



**MARAGİNG 300 ÇELİĞİN FREZELENMESİNDE  
KESİCİ TAKIM KAPLAMASININ VE KESME  
PARAMETRELERİNİN İŞLEME PERFORMANSI  
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN DENEYSEL VE  
İSTATİKSEL ARAŞTIRILMASI**

**2024  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Ali ÇELİK**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Halil DEMİR**

**MARAGİNG 300 ÇELİĞİN FREZELENMESİNDE KESİCİ TAKIM  
KAPLAMASININ VE KESME PARAMETRELERİNİN İŞLEME  
PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN DENEYSEL VE İSTATİKSEL  
ARAŞTIRILMASI**

**Ali ÇELİK**

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

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Halil DEMİR**

**KARABÜK  
Haziran 2024**

Ali ÇELİK tarafından hazırlanan “MARAGİNG 300 ÇELİĞİN FREZELENMESİNDE KESİCİ TAKIM KAPLAMASININ VE KESME PARAMETRELERİNİN İŞLEME PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN DENEYSEL VE İSTATİKSEL ARAŞTIRILMASI ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil DEMİR .....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Barış ÖZLÜ .....

Tez 2. Danışmanı, Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/06/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mehmet Akif ERDEN (KBÜ) .....

Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ) .....

Üye : Doç. Dr. Mahir AKGÜN (ASÜ) .....

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

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN .....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Ali ÇELİK

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MARAGING 300 ÇELİĞİN FREZELENMESİNDE KESİCİ TAKIM KAPLAMASININ VE KESME PARAMETRELERİNİN İŞLEME PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN DENEYSEL VE İSTATİKSEL ARAŞTIRILMASI

Ali ÇELİK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Haziran 2024, 63 sayfa

Bu çalışmada, Maraging 300 çeliğinin frezelenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerinin işleme performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca çıktı parametrelerinin en iyi değerleri için girdi parametreleri Taguchi yöntemi ile istatistiksel analizi yapılmıştır. Deneyler sabit kesme derinliğinde (1 mm) ve kuru işleme şartlarında CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler tasarımı Taguchi L27 ortogonal dizinine göre hazırlanmıştır. Kontrol faktörleri olarak üç farklı kesici takım kaplaması (TiAlN, TiCrN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN ve AlTiCrN), üç farklı kesme hızı (80 m/dak, 130 m/dak ve 180 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,07 mm/dev, 0,12 mm/dev ve 0,17 mm/dev) seçilmiştir. Deneysel ve istatistiksel sonuçlara göre en düşük kesme sıcaklığı A3B1C1 (AlTiCrN kaplı takım, 80 m/dak kesme hızı ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarı) deney kombinasyonunda 34 °C olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülüğü

ve en düşük yüzey sertliği A3B3C1 (AlTiCrN kaplı takım, 180 m/dak kesme hızı ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarı) deney kombinasyonunda sırası ile 0,07  $\mu\text{m}$  ve 328 Hv ölçülmüştür. En yüksek takım ömrü AlTiCrN kaplı takımla ve 80 m/dak kesme hızında yapılan deneylerde elde edilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği üzerine en etki parametre sırası ile %72,18 ile kesme hızı, %78,41 ile ilerleme miktarı ve %83,42 ile kesme hızı olduğu görülmüştür. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için yapılan doğrulama deneylerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler :** Kesici takım kaplaması, Kesme parametreleri, İşleme performansı, Taguchi yöntemi, İstatiksel analiz.

**Bilim Kodu :**

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **EXPERIMENTAL AND STATISTICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CUTTING TOOL COATING AND CUTTING PARAMETERS ON MACHINING PERFORMANCE IN MILLING OF MARAGING 300 STEEL**

**Ali ÇELİK**

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

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Halil DEMİR**

**January 2024, 63 pages**

In this study, the effects of cutting tool coating and cutting parameters on machining performance in milling Maraging 300 steel were investigated. Additionally, the input parameters were statistically analysis using the Taguchi method to find the best values of the output parameters. The experiments were carried out on a CNC vertical machining center at a constant depth of cutting (1 mm) and dry machining conditions. The experimental design was prepared according to the Taguchi L27 orthogonal array. Three different cutting tool coatings (TiAlN, TiCrN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN ve AlTiCrN), three different cutting speeds (80 m/min, 130 m/min ve 180 m/min) and three different feed rates (0,07 mm/rev, 0,12 mm/rev ve 0,17 mm/rev) were selected as control factors. According to experimental and statistical results, the lowest cutting temperature was 34 °C in the A3B1C1 (AlTiCrN coated tool, 80 m/min cutting speed and 0.07 mm/rev feed rate) experimental combination. Best surface roughness and lowest surface

hardness in test combination A3B3C1 (AlTiCrN coated tool, 180 m/min cutting speed and 0.07 mm/rev feed rate) has been measured 0.07  $\mu\text{m}$  and 328 Hv respectively. The highest tool life was obtained in experiments performed with AlTiCrN coated tool and 80 m/min cutting speed. According to the variance analysis results, the most effective parameters on cutting temperature, surface roughness and surface hardness were cutting speed with 72.18%, feed rate with 78.41% and cutting speed with 83.42%, respectively. Verification tests for cutting temperature, surface roughness and surface hardness were found to be within acceptable limits.

**Key Word** : Cutting tool coating, Cutting parameters, Machining performance, Taguchi method, Statistical analysis.

**Science Code** :



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca tecrübesi ve bilgi birikimi ile bana klavuzluk eden değerli danışman hocam Prof. Dr. Halil DEMİR'e ve 2. danışmanım Doç. Dr Barış ÖZLÜ'ye büyük destekleri için çok teşekkür ederim.

Çalışmalarımın gerek deneysel gerekse teorik aşamalarına katkılarda bulunan değerli büyüklerim Murat YAĞCI, Ersin YAŞAROĞLU, Beysim ÇETİN Beylere ve çalışma arkadaşım Hakan ÖZGEN, İbrahim KARA, Selim ERMAN ve Uğur SÖĞÜT Beylere de ayrıca teşekkür ederim.

Bugüne kadar hayatımın her aşamasında olduğu gibi yüksek lisans aşamasında da desteğini esirgemeyen ve yüksek lisans çalışmalarım sırasında gösterdiği sabır ve anlayışından ötürü değerli Annem, Babam ve sevgili Eşime tüm içten dileklerle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
SÜPER ALAŞIMLAR.....	3
2.1. DEMİR ESASLI SÜPER ALAŞIMLAR.....	3
2.2. KOBALT ESASLI SÜPER ALAŞIMLAR .....	4
2.3. NİKEL ESASLI SÜPER ALAŞIMLAR.....	5
2.4. MARAGING ÇELİKLERİ .....	8
2.4.1. Maraging Çeliklerinin Özellikleri.....	10
2.4.2. Maraging Çeliklerinin Uygulama Alanları.....	12
2.4.3. Maraging Çeliğinin Üretimi ve İşlenmesi .....	13
BÖLÜM 3 .....	16
TALAŞLI İMALAT.....	16
3.1. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ VE TALAŞ OLUŞUMU .....	16
3.2. TALAŞLI İMALAT İŞLEMLERİNDEKİ PARAMETRELER.....	18
3.2.1. Kesme hızı (VC).....	19
3.2.2. İlerleme Miktarı (f).....	20
3.2.3. Talaş Derinliği (a).....	21

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.3. TALAŞLI İMALAT İŞLEMLERİNDE KESME KUVVETLERİ.....	22
3.4. TALAŞLI İMALAT İŞLEMLERİNDE ISI VE SICAKLIK.....	23
3.5. TAKIM AŞINMASI.....	24
3.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	25
BÖLÜM 4 .....	28
MATERYAL VE YÖNTEM .....	28
4.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME.....	28
4.2. KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU .....	28
4.3. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TEZGÂHI .....	29
4.4. KESME SICAKLIĞI ÖLÇÜMLERİ .....	30
4.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMLERİ.....	30
4.6. TAKIM AŞINMASININ ÖLÇÜMÜ VE İNCELENMESİ.....	31
4.7. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ .....	32
4.8. TAGUCHI OPTİMİZASYON YÖNTEMİ.....	33
BÖLÜM 5 .....	35
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	35
5.1. KESME SICAKLIĞI .....	35
5.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	38
5.3. TAKIM AŞINMASI.....	42
5.4. SERTLİK DEĞİŞİMİ.....	43
5.5. GİRDİ PARAMETRELERİNİN OPTİMİZE EDİLMESİ .....	46
5.5.1. S/N Oranlarının Analizi.....	47
5.5.2. Varyans Analizi (ANOVA) .....	50
5.5.3. Regresyon Analizi .....	51
5.5.4. Doğrulama Deneyi Sonuçları .....	52
BÖLÜM 6 .....	55
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	55
6.1. SONUÇLAR .....	55
6.2. ÖNERİLER .....	56

	<b><u>Sayfa</u></b>
KAYNAKLAR .....	57
ÖZGEÇMİŞ .....	63

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Trent aero motor yapısındaki malzemeler .....	6
Şekil 2.2. Nikel esaslı süper alaşımların mikroyapısında oluşabilen fazlar.....	7
Şekil 2.3. Maraging 300 çeliği örnek resmi .....	9
Şekil 2.4. 350 Çeliğinin numunesinin, farklı sıcaklıklarda yaşlandırma sonrası mikroyapısı (optik mikroskopi, 200 kat büyütme): a) 525°C; b) 550°C; c) 575°C; d) 600°C; e) 625°C; f) 650°C.....	14
Şekil 2.5. Çelik 350'in farklı sıcaklıklarda yaşlandırıldıktan sonra yapısında bulunan geri dönen austenit RA ve martenzit M: a) 575°C; b) 600°C; c) 625°C; d) 650°C; e, f) 600°C (taramalı elektron mikroskobu); a - d) optik mikroskopi .....	15
Şekil 3.1. Dik kesme modeli .....	17
Şekil 3.2. Talaş oluşumu .....	18
Şekil 3.3. Frezeleme işleminde a) talaş derinliği ve b) ilerleme hızı. ....	21
Şekil 3.4. Frezeleme işlemi esnasında oluşan a) kesme kuvvetleri ve b) bileşke kuvvet .....	22
Şekil 3.5. Bir kesici takımında oluşan aşınmalar .....	25
Şekil 3.6. Ra, Ry ve Rz yüzey pürüzlülük değerlerinin görebilmesi .....	26
Şekil 3.7. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri .....	27
Şekil 4.1. Hartford S PLUS -10 CNC dik işleme merkezi.....	30
Şekil 4.2. Fluke TiS20 kızılötesi termal kamera. ....	30
Şekil 4.3. MahrSurf PS10 model yüzey pürüzlük cihazı. ....	31
Şekil 4.4. Takım aşınma ölçülmesinde kullanılan a) dijital ve b) SEM mikroskopları. ....	32
Şekil 4.5. OMAG 206 EX sertlik ölçüm cihazı. ....	33
Şekil 5.1. Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerine bağlı kesme sıcaklığı değişimi.....	37
Şekil 5.2. Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi. ....	40
Şekil 5.3. Kesici takımlara ait SEM görüntüleri ve EDX görüntüleri. (Vc: 80 m/dak ve f: 0,17 mm/dev) .....	41
Şekil 5.4. Maraging 300 çeliğinin frezelenmesinde kesici takım kaplamasına ve kesme hızına bağlı takım aşınması. ....	43

## **Sayfa**

Şekil 5.5. Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerinin yüzey sertliğine etkisi.....	46
Şekil 5.6. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değeri için ortalama $S/N$ oranları üzerine kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerinin etkisi. ....	49
Şekil 5.7. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için doğrusal regresyon modelinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması .....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Maraging Çeliğinin Mekanik Özellikleri.....	10
Çizelge 2.2. Maraging Çeliğinin Alaşım Tablosu.....	10
Çizelge 2.3. Karbon çelikleri ve MS300 çeliğinin mukavemet/tokluk değerleri.....	12
Çizelge 2.4. Eklemeli üretim ve dövme yöntemiyle üretilen MS300 çeliğinin mekanik özellikleri .....	13
Çizelge 4.1. Maraging 300 çeliğinin kimyasal kompozisyonu. ....	28
Çizelge 4.2. Deneyleerde kullanılan kesici takımlara ait teknik bilgiler ve görsel.....	29
Çizelge 4.3. Deneyleerde kullanılan Takım tutucuya ait teknik bilgiler ve görsel.....	29
Çizelge 4.4. Hartford S PLUS -10 CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri. ...	29
Çizelge 4.5. MahrSurf PS10 yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri. ....	31
Çizelge 4.6. Taguchi L <sub>27</sub> işleme parametreleri ve seviyeleri. ....	34
Çizelge 4.7. Takım aşınması için işleme parametreleri ve seviyeleri. ....	34
Çizelge 5.1. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları.....	35
Çizelge 5.2. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları.....	39
Çizelge 5.3. Deneyleer sonucu ölçülen yüzey sertliği değerleri.....	44
Çizelge 5.4. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerleri ve S/N oranları.....	48
Çizelge 5.5. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için S/N yanıt tablosu.....	48
Çizelge 5.6. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için varyans analizi sonuçları.....	50
Çizelge 5.7. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için doğrulama deney sonuçları. ....	53
Çizelge 5.8. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için doğrulama deney sonuçları. ....	54

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Cu	: bakır
$Ra$	: ortalama yüzey pürüzlülüğü
$fe$	: hata serbestlik derecesi
$Ve$	: hata varyansı
$Ff$	: esas kesme kuvveti
$Fr$	: radyal kuvvet
$Ra$	: ortalama yüzey pürüzlülüğü
$V$	: kesme hızı
Co	: kobalt
Ni	: nikel
$\sigma\ç$	: ortalama çekme dayanımı
$f$	: ilerleme miktarı
$a$	: Talaş derinliği
Al	: Alüminyum
Cr	: Krom

### KISALTMALAR

UNF	: Unified numbering system (Birleşik numaralandırma sistemi)
DIN	: German Institute for Standardisation (Alman Standardizasyon Enstitüsü)
BUE	: Built-up edge (Yerleşik kenar)
PVD	: Physical Vapor Deposition (Fiziksel buhar yoğunlaştırma)
CAD	: Bilgisayar destekli tasarım
3D	: Üç boyutlu



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüz endüstriyel uygulamalarında, malzemelerin mukavemeti, dayanıklılığı ve işlenebilirliği son derece kritik bir öneme sahiptir. Özellikle yüksek performanslı malzemelerin bu özellikleri, üretim süreçlerinde verimliliği artırırken ürün kalitesini yükseltme ve maliyetleri düşürme konusunda kilit bir rol oynamaktadır. Modern endüstrilerin ihtiyaç duyduğu mükemmel özellikler arasında, malzemelerin işlenebilirliğiyle birlikte güvenlik, performans ve uzun ömürlülük gibi faktörler de yer almaktadır.

Bu bağlamda, havacılık, savunma sanayi, uzay endüstrisi gibi ileri teknoloji gerektiren sektörlerde kullanılan malzemelerin özellikleri, işlenebilirlik, güvenlik, performans ve uzun ömürlülük gibi faktörlerle doğrudan ilişkilidir. Özellikle bu sektörlerde kullanılan malzemelerin yüksek mekanik dayanım, düşük deformasyon riski ve uzun ömürlülük gibi özellikleri olması gerekmektedir.

Maraging 300 malzemesi, nikel, kobalt, molibden ve titanyum alaşımlarının birleşiminden oluşan özel bir çelik türüdür. Bu malzeme, orta düzeyde korozyon direnci ile yüksek mekanik dayanım özelliklerine sahiptir. Maraging malzemelerin çeşitleri arasında C250 Maraging, Maraging C300 ve C350 Maraging bulunur. C300 Maraging (Maraging 300), belirtilen çeşitler içinde sıklıkla kullanılanıdır ve özellikle uçak iniş takımlarındaki en zorlu bölgelerde çalışan aksamlarda tercih edilir.

Maraging 300 malzemesi, UNS K93120 olarak da bilinir ve DIN normlarına göre 1.6358-1.6354 olarak adlandırılır. EN standartlarına göre ise X2NiCoMo19-9-5 olarak tanımlanır. Bu malzeme, Maraging Çeliklerin en yaygın ve bulunabilir olanlarından biridir ve özellikle yüksek mekanik dayanım gerektiren uygulamalarda tercih edilir.

Özellikle savunma sanayisinde kullanılan Maraging 300 alaşım çeliği gibi yüksek mukavemetli ve özel alaşımlı malzemeler, stratejik bir öneme sahiptir. Bu malzemeler, askeri uygulamalarda yüksek performans, güvenilirlik ve dayanıklılık gereksinimlerini karşılamak için idealdir. Maraging 300 alaşım çeliği, düşük karbonlu çeliklerin yüksek sıcaklıklarda işlenebilirlik özelliklerini ve sertlik özelliklerini bir araya getiren özel bir alaşımdır. Savunma sanayisinde kullanıldığında, mükemmel mukavemet ve dayanıklılık sağlar. Ayrıca, sertleşme işlemleri sonrasında çok yüksek mukavemet değerlerine sahip olmasıyla bilinir ve aynı zamanda döküm ve işleme sırasında deforme olma riski düşüktür. Bu özellikleriyle Maraging 300 alaşım çeliği, savunma sanayisinde tercih edilen bir malzeme haline gelmiştir ve stratejik öneme sahip projelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu alışmada, Maraging 300 eliğinin işlenmesindeki işleme parametrelerinin iş parçasına olan etkileri gözlemlenmiştir. Özellikle havacılık ve savunma sanayisinde kritik öneme sahip olan bu malzemenin işleme sonrası yüzey pürüzlülükleri, sertlik değerleri ve takım aşınmasına etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu analizler, endüstriyel uygulamalarda kullanılan malzemelerin işlenebilirliğini artırmak ve ürün kalitesini optimize etmek için değerli bir bilgi kaynağı sağlamaktadır.

## BÖLÜM 2

### SÜPER ALAŞIMLAR

#### 2.1. DEMİR ESASLI SÜPER ALAŞIMLAR

Yüksek sıcaklık performansı için geliştirilen süper alaşımlar, temel olarak demir, nikel veya kobalt içeren bir metal alaşım grubudur. Bu alaşımlar, aşırı sıcaklıklarda sertliklerini korurken mükemmel dayanıklılık, yüksek mukavemet, oksidasyona karşı direnç, termal stabilite ve boyutsal tutarlılık gibi üstün özellikler sunarlar. Havacılık malzemeleriyle karşılaştırıldığında, süper alaşımlar çok daha yüksek sıcaklık aralıklarında çalışabilirler, bu da onları çekici hale getirir [1,2].

Süper alaşımlar bu üstün özellikleri sayesinde, havacılık sanayisi, savunma sanayisi, denizaltı ve ayrıca nükleer endüstrilerde tercih edilir. Örneğin, reaktör tasarımlarında, denizaltı iletişim gereçlerinin izolasyonunda, gaz türbinleri ve roketlerdeki itici sistemlerde çok önemli rol oynarlar. Esas olarak havacılık sektöründeki itici fonksiyona sahip gereçlerde, kompresörlerden yanma odalarına ve türbinlere kadar olan yapısal bileşenlerin üretiminde kullanılırlar. Bu bileşenler arasında disk parçaları, türbin kanat parçaları, son yakıcılar ve itme tersindirmecileri gibi önemli parçalar bulunur [3].

Demir esaslı süper alaşımlar, östenitik paslanmaz çeliklerin evrim geçirmiş halidir. Temel bileşenler arasında demir %15 ile %60, nikel %25 ile %45, krom %15 ile %28 oranında yer alır ve az miktarda molibden veya tungsten içerir. Belirtilen alaşımın mukavemeti, katı çözümleri sertleşmesi ve metallere arası çökelmelerle artar. Ancak, demir esaslı süper alaşımların kullanım sıcaklığı genellikle 550-650°C arasında olduğundan, yüksek sıcaklıkta nikel veya kobalt esaslı alaşımlara göre daha düşük mukavemet gösterirler [1,4].

- Alaşım elementlerine bağlı olarak çökelme fazları, YMK kafes yapılı süper alaşımlarda, malzemenin mekanik özelliklerinin oluşumunda büyük bir rol oynar. Fe bazlı süper alaşımlar, genellikle Ni bazlı alaşımlara kıyasla daha düşük mukavemet gösterirler. [5].
- Fe bazlı süper alaşımlar ile katı çözeltide güçlendirilmiş alaşımlar, genellikle sıcaklığın yüksek olduğu koşullarda mukavemetleri düşüktür ve bu nedenle verim açısından en düşük süper alaşım malzeme grubu olarak bilinirler. Ancak, Fe bazlı süper alaşımların en büyük tercih sebebi, diğer süper alaşımlara göre ekonomik olarak avantajlı olmalarıdır [6,7].

## 2.2. KOBALT ESASLI SÜPER ALAŞIMLAR

Kobalt, ortam sıcaklık değerlerinde sıkı paket hegzagonal (SPH) malzeme yapısında bir elementtir. Yoğunluğu  $8,90 \text{ g/cm}^3$  ve Ergime noktası  $1495 \text{ }^\circ\text{C}$  'dir. Yüz merkezli kübik (FCC) kafes yapısına  $370^\circ\text{C}$ 'de dönüşüm gösterir. Kobalt esaslı süper alaşımlar, genellikle büyük miktarlarda krom, tungsten, nikel ve daha küçük miktarlarda molibden, niyobyum, tantal, titanyum ve bazen demir içeren bileşimlerdir. [8].

Bu malzemeler, tarihte ilk kez olarak İkinci Cihan Harbi döneminde kullanılmıştır. Özellikle yüksek çekme direnci etkisi ile çalışan gaz türbin kanatları için önemli bir kullanım alanı bulmuşlardır. Kobalt bazlı süper alaşımlar, yüksek seviyedeki sıcaklıklara dayanmasalar dahi yüksek gerilme ve kırılma dayanımı gerektiren durumlarda diğer alaşımlara göre daha iyi performans sergilemişlerdir [9].

Çoğu kobalt esaslı süper alaşım, genellikle yüksek karbon içeriğine sahip olup, dayanıklılığını karbür çökmesiyle kazanır. Kobalt esaslı süper alaşımlar genellikle  $980^\circ\text{C}$ 'nin üstündeki sıcaklıklarda, nikel bazlı süper alaşımlara göre oldukça düşük dayanım gösterirler. Ancak, kolayca tamir edilebilme özellikleri ve yüksek korozyon direnci sayesinde özellikle türbin kanatçıkları gibi çeşitli alanlarda geniş kullanım bulurlar. Bu durumun temel nedeni, içlerindeki yüksek krom oranıdır [10].

Kobalt esaslı süper alaşım malzemeleri, genellikle yüksek sıcaklık koşullarında çalışan gaz türbinlerinin parçalarında, nükleer reaktörlerin kritik bileşenlerinde, tıbbi

implantlarda, ateşleme sistemlerinde, buhar türbinlerinde, uçak motoru yakıt türbinlerinde, sabit kanat uygulamalarında, akış geçişlerinde ve fırın parçalarında kullanılır [10].

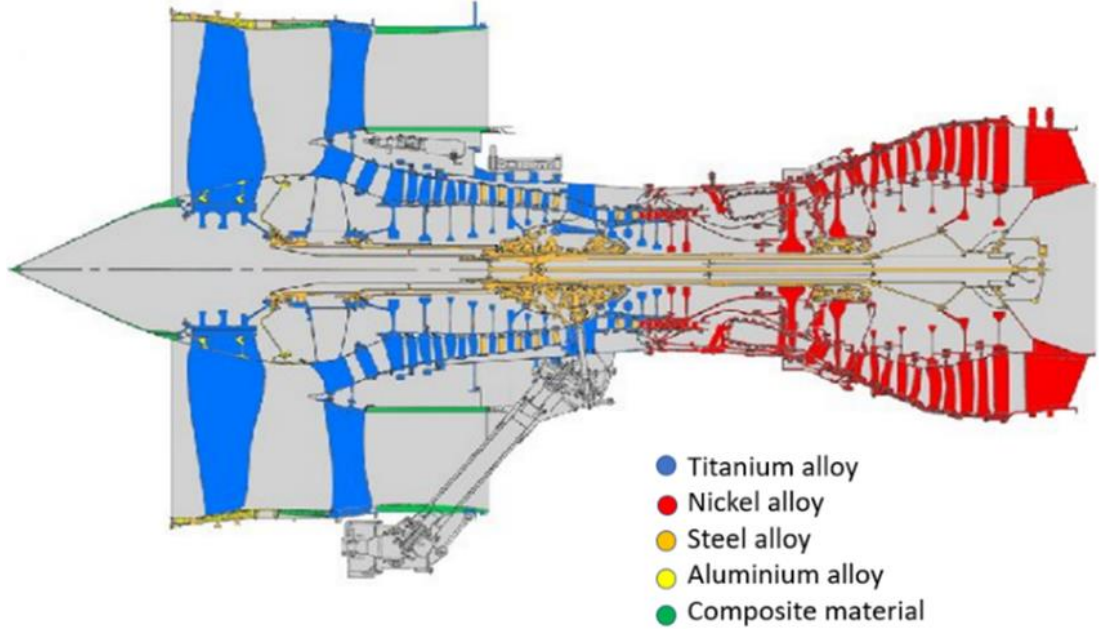
Kobalt esaslı süper alaşım malzemelerinin farklı uygulamalarda tercih edilme nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Ergime sıcaklıklarının yüksek olması, Fe ve Ni esaslı süper alaşım malzemeleriyle karşılaştırıldığında daha yüksek sıcaklıklarda daha dayanıklı olmalarını sağlar.
- Yüksek krom içeriği, yüksek sıcaklıklarda korozyon direncini artırır ve bu nedenle gaz türbinlerinde atmosferde çalışan bileşenler için ideal bir seçenektir.
- Termal yorulma direnci, Ni esaslı süper alaşımlara göre daha yüksektir.
- Özellikle yüksek sıcaklıkta çalışan ve dönen parçalarda tercih edilirler.
- Kaynaklanabilirlikleri sayesinde farklı bileşenleri bir araya getirmek ve tamir etmek için kullanılabilirler [6].

Co esaslı süper alaşımların ana dezavantajı, yüksek üretim ve satış maliyetlerine sahip olmalarıdır [6].

### **2.3. NİKEL ESASLI SÜPER ALAŞIMLAR**

Nikel bazlı süper alaşımlar, endüstriyel uygulamalarda yaygınca kullanılan yüksek sıcaklık alaşımlarından biridir. Bu tür alaşımlar genellikle havacılık ve enerji türbinleriyle birlikte Petro kimyevi, nükleer reaktör ve gıda işleme gibi yüksek sıcaklık gerektiren alanlarda kullanılır. Gelişmiş hava taşıt motorlarının yarısından fazlası nikel bazlı süper alaşımlardan yapılmıştır. 800°C ile 1000°C aralığında sorunsuz çalışma bilme özellikleri, gaz türbinlerinin en yüksek sıcaklıkta çalışan bölgeleri için bu alaşımları uygun hale getirir [1,11]. Şekil 3.1 nikel bazlı alaşımların Trent 800 turbojet motorunun hangi bölgelerinde kullanıldığı gösterilmektedir.

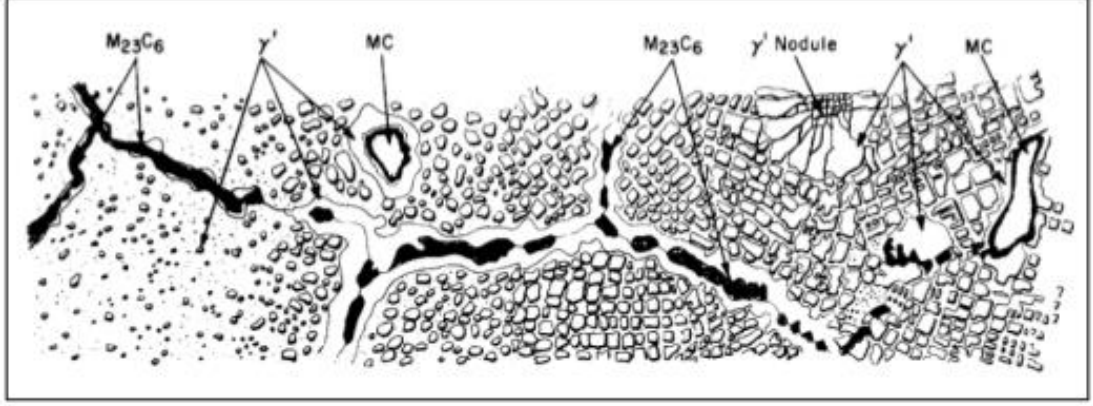


Şekil 2.1. Trent aero motor yapısındaki malzemeler [12].

Nikel bazlı süper alaşımların dayanım oranlarını yükseltmek için çökelti sertleşmesi veya eriyik sertleşme yöntemleri tercih edilir, fakat eriyik sertleşme genellikle tercih edilir. İlk nikel esaslı süper alaşım olan ve katı çökelti sertleştirme ile sertleştirilen Nimonic 80, 1940'ların başında İngiltere'de üretilmiştir. Nimonic 80A ise içinde %2,25 titanyum ve alüminyum bulunan bir Ni-%20 Cr katı eriyik alaşımdır ve Al, Ti çökeltilerini oluşturur. Bu alaşımların performansını artırmak için molibden, niyobyum, zirkonyum, bor, kobalt, demir gibi elementler kullanılmıştır. Son zamanlarda 100 farklı döküm ve dövme yöntemiyle üretilmiş nikel bazlı süper alaşım vardır. Nikel içeriği sayesinde kararlı bir mikroyapı oluşturan bu alaşımlar, nikel ve krom içeriğiyle asidik ortamlarda yüksek korozyon direnci sağlarlar. Ayrıca, krom eklenmesiyle oksidasyon ve korozyon direnci artar. Bu özellikler, bu malzemelerin yüksek sıcaklık dayanıklılığı, işlenebilirlik, oksidasyon ve korozyon direnci gibi üstün nitelikler kazanmasına olanak tanır. Kullanım alanlarının geniş olmasını bu özellikleri ile açıklanabilir [13].

Nikel bazlı süper alaşımların mikroyapısı, temel olarak ' $\gamma$ ' fazı olarak adlandırılan ve yüz merkezli kübik (FCC) yapıya sahip östenitik bir matristen oluşan ana fazı içerir. Bu yapı, diğer tüm fazları içerir ve genellikle nikel, kobalt ve demir gibi elementlerden oluşan alaşımın temel bileşenidir. [1].

Nikel bazlı süper alaşımlar, yüzey merkezli kübik (FCC) matris içinde intermetalik bileşiklerin oluşumu, çökeltme sertleşmesi ve katı çözelti sertleşmesi gibi yöntemlerle güçlendirilebilirler [14]. Şekil 3.2'de nikel bazlı süper alaşımların, mikroyapısında mevcut olan fazların şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 2.2. Nikel esaslı süper alaşımların mikroyapısında oluşabilen fazlar [1].

Nikel bazlı süper alaşımlar, asidik ortamlarda yüksek korozyon direncine sahiptirler, bu özellik içeriklerinde bulunan nikel sayesinde oluşan kararlı mikroyapıdan kaynaklıdır. Ek olarak, krom ilavesiyle korozyon ve oksidasyon direnci artar. Bu malzemeler, genellikle yüksek sıcaklık mukavemeti, işlenebilirlik özelliklerinin iyileştirilmesi, korozyon ve oksidasyona karşı yüksek direnç gibi üstün özellikler kazanır. Bu özellikler, bu malzemelerin geniş bir kullanım alanına sahip olmasının temel nedenlerinden biri olarak görülmektedir. [13].

Nikel bazlı süper alaşımlar, içeriklerinde yer alan çeşitli alaşım elementleri nedeniyle karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu alaşımların temel bileşenleri, kübik yüzey merkezli γ (Ni) matrisi ve sıralı kübik yüzey merkezli koheren γ' (Ni<sub>3</sub>X, X=Al, Ti, Ta veya Nb) çökelmiş fazıdır. γ' çökelmiş fazın hacimsel oranını artırarak, nikel bazlı süper alaşımların yüksek sıcaklık dayanıklılığı artabilir, ancak bu durum uzun dönemde mikroyapısal kararlılık sorunlarına yol açabilir. γ ve γ' fazlarının birleşik katı çözeltisi genel dayanıklılığa katkıda bulunurken, diğer yararlı fazlar genellikle tane sınırlarında oluşan karbürler ve borürlerdir. Bu fazlar, zararlı elementleri bir araya getirerek tane sınırı kaymasını azaltır. Ancak, alaşım bileşimi kontrol edilemezse veya yüksek sıcaklıklara maruz kalınırsa, istenmeyen yüzeyel sıkı paket fazlar oluşabilir ve bu

fazlar kübik yüzey merkezli  $\gamma$  matrisinde oktahedral yüzeylerle aynı yönde tabaka veya iğne şeklinde yapılar oluşturabilir. Mekanik özellikler açısından değerlendirildiğinde bu fazların varlığı olumsuz etkilere sebep olabilir [15].

Nikel bazlı süper alaşımların işlenebilirliğindeki dezavantajlar arasında, kesme elemanı üzerinde kaynama isteğinin yüksek olması ve BUE (Built-Up Edge) oluşumuna müsait olmaları yer almaktadır. Nikel bazlı süper alaşımların işleme zorluğu bu sebepler ile açıklanabilir. Ancak, tungsten-karbür-kobalt sınıfı kesici takım kaliteleriyle nikel esaslı süper alaşımlar, 50 m/dak üzerinde kesme hızında işlenebilirler. Ancak bu kesme hızında çıkan talaşın kontrolü zordur ve talaş şekli sürekli, aşındırıcı testere dişi tipi denilen kenarlara sahiptir. Bu durum, yüksek sıcaklıkların birleşimiyle iş parçasının gerilimi ile aşındıran talaşlar sebebiyle kesme derinliğinde çentik oluşmasına yol açabilir, bu da ana bir sorun olarak ortaya çıkar [16].

## **2.4. MARAGING ÇELİKLERİ**

Maraging çelikleri, düşük karbon oranıyla ve yüksek nikel içeriğiyle karakterize edilen bir çelik grubudur. Adlarını, "martenzitik" ve "yaşlanma (aging)" kelimelerinin birleşiminden alırlar. Bu çelikler, sertliklerini ve mukavemetlerini büyük ölçüde artırmak için yaşlanma ısı işlemlerine tabi tutulurlar. Maraging çelikleri, çok sayıda alaşım elementi eklenerek intermetalik çökeltiler oluştururlar, özellikle Ni, Co, Mo, Ti ve Al gibi elementler bu çeliklerin karakteristik özelliklerini belirler. Bu çelikler, yüksek mukavemet ve tokluk özelliklerini birleştirerek mükemmel mekanik özellikler sunarlar. Metal eklemeli imalat yöntemiyle de üretilebilirler [17].

Maraging çeliklerin tarihi 1950'lere kadar uzanmaktadır. Clarence Bieber, demir-nikel manyetik alaşımlar üzerinde çalışırken %20 ve %25 Ni içeren maraging çelikleri bulmuştur. Bu çelikler, Alüminyum, Titanyum ve Niobyum içermekte olup, martensitik mikroyapının çökeltme sertleşmesini sağlamıştır. Bieber'ın çalışmasındaki her iki çelik de 55 ile 56 HRC sertliğine sahiptir [18].



Maraging terimini ilk kullanan kişi Raymond F. Decker'dır. Bu terim, mikroyapısında iğnemsı bir yapıya sahip olan martenzit fazının yaşlanmasından gelmektedir. Decker'ın meslektaşları Eash ve Goldman, kobalt ve molibden eklemenin martenziti önemli düzeylerde sertleştirdiğini bulmuşlardır [19].

Maraging çelik 300 (18Ni 300), demir nikel çelik alaşımlarıdır. Yüksek mukavemet ile yüksek kırılma dayanıklılığının bir arada istendiği yerlerde, genellikle iniş takımı, alet uygulamaları, roket motorları ve havacılık endüstrisinde kullanılır. Maraging çelik yüksek boyutsal doğruluğa sahiptir, bu da matkap mandalları, plastik enjeksiyon kalıpları, ekstrüzyon ve delme için araçlar gibi uygulamalarda mükemmel olarak kullanılmasını sağlar. Düşük karbon içeriği, sertleşme çatlamaının olasılığını azaltır. Nikel parçacıklarının varlığı ve ihmal edilebilir karbürler, korozyon direncini artırır [20].

Yüksek mukavemet ve dayanıklılık,  $\gamma$  Fe içeren Ni'nin soğutulmasıyla oluşan yumuşak martensitin yaşlanması sonucu ortaya çıkar. Güçlendirici parçacıklar olan  $Ni_3X$  ( $X = Ti, Mo, V$  ve  $W$ ) kısa süreli yaşlanma sırasında 400 ila 450°C arasındaki sıcaklıklarda oluşur [21].

Maraging çeliği havacılık, uçak endüstrisi, nükleer ve askeri endüstri gibi alanlarda kullanılmaktadır; yüksek dayanım, kaynaklanabilirlik, yüksek kırılma dayanıklılığı, yüksek akma dayanımı, yüksek sıcaklıklarda kullanıma uygun olma, işlenebilirlik ve benzeri özellikleri, sıkça tercih edilmesine neden olmaktadır [22].



Şekil 2.3. Maraging 300 çeliği örnek resmi [22].

### 2.4.1. Maraging Çeliklerinin Özellikleri

Maraging çelikleri, nikel, molibden, kobalt ve titanyum gibi özel alaşım elementlerinden oluşan yaygın bir malzemedir. Maraging malzemeleri arasında en popüler olanları Maraging 300 gibi derecelendirilenlerdir. 200, 250, 300, 350 gibi numaralar, maraging çeliklerinin gücünü temsil eder; bu nedenle, rakam ne kadar büyükse, malzemenin kırılma mukavemeti o kadar yüksektir [23].

Maraging çeliğinin farklı endüstriyel adlandırmalarına sahip olduğu ve bu deneyde kullanılan malzemenin alaşım elementleri ve oranlarının Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te sunulduğu belirtilmiştir [24,25].

Çizelge 2.1. Maraging Çeliğinin Mekanik Özellikleri [24].

Yoğunluk	8000 kg/cm <sup>3</sup>
Elastiklik Modülü	150 GPa
Poisson oranı	0,31626
Akma Dayanımı	1100 MPa
Çekme Dayanımı	1200 MPa

Çizelge 2.2. Maraging Çeliğinin Alaşım Tablosu [25].

Element	Ağırlıkça İçerik (%)
<b>Fe</b>	Ana Eleman
<b>Ni</b>	17-18
<b>Co</b>	8.5-9.5
<b>Mo</b>	4.5-5.2
<b>Ti</b>	0.6-0.8
<b>Al</b>	0.05-0.15
<b>Cr, Cu</b>	≤ 0.5
<b>Ce</b>	≤ 0.03
<b>Mn,Si</b>	≤ 0.1
<b>PS</b>	≤ 0.01

Maraging çelikler yüksek akma dayanımı ve nihai çekme dayanımı, yüksek dayanıklılık, yüksek süneklik, yüksek darbe dayanımı, yüksek yorgunluk dayanımı,

işlenebilirlik, çatlak yayılma direnci ve kolay kaynaklanabilirlik gibi olumlu mekanik özelliklere sahiptir [26].

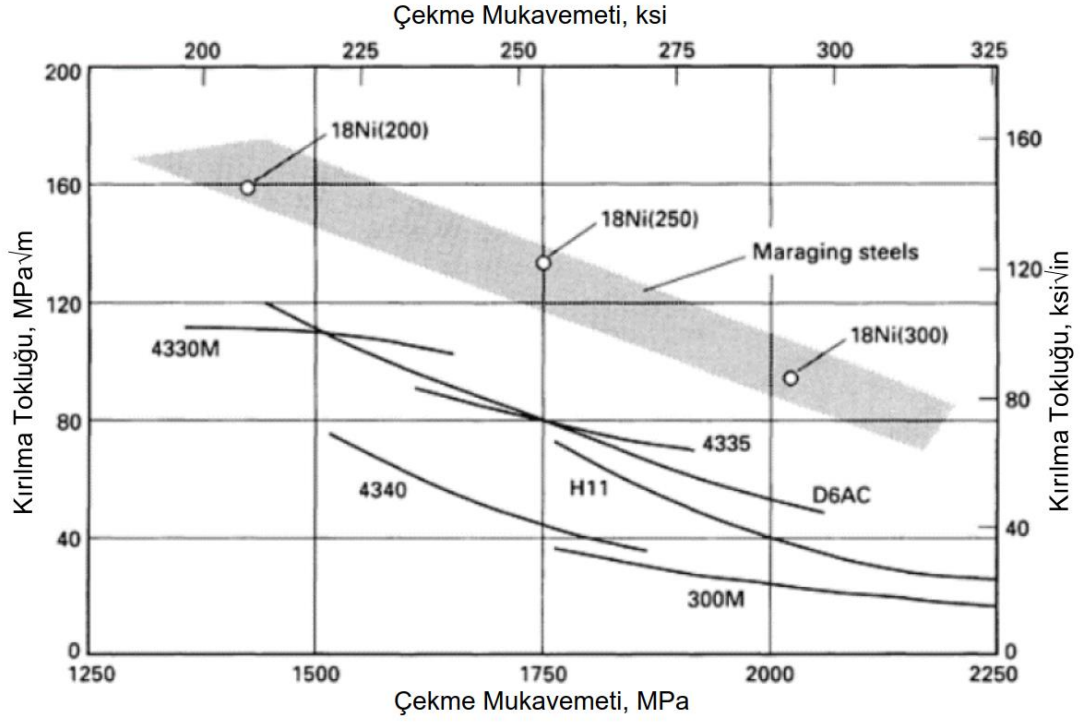
1950'lerde, havacılık ve uzay endüstrisinin hafif ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzemelere olan ihtiyacını karşılamak amacıyla maraging çelikleri geliştirilmiştir. Bu yeni çelikler, nikel içeren çeliklere alüminyum (Al) ve titanyum (Ti) eklenerek oluşturulmuştur. 1960'larda ise kobalt (Co) ve molibden (Mo) gibi elementlerin eklenmesiyle mekanik özelliklerin önemli ölçüde iyileştirildiği gözlemlenmiştir. Maraging çelikleri, düşük karbonlu demir-nikel martensitik matris içinde yaşlandırma sertleştirilmesi yoluyla üretilen çeliklerdir [27].

Maraging çeliği, düşük karbon içeriği ve alaşımlı yapısı sayesinde, yaşlandırma ısıl işleminden sonra mekanik mukavemetini ve sertliğini artırır. Tavlama aşamasında martensitik yapı, yüksek tokluk ve yumuşaklık sağlar. Bu durum, daha sonra yaşlanma süreciyle değiştirilebilir. Martensitik yapının yumuşaklığı, ara ısıl işlem adımlarına ihtiyaç duymadan soğuk şekillendirme imkanı sunar. Soğuk haddeleme, dövme ve sıvama gibi prosesler maraging çeliklerde plastik şekillendirme yöntemi olarak kullanılabilir. Bu süreçler, dislokasyon yoğunluğunu artırarak çekme dayanımını ve akma noktasını artırır. Ayrıca, yaşlanma sürecinde oluşan intermetalik bileşikler de mekanik özellikleri iyileştirir [28].

Maraging çeliklerin dayanıklılığı ve tokluğu, diğer çelik türlerinden daha yüksektir, bu da Çizelge 2.3.'de görülebilir. Düşük karbonun yaşlanma sertleşmesi nedeniyle, martensitik yapı son derece duktildir. Yaşlanma süreci ile iki önemli başarı elde edilir:

- Martensitik matrisi güçlendiren homojen olarak dağılmış ince intermetalik çökelti oluşumu
- Metastabil martensitin austenite dönüşümünün azaltılması veya ortadan kaldırılması

Çizelge 2.3. Karbon çelikleri ve MS300 çeliğinin mukavemet/tokluk değerleri [29].



#### 2.4.2. Maraging Çeliklerinin Uygulama Alanları

İlk olarak 1950'lerin başlarında tanıtıldığından beri, 18% nikel (18Ni) ailesi maraging çelikleri, yüksek dayanıklılık, yüksek sertlik, mükemmel çekiş dayanımı, kaynaklanabilirlik kolaylığı, iyi işlenebilirlik ve boyutsal stabilite gibi farklı özelliklerin benzersiz bir kombinasyonu nedeniyle havacılık, savunma, nükleer, alet ve kalıp endüstrileri için önemli olmaya devam etmektedir [30].

Maraging çeliği, yüksek dayanıklılık-gövde oranı gerektiren uygulamaları içeren uçaklarda kullanılır. Bu uygulamalar arasında iniş takımları, helikopter şasileri, kanat aksamları ve roket motoru gövdeleri bulunur. Maraging çelik, yüksek çekme dayanımı ve yüksek kırılma dayanıklılığı gibi nadir bir kombinasyon sunar. Çoğu yüksek dayanıklı çelik düşük dayanıklılığa sahiptir ve dayanıklılığı ne kadar yüksekse, dayanıklılığı o kadar düşüktür. Maraging çeliğinin yüksek dayanıklılık ve kırılma dayanıklılığı kombinasyonu, yüksek dayanıklılık ve hasar toleransı gerektiren güvenlik-kritik uçak yapıları için uygun olmasını sağlar. Maraging çelik, termal yaşlandırma ile oluşan sert çökeltme partikülleri içeren güçlü, dayanıklı, düşük

karbonlu martensitik çeliktir. "Maraging" terimi, martensit ve yaşlandırma kavramlarının birleşiminden türetilmiştir [31].

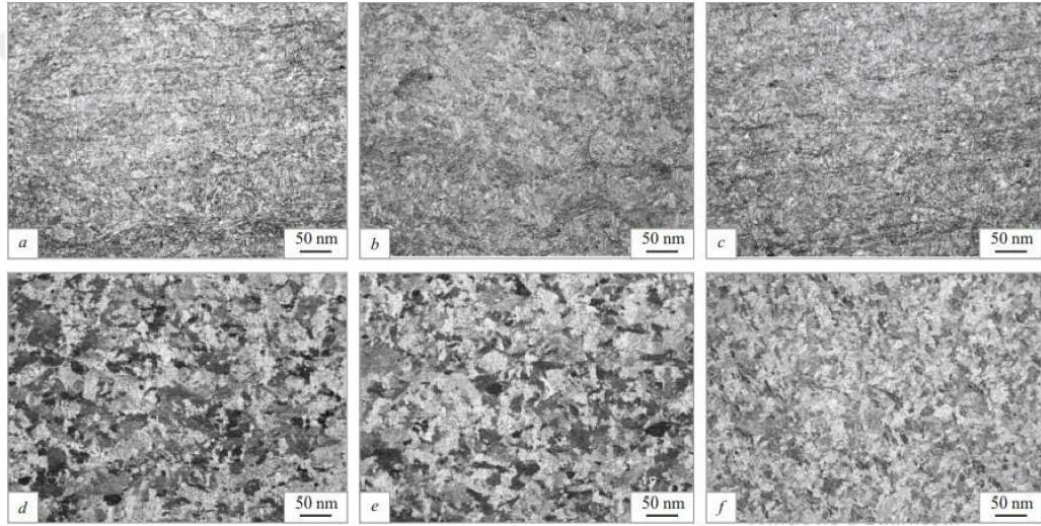
### 2.4.3. Maraging Çeliğinin Üretimi ve İşlenmesi

Maraging çelik üretiminde, malzemedeki martensitik yapılar yaşlandırma ısı işlemiyle birlikte oluşturulur (martensitik + yaşlandırma). Maraging çeliğin yapısında bir martensitik form oluşturmak için, çelik önce yaklaşık 850°C'ye kadar ısıtılır ve bu sıcaklıkta austenitik bir faz oluşturulur. Ardından, yavaş bir soğutma süreci uygulanır ve bu süreç martensitik bir mikroyapının oluşumuna izin verir. Bu iki fazdan ferrit ve perlite üretilir. Sonrasında, su veya yağda hızlı soğutma ile martensit oluşur. Bu yumuşak martensitik yapı, maraging çeliğe yüksek dövülebilirlik ve dayanıklılık kazandırır. Son aşama olan sertleştirme işlemi ise termal yaşlanma ile gerçekleşir; bu işlemde maraging çelik, 480 ile 500°C arasındaki sıcaklıklarda birkaç saat boyunca ısıtılır [31].

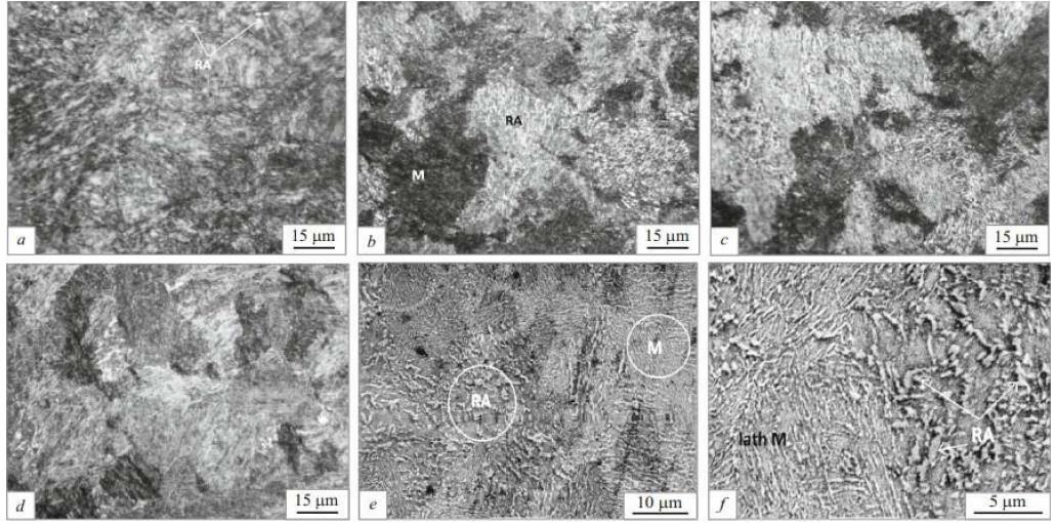
Çizelge 2.4. Eklemeli üretim ve dövme yöntemiyle üretilen MS300 çeliğinin mekanik özellikleri [31].

Numune Durumu	Sertlik Testi						Çekme Testi			
	Mikro-sertlik (HV2)			Mikro-sertlik(HV10)			E (GPa)	Rp0.2 (MPa)	Rm (MPa)	? (%)
	Yüzey 1	Yüzey2	Yüzey 3	Yüzey1	Yüzey 2	Yüzey 3				
Hazırlanan	380±7	375 ±8	376 ±7	381±2	376±2	378±3	173±1	1112±6	1203±5	12.4±1
Dövme	332 - 342 HV (35- 36 HRC)						180	760-895	1000-1170	6-15

Sıcak haddeleme yöntemi, başka bir geleneksel üretim yöntemidir. Farklı sıcaklıklarda yaşlandırıldıktan sonra sıcak haddeleme yöntemiyle üretilen maraging 350 çeliğinin mikroyapısı Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Çeliğin yapısının, maksimum sertlik için 500°C'de yaşlandırıldıktan sonra lath martenzit tarafından temsil edildiği görülmüştür. Yaşlandırma sıcaklığının 550°C'den 650°C'ye çıkması, yapıdaki austenit fazının ortaya çıkmasına ve ardından büyümesine neden olmuştur. Çelik 350'nin metalografik çalışmaları, yüksek büyütme ile gerçekleştirildiğinde geriye dönüşen austenitin morfolojisinin farklı olduğunu göstermiştir. Geriye dönüşen austenitin, eski austenit tanelerinin sınırlarında granül formunda olduğu kadar plaka şeklinde de olduğu görülmüştür; bu plakaların içeriği, yaşlandırma sıcaklığını 625°C'ye kadar arttı, lath martenzit sınırlarında Şekil 2.5'de görülmektedir [32].



Şekil 2.4. 350 Çeliğinin numunesinin, farklı sıcaklıklarda yaşlandırma sonrası mikroyapısı (optik mikroskopi, 200 kat büyütme): a) 525°C; b) 550°C; c) 575°C; d) 600°C; e) 625°C; f) 650°C [32].



Şekil 2.5. Çelik 350'in farklı sıcaklıklarda yaşlandırıldıktan sonra yapısında bulunan geri dönen austenit RA ve martenzit M: a) 575°C; b) 600°C; c) 625°C; d) 650°C; e, f) 600°C (taramalı elektron mikroskobu); a - d) optik mikroskopi [32].

Temperlenmiş maraging çeliklerin işlenebilirliği, Rc30/35 seviyesindeki 4340 çelikleriyle karşılaştırılabilir. Ancak malzeme yaşlandırıldığında (ısı işlemleri uygulandığında), kesme takımlarının ve işleme koşullarının seçimi çok önemli hale gelir. Sert ekipmanlar, çok keskin takımlar ve bol miktarda soğutucu gereklidir [33].

## BÖLÜM 3

### TALAŞLI İMALAT

Talaşlı imalat, metal veya benzeri malzemeleri belirli bir şekle getirmek veya işlemek için kullanılan bir imalat yöntemidir. Bu yöntemde, malzeme üzerinde bir kesme işlemi gerçekleştirilir ve bu işlem sırasında talaş denilen ince parçacıklar malzeme yüzeyinden ayrılır.

Talaşlı imalat genellikle CNC (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol) makineleri veya manuel torna tezgahları gibi özel makineler kullanılarak yapılır. Bu makineler, belirli bir dönme hareketiyle kesici takımların malzemeye temas ederek talaş oluşturmalarını sağlar.

Talaşlı imalatın avantajları arasında yüksek hassasiyet, geniş malzeme yelpazesiyile çalışabilme yeteneği ve çeşitli şekil ve boyutlarda parçalar üretebilme kabiliyeti bulunur. Ancak bu yöntemin bazı dezavantajları da vardır; örneğin, işlem süresi genellikle diğer yöntemlere göre daha uzun olabilir ve karmaşık parçaların üretimi için özel ekipmanlar gerekebilir.

Talaşlı imalat genellikle frezeleme, tormalama, matkaplama gibi işlemleri içerir ve metal endüstrisinde, otomotiv sektöründe, havacılıkta ve birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılır.

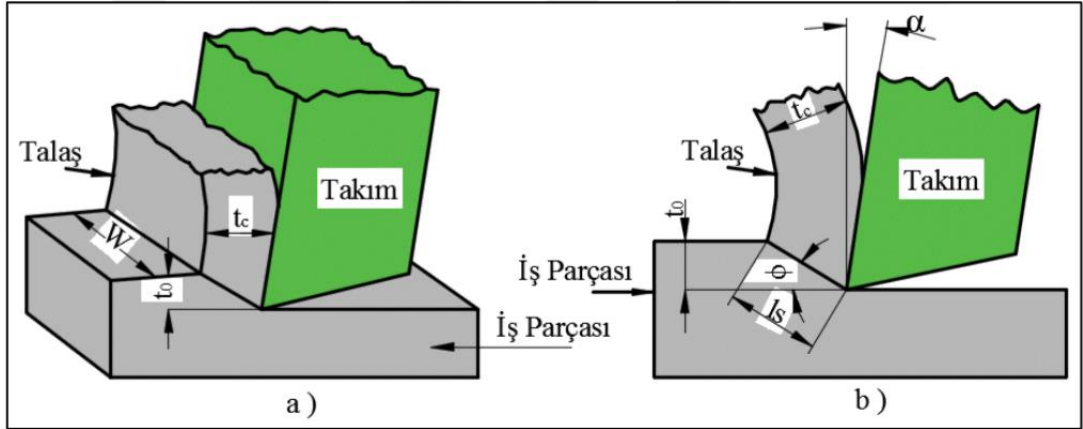
#### 3.1. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ VE TALAŞ OLUŞUMU

Talaşlı kesme süreci, sürtünme, ısı üretimi, talaşın kırılması ve sıkışması gibi karmaşık fiziksel olayların bir araya geldiği, işlenen yüzeyin sertleştiği, kesici takımın ise aşındığı bir süreç olarak bilinir. Kesici takımın iş parçasına nüfuz edebilmesi için, kesme işlemi yapan takımın kesilen parçaya göre sert olması, uygulanan kuvvetin yeterliliği gerekmektedir [41].



Talaş kaldırma işlemi, uzun yıllardır yoğun bir şekilde incelenen bir bilimsel araştırma konusu olmuştur. Metalin yüksek hızda, yüksek sıcaklıkta ve büyük basınç altında işlenmesiyle ilgili kesin belirlemeler yapmak güçtür. Dolayısıyla, Bu süreçlere ilişkin teorik ve pratik açıklamalar yapılmış ve çeşitli modellemeler geliştirilmiştir. [34].

Talaşlı imalatın karmaşıklığı nedeniyle, talaş kaldırma mekaniğini analiz etmek için kullanılan model Şekil 3.3'te gösterilen iki boyutlu dik kesme (orthogonal) modelidir. İlgili gösterim, talaş kesme işlemlerinde mühim yere sahiptir ayrıca talaşlı kesme ( talaş kaldırma ) mekanizmasını doğru bir şekilde açıklar. Dik kesme modeline göre, talaş oluşumu, sert kesici takımın iş parçasına temas etmesi, kesen takıma uygulanan direnç ve kesilen parçanın ( iş parçasının ) kayma gerilmesinin üzerine çıkılması ile gerçekleşir [35,36].



Şekil 3.1. Dik kesme modeli [35].

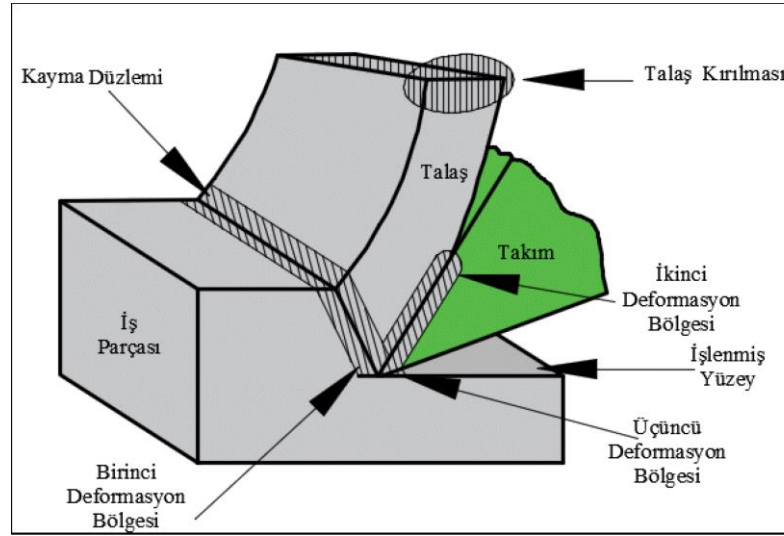
$t_0$ : istenen talaş ölçüsü  $s$ : kayma düzlemi miktarı

$t_c$ : kesme anında talaş ölçüsü  $\phi$ : kayma düzlemi açısı

$w$ : iş parçası ölçüsü  $\alpha$ : kesici takımın iş parçasına giriş açısı

Talaş kaldırma sürecinde, kesilen malzemenin kesen takımın karşısında hareketi ve kayma düzleminde oluşan bölge, birinci deformasyon bölgesi olarak adlandırılır. Bu bölge, iş parçasının ve kesici takımın bağıl hareketi sonucunda iş parçasında oluşan gerilme ile plastik deformasyona uğrar ve talaşın oluşmasını sağlar [37].

Talaş kaldırma sürecinde, ikinci deformasyon bölgesi olarak adlandırılan kısım, kesilen parçadan alınan yüzey, takımın talaş yüzeyinden geçtiği sırada, kayma ve yapışma nedeniyle yeniden şekillenen bölgedir. Üçüncü deformasyon bölgesi ise, kesme yapılan yüzey ile kesen takımın yan yüzeyinin etkileşimi sonucu oluşan temasın etkisiyle belirir ve iş parçasının yüzey kalitesini etkileyen bir bölge olarak tanımlanır [38,39]. Şekil 3.2’de kesme ile talaşın meydana gelişi görülmektedir.



Şekil 3.2. Talaş oluşumu [40].

### 3.2. TALAŞLI İMALAT İŞLEMLERİNDEKİ PARAMETRELER

Talaşlı imalat işlemleri, endüstriyel üretimde önemli bir yer tutar ve metal parçaların şekillendirilmesi ile hassas toleranslı parçaların üretilmesinde kullanılır. Bu işlemler, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, takım aşınma hızı gibi parametrelerle yönetilir. Doğru ayarlanmış parametreler, işlemin kalitesini, verimliliğini ve maliyetini belirleyen kilit unsurlardır. Bu nedenle, talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan parametrelerin dikkatlice ayarlanması büyük önem taşır ve işlemin başarısını doğrudan etkiler.

Talaşlı imalat işlemlerinde, işleme maliyeti ile bitmiş ürün kalitesi arasında etkileşimde bulunan faktörler aşağıda listelenmiştir:

- Takımın malzemesi ve durumu,
- Takımın şekli, yüzey durumu ve keskinliği,
- İş parçasının malzemesi ve durumu,
- Talaş derinlik miktarı ve kesme hızı parametreleri,
- Kesme sıvısının kullanılması,
- Takım tezgahının rijitlik ve sönümlenme kabiliyeti gibi özellikleri [42].

### 3.2.1. Kesme hızı (VC)

Talaşlı imalatta kesme hızı, birim zamanda işlenen malzemenin hızı olarak tanımlanır. Genellikle metre/saniye (m/s) veya ayak/dakika (ft/min) birimleriyle ifade edilir. Kesme hızı, işleme işlemi sırasında takımın iş parçasıyla temas hızını belirler ve iş parçasının işlenme süresini etkiler. Kesme hızı, işlenecek malzemenin cinsi, takım malzemesi ve işleme koşulları gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir. Düzgün bir kesme hızı seçimi, iş parçasının kalitesi, takım ömrü ve üretkenlik açısından önemlidir.

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000}$$

Bu formüle göre;

- $V_c$  : Kesme hızı (metre/dakika)
- $D$ : Takımın Çapı (milimetre)
- $n$ : Devir Sayısı (devir/Dakika)

Bu formül, takım çapı ve devir sayısından kesme hızını hesaplamak için kullanılır.  $\pi$  (pi) değeri 3.14 alınarak işlem yapılır, ve kesme hızı genellikle metre/dakika cinsinden ifade edilir.

Kesme hızının doğru seçilmesi, takımın dayanımı ve işlemenin süresi açısından kritiktir. Kesme hızları düşük ise, talaşlı imalat süresi artar, bu da süre kaybına yol açar. İlaveten, düşük hızlarda kesme kuvvetleri yükselir, bu da takımın ve iş parçasının daha fazla eğilmesine neden olabilir. Diğer yandan, yüksek hızlarda ise sürtünme ve ısı artar, bu da takımın hızla aşınmasına sebep olur [43]. Uygun kesme hızının

belirlenmesinde göz önünde bulundurulması gereken faktörler arasında iş parçasının malzemesi, kesici takımın malzemesi, hedeflenen bitirme yüzeyi, tezgâhın ve bağlama elemanlarının sağlamlığı bulunmaktadır [44].

### 3.2.2. İlerleme Miktarı (f)

Talaşlı imalatta ilerleme hızı, kesme işleminde takımın iş parçası üzerinde bir birim zamanda yapacağı harekettir. Genellikle milimetre/devir (mm/dev) veya milimetre/dakika (mm/dak) birimleriyle ifade edilir. İlerleme hızı, iş parçasının işlenme hızını belirler ve takımın ne kadar malzeme kaldıracağını, kesme süresini ve iş parçasının son kalitesini etkiler. İşleme esnasında ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği ve kesici takımın özellikleri gibi faktörlere göre ayarlanır.

Talaşlı imalatta kesme hızı ve ilerleme arasındaki ilişki, işleme sürecinin verimliliği ve iş parçasının kalitesi açısından önemlidir. Genel olarak, kesme hızı arttıkça ilerleme hızı da artar. Ancak, bu artışın belirli bir noktadan sonra verimlilik ve iş parçası kalitesi üzerinde olumsuz etkileri olabilir. Örneğin, çok yüksek bir kesme hızıyla çok düşük bir ilerleme hızı kullanmak, takımın aşınmasını artırabilir ve iş parçasında istenmeyen deformasyonlara neden olabilir. Dolayısıyla, kesme hızı ve ilerleme hızı arasında dengeli bir ilişki kurulmalıdır ki işleme süreci verimli ve kaliteli sonuçlar üretebilsin.

$$F = f_z z n$$

$F$  : İlerleme hızı (mm/dak)

$f_z$  : Diş başına ilerleme miktarı (mm/dev)

$z$  : Kesici takımın diş sayısı (adet)

$n$  : Devir sayısı (dev/dak)

Frezeleme işleminde, her bir dişin ilerleme miktarı (f, mm/diş) oldukça kritik bir parametredir. Genellikle çoklu uçlara sahip olan freze başlıkları, her bir uç için uygun bir talaş kaldırma miktarına ihtiyaç duyar. Diş başına ilerleme miktarı, tabla üzerinde ilerleme mesafesini, kesicinin bir tarafının iş parçasına girişinden sonraki kesici kenarın iş parçasına girişine kadar geçen sürede tanımlar. Bu değer, kesici takımdaki uç sayısına (z) ve ilerleme hızına (F, mm/dak) göre değişiklik gösterir [45].

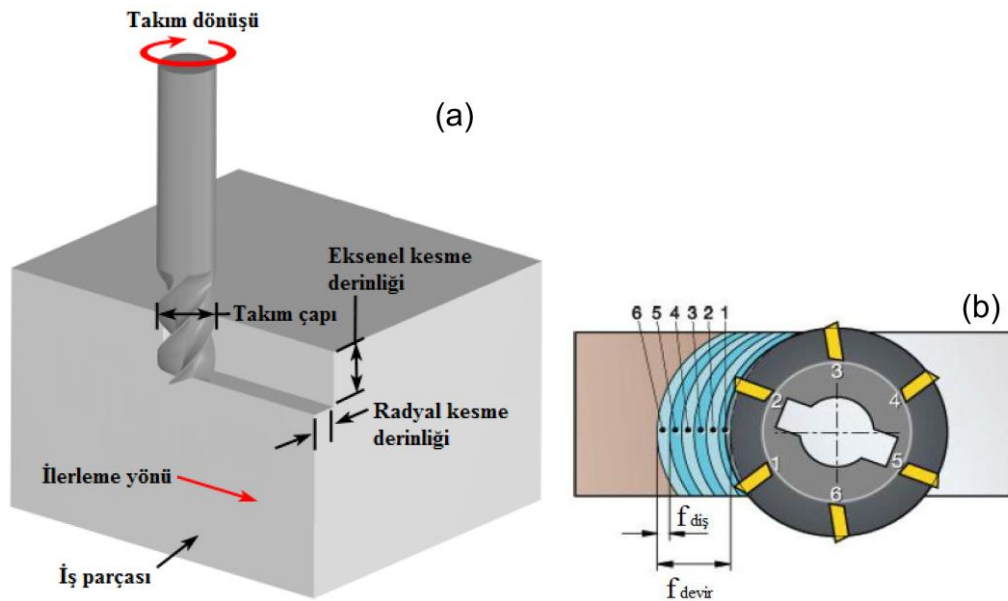
Uygun olmayan bir ilerleme miktarının seçilmesi, yüzey kalitesini, takım ömrünü ve üretim hacmini etkileyerek birim maliyetleri önemli ölçüde artırabilir. İlerleme miktarı düşük seçildiğinde frezeleme işlemi uzun sürebilir. Öte yandan, ilerleme miktarı çok yüksek seçildiğinde takım hızla aşınır [34,44].

### 3.2.3. Talaş Derinliği (a)

Kesme takımının kesilen iş parçasına doğru dikey olarak girdiği yol olan talaş derinliği genellikle "a" ile ifade edilir. Doğru bir talaş derinliği seçilmemesi, işleme zamanını ve maliyetleri etkiler. Yeterli talaş derinliği verilmediğinde, işleme süresi uzar ve dolayısıyla birim maliyetler artar [34,44].

Talaş derinliği (a) ile talaş kalınlığı ( $a_c$ ) kavramları sıklıkla karıştırılır. Talaş derinliği, işlenmemiş ve işlenmiş yüzey arasındaki dikey mesafe olarak tanımlanırken, talaş kalınlığı kesme sonrasında oluşan talaşın kalınlığını belirtir. Kesme düzlemi açısına bağlı olarak, talaş kalınlığı genellikle talaş derinliğinden büyük olur ( $a_c > a$ ).

Talaş kaldırma oranı çoğunlukla metal kesme işleminin verimliliği anlamına gelir, üç kesme parametresi ( $V_c$ ,  $f$ ,  $a$ ) çarpımıyla hesaplanır. Şekil 3.3'te, frezeleme işleminde ilerleme hızı ( $F$ ) ve talaş derinliği ( $a$ ) şematik şekilde gösterilmiştir [34,44].



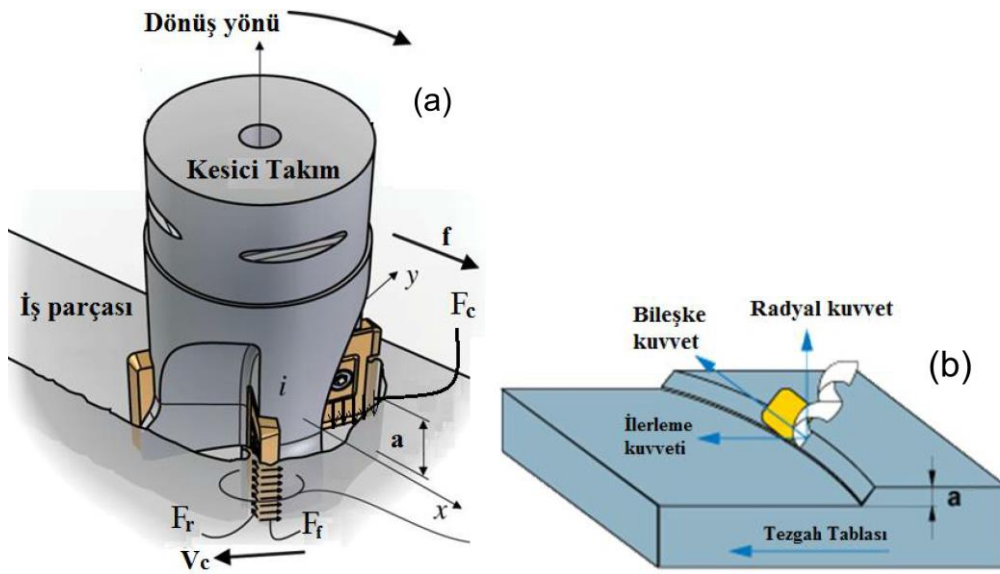
Şekil 3.3. Frezeleme işleminde a) talaş derinliği ve b) ilerleme hızı.

### 3.3. TALAŞLI İMALAT İŞLEMLERİNDE KESME KUVVETLERİ

Kesme kuvvetleri, takımın iş parçasında kesme yaptığı anda ortaya çıkar ve kesme performansını, işlenen yüzeyin kalitesini ve birim parça maliyetini önemli ölçüde etkiler. Kesme kuvvetleri, takım tezgâhlarının tasarımında da dikkate alınarak titreşimsiz ve rijit tezgâhlar üretebilmek için önemlidir. İş parçasından talaş kaldırma sırasında kullanılan enerjiyi belirlemek için de bu kuvvetlerden yararlanılır [40,46].

Şematik olarak gösterilen Şekil 3.4'te frezeleme işlemi sırasında oluşan kuvvetler bulunmaktadır. Bu kuvvetlerin bileşenleri üç adettir:

- Kesme hızı doğrultusunda etkisi olan esas kesme kuvveti ( $F_c$ ), genellikle metal kesme işleminde harcanan gücün %99'unu oluşturur ve en büyük kuvvet olarak kabul edilir.
- Kesici takımın ilerleme yönündeki kuvveti ( $F_f$ ), temel kesme kuvvetinin yaklaşık yarısı kadardır. Bununla birlikte, genellikle ilerleme hızıyla karşılaştırıldığında daha az güç gerektirir.
- İşlenen yüzeye dik etki eden radyal kuvvet ( $F_r$ ), genellikle ilerleme kuvvetinin yaklaşık yarısıdır [38,47].



Şekil 3.4. Frezeleme işlemi esnasında oluşan a) kesme kuvvetleri ve b) bileşke kuvvet [48].

Dayanıklı, kaliteli, güvenli ve ekonomik üretim sağlamak için, tüm etkileyen kuvvetlerin doğru bir şekilde ölçülmesi kritik önem taşır. Bundan dolayı, kesme kuvvetlerinin tespitinde dinamometre kullanılan ölçümler önemlidir. Ayrıca, bu ölçümlerle geliştirilen matematiksel modeller, kesme işlemlerini optimize etmek için kullanılır.

### **3.4. TALAŞLI İMALAT İŞLEMLERİNDE ISI VE SICAKLIK**

Talaşlı imalat sırasında kullanılan güç, büyük ölçüde ısıya dönüşür ve bu ısı, talaşın, iş parçasının ve kesici takımın sıcaklığını artırarak etkili olur. Sıcaklık artışı ise, talaşlı imalat sürecinde oluşan ısıya ve bu ısının uzaklaştırılmasına bağlı olarak değişir. Isı nedeniyle artan sıcaklık, kesici takımın performansını ve iş parçasının kalitesini etkileyebilir. [38].

Kesme işlemlerinde oluşan ısının, takımın kullanım ömrü üzerinde önemli bir etkisi vardır. Oluşan ısı genellikle kesme bölgesinden talaşla birlikte uzaklaştırılmaya çalışılır. Ancak, oluşan ısının miktarı, iş parçasının malzemesi, işleme parametreleri, kesici takımın malzemesi ve geometrisi gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu ısının kesilen iş parçasına veya kesici takımdan etkin şekilde uzaklaştırılmaması, kesme işleminin verimliliğini düşürür [49].

Kesme işlemi sırasında oluşan ısı, kesme hızıyla doğrudan ilişkilidir. Kesme hızı arttıkça, kesme işleminde deformasyon ve sürtünme için harcanan enerji de yükselir. Bu durum, ısının ve sıcaklığın yükselmesine yol açar. Yüksek sıcaklık ise, kesici takımın ömrünü ve kesme hızını sınırlayan önemli bir faktördür. Bu yüzden, kesici takım üreticileri, malzeme piyasasındaki gelişmelere uyum sağlamak için yüksek sıcaklıkta takımların sertlik özelliklerini koruma yeteneklerini artırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır. [49].

### 3.5. TAKIM AŞINMASI

Talaşlı imalatta takım aşınması, kesme işlemi sırasında kesici takımın yüzeyinde meydana gelen ve takımın kullanım ömrünü kısaltan bir durumdur. Bu aşınma, iş parçasıyla temas eden kesici kenarlarda meydana gelir ve kesme sürecindeki faktörlerden etkilenir. Takım aşınması, kesme verimliliğini azaltır ve üretim kalitesini düşürebilir. Bu nedenle, doğru kesme parametreleri ve kaliteli takımlar kullanarak takım aşınmasını önlemek önemlidir.

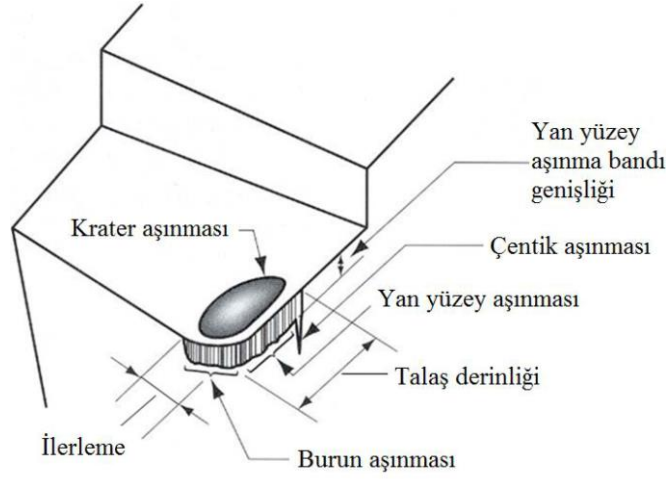
Talaşlı imalat işlemleri sırasında, kesici takımlar yüksek gerilim ve talaş yüzeyindeki yüksek sıcaklığa maruz kalır. Özellikle kesici uç bölgesinde meydana gelen yüksek gerilimler belirgin bir şekilde artar. Bununla birlikte, oluşan talaşın yüzeyinde kayma ve yeni iş parçası yüzeyiyle temas etme durumu sıcaklığı daha da artırır. Bu yüksek gerilim ve sıcaklıklar nedeniyle kesici takımlar aşınır. Kesici takımın aşınması bir noktaya ulaştığında, kesme işlemi etkin bir şekilde gerçekleştirilemez hale gelir ve takım değiştirilmesi gerekebilir. Bu durum, işleme maliyetlerini artırırken, aynı zamanda işlenen yüzeyin kalitesini ve iş parçasının boyutsal doğruluğunu da olumsuz etkileyebilir [47].

Talaşlı imalat işlemleri sırasında, kesici takımın sadece yavaş aşınması değil, anlık kırılma veya plastik deformasyon gibi anlık sorunlar da yaşanabilir. Bu tür durumlar genellikle kesici uçta yüksek yüklerin anlık etkisiyle meydana gelir. Özellikle frezeleme gibi kesme işlemleri sırasında, kesici takımın ani yüklerle karşılaşması mekanik ve termal yorgunluklardan kaynaklanabilir. Plastik deformasyon ise yüksek gerilme ve sıcaklık nedeniyle oluşur. Bu deformasyon sonucunda, kesici takımın uç geometrisi değişir ve işleme kabiliyetini kaybedebilir [38].

Kesici takımlarda talaşlı imalat işlemleri sırasında meydana gelen aşınmalar, genellikle yan yüzey aşınması, krater aşınması ve çentik aşınması şeklinde görülür. Yan yüzey aşınması, kesici takımın işlenmiş yüzeye temasından kaynaklanan bir tür aşınmadır. Bu aşınma, takımın malzemesine ve iş parçasının özelliklerine bağlı olarak farklı aşınma mekanizmalarıyla oluşur. Genellikle, kesici takımın değiştirilmesi veya bilenmesi gerektiği kriter, aşınma bandının belirli bir genişliğe ulaşmasıdır [42].



Krater aşınmasının tanımı, kesici takımın talaş yüzeyinde geriye doğru oluşan iç bükey alandır. Bu aşınma tipi genellikle yüksek kesme hızlarıyla ilişkilendirilir ve bu hızlar altında bu alanın sıcaklığı 1000 °C'ye kadar çıkabilir. Yüksek hız çelik (HSS) takımlar bu yüksek sıcaklıklarda sertliklerini kaybeder ve hızla aşınırlar. Karbür takımlar ise genellikle bir miktar sertliklerini korurken, difüzyon nedeniyle aşınmaya maruz kalabilirler. Krater aşınması genellikle yüksek kesme hızlarında takımın aşınmasının bir göstergesidir. Krater aşınmasının ilerlemesiyle takımın dayanıklılığı azalır ve kırılabilir. Tipik olarak, takımın ömrünü belirleyen aşınma türü yan yüzey aşınmasıdır [50,51].



Şekil 3.5. Bir kesici takımda oluşan aşınmalar [35].

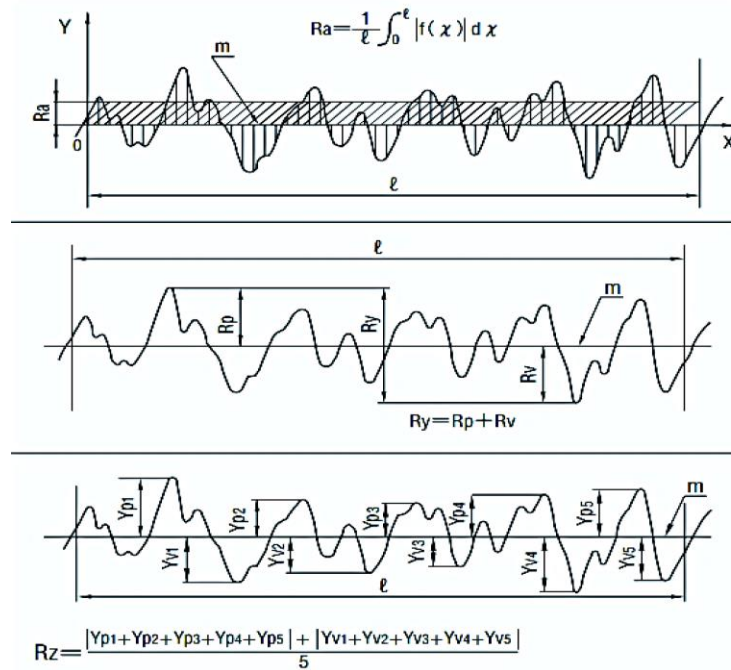
Kesici takımda çentik aşınması, yan yüzey aşınmasının sonunda, kesici takım ve iş parçası temasının sonlandığı bölgede ortaya çıkar. Bu tür aşınma, işlenmemiş iş parçası yüzeyiyle kesici takımın yan yüzeyinin bir araya geldiği alanda meydana gelir. İşlenmemiş yüzeyin daha sert olması ve yüzeyde oksit veya tufal kalıntıları olması nedeniyle çentik aşınması, yan yüzey aşınmasından daha fazla olabilir [35].

### 3.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Ölçü tamlığı ve yüzey kalitesi talaşlı imalat ile üretilen malzemelerde aranılan en önemli özelliklerdendir ve çok önemlidir. Parçanın kalite bilgileri bu hususlar göz önünde bulundurularak toleranslar belirlenerek saptanır. İmal resimlerinde kullanılan

yüzey işaretleme teknikleri, boyut ve şekil toleransları parçanın işleme kalitesini belirlemede kilit rol oynar. Özellikle, yüzey kalitesi korozyon direnci, yorulma dayanımı ve aşınma ömrü açısından önemlidir, bu nedenle uygulamalarda geniş bir yelpazede aranır. Bunun yanı sıra, yüzey kalitesi çalışma koşullarında parçanın sürtünmesi, aşınması, ışık yansımaları, ısı iletimi, yağ filminin tutulması ve yayılması gibi çeşitli fonksiyonel özellikleri de etkiler [52].

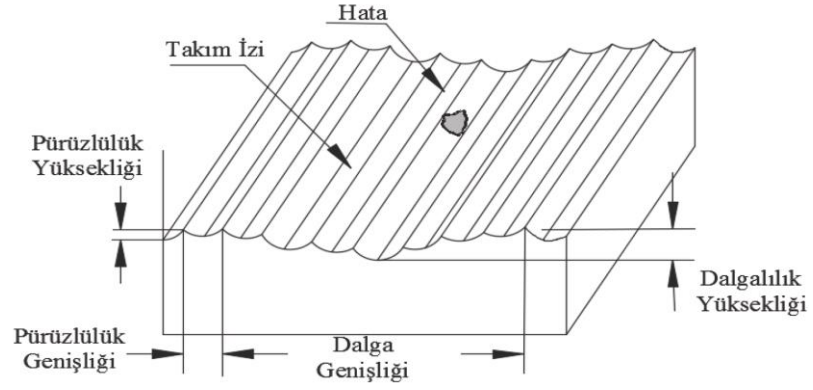
Yüzeydeki pürüzlülük nedeniyle, imal edilen parçanın yüzeyinde oluşabilecek çentikler ve çıkıntılar, parçanın kullanıldığı yerlerde yorulma hasarına yol açabileceği gibi dikkat edilmesi gereken noktalardır. Ayrıca, işlenen yüzeydeki çentikler ve çıkıntılar sürtünmeyi, aşınmayı ve ısı iletimini doğrudan etkileyebilir. İşlenen parçaların yüzeylerinin pürüzlülük miktarı, maksimum yüzey pürüzlülüğü  $R_t$  ve ortalama yüzey pürüzlülüğü  $R_a$  gibi çeşitli ölçütlerle belirtilir. Yüzey pürüzlülüğü profili Şekil 4.4'te belirtilmektedir.



Şekil 3.6.  $R_a$ ,  $R_y$  ve  $R_z$  yüzey pürüzlülük değerlerinin görebilmesi [53].

Yüzey dalgalılığı, geometrik yapıyı temsil eden bir ölçüdür; pürüzlülük ise malzeme yüzeyinin niteliğini tanımlar. Yüzey pürüzlülüğü, genellikle işlenen yüzeye dik kesitte belirlenen referans profille ve profilin ortalama çizgisiyle karşılaştırılarak ölçülür. Bu

referans tipik olarak bir geometrik profildir. Profilin ortalama çizgisinin yerleşimi, üst ve alt bölgeler arasındaki dengeyi gözeterak belirlenir. İşleme metotlarına göre, yüzey geometrileri çeşitlilik gösterir [54,55]. Şekil 4.5'te işlenmiş bir yüzeyin karakteristikleri görülebilir.



Şekil 3.7. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri [54].

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 4.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME

Bu çalışmada, iş parçası olarak nikel molibden cobalt ve titanyum elementlerinin bir araya gelmesiyle oluşmuş, iyi tokluk ve süneklik ile birlikte mükemmel mekanik direnç sergileyen, düşük karbon içeriğine sahip yüksek alaşımlı Maraging 300 çeliği seçilmiştir. Maraging 300 çeliği uçak iniş takımı parçalarında, uçakların mekanik kuvvet gerektiren dişli parçalarında, yapısal olarak sürekli kuvvet altında kalan ve oldukça yüksek mekanik dayanıma ihtiyaç olan yerlerde sıkça kullanılmaktadır. İş parçası Birçelik Paslanmaz Çelik Tic. A.Ş'den 150x30x30 mm ebatlarında temin edilmiştir. Maraging 300 çeliğinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.1'de verilmiştir.

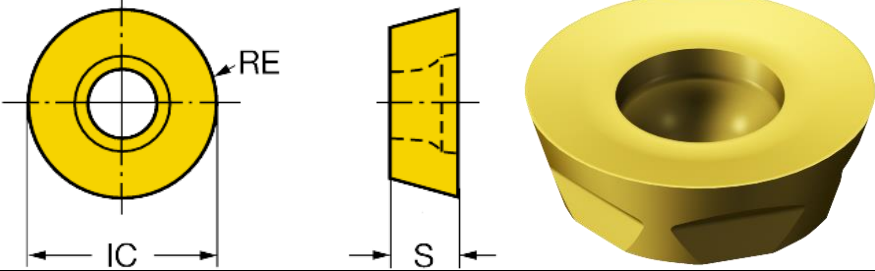
Çizelge 4.1. Maraging 300 çeliğinin kimyasal kompozisyonu.

Elementler								
Ni	Co	Mo	Ti	Al	Cu	C	Cr	Mn
18,32	11,97	4,46	1,08	0,142	0,01	0,02	0,003	0,02

#### 4.2. KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU

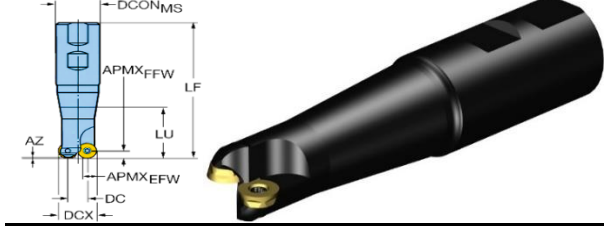
Frezeleme deneylerinde, Sandvik Coromant firtamsı tarafından üretilen R300-1240M-PM S40T ISO kodlu CVD TiCrN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN, R300-1240M-PM S30T ISO kodlu PVD TiAlN ve R300-1240M-PM 1130 ISO kodlu PVD AlTiCrN kaplı karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Kullanılan kesici takıma ait görsel görüntüler ve teknik bilgiler Çizelge 4.2'de verilmiştir. Deneylerde kesici takımların CNC tezgâhına bağlanmasında Sandvik Coromant firması tarafından üretilen ISO R300-025B32L-12L kodlu takım tutucu kullanılmıştır. Takım tutucuya ait görsel görüntüler ve teknik bilgiler Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Deneylerde kullanılan kesici takımlara ait teknik bilgiler ve görsel.



ISO	R300-1240M-PM 1130	R300-1240M-PM S40T	R300-1240M-PM S30T
IC	12 mm	12 mm	12 mm
RE	6 mm	6 mm	6 mm
S	3,9688 mm	3,9688 mm	3,9688 mm
Kaplama	PVD AlTiCrN	CVD TiCrN+Al2O3+TiN	PVD TiAlN

Çizelge 4.3. Deneylerde kullanılan Takım tutucuya ait teknik bilgiler ve görsel.



DCONMS	32 mm
APMXFFW	6 mm
LF	141 mm
LU	42,8 mm
AZ	1,4 mm
APMXEFW	9 mm
DC	13 mm
DCX	25 mm

### 4.3. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TEZGÂHI

Frezeleme deneyleri Hartfort S/PLUS-10 CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Hartfort S/PLUS-10 CNC dik işleme merkezine ait görseli Şekil 4.1'de ve teknik özellikleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Hartfort S PLUS -10 CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri.

Özellik	Birim	Açıklama
Model		S PLUS -10
Çalışma Alanı	mm	1150 x 520
X Eksen Hareketi	mm	1020
Y Eksen Hareketi	mm	520
Z Eksen Hareketi	mm	550
İş Mili Devri	rpm	15000



Şekil 4.1. Hartfort S PLUS -10 CNC dik işleme merkezi.

#### 4.4. KESME SICAKLIĞI ÖLÇÜMLERİ

Yapılan çalışmada, Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerinin kesme sıcaklığına etkisinin incelenmiştir. Bunun için işleme sırasında kesme bölgesindeki sıcaklığın ölçümünde Fluke marka TiS20 model kızılötesi termal kamera kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan kızılötesi kamera -20 ~ 400 °C aralığında sıcaklık ölçümü yapabilmektedir. Cihaz ölçümler sırasında kesme bölgesine 300 mm uzaklıkta ve 45° açıyla konumlandırılmıştır. Çalışmada kullanılan Fluke marka TiS20 model kızılötesi kameranın görseli Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Fluke TiS20 kızılötesi termal kamera.

#### 4.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMLERİ

Maraging 300 çeliğinin işlenmesi için hazırlanan her bir deney kombinasyonunda işlenen yüzeylerin pürüzlülüklerinin ölçümünde MahrSurf PS10 model yüzey pürüzlük cihazı kullanılmıştır. Pürüzlülük ölçümleri ISO 4288 standardına uygun gerçekleştirilmiştir. Ölçümler işlenen yüzey üzerinde dört farklı noktadan yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması hesaplanarak ortalama pürüzlülük değeri belirlenmiştir. MahrSurf PS10 model yüzey pürüzlük cihazının görseli Şekil 4.3’de ve teknik özellikleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.3. MahrSurf PS10 model yüzey pürüzlük cihazı.

Çizelge 4.5. MahrSurf PS10 yüzey pürüzlük cihazının teknik özellikleri.

Özellik	Birim	Açıklama
Model		MarSurf PS10
Ölçme aralığı	$\mu\text{m}$	350, 180, 90
Ölçüm hızı	mm/sn	0,5/0,10
Ölçüm kuvveti	N	0,00075
Prob ucu çapı	$\mu\text{m}$	2

#### 4.6. TAKIM AŞINMASININ ÖLÇÜMÜ VE İNCELENMESİ

Farklı kesici takım kaplamalarında ve kesme parametrelerinde Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde takım aşınması incelenmiştir. takım aşınması deneylerinde yanak aşınma deneylerinde aşınma bandı ( $V_b$ ) 0,3 mm alınmıştır. İşleme sonrası takım aşınması ölçümleri Nikken marka E460N model takım ön ayar cihazında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca takım aşınma mekanizmalarını ayrıntı görüntülenmesin ve incelenmesinde



Aksaray Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Takım aşınma ölçülmesinde kullanılan takım ön ayar cihazının ve SEM mikroskopun görseli Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Takım aşınma ölçülmesinde kullanılan a) dijital ve b) SEM mikroskopları.

#### 4.7. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Talaşlı imalatla şekillendirilen iş parçalarının işleme esnasında farklı kuvvetlere ve kesme sıcaklıklarına maruz kalması iş parçası yüzey sertliklerini değiştirmektedir. Bu değişimler iş parçalarının kullanacağı yerdeki servis ömrünü etkilemektedir. Bunun için kesici takım kaplamalarına ve kesme parametrelerine bağlı iş parçası yüzeyindeki sertlik değişiminin minimum olması istenmektedir. Bu nedenle Maraging 300 çeliğinin farklı kesici takım kaplamalarla ve kesme parametrelerinde işlenmesi sonucu iş parçası yüzey sertlik değişimleri incelenmiştir. Yüzey sertlik değişimleri OMAG marka 206 EX model sertlik ölçüm cihazı ile incelenmiştir. OMAG 206 EX sertlik ölçüm cihazının görseli Şekil 4.5'de verilmiştir.





Şekil 4.5. OMAG 206 EX sertlik ölçüm cihazı.

#### 4.8. TAGUCHI OPTİMİZASYON YÖNTEMİ

Taguchi yöntemi, üretim sırasında hataların ve farklılıkların ortaya çıkmadan önce bunların kaldırılması için kalite kontrolü açısından deney tasarımının üretim sürecinden daha önemli olduğunu bildirilmiştir. Deneyler sırasında kullanılan çok sayıda değişkeni daha az sayıda deneyle inceleyen Taguchi yöntemi, deneysel tasarım teorisi için ortogonal dizilerinden yararlanır. Taguchi'ye göre S/N oranı, tercih edilen değerden sapan kalite karakteristiklerini ölçmek için kullanılmaktadır. Daha yüksek sinyal/gürültü oranı, sinyalin gürültü faktörlerinin keyfi etkisinden çok daha yüksek bir değere sahip olduğu anlamına gelir ve gürültü faktörlerinin etkilerini azaltan kontrol faktörü ayarlarını tanımlar [56-59]. Yapılan çalışmada kesme sıcaklığının, yüzey pürüzlülüğünün ve yüzey sertliğinin en düşük değerlerine ulaşılması istendiğinden Optimum seviyelerinin belirlenmesi için S/N sinyal/gürültü oranı analizinde Eşitlik 4.1'de verilen “En Küçük En İyi” yaklaşımı kullanılmıştır.

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

Yapılan çalışmada Maraging 300 çeliğinin frezelenmesinde kalite karakteristiklerini belirlemek amacıyla kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği incelenmiştir. Deneysel tasarımı Taguchi  $L_{27}$  ortogonal dizinine göre hazırlanmıştır. Deneysel tasarımında girdi parametresi olarak kesici takım kaplaması, kesme hızı ve ilerleme miktarı olarak belirlenmiştir. Taguchi  $L_{27}$  ortogonal dizinine göre işleme parametreleri ve seviyeleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Taguchi  $L_{27}$  işleme parametreleri ve seviyeleri.

Semboller	Kesme Parametreleri	Birimler	Seviyeler		
			1	2	3
A	Kesici Takım Kaplaması		TiAlN	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	AlTiCrN
B	Kesme Hızı (Vc)	(m/dak)	80	130	180
C	İlerleme Miktarı (f)	(mm/dev)	0,07	0,12	0,17

Ayrıca takım aşınması deneyleri kesme derinliği (1 mm) ve ilerleme miktarını (0,17 mm/dev) sabit tutarak üç farklı kesici takım kaplamasında ve üç farklı kesme hızında gerçekleştirilmiştir. Takım aşınması deneylerinde kullanılacak olan işleme parametreleri Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Takım aşınması için işleme parametreleri ve seviyeleri.

Semboller	Kesme Parametreleri	Birimler	Seviyeler		
			1	2	3
A	Kesici Takım Kaplaması		TiAlN	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	AlTiCrN
B	Kesme Hızı (Vc)	(m/dak)	80	130	180
C	İlerleme Miktarı (f)	(mm/dev)		0,17	

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

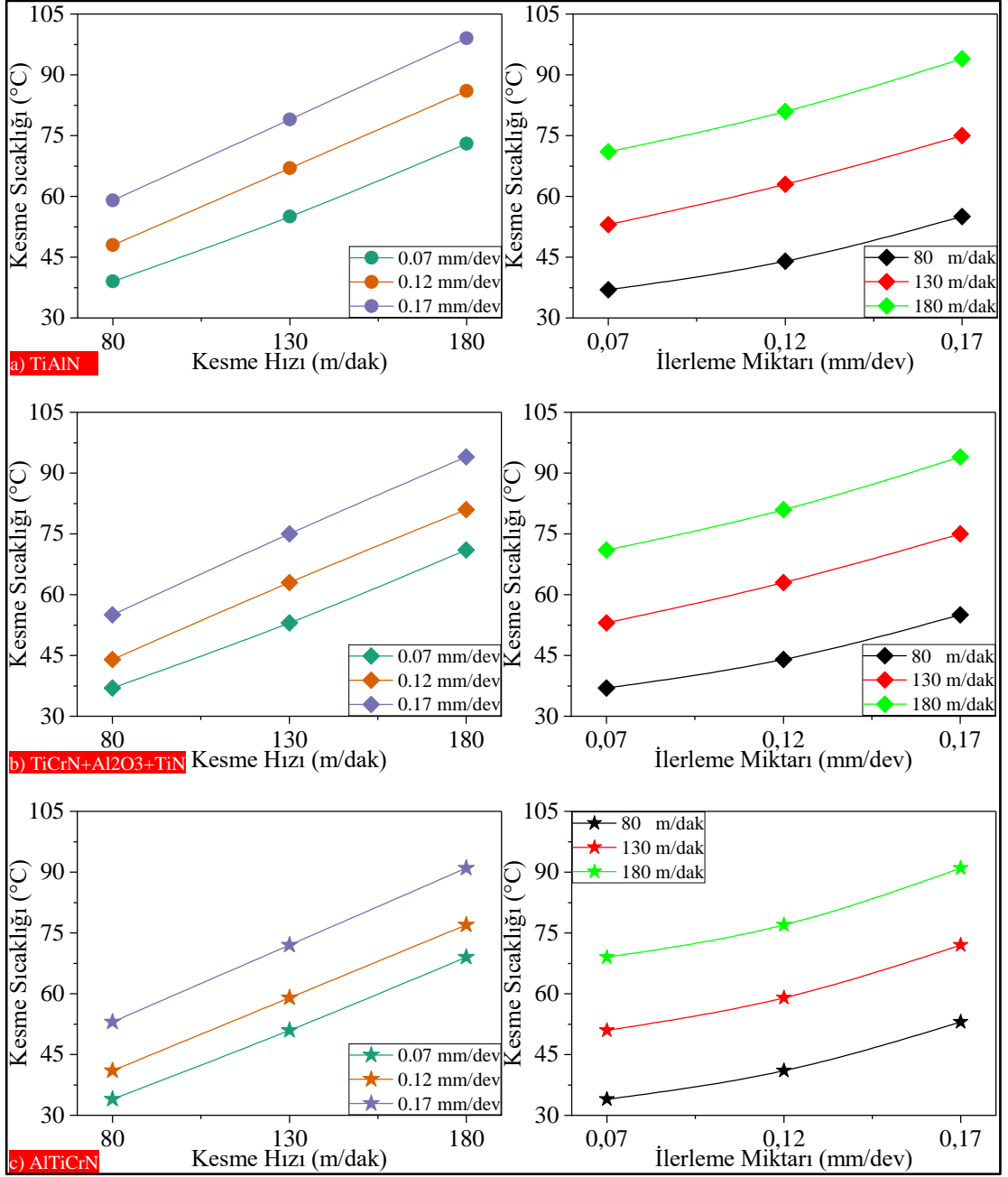
#### 5.1. KESME SICAKLIĞI

Bu çalışmada, Maraging 300 çeliğinin farklı kaplamalara sahip kesici takımlarla ve farklı kesme parametrelerinde işlenmesinin bir sonucu olarak kesme sıcaklığındaki farklılıklar Şekil 5.1’de verilmiştir. Ayrıca 27 deney kombinasyonu sonucu ölçülen kesme sıcaklığı değerleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları

Deney No	Kesici Takım Kaplaması	Kesme Hızı, Vc (m/dak)	İlerleme Miktarı, f (mm/dev)	Kesme Sıcaklığı, T (°C)
1	TiAlN	80	0,07	39
2	TiAlN	80	0,12	48
3	TiAlN	80	0,17	59
4	TiAlN	130	0,07	55
5	TiAlN	130	0,12	67
6	TiAlN	130	0,17	79
7	TiAlN	180	0,07	73
8	TiAlN	180	0,12	86
9	TiAlN	180	0,17	99
10	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	80	0,07	37
11	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	80	0,12	44
12	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	80	0,17	55
13	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	130	0,07	53
14	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	130	0,12	63
15	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	130	0,17	75
16	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	180	0,07	71
17	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	180	0,12	81
18	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	180	0,17	94
19	AlTiCrN	80	0,07	34
20	AlTiCrN	80	0,12	41
21	AlTiCrN	80	0,17	53
22	AlTiCrN	130	0,07	51
23	AlTiCrN	130	0,12	59
24	AlTiCrN	130	0,17	72
25	AlTiCrN	180	0,07	69
26	AlTiCrN	180	0,12	77
27	AlTiCrN	180	0,17	91

Maraging 300 çeliğinin frezelenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerinin kesme sıcaklığı üzerine etkileri Şekil 5.1 verilmiştir. Şekil 5.1 incelendiğinde TiAlN kaplı kesici takımla, 80 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneyde kesme sıcaklığı 39 °C ölçülmüştür. Sabit kesici takım kaplamasında ve kesme hızında ilerleme miktarının 0,12 mm/dev ve 0,17 mm/dev çıkarılması ile kesme sıcaklıkları sırası ile %28,21 ve %51,3 arttığı izlenmiştir. Aynı takım ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının sırası ile 130 m/dak ve 180 m/dak çıkarılması ile kesme sıcaklıkları %41 ve %81,2 artmıştır. 130 m/dak ve 180 m/dak kesme hızlarında ilerleme miktarının artması ile kesme sıcaklıkları artmıştır. TiAlN kaplı kesici takımla yapılan deneylerde en düşük kesme sıcaklığı 80 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında 34 °C ölçülmüştür. Şekil 5.1 incelendiğinde TiN kaplı kesici takımla, 80 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneyde kesme sıcaklığı 37 °C olmuştur. Kesici takım kaplamasının ve kesme hızının sabit tutularak ilerleme miktarının 0,12 mm/dev ve 0,17 mm/dev çıkarılması ile kesme sıcaklıkları sırası ile %18,9 ve %48,7 oranında arttığı görülmüştür. TiN kaplı kesici takımda ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının 130 m/dak ve 180 m/dak çıkarılması ile kesme sıcaklıkları %43,2 ve %91,9 artmıştır. 130 m/dak ve 180 m/dak kesme hızlarında ilerleme miktarının artması ile kesme sıcaklıkları artmıştır. TiN kaplı kesici takımla yapılan deneylerde en düşük kesme sıcaklığı 80 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında 37 °C ölçülmüştür. Şekil 5.1'e bakıldığında AlTiCrN kaplı takımla, 80 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında kesme sıcaklığı 34 °C olduğu görülmüştür. Takım kaplamasının ve kesme hızının sabit kalarak ilerleme miktarının 0,12 mm/dev ve 0,17 mm/dev çıkarılması ile kesme sıcaklıklarında ortalama %21 ve %55,9 oranlarında arttığı tespit edilmiştir. AlTiCrN kaplı takımda ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının 130 m/dak ve 180 m/dak çıkarılması ile kesme sıcaklıkları %50 ve %102,9 artmıştır. 130 m/dak ve 180 m/dak kesme hızlarında ilerleme miktarının artması ile kesme sıcaklıkları artmıştır. AlTiCrN kaplı kesici takımla yapılan deneylerde en düşük kesme sıcaklığı 80 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında 34 °C olmuştur. Bu veriler ışığında yapılan deneyler sonucu Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde en düşük kesme sıcaklığı AlTiCrN kaplı kesici takımla, 80 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneyde 34 °C ölçülmüştür. Ayrıca en yüksek kesme sıcaklığı TiAlN kaplı takımla, 180 m/dak ve 0,17 mm/dev ilerlemede 99 °C olmuştur.



Şekil 5.1. Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerine bağlı kesme sıcaklığı değişimi.

Genel olarak Şekil 5.1 incelendiğinde kesme hızının ve ilerleme miktarının artması ile kesme sıcaklıklarının arttığı görülmektedir. Bu durum artan kesme hızı ile takım/talaş ara yüzeyindeki sürtünmenin artışına bağlı olarak artan kesme sıcaklığı beklenen bir durumdur [23]. Ayrıca kesme hızında olduğu gibi ilerleme miktarının artışına bağlı kesme sıcaklığı değerlerinin de arttığı görülmüştür. Bunun nedeni artırılan ilerleme miktarına bağlı kaldırılan talaş hacminin artması kesme sıcaklıklarının artışına neden

olmaktadır [60]. Şekil 5.1’de görüldüğü gibi grafiklerin eğimi de kesme hızının kesme sıcaklığı üzerine ilerleme miktarından daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum yapılan varyans analizi ile de örtüşmektedir. Ayrıca kesici takım kaplamasının kesme sıcaklığına etkilerine bakıldığında en düşük kesme sıcaklığı AlTiCrN kaplı takımda ölçülürken bunu sırası ile TiCrN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN ve TiAlN kaplı takımda ölçüldüğü görülmüştür. Bunun nedeni AlTiCrN kaplı takımın sürtünme katsayısının diğer takımlara göre daha düşük olduğuna için kesme sıcaklığının düşük olacağı rapor edilmiştir [61].

## 5.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Endüstride talaşlı imalat prosesleri ile şekillendirilen boyutsal doğruluğun ve yüzey kalitesinin ön planda olduğu makine elemanlarında kalitesini etkileyen en önemli çıktı parametrelerinden biride yüzey pürüzlülüğüdür. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde farklı kaplamalara sahip kesici takımlarla ve farklı kesme parametrelerinde Maraging 300 çeliğinin işlenmesinin bir sonucu olarak yüzey pürüzlülüğündeki farklılıklar Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Ayrıca deneyler sonucu ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Şekil 5.2 incelendiğinde Maraging 300 çeliğinin farklı kaplamalara sahip takımlarla ve farklı kesme parametrelerde işlenmesi sonucu yüzey pürüzlülüğü değerlerinin 0,07 µm ile 0,92 µm arasında değiştiği görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değeri AlTiCrN kaplı takımla, 180 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında 0,07 µm olmuştur. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise TiAlN kaplı takımla, 80 m/dak kesme hızında ve 0,17 mm/dev ilerleme miktarında 0,92 µm ölçülmüştür. TiAlN kaplı takımla, 80 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında yüzey pürüzlülüğü 0,22 µm olmuştur. Kesici takım kaplaması ve kesme hızı sabit kalması şartıyla ilerleme miktarının 0,12 mm/dev ve 0,17 mm/dev çıkarılması ile yüzey pürüzlülük değerleri artarak sırası ile 0,65 µm ve 0,92 µm olmuştur. Ayrıca aynı takımla ilerleme miktarını 0,07 mm/dev sabit tutularak kesme hızının 130 m/dak ve 180 m/dak çıkarılmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,3 µm ve 0,21 µm olduğu görülmüştür. TiCrN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN ve TiAlN kaplı takımlarla yapılan deneylerde de

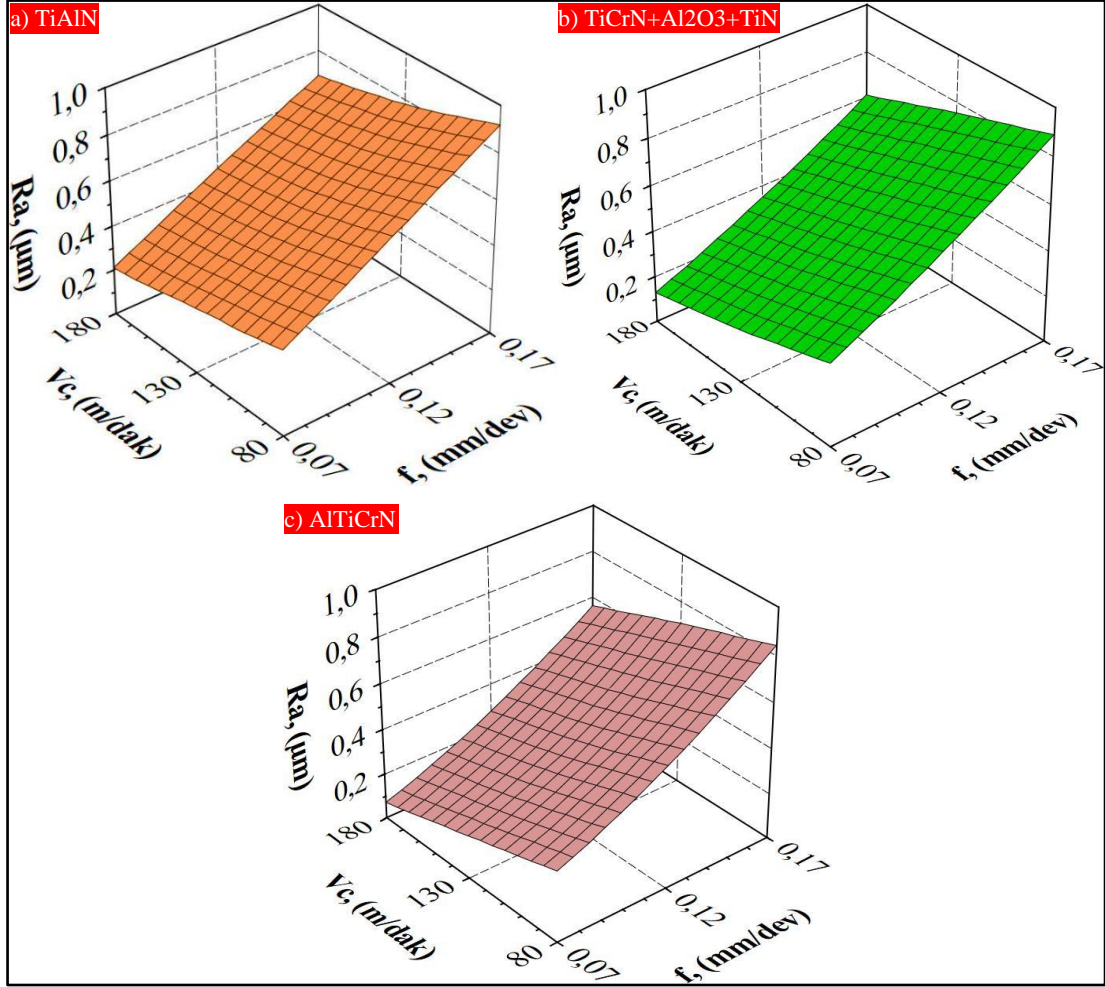
kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerleme miktarının artışına bağlı yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmektedir.

Çizelge 5.2. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları

Deney No	Kesici Takım Kaplaması	Kesme Hızı, Vc (m/dak)	İlerleme Miktarı, f (mm/dev)	Yüzey Pürüzlülüğü, Ra (µm)
1	TiAlN	80	0,07	0,38
2	TiAlN	80	0,12	0,65
3	TiAlN	80	0,17	0,92
4	TiAlN	130	0,07	0,3
5	TiAlN	130	0,12	0,52
6	TiAlN	130	0,17	0,78
7	TiAlN	180	0,07	0,21
8	TiAlN	180	0,12	0,46
9	TiAlN	180	0,17	0,69
10	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	80	0,07	0,36
11	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	80	0,12	0,61
12	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	80	0,17	0,89
13	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	130	0,07	0,23
14	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	130	0,12	0,47
15	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	130	0,17	0,76
16	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	180	0,07	0,13
17	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	180	0,12	0,35
18	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	180	0,17	0,61
19	AlTiCrN	80	0,07	0,31
20	AlTiCrN	80	0,12	0,54
21	AlTiCrN	80	0,17	0,84
22	AlTiCrN	130	0,07	0,19
23	AlTiCrN	130	0,12	0,39
24	AlTiCrN	130	0,17	0,71
25	AlTiCrN	180	0,07	0,07
26	AlTiCrN	180	0,12	0,28
27	AlTiCrN	180	0,17	0,56

Şekil 5.2 incelendiğinde ilerleme miktarının artışına bağlı yüzey pürüzlülük değerlerinin bariz bir şekilde arttığı gözlenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ilerleme miktarının karesi ile orantılı olduğu için işlenen parçanın yüzey kalitesini olumsuz etkileyeceği ifade edilmiştir [62]. Artan kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etkisinin nedeni, kesme hızının artması ile artan kesme sıcaklığı Takım/talaş temas uzunluğu ve takım/talaş temas uzunluğundaki sürtünmenin düşmesinden kaynaklanmaktadır [63]. Ayrıca yüzey pürüzlülük değeri TiAlN, TiCrN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN ve AlTiCrN kaplama sırasına göre azaldığı gözlemlenmiştir. Düşük sürtünme

katsayısına sahip olan kesici takımlar ile iş parçası arası sürtünmenin azalması yüzey pürüzlülüğünün de azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

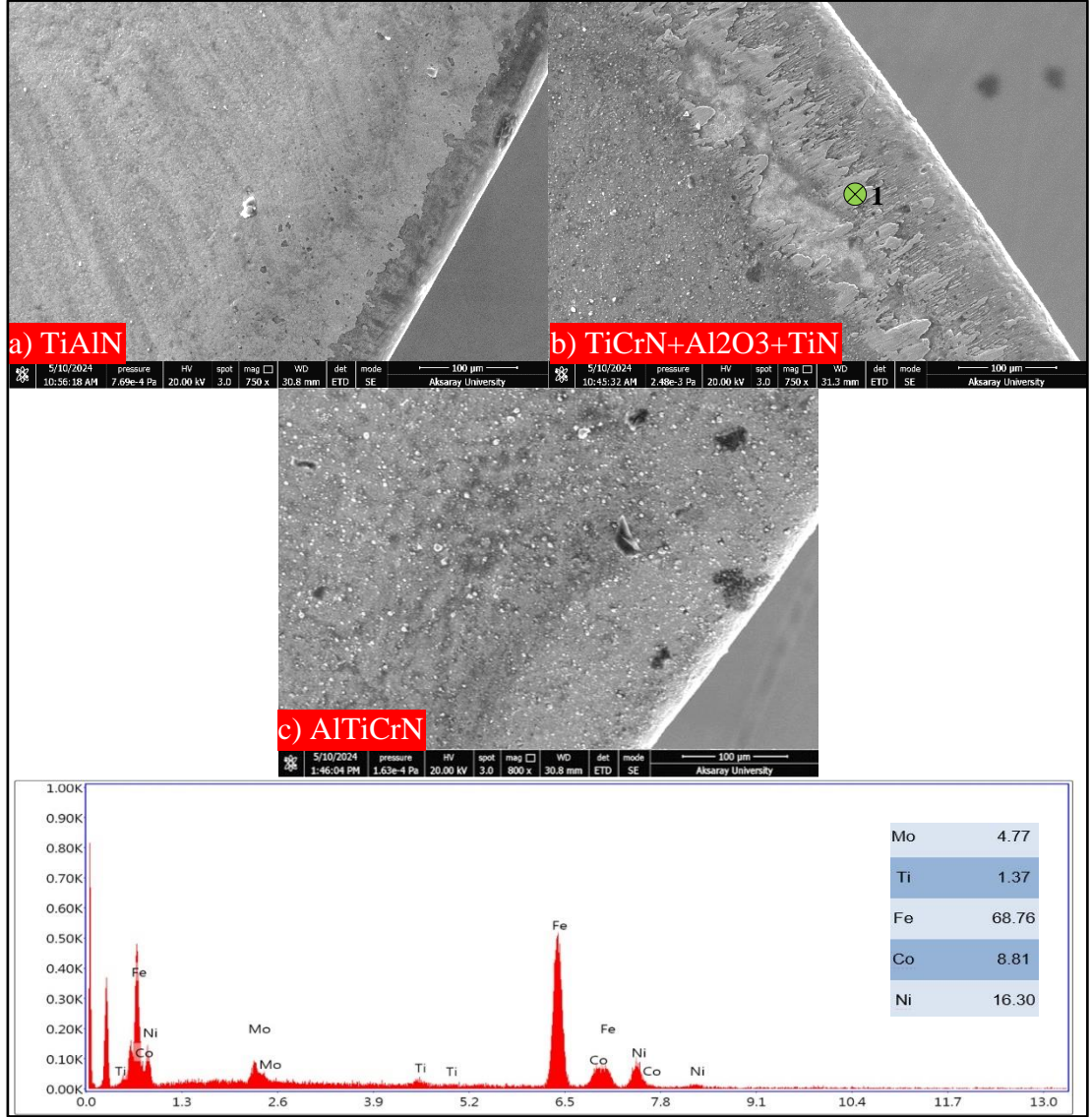


Şekil 5.2. Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi.

TiAlN, TiCrN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN ve AlTiCrN kaplı takımlarla 80 m/dak kesme hızında ve 0,17 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde kullanılan takımlara ait SEM görüntüleri ve EDX analizleri Şekil 5.3'de verilmiştir. Şekil 5.3 incelendiği de AlTiCrN kaplı takımın sürtünme katsayısının düşük olması takım/talaş arası sürtünmeyi azaltarak sadece kaplamalarda ufak dökülmeler ve yapılmalar görülmektedir. Bu durumda diğer takımlara nazaran yüzey pürüzlülüğünün düşük çıkmasına neden olmuştur. TiCrN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplı takıma bakıldığında düşük kesme hızlarında kesici takım üzerinde biriken BUE oluşumu görülmektedir. Buda



TiCrN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN takımın yüzey pürüzlülük değerlerinin TiAlN kaplı takıma göre yüksek çıkmasına neden olmuştur. TiAlN kaplı takıma ait SEM görüntüsü incelendiğinde kesici takım kenarlarında micro kırıklar ve kesici takım kaplamasının kalktığı görülmektedir. TiAlN kaplı takıma ait yüzey pürüzlülük değerlerinin TiCrN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN ve AlTiCrN kaplı takıma göre yüksek olmasının diğer nedenidir.

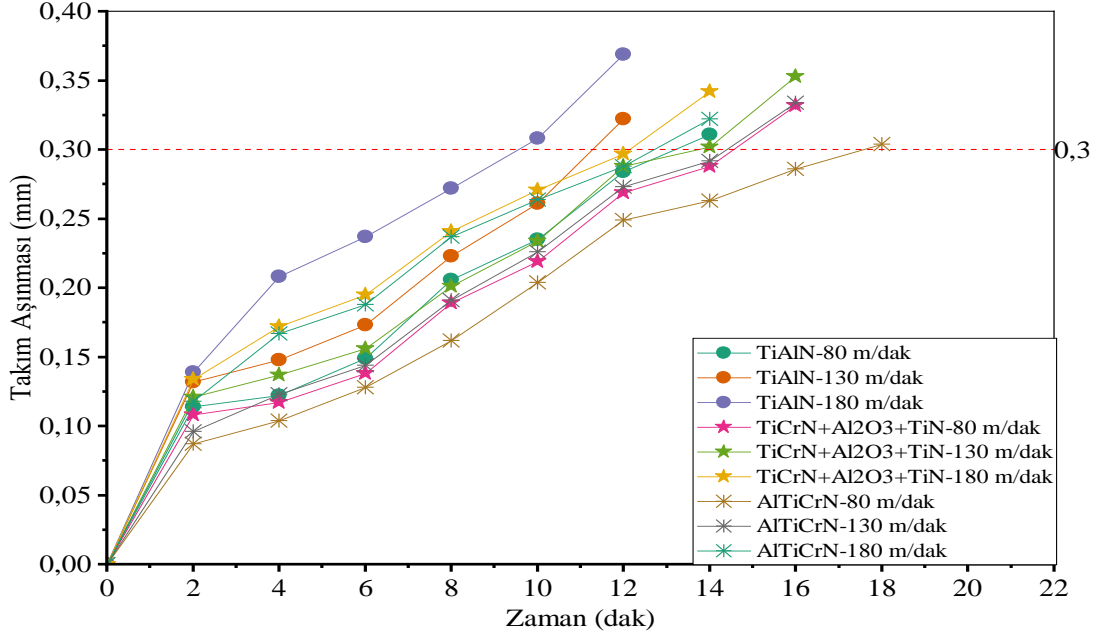


Şekil 5.3. Kesici takımlara ait SEM görüntüleri ve EDX görüntüleri. (Vc: 80 m/dak ve f: 0,17 mm/dev)

### 5.3. TAKIM AŞINMASI

Kesici takım kaplamasına ve kesme parametrelerine bağlı takım/talaş ara yüzeyi sürtünme koşulları işleme bölgesinde ısı üretiminde kritik rol oynamaktadır. İşleme bölgesinde oluşan ısı kesici takım sıcaklığının artması bunun da kesici takım kenarında sertliğin ve kesme kabiliyetinin azalmasına neden olur. Bunların sonucu olarak da artan takım aşınması ile birlikte yüzey bütünlüğü ve ideal takım geometrisi bozulmaktadır. Bu nedenle Maraging 300 çeliğinin TiAlN, TiCrN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN ve AlTiCrN kaplı takımlarla, 0,17 mm/dev ilerleme miktarında, 80 m/dak, 130 m/dak ve 180 m/dak kesme hızlarında frezelenmesinde takım aşınma miktarları Şekil 5.4'de verilmiştir.

Metal işleme operasyonları sırasında mekanik enerjinin yaklaşık %90'ı termal ısı akışına dönüşmektedir. Bu durumda kesme bölgesinde ciddi kesme sıcaklığı artışına neden olur. Yüksek kesme sıcaklığı artışı takım talaşı ve yan yüzeylerin aşırı aşınmasına yol açarak takım ömrünü kısaltır. Ek olarak, takım ve iş parçasının neden olduğu termal yumuşama, kimyasal element difüzyonunu bozar ve işlenmiş parçanın yüzey kalitesini, boyutsal hassasiyetini ve işlevselliğini etkilemektedir [64-67]. Şekil 5.4 bakıldığında kesme hızının artışına bağlı takım ömrünün azaldığı gözlemlenmiştir. Artan kesme hızı ile kesme bölgesinde oluşan ısının yükselmesi takım aşınmasını harekete geçirmektedir. Ayrıca artırılan kesme hızı ile birlikte kaldırılan talaş hacmi de artmaktadır. Buda takım iş parçası arası sürtünmeyi artırarak takım aşınması üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmuştur. Düşük sürtünme katsayısına sahip kesici takımın aşınma süreleri yüksek sürtünme katsayısına sahip kesici takımlara göre daha fazladır. Buda bize düşük sürtünme katsayısına sahip kaplama malzemesinin takım ömrü üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 5.4. Maraging 300 çeliğinin frezelenmesinde kesici takım kaplamasına ve kesme hızına bağlı takım aşınması.

#### 5.4. SERTLİK DEĞİŞİMİ

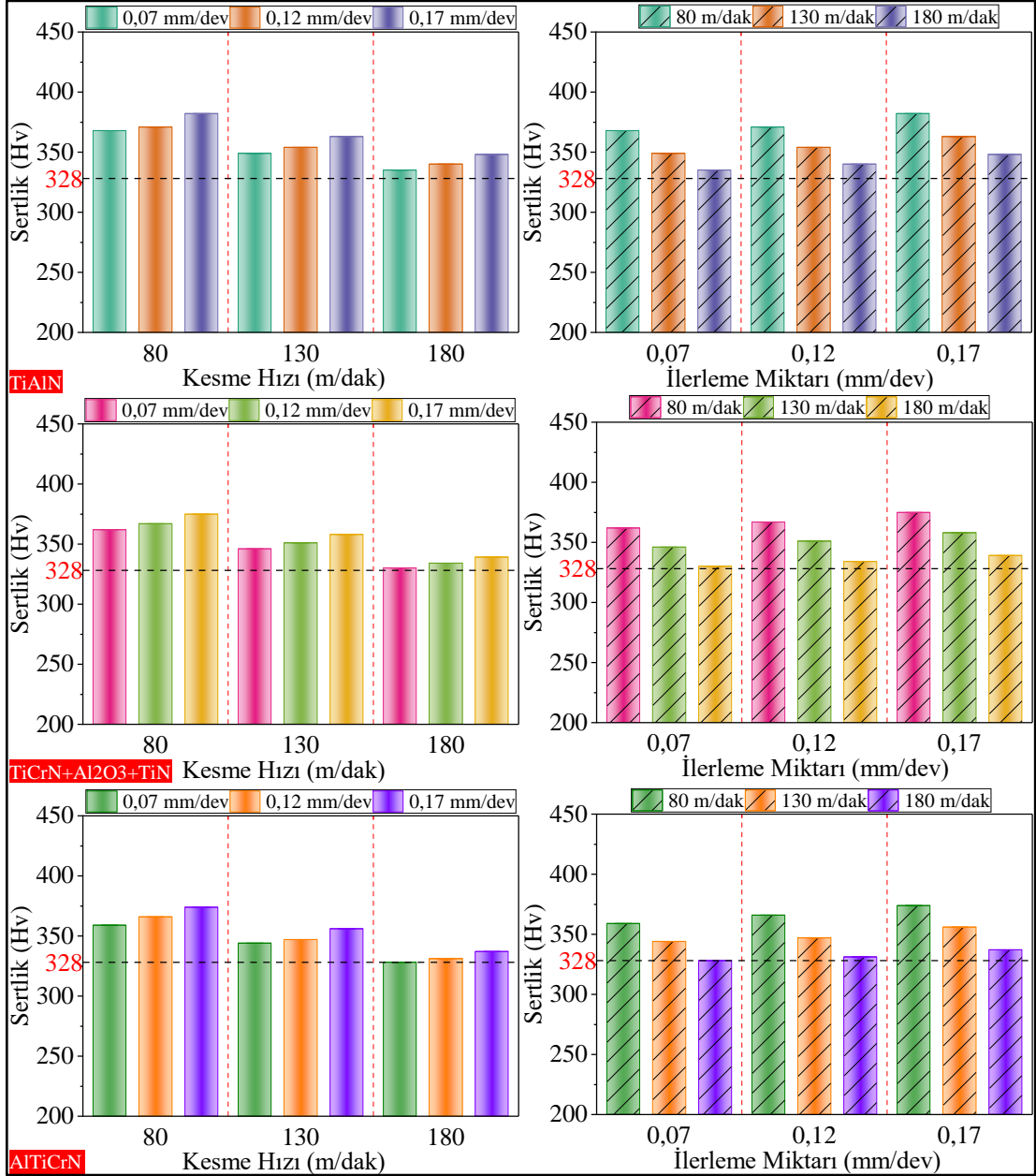
Talaşlı imalat operasyonlarında, işlenen malzemenin yüksek deformasyon hızlarında heterojen termo-mekanik deformasyonu sonucu iş parçasının mikro yapı ve malzeme özelliklerinin değişmesine neden olan ciddi bir plastik deformasyon sürecidir. Talaşlı imalat operasyonlarından sonra parçaların mekanik davranışı mikroyapı, gerilim ve gerinim durumu gibi özelliklerine göre belirlenir. Bu özellikler kesme koşullarına göre değişen termal değişikliklerden kaynaklanır [68,69]. Bu nedenle Maraging 300 çeliğinin farklı kaplamalı takımlarla ve kesme parametrelerde işlenmesi sonucu iş parçasındaki yüzey sertliği değerlerindeki farklılıklar Şekil 5.5’de ve yüzey sertliği değerleri Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deneyler sonucu ölçülen yüzey sertliği değerleri.

Deney No	Kesici Takım Kaplaması	Kesme Hızı, Vc (m/dak)	İlerleme Miktarı, f (mm/dev)	Yüzey Sertliği Hv
1	TiAlN	80	0,07	368
2	TiAlN	80	0,12	371
3	TiAlN	80	0,17	382
4	TiAlN	130	0,07	349
5	TiAlN	130	0,12	354
6	TiAlN	130	0,17	363
7	TiAlN	180	0,07	335
8	TiAlN	180	0,12	340
9	TiAlN	180	0,17	348
10	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	80	0,07	362
11	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	80	0,12	367
12	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	80	0,17	375
13	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	130	0,07	346
14	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	130	0,12	351
15	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	130	0,17	358
16	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	180	0,07	330
17	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	180	0,12	334
18	TiCrN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	180	0,17	339
19	AlTiCrN	80	0,07	359
20	AlTiCrN	80	0,12	366
21	AlTiCrN	80	0,17	374
22	AlTiCrN	130	0,07	344
23	AlTiCrN	130	0,12	347
24	AlTiCrN	130	0,17	356
25	AlTiCrN	180	0,07	328
26	AlTiCrN	180	0,12	331
27	AlTiCrN	180	0,17	337

Genel olarak Şekil 5.5 incelendiğinde işlenen deney numunelerinin kesici takım kaplamasına ve kesme parametrelerine bağlı yüzey sertlikleri 328 Hv ile 382 Hv arasında değiştiği görülmüştür. En düşük yüzey sertlik değişimi AlTiCrN kaplı takımla 180 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneyde 328 Hv olmuştur. Bu değer işlenmemiş orijinal deney numunesinin sertliğine eşit olduğu görülmüştür. En yüksek yüzey sertlik değişimi ise TiAlN kaplı takımla 80 m/dak kesme hızında ve 0,17 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneyde 382 Hv ölçülmüştür. Kesme hızının artması ile deney numunelerinin yüzey sertliklerinin azaldığı görülmüştür. Örneğin; TiAlN kaplı takımla 80 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneyde 368 Hv olmuştur. Takım kaplaması ve ilerleme miktarının sabit kalması ile kesme hızının sırası ile 130 m/dak ve 180 m/dak çıkarılması ile yüzey sertliklerinde %5,97 ve %8,98 oranların azalmanın olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum TiN ve AlTiCrN kaplı takımlarla yapılan deneylerde de

gözlemlenmiştir. Kesme hızının artması ile kesme sıcaklığının artması ve kesme kuvvetlerinin azalması yüzey sertliği üzerine olumlu etki yaptığı görülmüştür. Ayrıca kesme sıcaklıklarının artması deney numunelerinin yüzey sertliğine etki edecek kadar yüksek olmadığı görülmüştür. İlerleme miktarının artması ile deney numunelerinin yüzey sertliklerinin arttığı görülmüştür. Örneğin; TiN kaplı takım ile 80 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneyde 362 Hv olmuştur. Takım kaplamasının ve kesme hızının sabit kalması ile ilerleme miktarının 0,12 mm/de ve 0,17 mm/dev kadar artırılması ile yüzey sertliklerinde %1,4 ve %3,59 oranlarında artmanın olduğu görülmüştür. Bu durum TiAlN ve AlTiCrN kaplı takımlarla yapılan deneylerde de gözlemlenmiştir. İlerleme miktarının artması ile kaldırılan talaş hacminin artması kesme kuvvetlerinin artmasına buna bağlı olarak yüzey sertlik değerlerinin de artmasına neden olmuştur. Kesici takım kaplamasının iş parçası yüzey sertliğine etkilerine bakılacak olunursa TiAlN kaplı takımlarla yapılan deneylerde ortalama yüzey sertliği 356,7 Hv olmuştur. TiAlN kaplı takımlarla yapılan deneylerde ölçülen yüzey sertliği TiN ve AlTiCrN kaplı takımlarla yapılan deneylere göre ortalama %1,51 ve %2,13 oranında yüksek çıkmıştır. Bu durumda TiAlN kaplı takımın sürtünme katsayısının TiN ve AlTiCrN kaplı takımlara göre yüksek olmasına atfedilebilir.



Şekil 5.5. Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerinin yüzey sertliğine etkisi.

## 5.5. GİRDİ PARAMETRELERİNİN OPTİMİZE EDİLMESİ

Bu bölümde Maraging 300 çeliğinin işlenmesi sonucu elde edilen kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğinin en iyi değerleri için kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır.

### 5.5.1. S/N Oranlarının Analizi

Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerinin kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği üzerine etkileri araştırılmıştır. Çizelge 5.4’de Maraging 300 çeliğinin farklı kesici takım kaplamaları ve kesme parametrelerinde işlenmesi sonucu numunelere ait ortalama kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerleri ile bu değerlere karşılık gelen S/N değerleri sunulmuştur. En düşük kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği bulmak için Eşitlik 4.1 “En Küçük En İyi” yaklaşımı kullanılarak S/N oranları hesaplanmıştır. İşleme deneyleri sonucu kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerlerinin ortalamaları sırası ile 63,88 °C, 0,489 µm ve 352,37 Hv’dir bunlara karşılık gelen S/N oranlarının ortalamaları ise sırası ile -35,758 dB, 7,538 dB ve -50,932 dB olarak hesaplanmıştır.

Deneysel sonucu ölçülen kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerleri için elde edilen S/N oranlarına ait yanıt tablosunu Çizelge 5.5’de, kesme sıcaklığına, yüzey pürüzlülüğüne ve yüzey sertliğine ait S/N oranları etki grafikleri de Şekil 5.6’da verilmiştir. Sonuç olarak, kesme sıcaklığının, yüzey pürüzlülüğünün ve yüzey sertliğinin en düşük değerlerinin ulaşıldığı optimum kesme parametre kombinasyonu sırası ile A<sub>3</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub> (AlTiCrN kesici takım kaplamasında, 80 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında), A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>1</sub> (AlTiCrN kesici takım kaplamasında, 180 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında) ve A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>1</sub> (AlTiCrN kesici takım kaplamasında, 180 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında) olarak tespit edilmiştir. Bu kombinasyonlarda yapılan işlemler sonucu kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerleri sırası ile 34 °C, 0,07 µm ve 328 Hv olarak ölçülmüştür.

Çizelge 5.4. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerleri ve S/N oranları.

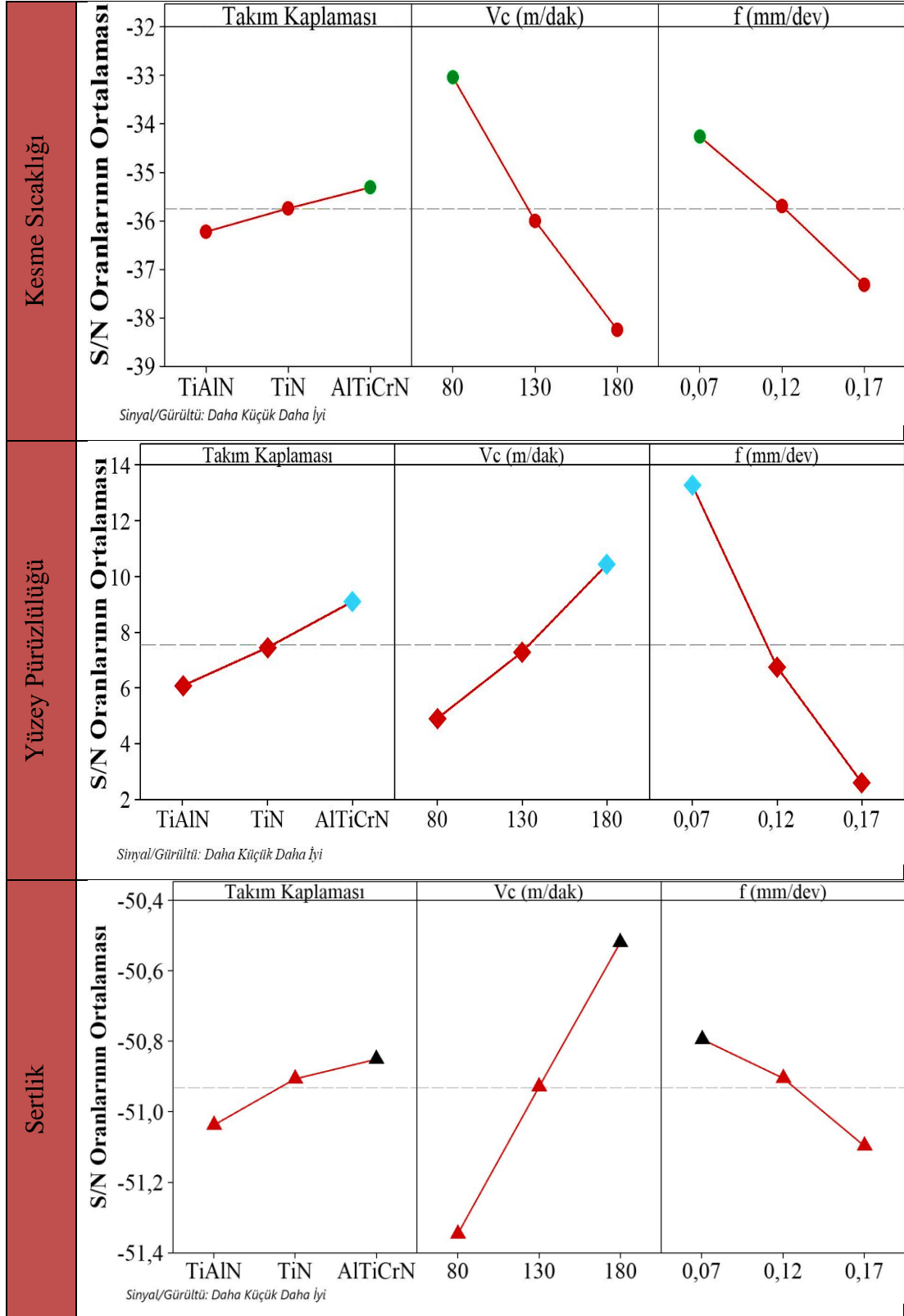
Deney No	Takım Kaplaması	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	T (°C)	T S/N Oranı (dB)	Ra (µm)	Ra S/N Oranı (dB)	Sertlik (Hv)	Sertlik S/N Oranı (dB)
1	TiAlN	80	0,07	39	-31,821	0,38	8,404	368	-51,317
2	TiAlN	80	0,12	48	-33,625	0,65	3,742	371	-51,387
3	TiAlN	80	0,17	59	-35,417	0,92	0,724	382	-51,641
4	TiAlN	130	0,07	55	-34,807	0,3	10,458	349	-50,857
5	TiAlN	130	0,12	67	-36,522	0,52	5,680	354	-50,980
6	TiAlN	130	0,17	79	-37,953	0,78	2,158	363	-51,198
7	TiAlN	180	0,07	73	-37,267	0,21	13,556	335	-50,501
8	TiAlN	180	0,12	86	-38,690	0,46	6,745	340	-50,630
9	TiAlN	180	0,17	99	-39,913	0,69	3,223	348	-50,832
10	TiN	80	0,07	37	-31,364	0,36	8,874	362	-51,174
11	TiN	80	0,12	44	-32,869	0,61	4,293	367	-51,293
12	TiN	80	0,17	55	-34,807	0,89	1,012	375	-51,481
13	TiN	130	0,07	53	-34,486	0,23	12,765	346	-50,782
14	TiN	130	0,12	63	-35,987	0,47	6,558	351	-50,906
15	TiN	130	0,17	75	-37,501	0,76	2,384	358	-51,078
16	TiN	180	0,07	71	-37,025	0,13	17,721	330	-50,370
17	TiN	180	0,12	81	-38,170	0,35	9,119	334	-50,475
18	TiN	180	0,17	94	-39,463	0,61	4,293	339	-50,604
19	AlTiCrN	80	0,07	34	-30,630	0,31	10,173	359	-51,102
20	AlTiCrN	80	0,12	41	-32,256	0,54	5,352	366	-51,270
21	AlTiCrN	80	0,17	53	-34,486	0,84	1,514	374	-51,457
22	AlTiCrN	130	0,07	51	-34,151	0,19	14,425	344	-50,731
23	AlTiCrN	130	0,12	59	-35,417	0,39	8,179	347	-50,807
24	AlTiCrN	130	0,17	72	-37,147	0,71	2,975	356	-51,029
25	AlTiCrN	180	0,07	69	-36,777	0,07	23,098	328	-50,317
26	AlTiCrN	180	0,12	77	-37,730	0,28	11,057	331	-50,397
27	AlTiCrN	180	0,17	91	-39,181	0,56	5,036	337	-50,553

Çizelge 5.5. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için S/N yanıt tablosu.

	Seviyeler			Delta
	1	2	3	
<b>T (°C)</b>				
Takım Kaplaması	-36,22	-35,74	<b>-35,31</b>	0,92
Vc (m/dak)	<b>-33,03</b>	-36,00	-38,25	5,22
f (mm/dev)	<b>-34,26</b>	-35,70	-37,32	3,06
<b>Ra (µm)</b>				
Takım Kaplaması	6,077	7,447	<b>9,090</b>	3,013
Vc (m/dak)	4,899	7,287	<b>10,428</b>	5,529
f (mm/dev)	<b>13,275</b>	6,747	2,591	10,684
<b>Sertlik (Hv)</b>				
Takım Kaplaması	-51,04	-50,91	<b>-50,85</b>	0,19
Vc (m/dak)	-51,35	-50,93	<b>-50,52</b>	0,83
f (mm/dev)	<b>-50,79</b>	-50,90	-51,10	0,30

*Not: \*Koyu ile gösterilen değerler optimum sonuçları göstermektedir.*





Şekil 5.6. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değeri için ortalama S/N oranları üzerine kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerinin etkisi.

### 5.5.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Yapılan frezeleme deneylerinde kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerinin kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerleri üzerine etkilerini incelemek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır. Çizelge 5.6’da kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için %95 güven seviyesinde yapılan varyans analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.6 bakıldığında kesme sıcaklığı üzerine etki eden faktörün %72,18 ile kesme hızı olduğu ve bunu sırası ile %25,21 ile ilerleme miktarı ve %2,22 ile kesici takım kaplamasının olduğu görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü için en etken faktörün %78,41 ile ilerleme miktarının olduğu ve bunu sırası ile %17,11 ile kesme hızı ve %3,88 ile kesici takım kaplamasının olmuştur. Bu durum yüzey setliği üzerine etki eden en önemli faktörün %83,42 ile kesme hızı olurken diğer parametreler %11,56 ile ilerleme miktarı ve %4,47 ile kesici takım kaplamasının olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.6. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için varyans analizi sonuçları.

<b>Faktörler</b>	<b>DF</b>	<b>Seq SS</b>	<b>Adj SS</b>	<b>Adj MS</b>	<b>F-Değeri</b>	<b>P- Değeri</b>	<b>Katkı (%)</b>
<b><i>T</i></b>							
Takım Kaplaması	2	187,56	187,56	93,78	58,21	0,000	%2,22
Vc (m/dak)	2	6086,89	6086,89	3043,44	1889,03	0,000	%72,18
f (mm/dev)	2	2126	2126	1063	659,79	0,000	%25,21
Hata	20	32,22	32,22	1,61			%0,38
Toplam	26	8432,67					%100
<b><i>Ra</i></b>							
Takım Kaplaması	2	0,05781	0,05781	0,028904	64,50	0,000	%3,88
Vc (m/dak)	2	0,25490	0,25490	0,127448	284,39	0,000	%17,11
f (mm/dev)	2	1,16832	1,16832	0,584159	1303,50	0,000	%78,41
Hata	20	0,00896	0,00896	0,000448			%0,60
Toplam	26	1,48999					%100
<b><i>Sertlik</i></b>							
Takım Kaplaması	2	271,41	271,41	135,70	80,18	0,000	%4,47
Vc (m/dak)	2	5068,74	5068,74	2534,37	1497,33	0,000	%83,42
f (mm/dev)	2	702,30	702,30	351,15	207,46	0,000	%11,56
Hata	20	33,85	33,85	1,69			%0,56
Toplam	26	6076,30					%100

### 5.5.3. Regresyon Analizi

Yapılan çalışmada kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği bağımlı değişkenler kesici takım kaplaması ve kesme parametreleri bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır. Bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki regresyon analizi ile modellenmiştir. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerlerinin tahmininde doğrusal regresyon ile elde edilen denklemler kullanılmıştır. Kesme sıcaklığı için TiAlN, TiN ve AlTiCrN kaplamalara ait tahmin denklemleri Eşitlik 5.1, Eşitlik 5.2 ve Eşitlik 5.3’de, yüzey pürüzlülüğü için TiAlN, TiN ve AlTiCrN kaplamalara ait tahmin denklemleri Eşitlik 5.4, Eşitlik 5.5 ve Eşitlik 5.6’da ve yüzey sertliği için TiAlN, TiN ve AlTiCrN kaplamalara ait tahmin denklemleri Eşitlik 5.7, Eşitlik 5.8 ve Eşitlik 5.9’da verilmiştir.

$$T \quad \text{TiAlN} = -6,59 + 0,36778 V_c + 216,67 f \quad (5.1)$$

$$\text{TiN} = -10,14 + 0,36778 V_c + 216,67 f \quad (5.2)$$

$$\text{AlTiCrN} = -13,03 + 0,36778 V_c + 216,67 f \quad (5.3)$$

$$Ra \quad \text{TiAlN} = 0,244 - 0,002378 V_c + 5,089 f \quad (5.4)$$

$$\text{TiN} = 0,1884 - 0,002378 V_c + 5,089 f \quad (5.5)$$

$$\text{AlTiCrN} = 0,1307 - 0,002378 V_c + 5,089 f \quad (5.6)$$

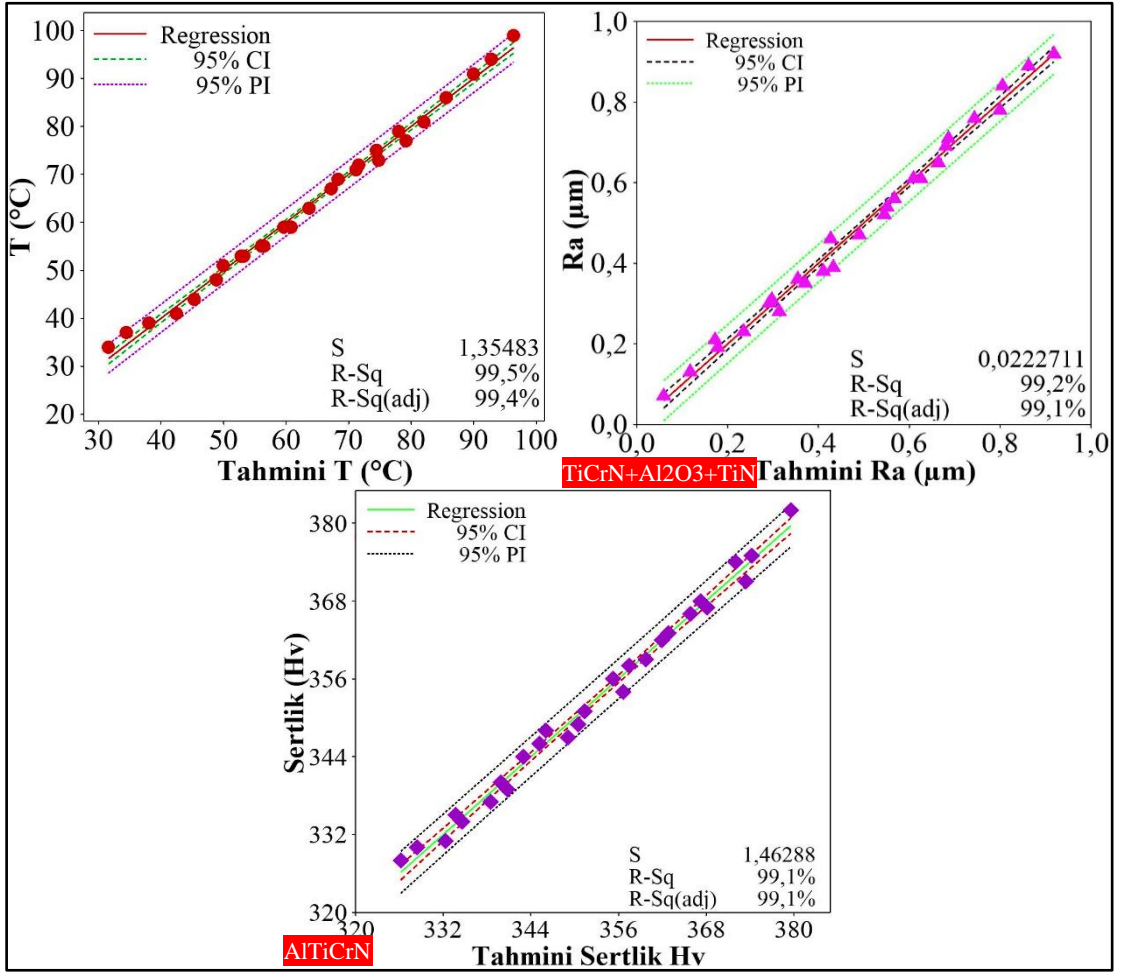
$$\text{Sertlik} \quad \text{TiAlN} = 385,49 - 0,33556 V_c + 123,33 f \quad (5.7)$$

$$\text{TiN} = 380,16 - 0,33556 V_c + 123,33 f \quad (5.8)$$

$$\text{AlTiCrN} = 377,93 - 0,33556 V_c + 123,33 f \quad (5.9)$$

Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için elde edilen regresyon denklemlerinin  $R^2$  değerleri sırası ile %99,46, %99,17 ve %99,12 olmuştur. Deneyler

sonucu kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğine değerleri ile tahmin denklemleri ile elde edilen kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğine değerlerinin karşılaştırılması Şekil 5.7’de verilmiştir. Karşılaştırmalar sonucu kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için deney sonuçları ile tahmin sonuçlarının oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğinin tahmininde doğrusal regresyon denkleminin kullanılması tahminlerde yüksek doğruluk sağladığı görülmüştür.



Şekil 5.7. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için doğrusal regresyon modelinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

#### 5.5.4. Doğrulama Deneyi Sonuçları

Bu bölümde kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için deneylerde elde edilen optimum deney kombinasyonu sırası ile  $A_3B_1C_1$ ,  $A_3B_3C_1$  ve  $A_3B_3C_1$  olarak

hesaplanmıştır. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğinin optimum parametrelerinin tayininde sırası ile Eşitlik 5.10, Eşitlik 5.11 ve Eşitlik 5.12 yararlanılmıştır.

$$T_{opt} = (A_3 - T_T) + (B_1 - T_T) + (C_1 - T_T) + T_T = \mathbf{32,06} \quad (5.10)$$

$$Ra_{opt} = (A_3 - T_{Ra}) + (B_3 - T_{Ra}) + (C_1 - T_{Ra}) + T_{Ra} = \mathbf{0,0697} \quad (5.11)$$

$$Sertlik_{opt} = (A_3 - T_{Ser}) + (B_3 - T_{Ser}) + (C_1 - T_{Ser}) + T_{Ser} = \mathbf{326,96} \quad (5.12)$$

Eşitlik 5.10, Eşitlik 5.11 ve Eşitlik 5.12’de kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğinin A3B1C1, A3B3C1 ve A3B3C1 optimum değerleri ve  $T_T$ ,  $T_{Ra}$  ve  $T_{Ser}$  ortalama değerleri Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5’den alınmıştır. Eşitlik 5.10, Eşitlik 5.11 ve Eşitlik 5.12’de değerler yerlerine konulduğunda  $T_{opt}$  32,06 °C,  $Ra_{opt}$  0,0697 µm ve  $Sertlik_{opt}$  326,96 Hv olarak hesaplanmıştır. Ulaşılan optimum değerlerle doğrulama sonuçları Eşitlik 5.13 ve Eşitlik 5.14 kullanılarak değerlendirilmiştir.

$$CI_{T,Ra,Sert} = \sqrt{F_{\alpha,1,fe} V_e \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{R} \right]} \quad (5.13)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1+T_{dof}} \quad (5.14)$$

Eşitlik 5.13’deki  $F_{\alpha,1,fe}$ , ifadesindeki  $\alpha$  önem düzeyini,  $fe$  hata serbestlik derecesini,  $V_e$  varyans hatasını ifade ederken, Eşitlik 5.14’deki  $n_{eff}$  deney tekrar sayısını,  $N$  toplam deney sayısını ifade etmektedir. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için CI ve  $n_{eff}$  hesaplanmasında alınan değerle Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için doğrulama deney sonuçları.

	$F_{\alpha,1,fe}$	$\alpha$	$fe$	$V_e$	$R$	$n_{eff}$	$T_{dof}$	$N$
T	4,3512	0,05	20	1,61	3	3,857	6	27
Ra	4,3512	0,05	20	0,000448	3	3,857	6	27
Sert	4,3512	0,05	20	1,69	3	3,857	6	27

Çizelge 5.7’de verilen değerler Eşitlik 5.13’te yerine konulduğunda kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için CI değerleri sırası ile 2,036, 0,0225 ve 1,38 hesaplanmıştır. Eşitlik 5.15, Eşitlik 5.16 ve Eşitlik 5.17 kullanılarak kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerlerinin güven aralığı sınırlarında olduğu görülmüştür.

$$[T_{opt} - CI] < T_{exp} < [T_{opt} + CI] \Rightarrow 30,04 < 34 < 34,094 \quad (5.15)$$

$$[Ra_{opt} - CI] < Ra_{exp} < [Ra_{opt} + CI] \Rightarrow 0,0472 < 0,07 < 0,0922 \quad (5.16)$$

$$[Sert_{opt} - CI] < Sert_{exp} < [Sert_{opt} + CI] \Rightarrow 325,58 < 328 < 328,34 \quad (5.17)$$

Çizelge 5.8’de kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için doğrulama deney sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.8 bakıldığında kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği doğrulama deney sonuçları kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

Çizelge 5.8. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için doğrulama deney sonuçları.

Seviye	Taguchi Metot			Doğrusal Denklem Tahmini		
	Deneysel	Tahmini	Hata	Deneysel	Tahmini	Hata
<b><i>T</i></b>						
A3B1C1	34	34,66	1,94	34	31,56	7,18
A1B1C3	59	59,22	0,37	59	59,67	1,14
<b><i>Ra</i></b>						
A3B3C1	0,07	0,071	1,43	0,07	0,059	15,71
A1B1C3	0,92	0,911	0,98	0,92	0,919	0,11
<b><i>Sertlik</i></b>						
A3B3C1	328	327,37	0,192	328	326,16	0,56
A1B1C3	382	382,259	0,068	382	379,61	0,63

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 6.1. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerinin kesme sıcaklığına, yüzey pürüzlülüğüne, takım aşınmasına ve iş parçası yüzey sertliğine etkileri incelenmiştir. Ayrıca kesici takım kaplaması ve kesme parametresi gibi girdi parametrelerinin kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği gibi çıktı parametrelerinin en iyi değerleri için Taguchi yöntemi ile optimum seviyelerinin belirlenerek, kesme sıcaklığının, yüzey pürüzlülüğünün ve yüzey sertliğinin tahmini için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde en düşük kesme sıcaklığı AlTiCrN kaplı takımla 80 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında 34 °C ölçülürken, en yüksek kesme sıcaklığı TiAlN kaplı takımla 180 m/dak kesme hızında ve 0,17 mm/dev ilerleme miktarında 99 °C olmuştur.
- İşlenen yüzeyler üzerinde yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümlerine göre en düşük pürüzlülük değeri AlTiCrN kaplı takımla 180 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında 0,07 µm olurken, en yüksek pürüzlülük değeri TiAlN kaplı takımla 80 m/dak kesme hızında ve 0,17 mm/dev ilerleme miktarında 0,92 µm ölçülmüştü.
- Yapılan deneyler sonucu en düşük iş parçası yüzey sertliği AlTiCrN kaplı takımla 180 m/dak kesme hızında ve 0,07 mm/dev ilerleme miktarında 328 Hv iken, en yüksek iş parçası yüzey sertliği TiAlN kaplı takımla 80 m/dak kesme hızında ve 0,17 mm/dev ilerleme miktarında 382 Hv olmuştur.

- Genel olarak Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde kesme hızının artırılması kesme sıcaklığı üzerine olumsuz etkiye neden olurken, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği üzerinde olumlu etkiye neden olduğu gözlemlenmiştir.
- İlerleme miktarının artırılması kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerlerini artırarak olumsuz etkiye neden olduğu görülmüştür.
- AlTiCrN kaplı takım kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için en uygun kesici takım olduğu gözlemlenmiştir.
- Yapılan takım aşınma deneylerinde AlTiCrN kaplı takımda 80 m/dak kesme hızında en iyi sonucun elde edildiği görülmüştür.
- Analiz sonuçlarına görede optimum kesme sıcaklığı deney kombinasyonu  $A_3B_1C_1$  iken, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için optimum deney kombinasyonu  $A_3B_3C_1$  olmuştur.
- ANOVA analizleri sonucu kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği üzerine en etki parametre sırası ile %72,18 ile kesme hızı, %78,41 ile ilerleme miktarı ve %83,42 ile kesme hızı olduğu tespit edilmiştir.
- Regresyon analizi sonucu lineer regresyon modelinin  $R^2$  değerleri kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için sırası ile %99,46, %99,17 ve %99,12 olmuştur.
- Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği için yapılan doğrulama deney sonuçları kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür.

## 6.2. ÖNERİLER

- Daha sonra yapılacak çalışmalarda Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde kesme kuvveti ve enerji tüketimi ölçülebilir.
- Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde farklı soğutma yöntemlerinin çıktı parametrelerine etkileri incelenebilir.
- Maraging 300 çeliğinin işlenmesinde kesici takım, soğutma yöntemleri ve kesme parametrelerinin maliyete etkileri araştırılabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Matthew, J. D. and Stephen, J. D., “Superalloys: A Technical Guide, 2nd Edition”. **ASM International**, (2002)
- [2] internet: “High-Temperature Machining Guide”, [https://s7d2.scene7.com/is/content/Kennametal/SuperAlloys\\_material\\_machining\\_guide\\_Aerospacepdf](https://s7d2.scene7.com/is/content/Kennametal/SuperAlloys_material_machining_guide_Aerospacepdf) (2020)
- [3] Jawaid, A., Koksall, S. and Sharif, S., “Cutting performance and wear characteristics of PVD coated and uncoated carbide tools in face milling Inconel 718 aerospace alloy”, *J. Mater. Process. Technol.*, 116 (1): 2–9 (2001)
- [4] Krishna, S. C., Gangwar, N. K., Jha, A. K., Pant, B. and Venkitakrishnan, P. V., “On the direct aging of iron based superalloy hot rolled plates”, *Mater. Sci. Eng. A*, 648, 274–279 (2015)
- [5] D. Tali, “Nikel esaslı Inconel 718 süper alaşımının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, (2010)
- [6] Ş. Karabulut, “Inconel 718 süper alaşımların işlenmesinde talaş kırılma problemleri ve talaş kırıcı tasarımı,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, (2006)
- [7] E. F. Bradley, *Superalloys: a technical guide*, 2. baskı, Amerika: ASM International, , ss. 235–236. (1988)
- [8] Forsik, S. A., Rosas, A. O. P., Wang, T., Colombo, G. A., Zhou, N., Kernion, S. J. and Epler, M. E., “High-Temperature Oxidation Behavior of a Novel Co-Base Superalloy”, *Metall. Mater. Trans. A*, 49 (9): 4058-4069 (2018)
- [9] E. A. Loria, “140 recent developments in the progress of superalloy 718,” *JOM*, c. 44, sayı 6, ss. 33–36, (1992)
- [10] V. V. Cay ve S. Ozan, “Süper alaşımlar ve uygulama alanları,” *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, c. 178, ss. 178–188, (2005)
- [11] Peng, H., Shi, Y., Gong, S., Guo, H. and Chen, B., “Microstructure, mechanical properties and cracking behaviour in a  $\gamma'$ -precipitation strengthened nickel-base superalloy fabricated by electron beam melting”, *Materials & Design*, 159, 155-169 (2018)
- [12] Jarvis, D. J. and Voss, D., “IMPRESS Integrated Project - An overview paper”, *Mater. Sci. Eng. A*, 413–414, 583–591 (2005)

- [13] E. O. Ezugwu, J. Bonney, and Y. Yamane, “An overview of the machinability of aeroengine alloys,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 134, sayı 2, ss. 233–253, (2003)
- [14] Garimella, L., Liaw, P. K. and Klarstrom, D. L., “Fatigue behavior in nickel-based superalloys: A literature review”, *JOM*, 49 (7):67 (1997)
- [15] O. Bıyık, “Demir bazlı süperalaşımların işlenebilirliğinin deneysel olarak incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, İleri Teknolojiler, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, (2016)
- [16] T. Kıvak ve K. Habalı, “Inconel 718’in delinmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinin araştırılması,” 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, Türkiye, , ss. 286–292. (2009)
- [17] Eric A. J., Zhendong S., Liang W., Lin L., Jeroen R., Andreas W., Dierk R., “Precipitation Reactions in Age-Hardenable Alloys During Laser Additive Manufacturing”, *JOM*, 68 (3), 943-949 (2016)
- [18] C. G. Bieber, “20 and 25% Nickel Maraging Steels,” in *Seminar on Maraging Steels*, p. 10, (1962)
- [19] A. J. Decker, R. F., Eash, J. T., & Goldman, “18% Nickel maraging steel,” *Trans. ASM*, vol. 55, pp. 58–76, (1962)
- [20] Roland Berger. *Additive Manufacturing in Aerospace and Defense*. (2017)
- [21] Casati, R., Lemke, J., Tuissi, A. & Vedani, M. Aging Behaviour and Mechanical Performance of 18-Ni 300 Steel Processed by Selective Laser Melting. *Metals (Basel)*. 6, 218. Available from: <http://www.mdpi.com/2075-4701/6/9/218> (2016).
- [22] Şen B., 18% Nikel Maraging Çelikleri[İnternet]. *Varzene Metal %18 Nikel Maraging Çelikleri V Dergi* (2022)
- [23] O. Öndin “PH 13-8 MO çeliğinin tornalanmasında mql sisteminde kullanılan bitkisel esaslı kesme yağına çok duvarlı karbon nanotüp ilavesinin işleme çıktıları üzerindeki etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, (2019)
- [24] Combrinck, J., et al., Cost-effectiveness of direct metal laser sintered maraging steel inserts for plastic injection moulding process, *South African Journal of Industrial Engineering*, (2019)
- [25] Kempen, K., et al., Microstructure and mechanical properties of Selective Laser Melted 18Ni-300 steel, *Physics Procedia*, 12,255-263, (2011)
- [26] Davis, J., ,1-475 “Tool Materials”, *ASM Specialty Handbook*, ASM International (1995)

- [27] Rigon, d., Meneghetti, G., Görtler, M., Cozzi, D., Waldhauser, W. & Dabalà, M. Influence of defects on axial fatigue strength of maraging steel specimens produced by additive manufacturing, MATEC Web Conf, 165, 2–8. (2018)
- [28] Yıldız Teknik Üniversitesi, Metallerin Plastik Şekillendirilmesi. file:///C:/Users/Acer/Downloads/P%C5%9EV%201.pdf (2022)
- [29] A. M. Hall, “Cobalt, ” vol.24, pp.138–144, (1964)
- [30] ASM International Handbook Committee. ASM Handbook, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys Section: Carbon and Low-Alloy Steels; ASM International: Cleveland, OH, USA, (1990)
- [31] Adrian P. Mouritz, Introduction to Aerospace Materials, Woodhead Publishing (2012)
- [32] Tariq F., Shifa M., Baloch R. A. Effect of Overaging Conditions on Microstructure and Mechanical Properties of Maraging Steel; 62.1-7. (2020)
- [33] Service Stell Aero Space Corporation, Maraging Data Sheet , <https://www.ssa-corp.com/documents/Data%20Sheet%20Maraging.pdf> (2018)
- [34] Çakır, M.C., “Modern talaşlı imalatın esasları”, Vipaş A.Ş, Bursa, 267s (1999)
- [35] Groover, M. P., “Fundamentals of Modern Manufacturing:Materials, Processes, and Systems”, Prentice-Hall Inc., NJ, 1-816 (2013)
- [36] Shaw, M. C., “Metal Cutting Principles”, Oxford University Press, Oxford, 1-20 (1989)
- [37] Pul, M., “Al matrisli Mgo takviyeli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirliğinin değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-191, Ankara, (2010)
- [38] Çiftçi, İ., “Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-129 (2003)
- [39] Sur, G., “Karma takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-267 (2008)
- [40] Zhang, J., “Theory and Technique of Precision Cutting”, Pergamon Press, Oxford, 1-40 (1991)
- [41] Akkurt, M., “Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgâhları”, Birsen Yayınevi, İstanbul, (1992)

- [42] Çiftçi, İ., “URT406-Talaşlı Üretim Prensipleri Ders Notları”, Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği, Karabük (2016)
- [43] Gezgin, A., “Prizmatik parçaların frezelenmesi esnasında, kesici uç sayısının takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2007)
- [44] Demirtaş, D., “Talaş kaldırma Şartlarının belirlenmesinde çok amaçlı karar verme yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 54-65 (1995)
- [45] Şeker, U., Kurt, A. and Çiftçi, İ., “Design and construction of a dynamometre for measurement of cutting forces during machining with linear motion”, *Materials and Design*, 23: 355-360 (2002)
- [46] Günay, M., “Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-232 (2009)
- [47] Kalpakjian, S. and Schmid, S. R., “Manufacturing Engineering and Technology 6th ed.”, Pearson Education (2009)
- [48] Dombovari, Z. and Stepan, G., “On the bistable zone of milling processes” *Philosophical Transactions*, 373: 1-17 (2015)
- [49] Coromant, S., “Modern metal cutting - A practical handbook”, English Edition, Sandvik Coromant, Sweden, 1-10 (1994)
- [50] Lindberg, R., A., “Processes and materials of manufacture”, 4th edition, Prentice-Hall (1990)
- [51] Boothroyd, G. and Knight, W. A., “Fundamentals of machining and machine tools”, 2nd edition, Marcel Dekker, New York (1989)
- [52] Arık, İ., “Farkli adımlı kesici ağızlarına sahip freze çakılarının tırlama titreşimleri üzerine etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-60 (2010)
- [53] İnternet: Technical Data, Surface Roughness, JIS B 0601, Excerpts from, [https://my.misumi-ec.com/pdf/tech/press/pr1167\\_1168.pdf](https://my.misumi-ec.com/pdf/tech/press/pr1167_1168.pdf). (1994)
- [54] Lou, B.M.S., Chen, J.C., and Li, C.M., “Surface roughness prediction technique for CNC end-milling”, *Journal Of. Industrial Technology*, 15 (1), 1-6, (1999)
- [55] Davim, J.P., “Diamond tool performance in machining metal-matrix composites”, *Journal of Material Processing Technology*, 128, 100-105, (2002)
- [56] L. Nisar, B. Banday, M. Amatullah, M. Farooq, A. N. Thoker, A. Maqbool, M.

- A. Wahid “An investigation on effect of process parameters on surface roughness and dimensional inaccuracy using Grey based Taguchi method”, *Materials Today: Proceedings*, (46): 6564–6569 (2021)
- [57] M. S. Chua, M. Rahman, Y. S. Wong, H. T. Loh “Determination of optimal cutting conditions using design of experiments and optimization techniques”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, (33): 297-305 (1993)
- [58] B. Özlü “Experimental and statistical investigation of the effects of cutting parameters on kerf quality and surface roughness in laser cutting of Al 5083 alloy”, *Surface Review and Letters*, (28): 2150093 (2021)
- [59] B. Özlü, M. Akgün “Evaluation of the machinability performance of PH 13-8 Mo maraging steel used in the aerospace industry. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers”, *Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 09544089231216035 (2024)
- [60] E. Çelik “AISI 2507 süper dubleks paslanmaz çeliğin tornalanmasında hibrit soğutma/yağlama tekniklerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2019)
- [61] J. Zhao, Z. Liu, B. Wang, J. Hu, Y. Wan “Tool coating effects on cutting temperature during metal cutting processes: Comprehensive review and future research directions”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, (150): 107302 (2021)
- [62] B. Özlü “Sleipner soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve talaş şekli üzerine etkisinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, (36): 1241-1252 (2021)
- [63] B. Özlü, H. Demir, M. Türkmen, S. Gündüz “Examining the machinability of 38MnVS6 microalloyed steel, cooled in different mediums after hot forging with the coated carbide and ceramic tool”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, (235): 6228-6239 (2021)
- [64] N. A. Abukhshim, P. T. Mativenga, M. A. Sheikh “Heat generation and temperature prediction in metal cutting: A review and implications for high speed machining”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, (46): 782-800 (2006)
- [65] M. Nouari, G. List, F. Giroto, D. Coupard, “Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys”, *Wear*, (255): 1359-1368 (2003)
- [66] G. K. Dosbaeva, M. A. El Hakim, M. A. Shalaby, J. E. Krzanowski, S. C.

Veldhuis “Cutting temperature effect on PCBN and CVD coated carbide tools in hard turning of D2 tool steel”, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, (50): 1-8 (2015)

- [67] M. A. Shalaby, S. C. Veldhuis “Wear and tribological performance of different ceramic tools in dry high speed machining of Ni-Co-Cr precipitation hardenable aerospace superalloy”, *Tribology Transactions*, (62): 62-77 (2019)
- [68] D. Zhang, X. M. Zhang, G. C. Nie, Z. Y. Yang, H. Ding “Characterization of material strain and thermal softening effects in the cutting process”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, (160): 103672 (2021)
- [69] A. M. Khan, M. Alkahtani, S. Sharma, M. Jamil, A. Iqbal, N. He “Sustainability-based holistic assessment and determination of optimal resource consumption for energy-efficient machining of hardened steel”, *Journal of Cleaner Production*, (319): 128674 (2021)

## ÖZGEÇMİŞ

Ali ÇELİK, ilk ve orta öğrenimini Bursa ilinde ve lise öğrenimini Demirtaş Paşa Anadolu Teknik Lisesi'nde tamamlamıştır. 2006 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği Programında öğrenime başlayıp, 2010 yılında mezun olmuştur. Mezuniyet sonrasında Bursa ilinde endüstriyel hidrolik alanında faaliyet gösteren bir kurumda hidrolik proje ve satış mühendisi pozisyonunda çalışmaya başlamıştır.