



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

**AISI 904L PASLANMAZ ÇELİĞİN MQL YÖNTEMİ
KULLANILARAK TORNALANMASINDA NANOGRAFEN
KATKILI KESME YAĞININ İŞLEME
PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

HASAN YALILI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. TURGAY KIVAK**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AISI 904L PASLANMAZ ÇELİĞİN MQL YÖNTEMİ
KULLANILARAK TORNALANMASINDA NANOGRAFEN
KATKILI KESME YAĞININ İŞLEME PERFORMANSI
ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Hasan YALILI 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 Sıtkı AKINCIOĞLU

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Erdi KORKMAZ

Karabük Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 02/08/2019

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.

02 Ağustos 2019

Hasan YALILI

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans sürecinde, bilgileri ile kendisinden birçok deneyim edindiğim; Tez çalışmam boyunca kıymetli vakitlerini ve yardımlarını esirgemediğinden sabırla bana yol gösteren, danışman hocam Doç. Dr. Turgay KIVAK'a en içten duygularıyla şükranlarımı sunar, teşekkür ederim.

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

Son olarak maddi-manevi her konuda bana destek olan sevgili eşim Yeliz YALILI'ya ve çalışmalarımın yoğunluğu sebebiyle yeterince ilgilenemediğimi düşündüğüm sevgili kızım Miray Ceren'e ve sevgili oğlum Kağan'a sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi 2018.07.04.723 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

02 Ağustos 2019

Hasan YALILI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	IX
ÇİZELGE LİSTESİ	XI
KISALTMALAR	XII
SİMGELER	XIII
ÖZET	XIV
ABSTRAC	XVI
1. GİRİŞ	1
2. PASLANMAZ ÇELİKLER	5
2.1. PASLANMAZ ÇELİKLERE ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ.....	6
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
2.6. ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER	14
2.6.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri.....	15
2.6.2. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İmalatı	16
2.6.2.1. AISI 904L Paslanmaz Çelik ve Kullanım Alanları	16
3. TORNALAMA	18
3.1. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ	19
3.1.1. Dik (Ortogonal) Kesme	20
3.1.2. Eğik (Oblik) Kesme Mekanikliği	24
3.2. TALAŞ KALDIRMADA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	26
3.2.1. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler.....	29
3.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Yöntemleri	30
3.2.2.1. Temas Uçlu (İğneli) Ölçüm Sistemi	30
3.2.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Diğer Ölçüm Yöntemleri	31
3.3. TALAŞ KALDIRMADA KESME SICAKLIĞI	31
4. KESME SIVILARI VE S.YAĞLAMA YÖNTEMLERİ	34
4.1. YAĞLAMA – SOĞUTMA SIVILARI	34
4.1.1. Yağlama – Soğutma Sıvılarının Görevleri	35
4.1.2. Yağlama – Soğutma Sıvılarının Sınıflandırılması	35
4.1.2.1. Mineral Esaslı Kesme Yağları	36
4.1.2.2. Sentetik Esaslı Kesme Yağları	37
4.1.2.3. Bitkisel Esaslı Kesme Yağları.....	38
4.1.3. Yağlama ve Soğutma Sıvılarının İnsan ve Çevre Sağlığına Etkileri	39

4.2. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MMY) YÖNTEMİ	41
4.2.1. Dahili Minimum Miktarda Yağlama Yöntemi	44
4.2.2. Dışarıdan Uygulanan MMY Sistemi	44
4.3. NANO AKIŞKANLAR VE ÖZELLİKLERİ	45
4.3.1. Nano Grafen'in Tanımı ve Kullanım Alanları.....	47
5. TAGUCHI METODU	48
5.1. ÜRETİM AŞAMASI VE SONRASI "ON-LİNE" KALİTE KONTROL	49
5.2. ÜRETİM ÖNCESİ "OFF-LİNE" KALİTE KONTROL	49
5.2.1. Sistem Tasarımı (Kavram Oluşturma).....	49
5.2.2. Tolerans Tasarımı (Ürün Sürecinde Hedef Belirleme)	49
5.2.3. Parametre Tasarımı (Ürünün Yeniden Kalite Kontrolü)	50
5.2.4. Sinyal Gürültü Oranları (S/N) ve Gürültü Etkenleri	51
5.2.5. Varyasyon Analizleri	53
5.2.6. Regresyon Analizi	53
6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	54
6.1. LİTERATÜR DEĞERLENDİRİLMESİ	59
7. MALZEME ve METOT	60
7.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME	60
7.2. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TEZGÂHI	61
7.3. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIM.....	62
7.4. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MMY) SİSTEMİ	63
7.5. DENEYLERDE KULLANILAN NANO AKIŞKANLARIN HAZIRLANMASI.....	64
7.6. TAGUCHI OPTİMİZASYON YÖNTEMİ	66
7.7. KESME SICAKLIKLARININ ÖLÇÜLMESİ	68
7.8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ	69
8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	72
8.1. MMY PARAMETRELERİ İLE NANOAKIŞKAN KONSANTRASYON ORANININ OPTİMİZE EDİLMESİ.....	72
8.1.1. S/N Oranlarının Analizi	72
8.1.2. Varyans Analizi (ANOVA)	75
8.1.3. Regresyon Analizi	75
8.1.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	77
8.2. KESME PARAMETRELERİ İLE NANOAKIŞKAN KONSANTRASYON ORANININ OPTİMİZE EDİLMESİ	80
8.2.1. S/N Oranlarının Analizi	81
8.2.2. Varyans Analizi (ANOVA)	84
8.2.3. Regresyon Analizi	85
8.2.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	87
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
9.1. SONUÇLAR.....	90
9.2. ÖNERİLER	93
10. KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ	106

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Paslanmaz çeliklerin kullanım alanları	6
Şekil 2.2. Paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr Oranları	8
Şekil 2.3. Paslanmaz çeliklere ait schaffler diyagramı	9
Şekil 2.4. Ferritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı	11
Şekil 2.5. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı	12
Şekil 2.6. Dubleks paslanmaz çeliğin mikro yapısı	13
Şekil 2.7. Çökelmeyle sertleştirilmiş paslanmaz çeliğin mikro yapısı	14
Şekil 2.8. Östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı	15
Şekil 3.1. Tornalama işlemi	18
Şekil 3.2. Tornalamada işleme parametreleri	19
Şekil 3.3. Talaşlı imalatda deformasyon bölgeleri	20
Şekil 3.4. Ortogonal kesme geometrisi	21
Şekil 3.5. Ortogonal kesmede oluşan deformasyon bölgeleri	22
Şekil 3.6. Ortogonal kesme mekaniği	23
Şekil 3.7. Ortogonal kesmede kayma düzlemi	24
Şekil 3.8. Oblik kesme mekaniğinin şematik gösterimi	25
Şekil 3.9. Eğik kesme geometrisi	26
Şekil 3.10. Tornalamada ilerleme izleri	28
Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalaması Ra	28
Şekil 3.12. Maksimum pürüzlülük Rt	29
Şekil 3.13. Temas uçlu iğneli ölçüm sistemi	30
Şekil 3.14. İzleyici uçtan kaynaklanan ölçüm hatası	31
Şekil 3.15. Kesme bölgesinde ısı oluşumu	32
Şekil 3.16. Kesme hızı-Sıcaklık ile İlerleme-Sıcaklık ilişkisi	32
Şekil 4.1. Kesme sıvılarının sınıflandırılması	36
Şekil 4.2. Talaş kaldırma işlemlerinde maliyet şeması	42
Şekil 4.3. Minimum miktarda yağlama sisteminde püskürtme işlemi	43
Şekil 4.4. SKF firması tarafından üretilen MMY sistemine ait pnömatik şema	44
Şekil 4.5. Harici MMY sistem nozulu	45
Şekil 4.6. Nanopartikül katkılı kesme sıvısının hazırlanması	46
Şekil 7.1. ACCUWAY JT - 150 marka CNC Yatay Torna Tezgahı	61
Şekil 7.2. SNMG 120404 MF 2220 kesici takım	62
Şekil 7.3. PSBNR 2525 M12 torna kateri	62
Şekil 7.4. MMY sistemi	63
Şekil 7.5. Deney Seti	63
Şekil 7.6. Nano akışkan hazırlama prosesi	65
Şekil 7.7. Optiris PI 450 termal kamera görseli ve boyutsal ölçüler	68
Şekil 7.8. Termal kamera deney seti	69
Şekil 7.9. MAHR marka MarSurf PS 10 taşınabilir yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	70
Şekil 7.10. Yüzey pürüzlülük değerlerinin profilometre ile ölçümü	70
Şekil 8.1. L ₉ Yüzey pürüzlülüğü için ortalama S/N oranları grafiği	74

Şekil 8.2. L_9 Kesme sıcaklığı için ortalama S/N oranları grafiği.....	74
Şekil 8.3. Yüzey pürüzlülüğünün deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması	76
Şekil 8.4. Kesme sıcaklığının deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması	77
Şekil 8.5. Debi ve Basınca Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüğünün Değişimi.....	78
Şekil 8.6. Konsantrasyon Oranı ve Basınca Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüğünün Değişimi	79
Şekil 8.7. Basınç ve Debiye Bağlı Olarak Kesme Sıcaklığının Değişimi	80
Şekil 8.8. Konsantrasyon Oranı ve Debiye Bağlı Olarak Kesme Sıcaklığının Değişimi	80
Şekil 8.9. L_{27} Yüzey pürüzlülüğü için ortalama S/N oranları grafiği	83
Şekil 8.10. L_{27} Kesme sıcaklığı için ortalama S/N oranları grafiği	83
Şekil 8.11. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması	85
Şekil 8.12. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması	86
Şekil 8.13. Soğutma/yağlama yöntemi ve kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	87
Şekil 8.14. Soğutma/yağlama yöntemi ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	88
Şekil 8.15. Soğutma/yağlama yöntemi ve kesme hızına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.....	89
Şekil 8.16. Soğutma/yağlama yöntemi ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.....	89

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları.	17
Çizelge 4.1. Kesme sıvılarının üretimdeki etkileri.	40
Çizelge 5.1. Taguchi dikey dizin ve faktörleri.....	50
Çizelge 7.1. AISI 904L Östenik Paslanmaz Çeliğin Kimyasal Bileşimi.....	60
Çizelge 7.2. AISI 904L Östenik Paslanmaz Çeliğin Fiziksel Özellikleri.....	60
Çizelge 7.3. Deneylerde kullanılan CNC torna tezgâhına ait teknik özellikler.....	61
Çizelge 7.4. Kesici takıma ait teknik özellikler.....	62
Çizelge 7.5. LubriLean-Vario teknik özellikler.....	63
Çizelge 7.6. Opet Fuchs PlantoCut 10 SR Kesme yağı özellikleri.....	64
Çizelge 7.7. Nanografen özellikleri.	64
Çizelge 7.8. Mekanik karıştırıcı teknik özellikleri.	65
Çizelge 7.9. L ₉ işleme parametreleri ve seviyeleri.	66
Çizelge 7.10. Taguchi L ₉ dikey dizisi.....	66
Çizelge 7.11. L ₂₇ işleme parametreleri ve seviyeleri.	66
Çizelge 7.12. Taguchi L ₂₇ dikey dizisi.	67
Çizelge 7.13. Optris PI 450 termal kamera teknik özellikleri.	68
Çizelge 7.14. Marsurf PS 10 yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri.	71
Çizelge 8.1. L ₉ Deney sonuçları ve S/N oranları.....	73
Çizelge 8.2. L ₉ Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları için S/N yanıt tablosu	73
Çizelge 8.3. L ₉ Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.....	75
Çizelge 8.4. L ₉ Kesme Sıcaklığı İçin Anova Tablosu.....	75
Çizelge 8.5. L ₂₇ Deney sonuçları ve S/N oranları.....	81
Çizelge 8.6. L ₂₇ Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları için S/N yanıt tablosu	82
Çizelge 8.7. L ₂₇ Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.....	84
Çizelge 8.8. L ₂₇ Kesme Sıcaklığı İçin Anova Tablosu	84

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

AISI 904L PASLANMAZ ÇELİĞİN MQL YÖNTEMİ KULLANILARAK TORNALANMASINDA NANO GRAFEN KATKILI KESME YAĞININ İŞLEME PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Hasan YALILI

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Turgay KIVAK

Ağustos 2019, 105 sayfa

Bu çalışmada, AISI 904L östenitik paslanmaz çeliğinin tornalanmasında, kesme parametrelerinin ve kesme şartlarının, yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve kesme sıcaklığı (T) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla Taguchi'nin L_9 ve L_{27} ortogonal dizinleri kullanılarak deney tasarımları yapılmış olup deneylerde CVD $Ti(C,N)+Al_2O_3+TiN$ kaplamalı karbür takımlar kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesinde sinyal gürültü oranı (S/N) kullanılmıştır. Kontrol faktörlerinin sonuçlara etkisinin belirlenmesi adına, varyans analizi (ANOVA) yapılmış olup bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla regresyon analizi uygulanmıştır. L_9 deney tasarımında debi (20, 40 ve 60 ml/saat), basınç (4, 6 ve 8 bar) ve nanoakışkan konsantrasyon oranı (hacimce %0, 0,8 ve 1,2) kontrol faktörleri olarak belirlenmiştir. Kesme hızı (150 m/dak), ilerleme hızı (0,15 mm/dev) ve kesme derinliği (0,5 mm) ise sabit tutulmuştur. Deneyler sonucunda en düşük yüzey pürüzlülük değeri (1,748 μm) ve en düşük kesme sıcaklığı değeri (153 °C) olup 60 ml/saat debi, 8 bar basınç ve hacimce %0,8 nano grafen karışımında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde %35,5 katkı oranı ile en etkili parametrenin basınç olduğu, kesme sıcaklığı üzerinde ise %54,40 katkı oranı ile en etkili parametrenin nano akışkan konsantrasyon oranı olduğu görülmüştür. L_{27} deney tasarımında ise kesme hızı (100, 150 ve 200 m/dak), ilerleme hızı (0,10, 0,15 ve 0,20 mm/dev) ve nanoakışkan konsantrasyon oranı (hacimce %0, %0,8 ve %1,2) kontrol faktörleri olarak belirlenmiştir. Bu deney tasarımında L_9 deney tasarımında elde edilen optimum debi (60 ml/saat) ve basınç (8 bar) sabit tutulmuştur. En düşük yüzey pürüzlülük değeri (0,552 μm), 200 m/dak kesme hızında, 0,10 mm/dev ilerleme hızı ve hacimce %0,8 nano akışkan konsantrasyon oranında elde edilmiştir. En düşük kesme sıcaklığı ise (137 °C), 100 m/dak kesme hızı, 0,10 mm/dev ilerleme hızı ve %0,8 nano akışkan konsantrasyon oranında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde %96,57 katkı oranı ile en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu, kesme sıcaklığı üzerinde ise %51.73 katkı oranı ile en etkili parametrenin kesme hızı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AISI 904L, Tornalama, Minimum miktarda yağlama, Taguchi metodu, Nano akışkan, Nano grafen.

ABSTRACT

INVESTIGATION THE EFFECT OF NANO GRAPHENE REINFORCED CUTTING FLUID ON MACHINING PERFORMANCE IN TURNING OF AISI 904L STAINLESS STEEL USING MQL METHOD

Hasan YALILI

Düzce University

Institute of Science, Department of Manufacturing Engineering

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Turgay KIVAK

August 2019, 105 Pages

In this study, the effects of cutting parameters and cutting conditions on surface roughness (Ra) and cutting temperature (T) were investigated in the turning of AISI 904L austenitic stainless steel. For this purpose, experimental designs were made by using Taguchi's orthogonal L_9 and L_{27} and CVD Ti(C, N) Al₂O₃ TiN coated carbide tools were used in the experiments. The signal to noise ratio (S/N) was used to evaluate the data obtained from the experiments. In order to determine the effect of control factors on the results, variance analysis (ANOVA) was performed and regression analysis was performed to reveal the relationship between dependent variables and independent variables. In the L_9 experimental design, flow (20, 40 and 60 ml/h), pressure (4, 6 and 8 bar) and nano-fluid concentration ratio (0%, 0.8% and 1.2% by volume) were determined as control factors. Cutting speed (150 m/min), feed rate (0.15 mm/rev) and dept of cut (0.5 mm) were kept constant. As a result of the experiments, the lowest surface roughness value (1.748 μm) and the lowest cutting temperature value (153 °C) were obtained at a flow rate of 60 ml/h, 8 bar pressure and 0.8% by volume nano graphene mixture. It was observed that pressure was the most effective parameter with an contrubition ratio of 35.5% on surface roughness and nano fluid concentration ratio was the most effective parameter with an contrubition ratio of 54.40% on the cutting temperature. In the L_{27} experimental design, cutting speed (100, 150 and 200 m/min), feed rate (0.10, 0.15 and 0.20 mm/rev) and nano-fluid concentration ratio (0%, 0.8% and 1.2% by volume) were determined as control factors. In this experimental design, the optimum flow rate (60 ml/h) and pressure (8 bar) obtained in the L_9 experimental design were kept constant. The lowest surface roughness value (0.552 μm) was obtained at a cutting speed of 200 m/min, a feed rate of 0.10 mm/rev and a nano-fluid concentration of 0.8%. The lowest cutting temperature (137 °C) was obtained at a cutting speed of 100 m/min, a feed rate of 0.10 mm/rev and a nano-fluid concentration of 0.8%. It was seen that the most effective parameter was the feed rate with 96.57% contrubution rate on the surface roughness and the cutting speed was the most effective parameter with the contrubution rate of 51.73% on the cutting temperature.

Key words: AISI 904L, Turning, Minimum quantity lubrication, Taguchi method, Nano fluid, Nano qraphene.

1. GİRİŞ

Talaş kaldırma operasyonları üzerine yapılan araştırmaların en temel amacı, yüksek kalitedeki ürünleri minimum maliyetle üretmek için gerekli olan işleme parametrelerini elde etmek ve bu amaca ulaşmak için kesici takım ve iş parçası arasındaki etkileşimi araştırmaktır [1]. Talaş kaldırma işlemi, kesici takım ve iş parçasının birbirine göre izafi harekette bulunarak ana malzeme üzerinden parça koparması olarak tanımlanabilmektedir [2]. Bu işlem sırasında işleme verimliliğini belirleyen ana faktörler, malzemenin kimyasal kompozisyonu, sertliği, sünekliği, ısı iletkenliği ve malzemenin içinde bulunan inklüzyonları olarak sıralanabilmektedir [3].

Günümüz sanayisinde çok fazla kullanım alanına sahip olan paslanmaz çelikler, yüksek dayanım, yüksek korozyon direnci, yüksek sertlik, rijitlik, yeterli derecede süneklik, ateşe dayanıklılık, hijyeniklik, estetik görünüş ve bakım kolaylığı gibi özellikleri nedeniyle ön plana çıkmaktadır [4]. Paslanmaz çeliklerin kullanım alanı sürekli artmaktadır. Bunun en temel sebebi ise korozif ortamlarda mekanik özelliklerini korumasıdır. Öyle ki geliştirilmesindeki en önemli neden, demir alaşımlarının korozyon direncini artırmaktır [5]. Bu malzemelerin korozif ortamlara karşı yüksek dayanım göstermesinin nedeni içeriğinde yer alan krom elementidir. Bir başka deyişle, malzemenin içeriğinde yer alan krom, paslanmaz çelik yüzeyinde sıkı ve ince bir krom oksit tabakası oluşturmakta ve böylece oksidasyonun ve korozyonun ilerlemesini engellemektedir. Oransal olarak bakmak gerekirse, paslanmaz çelikler içeriğinde, $\geq$ %10.5 krom ve $\leq$ %1.2 karbon içeren demir alaşımlarıdır [6]. Ayrıca, paslanmaz çeliklere ait pasiflik özelliğini geliştirmek adına malzeme içeriğine molibden katılırken sülfürik asit direncini geliştirmek için bakır, oksidasyon direncini geliştirmek için silisyum, korozyon direncini geliştirmek için ise niyobyum ve titanyum çeşitli oranlarda eklenmektedir [7].

1900'li yılların ortasından itibaren havacılık ve nükleer endüstrisi başta olmak üzere kritik sektörlerdeki temel malzeme ihtiyacı östenitik, martensitik, ferritik ve örtensitik/martensitik paslanmaz çeliklerin geliştirilmesine neden olmuştur [8]. Geliştirme esnasında yapılan deneyler, martensitik paslanmaz çeliklerin diğer

paslanmaz elik türlerine göre daha yüksek sıcaklığa dayanabildiklerini ortaya koymuştur [9]. Bu paslanmaz elik türlerinden olan östenitik paslanmaz çelikler imalat endüstrisinin en çok başvurduğu paslanmaz elik türüdür. Örneğin, gıda ekipmanları ve kimya endüstrisinin yapısal parçalarının yanı sıra korozyon direncinin yüksek olması istenen makine parçalarının imal edilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Bu çeliklerden biri olan AISI 904L, talaş kaldırma esnasında sertleşme özelliğine sahiptir. Dahası, düşük termal iletkenlik de bu malzemenin özellikleri arasındadır. Bunlara ek olarak, düşük yüzey kalitesi vermesi ve kesici takımı aşındırması gibi talaş kaldırma esnasında istenilmeyen özelliklere sahiptir. Bu nedenlerden dolayı, AISI 904L işlenebilirliği zor olan malzemelerin arasında gösterilmektedir. İçeriğinde yüksek oranda nikel, krom ve molibden içeren bu malzeme, süper östenitik paslanmaz elik olarak da anılmaktadır ve en temel özelliği yüksek korozyon direncine sahip olmasıdır. Yüksek korozyon direncine ek olarak, yoğun klorlu ortama ve sülfürük asite karşı oldukça dayanıklıdır. Ayrıca, kaynak edilebilirliğinin yüksek olması, anti manyetik bir yapıya sahip olması ve mekanik özelliklerinin yüksek olması bu malzemenin  ne çıkan özellikleri arasında yer almaktadır. Bütün bu nedenlerden dolayı k ğit, madikal, petrokimya sektörü ve reaktörlerde yoğun olarak tercih edilmektedir [10].

İmalat sektörünün paydaşları arasında yer alan üreticiler ve araştırmacılar çalışmalarının büyük bölümünde kaliteyi nasıl artıracaklarını araştırmaktadırlar. Bu doğrultuda kalitenin geliştirilmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Ancak, bu çalışmalar esnasında yapılması zaruri olan deneyler parametre çokluğu nedeniyle yüksek maliyet ve zaman almaktadır [11]. Talaş kaldırma işleminde kaliteyi etkileyen birçok parametre yer almaktadır. Bunların ilk akla gelenleri ise soğutma yöntemi, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğidir. Ancak, sayısı çok fazla olan bu parametrelerin ürün kalitesi üzerindeki etkilerini belirlemek oldukça zordur. Dolayısıyla, bu etkileri belirlemek ve işleme performansını artırmak için birçok analiz ve deney tasarımı yöntemi günümüzde etkin olarak kullanılmaktadır. Özellikle, varyans analizi (ANOVA), regresyon analizi, yüzey yanıt metodu (RSM) ve Taguchi gibi analiz ve optimizasyona yönelik istatistiksel metodlar ön plana çıkmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan Taguchi metodu, soruna ait çözümü minimum deney sayısıyla elde etmeyi sağlamaktadır. Dahası,  retim kalitesini etkileyecek birçok etkeni de bünyesinde barındırmaktadır. Bunun en temel sebebi ise kontrol edilemeyen faktörleri dikkate alması, gereken tolerans değerlerinin en düşük maliyetle oluşturulması ve Taguchi kayıp fonksiyonunu kullanarak ürünün neden

olduğu kaybı minimize etmesidir. Burada Taguchi yöntemi üretim maliyetlerini düşürmekte ve böylece talaş kaldırma işleminin kalitesini artırmaktadır. Bir başka deyişle, Taguchi metodu sayesinde gereksiz deneylerden kaçınılmaktadır. Böylece, zaman ve maliyet gibi konularda tasarruf edilmektedir [12]. Taguchi metodunun etkin olarak kullanıldığı talaş kaldırma operasyonlarından biri de tornalama işlemidir.

Talaş kaldırma işlemlerinin tamamında olduğu gibi tornalama işleminde de kaliteli bir ürün elde etmek için kullanılan yardımcı desteklerin başında kesme sıvısı kullanımı gelmektedir [13]. Kesme sıvısı kullanımı ile birlikte etkili bir yağlama ve soğutma yapılmakla birlikte talaş kesme bölgesinden uzaklaştırılmaktadır. Böylece, kesici takımın ömrü uzamakta ve işleme kalitesi yükseltilmektedir [14]. Ancak, işleme kalitesi ön plana çıkarken çevre kirliliği, çalışan sağlığı ve üretim maliyetlerine ait faydalar gözletilmelidir [15]. Dolayısıyla, talaş kaldırma esnasında kullanılan klasik kesme sıvısı miktarının azaltılması oldukça önemlidir. Kesme sıvısı miktarını azaltmak için üç yöntem bulunmaktadır ve bu yöntemlerle alakalı araştırmalar günümüzde de devam etmektedir. Bu üç yöntem; kuru işleme, yüksek hızda işleme ve minimum miktarda yağlama (MMY) şeklinde sıralanmaktadır [16]. Kuru işlemede kesme sıvısı kullanılmamaktadır. Dolayısıyla, çevre dostu ve düşük maliyetli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Buna karşın, yüksek işleme verimliliğinin istendiği zor işleme koşullarında yeterli bir yöntem değildir. Dolayısıyla, işleme verimini artırmak için çok küçük seviyede kesme sıvısı kullanan MMY sistemi günümüzde imalatçılar tarafından kabul görmüş bir soğutma/yağlama yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır [17].

MMY sistemi, minimum seviyedeki kesme sıvısını basınçlı hava ve nozul yardımıyla kesme bölgesine aktarılması prensibine göre çalışmaktadır [18]. Bu sistemde, kullanılan kesme sıvısı türü ve talaş kaldırma yöntemine göre farklılık gösterse de kullanılan sıvı miktarı 10-150 ml/saat şeklinde değerlendirilmektedir. Bu yöntem, yarı kuru işleme olarak da tanımlanmaktadır. Bunun sebebi, kullanılan sıvı miktarının çok az olması ve talaş kaldırma esnasında buharlaşmasından dolayıdır. Böylece, kesme esnasında ortaya çıkan talaşlar geri dönüşümden geçerek kolayca değerlendirilebilmektedir [19]. MMY yönteminde basınçlı bir hava gerekmektedir ve bunun için bir kompresör kullanılır. Kompresör tarafından üretilen basınçlı hava MMY sisteminin içerisinde yer alan karıştırma haznesine gönderilir. Burada karıştırılan ve aerosol halini alan hava-kesme yağı karışımı daha sonra nozul aracılığıyla kesme bölgesine püskürtülür [20].

MMY sisteminde kullanılan kesme sıvısının özelliklerini geliştirmek için nano katkı maddeleri kullanılabilmektedir. Bu katkı maddeleri kimyasal ve tribolojik özelliklerine göre içine katıldıkları kesme sıvısının tribo-kimyasal ve termo-fiziksel özelliklerini geliştirmekte ve böylece işleme performansını artırabilmektedirler [21]. Bu katkı maddelerinden biri olan nanografen, yüksek elastikiyet modülü, hafifliği, sürtünme katsayısının düşük olması, yüksek ısıl iletkenliği ve kimyasal kararlılığı gibi üstün özellikleri nedeniyle içine katıldıkları sıvının özelliklerini oldukça geliştirmektedirler. Bütün bu özelliklerinden dolayı son dönemde nano katkı maddeli kesme sıvısı ile araştırma yapan araştırmacıların başvurduğu ilk nano katkı maddeleri arasında yer almaktadır.

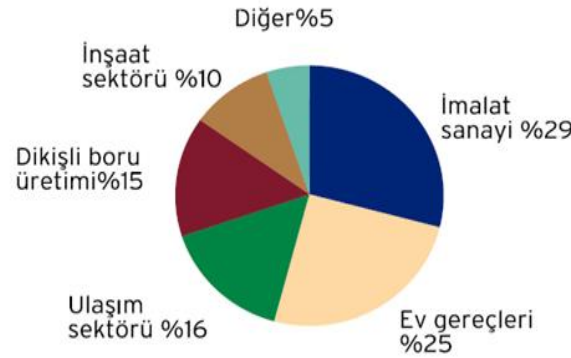
Bu çalışmada, AISI 904L östenitik paslanmaz çelikten tornalama yöntemiyle talaş kaldırılması sırasında bitkisel esaslı kesme yağının içerisindeki nanografen ilavesinin ve kesme parametrelerinin kesme sıcaklıkları (T) ve yüzey pürüzlülüğüne (R_a) etkisi araştırılarak optimum kesme koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Kesme parametrelerini optimize etmek için Taguchi yönteminden faydalanılmış olup değerlendirilmenin yapılması esnasında sinyal/gürültü (S/N) oranları tercih edilmiştir. Ayrıca, varyans analizi (ANOVA) yapılarak işleme parametrelerinin kalite karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırılmış, bağımsız ve bağımlı değişkenler arasında yer alan ilişkiyi belirlemek için de regresyon analizi sonucu elde edilen tahmin modelleri kullanılmıştır.

2. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelik ifadesi, paslanmaya karşı dirençli olan çeliklere verilen genel bir isimdir. Paslanmaz çeliklere paslanmazlık özelliği veren ana alaşım elementi krom olmakla birlikte, en az %12 krom bileşim içinde yer almaktadır. Paslanmaz çelikler, esas olarak Fe-Cr, Fe-Cr-C ve Fe-Cr-Ni ikili veya üçlü bileşik sistemlerine sahiptirler. Fakat mikroyapı ve özelliklerini etkileyebilen birçok alaşım elementleri de içerebilmektedirler. Bu çeliklere yüksek korozyon dayanımı sağlayan unsur, yüzeyde meydana gelen kararlı kromoksit tabakasıdır. Paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı ve mekanik özelliklerini iyileştirmek adına nikelin yanında krom ve molibden de alaşım elemanı olarak bileşime katılabilir [22]. Sahip oldukları üstün mekaniksel özellikleri ve korozyon dirençlerinden dolayı günümüz endüstrisinin en önemli malzemelerinden biri olan paslanmaz çeliklerin 170'ten fazla çeşidi bulunmaktadır [23]. Çeliğe yapılan krom ilavesi, hava veya diğer bir oksitleyici ortama maruz kalan çelik yüzeyi üzerinde birincil krom oksitten ince, sıkı ve sünek bir tabakanın oluşmasına neden olur. Bu tabaka, çelikte pasifliği sağlar ve çeliğin aktif olarak korozyona uğramayacağı anlamına gelir. Oluşan oksit katına pasif tabaka denir ve bu tabaka, çeliğin korozyona karşı direnç göstermesinden sorumludur. Bu çok ince tabakanın kalınlığı 1~10 µm mertebelerindedir. Ancak, bu ince film tabakasının oluşması paslanmaz çeliklerin korozyon direncini bütün şartlarda göstermesi için yeterli bir durum değildir. Bu malzemeleri korozyon açısından daha dirençli bir hale getirmek için tercih edilen yöntemlerden birisi de içeriğindeki nikel ve krom oranını artırmaktır. Böylece, malzeme içerisindeki karbon oranı azalmaktadır [22].

Paslanmaz çelik ailesi çok sayıda farklı alaşım elementlerinden oluşur. Her bir elementin daha yüksek korozyon direnci, ileri mekanik özellikler, daha yüksek mukavemet, sertlik ve pürüzlülük, kaynak sıcaklığının etkisi altında metalürjik kararlılık ve işlenebilirlik gerektiren özel uygulamalar gibi özel ihtiyaçları karşılamak üzere çeşitli özelliklere sahiptir. Bütün bu paslanmaz çelikler, en az %12 Cr içerdiği için yüzeyde kendiliğinden oluşan pasif tabaka tarafından tamamen korunurlar. Çeliklerde “paslanmazlık” terimi, elemental katkıların pasın oluşumunu önleme kabiliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu karakter, Cr olarak zengin, oksit yüzey filminin bir sonucudur

ve bu film, oksijenin mevcut olduğu ortamlarda oluşmaktadır. Paslanmaz çelik malzemelerin çok farklı çeşitte ve özellikte üretiliyor olması endüstride tercih edilme nedenlerinin başında gelmektedir. Bu malzemeler, günümüzde büyük sanayi tesislerin yapısal elemanlarının yapımından ziynet eşyalarının yapımına kadar çok geniş bir ürün portföyünde kullanılmaktadır. Sıradan diye tabir ettiğimiz ve günlük hayatta yoğun olarak kullandığımız pek çok eşya bu malzemelerden imal edilmektedir. Bu eşyalar mutfak eşyalarından tutun da sanat eserine kadar geniş bir yelpazede karşımıza çıkabilmektedir. Bir başka örnek de kimya tesisi verilebilir. Öyle ki bir kimya tesisinin birçok yapsal parçası bu malzemelerden oluşmaktadır [24]. Paslanmaz çeliklerin kullanım oranları ülkelerin ekonomisi hakkında da bilgi vermektedir. Öyle ki, bir ülkedeki paslanmaz çeliklerin tercih edildiği sektörler ve tercih edilme oranı ülkelerin ekonomisinin kuvvetli olup olmadığını göstermektedir. Şekil 2.1’de paslanmaz çeliklerin tercih edildiği sektörler verilmiştir. Paslanmaz çeliklerin içeriğindeki paslanmayı önleyici elementlerin yanında karbon ve katkıları gibi çeşitli elementler diğer ihtiyaçların karşılanması için kullanılabilmektedir [25].



Şekil 2.1. Paslanmaz çeliklerin kullanım alanları [25].

2.1. PASLANMAZ ÇELİKLERE ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ

Alüminyum (Al): Alüminyum elementi bir ferrit yapıcı olarak kullanılmaktadır. İçeriğinde %12 seviyesinde karbon içeren kaynak metaline eklenir ve yapıyı daha ferritik hale dönüştürür. Sıcaklığın yüksek olduğu ortamlarda tufalleşme direncini geliştirir. Ayrıca, nitrür yapıcı olarak da görev yapmaktadır. Titanyumun yanında yüksek dayanıma sahip alaşımlara eklenir ve bu malzemelerin yaşlanma sertleşmesi etkisini azaltır [26].

Karbon (C): Östenit yapıcı olarak kullanılmaktadır. İçine katıldığı malzemeyi sertleştirir ve dayanımını artırır [27].

Niyobyum (Nb): Karbür yapıcı olarak kullanılmaktadır. Östenitik yapıdaki paslanmaz çeliklerin karbür krom çökmesi karşısında korur. Karbür yapıcı gücü kadar olmasa da ferrit yapıcı olarak da kullanılır. İçine katıldığı malzemenin dayanımını ve sertliğini artırır [28].

Kobalt (Co): Çoğu paslanmaz çelik malzemenin yüksek sıcaklık altındaki dayanım özelliklerini ve sürünme direncini artırır [27].

Krom (Cr): Hem ferrit hem de karbür yapıcı olarak kullanılır. Tufalleşme ve korozyon direncini artırır [27].

Mangan (Mn): İçine katıldığı malzemelerde östenit yapıcı görevini görür. Östenitik paslanmaz çeliklerde kaynak çatlama direncini artırır. Düşük sıcaklıklarda östenit yapının daha kararlı olmasını sağlar. Yüksek sıcaklıklarda ise mangan sülfat ve ferrit oluşmasına neden olur [26].

Azot (N): Östenit yapıcı olarak kullanılır. Düşük karbon ve yüksek kromlu çeliklerde tane büyümesini engeller [26].

Nikel (Ni): Dengeleyici ve östenit yapıcı olarak kullanılır. Yüksek sıcaklık altında çalışan malzemenin direncini, sünekliğini ve korozyon dayanımını artırır. Kaynak metalllerinde tokluğu artırırken paslanmaz çeliklerde dayanımı artırır [28].

Silisyum (Si): Silisyum, ferrit yapıcı olarak kullanılmaktadır. Östenitik çelikler için korozyon dayanımını artırır. Yüksek sıcaklık altında tufalleşme dayanımını artırır. Yüksek sıcaklıklarda çalışmak için imal edilmiş çeliklerin karbürizasyon direncini artırır [27].

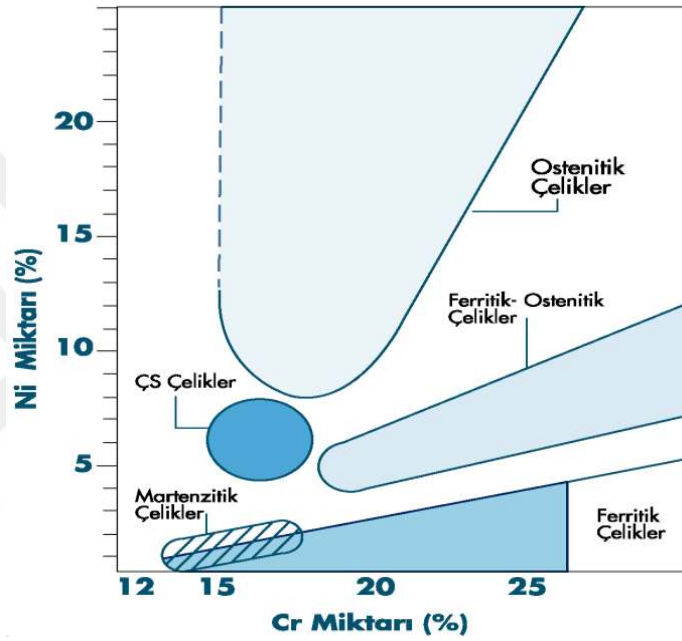
Titanyum (Ti): Nitrür ve karbür yapıcı olarak kullanılır. Kuvvetli bir karbür ve nitrür yapıcıdır. Östenitik yapıdaki paslanmaz çeliklerin karbür krom çökmesi karşısında korur. Ferrit oluşumunda etkilidir. Yüksek sıcaklık alaşımlarından bazılarında sertliği artırmak için kullanılır. Isıya dayanımı yüksek olan alaşımlara alüminyumla birlikte katılır ve yaşlanma sertleşmesini etkiler [26].

Tungsten (Wolfram-W): Ferrit yapıcı olarak kullanılır. Çeşitli yüksek sıcaklık alaşımlarında sürünme direnci ve dayanımı artırmak için kullanılır [28].

Paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonu değiştirilebilir ve böylece farklı yapılarda alaşımlar üretilebilir. Örneğin, paslanmaz çeliğin bünyesindeki krom miktarı artırılarak ya da molibden ve nikel gibi elementler katılarak korozyon direnci artırılabilir. Dahası,

alaşım elementi olarak katılan titanyum, bakır, alüminyum, tantal, azot, silisyum, selenyum ve kükürt katıldıkları alaşım üzerinde olumlu etkilere neden olabilirler. Katılan elementlerin bu şekilde özellikleri değiştirmesi farklı kompozisyon ile çok değişik malzeme üretilmesine imkân vermektedir.

Genel olarak paslanmaz çelikler Fe-Cr-Ni alaşımlarıdır. İçeriklerindeki alaşım elementlerinin oranı değiştirilerek çok farklı özellikte malzemeler elde edilebilir. Paslanmaz çelikler, içerdikleri krom ve nikel miktarına bağlı olarak Şekil 2.2’de görüldüğü gibi 5 ana grupta sınıflandırılırlar [29].

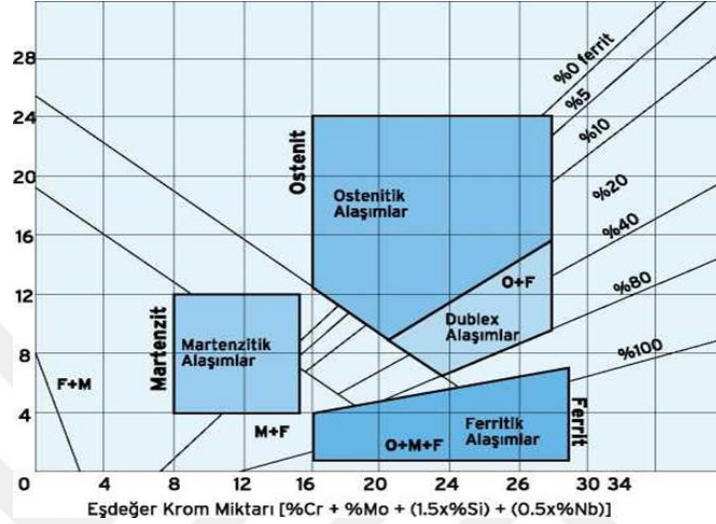


Şekil 2.2. Paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr Oranları [29].

Paslanmaz çeliklerin içerisinde yer alan elementler ve oranları malzemenin iç yapısını ve dolayısıyla gösterdiği özelliği belirlerler. Bu elementleri önem sırasına göre sıralamak gerekirse; krom, nikel, molibden ve mangan sıralaması görülebilir. Bu elementlerden krom ve nikel katıldıkları malzemenin östenitik veya ferritik olmasını sağlar. Bunlardan öncelikle, krom ve nikel iç yapının ferritik veya östenitik olmasını belirler. Paslanmaz çelikler beş grupta toplanmıştır [29]. Bunlar;

1. Östenitik paslanmaz çelikler
2. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler,
3. Dupleks paslanmaz çelikler,
4. Martenzitik paslanmaz çelikler,
5. Ferritik paslanmaz çelikler,

Paslanmaz çeliklerin istenilen mikroyapı ve diğer özelliklerinin elde edilebilmesi için Mn, Si, Mo, Ni, Ti ve N gibi alaşım elementleri kullanılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin mikroyapısı üzerine bileşimin etkisini ayrıntılı olarak tanımlamak amacıyla Cr ve Ni eşdeğerliği kavramı geliştirilmiştir. Şekil 2.3'te Cr ve Ni eşdeğerliklerinin karşılıklı olarak verildiği Schaffler diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.3. Paslanmaz çeliklere ait schaffler diyagramı [23].

Şekil 2.3 Schaffler diyagramı, paslanmaz çeliklerin kaynağında mikroyapı ve bileşim arasındaki ilişkiyi tanımlamada kullanılmaktadır [30].

Paslanmaz çelik türlerinin bazı avantajlarını şu şekilde sıralamak mümkündür;

Korozyon direnci: Paslanmaz çeliklerinin tamamının karakteristik bir özelliğidir. Düşük alaşımlı paslanmaz çelikler atmosferdeki korozyona direnç gösterirken yüksek alaşım içeren türleri klorür ve asit gibi ortamlarda bile bu özelliği sergilemektedir [31].

Düşük ve yüksek sıcaklık direnci: Paslanmaz çeliklerin bazı çeşitlerinde çok yüksek sıcaklık altında bile tufalleşme ve mekanik direncin zayıflaması görülmezken bazı çeşitlerinde ise çok düşük sıcaklık altında bile gevrekleşme görülmez.

Kolay şekillendirme: Talaşlı şekillendirme başta olmak üzere kaynak yapma, sıcak ve soğuk şekillendirme dahil hemen her türlü şekillendirme işlemi kolaylıkla uygulanabilir.

Mekanik direnç: Paslanmaz çelik malzemeler genellikle soğuk şekillendirme yöntemiyle pekleşirler. Dayanımı artırmak malzeme maliyetini ve ağırlığını yükseltebilir. Böyle bir durumda malzeme kalınlığı azaltılarak fiyat ve ağırlık düşürülebilir. Bunun haricinde, bazı paslanmaz çelik türlerine ısıtılabilir ve dayanımı artırılır.

Görünüm: Bu malzemeler, istenilen her türlü yüzey kalitesinde üretilebilirler. Yüzeyin görünümüm iyi olması ve bakımının kolay yapılabilmesi tercih edilme nedenlerindendir.

Hijyen: Bu malzemeler kolay temizlenebilir malzemelerdir. Bu nedenle mutfak eşyası, gıda, hastane ve ilaç sanayi gibi hijyenin önemli olduğu sektörlerde çok fazla tercih edilirler.

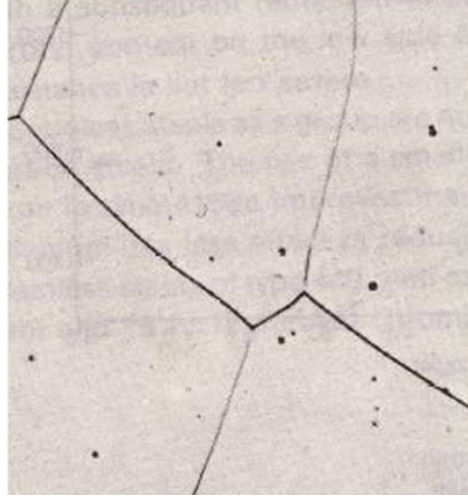
Çalışma ömrü: Paslanmaz çelik malzemeler, uzun ömürlü ve kolay bakım yapılabilen malzemelerdir. Bu nedenle bu malzeme ile üretilen ürünler de uzun ömürlü gereçler sınıfına girmektedir [29].

Bu malzemelere ait fiziksel özelliklerden biri de manyetikliktir. Özellikle saf krom içeren paslanmaz çelikler manyetikliği yüksek malzemelerdir. Ancak, östenitik krom ve nikel içeren paslanmaz çelik türleri amanyetikler [31].

2.2. FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Ferritik paslanmaz çelikler, otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılmakta olup, en kapsamlı ürün çeşitliliği olan paslanmaz çelik türüdür. Bu çelikler 400 kalite tanımlaması ile bilinmektedir ve manyetiklenme özelliği gösterirler. Bu çelikler, süneklikleri ve korozyon dirençleri yüksek malzemeler olup içerisinde %11 ile %17 arasında krom barındırmaktadır [32]. Hacim merkezli kübik yapıya sahip olan bu malzemelere ısıtıl işlem uygulanmamaktadır.

Yüksek sıcaklık altında bile ferritik yapıyı terk etmeyen bu malzemeler, yapılarında niyobyum ve titanyum elementini barındırarak kimyasal kompozisyonlarını korumaktadırlar. Bu şekilde, yapılarındaki süneklik ve korozyon direncini sağlamaktadırlar. Şekil 2.4.'te ferritik paslanmaz çeliğe ait mikro yapı verilmiştir [34].



Şekil 2.4. Ferritik Paslanmaz Çeliğin Mikro Yapısı [34].

Ferritik paslanmaz çelikler, kaynak ve şekillendirilme kabiliyetleri düşüktür. Otomobil endüstrisinde, mutfakta kullanılan gereçlerde, otomobil ve egzoz elemanlarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar [29].

2.3. MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Martenzitik paslanmaz çelikler, içeriğinde %0,2 ile %1,0 arası molibden, %12 ile %15 arası krom ve %0,1 ile %1,2 arasında karbon içeren malzemelerdir. Bu malzemelerin içeriğindeki karbon oranı düşüktür ve bu nedenle ısıtılma işlemi uygundur. Bu malzemelerin tercih edilmesinin asıl sebebi dayanımı ve sertlikleridir. Bu nedenle korozyon dirençleri ikinci planda kalmaktadır. Korozyon direncini artırmak için malzemenin içeriğine molibden ve vanadyum eklenmektedir. Bu malzemeler ayrıca manyetik yapıya sahiptirler ve birkaçı haricinde içeriğinde nikel barındırmazlar [35]. Özellikle korozyon ile birlikte dayanım ve sertliğin istendiği çalışma ortamlarında tercih edilirler. Örneğin; takım çeliği için oldukça kullanışlıdır [36]. Şekil 2.5'te martenzitik paslanmaz çeliklerin mikroyapı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.5. Martenzitik Paslanmaz Çeliğin Mikro Yapısı [36].

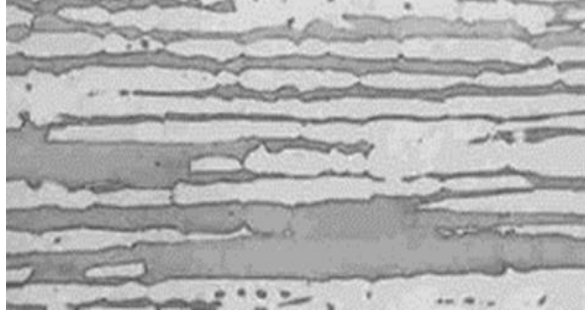
Martenzitik yapıya sahip olan bu çelikler içeriğindeki karbon oranına göre sertlikleri ve dayanımları artırılabilirken süneklikleri ve toklukları azalmaktadır. Temperleme işlemi sonrası gerginlik giderme işleminde sonra yüksek korozyon dayanımına ulaşan bu malzemeler, östenitik ve ferritik yapılara göre daha düşük korozyon direncine sahiptir. İçeriğindeki elementlerin durumuna ve oranına göre yapılarında düşük miktarda da olsa kalıntı östenit yapı görülebilmektedir [32].

Temperleme ya da menevişleme sonrasında gerginlik giderme işlemine tabi tutulan paslanmaz çelikler optimum korozyon dayanımını elde ederler. Östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklere kıyasla martensitik paslanmaz çeliklerin korozyon direnci daha düşüktür. Buna karşın, imalata uygunluk derecesi daha yüksektir. Bu malzemeler, içeriklerindeki alaşım elementlerinin çeşidi ve oranına bağlı olarak yapılarında bir miktar kalıntı östenit yapı barındırabilmektedirler [36].

2.4. DUBLEKS (FERRİTİK-ÖSTENİTİK) PASLANMAZ ÇELİKLER

Mikroyapıları çoğunlukla eşit seviyede östenit ve ferrit barındıran paslanmaz çelikler korozyon dirençleri içeriğindeki alaşım durumuna göre farklılık gösterebilmektedir. Dupleks diye bilinen östenitik-ferritik paslanmaz çelikler, östenitik yapıli çeliklere göre daha iyi dayanıma sahip olmakla birlikte, bölgesel korozyon, çatlak ve gerilme korozyonuna karşı daha iyi bir dayanıma sahiptirler. Dupleks kalite paslanmaz çelikler, içeriğindeki %19-28 aralığındaki krom, %5'e kadar molibden ve östenitik çeliklere göre daha az nikel içerikleri nedeniyle daha yüksek mukavemet değerine sahiptirler. Bu çelik türlerinin göstermiş olduğu en büyük dezavantaj ise çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklarda kırılgan hale gelmeleridir [36]. Östenitik ve ferritik yapının bir arada olması nedeniyle hem ferritik hem de östenitik çeliklere nazaran daha iyi mekanik özellikler göstermektedirler. Bu çeliklerin kullanım yerlerini saymak gerekirse

petrokimya endüstrisinin yapısal elemanları, denizcilik uygulamaları ve sıcak su tankları ilk akla gelenleridir [32]. Şekil 2.6’da dubleks paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.6. Dubleks paslanmaz çeliğin mikro yapısı [36].

2.5. ÇÖKELME YOLUYLA SERTLEŞTİRİLEN PASLANMAZ ÇELİKLER

Yaşlandırma yöntemi aracılığıyla sertleştirilen paslanmaz çelikler veya diğer ismiyle çökelme yoluyla sertleştirilmiş paslanmaz çelikler, içeriğinde başlıca olarak nikel ve krom içermekte olup östenitik ve martensitik kalitelerin arasındaki bir kalitede ve her ikisinin de özelliklerini taşıyan bir paslanmaz çelik çeşididir. Bu çelikler, martensitik çeliklere benzer bir şekilde ısıtılma işlemiyle sertleştirilebildikleri gibi östenitik çeliklere benzer bir şekilde korozyon direnci gösterebilirler. Bu çeliklerde sertleştirme işlemi, molibden, niyobyum, bakır, titanyum ve alüminyum gibi elementlerin bir veya daha fazlasının kullanılması ile sağlanabilir. İsmi içeriğindeki %17 krom ve %4 nikel oranından alan bu malzeme, buna ek olarak %4 oranında bakır ve %0,3 oranında niyobyum içermektedir [36]. Çökelme yoluyla sertleştirilmiş paslanmaz çelik malzemelerin sertleştirme prosesi çözelti sonrası ani soğutma işlemine maruz bırakılarak çökme işleminin gerçekleşmesi ve sonunda korozyon ve mekanik direnci yüksek paslanmaz çelik edilmesi prensibine göre çalışmaktadır. Ani soğutma işlemi için kullanılan bir diğer isim ise yaşlandırma.

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklere, uygulanan işlemler sayesinde yapıları oldukça geliştirilebilmektedir. Çözelti içerisinde bulundurma işlemi ve sonrasında gelen ani soğutma işlemi nedeniyle bu çelikler, martensitik paslanmaz çeliklerin dayanımına sahip olmaktadır. Dahası, bu malzemeler diğer taraftan da östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon direncini göstermektedirler. Dolayısıyla, iki farklı çelik türünün olumlu özelliklerini bünyesinde barındırabilmektedir. Bu işlem sonrasında normal

yapısına dönen paslanmaz çelikler şekillendirme özelliklerini de geliştirmektedirler. Şekillendirme işlemi sonrası tekrar ısıtılabilirliği için mukavemet değerlerini de artırabilmektedirler. 480°C ile 600°C aralığında yapılan bir ısıtılma işlemi ile bu çeliklerin mukavemet değeri daha da artmaktadır. Öyle ki, artan mukavemet değerleri martensitik paslanmaz çeliklere nazaran daha yüksek olabilmektedir [37]. Şekil 2.7’de çökeltmeyle sertleştirilmiş paslanmaz çeliğin mikro yapısı verilmiştir.



Şekil 2.7. Çökeltmeyle sertleştirilmiş paslanmaz çeliğin mikro yapısı [36].

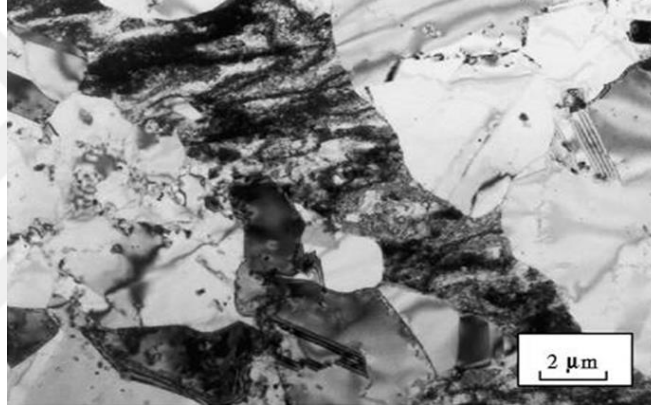
Çökeltiye alınarak sertleştirilen paslanmaz çeliklerin bir olumlu yönü daha bulunmaktadır. Bu da malzemenin mekanik ve işlenebilirlik özellikleri geliştirilmiş bir şekilde temin edilebilmesidir. Bu çelikler, şekillendirme işlemi sonrası basit bir ısıtılma işlemi sayesinde çok daha mukavim bir hal alabilmektedirler. Bu işlemin düşük sıcaklık seviyesinde yapılmasıyla birlikte ısıtılma işlemiyle ilgili olarak ortaya çıkabilen çarpılma veya bozulma görülmemektedir [36].

2.6. ÖSTENİTİK YAPIDAKİ PASLANMAZ ÇELİKLER

Östenitik yapıya sahip paslanmaz çelik malzemeler, içeriğinde yaklaşık olarak %12 ile 25 arasında krom, %8 ile 25 arasında nikel ve %20’ye kadar manganez içermektedirler. Burada manganez ve nikel östenit oluşturu görevini yerine getirmektedirler. Hem kullanım alanının genişliği hem de alaşım elementi çeşitliliği açısından en çok karşılaşılan grup bu paslanmaz çelik türüdür. Bu malzemeler hem oda sıcaklığında hem de daha yüksek seviyedeki sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik yapıya sahip olduklarından ve bu yapılarını her şartta koruduklarından ısıtılma işlemi uygun değildir. Toklukları, süneklikleri ve işlenebilirlikleri düşük seviyedeki sıcaklıkta bile üst

düzeştir. Ayrıca, bu malzemeler antimanyetik ve dayanımları ancak soğuk şekillendirme sonrası artmaktadır [38].

Bu alaşımlar üst seviyedeki korozyon dayanımları ve şekillendirilebilirlikleri nedeniyle büyük bir avantaj taşırlar. Bu özellikleri nedeniyle çoğu mühendislik uygulamalarında tercih edilirler. Bu çeliklerin en yaygın türleri 302 ve 304'tür. Bu malzemelerin uygulama alanı oda sıcaklığı ve yüksek seviyedeki sıcaklıklarda olabilir. Dolayısıyla, çok geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Dünya üzerindeki paslanmaz çeliklerin yarısından fazlasını (%60) bu çelikler oluşturmaktadır. İçeriğinde karbon seviyesi %0.15, krom seviyesi %16 oranında olmaktadır ve bunlara ek olarak nikel ve/veya mangan içermektedirler. Bunun temel sebebi ise yüksek sıcaklıklarda kararlılığını artırmaktır [36]. Şekil 2.8'de östenitik paslanmaz çeliğe ait mikro yapı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.8. Östenitik Paslanmaz Çeliğin Mikro Yapısı [36].

2.6.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Östenitik yapıdaki paslanmaz çeliklerin yüzey merkezli kübik yapılarını korudukları ve bu nedenle ısıt işlemler için uygun olmadıkları ve ancak soğuk işleme ile sertleştirilebildikleri daha önce söylenmişti. Bu çelikler, içeriğindeki östenitin kararlı duruma gelip gelmemesine bağlı olarak yarı kararlı ve kararlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yarı kararlı paslanmaz çelikler soğuk işleme sonucu belli bir seviyede martensit yapıya dönüşmekte ve martensit-östenit arası bir yapının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Kararlı östenitik paslanmaz çeliklerde ise bu durum soğuk işleme sonrasında da yapının östenit kalması ile açıklanabilmektedir [38]. Yapı olarak bakıldığında östenitik yapıdaki paslanmaz çelikler soğuk işleme ile sertleştirilebilir malzemelerdir. Ayrıca, ısıt işlemler için uygun olmamaları, manyetik olmamaları,

işlenebilirliklerinin yüksek olması, korozyon dayanımının çok iyi olması ve yüksek sünekliğe sahip olmaları ilk akla gelen özellikleridir.

2.6.2. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İmalatı

Östenitik yapıdaki paslanmaz çelikler genellikle haddeleme yöntemiyle üretilmektedirler. Endüstride kullanılan östenitik paslanmaz çelik malzeme şekilleri arasında yer alan sac plakalar, plaka veya şerit malzemeler çoğunlukla sıcak haddelenmiş olup 1050 °C’de östenitlemeye tabi tutulmuş ve sonunda yumuşatılmıştır. Bazı şerit ve sac ürünler ise soğuk haddelenmeye tabi tutulmaktadır [39].

Sac plaka ve şerit halinde üretilen östenitik paslanmaz çelikler, önce sıcak bobin yapıdan bantlar haline getirilmek için haddeleme, tavlama ve yüzey temizleme, yüzey taşlama, ya da uygun atmosferde kontrollü tavlama uygulanır. Daha sonra ise sac ya da şerit malzemeler, soğuk haddeleme yardımıyla istenilen kalınlık ve boyuta getirilir [40].

2.6.2.1. 904L AISI 904L Paslanmaz Çelik ve Kullanım Alanları

1950’li yıllardan itibaren nükleer ve havacılık alanındaki gelişmeler nedeniyle paslanmaz çelik tür ve miktar açısından en çok tercih edilen malzeme grupları arasında yer almaktadır [41]. Haliyle bu süreçte bu malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi, yeni malzeme elde edilmesi gibi nedenlerden dolayı birçok deney yapılmıştır ve bu deneyler sonucunda martensitik paslanmaz çeliklere nazaran daha üst seviyedeki sıcaklıklara kadar dayanım özelliklerini koruduğu ortaya çıkmıştır [42]. Östenitik yapıya sahip paslanmaz çeliklerin en çok kullanıldığı sektörlerden biri de imalat endüstrisidir. Özellikle gıda işleme ve kimyasal ürünlerin üretimini yapan makinelerin yanı sıra korozyon direncinin yüksek olmasının istendiği makine parçalarının üretilmesinde yoğun olarak tercih edilmektedir. Bu malzemeler arasında yer alan 904L kalitedeki paslanmaz çelik türü, yüksek korozyon etkilerinin olduğu, zor şartlar altında çalışması istenen bölümlerde tercih edilmektedir [43].

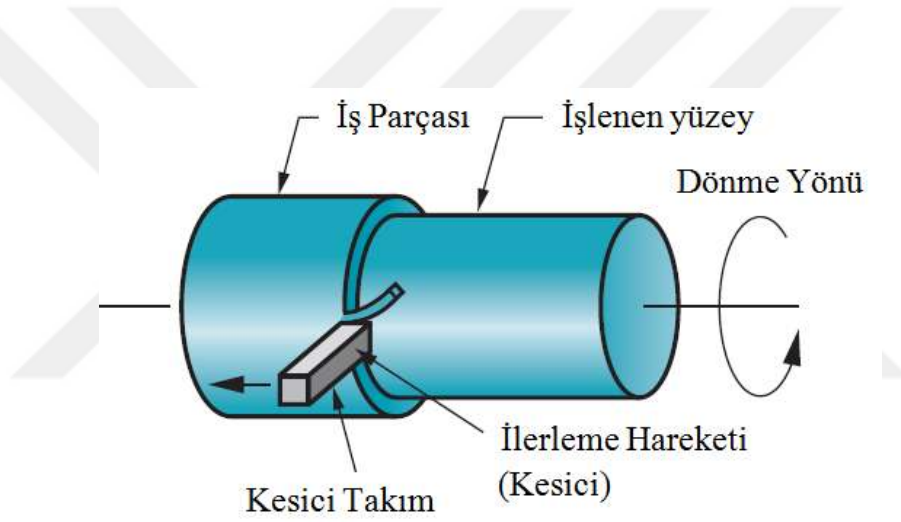
Çizelge 2.1.’de Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşimleri Ve Kullanım Alanları verilmiştir [38].

Çizelge 2.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşimleri ve Kullanım Alanları [38].

AISI	Cr %	Ni %	C (max %)	Mn %	Diğer %	Tipik uygulamalar
301	17	7	0.15			Yüksek pekleşme hızı, yüksek dayanım, yüksek sünekliğin gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Tren yolu arabaları, treyler gövdeleri uçak parçaları, sıkma bilezikleri otomobil tekerlek kapakları, çeşitli süslemeler
304	19	9	0.08			Kaynak sırasında karbür çökmesi sınırlamak için tip 302'nin düşük modifikasyonu. Kimyasal ve yiyecek işleme ekipmanları, soğuk kaplar, sac kaplamalar
304L	19	10	0.03			Kaynak sırasında karbür çökmesi sınırlamak için tip 304'ün daha fazla düşük karbon modifikasyonu. Kömür silo hatları, sıvı gübreleme tankları
309	23	13.5	0.20			Yüksek sıcaklık dayanımı ve oksitlenme direnci, uçak ısıtıcıları, ısı işlem ekipmanları, tavlama kapakları, fırın kaplamalar, pompa parçaları.
310	25	20.5	0.25			309'dan daha yüksek oksitlenme direnci ve yüksek sıcaklık dayanımı, ısı değiştiricileri, kaynak dolgu metalleri, gaz türbin bıçakları
316	12	8	0,08	2,5		304'den daha yüksek korozyon direnci, yüksek sürünme dayanımı, kimyasal taşıma ekipmanları, maya tüpleri.
316L	12	8	0,03	2,5		Tip 316'nın daha fazla karbon modifikasyonu taneler arası karbür çökmesini önlemek zorunda olduğu kaynaklı yapılar, 316L yoğun kaynak gerektiren yerlerde kullanılır.
321	18	10.5	0.08		Ti5 XC	Çok şiddetli korozyon şartlarına maruz kaynaklı bağlantılar, kaynatma kazanları, kabin ısıtıcıları.
347	18	11	0.08		Nb 10X C	Yüksek sürünme dayanımıyla birlikte tip 321'e benzer, uçak egzost bacaları, jet motor parçaları, kimyasal maddeler için kaynaklı tanker arabaları.
904L	19,64	24,7	0,012	1,25		1.4462 dubleks kalite paslanmaz çelik malzemeden çok daha iyi bir korozyon direncine sahip olan bu paslanmaz çelik kalitesi, oldukça iyi bir anti manyetik yapıya sahiptir. Süper östenitik grubunda yer alan AISI 904L (EN 1.4539) kalitesi mükemmel korozyon direncinin yanında oldukça iyi kaynak ve mekanik özelliklere sahiptir. Petrokimya, kâğıt, medikal sektörlerinde ve reaktörlerde tercih edilir. Yüksek sıcaklık alaşımları ya da süper alaşımlar; daha iyi dayanım-ağırlık oranı ve geleneksel alaşımlarla karşılaştırıldığında daha yüksek ısı ve korozyon dayanımı sağlamaları için geliştirilmişlerdir

3. TORNALAMA

Tornalama, malzemeden daha sert ve aşınmaya karşı dirençli bir kesici uç kullanılarak kendi ekseninde dönmekte olan iş parçasından talaş kaldırma işlemi ile arzu edilen ölçüler çerçevesinde yapılan işlemler bütünüdür. Şekil 3.1’de talaş kaldırma işleminin, hareketli kesicinin ilerlemesi ile dönen parça üzerinden talaş kaldırma işlemini göstermektedir. Sonuç olarak tornalama işlemi, iş parçası üzerinden üç boyutlu olarak talaş kaldırılması sonucunda silindirik parçaların şekillendirilmesinde kullanılmaktadır [44].



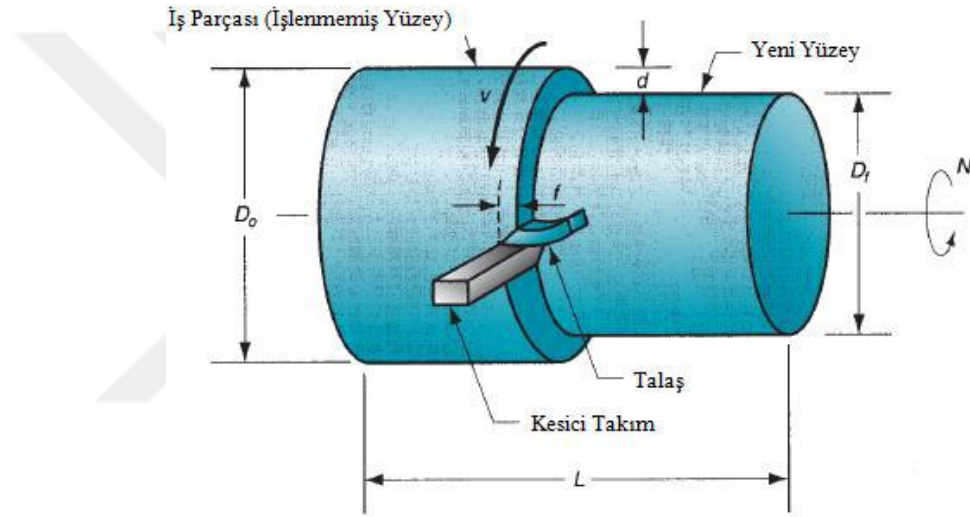
Şekil 3.1. Tornalama işlemi [44].

Tornalamada daha iyi sonuç alınabilmesi, işleme yöntemine, kesici takım cinsine, soğutma sıvısı kullanımına, iş parçası malzemesine ve boyutlarına, vb. gibi etmenler dikkate alınarak uygulama yapıldığında maliyet, kesici takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü gibi etmenler kontrol altına alınmış olur. Tornalamada işleme yöntemine göre kesici takım türleri tercih edilir. Tornalama işleminin bölümleri, alın tornalama, boyuna tornalama, kopya tornalama, kesme, kanal açma, iç çap tornalama, profil tornalama ve dış açma olarak sıralanabilir.

Tornalama işleminde, ilerleme yönü, makine miline göre ağırlıklı olarak eksendedir. Talaş kaldırılan yüzeyde radyal ilerleme daha baskındır. Tornalama işlemlerinde kesme karakteristikleri, diğer işleme yöntemlerine benzer nitelikte olup, bir talaş kaldırma işlemi için tek bir çeşit kesici kullanılmaktadır. Tornalama işleminde talaş kaldırılmaya

başlandığı andan itibaren istenilen şekil ve ölçü elde edilinceye kadar iş parçası-kesici takım teması sürdürülmektedir. Yüzey operasyonlarında kesme hızı, iş parçası çapı ile orantılıdır.

Tornalamada yüzey pürüzlülüğü işleme sonunda önemli olan çıktı parametresidir. Tornalama işleminde, yüzey kalitesini etkileyen kesme parametreleri kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesici ucun yarıçapı şeklinde sıralanmaktadır. Talaş derinliği ve ilerleme arttığında yüzey pürüzlülüğünde de artış görülebilmektedir [45]. Tornalama işlemi yapılırken kesme parametrelerinin doğru seçimi, yüzey pürüzlülüğüne doğrudan katkı sağlamakla birlikte, tornada talaş kaldırma işlemin de kullanılan kesme parametreleri Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

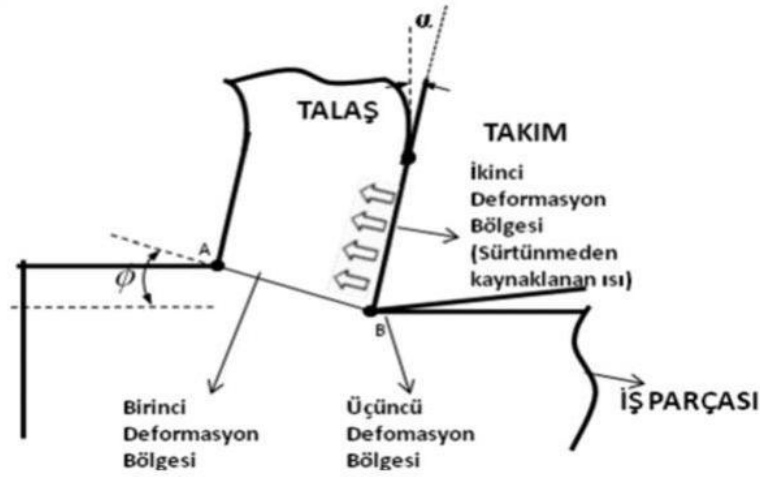


Şekil 3.2. Tornalamada işleme parametreleri [44].

3.1. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ

Talaşlı imalat, torna, freze ve matkap gibi talaş kaldırma tezgahlarını kullanarak uygun kesici takım aracılığıyla iş parçası yüzeyinden talaş şeklinde malzemelerin kaldırılma işlemidir. Talaşlı imalat esnasında tercih edilen yöntemler farklı olsa da (tornalama, frezeleme vb.) talaş oluşumu aynı esasa dayanmaktadır. Temelde talaş denilen küçük malzemeler bir kayma işlemi ile beraber dar bir bölgede gerçekleşmektedir (Şekil 3.3.’de gösterilen birincil deformasyon bölgesi). İş parçası ve kesici ucun temas etmesiyle beraber iş parçası malzemesinde elastik deformasyon meydana gelmektedir. Kesme işleminin ve buna bağlı olarak basıncın devam etmesiyle birlikte iş parçası malzemesi akma sınırını aşar ve malzemede plastik deformasyon görülmeye başlanır. Plastik deformasyon kalıcı şekil değişikliklerinin ortaya çıktığı aşamadır. İş parçası ve

kesici ucun birbirlerine olan nispi hareketleri ile plastik deformasyon devam eder ve istenilen şekil ve ölçü elde edilinceye kadar bu süreç kendini yeniler [46].



Şekil 3.3. Talaşlı imalatta deformasyon bölgeleri [47].

Kesme esnasında ortaya çıkan dislokasyon birikmesi iş parçasında deformasyon sertleşmesinin görülmesine neden olmaktadır. Bu sertleşme doyum seviyesine ulaştığında ise iş parçası kayma eylemine maruz kalmakta deformasyona uğrayan bölge kesici takımın yüzeyinden geçerek dışarıya atılmaktadır [46].

Talaşın oluşması için üç temel gereksinime ihtiyaç vardır:

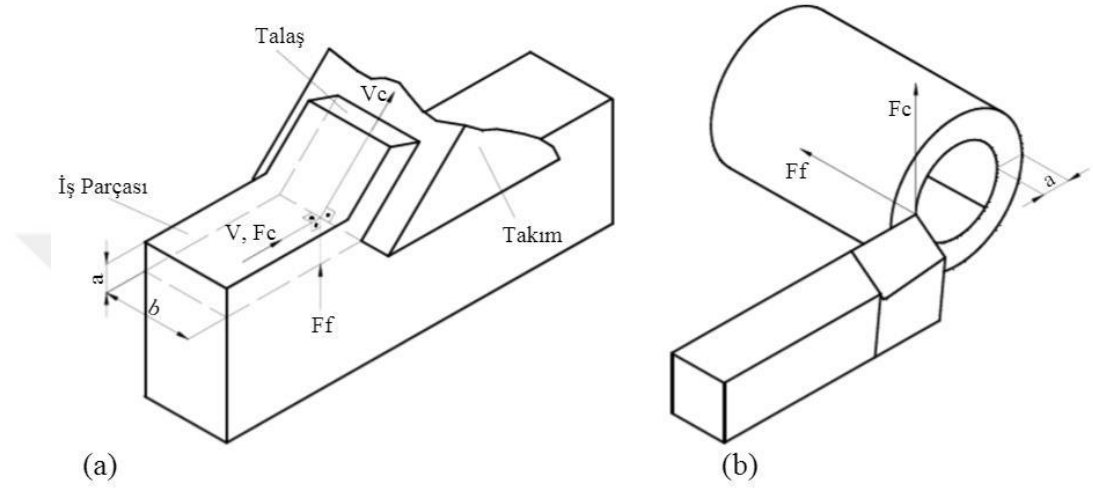
- Kesici takım malzemesi iş parçası malzemesinden daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençli olmalıdır,
- Kesici takımın iş parçasına dalmasını sağlayacak uç geometrisi olmalıdır,
- İş parçası malzemesi arasında bir eşleşme olmalı ve bu eşleşme nispi hareketlerle devam etmelidir [46].

Talaş kaldırma işleminin temelini dik (ortogonal) kesme mekaniği ve eğik (oblik) kesme mekaniği oluşturmaktadır. Ortogonal kesme iki boyutlu kuvvet sistemini gerektirirken, oblik kesme üç boyutlu kuvvet sistemi ile tanımlanabilir [48].

3.1.1. Dik (Ortogonal) Kesme

Dik kesme, genellikle, talaş kaldırma esnasında oluşan mekaniği tanımlamak için kullanılmaktadır. Dik kesmede takım kesme kenarı ile malzeme arasındaki açı dik olarak talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. Şekil 3.4'te şematik olarak ortogonal kesme işlemlerinin gösterilmiştir. Dik kesme, kesme hızına dik olan kesme kenarı geometrisine uygun bir takımla şekillendirme işlemine benzerdir. Kesme derinliği (a) ve kesme

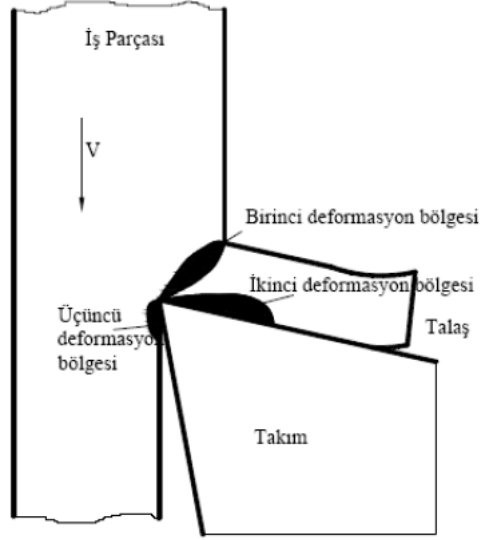
genişliği (b) ile talaş diye tabir edilen küçük parça, iş parçasından koparak uzaklaşır. Dik kesme işleminde kesme, kesme kenarı boyunca uniform olarak değerlendirilmektedir. Böylece, malzemenin kenarında kayma meydana gelmez ve iki boyutlu bir şekil değiştirme meydana gelir. Bir başka deyişle, kesmeye olanak sağlayan kuvvetler yalnızca ana kesme kuvveti ve ilerleme kuvveti olarak adlandırılan hız ve deformasyona uğramamış talaş boyunca g harcar [48].



şekil 3.4. Ortogonal kesme geometrisi [(a) Düzlemsel, (b) silindirik [49].

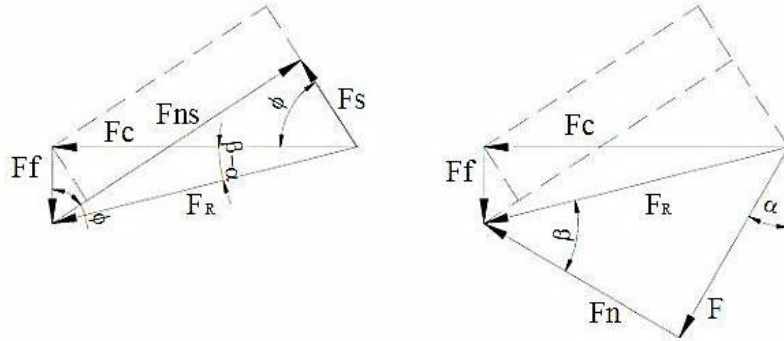
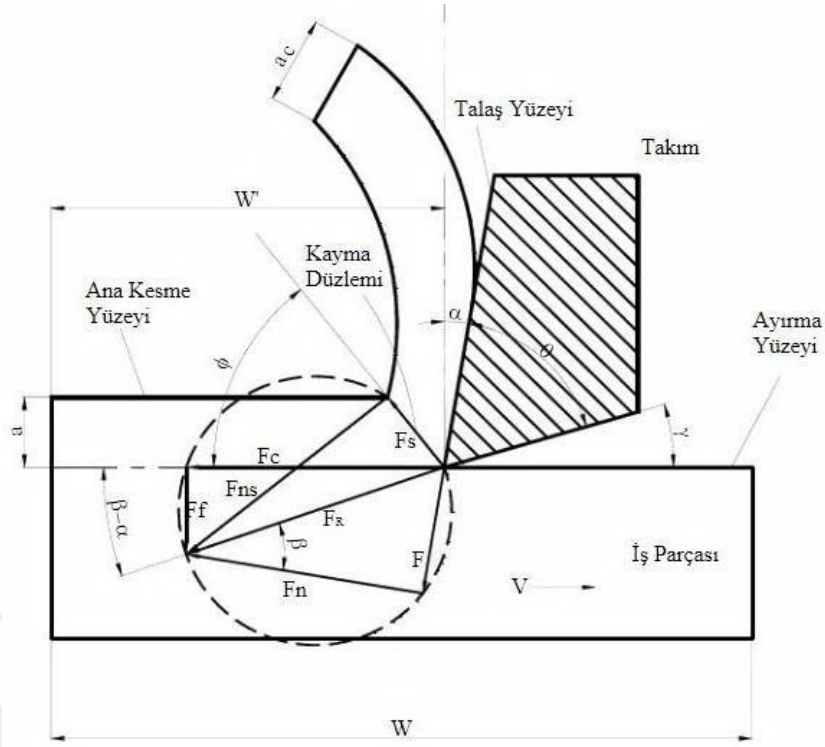
şekil 3.5'te gösterilen ortogonal kesmeye ait, kesit görünüşten de görüldüğü gibi kesme esnasında üç tane deformasyon bölgesi ortaya çıkmaktadır. Kesici takımın kenarı iş parçasına dalmaya başladığı ilk anda kesme başlar ve talaş formu ortaya çıkmaya başlar ve birincil kayma bölgesi oluşur. Kesmenin devam etmesiyle birlikte talaş nispeten şekil değiştirir ve kesici takımın talaş yüzeyi boyunca yaptığı hareketle ikincil deformasyon bölgesi ortaya çıkar. Kesici takımın yan yüzeyinde meydana gelen sürtünme sonucu üçüncül bölge ortaya çıkar. İlk andan itibaren talaşta kesici takıma yapışma eğilimi ortaya çıkar ve bu bölgede yapışma meydana gelir. Buraya da yapışma bölgesi denir. Birincil bölgede yani kayma bölgesinde meydana gelen sürtünme yaklaşık olarak malzemenin kayma gerilmesine denk olmaktadır. Bu durumda talaşın yapışması biter ve kayma sürtünmesiyle beraber talaş yüzeyinde talaşın akması meydana gelir. Bir süre sonra takım ve talaş ayrışmaya başlar ve bu işlemin sonunda kesici takım ile talaş arasındaki temas sonlanır. Bu temasın uzunluğu genellikle malzeme özellikleri, kesici takım geometrisi ve kesme hızına bağlıdır. Birincil kesme bölgesini detaylı incelemek gerekirse burada iki tip varsayım ön plana çıkmaktadır. Bunlardan ilki Merchant tarafından geliştirilen ince yapılar için kesme bölgesinin belirlenmesinde ortogonal

kesme modelidir. İkinci varsayımda ise Lee, Shaffer, Palmer ve Oxley plastisite kanunlarına uygun olarak kayma bölgesindeki deformasyonda kayma açısını tahmin edebilen bir analiz geliştirmişlerdir. Bu analiz sonucunda ince tabakalar için kayma deformasyon bölgesi tahmin edilmiştir. Kesme kuvvetleri ve deformasyona ait geometrik yapı Şekil 3.5'te verilmiştir [50].



Şekil 3.5. Ortogonal kesmede oluşan deformasyon bölgeleri [50].

Şekil 3.6'da takım ucunda yoğunlaşmış olan dairesel kuvvet diyagramı gösterilmiştir. Bileşke kuvvet (F_R) ve normal kuvvet (F_N) arasındaki açıyı β sürtünme açısı olarak tanımlanmaktadır. Bu da takım-talaş ara yüzey alanında oluşan sürtünme katsayısını belirlemek için kullanılmaktadır.



Şekil 3.6. Ortogonal kesme mekaniği [50].

F_s : Kayma düzleminde etkide bulunan kuvvet

F_c : Kesme (işleme) kuvveti (esas kesme kuvveti)

F : Sürtünme kuvveti

F_f : İlerleme kuvveti

F_R : F_c ile F_p bileşke kuvveti

F_n : Sürtünme kuvvetine dik kuvvet

F_{ns} : Kayma kuvvetine dik kuvvet

α : Talaş açısı

β : Sürtünme açısı

ϕ : Kayma açısı

θ : Kama açısı

γ : Serbest kenar boşluk açısı

a : Deforme olmamış talaş kalınlığı

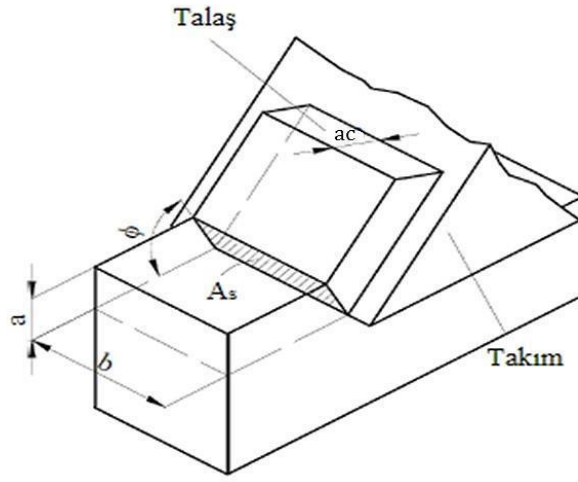
a_c : Deforme olmamış talaş kalınlığı

W : Parça uzunluğu

W' : Çıkan talaş uzunluğu

$h.W = h_c.W'$ $h_c > h$ $W' < W$

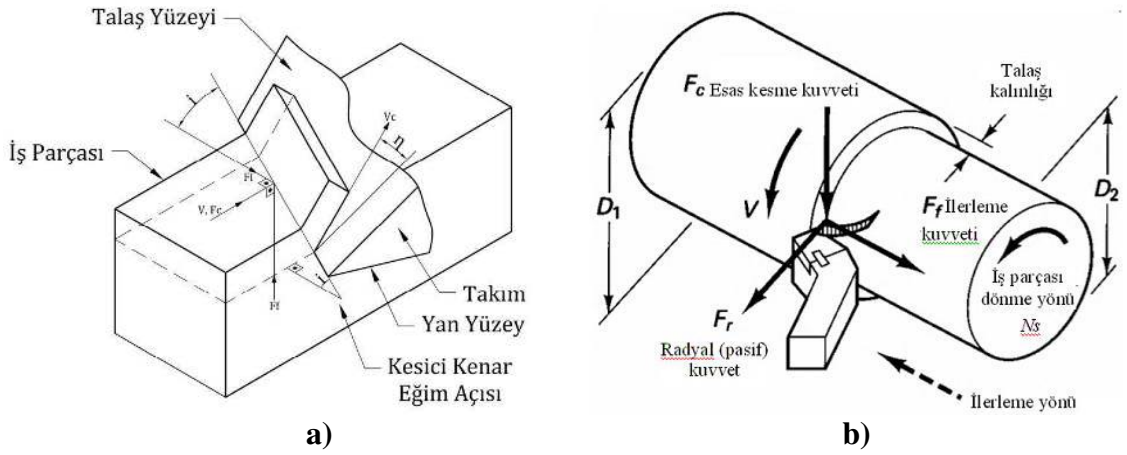
Şekil 3.7’de deformasyon, kesme kenarının köşe olduğu, yarıçap veya pah olmadığı ve kayma düzleminin çok ince olduğu bölgede meydana gelmektedir. Kayma açısı, kesme hızı ile kayma düzlemi arasındaki dik açı olarak tanımlanmıştır. Kayma düzleminde yer alan kayma gerilmesi (τ_s) ile normal gerilme (σ_s) sürekli olarak oluşmaktadır. Talaş üzerinde meydana gelen bileşke kuvvet (F_R) kayma bölgesine uygulanmıştır ve kesici takım talaş arayüzeyi arasında bulunan bölgede ortalama sürtünme olduğu kabul edilerek hesaplanmaktadır. Bileşke kuvvet (F_R), ilerleme kuvveti (F_p) ile esas kesme kuvveti (F_c) arasındaki kuvvettir [48].



Şekil 3.7. Ortogonal kesmede kayma düzlemi [50].

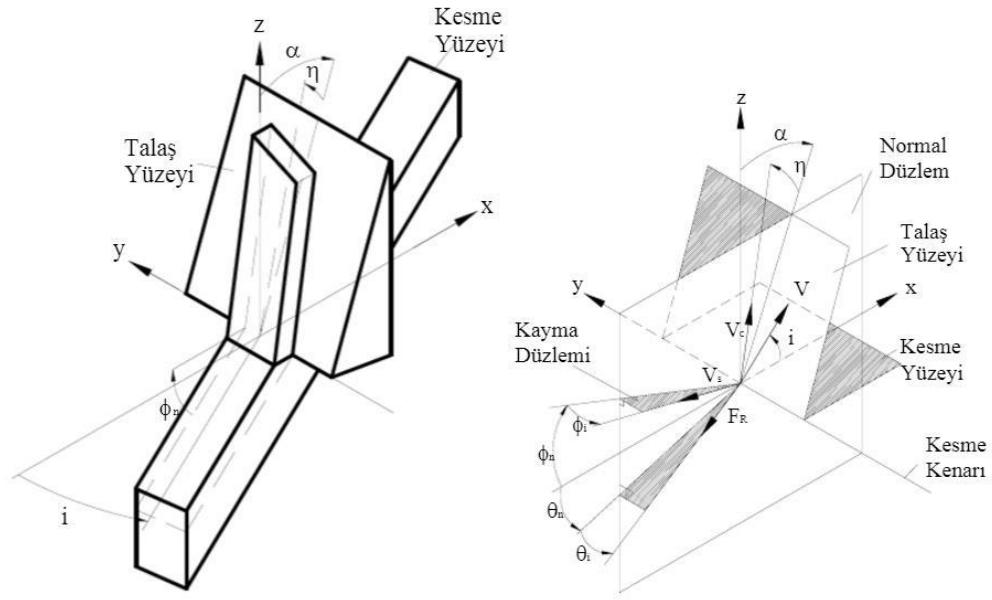
3.1.2. Eğik (Oblik) Kesme Mekanikliği

Şekil 3.8’de eğik kesme işleminin şematik gösterimi verilmiştir. Eğik kesme ile dik kesme arasındaki farkı bulmak için Şekil 3.5 ve Şekil 3.7’de gösterilen kesme geometrisinin detaylı incelenmesi ile bulunabilir. Eğik kesmeye ait mekanik Şekil 3.8’de verilmiştir. Kesme hızı, ortogonal kesme kenarına uzanan dikliktir. Buna karşın eğik kesmede, normal düzlem ile kesme kenarı arasında bir (i) eğim açısı yer almaktadır [48].



Şekil 3.8.Oblik kesme mekaniğinin şematik gösterimi (a) Düzlemsel, (b) Silindirik [50].

Kesme hızına paralel olan ve kesme kenarının normalini temsil eden düzlem, P_n olarak gösterilip normal düzlem olarak tanımlanmaktadır. Talaşın meydana gelmesi ve kesme olayı, normal düzlemlerin tamamında benzerdir ve kesme kenarına dik olarak yerleşmektedir. Bir başka deyişle, talaş hızı, kesme hızı ve kayma hızı kesme kenarına dik uzanmaktadır. Ortogonal kesme işleminde bileşke kuvvetle beraber talaş yüzeyindeki diğer kuvvetlerin tamamı aynı normal düzlemdir. Üçüncü doğrultuda olan ve normal düzleme dik uzanan bir kuvvet yoktur. Eğik kesme operasyonlarında kesme hızı bir eğilime sahiptir ve bu nedenle kayma, talaş akışı, sürtünme ve bileşke kuvvet doğrultuları üç kartezyen koordinatın bileşkesidir. Şekil 3.7’de verilen x eksenini kesme kenarına dik görülmektedir. Ancak x eksenini kesme yüzeyinin üzerindedir. Dahası, y eksenini kesme kenarı seviyesindedir ve bununla birlikte z eksenini xy düzlemine diktir. Oblik kesme işleminde talaş yüzeyi, kayma düzlemi, kesme yüzeyi (xy) ve normal düzlem (xz) önemli olan düzlemlerdir. Eğik kesme ile ortogonal kesmenin mekaniği normal düzlemde aynıdır. Dolayısıyla, kuvvet vektörleri ve tüm hız normal düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.



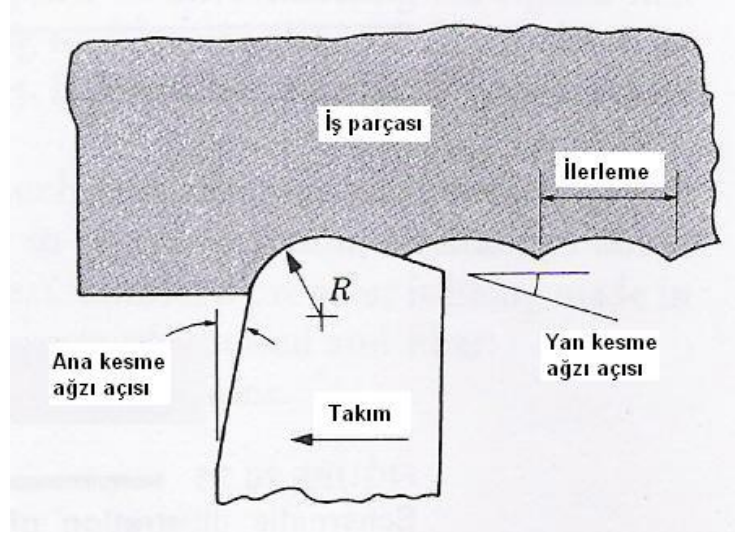
Şekil 3.9. Eğik kesme Geometrisi [50].

Kayma düzleminde kayma hızı oluşmaktadır. Buna karşın, normal düzlem üzerinde yer alan kesme kenarının normal vektörüyle ϕ_i oblik kayma açısını oluşturur. Kesme işlemi sonucunda ortaya çıkan talaş, talaş akış açısı ve talaş yüzeyi düzleminde kalker. Talaş, talaş yüzeyi arasındaki sürtünme kuvveti talaş akış doğrultusu ile aynı doğrultudadır. Z eksenini ile talaş yüzeyi üzerindeki normal vektör arasındaki açı normal talaş açısı α dır. Talaş yüzeyindeki sürtünme kuvveti F ve normal kuvvet F_n sürtünme açısı β ile bileşke kuvvet F_R yi oluşturur [48], [51].

3.2. TALAŞ KALDIRMADA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

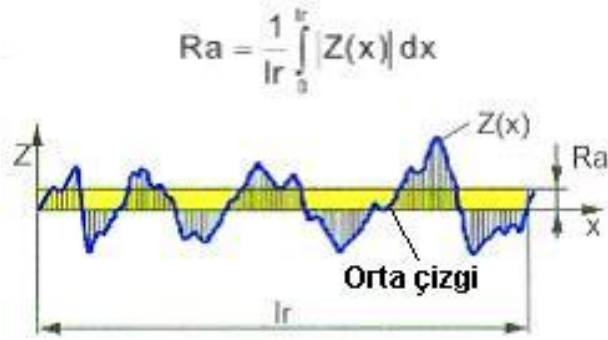
Yüzey pürüzlülüğü talaşlı imalatla çok önemli araştırma konularından biri olmuştur. Talaşlı imalatla işleme parametrelerinin yüzey kalitesine doğrudan etkisi olabilmektedir [52]. İmalatta istenilen yüzey kalitesine ulaşmak her talaş kaldırma operasyonunun en önemli çıktı parametrelerinden biridir. Yüzey kalitesi, yüzey çatlakları, yüzey pürüzlülüğü, kimyasal değişim, temperlenme, yanma gibi kalıcı termal arızalar ve gerilme gibi birçok parametreyi içinde bulunduran bir ifadedir. Bunlardan yüzey pürüzlülüğü talaş kaldırma işleminde önemli bir çıkış parametresi olmakta iken diğerleri ise genelde taşlama işleminin birer çıkış parametresidir. Talaş kaldırmada bir parçanın yüzeyi iki önemli görüntüsü ile tanımlanır ve kontrol edilir. Birincisi, yüzeyin geometrik düzensizlikleri, ikincisi ise yüzey ve yüzey katmanındaki metalürjik değişikliklerdir. İkinci özellik yüzey bütünlüğü ile ilgilidir. Yüzey bütünlüğü ve yüzey

özellikleri tanımlanmalı, ölçülmeli ve ürünün istenilen özel sınırları içerisinde olmalıdır [54]. Talaşlı imalatın en önemli amacı parçalara şekil vermek olmasına rağmen bu tek başına yeterli bir işlem değildir. Bununla beraber, açısından istenilen kalitede üretim yapabilmek kaliteli bir imalat sürecinin olmazsa olmazıdır. İş parçasının boyutsal doğruluğu, geometrik yapısı ve yüzey kalitesine karşılık gelen işleme verimliliği doğru ve yüksek kaliteli bir talaş kaldırma işlemi için oldukça önemlidir. Talaş kaldırılarak yapılan işleme operasyonlarında pürüzlülük ve dalga şeklinde iki türlü yüzey sapması ortaya çıkmaktadır. Burada dalga geometrik sapmalara verilen isimdir ve ikincil önem sırasına sahiptir. Bir başka deyişle, işlenen parçanın yüzeyindeki kalite doğrudan doğruya pürüzlülük ile alakalıdır. Yüzeydeki pürüzlülüğün değerlendirilmesi ise mevcut standartlar ölçüsünde ve usulüne uygun olarak yapılmaktadır. Bu usüle göre, yüzeydeki pürüzlülük, yüzeye dik olarak alınan bir kesit içerisindeki belirli bir numune boyunca bir profil ortalaması ve referans profiline göre belirlenmektedir. Burada genellikle tercih edilen referans profil geometrik profildir [52]. Yüzey pürüzlülüğü ve boyut toleransı, birçok makina parçasında en önemli kalite ölçülerindendir. Artan rekabetle birlikte, müşterilerin kalite talebindeki artış, yüzey pürüzlülüğünü günümüz imalat endüstrisinde en önemli rekabet boyutundan biri haline getirmiştir [53]. İşlenmiş bir yüzeyde makro ve mikro hatalar meydana gelebilmektedir [54]. Makro hatalar tezgâhtaki kusurlardan oluşurken mikro hatalar esas olarak kesici takımın bıraktığı ilerleme izlerinden oluşur. İşleme sırasında oluşan titreşimler iki tip hatayı da etkileyebilir. Mikro hatalar genelde yüzey pürüzlülüğü olarak da bilinir [55]. Tornalamada kesici takım ilerledikçe malzeme üzerinde spiral bir profil (ilerleme izleri) bırakır (Şekil 3.10.). İlerleme arttıkça ve uç yarıçapı azaldıkça ilerleme izleri belirginleşir. Kaba işlemede önemli olmayan bu izler, ince işlemede önemlidir [56].



Şekil 3.10. Tornalamada ilerleme izleri [56].

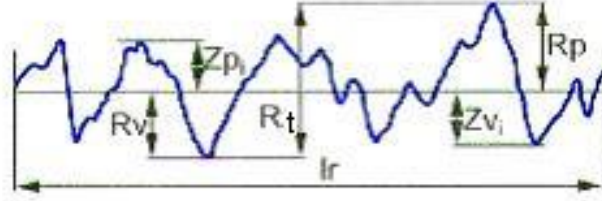
Yüzey kalitesi açısından dikkate alınan yüzey pürüzlülük parametreleri genellikle pürüzlülüğün aritmetik ortalaması R_a ve uzunluk boyunca beş bölgenin en derin pürüzlülüklerinin ortalaması R_z 'dir [57]. R_a , yüzey pürüzlülüğü profiline karşılık gelen pürüzlülük değerlerinin aritmetik ortalamasıdır (Şekil 3.11.). İstatistiki açıdan bakılacak olursa, ortalama yüzey pürüzlülüğü yüzey pürüzlülüğüne ait y-koordinatlarının merkez hattından ortalama aritmetik sapmasını tanımlar. Bu parametre Avrupa'da ve ABD'de (CLA=Center Line Average adıyla) yaygın olarak kullanılmaktadır ve ölçülebilen ilk parametredir.



Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalaması R_a [58].

R_t olarak tabir edilen maksimum yüzey pürüzlülüğü, numune ölçümü boyundaki en geniş aralıkta yer alan en uzun çıkıntı ile en düşük girinti arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.12.). R_z ise beş ölçü bölümünün maksimum pürüzlülük derinliğine dayanan değerlerin aritmetik ortalaması olarak alınmaktadır. R_{az} , DIN 4768

standardına göre ortalama pürüzlülüğü temsil etmektedir ve Almanya’da youğn olarak kullanılmaktadır [58].



Şekil 3.12. Maksimum pürüzlülük R_t [58].

İmal edilmiş parçanın yüzey geometrisini belirleyen parametreler; talaş kaldırma yöntemi, takım geometrisi ve ilerleme hızıdır. Kesici takım ait geometrik yapının en önemli bölümü iş parçasının yüzeyine ilk temas eden uç bölümüdür [58]. MMY gibi yeni nesil soğutma sistemlerinin kullanılmasıyla kesme hızının arttığında yüzey pürüzlülük değerlerini azaldığını Da Silva ve ark., göstermişlerdir [59]. Son dönemlerde, talaş kaldırma operasyonları için yapılan deneylerde optimizasyon temelli araştırmaların oldukça fazla olduğu görülmektedir. Optimizasyon yöntemlerinden biri olan Taguchi metodu aracılığıyla olabilecek en az sayıdaki deney sayısında karmaşık analizlere ihtiyaç duyulmadan kesme parametrelerinin yüzey kalitesi ve aşınma gibi çıktı parametreleri üzerindeki etkisi kolaylıkla belirlenebilmektedir. Bununla beraber, deney sisteminin optimize edilmesi de sağlanmaktadır. Günümüzde özellikle yüzey pürüzlülük değerlerine ait işleme parametrelerinin optimize edilmesi için Taguchi yöntemi esas alınan birçok çalışma literatürde yer almaktadır [60]. Yüzey pürüzlülüğü, yüzey kalitesinin en belirleyici parametresidir ve yüzeye ait dokunun ana ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Bir başka deyişle, ideal yüzey kalitesi ile gerçek yüzey kalitesinin arasındaki sapmaların sayısal olarak ifade edilmesidir. Buradaki sapma değerinin büyük olduğu durumlarda yüzey pürüzlülük değeri kaba olarak ifade edilirken küçük olduğu durumlarda daha düz olarak kabul edilmektedir [61].

3.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler

İş parçası yüzeyi ve kesici takımın temas etmesi, birleşen parçaların aşınma ve performansı yüzey pürüzlülüğünde önemli rol oynar. İş parçası üzerinde meydana gelen bu düzensizliklerin, yüksekliği, şekli, yönü ve düzenliliği gibi faktörlere bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değişmektedir. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörleri saymak gerekirse; kesici takıma ait geometri, kesme parametreleri, iş parçası malzemesi ve kesici takım malzemesi arasındaki etkileşim, tercih edilen kesici ucun kalitesi, kesici

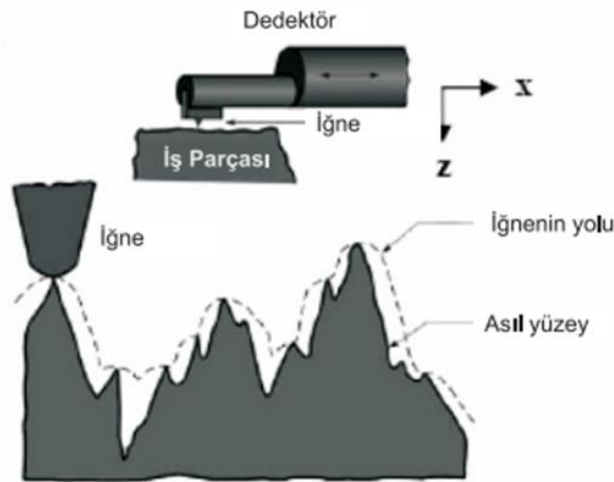
takım malzemesi ve iş parçası malzemesinin mekanik özellikleri, kesme sıvısı kullanımı ve titreşimler olarak sıralanabilmektedir [61]. İşleme kalitesini etkileyen ana faktörler ise takımın yerleşimine dair hatalar, tezgâhın neden olabileceği sapma ve hatalar, takım sisteminden kaynaklanan hatalar ve ortamın etkisi ile ortaya çıkan sapma ve hatalar şeklinde sıralanmaktadır [62].

3.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Yöntemleri

Literatürde talaş kaldırma işlemi sonunda elde edilen yüzey kalitesini ölçebilmek için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin en bilineni ise temas uçlu yani iğneli ölçme yöntemidir. Bu yöntem tarihte ilk kez G. Schmaltz tarafından 1929 yılında kullanılmış olup 1936'da E. Abbod ve 1939'da Taylor Hobson tarafından geliştirilmiştir [63].

3.2.2.1. Temas Uçlu (İğneli) Ölçüm Sistemi

Bu yöntemde, izleyici uca sahip cihazlar bulunmaktadır ve çok sivri olan bir izleyici uç ölçülmek istenen yüzeyin üzerinde, düzensizliklerin çaprazı yönünde ve belirlenen değerlendirme mesafesi boyunca hareket ettirilmesi prensibine göre çalışmaktadır. Bu yöntemle ölçüm yapılırken elde edilen titreşimler büyütülür ve hareketli bir şeritin üzerine kaydedilir. Daha sonra cihazın göstergesinden okunur ve böylece ölçme işlemi tamamlanmış olur. Bu cihazlar pnömatik, elektronik, mekanik veya optik destekli bir şekilde imal edilir. Ölçüm esnasında baskı çok az olmasına karşın pürüzlülük büyütme oranı 100.000 kata kadar çıkabilmektedir. Bu yöntemin çok tercih edilmesinin başlıca nedeni pratik olmasıdır [64]. Bu yönteme ait şematik gösterim Şekil 3.13'te yer almaktadır.



Şekil 3.13. Temas uçlu iğneli ölçüm sistemi [63].

Bu yönteme ait en büyük dezavantaj ise kullanılan iğne ucunun zaman içerisinde aşınması ve dolayısıyla ölçümsel hatalara sebep olmasıdır. Talaş kaldırma işlemi tamamlanmış yüzeylerde meydana gelen pürüzlülüğün şekli ve kesici takımın ucuna iat yarıçap nedeniyle ortaya çıkan hataya örnek olarak 60° uç açısına sahip konik bir ucun, hipotetik bir yüzey boyunca enine hareket etmesi ile elde edilen temsili iz Şekil 3.14’te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. İzleyici uçtan kaynaklanan ölçüm hatası [65].

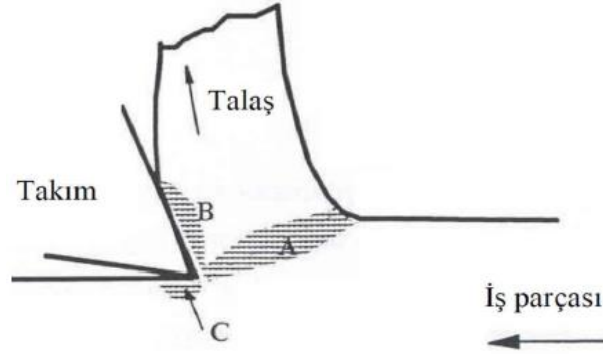
3.2.2.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için kullanılan diğer yöntemler

- Karşılaştırma mikroskobu yöntemi
- Elektro fiber optik sistem yöntemi
- Optik parazit aletleri yöntemi
- İnterferometri yöntemi
- Optik yansıtma yöntemi
- Karşılaştırma mikroskobu yöntemi
- Kesit alma yöntemi
- Optik mikroskop yöntemi
- Elektron mikroskobu yöntemi
- X ışını yöntemi
- Kapasitans yöntemi
- Yüzey dinamometresi yöntemi
- Pnömatik yöntem
- Hidrolik yöntem
- Mekanik yöntem
- Dokunma yöntemi

3.3. TALAŞ KALDIRMADA KESME SICAKLIĞI

Talaş kaldırabilmek için uygulanan mekanik yükler ve sürtünmenin neredeyse tamamı talaşlı imalatı ısı enerjisine dönüştür. Bu nedenle talaşlı imalat işlemlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli faktörlerden biri de ısı oluşumu ve kesme bölgelerindeki meydana gelen sıcaklık oluşumlarıdır. Oluşan ısı nedeniyle sıcaklık artmakta ve bunun sonucu olarak da işleme verimi düşmektedir. Talaş kaldırma esnasında kesmenin

meydana geldiği noktada ısı üretim durumuna göre ısının oluştuğu üç bölge bulunmaktadır. Bu bölgeler Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Kesme bölgesinde ısı oluşumu [66].

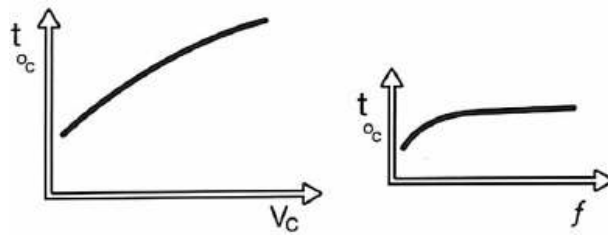
Şekil 3.15'teki ısı bölgeleri aşağıdaki ifadelerle açıklanabilir.

A- Kayma düzlemi; burada plastik deformasyon meydana gelir ve bunun sonucu önemli bir ısı oluşur. Bu ısının yüksek bölümü talaşla dışarı atılır.

B- Kesici takım-talaş ara yüzeyi temas noktası; burada ekstra bir plastik deformasyon ve kayma hareketi meydana gelir. Bu hareketlerin bir sonucu olarak ısı oluşur. Isı oluşumunda oldukça önemli bir noktadır.

C- Kesici takımın yan yüzeyi; bu bölgede iş parçası yüzeyi ve takımın yan yüzeyi birbirine sürtünür ve bu sürtünmenin bir sonucu olarak ısı meydana gelir. Burada oluşan ısı kesici takımın yan yüzeyinin aşınması ile birlikte artış gösterir [66].

Talaş kaldırma esnasında oluşan ısı, kesme kuvvetlerinde olduğu gibi işlenen malzemenin özelliklerine göre farklılık gösterebilmektedir. Kesme hızı, ısı oluşumu üzerinde önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Kesme hızının artması ile birlikte, talaş kaldırma esnasında ortaya çıkan sürtünme ve deformasyon için harcanan enerji artış gösterir. Artan bu enerji ısıyı artırır ve böylece kesme bölgesindeki sıcaklık değerlerinde artış meydana gelir. İlerlemenin, kesme hızına göre kesme bölgesinde ısı oluşumuna etkisi nispeten daha azdır (Şekil 3.16.) [66].



Şekil 3.16. Kesme hızı-Sıcaklık ile İlerleme-Sıcaklık ilişkisi [67].

Kesici takım ömrünün ksalmasına sebep olan yüksek işleme sıcaklıkları, yüksek kesme hızlarında çalışmaya da engel olabilmektedir. Kesici takım malzemelerine ait araştırmalar yapılırken ana odak noktası yüksek sıcaklığa dayanabilmeleri üzerine olmuştur. Kesmenin olduğu noktada meydana gelen sıcaklığın ana unsuru kesici takım ve iş parçası arasındaki sürtünmenin boyutuna, talaş ile kesici takım arasındaki temasın miktarına ve kesme kuvvetlerinin değerine bağlıdır. İşleme esnasında oluşan ısının büyük bir bölümü talaş ile kesme bölgesinden uzaklaştırılır. Talaştaki ısı kesici takım ile temasta olduğu sürece sadece kesici takımı etkileyecektir. Oluşan ısının büyük bir çoğunluğu kayma bölgesinde oluşur, dolayısıyla talaş ile kesici arasındaki temas uzunluğu takımın performansını etkiler. Ayrıca, kesici takımda yer alan talaş açısının küçük olması da iş parçasına geçen ısının miktarını artırabilmektedir. Akış bölgesi boyunca ısıya dönüşen enerji daha azdır. Takım ile talaş arasındaki erimiş haldeki ince tabaka, yeni oluşmuş talaşın sürekli akışı ve kayma işleminden etkilenir. Üçüncü ısı kaynağını teşkil eden, takım ile işlenmiş yüzey arasında oluşan ısının mümkün olduğunca düşük tutulması gerekir ki bu yeterli boşluk açısı bırakılarak ve serbest yüzeydeki aşırı aşınmanın önüne geçilerek sağlanabilir. Eğer bu sağlanmazsa yüksek sıcaklıklar ve bunun sonucunda ani takım kırılmaları meydana gelecektir [68].

4. KESME SIVILARI VE SOĞUTMA YAĞLAMA YÖNTEMLERİ

4.1. YAĞLAMA – SOĞUTMA SIVILARI

Kesme sıvıları, öncelikli olarak kesici takım ve iş parçasını soğutarak ısıdan negatif etkilenmesini engellemek için biraraya getirilmiş bir dizi kimyevi maddenin karışımı olan sıvılar olarak tanımlanmaktadır [69]. Talaş kaldırma operasyonlarında kesme sıvısının ilk kullanım zamanı ve yeri hakkında bir bilgi yoktur. Ancak, insanoğlunun ilk araç-gereç yapmaya başladığı dönemden beri kullanıldığı tahmin edilmektedir. Örneğin, ilk çağlarda taşlar aracılığıyla keskinleştirilmek istenen aletlerde su kullanıldığı, bıçak tarzı kesici ürünlerin yağ taşıyla bilenmesi esnasında yağ kullanıldığı bilinmektedir [70]. Talaş kaldırarak şekillendirmedeki temel amaç, iş parçası olarak tabir edilen kütük malzemeye istenilen geometrik şekli ve işlevi kazandırma işlemidir. Bu işlemde genellikle kesmek için bir alet bulunurken bir de işlenen malzeme olmaktadır. Genellikle bu süreç içerisinde iki katı cismin, kesici ve iş parçasının, teması söz konusudur [71].

Talaş kaldırma sırasında kullanılan kesici alet, buna genellikle literatürde kesici takım denir, ile iş parçası malzemesi arasında ortaya çıkan basınç, kuvvet ve gerilme gibi nedenler ısı ve sürtünme oluşmasına neden olmaktadır. Bu da kesici takımın kesme uçlarında aşınma başta olmak üzere kırılmaya kadar giden bozulmalara sebep olmaktadır. Böyle durumlarda kesme sıvıları tercih edilir. Kesme sıvıları, kesici takım ve iş parçasının sürtünen yüzeyleri arasına girerek ince bir film tabakası oluşturur ve sürtünmeyi olabildiğince azaltacak yağlama görevini yapmaktadır. Sürtünmenin azalması ile birlikte ısı oluşumu kontrol altına alınacağı için takım ömrü uzatılır ve işleme verimliliği önemli ölçüde artırılır. Dolayısıyla, kesme sıvıları takım aşınmasını minimize etmek ve yüzey kalitesini geliştirmek gibi görevleri yerine getirerek hem üretim kalitesinin artmasına hem de maliyetlerin aşağı çekilmesine yardımcı olmaktadır [72]. İyi bir kesme sıvısından beklenen özellikler aşağıda madde madde verilmiştir:

Kesme sıvılarından beklenen özellikler şöyle sıralanabilir:

- Çalışan sağlığına zarar vermemeli
- Çabuk bozulmamalı

- Koroziye etkiye sahip olmamalı
- Soğutma ve yağlama özelliği yüksek olmalı
- Isı transferi konusunda yeterli seviyede olmalı
- Parlamamalı
- Köpüklenmemeli
- Uçucu özelliği olmamalı
- Tezgâhı korumalı [73].

4.1.1. Yağlama – Soğutma Sıvılarının Görevleri

Talaş kaldırma esnasında sıklıkla başvurulmuş kesme sıvılarının ana görevi sıcaklığın kontrol altına alınması için soğutma ve yağlama işlemi yapmaktır. Kesme sıvılarından beklenen diğer işlevler ise talaş kesme bölgesinin dışına taşıma, kaynak ve korozyon oluşumuna engel olma, harcanan gücü düşürme, kesici takımın aşınmasını geciktirme ve talaş oluşumunda etkili olma şeklinde sıralanabilmektedir [74].

4.1.2. Yağlama – Soğutma Sıvılarının Sınıflandırılması

Kesme bölgesinde, sürtünme sonucu ortaya çıkan ısının kontrol altına alınması ve talaşın kesme bölgesi dışına taşınabilmesi için kullanılan sıvılara kesme sıvısı ya da kesme yağı denilmektedir. Kullanılan kesme sıvıları uygulama alanlarına göre değişkenlik gösterebilmektedir. Kesme sıvıları sınıflandırılacak olursa, işlevlerine ve kimyasal özelliklerine göre sınıflandırma yapılmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde, kesme sıvısı, soğutucu, yağlayıcı, talaş uzaklaştırıcı, korozyonu engelleyici vb. özelliklerinden faydalanmak amacıyla kullanılırlar. Talaşlı imalatda kullanılan kesme sıvıları Şekil 4.1’de sunulmuştur [75].



Şekil 4.1. Kesme sıvılarının sınıflandırılması [75].

Talaşlı imalat işlemlerinin çoğunda imal edilmesi çok zor olan parçalar kesme sıvısı kullanımıyla daha kolay şekillendirilebilmektedir [76].

Kesme sıvıları, temel görevlerinden biri olan soğutma işlevini yerine getirebilmek için yüksek oranda ısı iletim katsayısı taşınmalıdır. Bir diğer temel görevi olan yağlama fonksiyonu için ise ince film tabakası oluşturmaya uygun kimyasal içeriğe sahip olmalıdır. Kesme sıvılarının film tabakası oluşturma özelliğine literatürde ıslatma özelliği adı verilmektedir. Kesme sıvılarının ıslatma özelliği içeriğindeki kimyasalların doğru çeşit ve oranda seçilmesiyle artırılabilir. Bazı kesme sıvılarına katkı maddesi eklenir. Katkı maddesi aracılığıyla kesme sıvılarının istenen özellikleri geliştirilirken istenmeyen özellikleri minimize edilmektedir. Katkı maddelerinin en bilineni ise yapışma tabakası oluşturmada oldukça mezyetli olan EP (yüksek basınç)'dir. İyi bir kesme sıvısı yüzeye iyi yayılmalı ve ıslatma özelliği sayesinde film tabakasını oluşturabilmelidir. Böylece, iş parçası/kesici takım malzemesi ile kesme sıvısı arasındaki yüzey gerilimi ortadan kalkar ve sistem enerjisi aşağı çekilir [69]. İçeriğindeki kimyasallara göre kesme sıvıları genellikle üç bölümde incelenir.

4.1.2.1. Mineral Bazlı Kesme Sıvıları

Mineral içerikli kesme sıvıları en çok tercih edilen ve soğutucu görevini oldukça iyi yapan petrol bazlı sıvılardır [69]. Bu kesme sıvılarının bir diğer iyi yaptığı şey ise kesici takım-iş parçası arasında sürtünen yüzeylere nüfuz etmek ve arayüzeyi yağlamaktır.

Böylece, yüzeyde sürtünme ve dolayısıyla ısı azalarak işleme verimliliği yukarı taşınır. Bu iki ana görevi yerine getiren mineral bazlı kesme sıvıları, talaş kaldırma esnasında makine parçalarını yağlamak, korozyon ve oksidasyon tehlikesini ortadan kaldırmak gibi yardımcı görevleri de yerine getirmektedir.

Mineral bazlı kesme sıvıları, parafinik mineral kesme sıvısı ve naftenik mineral kesme sıvısı olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Bir mineral bazlı kesme sıvısının hangi sınıfa dahil olduğunu belirlemek için içeriğine bakmak gerekir. Örneğin; parafin esaslı kesme sıvıları içeriğinde parafin bağlı karbon yapısını daha fazla barındırırken naftenik bazlı kesme sıvıları içeriğinde naftenin paylaşımını barındırmaktadır. Ayrıca, üçüncü bir sınıf olarak aromatik kesme sıvıları bulunmaktadır. İçeriğinde yüksek miktarda aromatik hidrokarbon barındıran bu kesme sıvıları insan sağlığı için oldukça zararlıdır ve bu özelliği nedeniyle kesme sıvısı olarak kullanılmazlar [76].

Mineral bazlı kesme sıvılarının özelliğini geliştirmek için genellikle katkı maddeleri eklenir. Bu katkı maddelerin içerisinde yağlayıcılar, fosfatlar, sülfatlar ve klor gibi yüksek basınç katkıları bulunurken viskozite dengeleyiciler, sürtünme düzenleyiciler, kalınlık değiştiriciler, koku gidericiler ve polar katkı maddeleri de ek olarak sıralanabilir. Bu sıvılar üstün soğutma ve yağlama sağlamalarına karşın yüksek sıcaklıklarda özelliklerini yitirmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı daha çok hafif ve orta işleme zorluğuna karşılık gelen pirinç, düşük karbonlu çelik, magnezyum ve alüminyum gibi metallerin işlenmesinde kullanılırlar. Bir örnekle açıklamak gerekirse, kesme sıvısının içeriğinde yer alan klor titanyumun işlenmesi sırasında işlenmiş yüzeyin korozyona uğramasına neden olabilir. Bu da iş parçasının yorulma ömrünü kısaltmaktadır [77].

4.1.2.2. *Sentetik Bazlı Kesme Sıvıları*

Mineral bazlı kesme sıvıları, içeriğindeki petrol türevi malzemelerin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Dahası, bu kesme sıvılarının özellikleri de bazen bu nedenle sınırlı olabilmektedir. Ayrıca, petrol, dünyada oldukça pahalı ve sınırlı bulunmaktadır. Bütün bu nedenlerden ötürü araştırmacılar, laboratuvar ortamında üretilen ve özellikleri istenilen duruma göre ayarlanabilen sentetik bazlı kesme sıvıları üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu kesme sıvıları, kimyasal sentez metodu ile elde edilmekte ve molekül boyutu, şekil vb. gibi durumlarda birbirine benzemektedirler. Sentetik kesme sıvıları, içerisinde yer alan hidrokarbonların dizilişlerinin ve geometrisinin mükemmel

olması sayesinde sürtünmeyi minimuma indirme, aşınmayı geciktirme ve düşük sıcaklık sağlayabilme gibi üstün özellikler sergileyebilirler. Laboratuvar ortamında imal edilen bu kesme sıvıları, yüksek basınç ve düşük sıcaklık altında dahi yapısını muhafaza edebilmektedir. Ayrıca, sıcaklık ve oksidasyon etkisi altında bile özelliklerini koruyarak kesme işleminin haricinde tezgâhın korunmasına da yardımcı olurlar. Sentetik kesme sıvıları, polyester, alkali aromatik, polialfaolefin, polybutenes, phosphate ester, polyalkeneglycol ve alifatik diester olmak üzere yedi sınıfta üretilmektedirler. Buna karşın, sentetik kesme sıvıları laboratuvar ortamında yüksek teknoloji altında sentezlendikleri için diğer kesme sıvılarına nazaran daha yüksek maliyete sahiptirler [78].

4.1.2.3. Bitkisel Bazlı Kesme Sıvıları

Bitkisel bazlı kesme sıvıları ya da yağları, biyolojik olarak çözünebilen bitkisel yağlardan yapılmaktadır. Özellikle günümüzde kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Bu kesme sıvıları, talaş kaldırma esnasında ortaya çıkan ısının etkisiyle buharlaşma özelliğine sahiptir. Bu kesme sıvılarının tercih edilme sebeplerini saymak gerekirse, havada kolayca parçalanabiliyor olmaları, çevreyi kirletmemesi ve bakteri/mikrop büyümelerinde gösterdiği direnç söylenebilir [79]. Bu kesme sıvıları, diğer kesme sıvılarına göre daha yüksek termal stabilize ve viskozite indeksine sahiptirler [80]. Bitkisel esaslı kesme sıvılarının başlıca özellikleri aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir [81-83];

- Çok güçlü bir film tabakası oluşturarak ısı oluşumunu kontrol altına alır ve sürtünmeyi minimize eder.
- Toksik özellikleri yoktur. Bu nedenle çevre dostu olarak bilinir. Doğada çok çabuk çözünebilir.
- Parlama noktası diğer kesme sıvılarına göre daha yüksektir. Dolayısıyla daha az yanma tehlikesine ve duman oluşumuna sahiptir.
- Çalışan sağlığına karşı herhangi bir zararı yoktur.
- İçeriğinde yer alan bitkisel moleküllerin ağırlığı yüksektir. Bu nedenle buğulanma ve buharlaşma daha az görülür ve önemli ölçüde tasarruf sağlanır.
- Uzun, doğal, dipolar ve ağır olan molekül yapısı sayesinde homojen ve basıncı hapsedebilecek güce sahip bir film tabakası oluşturur.

4.1.3. Yağlama-Soğutma Sıvılarının İşçi Sağlığı ve Çevreye Etkisi

Kesme sıvılarının bakımları uygun biçimde ve zamanında yapılmadığı zaman üretim kesme sıvısı ömrü kısalmakta ve dolayısıyla üretim maliyetleri artmaktadır. Öyle ki, uygun bakımın yapılmadığı kesme sıvılarında bakteri oluşumu, buharlaşma, kirlenme ve yağ ile meydana gelen reaksiyon sonucu yapıda bozulmalar görülebilmektedir. Bu bozulmaların sonucu olarak işleme verimliliği düşmekte, çalışan ve çevre sağlığı büyük zarar görebilmektedir. Kesme sıvılarından beklenen soğutma ve yağlamayı iyi yapmalarıdır. Ancak, bununla beraber çevre ve çalışan sağlığı için zararlı olmaması da aranan özelliklerdendir. Uygun kesme sıvısının seçilmemesi ile birlikte birçok sağlık ve çevresel problem ortaya çıkmaktadır [84]. Bazı kesme sıvılarının kullanımı ile birlikte dermatit, folliculitis, solunum rahatsızlıkları ve cilt kanseri gibi sağlık sorunları ortaya çıkabilmektedir [76]. Kesme sıvılarının solunum ve cilde temas yoluyla vücuda girmesi sonucu meydana gelen sağlık sorunlarından bazıları aşağıda özetlenmiştir:

- **Dermatit:** Kesme sıvılarının cilde uzun zaman temas etmesi sonucu görülen rahatsızlık türüdür. Cilde uzun süre temas eden kesme sıvısı, derideki lipid tabakasının işlevini kaybetmesine neden olmaktadır. Lipid tabakası, bir nevi derinin koruyucu tabakasıdır ve onun hasar görmesiyle birlikte cilt zararlı maddeleri yüksek miktarda emmektedir. Derinin uzun süre bu eksikliği tolere edebilmesinden dolayı lipid tabakasının hasarı bazen yıllarca fark edilmemektedir. Ancak, bu sürenin sonunda deri, koruyucu özelliğini yitirir ve en küçük temasta dahi çalışan hastalanmaktadır.
- **Folliculitis:** Bazı durumlarda, kesme sıvıları veya kesme sıvısına ait bazı bileşenler deri tarafından emilmekte ve kana karışmaktadır. Daha sonra ise vücudun çok başka bir yerinde tehlikeye neden olmaktadır. Yağ aknesi olarak da bilinen folliculitis nedeniyle cilt tıkanır ve salgı bezleri drenaj görevini yerine getiremez. Bunun sonucu olarak da vücudun çeşitli bölgelerinde sivilce benzeri rahatsızlıklar meydana gelir. İlerleyen zamanlarda bu sivilceler büyür, kızarır, içerisine irin dolar. Kaşıntı ve ağrı bu hastalığın en doğal sonucudur.
- **Cilt Kanseri:** Kesme sıvılarının etkisiyle meydana gelen cilt rahatsızlıkları ileri bir boyuta taşındığında cilt kanseri ile karşılaşılabilir. Arındırılmamış mineral kesme sıvıları, uzun süre kullanımın sonunda cilt kanserine neden olabilmektedir. Dahası, temizlenmeyen giysisiler ve bezler de sürekli temasın sonucu olarak cilt kanserine neden olabilmektedir [76].

- **Solunum Yolu Rahatsızlıkları:** Kesme sıvıları talaş kaldırma operasyonlarında yüksek sıcaklıklar altında çalışmak zorundadır. Bunun sonucu olarak buharlaşma meydana gelmektedir. Bu şekilde buharlaşan kesme sıvıları, solunum yolu aracılığıyla vucüda girmekte çeşitli rahatsızlıklara neden olmaktadır. Burun kanaması, baş ağrısı, boğaz ağrısı ve öksürük bu rahatsızlıklardan bazılarıdır. Solunumun bu halde devam etmesi daha ciddi rahatsızlıklar olan astım, kronik bronşit ve akciğer yetmezliği gibi sorunlara neden olabilmektedir [84].

Deri hastalıklarının yanı sıra, solunum hastalıklarının da başlıca nedenleri arasında olan bu durumlardan etkilenmemek için kesme sıvısının cilt ile teması olabildiğince az olmalıdır.

Çizelge 4.1. Kesme sıvılarının üretimdeki etkileri [85].

Kesme Sıvılarının Üretimdeki Etkileri

İŞ PARÇASI	KESİCİ UÇ	TEZGÂH	ÇEVRE
-Geometrik tamlık -Termal gerilmeler nedeniyle yüzeyin zarara uğramasını engellemek -Yüzey pürüzlülüğünü iyileştirme -Talaş uzaklaştırması -Korozyonu önlemesi	-Kesici ömrünü uzatır -Yapışmayı engeller -Talaş formunu etkiler -Kesici takımı temiz tutar	-Talaş uzaklaştırır -Isı oluşumunu azaltır -Temizlik sağlar	-Havayı kirletir -Toprağı kirletir -Suyu kirletir -Deriyi tahriş eder -Kötü koku oluşur -Akciğere zararlıdır

Çizelge 4.1’de kesme sıvılarının kesici takım, iş parçası, tezgâh ve çevre üzerine olan etkilerinden bahsedilmiştir. Bu çizelgeye göre, çevre hariç diğer etkilerinin olumlu olduğu görülmektedir.

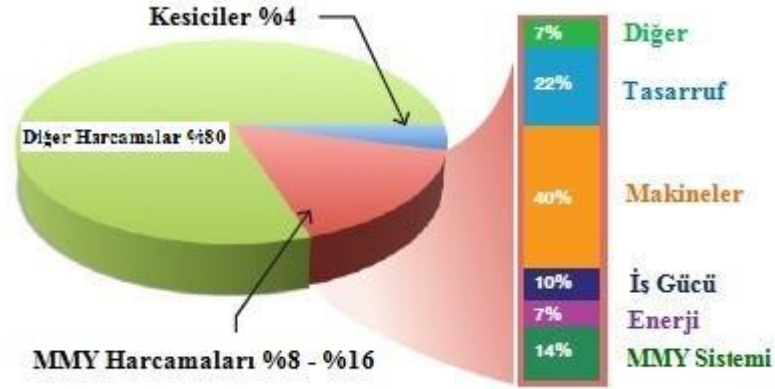
Çalışan sağlığı, üretim maliyetleri ve çevresel faktörler göz önünde bulundurulduğunda kullanılan kesme sıvısı miktarının azaltılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Kullanılan kesme sıvısı miktarını azaltmak için yoğun çaba sarf eden araştırmacılar üç yöntem üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Bunlar; kuru işleme, yüksek hızda işleme ve MMY sistemidir. Kuru işleme teknolojisi her ne kadar çevre ve maliyet dostu bir üretim gibi dursa da ağır işleme koşullarında işleme verimliliği açısından son derece sınırlı yeteneklere sahiptir. Diğer alternatifler arasında yer alan MMY sistemi, gerçek üretim verimliliği gerek çevre gerekse de çalışan sağlığı üzerinde olumsuz etkiye sahip olmaması nedeniyle son dönemde popüleritesini artırmıştır [85].

4.2. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MMY) YÖNTEMİ

Talaşlı imalat işlemlerinde yüksek miktarda kullanılan kesme sıvıların çevreye ve insan sağlığına olan negatif etkisi son yıllarda dikkat çeken bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu etkiyi minimize etmek için en etkili metot kesme sıvılarının tüketimini azaltılmasıdır. Ancak kullanılan soğutma sıvısının miktarının düşürülmesi talaşlı imalatla büyük bir önem arz eden kesici takım ömrünü ve ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. MMY yöntemi, basınçlı hava kullanılarak kesme bölgesi üzerinde etkin bir soğuma sağlamaya, iş parçası malzemesi ve kesici takımı soğutmaya, çıkan talaşların uzaklaştırmaya, kesme bölgesinde meydana gelen ısıyı düşürmeye, yağlama etkisinin sonucu olarak kesme bölgesindeki temastan kaynaklanan ısıyı azaltmaya, üretim maliyetlerini azaltmaya, kesici takım aşınmasını azaltmaya ve yüzey pürüzlülük değerini düşürmeye yardımcı olmaktadır.

İsminden de anlaşılacağı üzere MMY sistemi çok az miktarda kesme sıvısının basınçlı havayla karıştırılarak kullanılması prensibiyle çalışmaktadır. Burada, kullanılan kesme yağı yağlamayı sağlarken basınçlı hava da soğutmaya yardımcı olmaktadır. Ayrıca, kesme yağının termal iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle kesme bölgesinde meydana gelen ısı daha hızlı ve kolay bir şekilde tahliye edilmektedir. Emülsiyon ya da su gibi soğutma etkiliğine sahip olan karışımlar da bu yöntem aracılığıyla daha rahat kullanılabilir. Islak kesme yöntemine alternatif olarak ortaya çıkan ve kullanılan soğutma sıvısı miktarının minimuma indirildiği çevre dostu bu yöntem, kuruya yakın işleme ya da mikro yağlama olarak da adlandırılmaktadır. Bu yöntemde kullanılan soğutma sıvıları genelde biyolojik olarak parçalanabilen bitkisel bazlı çevre dostu yağlardır. Kullanılan soğutma sıvısı minimize edildiği için aşırı sıvı sarfıyatının ve çevre kirliliğinin de önüne nispeten geçilmiş olmaktadır. MMY sisteminin etkin bir şekilde kullanıldığı talaş kaldırma metotları; tornalama, frezeleme ve delik delme işlemleri olarak bilinen klasik talaşlı imalat işlemleri şeklinde sıralanabilir [86]. Bu yöntemde kullanılan kesme sıvısı miktarı sıvının türüne göre değişmekle birlikte genellikle 20 ml/saat ile 150 ml/saat arasında kabul edilir. Talaş kaldırma esnasında kullanılan kesme sıvısı neredeyse tamamen tükenir ve böylece havada sis oluşmaz. Talaşlar neredeyse tamamen kuru olurlar ve bu nedenle kolayca geri dönüştürülebilirler. Bununla birlikte bertaraf maliyetleri de minimize edilmektedir [87].

Şekil 4.2’de toplam üretim maliyetleri verilmiştir. Burada dikkat çeken şey kesme sıvısı kullanımı maliyetinin kesici takım maliyetinden daha yüksek olmasıdır.

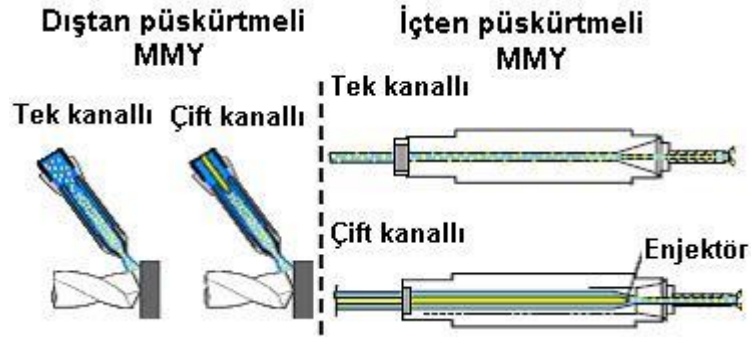


Şekil 4.2. Talaş kaldırma işlemlerinde maliyet şeması [86].

Şekil 4.2’de yer alan maliyetlerin azaltılması için MMY sistemi kullanımı çok önem arz etmektedir. MMY sistemiyle beraber kullanılan kesme sıvısı miktarı çok büyük ölçüde azaldığı gibi işleme veriminde önemli artışlar gözlemlenmiştir.

Kesme ve soğutma sıvısı olarak yağlar kullanıldığında, yağlama etkileri daha ön plana çıkmaktadır. Kesme işleminde yağların görevleri; iş parçası, kesici takım ve talaş üçlüsünün arasındaki sürtünme ve dolayısıyla ısı oluşumunu kontrol altına almayı kolaylaştırmaktır [88]. Böylece hem iş parçası malzemesinde hem de kesici takım üzerinde istenmeyen değişiklikler olması engellenmiş olmaktadır. MMY sisteminin ortaya çıkması ile birlikte minimum miktarda soğutma (MMS) ve minimum miktarda soğutma yağlaması (MMSY) üzerine de araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu sistemler, emülsiyon, su veya bunların karışımının yüksek basınçlı hava ile püskürtülmesi prensibine göre çalışmakta ve kendi içinde küçük değişiklikler göstermektedir [89]. Talaş kaldırma işlemlerinde, daha az kesme sıvısı kullanımının birçok avantajı bulunmaktadır. Ekonomik açıdan inceleme yapıldığında, en önemlisi daha düşük maliyette üretim anlamına gelmektedir.

Minimum miktarda yağlama sistemi sabit nozullar vasıtasıyla dışarıdan püskürtme ve takım içindeki kanallar aracılığıyla içten püskürtme olmak üzere iki şekilde uygulanabilmektedir iki farklı şekilde uygulanabilmektedir (Şekil 4.3.) [90].



Şekil 4.3. Minimum miktarda yağlama sisteminde püskürtme işlemi [90].

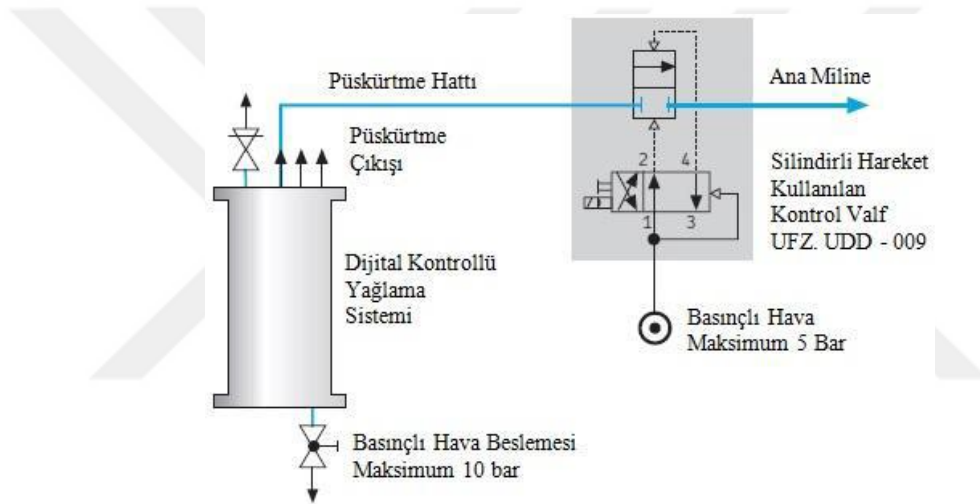
Dışarıdan püskürtmenin yapıldığı sistemlerde aerosol kesme bölgesinde harici olarak bir veya daha fazla nozulla uygulanmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan nozulun adedi, hangi yöne doğru olduğu ve düzeneğin yerleşimi oldukça önemlidir. Delik delme, rayba yapma ve diş açma gibi talaş kaldırma yöntemlerinde kabul edilen uzunluk/çap oranı $1/d < 3$ olduğu durumlarda kullanışlı olan yöntem dışarıdan püskürtmedir. Bu oranın daha büyük olduğu durumlarda nozul birkaç kez geri çekilerek yağlamanın yapılması sağlanır. Ancak, bu durum çalışma süresini artıracığından pek tavsiye edilmemektedir. Böyle bir durumda sistemin kullanılabilmesi için ya nozul her seferinde elle ayarlanmalıdır ya da daha farklı düzenekler geliştirilmelidir. Bir başka durum ise içten soğutma kanallarına sahip kesicinin kullanılmadığı talaş kaldırma operasyonlarıdır. Böyle şartlar altında dıştan soğutma kaçınılmaz bir zorunluluktur. Ayrıca, değişen çap ve uzunluğa sahip sistemlerde veya çoklu takımın kullanıldığı durumlarda bu sistem çeşitli problemlere neden olabilmektedir [91]. İçten püskürtme yöntemi ise $1/d$ oranının daha büyük olduğu delik delme, raybalama ve diş açma işlemlerinde daha etkindir. Bu yöntemin en büyük avantajı kesme sıvısının doğrudan doğruya kesme bölgesine aktarılmasıdır. Böylece daha etkin bir soğutma ve yağlama yapılabilir. Ayrıca, nozulun ayarlanması, konumlandırılması, her kesici ile birlikte yeniden ayarlanması gibi bir durum söz konusu olmadığından daha hızlı talaş kaldırma işlemine yardımcı olabilmektedir [89]. Bu sistemler ayrıca, tek kanallı ve çift kanallı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tek kanallı sistemlerde kesme sıvısı ve yağ karışımı dışarıda yapılarak tek bir nozuldan püskürtülürken çift kanallı sistemlerde kesme sıvısı ve hava farklı kanallardan nozul veya takım içine gelerek uç noktada karışım yapılmaktadır.

Talaş kaldırma işlemlerinde, kesme sıvısı miktarını azaltmak beraberinde birçok avantajı da getirmektedir. Ekonomik açıdan incelendiğinde, en önemli etmen düşük maliyet olarak karşımıza çıkmaktadır. Talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan talaşların

kesme sıvısından ayrıştırılması gibi bir işlem ortaya çıkmaz ve bu nedenle geri dönüşüm işlemi daha verimli ve kolay olur [92].

4.2.1. Dahili Minimum Miktarda Yağlama Yöntemi

MMY sistemi iki farklı yoldan kesme bölgesine uygulanabilmektedir. Bunlardan birincisi olan dahili sistem kullanılabilmesi için, MMY sisteminin tezgâha entegre edilebilirliğinin elverişli olması gerekir. Dahili sistem, MMY sistemi tarafından korunan bir kesme sıvısı hava karışımının doğrudan kesme bölgesine püskürtülmesi prensibine göre çalışmaktadır [93]. Şekil 4.4'te dahili sistem MMY sisteminin pnömatik şeması verilmiştir. Şema incelenecek olursa kesme sıvısı-hava karışımının iş miline gönderilişi daha rahat görülecektir.



Şekil 4.4. SKF firması tarafından üretilen MMY sistemine ait pnömatik şema [93].
MMY sisteminin olumlu yönleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Her kesici takıma entegre olabilir,
- Çok küçük kesicilerde veya yüksek kesme hızlarında da rahatlıkla kullanılabilir,
- Herhangi bir hareketli kısma sahip olmadığı için aşınma söz konusu değildir,
- Neredeyse bütün talaş kaldırma operasyonlarında kullanılabilir,
- Kesme bölgesine tam olarak ulaşabilir,

4.2.2. Dışarıdan Uygulanan MMY Sistemi

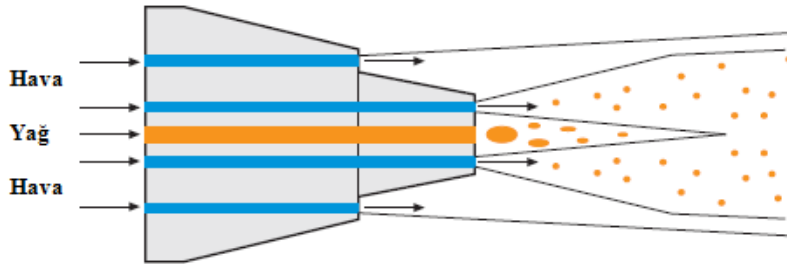
MMY sisteminin tercih edilme sebeplerinden biri de aerosolün kesme bölgesine dışarıdan püskürtülmesidir. Dışarıdan yapılan püskürtme işleminde içeride elde edilen

basınçlı hava-kesme sıvısı karışımı bir hat ve hattın ucundaki nozul aracılığıyla kesme bölgesine gönderilmektedir. Basınçlı hava ve muhafaza edilen yağ, sistemin çalışmasıyla kanallara gelerek nozuldan dışarı yağ buharı şeklinde çıkmaktadır.

Avantajları;

- Her türlü tezgâha kolayca uyum sağlamaktadır,
- Tepki verme süresi düşüktür,
- Çalışma güvenilirliği yüksektir,
- Kapalı konumda dışarı kesme sıvısı sızmaz,
- Püskürtme aralığı geniştir,
- Yüzey kalitesini artırır,
- Talaş ve iş parçası malzemesi temiz kalır,
- Çevreye ve çalışan sağlığına zarar vermez,
- Kesici ömrünü uzattığı için üretim maliyetleri düşer ve sistem kendini amorti eder.

Hava yağ karışımı, talaş kaldırma süreci içerisinde nozülün çıkarak gerçekleşir. Basınçlı hava ve kesme yağı MMY sistemi sayesinde eş zamanlı ve eş eksenli olarak bir hattan beslenir. Yağlayıcı karışımın nozülün ihtiva edebilmesi için Venturi prensibinden yararlanılarak biçim verilmiştir [93]. Şekil 4.5'te nozulun yapısı verilmiştir.



Şekil 4.5. Harici MMY sistem nozulu [93].

4.3. NANO AKIŞKANLAR VE ÖZELLİKLERİ

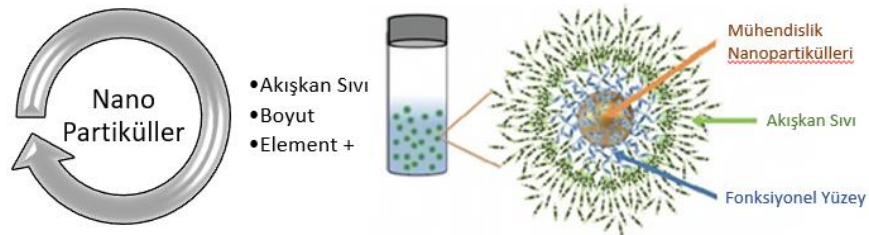
Nano akışkan, 100 nm'ye kadar boyutlara sahip nanopartikül barındıran sıvı süspansiyonu olarak tanımlanmaktadır. Bundan dolayı, nanoakışkanlar içerisinde bir taban akışkanı ve bunun içerisinde çok sayıda nano boyutlu parçacık bulunmaktadır [94]. Nano teknolojisindeki güncel gelişmeler sayesinde birçok araştırmacı imalat

endüstrisinde bu teknolojiyi kullanmak için araştırmalar yapmaya başlamıştır. Yapılan araştırmaların ana odak noktasını ise kesme sıvısının içerisine eklenecek nano parçacıklar ile soğutma-yağlama özelliklerinin iyileştirilmesi oluşturmaktadır. Özellikle, kesme sıvısının nano teknoloji sayesinde tribolojik ve termo-fiziksel özelliklerinin geliştirilebilir olması bu araştırmaların yoğunlaştığı noktalardır. Böylece, kesme sıvılarının performansı artırılarak işleme verimliliği üst noktaya taşınabilmektedir.

Nanoakışkan olarak tanımlanan kesme sıvıları, ana kesme sıvısının içerisine karıştırılmış nano katkı maddelerinin yer aldığı homojen karışımlardır. Günümüz teknolojiyle birlikte nanopartiküller metalik, non-metalik, karbür, oksit, karbonik, seramik ve bunların karışımı olan hibrit gibi çeşitli kimyasal yapılarda üretilmektedir. Nano katkı maddelerinin içerisine katıldıkları sıvılar ise soğutucu akışkan, su veya etilen glikol olabilmektedir. Dahası, mineral kesme sıvıları veya diğer tipteki kesme sıvıları da baz sıvı ihtiyacını karşılayabilmektedir [21].

Nano akışkanların, kesme sıvısına göre yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve takım aşınmasının azaltılmasında önemli katkılar sağladığı bilinmektedir [95]. Araştırmacıların çoğu, kesme sıvısına katılan nano katkı maddesinin sürtünmeyi önemli oranda azalttığını tespit etmiştir. Bunun yanında, katkı maddeleri sayesinde kesme sıvılarının ısı iletim katsayısı önemli ölçüde artabilmektedir [96].

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 sıvının yağlama özelliklerini arttırdığı bulunmuştur [97]. Nano akışkan ilavesinin, kesme sıvısının ısıl iletkenliği, viskozitesini, yoğunluğunu [21], kesme yağının ısı çekme, talaşın ısı taşıma kapasitesi [98] gibi özelliklerini arttırmaktadır. Nanopartiküllü kesme sıvılarının hazırlanması Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. Nanopartikül katkılı 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) [99] olup, işlenen malzemenin cinsi, kesici takım ve işleme performanslarına göre kesme yağlarına ilave edilmektedirler.

4.3.1. Nano Grafen'in Tanımı ve Kullanım Alanları

21. yüzyılın mucize malzemesi olan “Grafen” karbon atomunun bal peteği örgüsü şeklinde ve iki boyutlu planar yapıdadır. Grafen katlanabilir ve üstün mekanik özelliklerinden dolayı nanokompozit üretiminde karbon fibere üstünlük sağlamaktadır. Grafen kompozitlerin sağlamlık dışında yüksek elektrik iletkenliği, düşük gaz geçirgenliği, yüksek termal iletkenlik özellikleri gibi özelliklerinden dolayı özellikle otomotiv plastiklerinde çok geniş uygulama alanı bulunmaktadır. Grafen yakıt veriminin artması için yağlayıcılık, uzun ömür, hafif olmasından dolayı batarya ve akü üretiminde elektrot malzemesi ve uçak kanatlarının güçlendirilmesinde takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır [100].

Grafenin uygulama alanlarına örnek olarak;

- Yapı-inşaat malzemeleri,
- Otomobillerin iç donanımı,
- Rüzgâr türbinlerinin kanatları,
- Alev geciktiriciler,
- Batarya, akü, süperkapasitör,
- Yağlayıcılar,
- Uçakların iç donanımları, kanat yapımı verilebilir.

MMY yönteminde nanogرافit partiküllerini kesme yağlarına eklendiğinde özellikle yüksek kesme sıcaklıklarında, kesme sıvısının kararlılığını arttırıp yüzeye tutunmasını sağlayarak yağlayıcılığı arttırır ve kesici takımın çentik oluşumunu azaltarak takım ömrünü artmasını yardımcı olur [100]. Nanogرافen katkılı kesme sıvısının MMY yöntemi uygulanarak kullanılması durumunda, takım aşınmasında, MMY yöntemi ve kuru işlemeye göre, daha iyi sonuçları vermektedir. [101].

5. TAGUCHI METODU

Dr. Genichi Taguchi'nin yaptığı optimizasyon çalışmalarından sonra yöntem Taguchi olarak adlandırılmış ve literatürde de bu şekilde anılmaktadır. Taguchi yöntemi, kalite kavramının ortaya çıkması ve sonrasında kalite süreçlerinde kullanılarak gelişmesinde son derece önemli katkılar sağlamıştır. Taguchi yönteminde deneysel çalışmayla bütünleşik ve hedeflenen amaca ulaşmada en iyi kalite değerlerine ulaştıran bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Kalite mühendisliği kavramıyla birlikte çokça ilişkilendirilen bu yöntem ayrıca yapılan tasarımların kalitesini kontrol etmede ve maliyetlerin analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Taguchi metotları deneysel tasarımın yalnız istatistiksel bir uygulaması olmayıp aynı zamanda istatistiksel deney tasarımını güçlü bir mühendislik aracına çevirmiştir [102].

Taguchi yöntemi, kaliteli ürün tasarımlarının geliştirilmesi amacıyla oluşturulan bir analiz yöntemidir. Bu yöntemle birlikte birçok alanda, kalitesi yüksek, maliyetleri minimize edilmiş ürünlerin üretiminde son derece olumlu sonuçlar vermekle beraber, yöntemde kullanılan fonksiyonların birçoğu literatürde kabul edilmiş ve halen aktif olarak kullanılmaktadır [103].

Dr. Taguchi Japonya'da 20 yıllık bir çalışma gerektiren teknolojik telefon sistemini 4 yıl gibi çok kısa bir sürede tamamlayarak büyük bir başarıya imza atmıştır. Taguchi alışlagelmiş uygulamaların dışına çıkarak, tasarım yöntemlerinin dizayn edilmesinde robust ve kesir faktöriyel yöntemler uygulayarak adından tüm dünyada sıkça söz ettirmiştir [104].

Taguchi tasarladığı bu yöntemlerle kalite ile maliyet arasında kurmuş olduğu bağıntıyla diğer yöntemlerden farkını ortaya koymuştur. Kurduğu bağıntıda, ürün kalitesinin üreticiyi etkilemekle kalmayıp tüketiciyi ve dolayısıyla toplumu doğrudan etkileyebildiğini ortaya çıkarmıştır. Taguchi yöntemine göre üretilen ürünün kalitesinin tüketicinin beklentisini karşılamakla kalmayıp aynı zamanda kayıp maliyetlerin de minimize edilmesini sağlamaktadır [105].

Taguchi yönteminde temelde amaç nitel ve nicel koşulların ele alınarak kontrol edilebilen değişkenler ve kontrol edilemeyen değişkenlerin arasında en iyi düzeyde bir

bağıntı sağlamaktır [106]. Taguchi yönteminde farklı kombinasyonlarda her değişken parametrenin düzeyleri için fazla miktarda deneysel çalışma yapılacak olması durumunda, yöntemin dikey dizinleri kullanılarak az sayıda deneysel çalışmayla işlem kısa sürede bitirilebilmektedir [107]. Yöntemdeki dizinler, az sayıda deney sayısı ile amaca ulaşmayı sağlayarak klasik yöntemlerle her bir kombinasyonun değiştirilmesi yerine, eş zamanlı değiştirilmesini önermektedir [106].

Taguchi, kalite sistematığını iki gruba ayırmış ve grupları üretim aşaması ve sonrasındaki süreci on-line kalite kontrol ile üretim öncesi süreci çevrimdışı off-line kalite kontrol olarak tanımlamıştır.

5.1. ÜRETİM AŞAMASI VE SONRASI “ON-LİNE” KALİTE KONTROL

Dizayn edilen ürünün, üretim aşamasında ve üretim sonrası süreçlerde istenen kriterlere göre üretilebilirliği. Bu yöntem sayesinde tüketiciden gelen bildirimlerle üretilen ürünün kalite karakteristiği, performansı ve kullanım açısından geliştirilmesi sağlanabilmektedir.

5.2. ÜRETİM ÖNCESİ “OFF-LİNE” KALİTE KONTROL

Üretim aşamasında geçilmeden önce tüketicinin beklentilerini karşılayan ürünün ekonomik olarak üretilme sürecidir. Ayrıca ürünün tasarım ve üretim süreçlerinde istenen standartlara uygunluğu, yüksek kaliteli olarak üretilmesi olarak ifade edilebilir. Dr. Taguchi kaliteyi sağlama adına üretim öncesi kalite kontrolün her iki aşamasında; sistem tasarımı (kavram oluşturma), parametre tasarımı (ürün sürecinde hedef belirleme) ve tolerans tasarımı (ürünün yeniden kalite kontrolü) olarak üç gruba ayırmıştır [108].

5.2.1. Sistem Tasarımı (Kavram Oluşturma)

Dizayn sürecinde, en az maliyetle en fazla kalitede ürünün, tüketicinin talep ettiği kriterlere uygun olarak, ürün performansının geliştirildiği kısımdır.

5.2.2. Tolerans Tasarımı (Ürün Sürecinde Hedef Belirleme)

Bu kısımda, tüketiciye pazarlanan ürünün kalitesini belirleyen başka ifadeyle ürünün tüketici tarafından ihtiyaçlarına uygun olarak kullanılma veya kullanılmama durumudur.

5.2.3. Parametre Tasarımı (Ürünün Yeniden Kalite Kontrolü)

Bu kısımda ise ürün kalitesini etkileyen en önemli aşama olup, en az maliyetle ürünün üretilmesi adına ürünün tipik özelliklerinin optimum seviyede tutulması sağlanmaktadır [109].

Dikey dizin seviyeleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; iki seviyeliler L_4 , L_8 , L_{11} , L_{16} ve L_{32} , üç seviyeliler L_9 , L_{18} , L_{27} ve L_{36} , dört seviyeliler L_{16} ve L_{32} , beş seviyeliler L_{25} ve L_{50} olarak görülmektedir.

Çizelge 5.1. Taguchi dikey dizin ve faktörleri.

				Seviye Sayıları	
2. Seviye		3. Seviye		4. Seviye	
P=2, S=2	L_4	P=2, S=3	L_9	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	L_8	P=5, S=3	L_{18}	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	L_{11}	P=8, S=3	L_{27}	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	L_{16}	P=11, S=2	L_{36}	P=11, S=4	P=11, S=4
P=12, S=2		P=12, S=2		P=12, S=4	P=12, S=4
P=13, S=2		P=13, S=2			
P=14, S=2	L_{32}	P=14, S=3			
P=15, S=2		P=15, S=3			
P=16, S=2		P=16, S=3			
P=17, S=2	L_{32}	P=17, S=3			
P=18, S=2		P=18, S=3			
P=19, S=2		P=19, S=3			
P=20, S=2	L_{32}	P=20, S=3			
P=21, S=2		P=21, S=3			
P=22, S=2		P=22, S=3			
P=23, S=2	L_{32}	P=23, S=3			
P=24, S=2					
P=25, S=2					
P=26, S=2	L_{32}				
P=27, S=2					
P=28, S=2					
P=29, S=2	L_{32}				
P=30, S=2					
P=31, S=2					

Bu yöntemde parametre tasarımını aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz;

- Kalite özelliklerinin tespiti ve dizayn parametrelerine karar verilmesi,
- Dizayn parametreleri için uygun seviye ve dizayn parametreleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi,
- Dikey dizilerin uygun bir şekilde seçilmesi ve dikey dizine göre dizayn parametrelerinin tespit edilmesi,
- Dikey dizine göre deneylerin gerçekleştirilmesi,
- Sinyal/Gürültü (S/N) ve Anova analizleri kullanılarak, deneylerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi,
- Doğrulama deneylerinin gerçekleştirilmesiyle, uygun dizayn parametrelerinin değerlendirilmesi,

Taguchi yönteminde parametre tasarımına aşağıdaki hedeflerle ulaşılabilir;

- Yapılacak olan işlemin veya ürüne ait en uygun dizayn parametresinin belirlenmesi,
- Dizayn parametrelerine ait kalite özelliklerine katkısının tahmin edilmesi,
- En iyi dizayn parametrelerine göre kalite özelliklerinin tahmin edilmesi [110].

5.2.4. Sinyal Gürültü Oranları (S/N) ve Gürültü Etkenleri

Taguchi, ürün üretiminde ve yürütülen proseste kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen etkenleri, ürün ya da proseslerdeki fonksiyonel farklılıklar (varyans) ve gürültü etkenleri olmak üzere ikiye ayırmıştır. Proseste kontrol edilebilen etkenler dizayn parametreleridir ki bu parametreler dizayn eden tarafından rahatça belirlenebilmektedir. Proseste gürültü faktörleri olarak adlandırılan kontrol edilemeyen etkenler ise, ürünün fonksiyonel özelliklerinin farklılığını oluşturan ve proseste kontrol altına almanın son derece zor olduğu aynı zamanda maliyetli olduğu etkenlerdir [111].

Gürültü faktörleri temelde aşağıdaki gibi üç değişken grup altında incelenebilmektedir;

1. Dışa Bağlı Gürültü (external noise) : Titreşim, nemlilik, ısı farkı, elektrik voltajı, istenmeyen toz gibi kontrol altına alınamayan çevreye bağlı değişkenlerdir.
2. İçe Bağlı Gürültü (internal noise) : Kullanım sonrası üründe meydana gelen aşınma, süre, gibi değişkenlerdir.

3. Birimden Birime Gürültü (unit to unit noise): Üretim esnasında aynı karakteristikte üretilmelerine rağmen, çalışanların vardiyada değişimi, hammadde de görülebilen ve kontrol altına alınamayan etmenler nedeniyle oluşan değişkenlerdir. Yapılacak deneylerde asıl amaç kalite değişken karakteristiklerini optimize etmektir. Aynı şekilde kalite karakteristiğinin değişkeni olan Y faktörünün varyansını minimize etmek de farklı bir amacı oluşturmaktadır. Dr. Taguchi bu konudan ilk olarak bahseden kişi olmuştur [111].

Taguchi yöntemi, deneysel sonuçlarda elde edilen değişik verilerin azaltılarak, üretim sürecinde kontrol altına alınamayan faktörlerin sebep verdiği değişikliklere karşı hassas olmasını sağlar [108].

Taguchi yönteminde kompleks yapıdaki üretim proseslerinin nihai ürün üzerindeki etkilerini araştırmak için deney sayılarını ciddi oranda azaltılmasını sağlamaktadır. Kullanılan işleme parametrelerinin nihai ürün üzerindeki özelliklerinin değerlendirilmesinde sinyal/gürültü (S/N) oran istatistik yöntemi kullanılmaktadır [112].

Taguchi yöntemi sayesinde, üründe gürültüye bağlı oluşabilen değişiklikler minimize edilirken, sinyale bağlı değişiklikler maksimize edilir. Ayrıca bu yöntem, arzu edilen çıktı parametrelerinin logaritmik fonksiyonu sinyal/gürültü (S/N) oranı adı verilen, istatistiksel katsayı η sağlanır. Değerlendirmede son ürünün karakteristikleri üzerindeki etkisine S/N oranları izin verir. Taguchi yöntemi, yapılan işlemin anlamlı faktörlerini içerdiği istatistiksel bakımdan veri sağlar ve S/N oranı analizi parametrelerinin optimum seviyelerini tespit etmeyi sağlar. Taguchi yönteminde; en küçük en iyidir yaklaşımı, en büyük en iyidir yaklaşımı ve nominal en iyidir yaklaşımı olmak üzere üç yaklaşım benimsenmiştir. Aşağıda bahsedilen yaklaşımlara ait denklemler bulunmaktadır.

En küçük en iyidir yaklaşımı ve sinyal-gürültü oranı n denklemi Eş 5.1’de verilmiştir.

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

En büyük en iyidir yaklaşımı ve sinyal-gürültü oranı n denklemi Eş 5.2’de verilmiştir.

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

Nominal en iyidir yaklaşımı ve sinyal-gürültü oranı n denklemi Eş 5.3’te verilmiştir.

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

Tüm denklemlerde yer alan; y_i sinyallere karşı oluşan ilk tepkidir, η her bir deneye ait tekrar sayısıdır ve σ^2 standart sapmayı ifade etmektedir [113].

5.2.5. Varyasyon Analizleri

Varyasyon analizlerinin ölçülmesinde, R (aralık) ve S (standart sapma) örneklemeler

Örnek bir R değeri için aşağıdaki denklem kullanılabilir;

$$R = \text{En büyük gözlemden elde edilen değer} - \text{En küçük gözlemden elde edilen değer}$$

R, en büyük ve en küçük değerlerden çokça etkilendiğinden, Varyasyon ölçütü, R değerinin yerine S standart sapma değeri kullanılabilir [106].

Standart sapma S olarak alındığında, örneklemin varyansı S^2 'nin pozitif karekökü Eş. 5.4'te verilmiştir.

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

Denklemden yer alan $\bar{Y}$ = gözlenen değerleri, Y = g değerlerin ortalamasını, n = gözlem sayısını ifade etmektedir.

5.2.6. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, iki veya daha fazla değişkene ait olan ve aralarında oluşan neden/sonuç ilişkisini, tahminlerle yapabilmek adına matematiksel denklem oluşturan istatistiksel bir analizdir. Verilen noktalardan elde edilebilecek en iyi eğriyi saptama işleminde genelde en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, toplam hatanın minimize edilecek biçimde bir eğri olarak ifade edilemesine dayanan bir yaklaşım sunulmaktadır [114].

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Talaşlı imalatla kullanılan kesme ve soğutma sıvıları, kesici takım ömrüne ve iş parçası yüzey pürüzlülüğüne olumlu etki etmesi, ayrıca çevreye ve insan sağlığına daha az zarar vermesinden dolayı son yıllarda araştırmacılar tarafından üzerinde yoğun çalışmalar yapılmıştır. Kullanılan kesme sıvısı miktarlarının en aza indirgenmesi ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin minimize edilmesi ile kesme performansının artırılması ihtiyacımız olan gereksinimleri sağlayabilecektir. Bu doğrultuda geliştirilen Minimum Miktarla Yağlama (MMY) sistemleri kesme sıvısı kullanımını önemli miktarda azaltmasıyla ihtiyaç duyulan gereksinimleri karşılayabilecek bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. MMY yöntemi kullanılarak yapılan işlenebilirlik çalışmaları aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

Kedare ve arkadaşları, universal freze tezgâhında konvansiyonel soğutma yağlamaya alternatif olması adına, MMY yöntemlerinin performansını incelemişlerdir. Bu amaçla, ıslak kesme ve MMY koşulları altında, üç farklı kesme hızı (160, 225 ve 300 m/dak), üç farklı kesme derinliğinin (0.1, 0.2 ve 0.3 mm) yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre MMY koşulları altında gerçekleştirilen yüzey pürüzlülük deneylerinde ıslak kesmeye göre, en iyi sonuçlara ulaşıldığını ifade etmişlerdir. En düşük yüzey pürüzlülük değerine (0.95 μ m) 225 m/dak kesme hızında ve 0.3 mm kesme derinliğinde ulaşıldığını bildirmişlerdir [115].

Samuel ve arkadaşları, yarı sentetik metal işleme yağlarının soğutma/yağlama etkinliğini artırma adına kesme yağının içerisine farklı oranlarda (ağırlıkça %0.1, 0.2 ve 0.5) nano grafen partikülleri ekleyerek mikro tornalamayla işleme deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla grafen nanopartiküllerinin ısı iletkenlik özelliklerinin ve yağlama özelliklerinin sayesinde kesme kuvveti ve kesme sıcaklıklarında kayda değer iyileşmeler sağlandığını ifade etmişlerdir. Ayrıca çalışmada, grafen performansının değerlendirilmesinde temas açısı, termal iletkenlik ve kinematik viskozite ölçümlerinde ağırlıkça %0.5 tek duvarlı ve çok duvarlı karbon nanotüpler kullanmışlardır. En düşük temas açısı ve en yüksek termal iletkenlik katsayısı %0.5 grafen katkılı nanoakışkanlarda elde edilirken, kinematik viskozite ölçümlerinde ise en yüksek viskozite tek duvarlı karbon nanotüp katkılı

nanoakışkanlarda elde edildiğini iddia etmişlerdir. Grafen nano partiküllerinin kesme yağına eklenmesiyle, soğutma/yağlama performansını arttırdığını ve termal iletkenliği yüksek olması sayesinde kesme bölgesinde oluşan ısının uzaklaştırılmasında son derece etkili olduğunu, tek ve çok duvarlı karbon nanotüp partikül katkılı yağlara üstünlük sağladığını belirtmişlerdir [116].

Zhang ve arkadaşları, Inconel 718 süper alaşımının parmak frezeyle işlenmesinde, kuru ve MMY koşullarının kesme performansına etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla frezelemede TiAlN/TiN kaplamalı karbür kesici takım kullanarak, kesme parametreleri olan ilerleme değerini 0.1 mm/diş, aksel kesme derinliğini 0.5 mm, radyal kesme derinliğini 1 mm, kesme hızını 55 m/dk olarak belirlemişlerdir. Kesme kuvveti ve kesici takım aşınma değerlerinin araştırıldığı çalışmada kuru kesme şartlarına göre en iyi performansı MMY kesme şartları altında elde ettiklerini bildirmişlerdir. Bitkisel esaslı kesme yağının kullanıldığı çalışma sonunda, Inconel 718 malzemesinin işlenmesinde kuru şartlara göre ekolojik alternatif olarak MMY yönteminin kullanılabileceğini ifade etmişlerdir [117].

Zhang ve arkadaşları, nikel esaslı süper alaşım malzemelerin taşlanması esnasında MoS₂/CNT hibrid nanopartiküllerinin MMY koşulları altında işleme performanslarını incelemişlerdir. Bu amaçla ağırlıkça %2, %4 ve %6 CNT, MoS₂ nano partiküllerinin tek başına eklendiği ve 1:1, 1:2, 1:3, 2:1 aynı anda hibrid olarak eklenerek eklendiği çalışmada en düşük kesme kuvveti değerlerinde MoS₂ nanopartikülün (normal kuvvet: 82.63 N, teğetsel kuvvet: 24.98 N) tek başına eklendiği nanoakışkanın, yüzey pürüzlülükte ise 2:1 hibrid nanoakışkanın (0.294 µm) daha iyi performans gösterdiğini iddia etmişlerdir. Katkılı hibrid nano partiküller iki veya daha fazla nano partiküllerin özelliklerinin bütünleşerek daha iyi yağlama, soğutma ve yüksek ısı transferine sahip olduğunu söylemişlerdir. Deneyler sonucunda, MoS₂/CNT hibrid nanoakışkan oranının 2:1 ve nanoakışkan konsantrasyon oranının %6 olduğu oranlarının en optimal değerler olduğunu ifade etmişlerdir [118].

Sharma ve arkadaşları, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin tornalanması esnasında MMY koşulları altında işleme performanslarını araştırmışlardır. NanoMMY ve MMY kesme koşulları altında üç farklı kesme hızının (51, 79, 123 m/dak), üç farklı ilerleme değerinin (0.1, 0.15 ve 0.2 mm/dev) ve üç farklı hava basıncının (5, 6 ve 7 bar) girdi parametresi olarak kullanıldığı çalışmada, kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Ağırlıkça %0.02 oranında kesme yağına eklenerek hazırlanan

nanoakışkanların ısı iletim katsayısının yüksek olması nedeniyle kesme hızında ciddi düşüşlerin olduğunu ve yağlayıcılık özelliğinin yüksek olması sayesinde yüzey kalitesinin daha iyi çıkması neticesinde kesici takım aşınmasının daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir [119].

Sharma ve arkadaşları, işleme esnasında metalik veya metalik olmayan nanopartiküllerin kullanılmasıyla oluşan mekanizmaların konvansiyonel soğutma/yaglamaya göre etkilerini incelemişlerdir. Nanopartiküllerin üstün termal ve tribolojik etkileri sayesinde kesme bölgesinde hem yağlamaya yardımcı olduğunu hem de kesme bölgesinde oluşan sıcaklıkların hızlı tahliye edildiğini belirtmişlerdir. Nanopartiküllerin yuvarlanma etkisi, koruyucu film etkisi, tamir etkisi ve parlatma etkisi mekanizmaların olması sayesinde farklı tipte kullanılan nanopartiküllerin düşük oranda kullanılmasıyla bile üstün performans sergilediklerini de ifade etmişlerdir. Nanopartikül katkılı nanoakışkanların, kuru işleme ve konvansiyonel kesme sıvısı işlemlerine kıyasla nispeten daha iyi bir tribolojik performans gösterdiğini ve yüksek termal iletim katsayıları sayesinde daha iyi yüzey bütünlüğü, düşük kesme kuvveti ve düşük kesici takım aşınmasını sağladığını iddia etmişlerdir [120].

Krishna ve Rao, EN48 çeliğinin sementit karbür takımlarla tornalanmasında kuru, ıslak kesme ve nanoakışkan kesme koşulları altında kesici takım aşınma ve yüzey pürüzlülüklerin kesme performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Termal iletkenliklerin tespitinde kesme sıvısına ağırlıkça (%0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ve 0.5) çok duvarlı karbon nanotüp ekleyerek nanoakışkan hazırlamışlardır. Termal iletkenlik ölçüm sonuçlarına göre ağırlıkça %0,3 çok duvarlı karbon nanotüp eklenen nanoakışkanın en yüksek iletkenlik değerine sahip olduğunu, nanopartikülün daha da eklenmesiyle termal iletkenliğin düştüğünü iddia etmişlerdir. Sabit kesme hızı (40 m/dak), sabit ilerleme değeri (0,065 mm/dev) ve sabit kesme derinliğinde (1 mm) gerçekleştirilen deneysel çalışma sonunda nanoakışkan kesme koşulunun diğer kesme koşullarına göre yüzey pürüzlülüğünde ve kesici takım yanak aşınma değerlerinde daha iyi performans gösterdiğini ifade etmişlerdir [121].

Roy ve Ghosh, AISI 4140 çeliğinin kaplamalı sementit karbür takımlarla kuru, ıslak ve MMY koşulları altında kesme sıcaklığının ve kesme kuvvetinin işleme performansına etkilerini araştırmışlardır. Kesme esnasında kesici takım ucunda oluşan sıcaklığı termokupl, pyrometre ve kızıl ötesi kamera ile ölçüp, Deform 3D analiz programıyla doğruluğunu kontrol etmişlerdir. Sabit kesme derinliği (0.4 mm), dört farklı kesme hızı

(100, 150, 200, 250 ve 300 m/dak) ve üç farklı ilerleme değeri (0.05, 0.1 ve 0.2 mm/dev) kesme parametrelerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda, diğer kesme koşullarına göre çok duvarlı karbon nanotüp katkılı nanoakışkan kesme koşulunun kesme sıcaklığını %10-30 düşürdüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca kesme kuvvetlerinin optimum değerlerinin tespitinde Taguchi L_9 dikey dizinini kullanmışlardır. Bu amaçla üç farklı kesme hızının (115, 160, ve 225 m/dak), üç farklı ilerleme oranının (0.05, 0.1 ve 0.2 mm/dev) ve üç farklı kesme derinliğinin (0.4, 0.6 ve 0.8 mm) girdi parametresi olduğu deneyler sonucunda, kesme kuvveti üzerinde %91.23 etki oranıyla ilerleme oranının olduğunu iddia etmişlerdir [122].

Uysal, günümüzde yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelik malzemelerin düşük ısı iletkenlikleri, kimyasallarla reaksiyona girmemeleri, pekleşme eğilimleri ve içeriğindeki krom oranının yüksek olmasından dolayı işlenebilirlik özellikleri zor malzemeler olarak bilinirler. Paslanmaz çelik malzemelerin işlenmesi esansında kesme sıcaklığının kontrol altında alınması adına en bilinen yöntem kesme sıvılarının kullanılmasıdır. Fakat kesme bölgesine gönderilen bu kesme sıvıların maliyetlerin yüksek olması, çalışan sağlığına ve çevreye verdiği zararlardan dolayı son zamanlarda alternatif yöntemlere başvurulmaya başlandığını ifade etmiştir. Yapıtığı çalışmada, AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğinin frezelenmesinde, konvansiyonel kesme ve MMY kesme koşulları altında kesme bölgesinde oluşan sıcaklıkları araştırmıştır. MMY sisteminde bitkisel esaslı kesme yağına ağırlıkça %0.1, 0.15 ve 0.2 çok duvarlı karbon nanotüp ekleyerek karışım oranlarının ve debinin işleme performansına etkilerini incelemiştir. Deney sonuçlarından elde ettiği verilerde, çok duvarlı karbon nanotüp eklenmesiyle kesme sıcaklığının azalmaya geçtiğini fakat eklenmeye devam etmesiyle yüne artış gösterdiğini, aynı zamanda debinin artmasıyla da kesme sıcaklığının azaldığını iddia etmiştir [123].

Lee ve arkadaşları, parafin esaslı kesme yağı içerisine Al_2O_3 ve elmas nanopartikülleri ekleyerek MMY koşulları altında mikro taşlama oprasyonlarında kesme parametrelerinin yüzey kalitesi ve kesme kuvveti üzerine etkilerini incelemişlerdir. 30 ve 150 nm boyutlarında Al_2O_3 ve elmas nanopartikülleri parafin esaslı kesme yağına ağırlıkça %2 ve %4 oranlarında ekleyerek nanoakışkanları hazırlamışlardır. Kuru, hava, MMY, NanoMMY kesme koşulları altında gerçekleştirilen deneylere göre, en düşük kesme kuvveti değerlerine 30 nm boyutlarında ağırlıkça %4 nano elmas katkılı nanoakışkanlarda elde edilirken, en düşük yüzey pürüzlülük değerlerine 30 nm

boyutlarında ağırlıkça %2 nano Al_2O_3 katkılı nanoakışkanlarda elde edildiğini belirtmişlerdir [124].

Prasad ve Srikant, metal işleme operasyonlarında, kesme sıvılarının çevreye ve insan sağlığı üzerine olumsuz etmenlerinden dolayı alternatif soğutma/yağlama stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu bağlamda araştırmacılar AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında kuru, ıslak ve farklı oranlarda (ağırlıkça, %0.1, 0.3 ve 0.5) 80 nm boyutlarında grafit tozlarının eklenmesiyle hazırlanan nanoakışkan kesme koşulları altında, işleme performansının kesme kuvveti, kesme sıcaklığı, yüzey kalitesi ve kesici takım aşınmaları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre; kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve kesici takım yanak aşınmasında ıslak işleme en iyi performansı gösterirken, ardından nano grafit katkılı nanoakışkan kesme koşulu gelmektedir. Nano grafit katkısının artmasıyla kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve kesici takım yanak aşınmasında iyileşmelerin arttığını iddia etmişlerdir [125].

Sharma ve arkadaşları, Al_2O_3 ve çok duvarlı karbon nanotüp nanopartiküllerinin aynı anda eklendiği hibrid koşullarda, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında, işleme performansının kesme sıcaklığı ve kesici takım yanak aşınması üzerine etkilerini incelemişlerdir. Hacimce %0.25, 0.75 ve 1.25 oranlarında ekledikleri nanopartiküllerle nanoakışkanları hazırlayarak, üç farklı kesme hızının (60, 90 ve 120 m/dak) üç farklı ilerleme değerinin (0.08, 0.12 ve 0.16 mm/dev) girdi parametresi olduğu Taguchi L_{27} dikey dizin tasarımını deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneylerden elde edilen verilerden faydalananarak Al_2O_3 /çok duvarlı karbon nanotüp hibrid nanoakışkanlarının kesme sıcaklığını Al_2O_3 nanoakışkanına göre %27.36, kesici takım yanak aşınmasını %11 azalttığını belirtmişlerdir [126].

Çelik ve Kıvak, MMY sisteminde kullanılan farklı kesme yağlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 17-4 PH çeliğini kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanarak tornalamışlardır. Taguchi L_9 dizin tasarımının kullanıldığı çalışmada, girdi parametrelerini; kesme hızı (160, 240 ve 320 m/dak), kesme yağı cinsi (mineral, sentetik ve bitkisel esaslı) ve debi (30, 60 ve 90 ml/h) olarak belirlemişlerdir. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla Varyans (Anova) analizini uygulamışlardır. Deneylerden elde ettikleri sonuçlarda, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin kesme sıvısı tipi olduğunu iddia etmişlerdir [127].

6.1. LİTERATÜR DEĞERLENDİRİLMESİ

AISI 904L östenitik paslanmaz çeliği ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, yüksek korozyon ve aşınma direncinin ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılmak üzere özel olarak geliştirilmiş fakat işlenebilirlik performansı hakkında çalışmaların yeterli olmadığı görülmüştür. Nükleer ve havacılık sanayinde yaygın olarak kullanılan ve süper östenitik grubunda yer alan AISI 904L çeliğin yapılan bu çalışma ile birlikte işlenmesi esnasında ortaya çıkması muhtemel sorunların minimize edilmesiyle nispeten daha düşük bir işleme maliyetiyle işlenebilirliği etkileyen parametrelerin optimizasyonu sağlanacaktır.

Literatürde son yıllarda konvansiyonel soğutma/yağlamaya alternatif olarak ortaya çıkan ve yarı kuru işleme olarak da adlandırılan MMY sistemi çevreci olması, işleme sonrası yağ bertaraf maliyetlerinin olmaması, çalışan sağlığı üzerinde çok az olumsuz etkilerinin olması gibi üstün yönleri nedeniyle yaygın olarak tercih edilmeye başlanmıştır. MMY sisteminde bitkisel esaslı yağların kullanılması işleme verimliliği ve ekolojik açıdan son derece önemli iyileşmeler sağlasa da konvansiyonel soğutmaya göre işleme performansı daha geride kalabilmektedir. Araştırmacılar, MMY sisteminde kullanılan yağların içerisinde ağırlıkça veya hacimce farklı oranlarda nanopartiküller ekleyerek MMY sistemin verimliliğini ve işleme performansını geliştirmişlerdir. Nano boyuttaki katı grafen partiküllerinin yüksek termal iletim katsayısına sahip olmaları, üstün yağlayıcılık özellikleri, yüzeylere yapışarak tribo film tabakasını arttırmaları gibi olumlu özellikleri nedeniyle, kesme bölgesinde oluşan sıcaklıkların azaltılmasında, yüzey kalitesinin iyileştirilmesinde ve kesici takım aşınma mekanizmalarının gelişimini yavaşlatmasında verimli bir alternatif yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Taguchi optimizasyon yöntemi ile gereksiz yapılacak deneylerden kaçınarak, zaman ve işleme maliyetlerinin azaltılmasının yanı sıra ürün kalitesi ve işleme verimliliğinin artırdığı tespit edilmiştir.

Tüm bu sonuçlar doğrultusunda, AISI 904L östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin ve kesme şartlarının yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları üzerindeki etkileri deneysel ve istatistiksel olarak değerlendirilerek optimal işleme koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla optimizasyon yöntemi olarak Taguchi tekniği kullanılarak deney tasarımlarının oluşturulmasına karar verilmiştir.

7. MALZEME VE METOT

Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan materyal ve yöntemler ele alınarak, AISI 904L östenitik paslanmaz çeliğinin tornalanmasında, kesme parametrelerinin ve kesme şartlarının, yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve kesme sıcaklığı (T) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışma iki aşamada ele alınmış olup birinci aşamada MMY parametreleri (debi ve basınç) ile birlikte nano akışkan konsantrasyon oranı optimize edilmiştir. İkinci aşamada ise kesme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme hızı) ile nano akışkan konsantrasyon oranlarının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Böylece nano akışkan optimal konsantrasyon oranı üzerinde hem MMY parametrelerinin hem de kesme parametrelerinin etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır. İşleme parametrelerinin optimizasyonunda Taguchi metodu kullanılmış, girdi parametrelerinin çıktılar üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla Varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Ayrıca bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla çoklu regresyon analizi uygulanmıştır.

7.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME

Tornalama deneylerinde, iş parçası malzemesi olarak Ø60x300 mm boyutlarında ticari AISI 904L östenik paslanmaz çelik numuneler kullanılmıştır. İş parçası malzemesine ait kimyasal bileşim değerleri ile mekanik özellikler sırası ile Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. AISI 904L Östenik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi.

Kalite	C	Cr	Ni	Mo	S	Mn	Si	Cu
1.4539	0,12	19,64	24,70	4,1	0,001	1,25	0,70	1,2 – 2,0
AISI 904L								

Çizelge 7.2. AISI 904L Östenik paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri.

Kalite	Kopma (Rm/Nmm ²)	Akma (Rp 0.2 N/mm ²)	Uzama (A5 %)	Sertlik (HB)
1.4539 AISI 904L	490 – 520	220	35	<230

7.2. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TEZGÂHI

İşleme deneyleri, Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği laboratuvarında bulunan ACCUWAY marka JT-150 model CNC torna tezgâhı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tornalama deneylerinde kullanılan takım tezgâhına ait görsel Şekil 7.1’de teknik özellikler ise Çizelge 7.3 verilmiştir.



Şekil 7.1. İşleme deneylerinde kullanılan CNC torna tezgâhı.

Çizelge 7.3. Deneylerde kullanılan CNC torna tezgâhına ait teknik özellikler.

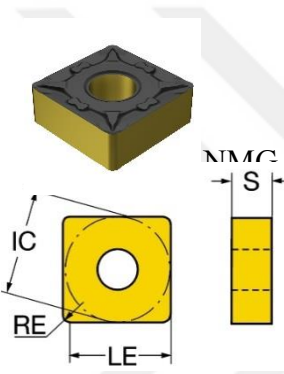
Markası	ACCUWAY JT - 150
Çevirme Çapı	Ø 505 Mm
Maksimum Tornalama Çapı	Ø 318 Mm
Maksimum devir sayısı	4500 dev/dak
Kesici bağlama hane sayısı	8
Fener mili motor gücü	7,5 / 11 Kw
İşletim sistemi	Fanuc OT

7.3. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIM

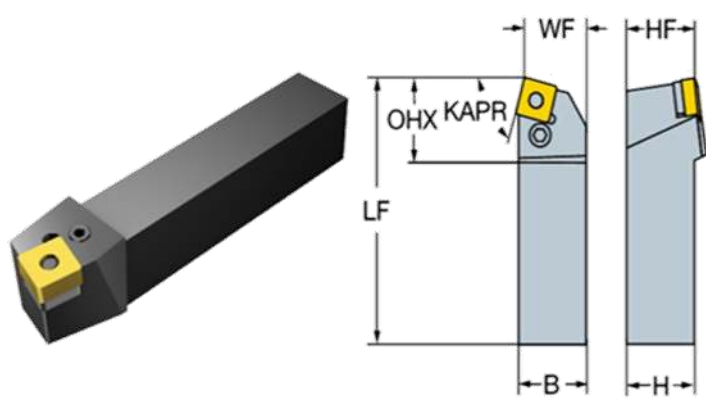
Tornalama deneyleri, SNMG 12 04 04-MF 2220 kodlu CVD Ti(C,N)+Al₂O₃+ TiN kaplı sementit karbür kesici takımlarla gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kesici takım ve kaplamaya ait teknik özellikler Çizelge 7.4’te kesici takım boyutsal ölçüleri ise Şekil 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.4. Kesici takıma ait teknik özellikler.

ISO Kodu	Kaplama yöntemi	Kaplama türü	İç teğet daire çapı	Köşe radyüsü
SNMG 12 04 04-MF 2220	CVD	Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	12,7 mm	0,397 mm

	Malzeme sınıflandırması	1. seviye (TMC1ISO)M
	Kesici uç boyutu ve biçimi (CUTINTSIZESHAPE)	SN1204
	Etkin kesme kenar uzunluğu (LE)	12,3 mm
	Köşe radyüsü (RE)	0,397 mm
	Yön (HAND)	N
	Kalite (GRADE)	2220
	Takım hammaddesi (SUBSTRATE)	HC
	Kaplama (COATING)	CVD Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
	Parça ağırlığı (WT)	0,009 kg

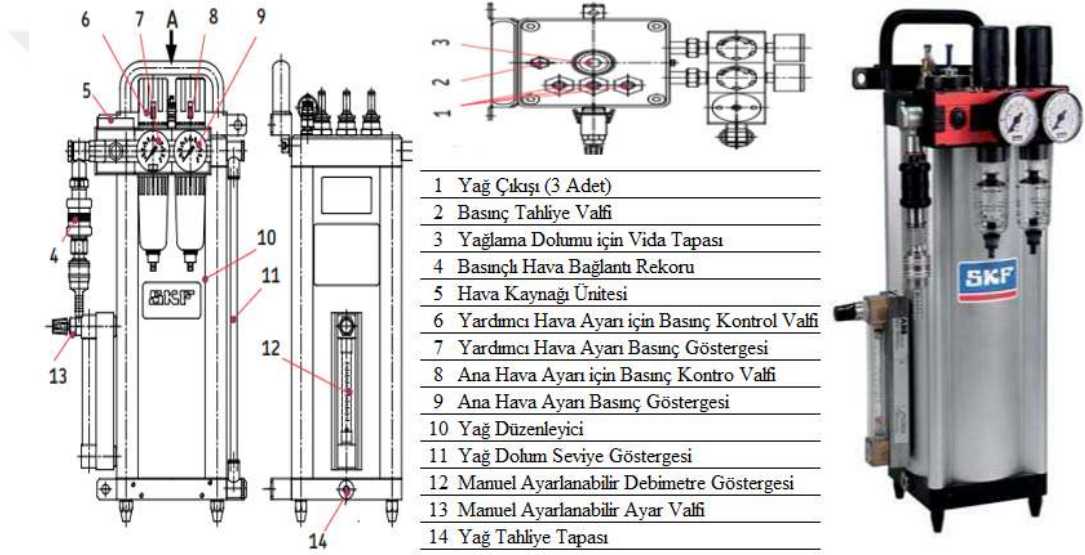
İşleme deneylerinde kesici takımların torna tezgâhına bağlanması için PSBNR 2525 M 12 (Sandvik Coromant) torna kateri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan katere ait boyutsal ölçüler Şekil 7.3’de verilmiştir.

	LF	150 mm
	B	25 mm
	WF	22 mm
	HF	25 mm
	HF	25 mm
	OHX	27,5 mm
	KAPR	75°

Şekil 7.3. PSBNR 2525 M12 torna kateri.

7.4. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MMY) SİSTEMİ

MMY sistemi olarak içten ve harici soğutma uygulamalarına uygun olan SKF marka LubriLean-Vario modeli soğutma/yağlama sistemi kullanılmıştır. Bu sistem hemen hemen her türlü tezgâha entegre edilerek uygulama yapılabilmesine imkan tanımaktadır. İşleme deneylerinde kullanılan MMY sistemine ait görsel ve kısımları Şekil 7.4, teknik özellikleri ise Çizelge 7.5’te verilmiştir. MMY sistemi ile yapılan soğutma/yağlama uygulamasında kesme yağı, kesme bölgesine 2 mm çapındaki nozul vasıtasıyla dışarıdan tatbik edilmiştir. Tüm deneylerde nozul mesafesi 25 mm ve nozul açısı 30° olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 7.4. MMY sistemi.

Çizelge 7.5. LubriLean-Vario teknik özellikler.

İşleme Metotları	Torna, freze ve delme
Tatbik Şekli	İçten veya dıştan
Kapasite	1,8 litre
Çalışma Basıncı	4-10 bar
Yağ Miktarı	1-150 ml/saat
Hava Tüketimi	15-300 nl/dak
Çıkış Bağlantı Nokta	1-3

MMY sistemi ve tezgâha kurulumunu gösteren deney seti Şekil 7.5’te verilmiştir.



Şekil 7.6. Deney seti.

7.5. DENEYLERDE KULLANILAN NANO AKIŞKANLARIN HAZIRLANMASI

Deneylerde kullanılan nano akışkanların hazırlanmasında baz sıvı (saf kesme yağı) olarak, Fuchs PlantoCut 10 SR (OPET) bitkisel esaslı kesme yağı kullanılmıştır. Kullanılan kesme yağı, üstün yağlama özelliği ve yüksek ısı taşıma kapasitesine sahip olup, klor ve ağır metaller bulundurmeyen doğada çözülebilen çevre dostu bir yağdır. Deneylerde kullanılan kesme yağının teknik özellikleri Çizelge 7.6’da verilmiştir.

Çizelge 7.6. Opet Fuchs PlantoCut 10 SR Kesme yağı özellikleri.

Viskozite (40	10mm ² /s
Yoğunluk (15	860 kg/m ³
Parlama	205 °C
Kesme Yağı	Bitkisel

MMY sistemi ile birlikte kullanılan kesme yağının işleme esnasında daha iyi soğutma ve yağlama özelliği sergilemesi amacıyla, içerisine farklı oranlarda (hacimce) nanografen partiküller ilave edilerek nano akışkanlar hazırlanmıştır. Bu çalışmada nano akışkanların hazırlanmasında kullanılan nanografen katı partiküllere ait teknik özellikler Çizelge 7.7’de verilmiştir.

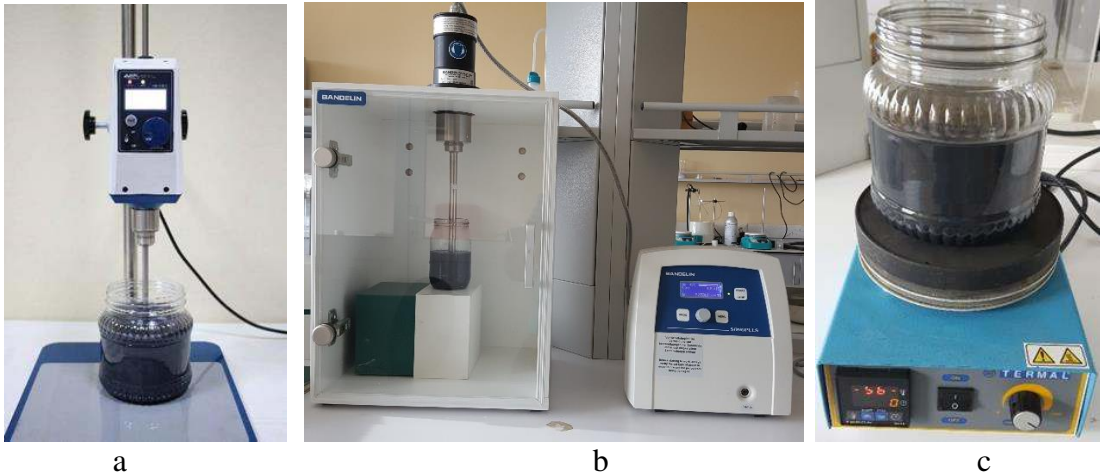
Çizelge 7.7. Nanografen özellikleri.

Safılık	99%
Dış Çap	30 µm
Uzunluk	5 nm

Bitkisel esaslı kesme yağı içerisinde hacimce %0, %0,8 ve %1,2 konsantrasyon oranında ilave edilen nanografen katı partikülleri, üç aşamadan oluşan karıştırma işlemi uygulanarak hazırlanmıştır. Kesme yağı içerisinde ilave edilen katı nanografen partiküller ilk olarak DAIHAN marka HS-100D model mekanik karıştırıcıyla 60 dakika boyunca, 750 dev/dak ile karıştırılmıştır. Daha sonra Bandelin Sonopuls marka UW 3200 model ultrasonik karıştırıcı yardımıyla 60 dak daha karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik karıştırıcı ile karıştırılan kesme yağı içerisindeki katı nanografen partiküllerin homojen dağılımını sağlama adına son olarak; TERMAL marka N11150M model manyetik karıştırıcı ile 60 dakika boyunca 1500 dev/dak ile karıştırma işlemi devam etmiştir. Karıştırma prosesinde kullanılan mekanik karıştırıcıya ait teknik özellikler Çizelge 7.8’de verilmiştir. Üç aşamalı (Mekanik, ultrasonik ve manyetik) gerçekleşen karıştırma işlemine tabii tutulan nanografen partikülleri, kesme yağı içerisinde olabildiğince homojen olarak dağılımı sağlanmıştır. Nanografen partiküllerin hazırlanırken kullanılan karıştırma cihazları Şekil 7.6’da verilmiştir.

Çizelge 7.8. 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



Şekil 7.6. Nano akışkan hazırlama prosesi a) mekanik karıştırıcı, b) ultrasonik karıştırıcı, c) manyetik karıştırıcı.

7.6. TAGUCHI OPTİMİZASYON YÖNTEMİ

Taguchi metodu, ürün kalitesini arttırmak ve deney sayısını azaltmak amacıyla uygulanan, tasarım ve analiz ilişkisini sistematik bir şekilde ortaya koyan istatistiksel yaklaşım yöntemlerinden biridir [128]. Taguchi metodunun kullanımı yüksek kaliteli ürünlerin çok daha hızlı ve düşük maliyetle üretilmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışmada, Taguchi metodu ile deney tasarımları yapılmış olup kalite karakteristikleri olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve kesme sıcaklığı (T) dikkate alınmıştır.

Farklı kesme parametrelerinin optimizasyonu için Taguchi metodunun L_9 ve L_{27} dikey dizinleri kullanarak iki aşamalı deney tasarımı gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada L_9 dizini kullanılarak MMY parametreleri ile nanoakışkan 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 7.9'da, deney tasarımı ise Çizelge 7.10'da verilmiştir.

Çizelge 7.9. L_9 işleme parametreleri ve seviyeleri.

Kontrol faktörleri	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Debi (Q -ml/h)	A	20	40	60
Basınç (P -bar)	B	4	6	8
Konsantrasyon Oranı (% hacimce)	C	0	0,8	1,2

Çizelge 7.10. Taguchi L_9 dikey dizisi.

Deney No	Değişkenler	Sembol A	Sembol B	Sembol C
1	$A_1B_1C_1$	1	1	1
2	$A_1B_2C_2$	1	2	2
3	$A_1B_3C_3$	1	3	3
4	$A_2B_1C_3$	2	1	3
5	$A_2B_2C_3$	2	2	3
6	$A_2B_3C_1$	2	3	1
7	$A_3B_1C_3$	3	1	3
8	$A_3B_2C_1$	3	2	1
9	$A_3B_3C_2$	3	3	2

İkinci aşama da ise L_{27} düşey dizini kullanılarak kesme parametreleri ile nanoakışkan konsantrasyon oranlarının yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkisi irdelenmiştir. L_{27} tasarımı ile gerçekleştirilen deneylerde, girdi parametreleri kesme hızı

(Vc-m/dak), ilerleme hızı (f-mm/dev) ve konsantrasyon oranı (%-hacimce) olarak belirlenmiştir. Kontrol faktörleri ve seviyeleri Çizelge 7.11’de, deney tasarımı ise Çizelge 7.12’de verilmiştir.

Çizelge 7.11. L₂₇ işleme parametreleri ve seviyeleri.

Kontrol faktörleri	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Konsantrasyon oranı	A	%0	%0.8	%1,2
Kesme Hızı (m/dak)	B	100	150	200
İlerleme Hızı (mm/dev)	C	0,1	0,15	0,2

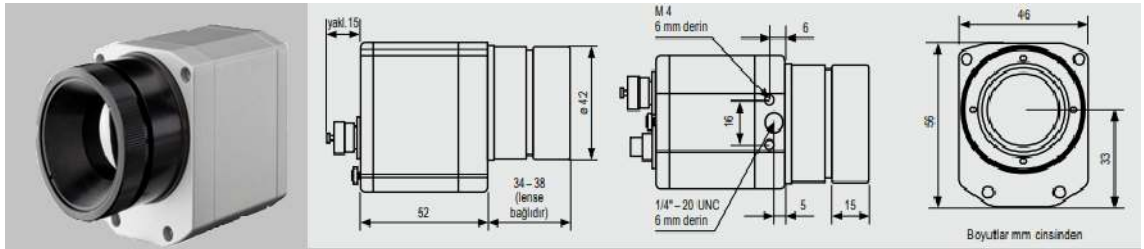
Çizelge 7.12. Taguchi L₂₇ dikey dizisi.

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 yöntemi 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 etki düzeylerinin belirlenmesinde Varyans (ANOVA) analizi yapılmış ve Regresyon denklemleri ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır.

7.7. KESME SICAKLIKLARININ ÖLÇÜLMESİ

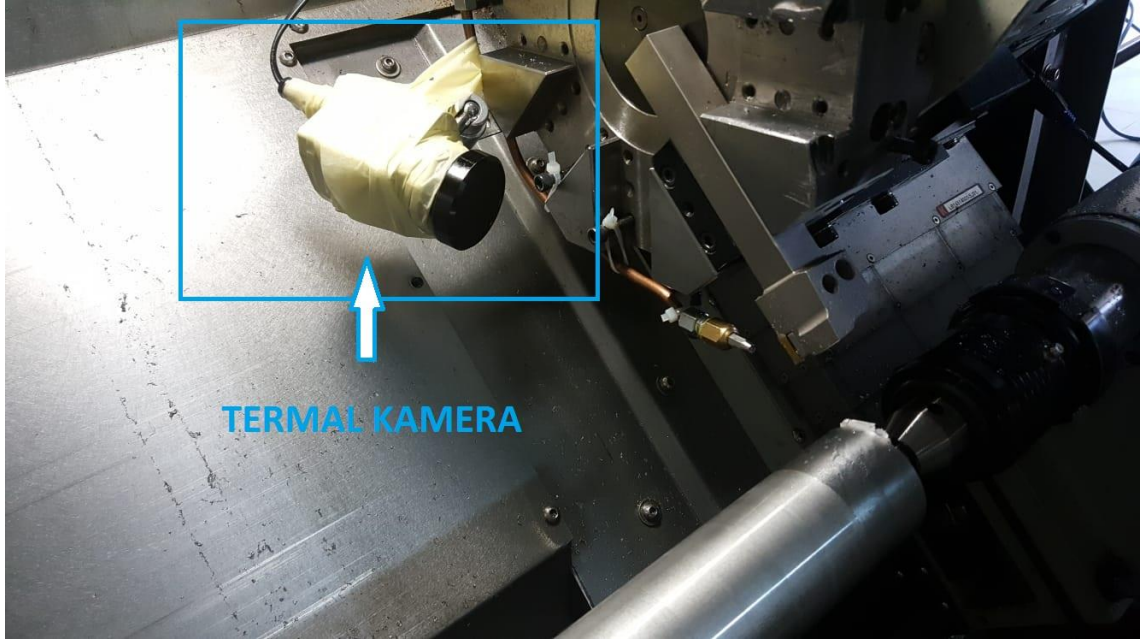
Talaş kaldırma için gerekli olan mekanik enerjinin büyük kısmı kesme esnasında ısı enerjisine dönüşür. Bunun sebebi kesici takım-iş parçası arasındaki temasın hareketle birlikte sürtünmeye sebep olmasıdır. Kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıklar takım ömrü ve yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Kesme sıcaklığı, kesme mekaniği ile ilgili önemli ipuçları verdiğinden, sıcaklığın kontrol altına alınması son derece önem arz etmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmada kesme bölgesinde oluşan sıcaklıkların tayini için, OPTRIS marka PI 450 modeli kızılötesi termal kamera kullanılmıştır. -20~900°C arası ölçüm aralığına sahip termal kameraya ait boyutsal ölçüler Şekil 7.7’de, teknik özellikler ise Çizelge 7.13’de verilmiştir. Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan termal kameraya ait deney seti kurulumu ise Şekil 7.8’de verilmiştir.



Şekil 7.7. Optris PI 450 termal kamera görseli ve boyutsal ölçüler.

Çizelge 7.13. Optris PI 450 termal kamera teknik özellikleri.

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



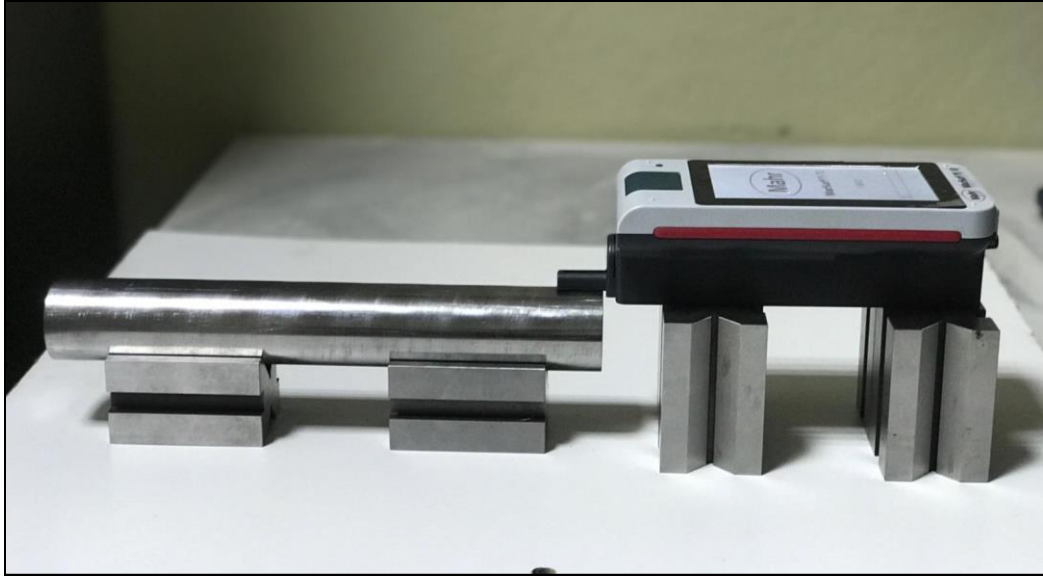
Şekil 7.8. Termal kameraya ait deney seti kurulumu.

7.8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ

Talaşlı kaldırma 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 (Şekil 7.9) kullanılmış olup, R_a değerlerinin ölçülmesine ait görsel Şekil 7.10'da verilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinde, ölçme uzunluğu 4 mm ve örnekleme uzunluğu 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 7.14'de verilmiştir.



Şekil 7.10. MAHR marka MarSurf PS 10 taşınabilir yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.



Şekil 7.10. Yüzey pürüzlülük değerlerinin profilometre ile ölçümü.

Çizelge 7.14. 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 µm, 180 µm, 90 µm
Profil Çözünürlüğü (mm) (Oto. Anahtarlama)	32 nm, 16 nm, 8 nm
Uç Malzemesi	Elmas
İğne Uç Yarı Çapı	2 µm
Örnekleme Uzunluğu Sayısı	1-5
Hareket Uzunluğu (mm)	1, 2, 4, 8, 12, 16
Hareket Değerlendirme Uzunluğu (mm)	1,25-4,0-12,5
Ölçülebilen Parametreler	Ra, Rz, Rmax
Kalibrasyon İşlevi	Dinamik
Ağırlık (gr)	500
Boyutlar (mm)	160x77x50
Cihaz Durumu	Taşınabilir.

8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada AISI 904L paslanmaz çeliği, tornalama yöntemi ile işlenmiş ve deneyler iki aşama da gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada MMY parameterleri (debi ve basınç) ile birlikte nano akışkan konsantrasyon oranı optimize edilmiştir. Bu aşamada Taguchi'nin L₉ dikey dizini kullanılarak deney tasarımı yapılmıştır. İkinci aşamada ise kesme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme hızı) ile nano akışkan konsantrasyon oranlarının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada ise Taguchi'nin L₂₇ dikey dizini kullanılarak deney tasarımı yapılmıştır. Böylece nano akışkan optimal konsantrasyon oranı üzerinde hem MMY parametrelerinin hem de kesme parametrelerinin etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

8.1. MMY PARAMETRELERİ İLE NANOAKIŞKAN KONSANTRASYON ORANININ OPTİMİZE EDİLMESİ

Bu aşamada, MMY parametreleri (debi ve basınç) ve 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.

8.1.1. S/N Oranlarının Analizi

Yüzey pürüzlülüğü, bitmiş ürünün tribolojik özellikleri yorulma dayanımı gibi birçok özelliğini doğrudan etkileyen en önemli işlenebilirlik kriterlerinden birisidir. Kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar ise, kesme mekaniği ile ilgili önemli ipuçları vermekte olup yüksek değerleri işparçası yüzey kalitesini ve kesici takım ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığını etkileyen parametrelerin optimize edilmesi işleme verimliliğinin artırılması açısından büyük önem arz etmektedir. Debi, basınç ve nano akışkan konsantrasyon oranının kontrol faktörü olarak belirlendiği deneysel çalışma sonunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı değerleri ve bunlara ait S/N oranları Çizelge 8.1'de verilmiştir. Taguchi metodunda kontrol faktörlerine ait optimal seviyelerin tespit edilmesinde S/N oranları kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı değerlerinin

düşük olması arzu edildiğinden S/N oranlarının hesaplanmasında Eş. 8.1’de verilen en küçük en iyi yaklaşımı kullanılmıştır.

$$n = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (8.1)$$

İşleme deneyleri sonucunda ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_{aort}) 2.09 μm , yüzey pürüzlülüğüne ait ortalama S/N oranı ise -6,34 dB olarak hesaplanmıştır. Ortalama kesme sıcaklıkları ise (T_{ort}) 194,44 $^{\circ}\text{C}$, kesme sıcaklığına ait ortalama S/N oranı ise -45,72 dB olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 8.1. L_9 Deney sonuçları ve S/N oranları.

Deney No	A Debi (Q) (ml/h)	B Basınç (P) (bar)	C Nano akışkan konsantrasyon oranı	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (μm)	Yüzey Pürüzlülüğü S/N Oranı (dB)	T ($^{\circ}\text{C}$)	S/N Oranı (dB)
1	20	4	0	2,485	-7,91	236	-47,4582
2	20	6	0,8	2,330	-7,35	181	-45,1536
3	20	8	1,2	1,917	-5,65	188	-45,4832
4	40	4	0,8	1,933	-5,72	192	-45,6660
5	40	6	1,2	2,151	-6,65	191	-45,6207
6	40	8	0	2,061	-6,28	208	-46,3613
7	60	4	1,2	2,121	-6,53	205	-46,2351
8	60	6	0	2,021	-6,11	196	-45,8451
9	60	8	0,8	1,748	-4,85	153	-43,6938

Çizelge 8.2’de yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları için S/N yanıt tablosu verilmiştir.

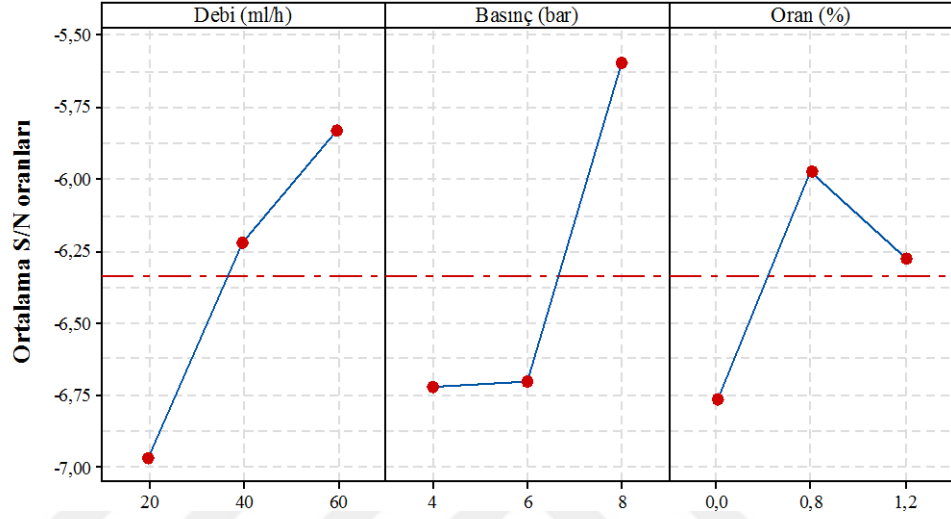
Çizelge 8.2. L_9 Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları için S/N yanıt tablosu.

Seviyeler	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)			Kesme Sıcaklıkları (T)		
	Kontrol Faktörleri			Kontrol Faktörleri		
	A	B	C	A	B	C
Seviye 1	-6,969	-6,721	-6,767	-46.03	-46.45	-46.55
Seviye 2	-6,220	-16,704	-5,974	-45.88	-45.54	-44.84
Seviye 3	-5,831	-5,596	-6,279	-45.26	-45.18	-45.78
Delta	1,137	1,125	0,794	0,77	1,27	1,72

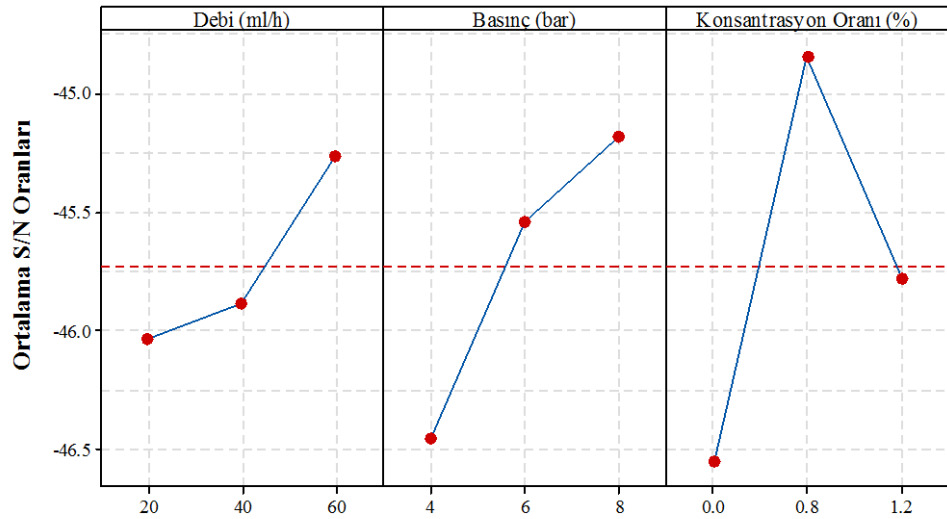
*Koyu ile gösterilen veriler optimum koşullardır.

Şekil 8.1’de yüzey pürüzlülüğü için Şekil 8.2’de ise kesme sıcaklığı için ortalama S/N oranları grafikleri verilmiştir. Burada en yüksek S/N oranı o kontrol faktörüne ait optimum seviyeyi vermektedir. Şekil 8.1’de en yüksek S/N oranları dikkate alındığında optimum Ra değerinin elde edildiği faktörlere ait seviyeler ve S/N

oranları, faktör A (Seviye 3, S/N=-5,831), faktör B (Seviye 3, S/N=-5,596) ve faktör C (Seviye 2, S/N=-5,974) olarak belirlenmiştir. Diğer bir ifadeyle optimum Ra değeri 60 ml/saat debide (A_3), 8 bar basınçta (B_3) nanopartikül konsantrasyon oranı 0,8 % (C_2) ile elde edilmiştir. Şekil 9.2'den en yüksek S/N oranları dikkate alındığında optimum kesme sıcaklığı değeri 60 ml/saat debide (A_3), 8 bar basınçta (B_3) Nano partikül konsantrasyon oranı 0,8 % (C_2) ile elde edildiği görülmektedir.



Şekil 8.1. L₉ Yüzey pürüzlülüğü için ortalama S/N oranları grafiği.



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 8.2. L₉ Kesme sıcaklığı için ortalama S/N oranları grafiği.

8.1.2 Varyans Analizi (ANOVA)

Taguchi L₉ düzey dizini kullanılarak oluşturulan deney tasarımında, kontrol faktörleri olan debi, basınç ve nano konsantrasyon oranının yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerindeki etki düzeylerini ortaya koymak amacıyla varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. %95 güven aralığında gerçekleştirilen ANOVA sonuçları yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı için sırasıyla Çizelge 8.3 ve Çizelge 8.4'te verilmiştir. Çizelgelerde yer alan katkı oranları kontrol faktörünün çıktılar üzerindeki önem derecesini ifade etmektedir.

Çizelge 8.3. L₉ Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	2	0,12418	0,06209	1,6	0,381	31,4
B	2	0,14027	0,07013	1,83	0,353	35,5
C	2	0,05392	0,02696	0,7	0,587	13,7
Hata	2	0,07654	0,03827	-	-	19,4
Toplam	8	0,39491	-	-	-	100

Çizelge 8.3'de verilen veriler ışığında yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili faktörün basınç (%35,5) olduğu görülmüştür. Sırasıyla bunu debi (%31,4) ve nano partikül konsantrasyon oranı (%13,7) takip etmiştir.

Çizelge 8.4. L₉ Kesme sıcaklığı için ANOVA tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	2	462,89	231,44	7,77	0,114	11,62
B	2	1293,56	646,78	21,72	0,044	32,48
C	2	2166,22	1083,11	36,37	0,027	54,40
Hata	2	59,56	29,78	-	-	1,5
Toplam	8	3982,22	-	-	-	100

Çizelge 8.4'daki ANOVA tablosu incelendiğinde kesme sıcaklığı üzerindeki en etkili faktörün etkileyen faktörün Nano akışkan konsantrasyon oranı (%54,40) olduğu görülmüştür. Bunu sırasıyla basınç (%32,48) ve debi (%11,62), takip etmiştir.

8.1.3. Regresyon Analizi

Regresyon analizi bağımlı değişkenler ile bağımsız değişken arasındaki ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklinde ifade edilmesinde kullanılmaktadır. Regresyon

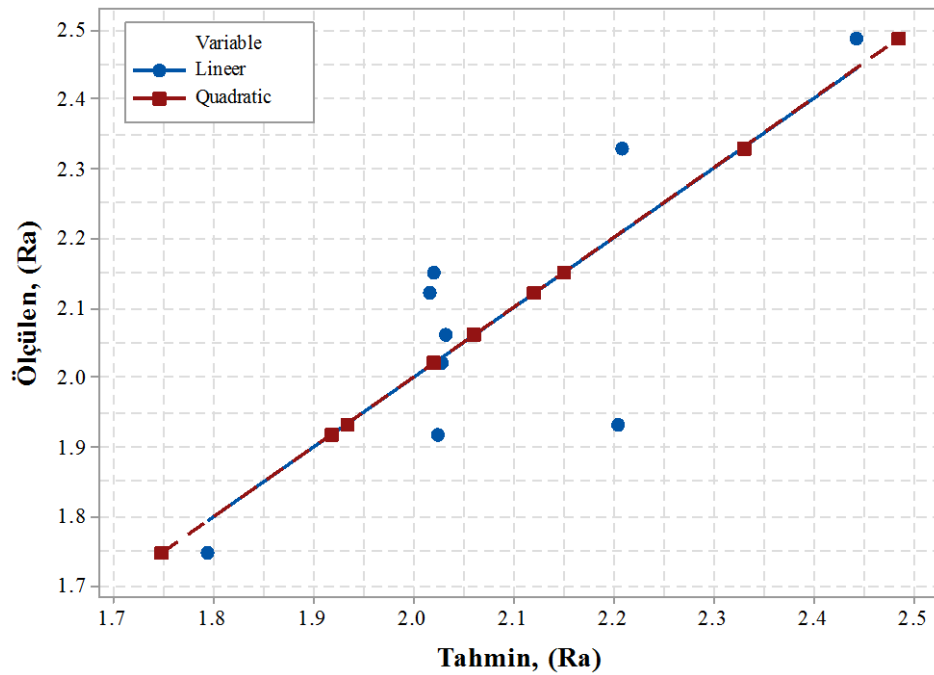
analizi ile oluşturulan denklemler sayesinde bağımlı değişkenlere bağlı olarak bağımsız değişkenlerin tahminini yapmak mümkündür. Bu çalışmada, bağımlı değişkenler (Ra) yüzey pürüzlülüğü ve (T) kesme sıcaklığı olup, bağımsız değişkenler ise debi (Q), basınç (P) ve nano akışkan konsantrasyon oranıdır (% hacimce). Yüzey pürüzlülüğü için, kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan lineer regresyon denklemi Eşitlik (8.2)'de verilmiştir.

$$Ra = 2,854 - 0,00701 Q \text{ (ml/h)} - 0,0677 P \text{ (bar)} - 0,123 KO \text{ (\%)} \quad (8.2)$$

Elde edilen lineer denklemin belirleme katsayısı $R^2 = 0.664$ olarak hesaplanmıştır. %66,4 güvenilirlik düzeyinde elde edilen tahminsel yüzey pürüzlülüğü ile deneysel çalışmalarla elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri arasındaki farklar fazla olacağından faktör etkileşimlerini de kapsayan kuadratik regresyon denklemi (8.3) oluşturulmuştur. Regresyon denklemi için belirleme katsayısı ise $R^2 = 1$ olarak hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} Ra = & 0,3700 - 0,01701 \text{ Debi (ml/h)} + 0,9311 \text{ Basınç (bar)} - 1,126 \text{ Oran (\%)} \\ & + 0,000138 \text{ Debi*Debi} - 0,07078 P*P + 0,1174 \text{ Oran*Oran} - 0,002401 \text{ Debi*P} \\ & + 0,02001 \text{ Debi*Oran} \end{aligned} \quad (8.3)$$

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



Şekil 8.3. Yüzey pürüzlülüğünün deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

Kesme sıcaklığı için kontrol faktörleri olan debi, basınç ve konsantrasyon oranına bağlı olarak lineer regresyon denklemi oluşturulmuştur. Sadece kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan lineer regresyon denklemi Eşitlik (8.4)'te verilmiştir.

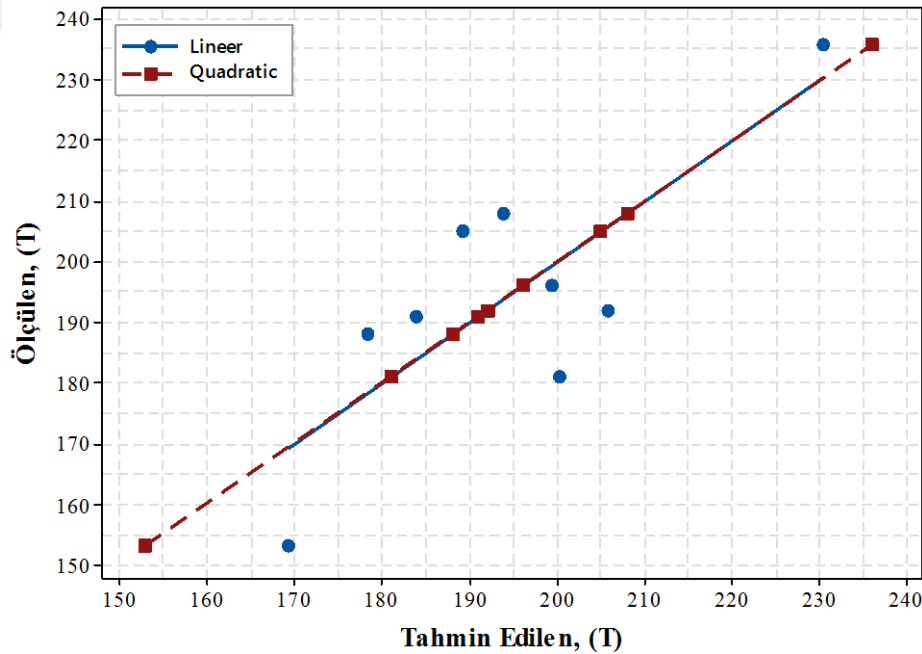
$$(T, ^\circ\text{C}) = 266,9 - 0,425 Q - 7,00 P - 20,1 KO \quad (8.4)$$

Elde edilen lineer denklemin belirleme katsayısı (R^2) 0,612 olarak hesaplanmıştır. Deney sonuçları ile tahmin değerleri arasındaki farkların fazla olması sebebiyle faktör etkileşimlerini de içeren kuadratik regresyon denklemi oluşturulmuş olup Eşitlik (8.5)'te verilmiştir.

$$(T, ^\circ\text{C}) = 257,0 + 0,8917 Q - 8,833 P - 123,6 KO - 0,009583 Q * Q (\text{ml/h}) + 0,7917 P (\text{bar}) * P (\text{bar}) + 67,01 KO (\%) * KO (\%) - 0,1542 Q (\text{ml/h}) * P (\text{bar}) + 0,5625 Q (\text{ml/h}) * KO (\%) \quad (8.5)$$

Elde edilen kuadratik regresyon denklemin belirleme katsayısı $R^2=1$ olarak hesaplanmıştır.

Deneysel sonuçlar ile tahmin edilen sonuçların grafiği, Şekil 8.4'de verilmiştir. Şekilden kuadratik regresyon denkleminin tahmin kabiliyetinin lineer denkleme göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

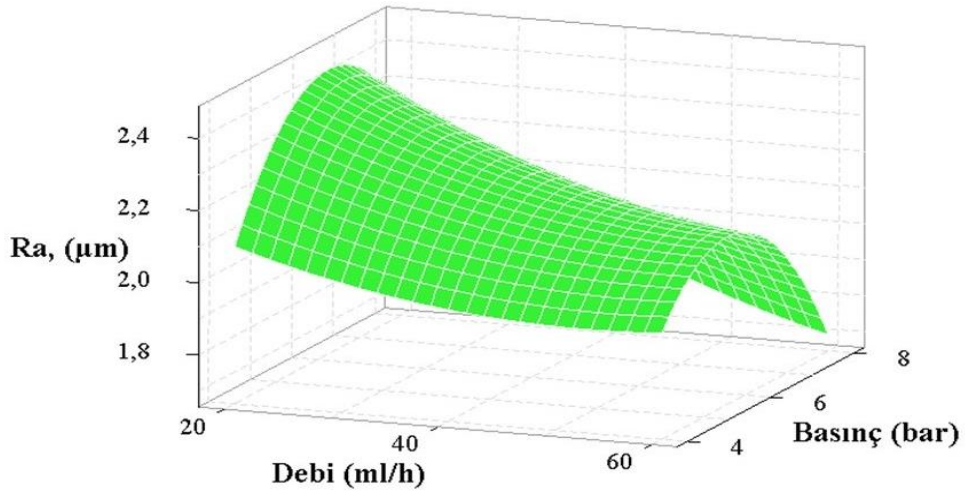


Şekil 8.4. Kesme sıcaklığının deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

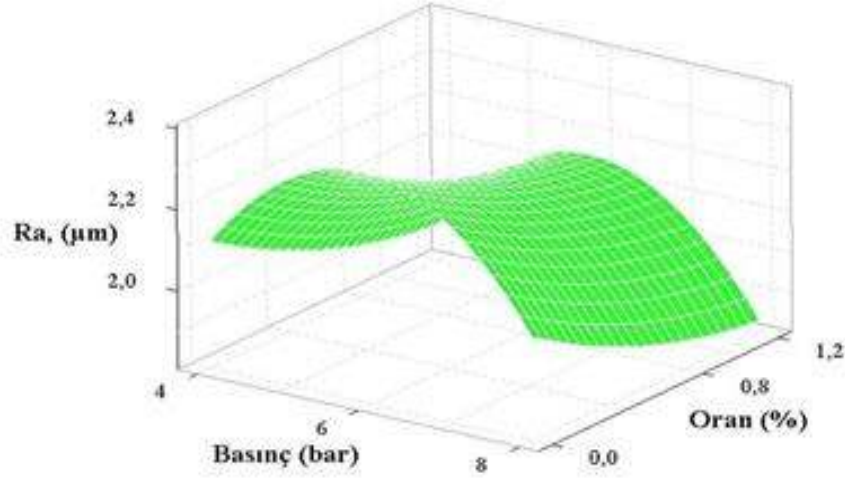
8.1.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İşleme testleri sonucunda yüzey pürüzlülüğü üzerinde debi, basınç ve nanoakışkan konsantrasyon oranlarının etkisini gösteren yüzey grafikleri Şekil 8.5 ve Şekil 8.6'da

verilmiştir. Şekil 8.5'teki grafiğe bakıldığında artan debiyle birlikte yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir. Kesme bölgesine tatbik edilen kesme sıvısının miktarının artması takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmeyi azaltmada daha etkili olmasının Ra değerlerini düşürdüğü düşünülmektedir. Çalışmada test edilen MMY parametreleri içerisinde yüzey pürüzlülüğü açısından en etkili parametre basınç olduğu görülmüştür. Artan basınçla birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum kesme yağının kesme bölgesine artan basınç ile birlikte nüfuziyetinin artması ile açıklanabilir. Şekil 8.6'da grafen konsantrasyonuna göre Ra değerlerindeki değişime bakıldığında ise artan konsantrasyon oranı belli bir değere kadar Ra değerlerinde düşüş sağlarken belli bir değerden sonra Ra değerlerinin bir miktar artmasına sebep olmuştur. Ancak nanografen katkılı kesme yağı tüm oranlarda saf kesme yağından daha iyi performans sergilemiştir. Konsantrasyon oranı %0,8 den %1,2'ye çıkarıldığında Ra değerlerinde meydana gelen artış, nanografen partiküllerinin bitkisel esaslı kesme sıvısının viskozitesini artırması sonucu olarak kesme esnasında takım-iş parçası arasına fazla nüfuz edemeyerek bu bölgede soğutmayı iyi derecede yapamaması ile açıklanabilir. Nano konsantrasyon oranı yüzey pürüzlülük değerlerinde basınç ve debi miktarına göre daha az etkili olmakla birlikte Ra değerlerinin düşmesi üzerinde saf yağa göre oldukça etkili olduğu görülmüştür.

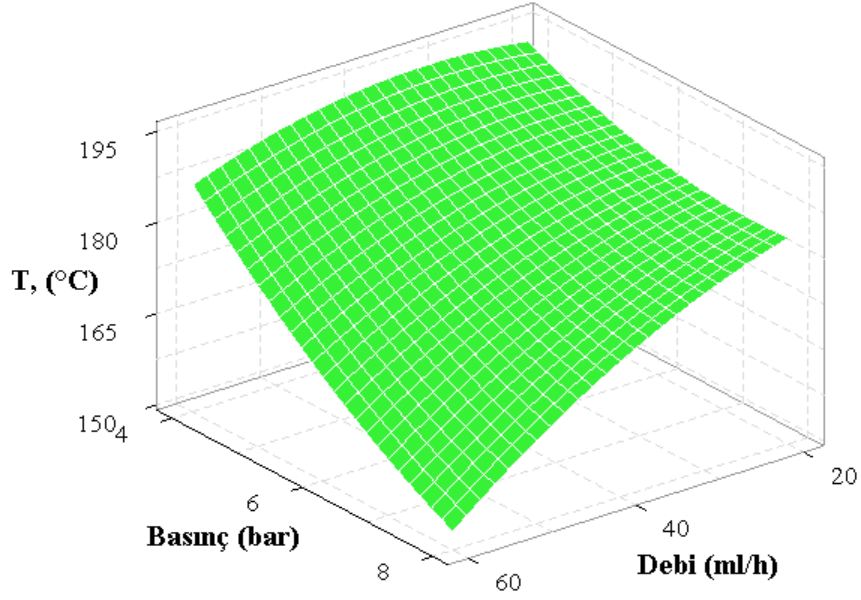


Şekil 8.5. Debi ve basınca bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

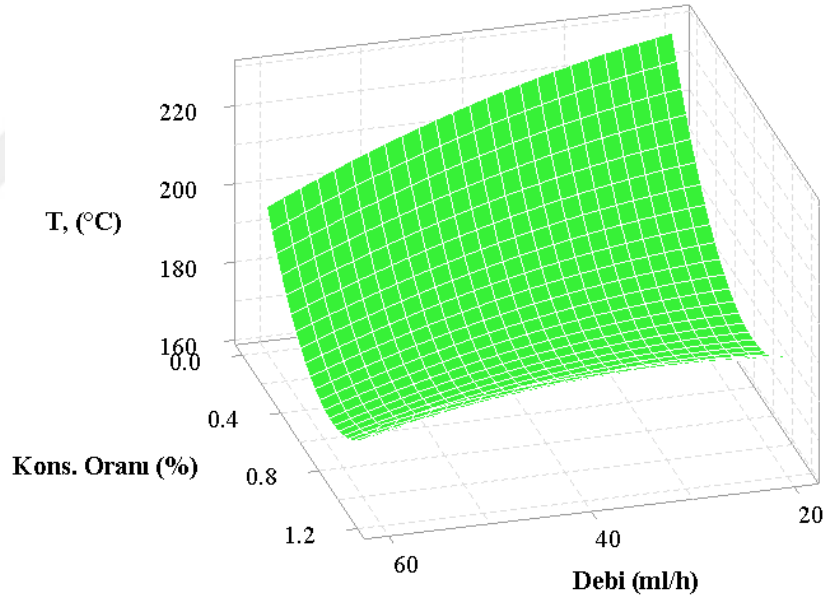


Şekil 8.6. Konsantrasyon oranı ve basınca bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

Debi, basınç ve nanoakışkan konsantrasyon oranının kesme sıcaklığı üzerindeki etkisini gösteren yüzey grafikleri Şekil 8.7 ve Şekil 8.8’de verilmiştir. Şekil 8.7 incelendiğinde artan basınç ile birlikte kesme sıcaklığının belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Basıncın kesme bölgesindeki sıcaklıkları azaltmada önemli bir parametre olduğu bilinmektedir [129]. Basıncıta olduğu gibi debideki artışla birlikte kesme sıcaklığının belirgin bir şekilde azaldığı görülmüştür. Grafikten yola çıkılarak basınç ile debi kıyaslandığında, basıncın, kesme sıcaklıklarının azalması üzerinde daha etkili olduğu söylenebilir. ANOVA sonuçlarına göre kesme sıcaklıkları üzerinde en etkili faktör %54,40 ile nano akışkan konsantrasyon oranı olduğu tespit edilmiş olup, istatistiksel sonuçlar deneysel sonuçları doğrular niteliktedir. Şekil 8.8’de nano akışkan konsantrasyon oranındaki artışla birlikte kesme sıcaklığının belli bir değere kadar (%0,8 hacimce) azaldığı görülmektedir. Nano akışkanların içerisine katılan nano partikül miktarı arttıkça nano akışkanların viskozitesinin arttığı bilinmektedir. Konsantrasyon oranı %0,8 den sonra kesme sıcaklığındaki bir miktar artış meydana gelmesinin sebebi viskozitedeki artışa paralel olarak nanoakışkanın kesici takım-talaş ara yüzeyine yeterli nüfuziyet sağlayamaması olarak açıklanabilir. Sonuç olarak kesici takım-iş parçası arasına nozul ile gönderilen kesme yağının artan viskozitesi, film tabakasını bozarak [130] yağlama görevini tam olarak yerine getirememesine neden olduğundan kesme sıcaklığında bir miktar artışa sebep olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 8.7. Basınç ve debiye bağlı olarak kesme sıcaklığının değişimi.



Şekil 8.8. Konsantrasyon oranı ve debiye bağlı olarak kesme sıcaklığının değişimi.

8.2. KESME PARAMETRELERİ İLE NANOAKIŞKAN KONSANTRASYON ORANININ OPTİMİZE EDİLMESİ

Bu aşamada Taguchi L_{27} deney tasarımı ile kesme parametrelerinin (kesme hızı ve ilerleme hızı) ve nanoakışkan konsantrasyon oranlarının yüzey pürüzlülüğü ve kesme

sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenerek optimum işleme koşulları tespit edilmeye çalışılmıştır.

8.2.1. S/N Oranlarının Analizi

Nano akışkan konsantrasyon oranı, kesme hızı ve ilerleme hızının kontrol faktörü olarak kullanıldığı Taguchi'nin L_{27} dikey dizinine göre tornalama deneyleri yapılmıştır. Çizelge 8.5'te deneysel çalışma sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları ile analiz sonucunda elde edilen S/N oranları verilmiştir. Hem yüzey pürüzlülüğü hem de kesme sıcaklığı değerlerinin düşük olması istendiğinden S/N oranlarının hesaplanmasında Eşitlik 8.1'de verilen en küçük en iyi yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_{aort}) 2,063 μm , yüzey pürüzlülüğüne ait ortalama S/N oranı ise -5,095 dB olarak hesaplanmıştır. Ortalama kesme sıcaklıkları ise (T_{ort}) 163,48 °C, kesme sıcaklığına ait ortalama S/N oranı ise -44,23 dB olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 8.5. L₂₇ Deney sonuçları ve S/N oranları.

Deney No	A Nano Akışkan Konsantrasyon Oranı (%)	B Kesme Hızı (V) (m/dak)	C İlerleme hızı (f) (mm/dev)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (µm)	Yüzey Pürüzlülüğü S/N Oranı (dB)	T (°C)	S/N Oranı (dB)
1	0	100	0,1	1,277	-2,1238	150	-43,5218
2	0	100	0,15	2,209	-6,8839	153	-43,6938
3	0	100	0,2	3,492	-10,8615	174	-44,8110
4	0	150	0,1	0,744	2,5685	164	-44,2969
5	0	150	0,15	1,917	-5,6524	162	-44,1903
6	0	150	0,2	3,145	-9,9524	176	-44,9103
7	0	200	0,1	1,095	-0,7883	172	-44,7106
8	0	200	0,15	2,133	-6,5798	193	-45,7111
9	0	200	0,2	3,436	-10,7211	202	-46,1070
10	0,8	100	0,1	0,945	0,4914	137	-42,7344
11	0,8	100	0,15	1,782	-5,0182	144	-43,1672
12	0,8	100	0,2	3,241	-10,2136	159	-44,0279
13	0,8	150	0,1	1,151	-1,2215	152	-43,6369
14	0,8	150	0,15	1,748	-4,8508	153	-43,6938
15	0,8	150	0,2	3,209	-10,1274	165	-44,3497
16	0,8	200	0,1	0,552	5,1612	161	-44,1365
17	0,8	200	0,15	1,777	-4,9937	170	-44,6090
18	0,8	200	0,2	3,329	-10,4463	182	-45,2014
19	1,2	100	0,1	1,156	-1,2592	142	-43,0458
20	1,2	100	0,15	1,999	-6,0163	147	-43,3463
21	1,2	100	0,2	3,663	-11,2767	160	-44,0824
22	1,2	150	0,1	0,78	2,1581	150	-43,5218
23	1,2	150	0,15	1,889	-5,5246	151	-43,5795
24	1,2	150	0,2	3,277	-10,3095	169	-44,5577
25	1,2	200	0,1	0,817	1,7556	166	-44,4022
26	1,2	200	0,15	1,734	-4,7810	174	-44,8110
27	1,2	200	0,2	3,2	-10,1030	186	-45,3903

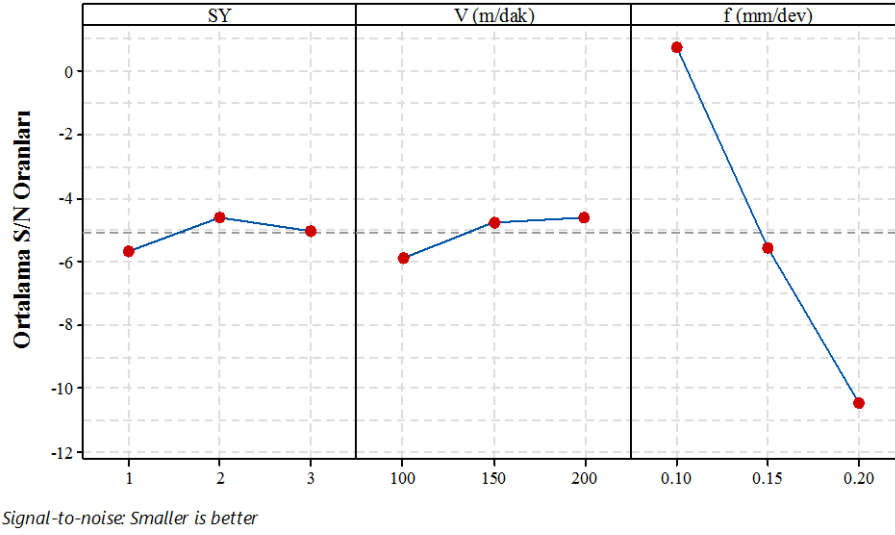
Taguchi metodunda kalite karakteristiklerin optimum seviyelerinin elde edildiği faktörler bu faktörlere ait seviyeler S/N yanıt tablosu ile belirlenmektedir. Yapılan çalışmada kalite karekteristikleri olan yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığına ait S/N yanıt tablosu Çizelge 8.6'da verilmiştir. Bu tabloda S/N oranının en yüksek olduğu değer o faktöre ait optimum seviyeyi göstermektedir.

Çizelge 8.6. L₂₇ Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları için S/N yanıt tablosu.

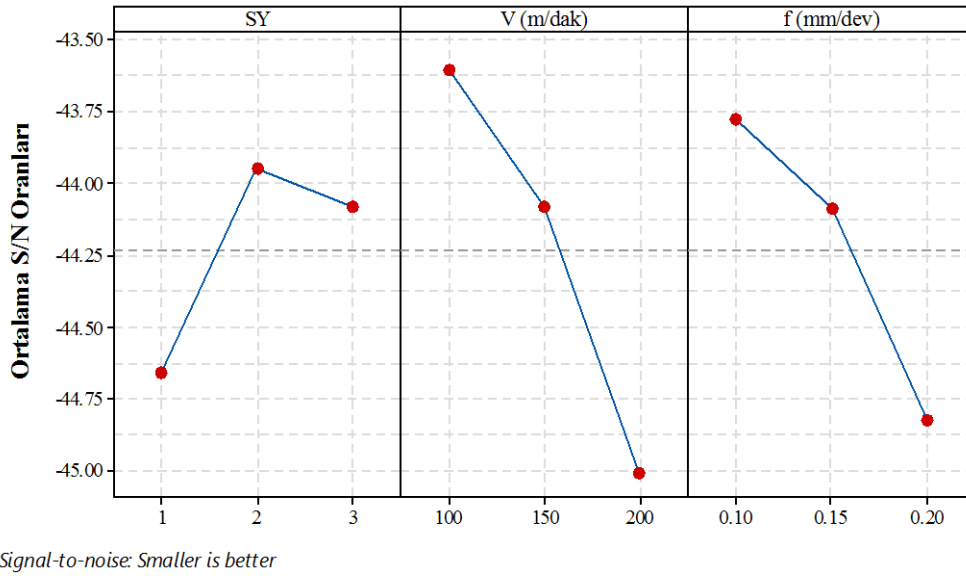
Seviyeler	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)			Kesme Sıcaklıkları (T)		
	Kontrol Faktörleri			Kontrol Faktörleri		
	A	B	C	A	B	C
Seviye 1	-5,6661	-5,9069	0,7491	-44,66	-43,60	-43,78
Seviye 2	-4,5799	-4,7680	-5,5890	-43,95	-44,08	-44,09
Seviye 3	-5,0396	-4,6107	-0,4457	-44,08	-45,01	-44,83
Delta	1,0862	1,2961	11,1948	0,71	1,41	1,05

*Koyu ile gösterilen veriler en optimum koşullardır.

En düşük yüzey pürüzlülük değerini veren faktörlere ait seviyeler sırasıyla faktör A (Seviye 2, S/N=-4,5799), faktör B (Seviye 3, S/N=-4,6107) ve faktör C (Seviye 1, S/N=0,7491) olarak belirlenmiştir. Diğer bir ifadeyle; optimum yüzey pürüzlülük değeri %0,8 konsantrasyon oranında (A2), 200 m/dak kesme hızında (B3) 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 2, S/N=-43,95), faktör B (Seviye 1, S/N=-43,60) ve faktör C (Seviye 1, S/N=-43,78) olarak belirlenmiştir. Diğer bir deyişle optimum sıcaklık değeri %0,8 konsantrasyon oranında (A2), 100 m/dak kesme hızında (B1), 0,10 mm/dev ilerleme hızında (C1) ve ile elde edilmiştir. Şekil 8.9'da yüzey pürüzlülüğü için Şekil 8.10'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 en etkili parametre olduğu söylenebilir.



Şekil 8.9. L_{27} Yüzey pürüzlülüğü için ortalama S/N oranları grafiği.



Şekil 8.10. L_{27} Kesme sıcaklığı için ortalama S/N oranları grafiği.

8.2.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Deneylerde test edilen kontrol faktörlerinin (nano akışkan konsantrasyon oranı, kesme hızı ve ilerleme hızı) yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerindeki etki düzeylerinin belirlenmesi amacıyla varyans analizi yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı için varyans analizi sonuçları sırasıyla Çizelge 8.7’de ve Çizelge 8.8’de verilmiştir. Çizelge 8.7’deki ANOVA tablosuna göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili faktörün ilerleme hızı (%96,57) olduğu görülmüştür. Bunu sırasıyla kesme hızı (%0,90) ve nano akışkan konsantrasyon oranı (%0,61) takip etmiştir.

Çizelge 8.7. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	2	0,1636	0,0818	3,17	0,064	0,61
B	2	0,2419	0,1209	4,68	0,021	0,90
C	2	25,9372	12,9686	502,39	0,000	96,57
Hata	20	0,5163	0,0258	-	-	1,92
Toplam	26	26,8590	-	-	-	100

Çizelge 8.8’den kesme sıcaklığı üzerinde en etkili faktörün %51,73 katkı oranı ile kesme hızı olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla %29,07 katkı oranıyla nano akışkan konsantrasyon oranı ve %14,79 katkı oranı ile ilerleme hızı takip etmiştir. Dolayısıyla kesme hızının kesme sıcaklığını üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Çizelge 8.8. Kesme sıcaklığı için ANOVA tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	2	956,1	478,04	33,60	0,000	14,79
B	2	3343,4	1671,70	117,51	0,000	51,73
C	2	1878,7	939,37	66,03	0,000	29,07
Hata	20	284,5	14,23	-	-	4,40
Toplam	26	6462,3	-	-	-	100

8.2.3. Regresyon Analizi

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin tanımlanmasında hem yüzey pürüzlülüğü hem de kesme sıcaklığı için ayrı ayrı lineer ve kuadratik regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Bu aşamada bağımlı değişkenler yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı olup, bağımsız değişkenler ise nano akışkan konsantrasyon oranı, kesme hızı (V), ve ilerleme hızı (f)’dir. Yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan lineer regresyon denklemi eşitlik (8.6)’de verilmiştir.

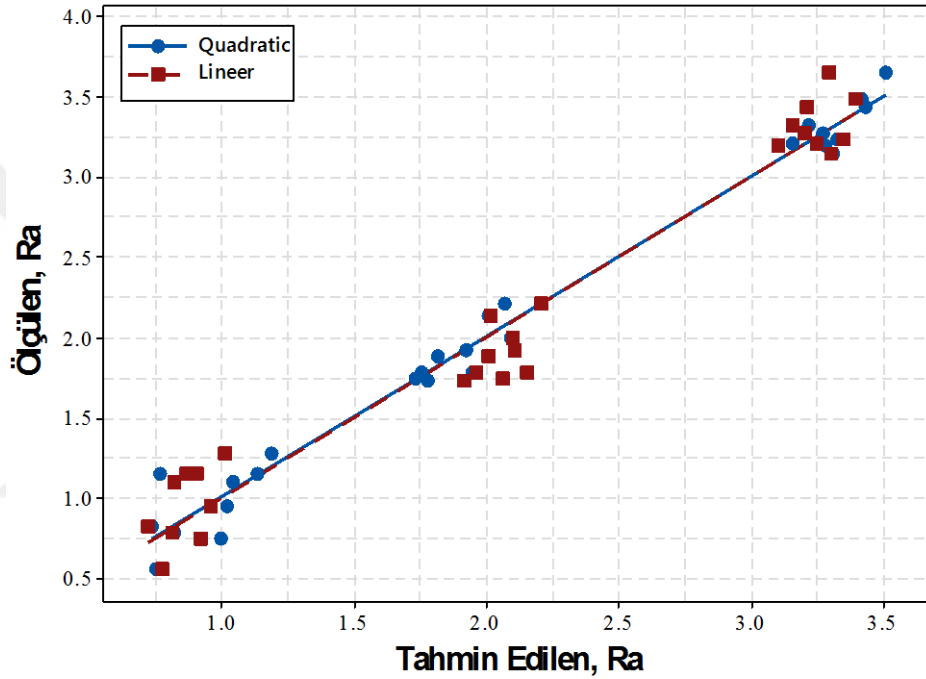
$$Ra (\mu m) = -1,131 - 0,0518 SY - 0,001879 V (m/dak) + 23,861 f (mm/dev) \quad (8.6)$$

Elde edilen lineer denklemin belirleme katsayısı (R^2) 0,961 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen denklemin kat sayısının yüksek olması, faktörlerin etkileşimlerinin tahmin gücüne etkisini göstermektedir. Daha yüksek tahmin gücünün elde edilebilmesi amacıyla yüzey pürüzlülüğü için kuadratik regresyon denklemi oluşturulmuş olup eşitlik (Eş. 8.7)’de verilmiştir.

$$Ra (\mu m) = 2,425 - 0,526 SY - 0,01590 V (m/dak) - 7,54 f (mm/dev) + 0,1386 SY*SY + 0,000047 V*V + 91,8 f*f - 0,001255 SY*V + 0,717 SY*f + 0,0161 V*f \quad (8.7)$$

Elde edilen kuadratik denklemin belirleme katsayısı (R^2) 0,984 olarak hesaplanmıştır. Bu durum kuadratik regresyon denkleminin lineer regresyon denklemine göre yüksek tahmin yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir.

Şekil 8.11'den yüzey pürüzlülüğünün deneysel sonuçları ile regresyon denklemleri ile elde edilen tahminlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Şekilden gerçek deney sonuçlarına en yakın tahminlerin kuadratik regresyon denklemi ile elde edildiği görülmektedir.



Şekil 8.11. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

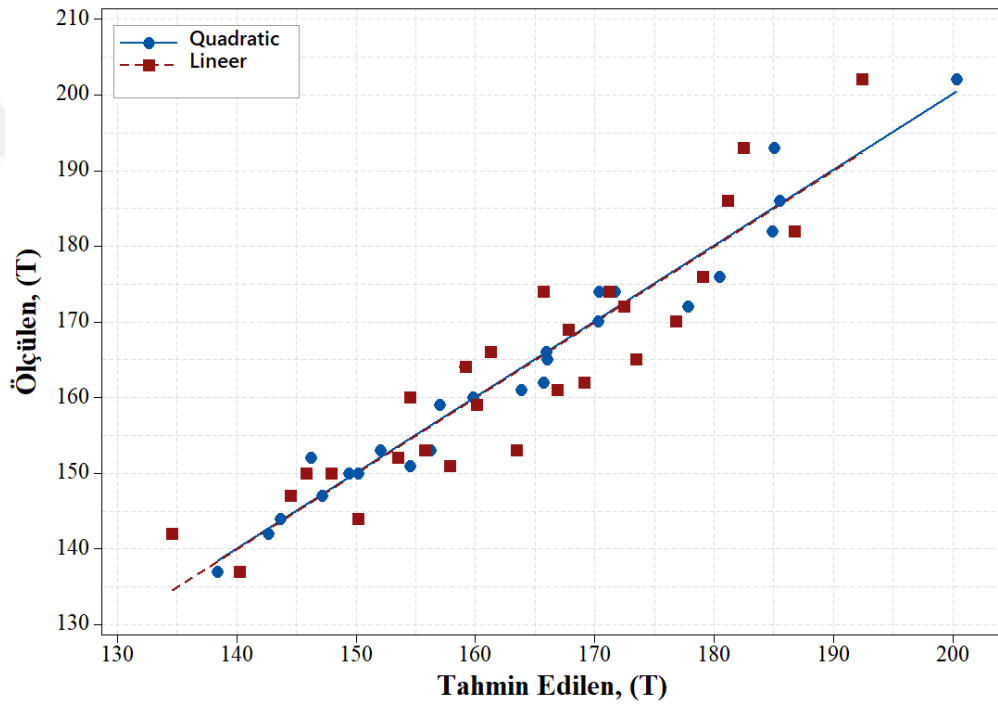
Yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi kesme sıcaklığı için de lineer ve kuadratik regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Denklem 8.8'de kesme sıcaklığı için oluşturulan lineer regresyon denklemi verilmiştir.

$$T (^{\circ}\text{C}) = 104,87 - 5,61 \text{ SY} + 0,2667 \text{ V (m/dak)} + 198,9 \text{ f (mm/dev)} \quad (8.8)$$

Elde edilen lineer denklemin belirleme katsayısı (R^2) 0,858 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen denklemin belirleme kat sayısının yüksek olması, faktörlerin etkileşimlerinin tahmin gücüne etkisini göstermektedir. Daha yüksek tahmin gücünün elde edilebilmesi amacıyla yüzey pürüzlülüğü için kuadratik regresyon denklemi oluşturulmuş olup eşitlik 8.9'da verilmiştir.

$$T \text{ (}^{\circ}\text{C)} = 200,5 - 32,33 SY - 0,312 V \text{ (m/dak)} - 293 f \text{ (mm/dev)} + 8,06 SY*SY + 0,001956 V*V + 1622 f*f - 0,0217 SY*V - 15,0 SY*f + 0,233 V*f \quad (8.9)$$

Elde edilen quadratik denklemin belirleme katsayısı (R^2) 0,960 olarak hesaplanmıştır. Bu durum quadratik regresyon denkleminin lineer regresyon denklemine göre yüksek tahmin yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 8.12'den kesme sıcaklığının deneysel sonuçları ile regresyon denklemleri ile elde edilen tahminlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Şekilden gerçek deney sonuçlarına en yakın tahminin 0,96 belirleme katsayısına sahip olan quadratik regresyon denklemi ile elde edildiği görülmektedir.

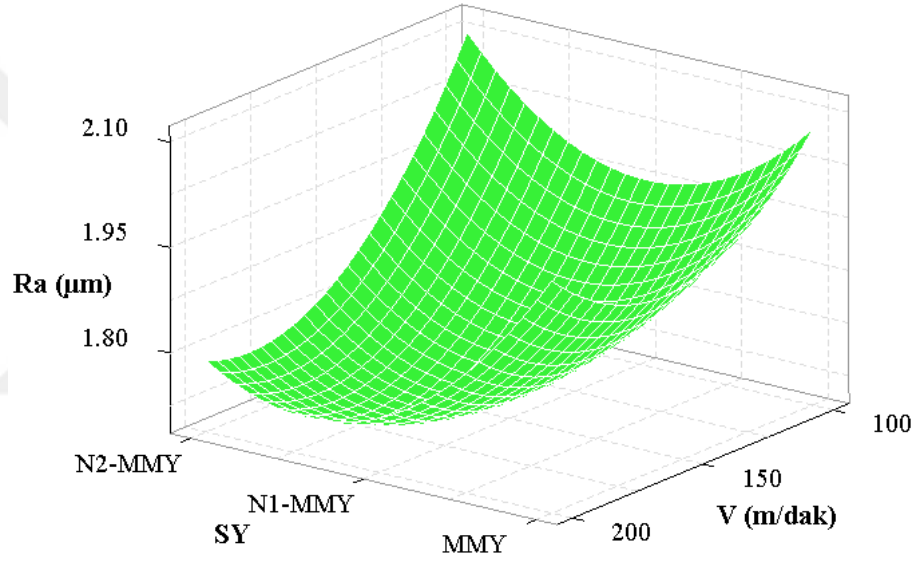


Şekil 8.12. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

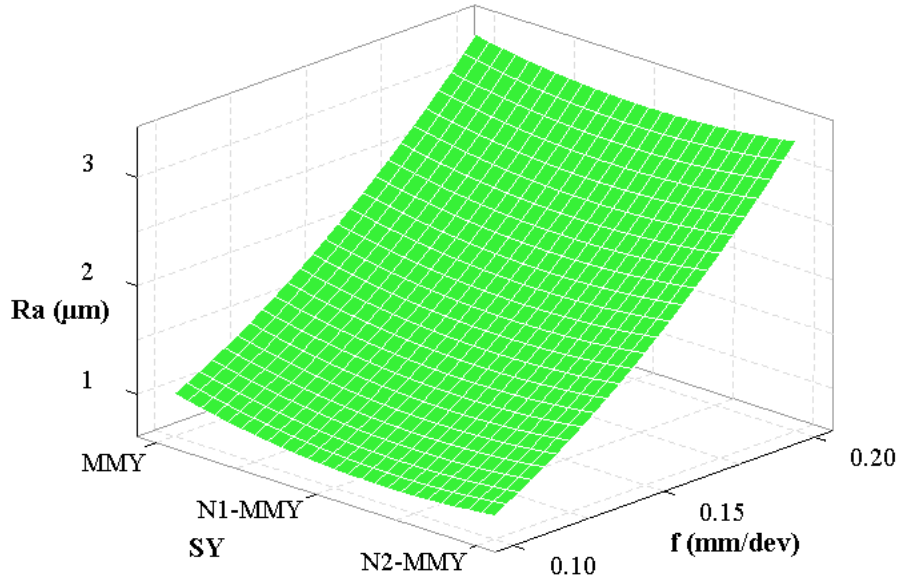
8.2.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İşleme testleri sonucunda nanoakışkan konsantrasyon oranı ve kesme parametrelerine (kesme hızı ve ilerleme hızı) bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişimleri gösteren grafikler Şekil 8.13 ve Şekil 8.14'de verilmiştir. Şekil 8.13'deki grafik nano akışkan konsantrasyon oranı ve kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişimi göstermektedir. Grafikten saf yağa göre nano akışkan kesme şartlarının yüzey pürüzlülük değerlerinde belirgin bir şekilde düşüş sağladığı görülmektedir. Saf yağa katılan nanopartikül miktarı arttıkça nanoakışkanların viskozitesinin arttığı bilinmektedir. Nano akışkan konsantrasyon oranı %0,8'den sonra yüzey pürüzlülüğünde

bir miktar artış meydana gelmesi viskozitedeki artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir. Viskozitedeki artış kesme yağının kesici takım-talaş ara yüzeyine yeterli nüfuziyeti sağlamasını engellemektedir. Grafik eğilimlerinden kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, artan değerlerinin yüzey pürüzlülük değerlerini önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür. Şekil 8.14’de nano akışkan konsantrasyon oranı ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişim verilmiştir. Grafik eğilimlerinden ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, artan değerlerinin yüzey pürüzlülük değerlerini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. İlerleme hızı yüzey pürüzlülüğünün bir fonksiyonu olduğundan artan değerlerinin yüzey pürüzlülük değerlerinde artış sağlaması beklenen bir durumdur.



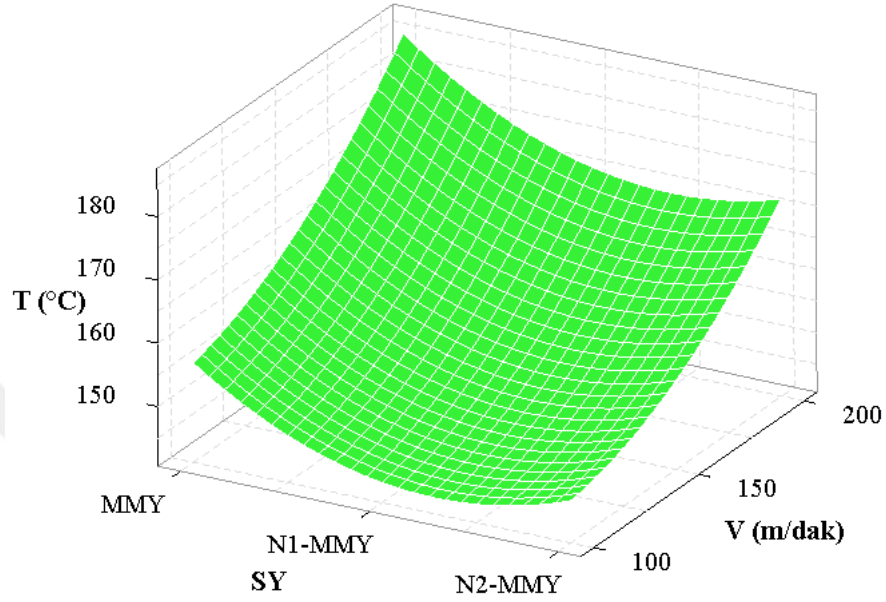
Şekil 8.13. Soğutma/yağlama yöntemi ve kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.



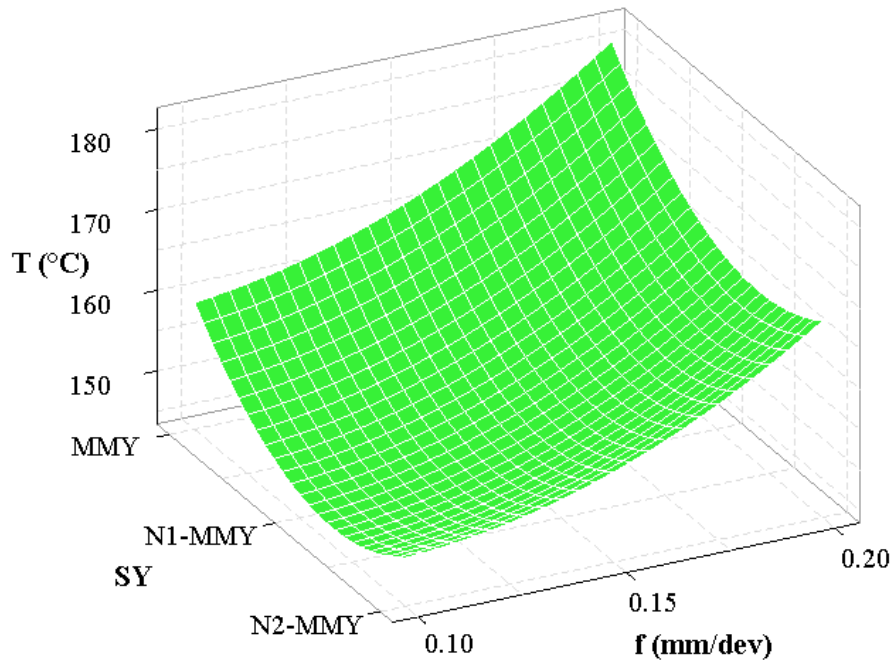
Şekil 8.14. Soğutma/yağlama yöntemi ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.

Nano akışkan konsantrasyon oranı ve kesme parametrelerine bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişimleri gösteren grafikler Şekil 8.15 ve Şekil 8.16 verilmiştir. Grafiklerden kesme hızı ve ilerleme hızındaki artışın kesme bölgesinde oluşan sıcaklıkların artmasında önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Artan kesme hızı ile deformasyon hızının artmasının sıcaklığın artmasında etken olduğu düşünülmektedir. Artan ilerleme hızı ise talaş kalınlığını artırarak sürtünmeyi bir miktar artırmasının kesme sıcaklığı değerlerinde artışa sebep olduğu düşünülmektedir. Şekil 8.16’da nano akışkan konsantrasyon oranına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim verilmiştir. En yüksek kesme sıcaklığı değeri saf kesme yağının kullanıldığı kesme şartlarında elde edilirken, Nano MMY’nin etkin yağlama özelliği ile kesme bölgesindeki sıcaklığı önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür. Nano akışkan kesme şartlarında en düşük kesme sıcaklığı değeri ise %0,8 konsantrasyon oranında elde edilmiştir. MMY sisteminde kullanılan bitkisel esaslı kesme sıvısına eklenen nano grafinin kesme bölgesine gönderilen yağın tutunmasını sağlaması ve etkin bir film tabakası oluşturarak sıcaklığı azaltmasının kesme sıcaklığı değerlerinin düşmesini sağladığı düşünülmektedir. Ayrıca kesme işleminde sürtünme kaynaklı oluşan sıcaklığın iş parçasına iletimini nispeten engelleyen grafen katı nanopartiküller, sıcaklığı kesme bölgesinden hızlıca uzaklaştırmakta bu sıcaklık değerlerinde düşüşlere de neden

olabilmektedir. Bitkisel esaslı kesme yağına eklenen katı haldeki grafen nanopartiküller, yüksek sıcaklıklarda bile kararlı yapısını koruması ayrıca kesici takım-iş parçası ara yüzeyine nüfuz eden bu nanopartiküllerün lifli ve elastik yapısıyla kesme işlemini kolaylaştırması da kesme sıcaklıklarının düşmesinde etken olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8.15. Soğutma/yağlama yöntemi ve kesme hızına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.



Şekil 8.16. Soğutma/yağlama yöntemi ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, AISI 904L paslanmaz çeliğinin tornalanmasında, iki aşamalı olarak deneyler gerçekleştirilmiş olup, yapılan çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

L₉ deney tasarımı için;

- Bu deney tasarımında debi, basınç ve nano akışkan konsantrasyon oranı kontrol faktörü olarak ele alınmış olup yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı ise kalite karakteristiği olarak belirlenmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığının optimum seviyelerinin belirlenmesinde S/N oranları kullanılmıştır.
- İstatistiksel analiz sonuçlarına göre optimum yüzey pürüzlülüğü değeri, 60 ml/saat debide (A3), 8 bar basınçta (B3) %0,8 nanopartikül konsantrasyon oranı (C2) ile elde edilmiştir. Optimum kesme sıcaklığı değeri ise 60 ml/saat debide (A3), 8 bar basınçta (B3) % 0,8 nanopartikül konsantrasyon oranı (C2) ile elde edilmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü üzerinde %35,5 katkı oranı ile en etkili parametrenin basınç olduğu, kesme sıcaklığı üzerinde ise %54,40 katkı oranı ile en etkili parametrenin nano akışkan konsantrasyon oranı olduğu görülmüştür.
- Basınç ve debideki artışla birlikte kesme sıcaklığının belirgin bir şekilde azaldığı görülmüştür.
- Artan basınçla birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bu durum kesme yağının kesme bölgesine nüfuziyetinin artmasına atfedilmiştir. Nanografen katkılı kesme yağı tüm oranlarda saf kesme yağından daha iyi performans sergilemiştir. Konsantrasyon oranı %0,8 den %1,2'ye çıkarıldığında Ra değerlerinde meydana gelen artış, nanografen partiküllerinin bitkisel esaslı kesme sıvısının viskozitesini artırması sonucu olarak kesme esnasında takım-ış

parçası arasına fazla nüfus edemeyerek bu bölgede soğutmayı iyi derecede yapamaması ile açıklanabilir.

- Nano partikül konsantrasyon oranı yüzey pürüzlülük değerlerinde basınç ve debi miktarına göre daha az etkili olmakla birlikte Ra değerlerinin düşmesi üzerinde saf yağa göre oldukça etkili olduğu görülmüştür.
- En düşük kesme sıcaklığı değerleri %0,8 nano akışkan konsantrasyon oranında elde edilmiştir. Nano akışkan konsantrasyon oranındaki artışla birlikte kesme bölgesinde sıcaklıkların arttığı görülmüştür. Bu durum da konsantrasyon oranındaki artışın vizkoziteyi artırmasıyla ilişkilendirilmiştir.
- Kuadretik regresyon analizi ile oluşturulan tahmin denklemlerinin belirleme katsayıları yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları için sırasıyla 0.664 ve 1.00 olarak elde edilmiştir.

L₂₇ deney tasarımı için;

- Bu deney tasarımında nanoakışkan konsantrasyon oranı, kesme hızı ve ilerleme hızı oranı kontrol faktörü olarak ele alınmış olup yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı ise kalite karakteristiği olarak belirlenmiştir.
- L₉ deney tasarımında olduğu gibi kesme sıcaklıkları ve yüzey pürüzlülüğünün optimum seviyelerinin belirlenmesinde S/N oranları kullanılmıştır.
- İstatistiksel analiz sonuçlarına göre optimum yüzey pürüzlülüğü değeri nano(0,8)MMY soğutma yönteminde (A2), 200 m/dak kesme hızında (B3) ve 0,10 mm/dev ilerleme hızında (C1) elde edilmiştir. Optimum kesme sıcaklığı değeri ise nano(0,8)MMY sisteminde (A2), 100 m/dak kesme hızında (B1), 0,10 mm/dev ilerleme hızında (C1) ve ile elde edilmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü üzerinde %96,57 katkı oranı ile en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu, kesme sıcaklığı üzerinde ise %51.73 katkı oranı ile en etkili parametrenin kesme hızı olduğu görülmüştür.
- L₂₇ deney tasarımında artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerleri azalırken kesme sıcaklıklarının arttığı gözlemlenmiştir. İlerleme hızının artan değerleri

yüzey pürüzlülük değerlerini önemli ölçüde arttırmış, kesme sıcaklığını ise daha az oranda artışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

- En yüksek yüzey pürüzlülük ve kesme sıcaklığı değerleri MMY kesme şartlarında elde edilmiştir. MMY siteminde nanografen kullanımı etkin yağlama özelliği sayesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıklarını önemli ölçüde düşürmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı değerleri ise %0.8 NanoMMY kesme şartlarında elde edilmiştir. Kesme yağına katılan nanografen partiküllerinin kesme yağının işleme performansını önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir.
- Kuadretik regresyon analizi ile oluşturulan tahmin denklemlerinin belirleme katsayıları yüzey pürüzlülüğü için 0,984 ve kesme sıcaklığı için 0,96 olarak elde edilmiştir.

9.2. ÖNERİLER

Yapılan çalışma kapsamında AISI 904L paslanmaz çeliğinin tornalamasında Nano akışkanların ve kesme parametrelerinin kesme sıcaklıkları ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu çalışmadan farklı olarak yapılabilecek çalışmalar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Bu çalışmada MMY sisteminin uygulanmasında yağ tipi, 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.
- Literatür incelendiğinde AISI 904L paslanmaz çeliğinin 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.



10. KAYNAKLAR

- [1] A. Ulusoy, “Orta karbonlu ve otomat çeliklerinde kesme hızının işlenebilirlik üzerine etkisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2008.
- [2] 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, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye, 2006.
- [3] A. A. Yontar, “AISI304 Paslanmaz eliklerin işlenebilirliğinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2011.
- [4] H. E. Yeyen, “AISI 303 Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin deneysel olarak araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [5] B. Balcı, “AISI304 Östenitik paslanmaz elik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi,” Bilim uzmanlığı tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2008.
- [6] S. Güle, “Paslanmaz elik, bakır kaplı elik ve alüminyum saplamaların fe-al esaslı intermetaliklere saplama kaynağı yöntemi ile birleştirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2013.
- [7] N. A. Özbek, “AISI 316 Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takıma uygulanan kriyojenik işlemin takım ömrü üzerine etkilerinin araştırılması,” Doktora tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [8] C. Servant, E. H. Gherbi ve G. Cizeron, “TEM investigation of the tempering behavior of the maraging PH 17.4 mo stainless steel,” *Journal Of Materials Science*, ss. 2297-2304, 1987.
- [9] P. Berge, J. Garaud ve P. Moncin, *In Proceedings of BNES International Conference on Ferritic Steels for Reactors in Steam Generators*, London, İngiltere, 1977.
- [10] Anonim, (2018, 8 Ekim). [Online]. Erişim: <https://bircelik.com/tr>.
- [11] E. Canıyılmaz, “Kalite geliştirmede Taguchi metodu ve bir örnek uygulama,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2001.

- [12] G. Meral, M. Sarıkaya ve H. Dilipak, “Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu,” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c.27, sayı 4, ss. 332-338, 2011.
- [13] R. Schirsch, D. Thamke ve W. Zielasko, “Wirtschaftlichkeit der trockenbearbeitung”, *Trockenbearbeitung prismatischer teile*,” *VDIBerichte*, c. 1375, ss. 371-397, 1998.
- [14] R. U. Shingarwade, P. S. Chavan, “A review on MQL in reaming,” *Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res.*, ss. 392-399, 2014.
- [15] N. H. Razak, M. M. Rahman, M. M. Noor ve K. Kadirgama “A review of minimum quantity lubricant on machining performance,” *National Conference in Mechanical Engineering Research and Postgraduate Students, FKM Conference Hall* , UMP, Kuantan, Pahang, Malaysia ; ss. 72 -85, 2010.
- [16] H. Kissler, “KSS-bedingte kosten in derspanenden metallbearbeitung als anreiz für die trockenbearbeitung,” *12 th International Colloquium Tribology 2000 - Plus, Conference Proc*, 2: 901-913, 2000.
- [17] T. Wakabayashi, “Turning using extremely small amount of cutting fluids,” *JSME*, c. 41/1, ss. 143–148, 1998.
- [18] R. Autret, S. Y. Liang, “Minimum Quantity Lubrication in Finsh Hard Turning,” *HNICEM*, Philippines, 2003.
- [19] M M. A. Khan, M. A. H. Mithu ve 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*, c. 209, sayı 15-16, ss. 5573-5583, 2009.
- [20] Ç. V. Yıldırım, T. Kıvak ve F. Erzincanlı, “Minimum miktarda yağlama tekniğinin tornalama ve frezeleme işlemlerindeki uygulamaları üzerine bir derleme,” *2. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu (IISS’15)*, 1-3 Nisan 2015, Karabük, Türkiye, 2015.
- [21] S. Pervaiz, S. Kannan ve H. A. Kishawy, “An extensive review of the water consumption and cutting fluid based sustainability concerns in the metal cutting sector,” *Journal of Cleaner Production*, c. 197, ss. 134-153, 2018.
- [22] B.J. Johnson, F.E. Kennedy ve I. Baker, “Dry sliding wear of NiAl,” *Wear*, c. 192, sayı 1-2, ss. 241-247, 1996.
- [23] C. Odabaş, *Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri*, İstanbul, Türkiye: Askaynak, 2004.
- [24] M. Erdoğan, *Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Demir Dışı Alaşımlar*, Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, 2001.
- [25] J.L.Gonzalez- Carrasco, F. Garcia-Cano, G. Caruana ve M. Liebllich, “Aluminum/Ni₃Al composites processed by powder metallurgy,” *Material Science and Engineering: A*, 1994, c. 183, ss. L5-L8.

- [26] A. Aran, ve M. A. Temel, *Paslanmaz Çeliklerin Üretimi, Kullanımı, Standartları*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: Sarıtaş Teknik Yayın No:1, ss. 54-65, 2004.
- [27] U. Kurt, “Paslanmaz çelik kaynak özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1988.
- [28] B. Balcı, “AISI304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi,” Bilim Uzmanlığı tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2008.
- [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, böl. 1, ss. 9-29, 2004.
- [30] J. J. Smith, R. A. Farrar, “Influence of microstructure and composition on mechanical properties of some AISI series weld metals,” *International Materials Reviews*, c. 38, s.1, 1993.
- [31] M. M. Yıldırım, *Malzeme Bilgisi*, Elazığ, Türkiye: Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Yayın No: 61, 1981.
- [32] B. Akin, “AISI316L Paslanmaz çeliklerin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2014.
- [33] A. S. Güldibi, “AISI304 Paslanmaz çeliğine bor ilavesinin işlenebilirlik parametrelerine etkisi,” Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2015.
- [34] M. Beken, “Ferritik paslanmaz çeliğin kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezlenmesi yöntemiyle (SHS-KKİYSS) Ni3Al metallerarası bileşiğin kaplanması,” Yüksek lisans tezi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye, 2014.
- [35] M. H. Korkut, “Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı ve aşınması üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması,” Doktora tezi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye, 1997.
- [36] Anonim, (2019, 23 Şubat). [Online]. Erişim: <http://www.gozdempaslanmaz.com/paslanmaz-celik.asp?ha=1#opc>.
- [37] Anonim, (2018, 23 Kasım). [Online]. Erişim: <https://www.karacapaslanmaz.com/cokelme-sertlesmeli-paslanmaz-celikler>.
- [38] W. F. Smith, “Paslanmaz Çelikler,” *Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri*, Çeviri: M. Erdoğan, Ankara, Türkiye, ss.169-214, 2000.
- [39] T. Aydın, “Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında kullanılan gazlar ve etkileri,”

Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2002.

- [40] E. Kaluç ve K. Tülbentçi, Paslanmaz çeliklerin kaynağı, *Seminer notları*, Kocaeli üniversitesi kaynak teknolojisi, Araştırma, eğitim ve uygulama merkezi, Kocaeli, 1998.
- [41] Servant, C, Gherbi, E., H., Cizeron, G. “TEM investigation of the tempering behavior of the maraging PH 17.4 mo stainless steel,” *Journal Of Materials Science*, ss. 2297-2304, 1987.
- [42] P. Berge, J. Garaud ve P. Moncin, “In proceedings of BNES,” *International Conference on Ferritic Steels for Reactors in Steam Generators*, London, 1977.
- [43] Anonim, (2018, 12 Kasım). [Online]. Erişim: <http://bircelik.com/tr>.
- [44] M. P. Groover, *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems*, 4. baskı, John Wiley and Sons Inc., Pennsylvania, 2010.
- [45] H. Gökkaya ve M. Nalbant, “The effects of cutting tool geometry and processing parametres on the surface roughness of AISI1030 steel,” *Materials and Desing*, c.28, ss. 717- 721, 2007.
- [46] İ. Çiftçi, Kesici takımlar ve kesme teorisi, *Lisans Ders Notları*, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2008.
- [47] Makina TEK, Talaşlı İmalatta Isı Modellenmesi Ve Sıcaklık Ölçüm Yöntemleri, <http://www.makinatek.com.tr/arsiv/yazi/139-talasli-imalatta-isimodellenmesi-ve-sicaklik-olcum-yontemleri>, 2015.
- [48] F. Taylan, “Sert malzemelerin frezelenmesinde takım aşınma davranışlarının belirlenmesi,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2009.
- [49] Y. Altıntaş, *Manufacturing Automation*, Columbia, ABD, Cambridge University Press, 2000, ss. 4-17.
- [50] H. Gürbüz, “AISI 316L çeliğin işlenmesinde kesici takım geometrisi ve kaplama tiplerinin yüzey bütünlüğü üzerindeki etkilerinin araştırılması,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.
- [51] Y. Şahin, "Talaş Oluşumu ve Talaş Kaldırma Mekanikliği," *Talaş Kaldırma Prensipleri*, Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, 2000, ss. 201-202.
- [52] A. Kurt, “Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve mekanik gerilmelerin deneysel olarak incelenmesi ve matematiksel modellerinin oluşturulması,” Doktora tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.

- [53] C. X. Feng, "An experimental study of the impact of turning parameters on surface roughness proceedings of the 2001," *Industrial Engineering Research Conference*, s. 2036, 2001.
- [54] V. Kovan, *Fundamentals of Process Engineering*, Foreign Language Publishing House, Moscow, 1966.
- [55] E. P. DeGarmo, J. T. Black ve R. A. Kohser, *Materials and Processes in Manufacturing*, Macmillan Publishing Co., New York, 1988.
- [56] S. Kalpakjian, *Manufacturing Engineering and Technology*, 3. baskı, ss. 624-626, Addison-Wesley, New York, 1995.
- [57] M. M. W. Knuefermann, R. F. J. Read, R. Nunn, I. E. Clark ve M. A. Fleming, "22 nm Ra surface finish achieved with AMBORITE DBN 45 in ultra-precision turning of hardened steel," *Industrial Diamond Review*, sayı 2, ss. 87-92, 2001.
- [58] Anonim, (2018, 20 Kasım). [Online]. Erişim http://www.yamasa.com.tr/tr/roll_burn3.htm.
- [59] Da Silva, R. B.; Vieira, J. M.; Cardoso, R. N.; Carvalho, H. C.; Costa, E. S.; Machado, A. R.; De Ávila, R. F.: "Tool Wear Analysis in Milling of Medium Carbon Steel with Coated Cemented Carbide Inserts Using Different Machining Lubrication/Cooling Systems," *Wear*, 271, 2459-2465. 2011.
- [60] J. Z. Zhang, J. C. Chen ve E. D. Kirby, "Surface roughness optimization in an end-milling operation using the taguchi design method," *Journal of Materials Processing Technology*, sayı 184, ss. 233-239, 2007.
- [61] U. Khandey, S. Datta, S. S. Mahapatra ve A. Bandyopadhyay, "Optimization of surface roughness, material removal rate and cutting tool flank wear in turning using extended taguchi method," *Proceedings of International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME)*, Ağustos, 2009, ss. 1034-1038.
- [62] Y. Işık, ve M.C. Çakır, "Hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin deneysel olarak incelenmesi," *Teknoloji Dergisi*, c.1-2, ss.111-118, 2001.
- [63] P. Demircioğlu, "Talaşlı imalat yöntemleriyle imal edilen iş parçalarında yüzey pürüzlülüğünün yüksek hassasiyette iğne uçlu ve 3D optik ölçüm sistemleriyle değerlendirilmesi," *Mühendis ve Makine Dergisi*, c. 52, sayı 613, ss. 81-91, 2011.
- [64] 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.

- [65] 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.
- [66] M. C. Çakır, *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*, 1. Bölüm Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, 2006.
- [67] G. Sur, “Karma takviyeli alüminyum matriksli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliklerinin incelenmesi,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [68] M. Sarıkaya, “Kobalt esaslı haynes 25 süper alaşımın işlenebilirliğinin incelenmesi,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [69] H. Demir, H. B. Ulaş ve M. Zeyveli, “Talaşlı üretimde kullanılan kesme sıvılarından istenen özellikler,” *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)*, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye, 2009, ss. 1-5.
- [70] A. Güllü, O. Poyrazoğlu, “İmalatta süper bitirme işlemi ve taşlama ile karşılaştırılması,” *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi*, c.1-2, ss. 67-82, 2000.
- [71] R.M. Mortier, S.T Orszulik, *Chemistry and Technology of Lubricants*, 1993.
- [72] M. Karahan, “Ham soya yağından metal kesme sıvı eldesi ve karakterizasyonu,” Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, Türkiye, 2010.
- [73] S. Açar, “AA 7075-T6 Alüminyum alaşımının minimum miktarda yağlama yöntemiyle talaşlı işlenebilirliğinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2014.
- [74] U. Akben, "Minimum miktarda yağlama (MMY) ile kesmenin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [75] S. Debnath, M. M. Reddy ve Q. S. Yi, “Environmental friendly cutting fluid sand cooling techniques in machining: a review,” *Journal of Cleaner Production*, ss. 33-47, 2014.
- [76] E. Yücel, M. Günay, M. Ayyıldız, Ö. Erkan, ve F. Kara, “Talaşlı imalatta kullanılan kesme sıvılarının insan sağlığına etkileri ve sürdürülebilir kullanımı,” *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)*, Elazığ, Türkiye, 2011.
- [77] A. Shokrani, V. Dhokia ve S. T. Newman, “Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids,” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, s. 57, ss. 83-101, 2012.

- [78] S. Toprak, “Malzemeleri (çelik, çinko, kurşun, pirinç, alüminyum) koruyan koruyucu yağların zamanla değişen fizikokimyasal özellikleri,” Yüksek lisans tezi, Kimya Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2007.
- [79] A. H. Tazehkandi, M. Shapgard ve 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*, sayı 104, ss. 422-435, 2015.
- [80] S. Debnath, M. M. Reddy ve Q. S. Yi, “Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review,” *Journal of Cleaner Production*, sayı 83, ss. 33-47, 2014.
- [81] A. Sulaimon, B. J. Adeyemi ve M. Rahimi, “Performance enhancement of selected vegetable oil as base fluid for drilling HPHT formation,” *Journal of Petroleum Science and Engineering*, sayı 152, ss. 49-59, 2017.
- [82] E. Kuram, B. Özcelik, M. Bayramoğlu, E. Demirbaş ve B. T. Simsek, “Optimization of cutting fluids and cutting parameters during end milling by using D-optimal design of experiments,” *Journal of Cleaner Production*, sayı 42, ss. 159-166, 2013.
- [83] M. M. A. Khan, M. A. H. Mithu ve 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*, s. 209, ss. 5573-5583, 2009.
- [84] N. Anaç, ve İ. Ay, “Soğutma sıvılarının insan sağlığına etkileri,” *Metal Makine*, sayı 149, 2004.
- [85] 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, ss. 214-221, 2016.
- [86] T. Walker, *The MQL Handbook*, Copyright, Unist, Inc. V1.0.3, 2013.
- [87] D. A. Stephenson, J. S. Agapiou, *Metal Cutting Theory and Practice*, 2. baskı ss. 767-783, Taylor & Francis, New York, 2006.
- [88] Eisenblätter, G. “Trockenbohren mit vollhartmetallwerkzeugen,” PhD thesis, RWTH, Aachen University, Almanya, 2000.
- [89] K. Weinert, I. Inasaki, J. W. Sutherland, ve T. Wakabayashi, “Dry machining and minimum quantity lubrication,” *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, c. 53, sayı 2, ss. 511-537, 2004.
- [90] F. Klocke, K. Gerschwiler, Minimalmengenschmierung – systeme, medien, einsatzbeispiele und ökonomische aspekte der trockenbearbeitung, rockenbearbeitung von metallen, *Proc. of the VDI-Seminar*, Stuttgart, Mar. 18, 2003.

- [91] S. Suzuki, “Developments in oil supplying systems for MQL cutting,” *Journal of Japanese Society of Tribologists*, sayı 47, ss. 538-543, 2002.
- [92] Anonim, (2019, 8 Ocak). [Online]. Erişim: URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F%2Farticles%2Fthe-many-ways-ford-benefits-from-mal&date>.
- [93] MQL for dry machining process, *SKF lubriLean catalogue*. s.1-5102 EN, Haziran, 2014.
- [94] K. Karabulut, “Isı değiştiricilerde ısı aktarımının nanoakışkanlar kullanılarak artırılması,” Doktora tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye, 2015.
- [95] S. M. S. Murshed, K. C. Leong ve C. Yang, “Investigations of thermal conductivity and viscosity of nanofluids,” *International Journal of Thermal Sciences*, sayı 47, ss. 560-568, 2008.
- [96] A. K. Sharma, A. K. Tiwari ve A. R. Dixit, “Improved machining performance with nanoparticle enriched cutting fluids under minimum quantity lubrication (MQL) technique: a review,” *Materials Today*, sayı 2, ss. 3545-3551, 2015.
- [97] R. S. Revuru, V. K. Pasam, I. Syed ve 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*, sayı 21, ss. 75-85, 2018.
- [98] Y. Yang, Z. G. Zhang, E. A. Grulke, W. B. Anderson ve G. Wu, “Heat transfer properties of nanoparticle-in-fluid dispersions (nanofluids) in laminar flow,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, sayı 48, ss. 1107-1116, 2005.
- [99] M. Kaminski, R. L. Ossowski, “Prediction of the effective parameters of the nanofluids using the generalized stochastic perturbation method,” *Physica A*, sayı 393, ss. 10-22, 2014.
- [100] P. Kwon, L. T. Drzal, “Nanoparticle Graphite-Based Minimum Quantity Lubrication Method and Composition,” USA, Patent Numarası: US 2010/0204072 A1, 2010.
- [101] K. H. Park, B. Ewald, ve P.Y. Kwon, “Effect of nano-enhanced lubricant in minimum quantity lubrication balling milling,” *Journal of Tribology*, ss. 133, 2011.
- [102] R. K. Roy, *A Primer on the Taguchi Method*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- [103] C. Y. Nian, W. H. Yang ve Y. S. Tarn, “Optimization of turning operations with multiple performance characteristics,” *Journal of Materials Processing Technology*, sayı 95, ss. 90-96, 1999.

- [104] E. Canıyılmaz, “Kalite geliştirmede taguchi metodu ve bir uygulama,” Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2001.
- [105] D. M. Bryne, S. Taguchi, “The Taguchi approach to paramater design,” *ASQC Quality Congress Transactions*, Anaheim, USA, ss. 168, 1986.
- [106] M. şırvancı, *Kalite için Deney Tasarımı*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Literatür Yayıncılık, 1997.
- [107] G. Güral, “Gaz kaynağında proses parametrelerinin optimizasyonu,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2003.
- [108] 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, sayı 2, ss. 447-458, 2012.
- [109] B. Gökçe, S. Taşgetiren, “Kalite için deney tasarımı,” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 6, sayı 1, ss. 71-83, 2009.
- [110] W.H. Yang, Y. S. Tarng, “Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the taguchi method,” *Journal of Materials Processing Technology*, sayı 84, ss. 122-129, 1998.
- [111] B. Abraham, J. Mackay, Variation Reduction and Designed Experiments,” *International Statistical Review*, sayı 61, ss. 121-129, 1993.
- [112] J. Walkowicz, J. Staskiewicz, K. Szaşrowicz, D. Jakrzewski, G. Grzesiak ve M. Stepniak, “Optimization of the ASPN process to bright nitriding of woodworking tools using the taguchi approach,” *Journal of Materials Engineering and Performance*, sayı 22, ss. 410-420, 2013.
- [113] A. Pander, A. Hatta ve H. Furuta, “Optimization of catalyst formation conditions for synthesis of carbon nanotubes using taguchi method,” *Applied Surface Science*, sayı 371,ss. 425-435, 2016.
- [114] 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, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [115] S. B. Kedare, D. R. Borse ve P. T. Shahane, “Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on surface roughness of mild steel of 15HRC on universal milling machine,” *Procedia Materials Science*, sayı 6, ss. 150-153, 2014.
- [116] 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*, sayı 115, ss. 3410-3415, 2011.

- [117] Zhang, S., Li, J.F., ve Wang, Y.W. Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions,” *Journal of Cleaner Production*, sayı 32, ss. 81-87, 2012.
- [118] 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*, sayı 99, ss. 19-33, 2015.
- [119] P. Sharma, B. S. Sidhu ve J. Sharma, “Investigation of effects of nanofluids on turning of AISI D2 steel using minimum quantity lubrication,” *Journal of Cleaner Production*, sayı 108, ss. 72-79, 2015.
- [120] A. K. Sharma, A. K. Tiwari and A. R. Dixit, “Mechanism of nanoparticles functioning and effects in machining processes: A review,” *Materials Today: Proceedings*, sayı 2, ss. 3539-3544, 2015.
- [121] A. G. Krishna, T. B. Rao, “Performance assessment of carbon nano tube based cutting fluid in machining process,” *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, c. 10, sayı 8, ss. 1046-1049, 2016.
- [122] S. Roy, 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*, c. 228, sayı 9, ss. 1058-1067, 2014.
- [123] 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, sayı 3, ss. 645-650, 2017.
- [124] P. Lee, J. S. Nam, C. Li ve S. W. Lee, “An experimental study on micro-grinding process with nanofluid minimum quantity lubrication (MQL),” *International Journal Of Precision Eniineering And Manufacturing*, c. 13, sayı 3, ss. 331-338, 2012.
- [125] M. M. S. Prasad ve R. R. Srikant, “Performance evaluation of nano graphite inclusions in cutting fluids with MQL technique in turning of AISI 1040 steel,” *International Journal of Research in Engineering and Technology*, c. 2, sayı 11, ss. 381-393, 2013.
- [126] A. K. Sharma, J. K. Katiyar, S. Bahumik ve S. Roy, “Influence of alumina/MWCNT hybrid nanoparticle additives on tribological properties of lubricants in turning operations,” *Friction*, ss. 1-16, 2018.
- [127] 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.

- [128] C. Y. Nian, W. H. Yang and Y. S. Tarn, "Optimization of turning operations with multiple performance characteristics," *Journal of Materials Processing Technology*, sayı 95, ss. 90-96, 1999.
- [129] S. N. Rao, B. Satyanarayana ve 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*, c. 3, sayı 4, ss. 2928-2931, 2011.
- [130] W. Haung, D. Wu, S. Lin ve W. Liu, "A combined minimum quantity lubrication and MWCNTcutting fluid approach for SKD 11 end milling," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, sayı 84, ss. 1697-1704, 2016.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hasan YALILI
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.12.1974 / DEVREK
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
E-posta : hyalili6781@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Makine Eğitimi	Gazi Üniversitesi	1999
Lise	Makine	Zonguldak Teknik Lisesi	1993

Yayınlar

1. H. Yalılı, T. Kıvak, “AISI 904L Paslanmaz Çeliğin MQL Yöntemi Kullanılarak Tornalanmasında MQL Parametrelerinin ve Kesme Yağına Nanografen Katkısının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi”, *International Academic Research Congress (INES 2018)* 30 Ekim-3 Kasım, 2018, Antalya, Turkey.