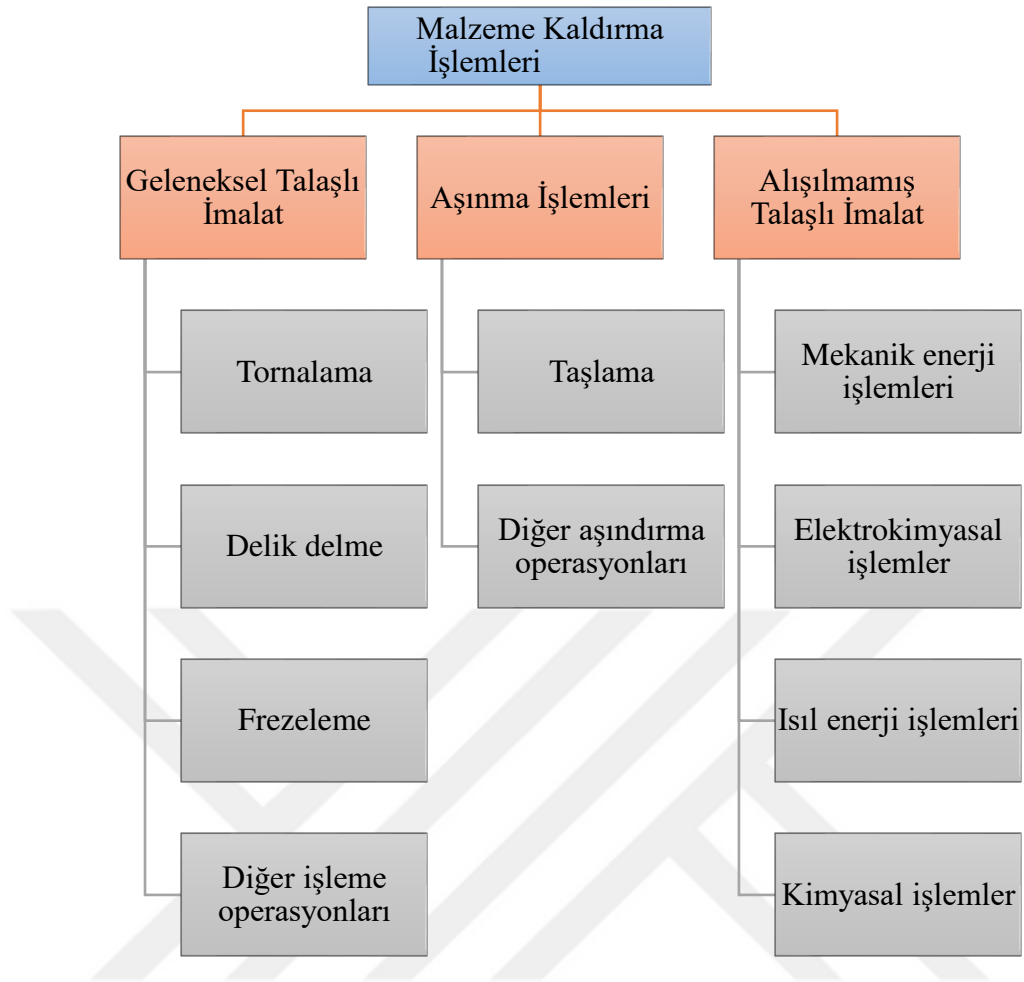
3. TALAŞLI İMALAT VE TORNALAMA

Endüstrideki talaşlı imalat devrimi 18. ve 19. yüzyıllarda gelişmeye başlamış ve 20. yy' da büyük bir hızla gelişimini sürdürmüştür. Talaşlı imalatın ilk yıllarında en çok bilinen iş malzemesi ağaç olup, metallerin işlenmesi ve işleme için kullanılan tezgâh ve aletler son derece sınırlıdır. 19. yy'a kadar metal malzemeleri işlenmesi sadece demir ustaları ile kol gücüne dayalı olarak yapılmıştır (Şekil 3.1). İlerleyen zamanlarda buhar makinesinin bulunması ve daha sonraki zamanda elektrik enerjisiyle desteklenen gücün kullanılmasıyla, kol gücünün yerini buhar ve elektrik gücü kullanılmaya başlanılmıştır. Keşfedilen bu yeni güçlerin alternatifleri sayesinde takım tezgâhları icat edilmiş ve önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Torna, planya ve freze ilk takım tezgâhlarıdır. 19. yy. başlarında talaş kaldırma işlemleri aşırı yavaş işlemlerdir. Bu yüzyılda planyalama en fazla uygulanan yüzey işleme işlemlerinin başında gelmektedir. Katere bağlanmış torna kalemi ile iş parçasının genişliğince parça yüzeyinde doğrusal hareketler yapması ile gerçekleştirilen bu işlem alın frezeleme işleminin atasıdır [49].



Şekil 3.1. Elde tutulan takımla tornalama ve delik delme işlemleri [50].

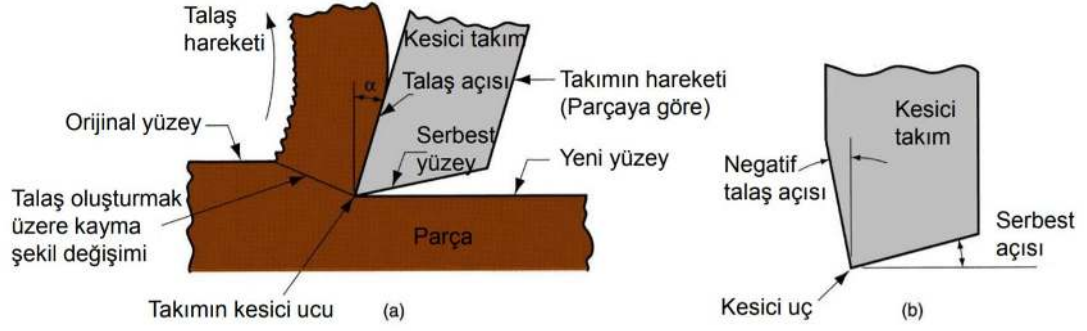
Talaşlı imalat; tasarlanmış bir iş parçasının standartlara uygun olarak projelendirilmiş teknik resmi referans alınarak, parça üzerinden farklı şekil ve büyüklüklerde talaş kaldırılarak istenilen geometrik şekli verme işlemidir. Bu şekil verme işlemi uygun takım ve tezgâhlar aracılığıyla yapılmalıdır. Talaşlı imalat, kullanılan takımların ve iş parçasının birbirine göre izafi hareketi sağlanarak, oluşturulan gerilim yoluyla malzemenin üzerinden talaş kaldırmak suretiyle yapılmaktadır [51]. Talaşlı imalat yöntemleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bu yöntemlerin en önemlisi geleneksel talaş kaldırmadır, malzemenin mekanik kesilmesinde keskin kesme takımı kullanılarak hedeflenen geometri elde edilir [52].



Şekil 3.2. Malzeme kaldırma işlemi sınıflandırılması [52].

Metallerin talaş kaldırılarak işlenmesi temel bir imalat metodu olarak makine imalat endüstrisinde en çok kullanılan metal biçimlendirme işlemidir. Bir makine parçasının imalatının başlangıcı döküm olduğu gibi sonu da genellikle talaşlı işlemdir. İmal edilen her bir tezgâhın, makinenin, takımın ve diğer cihazların hemen hepsinin son işlemi talaşlı imalatla yapılır. Bu nedenle, metal işleme tezgâhlarına ve takımlarına dünya çapında yapılan yatırımlar her geçen yıl artmaktadır [53].

Talaşlı imalatla kesme takımları kullanılarak iş parçasından malzemeyi çıkartarak hedeflenen parça şeklini elde etmektedir. Talaşlı imalatla, hâkim olan kesme eylemi, iş parçasının kayma deformasyonu ile talaş oluşturma ve talaş çıkarılıp atıldıkça yeni yüzeylerin açığa çıkmasıdır. Talaş kaldırma metallere şekil vermede sık sık uygulanır. Bu işlem Şekil 3.3’deki diyagramla gösterilmiştir.



Şekil 3.3. a) Kesme işleminin kesit görünümü, b) Negatif talaş açısı [52].

Talaş kaldırma en önemli imalat işlemlerinden biridir. Çeşitli talaş kaldırma işlemlerin gelişmesini sanayi devrimi ve üretim tabanlı ekonomilerin gelişmesi sağlamıştır. Talaşlı imalat çeşitli sebeplerden dolayı ekonomik ve teknolojik olarak yararları aşağıdaki gibidir;

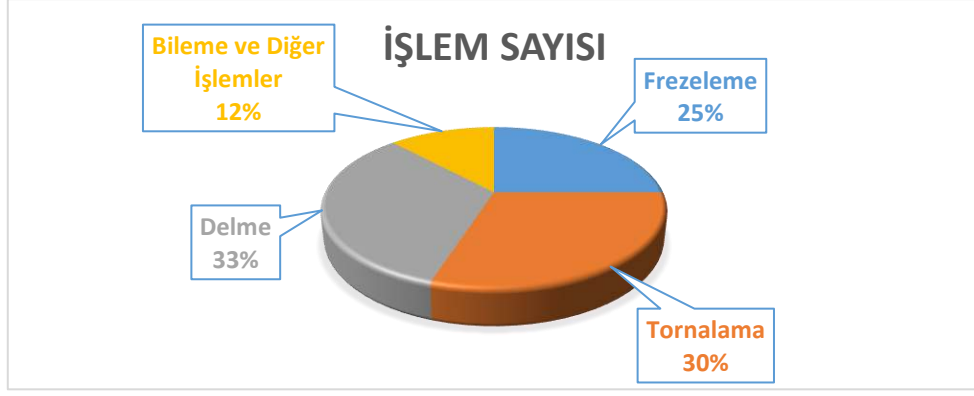
- İş parça türlerinin çeşitliliği
- Parçaların şekil ve geometrik özelliklerdeki çeşitliliği
- Boyutsal doğruluk
- Yüzey kalitesi

Diğer yandan, talaşlı imalat ve diğer talaş kaldırma işlemlerinin olumsuz yönleri ise aşağıdaki gibidir;

- Malzeme israfı
- Zaman tüketimi

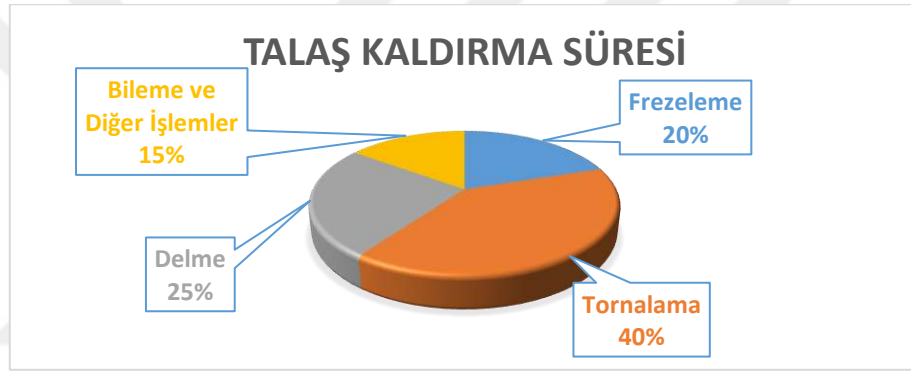
Talaşlı imalat tek bir işlem değil bir grup işlemlerden oluşur. Ortak özelliği kesici takım ile iş parçasından talaş kaldırmasıdır. Talaş kaldırma işleminin gerçekleşmesi için takım ile iş parçası arasında bağıl harekete ihtiyaç duyulur. Birçok talaş kaldırma operasyonunda kesme hızı olarak adlandırılan birincil hareket ve ilerleme hızı olarak adlandırılan ikincil hareket ile gerçekleştirilir. Kesici takımın şekli ve iş parçasının yüzeyinden içeri girmesi (kesme derinliği) bağıl hareket ile birleşerek bitmiş bir iş parçasının istenilen geometrisini üretirler [52].

Talaşlı imalat sektöründe, sıfır hata ile üretim yapmak ve zamanı tasarruflu kullanabilmek adına çeşitli işlemler yapılır. Bu işlemlerden biri de tornalama işlemidir. En önemli talaş kaldırma işlemlerinden biri olan ve Şekil 3.4’de de görüldüğü gibi talaşlı imalat işlemlerinin yaklaşık olarak %30’unu tornalama işlemi oluşturmaktadır [54].



Şekil 3.4. İşlem sayısına göre talaşlı imalat işlemlerinin karşılaştırılması [54].

Şekil 3.5’te de görüldüğü gibi kesici takımlar ile harcanan zamanın %40’ı tornalama işleminde tezgâh başında gerçekleşmektedir.



Şekil 3.5. Talaş kaldırma süresine göre talaşlı imalat işlemlerinin karşılaştırılması [54].

3.1. TALAŞLI İMALAT

3.1.1. İşlenebilirlik

Talaşlı imalatta çözülmeye çalışılan başlıca problemlerden birisi de işlenebilirliktir. İmalatçıların her biri üretmek istediği ürünü hızlı, ucuz ve kaliteli üretebilmek için arayış içerisindeylerdir. İşlenebilirliğin kesin bir tanımı olmamakla, literatürde birçok tanım yapılmıştır. Tanımları özetlersek; malzemenin üzerinden talaş kaldırılmasına olan yatkınlıktır. Bir işlenebilirlik işleminde optimize edilecek parametreler;

- Takım ömrü,
- Kesme hızı,
- Kesme kuvveti,
- Yüzey kalitesi,
- Kesici takım geometrisi,

- Operasyon metodu,
- Talaş biçimidir [55]-[56].

Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen özellikleri kimyasal kompozisyonları, mikroyapı özellikleri, sertlik, akma ve çekme dayanımları, ısııl özellik, taneler arası bağ özellikleri ve elastiklik modülüdür. Örneğin; çeliğin içerdiği karbon miktarı arttıkça sertlik artacağından dolayı aşınma direnci artar ve işlenebilirlik zorlaşır. Malzemelerin düşük sertlik ve dayanım özellikleri genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle beraber sertliği az olan çok sünek malzemelerde kesici takımda yığıntı talaş oluşumu meydana gelir. Bu durumda malzemenin yüzey kalitesi düşer, takım ömrü azalır ve işlenebilirlik azalır. Malzemelerin yüksek ısııl iletkenlik değerlerine sahip olması, işleme esnasında oluşan ısının kolayca uzaklaştırılmasını sağlayacağı için malzemenin işlenebilirliğine olumlu etki sağlar.

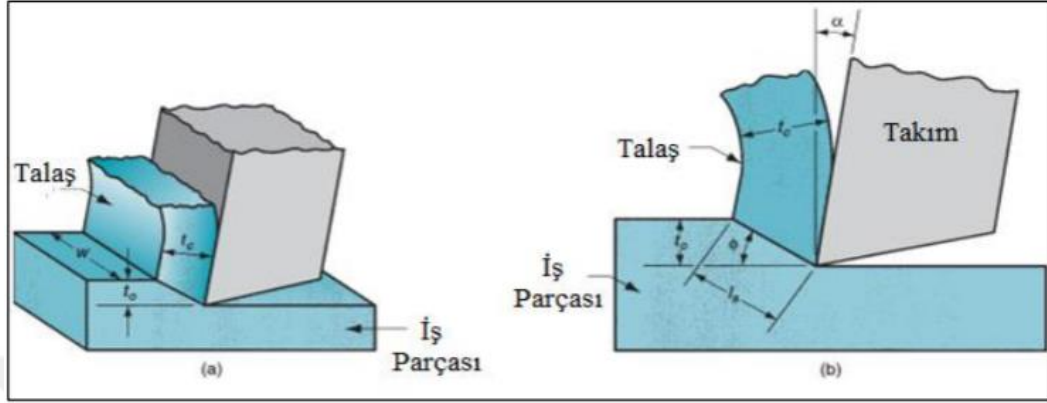
Modern imalat işlemlerinde, kesici takım değiştirme zamanını, maliyetini asgari düzeye indirmeyi ve seri üretim alanlarında kesici takımı çok amaçlı kullanmak gerektirmektedir. Deneysel testlerin çoğunluğu bu hedeflere ulaşmak için yapılmakta ve işlenebilirlik deneyleri ile kolay anlaşılmasına çalışılmaktadır. Yapılan bu deneysel testlerin; iş parçası malzemelerini, kesici takımları ve onların karakteristiklerini kapsamaktadır. Şekil 3.6'da işlenebilirliğe etki eden faktörler gösterilmiştir [55].



Şekil 3.6. Talaşlı imalatla işlenebilirliğe etki eden faktörler [55].

3.1.2. Talaşlı İmalatta Talaş Oluşumunun Teorisi

Talaşlı imalatın basitleştirilmiş modeli olan ortogonal kesme modeli, geometrik karmaşıkları ihmal eder ancak işlemin mekanik işlemlerini oldukça iyi tanımlayabilir. Ortogonal kesme modeli Şekil 3.7’de görülmektedir [52].



Şekil 3.7. Ortogonal kesme: a) 3 boyutlu kesme işleme Solarak ve b) İki boyuta indirgenmiş hali [52].

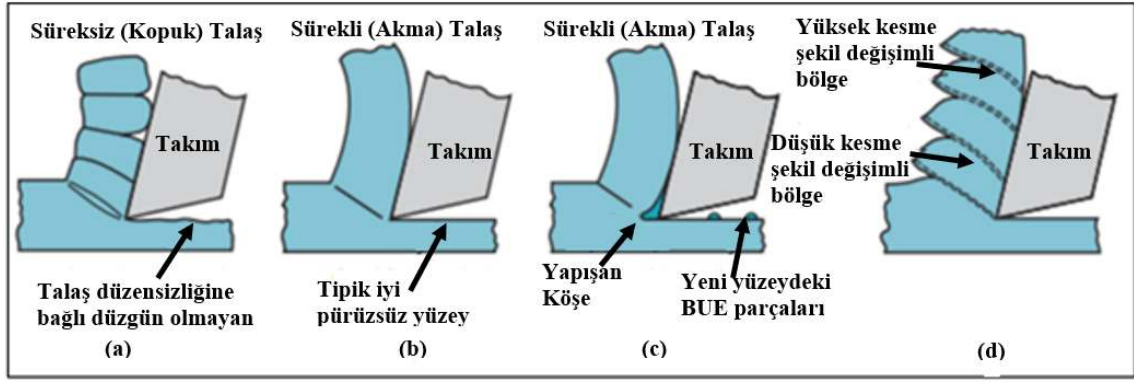
Ortogonal kesmede kullanılan kama biçimli takımın kesici kenarı kesme hızının yönüne göre diktir. Kesici takım malzemeye kuvvet uyguladığı için kesme düzlemi adı verilen ve iş parçası yüzeyi ile ϕ açısı yapan düzlem boyunca kesme deformasyonu ile talaş şekillenir. Malzeme şekillendirilirken ana malzemedan talaş kaldırma sonucunda sadece takımın kesici kenarında bozulma meydana gelir. Kesme düzlemi boyunca mekanik enerji harcanarak malzeme plastik şekil değişikliğine uğrar.

Talaş oluşumu ilk kıvrımla başlar ve kesme verileri (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği), talaş açısı, malzeme tipi, kesici takım uç radyüsünün büyüklüğü gibi faktörler etkiler [57].

3.1.3. Talaş Biçimleri

Talaşlı imalatı ham malzeme işleme yapılırken elde edilen talaşın tipi genellikle; işlenen malzemenin cinsi, kesme hızı, ilerleme/kesme derinliği, talaş açısı, gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu faktörlerin sonucu olarak dört tip talaş oluşumu meydana gelir. Bu talaş tipleri ise;

- Süreksiz (kopuk) talaş,
- Sürekli (akma) talaş,
- Yığma talaş,
- Tırtıklı talaştır.



Şekil 3.8. Talaş oluşumunun dört tipi: a) Süreksiz talaş, b) Sürekli talaş, c) Yapışan köşe talaşı, d) Tırtıklı talaş [52].

3.1.3.1. Süreksiz Talaş

Farklı gerilme değerlerine sahip ve gevrek malzemelerden talaş kaldırması esnasında talaş sadece kısmen biçimlendirilebileceğinden ilk deformasyon bölgesinde kırılma olacaktır ve bu alanda talaş parçalara ayrılacaktır. Dökme demir, pirinç, çinko gibi gevrek malzemelerin işleminde ortaya çıkar. Ayrıca dövülebilir malzemelerin düşük kesme hızlarında yüksek ilerlemelerle işlenmesi sırasında da görülür [58].

3.1.3.2. Sürekli Talaş

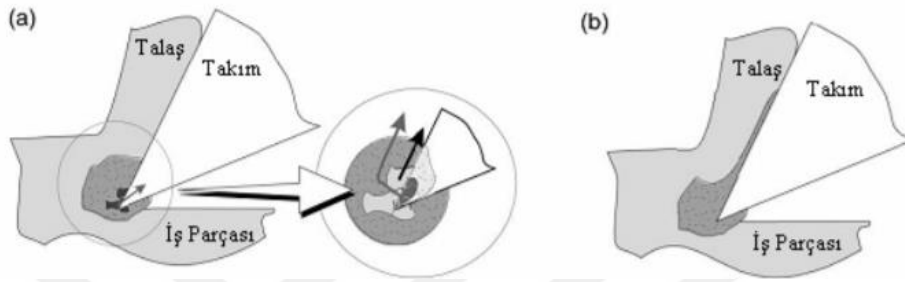
İş parçasından sürekli ve akıcı olarak ayrılan talaş tipidir. Genellikle sünek malzemelerin uygun kesme parametrelerinde elde edilir. Bu şartlar altında kesmenin oluşturduğu etki sabit kaldığı söylenebilir. Pürüzsüz düz bir yüzey oluşumuna sürekli talaş neden olur. Sürekli talaşın oluşumunu keskin kesici kenar ve takım-talaş arasında düşük sürtünme artırır. İşleme esnasında harcanan güç, takım ömrü ve yüzey kalitesi yönünden tercih edilen talaş tipidir. Ancak, iş güvenliğinde otomatik çalışmada kontrol problemleri ve çıkan talaşın işlenen yüzeyi çizmesi açısından olumsuz etkileri söz konusudur. Bu problemleri ortadan kaldırmak için kesici takımlarda talaş kırıcılar kullanılır [58], [52].

3.1.3.3. Yığma Talaş

Sünek ve yumuşak olan malzemelerin düşük veya orta kesme hızlarında işlenmesi sırasında ya da takım kesici kenarının aşınma sürecine girdiği durumlarda oluşur. Çıkan talaş, takımın talaş yüzeyine tam anlamıyla yığılır. Her seferinde akma bölgesi, bir önce şekillenen katmanın en üstü boyunca akmaya çalışır ve bu yolla “kenarda birikme- Built Up Edge (BUE)’ oluşur. Bu yapı; takımın talaş açısını değiştirmekle beraber muhtemelen kararsız bir yapı oluşmasına neden olur. İşleme sırasında yeni bir katmanın oluşmaya

başladığı belli bir noktada yığılma kırılır. Yığılma talaş oluştuğunda, takımı körelterek ömrünü azaltır ve bu da malzemenin yüzeyin de istenilen pürüzlülüğü sağlayamadığından dolayı talaşlı imalatı istenmeyen talaş türüdür [52], [58].

İş parçası malzemesi iki farklı biçimde kesici takım yüzeyine yapışır (Şekil 3.9). Yığıntı talaş (BUE); iş parçası malzemesinin kesici takımın kesme kenarına yapışması ile oluşan talaştır (Şekil 3.9. a), diğeri ise yığıntı kenar; kesici takım talaş yüzeyinde geniş alana yayılarak ince katman oluşturmaktadır (Şekil 3.9. b) [59].



Şekil 3.9. a) Yığıntı talaş ve yapışma aşınması, b) Yığıntı kenar ve yığıntı talaşlı takım görüntüsü [59].

3.1.3.4. Tırtıklı Talaş

Tırtıklı talaşın tanımını; yarı-sürekli talaş olarak yapılabilir. İş parçasının yüksek ve düşük kesme şekil değişimine çevrimsel olarak etkilenmesi durumunda ortaya çıkar. Kesilmesi zor olan malzemeleri yüksek kesme hızlarında işlenen malzemeler de görülür. Bu malzemelere örnek olarak; titanyum alaşımları, nikel esaslı süper alaşımlar ve üstelik paslanmaz çelik gibi malzemelerdir. Yüksek kesme hızlarında işlenen diğer malzemelerde de (çelik gibi) tırtıklı talaş elde edilebilir [52].

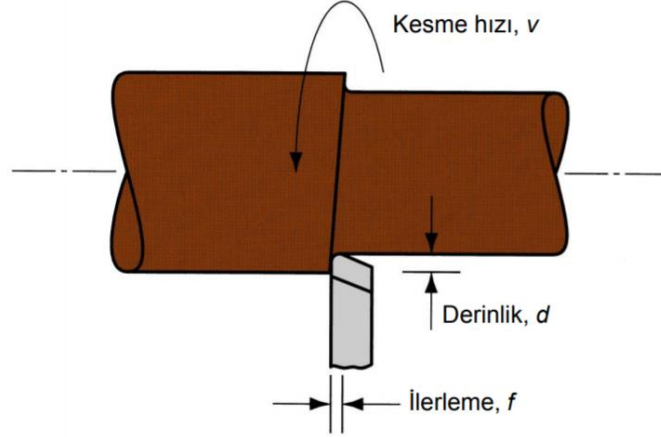
3.1.4. Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Faktörleri

3.1.4.1. Kesme Hızı

Kesici takımın ucunun, bir dakikada metre cinsinden iş parçası çevresinde aldığı yoldur (Şekil 3.10). Diğer bir ifade ile kesici takımın iş parçasının üzerinden bir dakikada kaldırdığı talaşın doğrusal uzunluğu olarak tanımlanabilir [60]. Kesme hız formülü Denklem (3.1)'de gösterilmiştir.

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \text{ m/dk} \quad (3.1)$$

V: Kesme Hızı (m/dk)
D: Malzeme çapı (mm)
N: Devir sayısı (dev/dk)



Şekil 3.10. Tornalama işleminde kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği [52].

Kesme hızını etkileyen faktörler;

- Kesici takım cinsi,
- İşlenecek malzeme cinsi,
- Kesici takımın ve malzemenin bağlanma şekli,
- Tezgâh gücü,
- Kaldırılacak talaşın kesiti,
- Kullanılan soğutma sıvı kesme hızı etkileyen faktörlerdir.

3.1.4.2. İlerleme Hızı

Takımın çeşitli yönlerde hareketinde dakikadaki ilerleme miktarıdır (Şekil 3.10). Devir başına ilerleme ise takımın iş parçasının bir devrinde yaptığı ilerlemedir. İşlenen yüzeyin kalitesinin belirlenmesinde ve uygun talaş oluşumunun sağlanmasında temel faktör olan bu büyüklük sadece talaş kalınlığı üzerinde değil, talaş kırma işleminin kalitesi üzerinde de etkide bulunur [61].

3.1.4.3. Talaş Derinliği

Talaş derinliği her seferinde kaldırılması gereken malzeme tabakasını önceden belirleyen takım kesici ağzı ile iş parçası arasındaki harekettir (Şekil 3.10) [62]. Talaş derinliği her zaman kesici kenara değil, takımın ilerleme yönüne dik açı yapacak şekilde ölçülür [61].

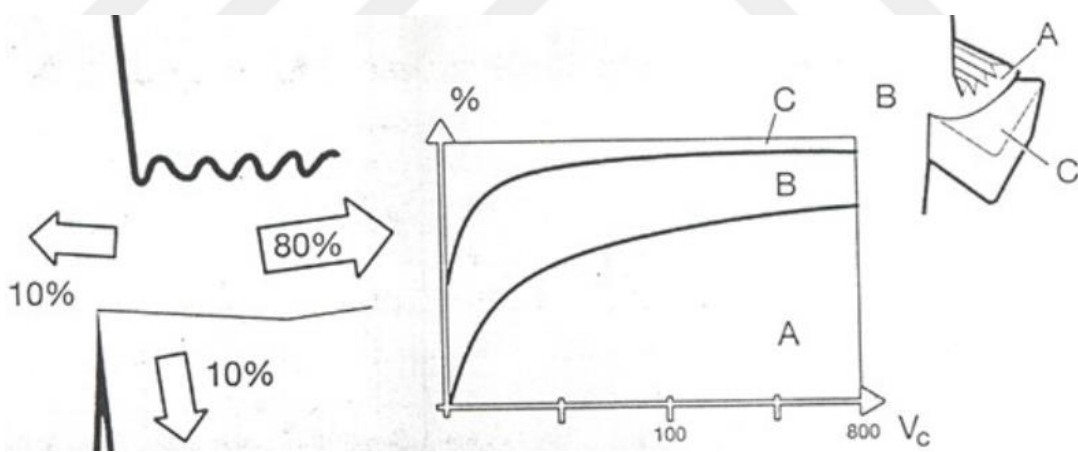
3.1.5. Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Faktörleri

Talaş kaldırma esnasında oluşan ısı; talaş kaldırmak için uygulanan kuvvetlerden oluşan mekanik enerjinin tamamına yakın bir bölümü ısı enerjisine dönüşmesi ile oluşur. Bu nedenle kesme bölgesinde ısı enerjisi oluşumu ve sıcaklık talaş kaldırma esnasında meydana gelen diğer önemli bir faktördür. Oluşan ısı takım performansını ve iş parçası kalitesi açısından çok önemlidir [58].

İşleme esnasında uygulanan kuvvetlerden oluşan yüksek sıcaklıklardan dolayı mekanik özelliklerine bağlı olarak malzemede deformasyon sertleşmesi meydana gelmektedir. Bu sebeple malzemenin normal sertliği artmakla birlikte talaş kaldırma esnasında kesici zorlanmaktadır [53].

Talaş kaldırırken oluşan yüksek sıcaklıklar, takım ömrünün yetersizliğine ve yüksek kesme hızlarında işleme yapılmamasına neden olur [58].

Talaş kaldırma esnasında oluşan ısıнын büyük bir bölümü, kesme bölgesinden talaşla uzaklaştırılır. Talaş ısısı, kesici takımı talaşla kesici takımın temasta olduğu boyda etkileyecektir. Talaşlı işlemede ısı dağılımı şematik ve grafik olarak Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Isının büyük bir kısmı kayma bölgesinde oluşur [58].

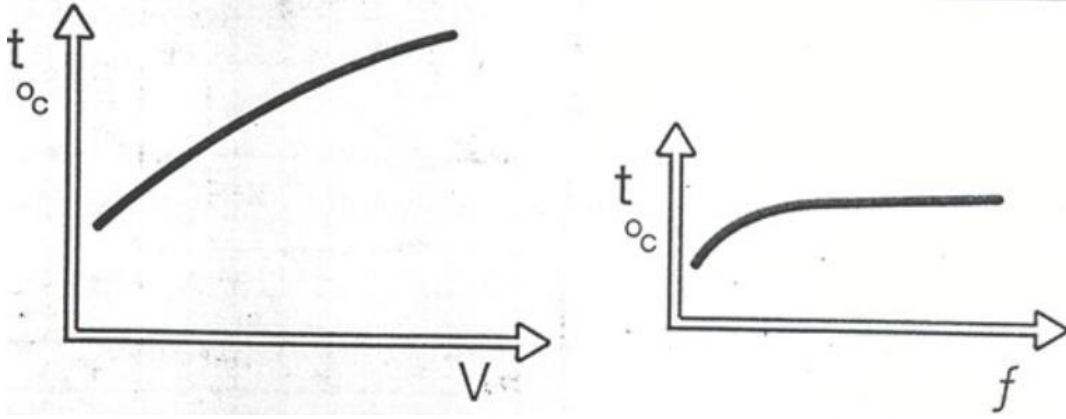


Şekil 3.11. Talaşlı işlemede ısı dağılımı [58].

3.1.5.1. Sıcaklık Dağılımı

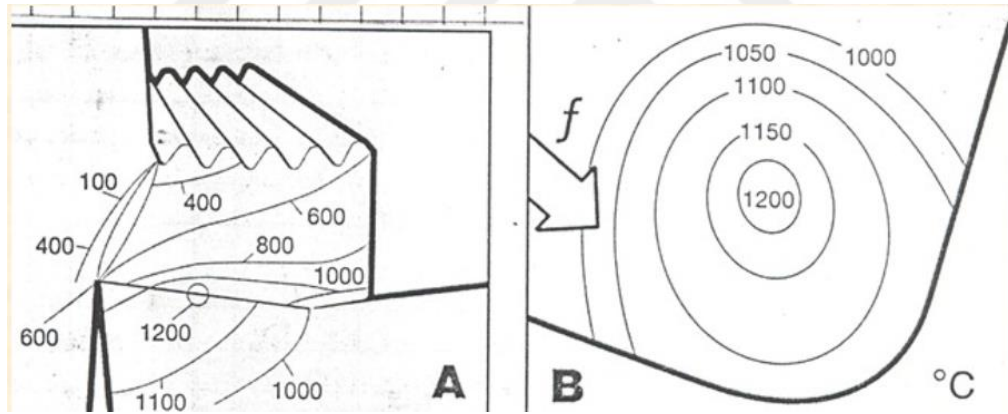
İşlenen malzemenin tipine bağlı olarak ısı dağılımının değeri değişir. Süper alaşımlarının (HSTR) talaşlı imalatı işlenmesinden alüminyumların talaşlı imalatı işlenmesine kadar değişkenlik gösteren kesme hızları, ısı oluşumunda oldukça önemli bir yere sahiptir. Isı oluşumunda ilerleme ise nispeten makul bir etkiye sahiptir. Şekil 3.12’de kesme hızı ile sıcaklık arasında tipik bir ilişki gösterilmesi ile birlikte malzemenin alaşım elementlerine

ve diğer malzeme parametrelerine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Kesici takım malzemelerinde yüksek sıcaklık etkilerine dayanım kabiliyetlerinde ciddi gelişmeler sağlamıştır [58].



Şekil 3.12. Sıcaklığın kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişmesi [58].

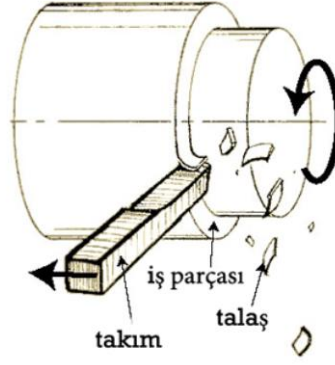
Talaş kaldırma esnasında oluşan sıcaklık talaş-takım ve malzemenin üzerindeki dağılımı (A) ve kesici uç üzerinde sıcaklık dağılımı (B) Şekil 3.13'te örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Talaş kaldırma işleminde oluşan yüksek sıcaklıkların dağılım eğrileri [58].

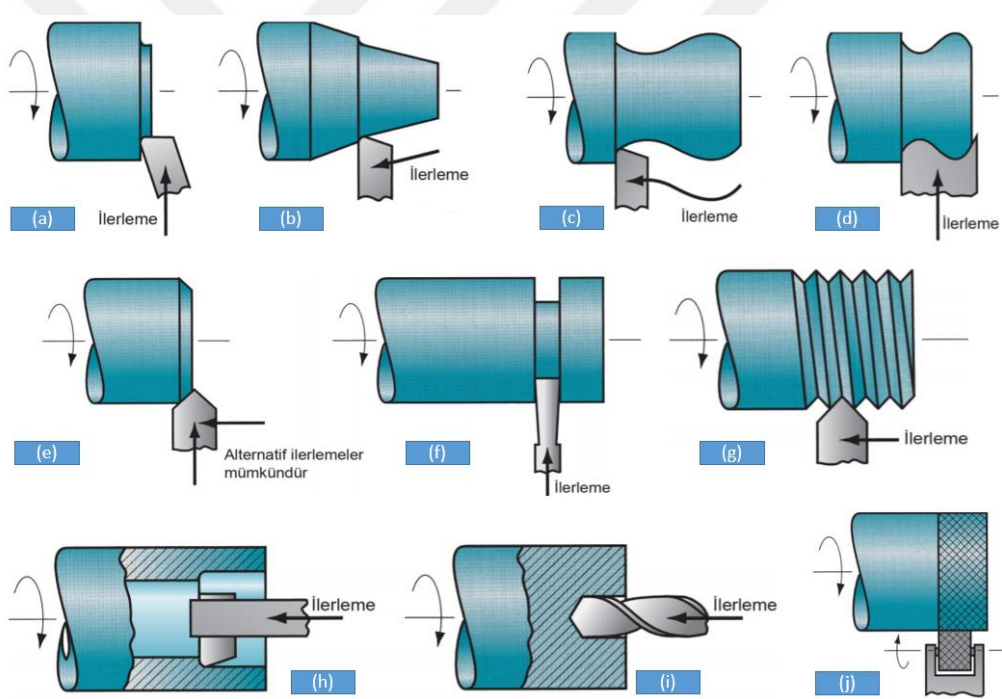
3.2. TORNALAMA

Tornalama tek uçlu bir takım ile gerçekleştirilen, genellikle dairesel kesitli parça elde etmek için doğrusal hareket eden dönen iş parçası üzerinden kesici takım ile talaş kaldırma işlemine denir (Şekil 3.14). İstisnai durumlarda, kesici takımda dönme hareketi yaptırılabilir. Karmaşık tanımlamalar gerektirmeyen, en bilinen talaşlı imalat yöntemidir [53], [61], [62].



Şekil 3.14. Tornalama işleminin şematik gösterimi.

Tornalama işleminin nihayetinde iş parçası istenilen şekil, ölçü ve yüzey kalitesine getirilir. Bununla birlikte torna tezgâhında çok farklı işlemler yapılmaktadır. Bu işlemler Şekil 3.15'te gösterilmiştir [52]-[53].



Şekil 3.15. Torna tezgâhında tornalamadan başka gerçekleştirilebilen işlemler [52].

- a) **Alın tornalama:** Kesme takımın dönen iş parçasının bir ucundan düz bir alın yüzey meydana getirmek için radyal olarak ilerletilmesidir.
- b) **Konik tornalama:** İş parçasının dönme eksenine paralel olarak ilerletmek yerine kesme takımı bir açıyla ilerletilir. Böylece, konik bir şekil veya silindir elde edilir.
- c) **Profil (Kontur) tornalama:** Kesici takım doğrusal olmayan bir konturu takip eder. Böylece, tornalanmış parçadan bir kontur şekil oluşur.

- d) Şekil tornalama:** Bu operasyon bazen form tornalama olarak adlandırılır. Takımın bir şekli vardır ve bu şekil takımı iş parçasına radyal olarak daldırılarak iş parçasına aktarılır.
- e) Pah kırma:** Takımın kesici kenarı silindirik parçanın köşelerinde ‘pah’ olarak adlandırılan şekli oluşturmak için bir açı keser.
- f) Kesme (ayırma):** Takım iş parçasının uzunluğunun herhangi bir yerinde parçanın uç tarafını kesmek için dönen parçanın içine doğru radyal olarak ilerletilir. Bu operasyon bazen ayırma olarak da adlandırılır.
- g) Diş açma:** Sivri uçlu bir takım dönme eksenine paralel bir doğrultuda yüksek bir ilerleme hızında iş parçasının dış yüzeyinde boyunca ilerletilerek yapılan kesme sonucu silindir parça üzerinde diş açılmış olur.
- h) Delik büyütme:** İş parçası içinde var olan deliklerin iç çaplarında dönme eksenine paralel olarak tek kenarlı kesme takımının doğrusal olarak ilerletilmesidir.
- i) Delik delme:** Torna tezgâhında delik delme dönen parçaya ekseninde matkabın ilerletilmesiyle gerçekleştirilir.
- j) Tırtık çekme:** Malzemede kesme olmadığı için bu bir talaşlı imalat işlemi değildir. Esasında tırtık çekme iş parçasında düzenli çapraz çizgili desen oluşturan bir metal şekillendirme işlemidir [52].

3.3. KESİCİ TAKIM

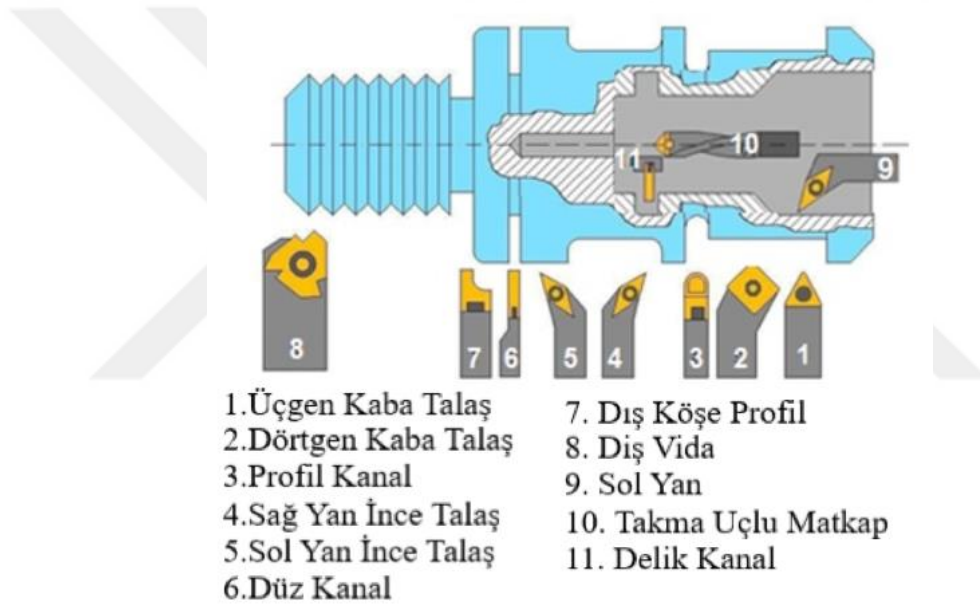
Kesici takım malzemelerinin gelişmesi; takım tezgâhlarının, malzemelerin, özellikle kompozit malzemelerin ve üretim yöntemlerinin geliştirilmesine paralellik göstermektedir. Günümüzde mekanik özellikleri çok farklı olan kesici takımlar kullanılmaktadır. Genel olarak kesici takımlarından beklenen özellikler şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek sertlik,
- Yüksek eğilme mukavemeti,
- Yüksek basma mukavemeti,
- Tokluk,
- Kızıl sertlik (Yüksek sıcaklıkta sertliğini kaybetmeme)
- Aşınmaya dayanım,
- Kolay işlenebilme,
- Ekonomik olması.

Tornalama takımları 9 başlık altında sınıflandırılır;

1. Kaba talaş takımı,
2. İnce talaş takımı,
3. Sağ ve sol yan takımları,
4. Keski takımı,
5. Vida takımı,
6. Vida sonu oluk takımı,
7. Profil takımı,
8. Delik takımı,
9. Özel takımlar

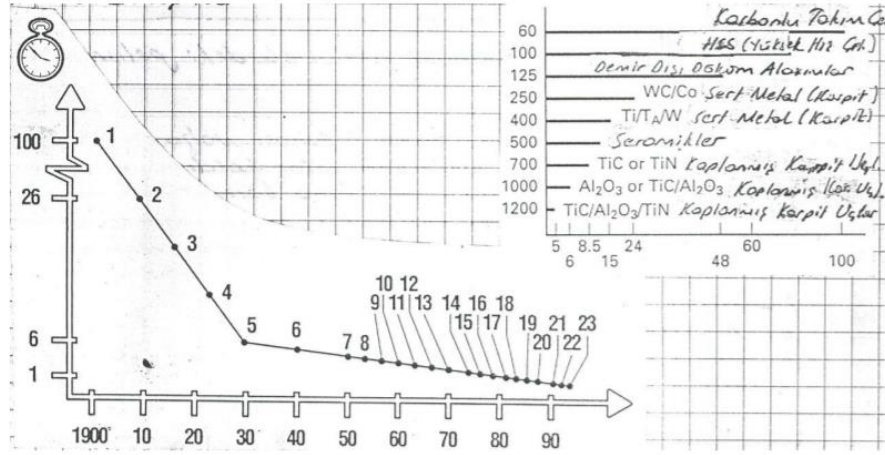
Torna tezgâhların da kullanılan kesici takımlar Şekil 3.16’da tornalama işlemlerine göre gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Tornalama işlemlerine göre kesici takımlar [63].

3.3.1. Kesici Takım Malzemeleri

Kesici takım malzemeleri hızlı gelişme seyri gösteren bir konudur. Bu gelişme 20. yy. ile başladı ve özellikle 1930’dan günümüze artan bir grafik çizmektedir. 1900’lu yılların başlarında 100 dakika olan bir talaş kaldırma işlemi 1990’li yıllara baktığımızda 1 dakikanın altına düşmüştür ve günümüzde bu işlem daha da az bir süre de talaş kaldırma işlemi yapılmaktadır (Şekil 3.17) [58].



Şekil 3.17. Kesici takım malzemelerinin performansındaki gelişme [58].

Talaşlı imalatla kullanılan kesici takımlarının maruz kaldığı problemlerden bazıları şu şekildedir; yüksek kesme kuvvetleri, fazla sıcaklık, temas gerilmeleri ve talaş ile birlikte tezgâh yüzeyiyle sürtünmedir. Kesici takım malzemesinin uygunluğu herhangi bir talaş kaldırma işleminde en önemli faktördür. Kesici takımda olması istenen özelliklerin hepsi bir takımda geliştirmesi çok zor olduğundan dolayı araştırmacılar ihtiyaca göre çeşitli takım malzemeleri kullanmışlardır. Son yıllarda, kaplanmış takımlar yüksek sertlik ve mukavemetten özellikleri sunması ile endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaplanmış takımlar yüksek sertlik ve mukavemetli malzemeler ile kaplanmıştır. Bu kaplama malzemeleri; sementit karbür ve tungsten karbürlerdir [64].

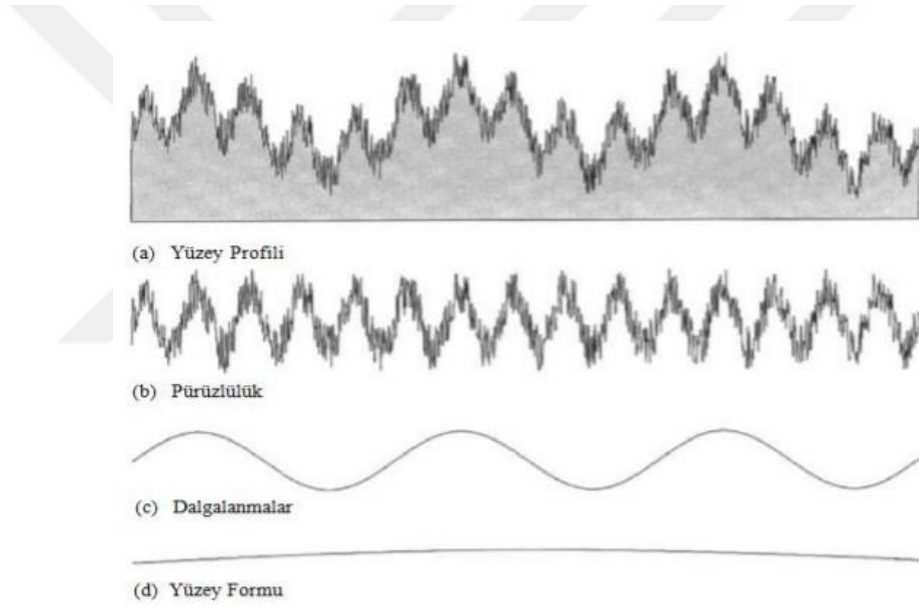
Günümüzde talaşlı imalatla işleme şartlarında, yüksek kesme hızı, ilerleme ve kesici takım malzemesinin üç temel özelliği üzerinde durulmaktadır Bu özellikler şu şekildedir;

- Aşınma Direnci:** Doğrudan doğruya tek özellik olmaması ile birlikte, genel olarak abrasiv yanak aşınmasının ölçülmesiyle bulunur. Kesici takım ucunun, istenilen şekilde, çeşitli tipteki aşınmalarda performansını kaydetmeden gösterdiği dayanımı olarak nitelendirilebilir.
- Tokluk:** Eğilmeye karşı dayanım ve enine kırılma dayanımı gibi çeşitli yollarla nitelendirilir. Ölçümleri genellikle oda sıcaklığında olur ve bu sebepten işleme esnasında davranışla ilişkili tam bilgi vermez.
- Sıcak Sertlik:** Yüksek kesme hızlarında ulaşılan sıcaklarda işleme için önemli bir etkiye sahiptir. Sıcak sertliği; değişik malzemelerin arasındaki fark oldukça kayda değerdir. Kısaca malzemenin sıcaklıkla işleme özelliğini kaybetmemesi olarak da tanımlanır [58].

4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Yüzey dokusunun ölçüsüne yüzey pürüzlülüğü denir. Bir diğer tanım ile ideal yüzey değeri ile gerçek yüzey değerleri arasındaki dikey sapmaların sayısallaştırılmasıdır. Bu sapma değerinin büyük olması yüzey pürüzlülüğünün kaba, küçük olması ise yüzeyin daha düzgün olmasıdır [65]. Yüzey pürüzlülüğü, yaygın olarak kullanılan bir ürün kalite ölçüm indeksidir ve çoğu durumda mekanik ürünler için gereklidir. İstenilen yüzey kalitesini sağlamak bir parçanın işlevsel davranışı için büyük öneme sahiptir [66].

Yüzey profiline etki eden unsurlar Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Yüzey profiline etki eden unsurlar [67].

- Pürüzlülük, kesici takımın bir ucundan diğer ucuna gitmesiyle meydana gelen çok çizikli, kısa dalga boylu düzensiz uzunluklardır. Yüzeyde bulunan çizik izlerini normal yönde ölçmek ile çapraz yönde ölçmek arasında dalga boyu uzunluğu açısından fark vardır.
- Dalgalanmalar, düzensiz dalga boyu uzunlukları olarak dağılmışsa, yüzey aşırı yüklenmiş olması dalgalanma olarak adlandırılır. Dalgalanma, yüzeyin taşlanma esnasında, taşlama taşının eksik kısımlarından, işlemeyi yapan takımın bağlantı katerinin titreşiminden ve ısıl işlemlerden meydana gelebilir [68].

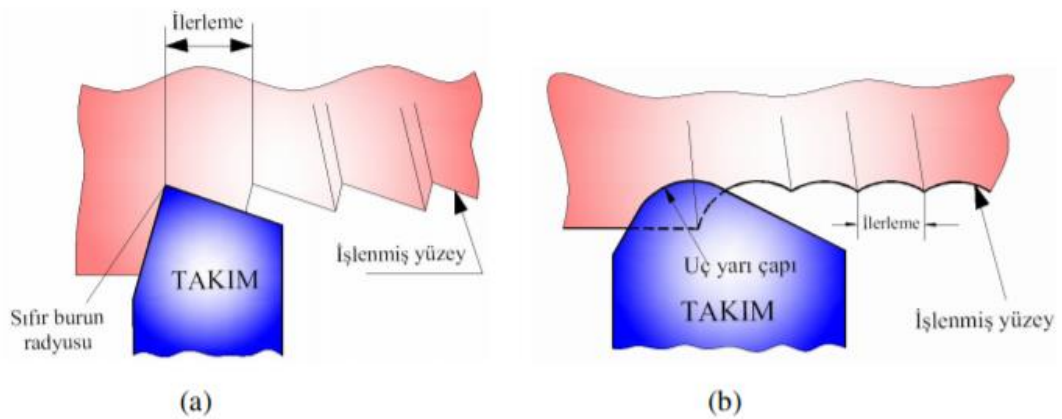
- Yüzey formu, yüzey pürüzlülüğü ile yüzey dalgalanmalarının ihmali sonucu, termal bozulma, kayma yönü hatası, kesicinin aşınması ya da iş parçasının esnemesi ile oluşan yüzeyin genel şeklidir [67].

Yüzey pürüzlülüğü değeri yaklaşık olarak, $R_a=1,6 \mu\text{m}$ değerini üzerinde olduğu zaman çoğu firmalar pürüzlülük profilini ölçmeden ziyade görsel olarak kontrol ederler. Mühendislik parçaları daha özel ve detaylı yüzey kalitesi özelliğine sahip olduklarından tolerans gereksinimlerinin müsaade ettiği yüzey pürüzlülüğüne yakın olma ihtiyacı vardır [69].

Yüzey pürüzlülüğü talaş kaldırma esnasında uygulamalarında pek çok değişkene bağlı olduğundan, uygulanan takım geometrisi ve ilerleme hızının sonucunda elde edilen “ideal yüzey pürüzlülüğü” ve kesme uygulamalarındaki düzensizliğin bir sonucu olan “doğal yüzey pürüzlülüğü” olarak iki ayrı tanımlamayla değerlendirilmektedir [70].

4.1. İDEAL YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

En uygun biçimde verilmiş takım şekli, geometrisi, ilerleme hızı, kesme hızı, vurutular ve talaş yığılması gibi faktörler azaltıldığında en iyi yüzey pürüzlülüğü “ideal yüzey pürüzlülüğü” vermektedir. Tornalama uygulamalarında keskin köşeli ve yuvarlak köşeli kesici takım kullanılarak ideal şartlar altında sağlanan ideal yüzey pürüzlülüğü Şekil 4.2’de gösterilmiştir [55], [70].



Şekil 4.2. a) Keskin köşeli kesici takım ile oluşturulan ideal yüzey pürüzlülüğü modeli, b) Yuvarlak uçlu bir takım için ideal yüzey pürüzlülüğü modeli [71].

4.2. DOĞAL YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

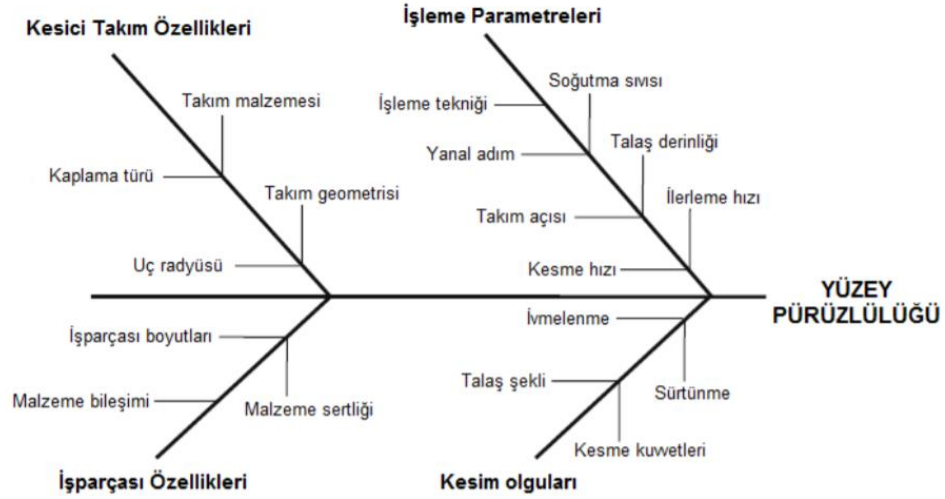
Talaşlı imalat uygulamalarında genellikle ideal şartlara uyulması mümkün olmamaktadır. Bu doğal şartlar altında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, gerçek yüzey pürüzlülük değerleridir. Doğal yüzey pürüzlülüğüne sebep olan temel etkenlerden birisi de yığıntı talaş oluşmasıdır. Bazı durumlarda yığıntı talaş devamlı olarak oluşur ve kopabilir. Bu şekilde sıvama oluşan talaş yüzeyinin altında ve talaş kaldırılmış malzemenin yüzeyinden uzaklaştırılan parçalardan dolayı daha pürüzlü bir yüzey meydana gelir [71].

4.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Talaş kaldırma işleminde talaş akışı ve malzeme taşımının karmaşık olması nedeniyle matematiksel modellenebilmesi için çok farklı değişkenlere ihtiyaç duyulmaktadır. Oluşan bu karmaşık yapıya rağmen, yüzey pürüzlülüğünün kısmen de olsa kontrolü, takım geometrisine, soğutma sıvısı kullanılmasına, kesme parametrelerine (talaş derinliğine, kesme ve ilerleme hızına) bağlıdır. Bu nedenle yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinde; profil parametreleri, motif parametreleri ve malzeme olasılık eğrisine dayanan parametreler olmak üzere üç yüzey durumu parametresi tespit edilmiştir [71], [72].

İşleme sırasında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen ve Şekil 4.3’de gösterilen faktörlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Talaş kaldırma yöntemi,
- Kesme hızı, ilerleme, yanal adım ve talaş derinliği gibi talaş kaldırma parametreleri
- İş parçası ve takım arasında oluşan titreşim ve salgı,
- İşlenen malzemenin özellikleri,
- Takım konumlama, takım tutucu ve parça bağlama hataları,
- Takım aşınmasından kaynaklanan hatalar,
- Kesici takım geometrisi,
- Kesici takım türü, kaplaması ve uç yarıçapı,
- Talaş akışının neden olduğu yüzey hataları,
- Soğutma tekniği,
- Takım tezgâhının rijitlik ve çalışma şartları,
- Çevrenin etkisiyle oluşabilecek diğer hatalar [73].



Şekil 4.3. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler [73].

4.3.1. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

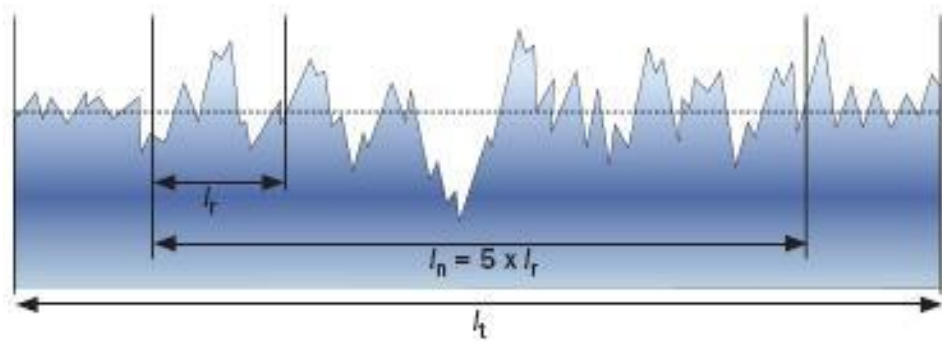
İş parçası yüzeyi yapılarını ölçerken değerlendirme, genellikle belirli bir referans uzunluğuna dayanır. Referans noktası genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin konumu, bu çizginin altında ve üzerinde kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir [73], [74].

Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan ölçüm uzunlukları Şekil 4.4'te gösterildiği gibidir.

l_t : Toplam uzunluk (başlangıç, değerlendirme ve durdurma uzunluğunu kapsar)

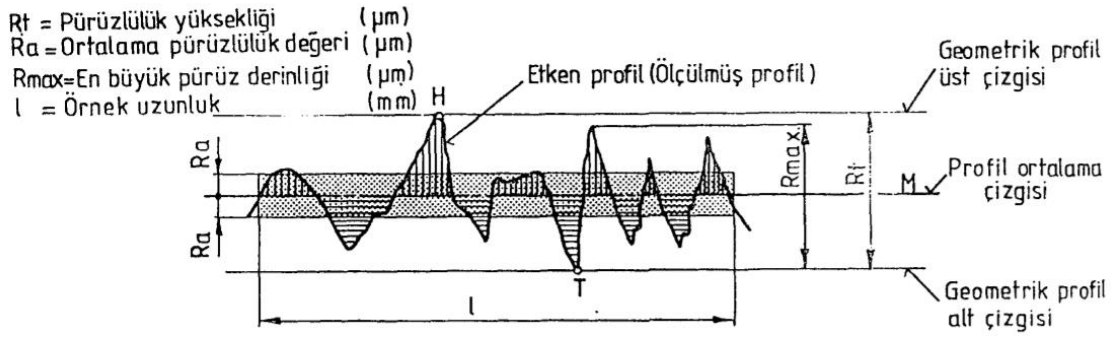
l_n : Değerlendirme uzunluğu (standart olarak beş referans uzunluğu kapsar)

l_r : Referans uzunluk



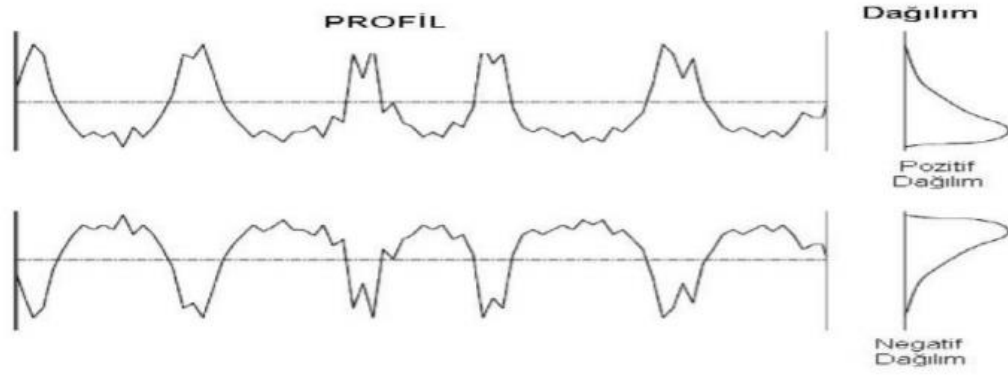
Şekil 4.4. Yüzey pürüzlülüğündeki ölçüm uzunlukları [74].

Gelişmiş ülkelerin çoğu M yöntemini benimsenmekte ve bir kısmı ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), bir kısmı en büyük yüzey pürüzlülüğünü (R_{max}) ölçme kriteri kullanır.



Şekil 4.5. M Sistemine göre yüzey pürüzlülük profili [75].

- Örnek uzunluk;** yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde alınan etken uzunluk olarak tanımlanır [75].
- Profil ortalama çizgisi (M);** ölçme uzunluğu içinde profilin üzerinde ve altında kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçer [65].
- Geometrik profil alt sınır çizgisi;** etken profilin alt sınırından geçen ve profile T noktasından değen çizgidir (Şekil 4.5).
- Geometrik profil üst sınır çizgisi;** etken profilin üst sınırından geçen ve profile H noktasından değen çizgidir (Şekil 4.5).
- Yüzey bozukluğunun en büyük yüksekliği (Rmax);** örnek uzunluk içerisinde en fazla pürüzlülük değeri hangisi ise onun derinliğidir (Şekil 4.5).
- Pürüzlülük yüksekliği (Rt);** örnek uzunluk içerisinde profil üst sınır çizgisi ile alt sınır çizgisi altındaki mesafedir (Şekil 4.5).
- Ortalama pürüzlülük değeri (Ra);** ortalama çizgisinin üzerinde ve altında oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalamasıdır (Şekil 4.5). Kalite kontrol alanında Ra dünya çapında kabul edilen yüzey pürüzlülük parametresidir.
- Yüzey bozukluğunun on noktasının yüksekliği (Rz);** ortalama pürüz yüksekliği profili kesmeye bir doruya göre örnek uzunluk içinde ölçülen en yüksek 5 çıkıntıyla en derin 5 girinti arasındaki ortalama uzaklıktır (Şekil 4.5).
- Genlik dağılım eğrisi;** bu parametre profil genlik yoğunluğunun ortalama çizgiye göre simetrisini gösteren ve aynı R_q ve R_a değerine sahip profilleri birbirinden ayırt etmede yararlanılan dağılım eğrisidir. Şekil 4.6'da gösterilmiştir [65], [75].



Şekil 4.6. Profil ve genlik dağılım eğrisi [65].

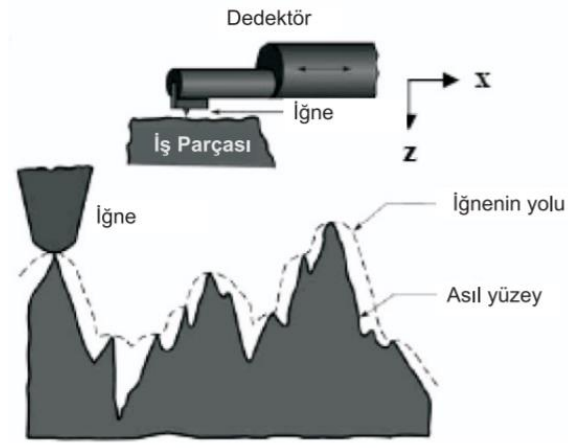
4.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Yüzey pürüzlülüğü değerlendirmek amacıyla pek çok cihaz ve teknik kullanılır. Bu alanda etkin olduğu kanıtlanan, optik ve mekanik ölçüm yöntemleri en çok tercih edilen yöntemlerdir. Temas uçlu iğne talaşlı imalat yöntemlerinde en yaygın kullanılan ölçüm sistemidir.

4.4.1. Temas Uçlu (İğneli) Ölçüm Sistemleri

Temas uçlu (iğneli) ölçme sistemi ilk olarak 1929 yılında G. Schmaltz tarafından yüzey dokusunun değerlendirilmek amacıyla geliştirildi. Schmaltz'dan sonra 1936 yılında Dr. E. Abbot ve 1939 yılında da Taylor Hobson yüzey ölçme teknolojisini geliştirdiler.

Yüzey pürüzlülüğü ölçmede kullanılan en yaygın yöntem temas uçlu yüzey ölçme aletidir ve dedektör (izleyici kafa) ile sinyal yükselticiden oluşur. Dedektör sürücü ünitesine bağlıdır ve bir motor yardımı ile parça üzerinde ileri geri hareket yapar. Hareket sırasında yüzeydeki pürüzlülüklere temas eden detektöre bağlı elmas uçlu iğnenin dikey hareketinin meydana getirdiği sapmalar sürücü ünitesi tarafından elektrik sinyaline çevrilir. Bu sinyaller yükseltici tarafından büyütülür ve cihaza kaydedilerek farklı parametrelerdeki pürüzlülük değerlerinin çıktısı alınır. Dedektör ucundaki iğne azami z ekseninde 350 μm (+150 μm / -200 μm ve 0,01 μm çözünürlükte), x ekseninde 12,5 mm hareket edebilmektedir. Temas uçlu iğne sisteminin çalışma prensibi Şekil 4.7'de gösterilmiştir [73], [76].



Şekil 4.7. Temas uçlu (iğneli) ölçme sisteminin çalışma prensibi [76].

5. TAGUCHI METODU

Genichi Taguchi tarafından 1940'lı yıllarda istatistiksel yöntemleri derin mühendislik problemleri anlayışıyla birleştirilerek, kalitenin geliştirilmesi için Güçlü Tasarım (Robust Design) aracı yapılmıştır. Yaklaşım, bir ürünün veya sürecin performansını düşüren gürültü denilen faktörlerin etkisini azaltmaya odaklanmaktadır. Bu önemli gürültü kaynaklarını belirleme ve bunları kontrol altına almak için genellikle maliyetli olan önlemlerin alınması konvansiyonel kalite mühendisliği uygulamasının aksinedir. Taguchi'nin "parametre tasarımı", bu sağlamlığı, kontrol faktörleri adı verilen belirli parametrelerin uygun ayarları yoluyla gürültüye karşı başarır. Bu parametrelerin ayarlanması genellikle kolay olduğu için makro kalitesi mikro parayla elde edilir. Parametrelerin iyileştirilmiş ayarları, göreceli olarak az deneyle çok sayıda faktörü incelemeyi sağlayan istatistiksel olarak tasarlanmış deneylerle elde edilir [77].

Genichi Taguchi yöntemini, tasarım deneylerini hazırlamak ve bu deneylerin sonuçlarını analiz etmek için bazı kılavuzlarla birlikte geleneksel istatistik araçlara dayandırıyor. Taguchi'nin kalite kontrol yaklaşımı ilk tasarımdan üretime kadar bir ürün geliştirilmesi ve üretilmesi sürecine uygulanmaktadır. Taguchi, kaliteyi ölçmek için bir "Kalite Kaybı Fonksiyonu" tanımlamaktadır. Kalite kaybı fonksiyonu, bir tasarım parametresinin ideal veya hedef değerden sapması olarak tanımlanan sürekli bir fonksiyondur [78].

Taguchi'nin kalite felsefesi yedi temele dayanmaktadır. Bu temeller şu şekilde sıralanabilir;

1. Üretilmiş ürünlerin kalitesi topluma verdiği zarar ile ölçülür.
2. Kalite ortamındaki rekabetçiliğin iş hayatında devamlılığı sağlayabilmek için devamlı kalite gelişimi ve düşük maliyet şarttır.
3. Sürekli kalite geliştirme programı ürünlerin performans karakteristiklerinin hedef değerler etrafında azalması ile sağlanır.
4. Ürünlerin performanslarında oluşan değişiminin kayıpları performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasının karesi ile orantılıdır.
5. Üretilmiş ürünlerin kalitesi ve maliyeti ürünün mühendislik tasarımı ve imalat prosesi tarafından kontrol edilir (Çevrim İçi ve Çevrim Dışı Kalite Kontrol).

6. Performans karakteristikleri üzerinde ürünlerin parametrelerinin lineer olmayan etkisini ortadan kaldırılarak ürün performans değişimlerini indirmek gereklidir.
7. Performans değişimini azaltan ürünlerin veya proses parametrelerinin gruplarının kombinasyonlarını belirlemek için istatistiki deneysel çalışmalar yapılır [79].

Taguchi'nin kalite sistemini üretim öncesi “Çevrim Dışı Kalite Kontrol” ve üretim aşaması ve sonrası “Çevrim İçi Kalite Kontrol” olarak iki başlık altında toplanmıştır.

5.1. ÇEVİRİM İÇİ KALİTE KONTROL

Üretim aşamasında ve üretim sonrasında belirlenen kriterlere göre tasarımı yapılmış olan ürünü üretilebilirliği. Çevrimiçi kalite kontrol yöntemi sayesinde tüketiciden gelecek olan geri dönüşlere karşın ürünlerin performansının geliştirilmesi ve kullanım kolaylığının artırılması sağlanır [55].

5.2. ÇEVİRİM DIŞI KALİTE KONTROL

Çevrim dışı kalite kontrol yöntemlerinin başlıca gereksinimi belirli işletme şartları altında oluşan veya oluşabilecek riskleri asgari düzeye indirecek nominal parametre tasarım değerlerinin belirlenmesidir. Ürün tasarımı ve proses tasarımı olarak çevrim dışı kalite kontrolü iki bölümden oluşur.

Taguchi metodunda çevrim dışı kalite kontrol kapsamında hem ürün tasarımı hem de proses tasarımı için kalite aşamaları vardır;

- Sistem Tasarımı
- Parametre Tasarımı
- Tolerans Tasarımı'dır [79].

5.2.1. Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı, imal edilecek ürünün proses aşamasına geçilmeden, ürün performansını artırmak amacıyla, tüketicinin ihtiyacına göre, asgari düzeyde maliyet ve yüksek kalitede ürün üretimi için tasarımı yapıldığı bölümdür [55].

5.2.2. Parametre Tasarımı

Üretim ve proses tasarımı esnasında, varyasyon ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı duyarlılığın azaltılması için kullanılan mühendislik metoduna parametre tasarımı denir.

Temel amaç, proses hedef değerini korurken varyasyon asgari düzeyde faktör seviyelerini belirlemektir. Varyasyona etki eden faktörleri belirledikten sonra, kontrol edilebilir faktörler üzerinde düzenlemeler yapılabilir. Kontrol edilemeyen faktörlerin değişiklikler için duyarsız hale getirilmeye çalışır. Proses tasarımı temel amaç ise, sürekli aynı özelliklere sahip ürünleri üretmektir. Üretim tasarımıdaki temel amaç, çevre faktörlerine rağmen sürekli performans ölçüsü yakalamaktır [79].

5.2.3. Tolerans Tasarımı

Tolerans tasarımı, parametre tasarımı değerleri için uygunluğu kabul edilebilir olan tolerans değerleri belirlenir. Tasarım toleransı bu aşamada uygulanır. Parametre tasarımıyla elde edilen azaltılmış değişkenlik yeterli değilse tolerans tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımı, daha iyi derecede malzeme, parça, makine alımı için para harcayarak gerçekleştirilir [80].

5.3. SİNYAL GÜRÜLTÜ ORANI

Taguchi yönteminde Sinyal Gürültü (S/N- Signal Noise ratio) veya kayıp fonksiyon olarak da bilinen üç farklı amaca uygun fonksiyon bulunmaktadır. Buna göre, amacın “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi” ve “nominal en iyi” olmasına göre aşağıdaki eşitlikler kullanılarak S/N oranları hesaplanır [81].

En düşük (küçük) en iyi olduğu durumda:

$$\frac{S}{N} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (5.1)$$

En büyük en iyi olduğu durumda:

$$\frac{S}{N} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (5.2)$$

Nominal en iyi olduğu durumda:

$$\frac{S}{N} = 10 \log\left(\frac{\bar{y}^2}{S^2}\right) \quad (5.3)$$

$$\bar{y}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (5.4)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (5.5)$$

$$n = \log_{10} \left(\frac{\bar{y}_i^2}{\sigma^2} \right) \quad (5.6)$$

Tüm denklemlerde, y_i sinyallere birincil tepkidir, n , her bir deney tekrar sayısı ve σ^2 standart sapmadır [81].

5.4. ROBUST TASARIMI

Robust Tasarımı, Taguchi tarafından geliştirilen kalite yaklaşımının temeli ve günümüzde tüm dünyada başarı ile uygulanmaktadır. Bütün ürünlerin istenilen hedef değerde üretilmesi gerekliliğine işaret etmekte, hedeften sapmaların birlikte kayıplarının da başladığını ve bu kayıpların ancak iyi bir tasarım ile giderilebileceğini belirlemektedir. Robust Tasarım adıyla anılan yüksek performanslı ürünlere ulaşmak için istatistiksel deney modelinde dayalı değişkenlerin hedef parametreleri üzerindeki etkileri belirlenerek ortogonal dizi, doğrusal grafikler, sinyal/gürültü oranı gibi kavramlar kullanılmaktadır [82].

5.5. VARYANS ÖLÇÜMÜ

Varyasyon ölçmek için, R ve S örneklem olmak üzere;

-R, aralık

-S, standart sapması

Örnek bir R değeri için;

R = En büyük gözlem değeri – En küçük gözlem değeri

R maksimum ve minimum değerlerden fazla etkilendiğinden, Varyasyon ölçüsü olarak R'nin yerine hesaplanması daha zor olabileceğinden, S değeri standart sapma kullanılabilir [83].

Standart sapma S, örneklem varyansı S^2 'nin pozitif kareköküdür. Varyansın S^2 'nin Denklem (5.7)'de formülü gösterilmiştir.

$$\frac{S}{N} = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (5.7)$$

Y= Gözlenen değer,

$\bar{Y}$ =Gözlenene değer ortalaması

n=Gözlem sayısı

5.6. REGRASYON ANALİZİ

Regrasyon analizi, sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, tahminlerin ya da kestirimlerin yapılabilmesi amacıyla matematiksel bir model ile karakterize eden istatistiksel bir analiz sistemidir [55].

5.7. VARYANS ANALİZİ (ANOVA)

Varyans analizi, deneyleri yorumlamada ve karar vermede kullanılan bir istatistik yöntemidir. 1930 yılında tarımsal deneylerin sonuçlarını değerlendirmek için Sir Ronald Fisher tarafından geliştirilmiştir. Varyans analizi, test edilen grupların ortalama performanslarındaki değişimini tespit etmek için kullanılan bir karar aracıdır [84].

5.7.1. Deney Tasarımının Temel İlkeleri

Bloklama (Blocking), rasgeleleştirme (randomization) ve tekrar (replication) deney tasarımının kesinlikle olması gereken ilkeleridir.

5.7.1.1. Bloklama

Deneyin hassaslığını artırmak için deney birimleri arasında sistematik farklar bulunan, kendi içinde homojen ve kendi aralarında heterojen olacak biçimde blok adı verilen gruplara bölme işlemine bloklama denir. Deneyisel hataları azaltmak, bloklama yapılarak hedeflenmektedir [85].

5.7.1.2. Rasgeleleştirme

Deney birimlerinin, deney tasarımında olabildiğince homojen olması istenir. Deney birimleri arasında çevresel koşullardan kaynaklanan farklılıklar her zaman mevcut olan

bu farklılıklar rasgeledir. Rasgeleleştirme, deney birimlerinin denemelere atanma olasılıklarının eşit olmasını sağlar [85].

5.7.1.3. *Tekrar*

Uygulanan deney sayısına tekrar denir. Denemelerin uygulandıkları deney birimi sayısı eşit olan tasarımlara dengeli (balanced) tasarımlar, eşit olmayan tasarımlara dengeli olmayan (unbalanced) tasarımlar denir. Tekrar sayısı birden fazla olmalıdır, aksi halde hata saptanamaz. Deney birimleri arasındaki homojenlik ne kadar fazla ise tekrarlama sayısı az olmalıdır [85].



6. TALAŞLI İMALATTA SOĞUTMA TEKNİKLERİ

Talaşlı imalatta kesme sıvılarının kullanılmaya başlanıldığı zaman ve nasıl kullanıldığı bilinmemektedir [86]. Herhangi bir talaşlı imalat işleminde, iş parçasının plastik deformasyonu, takım-talaş ara yüzünde meydana gelen sürtünme ve kesici takımın iş parçası ile arasındaki sürtünme nedeniyle çok fazla ısı üretilir. Kesme esnasında oluşan ısı ürünlerin kalitesini olumsuz yönde etkiler. Bu sebepten dolayı, işleme esnasında kesici takım ile iş parçası arasında üretilen ısınnın iş parçasının kalitesi için kritik öneme sahip olduğu kabul edilir. Bu nedenle, kesim esnasında oluşan ısınnın etkin bir şekilde kontrol edilmesi, iş parçasının yüzey kalitesinin iyi işlenmesini sağlamak için gereklidir. Kesme sıvıları, bu problemin üstesinden gelmek için geleneksel bir seçimdir. Ancak, geleneksel kesme sıvılarının uygulanması durumunda; çevre kirliliği, operatör sağlığı, su kirliliği gibi bazı problemler oluşturur. Ayrıca kesme sıvıları toplam üretim maliyetinin büyük bir kısmını da etkiler [87].

6.1. KESME SIVILARI

Talaşlı imalat da karşılaşılan problemlerin çözümünde kesme sıvısının uygulanması büyük önem arz etmektedir. Bunun sebebi, kesici takım ile talaş arasındaki kesme bölgesinde oluşan yüksek ısyı düşürürken, yağlama etkisi sayesinde de takım-talaş arasındaki sürtünmeyi azaltmaya yardımcı olur. Bu nedenlerden dolayı kesme sıvıları soğutucu ve yağlayıcı olmak üzere iki gruba ayrılır. Soğutucular iyi bir ısı iletim kabiliyetin, yağlayıcılar ise iyi bir ıslatma kabiliyetine sahiptir [88]. Sıvıların soğutma işlemlerini iyi bir şekilde yapabilmesi için yüksek ısı iletme kabiliyetine ve yüksek özgül ısı kapasitesine sahip olmaları gerekmektedir. Yağlama yapabilmeleri için de sürtünme yüzeylerinde birkaç molekül kalınlığında, yapışmış bir sıvı tabakası oluşturması gerekir (Şekil 6.1). Sıvıların bu özelliğine ıslatma kabiliyeti denir [86].

Sıcaklıktaki bir azalma aşınma oranında bir düşüşe ve takım ömründe bir artışa neden olur. Bunun nedeni, ilk önce takım malzemesinin daha sert olması ve düşük sıcaklıklarda aşındırıcı aşınmaya karşı çok daha dayanıklı olması ve ikinci olarak, takım malzemesinde bileşenlerin difüzyon oranının, düşük sıcaklıklarda daha düşük olmasıdır. Bu etkiye karşı,

iş parçasının sıcaklığındaki bir azalma kayma akış gerginliğini artıracak, böylece kesme kuvveti ve güç tüketimi bir dereceye kadar artırılabilir. Belirli koşullar altında bu, takım ömründe bir azalmaya yol açabilir. Takım ömrünü etkilemeye ek olarak, soğutma etkisi, ısı genleşmenin ve iş parçasının bozulmasının azaltılmasında önemlidir. Bu sebeple, soğutma hareketi, üretilen yüzey üzerinde çok önemli bir etkiye sahip değildir [89].

Çeşitli imalat proseslerinde kullanılan kesme ve yağlama sıvılarının neden olduğu kirliliğin azaltmak için temiz üretim yöntemlerinin geliştirilmesi günümüzde son derece önem arz etmektedir [90]. Yağlardan mineral yağlar petrolün arıtılması ile elde edilir, sentetik ve yarı sentetik yağlar ise laboratuvar ortamında elde edilmektedir. Ekolojik çevrime zarar veren madeni yağ esaslı kesme sıvıları içeriğinde bulunan hidrokarbondan dolayı canlı varlıklarına zarar vermektedir. Talaşlı imalatla özellikle ortam ısısından kaynaklı buharlaşan kesme sıvıları ve mikro partiküller çalışma ortamına yayılan sıvılar ciddi akciğer, solunum yolları rahatsızlıklarına, dermatolojik ve kalıtsal rahatsızlıklara sebebiyet vermektedir. Olumsuz etkilerinden dolayı mineral ve sentetik yağlar yerine bitkisel esaslı kesme sıvıları kesme işlemlerinde kullanılabilirliği araştırılmaktadır [91].

6.1.1. Kesme Sıvılarının İnsan Sağlığına Etkileri

Kesme sıvıları, kesme işlemini önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır. Ancak kesme sıvılarının olumlu yönleri olduğu gibi olumsuz yönleri de mevcuttur. Bu kesme sıvıları insan sağlığına ve çevreye zarar verebilmektedir. Kesme sıvılarının neden olduğu sağlık problemlerinin şiddeti; maruz kalma süresi ve seviyesi, kirliliğin çeşidi, derecesi ve sıvının tipi gibi çeşitli değişkenlere bağlıdır.

Su bazlı kesme yağları, II. Dünya Savaşı sırasında kullanılmaya başlandı ve bu yıllarda su bazlı kesme yağları ile çalışanlar arasında rastlanan cilt hastalıkları çok yüksek değildi. Endüstriyel cilt hastalıkları, o yıllarda %3,1'nin kapsıyordu. Fakat gün geçtikçe kesme yağlarının neden olduğu cilt hastalıkları sayısında bir artış oldu ve 1950'li yıllarda endüstriyel cilt hastalıklarının %27'si kesme yağlarının neden olduğu cilt hastalıklarını kapsıyordu [92].

6.1.1.1. Cilt Bozuklukları

Çalışan kişi eldivenleri ve diğer kişisel koruyucu donanımlarını kullanmadan ellerini akışkana temas ettiklerinde meydana gelir. Kesme sıvılarıyla ilgili iki tür cilt hastalığı olan kontak dermatit ve aknedir. Kontak dermatit kesme sıvısıyla alakalı en yaygın rapor edilen cilt sorunudur. Bu hastalığı olan kişilerde derilerinin sürekli kaşınması, çoğunlukla

çatlak, kızarma, su toparlama ve kabarmış şişler gibi problemler görülmekteydi. Kesme sıvılarına maruz kalan çalışanların yüzde 14'ü ile 67 arası gelişmesinin önlenmesine uğraşılması ve tedavi edilmesi önemlidir. Tedavi edilmeyen dermatiti daha ciddi komplikasyonlara sebebiyet verebilir.

6.1.1.2. *Solunum ile İlgili Rahatsızlıklar*

Kesme sıvılarının buhar ve aerosollerinin teneffüs edilmesi akciğerlerin, boğazın ve burnun tahrişine sebep olabilir. Rapor edilen belirtilerden bazıları boğaz ağrısı, kırmızı, yaşlı ve kaşınan gözler, akan burun, burun kanaması, öksürük, hırıltılı solunum, artan balgam üretimi, nefes darlığı ve diğer nezleyle benzer belirtilerdir.

Kesme sıvılarına maruziyet astımla da bağdaştırılmıştır. Astımda, akciğer yolları inflame olur ve bu da havanın akciğerden giriş ve çıkışını azaltır. Bir astım atağı süresince, bu yollar şişmeye başlar, hava akışını azaltarak ve nefes darlığına ve hırıltılı bir ses neden vererek spazma uğrar. Kesme sıvıların birçok bileşeni, katkıları ve kirleticileri yeni başlangıçlı bir astımı indükleyebilir, önceden var olan astımı ağırlaştırabilir ve astım olamayan çalışanların hava yollarını irrite edebilir.

6.1.1.3. *Kanser*

Birtakım çalışmalar kesme sıvıları ile çalışmak, pankreas, gırtlak, cilt skrotum ve mesane kanseri ve benzerlerini kapsayan çeşitli kanserlere yol açtığı görülmüş. Kesme sıvıların bileşimleri yıllarca çarpıcı bir şekilde değiştiği görüldü. 1985'e kadar kullanımda olan ve içeriğinde nitrit, az arındırılmış petrol yağları ve diğer kimyasalları barındıran akışkanların 1985'ten itibaren sağlık sorunlarından dolayı kaldırıldı [93].

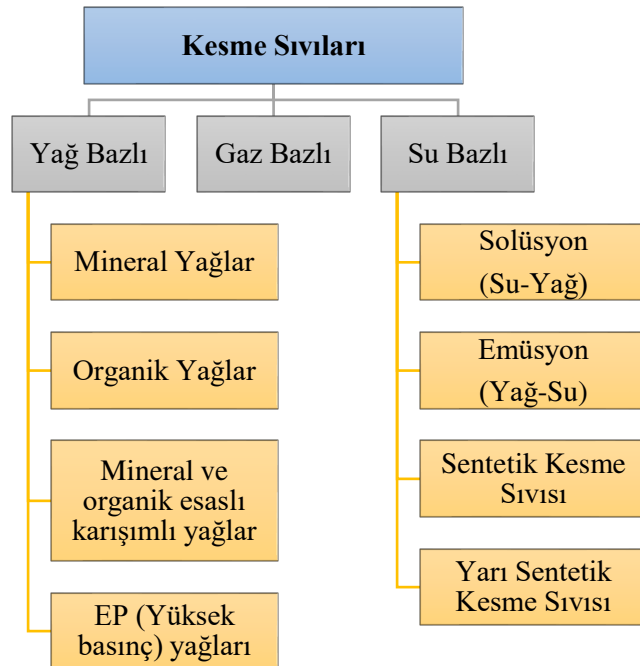
6.1.2. Kesme Sıvı Tipleri

İşleme için ilk kez soğutucu kullanımı 1907'de Taylor tarafından yapılmıştır. Kesici takım üzerine yoğun bir su akışı dökülmesiyle soğutmanın etkisi, kesme hızından %40'lık bir kazanç sağlamıştır. Mükemmel soğutma kabiliyetine rağmen, suyun yağlama özelliği yoktur ve makine parçası ve bileşenlerinde korozyona sebep olmaktadır. Günümüze kadar gelişen teknoloji sayesinde iyi yağlama ve soğutma özelliklerini sağlamak için yeni ürünler ve formüller geliştirilmiştir [94], [95]. Kesme sıvısı tiplerinin kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Kesme sıvısı tiplerinin kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri [96].

Kesme Sıvısı Tipleri	Olumlu Yönleri	Olumsuz Yönleri
Düz kesme yağları	Mükemmel yağlama ve pas kontrolü	Düşük soğutma, yangın tehlikesi, düşük hız ve ağır kesme işlemleri, sis ve duman oluşturur.
Çözünür kesme yağları	İyi yağlama ve soğutma.	Pas kontrol problemleri, bakteri üremesi ve buharlaşma kayıpları oluşur.
Yarı sentetik kesme yağları	Mikrobiyal kontrol, pas kontrol ve iyi soğutma	Kolay köpük oluşumu, stabilite su sertliğinden etkilenmesi ve diğer makine sıvıları tarafından kolayca kirlenir.
Sentetik kesme yağları	Mükemmel soğutma, mikrobiyal kontrol, yanıcı olmaması, duman oluşturmaması, iyi korozyon kontrolü, indirgenmiş buğulanma, köpük problemleri olmaması.	Kötü yağlaması ve diğer makine sıvıları tarafından kolayca kirlenmesidir.

Soğutma sıvılarının içerikleri ve özelliklerine göre sınıflandırılması Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Kesme sıvılarını sınıflandırılması [96].

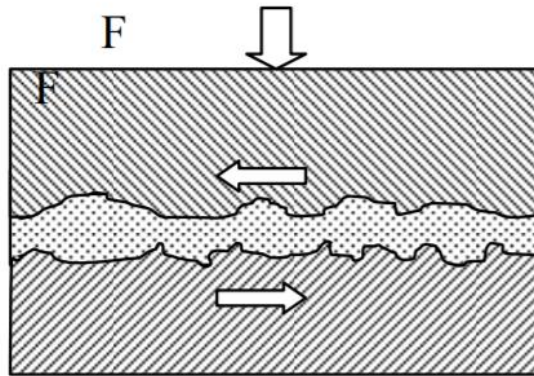
6.1.2.1. Yağ Bazlı Kesme Sıvıları

Kesme yağları iyi bir yağlama özelliğine sahip olmasından dolayı korozyona karşı koruma sağlar. Ama su bazlı kesme sıvıları kadar iyi soğutma sağlayamazlar. Yağ bazlı bir yağlayıcı mineral, bitkisel ve sentetik yağlardan elde edilir.

Mineral yağlar; istenilen yağlama özelliklerinden dolayı ana tiptir. Bu kesme sıvıları, uygulamalarını geliştirmek için genellikle yanıcı maddeler içerir. Mineral esaslı yağlayıcılar, talaş ve takım ara yüzeyini yağlamak için kullanılır. Kesme bölgesindeki sürtünmeden kaynaklı ısıyı en aza indirir. Ayrıca işlenmiş yüzey ve makine takımlarındaki korozyonu önlediğinden makine tezgâhlarının hareketli parçalarının yağlanması kullanışlıdır.

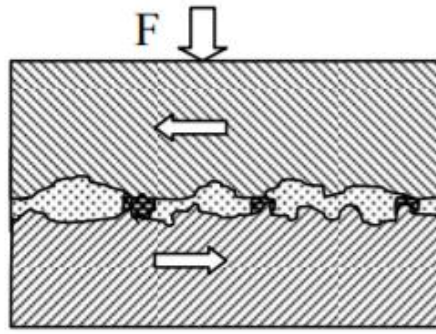
Organik yağlar; Bitkisel esaslı veya hayvansal yağlardır. Yağ oranlarının fazla olması iyi bir yağlama özelliği sağlar. Bitkisel yağlar, biyolojik olarak parçalara ayrılan kesme sıvısı metal işleme endüstrisinde yüksek kullanım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kesme sıvısı, çevre konularında kayda değer bir dikkat gösterebilecek sağlıklı bir çalışma alanı oluşturabilmesi ile tercih edilmektedir. Biyolojik parçalara ayrılması ile bitkisel yağdan yapılan kesme sıvıları geleneksel kesme sıvılarına göre daha yüksek viskozite indeksine ve termal stabiliteye sahiptir. Bu da bu akışkanların çeşitli ve hatta daha yüksek sıcaklık aralıklarında çalışma sırasında uygun yağlama gösterdiği bir durumu tetikleyebilir.

Mineral ve organik esaslı karışımli yağlar; İş parçası ve takıma gelen yüklerin büyük olduğu durumlarda kesme ortamının dayanımının yüksek olması gerektiği durumlarda mineral yağ içerisine organik yağ katkıları karıştırılabilir. Eklenen katkı maddeleri yüksek dayanıma ve düşük kayma direncine sahip ince bir tabaka oluştururlar.



Şekil 6.2. Yağ filmi [61], [86].

EP (yüksek basınç) yağları; kesme kuvvetlerini yüksek olduğu uygulamalarda kesme sıvısı, birbiri üzerinde kayan yüzeyler arasındaki basınç yüksek olsa bile yağlama yapabilmektedir. Bunu sağlayabilmek için, ağır çalışma koşulların da EP katkı kesme yağları kullanılır. Bu tip katkı maddeleri kayan yüzeylerdeki metalle bileşikler oluştururlar. Bu etki, yüzey pürüzlülüğünün yağ filmini bozduğu yerlerde görülür ve oluşan bileşik karşılıklı yüzeylerdeki tepe noktalarının birbirine kaynak olmasını engelleyen bir yağlayıcı oluşturulur. Bu durum Şekil 6.3'te görülmektedir. Katı maddeleri kükürt, klor ve fosfor bileşiklerini içerirler. Bu bileşikler yüksek sıcaklıklarda reaksiyona girerek metalik sülfat klorit ve fosfat oluşumuna neden olurlar [61], [86].



Şekil 6.3. Tepe noktalarının kaynak olması [61], [86].

6.1.2.2. Su Bazlı Kesme Yağları

Genellikle su bazlı kesme yağları kullanmadan önce istenen konsantrasyonda su ile konsantre karıştırarak yağ emülsiyonu hazırlanır. Yağ emülsiyonlarını hazırlanması sonucunda emülsiyon, yağın yağlama ve korozyon önleyici özellikleriyle suyun soğutma özelliğine sahip kesme yağı meydana gelir. Suda çözünen konsantre, çeşitli özellikleri iyileştiren katkı maddelerini de ihtiva eder. Kesme sıvısının karara olması için yağ emülsiyonu hazırlanması doğru olarak yapılması çok önemlidir.

Yarı sentetik kesme yağları; mineral esaslı soğutma sıvılarına göre daha düşük oranda mineral yağ bünyesinde bulunur. Emülsiyonları sütümsü, yarı şeffaf veya şeffafımsındır. Yağlayıcılığının yanı sıra soğutmanın da önemli olduğu operasyonlarda tercih edilir. En yaygın olarak kullanılan kesme yağlarıdır. Yarı sentetik kesme yağlarının ıslatma kabiliyeti yüksektir, ısıyı hızlı bir şekilde uzaklaştırabilirler ve atık olarak uzaklaştırılmaları kolaydır. Bakteri oluşumuna karşı dayanıklıdır. Kimyasal bileşenlerden dolayı köpürme oluşumu da daha kolaydır ve genelde çözülebilir yağlara göre daha düşük bir yağlayıcılıkları vardır [97].

Sentetik kesme sıvıları; katkı maddeleri ile kimyasaldan yapılmış ve su ile seyreltilmiş sentetik kesme sıvısı, mineral yağ içermez. Berrak, sulu bir görüntüye sahip olma eğilimindedir. Sentetik kesme sıvısı saydam çözeltiler oluşturur ve kesme işleminin iyi görünmesini sağlar. Sentetik kesme sıvısına organik ve inorganik kimyasal çözeltilerin eklenmesi, suda yumuşama, korozyon direnci, yağlama, yüzey geriliminin azaltılmasını sağlar. Sentetik kesme sıvısı iyi bir soğutma sıvısıdır, ama yağsızlık nedeniyle diğer kesme sıvıları ile karşılaştırıldığında yetersiz yağlama sağlar. Özellikle sentetik kesme sıvısı soğutmanın birincil gereksinim olduğu düşük kuvvetli işlemler için kullanılır [96].

6.1.2.3. Gaz Bazlı Soğutucu Yağlar

Gaz bazlı soğutucu yağlayıcılar genel olarak oda sıcaklığında gaz halinde olan ve çevre dostu kesme sıvıları olarak kabul edilir. İşleme uygulamalarında ya gaz ya da soğutulmuş basınçlı akışkanlar olabilirler. Gaz bazlı soğutucu yağlayıcılar hava, azot, argonelyum veya karbondioksittir. Gaz bazlı soğutucu yağlayıcıları inert gaz olarak kabul edildiğinden, kesici takımı ve işlenmiş yüzeyi oksidasyon ortası kesim sıcaklıklarından koruyan yüksek korozyon direncine sahiptir [96].

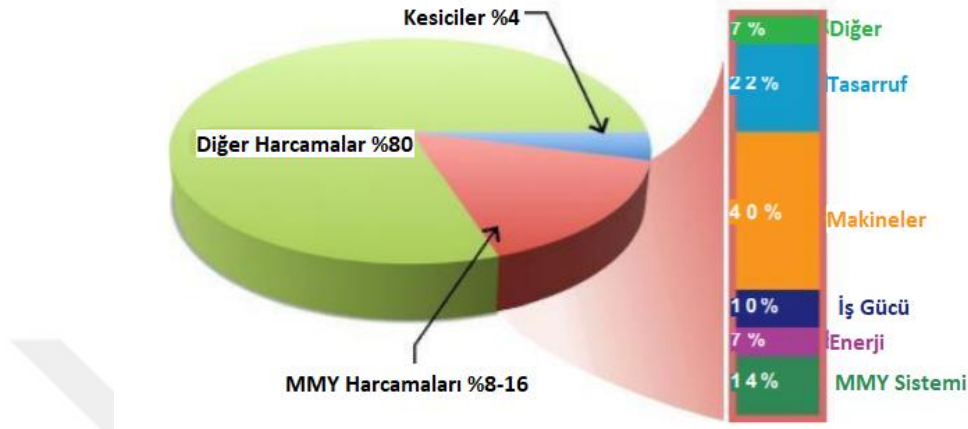
6.2. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MMY)

Minimum miktarda yağlama, son yirmi yıldır işleme operasyonlarında kullanılan, yarı kuru işleme ya da mikro yağlama olarak da bilinen bir soğutma yağlama yöntemidir [98]. Geleneksel soğutma yönteminin aksine çok daha az miktarda soğutma sıvısı kullanılmaktadır. MMY sisteminde kullanılan yağlar genellikle düz yağdır. Ancak bazı uygulamalarda bir emülsiyon veya su da kullanılmıştır [99].

MMY sisteminden en iyi sonuç elde edilebilecek kesme yöntemleri; kesme, tornalama, frezeleme ve delik delme işlemleri olarak sıralanabilir. Taşlama, honlama ve lepleme işlemlerinde ortaya çıkan talaşları yıkamak gerekli olduğundan dolayı MMY etkili değildir.

Daha az sıvı kullanmanın birçok olumlu yönleri vardır. Ekonomik açıdan bakıldığında. MMY daha az maliyetlidir. Talaşlı imalatla kullanılan sıvıları azaltılarak maliyette yarar sağlamaktadır. MMY talaşlara yapışan sıvının %2'sinden daha azıyla kuru bir işlem olarak kabul edilir. MMY sistemi ile toplama havuzlarına, geri dönüştürücülere, konteynerlere, pompalara veya filtreleme cihazlarına yapılan yatırımları ortadan kaldırır. Ayrıca, talaşları elden çıkarmadan önce temizleme ve kurutma ya da bir sonraki işlem

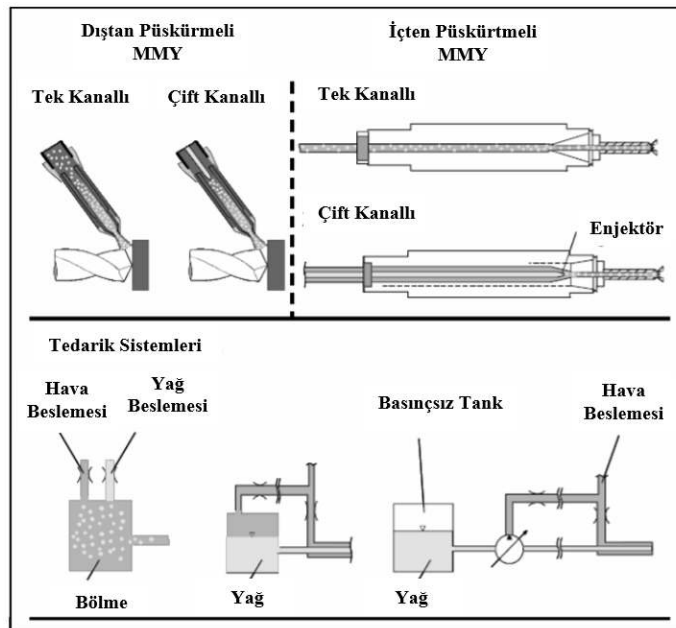
önce iş parçalarını temizleme masrafı yoktur. Kesin tasarruf miktarı işletmeye göre-değişkenlik göstermekle birlikte tahmini olarak, Şekil 6.4'te de görüldüğü gibi toplam işletme maliyetlerinin %8-16'sının metal işleme sıvıları ile ilişkili olduğu ve MMY'nin bu maliyetleri büyük oranda azaltacağı yönündedir [100].



Şekil 6.4. Talaşlı imalatta maliyet dağılımı [100].

MMY sisteminin başlıca özellikleri, kesme sıvısı tüketiminin azaltılması, maliyet tasarrufu, çevreye etkisini azaltılması, yüzey pürüzlülük değerlerinin iyi ve işleme performansın artırılmasıdır.

MMY tekniği iki farklı şekilde uygulanabilir. Birinci teknik sabit nozul ile dışarıdan püskürtme, diğeri ise kanal içerisine açılmış kanallar sayesinde püskürtülür (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. Çeşitli MMY Sistemleri [101].

6.2.1. MMY Sisteminde Kesme Sıvısı

Tüm sıvı işleme sistemi değerlendirilirken kesme sıvısı seçimi de önemli bir husustur. Tipik olarak kesme sıvıları performansı etkileme kabiliyetlerine göre seçilir. MMY işlemlerindeki düşük tüketim oranları nedeniyle, biyolojik bozunabilirlik, oksidasyon kararlılığı ve depolama gibi ikincil özellikler çevresel uyumluluk ve kimyasal stabilite endişeleri nedeniyle daha önemlidir. Çevresel uyumluluk en çok biyobozunurluluğa bağlıdır. MMY sistemlerinde kullanılan yağlar için depolama da önemli bir husustur. Bir MMY sisteminde kullanılan yağ, uzun süre ve yüksek sıcaklıklarda özellikleri sabit kalmalıdır. MMY sisteminde kullanılan yağlar iki ana gruba ayrılır; Sentetik esterler (genellikle bitkisel yağlar) ve yağlı alkolleridir. Sentetik esterler, iyi yağlama özellikleri, korozyon direnci, yüksek parlama ve kaynama noktalarından dolayı yaygın olarak kullanılır. Yağlı alkoller daha iyi bir ısı uzaklaştırma sağlar ve buharlaştığında sentetik esterlere kıyasla kalıntı açısından çok az miktarda üretilir. Sentetik esterler genellikle yağlama işleminin bir kesme akışkanı için birincil ihtiyaç olduğu işlemlerde kullanılırken, yağlı alkoller ısının çıkarılması için kesme akışkanı gerektiren MMY uygulamalarında kullanılır [101].

6.3. KRİYOJENİK SOĞUTMA

Kriyojenik, fizikte çok düşük sıcaklıklarda yapılan üretim ve işlemler için kullanılan terimdir [103]. Kriyojenik gazlar, sağlık, elektronik, üretim, otomotiv ve havacılık endüstrisi gibi sektörde soğutma amaçlı uygulamalarında çok çeşitli uygulamalara sahiptir. Sıvı azot, kriyojenikte en yaygın kullanılan elementtir. Sıvı havanın fraksiyonel damıtılmasıyla endüstriyel olarak üretilir ve genellikle LN₂ kısaltılması ile anılır. Nitrojen -210 °C’de erir ve -198 °C’de kaynar. Sıvı azot en fazla bulunan gazdır. Atmosferin yaklaşık beşte dördünü (%78,03) oluşturur. Renksiz, kokusuz, tatsız ve toksik olmayan bir gazdır. Sıvı azotun bu özellikleri tercih edilen bir soğutucu madde haline getirmiştir. Metal işlemlerimde kriyojenik soğutmanın ana işlevi, kesim bölgesinden ısıyı etkin bir şekilde uzaklaştırmak ve dolayısıyla kesme sıcaklıklarını düşürmek, sürtünmeyi azaltmak olarak tanımlanır. Yüksek sıcaklıklardan dolayı iş parçası ve takım özellikleri değişebilir. Bu nedenle hedefin daha iyi değerlendirilmesi için bir işleme sürecinde ısı üretimi ve sıcaklık dağılımını özetlemek faydalı olmaktadır [104].

7. LİTERATÜR TARAMASI

Morelo ve arkadaşları, SAF 2507 süper dubleks paslanmaz çeliğine delik büyütme işlemi uygulamış ve kesme hızı, ilerleme, kesici takım yarıçapı ve soğutma suyu basıncı parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde ettikleri verilerde, iş parçası delik yüzey pürüzlülüğü ve artık gerilmeleri etkileyen en önemli parametrenin ilerleme hızı olduğunu ifade etmişlerdir [105].

Królczyk ve arkadaşları, dubleks paslanmaz çeliğinin tornalanması esnasında kesme parametrelerinin kesici takım ömrü üzerine etkilerini araştırmışlardır. CVD yöntemiyle Ti(C,N)/Al₂O₃/TiN kaplanmış karbür kesici takımla gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda, kesme hızının artmasıyla, kesici takım kenarında aşınmaların daha yoğun olduğunu, kaba işleme için en uygun kesme hızının 130/150 m/dak olduğu tespit edilmiştir. Kesme hızının ve soğutmanın iş parçası metalografisi üzerine etkisinin olmadığını iddia etmişlerdir [106].

Koyee ve arkadaşları, EN 1.4462 ve EN 1.4410 dubleks paslanmaz çelik türlerinin çok katmanlı kaplamalı karbür takımlar kullanarak tornalanmasında, kesme hızı, ilerleme hızı ve işleme koşullarının kesme kuvveti, efektif kesme gücü ve takım aşınması üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kuru ve ıslak işleme koşulları altında gerçekleştirilen çalışma sonunda, ıslak kesme koşulunun kuru kesme koşuluna göre kesme kuvveti, efektif kesme gücü ve kesici takım maksimum yanak aşınmasını azaltarak daha iyi sonuç verdiği ifade edilmiştir [107].

Memiş yapmış olduğu tez çalışmasında, 1.4462 dubleks paslanmaz çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine etkilerini incelemiştir. Deneysel çalışma sonucunda, düşük ilerleme hızında yüzey pürüzlülüğünün ve kesme kuvvetlerinin azaldığı, ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün ve kesme kuvvetlerinin de artışa geçtiğini tespit etmiştir. Kesme hızının artması ise kesme kuvvetlerinde azalmaya yol açtığını belirtmiştir [40].

Sonawane ve Sargade, AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin kuru kesme şartı altında PVD kaplamalı kesici takımlarla tornalanmasında kesme parametrelerinin kesici takım burun aşınması, takım ömrü ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. AlTiCrN kaplamalı kesici takımın, kaplanmamış kesici takıma göre 5 kat uzun takım ömrü göstermiş olduğunu ve yüzey pürüzlülük değerlerinin daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir [42].

Mavi ve Uzun, 1.4462 dubleks paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesme parametreleri ve kesici takım talaş açısının işleme performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Tornalama deneylerinde PVD yöntemiyle TiAlN kaplamalı kesici takımların kullanıldığı deneysel çalışma sonucunda, esas kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonucun 0,75 mm kesme derinliğinde, 0,225 mm/dev ilerleme hızı ve SMR talaş kırıcı formuna sahip kesici takım ile sağlandığını ifade etmişlerdir [2].

Krolczyk ve arkadaşları, dubleks paslanmaz çeliğinin kuru ve soğutma/yağlama koşulları altında tornalanmasında, üç farklı karbür kesici takım kullanarak iş parçası yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve kesici takım ömrünü incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre finiş kesici takım kalitesiyle birlikte, kuru işleme şartlarının, soğutma/yağlama şartlarına göre kesici takım ömründe üç kata yakın iyileşmeler sağladığını iddia etmişlerdir. Ayrıca düşük ilerleme hızı ve yüksek kesme hızlarında enerji tüketiminin minimize edilebileceğini ve böylelikle enerji tüketiminin azaltılarak işleme verimliliğinin artırılabilirliğini belirtmişlerdir [108].

Rajaguru ve Arunachalam, PVD ve CVD yöntemiyle kaplanmış dört farklı kesici takımla süper dubleks paslanmaz çeliğinin kuru kesme şartları altında tornalanmasında, kesici takım aşınması, kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve iş parçası yüzey kalitesini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, kesici takım aşınması, kesme kuvveti ve iş parçası yüzey kalitesi üzerine en iyi performansı [MT-TiCN]-Al₂O₃ en kötü performansı ise TiN-[MT-TiCN]-Al₂O₃ kaplamalı kesici takımın gösterdiğini ifade etmişlerdir [109].

Oliveira Junior ve arkadaşları, süper dubleks paslanmaz çeliğinin yüksek basınçlı soğutma koşulları altında tornalanmasında, kesme hızı ve işleme koşullarının kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, PVD kaplı kesici takım ile yüksek basınçlı soğutma koşulları altında dubleks paslanmaz

çeliğinin tornalanmasında en iyi kesici takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca deneyler sırasında en çok karşılaşılan kesici takım aşınma mekanizmasının çentik aşınması olduğunu da vurgulamışlardır [110].

Bordinassi ve arkadaşları, süper dubleks paslanmaz çeliğinin tornalanmasında kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve soğutma koşullarının, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre; en iyi yüzey pürüzlülük değerlerini 110 m/dak kesme hızında, 0,1 mm/dev ilerleme hızında ve 0,5 mm kesme derinliğinde ulaştıklarını ifade etmişlerdir [111].

Bagherzadeh yapmış olduğu tez çalışmasında, işlenebilirliği zor Ti6Al4V ve Inconel 718 malzemelerin MMY, CO₂ ve CMMY gibi farklı soğutma/yağlama koşulları altında tornalanmasında, kesici takım aşınması, iş parçası yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve talaş oluşumlarını inceleyerek işleme verimliliklerini araştırmıştır. Çalışma sonunda, CMMY soğutma/yağlama koşulları altında gerçekleştirilen deneylerde, diğer soğutma/yağlama koşullarına göre daha uzun takım ömrü ve daha iyi iş parçası yüzey kalitesi elde edildiğini iddia etmiştir [112].

Danish ve arkadaşları, AZ31C magnezyum alaşımlı malzemenin kuru ve kriyojenik soğutma koşulları altında tornalanmasında, kesme bölgesindeki sıcaklığın etkilerini sonlu elemanlar analizi ve deneysel çalışma yardımıyla tespit etmişlerdir. Tornalama deneyleri sonucunda, kriyojenik soğutma koşullarının kesme bölgesindeki sıcaklığı, kuru işlemeye göre önemli ölçüde azalttığını ve kesici takım yüzeyindeki en yüksek sıcaklığa ait olan izotermal bölge de yaklaşık %42 oranında azalma olduğunu ifade etmişlerdir [113].

Sivaiah ve Chakradhar yaptıkları çalışmada, 17-4 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında kriyojenik soğutma koşullarının kesme sıcaklığı, kesici takım yan yüzey yanak aşınması, talaş uzaklaştırma oranı, yüzey pürüzlülüğü, yüzey topografyası ve mikro sertliği üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kesme bölgesine soğutmayı, Model 1 ve Model 2 olarak iki farklı şekilde uygulamışlardır. Model 1’de kesici takım üzerinden kesici takıma daha yakın üst ve alt noktadan, Model 2’de ise harici nozul ile takım ile talaş arasına sıvı azot göndermişlerdir. 17-4 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında Model 1 nozulu, harici Model 2 nozula göre tüm seviyelerde işleme verimliliğini önemli ölçüde geliştirdiğini ifade etmişlerdir [114].

Dhananchezian yaptığı çalışmada, Hastelloy C-276 süper alaşım malzemesinin PVD yöntemiyle çok katmanlı TiAlN kaplanmış kesici takımlar ile tornalanmasında kuru ve kriyojenik soğutma yöntemlerinin kesme sıcaklığı, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve takım morfolojisi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Sıvı azotun kullanılmasıyla kesme bölgesindeki sıcaklığını %61-68, kesme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülüğünün %8-33 oranında azaldığını belirtmiştir. Çalışma sonunda, Hastelloy C-276 malzemesinin tornalanmasında kriyojenik işleme performansının kuru işlemeye göre daha iyi sonuçlar gösterdiğini iddia etmiştir [115].

Çelik ve Kıvak yaptıkları çalışmada, 17-4 PH paslanmaz çeliğinin MMY koşulları altında tornalanmasında farklı kesme yağları ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deney tasarımı için Taguchi metodu kullanılmış olup kontrol faktörlerinin etki seviyelerinin belirlenmesinde varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkili parametrenin kesme sıvısı türü olduğunu ifade etmişlerdir [116].

Park ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Ti-6Al-4V titanyum alaşımının frezelenmesinde ıslak, NanoMMY, dıştan kriyojenik soğutma, içten kriyojenik soğutma ve NanoMMY+içten kriyojenik soğutma/yağlama koşullarının, takım aşınması ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarından elde ettikleri verilere göre, NanoMMY+içten Kriyo soğutma koşulunun ıslak kesme koşuluna göre kesici takım ömründe %32 iyileşme sağladığını ve kesme kuvvetlerinde ciddi azalmaların olduğunu belirtmişlerdir [117].

Kaynak yaptığı çalışmada, Inconel 718 süper alaşımının tornalanmasında, kuru, MMY ve kriyojenik kesme koşullarının, kesme kuvveti, takım aşınması, kesme sıcaklığı, talaş morfolojisi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, kriyojenik soğutma koşulları altında, kesme bölgesindeki sıcaklığın düştüğünü, kesici takım aşınmasının azaldığını ve iş parçası yüzey kalitesinin iyileştiğini ifade etmiştir [118].

Zhang ve arkadaşları, H13 çeliğinin üç farklı soğutma kanalına sahip kesici takım kullanarak frezelenmesinde, MMY ve kriyojenik+MMY soğutma/yağlama koşullarının, kesme kuvveti ve takım aşınması üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına

göre, kriyojenik+MMY kesme koşulunun, kesme kuvveti değerlerini azalttığını, kesici takım ömründe artışlar sağladığını belirtmişlerdir [119].

Shokrani ve arkadaşları, Ti-6Al4V malzemesinin kriyojenik ve MMY koşulları altında frezelenmesinde, farklı kesme parametrelerinin, kesici takım ömrü, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kriyojenik+MMY soğutma/yağlama koşulunun, konvansiyonel soğutma sistemine karşı %50 oranında iyileşme sağladığını ve daha uzun kesici takım ömrü elde edildiğini ifade etmişlerdir [120].

Sivaiah ve Chakradhar, 17-4 PH paslanmaz çeliğinin kuru, konvansiyonel soğutma/yağlama, MMY ve kriyojenik soğutma koşulları altında tornalanmasında, işleme parametrelerinin kesme sıcaklığı, kesici takım aşınması, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve talaş morfolojisi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre; 17-4 PH paslanmaz çeliğinin tornalanmasında kriyojenik soğutma koşullarının diğer soğutma/yağlama koşullarına göre tüm parametrelerde daha verimli sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [121].

Sun ve arkadaşları, Ti-5553 alaşımının konvansiyonel, MMY ve kriyojenik soğutma koşulları altında tornalanmasında, kesme kuvveti, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınmasını incelemişlerdir. Deneysel çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre; kriyojenik soğutma koşulunun, konvansiyonel ve MMY soğutma koşuluna göre kesme kuvvetinde %30'a varan azalma, daha iyi yüzey pürüzlülüğü ve daha uzun kesici takım ömrü sağladığını ifade etmişlerdir [122].

Jamil ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Ti-6Al-4V malzemesinin kriyojenik (CO₂) ve hibrit NanoMMY (Al₂O₃ ve MWCNT) koşulları altında tornalanmasında, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deney tasarımı için Taguchi L9 ortogonal dizini kullanılmış, girdi parametresi; kesme hızı, ilerleme hızı ve soğutma tekniğini belirlemişlerdir. Hibrit NanoMMY soğutma, kriyojenik soğutma koşuluna göre yüzey pürüzlülüğü %8,72, kesme kuvveti değerlerini ise %11,8 azalttığı ve kesici takım ömrünü %23 oranında artırdığını belirtmişlerdir. Kesme bölgesindeki sıcaklık değerlerini ise kriyojenik soğutma koşulunun hibrit NanoMMY soğutma koşuluna göre %11,2 oranında azalttığını belirtmişlerdir [123].

7.1. LİTERATÜR DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma kapsamında yapılan literatür araştırması sonucunda, aşağıdaki soğutma yağlama yöntemleri incelenmiştir;

- Kuru,
- Konvansiyonel,
- MMY,
- NanoMMY,
- Hibrit NanoMMY,
- Kriyojenik,
- Kriyojenik+MMY
- Kriyojenik+NanoMMY,
- Kriyojenik+Hibrit NanoMMY.

Literatürde yapılan çalışmalarda araştırmacılar ise şu sonuçlara varmışlardır.

- MMY koşullarının, kuru ve konvansiyonel işleme koşullarına göre, kesme sıcaklığı, kesici takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünde iyileşmeler sağladığı belirtilmiştir.
- MMY sisteminde kullanılan kesme sıvılarına yağlayıcı özellikli nano boyutlardaki katı partiküllerin eklenmesiyle, termal iletim katsayılarının arttığı, kesme kuvveti değerlerinin ise azaldığı ifade edilmiştir.
- Genelde CO₂ ve LN₂ sıvı halde kullanıldığı kriyojenik soğutma olarak adlandırılan, soğutma sayesinde kesme bölgesinde oluşan ısının ciddi oranda azaltıldığı yapılan çalışmalarda vurgulanmıştır. Kriyojenik soğutma kullanılarak gerçekleştirilen işlenebilirlik çalışmalarında takım ömründe ciddi artışların olduğu bildirilmesine karşın, aşırı soğutmanın iş parçasının gevrekleşmesine neden olduğu ve ürün kalitesini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir.
- Kriyojenik soğutmada her ne kadar kesme bölgesindeki sıcaklık düşük mertebelerde oluşsa da yağlayıcılık özelliği düşük olduğundan yüzey kalitesi düşük ve kesici takımda aşınma mekanizmaları ise hızla gelişebilmektedir. Yapılan Kriyojenik+MMY çalışmalarında kesici takım ömründe Kriyojenik soğutmaya kıyasla ciddi iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir.

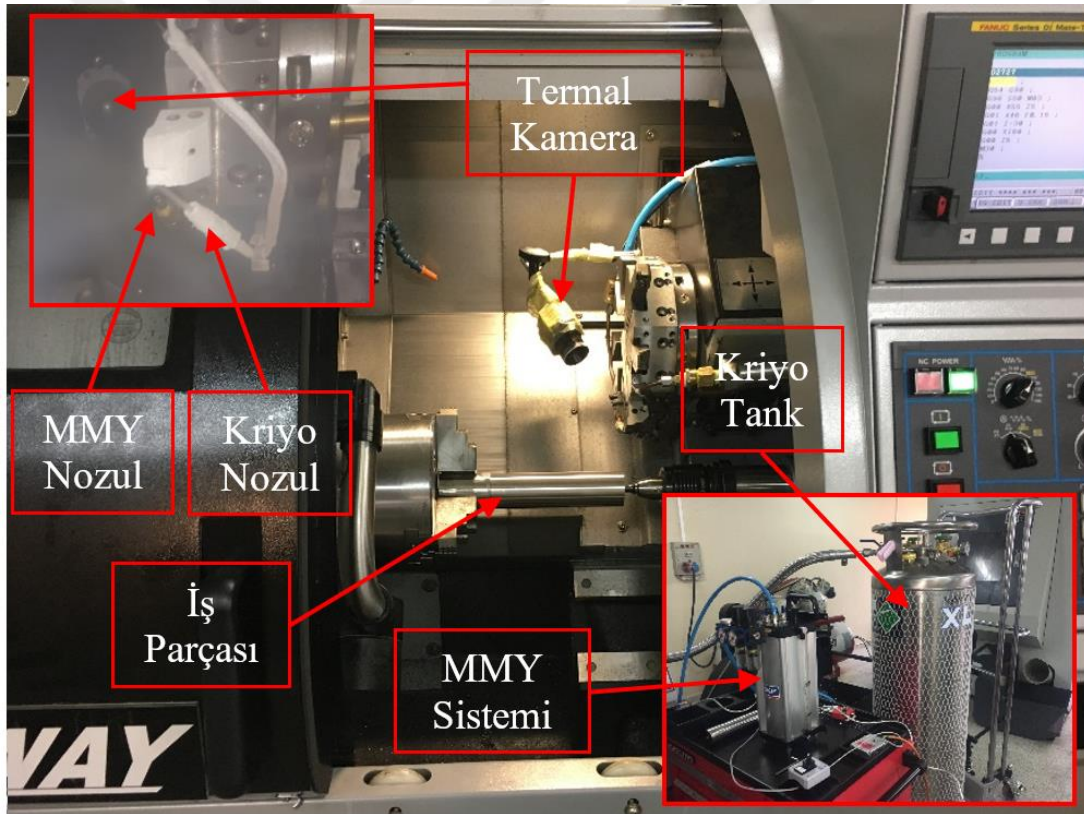
Literatürde yapılan tüm bu araştırmalar genel olarak değerlendirildiğinde ise AISI 2507 dubleks paslanmaz çeliğinin, kriyojenik+MMY koşulları altında tornalanmasında henüz bir çalışmaya rastlanmadığı görülmüştür.

Bu alışmada, AISI 2507 dubleks paslanmaz çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin ve kesme koşullarının (MMY, kriyojenik ve kriyojenik+MMY) yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları üzerindeki etkileri deneysel ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Optimum işleme koşullarının belirlenmesi amacıyla, Taguchi optimizasyon tekniği kullanılarak deney tasarımları yapılmıştır. Ayrıca, kontrol faktörlerinin etki seviyelerinin belirlenmesi amacıyla da varyans analizi (Anova) kullanılmıştır.



8. MALZEME VE METOT

Bu çalışmada, AISI 2507 (1.4410) dubleks paslanmaz çeliğinin tornalanmasında, kesme parametrelerinin ve soğutma/yağlama şartlarının, kesme sıcaklığı (T) ve yüzey pürüzlülüğü (R_a), üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla MMY, Kriyo ve Kriyo+MMY şeklinde üç farklı soğutma/yağlama sistemi ile deneyler gerçekleştirilmiştir. İşleme parametrelerinin optimizasyonunda Taguchi metodu kullanılarak, parametrelerin kalite karakteristikleri üzerinde etkilerini belirlemek amacı ile Varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Deney seti kurulumu Şekil 8.1’de gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Deney seti.

8.1. İŞ PARÇASI

Tornalama deneylerinde Ø50x250 mm ebatlarında AISI 2507 dubleks paslanmaz çeliği kullanılmıştır. Deney malzemesine herhangi bir ısıl işlem yapılmamış olup, malzemeye

ait kimyasal bileşim Çizelge 8.1’de ve mekanik özellikleri Çizelge 8.2’de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Dupleks paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşimi					
Kalite	C (%)	N (%)	Mo (%)	Cr (%)	Ni (%)
EN 1.4410 UNS S32750 F53	max 0,03	0,24~0, 32	3~5	24~26	6~8

Çizelge 8.2. Dupleks paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri.

Mekanik Özellikleri			
Akma Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Kopmadaki Uzama	Sertlik (HB)
min 550	min 800	min %25	max 310

8.2. TAKIM TEZGÂHI

Tornalama deneyleri, Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği bünyesinde bulunan 4500 dev/dak maksimum devre sahip Accuway marka JT150 model CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan tezgâhın görseli Şekil 8.2’de, teknik özellikleri ise Çizelge 8.3’de verilmiştir.



Şekil 8.2. Accuway JT 150 CNC torna tezgâhı.

Çizelge 8.3. Accuway JT 150 CNC tezgâhın teknik özellikleri.

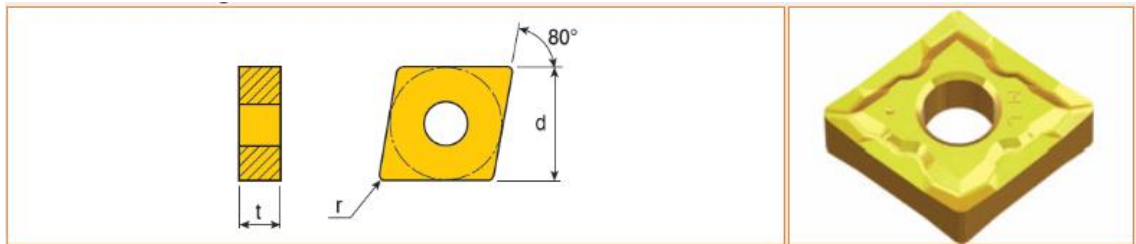
Tezgâh gücü	7,5 kW
Maksimum devir sayısı	4500 dev/dak
Kesici bağlama hane sayısı	8
İşletim sistemi	Fanuc OT
Maksimum döndürme çapı	Ø350
Maksimum döndürme uzunluğu	320
Ölçü Hassasiyeti	0,001 mm

8.3. KESİCİ TAKIM

Tornalama deneylerinde TaeguTec marka CNMG 120408 ML kodlu, TT8020 kalite, 4-6 µm kalınlığında PVD yöntemiyle TiCN kaplanmış karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Çizelge 8.4'te kesici takıma ait teknik özellikler, Şekil 8.3'te ise boyutsal ölçüler verilmiştir.

Çizelge 8.4. Kesici takıma ait teknik özellikler.

Kaplama Metodu	Kaplama Malzemesi	Talaş Kırıcı	Kalite (ISO)	Kaplama Kalınlığı (µm)	Sertlik (HRA)
PVD	TiCN	ML	TT8020	4-6	90



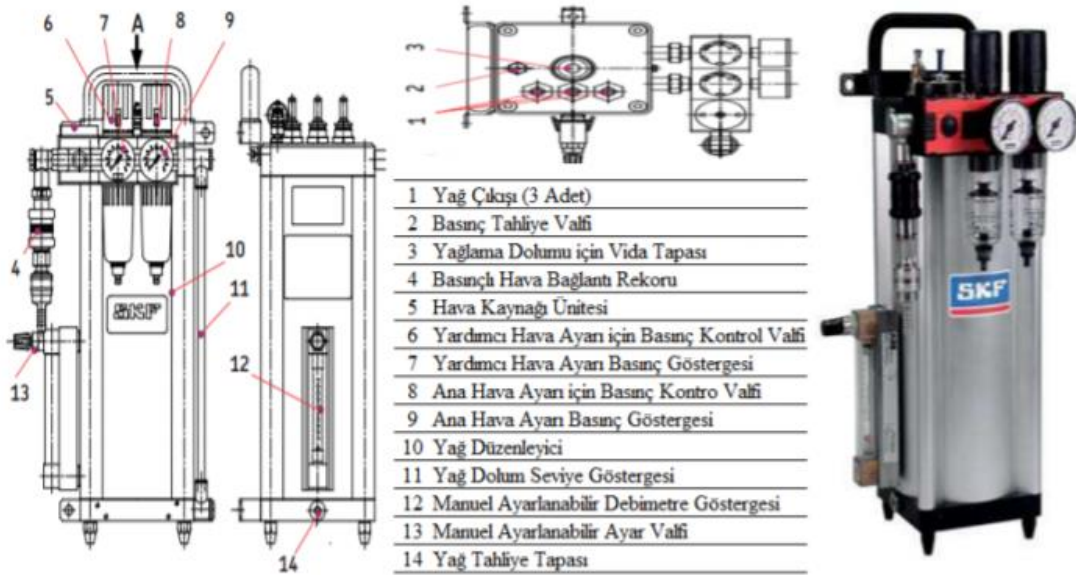
d	t	R
12.70	4.76	0.80

Şekil 8.3. CNMG 120408 ML kesici takım.

8.4. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MMY) SİSTEMİ

MMY deneylerinde, SKF marka LubriLean-Vario model minimum miktarda yağlama (MMY) sistemi kullanılmıştır. MMY sistemi, Şekil 8.4, teknik özellikleri ise Çizelge 8.5'te verilmiştir. Deneylerde 2 mm çapındaki nozul ile dışarıdan uygulanmış, nozul

mesafesi 25 mm ve nozul açısı 30° olarak tüm deneylerde sabit tutulmuştur.



Şekil 8.4. MMY Sistemi.

Çizelge 8.5. SKF Lubrilean-Vario teknik özellikleri.

İşleme Metotları	Tornalama, Frezeleme, Delme
Tatbik Şekli	İç veya Dış
Kapasite	1,8 Litre
Çalışma Basıncı	4-10 Bar
Yağ Miktarı	1-150 ml/saat
Hava Tüketimi	15-300 NI/dak
Çıkış Bağlantı Nokta Sayısı	1-3

8.5. KRİYOJENİK SOĞUTMA SİSTEMİ

Kriyojenik soğutma deneylerinde, Likit azot (LN2), 133 kg kapasiteli Taylor Wharton marka XL-45 HP model sıvı azot tankı kullanılarak, esnek vakum ceketli hortumlar vasıtasıyla kesme bölgesine dışarıdan tatbik edilmiştir. Tüm deneylerde sistem basıncı 15 bar, nozul mesafesi 25 mm ve nozul açısı 30° olarak sabit tutulmuştur. Kriyojenik soğutma deneylerinde kullanılan yüksek basınçlı sıvı azot tankı Şekil 8.5'te, teknik özellikleri ise Çizelge 8.6'da gösterilmiştir.



Şekil 8.5. Taylor WhartonXL-45 HP sıvı azot tankı.

Çizelge 8.6. Taylor WhartonXL-45 HP sıvı azot tankı teknik özellikleri.

Çalışma basıncı	15,9 bar	
Test basıncı	22 bar	
Kapasite	176 Litre	
Sıvı Gazlar	0 Bardaki Sıcaklık	Net Ağırlık
Oksijen	-183 °C	191 kg
Azot	-196 °C	135 kg
Argon	-186 °C	229 kg

8.6. KESME YAĞI

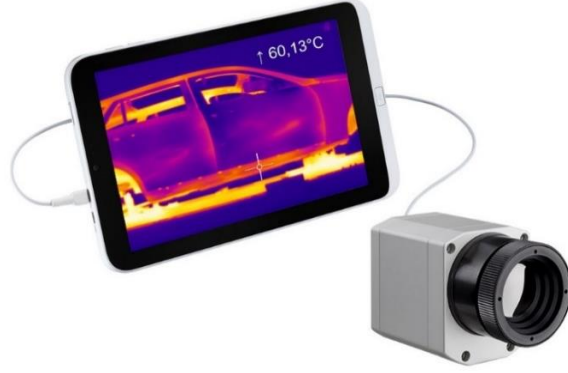
MMY deneylerinde kesme yağı olarak, Cuttex SYN 5 (Belgin Oil) bitkisel esaslı kesme yağı kullanılmıştır. Kesme yağı, üstün yağlama ve ısı taşıma kapasitesine sahip olup klor ve ağır metal içermeyen biyolojik olarak doğada çözülebilen çevre dostu özelliklere sahiptir. Deneylerde kullanılan bitkisel esaslı kesme yağına ait teknik özellikler Çizelge 8.7’de verilmiştir.

Çizelge 8.7. Cuttex SYN 5 kesme yağı özellikleri.

Kinematik Viskozitesi (40°C, cst)	5
Kırılma İndisi (nD20)	1,46
Parlama Noktası (°C, min)	170
Bakır Korozyonu (3h,100 °C)	1a

8.7. KESME SICAKLIĞININ ÖLÇÜLMESİ

Kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın maksimum değerinin ölçülmesinde OPTRIS marka PI 450 model kızılötesi termal kamera kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan termal kameraya ait görsel Şekil 8.6’da, teknik özellikler ise Çizelge 8.8’de verilmiştir.



Şekil 8.6. Optris PI 450 termal kamara.

Çizelge 8.8. PI 450 termal kamera teknik özellikleri.

Model	PI 450
Sıcaklık Aralığı	-20°C ile 900°C
Spektral Aralık	7,5-13 μ m
Çerçeve Hızı	80 Hz
Termal Hassasiyet	40 mK yüksek termal hassasiyeti
Optik Çözünürlük	382x288 piksel detektör
Ağırlık	320 gr
Boyut	46x56x90 mm

8.8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TOPOGRAFYASININ ÖLÇÜLMESİ

Tornalama deneylerinde işlenen yüzeylerin, ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerlerinin ölçülmesinde MAHR marka MarSurf PS10 model taşınabilir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri ölçümlerinde, ölçme uzunluğu 4 mm örneklem uzunluğu 0,08 μ m alınmıştır. İşlenmiş her yüzeyin üç farklı noktasından ölçüm alınarak, ortalama değerleri değerlendirmeye alınmıştır. Şekil 8.7’de ölçüm cihazının görseli, Çizelge 8.9’de ise teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 8.7. MarSurf PS10 taşınabilir yüzey ölçüm cihazı.

Çizelge 8.9. MarSurf PS10 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri.

Model	PS 10
Ölçme Kuvveti	0,7 mN
Ölçme Prensibi	Tarama Ucu Yöntemi
Girdi	Endüktif Destekli Prob
Ölçüm Aralığı (mm)	350 µm, 180 µm, 90 µm
Profil Çözünürlüğü (nm)	32 nm, 16 nm, 8 nm
Uç Malzemesi	Elmas
İğne Uç Yarı Çapı	2 µm
Örnekleme Uzunluğu Sayısı	1-5
Hareket Uzunluğu (mm)	1, 2, 4, 8, 12, 16
Hareket Değerlendirme Uzunluğu (mm)	1,25 – 4,0 – 12,5
Ölçülebilen Parametreler	Ra, Rz, Rmax
Kalibrasyon İşlevi	Dinamik
Ağırlık (gr)	500
Boyutlar (mm)	160 x 77 x 55

Soğutma yağlama koşullarının yüzey topografyası üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla Phase view marka optik profilometre cihazı kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan cihaza ait görsel Şekil 8.8’de verilmiştir.



Şekil 8.8. Yüzey topografyası için kullanılan cihaz.

8.9. TAGUCHİ OPTİMİZASYON YÖNTEMİ

Taguchi Metodu optimum kesme koşullarının belirlenebilmesi adına zamandan ve maliyetten tasarruf sağlayan, basit, uygulanabilir ve sistematik bir yaklaşım sunan optimizasyon yöntemidir [124]. Bu çalışmada Taguchi ortogonal dizilimli L_{27} deney tasarımı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, bitmiş ürünün tribolojik özellikleri, yorulma dayanımı ve görünümünü etkileyen önemli bir işlenebilirlik parametresidir. Kesme sıcaklığı ise hem kesici takım ömrünü hem de iş parçası yüzey kalitesini etkileyebilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığını etkileyen birçok işleme parametresi vardır. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığına doğrudan etki eden, işleme parametrelerinin optimize edilmesi son derece önem arz etmektedir. Bu çalışmada; Taguchi yönteminde kalite karakteristiği olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı dikkate alınmış olup S/N oranları kullanılarak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Soğutma Yağlama Yöntemi (SYY), kesme hızı ve ilerleme hızının ise kontrol faktörü olarak belirlendiği çalışmada, kontrol faktörleri ve seviyeleri Çizelge 8.10'da Taguchi L_{27} deney tasarımı Çizelge 8.11'de verilmiştir.

Çizelge 8.10. Kontrol faktörleri ve seviyeleri.

Sembol	Kontrol Faktörleri	Birim	Seviyeler		
			1	2	3
A	Soğutma Yağlama Yöntemi	SYY	MMY	Kriyo	Kriyo+MMY
B	Kesme Hızı (Vc)	m/dak	80	120	160
C	İlerleme (f)	mm/dev	0,16	0,20	0,24

Taguchi metodu ile zamandan tasarruf edilerek, çok sayıda deney yapmadan, kesme şartlarının, yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıklarına etkisi incelenerek optimum işleme şartları belirlenmeye çalışılmıştır. Gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarının değerlendirilmesinde sinyal/gürültü oranı kullanılmıştır. Aynı zamanda kalite karakteristiklerine etki eden parametrelerin optimizasyonu için Varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır. Oluşturulan regresyon denklemleri aracılığıyla bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Çizelge 8.11. Taguchi L₂₇ ortogonal dizisi.

Deney No	Değişkenler	Sembol A	Sembol B	Sembol C
1	A ₁ B ₁ C ₁	1	1	1
2	A ₁ B ₁ C ₂	1	1	2
3	A ₁ B ₁ C ₃	1	1	3
4	A ₁ B ₂ C ₁	1	2	1
5	A ₁ B ₂ C ₂	1	2	2
6	A ₁ B ₂ C ₃	1	2	3
7	A ₁ B ₃ C ₁	1	3	1
8	A ₁ B ₃ C ₂	1	3	2
9	A ₁ B ₃ C ₃	1	3	3
10	A ₂ B ₁ C ₁	2	1	1
11	A ₂ B ₁ C ₂	2	1	2
12	A ₂ B ₁ C ₃	2	1	3
13	A ₂ B ₂ C ₁	2	2	1
14	A ₂ B ₂ C ₂	2	2	2
15	A ₂ B ₂ C ₃	2	2	3
16	A ₂ B ₃ C ₁	2	3	1
17	A ₂ B ₃ C ₂	2	3	2
18	A ₂ B ₃ C ₃	2	3	3
19	A ₃ B ₁ C ₁	3	1	1
20	A ₃ B ₁ C ₂	3	1	2
21	A ₃ B ₁ C ₃	3	1	3
22	A ₃ B ₂ C ₁	3	2	1
23	A ₃ B ₂ C ₂	3	2	2
24	A ₃ B ₂ C ₃	3	2	3
25	A ₃ B ₃ C ₁	3	3	1
26	A ₃ B ₃ C ₂	3	3	2
27	A ₃ B ₃ C ₃	3	3	3

9. DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada, AISI 2507 süper dubleks paslanmaz çelik malzemesinin tornalanmasında soğutma/yağlama şartlarının ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenerek optimum işleme şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Taguchi L_{27} ortogonal dizini kullanılarak deney tasarımı yapılmış ve bu tasarıma göre deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgu ve sonuçlar iki aşamada değerlendirilmiştir. İlk önce yüzey pürüzlülüğü sonuçları değerlendirilmiş olup daha sonra kesme sıcaklığı sonuçları değerlendirilmiştir.

9.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN OPTİMİZE EDİLMESİ

Bu aşamada Taguchi L_{27} ortogonal dizinine göre yapılan deneyler sonucunda kesme parametrelerinin (kesme hızı ve ilerleme hızı) ve soğutma/yağlama şartlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

9.1.1. S/N Oranı Analizleri

Taguchi yöntemi kalite özelliklerini belirlerken bazı fonksiyonlar kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar ise elde edilen verileri sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürmektedir. S/N oranının elde edildiği fonksiyon denklemi üç farklı şekilde seçilebilmektedir. Bunlar; “en büyük en iyidir”, “nominal en iyidir” ve “en küçük en iyidir” amaç fonksiyonlarıdır [125]. Yüzey pürüzlülüğünün düşük olması beklendiğinden bu çalışmada “en küçük en iyidir” amaç fonksiyonu kullanılmış olup deneysel formül Denklem (9.1)’de verilmiştir.

$$\eta = S/N_S = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (9.1)$$

Denklemden n gözlem sayısını, y ise gözlenen verileri ifade etmektedir. Çizelge 9.1’de deneysel çalışma sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve bunlara karşılık gelen S/N oranları verilmiştir.

Çizelge 9.1. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ve S/N oranları.

Den. No	A Soğutma Yağlama Yöntemi	B Kesme Hızı (V) (m/dak)	C İlerleme hızı (f) (mm/dev)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)(μm)	Yüzey Pürüzlülüğü S/N Oranı (dB)
1	MMY	80	0,16	1,130	-1,06157
2	MMY	80	0,20	1,585	-4,00059
3	MMY	80	0,24	2,547	-8,12058
4	MMY	120	0,16	1,278	-2,13062
5	MMY	120	0,20	1,603	-4,09867
6	MMY	120	0,24	2,067	-6,30681
7	MMY	160	0,16	1,256	-1,97979
8	MMY	160	0,20	1,737	-4,79600
9	MMY	160	0,24	2,241	-7,00884
10	Kriyo	80	0,16	1,182	-1,45235
11	Kriyo	80	0,20	2,158	-6,68103
12	Kriyo	80	0,24	2,861	-9,13036
13	Kriyo	120	0,16	1,423	-3,06410
14	Kriyo	120	0,20	1,790	-5,05706
15	Kriyo	120	0,24	2,512	-8,00039
16	Kriyo	160	0,16	1,406	-2,95971
17	Kriyo	160	0,20	1,792	-5,06676
18	Kriyo	160	0,24	2,113	-6,49799
19	Kriyo+MMY	80	0,16	1,007	-0,06059
20	Kriyo+MMY	80	0,20	1,575	-3,94561
21	Kriyo+MMY	80	0,24	2,471	-7,85745
22	Kriyo+MMY	120	0,16	1,217	-1,70581
23	Kriyo+MMY	120	0,20	1,523	-3,65400
24	Kriyo+MMY	120	0,24	1,995	-5,99886
25	Kriyo+MMY	160	0,16	1,151	-1,22151
26	Kriyo+MMY	160	0,20	1,439	-46,0206
27	Kriyo+MMY	160	0,24	2,026	-46,6891

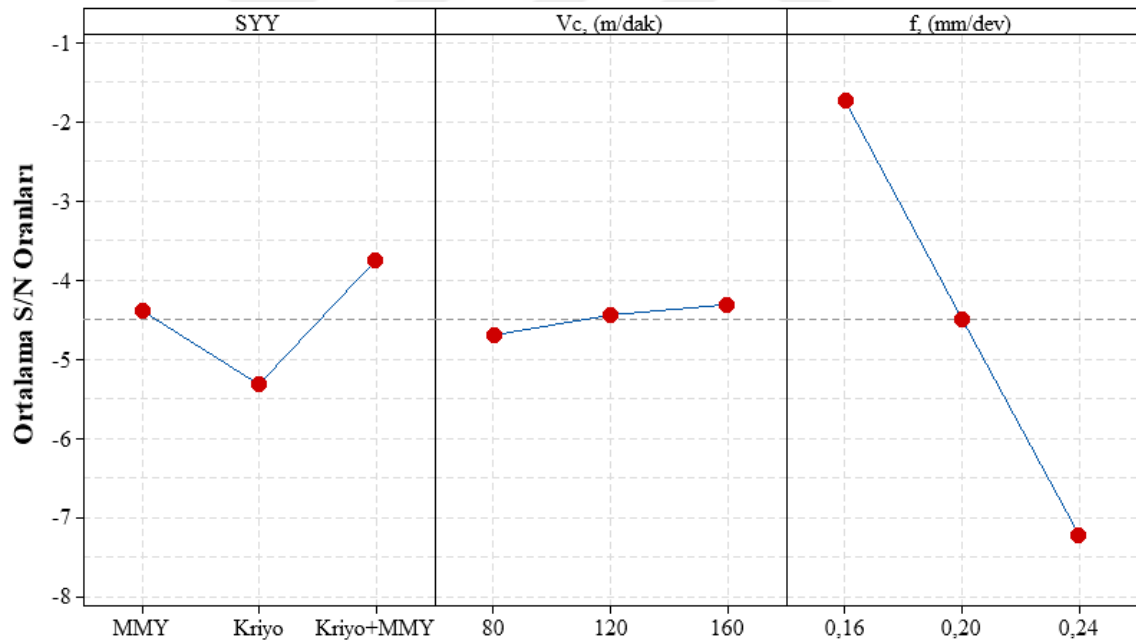
Taguchi tekniğinde kalite karakteristiklerin optimum seviyelerinin elde edildiği faktörler bu faktörlere ait seviyeler S/N yanıt tablosu ile belirlenmektedir. Yapılan çalışmada kalite karakteristiklerinden biri olan yüzey pürüzlülüğüne ait S/N yanıt tablosu Çizelge 9.2’de verilmiştir. Bu tabloda S/N oranının en yüksek olduğu değer o faktöre ait optimum seviyeyi göstermektedir.

Çizelge 9.2. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu.

Seviyeler	Kontrol Faktörleri		
	Soğutma Yağlama Yöntemi	Kesme Hızı (Vc) (m/dak)	İlerleme (f) (mm/dev)
	A	B	C
1	-4,389	-4,701	-1,737
2	-5,323	-4,446	-4,496
3	-3,749	-4,314	-7,228
Delta	1,575	0,387	5,491

* Koyu ile gösterilen değerler, yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörü optimum koşulları ifade etmektedir.

Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörleri ve bu faktörlere ait optimum seviyeler Şekil 9.1’de verilmiştir. Çizelge 9.2 ve Şekil 9.1’den elde edilen data'lara göre, optimum yüzey pürüzlülük değerine; A₃, B₃, C₁ seviyelerinde ulaşıldığı sonucuna varılabilir. Diğer bir tanım ile Kriyo+MMY soğutma yağlama yöntemi, 160 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızı yüzey pürüzlülüğün optimum koşullarını oluşturmaktadır.



Şekil 9.1. Yüzey pürüzlülüğü için ortalama S/N etki grafiği.

9.1.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Taguchi L₂₇ ortogonal deney tasarımında kullanılan faktörlerin etki seviyeleri, ANOVA analiziyle belirlenmiştir. Soğutma yağlama yöntemi, kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkilerinin analizi %95 güven seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler ve etki düzeyleri Çizelge 9.3’te verilmiştir.

Çizelge 9.3. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.

Kontrol Faktörü	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Kareler Ortalaması (MS)	F Oranı	P Değeri	Etki Oranı (%)
A	2	0,4564	0,22819	7,12	0,005	6,95
B	2	0,1157	0,05786	1,81	0,190	1,76
C	2	5,3576	2,67878	83,63	0,000	81,54
Hata	20	0,6406	0,03203			9,75
Toplam	26	6,5703				100

Etki oranları hesaplanmasında F oranları kullanılmış olup, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin %81,54 etki oranı ile ilerleme hızı olduğu, onu sırasıyla %6,95 etki oranı ile soğutma yağlama yöntemi ve %1,76 etki oranı ile kesme hızı takip etmiştir. Dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme hızının belirleyici bir role sahip olduğu söylenebilir. Analizde oluşan toplam hatanın ise %9,75 olduğu görülmüştür.

9.1.3. Regresyon Analizi

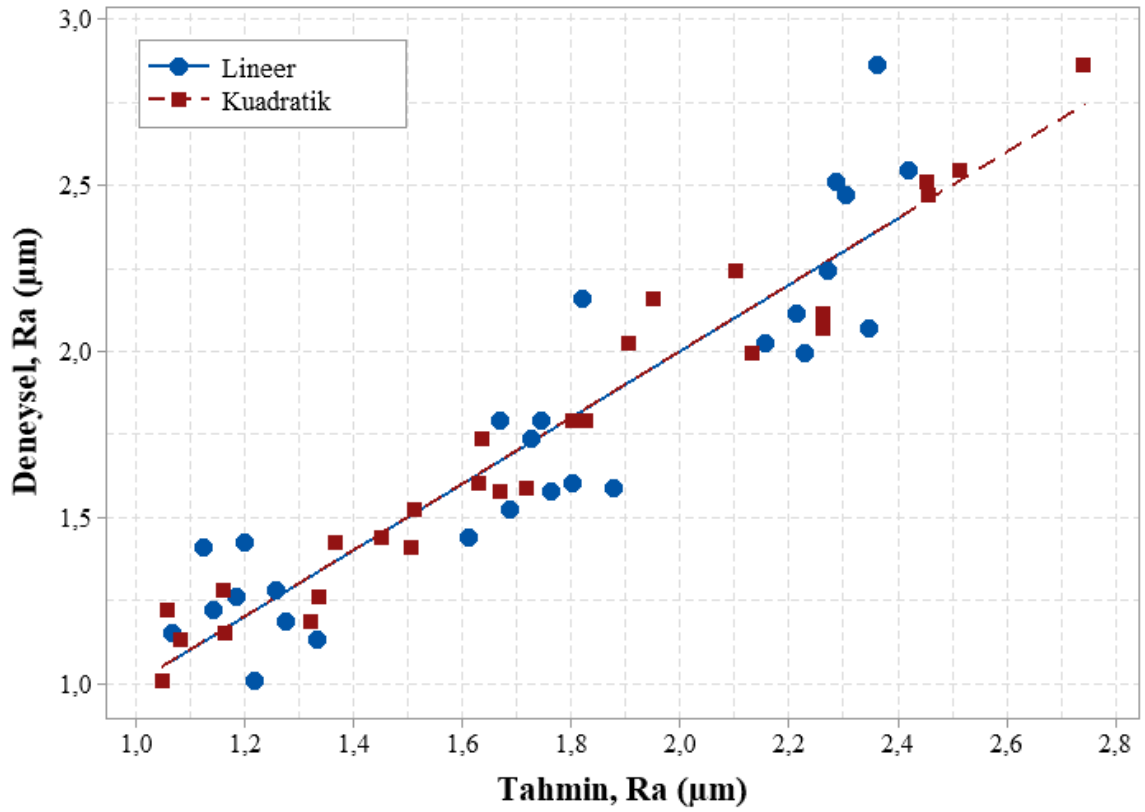
Regresyon analiz yöntemi, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir [126]. Bu çalışmada bağımsız değişkenler soğutma yağlama yöntemi (SYY), kesme hızı (Vc) ve ilerleme hızı (f) olarak, bağımlı değişkenler ise yüzey pürüzlülüğü (Ra) olarak verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için lineer regresyon denklemi Denklem (9.2)'de verilmiştir.

$$Ra = -0.632 - 0.0578 SYY - 0.00188 Vc + 13.59 f \quad (9.2)$$

Elde edilen doğrusal denklemler de elde edilen R² değeri yüzey pürüzlülük için 0,8339 olarak hesaplanmıştır. Gerçek değerle tahmin edilen değer arasındaki farklar lineer denklemde daha fazla olacağından, faktörlerin etkileşimini de kapsayan kuadratik denklemin de hesaplanması gerekmektedir. Yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan kuadratik regresyon denklemi Denklem (9.3)'te verilmiştir

$$Ra = -1.85 + 1.103 SYY + 0.01341 Vc + 5.8 f - 0.2570 SYY*SYY + 0.000030 Vc*Vc + 51.4 f*f - 0.000852 SYY*Vc - 0.154 SYY*f - 0.1038 Vc*f \quad (9.3)$$

Kuadratik denklemle elde edilen R² değeri yüzey pürüzlülük için 0,9551 olarak bulunmuştur. Hem lineer hem de kuadratik regresyon denklemleri için tahmin edilen değerler ile elde edilen deneysel sonuçlar arasındaki karşılaştırma Şekil 9.2'de verilmiştir.



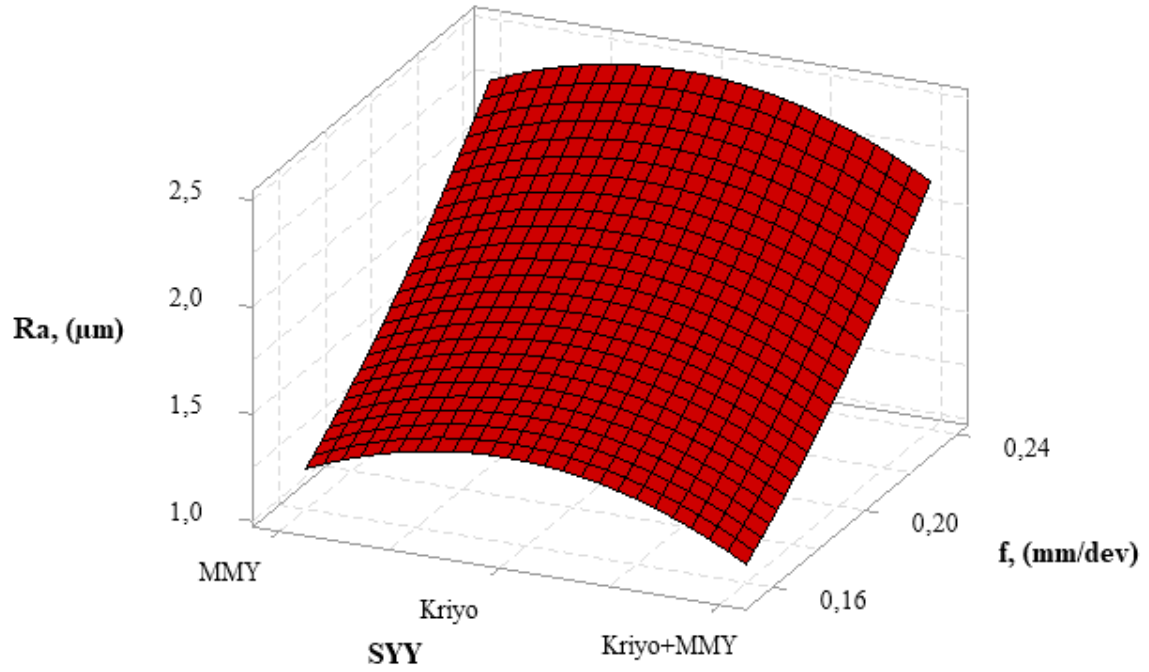
Şekil 9.2. Yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilen/deney sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 9.2 incelendiğinde, tahmin edilen değerlerle gerçek değerler arasındaki en yakın tahmin sonucunun, kuadratik regresyon denklemi ile elde edildiği görülmektedir.

9.1.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

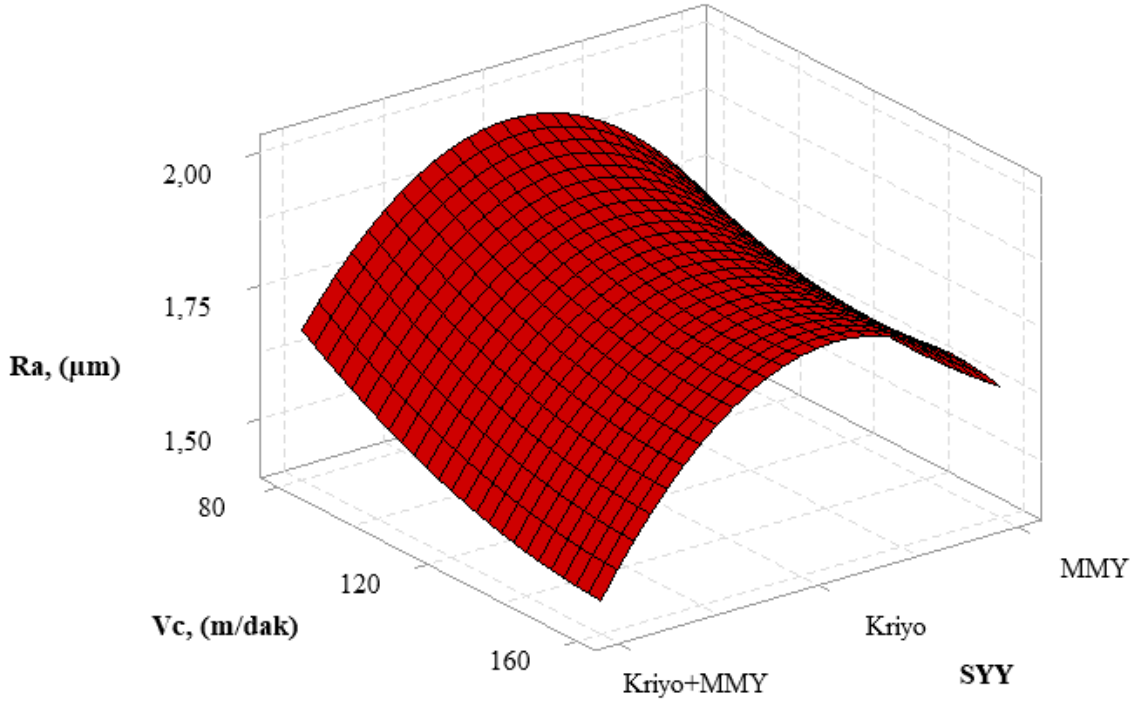
Dubleks paslanmaz çeliğinin tornalama deneyleri sonucunda soğutma yağlama yöntemleri ve kesme parametrelerine (kesme hızı ve ilerleme hızı) bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişimler Şekil 9.3 ve Şekil 9.4'te verilmiştir. Şekil 9.3 incelendiğinde ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin her üç soğutma yağlama yönteminde de belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğünün bir fonksiyonu olduğundan artan değerlerinin yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemesi beklenen bir durumdur. Soğutma/yağlama koşullarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değişimlerine bakıldığında ise en yüksek pürüzlülük değerleri kriyojenik soğutma ile elde edilirken MMY sisteminin yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Ancak en düşük yüzey pürüzlülük değerleri MMY sistemi ve kriyojenik soğutmanın birlikte kullanımı ile elde edilmiştir. MMY sisteminde kullanılan kesme yağının yüksek basınçtaki hava ile aerosol formunda takım-talaş ara yüzeyine nüfuz ederek buradaki sürtünmeyi önemli ölçüde azaltmaktadır. Yüzey

pürüzlülüğü değerlerinin düşmesinde bu sürtünmedeki azalmanın önemli bir etkiye sahip olduğu düşünülmektedir. En yüksek yüzey pürüzlülük değerlerinin kriyojenik soğutma koşulunda elde edilmiş olması kriyojenik soğutmanın yağlama özelliğinin yetersiz kalması ile izah edilebilir. MMY'nın üstün yağlama özelliği ile kriyojenik soğutmanın üstün soğutma özelliğinin kombine edilmesi en düşük yüzey pürüzlülük değerlerin elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 9.3. Soğutma/yağlama yöntemi ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.

Şekil 9.4 incelendiğinde, kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok fazla etkisi olmadığı ancak kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinde bir miktar düşüş gözlenmektedir. Kesme hızının artması ile takım-talaş temas alanındaki azalmanın yüzey pürüzlülük değerlerini bir miktar iyileştirdiği düşünülmektedir. Şekil 9.5 ve Şekil 9.6'dan elde edilen sonuçlar, optimizasyon sonucunda elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermiştir.

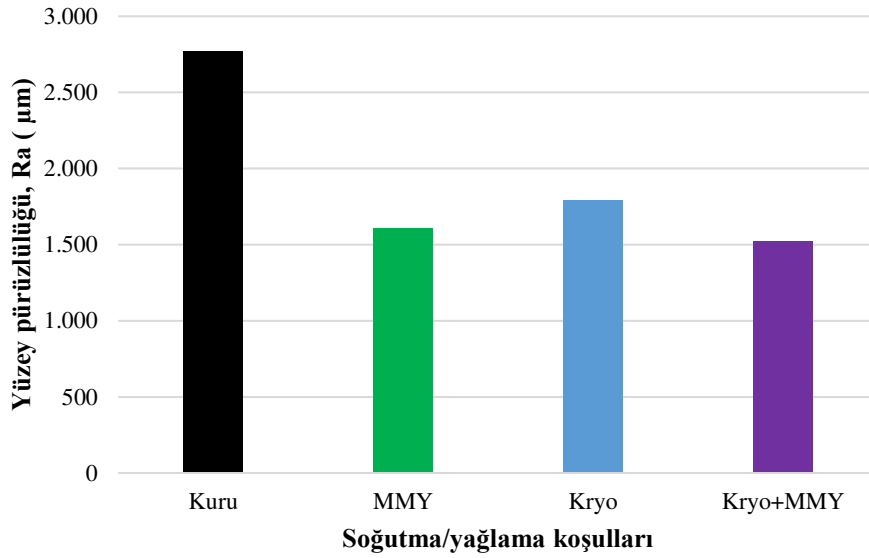


Şekil 9.4. Kesme hızı ve soğutma/yağlama yöntemine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.

9.1.4.1. Yüzey Resimleri ve Topografyası

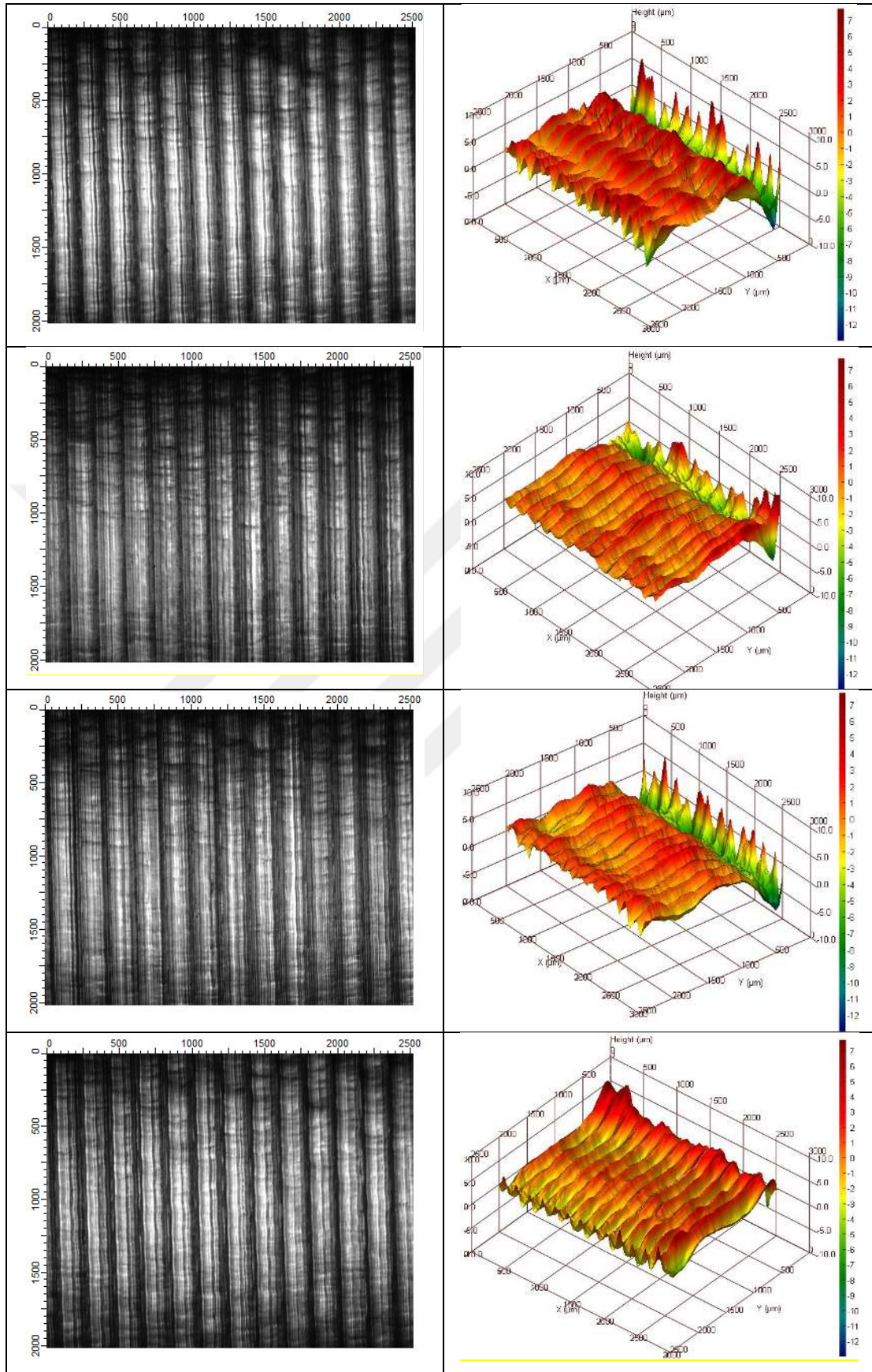
Bu bölümde mevcut deney seti içerisinde yer alan soğutma/yağlama koşullarının kuru kesmeye göre yüzey pürüzlülüğü ve topografyası üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla değerlendirmede orta kesme hızı ve ilerleme hızındaki (120 m/dak ve 0,2 mm/dev) yüzey pürüzlülük değerleri ve yüzey topografyaları dikkate alınmıştır. Şekil 9.5'te soğutma yağlama koşullarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişimler görülmektedir. Kuru kesme koşulunda 2.770 μm olan Ra değeri MMY, Kriyo ve Kriyo+MMY kesme koşullarında sırasıyla 1,603 μm , 1,790 μm ve 1,523 μm olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla kuru kesmeye göre MMY, Kriyo ve Kriyo+MMY kesme koşulları yüzey pürüzlülüğü değerlerinde sırasıyla yaklaşık %42, %35 ve %45 düşüş sağlamıştır. MMY'nin yağlama özelliği ile kriyojenik soğutmanın soğutma özelliğinin kombine edilmesi kuru kesmeye göre yüzey pürüzlülük değerinin düşmesinde etkin rol üstlenmiştir. Burada takım-talaş arasındaki sürtünmenin azaltılması ve kesme bölgesindeki sıcaklığın hızla tahliye edilmesinin yüzey kalitesinin iyileşmesinde etken olduğu düşünülmektedir. MMY'ye göre daha yüksek Ra değeri veren kriyojenik soğutmanın ise kuru kesmeye üstünlük sağladığı görülmüştür. Burada da MMY'ye göre daha zayıf bir yağlayıcılık özelliği olan kriyojenik soğutmanın kesme bölgesindeki

sıcaklığı efektif bir şekilde uzaklaştırmasının kuru kesmeye göre daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmesini sağlamıştır. Nitekim MMY kesme koşuluna göre kriyojenik soğutma ile daha düşük kesme sıcaklığı değerlerinin elde edilmiş olması da bu durumu doğrular niteliktedir.



Şekil 9.5. Soğutma yağlama koşullarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.

Kesme koşullarına bağlı olarak yüzey topografyasında meydana gelen değişimleri gösteren 2D yüzey resimleri ve haritaları Şekil 9.6'da verilmiştir. Kuru kesme koşulunda oldukça belirgin olan işleme izleri soğutma/yağlama koşullarında önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Yüzey haritalarına bakıldığında ise kuru kesme koşulunda yüzey dalga formundaki girinti ve çıkıntıların oldukça büyük olduğu görülmektedir. MMY kesme koşulunda takım-talaş ara yüzeyine nozul vasıtasıyla aerosol formunda püskürtülen kesme yağının etkin bir yağlama sağlamasının yüzey dalga formundaki girinti ve çıkıntıları önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Kriyojenik soğutmanın yağlama noktasında yetersiz kalmasının MMY kesme koşuluna göre yüzey dalgalılığında artışa sebep olduğu Şekil 9.6.c'den açıkça görülmektedir. Ancak kriyojenik soğutmanın kesme bölgesindeki sıcaklığı önemli ölçüde azaltmasının kuru kesme koşuluna göre daha iyi bir yüzey topografyası elde edilmesini sağlamıştır. Kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıklar iş parçası yüzeyinde termal bozulmalara sebep olabilmektedir.



Şekil 9.6. Yüzey resimleri ve topografyaları a) Kuru, b) MMY, c) Kriyo ve d) Kriyo+MMY.

Tüm işleme koşulları içerisinde yüzey topografyası noktasında en iyi sonuç kriyojenik soğutma ile MMY'nin kombine edildiği Kriyo+MMY kesme koşulunda elde edilmiştir. Şekil 9.6.d'den yüzey topografyasındaki girinti ve çıkıntıların önemli ölçüde azalarak yüzey dalga formlarının daha düzenli olduğu görülmektedir. MMY'nin yağlayıcılık özelliği ile kriyojenik soğutmanın etkin soğutma özelliğinin birleştirilmesinin takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmenin azaltılması ve kesme bölgesindeki sıcaklığın önemli ölçüde düşürülmesinin en iyi yüzey topografyasının elde edilmesini sağladığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak soğutma/yağlama koşullarının hem yüzey pürüzlülüğü hem de yüzey topografyası üzerinde önemli etkileri olduğu söylenebilir. En kötü yüzey kalitesi kuru kesme koşulunda elde edilirken en iyi yüzey kalitesini Kriyo+MMY kesme koşulu sağlamıştır. Dolayısıyla AISI 2507 süper östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmesi açısından Kriyo+MMY kesme koşulu tavsiye edilebilir.

9.2. KESME SICAKLIĞININ OPTİMİZE EDİLMESİ

Bu aşamada Taguchi L_{27} ortogonal dizinine göre yapılan deneyler sonucunda kesme parametrelerinin (kesme hızı ve ilerleme hızı) ve soğutma/yağlama şartlarının kesme sıcaklığı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

9.2.1. S/N Oranı Analizleri

Yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi kesme sıcaklığının da düşük olması beklendiğinden S/N oranlarının tespitinde “en küçük en iyidir” amaç fonksiyonu kullanılmış olup deneysel formül Denklem (9.4)’de verilmiştir.

$$\eta = S/N_s = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (9.4)$$

Denklemden n gözlem sayısını, y ise gözlenen verileri ifade etmektedir. Çizelge 9.4’te deneysel çalışma sonucunda elde edilen kesme sıcaklığı değerleri ve bunlara karşılık gelen S/N oranları verilmiştir.

Çizelge 9.4. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları ve S/N oranları.

Den. No	A Soğutma Yağlama Yöntemi	B Kesme Hızı (V) (m/dak)	C İlerleme hızı (f) (mm/dev)	Kesme Sıcak. (Tc)(°C)	Kesme Sıcak. S/N Oranı (dB)
1	MMY	80	0,16	289	-49,2180
2	MMY	80	0,20	291	-49,2779
3	MMY	80	0,24	296	-49,4258
4	MMY	120	0,16	318	-50,0485
5	MMY	120	0,20	320	-50,1030
6	MMY	120	0,24	316	-49,9937
7	MMY	160	0,16	326	-50,2644
8	MMY	160	0,20	324	-50,2109
9	MMY	160	0,24	332	-50,4228
10	Kriyo	80	0,16	181	-45,1536
11	Kriyo	80	0,20	188	-45,4832
12	Kriyo	80	0,24	195	-45,8007
13	Kriyo	120	0,16	206	-46,2773
14	Kriyo	120	0,20	213	-46,5676
15	Kriyo	120	0,24	208	-46,3613
16	Kriyo	160	0,16	236	-47,4582
17	Kriyo	160	0,20	215	-46,6488
18	Kriyo	160	0,24	241	-47,6403
19	Kriyo+MMY	80	0,16	166	-44,4022
20	Kriyo+MMY	80	0,20	174	-44,8110
21	Kriyo+MMY	80	0,24	175	-44,8608
22	Kriyo+MMY	120	0,16	171	-44,6599
23	Kriyo+MMY	120	0,20	201	-46,0639
24	Kriyo+MMY	120	0,24	185	-45,3434
25	Kriyo+MMY	160	0,16	198	-45,9333
26	Kriyo+MMY	160	0,20	200	-46,0206
27	Kriyo+MMY	160	0,24	216	-46,6891

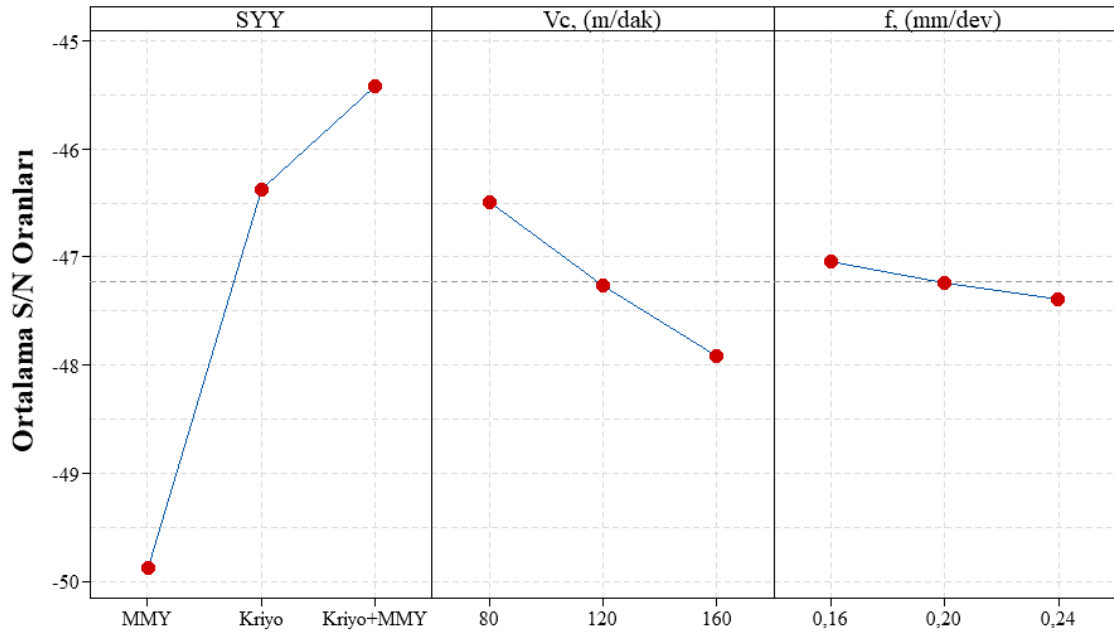
Taguchi tekniğinde kalite karakteristiklerin optimum seviyelerinin elde edildiği faktörler bu faktörlere ait seviyeler S/N yanıt tablosu ile belirlenmekte olup kesme sıcaklığına ait S/N yanıt tablosu Çizelge 9.5'te verilmiştir. Bu tabloda S/N oranının en yüksek olduğu değer o faktöre ait optimum seviyeyi göstermektedir.

Çizelge 9.5. Kesme sıcaklığı için S/N yanıt tablosu.

Seviyeler	Kontrol Faktörleri		
	Soğutma Yağlama Yöntemi	Kesme Hızı (Vc) (m/dak)	İlerleme (f) (mm/dev)
	A	B	C
1	-49,88	-46,49	-47,05
2	-46,38	-47,27	-47,24
3	-45,42	-47,91	-47,39
Delta	4,46	1,43	0,35

* Koyu ile gösterilen değerler, kesme sıcaklığı için kontrol faktörü optimum koşulları ifade etmektedir.

Kesme sıcaklığı için kontrol faktörleri ve bu faktörlere ait optimum seviyeler Şekil 9.5'te verilmiştir. Çizelge 9.5 ve Şekil 9.7'den elde edilen data'lara göre, optimum kesme sıcaklığı değerine; A₃, B₁, C₁ seviyelerinde ulaşıldığı sonucuna varılabilir. Diğer bir tanım ile Kriyo+MMY soğutma yağlama yöntemi, 80 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızı kesme sıcaklığının optimum koşullarını oluşturmaktadır.



Şekil 9.7. Kesme sıcaklığı için ortalama S/N etki grafiği.

9.2.2. S/N Oranı Analizleri

Taguchi L₂₇ ortogonal deney tasarımında kullanılan faktörlerin etki seviyeleri, ANOVA analiziyle belirlenmiştir. Soğutma yağlama yöntemi, kesme hızı ve ilerleme hızının kesme sıcaklığı üzerine olan etkilerinin analizi %95 güven seviyesinde gerçekleştirilmiştir.

Kesme sıcaklığına etki eden parametreler ve etki düzeyleri Çizelge 9.6’da verilmiştir.

Çizelge 9.6. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları ve S/N oranları.

Kontrol Faktörü	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Kareler Ortalaması (MS)	F Oranı	P Değeri	Etki Oranı (%)
A	2	80360,2	40180,1	681,66	0,000	91,30
B	2	6180,7	3090,3	52,43	0,000	7,02
C	2	296,2	148,1	2,51	0,106	0,34
Hata	20	1178,9	58,9			1,34
Toplam	26	88016				100

Etki oranları hesaplanmasında F oranları kullanılmış olup, kesme sıcaklığı üzerinde en etkili parametrenin %91,30 etki oranı ile soğutma yağlama yöntemi olduğu, onu sırasıyla %7,02 etki oranı ile kesme hızı ve %0,34 etki oranı ile ilerleme hızı takip etmiştir. Dolayısıyla kesme sıcaklığı üzerinde soğutma yağlama yönteminin belirleyici bir role sahip olduğu söylenebilir. Analizde oluşan toplam hatanın ise %1,34 olduğu görülmüştür.

9.2.3. Regresyon Analizi

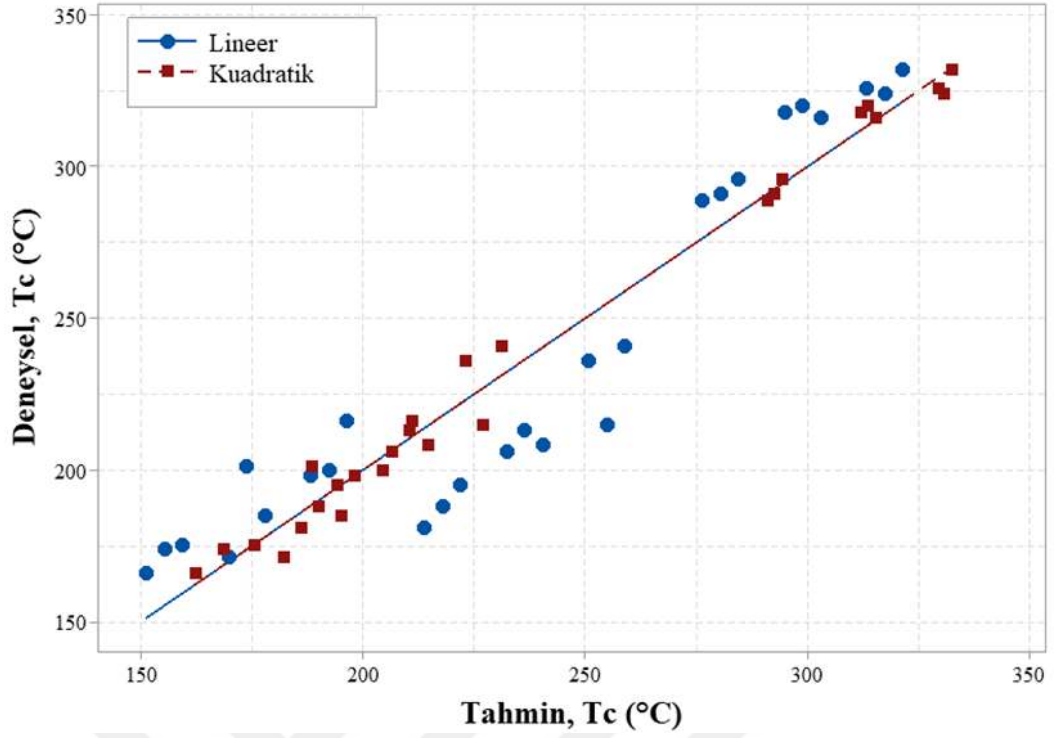
Kesme sıcaklığının tahmini için oluşturulan lineer regresyon denklemi Denklem (9.5)’de verilmiştir.

$$Tc = 285,7 - 62,56 SYY + 0,463 Vc + 101 f \quad (9.5)$$

Elde edilen doğrusal denklem de elde edilen R^2 değeri yüzey pürüzlülük için 0,8736 olarak hesaplanmıştır. Gerçek değerle tahmin edilen değer arasındaki farklar lineer denklemde daha fazla olacağından, faktörlerin etkileşimini de kapsayan kuadratik denklemin de hesaplanması gerekmektedir. Kesme sıcaklığı için oluşturulan kuadratik regresyon denklemi Denklem (9.6)’da verilmiştir.

$$Tc = 430,3 - 236,0 SYY + 0,777 Vc - 59 f + 40,67 SYY*SYY - 0,00115 Vc*Vc + 104 f*f - 0,0146 SYY*Vc + 62,5 SYY*f - 0,05 Vc*f \quad (9.6)$$

Kuadratik denklemle elde edilen R^2 değeri kesme sıcaklığı için 0,9875 olarak bulunmuştur. Hem lineer hem de kuadratik regresyon denklemleri için tahmin edilen değerler ile elde edilen deneysel sonuçlar arasındaki karşılaştırma Şekil 9.6’da verilmiştir.

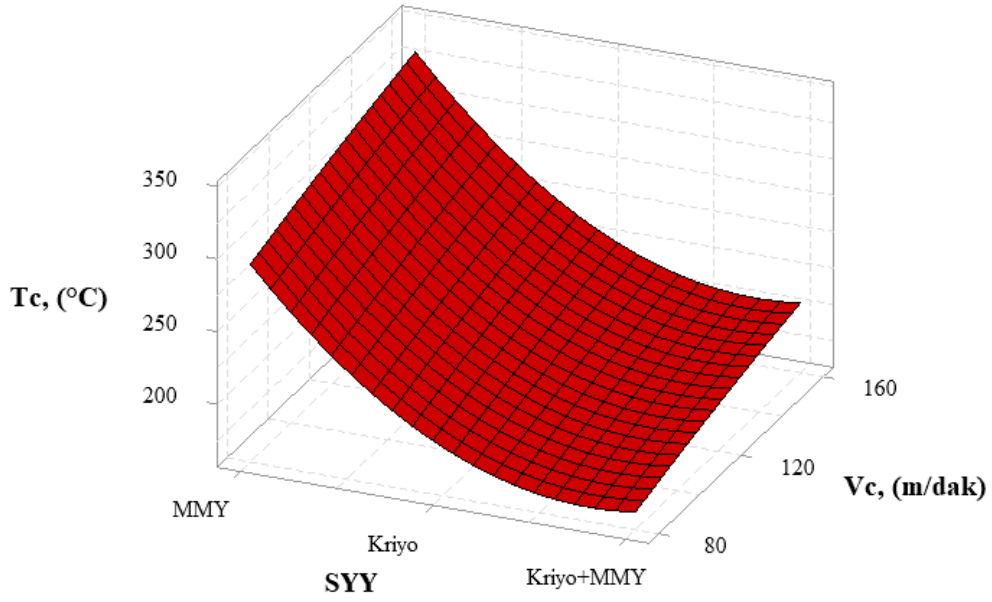


Şekil 9.8. Kesme sıcaklığının tahmin edilen/deney sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 9.8 incelendiğinde, tahmin edilen değerlerle gerçek değerler arasındaki en yakın tahmin sonucunun, kuadratik regresyon denklemi ile elde edildiği görülmektedir.

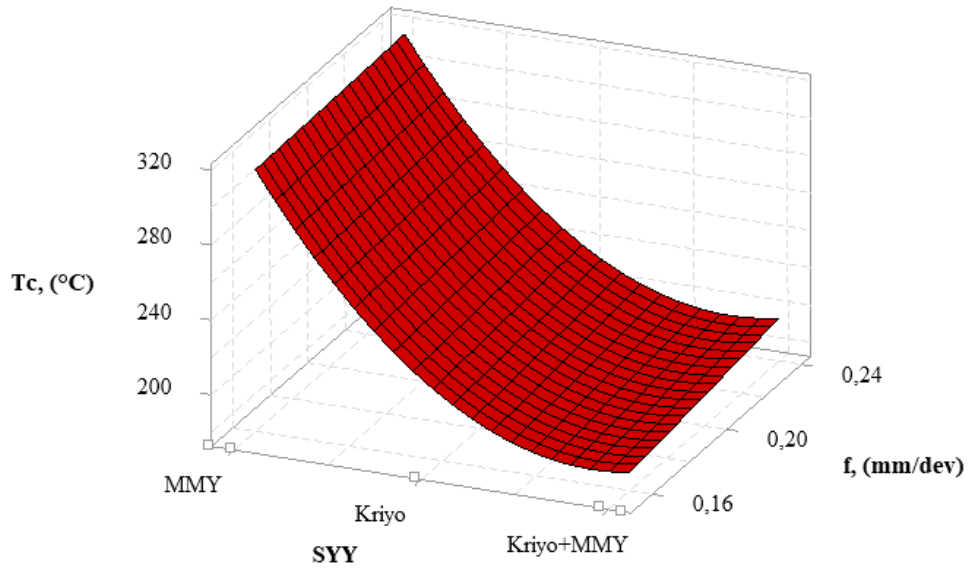
9.2.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tornalama deneyleri sonucunda kesme hızı ve soğutma/yağlama yöntemine bağlı olarak, kesme sıcaklığındaki (T_c , °C) değişimler Şekil 9.7’de, ilerleme hızı ve soğutma/yağlama yöntemine bağlı olarak, kesme sıcaklığındaki (T_c , °C) değişimler ise Şekil 9.8’de verilmiştir. Şekil 9.7 incelendiğinde soğutma yağlama yöntemlerinin kesme sıcaklığı üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. En yüksek kesme sıcaklığı (332 °C) MMY kesme koşulunda elde edilirken kriyojenik soğutmanın kesme sıcaklığını düşürmede önemli bir etkiye sahip olmuştur. Kriyo+MMY kesme koşulunda ise en düşük sıcaklık değeri (166 °C) elde edilmiştir. Burada MMY’nin üstün yağlayıcılık özelliği ile kriyojenik soğutmanın üstün soğutma özelliğinin kombine edilmesinin kesme bölgesindeki sıcaklıkların düşmesinde etkili olduğu düşünülmektedir. Kesme hızına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişimlere bakıldığında ise kesme hızının artmasıyla birlikte kesme sıcaklığı değerlerinin arttığı görülmektedir. Kesme hızındaki artışla takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmeye bağlı olarak kesme sıcaklığının artması beklenen bir durumdur.



Şekil 9.9. Soğutma/yağlama yöntemi ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.

Şekil 9.9 incelendiğindeyse ilerleme hızının artmasıyla birlikte kesme sıcaklığı değerlerinde bir miktar artış gözlenmiştir. Tüm soğutma yağlama koşulları için 0,16 mm/dev ilerleme değerinde en düşük kesme sıcaklığı değerleri elde edilirken, 0,24 mm/dev ilerleme değerinde ise en yüksek kesme sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Şekil 9.9 ve Şekil 9.10'dan elde edilen sonuçlar, optimizasyon sonucunda elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermiştir.



Şekil 9.10. Kesme hızı ve soğutma/yağlama yöntemine bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

10.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 1.4410 dubleks paslanmaz çeliğinin farklı soğutma yağlama koşulları altında tormalanmasında, işleme parametrelerine bağlı olarak maksimum kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. En uygun işleme parametresinin belirlenmesi adına, Taguchi yöntemiyle optimizasyon işlemi gerçekleşmiş ve başarılı olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler ve analizlerden elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Dubleks paslanmaz çeliğinin tormalanmasında ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. En kötü yüzey pürüzlülüğü 0,24 mm/dev ilerleme hızında elde edilirken, en iyi yüzey pürüzlülük değeri 0,16 mm/dev kesme koşulunda elde edilmiştir.
- Dubleks paslanmaz çeliğin tormalanmasında soğutma yağlama koşullarının kesme sıcaklığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. En yüksek kesme sıcaklığı değerleri MMY kesme koşulunda elde edilirken en düşük kesme sıcaklığı değerleri Kriyo+MMY kesme koşulunda elde edilmiştir.
- En iyi yüzey pürüzlülük değeri Kriyo+MMY soğutma yağlama koşulu altında 160 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir.
- En düşük kesme sıcaklığı değeri Kriyo+MMY soğutma yağlama koşulu altında 80 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir.
- Anova istatistiksel analiz sonuçlarına göre, kesme sıcaklığı üzerine en etkili parametrenin %91,30 etkiyle soğutma yağlama yönteminin olduğu, bunu %7,02 etkiyle kesme hızının ve %0,34 etkiyle ilerleme hızının takip ettiği görülmüştür. Oluşan toplam hatanın ise %1,34 mertebelerinde kaldığı tespit edilmiştir.
- Anova istatistiksel analiz sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkili parametrenin %81,54 etkiyle ilerleme hızıdır. Bunu %6,95 etkiyle soğutma yağlama yöntemi ve %1,76 kesme hızı takip etmekteydi. Oluşan toplam hata oranı %9,75 olduğu görülmüştür.

- Geliştirilen kuadratik regresyon denkleminde elde edilen verilerin deneysel çalışmasıyla elde edilen verilerle kesme sıcaklığı için %98,75, yüzey pürüzlülüğü için %95,51 oranında yakınlık gösterdiği tespit edilmiştir.
- Soğutma/yağlama koşullarının hem yüzey pürüzlülüğü hem de yüzey topografyası üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür. En kötü yüzey topografyası kuru kesme koşulunda elde edilirken en iyi yüzey topografyası Kriyo+MMY kesme koşulunda elde edilmiştir.

10.2. ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada 1.4410 dubleks paslanmaz çeliğinin tornalanmasında farklı soğutma yağlama tekniklerinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıklarının etkileri incelenmiştir. Bu çalışmadan farklı olarak yapılabilecek çalışmalar şu şekilde sıralanabilir.

- Takım ömrü ve kesme kuvvetleri üzerinde çalışma yapılabilir.
- NanoMMY ve EMQL sistemlerinin de kullanılıp işlemeye katkıları araştırılabilir.
- Yapay sinir ağları, bulanık mantık vb. gibi farklı matematiksel tahmin modelleri kullanılabilir.

11. KAYNAKLAR

- [1] E. Bahçeci ve A. Özer, “TiC kaplamalı takım ile işlenen AISI 303 ve AISI 410 paslanmaz çeliklerin işlenebilirlik özelliklerinin değerlendirilmesi,” *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 15, sayı 3, ss. 45–52, 2013.
- [2] A. Mavi ve G. Uzun, “Dubleks 1 . 4462 paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerine etkisi,” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, c. 5, sayı 3, ss. 177–184, 2017.
- [3] J. Olsson and M. Snis, “Duplex - A new generation of stainless steels for desalination plants,” *Desalination*, c. 205, sayı 1–3, ss. 104–113, 2007.
- [4] A. Mavi, “Gri İlişkisel analiz yöntemi ile dubleks paslanmaz çeliklerin delinmesinde yüzey form özelliklerini etkileyen optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi,” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, c. 6, sayı 3, ss. 634–643, 2018.
- [5] S. Neşeli ve S. Yıldız, “Tornalamada yaklaşma açısı ve talaş açısına bağlı tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri,” *Politeknik Dergisi*, c. 10, sayı 4, ss. 383–389, 2007.
- [6] H. Yaka, L. Uğur ve H. Akkuş, “Investigation of surface roughness with multiple regression in turning of AISI 1040 steel,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 16, sayı 3, ss. 770–775, 2016.
- [7] E. Nas, G. Samtaş ve H. Demir, “CNC frezelemede yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin matematiksel olarak modellenmesi,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 18, sayı 1, ss. 47–59, 2012.
- [8] E. Ekici, G. Uzun and T. Kıvak, “Evaluation of the effects of cutting parameters on the surface roughness during the turning of hadfield steel with response surface methodology,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 19, sayı 2, ss. 19, 2014.
- [9] M. Sarıkaya and A. Güllü, “Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL,” *Journal of Cleaner Production*, c. 65, ss. 604–616, 2014.
- [10] Ç. Yıldırım, “Süper alaşımların talaşlı imalat yöntemiyle işlenmesinde minimum miktarda yağlama uygulamaları,” *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 5, sayı 3, ss. 87–105, 2016.
- [11] Ş. Şirin and T. Kıvak, “Performances of different eco-friendly nanofluid lubricants in the milling of inconel X-750 superalloy,” *Tribology International*, c. 137, sayı February, ss. 180–192, 2019.
- [12] E. Canıyılmaz, “Kalite geliştirmede taguchi metodu ve bir örnek uygulama,” Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2001.

- [13] G. Meral, M. Sarıkaya ve H. Dilipak, “Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin taguchi yöntemiyle optimizasyonu,” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 27, sayı 4, ss. 332–338, 2011.
- [14] F. Köksal. (2019, 08 Temmuz). [Online]. Erişim: <http://tmder.org.tr/uploads/12-07-2017/fatih-koksal.pdf>
- [15] A. Aran, M. A. Temel, *Paslanmaz Çelik Yassı Mamüller Üretimi, Kullanımı, Standartları*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: Acar Matbaacılık A.Ş., 2004, böl. 1, ss. 9-13.
- [16] Anonim, (2019, 01 Aralık). [Online]. Erişim: <https://bircelik.com/tr/kategori/paslanmaz-celigin-tarihi>
- [17] M. Aydın, *Çelik Malzemeler*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: AYBİTAK, 2017, böl. 12, ss. 421-536.
- [18] A. Türkyılmazoğlu, “Dubleks, martenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağı,” Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2006.
- [19] T. Çetin, “Dubleks paslanmaz çeliğin Ni3Al ile kaplanabilirliğinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Metalurji Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye, 2014.
- [20] A. B. Başyigit, “Dubleks paslanmaz çeliklerin tig kaynağında soğuma hızı ve koruyucu gazın oluşan manyetik fazların oranına ve kaynaklı bağlantının özelliklerine etkisi,” Doktora tezi, Metal Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [21] N. Kahraman, B. Gülenç ve H. Akça, “Ark kaynak yöntemi ile birleştirilen ostenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğin mekanik özelliklerinin incelenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi*, c. 17, sayı 2, ss. 75–85, 2002.
- [22] B. Aydemir, “17-4 ph çökelme sertleştirmeli paslanmaz çelik kuvvet dönüştürücü yay elemanlarının iç yapısal özelliklerinin performans üzerine etkilerinin araştırılması,” Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2003.
- [23] Ö. Buytoz, “AISI 304 paslanmaz çeliğini matkapla delme işleminde kesme parametrelerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2010.
- [24] C. Schade, J. Schaberl and A. Lawley, “Stainless steel AISI grades for pm applications,” *Proceedings of 2007 MPIF/APMI International Conference on Powder Metallurgy and Particulate Materials*, Denver, Colorado, 2007, ss. 5-57-5-72.
- [25] R. M’Saoubi, J. C. Outeiro, B. Changeux, J. L. Lebrun and A. Morão Dias, “Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 96, sayı 1–3, ss. 225–233, 1999.
- [26] Ö. Tekaslan, “AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde işlenebilirliğe bağlı olarak kalıcı gerilme problemlerinin araştırılması,” Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2007.

- [27] Anonim, (2019, 01 Aralık). [Online]. Erişim: www.acinox.com.tr/ostenitik-paslanmaz-celikler
- [28] C. Odaba. (2019, 05 Aralık). [Online]. Erişim: http://www.askaynak.com.tr/contents/34/20110704120329_paslanmaz-celikler.pdf
- [29] B. Balcı, “AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2008.
- [30] M. Ok, “AISI 304 paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde işlenebilirliğinin incelenmesi ve tahmin modellerinin oluşturulması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.
- [31] C. G. Dengiz, “Dubleks paslanmaz çelik sacların derin çekme ve hidroşekillendirme kabiliyetlerinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye, 2014.
- [32] Anonim, (2019, 10 Aralık). [Online]. Erişim: www.acinox.com.tr/ferritik-paslanmaz-celikler
- [33] S. K. Kim, J. S. Yoo, J. M. Priest and M. P. Fewell, “Characteristics of martensitic stainless steel nitrided in a low-pressure RF plasma,” *Surface and Coatings Technology*, c. 163–164, ss. 380–385, 2003.
- [34] A. Ozer ve E. Bahceci, “AISI 410 martensitik paslanmaz çeliklerin kesici takım ve kaplanasına bağlı işlenebilirliği,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 24, sayı 4, ss. 693–698, 2009.
- [35] A. N. Isfahany, H. Saghafian and G. Borhani, “The effect of heat treatment on mechanical properties and corrosion behavior of AISI420 martensitic stainless steel,” *Journal of Alloys Compounds*, c. 509, sayı 9, ss. 3931–3936, 2011.
- [36] M. Gürkan, “Östenitik ve martensitik paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklık aşınma davranışları,” Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2007.
- [37] Anonim, (2019, 11 Aralık). [Online]. Erişim: www.acinox.com.tr/martenzitik-paslanmaz-celikler
- [38] D. Yıldırım, “2205 dubleks paslanmaz çelik ile S355j2 genel yapı çeliğinin birleştirilebilirliğinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2018.
- [39] C. N. Hsiao, C. S. Chiou and J. R. Yang, “Aging reactions in a 17-4 ph stainless steel,” *Materials Chemistry Physics*, c. 74, sayı 2, ss. 134–142, 2002.
- [40] F. Memiş, “AISI 2205 (EN 1.4462) paslanmaz çeliğin cnc torna tezgahında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin deneysel araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [41] Anonim, (2019, 11 Aralık). [Online]. Erişim: www.ekipmuhendislik.com.tr/paslanmaz-celik-cesitleri
- [42] G. D. Sonawane, V. G. Sargade and Babasaheb, “Machinability studies of duplex stainless steel 2205 using coated tools,” *Proceeding 10th International Conference*

Precision, Meso, Micro and Nano Engineering (COPEN 10), Chennai, India, 2017, ss. 460–463.

- [43] R. D. Koyee, U. Heisel, R. Eisseler and S. Schmauder, “Experimental investigation and multiobjective optimization of turning duplex stainless steels,” *International Journal of Manufacturing Engineering*, c. 16, sayı 4, ss. 451–467, 2014.
- [44] Anonim, (2019, 15 Aralık). [Online]. Erişim: www.bircelik.com/tr/kategori/paslanmaz-celigin-tarihi
- [45] Anonim, (2019, 13 Aralık). [Online]. Erişim: www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2870
- [46] Anonim, (2019, 13 Aralık). [Online]. Erişim: www.upmet.com/products/duplex-stainless-steel/2205#Physical-Properties
- [47] A. Kısasöz, “Dupleks paslanmaz çeliklerin kaynağında ısııl girdilerin modellenmesi ve deneysel verilerin eldesi,” Doktora tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [48] J. R. Gamarra and A. E. Diniz, “Taper turning of super duplex stainless steel: tool life, tool wear and workpiece surface roughness,” *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, c. 40, sayı 1, ss. 1–13, 2018.
- [49] Anonim, (2019, 13 Aralık). [Online]. Erişim: www.dogamakina.com/Haber/26/Talasli-imalatin-tarihcesi
- [50] D. Tali, “Nikel esaslı inconel 718 süper alaşımının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2010.
- [51] Anonim, (2019, 20 Aralık). [Online]. Erişim: www.catiaturk.com/imalat-2cam12talasli-imalat-uretim-nedir-17.html
- [52] M. P. Groover, *Modern İmalatın Prensipleri*, 4. baskı, Ankara, Türkiye: Nobel Akademik Yayıncılık, 2016, böl. 19, ss. 474-497.
- [53] M. Gavas, M. Yaşar, M. Aydın ve Y. Altunpak, *Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri*, 3. baskı, Ankara, Türkiye: Seçkin Yayıncılık A.Ş., 2013, böl. 7, ss. 295-437.
- [54] Y. Hacıbektaşoğlu, “Kullanılmış parmak frezelerin yeniden bileme sonrası performanslarının araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara Türkiye, 2014.
- [55] O. Öndin, “Ph 13-8 Mo çeliğinin tornalanmasında mql sisteminde kullanılan bitkisel esaslı kesme yağına çok duvarlı karbon nanotüp ilavesinin işleme çıktıları üzerindeki etkisi,” Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2019.
- [56] M. E. Korkmaz, “Nikel esaslı süper alaşımın (Nimonic 80A) malzeme yapısal denklem parametrelerinin belirlenmesi ve uygulanabilirliğinin araştırılması,” Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2018.
- [57] A. Rıdvanogulları, “Tren tekerleğinin işlenebilirlik parametrelerinin taguchi yöntemiyle araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2018.

- [58] U. Şeker, Kesici takım tasarımı ders notları, *Ders Notları, Ankara, 2001*.
- [59] H. Gökkaya ve M. Nalbant, “Kesme hızının yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu üzerindeki etkilerinin SEM ile incelenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 22, sayı 3, ss. 481–488, 2007.
- [60] Anonim, (2019, 21 Aralık). [Online]. Erişim: www.hamitarslan.com/tornatezgahi-hesaplamalari.html
- [61] M. C. Çakır, *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*, 2. baskı, Bursa, Türkiye: Dora Basım Yayın Dağıtım, 2010, böl. 1, ss. 1-68.
- [62] Ö. Kulaksız, Ö. Çakır ve O. Ulusoy, *Metal Meslek Bilgisi Kitabı*, 1. baskı, Ankara, MEB, 1995, böl. 2, ss. 46-243.
- [63] Anonim, (2019, 21 Aralık). [Online]. Erişim: www.hamitarslan.com/tornatezgahi-kesici-takimlari
- [64] M. A. Sofuoğlu, “Havacılık alaşımı olarak Hastelloy-X ve Ti6Al4V’nin sıcak ultrasonik yardımcı tornalamayla işlenmesinin araştırılması,” Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2018.
- [65] Y. E. Gönülaçar, “AISI 4140 malzemesinin tornalanmasında minimum miktarda yaplama (MQL) kullanımının işlenebilirlik üzerine etkisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman Üniversitesi, Batman Türkiye, 2018.
- [66] P. G. Benardos and G. C. Vosniakos, “Predicting surface roughness in machining: A review,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, c. 43, sayı 8, ss. 833–844, 2003.
- [67] M. İlhan, “Talaş kaldırma işlemlerinde minimum miktarda yağlama (mql) uygulamasının kesme hızı ve yağlama debisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [68] Anonim, (2019, 23 Aralık). [Online]. Erişim: <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ot/yuzey.puruzlulugu.pdf>
- [69] E. Yılmaz, “Etial 180 alüminyum alaşımının işlenmesinde kesici takım geometrisi ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2010.
- [70] B. Bakırcıoğlu, “Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği üzerinde farklı kesici kenar formlarının etkisinin karşılaştırmalı olarak araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara Türkiye, 2013.
- [71] Ş. Yazman, “Östemperlenmiş ferritik küresel grafitli dökme demirlerde kesme parametrelerinin işlemeye etkilerinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2006.
- [72] Anonim, (2019, 25 Aralık). [Online]. Erişim: www.aybu.edu.tr/muhendislik/makina/contents/files/SAYFA-211-228.pdf
- [73] M. Hamamcı, “Yüksek hızlı işlemede kesme parametrelerinin yüzey kalitesi açısından optimizasyonu,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri

- Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2012.
- [74] Anonim, (2019, 25 Aralık). [Online]. Erişim: www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/materials/pages/workpiece-surface-measurement
- [75] A. Altın, “CNC takım tezgahlarında yüzey kalitesine etki eden faktörlerin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1998.
- [76] P. Demircioğlu, “Talaşlı imalat yöntemleriyle imal edilen iş parçalarında yüzey pürüzlülüğünün yüksek hassasiyette iğne uçlu ve 3d optik ölçüm sistemleriyle değerlendirilmesi,” *Mühendis ve Makina*, c. 52, sayı 613, ss. 81–91, 2011.
- [77] K. Dehnad, “Quality control, robust design and the taguchi method,” *Journal of the Royal Statistical Society. Series. A (Statistics in Society)*, c. 153, sayı 1, s. 110, 1990.
- [78] T. W. Wysk, R. A. Niebel, B. W. Cohen and P. H., Simpson, “Taguchi’s robust design method,” *Manufacturing Processes: Integrated Product and Process Design*, ss. 1–9, 2000.
- [79] Ş. Bayraktar, “Karbon Elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin frezeleme işleminde işlenebilirliğinin deneysel araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [80] Anonim, (2019, 25 Aralık). [Online]. Erişim: www.erimaydin.blogspot.com/2012/05/deney-tasariminda-taguchi-yaklasimi
- [81] Y. T. İç ve S. Yildirim, “Çok kriterli karar vermeyöntemleriyle birlikte taguchi yöntemini kullanarak bir ürünün tasarımının geliştirilmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 27, sayı. 2, ss. 447–458, 2012.
- [82] S. Apak, B. Özüğür ve M. Hakan Tezcan, “Yeni ürün geliştirme sürecinde robust tasarım yaklaşımının incelenmesi,” *3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 2012, ss. 27–35.
- [83] A. Takmaz, “Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin işlenebilirliğe etkisinin taguchi yöntemiyle optimizasyonu,” Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018.
- [84] İ. Gencel, “Çok yanıtli problemlerin optimizasyonunda taguchi yönteminin kullanılması ve alkollü içkiler sektöründe bir uygulama,” Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2007.
- [85] M. Karatepe, “Sivas ili genelindeki orta öğretim kurumlarının iç içe varyans analizi yöntemiyle karşılaştırılması,” Yüksek lisans tezi, İşletme, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye, 2018.
- [86] H. Demir, “Talaşlı üretimde kullanılan kesme sıvılarından istenen özellikler,” *5. Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, 2009.
- [87] N. Suresh Kumar Reddy and P. Venkateswara Rao, “Experimental investigation to study the effect of solid lubricants on cutting forces and surface quality in end milling,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, c. 46, sayı. 2, ss. 189–198, 2006.
- [88] A. Çakır, N. Kavak ve U. Şeker, “Sürdürülebilir üretim için talaşlı imalatla kullanılan kesme sıvılarının geri dönüşümü sürdürülebilir üretim için talaşlı

- imalatta kullanılan kesme sıvılarının geri dönüşümü,” *Mühendis ve Makina*, c. 58, sayı 684, ss. 13–29, 2017.
- [89] M. A. El Baradie, “Cutting fluids: Part I. Characterisation,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 56, sayı 1–4, ss. 786–797, 1996.
- [90] B. Kurşuncu ve A. YARAŞ, “AISI O2 çeliğinin frezelenmesinde minimum miktarda yağlama (mql) sisteminin kesme performansına etkisi,” *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 5, sayı 2, ss. 125–128, 2017.
- [91] M. H. Çetin, “AISI 304L çeliğin ep katkılı bitkisel esaslı kesme sıvıları kullanılarak tornalanmasında ilerleme hızının aşınma üstüne etkisi,” *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 2010, ss. 230–241.
- [92] Anonim, (2019, 25 Aralık). [Online]. Erişim: <http://www.guvenanpetrol.com/uploads/KesmeSivilari.pdf>
- [93] F. Erel and F.I. Coşkunes, (2019, 25 Aralık). [Online]. Erişim: http://www.isgum.gov.tr/rsm/file/isgdoc/IG11-metal_isleme_akiskanlari_kullaniminda_isg.pdf
- [94] F. W. Taylor, *On The Art Of Cutting Metals*, 1. baskı, New York, U.S.A.: The American Society Of Mechanical Engineers, 1996.
- [95] J. M. Vieira, A. R. Machado and E. O. Ezugwu, “Performance of cutting fluids during face milling of steels,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 116, sayı 2–3, ss. 244–251, 2001.
- [96] S. Debnath, M. M. Reddy and Q. S. Yi, “Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: A review,” *Journal of Cleaner Production*, c. 83, ss. 33–47, 2014.
- [97] M. Buyruk, “Minimum miktarda yağlama yönteminin aısı 304 paslanmaz çeliğin işlenebilirliğine etkisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazıği Türkiye, 2017.
- [98] T. Kıvak, Ç. Vakkas ve U. Şeker, “Inconel 718 ’ in sialon esaslı seramik kesicilerle frezelenmesinde minimum miktarda yağlamanın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması,” *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Bakü, Azerbaycan, 2017, ss. 134–143.
- [99] K. Weinert, I. Inasaki, J. W. Sutherland and T. Wakabayashi, “Dry machining and minimum quantity lubrication,” *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, c. 53, sayı 2, ss. 511–537, 2004.
- [100] T. Walker, *A guide to machining with minimum quantity lubrication*, 1. baskı, Unist Guide, s. 64, 2012.
- [101] D. P. Adler, W. W. S. Hii, D. J. Michalek and J. W. Sutherland, “Examining the role of cutting fluids in machining and efforts to address associated environmental/health concerns,” *Machining Science and Technology*, c. 10, sayı 1, ss. 23–58, 2006.
- [102] Anonim, (2019, 25 Aralık). [Online]. Erişim: <https://www.skf.com/binaries/319-32233/0901d19680126cc5-1-5102-EN.pdf>
- [103] Anonim, (2019, 25 Aralık). [Online]. Erişim: www.tr.wikipedia.org/wiki/Kriyojenik

- [104] Y. Yildiz and M. Nalbant, "A review of cryogenic cooling in machining processes," *International Journal of Machine Tools & Manufactur.*, c. 48, sayı 9, ss. 947–964, 2008.
- [105] F. Morelo, M. I. Grabarski, P. A. de Camargo Beltrão and G. Pintaude, "Surface integrity of bored super duplex stainless steel SAF 2507," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, c. 39, sayı 7, ss. 2649–2658, 2017.
- [106] G. Królczyk, M. Gajek and S. Legutko, "Effect of the cutting parameters impact on tool life in duplex stainless steel turning process," *Tehnicki Vjesnik*, c. 20, sayı 4, ss. 587–592, 2013.
- [107] R. D. Koyee, U. Heisel, S. Schmauder and R. Eisseler, "Experimental Investigation and Multiobjective Optimization of Turning Duplex Stainless Steels," *International Journal of Manufacturing Engineering*, c. 2014, sayı January, 2015, ss. 1–13, 2014.
- [108] G. M. Krolczyk, P. Nieslony, R. W. Maruda and S. Wojciechowski, "Dry cutting effect in turning of a duplex stainless steel as a key factor in clean production," *Journal of Cleaner Production journal*, c. 142, ss. 3343–3354, 2017.
- [109] J. Rajaguru and N. Arunachalam, "Coated tool Performance in Dry turning of super duplex stainless steel," *Procedia Manufacturing*, c. 10, ss. 601–611, 2017.
- [110] C. A. De Oliveira Junior, A. E. Diniz and R. Bertazzoli, "Correlating tool wear, surface roughness and corrosion resistance in the turning process of super duplex stainless steel," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, c. 36, sayı 4, ss. 775–785, 2014.
- [111] E. C. Bordinassi, M. F. Stipkovic, G. F. Batalha, S. Delijaicov and N. M. de Lima, "Superficial integrity analysis in a super duplex stainless steel after turning," *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, c. 18, sayı 1–2, ss. 235–238, 2006.
- [112] A. Bagherzadeh, "Experimental investigation of alternative cooling methods in machining operations," Yüksek lisans tezi, Üretim Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sabancı Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [113] M. Danish, T. L. Ginta, K. Habib, A. M. Abdul Rani and B. B. Saha, "Effect of cryogenic cooling on the heat transfer during turning of AZ31C magnesium alloy," *Heat Transfer Engineering An International Journal*, c. 7632, ss. 1–10, 2018.
- [114] P. Sivaiah and D. Chakradhar, "The effectiveness of a novel cryogenic cooling approach on turning performance characteristics during machining of 17-4 ph stainless steel material," *Silicon*, c. 11, sayı 1, ss. 25–38, 2019.
- [115] M. Dhananchezian, "Study the machinability characteristics of Nicked based Hastelloy C-276 under cryogenic cooling," *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, c. 136, ss. 694–702, 2019.
- [116] E. Çelik ve T. Kivak, "17-4 ph paslanmaz çeliğin tornalanmasında minimum miktarda yağlamanın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri," *7th International Symposium on Machining*, İstanbul, Türkiye, 2016, ss. 214–221.
- [117] K. H. Park *et al.*, "The effect of cryogenic cooling and minimum quantity lubrication on end milling of titanium alloy Ti-6Al-4V," *Journal of Mechanical Science and Technology*, c. 29, sayı 12, ss. 5121–5126, 2015.

- [118] Y. Kaynak, "Evaluation of machining performance in cryogenic machining of Inconel 718 and comparison with dry and MQL machining," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 72, sayı 5–8, ss. 919–933, 2014.
- [119] C. Zhang, S. Zhang, X. Yan and Q. Zhang, "Effects of internal cooling channel structures on cutting forces and tool life in side milling of H13 steel under cryogenic minimum quantity lubrication condition," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 83, sayı 5–8, ss. 975–984, 2016.
- [120] A. Shokrani, I. Al-samarrai and S. T. Newman, "Hybrid cryogenic MQL for improving tool life in machining of Ti-6Al-4V titanium alloy," *Journal of Manufacturing Processes*, c. 43, sayı February, ss. 229–243, 2019.
- [121] P. Sivaiah and D. Chakradhar, "CIRP journal of manufacturing science and technology effect of cryogenic coolant on turning performance characteristics during machining of 17-4 ph stainless steel : a comparison with mql , wet , dry machining," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, c. 21, ss. 86–96, 2018.
- [122] Y. Sun, B. Huang, D. A. Puleo and I. S. Jawahir, "Enhanced machinability of ti-5553 alloy from cryogenic machining : comparison with MQL and flood-cooled machining and modeling," *Procedia CIRP*, c. 31, ss. 477–482, 2015.
- [123] M. Jamil, A. M. Khan, H. Hegab, L. Gong, M. Mia, M. K. Gupta, "Effects of hybrid Al₂O₃-CNT nanofluids and cryogenic cooling on machining of Ti – 6Al – 4V," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, ss. 3895–3909, 2019.
- [124] E. Şirin, "AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün taguchi metodu ile optimizasyonu," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 3, ss. 132–144, 2016.
- [125] Ç. V. Yıldırım, Ş. Şirin ve T. Kıvak, "Waspaloy süperalaşımın frezelenmesinde nanopartikül katkılı yağlamanın takım aşınması üzerindeki etkisinin araştırılması," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, sayı 1, ss. 466–476, 2019.
- [126] D. Frăţilă and C. Caizar, "Investigation of the influence of process parameters and cooling method on the surface quality of AISI-1045 during turning," *Materials and Manufacturing Processes*, c. 27, sayı. 10, ss. 1123–1128, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Emre ÇELİK
Doğum Tarihi ve Yeri :29.05.1994 / İstanbul
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :emre.celikk@outlook.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2020
Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2016
Lise	Bilişim Teknolojileri	Halit Narin A.T.L	2012

YAYINLAR

E. Çelik, T. Kıvak, Ş. Şirin “Dubleks Paslanmaz Çeliğinin Farklı Soğutma/Yağlama Yöntemleri Altında Tornalanmasında Kesme Sıcaklığının Optimizasyonu”, *International Symposium On Academic Studies In Science, Engineering And Architecture Studies (ISMS 2019)*, 15-17 Kasım, 2019, Ankara, Türkiye.

E. Çelik ve T. Kıvak, “17-4 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında minimum miktarda yağlamanın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri,” 7. International Symposium On Machining (UTIS 2016), 3-5 Kasım 2016, İstanbul, Türkiye.