



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

**PH 13-8 MO ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA MQL
SİSTEMİNDE KULLANILAN BİTKİSEL ESASLI KESME
YAĞINA ÇOK DUVARLI KARBON NANOTÜP İLAVESİNİN
İŞLEME ÇIKTILARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

OĞUZHAN ÖNDİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. TURGAY KIVAK**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PH 13-8 MO ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA MQL
SİSTEMİNDE KULLANILAN BİTKİSEL ESASLI KESME YAĞINA
ÇOK DUVARLI KARBON NANOTÜP İLAVESİNİN İŞLEME
ÇIKTILARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Oğuzhan ÖNDİN 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 Yusuf ARSLAN

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Nafiz YAŞAR

Karabük Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 09/01/2019

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.

09 Ocak 2019

Oğuzhan ÖNDİN

TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca, tecrübe ve bilgi birikimleri ile kendisinden birçok deneyim edindiğim; Tez çalışmam boyunca kıymetli vakitlerini ve yardımlarını esirgmeden bana yol gösteren, çalışmamın bilimsel temeller ışığında başarı ile sonuçlanmasında desteklerini eksik etmeyen danışman hocam Doç. Dr. Turgay KIVAK’a en içten duygularıyla minnet ve şükranlarımı sunar, teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmalarım esnasında, adını sayamadığım Düzce Üniversitesi Makine İmalat Mühendisliği Bölümü’ndeki saygıdeğer hocalarıma vermiş oldukları destekler için teşekkür ederim.

Araştırmalarım ve deneylerim esnasında değerli bilgilerini ve katkılarını esirgemeyen; Doç. Dr. Çağrı Vakkas YILDIRIM ve Öğr. Gör. Şenol ŞİRİN’e ayrıca teşekkür ederim.

İlk iş gününden, bugüne, ferdi olmaktan mutluluk duyduğum ve iş yoğunluğuna rağmen göstermiş oldukları iyi niyet ve anlayışları için; Fibrobeton Şirketler Grubu ve Fibrobeton Yönetim Kurulu Üyesi Sayın Muhammed MARAŞLI’ya şükranlarımı sunarım.

Son olarak, hayatım boyunca desteğini her zaman yanımda hissettiğim, sevgili ailem ve Tansu’ya çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi 2017.07.04.647 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

09 Ocak 2019

Oğuzhan ÖNDİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	IX
ÇİZELGE LİSTESİ	XI
KISALTMALAR.....	XII
SİMGELER	XIII
ÖZET	XIV
ABSTRACT	XVI
1. GİRİŞ.....	xvii
2. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	5
2.1. ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER.....	8
2.2. FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER.....	10
2.3. MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER.....	11
2.4. DUBLEKS (FERRİTİK-ÖSTENİTİK) PASLANMAZ ÇELİKLER	12
2.5. ÇÖKELMEYLE SERTLEŞTİRİLEBİLEN PASLANMAZ ÇELİKLER....	13
2.5.1. Martenzitik Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler	15
2.5.1.1. PH 13-8 Mo Çökelme Sertleşmeli Martenzitik Paslanmaz Çeliği.....	16
2.6. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ	17
2.6.1. Karbon (C)	18
2.6.2. Mangan (Mn).....	19
2.6.3. Silisyum (Si)	19
2.6.4. Azot (N)	19
2.6.5. Krom (Cr)	19
2.6.6. Molibden (Mo).....	19
2.6.7. Niyobyum (Nb)	19
2.6.8. Alüminyum (Al).....	20
2.6.9. Kobalt (Co)	20
2.6.10. Vanadyum (V)	20
2.6.11. Wolfram (W).....	20
3. TALAŞLI İMALAT ve TORNALAMA.....	21

3.1. TALAŞLI İMALAT.....	21
3.1.1. İşlenebilirlik.....	22
3.1.2. Talaş Kaldırma Mekanığı.....	23
3.1.3. Talaş Oluşum Türleri	24
3.1.3.1. <i>Kesintili Talaş</i>	24
3.1.3.2. <i>Sürekli Talaş</i>	25
3.1.3.3. <i>Dilimli Talaş</i>	25
3.1.3.4. <i>Yığıntılı Talaş</i>	25
3.1.4. Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Kuvvetleri	25
3.1.5. Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Faktörleri	26
3.1.5.1. <i>Kesme Hızı</i>	26
3.1.5.2. <i>İlerleme Hızı</i>	27
3.1.5.3. <i>Kesme Derinliği</i>	27
3.2. TORNALAMA.....	27
4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	29
4.1. İDEAL YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	31
4.1.1. Tabii Yüzey Pürüzlülüğü.....	32
4.1.2. Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri.....	32
4.1.2.1. <i>Aritmetik Ortalama Sapmalarının Karekökü (R_q)</i>	33
4.1.2.2. <i>Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)</i>	33
4.1.2.3. <i>Maksimum Yüzey Pürüzlülük Derinliliği (R_t)</i>	34
4.1.2.4. <i>Ortalama Pürüzlülük Derinliği (R_z)</i>	34
4.1.3. Yüzey Pürüzlülüğü Etkiyen Faktörler	34
4.1.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Yöntemleri.....	35
4.1.4.1. <i>Temas Uçlu (İğneli) Ölçüm Sistemi</i>	35
4.1.4.2. <i>Yüzey Pürüzlülüğü Diğer Ölçüm Yöntemleri</i>	36
5. TAGUCHI METODU	38
5.1. ON-LİNE KALİTE KONTROL.....	39
5.2. OFF-LİNE KALİTE KONTROL.....	39
5.2.1. <i>Sistem Tasarımı</i>	39
5.2.2. <i>Tolerans Tasarımı</i>	39
5.2.3. <i>Parametre Tasarımı</i>	39
5.2.4. <i>Sinyal-Gürültü Oranı</i>	41

5.2.5. Robust Tasarımı.....	42
5.2.6. Varyasyon Ölçümü.....	42
5.2.7. Regresyon Analizi.....	43
6. SOĞUTMA TEKNİĞİ VE MMY SİSTEMİ.....	44
6.1. KESME SIVISI.....	44
6.1.1. Soğutma Sıvı Tipleri	46
6.1.1.1. Mineral Esaslı Kesme Yağları	47
6.1.1.2. Sentetik Esaslı Kesme Yağları	48
6.1.1.3. Bitkisel Esaslı Kesme Yağları.....	48
6.2. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MMY) SİSTEMİ	49
6.2.1. Nano Akışkanlar ve Özellikleri.....	51
6.2.1.1. Çok Duvarlı Karbon Nanotipler (MWCNT)	52
7. LİTERATÜR TARAMASI.....	54
7.1. LİTERATÜR DEĞERLENDİRİLMESİ.....	61
8. MALZEME ve METOT	63
8.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME.....	63
8.2. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TEZGÂHI	63
8.3. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIM	64
8.4. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MMY) SİSTEMİ	65
8.5. DENEYLERDE KULLANILAN NANO AKIŞKANLARIN HAZIRLANMASI	66
8.6. TAGUCHİ OPTİMİZASYON YÖNTEMİ	68
8.7. KESME SICAKLIKLARININ ÖLÇÜLMESİ.....	71
8.8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ.....	72
9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	74
9.1. NANOAKIŞKAN KONSANTRASYON ORANININ OPTİMİZE EDİLMESİ	74
9.1.1. S/N Oranlarının Analizi.....	74
9.1.2. Varyans Analizi (ANOVA).....	77
9.1.3. Regresyon Analizi.....	77
9.1.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	79
9.2. DENEY SONUÇLARININ OPTİMİZE EDİLMESİ	82
9.2.1. S/N Oranlarının Analizi.....	83

9.2.2. Varyans Analizi (ANOVA).....	85
9.2.3. Regresyon Analizi.....	86
9.2.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	88
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	92
10.1. SONUÇLAR.....	92
10.2. ÖNERİLER.....	94
11. KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	107



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Paslanmaz çeliklerin kullanım alanları.....	6
Şekil 2.2. Demir krom faz diyagramı	6
Şekil 2.3. Paslanmaz çeliklerin yapıları.....	7
Şekil 2.4. Scheffler diyagramı	8
Şekil 2.5. Östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı.....	8
Şekil 2.6. Ferritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı	10
Şekil 2.7. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı.....	12
Şekil 2.8. Dubleks paslanmaz çeliğin mikro yapısı	13
Şekil 3.1. İşlenebilirliğe etki eden faktörler.....	23
Şekil 3.2. Talaş kaldırma mekaniği.	23
Şekil 3.3. Talaş oluşum düzlemi.....	24
Şekil 3.4. Talaş şekilleri.....	24
Şekil 3.5. Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetleri	26
Şekil 3.6. Tornalama operasyonları şematik gösterimi.....	27
Şekil 3.7. Tornalama operasyonu şematik gösterimi.....	28
Şekil 3.8. İşlem sayısına göre tornalama işlemlerinin diğer talaş kaldırma işlemleri ile karşılaştırılması	29
Şekil 3.9. Talaşlı imalat operasyonlarında talaş kaldırma süreleri dağılımı	29
Şekil 4.1. Yüzey kalitesi şematik gösterimi.....	31
Şekil 4.2. Yuvarlak uçlu bir takım için yüzey pürüzlülüğünün ideal modeli	31
Şekil 4.3. A) keskin uçlu bir takım için yüzey pürüzlülüğünün ideal modeli B) keskin uçlu bir takımın kesit alınmış hali.....	32
Şekil 4.4. Yüzey pürüzlülük grafiği.....	32
Şekil 4.5. R_a grafik gösterimi.....	33
Şekil 4.6. R_z grafik gösterimi.....	34
Şekil 4.7. 10 nokta metodu grafiği.....	34
Şekil 4.8. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin gruplandırılması (Balık kılçığı diyagramı)	35
Şekil 4.9. Temas uçlu iğneli ölçüm sistemi	36
Şekil 4.10. İzleyici uçtan kaynaklanan ölçüm hatası	36
Şekil 6.1. Kesme sıvılarının sınıflandırılması.....	47
Şekil 6.2. MMY Sistemi çalışma prensibi	51
Şekil 6.3. Nanoakışkanların şematik gösterimi	52
Şekil 6.4. Nanopartiküllü kesme sıvısının hazırlanması.....	52
Şekil 6.5. ÇDKNT SEM görüntüsü	53
Şekil 8.1. Accuway JT 150 CNC torna tezgâhı.	64
Şekil 8.2. SNMG 120408 MM 1125 kesici takım.	65
Şekil 8.3. PSBNR 2525 M12 torna kateri.....	65
Şekil 8.4. MMY sistemi deney seti.....	66
Şekil 8.5. Nano akışkanların hazırlanmasında kullanılan cihazlar a) HS-100D Mekanik karıştırıcı b) Bandelin Sonoplus UW-3200 ultrasonik homojenizatör c) Termal N11150 manyetik karıştırıcı	68

Şekil 8.7. Optris PI 450 termal kamera boyut ve görseli.	71
Şekil 8.8. Termal kamera deney seti.	72
Şekil 8.9. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm şekli.	73
Şekil 9.1. Yüzey pürüzlülüğü için ortalama S/N oranları grafiği.	76
Şekil 9.2. Kesme sıcaklığı için ortalama S/N oranları grafiği.	76
Şekil 9.3. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.	78
Şekil 9.4. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.	79
Şekil 9.5. Kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.	80
Şekil 9.6. Kesme hızı ve konsantrasyon oranına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.	81
Şekil 9.7. Kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim. ...	82
Şekil 9.8. İlerleme hızı ve konsantrasyon oranına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.	82
Şekil 9.9. Yüzey pürüzlülüğü için ortalama S/N oranları grafiği.	85
Şekil 9.10. Kesme sıcaklığı için ortalama S/N oranları grafiği.	85
Şekil 9.11. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.	87
Şekil 9.12. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.	88
Şekil 9.13. Kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.	89
Şekil 9.14. Soğutma/yağlama yöntemi ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.	89
Şekil 9.15. Kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.	91
Şekil 9.16. Soğutma/yağlama yöntemi ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.	91

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Östenitik paslanmaz çelik türlerin kimyasal yapısı	9
Çizelge 2.2. Ferritik paslanmaz çelik türlerin kimyasal yapısı	11
Çizelge 2.3. Martenzitik paslanmaz çelik türlerin kimyasal yapısı	12
Çizelge 2.4. Dubleks paslanmaz çelik türlerin kimyasal yapısı	13
Çizelge 2.5. Çökelme Sertleşmeli paslanmaz çelik türlerin kimyasal yapısı	15
Çizelge 2.6. Çökelme paslanmaz çeliklerin metalurjik karakteristik özellikleri	15
Çizelge 2.7. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklere uygulanacak ısı işlemleri	16
Çizelge 2.8. Alaşım elementlerinin çelik üzerine etkileri	18
Çizelge 5.1. Taguchi dikey dizin ve faktörleri	40
Çizelge 6.1. Kesme sıvısı tiplerinin kullanımının avantajları ve dezavantajları	46
Çizelge 8.1. PH13-8 Mo martenzitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi	63
Çizelge 8.2. PH13-8 Mo martenzitik paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri	63
Çizelge 8.3. Deneylerde kullanılan tezgâhın teknik özellikleri	64
Çizelge 8.4. Kesici takıma ait teknik özellikler	64
Çizelge 8.5. LubriLean-Vario teknik özellikler	66
Çizelge 8.6. Cuttex SYN 10 Kesme yağı özellikleri	66
Çizelge 8.7. ÇDKNT'lerin özellikleri	67
Çizelge 8.8. Mekanik karıştırıcı teknik özellikleri	67
Çizelge 8.9. L ₉ işleme parametreleri ve seviyeleri	69
Çizelge 8.10. Taguchi L ₉ dikey dizisi	69
Çizelge 8.11. L ₂₇ işleme parametreleri ve seviyeleri	69
Çizelge 8.12. Taguchi L ₂₇ dikey dizisi	70
Çizelge 8.13. PI 450 termal kamera teknik özellikleri	71
Çizelge 8.14. Marsurf PS 10 yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikler	73
Çizelge 9.1. Deney sonuçları ve S/N oranları	75
Çizelge 9.2. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları için S/N yanıt tablosu	75
Çizelge 9.3. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu	77
Çizelge 9.4. Kesme sıcaklığı için ANOVA tablosu	77
Çizelge 9.5. Deney sonuçları ve S/N oranları	83
Çizelge 9.6. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları için S/N yanıt tablosu	84
Çizelge 9.7. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu	86

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)
CNT	Carbon Nano Tube (Karbon Nano Tüp)
CVD	Chemical vapour deposition (Kimyasal buhar biriktirme)
ÇDKNT	Çok duvarlı karbon nanotüp
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
KO	Konsantrasyon Oranı
KNT	Karbon nanotüp
KT	Kesici Takım
MQL / MMY	Minimum Quantity Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama)
MWCNT	Multi Walled Carbon Nano Tube (Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp)
NC	Numeric Control (Sayısal Denetim)
NT	Nozul Tipi
PVD	Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)
RSM	Responce Surface Method (Yüzey Yanıt Metodu)
SEM / TEM	Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
SiC	Silisyum Karbür
Si ₃ N ₄	Slikon Nitrit
S/N	Signal/Noise Rate (Sinyal/Gürültü Oranı)
SYT	Soğutma/Yağlama Yöntemi
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrür
TiC	Titanyum Karbür
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

PH 13-8 MO ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA MQL SİSTEMİNDE KULLANILAN BİTKİSEL ESASLI KESME YAĞINA ÇOK DUVARLI KARBON NANOTÜP İLAVESİNİN İŞLEME ÇIKTILARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Oğuzhan ÖNDİN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Turgay KIVAK

Ocak 2019, 106 sayfa

Bu çalışmada, PH13-8 Mo paslanmaz çeliğinin tornalanmasında, optimum işleme şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, PH13-8 Mo çeliğinin farklı soğutma yağlama koşulları altında, kesme parametrelerinin, kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tornalama deneylerinde kaplamalı sementit karbür (PVD TiAlN-(AlCr)₂O₃) kesici takımlar kullanılmıştır. Deneyler sabit kesme derinliğinde (0.8 mm), üç farklı kesme hızında (120, 180, 240 dev/dak) ve üç farklı ilerleme hızında (0.10, 0.15, 0.20 mm/dev) gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma iki aşamada ele alınmış olup Taguchi'nin L₉ ve L₂₇ düşey dizinleri kullanılarak deney tasarımları yapılmıştır. Her iki deney tasarımında da yukarıda belirtilen kesme parametreleri sabit tutulmuştur. L₉ deney tasarımında nano akışkan konsantrasyon oranlarının (hacimce %0,3, 0,6 ve 0,9) optimizasyonu amaçlanmıştır. Bu amaçla MMY sisteminde kullanılan bitkisel esaslı kesme yağının içerisine Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (ÇDKNT) katı nanopartikülleri eklenerek nanoakışkanlar hazırlanmıştır. L₂₇ deney tasarımında ise yine yukarıda belirtilen kesme parametreleri sabit tutularak soğutma/yağlama şartlarının (kuru, MMY ve Nano MMY) optimizasyonu amaçlanmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesinde sinyal gürültü oranı (S/N) kullanılmıştır. Kontrol faktörlerinin sonuçlara etkisinin belirlenmesi adına, varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Ayrıca bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla çoklu regresyon analizi uygulanmıştır. Deneyler sonucunda ÇDKNT nanoakışkanlar için optimal konsantrasyon oranı hacimce %0,6 olarak tespit edilmiştir. İlk aşamada gerçekleştirilen L₉ deney tasarımına göre en iyi yüzey pürüzlülük değeri 180 m/dak kesme hızında, 0,10 mm/dev ilerleme hızında ve hacimce %0,6 konsantrasyon oranında elde edilmiştir. Kesme bölgesinde oluşan sıcaklık değerleri incelendiğinde en düşük kesme sıcaklığı 120 m/dak kesme hızında, 0,10 mm/dev ilerleme hızında ve hacimce %0,3 konsantrasyon oranında görülmüştür. İkinci aşamada gerçekleştirilen L₂₇ deney tasarımına göre en iyi yüzey pürüzlülük değeri 180 m/dak kesme hızında, 0,10 mm/dev ilerleme hızında ve NanoMMY soğutma/yağlama koşulları altında elde edilmiştir. Optimum kesme sıcaklığını veren değişkenler ise 120

m/dak kesme hızı, 0,10 mm/dev ilerleme hızı ve NanoMMY soğutma/yağlama koşulu olarak tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Tornalama, PH13-8 Mo, MMY, Nanoakışkan, Çok Duvarlı Karbon Nanotüp.



ABSTRACT

THE EFFECTS OF THE ADDITION OF MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES TO THE VEGETABLE-BASED CUTTING OIL USED IN THE MQL SYSTEM ON MACHINING OUTPUTS IN TURNING OF PH13-8 MO STEEL

Oguzhan ONDIN

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Turgay KIVAK

January 2019, 106 pages

The aim of this study is to determine the optimum machining conditions in turning of PH13-8 Mo stainless steel. For this purpose, the effects of the cutting parameters on the cutting temperature and surface roughness were investigated under different cooling lubrication conditions of PH13-8 Mo steel. During the turning experiments, coated cemented carbide (PVD TiAlN-(AlCr)₂O₃) cutting tools were used. The experiments were performed at fixed cutting depth (0.8 mm), three different cutting speeds (120, 180, 240 rpm), and three different feed rates (0.10, 0.15, 0.20 mm/rev). Experimental study was conducted in two stages and experiment designs were made by using L₉ and L₂₇ orthogonal arrays of Taguchi. In both experimental designs, the above-mentioned cutting parameters were kept constant. In the L₉ experimental design, it is aimed to optimize the nanofluid concentration ratios (0.3, 0.6 and 0.9% by volume). For this purpose, nanofluids were prepared by adding multi-walled carbon nanotube (MWCNT) solid nanoparticles into the vegetable-based cutting oil used in the MQL system. In the L₂₇ experimental design, optimization of cooling/lubrication conditions (dry, MQL and NanoMQL) is aimed by keeping the above-mentioned cutting parameters constant. The signal noise ratio (S/N) was used to evaluate the data obtained from the experiments. Variance analysis (ANOVA) was performed to determine the effect of control factors on the results. In addition, multiple regression analysis was applied to determine the relationship between dependent variables and independent variables. As a result of the experiments, the optimal concentration rate for MWCNT nanofluids was found to be 0.6% by volume. Based on the L₉ experiment design performed in the first stage, the best surface roughness value was obtained at a cutting speed of 180 m/min, 0,10 mm/rev feed rate and 0.6% by volume concentration. When the cutting temperature values in the cutting zone were examined, the lowest cutting temperature was observed at a cutting speed of 120 m/min, a feed rate of 0.10 mm/rev and a concentration of 0.3% by volume. Based on the L₂₇ experiment design performed in the second stage, the best surface roughness value was obtained at a cutting speed of 180 m/min, a feed rate of 0.10 mm/rev and under NanoMQL

cooling/lubrication conditions. The parameters providing optimum cutting temperature were determined as 120 m/min cutting speed, 0.10 mm/rev feed rate, and NanoMQL cooling/lubrication condition.

Keywords: Turning, PH13-8 Mo, MQL, Nanofluid, Multi-Walled Carbon Nanotube.



1. GİRİŞ

İşlenebilirlik evrensel olarak tanımlanmış, standart bir özelliği olmayan kesin olarak tarif edilmiş bir terim değildir. İşleme araştırmalarının genel amacı, en iyi ürün kalitesi ve en düşük işleme maliyetinin oluşmasını sağlayan optimum kesme şartları için iş parçası-kesici takım etkileşimini araştırmaktır [1]. Bununla beraber bir iş parçasının işlenebilme kabiliyeti malzemenin takımlama ve işleme süreçleri açısından tasarlanan şekilde şekillendirilmesinin ne kadar kolay veya zor olduğu, ya da uygun kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak talaşlı imalat yöntemleriyle kesilebilmesi için kullanılan terimdir [2]. Talaşlı imalat birbirlerine göre izafi hareket bulunan iş parçası ve/veya kesici takımın, iş parçası üzerinden talaş kaldırma, kesme operasyonuna tabii tutulması olarak tanımlanabilmektedir [3]. Talaş kaldırma esnasında iş parçası işleme özelliklerini belirleyen en önemli faktörler sertlik, süneklik, ısı iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki inklüzyonlar ve malzemenin kimyasal bileşimidir [4].

Paslanmaz çelikler, yüksek korozyon direnci, dayanıklılığı, yüksek sertliği, sünekliği, rijitliği, yapı ve bakım kolaylığı, ateşe dayanıklılığı, estetik görünüşü, hijyenik olması gibi özellikleri sayesinde günümüzde geniş bir kullanım alanına sahiptirler [5]. Demir alaşımlarının korozyon dayanımlarını arttırmak için geliştirilmiş bir türü olan paslanmaz çeliklerin, uygulama alanlarının her geçen gün artarak devam etmesinin temel nedeni korozif ortamlarda, mekanik özelliklerini yitirmeden gösterdikleri yüksek korozyon dirençleridir [6]. Paslanmaz çeliklerde ise korozyon direnci artan krom miktarın bağlı olarak yükselmektedir ki bunun sebebi sıkı ve ince bir krom oksit tabakasının paslanmaz çelik üzerinde oluştuğu ve bu tabakanın oksidasyonun ve korozyonun ilerlemesine engel olduğudur. Paslanmaz çelikler yapılarında bulunan ve kendiliğinden yapılan ve $\geq$ %10,5 krom ve $\leq$ %1,2 karbon içeren demir alaşımlarıdır [4], [7]. Paslanmaz çeliklerin pasiflik özelliğini kuvvetlendirmek için Molibden, sülfürik asite karşı direncini arttırmak için bakır, oksidasyon direncini arttırmak için silisyum, korozyon direncini arttırmak için titanyum ve niyobyum elementleri, korozyon ve dayanım direncini arttırmak için krom katılarak tasarımcılar ve imalatçılar için en uygun paslanmaz çeliği seçme olanağı sunarlar [7]-[8]. Paslanmaz çelikler içerdikleri katkı elementleri ve yapılarına göre beş temel grupta incelenir. Paslanmaz çelik grubunda yer alan ve yüksek korozyon, aşınma

direnci ve mukavemet istenilen kullanım için özel olarak imal edilmiş Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler; nükleer, kimya, uzay, uçak ve deniz endüstrisi gibi geniş kullanım alanına sahiptir Çökeltmeyle sertleştirilebilen çelikler çok düşük miktarda karbon ihtiva ettiklerinden martenzitik türlerinde bile temel sertleşme sadece çökeltmeye bağlı olarak gerçekleşir. Çökeltmeyle sertleştirilebilen çelikler, iyi süneklik ve tokluk yanında geleneksel talaşlı imalat yöntemleri ile işlenebilirliği mümkündür [4].

Talaşlı imalat kesme operasyonunun verimliliğini ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen birçok faktör vardır. İşleme esnasında imalatın verimliliği, iş parçası, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği, takım yönünden kesici takım malzemeleri, takım morfolojisi, geometrisi, yüksek gerilme ve yapıdaki mikro yapısal değişimler ve takım kırılma direnci faktörleri doğrudan etkilemektedir [9]. Talaş kaldırma işleminde tezgâha girdi parametrelerinin (ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği vb.) ve malzemenin işlenmesi sonrasındaki çıktı parametrelerinin (yüzey kalitesi vb) dikkate alınması gerekmektedir. Bir işleme operasyonunun en önemli çıktısı istenilen toleranslarda belirli bir ölçü ve geometriye sahip ürün ve hassas yüzey kalitesine sahip ürünler üretilmesidir [10]. Yüzey pürüzlülüğü, bir iş parçasının işlenmesi esnasında, kesme parametreleri, iş parçası malzemesi, kullanılan takım tezgâhı, kesici takım malzemesi ve özellikleri gibi faktörlerinin optimize edilip, işleme esnasında malzeme yüzeyinin düzgünlüğünü ifade eder [11]. Malzemenin yüzey kalitesi yorulma ömrü, yataklık etme özelliği ve aşınma dayanımı üzerinde önemli etkilere sahiptir [12]. İşleme sırasında kesici takımlardaki hatalar, titreşimler, kesme esnasındaki sıcaklıklar ve talaş sıvanması gibi faktörler yüzey kalitesini belirleyen önemli faktörlerdir [13]-[14].

Talaşlı imalat işleminin etkin bir şekilde kesme işleminin yapılabilmesi için kesici takımın iş parçası yapısına, işleme operasyonunun çeşidine, tezgâha ve optimum parametrelere sahip olması gerekmektedir. Kesici takımın işleme esnasında talaş kırıcı yapısı; işleme verimliliği, takım ömrünün uzun olması, yüksek kesme kuvvetleri altında uzun süre kesme yapılabilmesi için önemlidir [15]. Operasyon esnasında oluşan yüksek gerilmeler, sürtünme ve sıcaklık takım ömrünü doğrudan etkilediği için takımda aşınmalara ve dolayısıyla işleme maliyetlerinin artmasına sebep olur. Talaş kaldırma işlemleri sırasında kesici takımlar kesici kenarın bir işlemde belirlenen bir koşulu yerine getiremeyecek derecede aşınması ile sınırlıdır. İstenilen takım ömrü, yüzey kalitesi ve boyutsal toleransların sağlanması büyük ölçüde talaş kontrolünü sağlayacak işleme operasyonlarının seçimine bağlıdır [16].

Kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve soğutma/yağlama yöntemi gibi kesme işlemine etki eden birçok parametre vardır. Bu parametrelerin işleme çıktıları üzerindeki etkilerini analiz etmek oldukça zordur. İşleme operasyonunun meydana getirmiş olduğu kayıpları azaltmak, maliyetleri düşürmek, sürekli iyileştirmeyi sağlamak, nihai ürün kalitesi ve tasarımda performansı arttırmak, parametrelerin karakteristik etkilerini lineer kılmak ve sapmaları azaltmak amacıyla yüzey yanıt metodu (RSM), regresyon teknikleri, Varyans analizi (ANOVA) ve Taguchi metodu gibi işleme parametrelerinin analiz ve optimizasyonuna yönelik birçok istatistiksel model geliştirilmiştir. Taguchi metodunun esas amacı; kontrol edilebilen değişkenlerin belirli seviyelerde zaman ve maliyet açısından etkin, aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin tüm kombinasyonlarına karşı duyarsız ürünler/prosesler tasarlamaktır. Taguchi deney tasarım tekniği; ürünlerin kalitesinin olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkânını vermektedir [17]-[18]. İşleme operasyonu Taguchi Metodu ile optimize edilerek ideal deney sonuçları ve zaman kaybı önlenecektir.

İşlenebilirliği etkileyen en önemli faktörlerden biriside soğutma ve yağlama tekniğidir. Kesme sıvılarının artan maliyetleri, çevre kirliliği ve insan sağlığı açısından olumsuz etkileri nedeniyle geleneksel kesme sıvılarına alternatif olarak minimum miktarda yağlama (MMY) sistemi geliştirilmiştir [19]. Araştırmacılar işleme maliyetlerinden kesici takım maliyetlerini %4, kesme sıvısının ise %14 olduğunu gözlemlemiştir. MMY sistemi uygulamalarında kesme sıvısının %2'sinin talaşa yapışmasından dolayı, kuruya yakın yağlama ve soğutma sistemi olarak da adlandırılabilir. Minimum miktarda yağlama, isminden de anlaşılacağı gibi, çok küçük yağ damlalarının hava ile karışmasıyla birlikte, kesici takım ve iş parçasının sürtünen yüzeylerine, genelde yağ ve hava karışımı ile soğutmak için kullanılan sistemdir. Literatür incelendiğinde MMY sisteminin delme, frezeleme, tornalama operasyonlarında başarıyla uygulandığı görülmektedir [20].

Kesme yağının fiziksel özelliklerini geliştirmek amacıyla, yeni nesil teknoloji ürünü olan nano partiküller, kullanım alanlarına göre kimyasal bileşimleri ile kesme sıvısına ilavesinin, kesme sıvısının termo-fiziksel ve tribo-kimyasal karakteri üzerinde etkin bir şekilde rol oynadığı ve işleme performansına olumlu etkileri bilinmektedir [21]. Çok duvarlı karbon nano tüpler (ÇDKNT-MWCNT), yüksek ısı iletim katsayısı, etkin soğutma, yüksek elastikiyet modülü, hafif olması, sürtünme katsayısı ve yüksek sıcaklıklarda kimyasal yapılarının bozulmaması gibi özellikleri nedeniyle son çeyrek asırda araştırmacılar için popüleritesi artmış ve endüstride geniş bir kullanım alanı

bulmuştur. ÇDKNT'ler talaşlı imalat operasyonlarında göstermiş olduğu mekanik, optik ve kimyasal özellikleri ile trend bir soğutma yöntemi olmuştur [22].

Bu çalışmada, PH13-8 Mo martenzitik paslanmaz çeliğinin tornalanması esnasında MMY sisteminde kullanılan bitkisel esaslı kesme yağına çok duvarlı karbon nanotüp ilavesinin ve kesme parametrelerinin kesme sıcaklıkları (T) ve yüzey pürüzlülüğüne (R_a) etkisi araştırılarak optimum kesme koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. İşleme parametrelerinin optimizasyonu esnasında Taguchi istatistiksel analiz modeli uygulanmış olup değerlendirmede sinyal/gürültü (S/N) oranları kullanılmıştır. Ayrıca varyans analizi (ANOVA) yapılarak işleme parametrelerinin kalite karakteristikleri üzerindeki etkileri belirlenmiş, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla da çoklu regresyon analizi ile tahmin denklemleri oluşturulmuştur.

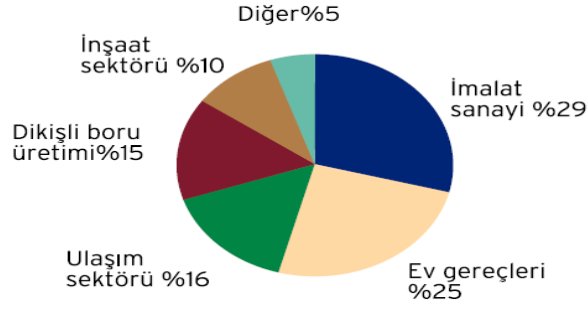
2. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler, kendiliğinden yapılanan ve korozyon direnci sağlayan – pasif tabaka olarak bilinen bir yüzey tabakası oluşumunu temin etmek üzere (ağırlıkça) en az %10,5 krom ve en fazla %1,2 karbon içeren demir alaşımlarıdır. Bu tanım, paslanmaz çeliklerin EN 10088-1 içerisinde verilen tanımıdır [23].

Paslanmaz çelikler 1822 yılında Faraday’ın yapmış olduğu çalışmalar neticesinde demir içerisine krom elementi katılarak korozyon ve oksidasyona karşı dayanıklı olduğunu tespit etmiştir. Mallet’in 1838 yılında yapmış olduğu çalışmada ise krom elementi katılan çeliklerin, korozyon dayanımının yüksek olduğunu keşfetmiştir. 19. yüzyılın sonuna kadar krom elementli çelikler sıcak sülfirik asitli kapalar için kullanılmış olup, 1904 yılında Monnartz’ın oksitleyici ortamlarda pasifleşme, metal yüzeyinin reaksiyona girmediğini ifade etmesiyle [24] paslanmaz çeliklerin kullanım alanları genişlemeye başlamıştır.

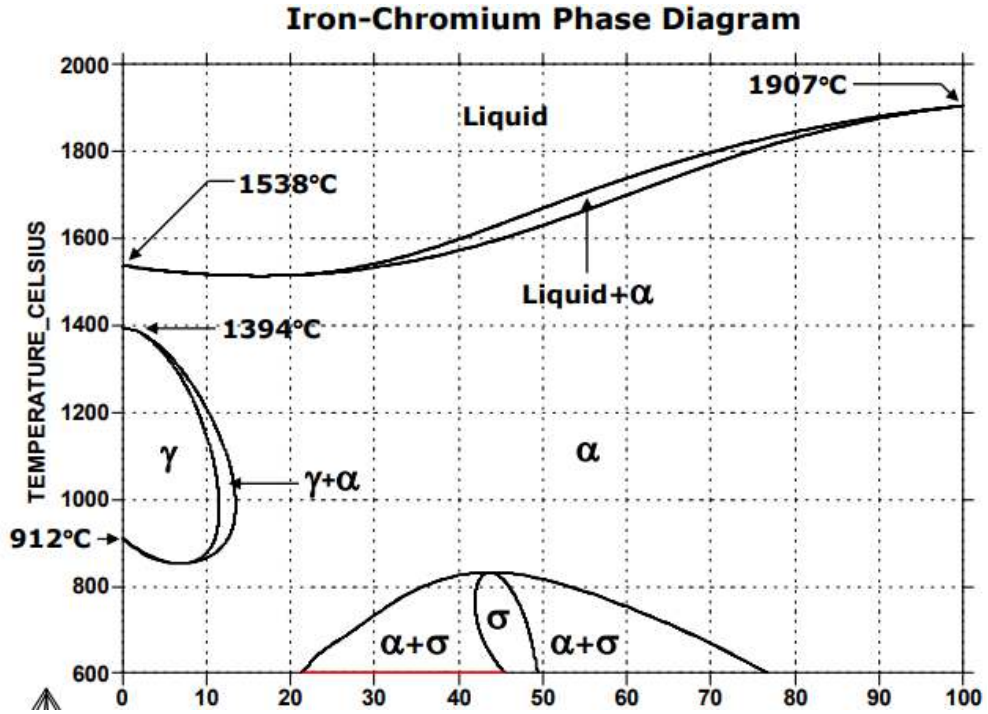
Paslanmaz çeliklerin gelişen teknoloji ile birlikte son çeyrek asırda kullanımı giderek yaygınlaşmış [6], [25], içerdikleri krom elementi sayesinde yüksek korozyon, oksidasyon direnci [26], şekil verme kolaylığı, estetik görünüm, yüksek sıcaklıklarda dirençli olması [4], gibi özellikleri sayesinde kullanımı hızla artmaktadır. Paslanmaz çeliklerin krom ilavesinin artması, oksidasyon direncinin de orantılı olarak arttırdığı belirtilmiştir. Paslanmaz çeliğin paslanmazlığı konusunda birçok fikir ortaya atılmış olup, en kabul göreni ince ve sıkı bir krom oksit (Cr_2O_3) tabakasının malzeme üzerinde oksidasyon ve korozyonun ilerlemesini önlediğidir [4], [27].

Paslanmaz Çeliklerin mekanik özelliklerinin iyi olmasının yanı sıra işlenebilirlik performansı da oldukça iyidir. Yüksek dayanım, pekleşme özelliği, uzama eğilimi, düşük maliyet, dönüşüm maliyeti ve dikişsiz tek parça olarak üretilebilirliği endüstriler için tercih edilmesine sebep olmaktadır [23], [28]. Şekil 2.1’de paslanmaz çeliklerin kullanım alanları verilmiştir.



Şekil 2.1. Paslanmaz çeliklerin kullanım alanları [29].

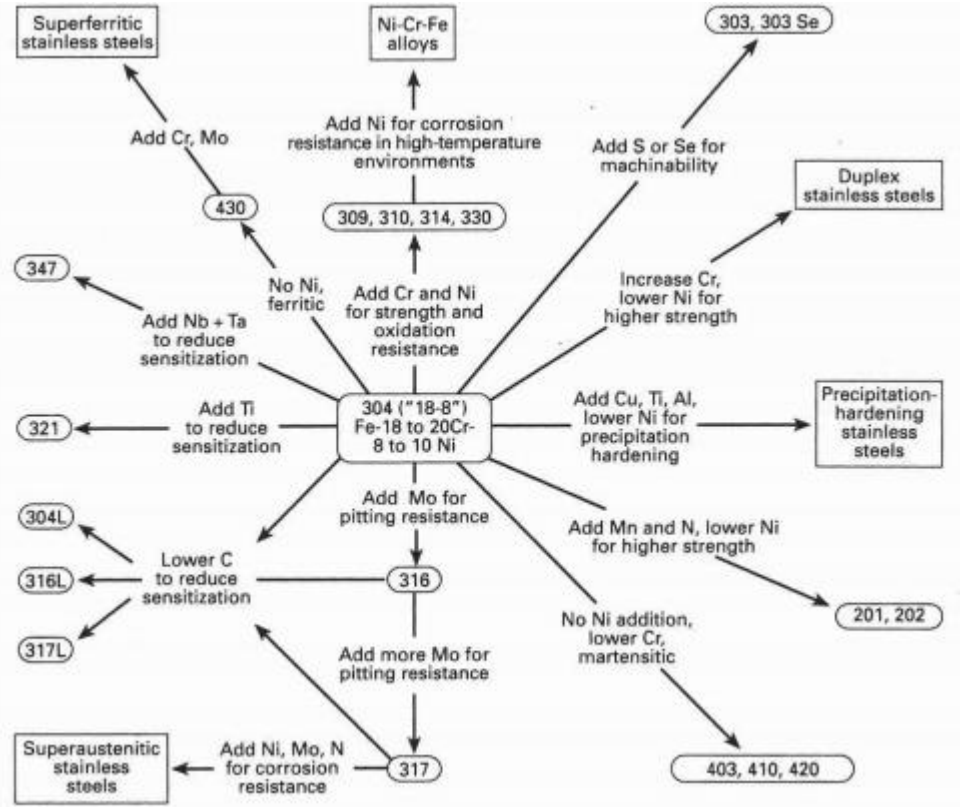
Paslanmaz çeliklerin temelini demir-krom sistemi oluşturmakta olup demir krom faz diyagramı Şekil 2.2’de verilmiştir. Krom hacim merkezli kübik (HMK) yapısına sahiptir. Demir karbon denge diyagramında yüzey merkezli kübik (YMK) kristal kafes yapısına sahip östenitik yapı oluşturan bölge olan östenit (γ) kapalı hale getirir ve 1000 °C sıcaklığında %12 kadar krom çözünürlüğe sahiptirler. Eğer yapıda %12’den fazla krom içerdiğinde demir-krom alaşımları YMK’den HMK’e dönüşüm göstermezler [30]-[32]



Şekil 2.2. Demir krom faz diyagramı [33].

Paslanmaz çeliklerin yapılarına alaşım elementleri kombinasyonu ile birlikte yapılarında çeliklerin kimyasal özelliklerini önemli ölçüde etkileyip, fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementler sırasıyla krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapının ferritik veya östenitik olmasını belirler [34]. Ferritik ve östenitik yapı

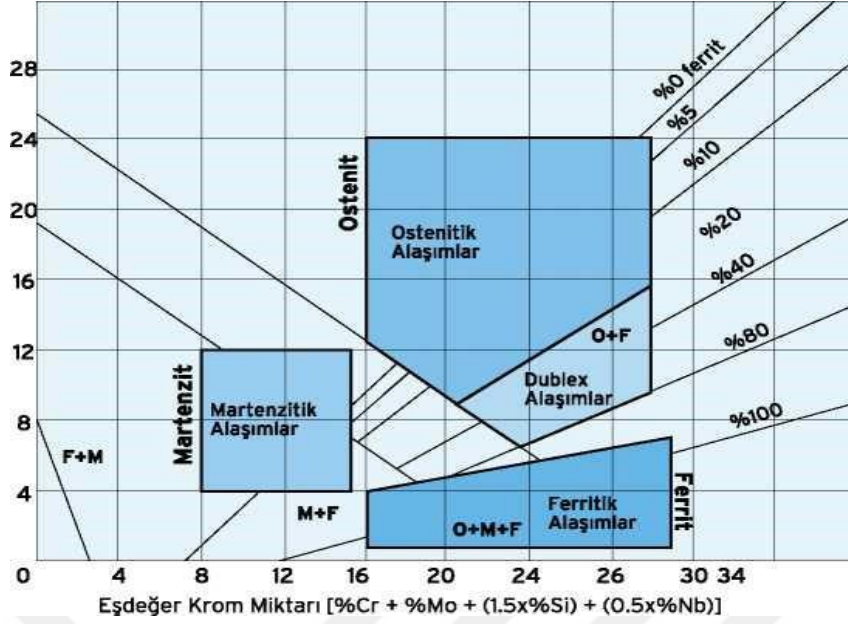
arasında kalan çeliklerin birtakım özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılarına molibden (Mo), bakır (Cu), titanyum (Ti), silisyum (Si), manganez (Mn), alüminyum (Al), azot (N) ve sülfür (S) gibi elementler [35] ilave edilir. Paslanmaz çeliklerin yapılarına element ilave ve dönüşümü Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Paslanmaz çeliklerin yapıları [36].

Paslanmaz çelikler yapılarına katılan alaşım elementleri ve kristal yapılarına göre östenitik ve ferritik yapı arasında sıralanan beş farklı grupta incelenmektedir. Şekil 2.4’de paslanmaz çeliklerin türleri, Scheffler diyagramı verilmiştir.

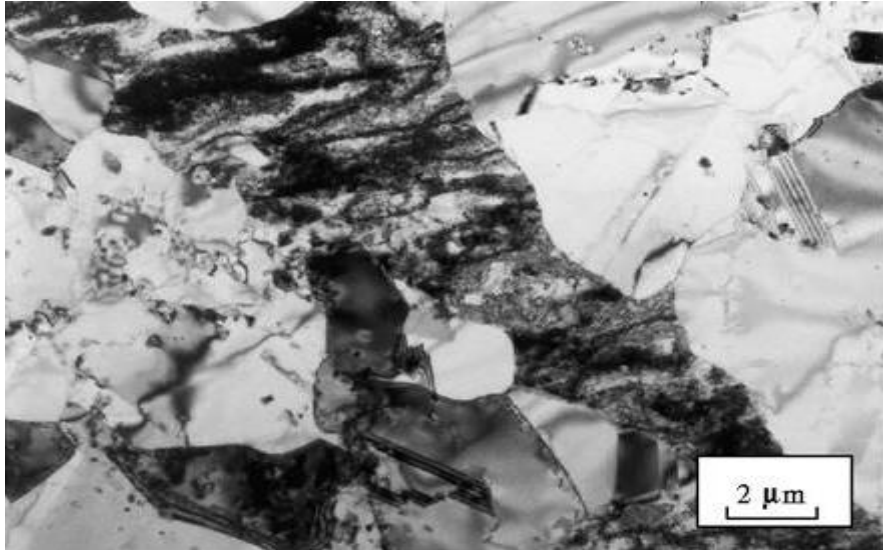
- Östenitik Paslanmaz Çelikler
- Ferritik Paslanmaz Çelikler
- Martenzitik Paslanmaz Çelikler
- Dupleks (Ferritik-Östenitik) Paslanmaz çelikler
- Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler [4], [25].



Şekil 2.4. Scheffler diyagramı [37].

2.1. ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Östenitik paslanmaz çelikler paslanmaz çelik ailesinin en yaygın kullanım alanına sahip olup, toplam paslanmaz üretiminin %60'ını oluşturmaktadır. Maksimum %0,15 karbon, minimum %16 krom ve östenitik yapıyı çok düşük sıcaklıklardan ergime sıcaklığına kadar kararlı kılmak amacıyla yeterli miktarda nikel veya mangan içerirler. En çok bilinen çelik türleri AISI 304 ve AISI 316 çelik türleridir [39].



Şekil 2.5. Östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı [39].

Östenitik paslanmaz çelikler;

- Süneklikleri yüksektir,
- Manyetik değildir,
- Isıl işleme tabii tutulamazlar,
- Haddelene ile sertleştirilebilir,
- Mükemmel korozyon dayanımı ve iyi bir işlenebilirlik özelliğine sahiptirler [39].

Östenitik paslanmaz çeliklerin özelliklerini geliştirmek amacıyla yapılarına Mo, Ti, Nb, Ta ve N gibi elementler ilave edilmektedir. Östenitik paslanmaz çeliklerin soğuma esnasında faz değişimi olmadığından dolayı düşük sıcaklıklarda darbe direnci oldukça yüksektir. Diğer östenitik çelik türlerinden ayıran en önemli özelliği ise manyetik olmamalarıdır [38].

Çizelge 2.1. Östenitik paslanmaz çelik türlerin kimyasal yapısı [36].

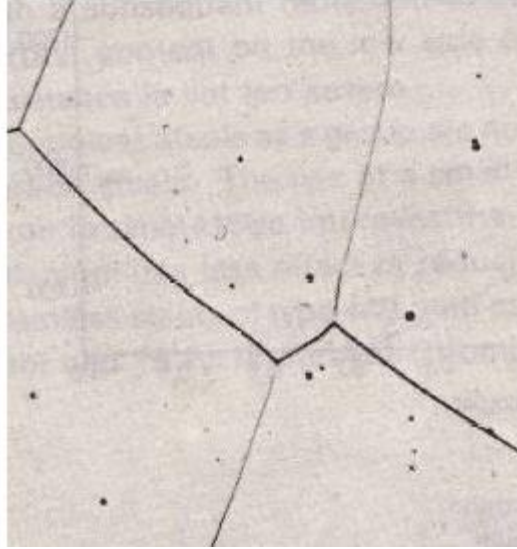
AISI	UNS	C	S	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	Nb
302B	S30215	0,03 Max	0,03 Max	2,0 3,0	17,0 19,0	8,0 10,0	0,5	0,5	-
303L	S30300	0,03 Max	0,15 0,30	1,0	17,0 19,0	8,0 10,0	0,5	0,5	-
304L	S30403	0,03 Max	0,03 Max	1,0	17,0 19,0	8,0 10,0	0,5	0,5	-
304Cu	S30430	0,12 Max	0,03 Max	1,0	17,0 19,0	8,0 10,0	3,0 4,0	0,5	-
309Cb	S30940	0,03 Max	0,03 Max	1,0	22,0 24,0	12,0 16,0	0,5	0,5	0,4 0,6
310S	S31008	0,03 Max	0,03 Max	1,5	24,0 26,0	19,0 22,0	0,5	0,5	-
316L	S31603	0,03 Max	0,03 Max	1,0	16,0 18,0	10,0 14,0	0,5	2,0 3,0	-
316Cb	S31640	0,03 Max	0,03 Max	1,0	16,0 18,0	10,0 14,0	0,5	2,0 3,0	0,4 0,6
317L	S31703	0,03 Max	0,03 Max	1,0	18,0 20,0	11,0 15,0	0,5	3,0 4,0	-
321L	S32100	0,03 Max	0,03 Max	1,0	17,0 19,0	9,0 12,0	0,5	0,5	0,4 0,6
904L	N08904	0,02 Max	0,03 Max	1,0	19,0 23,0	23,0 28,0	1,0 2,0	4,0 5,0	-

Östenitik paslanmaz çelikler atmosferik asidik ortamlarda yüksek korozyon direncine sahiptir. Tren rayları, uçak parçaları, kimyasal yiyecek işleme ve depolama hatlarında, petrol rafine ekipmanları ve kömür silolarında kullanılmaktadır [40].

2.2. FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Ferritik paslanmaz çelikler, genellikle otomotiv endüstrisinde kullanılmakta olup, ürün farklılığı bakımından en kapsamlı olan türdür. 400 Kalite olarak tanımlanan ferritik paslanmaz çelikler manyetiklenme özelliğine sahiptir. Yüksek korozyon ve süneklik dayanımını sahip bu çelikler yapılarında %11 ile %17 arası krom içermektedir [34]. Ferritik paslanmaz çelikler hacim merkezli kübik yapıya sahiptirler. Yapılarından ötürü ısı işleme tabii tutulamazlar [39], [41].

Yüksek sıcaklıklarda ferritik özelliğini yitirmeyen bu çelikler, yapılarında titanyum ve niyobyum elementinin eklenmesi sonucu kimyasal bileşimlerini korumaktadırlar. Böylece kendi yapısında süneklik ve korozyon direnci sağlanır. Oksidasyon karşı direnci artar ve krom miktarının artması ile korozyon direnci de artar [42].



Şekil 2.6. Ferritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı [39].

Ferritik paslanmaz çelikler orta derece korozyona sahip olmakla birlikte, kaynak kabiliyetleri ve şekillendirilme kabiliyetleri düşüktür. Mutfak gereçleri, dekoratif uygulamalar, otomobil endüstrisi ve egzoz elemanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [29].

Çizelge 2.2. Ferritik paslanmaz çelik türlerin kimyasal yapısı [36].

AISI	UNS	C	S	P	Si	Cr	Ni	Cu	Mn	Mo	Nb
409L	S40940	0,03 Max	0,03 Max	0,040 Max	1,0 Max	10,5 11,7	0,5 Max	0,5 Max	1,0 Max	0,5 Max	0,4 0,6
410L	S41000	0,03 Max	0,03 Max	0,040 Max	1,0 Max	11,5 13,0	0,5 Max	0,5 Max	1,0 Max	0,5 Max	-
416L	S41603	0,03 Max	0,15 0,30	0,040 Max	1,0 Max	11,5 13,0	0,5 Max	0,5 Max	1,0 Max	0,5 Max	-
430L	S43000	0,12 Max	0,03 Max	0,040 Max	1,0 Max	16,0 18,0	0,5 Max	0,5 Max	1,0 Max	0,5 Max	-
434L	S43400	0,03 Max	0,03 Max	0,040 Max	1,0 Max	16,0 18,0	0,5 Max	0,5 Max	1,0 Max	0,75 1,25	-
436	S43600	0,03 Max	0,03 Max	0,040 Max	1,0 Max	16,0 18,0	0,5 Max	0,5 Max	1,0 Max	0,75 1,25	0,4 0,6
439	S43035	0,03 Max	0,03 Max	0,040 Max	1,0 Max	16,0 18,0	0,5 Max	0,5 Max	1,0 Max	0,5 Max	0,4 0,6
441	S44100	0,03 Max	0,03 Max	0,040 Max	1,0 Max	16,0 18,0	0,5 Max	0,5 Max	1,0 Max	0,5 Max	1,0
446	S44600	0,03 Max	0,03 Max	0,040 Max	1,0 Max	23,0 27,0	1,0 Max	0,5 Max	1,0 Max	-	-
446	S44626	0,03 Max	0,03 Max	0,040 Max	1,0 Max	25,0 27,5	1,0 Max	0,5 Max	1,0 Max	0,75- 1,50	0,05 0,2

2.3. MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Martenzitik paslanmaz çelikler yapılarında %0,1-1,0 C içeren ve %12-17 arasında Cr içermektedir. Martenzitik paslanmaz çeliklerin en belirgin özelliği karbon oranının düşük olması ile ısıtılma işlemleriyle sertleştirilebilmesidir. Bu çeliklerde aranan özellik dayanım ve sertlik olduğu için korozyon dayanımı diğer türlere nazaran daha düşüktür. Korozyon direncini arttırmak amacıyla yapılarına Mo ve V elementleri ilave edilir. Martenzitik paslanmaz çelikler manyetik yapıdadırlar [43].



Şekil 2.7. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı [39].

Çizelge 2.3. Martenzitik paslanmaz çelik türlerin kimyasal yapısı [36].

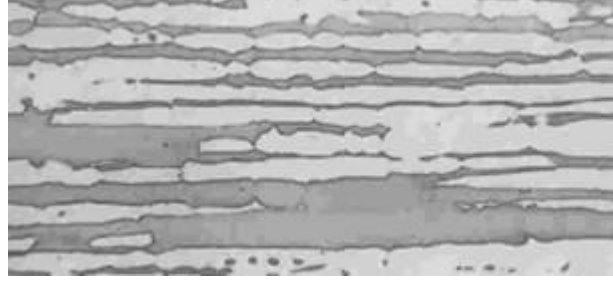
AISI	UNS	C	S	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	Nb
414	S41400	0,03 Max	0,03 Max	1,0 Max	12,0 15,0	1,25 2,50	0,5 Max	0,5 Max	-
414	S41426	0,03 Max	0,03 Max	1,0 Max	12,0 15,0	4,0 7,0	1,5 2,0	1,5 2,0	-
415	S41500	0,03 Max	0,03 Max	1,0 Max	11,5 14,0	3,5 5,5	0,5 Max	0,5 1,0	-
420	S42000	0,15 0,30	0,03 Max	1,0 Max	12,0 14,0	0,5 Max	0,5 Max	0,5 Max	-
440B	S44003	0,75 0,95	0,03 Max	1,0 Max	16,0 18,0	0,5 Max	0,5 Max	0,75 Max	-
440C	S44004	0,95 1,20	0,03 Max	1,0 Max	16,0 18,0	0,5 Max	0,5 Max	0,75 Max	-
410LCu	J91151	0,15 Max	0,03 Max	1,5 Max	11,5 14,0	1,0 Max	3,0 5,0	0,5 Max	-

Düşük karbonlu martenzitik çelikler, östenit bölgesinden havada soğuma ile elde edilmektedir. Oluşan martenzit yapının sertlik ve mukavemet değerleri yüksektir, temperleme ısı işlemi ile tokluk ve süneklik özellikleri artırılmaktadır. Yüksek karbonlu martenzit çeliklerde karbon miktarı %1,2'ye kadar yükselmektedir. Martenzitik çelikler sert manyetik malzemelerdir. Korozyon dayanımları krom miktarına bağlı değişkenlik göstermektedir. Seyreltik nitrik asitlerde, nötr tuzlarda, temiz atmosfer şartlarında korozyon dayanımı göstermektedir. 600°C ve üzeri meneviş işlemlerinde krom karbür çökmesi gerçekleşir ve korozyon dayanımı azalmaktadır [44].

2.4. DUBLEKS (FERRİTİK-ÖSTENİTİK) PASLANMAZ ÇELİKLER

Dubleks paslanmaz çelikler yapılarında hem östenitik fazı hem de ferritik fazı bir arada bulundurmaktadır. İki fazın bir arada bulunmasından dolayı östenitik ve ferritik çeliklere

göre daha iyi mekanik özellikler sergilemektedir. Östenitik-ferritik diye de adlandırılan bu tip paslanmaz çeliklerde, bu iki faz bir arada bulunduğundan östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklere nazaran daha yüksek özellikler gösterirler [34]. Ferritik yapıyla mukavemet ve gerilmenin korozyon çatlamasına direnç, östenitik yapı ile tokluk ve genel korozyon direnci sağlanır [38].



Şekil 2.8. Dupleks paslanmaz çeliğin mikro yapısı [39].

Çizelge 2.4. Dupleks paslanmaz çelik türlerin kimyasal yapısı [36].

AISI	UNS	C	S	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	Nb
Dublex-329	S32900	0,08 Max	0,03 Max	1,0 Max	23,0 28,0	2,5 5,0	0,5 Max	1,0 2,0	-
Dublex-2205	S32205	0,03 Max	0,03 Max	1,0 Max	21,0 23,0	4,5 6,5	3,0 5,0	2,5 3,5	-
Duracor/3Cr12	S41003	0,15 0,30	0,03 Max	1,0 Max	10,5 12,5	1,5 Max	0,5 Max	0,5 Max	-

Dupleks paslanmaz çelikler, sıcak su tankları, denizcilik uygulamaları ve petrokimyasal endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır [44].

2.5. ÇÖKELMEYLE SERTLEŞTİRİLEBİLEN PASLANMAZ ÇELİKLER

Bu türdeki çeliklerin yapılarına ilave edilen molibden, bakır, titanyum ve alüminyum gibi elementler yapılarını özel kılmaktadır. Çökeltmeyle sertleştirilebilen paslanmaz çelikler; çözeltiye alma işleminin ardından hemen hızlı bir soğuma işlemine alma işleminin uygulanmasıdır. Çözeltiye alma işlemi sırasında çözülen çeliğin içindeki maddeler daha sonraki hızlı soğuma işleminde çökerek paslanmaz çeliğin mekanik ve korozyon direnç özelliklerinin gelişmesi sağlanmaktadır. Yapılan son işlem olan hızlı soğuma işlemine yaşlandırma da denilmektedir. Bundan dolayı bu paslanmaz çeliklere çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelik denildiği gibi yaşlandırmayla sertleştirilen paslanmaz çelikler de denilmektedir.

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklere, uygulanan işlemler sayesinde yapıları oldukça geliştirilebilmektedir. Çözeltiye alma işlemi ve ardından yapılan yaşlandırma işlemi sayesinde bu çeliklerin martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerine sahip olmaktadır. Ayrıca bununla birlikte östentitik paslanmaz çeliklerin korozyon direncine sahip olabilmektedir. Farklı özellikteki paslanmaz çeliklerin olumlu özelliklerini böylece taşıyabilmektedir. Bu işlemlerden sonra normalize olan paslanmaz çelikler kolay şekil alma özelliği sayesinde kolaylıkla şekillendirilebilmektedir. Daha sonra tekrar ısıtma işlemi alınabilmektedir. Isıtma işlemi sayesinde mekanik özellikleri daha da geliştirilebilmektedir. 480 dereceyle 600 derece arasında uygulanan ısıtma işlemi sayesinde bu paslanmaz çeliklerin mukavemetleri daha da artmaktadır. Artan mukavemet seviyeleri, martenzitik paslanmaz çeliklerin mukavemet seviyesinden daha yüksektir. Böylelikle paslanmaz çeliklerin özelliklerinin geliştirilmesi amacına ulaşılmış olmaktadır [45].

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler yapılarına ilave edilen elementler sayesinde 1700 mPa gibi yüksek mukavemetli çelikler elde edilmektedir [29]. Kolay üretilibilmelerinin yanı sıra, yüksek dayanım, korozyon direnci, mekanik direnç, iyi kaynak kabiliyeti ve mıknatıslanma özelliğine sahiptirler. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler yapılarına ve kimyasal bileşimlerine göre üç farklı tipte grupta sınıflandırılmaktadır.

- Yarı Östenitik Çökelme Paslanmaz Çelikler
- Östenitik Çökelme Paslanmaz Çelikler
- Martenzitik Çökelme Paslanmaz Çelikler [10]

Çökelme sertleşmeli çeliklerin en yaygın kullanım türü 630 kalite olup [25], uzay-uçak ve yüksek teknoloji ürünlerinde [27], [34], yüksek mukavemetli şaftlarda, pervane bıçaklarında ve patlayıcı sistemlerde [44] tercih edilmektedir. Paslanmaz çelik türlerinin kimyasal yapısı Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Çökelme Sertleşmeli paslanmaz çelik türlerin kimyasal yapısı, [32], [44].

AISI	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Al	N
PH 17-7	0,07	0,50	0,30	17,0	7,1	-	1,2	0,04
PH 17-4	0,07	1,0	0,70	17,0	5,0	0,60	-	-
PH 15-7 Mo	0,07	0,50	0,30	15,2	7,1	2,2	1,2	0,04
PH 15-5	0,07	1,0	0,50	15,5	5,0	0,5	-	-
PH 13-8 Mo	0,036	0,06	0,08	12,54	8,023	2,06	1,02	0,005
PH 14-8 Mo	0,04	0,02	0,02	15,1	8,2	2,2	1,2	0,005
AM-350	0,10	0,75	0,35	16,5	2,75	2,75	-	0,10
AM-355	0,13	0,85	0,35	15,5	2,75	2,75	-	0,12

AISI standartlarında 6xx biçiminde gruplandırılan bu çelikler özel ve spesifik alanlarda kullanımından ötürü standart olmayan kaliteler arasında ticari simgeleri ile tanınmaktadır [46]. Çizelge 2.6’da metalürjik karakteristik özelliklerine göre sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 2.6. Çökelme paslanmaz çeliklerin metalürjik karakteristik özellikleri [46].

Östenitik Çökelme Paslanmaz Çelikler	Yarı Östenitik Çökelme Paslanmaz Çelikler	Martenzitik Çökelme Paslanmaz Çelikler
17-10 P	PH 17-7	PH 17-4
HNM	PH 15-7 Mo	PH 15-5
A-286	AM-350	PH 16-6 CROLOY
	AM-355	CUSTOM 450 (XM-25)
	PH 14-8 Mo (XM-24)	CUSTOM 455 (XM-16)
		PH 13-8 Mo
		ALMAR 362 (XM-9)
		IN-736

2.5.1. Martenzitik Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler

Martenzitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler 1050-1080°C sıcaklık aralığındaki çözeltiye alma tavlama sırasında tamamen östenitik yapıda olmalarına karşın soğumada östenit martenzite dönüşerek tamamen martenzitik bir iç yapıya sahip olurlar. Martenzitik dönüşüm başlama sıcaklığı (Ms) 95-150°C’dir. Daha sonra, bu çelikler 480-650°C sıcaklık aralığında bir sıcaklığa ısıtılarak yaşlandırılırlar.

Çeliğin içeriğinde bulunan molibden, titanyum, bakır, niyobyum ve alüminyum gibi elementlerden birinin veya birkaçının bu ısıl işlem sonucunda çok küçük zerrecikler halinde çökmesi ile sertlik ve mukavemette artış sağlanır. Endüstride kullanılan

martenzitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çelik türlerine uygulanan ısıtma işlem türleri Çizelge 2.7’ de verilmiştir. Çeliğin mekanik özellikleri yaşlandırma sıcaklığı ve sıcaklık sürecine bağlı olarak değişir, bu şekilde özel kullanım isteklerini karşılayabilir.

Çizelge 2.7. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklere uygulanacak ısıtma işlemleri.

Tür	Malzeme	Çözeltiliye Alma ^a		Yaşlandırma ^b	
		Sıcaklık, (°C)	Soğutma Ortamı	Sıcaklık, (°C)	Süre, (Saat)
MARTENZİTİK	17-4 PH	1050	Y, H	480 Veya 500-630	1
	15-5 PH	1050	S	480 veya 500-630	1
	Custom 450	1050	S	480-630	4
	Custom 450	840	S	480-570	4
	Stainless W	1050	H	510-570	0,5
YARI ÖSTENİTİK	17-7 PH	960	H	68	8
	PH 15-7 Mo	760	H	510-570	1
				570-600	1,5
	PH 15-7 Mo	960	H	68	8
				510-570	1
ÖSTENİT	AM350			73	3
	AM355	940	H	460-540	3
	A-286	990	Y	725	16
	17-10P	1130	S	710	14
	HNM	1130	Y, H	740	16
		a. Y-Yağ,	H-Hava,	S-Su	b. Havada soğutma

Uygulanan ısıtma işlemleri sonucunda, çekme mukavemetlerindeki değişime bağlı olarak martenzitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler iki gruba ayrılırlar. Örneğin, 17-4 PH, 15-5 PH, Custom 450, stainless W gibi türler 1378 MPa’ ya varan çekme mukavemetleri ile orta mukavemetli, PH 13-8 Mo ve custom 455, 1378 MPa’dan daha fazla çekme mukavemetleri ile yüksek mukavemetli olarak gruplandırılırlar [46].

2.5.1.1. PH 13-8 Mo Çökelme Sertleşmeli Martenzitik Paslanmaz Çeliği

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, kimyasal bileşimleri yapılarına bağlı olarak östenitik, yarı östenitik veya martenzitik yapıdadır. Martenzitik çökeltilme ile sertleştirilen paslanmaz çelikler ailenin en yaygın kullanım alanı bulan çelik yapısıdır. Çubuk, tel dövme ve haddeleme ile üretilebilen bu çelikler, martenzitik yapının korunması için yapılarında %4-7 Ni içermektedir. Mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve

mukavemetlerini arttırmak amacıyla yapılarına [47]. Mo (Molibden), Cu (Bakır), Ti (Titanyum), Ni, (Nikel) ve Ni (Niyobyum) elementleri eklenmektedir [47]-[48].

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin ilk olarak 1940'lı yıllarda [48] geliştirilmeye başlanmış ve spesifik özellikleri nedeniyle uygulama alanı oldukça önemli hale gelmiştir. İmalat kolaylığı, yüksek mukavemet, süneklik ve mükemmel korozyon direncine [49] sahip olmaları endüstrilerin ilgisini çekmeyi başarmıştır. Bu tip çelikler mükemmel mekanik özellikler sergilemekle beraber aynı zamanda geleneksel imalat işlemlerine de uygundur [50].

1960'lı yılların başında ABD'de araştırmacılar yapılarında %8-9 Co elementi içeren martenzitik paslanmaz çeliklerin [51] Kobaltın yüksek maliyeti nedeniyle [52] bir dizi araştırma yapmaya başlamışlardır. PH 13-8 Mo çeliği de dahil olmak üzere çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin yapısında bulunan nikel ve alüminyum içeren ferritik ve martenzitik türlerin 400°C'in üzerindeki yüksek sıcaklıklarda bile sertleşebileceğini göstermiştir [53].

PH 13-8 Mo çeliği düşük karbonlu çökelme ile sertleşmeli paslanmaz çeliklerin yapısında olup, stres ve korozyon direnci fazla, yüksek mukavemete sahip bir çelik türüdür. Bu nedenle havacılık endüstrisinde, uçak iniş takımları [54], petrokimya, nükleer reaktörler [55], buhar türbinleri ve kanatlarında tercih edilmektedir [48]. PH13-8 Mo çeliği diğer çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklere göre daha yüksek korozyon ve mukavemete sahiptir. Ağır çevresel koşullarda dahi mükemmel mekanik özelliklerini korumaktadır. [53].

2.6. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ

Paslanmaz çeliklerin kendine has özelliklerini sağlamak amacıyla yapılarına birtakım elementler; karbon, krom, mangan, nikel, alüminyum, silisyum, kükürt, vanadyum, molibden, wolfram, kurşun, bor ve bakır ilave edilerek (C, Cr, Mn, Ni, Al, Si, S, V, Mo, W, Pb, B, Cu) faz oluşumunu kararlı hale getirilmektedir [6], [31], [38], [56], [57].

Çizelge 2.8. Alaşım elementlerinin çelik üzerine etkileri [56].

Alaşım Elementi	Akma Noktası	Sertlik	Mukavemet	Uzama	Kesit Dayanımı	Darbe Direnci	Elastisite	Soğutma Hızı	Karbür Oluşumu	Aşınma Direnci	Dövülebilirlik	İşlenebilirlik	Yüksek Sıcaklığa Dayanım	Oksitlenme Direnci	Korozyon Direnci
Si	↑↑	↑	↑	↓	≈	↓	↑↑↑	↓	↓	↓↓↓	↓	↓	↑	↓	–
Mn*	↑	↑	↑	≈	≈	≈	↑	↓	≈	↓↓	↑	↓	≈	≈	–
Mn**	↓	↓↓↓	↑	↓↓↓	≈	–	–	↓↓	–	–	↓↓↓	↓↓↓	–	↓↓	–
Cr	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↓↓↓	↑↑	↑	↓	–	↑	↓↓↓	↓↓↓
Ni*	↑	↑	↑	≈	≈	≈	–	↓↓	–	↓↓	↑	↑	↑	↑	–
Ni**	↓	↓↓	↑	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	–	↓↓	–	–	↓↓↓	↓↓↓	↑↑↑	↓↓	↑↑
Al	–	–	–	–	↓	↓	–	–	–	–	↓↓	–	–	↓↓	–
W	↑	↑	↑	↓	↓	–	–	↓↓	↑↑	↑↑↑	↓↓	↓↓	↑↑↑	↓↓	–
V	↑	↑	↑	≈	≈	↑	↑	↓	↓↓↓	↑↑	↑	–	↑↑	↓	↑
Co	↑	↑	↑	↓	↓	↓	–	↑↑	–	↑↑↑	↓	≈	↑↑	↓	↑
Mo	↑	↑	↑	↓	↓	↑	–	≈	↑↑↑	↑↑	↓	↓	↑↑	↑↑	–
S	–	–	–	↓	↓	↓	–	–	–	–	↓↓↓	↑↑↑	–	–	↓
P	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓↓	–	–	–	–	↓↓↓	↓↓↓	–	↓↓	↑↑
* Perlitik Çeliklerde								** Östenitik Çeliklerde							
↑				↓				≈				–			
Arttırır				Azaltır				Değişmez				Önemsiz/Bilinmiyor			

Alaşımli çeliğin alaşım elementlerinin alt ve üst limit değerleri arasındaki fark çok az olup, alaşım elementi sayısı arttıkça alınacak dökümlerde uygun olmayanların sayısı da artar. Alaşımli çelik ingot ve kütüklerinin gerek yüzeyinde gerekse içinde meydana gelmesi muhtemel çatlamların oluşmaması için, özel kuyu ocaklarında ağır ağır soğutulur. Ayrıca haddeleme ve dövme işlemlerinden önce son olarak hatalar giderilir. Bu nedenlerden ötürü alaşımli çelik yapımı, karbonlu çeliklere kıyasla daha zordur. Alaşım elementlerinin etkisiyle, başka hiçbir malzemenin özellikleri çeliklerdeki kadar geniş çapta değiştirilemez. Öte yandan çok sık örnekte karşılaşıldığı gibi bunların etkileri toplanabilir olmadığından, çok sayıda alaşım elementinin birlikte bulunması halinde, beklenen özellik değişimleri ancak genel çerçevede ele alınabilir ve bu konuda kesin bir yaklaşım yapılamaz [56].

2.6.1. Karbon (C)

Çeliğin başlıca sertleştirici etkisi olan element karbondur [38], [56]. Yüksek mukavemetli alaşımlarda sertlik ve çekme dayanımını artırır. Tokluk [31], dövülme ve

şekil kabiliyetini [6], korozyon direncini [57] olumsuz yönde etkiler.

2.6.2. Mangan (Mn)

Oda sıcaklığında yapıda östenit fazının stabil kalmasını sağlarken yüksek sıcaklıklarda ferrit ve manganer sülfat oluştur [6]. Şekil verme ve kaynak edilebilmede olumlu etki sağlar. Karbon oranına bağılı olarak çeliğin direncini artırır [38], [56].

2.6.3. Silisyum (Si)

Östenitik çeliklerde korozyon direncini [31] arttırmak için kullanılır. Şekillendirme kabiliyetlerini iyileştirir, elektrik direncini yükseltir [57].

2.6.4. Azot (N)

Nitrür oluşturduğu için önemlidir. Çelikte yaşlanma meydana getirir. Çeliğin sertliğini, mekanik dayanımını ve korozyon dayanımını artırır. Uygun alaşımlı çeliklerin yüzeyine nüfuz ettirilerek aşınmaya dirençli ve sert bir yüzey tabakası elde edilir [56]. Yüksek kromlu ve az karbonlu çeliklerde tane büyümesini [57] önler, mukavemeti [6] artırır.

2.6.5. Krom (Cr)

Krom çeliğin korozyon [57] direncini arttıran, tuhal yapmayı önleyen [6], paslanmaya karşı direncini arttıran elementtir [58]. Kromlu çeliklerde krom oranının artmasıyla kaynak kabiliyeti azalır, çeliğin esnekliğini azaltır [56].

2.6.6. Molibden (Mo)

Yüksek sıcaklıklarda çeliğin dayanımı [31] ve sürünme direncini [57] artırır. Yüksek miktarda molibden çeliğin şekil verme kabiliyetini güçleştirir. Alaşımlı çeliklerde molibden, krom-nikelle birlikte kullanıldığında akma ve çekme dayanımını artırır. Molibden kuvvetli karbür meydana getirdiğinden hava ve sıcak iş çeliklerinde, östenitik pas dayanımlı çeliklerde, sementasyon makine yapım çeliklerinde ve ısıya dayanımlı çeliklerin yapımında kullanılır [56].

2.6.7. Niyobyum (Nb)

Östenitik çeliklerde taneler arası korozyon hassasiyetini azaltmak amacıyla, karbonla birleşerek yapıyı kararlı hale getirir. Tane küçültücü etkisi vardır. Ferrit oluşumuna katkıda bulunur. Sürünme dayanımı sağlar, ancak sürünme sünekliğini azaltır [6]. Yüksek

dayanımlı çeliklere mukavemet ve sertliği [57] etkilemek amacıyla da kullanılmaktadır.

2.6.8. Alüminyum (Al)

Yüksek mukavemetli alaşımlara titanyum ile birlikte kullanılarak yaşlanma sertleşmesi etkisini azaltmakta kullanılır [31]. Kuvvetli nitrür ve ferrit yapıcıdır [57].

2.6.9. Kobalt (Co)

Paslanmaz çeliğin yüksek sıcaklıklarda sürünme ve mukavemetini arttırmak amacıyla kullanılır [31], [57].

2.6.10. Vanadyum (V)

Yapı çeliklerinin tane yapısının ince ve kararlı hale getirilmesi için kullanılmaktadır. Çeliğin çekme ve akma dayanımını artırır, karbür yapmaya karşı eğilimi vardır. Genellikle makine yapım çeliklerinde vanadyum ve kromla birlikte kullanılmaktadır [38].

2.6.11. Wolfram (W)

Çeliğin mukavemetini arttıran, takım çeliklerinde kesici kenarların sertliği, yüksek sıcaklıklarda ömrünün uzamasını sağlar. Takım ve ıslah çeliklerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynak kabiliyetini, çekme ve akma dayanımı artırır [38], [56].

3. TALAŞLI İMALAT VE TORNALAMA

3.1. TALAŞLI İMALAT

Talaşlı imalat işlemleri 19. yüzyılın sonlarına doğru hızla gelişimini sürdürmüş, buhar makinesinin bulunması ve elektrik enerjisi ile elde edilen güç ile birlikte önemli gelişmeler kaydetmiştir. 19. yüzyılın ilk yarısında ortaya çıkan atölyeler ve tezgâh parkurları silah üretimi ile birlikte seri üretime geçmiş ve 19. yüzyılın ortalarına doğru endüstriyel ve sanayi odaklı ülkelerde yarı otomatik taşlama ve freze tezgâhları kullanılmaya başlanmış, NC kodlu numerik kontrolle çalışan tezgahlarla birlikte otomasyona dayalı sistemler ve robotların kullanımı gittikçe yaygın hale gelmiştir. NC tezgahların bilgisayar ile donatılması ile birlikte CNC tezgâhları oluşturulmuş, akabinde CAD bilgisayar destekli tasarım, CAM bilgisayar destekli imalat ile esnek imalat sistemleri FMS ortaya atılmıştır [58].

Talaşlı imalat, dizaynı ve konstrüksiyonu belirlenen bir malzemenin kesici takım ve iş parçası arasında izafi bir hareket ile birlikte malzeme üzerinde talaş kaldırma işlemine denir. Takım tezgahına sabitlenen belirli geometriye sahip iş parçası veya kesici takımın istenilen geometriye sahip ürünü elde etmek için iş parçası üzerinde kayma gerilimi oluşturarak gerçekleştirilir. İmalat sanayinde hassas ve kaba işleme operasyonlarında istenilen toleranslar ve seri üretime yatkın olan en temel üretim işlemidir. Talaşsız imalat işlemleri çoklu ve seri adetli olmasına karşın üstün performans göstermesine rağmen, istenilen geometri ve hassasiyeti yakalayamadığı için ardından bir takım talaşlı imalat işlemlerine gereksinim duymaktadır. Talaşlı imalat operasyonlarında edilecek ürünlerin karmaşık ve spesifik geometri özelliklerini elde etmek amacıyla farklı amaç ve işleme özelliklerine sahip birden fazla operasyon yöntemi ve metodu geliştirilmiştir. Bunlar tornalama, vargel, taşlama, frezeleme, planyalama ve delme olarak tanımlanabilmektedir [34].

Talaş kaldırma operasyonu istenilen geometri ve boyuttaki ürünü nihai hale getirecek imalat yöntemlerinin de kullanıldığı şekil verme işlemi olarak tanımlanabilir. Kesici takım ve iş parçasının bağıl hareketlerinin yanında birincil hareket kesme hızı, ikincil hareket ilerleme hızı olarak tanımlanabilir. Kesici takımın kesme hızı ve ilerleme ile

birlikte malzeme yüzeyinden içeri girmesiyle (kesme derinliği) talaş oluşumu gerçekleşir ve yeni yüzeylerin açığa çıkması sağlanır [15].

3.1.1. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, malzemenin üzerinden talaş kaldırılmasına olan yatkınlığı olarak tanımlanabilir. Bir işleme operasyonun işlenebilirlik karakteristik özellikleri, işlenen malzemenin cinsi, takım aşınması, yüzey kalitesi ve kesme kuvvetleri ile belirlenebilir. Malzemenin sertliği, sünekliği, yüzey gerilmeleri, iç yapıdaki alaşım metalinin türü, işleme öncesi malzemenin geçirdiği ısı işlem gibi kimyasal bileşimler kesici takım ömrünü etkilediği için talaşlı imalat performansını doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bir işlenebilirlik operasyonunda optimize edilecek parametreler takım ömrü, kesme hızı, kesme kuvveti, yüzey kalitesi, kesici takım geometrisi, operasyon metodu ve talaş biçimi olarak sınıflandırılabilir.

Örneğin çelikte, içindeki karbon yüzdesi, çeliğin mukavemetini belirlemesinin yanında işlenebilirlik üzerinde de etkindir. Karbon yüzdesi yükseldikçe işlenebilirlik azalır. Vanadyum, Nikel gibi alaşım metallerin varlığı işlemeyi zorlaştırır [59].

İşlenebilirliğin ve kaliteler veya sayılar gibi doğrudan hiçbir tanımı yoktur. Kesici takımın kesme yeteneğinin, kesme kenarında yarattığı aşınmayı ve elde edilen talaş oluşumunu kapsamaktadır. Sert bir malzemenin işlenmesi esnasında kesici takımda meydana gelen aşınmalar ile birlikte takım ömründe kısaltmalar meydana gelmektedir. Aynı şekilde düşük alaşımlı çeliğin işlenmesi esnasında yığılma talaş oluşumu (BUE) gerçekleşir ve kötü bir yüzey kalitesi elde edilir. Bu açıdan bakıldığında iyi işlenebilirlik tanımı sorunsuz kesme hareketi ve uygun bir takım ömrü anlamına gelir [9].

“Değişik özellikteki çok çeşitli malzemeler üzerinde kesici takımların geometrik performanslarının ölçümü, takım tasarımı ve geliştirilmesi açısından çok önemlidir. Modern işleme metotları, takım değiştirme zamanını ve maliyetini en aza indirmeyi ve seri üretim alanlarında çok yönlü kullanmayı gerektirmektedir. Deneysel testlerin büyük bir bölümü bu hedefe ulaşmak için gerçekleştirilmekte ve işlenebilirlik deneyleri ile olay anlaşılmasına çalışılmaktadır. Bu testler; iş parçası malzemelerini, kesici takımları ve onların karakteristiklerini kapsamaktadır” [60]. İşlenebilirliğe etki eden faktörler Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. İşlenebilirliğe etki eden faktörler [61].

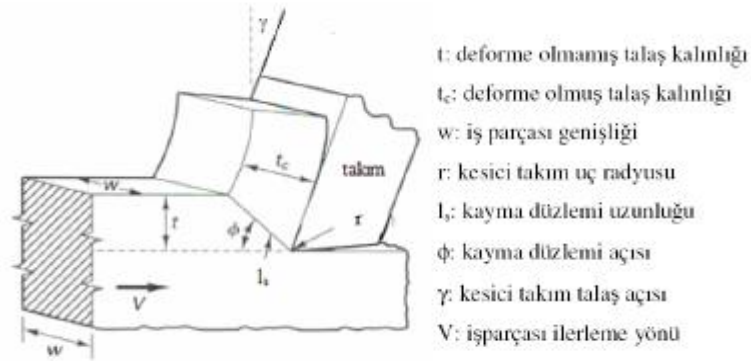
3.1.2. Talaş Kaldırma Mekanikliği

Talaş Kaldırma işlemi kayma gerilmesi ile gerçekleşen bir olaydır. Kesici kenarın malzeme yüzeyine uyguladığı baskı kuvveti ile kayma düzlemi adı verilen düzlemden kayma gerilmesi sonucu ile plastik deformasyona uğraması sonucu talaş oluşumu gerçekleşir. Kesici takımın malzemeden ayırmış olduğu parçaya talaş, yapılan işleme talaş kaldırma işlemi denir [18].

Bir talaş kaldırma operasyonunu etkileyen üç temel faktör bulunmaktadır, bunlar sırasıyla;

- Kullanılan kesici takımın malzemeden daha sert ve aşınmaya karşı dirençli olması
- Kesici takımın kesme derinliği için uygun geometriye sahip olması
- İş parçası ve kesici takım arasında nispi bir harekete sahip olması [34].

Talaş kaldırma işlemi oldukça karmaşık bir metod olduğu için talaş kaldırma mekanikliği incelenirken (Şekil 3.2), işlemin ortogonal kesme şartlarında gerçekleştiği kabul edilir. Ortogonal kesme modeli birçok geometrik karmaşıklıklara cevap verememesine rağmen talaş kaldırma mekanikliğini tanımlamada yeterlidir. Talaş kaldırma mekanikliği üç boyutlu bir model olmasına rağmen kesme işlemi iki boyutta inceleyerek basitleştirilir.



Şekil 3.2. Talaş kaldırma mekanikliği.

yüzeyindeki sürtünmenin yüksek olması nedeniyle yüzey kalitesini olumsuz etkiler.

3.1.3.2. *Sürekli Talaş*

Sünek malzemelerin yüksek kesme hızlarında, düşük ilerleme ve kesme derinliği ile işlenmesi esnasında uzun ve sürekli halde akan talaş biçimi olarak tanımlanabilir. Sürekli talaş malzeme yüzeyini olumlu yönde etkilerken malzemeden akan talaşın kütesinin büyük olmasına sebep olmaktadır. Kesici takımları sürekli talaşı önlemek amacıyla kesici takım üzerine talaş kırıcılı form üretmişlerdir.

3.1.3.3. *Dilimli Talaş*

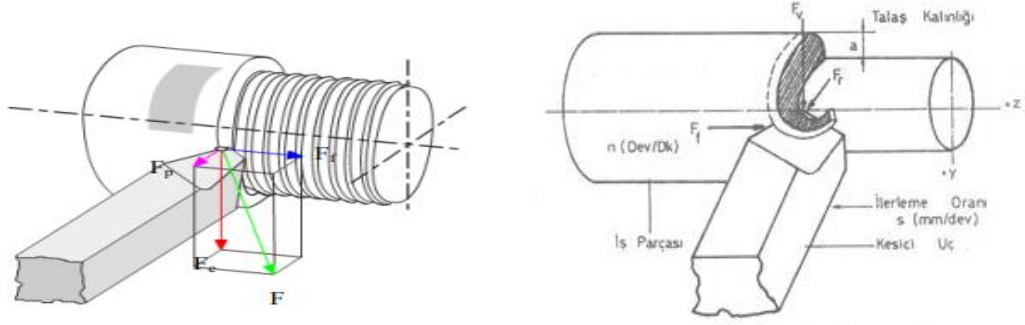
Yarı sürekli talaş biçimi olarak tanımlanabilmektedir. Malzemenin yüksek ve düşük kayma gerinime çevrimsel olarak maruz kalmasıyla ortaya çıkmaktadır. Nikel esaslı süper alaşımlar, östenitik paslanmaz çelikler ve titanyum gibi malzemelerin yüksek kesme hızlarında işlenmesi ile ortaya çıkmaktadır [63].

3.1.3.4. *Yığıntılı Talaş*

Kesici takımın işleme esnasında kimyasal bağlarının kopması ile hızlı gerçekleşen kayma deformasyonu ile birlikte takım yüzeyinden yığıntıyı talaş yüzeyine taşınması olarak tanımlana bilmektedir. Düşük ve orta kesme hızlarında gerçekleştirilen işleme operasyonlarında, yapılarında birden fazla alaşım elementi bulunduran alaşım malzemelerinin işlenmesinde iş parçası malzemenin kesici takım talaş yüzeyine ve kesici uç etrafında birikmesiyle BUE meydana gelmektedir. Yığıntılı talaş bazı durumlarda kesici takım üzerinden parça kopartarak yüzeyi olumsuz etkilerken, bazen de kesici takım üzerine yapışarak kesme derinliğini artırarak kaliteyi olumsuz etkiler. Yığıntılı talaş genelde imalat operasyonlarında istenmeyen bir durum olup, kesme faktörlerinin değiştirilmesi ile engellenebilmektedir [67].

3.1.4. **Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Kuvvetleri**

Talaş kaldırma işlemlerinde, kesme kuvvetlerini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Kesme kuvvetlerine birden çok parametreler etki etmektedir. Kesici takım üzerine etki eden kesme kuvvetleri, takımın aşınması doğrudan etkilerken bu faktörler kesme hızı, ilerleme hızı, talaş açısı ve iş parçasının cinsine bağlı olarak değişken göstermektedir. Şekil 3.5’de tornalama operasyonuna ait kesme kuvvetleri verilmiştir [62].



Şekil 3.5. Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetleri [62], [67].

Tornalama işleminde üç ana temel kesme kuvvetinden söz edilebilir, bunlar; Esas Kesme Kuvveti (F_c), İlerleme Kuvveti (F_f), Radyal Kuvvet (F_r).

Esas Kesme Kuvveti (F_c): Kesme kuvveti ile aynı yönde etki eder, yaklaşık olarak bir işleme operasyonun da harcana gücün %99'unu karşılık gelmektedir. Esas kesme kuvvetini, kesme hızı, talaş açısı, kesici takım cinsi ve takım malzemesi doğrudan etkileyen faktörlerdir.

İlerleme Kuvveti (F_f): Kesici takımın ilerlemesi ile aynı yönde etki eder. Kesme kuvveti ile kıyaslandığında toplam gücün çok az bir miktarına denk gelmektedir.

Radyal Kuvvet (F_r): İşlenen yüzeye dik etkiyen kuvvettir.

3.1.5. Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Faktörleri

3.1.5.1. Kesme Hızı

Kesici takımın, iş parçası çevresinde bir dakikada metre cinsinden aldığı yol olarak tanımlanabilmektedir. Diğer bir ifadeyle kesici takımın iş parçasın üzerinden bir dakikada kaldırdığı talaşın doğrusal uzunluğudur. Kesme hızı v ile gösterilir, birimi m/dak'dır. Kesme hızı formülü Denklem 3.1'de aşağıda verilmiş olup, iş parçasının çapı D , tezgâh devir sayısı N ile ifade edilmektedir.

$$V = (\pi.D.N) / 1000 \quad (3.1)$$

Kesme hızı işleme maliyetleri etkileyen en önemli faktör olarak söylenebilir. Kesme hızı işleme operasyonun zamanını belirlemekle birlikte, yüksek kesme hızlarında kesme kuvvetinin azalır fakat kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın artması ile takım ömrü kısalmaktadır. Kesme hızının azalması ile birlikte kesme kuvveti artar, birim zaman ile birlikte işleme maliyetlerinde artış meydana gelmektedir [18], [65].

Kesme hızları iş parçasının yapısına, kesici takım özellikleri, tezgâh yapısına, talaş kesimine göre farklılık göstermekle birlikte önerilen hazır cetvellerden tayin edilebilmektedir [66].

3.1.5.2. İlerleme Hızı

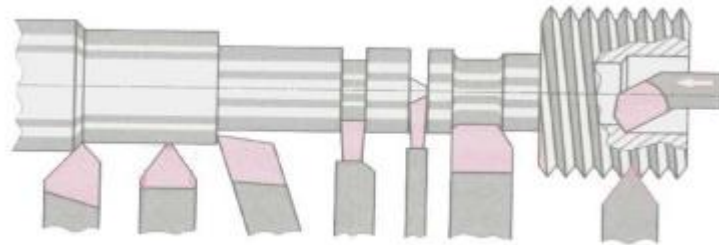
Talaşlı imalatla verimliliğe etki eden faktörlerin başında gelen, kullanılan kesici takım ucunun kesme ömrüdür. İlerleme hızı işlenen malzemenin her bir dönüşünde; birim zamanda takımın iş eksenini boyunca kat ettiği mesafe veya her bir pasoda kaldırılan malzeme miktarı olarak tanımlanabilmektedir. İlerleme miktarı birimi genelde mm/dev. veya mm/dk. olup, f ile gösterilir [66].

3.1.5.3. Kesme Derinliği

Kesme derinliği, talaş kaldırma işleminde üçüncü eksen olup takımın iş parçasının merkezine doğru dikey olarak aldığı mesafedir. Tornalama işleminde iş parçası malzemesinin ilk çapı ve son çapı arasındaki farkın yarısına eşittir. Talaş derinliği genellikle a ile gösterilir ve birimi mm'dir [18].

3.2. TORNALAMA

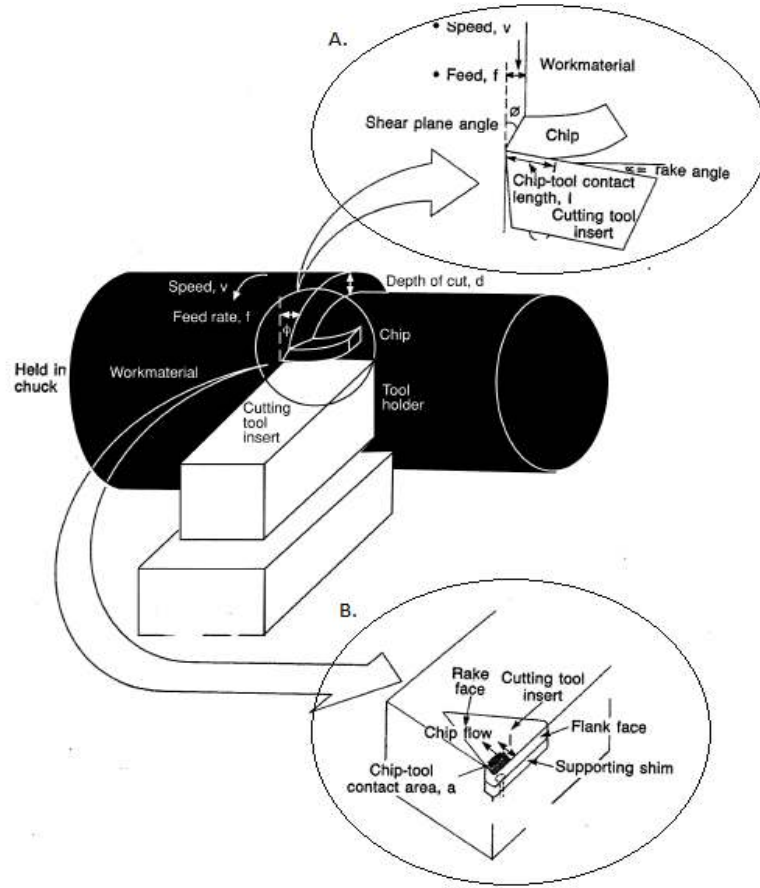
Tornalama işlemi, dönen bir silindirik parçadan istenilen geometri de talaş kaldırma işlemi olarak tanımlanabilir [68]. Tornalama operasyonu dış yüzey ve iç yüzey tornalama olarak ikiye ayrılmaktadır. Şekil 3.6'da alın tornalama, silindirik tornalama, konik tornalama, kanal açma, vida açma, profil tornalama, delik delme, rayba çekme, delik büyütme, kılavuz ve pafta işlemlerinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.6. Tornalama operasyonları şematik gösterimi [69].

Tornalama işleminde iki tür kesme hareketi vardır. Birinci hareket iş parçasının kendi eksenini etrafında dairesel hareketi, ikinci hareket ise kesici takım iş parçası yüzeyinde ilerleme hareketidir. Tornalama işleminin talaş kaldırma mekanizması (A), takım iş

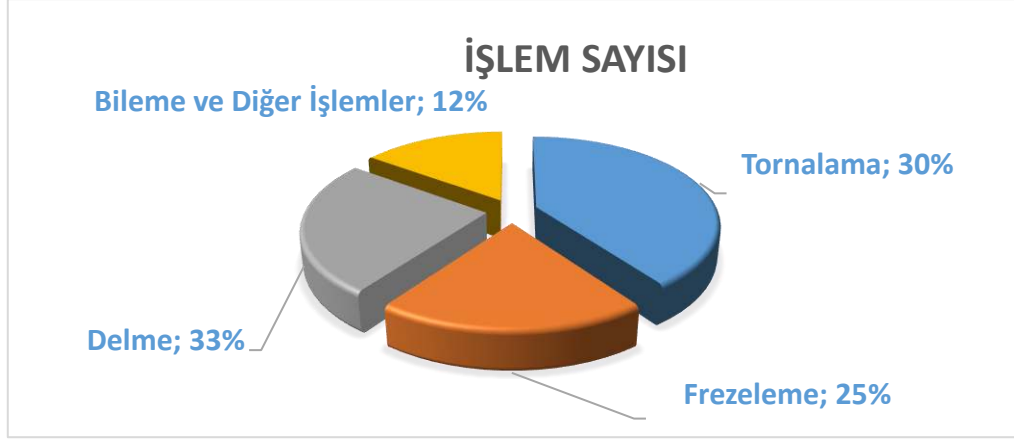
parçası izafi hareketi ve kesici takım mekanizması (B) Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Tornalama operasyonu şematik gösterimi [70].

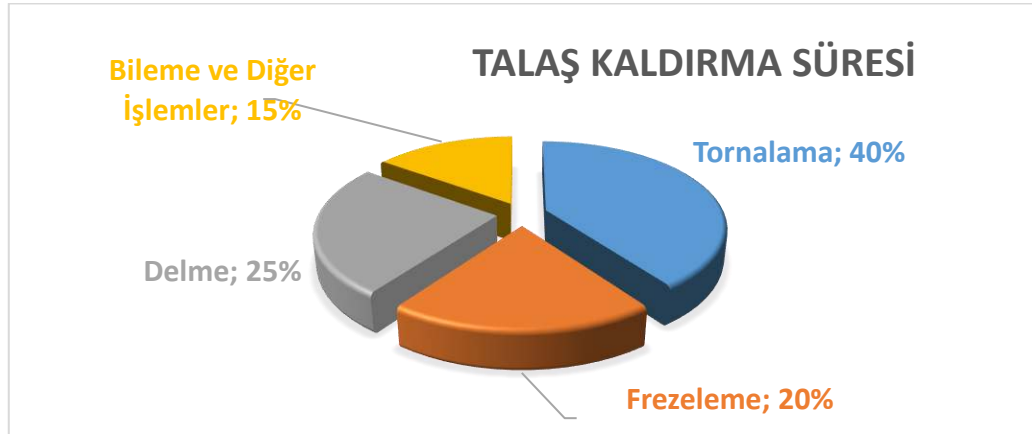
Tornalama operasyonu metal işleme endüstrisinde geometrik ve kinematik hareketlerinden dolayı en basit imalat yöntemlerinden birisidir. Yapının kullanışlı ve basit olmasından dolayı CNC tezgahların gelişmesi ile birlikte seri üretim, zaman ve maliyet açısından kolaylıklar sağlamaktadır.

Tornalama operasyonu metal kesme sanayi endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan temel bir talaş kaldırma işlemidir. [71]. Tornalama işlemi tüm talaş kaldırma işlemlerinin %30'unu kapsamaktadır (Şekil 3.8) [72]-[73].



Şekil 3.8. İşlem sayısına göre tornalama işlemlerinin diğer talaş kaldırma işlemleri ile karşılaştırılması [72].

İmalat endüstrisine bakıldığında tornalama işlemi tüm talaş işlemlerine kıyasla en çok zaman harcanan talaş kaldırma prosesidir. Talaşlı imalat operasyonlarının karşılaştırılması Şekil 3.9’da verilmiştir [72].



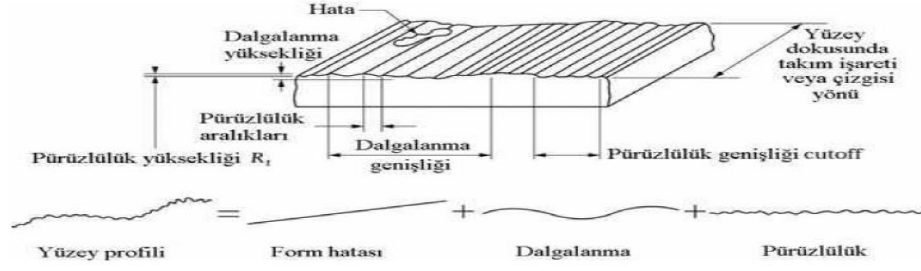
Şekil 3.9. Talaşlı imalat operasyonlarında talaş kaldırma süreleri dağılımı [72].

4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaş kaldırma işlemlerinde amaç, kaliteli ürünü kısa zamanda ve minimum maliyetle üretmektir. Üretilen ürünün yapısı ve hassasiyeti göz önüne alındığında, ürünü sadece şekillendirmek değil, ürünün kalitesini geometrik ve boyutsal yüzey faktörlerine göre imal etmektir. Metal işleme endüstrilerinin kaliteli ürünlere artan talepleri nedeni ile yüksek hassasiyetli nihai ürün elde edilmesi için araştırmacılar birçok çalışma yapmaktadır. İşlenen malzemenin yüzey kalitesi tezgâh yapısı, kesici takım geometrisi, iş parçası, soğutma sıvısı ve kesme parametreleri gibi birçok değişken faktör sebebiyle, yüzey pürüzlülüğünü kontrol altına almak oldukça zordur [74].

Yüzey pürüzlülüğü imalatı tamamlanmış ürünlerin performansında önemli bir etkiye sahiptir. İşlenen ürünün yüzey kalitesi birbiri ile temas halinde çalışan sistemlerde tribolojik özelliklerin yanı sıra, sürtünme, aşınma, ısı transferi [75] ve malzeme yapısında yorulma dayanımını [76], meydana gelmesi ihtimalinden dolayı önemlidir. Aynı zamanda hassasiyet, sızdırmazlık, elektrik, ısı iletimi ve hidrodinamik gibi makine parçalarında dikkate alınması gereken bir faktördür.

İşlenmiş yüzeylerde, işleme yöntemine ne olursa olsun yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır. İşleme metodu, kesicinin cinsi ve işlenen malzemeye bağlı olarak, işleme sırasında fiziksel, kimyasal ve ısı faktörlerle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerin de etkisiyle işlenmiş yüzeylerde, genellikle istenmediği halde bazı izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir [77]. İşleme yöntemlerine bağlı olarak ortaya çıkan bu sapmalar genellikle kesici takımın bıraktığı izlerden ortaya çıkmakla beraber dalgalanma, form hataları ve pürüzlülük olarak (Şekil 4.1) adlandırılmaktadır. Bu hatalar malzemenin yüzey kalitesini oluşturmaktadır.



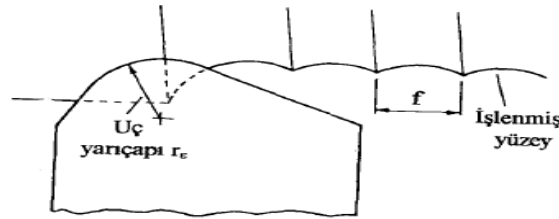
Şekil 4.1. Yüzey kalitesi şematik gösterimi [78].

Tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü iki bağımsız değişkenle özetlenebilir;

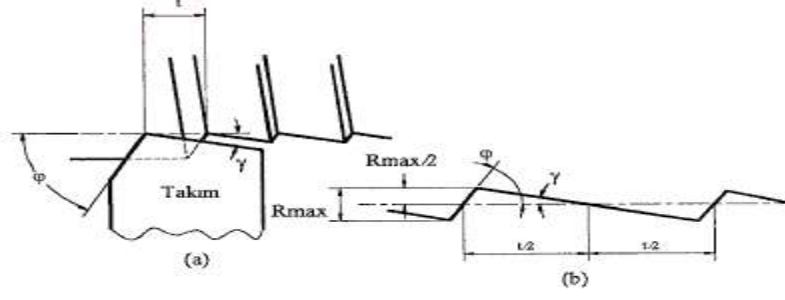
- İdeal Yüzey Pürüzlülüğü; İlerleme hızı veya kesici takımın geometrisinin sonucudur.
- Tabii Yüzey Pürüzlülüğü; talaş kaldırma işlemlerindeki düzensizliklerin sonucudur.

4.1. İDEAL YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Kesici takımdaki hatalar, vuruntular, yığıntı talaş yığılması gibi faktörler azaltıldığında, kesici uç biçimine ve ilerleme hızına bağlı oluşturulan en iyi bitirme değerlerini gösterir. Sayısal karşılaştırmalar ve analizler için, bir dizi veya tek bir faktöre göre işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğünü belirlemek çok kullanışlı bir yöntem olabilir. Bu amaçla en genel kullanılan dizi (R_a) aritmetik ortalama değeri olarak bilinir. Genellikle, pratik kesme işlemlerinde kullanılan takımların ucu yuvarlatılmıştır (Şekil 4.2). Böyle bir yüzey için matematiksel ortalama pürüzlülük değerin veren teorik eşitliğin esası, uç yarıçapı ve ilerleme hızı ile yakından bağıntılıdır [79]. Keskin kenarlı ve ucu kavisli bir takımla tornalanmış yüzeyin geometrisi Şekil 4.3’de verilmiştir [80].



Şekil 4.2. Yuvarlak uçlu bir takım için yüzey pürüzlülüğünün ideal modeli [79].



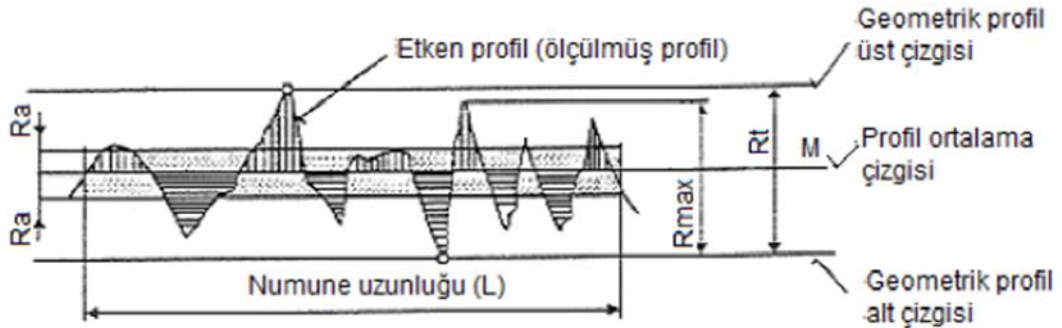
Şekil 4.3. A) keskin uçlu bir takım için yüzey pürüzlülüğünün ideal modeli B) keskin uçlu bir takımın kesit alınmış hali [80].

4.1.1. Tabii Yüzey Pürüzlülüğü

Tabii yüzey pürüzlülüğü, gerçek yüzey pürüzlülüğünün büyük bir kısmını içerir. Doğal yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler kesme hızı, kesici takım ve malzeme çifti, soğutma koşulları, yapışma (BUE) ve titreşimdir [81].

4.1.2. Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri

Standartlara göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlere göre yapılır. Bu kriterlere göre pürüzler, yüzeye dik olan bir kesitte belirli bir numune uzunluğu boyunca belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır [77], [78]. Bitirme yüzeyinin yapısı ve gösterimi ANSI standardında ve ISO 1302’de belirtildiği gibi sembollerle gösterilir. Pürüzlülük, profil ortalama çizgisinden mikron (μm) olarak ifade edilen aritmetik ortalama sapma olarak tanımlanır [82]. Yüzey pürüzlülük grafiği Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Yüzey pürüzlülük grafiği [83].

Yüzey pürüzlülüğü iki farklı metot ile belirlenebilir; Aritmetik yüzey pürüzlülüğü ortalaması (R_a) ve kareköklerin ortalaması (R_q) Denklem 4.1’de verilmiştir [84].

$$R_a = \frac{a+b+c+d+\dots}{n} \quad R_q = \sqrt{\frac{a^2+b^2+c^2+d^2+\dots}{n}} \quad (4.1)$$

4.1.2.1. Aritmetik Ortalama Sapmalarının Karekökü (R_q)

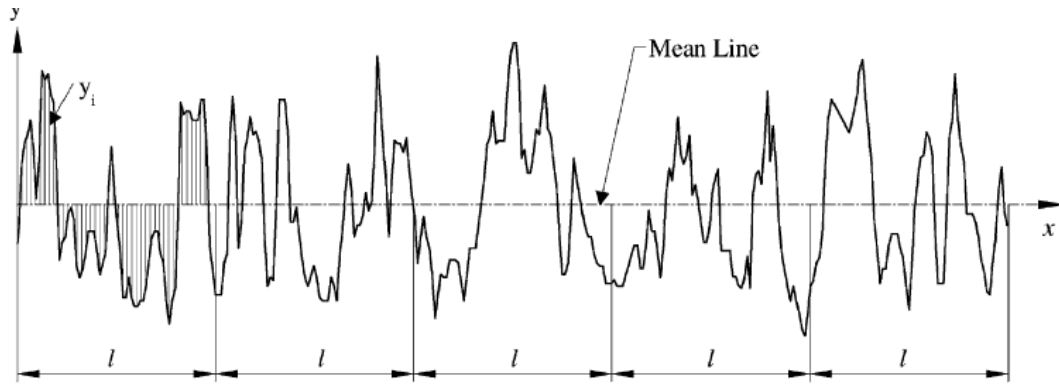
Bu parametre ayrıca “RMS” (Root Mean Square Ruoghness) olarak bilinir. Yüzey yüksekliklerinin dağılımının standart sapmasını temsil eder, bu yüzden yüzey pürüzlülüğünü istatistiksel yöntemlerle tanımlamak için önemli bir parametredir. Bu parametre, ortalama çizgiden büyük sapmaya kadar aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğünden (R_a) daha hassastır.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l \{y(x)\}^2 dx} \quad (4.2)$$

$$R_q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (4.3)$$

4.1.2.2. Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)

Yüzey kontrolü için en çok kullanılan pürüzlülük parametresidir. Merkez çizgi ortalaması (CLA) olarak da bilinen aritmetik ortalama parametresidir. Şekil 4.5'de gösterildiği gibi, bir örnekleme uzunluğu üzerinden ortalama çizgiden gelen pürüzlülük düzensizliklerinin ortalama mutlak sapması olarak tanımlanır. Ölçme, kolay okuyabilme ve yükseklik değişimlerinin genel tanımını verir. Profildeki küçük değişikliklere duyarlı değildir.



Şekil 4.5. R_a grafik gösterimi.

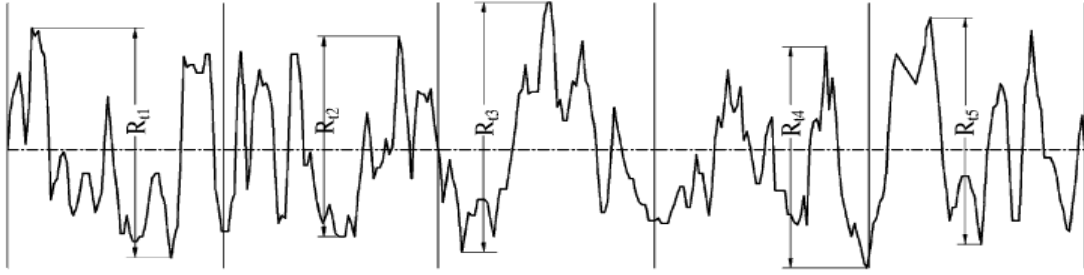
Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü matematiksel denklemi aşağıda verilmiştir.

$$R_a = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx} \quad (4.4)$$

$$R_q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (4.5)$$

4.1.2.3. Maksimum Yüzey Pürüzlülük Derinliği (R_t)

Örnek uzunluk için profilin maksimum yüksekliğidir. Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. R_t grafik gösterimi.

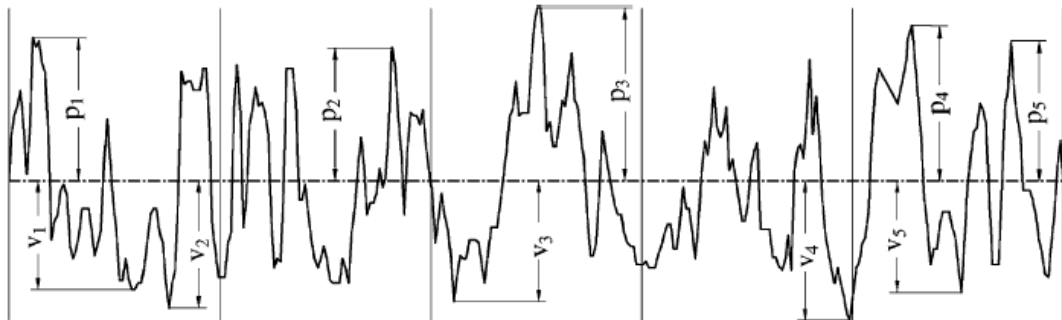
4.1.2.4. Ortalama Pürüzlülük Derinliği (R_z)

Uluslararası ISO sistemine göre; seçilmiş örnek uzunluk sınırları içinde beş en yüksek profil tepe yükseklikleri ve beş en derin profil çukur derinliklerinin mutlak değerlerinin ortalaması olarak tanımlanmaktadır.

Alman DIN sistemine göre; R_z , en yüksek beş profil tepe noktasının toplamı ve profilin değerlendirme uzunluğu boyunca en düşük beş profil ortalaması olarak tanımlar. 10 nokta metodu grafiği Şekil 4.7’de verilmiştir.

$$R_z(ISO) = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^n v_i) \quad (4.7)$$

$$R_z(DIN) = \frac{1}{2n} (\sum_{i=1}^n p_i + \sum_{i=1}^n v_i) \quad (4.8)$$

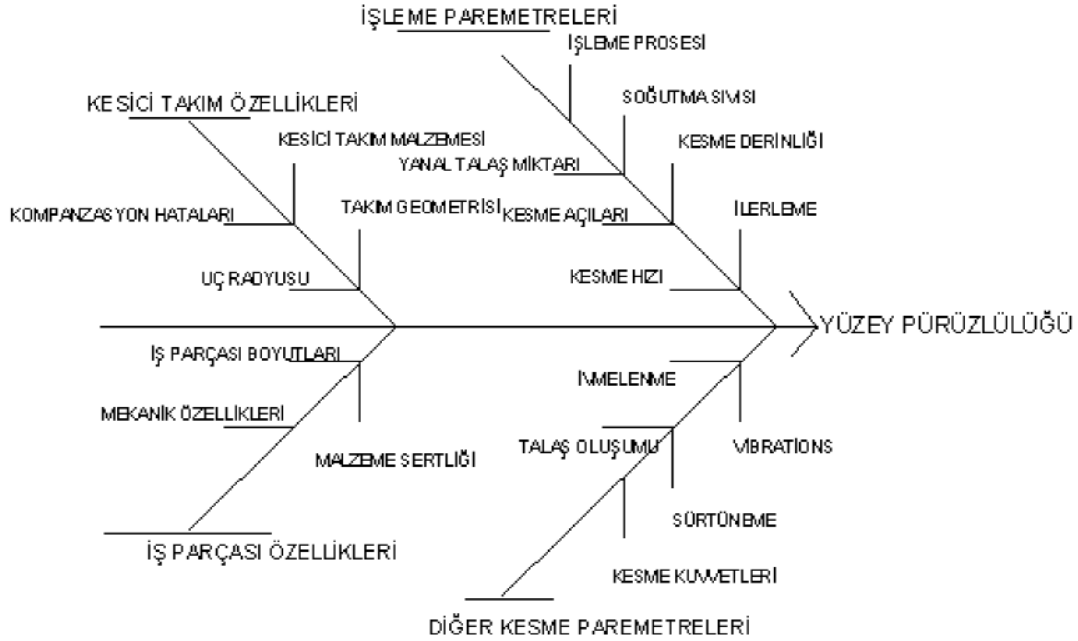


Şekil 4.7. 10 nokta metodu grafiği [85].

4.1.3. Yüzey Pürüzlülüğü Etkiyen Faktörler

Yüzey pürüzlülüğü, işleme parametrelili, kesici takım özellikleri, iş parçası özellikleri ve diğer faktörlerin etkilerine bağlı bir işlenebilirlik parametresidir. İstenilen yüzey kalitesinin elde edilmesi ve fonksiyonel özelliklerinin yerine getirilmesi için önemli bir ölçüttür. Araştırmalar incelendiğinde işlenebilirlik performanslarını geliştirmek amacıyla

birçok çalışma yapılmış olup, Şekil 4.8’de kendi aralarında gruplandırılmıştır.



Şekil 4.8.Yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin gruplandırılması (Balık kılıçığı diyagramı) [86].

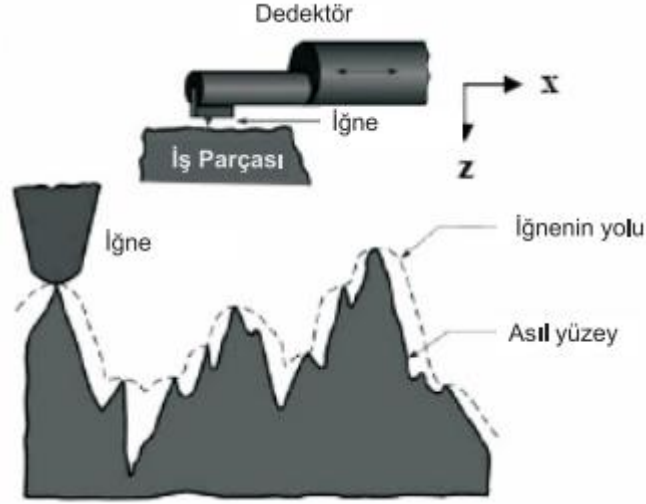
4.1.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Yöntemleri

İşleme operasyonları sonucu yüzey pürüzlülük değerini belirlemek için literatüre bakıldığında birçok ölçüm yöntemi mevcuttur. Talaşlı imalat işlemlerinde en yaygın kullanılan ölçüm sistemi “Temas uçlu (iğneli) ölçme” metodudur.

4.1.4.1. Temas Uçlu (İğneli) Ölçüm Sistemi

Temas uçlu (iğneli) ölçüm sistemi ilk olarak 1929 yılında G. Schmaltz tarafından geliştirilmiş, 1936 yılında Dr. E. Abbod ve 1939 yılında Taylor Hobson ile yüzey ölçüm teknolojisini ilerletmişlerdir [87].

İzleyici uçlu cihazlar, çok sivri bir izleyici ucun, ölçüm yapılan yüzey üzerinde, yüzey düzensizliklerinde çapraz yönde ve değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket boyunca meydana gelen titreşimlerin büyütülerek, hareketli bir şerit üzerine kayıt edilmesi veya göstergeden okunması esasına dayanır. Mekanik, pnömatik, elektronik veya optik destekli imal edilen cihazlarda izleyici ucun yüzey üzerindeki baskısı çok az, pürüzlülük büyütme oranı 100.000 kata kadar olabilmektedir [77]. Temas uçlu (iğneli) ölçüm sistemi şematik gösterimi Şekil 4.9’da verilmiştir. Kullanımı kolay ve ideal bir ölçüm sistemidir.



Şekil 4.9. Temas uçlu iğneli ölçüm sistemi [87].

İzleyici ucun ölçüm sisteminin doğruluk arz etmesi için; uç geometrisinin zamanla aşınacağı ve sonlu uç yarıçapına bağlı olarak hareket esnasında hassasiyetinde kayıplara sebep olacağı bildirilmiştir. İşlenmiş yüzeylerde oluşan pürüzün şekli ve uç yarıçapından kaynaklanan hataya örnek olarak, 60° açılı konik izleyici bir ucun, hipotetik bir yüzeyde enine hareketi ile elde edilen temsili izinin şekli, Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. İzleyici uçtan kaynaklanan ölçüm hatası [88].

4.1.4.2. Yüzey Pürüzlülüğü Diğer Ölçüm Yöntemleri

- Dokunma Metodu
- Mekanik Metot
- Hidrolik Metot
- Pnömatik Metot
- Yüzey Dinamometresi Metodu
- Kapasitans Metodu
- X Işını Metodu
- Elektron Mikroskobu Metodu

- Optik Mikroskop Metodu
- Kesit Alma Metodu
- Karşılaştırma Mikroskobu Metodu
- Optik Yansıtma Metodu
- İnterferometri Metotları
- Optik Parazit Aletleri Metodu
- Replika (Mask) Metodu

Elektro – Fiber – Optik Sistem Metodu



5. TAGUCHI METODU

Taguchi metodu, ürün kalite tasarımını arttırmak ve geliştirmek amacıyla yapılan model bir tasarım ve analiz yöntemidir. Taguchi metodu ile birçok alanda, yüksek kalitede, düşük maliyetli ürün üretiminde başarılı sonuçlar vermekle birlikte, yöntemin birçok fonksiyon modeli dünya çapında evrensel kabul edilmiş ve kullanılmaktadır [89].

Dr. Genichi Taguchi Japonya’da yeni bir teknoloji olan telefon sistemini 4 yıl gibi çok kısa bir sürede tamamlayarak adını tüm dünyaya duyurmuştur. Proje temin süresi 20 yıl gibi uzun bir süre öngörülürken, Taguchi uygulamış olduğu yöntem ile robust tasarım ve kesirlik faktöriyel tasarım metodlarının standardize edilmesini sağlayarak ülkede geniş bir yankı uyandırarak, geleneksel metotlara alternatif olarak adını alan yöntemin temelini atmıştır [90].

Taguchi diğer yöntemlerden ayıran en önemli özellik kalite ve maliyet arasında kurmuş olduğu bağıntıdır. Bu bağıntıya göre kaliteli ürün üretimi sadece üreticiyi değil, tüketici ve toplumu doğrudan etkilemektedir. Taguchi’ye göre kaliteli ürün; imal edilmiş ürünün tasarım ve performansının tüketiciyi tatmin etmesi gerekmekte ve kayıp maliyetlerini en aza indirmektedir [91].

Taguchi metodunun asıl amacı, kontrol edilebilen değişkenlerin, kontrol edilemeyen değişkenler arasındaki optimum kombinasyonu sağlayarak [93], nitel ve nicel kriterlerin bir arada değerlendirilmesidir. Yöntemin birbirinden farklı olan kombinasyonlarının her bir değişkeninin, her bir düzeyini içinde barındıran bileşenler için çok fazla deneysel araştırma yapılacak durumlarda Taguchi dikey dizisi çizelgesi kullanılarak minimum miktarda deneysel çalışmayla sonuca ulaşmak mümkündür [92].

Dikey dizinin en önemli özelliği, birçok değişkenin minimum deney sayısı ile değerlendirilmesini sağlayarak, geleneksel metoda kıyasla değişkenlerini tek tek değiştirmek yerine, eş zamanlı olarak değiştirme yapmayı önermesidir [93].

Taguchi’nin kalite sistemini üretim öncesi çevrimdışı *offl-line kalite kontrol* ve üretim aşaması ve sonrasındaki çevrimi süreç *on-line kalite kontrol* olarak iki başlıkta toplamıştır.

5.1. ON-LİNE KALİTE KONTROL

Tasarımı yapılmış olan ürünün, üretim aşamasında ve üretim sonrasında belirlenen kriterlere göre imal edilebilirliğidir. Çevrimiçi kalite kontrol yöntemi ile birlikte tüketiciden gelecek olan geri dönüşlere karşın ürünün performansının geliştirilmesi ve kullanılabilirliğinin artırılması sağlanır.

5.2. OFF-LİNE KALİTE KONTROL

Üretim öncesi pazar araştırılması yapılarak tüketici taleplerini karşılayacak ürünün ekonomik olarak üretilme aşamasıdır. Ürün tasarımı ve imalat aşamasında ürünün standartlara uygun, yüksek kalitede elde edilmesi olarak tanımlanabilir. Dr. Genichi Taguchi kaliteyi sağlamak için çevrimdışı off-line kontrolün her iki aşamasında; sistem tasarımı (kavram oluşturma), parametre tasarımı (ürün süreç için hedef oluşturma) ve tolerans tasarımı (elde edilen ürünün yeniden muayene edilmesi) olarak üç gruba ayırmıştır [94].

5.2.1. Sistem Tasarımı

Tüketicinin ihtiyacına göre imal edilecek ürünün, proses aşamasına geçilmeden, ürün performansını geliştirmek amacıyla, minimum maliyetle maksimum kalitede ürün üretimi için dizayn edildiği bölümdür.

5.2.2. Tolerans Tasarımı

Tüketicie pazarlanmış olan ürünün kalitesini belirleyen bölümdür. Bu bölümde imal edilen ürünün tüketicinin ihtiyaçlarının karşılaması/karşılamaması olarak değerlendirilmektedir

5.2.3. Parametre Tasarımı

Taguchi yönteminin ürün kalitesi etkileyen faktörlerinin belirlendiği en önemli aşamasıdır. Bu aşamada kombinasyon tasarımının faktörleri minimize edilerek minimum maliyetli istenilen ürünün elde edilmesi için ürünün karakteristik özelliklerine etkileyen değişkenlerin optimum düzeyde tutulmasıdır [95].

Dikey dizinlerin iki seviyeli L4, L8, L11, L16 ve L32, üç seviyeli L9, L18, L27 ve L36, dört seviyeli L16 ve L32, beş seviyeli L25 ve L50 dizi çizelgesi, Çizelge 5.1’de

verilmiştir.

Çizelge 5.1. Taguchi dikey dizin ve faktörleri.

Seviye Sayıları			
2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye	5. Seviye
P=2, S=2	P=2, S=3	P=2, S=4	P=2, S=5
P=3, S=2	P=3, S=3	P=3, S=4	P=3, S=5
P=4, S=2	P=4, S=3	P=4, S=4	P=4, S=5
P=5, S=2	P=5, S=3	P=5, S=4	P=5, S=5
P=6, S=2	P=6, S=3	P=6, S=4	P=6, S=4
P=7, S=2	P=7, S=3	P=7, S=4	P=7, S=4
P=8, S=2	P=8, S=3	P=8, S=4	P=8, S=4
P=9, S=2	P=9, S=2	P=9, S=4	P=9, S=4
P=10, S=2	P=10, S=2	P=10, S=4	P=10, S=4
P=11, S=2	P=11, S=2		P=11, S=4
P=12, S=2	P=12, S=2		P=12, S=4
P=13, S=2	P=13, S=2		
P=14, S=2	P=14, S=3		
P=15, S=2	P=15, S=3		
P=16, S=2	P=16, S=3		
P=17, S=2	P=17, S=3		
P=18, S=2	P=18, S=3		
P=19, S=2	P=19, S=3		
P=20, S=2	P=20, S=3		
P=21, S=2	P=21, S=3		
P=22, S=2	P=22, S=3		
P=23, S=2	P=23, S=3		
P=24, S=2			
P=25, S=2			
P=26, S=2			
P=27, S=2			
P=28, S=2			
P=29, S=2			
P=30, S=2			
P=31, S=2			

Bu yöntemin parametre tasarımını 7 aşamada özetleyebiliriz.

- Kalite özelliklerinin belirlenmesi ve tasarım parametrelerinin seçilmesi
- Tasarım parametreleri için seviye sayısının ve tasarım parametreleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi
- Uygun dikey dizinin seçilmesi ve dikey diziye göre tasarım parametrelerinin atanması

- Dikey dizinin düzenlenmesine dayanan deneylerin yürütülmesi
- S/N ve ANOVA analizlerini kullanarak deney sonuçlarının değerlendirilmesi
- Doğrulama deneyi ile en uygun tasarım parametrelerinin değerlendirilmesi

Taguchi yönteminin parametre tasarımı ile;

- İşlem veya ürün için en uygun tasarım parametresinin belirlenmesi
- Her tasarım parametresinin kalite özelliklerine katkısının tahmini
- Optimal tasarım parametrelerine dayanarak kalite özelliklerinin tahmin edilmesi

hedefine ulaşılabilir [96].

5.2.4. Sinyal-Gürültü Oranı

Taguchi metodu, sonuçların çeşitliliğini azaltmasına ve ürünün kontrol edilemeyen faktörlerin neden olduğu değişikliklere karşı hassas olmamasını sağlar [94].

Taguchi yöntemi, çok parametrelili teknolojik süreçlerin ve belirli proses parametrelerinin sürecin son ürünü üzerindeki etkisini incelemek için gerekli olan deneylerin sayısını önemli ölçüde azaltmaya olanak tanır. İşlem parametrelerinin ürünün elde edilen özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmeyi sağlayan sinyal-gürültü (S/N) oranı olarak adlandırılan istatistik kullanır [97].

Taguchi yönteminde, gürültü faktörüne (N-gürültüsü) bağlı ürün özelliklerinde meydana gelen değişiklikler en aza indirgenir ve sinyal faktörlerine (S-sinyali) bağlı değişiklikler maksimuma çıkarılır. Taguchi yöntemi, istenen çıktı değerlerinin logaritmik fonksiyonu olan sinyal-gürültü (S/N) oranı olarak adlandırılan istatistiksel katsayısı η sağlar. S/N oranı, değerlendirme işleminin nihai ürünün özellikleri üzerindeki etkisine izin verir. Taguchi yöntemi, işlemin istatistiksel olarak anlamlı faktörlerini içeren veri sağlar ve S/N oranı analizi parametrelerin optimum seviyesini bulmayı sağlar. Taguchi yöntemi 3 ana optimizasyon hedefinden yararlanır: *en küçük - en iyi*; *en büyük - en iyi* ve *nominal-en iyi*. Ürünün istenmeyen özelliklerinin en aza indirgenmesi tercih edildiğinde, *en küçük olan en iyi* kriteri kullanılır ve sinyal-gürültü oranı n denklemi şöyledir:

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

Ürünün istenen özelliklerinin en üst düzeye çıkarılması tercih edilirse, hesaplama için *en büyük olan* ölçütü kullanılır ve n hesaplaması için formül:

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

Ayrıca, belirli değerler için cevabı hedeflemek uygun olduğunda, *nominal-en iyi* kriteri kullanılır ve sinyal-gürültü oranı n denklemi şöyledir:

$$n = \log_{10} \left(\frac{\bar{y}_l^2}{\sigma^2} \right) \quad (5.3)$$

Tüm denklemlerde, y_i sinyallere birincil tepkidir, n , her bir deney tekrar sayısı ve σ^2 standart sapmadır [98].

5.2.5. Robust Tasarımı

Taguchi'nin Robust tasarım anlayışı, ürün özelliğinin değişkenliğe neden olarak minimum maliyetli ürün eldesidir. İmal edilecek olan ürünün toplumsal tepkisi göz ardı edilmeden, bu maliyetlerin minimum tutulmasıdır. Bir ürünün kalitesi, ürün imalatı ve tasarımıyla belirlenir [99].

Bununla birlikte, bu performans ölçüleri, tedbir ve önlem politikalarına dayanmaktadır. Robust tasarım, performansı en azından sistemdeki gürültüden (örneğin, sistemdeki gürültüden) etkilenen ürünleri tasarlamak için sistematik bir metodolojidir.

5.2.6. Varyasyon Ölçümü

Varyasyonu ölçmek için, R ve S örneklem olmak üzere;

- R, aralık
- S, standart sapması

Örnek bir R değeri için;

$$R = \text{En büyük gözlem değeri} - \text{En küçük gözlem değeri}$$

R, maksimum ve minimum değerlerden fazla etkilendiğinden, Varyasyon ölçüsü olarak R'nin yerine hesaplanması daha zor olabileceğinden, S, değeri standart sapma kullanılabilir [93], [100].

Standart sapma S, örneklem varyansı S^2 'nin pozitif kareköküdür. Varyansın S^2 'nin formülü Denklem 5.4'de verilmiştir.

$$S^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum (Y - \bar{Y})^2 \quad (5.4)$$

$\bar{Y}$ = Gözlenen değer

$\bar{Y}$ = Gözlenen değerin ortalaması

n = Gözlem Sayısı

5.2.7. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla matematiksel bir model ile karakterize eden istatistiksel bir analiz sistemidir. Verilen noktaları temsil eden en iyi eğriyi bulma işleminde genellikle en küçük kareler yöntemi kullanılır. En küçük kareler yöntemi, hataların toplamı minimum olacak şekilde bir eğri denklemini bulma esasına dayanmaktadır [102].



6. SOĞUTMA TEKNİĞİ VE MMY SİSTEMİ

6.1. KESME SIVISI

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte endüstriler enerjilerinin çoğunu kaliteyi arttırmak için harcamakta olup bu amaçla çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Metal işleme endüstrisinde yüzey kalitesi imalat maliyetini de doğrudan etkilemektedir. İşlenen malzemenin yüzey kalitesi, malzeme sünme, korozyon ve mukavemet ömrünü de önemli ölçüde etkilemektedir. Yüksek kalite ve düşük maliyetli üretim hedefleyen prosesler soğutma sıvısı kullanımının yüzey kalitesi ve takım ömründe önemli iyileşmeler sağladığını belirlemişlerdir [81].

Talaşlı imalat işleminde kesici takım ve iş parçası arasındaki nispi hareket neticesinde kesme bölgesinde sürtünme ile oluşan ısının kesici takımın uç geometrisinde ve iş parçası yüzeyinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Kesme sıvıları işleme esnasında kesici takım ve iş parçası arasında sürtünmeyi azaltacak bir film tabakası oluşturarak etkin bir yağlama gerçekleştirmektedir. Takım ve iş parçası arasında sürtünme ile oluşan ısının azalması ile takım ömründe uzama, istenen yüzey kalitesi ile ürün işlenmesi ve seri üretim de maliyetlerinin de minimize edilmesi sağlanmaktadır. İyi bir kesme sıvısı etkin bir yağlama, yüksek ısıl iletkenlik katsayısı ve soğutma özelliği ile birlikte işleme performansını olumlu etkilerken çevre kirliliği ve insan sağlığı açısından olumsuz yanları da bulunmaktadır [19].

Kesme sıvıları işleme esnasında kesme bölgesinde oluşan ısının talaşlarla birlikte uzaklaştırmasıyla birlikte ısının kontrol altında tutulmasına yardımcı olmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde kesme sıvıları yüksek performans ve düşük maliyetle üretim için etkin bir rol oynamaktadır. Kesme sıvılarının konsantre oranlarda su ile karıştırılarak kullanılması ile yüksek sıcaklıklarda suyun buharlaşmasına, düşük sıcaklıklarda ise katkı maddelerinin ayrışmasına neden olmaktadır. Kullanılan kesme sıvılarının ısıl kararlılığının sağlanması ile korozyon önlenmiş olup, temizlik vazifesi de görmektedir. Kullanım alanlarına göre belirli özelliklere göre sınıflandırılan kesme sıvıları; yağlayıcı, soğutucu, talaş uzaklaştırıcı ve korozyon önleyici gibi temel özelliklere sahiptir [101]-[102].

Artan kesme sıvılarının kullanımının çevresel faktörler dolayı çevre kirliliğinin azaltılmasına yönelik çalışmalar hızla devam etmektedir [103]. Yapısında bulunan kimyasal bileşimin işleme esnasında insan tenine temasının getirmiş olduğu olumsuz etkilerin yanı sıra, atık, imha ve geri dönüşüm maliyetleri göze alındığında toplam üretimin %17'sine denk gelmesi ile endüstriler kesme sıvılarının kullanımı azaltıp, yeni bir arayış içerisine girmişlerdir. Yenilebilir çevresel faktörler göz önüne alındığında işletmeler kaynakları verimli kullanmayı hedeflerken insan sağlığını da göz önünde bulundurmaktadır. Kesme sıvılarının üretimi esnasında yapılarında barındırdıkları hidrokarbonların işleme ile oluşan ısıyla birlikte buharlaşan mikro partiküller çalışma bölgesine yayılarak akciğer, solunum yolları, dermatolojik ve kalıtsal rahatsızlıklara sebep verdiği bilinmektedir. Araştırmacılar mineral ve sentetik esaslı kesme sıvılarının olumsuz etkileri nedeni ile, kaynakları tükenmeyen, biyolojik olarak parçalanabilen ve çevre dostu bitkisel esaslı metal kesme sıvıları üzerinde araştırma yapmaktadır [104]. Kesme sıvılarının fazla kullanımı nedeniyle Almanya'da 1994 yılında 75.421 ton kesme sıvısı tüketildiği, Amerika'da yapılan bir araştırmaya göre ise 1,2 milyon çalışan kesme sıvılarının getirdiği sağlık sorunları ile karşı karşıya kalmıştır [105].

- *Dermatit hastalığı;* Kesme sıvılarının kullanımının getirdiği en yaygın cilt hastalık türü dermatittir. Cildin tahriş olması, kabuklanması veya çatlamasıdır. Tahriş edici etkisi olan dermatitler deri ile temasının ardından iltihaplı, kuru bir cilt bırakmaktadır.
- *Folliculitis;* Hastalığı saf kesme yağları kullanımının getirmiş olduğu yağlı elbiselerle cildin temas ettiği yerlerde sivilce gibi oluşumlara sebep olmaktadır.
- *Cilt kanseri;* Hastalığı rafine edilmiş kimyasal kesme sıvılarında kansere neden olduğu görülmüştür.
- *Solunum rahatsızlığı;* Kesme bölgesinde yapılarında bulunan kimyasalların ısı ile buharlaşarak havada solunum yoluyla vücuda alınmasıdır. Öksürük, hapşıрма, nefes darlığı gibi sağlık problemlerine sebep olmaktadır [106].

Toplam üretim maliyetleri, insan sağlığı ve çevresel faktörlerin güvenli ve düşük maliyetli üretim hedefini gerçekleştirmek ve sürdürülebilir yaşam için kesme sıvısının kullanım miktarının düşürülmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Bir başka deyişle Ford Motor şirketinin 2012 yılında yapmış olduğu bir araştırmaya göre kesme sıvısı kullanım maliyetinin, toplam üretim maliyetlerine oranı %13'lük bir paya sahip olduğunu

belirtmiştir [105]-[107].

Kesme sıvılarının kullanım miktarını azaltmak için soğutma tekniklerinde yapılan çalışmalar devam etmektedir. Maliyetlerin düşürülmesi ve işleme teknikleri ele alındığında üç temel işleme metodu bulunmaktadır; Kuru Kesme, Yüksek Hızda Kesme ve MMY sistemi. Kuru işleme metodu çevre dostu ve üretim maliyeti düşük bir metot olmasına rağmen yüksek kalitede ürün ve iyi bir yüzey kalitesi için yeterli değildir.

Geleneksel soğutma yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen minimum miktarda yağlama sistemi çok az miktarda kesme yağının kullanılması ile, ekonomik, işçi ve çevre dostu [108] yeni nesil bir teknoloji ürünü olarak trend olmuştur.

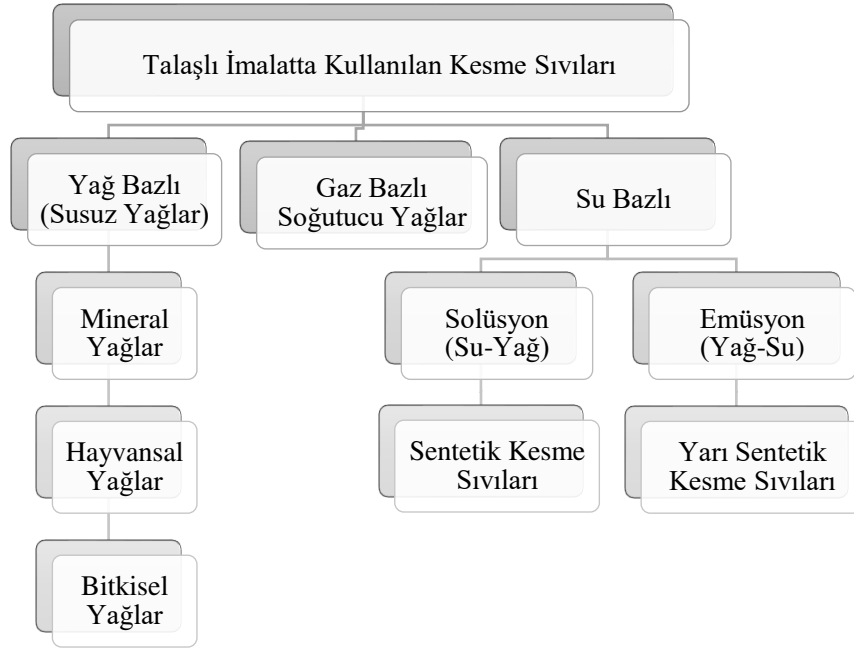
6.1.1. Soğutma Sıvı Tipleri

Taylor 1907 yılında işleme için yapmış olduğu çalışmada soğutma sıvılarının kullanımının işleme operasyonunda kesme hızına %40 oranındaki artışı gösterdiğini ifade etmiştir. Suyun mükemmel soğutma özelliği kabiliyetine rağmen, yağlama özelliklerinden yoksun olduğu için makine parçası ve bileşenlerinde korozyona sebep olmaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte etkin soğutma ve yağlama özelliklerini geliştirmek amacıyla özel formülasyonlar geliştirilmiştir [109].

Çizelge 6.1. Kesme sıvısı tiplerinin kullanımının avantajları ve dezavantajları.

Kesme Sıvısı Tipi	Avantajları	Dezavantajları
Düz yağlar	Mükemmel kayganlık Pas Kontrolü	Düşük soğutma, yangın tehlikesi
		Sis veya duman oluşumu.
		Düşük hız sınırlayıcı ve ağır kesme işlemleri.
Çözünebilen yağlar	İyi yağlama ve soğutma.	Pas kontrol problemleri.
		Bakteri üremesi.
		Buharlaşma kayıpları.
Yarı sentetik yağlar	Mikrobiyal kontrol	Kolay köpük oluşumu.
	Pas kontrolü	Su sertliğine etki eder
	İyi soğutma.	Kolayca diğer makine akışkanları tarafından kirlenme.
Sentetik yağlar	Mükemmel soğutma.	Kötü kayganlık. Kolayca diğer makine akışkanları tarafından kirlenme.
	Mikrobiyal kontrol.	
	Yanıcı olmaması.	
	Duman oluşturmaması.	
	İyi korozyon kontrolü	
	İndirgenmiş buğulanma.	
	Köpük problemleri olmaması.	

Soğutma sıvılarının içerikleri ve özelliklerine göre (Şekil 6.1), sınıflandırılmıştır.



Şekil 6.1. Kesme sıvılarının sınıflandırılması [110].

6.1.1.1. Mineral Esaslı Kesme Yağları

Mineral esaslı kesme yağları, çoğu işleme operasyonunda yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanlardır [112]. Bu tip kesme sıvısı, takım-iş parçası ara yüzünü yağlamak ve böylece kesme bölgesinde sürtünme ve sürtünme kaynaklı ısının azaltılması için kullanılır. Etkin yağlama sistemi ile sürtünmede azalma, düşük kesme kuvvetleri ve takım aşınmasını azaltmada önemli rol oynamaktadır. Ayrıca mineral esaslı kesme yağlarının işlenmesi esnasında, tezgâhın hareketli parçaları yağlar, işlenmiş yüzeyde ve makine parçalarında korozyon, oksidasyonu önlemede katkıda bulunur.

Mineral esaslı kesme yağları, naftenik mineral yağlar ve parafinik mineral yağlar olmak üzere iki temel kategoriye ayrılır. Parafin bağlı karbon atomları baskınsa “parafin bazlı” yağlar olarak tanımlanmaktadır. Eğer naften’in paylaşımı çok büyükse, yağ “naftenik-bazlı” olarak isimlendirilir. Aromatik hidrokarbonları yüksek oranda içeren yağlar “aromatik yağlar” olarak tanımlanmaktadır ve insan sağlığına zararlarından ötürü metal işleme sıvısı olarak kullanılmazlar [106].

Bu mineral yağların özellikleri genellikle yağlı yağlayıcılar, klor, sülfatlar ve fosfatlar gibi aşırı basınç katkıları, sürtünme düzenleyiciler, viskozite indeksi modifiye ediciler,

kokü gidericiler, kalınlık değiştiriciler ve polar katkı maddeleri eklenmesiyle geliştirilir. Bu tip yağlar iyi yağlama ve korozyon koruması sağlarken, daha yüksek sıcaklıklarda özelliklerini koruyamaz. Bu nedenle kolay işlenebilen alüminyum, magnezyum, pirinç, düşük karbonlu çelikler gibi metallerde kullanım alanı sınırlıdır. Örneğin, titanyum alaşımlarının işlenmesinde kullanılan kesme yağındaki klor katkı maddelerinin varlığı, işlenmiş yüzeyde korozyona neden olabilir ve işlenmiş parçanın çalışma süresini etkileyebilir [111].

6.1.1.2. *Sentetik Esaslı Kesme Yağları*

Mineral esaslı baz yağların kimyasal bileşimindeki ham petrolün özellikleri ile sınırlıdır. Küresel rekabet ortamında petrol fiyatlarının artışı ve hammadde azalması nedeni ile araştırmacılar alternatif olarak daha zor koşullarda işlevinin yitirmeyen sentetik esaslı kesme yağlarına yönelmiştir. Sentetik yağlar kimyasal sentez yöntemi ile elde edilip, yapısında hidrokarbon molekülleri boyut ve şekil bakımından birbirine benzer olarak tasarlanmaktadır. Hidrokarbonların mükemmel dizaynı ve geometrisi sayesinde düşük sıcaklık, en az aşınma ve minimum sürtünme gibi üstün özelliklere sahiptir. Sentetik yağlar laboratuvar ortamında üretilip, düşük sıcaklıklarda ve yüksek basınç altında yapısını korumaktadır. Oksidasyon ve sıcaklık etkisi altında bozulmadan iş parçasının ve tezgâhın ömrünü uzatmakta yardımcı olmaktadır.

Sentetik yağlar yapısındaki baz yağın tipine göre sınıflandırılmaktadır. Polialfaolefin, Alkali Aromatik, Polybutenes, Alifatik Diester, Polyester, Polyalkeneglycol ve Phosphate Ester olmak üzere 7 grupta incelenmektedir.

Sentetik yağların sentezlenme işlemi yüksek teknoloji altında işlenmesinden dolayı maliyeti yüksektir [117].

6.1.1.3. *Bitkisel Esaslı Kesme Yağları*

Biyolojik olarak parçalanabilen bitkisel yağdan yapılan kesme sıvısı, metal işleme endüstrisinde popüler bir trend olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu malzemelerin düşük maliyetle elden çıkarılmasıyla işleme operasyonu esnasında ısıyla imhası mümkündür. Yeni nesil imalat yöntemlerinde bitkisel esaslı kesme yağlarının, atölye atmosferinde kolayca parçalanabilir olması, hava ve su kaynaklarını kirletmemesi, bakteri ve mikropların büyümesini önlemede önemli rol oynamaktadır [114].

Biyolojik olarak bozunabilir bitkisel yağlardan yapılan kesme yağları, geleneksel olanlardan daha yüksek viskozite indeksine ve termal stabiliteye sahiptir [110].

Bitkisel esaslı kesme yağlarının özelliklerini özetlemek gerekirse;

- Doğal, uzun, ağır ve dipolar olan moleküller, bitkisel yağın basıncı absorbe etme kapasitesini artıran yoğun homojen ve güçlü bir yağlama filmi oluşturur.
- Bitkisel yağlar tarafından sağlanan yağlayıcı film tabakası, kendinden güçlü ve kaygan olan [115], sürtünme ve ısı oluşumunu azaltarak iş parçası kalitesini ve genel işlem verimliliğini artırır.
- Daha yüksek parlama noktası, daha az duman oluşumu ve düşük yangın tehlikesi gibi emniyet koşullarına sahiptir.
- Daha yüksek kaynama noktası ve bitkisel yağın daha büyük moleküler ağırlığı sayesinde işleme bölgesinde buharlaşma ve buğulanma nedeniyle önemli ölçüde tasarruf sağlanır.
- Bitkisel yağlar çevreye toksik değildir ve biyolojik olarak çevre dostudur. Doğada yüksek oranda bozunabilirliğe sahiptir [113].
- İnsanda bitkisel kesme yağının işleme esnasında çıkan buharının, akut ve kronik bir etkisi olmadığı belirtilmiştir [116].

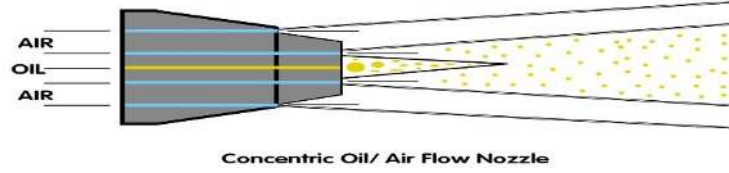
6.2. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MMY) SİSTEMİ

Son yıllarda hükümetler, enerji tüketimi, hava kirliliği ve endüstriyel atıkların, temiz çevre ve eko-lojik sürdürülebilir yaşam alanı sağlamak için birçok yenilikçi çalışma yapmaktadır. Kamu görevlileri, enerji kaynaklarının tasarrufu ve çevresel yaşanabilir alanların korunması için sıkı yasalar oluşturmıştır. Endüstriler, araştırma merkezleri ve üniversiteler, çevreye zarar verebilecek kalıntıları en aza indiren veya ortadan kaldıran teknolojiler yaratmak için, ortak çalışmalar başlatmıştır. İnsanlığın karşı karşıya kaldığı çevresel zorlukların tek başına teknolojik veya toplumsal bilimlerden çözülmemeyeceği anlaşılmış, yeni sistemin sağlıklı eko-sistemlere dayalı yapılacak olan politikalar ve çok disiplinli bir yaklaşıma ihtiyacı olduğu belirtilmiştir.

Talaşlı imalat sanayinde kullanılan kesme yağları genellikle mineral esaslıdır. Kesme yağlarının yaygın kullanımı çevresel ve sağlık sorunlarına sebep olduğu bilinmektedir [119]. Emülsiyon esaslı kesme sıvıları, metal-mekanik işleme endüstrisinde büyük miktarlarda kullanılmakta, yüksek tüketim maliyetleri, atıklar ve çevresel zararlar ortaya çıkarmaktadır. Çevresel olmayan bir üretim tekniğinin artan gereksinimi ve kesme

sıvılarının bertaraf maliyetlerinin hızla artmasıyla, Metal kesme endüstrileri, yenilikçi, çevre dostu bir sisteme ihtiyaç duymaktadır [120].

Çevre ve sürdürülebilirlik konusunda artan toplumsal ve kamusal ilgi, endüstrilerin çevre dostu üretim süreçlerinin sağlanması için, kesme sıvılarının minimum miktarda kullanılması gerektiğini, hatta tamamen kaldırılması gerektiğini savunmaktadır [121]. Geleneksel soğutma yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen minimum miktarda yağlama (minimum quantity lubrication) sistemi çevre dostu, yeşil bir sistemdir [122]. MMY sistemi, talaşlı imalat işlemlerinde, çevre koruma ve ISO 14000 standardına uygunluk araştırmasına dayanan sürdürülebilir üretim bağlamında daha temiz üretim için kabul edilmiştir [123]. Yenilikçi bir sistem olan MMY sistemi ile işleme esnasında kesme yağının, kesme bölgesinde oluşan ısı ile buharlaşmasıyla geri dönüşüm ve imha maliyetlerini de ortadan kaldırmaktadır [129]. Kesme yağının %2'sinin talaşa yapışmasından dolayı [128] Yarı kuru kesme işlemi olarak da tanımlanabilen MMY sistemi adından da anlaşılacağı gibi çok az miktarda kesme yağının kesme bölgesine iletilmesidir [124]. Geleneksel konvansiyonel işleme sistemlerinde kullanılan kesme sıvısının miktarı, MMY sistemi ile karşılaştırıldığında (5 ml/h-100 ml/h) kullanım miktarı yaklaşık 1000 kat daha fazladır [125]. MMY sistemi, basınçlı hava ile karıştırılan ve yüksek basınçta kullanılan kesme sıvısını, basınçlı hava ile birlikte, nozzle yardımıyla püskürtülmesi olarak tanımlanabilmektedir. Geleneksel soğutma sıvılarda kullanılan (yağ ve su karışımı) kesme sıvısının miktarı ile MMY sistemindeki kullanım miktarı karşılaştırıldığında işleme esnasındaki sürtünmeyi azaltmak için yeterlidir. Kesme sıvılarının kullanımı ile ilgili yüksek maliyet ve daha sıkı çevre yasaları yürürlüğe konulduğunda artan maliyetler göz önüne alındığında, MMY sisteminin avantajları oldukça açık bir şekilde fark edilmektedir. MMY sistemi gelişen teknoloji ile birlikte talaşlı imalat sanayinde, özellikle yarı mamul işleme ve çevre dostu özellikleri nedeniyle başarılı bir uygulama olarak kabul edilmiştir [126]. MMY, etkin yağlama sistemi ve kesme bölgesindeki sıcaklıkları azaltmada üstün bir performans göstermekle beraber, takım-iş parçası etkileşimi, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmalarında önemli ölçüde iyileşmeler sergilemiştir [127]. MMY sistemi çalışma prensibi Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. MMY Sistemi çalışma prensibi [130].

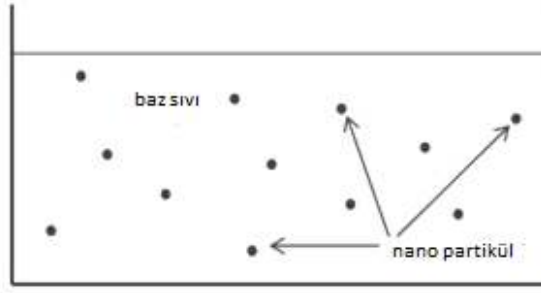
6.2.1. Nano Akışkanlar ve Özellikleri

Nano teknolojiadaki son gelişmeler, metal işleme endüstrisinde çalışan birçok araştırmacının dikkatini çekmeyi başarmıştır. Ana fikir, talaşlı işlemlerinde kesme sıvısına nano akışkan ilavesinin, işleme çıktılarının iyileştirilmesi üzerinedir. Nano teknolojiadaki ilerlemeler, istenilen termo-fiziksel ve tribo-kimyasal karakterli nanopartiküllerin geliştirilmesi için esneklik sağlar. Kesme sıvısının termo-fiziksel ve tribo-kimyasal karakteri üzerinde nano akışkanlar eklenmesi ile etkin bir şekilde kontrol ve operasyonun işleme performansını artırabilmektedir.

Nano akışkanlar, baz sıvıda karıştırılmış, 1-100 nm boyutlu parçacıkların kolloidal karışımlarıdır. Modern teknoloji ile birlikte nanopartiküller metalik, metalik olmayan, oksit, karbür, seramik, karbonik ve hibrit nanopartikül gibi kimyasal yapıya sahiptirler. Baz sıvı, su, soğutucu akışkan veya etilen glikol gibi yüksek viskoz bir sıvı, mineral yağ veya farklı tipteki sıvıların karışımından oluşmaktadır [21].

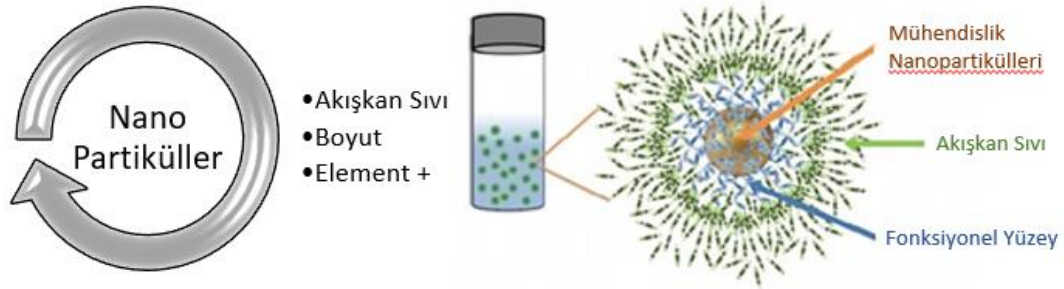
Pek çok araştırmacı işleme esnasında kesme yağına nano akışkan ilavesinin sürtünmede gözle görülür bir düşüş ve ısı taşıma kapasitesinde artış olduğunu tespit etmiştir [133]. Nano akışkanların, kesme sıvısına göre daha iyi tribolojik ve termo-fiziksel özellikler sergilediğini ve kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, kesme bölgesindeki sıcaklığın ve takım aşınmasını önemli ölçüde azalmasında önemli bir rol oynadığını bilinmektedir [134].

Nano akışkanların, kesme sıvılarındaki, yoğunluk, ısıl iletkenlik, viskozite ve ısı kapasitesi gibi fiziksel özelliklerin modifikasyonuna, iyileştirilmesine ve tasarımına yönelik [135] teknolojik birçok çalışma halen devam etmektedir. Nano akışkanların baz sıvıdaki dağılımı Şekil 6.3’de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 6.3. Nanoakışkanların şematik gösterimi [135].

Nanopartiküllerin seçimi nano akışkanların etkinliğine karar vermede kritik öneme sahiptir. Metalik oksitler yüksek termal özellikleri geliştirirken grafit ve molibden disülfür gibi katı yağlayıcıların eklenmesi daha az sürtünmeye yol açabilir. Katı yağlayıcılar saf halde kullanılır veya işleme sırasında yağlayıcı olarak bir ortam ile karıştırılır. Molibden disülfür, borik asit ve grafit gibi katı yağlayıcıların baz sıvısının yağlama özelliklerini arttırdığı bulunmuştur [136]-[138]. Nano akışkan ilavesinin, kesme sıvısının ısı iletkenliği [137], viskozitesini, yoğunluğunu [21], kesme yağının ısı çekme, talaşın ısı taşıma kapasitesi [138] gibi özelliklerini arttırmaktadır. Nano partiküllü kesme sıvılarının hazırlanması Şekil 6.4’de verilmiştir.



Şekil 6.4. Nanopartiküllü kesme sıvısının hazırlanması [21].

Yaygın olarak kullanılan nano akışkanlar; grafitler, CAF_2 MoS_2 [21], Au, Cu, C, CuO , Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , CNT (Karbon nano tüpler) [135] işlenen malzemenin cinsi, kesici takım ve işleme performanslarına göre kesme yağlarına ilave edilip kullanılmaktadır.

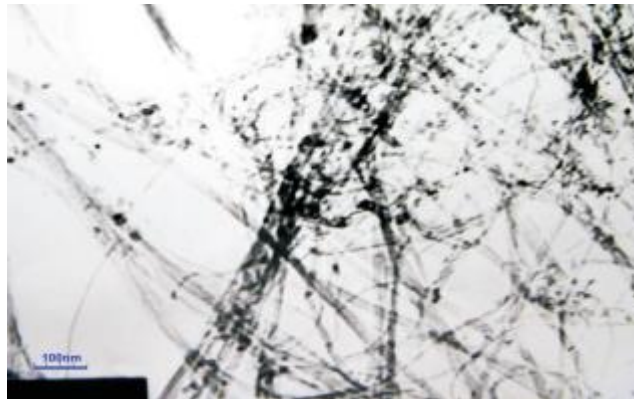
6.2.1.1. Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler (MWCNT)

ÇDKNT’lerin 1991 yılında Japon NEC firmasından Sumio Iijima tarafından [139]; Grafen düzlemi dediğimiz örülü yapının bir silindir şekline sarılması ve uçlarının küresel bir silindir kapağı şeklinde kapatılmasıyla oluşturmuştur. Karbon nanotüpler mükemmel özellikleri ile araştırmacılar için trend olmuştur. Nano teknoloji ürünü ÇDKNT’ler,

1990'lı yılların başındaki keşiflerinden sonra üstün özelliklerinin fark edilmesi ile birçok araştırma yapılmış ve gelişen Nano teknoloji ile birlikte popülaritesi gittikçe artmıştır. Çok hafif olması, yüksek elastiklik modülüne sahip olması ve bilinen en dayanıklı fiber olması ihtimalleri, ÇDKNT'lerin en önemli özelliklerindendir [22].

Karbon nano tüpler, günümüzde ve de gelecekteki uygulamalar için büyük ilgi görmüştür. Bu yapıların en göz alıcı özellikleri, talaşlı imalat uygulamalarında göstermiş olduğu, mekanik, optik ve kimyasal özellikleridir. ÇDKNT'ler, çok iyi yüksek bir yüzey alanına ve yüksek bir elektriksel iletkenliğe sahiptir. Yapılarının sahip olduğu benzersiz hegzagonal lineer geometrisi, yüzeylerini elektrolitlere yüksek oranda erişilebilir kılar. ÇDKNT'ler, çelikten yüz kat daha güçlüdür ve ağırlık olarak çeliğin altıda birine eşittir. Bu yüzden havacılık endüstrisinde yüksek mukavemet istenilen parçalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Young'ın ÇDKNT modülü, 1 TPa'ya karşı 70 GPa'ya, C-fiber için 2 GPa çelik ve 700 GPa'ya sahiptir. Ağırlık oranı, alüminyumdan 500 kat daha fazladır. Isı iletkenliği radyal yönde küçük değerler ile aksel yönde 2500-3000 W/mK'dir. Çok yüksek akım taşıma kapasitesine, mükemmel ısı iletimi ve sürtünmeyi azaltıcı yapıya sahip olan ÇDKNT'ler [140] iletkenliği 109 A/cm²'dir ve bakırdan on kat daha yüksek performans göstermektedir [22].

ÇDKNT, ikiden fazla grafen çepere sahip nanotüplerdir. ÇDNT'lerin iç çapları 0.4 nm'ye kadar inebilmektedir, dış çapları ise daha önce de belirtildiği üzere 15 nm civarındadır (Şekil 6.5) [140]. ÇDKNT parçacıklarının sahip olduğu yüksek ısı iletkenliği, etkin soğutma ve yağlama performansı işleme esnasında oluşan kesme sıcaklıklarını ve takım aşınmasını azaltmaktadır [141].



Şekil 6.5. ÇDKNT SEM görüntüsü [140].

7. LİTERATÜR TARAMASI

Patoli ve Kulkarni (2016), AISI4340 çeliğinin tornalanması sırasında MMY sistemine çok duvarlı karbon nanotüpün ilavesi ile nano akışkanların kesme parametrelerine etkilerini ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Deneyleri CNC torna tezgahında, MMY sisteminde farklı konsantrasyonlu nano akışkan miktarları kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. İşleme parametreleri Taguchi ile optimize edilmiş Varyans analizi uygulamışlardır. Varyans Analizine göre ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünün azalmasında büyük bir rol oynadığını, kesme derinliğinin ve kesme hızının daha düşük etki ettiği belirlenmiştir. MMY sisteminde çok duvarlı karbon nano akışkan kullanarak iki farklı kesme hızı, beş farklı ilerleme hızı, üç farklı kesme derinliği ve iki farklı nozle açısı kullanmışlardır. Çok duvarlı Karbon nanotüpün yüksek ısı taşıma kapasitesi ve yağlayıcı özelliğinin yüzey kalitesini arttırdığını ve takım aşınmasını azalttığını, geleneksel kesme sıvılarına göre daha fazla ısı iletimi sağladığı için takım aşınması, kesme sıcaklığı ve kesme kuvvetlerinde azalma, sonuç olarak yüzey kalitesinde iyi sonuçlar verdiğini tespit etmiştir [142].

Anuj ve Ark. (2016), Nano akışkanların farklı konsantrasyonlarını kullanarak AISI 1040 çeliğinin tornalanması esnasında bitkisel esaslı yağ-su emülsiyonuna SiO₂ eklenmesinin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Nano kesme sıvısının konsantrasyonundaki artışın termal iletkenliği ve viskoziteyi arttırdığı, termal iletkenliğin artmasıyla takım ve malzemede soğutmayı olumlu şekilde etkilediği belirtilmiştir. Nano kesme sıvısının geleneksel kesme sıvıları ile mukayese edildiğinde tüm işleme deneylerinde en iyi yüzey pürüzlülüğü ve en az takım aşınmasına sebep olduğu vurgulanmış, sürtünmenin azalması ile ısı iletiminin artmasından dolayı partiküllerin işleme bölgesindeki yüksek difüzyon etkisine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Nano kesme sıvılarının hacimsel konsantrasyonun orantılı olarak ısı iletkenliği ve viskozitenin işleme performansının doğrudan etkilediği geleneksel yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği vurgulanmıştır [143].

Samuel ve Ark. (2011), işleme operasyonlarında kullanılan metal kesme sıvılarının yağlama ve soğutma performansını arttırmak amacıyla çeşitli konsantrasyonlarda grafen

katkı maddesi kullanarak mikro torna deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneylerde grafenlerin yüksek ısı iletkenliği ve yağlayıcılık etkisi ile kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklıklarının azalması ile verimli işleme performansı gerçekleştirdiğini belirtmişlerdir. Tek duvarlı karbon nanotüp çap 2 nm, uzunluk 10 µm çok duvarlı karbon nanotüp ise çap 20 nm, uzunluk 10 µm seçilmiştir. Grafen taneciklerinin işleme sırasında yağlama ve ısı etkisinden dolayı tek ve çift duvarlı karbon nanotüplere göre daha düşük kesme sıcaklığında işleme gerçekleşmiştir. Grafen taneciklerinin ağırlıkça artması ile yağlama ve soğutma verimliliğinin arttığı, kesme sıvısının katı-sıvı ara yüzey temas alanını artırarak su fazının buharlaştırılmasıyla soğutmanın daha etkin yapıldığı, grafen tabakalarının yağlayıcı özelliğiyle sürtünme ile birlikte ısıyı kesme bölgesinden daha fazla uzaklaştırdığını ifade etmişlerdir. Yapılan deneylerde grafen tanecikleri karbon nanotüplerden daha etkin performans sergilediğı bulgusuna ulaşmışlardır [144].

Huang ve Ark. (2015), Çok duvarlı karbon nanotüplerin MMY sistemine yeni bir sistem yaklaşımı olduğunu ifade etmişlerdir. Karbon nanotüpün üstün ısı iletkenliğinin kesme işlemi esnasında oluşan ısının uzaklaştırılmasıyla takım aşınmasının azalmasına sebep olduğu dolayısıyla takım ömrünü uzadığı ve yüzey hassasiyetinin artmasına neden olduğunu vurgulanmıştır. SKD 11 malzemesinin frezelenmesi esnasında yeni bir soğutma sistemi olan MMY sisteminin Nano akışkanlarla karakterizasyonu ilişkilendirilmiş, çok duvarlı karbon nanotüpler MMY sistemine ilave edilerek Taguchi optimizasyonu ile kesme parametreleri optimize edilmiş ve parametreler (kesme hızı, ilerleme hızı, karbon nanotüp oranı ve nozzle açısı) irdelenip deney performanslarını incelemişlerdir. Kesme işlemi esnasında takım-iş parçası arasında oluşan yüksek sıcaklık takım aşınmasını hızlandırmış ve yüzey hassasiyetini düşürmesine sebep olmuştur. Kesme uzunluğunun artması ile tüm yağlama koşullarında kesme sıcaklığı doğrudan artarken en büyük kesme kuvveti kuru işleme, sırasıyla MMY ve MMY çok duvarlı karbon nanotüp ile bulunmuştur. Kesme işleminin devam etmesi ile kesici takımda aşınma, aşınma ile takım-iş parçası arasındaki sürtünme, sürtünme ile sıcaklığın etkisiyle yağlayıcının etkinliğini yitirmesine neden olduğu tespit edilmiştir. Çok duvarlı karbon nanotüplerin iş parçası ve takım arasında oluşturduğu yağ film tabakasının yağlayıcı özelliğı ve termal ısı iletiminin fazla olmasına bağılı olarak en iyi sonucu vermiştir. Tüm işleme parametreleri ve yapılan deneylerde yüzey kalitesi, kesme sıcaklığı ve takım aşınması optimize edildiğinde en iyi sonucu MMY karbon nanotüp sisteminde elde etmişlerdir [145].

Lee ve Ark (2011), Mekanik proseslerin çevresel yüklerini azaltmak için geleneksel kesme sıvılarına alternatif olan üstün yağlama ve soğutma özelliğinden ötürü nano akışkanlara yöneldiğini belirtmiştir. Kuru, MMY ve Nano Akışkanları farklı oranlarda mikro taşlama tezgahında işlenmesi esnasında yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini incelemiştir. Al_2O_3 etkin yağlama ve ısı iletiminden dolayı ağırlıkça %2 ve %4 oranlarında basınçlı hava ile püskürtülmüş, 30 ve 150 nm tanecik boyutlarında karşılaştırmalı deneyler yapmıştır. Nano akışkan oranının artırılması, Tane boyutlarının azalması ve etkin temas noktasının artması ile en iyi yüzey kalitesi 0,1 R_a elde edilmiştir. Nano partiküllerin hacimsel olarak konsantrasyonun artması ve daha küçük tane yapısına sahip nano partiküllerin kesme kuvvetiyle de orantılı olduğunu ve yüzey kalitesini doğrudan etkilediğini ifade etmişlerdir. Nanopartiküllerin hacim konsantrasyonun artması ile daha iyi bir yüzey kalitesi ve düşük kesme kuvvetleri elde edilmiştir [146].

Zhang ve Ark. (2015), işlenebilirliği güç olan malzemelerin işlenmesi esnasında yeni bir teknoloji olan hibrid nano partiküller kullanmışlardır. Hibrid nano partiküller iki veya daha fazla nano partiküllerin özelliklerinin bütünleşerek daha iyi yağlama, soğutma ve yüksek ısı transferine sahip olduğunu söylemişlerdir. Nanopartiküllerin üstün soğutma ve yağlama özelliğinin yanı sıra yüksek ısı iletkenliği ile takım ve iş parçası arasındaki oluşan kesme kuvvetlerinin ve sıcaklığın azalmasıyla daha iyi bir yüzey kalitesi elde edileceği belirtilmiştir. Nikel bazlı malzemenin taşlanması esnasında MoS_2 ve CNT nano partiküllerin birlikte kullanımı ile tek nano partiküllere göre daha iyi bir yüzey kalitesi ve daha etki bir yağlama gerçekleştirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Optimum MoS_2 /CNT karıştırma oranı 2:1 ve nano akışkan konsantrasyonu %6 olarak belirlenmiştir [147].

Sharma ve Ark. (2015), Metal kesme operasyonlarında kullanılan kesme sıvılarının yüksek tüketiminden ötürü meslek hastalıkları, çevre kirliliği ve endüstride yüksek maliyetlere sebep olduğunu bildirmişlerdir. Kesme sıvılarının tüketiminin işleme maliyetleri ve dezavantajlarının üstesinden gelmek için daha az miktarda tüketim ve optimum işleme parametreleri sağlayan ve yeni bir teknik olan MMY sistemi geliştirilmiştir. MMY sistemine nanometre boyutunda nanoakışkan partiküller ilavesi ile termal iletkenliğinin artırılmasıyla etkin bir yağlama gerçekleştiğini ve sürtünmenin azaldığını vurgulamışlardır. Yüksek karbon ve krom içeren AISI D2 çeliğinin tormalanması esnasında tungsten karbür takım kullanılarak kesme sıvısına ağırlıkça %0,02 oranında yağ bazlı kesme sıvısına karbon nanotüp partiküller ilave edilmiştir. Deney parametreleri Taguchi tasarım ve analiz yardımıyla tasarlanmış ve analiz

edilmiştir. Çok duvarlı karbon nanotüplerin ilavesi ile işleme esnasında takım-iş parçası arayüzünde kesme sıvısının ısı taşıma kapasitenin artmasıyla kesme sıcaklığında azalma, yüzey kalitesinde iyileşme ve daha az takım aşınması elde edilmiştir [148].

Prabhu ve Ark. (2010), Elektrik, mekanik ve otomobil sektöründe yaygın olarak kullanılan AISI D2 çeliğini mineral esaslı kesme sıvısına karbon nanotüp ilavesi ile yüzey özelliklerini mikro seviyeden nano seviyeye yükseltmek için taşlama işlemi uygulamışlardır. Geleneksel grafitte, karbon plakaları birbirinin üzerine dizilir, grafen plakaların bir silindir içine yuvarlandığında ve kenarları birleştiğinde ise çok duvarlı karbon nanotüpleri oluştuğunu ifade etmişlerdir. Grafen taneleri üst üste bindiği için tane yapısı çok duvarlı karbon nanotüpe göre daha kırılğan bir yapıya sahip olduğu vurgulanmıştır. Çok duvarlı karbon nano tüp saflık 95 wt% ϕ <8 nm, uzunluk 10 μ m-30 μ m Karbon nanotüp seçilmiş mineral esaslı kesme sıvısına wt%0,002 oranında ilave edilmiştir. Yapılan deney numuneleri atomik kuvvet mikroskopu tarafından analiz edilmiştir. Çok duvarlı karbon nanotüpün kayganlaştırıcı ve yağlayıcı özelliği ile yüzey hassasiyeti mikro seviyeden nano seviyeye ulaştığı belirlenmiştir [140].

Sharma ve Ark. (2015), Nanoakışkanların üstün termal ve tribolojik özelliklerinden dolayı günümüz endüstrisinde geleneksel kesme sıvılarına alternatif olarak geliştirildiğini ifade etmişlerdir. Nanoakışkanlar nanopartiküllerle güçlendirilmiş metal veya metalik olmayan parçaların nanometre boyutunda (<100 nm) kolloid bir kimyasal yapıda olduğunu belirtmişlerdir. Nano akışkanların potansiyel ısı transferinin fazla olması araştırmacıların dikkatini çekmiş ve geleneksel akışkanlara kıyasla tornalama, delme frezeleme, taşlama vb. farklı işleme özellikleri üzerinde çalışmalara yoğunlaşmışlardır. Yapılan bu çalışmada nano partiküller tarafında zenginleştirilmiş kesme sıvılarındaki yapılan önemli çalışmaların bir dizi özetinin sunulduğu söylenmiştir. Nanopartikül konsantrasyonu ve çeşitleri kuru işleme ve geleneksel kesme sıvısı işlemlerine kıyasla iyi bir yağlayıcı ve yüksek ısı iletim katsayısı ile daha iyi yüzey kalitesi, düşük kesme kuvveti ve daha az takım aşınmasına neden olduğu belirtilmiştir [149].

Krishna ve Rao (2016), işleme operasyonu esnasında kesici takım ve iş parçası arasında sürtünmenin etkisiyle oluşan ısının takım aşınmasını ve yüzey kalitesini doğrudan etkilediğini belirtmiştir. İşlenebilirliği zor malzemelerin işlenmesi esnasında soğutma sıvısının kesici takımın ömrünün uzatabileceğini, tornalama operasyonunda geleneksel, kuru işleme ve karbon nanotüp nano-kesme sıvısı kullanarak yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını araştırmışlardır. Çok duvarlı karbon nanotüpün kesme sıvısına yüzde oranın

artmasıyla termal iletkenliğin artması 0,3% oranından sonra azaldığını ifade etmişlerdir. Termal iletkenliğin artması ile ısı tranferinin artması ile geleneksel kesme sıvılarına kıyasla daha iyi kesme performansı ve yüzey kalitesi elde etmişlerdir [150].

Andhare ve Raju (2015), çok duvarlı karbon nanotüplerin seyreltilerek sodyum dodesil sülfat ilavesi ile değişik konsantrasyonlar hazırlanan Çok duvarlı karbon nanotüplerin karışımları incelenmiş; termal iletkenlik, ph değeri, viskozite ve yağlayıcı özelliğini araştırmışlardır. Hazırlanan karışımlar su ve mineral yağının karışımı olarak alınan geleneksel kesme sıvısının özellikleri ile karşılaştırmışlardır. MWCNT karışımının termal iletkenliğinin geleneksel kesme sıvısına kıyasla %42 oranında daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Sodyum sülfat ilavesinin karışım içerisinde çok duvarlı karbon nanotüplerin karışım içerisinde homojen olarak dağılması ile soğutma sıvısının ısı iletkenliğini ve yağlayıcı özelliğinin artmasına sebep olmuştur. %0,2 hacimli çok duvarlı karbon nanotüplerin ph 8,4 olarak bulunmuş, dolayısıyla kesme sıvısının korozyon yapısını azaldığını ifade etmişlerdir. Kullanılacak olan çok duvarlı karbon nanotüpün konsantrasyon oranının %0,3 geçmemesi gerektiğini, bunun sebebinin konsantrasyonun artması ile karışım da çökelme hızının artmasına neden olduğu ifade edilmiştir. Hazırlanan karışım da çok duvarlı karbon nanotüplerin temas açısında %70 oranında azaldığını dolayısıyla akışkanın takım yüzeyine daha uzun bir süre boyunca yapışmasını ve kesici takım-iş parçası arasında film tabakası oluşturarak sürtünme ile oluşan ısının azalmasını, takım ömrünün uzatacağını belirlemişlerdir. Yapılan çalışmada Çok duvarlı karbon nanotüplerin kullanımı geleneksel kesme sıvısına göre üstünlüğünü ve dolayısıyla kesici takım ömrünü arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır [151].

Roy ve Ghosh (2014), İşleme sırasında kullanılan kesme sıvılarının kesme sıcaklıklarının soğutma sisteminde etkin bir rol oynadığını, geleneksel kesme sıvılarına alternatif olan minimum miktarda yağlama sisteminde nanoakışkan soğutucu ilavesi ile AISI 4140 çeliğini tornalamışlardır. AISI 4140 çeliğinin işlenmesi esnasında üç farklı soğutma sisteminde; Kuru, ıslak ve MMY sisteminde çok katmanlı kaplamalı karbür uç kullanarak kesici takım uç sıcaklığını ölçmüşlerdir. Ölçülen Takım uç sıcaklığını değerlendirmek için kızılötesi termografi ve sonlu elemanlar analizi ile (Deform 3D) simülasyonu ile elde edilen sonuca yakın özellik gösterdiğini ifade etmişlerdir. Deney tasarımları Taguchi metoduyla tasarlanmış, nanoakışkanların işlenebilirlikleri üzerindeki etkilerini belirlemek için kullanmışlardır. Çok duvarlı karbon nanotüplerin geleneksel soğutma yöntemlerine göre %30 daha etkin ısı iletimi ve kesme esnasında tüm koşullarda daha iyi

performans gösterdiğini belirlemişlerdir [152].

Uysal (2017), paslanmaz çeliklerin günümüzde otomotiv, gıda, medikal ve kimya alanında yaygın olarak kullanıldığını fakat Pekleşme eğilimleri ve düşük ısı iletkenlikleri işlenebilirliği zorlaştıran bu malzemelerin işleme esnasında kesme sıcaklığını kontrol altında tutmak için farklı kesme sıvılarının kullanıldığını ifade etmiştir. Kesme sıvılarının yüksek maliyetleri, çevre ve sağlık açısından olumsuz etkileri nedeniyle artan maliyetler gelişen teknoloji ile birlikte alternatif yöntemlere başvurulduğunu gözlemlemiştir. Yapılan çalışmada AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğinin frezeleme operasyonunda geleneksel yöntemlere karşıt gelişen MMY (Minimum miktarda Yağlama) sisteminde çok duvarlı karbon nanotüp katkılı ticari bitkisel esaslı kesme sıvısı kullanarak kesme sıcaklıklarının etkisi incelenmiştir. Kesme sıvısının etkin bir yağlama ve soğutma gerçekleştirmesi için ağırlıkça %0,1-%0,15 ve %0,2 oranlarına çok duvarlı karbon nanotüp katılarak karışım oranları ve MMY debisi etkileri araştırılmıştır. Çok duvarlı karbon nanotüp ilavesi ile kesme sıcaklığının azaldığı gözlemlenmiş fakat konsantrasyon oranının artmasıyla kesme sıcaklığında tekrardan artış olduğu tespit edilmiştir. MMY debisinin artmasıyla sıcaklığın azaldığı vurgulanmıştır [141].

Kumar (2015), Kesme sıvılarının takım ve iş parçası arasında soğutma işleminde etkin bir rol oynadığını, gelişen teknoloji ile birlikte nanopartikül ilaveli kesme sıvılarının işlenebilirliğini araştırmışlardır. Martenzitik 420 kalitesinde çeliğin işlenmesi esnasında kullanılan kesme sıvısının kesme sıcaklıklarına etkisi ve yüzey kalitesini incelemişlerdir. Kuru kesme, Hindistan cevizi yağı ve Hindistan cevizi ile %0,1 oranında çok duvarlı karbon nanotüp ilavesi ile elde edilen karışım ile üç farklı kesme sıvısının performanslarını gözlemlemiştir. Taguchi L₉ dikey dizi yöntemi kullanarak kesme performansı parametrelerini belirlemek için Varyans analizi kullanmışlardır. Çok duvarlı karbon nanotüplerin geleneksel kesme sıvılarına kıyasla kesme esnasında oluşan sıcaklığın azalmasına ve yüzey kalitesindeki artmanın kesme performansı üzerinde etkili bir sonuç ortaya koyduğunu belirlemişlerdir [153].

Prasad ve Srikant (2013), herhangi bir işleme operasyonu esnasında takım-iş parçası arasındaki sürtünmenin etkisi ile oluşan ısının kontrol altında tutulmamasının takım ömrünü kısalttığını ve ürün yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediğini ifade etmişlerdir. Kesme sıvılarının yağlama ve soğutma özellikleriyle işleme esnasında sürtünmeyi ve kesme sıcaklığını azaltmak için kullanıldığını söylemişlerdir. Günümüzde kullanılan geleneksel sel kesme sıvılarının işçilerin sağlığına olumsuz etkileri ve ekolojiyi verdiği

zararlar göz önüne alındığında alternatif yöntemlerin arayışına girildiğini tespit etmişlerdir. Kesme kuvvetlerini ve kesme sıcaklıklarının azaltılmasında etkin bir rol oynayan kesme sıvılarının uygun yağlayıcıların seçimi ile kesme operasyonunu geliştirdiği vurgulanmıştır. Yeni bir teknoloji olan nano malzemelerin nano teknolojilerle geliştirilerek elde edilen nano grafit tozunun minimum miktarda yağlama sistemine ilavesi ile AISI 1040 çeliğinin tornalanması esnasında işlenebilirliğini araştırmışlardır. İşleme esnasında kuru, sel ve MMY soğutma yöntemlerinde deneyler uygulanmış, nano grafit tozu ağırlıkça (%0,09-%0,1-%0,3 ve %0,5) oranlarında 80 nm partikül boyutlarında ilave edilmiştir. Nanoparçacıklar kesme bölgesine 5 ml/dak, 10 ml/dak ve 15 ml/dak farklı akış hızlarında püskürtülmüştür. Nano grafitin yüzdesindeki artışın, kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasında daha iyi performans ortaya koyduğu sonucuna ulaşmışlardır. MMY sisteminde nano grafitlerin işlenebilirliğe yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde azalttığı ve takım aşınmasını minimize ettiğini vurgulamışlardır [154].

Rao ve Ark. (2011), işleme operasyonu esnasında takım-işparçası arasında sürtünmenin etkisi ile oluşan ısının etkilerini azaltmak için kesme sıvılarının kullanıldığını ifade etmişlerdir. Geleneksel kesme sıvılarının dezavantajları nedeni ile gelişen teknoloji ile alternatif olarak gelişen MMY sistemi geliştirildiğini söylemişlerdir. MMY sisteminde karbon nano tüp akışkanlar kullanılarak takım aşınması ve kesme sıcaklıklarının minimize etmeye çalışmışlardır. AISI 1040 çeliğinin tornalanması esnasında kesme sıvılarının etkinliğini belirlemek için karbon nanotüp kullanmışlardır. Karbon nano tüpün işleme esnasında kesme sıcaklığının ve takım aşınmasında geleneksel soğutma yöntemlerine kıyasla olumlu yönde etkilediği sonucuna ulaşmışlardır [155].

Sharma ve Ark. (2018) Geliştirilmiş tribolojik özelliklere sahip bir hibrid yağlayıcı olan, alümina bazlı nanoparçacıklar ile çok duvarlı karbon nanotüpleri (MWCNT'ler) sabit hacimsel oranlarda kesme sıvısına karıştırarak geliştirmişlerdir. Hibrit kesme sıvısı üç farklı volümetrik konsantrasyonlarda hacim olarak (%0,25-%0,75-%1,25) hazırlamışlardır. AISI 304 paslanmaz çeliğinin MMY sisteminde nano akışkanlar kullanarak tornalanması esnasında artan nanoparçacık konsantrasyonun aşınma ve sürtünme katsayısının azalmasına neden olduğu belirtilmiştir. Yüzey metodolojisi kullanılarak kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve nanopartikül konsantrasyonun belirlenmesi için kesme sıcaklığı ve takım aşınmasının ölçülmesinde regresyon modelleri kullanmışlardır. Alümina bazlı nanopartiküller ve çok duvarlı karbon nano tüp hibrid

karışım kesici takım aşınmasını %11 oranında, kesme sıcaklığını ise %27,36 oranında azalttığını tespit etmişlerdir [156].

Emre ve Turgay (2016), MMY sisteminde kullanılan farklı kesme yağlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 17-4 PH çeliğinin CNC torna tezgâhında tornalanması esnasında kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanarak, yapılan deneyleri Taguchi L₉ dizini ile optimize etmişlerdir. Kesme parametreleri; kesme hızı (160, 240 ve 320 m/dak), kesme yağı cinsi (mineral, sentetik ve bitkisel esaslı) ve debi (30, 60 ve 90 ml/h) belirlemişlerdir. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini tayin etmek amacıyla varyans analizi (ANOVA) uygulamışlardır. Yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametre kesme sıvısı olarak tespit etmişlerdir [108].

Turgay ve Şerif (2014), 15-5 PH çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliğin tornalanması esnasında kesme parametrelerinin, kesme kuvveti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Taguchi L₁₈ dikey dizini kullanarak, kesme hızı, ilerleme hızı ve üç farklı seviyede kesme derinliği ile deney tasarımı yapılmıştır. Tüm deneyler kuru kesme şartları altında gerçekleştirilmiş ve kesme parametrelerinin, kesme kuvveti üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla Varyans (ANOVA) analizi uygulamışlardır. CNC torna tezgâhında gerçekleştirilen deneylerde kaplamalı sementit karbür uç kesici takımları kullanmışlardır. Kesme kuvveti üzerinde ilerleme hızının %45,6 katkı oranı ile en etkili parametre olduğunu tespit etmişlerdir [157].

7.1. LİTERATÜR DEĞERLENDİRİLMESİ

PH13-8 Mo çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliği ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, yüksek korozyon ve aşınma direncinin istenildiği alanlarda kullanılmak üzere özel olarak geliştirilmiş fakat işlenebilirlik performansı hakkında çalışmaların olmadığı görülmüştür. Havacılık ve savunma sanayinde yaygın olarak kullanılan bu çeliğin yapılan çalışma ile birlikte işlenmesi esnasında ortaya çıkan problemlerin kaldırılması ve daha düşük bir maliyetle işlenebilirliği etkileyen parametrelerin optimizasyonu sağlanacaktır.

Yine Literatür araştırmaları neticesinde MMY sistemi oldukça yeni, trend bir teknoloji ürünü haline gelmiş ve geleneksel soğutma yağlama yöntemlerine göre üstün performans sergilediği görülmüştür. Çalışmalar neticesinde MMY sisteminde kullanılan kesme

yağlarının performansını geliştirmek amacıyla Nano akışkanlar ilave edilmektedir. ÇDKNT'ler yüksek ısı iletim katsayısı, termal iletkenlik ve etkin soğutma yağlama tekniğı ile kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar ve yüzey pürüzlülüğünün azaltılmasında yüksek bir etkiye sahip olduğı belirtilmiştir. Taguchi metodu gibi optimizasyon yöntemleri ile çok sayıda deney yapmadan zaman ve maliyetin düşürölmesinin yanı sıra ürün kalitesi ve işleme verimliliğinin arttırıldığı tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda, PH13-8 Mo çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin ve kesme şartlarının yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları üzerindeki etkileri deneysel ve istatistiksel olarak değeriendirilerek optimal işleme koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla optimizasyon yöntemi olarak Taguchi tekniğı kullanılarak deney tasarımı yapılmasına karar verilmiştir.



8. MALZEME VE METOT

Bu çalışmada, PH 13-8 Mo martenzitik paslanmaz çeliğinin tornalanmasında, kesme parametrelerinin ve kesme şartlarının, kesme sıcaklığı (T) ve yüzey pürüzlülüğü (R_a), üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneyler iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiş olup, birinci aşamada Nano akışkanlar için optimal konsantrasyon oranı tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise optimum konsantrasyon oranına sahip Nano akışkanın kuru ve MMY kesme şartları ile mukayesesi yapılmıştır. İşleme parametrelerinin optimizasyonunda Taguchi metodu kullanılmış, parametrelerin kalite karakteristikleri üzerinde etkilerini belirlemek amacıyla Varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Ayrıca bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla çoklu Regresyon analizi uygulanmıştır.

8.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME

Tornalama deneylerinde Ø36x250 mm ebatlarında ASTM 5629 özelliklerine sahip PH13-8 Mo çökelme sertleşmeli martenzitik paslanmaz ticari çelik numuneler kullanılmıştır. Deney numunelerine herhangi bir ısıtıl işlem yapılmamış olup, numunelere ait kimyasal bileşim, Çizelge 8.1’de mekanik özellikleri ise Çizelge 8.2’de verilmiştir.

Çizelge 8.1. PH13-8 Mo martenzitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi.

Al	C	Cr	Ni	Si	Mo	Mn	P
1,06	0,044	12,51	8,09	0,070	2,10	0,040	0,005

Çizelge 8.2. PH13-8 Mo martenzitik paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri.

Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Yüzde uzama (%)	Sertlik (HRC)
1413	1310	10	43

8.2. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TEZGÂHI

Tornalama deneyleri, maksimum devri 4500 dev/dak olan Accuway marka JT 150 model CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Tezgâh görseli Şekil 8.1’de, teknik özellikleri ise Çizelge 8.3’de verilmiştir.



Şekil 8.1. Accuway JT 150 CNC torna tezgâhı.

Çizelge 8.3. Deneylerde kullanılan tezgâhın teknik özellikleri.

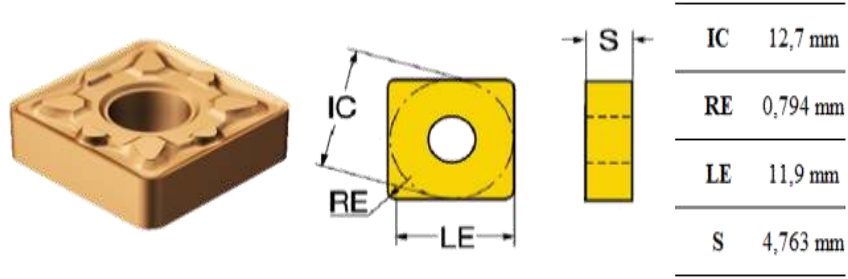
Tezgâh gücü	7,5 kW
Maksimum devir sayısı	4500 dev/dak
Kesici bağlama hane sayısı	8
İşletim sistemi	Fanuc OT
Maksimum döndürme çapı	350 mm
Maksimum döndürme uzunluğu	320 mm
Ölçü Hassasiyeti	0,001 mm

8.3. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIM

Tornalama deneylerinde Sandvik Coromant firması tarafından imal edilen ISO'ya göre SNMG 120408 geometrisine sahip, 1125 kalite PVD TiAlN-(AlCr)₂O₃ kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Çizelge 8.4'de kesici takıma ait teknik özellikler, Şekil 8.2'de boyutsal ölçüler verilmiştir.

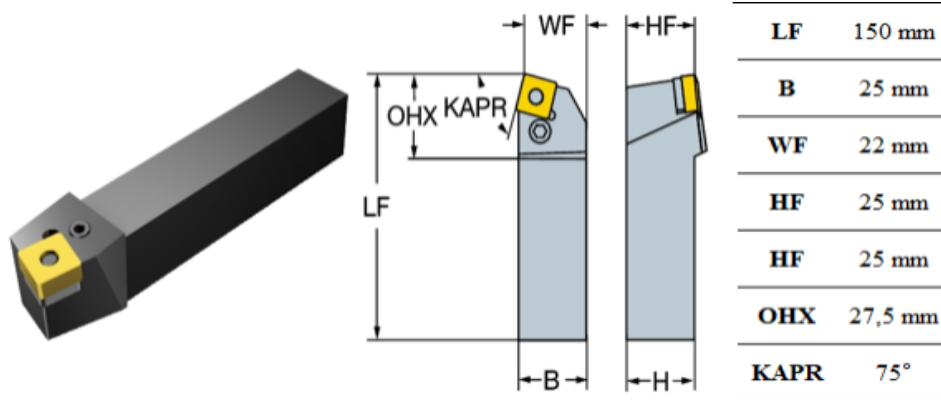
Çizelge 8.4. Kesici takıma ait teknik özellikler.

Kaplama Metodu	Kaplama Malzemesi	Talaş Kırıcı	Kalite (ISO)	Kaplama Kalınlığı (µm)	Sertlik (Hv)
PVD	TiAlN-(AlCr) ₂ O ₃	MM	GC1125	4	1640



Şekil 8.2. SNMG 120408 MM 1125 kesici takım.

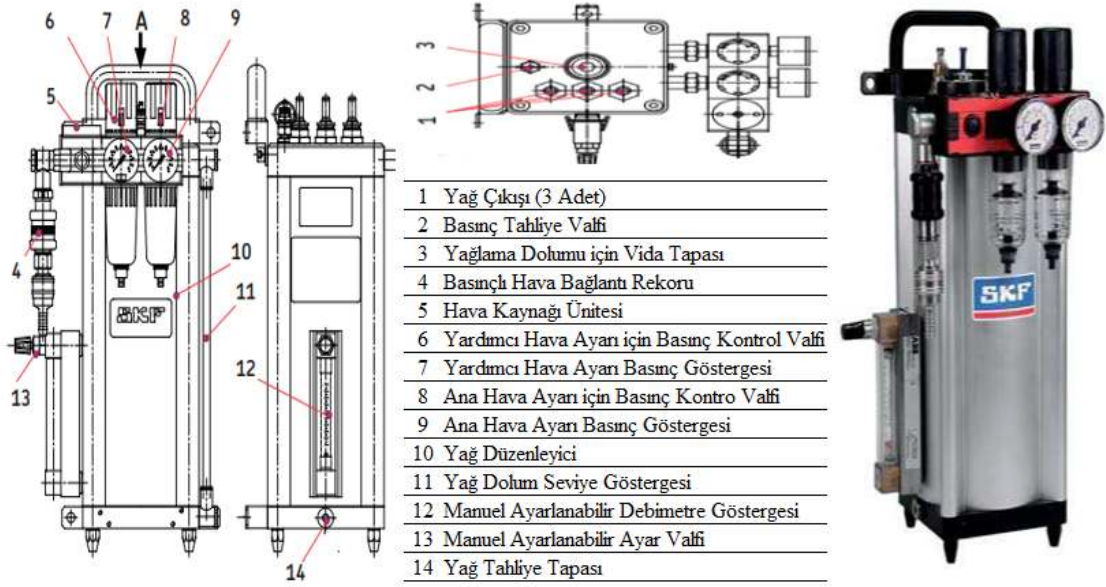
Kesici takımların torna tezgâhına bağlanması için Sandvik Coromant firmasının, PSBNR 2525 M 12 torna kateri kullanılmıştır. Şekil 8.3’de katere ait boyutsal ölçüler verilmiştir.



Şekil 8.3. PSBNR 2525 M12 torna kateri.

8.4. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MMY) SİSTEMİ

Deneylerde, SKF marka LubriLean-Vario model minimum miktarda yağlama (MMY) sistemi kullanılmıştır. MMY sistemi, Şekil 8.4, teknik özellikleri ise Çizelge 8.5’te verilmiştir. MMY sistemindeki kesme yağı, kesme bölgesine 2 mm çapındaki nozul vasıtasıyla dışarıdan tatbik edilmiştir. İşleme deneylerinde sistem basıncı 8 bar, Debi 80 ml/saat, nozul mesafesi 25 mm ve nozul açısı 30° olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 8.4. MMY sistemi deney seti.

Çizelge 8.5. LubriLean-Vario teknik özellikler.

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 Nl/dak
Çıkış Bağlantı Nokta Sayısı	1-3

8.5. DENEYLERDE KULLANILAN NANO AKIŞKANLARIN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada nano akışkanlar için kesme yağı (baz sıvı) olarak, Belgin Oil marka Cuttex SYN 10 ticari amaçlı bitkisel esaslı kesme yağı kullanılmıştır. Kullanılan kesme yağı, üstün yağlama ve ısı taşıma kapasitesine sahip, klor ve ağır metaller içermeyen biyolojik olarak doğada çözülebilen çevre dostudur. Kesme yağına ait teknik özellikler Çizelge 8.6’da verilmiştir.

Çizelge 8.6. Cuttex SYN 10 Kesme yağı özellikleri.

Kinematik Viskozite (40°C, cSt)	10,0
Parlama Noktası (°C, min)	200
Yoğunluk (g/mL 15°C)	0,868
Kesme Yağı Cinsi	Bitkisel

Kesme yağının işleme esnasında performansı geliştirmek amacıyla, içerisine farklı oranlarda ÇDKNT partiküller ilave edilmiştir. ÇDKNT'ler sahip olduğu, yüksek ısı iletim katsayısı, etkin yağlama ve yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığını koruma özelliklerine sahiptir. Bu çalışmada Nano akışkanların hazırlanmasında kullanılan ÇDKNT katı partiküllere ait özellikler Çizelge 8.7'de verilmiştir.

Çizelge 8.7. ÇDKNT'lerin özellikleri.

Safılık	96%
Dış Çap	10-20 nm
Uzunluk	5-10 µm
(COOH) Oranı	2,2 wt%

Bitkisel esaslı kesme yağı içerisine hacimce %0,3, %0,6 ve %0,9 konsantrasyon oranında ilave edilen ÇDKNT katı partikülleri, üç aşamadan oluşan karıştırma işlemi uygulanarak hazırlanmıştır. Kesme yağı içerisine ilave edilen Katı Nano partiküller ilk olarak DAIHAN marka HS-100D modeli mekanik karıştırıcı ile 60 dakika boyunca, 750 dev/dak ile karıştırılmıştır. Mekanik karıştırıcıya teknik özellikler Çizelge 8.8'de verilmiştir.

Çizelge 8.8. Mekanik karıştırıcı teknik özellikleri.

Karıştırma Kapasitesi	1-20 Litre
Maksimum Viskozite	50000 mPa
Motor Gücü	120 W
Maksimum Tork	145 Ncm
Devir	200-3000 dev/dak

Mekanik karıştırıcı ile karıştırılan kesme yağı içerisindeki katı Nano partiküllerin homojenliğini ve stabilitesini korumak için ikinci bir aşama olarak; Bandelin Sonopuls marka UW-3200 model ultrasonik homojenizatör ile 60 dakika karıştırma işlemine tabii tutulmuştur. Ultrasonik karıştırma işlemi ile ÇDKNT katı partiküllerin, kesme yağı içerisinde çökelme ya da yükselme esnasında topaklaşma eğiliminin önüne geçilmektedir.

Üçüncü ve son aşamada ise ÇDKNT katı partikül ilaveli kesme yağı, TERMAL marka N11150M model manyetik karıştırıcı ile 60 dakika boyunca 1500 dev/dak ile katı partiküllerin homojen dağılımı için tekrar karıştırılmıştır. Üç aşama (Mekanik, ultrasonik ve manyetik) ile karıştırma işlemine tabii tutulan ÇDKNT katı Nano partikülleri, kesme yağı içerisinde homojen olarak dağılımı sağlanmış olup, fresh karışımlar elde edilmiştir.

ÇDKNT'lerin hazırlanırken kullanılan karıştırma cihazları sırasıyla Şekil 8.5'de verilmiştir.



Şekil 8.5. Nano akışkanların hazırlanmasında kullanılan cihazlar a) HS-100D Mekanik karıştırıcı b) Bandelin Sonoplus UW-3200 ultrasonik homojenizatör c) Termal N11150 manyetik karıştırıcı

8.6. TAGUCHI OPTİMİZASYON YÖNTEMİ

Taguchi optimizasyon yöntemi, ürün kalitesini arttırmak ve geliştirmek amacıyla yapılan, deneylerin verimliliğini arttırmak için tasarım ve analiz ilişkisinin sistematik bir şekilde ortaya koyan istatistiksel yaklaşım metodudur [89]. Taguchi yönteminin kullanımı yüksek kaliteli ürünlerin çok daha hızlı ve düşük maliyetle üretilebilmesine imkân tanımaktadır. Bu çalışmada, Taguchi metodu ile deney tasarımları hazırlanmış olup kalite karakteristikleri olarak kesme sıcaklığı (T) ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) ele alınmıştır.

Farklı kesme parametrelerinin optimizasyonu için Taguchi metodunun $L_9 (3^2)$ ve $L_{27} (3^3)$ dikey dizinleri kullanarak iki aşamalı deney tasarımı gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada L_9 dizini kullanılarak Nano akışkan konsantrasyon oranlarının optimizasyonu amaçlanmıştır. L_9 tasarımı ile gerçekleştirilen deneylerde, girdi parametreleri kesme hızı (V_c -m/dak), ilerleme hızı (f-mm/dev) ve konsantrasyon oranı (%-hacimce) olarak belirlenmiştir. Kontrol faktörleri ve seviyeleri Çizelge 8.9'da, deney tasarımı ise Çizelge 8.10'da verilmiştir.

Çizelge 8.9. L₉ işleme parametreleri ve seviyeleri.

Kontrol faktörleri	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesme Hızı (m/dak)	A	120	180	240
İlerleme Hızı (mm/dev)	B	0,10	0,15	0,20
Hacimce % Konsantrasyon Oranı:	C	0,3	0,6	0,9

Çizelge 8.10. Taguchi L₉ dikey dizisi.

Deney No	Değişkenler	Sembol A	Sembol B	Sembol C
1	A ₁ B ₁ C ₁	1	1	1
2	A ₁ B ₂ C ₂	1	2	2
3	A ₁ B ₃ C ₃	1	3	3
4	A ₂ B ₁ C ₃	2	1	3
5	A ₂ B ₂ C ₃	2	2	3
6	A ₂ B ₃ C ₁	2	3	1
7	A ₃ B ₁ C ₃	3	1	3
8	A ₃ B ₂ C ₁	3	2	1
9	A ₃ B ₃ C ₂	3	3	2

İkinci aşama da (L₂₇) ise, soğutma yağlama yönteminin, kesme sıcaklıkları ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi irdelenmiştir. L₂₇ tasarımı ile gerçekleştirilen deneylerde kontrol faktörleri ve seviyeleri (Çizelge 8.11); soğutma yağlama yöntemi (Kuru, MMY, NanoMMY), kesme hızı (Vc-m/dak), ve ilerleme hızı (f-mm/dev) olarak belirlenmiştir. NanoMMY sisteminde gerçekleştirilen tüm deneylerde nano akışkan konsantrasyon oranı hacimce %0,6 sabit tutulmuştur. L₂₇ deney tasarımı ise Çizelge 8.12’de verilmiştir.

Çizelge 8.11. L₂₇ işleme parametreleri ve seviyeleri.

Kontrol faktörleri	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Soğutma Yöntemi	A	Kuru	MMY	NanoMMY
Kesme Hızı (m/dak)	B	120	180	240
İlerleme Hızı (mm/dev)	C	0,1	0,15	0,2

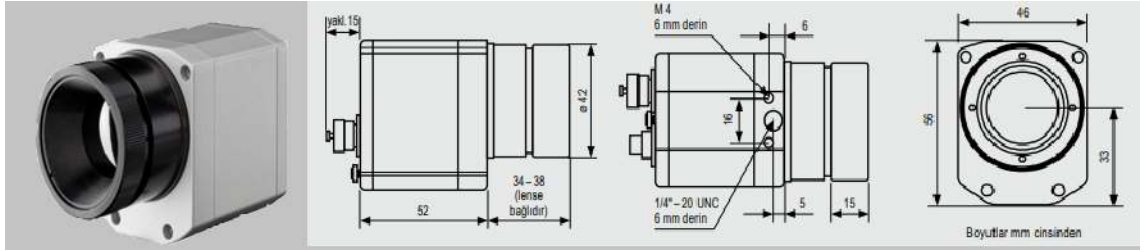
Çizelge 8.12. Taguchi L₂₇ dikey dizisi.

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

İki aşamalı olarak gerçekleştirilen deneylerde, Taguchi metodu ile zamandan tasarruf edilerek, çok sayıda deney yapmadan, kesme şartlarının, yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıklarına etkisi incelenmiştir. Gerçekleştirilen iki aşamalı deneylerin, sonuçlarının değerlendirilmesinde sinyal/gürültü (signal-to-noise, S/N) oranı kullanılmıştır. Aynı zamanda kalite karakteristiklerine etki eden parametrelerin optimizasyonu için Varyans (ANOVA) analizi yapılmış ve Regresyon denklemleri ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki tespit edilmiştir.

8.7. KESME SICAKLIKLARININ ÖLÇÜLMESİ

Talaş kaldırma sırasında harcanan mekanik enerjinin tamamına yakını, ısı enerjisine dönüşür. Bunun sebebi kesici takım-iş parçası arasındaki izafi hareketin birbirilerine temas halinde sürtünmeye sebep olmasıdır. Kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme sıcaklığı, kesme olayı ile ilgili önemli ipuçları verdiğinden, sıcaklığın ölçülmesi son derece önem arz etmektedir. Termal kameralar, görüntüleme yöntemi olarak, gözle görülmeyen kızılötesi (infrared: IR) enerjiyi esas alan ve görüntünün genel yapısını IR enerjiyi göre oluşmuş renkler ve şekillerin belirlendiği görüntüleme sistemidir. Bu yöntem işleme esnasında kesici takımın, iş parçası ve kesme bölgesinde oluşan sıcaklıkları fotoğraflama tekniğiyle görüntüleme metodudur. Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan termal kameraya ait boyutlar ve görüntüler Şekil 8.7’de verilmiştir.

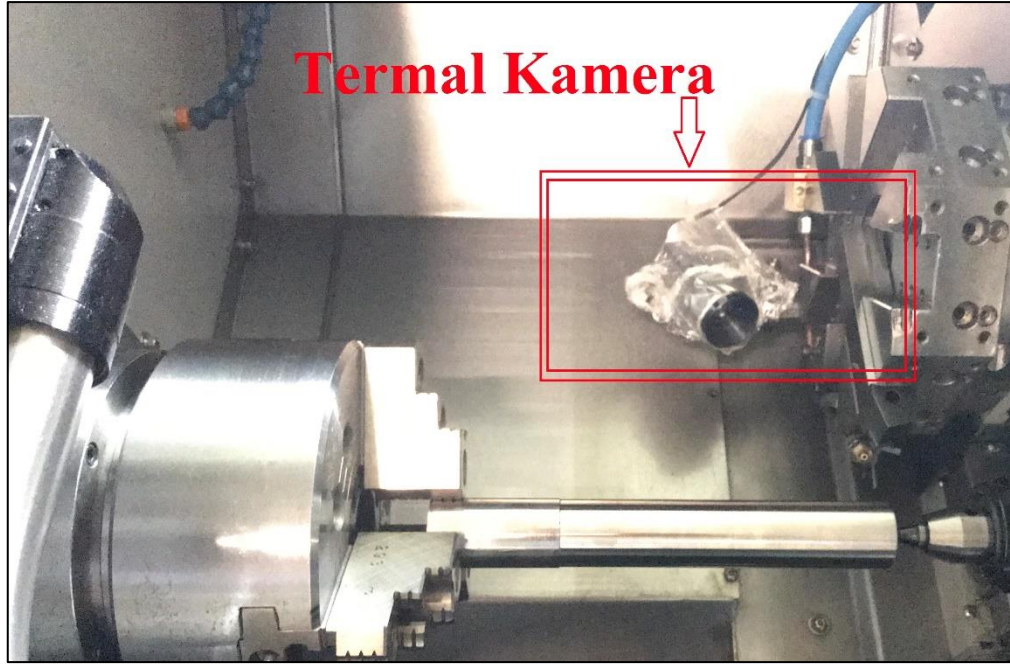


Şekil 8.7. Optris PI 450 termal kamera boyut ve görseli.

Yapılan çalışmada kesme bölgesinde oluşan sıcaklıkların tayini için, OPTRIS marka PI 450 modelli termal kamera kullanılmıştır. Bu yöntemle 900°C’ye kadar sıcaklık ölçümleri yapılmakla birlikte, termal kameraya ait teknik özellikler Çizelge 8.13’de verilmiş olup, termal kamera deney seti Şekil 8.8’de verilmiştir.

Çizelge 8.13. PI 450 termal kamera teknik özellikleri.

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



Şekil 8.8. Termal kamera deney seti.

8.8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ

Talaşlı imalat işlemlerinde ürün kalitesini belirleyen en önemli unsurlardan bir diğeri ise yüzey kalitesidir. Soğutma yağlama yöntemi, kesme parametreleri, kesici takım geometrisi gibi yüzey pürüzlülüğünü etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametrelerin optimize edilmesi, istenilen yüzey kalitesinin elde edilmesi ve üretim maliyetlerinin azaltılması açısından son derece önemlidir. Bu amaç doğrultusunda tornalanan yüzeylerin, ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) ölçümlerinde MAHR marka MarSurf PS 10 model taşınabilir ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 8.9). Yüzey pürüzlülük değerleri ölçümlerinde, ölçme uzunluğu 4 mm ve örnekleme uzunluğu (cut off) 0.08 μm alınmıştır. İşlenmiş her yüzeyin 3 farklı noktasından ölçüm alınarak, istatistiksel analizler ile değerlendirmede bu ölçümlerin (R_{aort}) ortalaması dikkate alınmıştır. Ölçümlerde kullanılan yüzey pürüzlülük cihazına ait teknik özellikler Çizelge 8.14’de verilmiştir.



Şekil 8.9. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm şekli.

Çizelge 8.14. Marsurf PS 10 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) (Oto. Geçiş)	350 μ m, 180 μ m, 90 μ m
Profil Çözünürlüğü (mm) (Oto. Anahtarlama)	32 nm, 16 nm, 8 nm
Uç Malzemesi	Elmas
İğne Uç Yarı Çapı	2 μ m
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)	160x77x50
Cihaz Durumu	Taşınabilir.

9. DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada PH 13-8 Mo malzemesinin, tornalama yöntemi ile işlenmiş ve deneyler iki aşama da gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada Taguchi'nin L₉ düşey dizini kullanılarak farklı kesme ve ilerleme hızlarında test edilen nanoakışkanlar için optimal konsantrasyon oranları tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise ilk aşamada elde edilen optimum nano akışkan konsantrasyon oranı sabit tutularak bu konsantrasyondaki nano akışkanın kuru ve MMY kesme şartlarına göre yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerindeki performansı test edilmiştir. Bu aşamada Taguchi'nin L₂₇ düşey dizini kullanılarak deney tasarımı yapılmış ve deneyler bu tasarıma uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

9.1. NANOAKIŞKAN KONSANTRASYON ORANININ OPTİMİZE EDİLMESİ

Birinci aşamada, farklı kesme ve ilerleme hızlarında gerçekleştirilen deneylerle nano akışkan konsantrasyon oranının optimizasyonu amaçlanmıştır. Bu amaçla Taguchi L₉ dikey dizini kullanılarak deney tasarımı yapılmış olup optimum yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı değerleri tespit edilmiştir.

9.1.1. S/N Oranlarının Analizi

Yüzey pürüzlülüğü, talaşlı imalat işlemlerinde işlenebilirlik kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar ise yüzey kalitesini ve kesici takım ömrünü etkileyen önemli parametrelerden bir diğeridir. Dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığını etkileyen parametrelerin optimize edilmesi işleme verimliliği için önem arz etmektedir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve nano akışkan konsantrasyon oranının kontrol faktörü olarak kullanıldığı deneysel çalışma sonunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı değerleri ve bunlara ait S/N oranları Çizelge 9.1'de verilmiştir. Taguchi metodu ile kontrol faktörlerinin optimum seviyelerinin tespit edilmesinde S/N oranları kullanılmaktadır. Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı değerlerinin düşük olması istendiğinden S/N oranlarının tespitinde Denklem 9.1'de verilen *en küçük en iyi* yaklaşımı kullanılmıştır.

$$n = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (9.1)$$

Yapılan tornalama deneyleri sonucunda ortalama yüzey pürüzlülüğü ($R_{a_{ort}}$) 1,02 μm , ortalama S/N oranı ise 1,11 dB olarak hesaplanmıştır. Ortalama kesme sıcaklıkları ise (T_{ort}) 148,33 $^{\circ}\text{C}$, ortalama S/N oranı ise -43,39 dB olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 9.1. Deney sonuçları ve S/N oranları.

Den. No	A Kesme hızı (V) (m/dak)	B İlerleme hızı (f) (mm/dev)	C Konsantrasyon oranı (KO) (% hacimce)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (μm)	Yüzey Pürüzlülüğü S/N Oranı (dB)	Kesme Sıcak. (T) ($^{\circ}\text{C}$)	Kesme Sıcak. S/N Oranı (dB)
1	120	0,10	0,3	0,707	3,01	127	-42,076
2	120	0,15	0,6	0,955	0,40	139	-42,860
3	120	0,20	0,9	1,652	-4,36	148	-43,405
4	180	0,10	0,6	0,260	11,69	138	-42,797
5	180	0,15	0,9	0,929	0,64	151	-43,579
6	180	0,20	0,3	1,597	-4,06	158	-43,973
7	240	0,10	0,9	0,424	7,46	163	-44,243
8	240	0,15	0,3	1,101	-0,84	150	-43,521
9	240	0,20	0,6	1,569	-3,91	161	-44,136

Yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık üzerinde kontrol faktörlerinin etkisini ortaya koymak amacıyla S/N yanıt tablosu kullanılmaktadır. Analiz sonucunda elde edilen S/N yanıt tablosu Çizelge 9.2’de verilmiştir. Taguchi tekniği ile oluşturulan bu tablo optimum yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları değerleri için kontrol faktörlerinin optimum seviyelerini göstermektedir. Kontrol faktörleri için en iyi seviye o kontrol faktörünün tüm seviyeleri içerisindeki en büyük S/N oranına göre bulunmuştur. Buna göre en düşük R_a ve T değerleri için kontrol faktörleri ve seviyeleri sırası ile $A_2B_1C_2$ ve $A_1B_1C_1$ olmuştur.

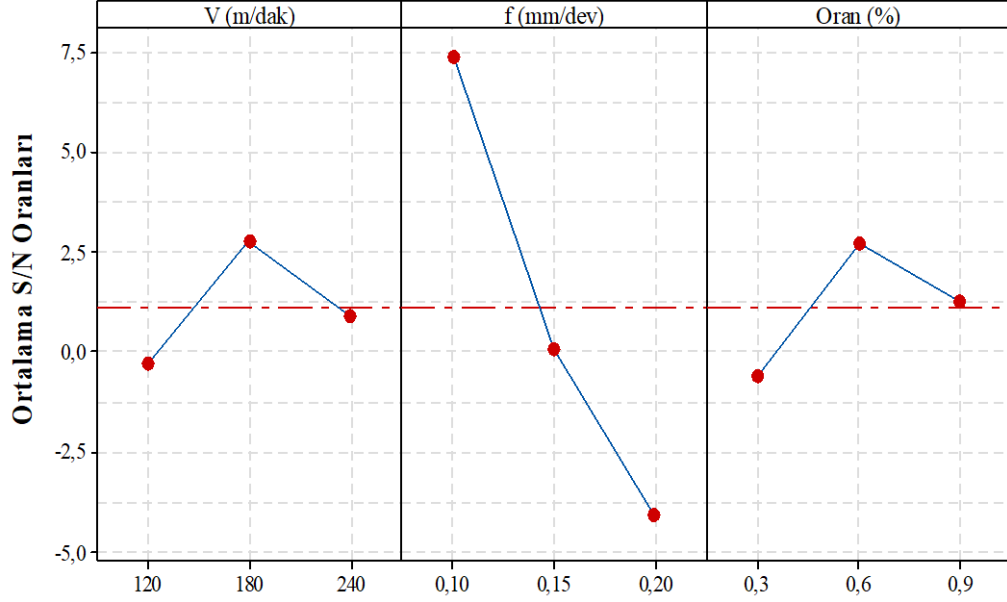
Çizelge 9.2. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları için S/N yanıt tablosu

Seviyeler	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)			Kesme Sıcaklıkları (T)		
	Kontrol Faktörleri			Kontrol Faktörleri		
	A	B	C	A	B	C
Seviye 1	0,3159	7,3854	-0,6317	-42,78	-43,04	-43,19
Seviye 2	2,7539	0,067	2,7272	-43,45	-43,32	-43,26
Seviye 3	0,9035	-4,111	1,2458	-43,97	-43,84	-43,74
Delta	3,0698	11,4965	3,3589	1,19	0,8	0,55

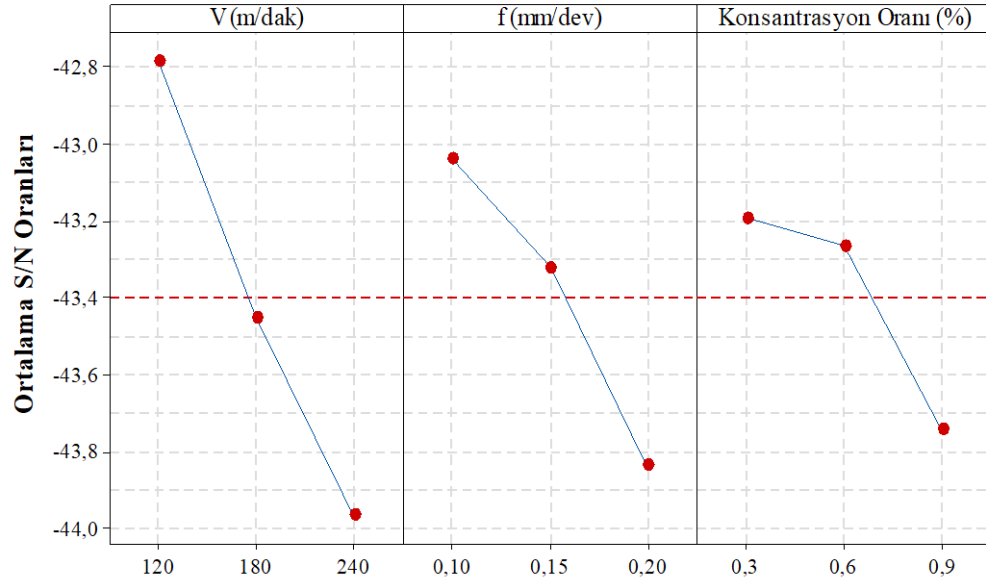
*Koyu ile gösterilen veriler optimum koşullardır.

Şekil 9.1’de yüzey pürüzlülüğü için Şekil 9.2’de ise kesme sıcaklığı için S/N oranları grafikleri verilmiştir. Şekil 9.1’den en yüksek S/N oranları dikkate alındığında optimum

R_a değerinin 180 m/dak kesme hızında (A_2), 0,10 mm/dev ilerleme hızında (B_1), 0,6% konsantrasyon oranı (C_2) ile elde edildiği görülmektedir. Şekil 9.2'den en yüksek S/N oranları dikkate alındığında optimum T değerinin 180 m/dak kesme hızında (A_1), 0,10 mm/dev ilerleme hızında (B_1), 0,6% konsantrasyon oranı (C_1) ile elde edildiği görülmektedir.



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



Şekil 9.2. Kesme sıcaklığı için ortalama S/N oranları grafiği

9.1.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Taguchi L₉ tasarımı ile yapılan deneylerde, kontrol faktörlerinin (kesme hızı, ilerleme hızı ve nano konsantrasyon oranı) yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları üzerindeki etki düzeylerini belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı için %95 güven aralığında gerçekleştirilen ANOVA sonuçları sırasıyla Çizelge 9.3 ve Çizelge 9.4'te verilmiştir. Çizelgelerde yer alan katkı oranları kontrol faktörünün çıktıları üzerindeki önem derecesini ifade etmektedir.

Çizelge 9.3. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	2	0,04677	0,023385	4,61	0,178	2,2
B	2	1,959	0,979502	192,93	0,005	94,1
C	2	0,0662	0,033102	6,52	0,133	3,2
Hata	2	0,01015	0,005077	-	-	0,5
Toplam	8	2,08213	-	-	-	100

Çizelge 9.3'de verilen veriler ışığında yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili faktörün %94,1 katkı oranı ile ilerleme hızı (Faktör B) olduğu görülmüştür. İlerleme hızını %3,2 katkı oranı konsantrasyon oranı takip etmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en az etkiye ise %2,2 katkı oranı kesme hızının sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 9.4. Kesme sıcaklığı için ANOVA tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	1	600,0	600,0	19,61	0,007	53,4
B	1	253,5	253,50	8,28	0,035	23,6
C	1	121,5	121,5	3,97	0,103	12,9
Hata	5	153,0	30,60	-	-	10,1
Toplam	8	1128,0	-	-	-	100

Çizelge 9.4'daki ANOVA tablosu incelendiğinde kesme sıcaklığını etkileyen en önemli faktörler ve katkı oranları sırasıyla; kesme hızı (%53,4), ilerleme hızı (%23,6) ve Nano akışkan konsantrasyon oranı (%12,9) olduğu görülmektedir.

9.1.3. Regresyon Analizi

Regresyon analiz yöntemi bağımlı değişkenler ile bağımsız değişken arasındaki ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklinde yazılmasıdır. Bu çalışmada, bağımlı değişkenler (R_a)

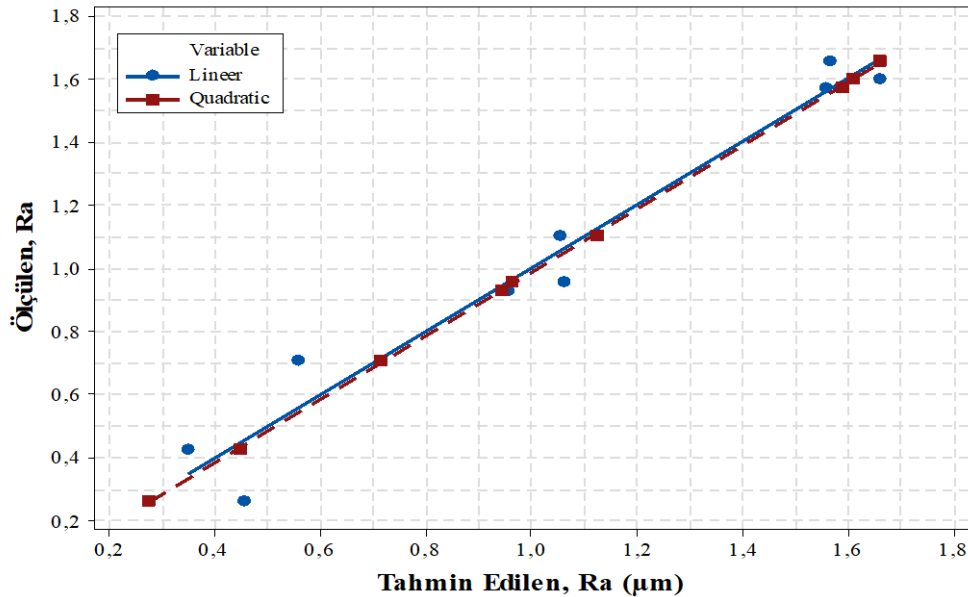
yüzey pürüzlülüğü ve (T) kesme sıcaklıkları olup, bağımsız değişkenler ise kesme hızı (V), ilerleme hızı (f) ve nano akışkan konsantrasyon oranıdır (% hacimce). Yüzey pürüzlülüğü için, kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan lineer regresyon denklemi;

$$Ra = -0,448 - 0,000611 V + 11,42 f - 0,223 (\%) \quad (9.1)$$

olarak hesaplanmıştır. Bu denklemin belirleme katsayısı ise $R^2=95,6$ olarak bulunmuştur. Elde edilen lineer regresyon denkleminin kat sayısının yüksek olması, faktörlerin etkileşimlerinin tahmin gücüne etkisini göstermektedir. Lineer regresyon denkleminin sonra daha yüksek tahmin gücüne sahip olan kuadretik regresyon denklemi (9.2) oluşturulmuştur. Regresyon denklemi için belirleme katsayısı ise $R^2=100$ olarak hesaplanmıştır.

$$Ra = 2,248 - 0,01794 V + 1,164 f - 2,351 Oran (\%) + 0,000039 V * V + 18,40 f * f + 1,987 Oran * Oran + 0,02559 V * f - 0,000710 V * Oran \quad (9.2)$$

Deneysel sonuçlar ile tahmin edilen sonuçların grafiği, Şekil 9.3’de verilmiştir. Şekilden kuadretik regresyon denkleminin tahmin kabiliyetinin lineer denkleme göre çok daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 9.3. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

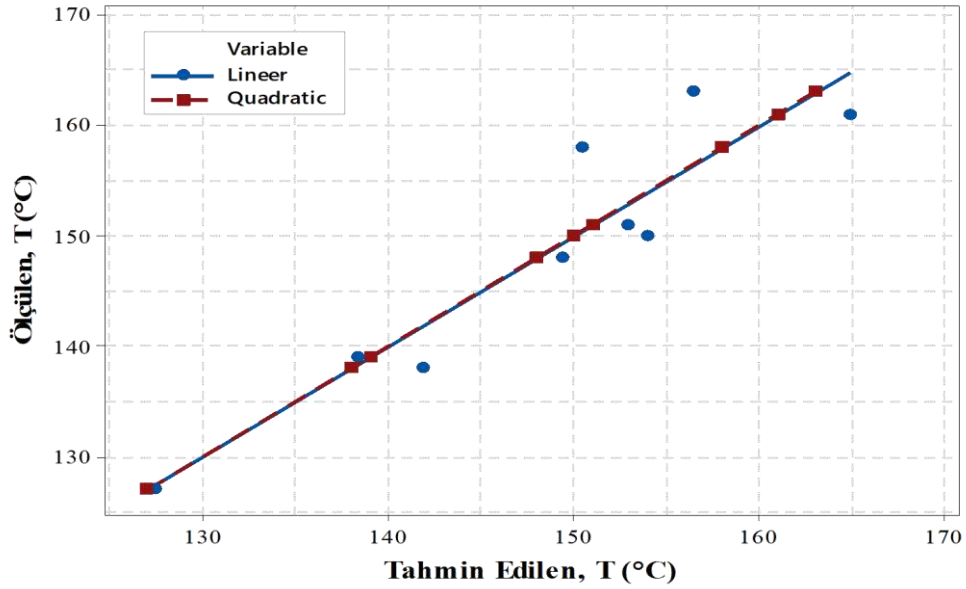
Kesme sıcaklıkları kontrol seviyelerine bağlı olarak kesme hızı, ilerleme hızı ve konsantrasyon oranı parametreleri esas alınarak oluşturulmuştur. Sadece kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan lineer regresyon denklemi;

$$T(^{\circ}\text{C}) = 89,8 + 0,1667 V + 130,0 f + 15,00 (\%) \quad (9.3)$$

olarak hesaplanmıştır. Bu denklemin belirleme katsayısı ise $R^2=86,5$ olarak bulunmuştur. %86,5 güvenilirlik düzeyinde elde edilen tahminsel kesme sıcaklıkları ile deneysel çalışmalarla elde edilen kesme sıcaklıkları değerleri arasındaki farklar fazla olacağından faktör etkileşimlerini de kapsayan kuadretik regresyon denklemi (9.4) oluşturulmuştur.

$$T (^{\circ}\text{C}) = 49.00 + 0.3500 V + 810.0 f - 76.67(\%) - 0.000278 V * V - 600.0 f * f - 0.000000 KO * KO - 2.333 V * f + 0.4444 V * KO \quad (9.4)$$

Bu denklemin belirleme katsayısı ise %100 olarak bulunmuştur. Kesme sıcaklıkları (T) değeri için, deneysel sonuçlar ve tahmin edilen sonuçlar karşılaştırıldığında birbirlerine çok yakın olduğu Şekil 9.4’de görülmektedir. Ölçülen değerlerle, tahmin edilen değer arasındaki ilişki incelendiğinde, kuadretik regresyon denkleminin lineer regresyon denklemine göre tahmin kabiliyetinin daha yüksek olduğunu görülmüştür.

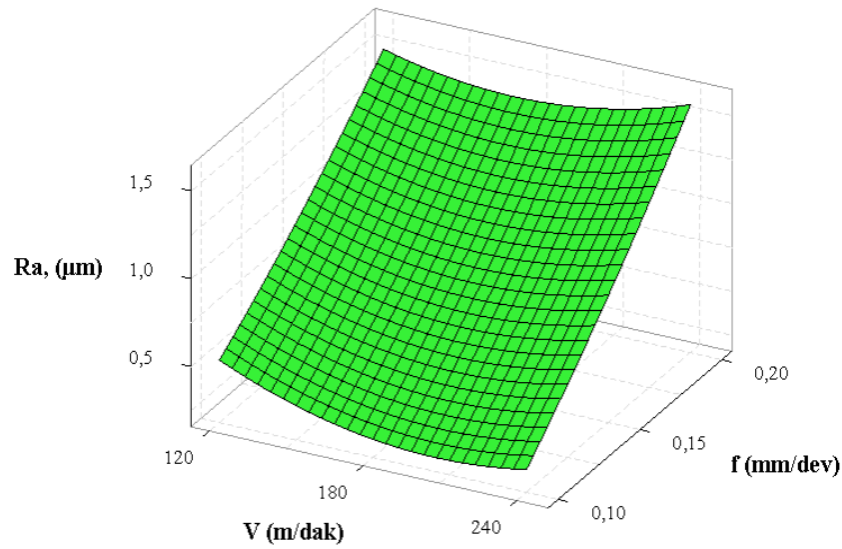


Şekil 9.4. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

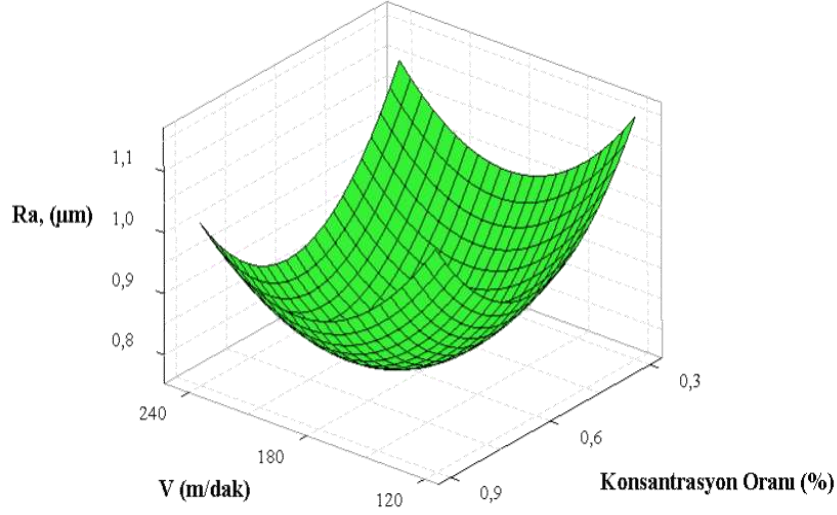
9.1.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan tornalama deneylerinde, kesme parametrelerinin (kesme hızı ve ilerleme hızı) ve nano akışkan karışım oranlarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 9.5 ve Şekil 9.6, kesme sıcaklıklarına etkisi ise Şekil 9.7 ve Şekil 9.8’deki grafiklerde verilmiştir. Şekil 9.5 incelendiğinde 180 m/dak kesme hızına kadar yüzey pürüzlülüğü değerinde azalma gözlemlenmiş olup, bu kesme hızından sonra yüzey pürüzlülüğü değerinde bir miktar artış görülmüştür. Artan kesme hızının takım-talaş temas alanını azaltması buna bağlı

olarakta sürtünmenin azalmasıyla R_a değerlerinin düştüğü düşünülmektedir [142]. Artan ilerleme hızı ile birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinin belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ilerleme hızının bir fonksiyonu olduğundan artan değerlerin yüzey pürüzlülüğünü artırması beklenen bir durumdur. Grafikteki eğilimlerden yola çıkılarak ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin kesme hızından daha fazla olduğu görülmektedir. Nitekin ANOVA sonuçlarında ilerleme hızının katkı oranının %94,1 olması bu durumu doğrular niteliktedir. Şekil 9.6 incelendiğinde, nano akışkan konsantrasyon oranının artması ile birlikte, yüzey pürüzlülüğünde azalma gözlemlenirken, %0,6 konsantrasyon oranından sonra yüzey pürüzlülük değerinde artışlar tespit edilmiştir. Bunun sebebinin konsantrasyon oranının %0,3 iken nano akışkanların kesme bölgesine yeterli düzeyde nüfuziyet sağlayamaması ve kesici takım-iş parçası arasında yağlamanın yetersiz kalması olarak söylenebilir. Nano akışkan karışım oranının artmasıyla yağın viskozitesinin de arttığı bilinmektedir [150]-[151]. Artan viskozite oranıyla, nanoakışkan kesme yağı kesici takım-iş parçası ara yüzeyine etkin bir şekilde nüfuz edememektedir. Bunun neticesinde, yağlayıcı film tabakasının bozulduğu ve kesici takımın iş parçası yüzeyine daha fazla sürtünme etkisinden dolayı yüzey pürüzlülüğünü artmasına neden olduğu söylenebilir [145].

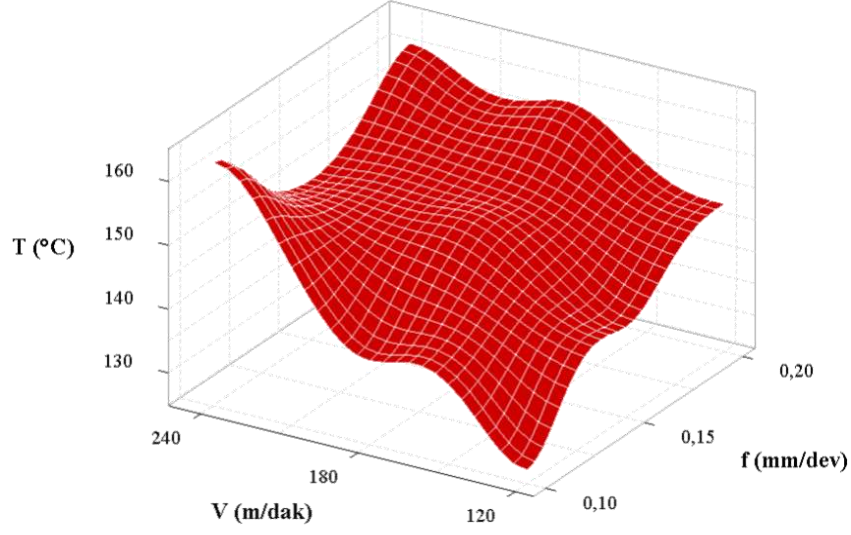


Şekil 9.5. Kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.

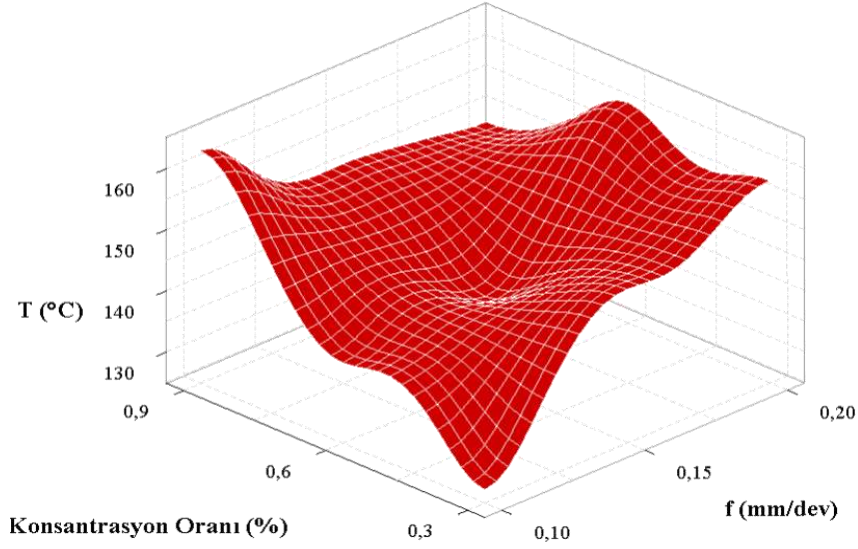


Şekil 9.6. Kesme hızı ve konsantrasyon oranına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.

Şekil 9.7 incelendiğinde artan kesme hızının kesme sıcaklığını belirgin bir şekilde arttırdığı görülmektedir. Kesme hızının kesme bölgesindeki sıcaklıkları arttırmada önemli bir parametre olduğu bilinmektedir [155]. Kesme hızının artması ile birlikte kayma düzleminde kesici takım-talaş ara yüzündeki temas boyunca şekil değiştirme hızına bağlı olarak artan sürtünmenin etkisi ile kesme bölgesinde oluşan sıcaklıkların artmasına sebep olmaktadır. Kesme hızında olduğu gibi ilerleme hızındaki artışla birlikte kesme sıcaklığının belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. Grafik eğilimlerinden yola çıkılarak kesme hızı ile ilerleme hızı kıyaslandığında kesme hızının, kesme sıcaklıklarının artması üzerinde daha etkili olduğu söylenebilir. Artan ilerleme hızı ile birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasının kesme sıcaklığının artması üzerinde etkili olduğu söylenebilir. ANOVA sonuçlarına göre kesme sıcaklıkları üzerinde en etkili faktör %61,5 ile kesme hızı olduğu tespit edilmiş olup, istatistiksel sonuçlar deneysel sonuçları doğrular niteliktedir. Şekil 9.8’de nano akışkan konsantrasyon oranındaki artışla birlikte kesme sıcaklıklarının arttığı görülmektedir. Nano akışkanların içerisine katılan nano partikül miktarı arttıkça nano akışkanların viskozitesi artmaktadır [141], [143], [146], [150]-[151], [154], [156]. Viskozitedeki artış da nanoakışkanın kesici takım-talaş ara yüzüne yeterli nüfuziyet sağlayamamasına neden olmaktadır. Sonuç olarak kesici takım-iş parçası arasına nozul ile gönderilen kesme yağının artan viskozitesi, film tabakasını bozarak [145] yağlama görevini tam olarak yerine getirememesine neden olduğundan kesme sıcaklıklarında artış gözlemlenmiştir.



Şekil 9.7. Kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.



Şekil 9.8. İlerleme hızı ve konsantrasyon oranına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.

9.2. DENEY SONUÇLARININ OPTİMİZE EDİLMESİ

İlk aşamada Taguchi L_9 tasarımı ile optimal Nano akışkan konsantrasyon oranı belirlenmiş, bu aşamada ise Taguchi L_{27} deney tasarımı ile kesme parametrelerinin (kesme hızı ve ilerleme hızı) ve soğutma/yağlama şartlarının yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

9.2.1. S/N Oranlarının Analizi

Soğutma/yağlama yöntemi, kesme hızı ve ilerleme hızının kontrol faktörü olarak kullanıldığı Taguchi'nin L27 düşey dizinine göre tornalama deneyleri yapılmıştır. Çizelge 9.5'te deneysel çalışma sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları ile analiz sonucunda elde edilen S/N oranları verilmiştir. S/N oranlarının hesaplanmasında Denklem 5.1'de verilen *en küçük en iyi* yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan tornalama deneyleri sonucunda, ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra_{ort}) 1,02 μm , ortalama S/N oranı ise 0,80 dB olarak hesaplanmıştır. Ortalama kesme sıcaklıkları ise (T_{ort}) 186,14 $^{\circ}C$, ortalama S/N oranı ise -45,20 dB olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 9.5. Deney sonuçları ve S/N oranları.

Den. No	A Soğutma Yöntemi	B Kesme Hızı (V) (m/dak)	C İlerleme hızı (f) (mm/dev)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (μm)	Yüzey Pürüzlülüğü S/N Oranı (dB)	Kesme Sıcak. (T)($^{\circ}C$)	Kesme Sıcak. S/N Oranı (dB)
1	Kuru	120	0,10	0,814	1,787	210	-46,444
2	Kuru	120	0,15	1,146	-1,181	225	-47,043
3	Kuru	120	0,20	1,568	-3,905	232	-47,309
4	Kuru	180	0,10	0,581	4,721	224	-47,005
5	Kuru	180	0,15	0,885	1,064	233	-47,347
6	Kuru	180	0,20	1,542	-3,763	234	-47,384
7	Kuru	240	0,10	0,659	3,626	246	-47,818
8	Kuru	240	0,15	0,868	1,226	253	-48,062
9	Kuru	240	0,20	1,644	-4,319	260	-48,229
10	MMY	120	0,10	0,679	3,362	158	-43,973
11	MMY	120	0,15	1,070	-0,587	164	-44,296
12	MMY	120	0,20	1,469	-3,342	169	-44,557
13	MMY	180	0,10	0,582	4,701	163	-44,243
14	MMY	180	0,15	0,962	0,339	167	-44,454
15	MMY	180	0,20	1,696	-4,590	177	-44,959
16	MMY	240	0,10	0,442	7,091	186	-45,390
17	MMY	240	0,15	0,905	0,870	196	-45,845
18	MMY	240	0,20	1,619	-4,184	205	-46,235
19	NanoMMY	120	0,10	0,260	11,689	134	-42,542
20	NanoMMY	120	0,15	0,955	0,403	139	-42,860
21	NanoMMY	120	0,20	1,622	-4,201	143	-43,106
22	NanoMMY	180	0,10	0,258	11,785	138	-42,797
23	NanoMMY	180	0,15	0,955	0,403	146	-43,287
24	NanoMMY	180	0,20	1,461	-3,295	156	-43,862
25	NanoMMY	240	0,10	0,551	5,171	148	-43,405
26	NanoMMY	240	0,15	0,916	0,758	156	-43,862
27	NanoMMY	240	0,20	1,569	-3,910	164	-44,136

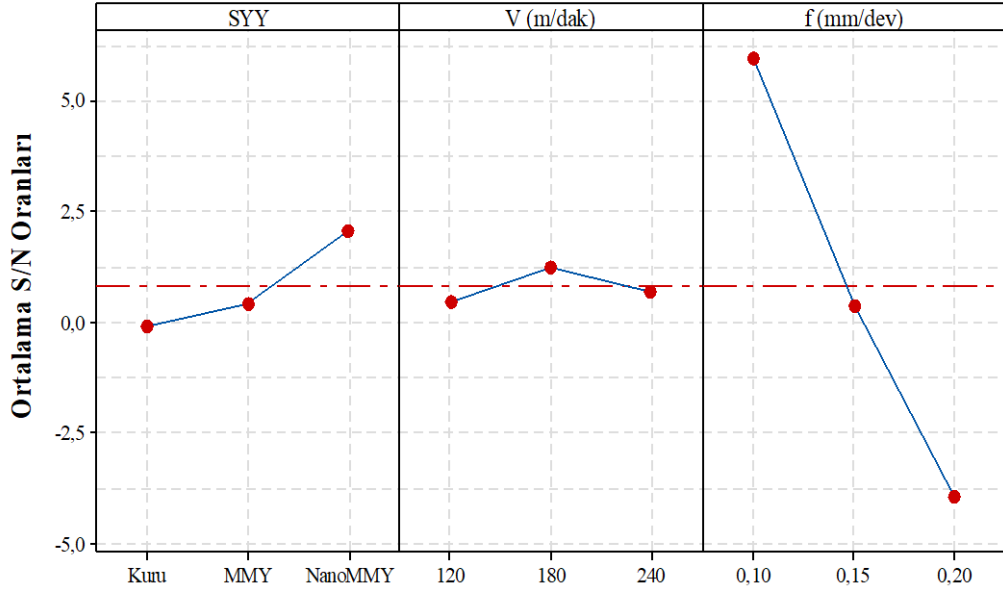
Taguchi tekniğinde kalite karakteristiklerin optimum seviyelerinin elde edildiği faktörler bu faktörlere ait seviyeler S/N yanıt tablosu ile belirlenmektedir. Yapılan çalışmada kalite karakteristikleri olan yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıklarına ait S/N yanıt tablosu Çizelge 9.6’da verilmiştir. Bu tabloda S/N oranının en yüksek olduğu değer o faktöre ait optimum seviyeyi göstermektedir.

Çizelge 9.6. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları için S/N yanıt tablosu

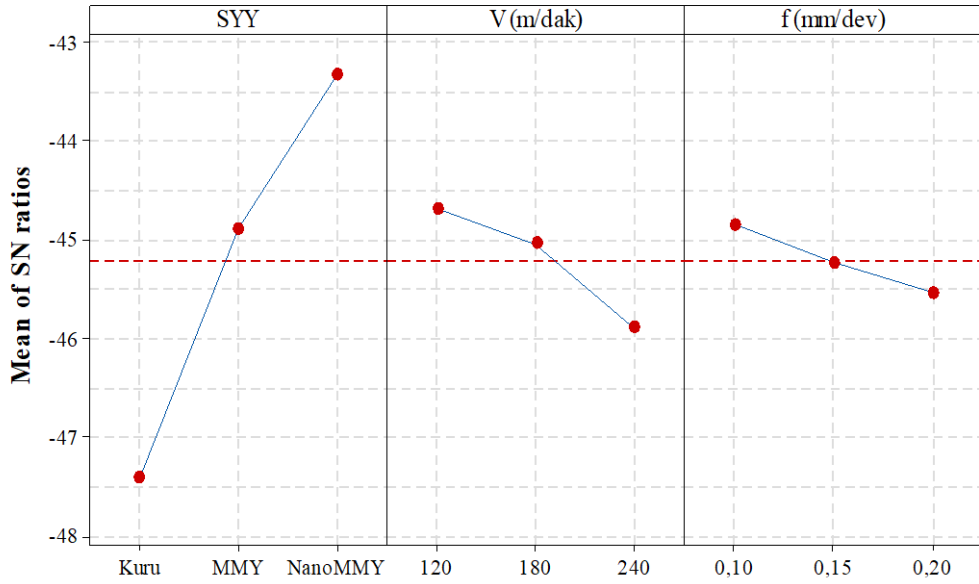
Seviyeler	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)			Kesme Sıcaklıkları (T) (°C)		
	Kontrol Faktörleri			Kontrol Faktörleri		
	A	B	C	A	B	C
Seviye 1	-0,0825	0,4472	5,9824	-47,41	-44,68	-44,85
Seviye 2	0,4066	1,2522	0,3662	-44,88	--45,04	-45,23
Seviye 3	2,0787	0,7033	-3,9458	-43,32	-45,90	-45,54
Delta	2,1613	0,8050	9,9282	4,09	1,21	0,69

*Koyu ile gösterilen veriler en optimum koşullardır.

En düşük yüzey pürüzlülük değerini veren faktörlere ait seviyeler sırasıyla faktör A (Seviye 3, S/N=2,078), faktör B (Seviye 2, S/N=1,252) ve faktör C (Seviye 1, S/N=5,982) olarak belirlenmiştir. Diğer bir ifadeyle; optimum yüzey pürüzlülük değeri NanoMMY soğutma yönteminde (A₃), 180 m/dak kesme hızında (B₂) ve 0,10 mm/dev ilerleme hızında (C₁) elde edilmiştir. En düşük kesme sıcaklığının elde edildiği faktörlere ait seviyeler ve S/N oranları faktör A (Seviye 3, S/N=-43,32), faktör B (Seviye 1, S/N=-44,68) ve faktör C (Seviye 1, S/N=-44,85) olarak belirlenmiştir. Diğer bir deyişle optimum sıcaklık değeri 120 m/dak kesme hızında (B₁), 0,10 mm/dev ilerleme hızında (C₁) ve NanoMMY sisteminde (A₃) ile elde edilmiştir. Şekil 9.9’da yüzey pürüzlülüğü için Şekil 9.10’da ise kesme sıcaklığı için ortalama S/N oranlarındaki değişimi gösteren grafikler verilmiştir. Yukarıda da belirtildiği üzere S/N oranlarının en yüksek olduğu seviyeler optimum seviye olarak grafiklerde görülmektedir. Grafik eğilimleri faktörlerin etki düzeyleri hakkında da fikirler vermektedir. Yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin ilerleme hızı, kesme sıcaklığı için ise kesme hızının etkili parametre olduğu söylenebilir.



Şekil 9.9. Yüzey pürüzlülüğü için ortalama S/N oranları grafiği.



Şekil 9.10. Kesme sıcaklığı için ortalama S/N oranları grafiği.

9.2.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Deneylerde test edilen kontrol faktörlerinin (soğutma/yağlama şartları, kesme hızı ve ilerleme hızı) yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerindeki etki düzeylerinin belirlenmesi amacıyla varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi %95 güven aralığında gerçekleştirilmiş olup ANOVA tablosu yüzey pürüzlülüğü için Çizelge 9.7’de kesme sıcaklığı için Çizelge 9.8’de verilmiştir. Çizelge 9.7’den yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili faktörün ilerleme hızı olduğu görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kontrol

faktörlerinin katkı oranları ilerleme hızı, soğutma/yağlama yöntemi ve kesme hızı için sırasıyla %92,62, %1,52 ve %0,46 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 9.7. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	2	0,08082	0,04041	2,82	0,084	1,52
B	2	0,02458	0,1229	0,86	0,440	0,46
C	2	4,92337	2,46168	171,50	0,000	92,61
Hata	20	0,28707	0,01435	-	-	5,40
Toplam	26	5,31583	-	-	-	100

Çizelge 9.8’den kesme sıcaklığı üzerinde en etkili faktörün %88,54 katkı oranı ile soğutma/yağlama yöntemi olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla %8,09 ve %2,28 katkı oranları ile kesme hızı ve ilerleme hızı takip etmiştir. Dolayısıyla soğutma/yağlama yönteminin kesme sıcaklığını düşürme üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Çizelge 9.8. Kesme sıcaklığı için ANOVA tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	2	36531,0	18265,5	820,99	0	88,54
B	2	3340,5	1670,3	75,07	0	8,09
C	2	942,5	471,3	21,18	0	2,28
Hata	20	445,0	22,2	-	-	1,07
Toplam	26	41259,0	-	-	-	100

9.2.3. Regresyon Analizi

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin tanımlanmasında hem yüzey pürüzlülüğü hem de kesme sıcaklığı için ayrı ayrı lineer ve kuadretik regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Bu aşamada bağımlı değişkenler yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı olup, bağımsız değişkenler ise soğutma/yağlama yöntemi, kesme hızı (V), ve ilerleme hızı (f)’dir. Yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan lineer regresyon denklemi eşitlik (9.5)’de verilmiştir.

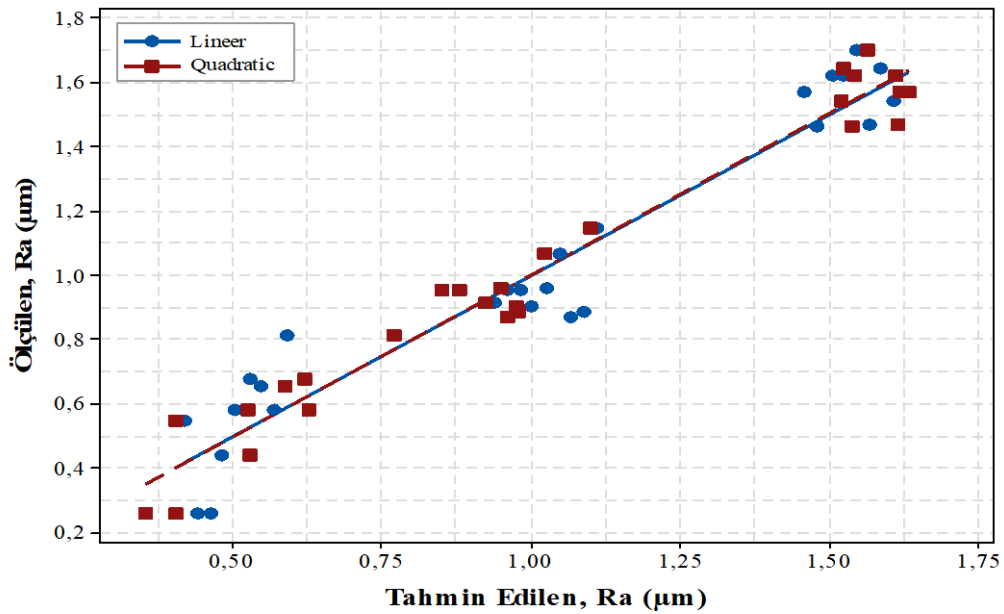
$$Ra (\mu m) = -0,339 - 0,0643 SYY - 0,000379 V + 10,403 f \quad (9.5)$$

Lineer regresyon denklemi için korelasyon katsayısı $R^2=0,93$ olarak bulunmuştur. Elde edilen denklemin kat sayısının yüksek olması, faktörlerin etkileşimlerinin tahmin gücüne

etkisini göstermektedir. Daha yüksek tahmin gücünün elde edilebilmesi amacıyla yüzey pürüzlülüğü için kuadretik regresyon denklemi oluşturulmuş olup eşitlik 9.6'da verilmiştir.

$$Ra (\mu m) = 1,681 - 0,291 SY Y - 0,00811 V - 5,22 f - 0,0329 SY Y * SY Y + 0,000014 V * V + 37,7 f * f + 0,000771 SY Y * V + 1,465 SY Y * f + 0,0076 V * f \quad (9.6)$$

Kuadretik regresyon denklemi için korelasyon katsayısı $R^2=0,96$ olarak bulunmuştur. Bu da lineer regresyon denklemine göre kuadretik regreyon denkleminin daha yüksek tahmin yeteneği olduğunu göstermektedir. Şekil 9.11'den yüzey pürüzlülüğünün deneysel sonuçları ile regresyon denklemleri ile elde edilen tahminlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Şekilden gerçek deney sonuçlarına en yakın tahminlerin kuadretik regresyon denklemi ile elde edildiği görülmektedir.



Şekil 9.11. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

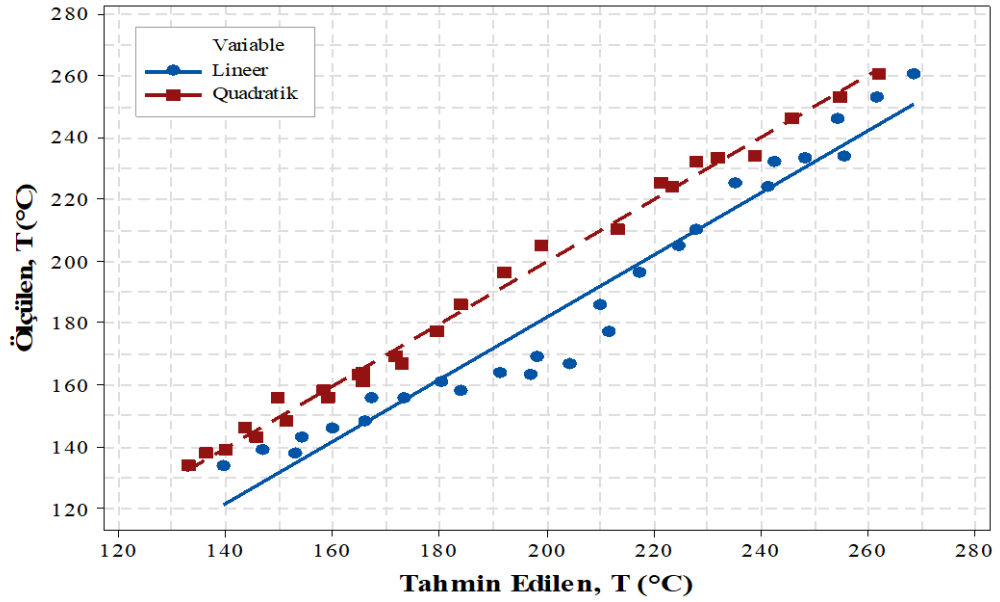
Yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi kesme sıcaklığı içinde lineer ve kuadretik regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Denklem 9.7'de kesme sıcaklığı için oluşturulan lineer regresyon denklemi verilmiştir.

$$T (^{\circ}C) = 213,3 - 44,22 SY Y + 0,2194 V + 144,4 f \quad (9.7)$$

Bu denklemin korelasyon katsayısı $R^2=0,95$ olarak belirlenmiştir. Oldukça yüksek tahmin yeteneği olmasına rağmen tahmin gücünü artırmak amacıyla kuadretik regresyon denklemi de oluşturulmuş olup Denklem 9.8'de verilmiştir. Oluşturulan bu denklem faktör etkileşimlerini de kapsamaktadır.

$$T (^{\circ}C) = 285,4 - 91,53 SY - 0,283 V + 238 f + 14,89 SY * SY + 0,001682 V * V - 311 f * f - 0,0597 SY * V - 10,0 SY * f + 0,111 V * f \quad (9.8)$$

Bu denklemin belirleme katsayısı ise $R^2 = 0,99$ olarak bulunmuş olup oldukça yüksek bir korelasyon kat sayısına sahiptir. Şekil 9.12’de kesme sıcaklığı için deneysel sonuçlar ile regresyon denklemleri ile elde edilen tahminlerin karşılaştırılması görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi deney sonuçlarına en yakın tahmin değerleri 0,99 belirleme katsayısına sahip olan kuadretik regresyon denklemi ile elde edilmiştir.

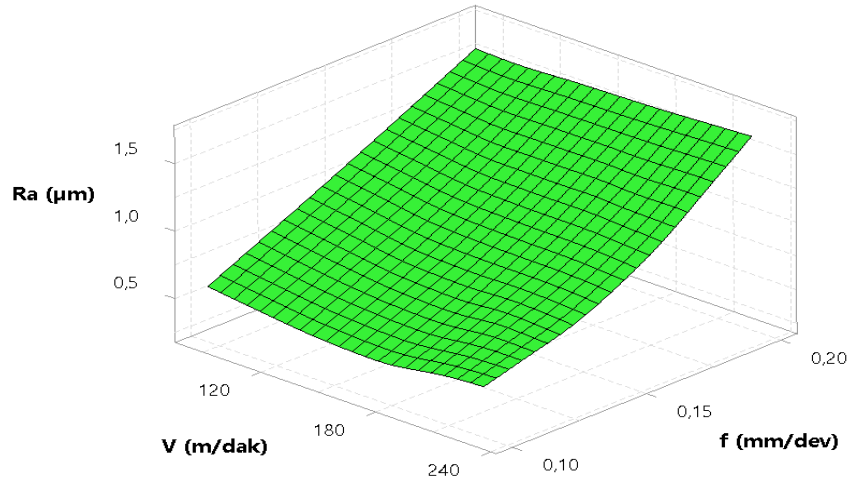


Şekil 9.12. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

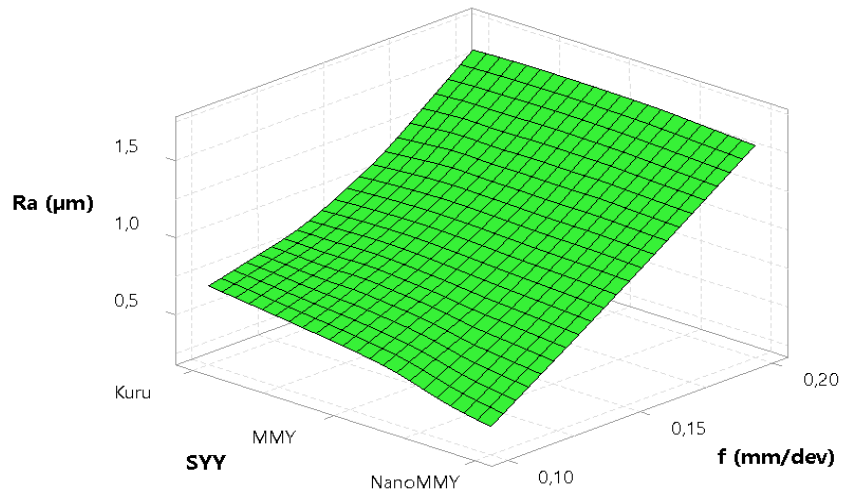
9.2.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tornalama deneyleri sonucunda kesme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme hızı) ve soğutma/yağlama yöntemlerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişimleri gösteren grafikler Şekil 9.13 ve Şekil 9.14’de verilmiştir. Şekil 9.13’deki grafik kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişimi göstermektedir. Grafikten artan ilerleme hızının yüzey pürüzlülük değerlerini belirgin bir şekilde artırdığı görülmektedir. İlerleme hızı yüzey pürüzlülüğünün bir fonksiyonu olduğundan artan değerlerinin yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Grafik eğilimlerinden kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok fazla bir etkiye sahip olmadığı ancak az da olsa artan değerlerinin yüzey pürüzlülük değerlerini düşürdüğü görülmüştür. Şekil 9.14’de soğutma/yağlama şartlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişim verilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değerleri kuru kesme şartlarında elde edilirken MMY’nin etkin yağlama özelliği ile kesme bölgesindeki

sürtünmeyi azaltarak yüzey pürüzlülük değerlerini belirgin bir şekilde düşürdüğü görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değerleri ise nano akışkan kesme şartlarında elde edilmiştir. MMY sisteminde kullanılan bitkisel esaslı kesme sıvısına eklenen ÇDKNT kesme bölgesine gönderilen yağın tutunmasını sağlaması ve etkin bir tribo film tabakası oluşturarak sürtünmeyi azaltmasının yüzey pürüzlülük değerlerinin düşmesini sağladığı düşünülmektedir. Ayrıca kesme işleminde sürtünme kaynaklı oluşan sıcaklığın iş parçasına iletimini nispeten engelleyen ÇDKNT katı nanopartiküller, sıcaklığı kesme bölgesinden hızlıca uzaklaştırmakta ve yüzey pürüzlülük değerlerinde düşüşlere de neden olabilmektedir. Kuru ve MMY soğutma/yağlama yöntemi ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri mukayese edildiğinde, MMY sisteminde %16 iyileşme görülmüştür. Kuru ve NanoMMY soğutma/yağlama yöntemi, kuru işleme ile karşılaştırıldığında ise %68 iyileşme görülmüştür.

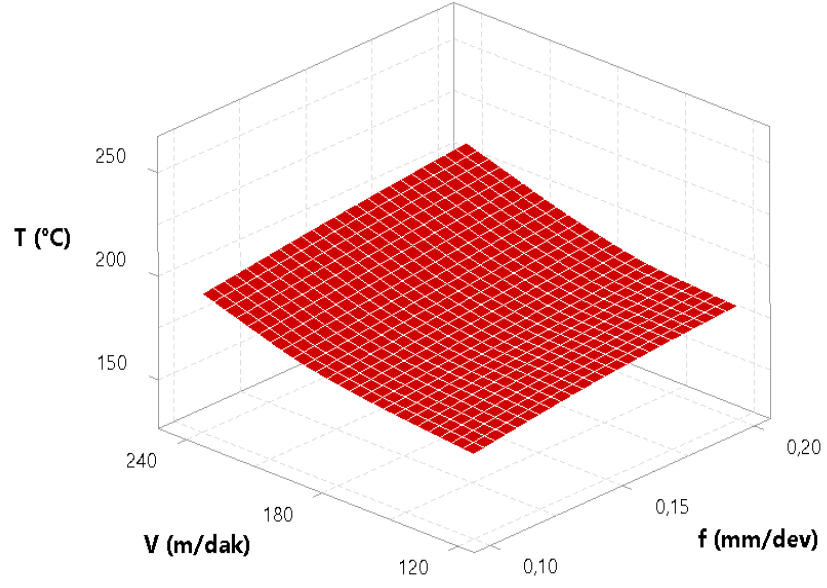


Şekil 9.11. Kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.

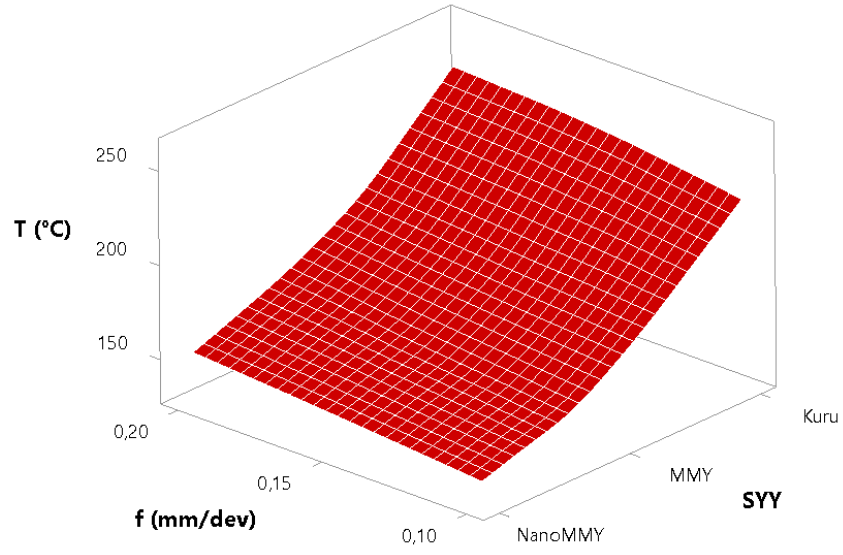


Şekil 9.12. Soğutma/yağlama yöntemi ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.

Kesme parametreleri ve soğutma/yağlama şartlarına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişimleri gösteren grafikler Şekil 9.15 ve Şekil 9.16 verilmiştir. Şekil 9.15'te kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme sıcaklıklarındaki değişimler görülmektedir. Kesme hızındaki artışın kesme bölgesinde oluşan sıcaklıkların artmasında önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Kesme hızı kadar olmasada ilerleme hızındaki artışın da kesme sıcaklığı değerlerini bir miktar artırdığı tespit edilmiştir. Artan kesme hızı ile deformasyon hızının artmasının sıcaklıkların artmasında etken olduğu düşünülmektedir. Artan ilerleme hızı ise talaş kalınlığını artırarak sürtünmeyi bir miktar artırmasının sıcaklık değerlerinde artışa sebep olduğu düşünülmektedir. Şekil 9.16'da soğutma/yağlama şartlarına bağlı olarak kesme sıcaklıklarındaki değişim verilmiştir. Herhangi bir soğutucu olmaması sebebiyle en yüksek kesme sıcaklığı kuru kesme şartlarında elde edilmiştir. Kesme sıcaklığının düşmesi üzerinde MMY kesme şartı önemli bir etken olmakla birlikte en düşük kesme sıcaklığı değerleri NanoMMY kesme şartlarında elde edilmiştir. MMY sisteminde nozul ile kesme bölgesine pulverize bir şekilde kullanılan kesme yağının etkin yağlama özelliği ile takım-talaş arayüzündeki sürtünmeyi azaltmasının kesme sıcaklıklarının düşmesinde önemli bir faktör olduğu düşünülmektedir. Nitekim literatürde yapılan çalışmalarda da MMY'nin kesme sıcaklıklarını düşmesinde önemli etkilere sahip olduğu ifade edilmektedir [141]-[145], [147]-[148], [151]-[156]. NanoMMY kesme şartında nano akışkan içindeki ÇDKNT nanopartiküllerinin termal iletkenlik katsayısının (3000 W/mK) [22] son derece yüksek olmasının kesme bölgesindeki ısı transferini artırarak sıcaklıkların düşmesinde etkili olduğu düşünülmektedir. Kesme sıcaklıkları ölçümlerinde Kuru ve MMY soğutma/yağlama yöntemi mukayese edildiğinde, MMY sisteminde kuru işlemeye göre %28 iyileşme görülmüştür. Kuru ve NanoMMY soğutma/yağlama yöntemi karşılaştırıldığında ise, NanoMMY sisteminde ölçülen sıcaklık değerlerinde %38 iyileşme tespit edilmiştir. Bitkisel esaslı kesme yağına eklenen katı haldeki ÇDKNT nanopartiküller, yüksek sıcaklıklarda bile kararlı yapısını koruması ayrıca kesici takım-iş parçası ara yüzüne nüfuz eden bu nanopartiküllerün lifli ve elastik yapısıyla kesme işlemini kolaylaştırmasında kesme sıcaklıklarının düşmesinde etken olduğu düşünülmektedir.



Şekil 9.15. Kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.



Şekil 9.16. Soğutma/yağlama yöntemi ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

10.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, PH13-8 Mo çeliğinin tornalanmasında, iki aşamalı olarak deneyler gerçekleştirilmiş olup, yapılan çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

L₉ deney tasarımı için;

- Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıklarının optimum seviyelerinin belirlenmesinde S/N oranları kullanılmıştır.
- İstatistiksel analiz sonuçlarına göre optimum yüzey pürüzlülüğü değeri 180 m/dak kesme hızında (A₂), 0,10 mm/dev ilerleme hızında (B₁) ve %0,6 konsantrasyon oranında (C₂) elde edilmiştir. Optimum kesme sıcaklık değeri ise 120 m/dak kesme hızında (A₁), 0,10 mm/dev ilerleme hızında (B₁) ve %0,3 konsantrasyon oranında (C₁) elde edilmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü üzerinde %91,4 katkı oranı ile en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu kesme sıcaklıkları üzerinde ise %53,4 katkı oranı ile en etkili parametrenin kesme hızı olduğu görülmüştür.
- Artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerleri azalırken kesme sıcaklığı değerlerinin arttığı görülmüştür. Artan ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü belirgin bir şekilde artırdığı kesme sıcaklığında ise bir miktar artışa sebep olduğu görülmüştür.
- Nano akışkan konsantrasyon oranının artması belli bir değere kadar (%0,6 hacimce) yüzey pürüzlülük değerlerini düşürmüş bu orandan sonra bir miktar artış kaydedilmiştir. Bu durum artan konsantrasyon oranı ile nano akışkanın viskozitesinde meydana gelen artışın yağın kesme bölgesine nüfuziyetini azaltmasına atfedilmiştir.
- En düşük kesme sıcaklığı değerleri %0,3 nano akışkan konsantrasyon oranında elde edilmiştir. Nano akışkan konsantrasyon oranındaki artışla birlikte kesme bölgesinde sıcaklıkların arttığı görülmüştür. Bu durum da konsantrasyon

oranındaki artışın viskoziteyi artırmasıyla ilişkilendirilmiştir.

- Kuadretik regresyon analizi ile oluşturulan tahmin denklemlerinin belirleme katsayıları yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları için sırasıyla 0,956 ve 1,00 olarak elde edilmiştir.

L₂₇ deney tasarımı için;

- L₉ deney tasarımında olduğu gibi yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıklarının optimum seviyelerinin belirlenmesinde S/N oranları kullanılmıştır.
- İstatistiksel analiz sonuçlarına göre optimum yüzey pürüzlülüğü değeri NanoMMY kesme şartında (A₃), 180 m/dak kesme hızında (B₂) ve 0,10 mm/dev ilerleme hızında (C₁) elde edilmiştir. Optimum kesme sıcaklığı değeri ise 120 m/dak kesme hızında (B₁), 0,10 mm/dev ilerleme hızında (C₁) ve NanoMMY kesme şartında (A₃) elde edilmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü üzerinde %92,61 katkı oranı ile en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu, kesme sıcaklığı üzerinde ise %88,54 katkı oranı ile en etkili parametrenin soğutma/yağlama yöntemi olduğu görülmüştür.
- L₉ deney tasarımında olduğu gibi L₂₇ deney tasarımında da artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerleri azalırken kesme sıcaklıklarının arttığı gözlemlenmiştir. İlerleme hızının artan değerleri yüzey pürüzlülük değerlerini önemli ölçüde arttırmış kesme sıcaklığı değerlerinde ise bir miktar artışa sebep olduğu tespit edilmiştir.
- En yüksek yüzey pürüzlülük ve kesme sıcaklığı değerleri kuru kesme şartlarında elde edilmiştir. MMY kullanımı etkin yağlama özelliği sayesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıklarını önemli ölçüde düşürmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı değerleri ise NanoMMY kesme şartlarında elde edilmiştir. Kesme yağına katılan ÇDKNT partiküllerin kesme yağının işleme performansını önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir.
- Kuadretik regresyon analizi ile oluşturulan tahmin denklemlerinin belirleme katsayıları yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları için sırasıyla 0,93 ve 0,96 olarak elde edilmiştir.

10.2. ÖNERİLER

Yapılan çalışma kapsamında PH13-8 Mo paslanmaz çeliğinin tornalamasında Nano akışkanların ve kesme parametrelerinin kesme sıcaklıkları ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu çalışmadan farklı olarak yapılabilir çalışmaları aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Bu çalışmada MMY sisteminin uygulanmasında yağ tipi, debi, nozul mesafesi ve nozul açısı sabit tutulmuştur. Bu parametrelerin seviyeleri değiştirilerek veya yeni eklemeler yaparak işlenebilirliği zor malzemeler için en uygun işleme koşulları tespit edilebilir.
- Bu çalışmada kalite karakteristik özellikleri olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları ele alınmıştır. Farklı bir çalışma ile takım ömrü/aşınması ve kesme kuvvetleri üzerinde çalışmalar yapılabilir.
- Nano partikül konsantrasyon oranının doğrudan artışı ile iyileşme görülürken, belli bir noktadan sonra azalmalar meydana gelmiştir. Nano partiküllerin kesme yağı içerisindeki davranışlarını gözlemlemek amacıyla viskozite tayini yapıp, yüzey gerilimleri ölçülebilir.
- Yapılan çalışmada MMY sisteminde Nano partikül ilaveli kesme yağı ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Kriyojenik soğutma ile NanoMMY sistemi aynı anda kullanılıp, işleme çıktıları değerlendirilebilir.
- Literatür incelendiğinde PH13-8 Mo paslanmaz çeliği için talaşlı imalat işlemleri hakkında yetersiz bilgi olduğu görülmüştür. Tornalama ile birlikte, frezeleme ve delme işlemleri gibi farklı talaş kaldırma işlemleri altındaki davranışları incelenebilir.
- Bu çalışmada tahmin sonuçlarını elde etmek için regresyon analizi ile modelleme yöntemi tercih edilmiştir. Yapay sinir ağları, bulanık mantık vb. gibi farklı matematiksel tahmin modelleri kullanılabilir.

11. KAYNAKLAR

- [1] A. Ulusoy, “Orta karbonlu ve otomat çeliklerinde kesme hızının işlenebilirlik üzerine etkisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2008.
- [2] F. Mihmat, “Farklı eliklerin testere freze akılarıyla işlenebilirliklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2009.
- [3] E. elik, “Martenzitik paslanmaz elik ve ferritik paslanmaz eliğın kendileriyle ve birbirleriyle sürtünme karıştırma yöntemi ile kaynak edebilirliğinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye, 2006.
- [4] A. A. Yontar, “AISI304 Paslanmaz eliklerin işlenebilirliğinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2011.
- [5] H. E. Yeyen, “AISI 303 Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin deneysel olarak araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [6] B. Balcı, “AISI304 östenitik paslanmaz elik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi,” Bilim Uzmanlığı tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2008.
- [7] S. Güleç, “Paslanmaz elik, bakır kaplı elik ve alüminyum saplamaların fe-al esaslı intermetaliklere saplama kaynağı yöntemi ile birleştirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2013.
- [8] N. A. Özbek, “AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takıma uygulanan kriyojenik işlemin takım ömrü üzerine etkilerinin araştırılması,” Doktora tezi, Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2013.
- [9] E. Yücel, “Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerin (Ni-Hard) işlenebilirlik parametrelerinin Taguchi yöntemi ile optimizasyonu,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2011.
- [10] A. ini, “Inconel 718 malzemesinin tornalama işleminde yüksek basınçlı jet soğutmanın yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2010.
- [11] A. Aytürk, “AISI 316 Ti paslanmaz eliğın işlenmesinde kesici uç geometrisinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2010.
- [12] B. Karayel, “ 4140 Malzemesinin tornalamasında ilerleme, kesme hızı ve kesici takımın yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve aşınmaya etkileri,” Yüksek lisans tezi, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2015.

- [13] A. Turan, “AISI 1040 çeliğin tornalamasında kesme kuvvetlerinin ve titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 2014.
- [14] S. Çakmak, “AISI 4140 çeliğinin işlenmesinde kesici uç geometrisinin talaş kırmaya ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi,” Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi, Düzce, 2015.
- [15] T. Yıldız, “Ti6Al4V alaşımının tornalanmasında işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkisinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2015.
- [16] E. Demirsoy, “Hardox 400 çeliğinin delinmesinde delik içi yüzey pürüzlülüğünün ve takım ömrünün incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2016.
- [17] M. S. Kartal, “Alaşımsız çeliklerin cnc torna tezgâhında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasının taguchi yöntemiyle incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2000.
- [18] O. Çalışkan, “Tornalamada talaş kaldırma parametrelerinin takım ömrüne etkilerinin Taguchi yaklaşımıyla incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [19] U. Akben, “Minimum miktarda yağlama (MMY) ile kesmenin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [20] 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 Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2014.
- [21] S. Pervaiz, S. Kannan and H. A. Kishawy, “An extensive review of the water consumption and cutting fluid based sustainability concerns in the metal cutting sector,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 197, pp. 134-153, 2018.
- [22] B. O. Küçükıyıldırım ve A. A. Eker, “Karbon nanotüpler, sentezleme yöntemleri ve kullanım alanları,” *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, c. 53, s. 630, ss. 34-44, 2012.
- [23] Benoît Van Hecke, “Paslanmaz çeliklerin biçimlendirme potansiyeli,” *Malzemeler ve Kullanımları Serisi*, 1. Baskı, Lüksemburg, Belçika: Euro Inox, 2008, böl. 1, ss. 2-12.
- [24] N. Kahraman, B. Gülenç ve H. Akça, “Ark kaynak yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğin mekanik özelliklerinin incelenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 17, s. 2, ss. 75-85, 2002.
- [25] Ö. Buytoz, “AISI304 Paslanmaz çeliğini matkapla delme işleminde kesme parametrelerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Talaşlı Üretim Eğitimi, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye, 2010.
- [26] R. M. Saoubia, J.C. Outeirob, B. Changeuxa, J. L. Lebruna and A. MoraÄo Diasb, “Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels,” *Journal of Materials Processing Technology*, no. 96, pp. 225-233,

1999.

- [27] F. Memiş, “AISI2205 (EN 1.4462) Paslanmaz çeliğin CNC torna tezgahında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin deneysel araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [28] M. Buyruk, “Minimum miktarda yağlama yönteminin AISI304 paslanmaz çeliğin işlenebilirliğine etkisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye, 2017.
- [29] A. Aran ve M. A. Temel, “Paslanmaz çeliklerin iç yapı ve türleri,” *Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller Üretimi Kullanımı Standartları*, 2. Baskı, İstanbul, Türkiye: Sarıtaş Teknik Yayın, 2004, böl. 1, ss. 9-29.
- [30] A. Türkyılmazoğlu, “Dubleks, martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağı,” Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2006.
- [31] M. Y. Çimen, “AISI1050, AISI304 ve AISI430 tip çeliklerin yakma alın kaynak yöntemiyle kaynatılması ve mekanik özelliklerin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [32] A. Smith, W. F. “*Paslanmaz çelikler, mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri*”, 1. Cilt, Ankara, Türkiye, 2008, böl. 51, ss. 169-214.
- [33] Anonim. (2018, 21 Kasım). [Online]. Erişim: http://www.calphad.com/pdf/Fe_Cr_Phase_Diagram.pdf
- [34] B. Akın, “AISI316L Paslanmaz çeliklerin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2014.
- [35] Ö. Tekaslan, “AISI304 Östenitik paslanmaz çeliklerde işlenebilirliğe bağlı olarak kalıcı gerilme problemlerinin araştırılması,” Doktora tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2007.
- [36] C. Schade, J. Schaberl, A. Lawley, “Stainless steel AISI grades for pm applications”, *International Journal of Powder Metallurgy*, vol. 44(3), pp. 4-10, 2009.
- [37] H. D. Ak, “Geleneksel toz metalürjisi yöntemiyle üretilen AISI304L ve AISI316L östenitik paslanmaz çeliklerin özelliklerine sinterleme koşullarının etkisi,” Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [38] M. Ok, “AISI304 Paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde işlenebilirliğinin incelenmesi ve tahmin modellerinin oluşturulması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.
- [39] Anonim. (2018, 23 Kasım). [Online]. Erişim: <http://www.gozdempaslanmaz.com/paslanmaz-celik.asp?ha=1>
- [40] H. Eren, “Ferritik paslanmaz çeliğin korozyon davranışına karbür yapıcı alaşım elementlerinin etkilerinin incelenmesi,” Doktora tezi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye, 2005.
- [41] A. S. Güldibi, “AISI304 Paslanmaz çeliğine bor ilavesinin işlenebilirlik parametrelerine etkisi,” Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2015.

- [42] M. Beken, "Ferritik paslanmaz çeliğin kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezlenmesi yöntemiyle (SHS-KKİYSS) Ni_3Al metallerarası bileşiğin kaplanması," Yüksek lisans tezi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye, 2014.
- [43] M. H. Korkut, "Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı ve aşınması üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması," Doktora tezi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye, 1997.
- [44] O. Palabıyık, "Soğuk defarmosyonun AISI304 ve AISI204Cu kalite paslanmaz çeliklerin mikro yapılarına mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına etkisi," Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [45] Anonim. (2018, 23 Kasım). [Online]. Erişim: <https://www.karacapaslanmaz.com/cokelme-sertlesmeli-paslanmaz-celikler>
- [46] T. Aydın, "Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında kullanılan gazlar ve etkileri," Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2002.
- [47] M. A. Dawood, I. S. E. Mahallawi, M. E. A. E. Azim and M. R. E. Koussy, "Thermal aging of 16Cr-5Ni-1Mo stainless steel part 1- microstructural analysis," *Materials Science and Technology*, vol. 20, no. 3, pp. 363-369, 2003.
- [48] X. Li, J. Zhang, Q. Fu, E. Akiyama, X. Song, S. Shen and Q. Li, "Hydrogen embrittlement of high strength steam turbine last stage blade steels: comparasion between PH17-4 steel and PH13-8Mo steel," *Materials Science and Engineering A*, vol. 742, pp. 353-363, 2018.
- [49] C. N. Hsiao, C. S. Chiou and J. R. Yang, "Againg reactions in a 17-4PH stainless steel," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 74, pp. 134-142, 2002.
- [50] H. R. H. Bajguirani, "The effect of ageing upon the microstructure and mechanical properties of type 15-5PH stainless steel," *Materials Science and Engineering A*, vol. 338, pp. 142-159, 2002.
- [51] R. Schnitzer, R. Radis, M. Nöhrer, M. Schober, R. Hochfellner, S. Zinner, E. P. Karadeniz, E. Kozeschnik and H. Leitner, "Reverted austenite in PH13-8Mo maraging steels," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 122, pp. 138-145, 2010.
- [52] X. Li, J. Zhang, J. Chen, S. Shen, G. Yang, T. Wang and X. Song, "Effect of aging treatment on hydrogen embrittlement of PH13-8Mo martensite stainless steel," *Materials Science and Engineering A*, vol. 651, pp. 474-485, 2015.
- [53] Z. Guo, W. Sha and D. Vaumousse, "Microstructural evolution in a PH13-8 stainless steel after ageing," *Acta Materilia*, vol. 51, pp. 101-116, 2003.
- [54] X. Li, J. Zhang, E. Akiyama, Q. Li and Y. Wang, "Effect of heat treatment on hydrogen-assisted fracture behavior of PH13-8Mo steel," *Corrosion Science*, vol. 128, pp. 198-212, 2017.
- [55] J. Mitra, G. K. Dey, D. Sen, A. K. Patra, S. Mazumder and P. K. De, "Solution quenched of wrought PH13-8Mo stainless steel," *Scripta Materialia*, vol. 51, pp. 349-353, 2004.
- [56] Anonim. (2018, 23 Kasım). [Online]. Erişim: <http://www.metalurjiakdag.com.tr/dosya/seminer-notlari-2013.pdf>

- [57] T. Osmanoğlu, "AISI304 ve 430 Kalite paslanmaz çeliklerin mikroyapılarına, mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına soğuk defarmosyonun etkileri," Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [58] D. Tali, "Nicel esaslı Inconel 718 süper alaşımının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2010.
- [59] F. Kaçal, "Isıl işlem görmüş Böhler K340 soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması," Yüksek lisans tezi, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2018.
- [60] B. Mills, A. H. Redford, *Machinability of Engineering Materials*, vol. 3, New York, USA: Applied Science Publishers, 1983.
- [56] Anonim. (2018, 26 Kasım). [Online]. Erişim: http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/18085_20471817776.pdf
- [62] A. Duran ve A. Acır, "HSS torna kalemindeki talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisi," *Politeknik Dergisi*, c. 7, s. 3, ss. 211-215, 2004.
- [63] Z. Küçük, "Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak teğetsel ve ortagonal tornalama-frezeleme yöntemlerinin karşılaştırılması," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye, 2017.
- [64] E. Çevik, "Tornalama işleminde kesici takım ömrünün iyileştirilmesine yönelik alternatif bir yaklaşım," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [65] G. Basmacı, "Tornalamada minimum miktarda yağlama (MQL) tekniğinin takım ve iş parçası üzerine etkilerinin incelenmesi," Doktora tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [66] A. Turhan, "Tornalama işleminde kesme parametrelerinin ve iş parçası uzunluğunun geometrik toleranslara etkilerinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [67] E. Koç ve E. Ünver, "CNC torna tezgahlarında kesme kuvvetleri analizi-deneyisel yaklaşım," *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 4, ss. 47-53, 1996.
- [68] P. P. Shirpurkar, S. R. Bobde, V. V. Patil and B. N. Kale, "Optimization of turning process parameters by using tool inserts – a review," *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, vol. 2, pp. 216-223, 2012.
- [69] H. Akkuş, "Tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel ve yapay zekâ yöntemleriyle tahmin edilmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2010.
- [70] E. M. Trent and P. K. Wright, *Metal Cutting*, 4th ed., Oxford, U.K: Butterworth-Heinemann, 2000, pp. 9-20.
- [71] M. S. Halim, "Tool wear characterization of carbide cutting tool insert in a single point turning operation of AISI D2 steel," *Manufacturing Engineering*, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Melaka, Malezya, 2008.

- [72] Tonshoff, H.L., Spintig, W., Konig, W., Neises, A., “Machining of holes developments in drilling techonolgy,” *Annals of the CIRP*, vol. 43 no. 2, pp. 551-560, 1994.
- [73] MEGEP, “Makine teknolojisi temel tornalama işlemleri-1,” *Makine Teknolojisi*, Ankara, 2014, böl. 1, ss. 1-40.
- [74] D. Karayel, “Prediction and control of surface roughness in CNC lathe using artificial neural network,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, pp. 3125-3137, 2009.
- [75] J. Kechagias, P. Kyratsis and N. Mastorakis, “On prediction of surface roughness of Al7075alloy during slot milling using NN modeling,” *Recent Advances on Mechanics Materials Mechanical Engineering and Chemical Engineering*, MMMCE-2015, pp. 98-107, 2017.
- [76] S. Palani and U. Natarajan, “Prediction of surface roughness in CNC end milling by machine vision system using artificial neural network based on 2D Fourier transform,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 54, no. 9, pp. 1033-1042, 2011.
- [77] A. Güllü, “Silindirik taşlamada istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu,” Doktora tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1995.
- [78] A. Arıtaşı, “Dönen takma uçlu kesici takımlarla talaşlı şekillendirmede işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [79] Y. Özçatalbaş, “1050, 4140 ve 8620 çeliklerinin ısıtılma işlemle değişen mikroyapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlikleri,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1996.
- [80] H. Küçük, “Torna tezgahında talaş kaldırma işlemine etki eden faktörlerin bilgisayar destekli optimizasyonu,” Doktora tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2001.
- [81] Y. E. Gönülaçar, “AISI 4140 malzemesinin tornalanmasında minimum miktarda yağlama (MQL) kullanımının işlenebilirlik üzerine etkisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye, 2008.
- [82] A. Gezgin, “Prizmatik parçaların frezelenmesi esnasında, kesici uç sayısının takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [83] M. Bayrak, “Ç 1020, Ç 1040 ve 9SMnPb28 çeliklerinin talaşlı işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün uzman sistemle hesaplanan değerlerin deneysel değerlerle karşılaştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2002.
- [84] O. Yiğit, “İnce AISI 304 paslanmaz çelik malzemelerin tornalanması için bağlama sistemi tasarımı ve imalatı,” Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2016.
- [85] E. S. Gadelmawla, M. M. Koura, T. M. A. Maksoud, I. M. Elewa and H. H. Soliman, “Roughness parameters,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 123, pp. 133-145, 2002.

- [86] B. Bakır, “Frezelemede talaş oluşumunun ve geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi,” Doktora tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [87] P. Demircioğlu, “Talaşlı imalat yöntemleriyle imal edilen iş parçalarında yüzey pürüzlülüğünün yüksek hassasiyette iğne uçlu ve 3D optik ölçüm sistemleriyle değerlendirilmesi,” *Mühendis ve Makine*, c. 52, s. 613, ss. 81-91, 2011.
- [88] S. Çevik, “Küresel uçlu parmak freze ile işlemede delme yönü ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [89] C. Y. Nian, W. H. Yang and Y. S. Tarng, “Optimization of turning operations with multiple performance characteristics,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 95, pp. 90-96, 1999.
- [90] E. Canıyılmaz, “Kalite geliştirmede Taguchi metodu ve bir uygulama,” Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2001.
- [91] D. M. Bryne and S. Taguchi, “The Taguchi approach to parameter design,” *ASQC Quality Congress Transactions*, Anaheim, USA. 1986, pp. 168.
- [92] G. Güral, “Gaz kaynağında proses parametrelerinin optimizasyonu,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2003.
- [93] M. Şirvancı, *Kalite için Deney Tasarımı*, 1. Baskı, İstanbul, Türkiye: Literatür Yayıncılık, 1997.
- [94] Y. T. İç ve S. Yıldırım, “Çok kriterli karar verme yöntemleriyle birlikte Taguchi yöntemini kullanarak bir ürünün tasarımının geliştirilmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 27, s. 2, ss. 447-458, 2012.
- [95] B. Gökçe ve S. Taşgetiren, “Kalite için deney tasarımı,” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 71-83, 2009.
- [96] W.H. Yang and Y. S. Tarng, “Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 84, pp. 122-129, 1998.
- [97] J. Walkowicz, J. Staskiewicz, K. Szaferowicz, D. Jakrzewski, G. Grzesiak and M. Stepniak, “Optimization of the ASPN process to bright nitriding of woodworking tools using the Taguchi approach,” *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 22, pp. 410-420, 2013.
- [98] A. Pander, A. Hatta and H. Furuta, “Optimization of catalyst formation conditions for synthesis of carbon nanotubes using Taguchi method,” *Applied Surface Science*, vol. 371, pp. 425-435, 2016.
- [99] S. Apak, B. Özüğür ve M. H. Tezcan, “Yeni ürün geliştirme sürecinde Robust tasarım yaklaşımının incelenmesi,” *3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye. 2012, ss. 27-35.
- [100] A. Takmaz, “Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin işlenebilirliğe etkisinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu,” Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018.

- [101] S. Ağar, “AA 7075-T6 alüminyum alaşımının minimum miktarda yağlama yöntemiyle talaşlı işlenebilirliğinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye, 2014.
- [102] 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 Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [103] B. Kuşuncu ve A. Yaraş, “AISI O2 çeliğinin frezelenmesinde minimum miktarda yağlama (MQL) sisteminin kesme performansına etkisi,” *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 5, s. 2, ss. 125-128, 2017.
- [104] M. H. Çetin, B. Özçelik, E. Kuram, B. T. şimşek ve E. Demirbaş, “AISI304L 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.
- [105] Ç. V. Yıldırım, T. Kıvak, M. Sarıkaya ve ř. Mert, “AISI4340’ın tornalanmasında minimum miktarda yağlama (MMY) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması,” *7. International Symposium On Machining*, İstanbul, Türkiye, 2016, ss. 222-238.
- [106] E. Yücel, M. Günay, M. Ayyıldız, Ö. Erkan ve F. Kara, “Talaşlı imalatta kullanılan kesme sıvılarının insan sağlığına etkileri ve sürdürülebilir kullanımı,” *6. International Advanced Technologies Symposium*, Elâzığ, Türkiye, 2011, ss. 116-121.
- [107] H. Gürbüz, ř. Baday ve Y. E. Gönülaçar, “Minimum miktarda yağlamanın frezeleme işlemleri üzerine etkisinin araştırılması: Derleme,” *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, c. 75, s. 2, ss. 59-79, 2017.
- [108] E. Çelik ve T. Kıvak, “17-4 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında minimum miktarda yağlamanın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri,” *7. International Symposium On Machining*, İstanbul, Türkiye, 2016, ss. 214-221.
- [109] J. M. Vieira, A. R. Machado and E. O. Ezugwu, “Performance of cutting fluids during face milling of steels,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 116, pp. 244-251, 2001.
- [110] S. Debnath, M. M. Reddy and Q. S. Yi, “Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 83, pp. 33-47, 2014.
- [111] A. Shokrani, V. Dhokia and S. T. Newman, “Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids,” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 57, pp. 83-101, 2012.
- [112] Rhenus Lub GmbH and Co KG, “Cooling lubricants theory for the practical applications,” Germany, 1997.
- [113] E. Kuram, B. Ozcelik, M. Bayramoglu, E. Demirbas and B. T. Simsek, “Optimization of cutting fluids and cutting parameters during end milling by using D-optimal design of experiments,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 42, pp. 159-166, 2013.
- [114] A. H. Tazehkandi, M. Shapgard and F. Pilehvarian, “On the feasibility of a reduction in cutting fluid consumption via spray of biodegradable vegetable oil with compressed air in machining Inconel 706,” *Journal of Cleaner Production*, vol.

104, pp. 422-435, 2015.

- [115] A. Sulaimon, B. J. Adeyemi and M. Rahimi, "Performance enhancement of selected vegetable oil as base fluid for drilling HPHT formation," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 152, pp. 49-59, 2017.
- [116] M. M. A. Khan, M. A. H. Mithu and N. R. Dhar, "Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, pp. 5573-5583, 2009.
- [117] S. Toprak, "Malzemeleri (Çelik, çinko, kurşun, pirinç, alüminyum) koruyan koruyucu yağların zamanla değişen fizikokimyasal özellikleri," Yüksek lisans tezi, Kimya Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2007.
- [118] İ. Demirayak, "Kesme parametreleri ve kaplama tabakasının talaş kaldırma işlemine etkileri," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2006.
- [119] J. J. Klemes, P.S. Varbanov and D. Huisingh, "Recent cleaner production advances in process monitoring and optimisation," *Journal of Cleaner Production*, vol. 34, pp. 1-8, 2012.
- [120] S. Debnath, M. M. Reddy and Q. S. Yi, "Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 83, pp. 33-47, 2014.
- [120] S. A. Lawal, I. A. Choudhury and Y. Nukman, "A critical assessment of lubrication techniques in machining processes: a case for minimum quantity lubrication using vegetable oil-based lubricant," *Journal of Cleaner Production*, vol. 41, pp. 210-221, 2013.
- [121] D. Fratila and C. Caizar, "Application of Taguchi method to selection of optimal lubrication and cutting conditions in face milling of AlMg₃," *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, pp. 640-645, 2011.
- [122] U. Baheti, C. Guo and S. Malkin, "Environmentally conscious cooling and lubrication for grinding," *Proceedings of the International Seminar on Improving Machine Tool Performance*, vol. 2, pp. 643-654, 2014.
- [123] J. A. Sanchez, L. Pombo, R. Alberdi, B. Izquierdo, N. Ortega, S. Plaza and J. M. Toledano, "Machining evaluation of a hybrid MQL-CO₂ grinding technology," *Journal of Cleaner Production*, vol. 18, pp. 1840-1849, 2010.
- [124] E. O. Ezugwu, "Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 45, pp. 1353-1367, 2015.
- [125] D. J. Oliveira, L. G. Guermandi, E. C. Bianchi, A. E. Diniz, P. R. Aguiar and R. C. Canarim, "Improving minimum quantity lubrication in CBN grinding using compressed air wheel cleaning," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 212, pp. 2559-2568, 2012.
- [126] L. R. Silva, E. C. S. Correa, J. R. Brandao and R. F. Avila, "Environmentally friendly manufacturing: Behavior analysis of minimum quantity of lubricant - MQL in grinding process," *Journal of Cleaner Production*, 2013.

- [127] N. R. Dhar, M. Kamruzzaman and M. Ahmed, "Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 172, pp. 299-304, 2013.
- [128] T. Walker, *The MMY Handbook*, 1th ed., Ellisville, USA: Courtesy of jost Machinery, 2013.
- [129] O. Öndin ve T. Kıvak, "Ph13-8 Mo çeliğinin tornalanmasında MMY sisteminde kullanılan bitkisel esaslı kesme yağına çok duvarlı karbon nanotüp ilavesinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi," *4. International Academic Research Congress*, Antalya, Türkiye, 2018, ss. 214-221.
- [130] Anonim. (2018, 10 Aralık). [Online]. Erişim: <https://www.grouphes.com/article/the-truth-about-mql-system>
- [131] S. Pervaiz, S. Kannan and H. A. Kishawy, "An extensive review of the water consumption and cutting fluid based sustainability concerns in the metal cutting sector," *Journal of Cleaner Production*, vol. 197, pp. 134-153, 2018.
- [132] S. U. S. Choi and J. A. Eastman, "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles," *ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, San Francisco, USA, 1995.
- [133] A. K. Sharma, A. K. Tiwari and A. R. Dixit, "Improved machining performance with nanoparticle enriched cutting fluids under minimum quantity lubrication (MQL) technique: a review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 2, pp. 3545-3551, 2015.
- [134] S. M. S. Murshed, K. C. Leong and C. Yang, "Investigations of thermal conductivity and viscosity of nanofluids," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 47, pp. 560-568, 2008.
- [135] M. Kaminski and R. L. Ossowski, "Prediction of the effective parameters of the nanofluids using the generalized stochastic perturbation method," *Physica A*, vol. 393, pp. 10-22, 2014.
- [136] R. S. Revuru, V. K. Pasam, I. Syed and U. K. Paliwal, "Development of finite element based model for performance evaluation of nano cutting fluids in minimum quantity lubrication," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 21, pp. 75-85, 2018.
- [137] A. K. Sharma, A. K. Tiwari and A. R. Dixit, "Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) in machining processes using conventional and nanofluid based cutting fluids: A comprehensive review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 127, pp. 1-18, 2016.
- [138] Y. Yang, Z. G. Zhang, E. A. Grulke, W. B. Anderson and G. Wu, "Heat transfer properties of nanoparticle-in-fluid dispersions (nanofluids) in laminar flow," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 48, pp. 1107-1116, 2005.
- [139] İ. Mutlay, "Karbon nanotüpler özellikler ve uygulamalar," *GRAFEN Future Engineering*, Türkiye, Rap. 1, 2014.
- [140] S. Prabhu and B. K. Vinayagam, "Nano surface generation of grinding process using carbon nano tubes" *Indian Academy of Sciences*, vol. 35, pp. 747-760, 2010.

- [141] A. Uysal, "Ferritik paslanmaz çeliğin çok duvarlı karbon nanotüp katkılı kesme sıvısı kullanılarak minimum miktarda yağlama yöntemi ile frezelenmesinde kesme sıcaklığının incelenmesi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 32, s. 3, ss. 645-650, 2017.
- [142] P. B. Patole and V. V. Kulkarni, "Optimization of process parameters based on surface roughness and cutting force in mql turning of aisi 4340 using nano fluid," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, pp. 104-112, 2018.
- [143] A. K. Sharma, A. K. Tiwari, A. R. Dixit and R. K. Singh, "Investigation into performance of SiO₂ nanoparticle based cutting fluid in machining process," *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, pp. 133-141, 2017.
- [144] A. K. Sharma, A. K. Tiwari, A. R. Dixit and R. K. Singh, "Graphene colloidal suspensions as high performance semi-synthetic metal-working fluids," *The Journal of Physical Chemistry*, vol. 115, pp. 3410-3415, 2011.
- [145] W. Haung, D. Wu, S. Lin and W. Liu, "A combined minimum quantity lubrication and MWCNTcutting fluid approach for SKD 11 end milling," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 84, pp. 1697-1704, 2016.
- [146] P. Lee, J. S. Nam, C. Li and S. W. Lee, "An experimental study on micro-grinding process with nanofluid minimum quantity lubrication (MQL)," *International Journal Of Precision Eniineering And Manufacturing*, vol. 13, no. 3, pp. 331-338, 2012.
- [147] Y. Zhang, C. Li, D. Jia, D. Zhang and X. Zhang, "Experimental evaluation of the lubrication performance of MoS₂/CNT nanofluid for minimal quantity lubrication in Ni-based alloy grinding," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 99, pp. 19-33, 2015.
- [148] P. Sharma, B. S. Sidhu and J. Sharma, "Investigation of effects of nanofluids on turning of AISI D2 steel using minimum quantity lubrication," *Journal of Cleaner Production*, vol. 108, pp. 72-79, 2015.
- [149] A. K. Sharma, A. K. Tiwari and A. R. Dixit, "Mechanism of nanoparticles functioning and effects in machining processes: A review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 2, pp. 3539-3544, 2015.
- [150] A. G. Krishna and T. B. Rao, "Performance assessment of carbon nano tube based cutting fluid in machining process," *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Mettallurgical Engineering*, vol. 10, no. 8, pp. 1046-1049, 2016.
- [151] A. B. Andhare and R. A. Raju, "Properties of dispersion of multiwalled carbon nanotubes as cutting fluid," *Tribology Transactions*, vol. 59, no. 4, pp. 663-670, 2016.
- [152] S. Roy and A. Ghosh, "High-speed turning of AISI 4140 steel by multi-layered TiN top-coated insert with minimum quantity lubrication technology and assessment of near tool-tip temperature using infrared thermography," *Journal of Engineering Manufacture*, vol. 228(9), pp. 1058-1067, 2014.
- [153] M. S. Kumar and K. L. S. Kumar, "An investigation of multi walled carbon nanotubes based nano cutting fluids in turning of martensitic stainless steel by using Taguchi and Anova analysis," *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. 7, pp. 08-15, 2010.

- [154] M. M. S. Prasad and R. R. Srikant, "Performance evaluation of nano graphite inclusions in cutting fluids with MQL technique in turning of AISI 1040 steel," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 2, no. 11, pp. 381-393, 2013.
- [155] S. N. Rao, B. Satyanarayana and K. Venkataasubbaiah, "Experimental estimation of tool wear and cutting temperatures in mql using cutting fluids with cnt inclusion," *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 3, no. 4, pp. 2928-2931, 2011.
- [156] A. K. Sharma, J. K. Katiyar, S. Bahumik and S. Roy, "Influence of alumina/MWCNT hybrid nanoparticle additives on tribological properties of lubricants in turning operations," *Friction*, pp. 1-16, 2018.
- [157] T. Kıvak ve Ş. Çetin, "15-5 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesme kuvvetinin Taguchi metodu ile optimizasyonu," *5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTİS 2014)*, Bursa, Türkiye, 2014, ss. 437-447.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Oğuzhan ÖNDİN
Doğum Tarihi ve Yeri : 30.12.1994 / ORDU
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
E-posta : oguzondin@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2016
Lise	MF	Cumhuriyet Lisesi	2012

Yayınlar

O. Öndin, T. Kıvak, “PH13-8 Mo çeliğinin tornalanmasında bitkisel kesme yağına MWCNT ilavesinin işleme çıktısı üzerine etkisi”, *International Academic Research Congress (INES 2018)* 30 Ekim-3 Kasım, 2018, Antalya, Turkey.