



**CBN KESİCİ UÇLARI İLE DIN 1.2367 ÇELİK  
MALZEMESİNİN SERT TORNALAMA  
SIRASINDA GÜÇ TÜKETİMİ VE YÜZEY  
PÜRÜZLÜLÜĞÜ İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Naime EREN**

**2021  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Fatih HAYAT**

**CBN KESİCİ UÇLARI İLE DIN 1.2367 ÇELİK MALZEMESİNİN SERT  
TORNALAMA SIRASINDA GÜÇ TÜKETİMİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ  
İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Naime EREN**

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

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Fatih HAYAT**

**KARABÜK  
Haziran 2021**

Naime EREN tarafından hazırlanan “CBN KESİCİ UÇLARI İLE DIN 1.2367 ÇELİK MALZEMESİNİN SERT TORNALAMA SIRASINDA GÜÇ TÜKETİMİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Fatih HAYAT .....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 29/06/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ) .....

Üye : Doç. Dr. Fatih HAYAT (KBÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abidin ŞAHİNOĞLU (CBÜ) .....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ .....

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.”*

Naime EREN

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **CBN KESİCİ UÇLARI İLE DIN 1.2367 ÇELİK MALZEMESİNİN SERT TORNALAMA SIRASINDA GÜÇ TÜKETİMİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Naime EREN**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Fatih HAYAT**

**Haziran 2021, 97 sayfa**

Bu çalışmada, sert tornalama işlemi ile DIN 1.2367 sıcak iş takım çeliğinin işleme özellikleri araştırılmıştır. Deney malzemesinin 55 HRC sertlik değerine ulaşması için homojenleştirme işlemi ile 900 °C’de 2 saat ısıtıldıktan sonra, yağda soğutulmuştur. Soğutulan malzemedeki iç gerilimlerin giderilmesi amacıyla malzeme tekrar 500 °C’ye kadar ısıtılmış ve 1 saat bekletilerek, havada soğutulma yapılmıştır. Malzemenin iç yapısının ve sertliğinin homojen hale geldiğini anlamak amacıyla malzeme yüzeyinde 1 mm talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Daha sonra farklı noktalarda sertlik değeri ölçülmüştür  $\pm 1$  HRC lik sertlik değeri homojen bir sertleştirme işleminin gerçekleştirdiğini göstermektedir. Isıl işlem ile sertleştirilmiş bir DIN 1.2367 sıcak iş takım çeliğinin kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlar kullanılarak işlenebilirliği incelenmiştir. Taguchi  $L_{27}$  dikey dizinine göre sert tornalama deneyleri yapılmıştır. Akım (A), işleme süresi (s), güç tasarrufu (W) ve

ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerinde kesme derinliği, ilerleme miktarı ve kesme hızının etkileri incelenmiştir. Her faktör için üç değer belirlenmiştir. Kesme şartlarının çıkış parametreleri üzerindeki önem seviyeleri varyans analizi ile belirlenmiştir. Ayrıca, bu parametrelerin tahmini için regresyon analizi ile matematiksel modelleme yapılmıştır. Deneysel sonuçlar ile elde edilen çıkış parametrelerinin değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Geliştirilen modellerin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

DIN 1.2367 çeliğinin işlenmesinde, en düşük yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri CBN kesici takım ile 0,10 mm kesme derinliği, 230 m/dk kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında 0,24 µm olarak tespit edilmiştir. En düşük güç tüketimi ise, 0,30 mm kesme derinliği, 230 m/dk kesme hızı ve 0,11 mm/dev ilerleme miktarında 499,45 W olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** DIN 1.2367, CBN, güç tüketimi, yüzey pürüzlülüğü, sert tornalama

**Bilim Kodu** : 91514

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN POWER CONSUMPTION AND SURFACE ROUGHNESS DURING HARD TURNING OF DIN 1.2367 STEEL WITH CBN TOOLS**

**Naime EREN**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Metallurgy and Materials Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Fatih HAYAT**

**June 2021, 97 pages**

In this study, the machining properties of DIN 1.2367 hot work tool steel with hard turning were investigated. In order for the test material to reach a hardness value of 55 HRC, it was cooled in oil after being heated at 900 °C for 2 hours by homogenization. In order to relieve the internal stresses in the cooled material, the material was reheated to 500 °C and kept for 1 hour, and then cooled in air. In order to understand that the internal structure and hardness of the material became homogeneous, 1 mm chip removal was performed on the material surface. Then, the hardness value was measured at different points. The hardness value of  $\pm 1$  HRC indicates that a homogeneous hardening process was carried out. The machinability of a DIN 1.2367 hot work tool steel hardened by heat treatment using cubic boron nitride (CBN) cutting tools was investigated. Hard turning experiments were carried out according to the Taguchi  $L_{27}$  vertical sequence. The effects of cutting depth, feed

rate and cutting speed on current (A), machining time (s), power saving (W) and average surface roughness (Ra) were investigated. The effects of depth of cut, feed rate and cutting speeds on factors such as current (A), time (s), power consumption (W) and average surface roughness (Ra) were investigated. Three values are determined for each factor. The significance levels of the cutting conditions on the output parameters were determined by analysis of variance. In addition, mathematical modeling with regression analysis was performed to estimate these parameters. The applicability of the developed models was evaluated by comparing the values of the output parameters obtained with the experimental results.

In the processing of DIN 1.2367 steel, the lowest surface roughness (Ra) value was determined as 0,24  $\mu\text{m}$  with a CBN cutting tool at 0,10 mm cutting depth, 230 m/min cutting speed and 0,05 mm/rev feed rate. The lowest power consumption was determined as 499,45 W at 0,30 mm cutting depth, 230 m/min cutting speed and 0,11 mm/rev feed rate.

**Key Word** : DIN 1.2367, CBN, power consumption, surface roughness, hard turning

**Science Code** : 91514



## TEŞEKKÜR

Bu tez alışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yrtlmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Fatih HAYAT'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımnda ve testlerimin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Karabük niversitesi'nden Prof. Dr. Mustafa GÜNAY'a ve Manisa Celal Bayar niversitesi'nden Dr. Öğr. Üyesi Abidin ŞAHİNOğLU'na teşekkür ederim.

Değerli eşim Öğr. Gör. Halil EREN'e ve sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	6
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	6
BÖLÜM 3 .....	28
ÇELİKLER VE KULLANIM YERLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI.....	28
3.1. ÇELİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	28
3.2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	30
3.2.1. Otomat Çelikleri .....	33
3.2.2. Yay Çelikleri.....	34
3.2.3. İmalat Çelikleri .....	35
3.2.4. Sementasyon Çelikleri.....	36
3.2.5. Paslanmaz Çelikler .....	37
3.2.6. Islah Çelikleri.....	38
3.2.7. Takım Çelikleri.....	38

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 4 .....	40
KURAMSAL TEMELLER .....	40
4.1. İŞLENEBİLİRLİK .....	40
4.1.1. İşlenebilirliğin Ölçülebilmesi .....	41
4.1.2. Kesme İşleminde Oluşan Isı .....	41
4.1.3. Takım Aşınması.....	43
4.1.4. Titreşim ve Ses Yoğunluğu .....	44
4.2. KESİCİ TAKIMLAR .....	45
4.2.1. Kesici Takım Malzemeleri .....	46
4.2.1.1. Yüksek Hız Çeliği.....	46
4.2.1.2. Sementit Karbür .....	46
4.2.1.3. Kaplamalı Sementit Karbür .....	47
4.2.1.4. Sermet .....	47
4.2.1.5. Seramik .....	47
4.2.1.6. Çok Sert Kesici Takımlar.....	48
4.3. KESME KUVVETLERİ VE GÜÇ TÜKETİMİ .....	48
4.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	50
4.4.1. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü .....	50
4.4.2. Gerçek Yüzey Pürüzlülüğü.....	51
4.4.3. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler .....	51
BÖLÜM 5 .....	52
MATERYAL VE YÖNTEM.....	52
5.1. GİRİŞ.....	52
5.2. DENEY MALZEMESİ .....	52
5.2.1. Deney Malzemesinin Hazırlanması .....	53
5.2.2. Mikroyapı İncelemesi .....	53
5.2.3. Sertlik Ölçümü.....	56
5.3. DENEY MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ .....	56
5.3.1. Takım Tezgâhı ve Kesici Takımlar .....	56
5.3.2. Ölçüm Cihazları.....	58
5.3.2.1. Akım Değeri Ölçüm Cihazı .....	58

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.3.2.2. Yüzey Pürüzlülük Değeri Ölçüm Cihazı .....	59
5.4. DENEY TASARIMI VE MATEMATİKSEL MODELLEME .....	62
5.4.1. Deney Tasarımı.....	62
5.4.2. Yüzey Tepki Metodu ile Modelleme .....	62
BÖLÜM 6 .....	64
DENEY SONUÇLARI .....	64
6.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	67
6.1.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Modellenmesi .....	69
6.2. MOTOR AKIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	72
6.2.1. Motor Akımının Modellenmesi .....	73
6.3. TOPLAM İŞLEME SÜRESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	76
6.3.1. Toplam İşleme Süresinin Modellenmesi .....	76
6.4. TOPLAM GÜÇ TÜKETİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	79
6.4.1. Toplam Güç Tüketiminin Modellenmesi.....	80
6.5. TARTIŞMA.....	83
BÖLÜM 7 .....	85
SONUÇLAR .....	85
KAYNAKLAR .....	87
ÖZGEÇMİŞ .....	97

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 3.1. Fe-C denge diyagramı.....	28
Şekil 3.2. Çeliklerin farklı özelliklere göre sınıflandırılması.....	31
Şekil 3.3. Otomat çelik parçalar.....	34
Şekil 4.1. Kesme bölgesi ısı oluşumu.....	42
Şekil 4.2. Aşınma tipleri ve bölgeleri.....	44
Şekil 4.3. Aşınma mekanizmaları.....	44
Şekil 4.4. Kesme kuvvetlerinin şematik gösterimi.....	49
Şekil 5.1. 100X büyütme ile çekilen mikroyapı görüntüsü .....	54
Şekil 5.2. 200X büyütme ile çekilen mikroyapı görüntüsü .....	54
Şekil 5.3. 500X büyütme ile çekilen mikroyapı görüntüsü .....	55
Şekil 5.4. 1000X büyütme ile çekilen mikroyapı görüntüsü .....	55
Şekil 5.5. CNC torna tezgahı.....	57
Şekil 5.6. Kesici takım geometrisi.....	57
Şekil 5.7. UNI-T UT 201 model Pens ampermetre.....	59
Şekil 5.8. Surf test SJ-201 pürüzlülük ölçüm cihazı.....	60
Şekil 6.1. Yüzey pürüzlülüğü için ana etkilerin grafiği.....	67
Şekil 6.2. İlerleme miktarı, $f$ (mm/dev) ve Kesme hızı, $V$ (m/dk) değerlerinin yüzey pürüzlülük, $R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) değeri üzerine olan etkileri.....	68
Şekil 6.3. Motor akım değeri için ana etkilerin grafiği.....	72
Şekil 6.4. İlerleme miktarı, $f$ (mm/dev) ve kesme derinliği, $a$ (mm) değerlerinin motor akım değeri ( $A$ ) üzerine olan etkileri.....	73
Şekil 6.5. Toplam işleme süresi değerleri için ana etkilerin grafiği.....	76
Şekil 6.6. Güç tüketimi değeri için ana etkilerin grafiği.....	79
Şekil 6.7. İlerleme miktarı, $f$ (mm/dev) ve kesme hızı, $V$ (m/dk) değerlerinin güç tüketim değeri ( $W$ ) üzerine olan etkileri.....	80
Şekil 6.8. İlerleme miktarı, $f$ (mm/dev) ve kesme derinliği, $a$ (mm) değerlerinin güç tüketim değeri ( $W$ ) üzerine olan etkileri.....	80

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. AISI (ABD) normlarına göre çeliklerin kodlanması.....	30
Çizelge 5.1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %).....	53
Çizelge 5.2. Sertlik ölçümleri (HRC).....	56
Çizelge 5.3. Takım tutucunun teknik özellikleri.....	58
Çizelge 5.4. UNI-T UT 201 model Pens ampermetrenin teknik özellikleri.....	59
Çizelge 5.5. Mitutoyo Surftest SJ-201 cihazının teknik özellikleri.....	60
Çizelge 5.6. Faktörler ve seviyeleri.....	62
Çizelge 6.1. Deney sonuçları.....	66
Çizelge 6.2. Yüzey pürüzlülüğü için tahmini regresyon katsayıları ( $\mu\text{m}$ ).....	69
Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ ) için varyans analizi.....	69
Çizelge 6.4. Katsayılar.....	70
Çizelge 6.5. Akım değeri için tahmini regresyon katsayıları (A).....	73
Çizelge 6.6. Motor akım değeri için varyans analizi (A).....	74
Çizelge 6.7. Katsayılar.....	74
Çizelge 6.8. Toplam işleme süresi için tahmini regresyon katsayıları (s).....	77
Çizelge 6.9. İşleme süresi değeri için varyans analizi (s).....	77
Çizelge 6.10. Katsayılar.....	78
Çizelge 6.11. Güç tüketimi değeri için tahmini regresyon katsayıları (W).....	81
Çizelge 6.12. Güç tüketimi değeri için varyans analizi (W).....	81
Çizelge 6.13. Katsayılar.....	82

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Fe	: Demir
C	: Karbon
Cr	: Krom
Mn	: Mangan
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Cu	: Bakır
Al	: Alüminyum
Zn	: Çinko
Ti	: Titanyum
Nb	: Niyobyum
Mo	: Molibden
V	: Vanadyum
W	: Tungsten
N	: Newton
Ra	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü
$F_f$	: İlerleme kuvveti
$F_c$	: Kesme kuvveti
$F_r$	: Radyal kuvvet
a	: Kesme derinliği
V	: Kesme hızı
f	: İlerleme miktarı

## KISALTMALAR

DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
SAE	: Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Topluluğu)
PCD	: Polly Crystal Diamond (Yapay ortamda üretilmiş elmas malzeme)
CBN	: Cubic Boron Nitride (Kubik Bor Nitrür)
RSM	: Response Surface Methodology (Yanıt Yüzey Yöntemi)
Grp	: Grafit
HRC	: Rockwell Sertlik Birimi
SNR-S/N	: Signal to Noise Ratio (Sinyal-Gürültü Oranı)
ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
MQL	: Minimum Quantity Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama)
MRR	: Material Removal Rate (Malzeme Kaldırma Oranı)
AOM	: Analysis of Means (Ortalamaların Analizi)
HT	: Harn Turning (Sert Tornalama)
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
FCCD	: Face-Centered Composite Design (Yüzey Merkezli Kompozit Tasarım)
CCD	: Center Composite Design (Merkezi Kompozit Tasarım)
FIS	: Fuzzy Inference System (Bulanık Çıkarım Sistemi)
SA	: Simulated Annealing (Benzetimli Tavlama Algoritması)
PSO	: Particle Swarm Optimization (Parçacık Sürüsü Optimizasyonu)
HSS	: High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Endüstriyel uygulama alanlarının temellerinden biri olan imalat, geniş bir yelpazeye sahiptir ve geliştirilmesi ile incelenmesi her geçen gün olumlu yönde artarak ilerlemektedir. İmalat yöntemleri çeşitli gereksinimleri karşılamak adına çeşitlenerek gelişmektedir. İmalat süreci boyunca doğru parametreler seçmek ve hedefleri karşılayacak en doğru yöntemi belirlemek oldukça önemlidir. Bu nedenle en doğru zamanda, yerde ve verilerle işlem gerçekleştirmek, üretimin temel gerekliliği olarak karşımıza çıkmaktadır [1]. Günümüzde endüstriyel alanda birden fazla üretim yöntemi ile karşılaşmak mümkündür ancak bu yöntemler arasından en çok kullanılan talaşlı imalat nihai işleme metodu olarak bilinmektedir. Talaşlı imalat, birçok üretim yöntemleri arasından en pahalı yöntem olarak göze çarpmaktadır. Rekabet olgusunun fazla olduğu durumlarda talaşlı imalat gerçekleştirmek için seri imalat, kalite ve ekonomi olguları öne çıkmaktadır. Bunu gerçekleştirmek için ise, doğru kesici takım, malzeme ve doğru kesme parametrelerini (ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliği) seçmek son derece önemlidir. Bu şartlar en yüksek seviyede oluşturulmadığı zaman üretimde verimi yakalamak ve sürekliliği sağlamak oldukça zor olacaktır. Bu nedenlerden dolayı işleme yapılacak malzeme, kesici takım ve kesme verileri çok iyi bir şekilde seçilmeli ve kesme sırasında meydana gelecek kötü koşullar ortadan kaldırılmalıdır [1,2].

Günümüz koşullarında her türlü amaç ve gereksinim için kullanılacak çok fazla malzeme vardır. Malzemeler ile ilgili bilgilere sahip olmak, doğru malzemeyi kullanabilmek adına oldukça önemlidir. Endüstride en doğru malzeme, genellikle istenilen gereksinimleri tam anlamıyla gerçekleştiren en ekonomik, verimli ve en faydalı malzemedir [2]. Malzeme seçiminde ilk olarak kullanım yerine göre malzeme mukavemetinin gereksinimleri karşılayıp karşılamadığına bakılır. Bu doğrultuda malzemenin mekanik özelliklerinden kopma sınırı, akma noktası, çekme

mukavemeti, süneklik, elastikiyet modülü, sertlik ve aşınma direnci gibi farklı özellikler incelenir. Bu özelliklere ek olarak ısıl özellikleri ve elektriksel özellikleri gibi fiziksel özellikleri ile korozyon direnci gibi kimyasal özellikler de malzemelerin belirlenmesinde etkilidir [2]. Farklı özellikleri bilinen malzemeler kullanılacağı bölgelerde talaş kaldırma işlemine maruz kalmaktadır. Kullanım alanına ve koşullarına göre malzeme belirlenmesi yapıldıktan sonra, bir diğer önemli aşama talaş kaldırma işlemi esnasında şekil vermeye yardımcı olacak kesici takımın belirlenmesidir. Malzemelerin talaşlı imalatında doğru kesici takım belirlemek şarttır. Aksi halde doğru kesme şartları oluşmayacak ve arzu edilen kalite ve özellikte kesme sonuçları ortaya çıkmayacaktır. Belirlenen tokluk ve sertlik özellikleri sağlanmış olan malzemeyi işleyecek olan kesici, kesme esnasında oluşacak aşınma ve ısıya karşı direnç göstermelidir. Bu nedenle, kesici takım seçiminde işlenecek olan malzemenin türü de önemli bir etken faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Her ne kadar malzeme ve kesici takım seçimini en doğru şekilde yapmak talaşlı imalatta oldukça önemli olsa da, tam anlamıyla yeterli değildir. Bu nokta da ise karşımıza bir diğer önemli aşama çıkmaktadır. Verimli kesme parametrelerinin tayin edilmesi malzeme seçimi ve kesici takım belirlenmesinden sonra ki bir diğer önemli kısımdır. İşleme yapılacak malzemeye ve kullanılacak kesici takım özelliklerine uygun kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme saptanmalıdır. Ancak bu şartlar altında doğru kesme işlemi gerçekleşecek, arzu edilen kalite ve verimde üretim yapılması sağlanmış olacaktır [1,2].

Çelik malzemeler, günümüzde çok farklı kullanım alanına sahiptir. Farklı amaçlarda kullanıldığı için ve yapısal olarak tanımlanması uzmanlık ve tecrübe gerektirir. Çelik malzemeler günlük hayatımızda hemen hemen her alanda ihtiyaç duyulan bir malzemedir. Demir esaslı metal malzemeler Demir-Karbon (Fe-C) alaşımları ve alaşımlı çelikler olmak üzere ikiye ayrılırlar ve incelenirler [3-6]. Birinci grup alaşımlarda yalnızca Fe ve C elementleri içerik oluştururken, ikinci grup alaşımlar da bu elementlerin yanı sıra ek olarak Krom (Cr), Mangan (Mn), Nikel (Ni) gibi farklı alaşım elementleri de içerik içerisinde bulunmaktadır. Çelikler, Karbon (C) elementinin bileşik yüzdesinde farklılık göstermesiyle ve % 0,02 ile % 2 arası karbon içermesiyle oluşan alaşımlardır. Çeliklerin sınıflandırılması birçok yönetime göre yapılabilmektedir. Ancak, temelde, çelik alaşım içerisindeki C miktarı

gruplandırılmada önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda genel olarak çelikler bileşiklerindeki C oranına göre üçe ayrılırlar. Bunlar, düşük karbonlu çelikler (% 0,25'e kadar C), orta karbonlu çelikler (% 0,25-0,55 C) ve yüksek karbonlu çelikler (% 0.55'den fazla C)'dir [3-6].

Son dönemde birçok endüstri alanında düşük alaşımlı orta karbonlu çeliklerin kullanıldığını görmek mümkündür. Bu çelik malzemeler sanayi alanında haddelenmiş veya döküm şeklinde çok farklı kullanım alanlarına sahiptir. Mekanik özellikleri açısından yüksek mukavemete ve yüksek tokluğa sahip bu malzemeler bu özelliklerinden dolayı çok tercih edilirler. Bu çelikler, düşük maliyet ve kolay dökülebilirlik gibi sebeplerden dolayı karmaşık şekilli malzemelerin üretiminin yapılmasında da kullanılırlar [1].

DIN 1.2367 sıcak iş takım çelikleri; metal, plastik ve ahşap gibi malzemelerin işlenerek şekillendirilmesinde kullanılan parçaların üretiminde etkili olarak tercih edilmektedir. Bu malzemeler için, yüksek ısı direnci ve yüksek aşınma ile sertliklerinin yüksek olması önemli özelliklerindedir. Deliciler, zımbalar, derin çekme kalıpları, kesme bıçakları, kesme kalıpları ve ekstrüzyon gibi parça üretimi alanlarında kullanıldıkları için takım çelikleri ayrı bir öneme sahiptir [7]. Takım çeliklerinin işlenmesinde en popüler olarak talaşlı imalat olmakla beraber taşlama, tornalama ve frezeleme gibi birçok modern ve geleneksel üretim yöntemleri kullanılır. Talaşlı imalat işlemlerinde verimli sonuç almak için kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızı gibi parametreler oldukça önemlidir [8]. Takım çelikleri son kullanım alanlarına bakılarak genelde sertleştirme işlemine tabi tutulurlar. Sertleştirme işlemi uygulanmış çeliklere çoğunlukla son bitirme işlemleri yapılır. Bu durum da kesme derinliklerinin az olması anlamı taşır. Finitiş (son bitirme) işlemlerinde ki bazı parametreler üretimde önemli yer tutar. Bunlar, tolerans, ölçü ve yüzey kalitesi ile işleme faaliyetinin oluşturduğu yüzey şekli ve onun karakteristiğidir. Yüksek üretim kapasitesi, iyi bir bitirme yüzeyi, işleme faktörlerinin tam olarak optimizasyonu, takım ömrü, kesme kuvvetlerinin düşüklüğü, güç sarfiyatı ve ölçü tamlığı gibi sonuçlar geleneksel imalat metotları ile elde edilir [9].

Bu çalışmada, yaygın kullanıma sahip olan DIN 1.2367 malzemesinin, talaşlı imalat esnasında, farklı kesme hızı, farklı ilerleme miktarı ve farklı talaş derinliklerinde işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Yüksek sertlik değerine sahip olan bu malzemeler finiş tornalama işlemlerine tabi tutularak, taşlama kalitesinde yüzey pürüzlülük değeri elde edilmesi planlanmıştır. Bu şekilde yüksek dayanıma sahip olan bu malzemelerin aynı zamanda yüksek yüzey kalitesine sahip olması amaçlanmaktadır. Sert tornalama işlemine göre oldukça maliyetli olan ve zaman alan taşlama kalitesinden yüzey pürüzlülük değerlerinin, çok daha kısa ve ekonomik olarak elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Hazırlanan bu çalışma, genel itibarıyla literatür taraması ve deneysel çalışmalar olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Ancak, literatür taraması ve deneysel çalışmalar kendi içinde üç konu başlığı altında oluşturulmaya çalışılmıştır. Bunlardan birinci bölüm “Giriş” olup burada çalışmanın kısa özeti ile birlikte kullanılan çelik malzemeleri ve imalat yöntemleri hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Genel olarak, ikinci, üçüncü ve dördüncü bölümlerde literatür taraması yapılarak çalışma hakkında genel bilgiler aktarılmıştır. Bu amaçla sırasıyla ikinci bölümde, literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde, çelik malzemeler ve bunların kullanım alanlarına göre sınıflandırılması verilmiştir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan çelik malzemelere ve özelliklerine değinilmiştir. Dördüncü bölümde, bu çalışma esnasında karşılaşıcağımız tornalama, işlenebilirlik ve yüzey pürüzlülüğü konuları ele alınmış ve kuramsal temeller başlığı altında bu konular hakkında bilgiler verilmiştir.

Beşinci bölümde, çalışmanın amacının belirlenmesinin yanında, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, kullanılan parametreler, kullanılan cihazlar, uygulanan testler ve bu testlerin uygulandığı cihazların karakterizasyon özellikleri tanıtılmıştır.

Çalışmanın altıncı bölümünde, numunelere uygulanan testlerden elde edilen veriler, kolay değerlendirilebilmesi için grafik olarak çizilmiş ve elde edilen grafikler değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular, daha önceden yapılmış benzer çalışmalarla sebep-sonuç ilişkisi ile kıyaslanmıştır.

Deneysel çalışmaların nihai sonuçlarının açıklandığı yedinci ve son bölümde, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular, deneysel çalışmanın amacına uygun bir biçimde yorumlanarak sonuçlandırılmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Araştırmacılar, sert tornalama vb. işlemlerde meydana gelen kesme kuvvetlerinin modellenmesi, işlenebilirlik, güç tüketimi, ses yoğunluğu ve yüzey pürüzlülüğü gibi konular üzerine pek çok çalışma yapmışlardır. Ancak elde edilen verimleri arttıracak kesme modellerine ulaşılabileceği, karmaşık olmayan modeller oluşturulabileceğini düşünmektedirler. Ayrıca bu tür araştırmaların geliştirilebilirliği bakımından günümüzde daha çok ilgi odağı haline gelmiştir.

Belirlenen kesici takım ve kesme girdileriyle, kullanılacak deneysel malzemenin yüzey pürüzlülüğünün geliştirilmesi için araştırmalar yapılmıştır. Maliyet açısından daha düşük değerlere ulaşabilmek, zamanı idareli kullanabilmek ve başkaca önemli durumları gerçekleştirebilmek adına yüzey pürüzlülüğü, güç tasarrufu, kesme kuvvetleri ve takım malzemelerinin kullanma ömrü gibi işleme çıktı parametrelerinin tahmininde matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu problemlerin giderilmesi için bilim insanları işleme esnasındaki durumları simüle etmeyi amaçlayan modeller önermektedirler. Literatürde, bu modellerin birçok örneğini görmek mümkündür.

Talaşlı imalat, üretim aşamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Talaşlı imalat alanında, kesme kuvvetleri, ses yoğunluğu, takım aşınması, güç tasarrufu takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü konularında birçok araştırma yapılmıştır. Sert tornalama alanında bu konular üzerine yapılmış çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir. Özellikle farklı birçok malzeme üzerinde çalışıldığı gösterilmiştir. Bunlar, demir alaşımları, demir dışı alaşımlar ve hafif metaller olarak sıralanabilir.

Nalbant vd., nikel esaslı süper alaşım Inconel 718 malzemesini kullanarak kesme hızının ve kesici takım geometrisinin kesme kuvvetleri üzerindeki işlenebilirlik etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Deney sonucunda, takım geometrisine göre

kesme kuvvetlerini en düşük 672 N ve en yüksek 1346 N olarak elde etmişlerdir. Kesme hızına bağlı olarak ise, kesme hızı azaldıkça, kesme kuvvetinin arttığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, yüksek kesme hızlarında plastik deformasyon, yan kenar aşınması, çentik ve talaş yapışması gibi sorunların meydana geldiğini belirlemişlerdir [10].

Thakur vd., tungsten karbür uç (K20) aleti kullanarak yüksek hızlı tornalama sırasında süperalaşım Inconel 718 süperalaşımın işlenebilirliği üzerine deneysel bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada, işleme parametrelerinin kesme kuvveti, özgül kesme basıncı, kesme sıcaklığı, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü kriterlerine etkisini incelemişlerdir. Araştırma bulgularına göre, ekonomik tungsten karbür takımları kullanılarak malzemenin yüksek hızda işlenmesi sırasında pahalı PCD veya CBN araçlarına kıyasla daha ekonomik bir işleme çözümü sağlanacaktır. Bu mevcut yaklaşımın, imalat mühendisleri için yüksek hızlı tornalama sırasında Inconel 718'in işlenebilirliğini anlamada yardımcı olacağı tespit edilmiştir [11].

Suresh vd., sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin tornalanması esnasında kaplamalı karbür uç kullanarak yüzey tepki yöntemi (RSM) tabanlı ikinci dereceden matematik modelleri yardımıyla kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve işleme süresinin; işleme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması gibi işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda, düşük ilerleme hızı, düşük kesme derinliği ve düşük işleme süresi ile yüksek kesme hızının kombinasyonunun, işleme kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmede yararlı olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Ayrıca, etkileşim grafiklerinin, daha düşük ilerleme hızıyla daha düşük kesme hızı kullanmanın takım aşınmasını azaltabileceğini gösterdiğini belirlemişlerdir [12].

Anil vd., yaptıkları çalışmada grafit (Grp) takviyeli Al 8011 malzemesini geleneksel karıştırma döküm işlemi ile birleştirmişlerdir. Hazırlanan kompozitin yüzey pürüzlülüğünü ve işlenebilirliğini, devir sayısı, kesme derinliği ve ilerleme hızı gibi işleme parametrelerini 3 seviyede değiştirerek ve BANKA marka torna cihazı ile bağlı torna takım dinamometre kullanarak incelemişlerdir. İşlenmiş yüzeylerin pürüzlülük ortalamasını (Ra) ise, yüzey pürüzlülük test cihazı (Mitutoyo SJ201)

kullanarak ölçmüşlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda, bir kompozitin mekanik özelliklerinin Grp ilavesiyle arttığını ve donatı yüzdesi ile kesme kuvvetinin azaldığını ve dolayısıyla kompozitlerin işlenebilirliğini artırdığını belirlemişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünde artışla karşılaşıldığını tespit etmişlerdir [13].

Marimuthu vd., çalışmalarında, kuru koşullarda kullanılan kaplamalı kesici takımların farklı durumları ile AISI 316 üzerinde CNC tornalama işlemi ile elde edilen yüzey pürüzlülüğünün analizini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. İlk durum için TiCN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile çok katmanlı ve ikinci durum için (Ti, Al) N ile tek katmanlı kaplama uygulamışlardır. Deneysel analizler sonucunda, (Ti, Al) N tek katmanlı kaplamada, SR'nin en aza indirilmesi için optimum parametre ayarını, 110 m/dk kesme hızında, 0,1 mm/dev ilerleme hızında ve 2,1 mm kesme derinliğinde elde etmişlerdir. TiCN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> çok katmanlı kaplamada, SR'nin en aza indirilmesi için optimum parametre ayarını, 160 m/dk kesme hızında, 0,2 mm/dev ilerleme hızında ve 2,1 mm kesme derinliğinde elde etmişlerdir. Bu rakam analizinden, (Ti, Al) N tek katmanlı kaplamanın, TiCN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ten daha iyi performans gösterdiğini belirlemişlerdir [14].

Bayraktar ve Hekimoğlu, yaptıkları bu çalışmalarında, sırasıyla ağırlıkça % 5, 15, 25 ve 35 Zn içeren Al-5Zn, Al-15Zn, Al-25Zn ve Al-35Zn alaşımlarını sabit kalıp döküm yöntemi ile üretmişlerdir. Üretilen alaşımların kesme testlerini bir dik işleme merkezinde gerçekleştirmişlerdir. Testler sırasında kesme kuvvetlerini sürekli olarak ölçmüşler ve bir yazılım tarafından kaydetmişlerdir. Deneysel verilerin sonucunda, çinko içeriği arttıkça kesme kuvvetinin, yüzey pürüzlülüğünün, talaş yığılmasının (BUE), yığılma tabakası (BUL) oluşumunun ve alaşımların işlenmesinde oluşan talaş boyutunun azaldığını gözlemlemişlerdir. Al-(5-35)Zn alaşımlarının kaplamasız WC takımlarıyla işlenmesinin, titanyum-alüminyum-nitrür (TiAlN) kaplamalı takımlara kıyasla hem daha düşük kesme kuvvetleri hem de daha iyi yüzey kalitesi sağladığını belirlemişlerdir [15].

Luo vd., yaptıkları çalışmada farklı işleme yöntemleri altında kesme parametrelerinin 7075-T651 alüminyum alaşımının kesme performansına etkisini araştırmayı amaçlamışlardır. Normal kesim, x-yönlü ultrasonik titreşim kesim, y-yönlü



ultrasonik titreşim kesim ve eliptik ultrasonik titreşim kesim işlemleri ile çeşitli kesme parametreleri değerlerini simüle etmişlerdir. Bu çalışma sonucunda, kesme hızı 160 ile 280 m/dk arasında olduğunda, kesme hızının artmasıyla birlikte, dört işleme yöntemi altındaki ana kesme kuvveti değerinin kademeli olarak arttığını göstermişlerdir. 280-320 m/dk'da ise, normal kesmenin ana kesme kuvveti değerini düşürdüğü saptanmıştır. İlerleme ve kesme derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetinin arttığı, aynı zamanda, kesme hızının ve ilerlemenin artmasının, kesme sıcaklığını ve bıçak-talaş temas alanının sıcaklığını arttırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, kesme derinliğinin, kesme işlemi sırasında sıcaklık üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğunu gözlemladiler. Kesme parametreleri değiştiğinde ise, dört işleme modunun kesme sıcaklıklarını şu sırada tespit ettiler: eliptik titreşimli kesme > y yönünde titreşimli kesme > x yönü titreşimli kesme > normal kesim. Kesme hızı ve ilerleme arttığında, artık gerilmenin büyüklüğünün ve derinliğinin bir dereceye kadar arttığını ve kesme derinliğinin artmasıyla, kesimin ürettiği ısının arttığını, ancak ısının çoğunun talaşlar aracılığıyla taşındığını, bunun da ısıl gerilmenin daha düşük etkisine ve artık gerilimin üzerindeki faz değişikliklerine neden olduğunu belirlemişlerdir [16].

Shnfir vd., bu çalışmada, SiAlON ve iğnecik (SiCW) bazlı seramik kesici uçlar kullanarak yüzey frezeleme sırasında sertleştirilmiş çelik AISI 1045'in işlenebilirliğini araştırarak; kesme parametrelerinin, frezeleme konfigürasyonunun, kenar hazırlığının ve iş malzemesi sertliğinin sonucunda ortaya çıkan kesme kuvveti, güç tüketimi ve yan takım aşınması gibi işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmanın sonucunda, Sonuçlar, SiAlON seramik kalitesinde bilenmiş kenarlı kesici uçlar ile daha düşük kesme kuvvetlerinin kaydedildiğini göstermişlerdir. Ek olarak, sonuçta ortaya çıkan kesme kuvvetlerindeki azalmayı, düşük ilerleme hızları ve artan sertlik ile ilişkilendirmişler ve ilerleme hızı ile kesme hızının da kesme gücü miktarında ki en büyük etkiye sahip faktörler olarak tanımlamışlardır. Seramik kesici uçlardaki serbest yüzey aşınmasından sorumlu ana aşınma mekanizmalarının mikro ölçekli aşınma ve mikro talaş olduğunu belirtmişlerdir. Düşük kesme hızında ve yüksek ilerleme hızlarında serbest yüzey aşınmasının arttığını gözlemlenmeleriyle birlikte, mikro talaşın çoğunlukla darbe parçalanmasına daha duyarlı olan radyal takım kenarı formunun

döngüsel yüklemesinden kaynaklandığını saptamışlardır. Böylece, pahlı takım kenarı hazırlığına sahip takımların kullanımının, gözlemlenen aşınma değerlerini büyük ölçüde iyileştirdiği sonucunu elde etmişlerdir [17].

Davim ve Figueira, 60 HRC sertliğe kadar ısıl işlem görmüş soğuk iş takım çeliği D2 (AISI) üzerinde yüzey bitirme işlemlerinde yaklaşık (% 70)  $Al_2O_3$  ve (% 30) TiC'den oluşan seramik kesme aletleri kullanarak deneysel bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliğini araştırmak için, ortogonal dizi ve varyans analizi (ANOVA: Analysis of Variance) kullanan kombin bir teknik kullanmışlardır. Testlerin sonucunda, uygun kesme parametreleri ile silindirik taşlama işlemlerini ortadan kaldıran bir yüzey pürüzlülüğü ( $R_a < 0,8 \text{ lm}$ ) elde etmenin mümkün olduğunu göstermişlerdir [18].

Asiltürk ve Akkuş, çalışmalarında yüzey pürüzlülüğünü ( $R_a$  ve  $R_z$ ) en aza indirmek için Taguchi yöntemine dayalı olarak tornalama parametrelerini optimize etmeye odaklanmışlardır. Kuru tornalama testlerini sertleştirilmiş AISI 4140 (51 HRC) üzerinde kaplamalı karbür kesici takımlar ile gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızının, ilerleme hızının ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmak için sinyal-gürültü oranının (SNR: Signal to Noise Ratio) istatistiksel yöntemlerini ve varyans analizini (ANOVA) uygulamışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, ilerleme hızının  $R_a$  ve  $R_z$  üzerinde en önemli etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Ek olarak, ilerleme hızı-kesme hızı ve kesme derinliği-kesme hızı arasındaki iki faktörlü etkileşimlerin etkilerinin önemli görüldüğünü belirlemişlerdir. Geliştirilen modelin, minimum yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme parametrelerini belirlemek amacıyla metal işleme endüstrilerinde kullanılabileceğini saptamışlardır [19].

Mia vd., yaptıkları bu çalışmada, kaplamalı sement karbür takım kullanılarak minimum miktarda yağlama (MQL: Minimum Quantity Lubrication) destekli sert tornalamada pürüzlülük parametrelerini ( $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_z$ ), takım aşınma parametrelerini ( $V_B$ ,  $V_S$ ) ve malzeme kaldırma oranını (MRR: Material Removal Rate) çalışmışlardır. Çalışmalar sonucunda; kantitatif analizle, kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü etkilediğini, kesme derinliğinin takım aşınmasını etkilediğini ve

ilerleme hızının ağırlıklı olarak malzeme kaldırma oranını etkilediğini ortaya çıkardılar. Görüntülü kanıtlara göre ise yapışma, aşınma ve kenar birikmesinin, geçerli aşınma mekanizması olarak bulunduğunu belirlemişlerdir [20].

Addona ve Raykar, çalışmalarında, yağla sertleşen çekmeye karşı dayanıklı çeliğin sert tornalamasında silici uçların performansını araştırmışlardır. Burada en büyük vurgu, silici kesici ucun performansını geleneksel kesici uçlarla yüzey kalitesi açısından incelemek ve karşılaştırmaktır. Hız, ilerleme, kesme derinliği ve köşe yarıçapı (silici ve geleneksel kesici uçlar için) gibi işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini, varyans analizi (ANOVA) ve ortalamaların analizi (AOM: Analysis of Means) grafiklerini kullanarak analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda, silici uçların geleneksel kesici uçlara kıyasla çok iyi işlenmiş bir yüzey ürettiğini belirtmişlerdir [21].

Aouici vd., yaptıkları çalışmada, sert tornalamada kesme hızı, ilerleme hızı, iş parçası sertliği ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti bileşenleri üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. AISI H11 çeliğini (40, 45 ve 50) HRC'ye sertleştirmişlerdir, % 57 CBN ve % 35 TiCN'den yapılan kübik bor nitür (Sandvik Company'den CBN 7020) kullanılarak işlemlerini yapmışlardır. Deneysel analizler sonucunda, kesme kuvveti bileşenlerinin esas olarak kesme derinliği ve iş parçası sertliğinden etkilendiğini belirlemişlerdir. İlerleme kuvvetinin ( $F_a$ ) ve kesme kuvvetinin ( $F_v$ ), kesme derinliğinden sırasıyla (% 56,77) ve (% 31,50) olarak güçlü bir şekilde etkilendiğini göstermişlerdir. Bu durumun aksine, kesme hızının çok küçük bir etkisi (% 0,14) olduğunu da saptamışlardır. Öte yandan, hem ilerleme hızı hem de iş parçası sertliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel öneme sahip olduğunu da tespit etmişlerdir. En iyi yüzey pürüzlülüğünü, daha düşük ilerleme hızında ve en yüksek kesme hızında elde etmişlerdir [22].

Elbah vs., bu çalışmada, AISI 4140 sertleştirilmiş çeliğin (60 HRC) sert tornalanması sırasında silici kesici uçların yüzey pürüzlülüğü kriterlerinin ( $R_a$ ,  $R_z$  ve  $R_t$ ) geleneksel kesici uçlarla karşılaştırılmasını ele almışlardır. İstatistiksel analiz sonucunda, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğünü azaltmada önemli etkileri olduğunu ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak, silici seramik kesici uç ile elde edilen

yüzey kalitesinin, geleneksel seramik kesici uç ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde iyileştirildiğini göstermişlerdir. Pürüzlülük ölçümlerinin, CC6050WH takım aşınmasına bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte aşınmanın, 0,3 mm değerinde izin verilen serbest yüzey aşınmasına kadar yükselse de, yüzey pürüzlülüğünün ( $R_a$ ) 0,9  $\mu\text{m}$ 'yi aşmadığını tespit etmişlerdir [23].

Sarnobat ve Raval araştırmalarında, farklı takım kenarı geometrilerinin ve AISI D2 çeliğinin CBN sert tornalamadaki süreç parametrelerinin, işlemeden etkilenen bölgedeki üç eksenli yüzey artık gerilmeleri, yüzey pürüzlülüğü ve iş sertleşmesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Hassasiyet analizi ile eksenel artık gerilmenin kesme derinliğine maksimum duyarlılığa sahip olduğunu gösterirlerken, radyal ve çevresel artık gerilmelerin ve yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızına en duyarlı olduğunu göstermişlerdir. Keskinlik analizi ile ise, düşük ve orta düzeydeki süreç parametreleri aralığında hafif honlanmış takım kenarı geometrisi ile işlemenin, artık gerilmelerin sıkıştırıcı durumunu ve daha iyi yüzey kalitesini indüklediğini göstermişlerdir [24].

Bouacha vd., yaptıkları bu çalışmada, 64 HRC'de sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin CBN takımıyla sert tornalama deneysel çalışmasını incelemişlerdir. Ana hedefleri, ilk olarak sert tornalama alanını sınırlandırmaya ve takım aşınmasını ve iş parçası sertliği ve kesme hızındaki varyasyonlara karşı davranış gelişimini incelemeye odaklanmışlardır. İkinci olarak ise, yanıt yüzey metodolojisi (RSM) aracılığıyla kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) ile işleme çıktı değişkenleri (yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri) arasındaki ilişkiyi analiz etmişler ve modellemişlerdir. Ek olarak, varyans analizi (ANOVA) kullanılırken kesme parametrelerinin işleme çıktı değişkenleri üzerindeki birleşik etkilerini de araştırmışlardır. Sonuç olarak, yüzey pürüzlülüğünün esas olarak ilerleme hızından ve kesme hızından etkilendiğini göstermişlerdir. Ayrıca, itme kuvvetinin kesme kuvveti bileşenlerinin en yüksek olduğu ve iş parçası sertliğine, negatif talaş açısına ve takım aşınmasına karşı oldukça hassas olduğunun altını çizmişlerdir. Son olarak ise, kesme derinliğinin, ilerleme hızı ve kesme hızına kıyasla kesme kuvvetleri üzerinde maksimum etki gösterdiğini belirlemişlerdir [25].

Pavel vd., çalışmalarında kesintili ve sürekli sert tornalama durumu için yüzey kalitesi ile ilgili hususları araştırmışlardır. Ayrıca, ortak yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin evrimine ilişkin yeni bulguları ve takım aşınmasının artmasıyla birlikte yüzey topografisinin evrimini de araştırmışlardır. Yapılan araştırmalar sonucunda, serbest yüzey aşınmasının yönü ile işlenmiş yüzey arasında iyi bir ilişkinin olduğunu gözlemlemişlerdir. Ek olarak, sürekli ve kesintili kesme durumları için farklı bir yüzey kalitesi evrimine de dikkat çekilmiştir [26].

Lalwani vd., bu çalışmalarında, MDN250'nin finiş sert tornalamasında kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) kesme kuvvetleri (ilerleme kuvveti, itme kuvveti ve kesme kuvveti) ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deney sonucunda, kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün 55-93 m/dk aralığındaki deneysel kesme hızıyla çok fazla değişmediğini göstermişlerdir. Doğrusal bir modelin, ilerleme hızı ve kesme derinliği ile kesme kuvvetlerinin değişimini en iyi şekilde tutturduğunu belirtmişlerdir. İtme kuvvetinde ilerleme hızının ve kesme derinliğinin sırasıyla % 46,71 ve % 49,59 katkıda bulunduğunu saptamışlardır. Kesme kuvvetinde, ilerleme hızının ve kesme derinliğinin sırasıyla % 52,60 ve % 41,63 katkıda bulunduğunu, ayrıca ilerleme hızı ve kesme derinliği arasındaki etkileşim etkisinin % 3,85 oranında ikincil katkı sağladığını da belirtmişlerdir [27].

Agrawal vd., yaptıkları çalışmada, kesme parametrelerinin işlenmiş yüzey pürüzlülüğünü etkilemedeki etkisini incelemek için bir Mori-Seiki SL-25Y (4 eksenli) bilgisayarlı sayısal kontrollü (CNC: Computer Numerical Control) torna tezgâhında 39 set sert tornalama (HT: Hard Turning) deneysel denemesi gerçekleştirmişlerdir. Tüm denemelerde, AISI 4340 çelik iş parçası (69 HRC'ye kadar sertleştirilmiş), ticari olarak temin edilebilen bir CBN kesici uç (Warren Tooling Limited, İngiltere) ile kuru koşullarda işlenmiştir. İşleme sonuçlarını, bu malzemedeki ortalama işlenmiş yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için çeşitli regresyon modelleri geliştirmek için bir girdi olarak kullanmışlardır. Deneysel sonuçlara üç regresyon modeli; çoklu regresyonu, rastgele karar ağacını ve nicelik regresyonunu uygulamışlardır. Bu modellerin performanslarını, ilerleme, kesme derinliği ve iş mili hızının yüzey pürüzlülüğünü nasıl etkilediğini belirlemek ve son

olarak bu değişkenleri ilişkilendiren matematiksel bir denklem elde etmek için karşılaştırmışlardır. Rasgele karar ağacı regresyon modelinin, AISI 4340 çeliğinin (69 HRC) işlenmesi sırasında yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için çoklu regresyon modellerine göre üstün bir seçim olduğunun sonucuna varmışlardır [28].

Srithar vd., deneysel çalışmalarında, 66 HRC sertliğe sahip AISI D2 çelik iş parçasının işlenmesini, kaplamalı karbür kesici uç kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Mikroyapı görüntülerinden, tane sınırında bulunan kromun ve diğer alaşımlarla birlikte ince sementit tanelerinin mukavemetini ve aşınmaya karşı dayanıklılığı artıran karbürün varlığını gösterdiğini belirlemişlerdir. Araştırmalar sonucunda, ilerleme hızının artan ilerleme hızındaki ana etki olduğunu, ancak daha yüksek kesme hızı ve hızla artan kesme derinliği ile azaldığını göstermişlerdir. Buna ek olarak, sertleştirilmiş çeliğin işlenmesinde kesme hızındaki artışın yüzey pürüzlülüğünü azalttığını belirtmişlerdir. Ancak, ilerleme hızının ve kesme derinliğinin kademeli olarak artmasının, kaplanmış karbür kesici uç ile AISI D2 çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünü arttırdığını saptamışlardır. Bunun sonucunda, besleme hızının, AISI D2 çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü parametrelerini etkileyen parametreyi oldukça kontrol ettiğini tespit etmişlerdir [29].

Das vd., araştırmalarında, çok katmanlı kaplamalı karbür kesici uçlar kullanarak sert tornalamada yüzey pürüzlülüğü, parametrik optimizasyon ve regresyon modeli ile ilgili yönleri kapsamlı bir şekilde araştırmışlardır. Araştırmalar sonucunda, sert tornalama işlemi sırasında yaklaşık 0,42 mikron iyi yüzey kalitesi pürüzlülüğü elde edilmiştir, en uygun kombinasyon olarak, sırasıyla 0,4 mm kesme derinliği, 0,04 mm/dev ilerleme ve 130 m/dk kesme hızı belirlenmiştir ve  $R_a$  ve  $R_z$  çıktı yanıtları için de besleme en baskın parametre olarak kabul edilmiştir. Bunlara ek olarak tahmin modelinin yüksek korelasyon katsayısına ( $R^2 = 0,99$  ve  $0,93$  birliğe yakın) sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Tahmin modelinin, yüzey pürüzlülüğü ile girdi değişkenleri arasındaki ilişkiyi yeterince açıkladığını da belirlemişlerdir [30].

Bartarya ve Choudhury, çalışmalarında, bileme kenarı kaplanmamış CBN aracı kullanarak  $60 \pm 2$  HRC'ye sertleştirilmiş EN31 çeliğin, (AISI 52100 çeliğe eşdeğer) seçilen bir işleme parametreleri aralığı dâhilinde, finiş işleme sırasında bir kuvvet

tahmin modeli geliştirmeyi ve daha iyi performans için işleme parametrelerinin kombinasyonunu analiz etmeyi amaçlamışlardır. Seçilen parametreler aralığında kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü regresyon modellerini geliştirmek için deneylerin tam faktöryel tasarımı prosedürünü kullanmışlardır. Geliştirilen regresyon modelleri, kesme kuvvetlerinin, yani kesme, radyal ve aksenal kuvvetlerin ve yüzey pürüzlülüğünün işleme parametrelerine bağımlılığının önemli olduğunu göstermiştir, dolayısıyla bunların, kuvvetler ve yüzey pürüzlülüğü için tahminler yapmak için kullanılabileceklerini belirlemişlerdir. Geliştirilen modellerden gelen tahminleri, ölçülen kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ile karşılaştırmışlardır. Deneyler sonucunda, kesme derinliğinin, ilerlemenin ardından gelen üç kesme kuvvetini etkileyen en etkili parametre olduğu bulmuşlardır. Yüzey pürüzlülüğü tahminleri için, analizden geliştirilen model önemsizi bulmuşlardır. Tepki yüzeyi analizi, kesme hızındaki artışla birlikte kuvvetlerin önce azaldığını ardından arttığını göstermiştir. En enerji verimli kesimin ise, orta kesme derinliğiyle nispeten düşük ve orta kesme hızlarında elde edildiğini belirlemişlerdir [31].

Allu vd., deneysel araştırmalarında AISI 52100 çeliğinin kuru sert tornalama işlemi sırasında kesici uç tipi, takım ucu radyüsü, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. ANOVA sonuçları ile kesici uç tipinin en etkili parametrenin, % 45,68'lik bir katkı, % 34,11'lik köşe radyüsü ve % 17,98'lik ilerleme oranı olduğunu göstermişlerdir. Yüksek yeterliliğin ikinci dereceden bir modelini ( $R^2 = \% 99,03$ ) tepki yüzeyi metodolojisi aracılığıyla tahmin etmişlerdir. Tepki yüzeyi optimizasyonu ile ise, 1,2 mm burun yarıçapı, 0,05 mm/dev ilerleme, 70 mm kesme hızı ve 0,2 mm kesme derinliğine sahip silici kesici ucunun, 1,69  $\mu\text{m}$ 'lik optimum pürüzlülük sağladığını ortaya çıkarmışlardır [32].

Azizi vd., yaptıkları çalışmada, yüzey pürüzlülüğü, takım radyal titreşimi ve malzeme kaldırma oranı gibi istenen teknolojik parametreleri elde etmek için işleme parametrelerinin optimizasyonunu, tepki yüzey metodolojisi (RSM) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. EN19 alaşımlı çeliğin kaplamalı karbür (GC3015) kesici takımlarla sert tornalanmasını yapmışlardır. İstatistiksel analiz için kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) ile RSM yaklaşımı kapsamında yer alan bir yüzey merkezli kompozit tasarım (FCCD: Face-Centred

Composite Design) kullanmışlardır. Kesme parametrelerini yüzey pürüzlülüğü, takım titreşimi ve malzeme kaldırma oranıyla ilişkilendirmek için ikinci dereceden bir regresyon modeli geliştirmişlerdir. Sonuç olarak, minimum takım titreşimi ve maksimum malzeme kaldırma oranı ile en düşük yüzey pürüzlülüğünü üretmek için en uygun kesme parametrelerini elde etmek için arzu edilebilirlik fonksiyonu yaklaşımı kullanarak sayısal ve grafiksel optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Son olarak, geliştirilen matematiksel modellerin uygunluğunu doğrulamak için doğrulama deneyleri yapmışlardır [33].

Palanisamy ve Shanmugasundaram yaptıkları araştırmalarında, sert tornalamada takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Girdi parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğini alarak takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için Regresyon ve Yapay Sinir Ağı (YSA) modelleri olmak üzere iki farklı model üzerinden çalışmışlardır. Deneysel olarak ölçülen değerleri, aynı zamanda, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün tahmininde ileri geri besleme yayılımı YSA'yı eğitmek için de kullanmışlardır. Eğitilmiş YSA modelinin performansını deneysel verilerle test etmişler ve eğitildikleri aralık dâhilinde takım yan aşınması ve yüzey pürüzlülüğü için daha iyi tahminlerin olduğu bulmuşlardır [34].

Thamizhmanii vd., çalışmalarında, SCM 440 alaşımlı çeliğinin Taguchi yöntemi ile tornalanmasında en düşük yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için optimum kesme koşullarının analizine odaklanmışlardır. Deney sonucunda elde edilen sonuçlarda, Taguchi yönteminin, kesme derinliğinin daha düşük yüzey pürüzlülüğü üretmede ve ardından ilerlemede önemli bir rol oynadığını tespit etmişlerdir. Kesme hızının, testlere göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha az rolü olduğunu belirlemişlerdir [35].

Salvi vd., yaptıkları deneysel çalışmada, 20 MnCr5 çeliğinin sert tornalanmasına odaklanmışlardır. 20 MnCr5 çeliğin tornalanmasında en düşük yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için optimum kesme koşullarını analiz etmeyi amaçlamışlardır. Kesme özelliklerini araştırmak için ortogonal bir dizi, sinyal-gürültü oranı ve varyans analizini (ANOVA) kullanmışlardır. Çalışmalar sonucunda, ilerleme hızının daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve ardından kesme hızının üretilmesinde önemli bir rol



oynadığını göstermişlerdir. Çalışmalarında, kesici uç olarak, seramik bazlı TNGA 160404 malzeme kullanmışlardır [36].

Gunay vd., yaptıkları çalışmalarında, kuru koşullar altında Ti-6Al-4V alaşımının karbür takımlar aracılığıyla yüzey frezelemesi esnasında işleme değerlerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneysel düzenin belirlenmesinde Taguchi tasarım methodunu kullanmışlardır. Optimum işleme parametresi kombinasyonunun elde edilmesinde, sinyal-gürültü (S/N) oranı analizini kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre, ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün, ilerleme hızındaki artışla arttığını ve kesme hızındaki artışla azaldığını belirlemişlerdir. Sonuçta ortaya çıkan kesme kuvvetleri ( $F_R$ ) ve yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) için optimum işleme koşullarını, 180 m/dk kesme hızında ve 250 mm/dak ilerleme hızında elde edildiğini göstermişlerdir [37].

Mohrni vd., çalışmalarında, sert tornalamada kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. AISI D2 çelik iş parçasını (62 HRC), kuru işleme altında Kübik Bor Nitrür (CBN) kesici uç ile işlemişlerdir. Deneylemlerin sonucunda, kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığını (daha pürüzsüz) göstermişlerdir. Ancak, ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerinin önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir. Optimum kesme hızının ve ilerleme hızının sırasıyla 105 m/dk ve 0,10 mm/dev, yüzey pürüzlülük değerinin ise 0,267  $\mu\text{m}$  olduğunu saptamışlardır [38].

Fnides vd., 50 HRC'de sertleştirilmiş ve karışık bir seramik aletle (kesici uç CC650) işlenmiş X38CrMoV5-1 kalite çelik üzerinde gerçekleştirilen kızaklı tornalama testleri sonucunda; ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği ve serbest yüzey aşınması parametrelerinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneysel bulgular sonucunda, teğet kesme kuvvetinin, kesme kuvvetlerini önemli ölçüde etkileyen kesme derinliğindeki değişikliklere karşı çok hassas olduğunu not etmişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızındaki değişime karşı çok hassas olduğu ve serbest yüzey aşınmasının kesme kuvveti bileşenlerinin gelişimi ve yüzey pürüzlülüğü kriterleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu da belirtmişlerdir. Ek olarak, oluşturulan matematiksel modeller

ile her bir kesme rejimi ögesinin incelenen teknolojik parametreler üzerindeki etki derecesini tanımlamışlardır. Sonuç olarak, yaptıkları çalışma ile bu çeliğin kuru sert tornalamasında ve test edilen tüm kesme koşullarında, ana kuvvetin itme kuvveti olduğunu ve bulunan pürüzlülük kriterlerinin taşlamada elde edilenlere yakın olduğunu doğrulamışlardır [39].

Umamaheswarrao vd., çalışmalarında PCBN takımları kullanılarak AISI 52100 çeliğinin sert tornalama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Dikkate alınan girdi parametreleri ilerleme miktarı, kesme hızı, kesme derinliği, negatif talaş açısı ve burun yarıçapıdır. Ölçülen yanıtlar işleme kuvveti ( $F_M$ ) ve yüzey pürüzlülüğüdür ( $R_a$ ). Deneyleri, Yanıt Yüzeyi Metodolojisinin (RSM) Merkezi Kompozit Tasarımına (CCD: Center Composite Design) göre planlamışlardır. Girdi parametrelerinin tepki üzerindeki etkisine ilişkin araştırma analizini, ana etki grafiği ve yanıt yüzeyi grafikleri kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalar sonucunda, negatif talaş açısının, yanıtı etkileyen en önemli faktör olduğunu ve ardından ilerleme, hız, kesme derinliği ve köşe radyüsünün geldiğini göstermişlerdir. Elde edilen optimum kesme parametrelerinin ise, kesme hızı 1000 rpm, ilerleme 0,02 mm/dev, kesme derinliği 0,4 mm, burun yarıçapı 1 mm ve negatif eğim açısı  $5^\circ$  şeklinde olduğunu tespit etmişlerdir [40].

Thangarasu vd., yaptıkları çalışmada kesici takımın serbest yüzey aşınmasını, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün tepkilerine dayalı olarak yapay sinir ağı kullanarak tahmin etmişlerdir. İş parçası olarak EN8 çeliği seçilmiştir ve çeşitli hız, ilerleme ve kesme derinliği seviyeleri ile tornalama testi yapmışlardır. Kuru kesme koşullarında hem yeni hem de kör uçlu takım için kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. CNMG 120408 kalite, TiN kaplamalı sement karbür takımı kesici uç olarak kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, ilerleme hızının (% 14,52), kesme derinliğinin (% 27,72) ve ilerleme hızı ile kesme derinliği arasındaki etkileşimin (% 50,39) kesme kuvvetini etkilediğini görmüşlerdir. İlerleme hızının (% 21,33) ve kesme hızı ile kesme derinliği arasındaki etkileşimin de (% 26,67) serbest yüzey aşınmasını etkilediğini belirtmişlerdir. Buna ek olarak ise ilerleme hızının (% 61,63) yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu doğrulamışlardır [41].

Aouici vd., çalışmalarında sertleştirilmiş AISI H11 (X38CrMoV5-1) tornalama koşulları altında CBN aleti kullanılarak kesme parametrelerinin serbest yüzey aşınması (VB) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamışlardır. Üç kesme parametresinin, yani kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme süresinin iki performans çıktısı (yani VB ve Ra) üzerindeki birleşik etkilerini, varyans analizi (ANOVA) kullanılarak incelemişlerdir. Deney sonucunda, serbest yüzey aşınmasının esas olarak kesme süresinden ve ikinci seviyede kesme hızından etkilendiğini göstermişlerdir. Ayrıca, ilerleme hızının, iş parçası yüzey pürüzlülüğünü etkileyen baskın faktör olduğunu da belirtmişlerdir [42].

Sharma vd., bu çalışmada, yaklaşma açısı, hız, ilerleme ve kesme derinliği gibi farklı kesme parametrelerinde tornalama sırasında kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü gibi işleme değişkenlerini ölçmüşlerdir. Deney yoluyla elde edilen verileri analiz ederler ve sinir ağlarını kullanarak model oluşturmak için kullanırlar. Modeli, sinir ağları kullanan tüm kesme parametreleri ve işleme değişkenleri için formüle etmişlerdir. Daha sonra modellerin tahmin yetenekleri ile gerçek değerleri karşılaştırırlar. Modelin genel olarak % 76,4 doğruluk sağladığını belirlerler. Yapılan deneyler sonucunda; yaklaşma açısının, kesme kuvvetini ( $F_c$ ) ve ilerleme kuvvetini ( $F_f$ ) olumlu yönde, pasif kuvvetini ( $F_p$ ) ve yüzey pürüzlülüğünü ( $R_a$ ) ise negatif yönde etkilediğini görmüşlerdir. Hızın, pasif kuvvetini ( $F_p$ ) ve ilerleme kuvvetini ( $F_f$ ) olumlu, kesme kuvvetini ( $F_c$ ) ve yüzey pürüzlülüğünü ( $R_a$ ) olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir. İlerlemenin, kesme kuvvetini ( $F_c$ ), ilerleme kuvvetini ( $F_f$ ), pasif kuvveti ( $F_p$ ) ve yüzey pürüzlülüğünü ( $R_a$ ) olumlu yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Son olarak ise, kesme derinliğinin, kesme kuvvetini ( $F_c$ ), pasif kuvveti ( $F_p$ ), ilerleme kuvvetini ( $F_f$ ) olumlu yönde ve yüzey pürüzlülüğünü ( $R_a$ ) ise olumsuz yönde etkilediğini görmüşlerdir [43].

Ferreira vd., çalışmalarında AISI H13 çeliğinin seramik aletlerle (geleneksel ve silici) tormalanması üzerine deneysel bir araştırma yapmışlardır. Yüzey pürüzlülüğünün ve takım aşınmasının gelişimini ve serbest yüzey aşınmasının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini değerlendirmek için tornalama testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünü analiz ederken net bir eğilim gözlemlenmemişlerdir, yan yüzey aşınması için ise silici takımların biraz daha iyi

performansını gözlemlemişlerdir. Çoğu durumda, silici takımların geleneksel takımlardan daha iyi yüzey pürüzlülüğü sağladığını belirlemişlerdir. Ek olarak, elde edilen sonuçlardaki farkın, işleme uzunluğuna bağlı olarak büyük ölçüde değiştiğini de belirlemişlerdir. Son olarak, yan yüzey aşınması ile yüzey pürüzlülüğü arasında net bir ilişkinin bulunmadığını tespit etmişlerdir [44].

Gunay vd., yaptıkları çalışmada, Nimonic 80A süperalaşımın kuru, hava soğutmalı ve yağ püskürtme yöntemi gibi farklı kesme ortamlarında tornalamasında kesici takım ömrü ve aşınma özellikleri ile işlenmiş yüzeyin analizine odaklanmışlardır. Kaplanmış ucun performansını; optik mikroskop, SEM ve EDS analizlerinden yararlanarak karakterize etmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda, Nimonic 80A alaşımının tornalanmasında yağ püskürtme yönteminin, kuru ve hava soğutmalı yöntemlerden daha uzun takım ömrüne sahip olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, çıkarılan malzeme hacmini, çeşitli işleme koşullarında takım performansını tahmin etmek için yanıt yüzeyi yöntemi ile modellemişlerdir. Son olarak, işlenmiş yüzeyin mikroyapısal ve mikro sertlik varyasyonlarını, kesici takım aşınma kriterine ulaştığında değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeye göre, takım ömrü ve yüzey bütünlüğü açısından en iyi performansın, yağ püskürtme ortamında 60 m/dk kesme hızında elde edildiğini tespit etmişlerdir [45].

Aouici vd., çalışmalarında, 50 HRC'de işlenmiş AISI H11 sıcak iş çeliklerinin işlenmesi sırasında seramik ve kübik bor nitrür (CBN7020) kesme takımları arasındaki yüzey pürüzlülüğünün bir karşılaştırmasını araştırmışlardır. Planı, Taguchi'nin L18 (21×32) ortogonal dizisine göre tasarlamışlardır. Yanıt yüzey metodolojisini (RSM) ve varyans analizini (ANOVA); çoklu doğrusal regresyon modellerinin geçerliliğini kontrol etmek için, buna ek olarak işlem parametrelerinin yani  $R_a$  ve  $R_t$  üzerindeki işleme parametrelerindeki kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin etkilerini, katkısını, önemini ve optimum makine ayarlarını belirlemek için kullandılar. Çalışmanın sonucunda, yüzey pürüzlülüğünde ilerleme hızının baskın bir faktör olduğunu, ardından kesme hızının, son olarak da kesme derinliğinin bulunduğunu göstermişlerdir. CBN7020 kesici takımın, seramik bazlı kesici takımdan daha iyi performans gösterdiğini ve yüzey pürüzlülüğünü en aza

indirmek için düşük ilerleme hızı ile yüksek kesme hızının kombinasyonunun gerektiğini tespit etmişlerdir [46].

Mir ve Wani yaptıkları çalışmada, PCBN, karma seramik ve kaplamalı karbür uçlar kullanarak AISI D2 çeliğinin finish sert tornalamasında ki takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine bazı işlenebilirlik çalışmalarının araştırmasını yapmışlardır. İşleme deneylerini, yanıt yüzey metodolojisine (RSM) dayalı olarak gerçekleştirmişlerdir. Üç kesme parametresinin, yani kesme hızının, kesme süresinin ve takım sertliğinin iki performans çıktısı (yani VB ve Ra) üzerindeki birleşik etkilerini, varyans analizi (ANOVA) kullanarak incelemişlerdir. Giriş değişkenleri ve yanıt parametreleri arasındaki ilişkileri ikinci dereceden bir regresyon modeli kullanarak belirlemişlerdir. Bu çalışmalar sonucunda, takım aşınmasının esas olarak kesme süresinden ve ikinci seviyede kesici takım sertliğinden etkilendiğini göstermişlerdir. Öte yandan, kesme süresi, iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen baskın faktör olduğunu ve ardından ise kesme hızının geldiğini tespit etmişlerdir [47].

Basavarajappa vd., çalışmalarında, çok katmanlı kaplamalı karbür takım kullanarak AISI 4340 çeliğin sert tornalama sırasında kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi işlenebilirlik yönleri üzerindeki etkilerini, kesme kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünü deneysel olarak araştırmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde, itme kuvvetinin kesme kuvveti ve ilerleme kuvvetinden daha baskın olduğunu ortaya çıkarmışlardır. İtme kuvveti, artan kesme derinliği ve ilerleme hızı ile artarken, artan kesme hızı ile azalmıştır. Kesici takımın aşınan kısımları ve işlenmiş yüzeyleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında incelemişlerdir. Yan ve krater yüzlerinin, abrazyon aşınma olayı sergileyen iş parçası malzemesinin sert parçacıkları tarafından ciddi şekilde oyulduğunu belirlemişlerdir [48].

Khamel vd., CBN takımıyla AISI 52100 rulman çeliğinin finish sert tornalamasında proses parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) performans özelliklerine (takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri) etkilerinin araştırılmasını amaçlamışlardır. İşlem parametrelerinin performans özellikleri üzerindeki birleşik etkilerini ANOVA kullanarak incelemişlerdir. Çalışmalar

sonucunda, ilerleme hızının ve kesme hızının, yüzey pürüzlülüğünü ve takım ömrünü büyük ölçüde etkilediğini göstermişlerdir. Bununla birlikte, kesme derinliğinin, kesme kuvvetleri üzerinde maksimum etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Önerilen deneysel ve istatistiksel yaklaşımların, sert tornalama sürecini modellemek, optimize etmek ve iyileştirmek için güvenilir metodolojiler getirdiğini belirtmişlerdir [49].

Ambhore vd., çalışmalarında, setleştirilmiş AISI 52100 çeliğini tornalamak için değişen kesme parametreleriyle (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) titreşim sinyallerinin değişen davranışlarını incelemişlerdir. Deneyler, yüzey tepkisi metodolojisinin merkezi bileşik dönebilir tasarımına göre planlanmış ve yürütülmüştür. İkinci dereceden çoklu regresyon modellerini, kesme parametrelerini titreşim hızlanması ve yüzey pürüzlülüğü ile ilişkilendirmek için geliştirmişlerdir. Tüm modeller için  $R^2$  gerileme katsayısını 0,92'ye yakın bulmuşlardır, bu da geliştirilen modellerin güvenilir olduğunu ve kesme parametresi ile kesici takımın limitler dâhilindeki titreşimi arasında mükemmel bir açıklama sağladığını göstermiştir. Yapılan analizlerde; kesme koşullarının titreşim sinyalleri üzerinde belirgin ve karışık tip etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır. İvme genliği  $V_x$ ,  $V_y$  ve  $V_z$ 'nin, kesme hızı ve kesme derinliğindeki artışla arttığını göstermişlerdir. Titreşim genliği  $V_x$ ,  $V_y$  ve  $V_z$ 'nin başlangıçta besleme arttıkça arttığını ve ilerlemedeki daha fazla artışla titreşim genliğinin azaldığını belirlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün, öncelikle ilerleme hızından ve sonrasında ise kesme hızından oldukça etkilendiğini, ancak kesme derinliği parametresinden daha düşük oranda etkilendiğini bulmuşlardır. Frekanstaki dalgalanmanın her yönden olduğunu gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, frekans bandının belirli bir aralıkta kaldığını tespit etmişlerdir. Seçilen kesme parametresi aralığında, maksimum hızlanma genliğinin 4 kHz-16 kHz frekans bandında olduğunu gözlemlemişlerdir [50].

Kumar vd., yapıları deneysel çalışmada, üç farklı CBN kesici ucunun kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sert tornalama işlemini, farklı sertlik (45 HRC, 50 HRC ve 55 HRC) seviyelerini içeren AISI H13 kalıp takım çeliği kullanarak yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda, kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün, alarım elementlerinden ve kesici takım

malzemesindeki CBN yüzdesinden etkilendiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, farklı iş parçası sertliğindeki kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde üç farklı CBN kesici uç sınıfı arasında karşılaştırmalı bir performans göstermişlerdir. Bu çalışmanın yeniliğini; 45 ile 55 HRC arasında sertliğe sahip iş parçasının sert tornalanması ve kalıp üretimi için farklı CBN kalitelerini kullanan yeni bir proses geliştirildiğinde, pratik endüstriyel uygulamayı çözüme konusundaki büyük katkısı ile temsil edileceğini göstermişlerdir [51].

Mia ve Dhar çalışmalarında, sertleştirilmiş AISI 1060 çeliğini kuru durumda kaplamalı karbür uç kullanarak tornalamada ortalama yüzey pürüzlülüğü parametresinin ( $R_a$ ) matematiksel, tahmini ve optimizasyon modellerinin geliştirilmesini araştırmışlardır. Bunun içinde; benzetimli tavlama (SA: Simulated Annealing) algoritması ile optimizasyon modeli, bulanık çıkarım sistemi (FIS: Fuzzy Inference System) ile tahmin modeli ve yanıt yüzey metodolojisi (RSM) ile matematiksel modeli formüle etmişlerdir. Tüm bu modeller için, kesme hızını, ilerleme hızını ve malzeme sertliğini; tam faktöryel deneysel tasarım planı için girdi faktörleri olarak kabul etmişlerdir. İstatistiksel analizle, ikinci dereceden modelin RSM'de  $R_a$  için önerildiğini bulmuşlardır. Varyans analiziyle, malzeme sertliğinin en baskın etkiyi gösterdiğini, ardından ilerleme hızının ve sonrasında da kesme hızının geldiğini göstermişlerdir. Çalışma sonucunda; RSM modeli % 99,64 belirleme katsayısı ile bulundu; FIS modeli % 79,82 tahmin doğruluğu ortaya koydu ve SA modeli % 70'den fazla geliştirilmiş yüzey pürüzlülüğü ile sonuçlandı. Bu nedenlerden dolayı, bu modellerin endüstrilerde iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için sert tornalama sürecini etkin bir şekilde kontrol etmekte kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir [52].

Sahinoglu ve Gullu çalışmalarında, CNC torna tezgâhında, kuru kesme şartlarında, CuZn39Pb3 malzeme kullanarak, farklı ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızında oluşan ses şiddeti, titreşim, tezgâhın çektiği akım değeri ve yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Yapılan araştırma sonucunda, ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük, ses şiddeti, titreşim ve tezgâhın çektiği akım değerinin arttığı belirlenmiştir. Titreşim değeri arttıkça, yüzey pürüzlülüğünün ve

ses şiddetinin arttığını görmüşlerdir. Son olarak ise tezgâh akım değerinin yükselmesi ile ses şiddetinin arasında güçlü bir bağ olduğunu tespit etmişlerdir [53].

Khellaf vd., yaptıkları çalışmalarında, 50 HRC'ye ısıl işleme sertleştirilmiş sıcak iş çeliği X38CrMoV5-1 (AISI H11) işlenirken, her iki seramik kesme aleti, yani TiN kaplı karışık seramik CC6050 ve kaplanmamış karışık seramik CC650 arasındaki yüzey pürüzlülüğünün bir karşılaştırmasını yapmışlardır. Tepki yüzey metodolojisi (RSM) kullanarak yüzey pürüzlülüğü kriterleri ile kesme yarıçapı, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi ana faktörleri ilişkilendiren matematiksel bir model geliştirmişlerdir ve yeterliliğini regresyon analizi ile kontrol etmişlerdir. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini değerlendirerek yüzey pürüzlülüğünü en aza indirecek optimum kesme koşullarını belirlemişlerdir. Deneysel çalışmanın sonucunda; yüzey pürüzlülüğü için en önemli işleme parametresinin ilerlemenin olduğunu ve ardından kesme yarıçapının geldiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca belirlenen optimum koşulların, incelenen parametre aralıkları dâhilinde AISI H11 çeliklerin işlenmesindeki yüzey pürüzlülüğünü gerçekten azalttığını belirtmişlerdir. Son olarak ise, CC650 takımları kullanarak sert tornalamada mükemmel yüzey pürüzlülüğü elde etmişlerdir. Kaplanmış seramik aletlerin, yüzey pürüzlülüğü açısından CC650'ye göre hiçbir avantajının olmadığını da tespit etmişlerdir [54].

Singh ve Rao çalışmalarında, rulman çeliğinin sert tornalanması sırasında takım geometrisinin (etkin eğim açısı ve köşe radyüsü) ve kesme koşullarının (kesme hızı ve ilerleme) yüzey kalitesi üzerindeki etkisini görmek için deneysel araştırmalar yapmışlardır. Birinci ve ikinci dereceden matematiksel modelleri, deneysel sonuçlardan yola çıkarak yanıt yüzey metodolojisi kullanarak işleme parametreleri açısından geliştirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü tahmin modelini, genetik algoritmalar kullanarak yüzey pürüzlülüğü değerlerini elde etmek için optimize etmişlerdir. Genetik algoritma programının minimum yüzey pürüzlülüğü değerleri ve bunların ilgili optimal koşullarını sağladığını tespit etmişlerdir [55].

Dureja vd., çalışmalarında, kaplamalı karbür (TiSiN-TiAlN kaplamalı) kesici takım ile AISI D3 çeliğin (58 HRC) finish sert tornalama işlemi sırasında takım aşınmasını



(serbest yüzey aşınması) ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli parametreleri belirlemek için S/N oranını ve ANOVA analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızının ve ilerlemenin, takım aşınmasını (serbest yüzey aşınması) etkileyen en önemli faktör olduğunu ve ilerlemenin ise, yüzey pürüzlülüğünü (Ra) etkileyen en önemli faktör olduğunu belirtmişlerdir. Her iki tepki parametresi için matematiksel modelleri, yani takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü, regresyon analizi yoluyla elde etmişlerdir. Taguchi'nin analizi tarafından verilen parametrelerin optimum kombinasyonunda gerçekleştirilen doğrulama deneylerinin, % 5'ten daha az hata ile yanıt faktörlerini tahmin ettiğini göstermişlerdir [56].

Panda vd., çalışmalarında, işleme parametreleri olarak kesme hızı, eksenel ilerleme, kesme derinliği ve köşe radyüsünü dikkate alarak, kaplamalı seramik takımla AISI 4340 çeliğinin son kuru sert tornalamada yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesini, modellemesini ve optimizasyon çalışmasını yapmışlardır. Çalışma sonucunda, işlenmiş yüzey pürüzlülüğünün en aza indirilmesi düşünüldüğünde, sert tornalama işlemi için en önemli faktörlerin burun yarıçapı ve ilerleme olduğu belirlenmiştir. Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO: Particle Swarm Optimization) tekniği ile birleştirilen yanıt yüzey metodolojisi (RSM) modeli, 0,2021 µm'lik silindirik taşlamaya benzer minimum yüzey pürüzlülüğü değerine yol açar. Optimum proses parametrelerine karşılık gelen değerleri ise, 220 m/dk kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme, 0,193 mm kesme derinliği ve 1,6 mm takım ucu yarıçapı şeklinde tespit etmişlerdir. Buna ek olarak, önceden belirtilen optimum işleme koşulları altında, sert tornalamada kaplanmış seramik takımların ekonomik gerekçelendirilmesi ve fizibilitesi için maliyet analizi yapmak üzere takım ömrünü değerlendirmişlerdir. Daha yüksek takım ömrünün (44 dakika), duruş süresindeki azalma ve sert tornalamada ki ekonomik faydaları sağlayan tasarruf artışının bir sonucu olarak parça başına toplam işleme maliyetinin daha düşük (0,34 \$) olduğunu ortaya çıkarmışlardır [57].

Rashid vd., çalışmalarında, bir CBN kesici uç kullanarak AISI 4340 çeliğin (69 HRC) sert tornalamasını araştırmışlardır. Araştırma sonucunda temel bulgulardan birinin, sert tornalama sırasında ilerleme hızının çok düşük bir değere yaklaştığında

(yaklaşık 0,02 mm/dev), işlenmiş yüzey pürüzlülüğününün (Ra) etkilenmesinde tek başına en önemli (% 99,16) parametre olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, aynı zamanda, düşük ilerleme hızının yüksek takım aşınmasına yol açtığını da göstermişlerdir [58].

Saini vd., çalışmalarında, sert tornalamada kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve artık gerilme dağılımı üzerindeki etkisini araştırmak için bir girişimde bulunmuşlardır. Bu çalışma, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, artık gerilme ve takım aşınması üzerindeki etkilerinin kapsamlı analizini ortaya koymaktadır. Çalışma sonucunda, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğününün azaldığı, ilerleme ve kesme derinliğinin artmasıyla birlikte arttığı belirtilmiştir. Takım aşınmasının, ilerleme ve kesme derinliğine kıyasla kesme hızından daha fazla etkilendiği görülmüştür. En iyi takım ömrünün, en düşük ilerleme hızı ve en düşük kesme hızı kombinasyonundan elde edildiğini belirlemişlerdir [59].

Xiao vd., yaptıkları çalışmada, dikey tasarım ve vekil modeli benimseyerek üç değişkenin (iş mili hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. YT5 takımıyla AISI 1045 çeliğinin sert tornalama deneyi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizinin (ANOVA) ve regresyon modelinin, ilerleme hızının diğer iki değişkene kıyasla yüzey pürüzlülüğü üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. İstenilen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için bir optimizasyon yöntemi geliştirilerek optimum kesme parametrelerini elde etmişlerdir [60].

Chavoski ve Tajdari çalışmalarında, CBN kesici takım kullanarak AISI 4140 sert tornalama işleminde sertlik (H) ve mil hızının (N) yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisini incelemişlerdir. Deneysel değerlerin performansını belirlemek ve sertlik ve mil hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini göstermek için varyans analizi kullanarak çoklu regresyon analizi yapmışlardır. CBN kesici alet kullanarak AISI 4140'ın sert tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi için yapay sinir ağı (YSA) ve regresyon yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda ters YSA modelinin metot verileri için sertliği ve test verileri için iş mili hızını iyi bir

doğrulukla tahmin edebileceğini, ancak metot verileri için tahmin edilen iş mili hızının ve test verileri için tahmin edilen sertliğin kabul edilebilir doğruluğa sahip olmadığını göstermişlerdir [61].

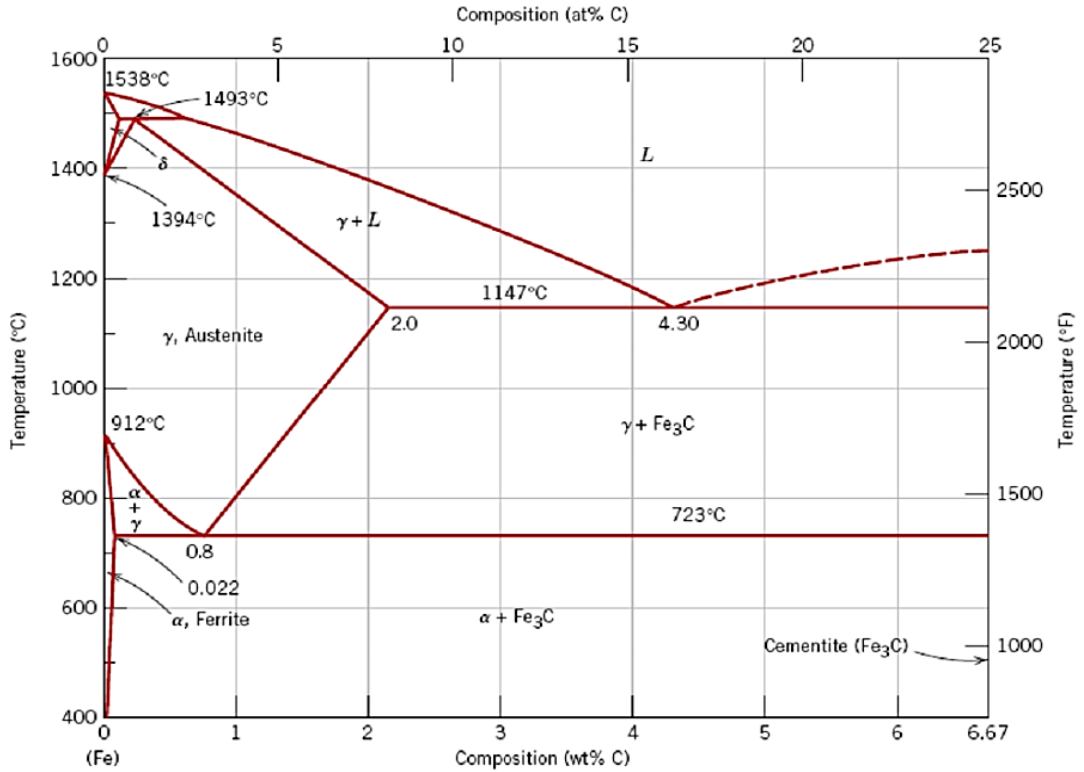
Sahinoglu ve Rafighi yaptıkları çalışmada, kuru test koşullarında kaplamalı karbür kesici takımlar kullanarak AISI 4140 tornalama sırasında kesme parametrelerinin (ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesme hızı) yüzey pürüzlülüğü, titreşim, ses yoğunluğu ve makine akımı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü, titreşim, ses yoğunluğu ve makine akımı için matematiksel modelleri çoklu doğrusal regresyon yöntemlerini kullanılarak geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda, ilerleme hızının çıktı parametreleri üzerinde en önemli etkiye sahip olduğunu ve ardından kesme derinliğinin geldiğini göstermişlerdir. Bu nedenle deneysel verilere göre ilerleme miktarı ve kesme derinliği arttıkça titreşim, ses şiddeti, yüzey pürüzlülüğü ve akım değerlerinin de arttığını belirlemişlerdir [62].

## BÖLÜM 3

### ÇELİKLER VE KULLANIM YERLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI

#### 3.1. ÇELİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Demire endüstriyel alanda özelliğini veren içerdiği karbon miktarıdır. Çelik malzeme ise içeriğindeki karbon miktarına göre, karbonun oluşturduğu sementit ile saf demirin (ferrit) birleşiminden meydana gelen bir alaşım türüdür. Bu açıdan bakıldığında çelikler için temelde bir Fe-C alaşımlarıdır diyebiliriz [5,6]. Şekil 3.1’de gösterildiği üzere çelik malzemelerdeki karbon oranı % 0,02-2’dir. Çeliklerin alaşım içindeki karbon oranı çelik malzemelerin sınıflandırılmasında da önemli rol oynar [5,8].



Şekil 3.1. Fe-C denge diyagramı.

Genel olarak çelikler içerdikleri karbon miktarına göre üçe ayrılırlar. % 0,25'e kadar karbon bulunanlar düşük karbonlu, % 0,25-0,55 aralığında karbon ihtiva edenler orta karbonlu, % 0,55-2 aralığındakiler ise yüksek karbonlu çelikler olarak sınıflandırılırlar. Demir içerisindeki karbon oranı yükseldikçe çelik malzemelerin mukavemeti artarken, sünekliği de azalmaktadır. Yüksek karbon içeren demirlerde erime noktası düşük olmakla beraber dökme kabiliyetleri ise oldukça yüksektir. Bu tür çelikler “dökme demir” olarak adlandırılmaktadır. Düşük oranda karbon ve demir cürufları içeren malzemeler ise “dövme demir” olarak bilinir. Bununla birlikte çelikler karbon ile bazı katkı elemanları (silisyum, manganez v.b.) veya alaşımli çelikler malzemelerde ise büyük miktarda alaşım katkı elementleri ihtiva ederler [5,6,63].

Çelik malzemelerin karbon oranlarının yanı sıra, katkı elementlerinin ve ısıl işlemlerin değişimleri ile de farklı yapısal özelliklere sahip çeşitli malzemelerin oluşturulması mümkündür [6,64]. Bileşiminde sadece karbon elementinin bulunması durumlarında bu çelik malzemelerde bazı özellikler yetersiz kalabilmektedir. Bunlara; 700 MPa üzerindeki dayanımlara sahip olamama, sertleşme kabiliyetlerinin düşük olması, korozyona karşı dirençlerinin zayıflığı ve gevrek-sünek geçiş sıcaklıklarının belli oranda yüksek olmaları gibi özellikleri verebiliriz. Bu sebepten dolayı çelik malzemelerde karbon elementi dışında Mn, Cr, Ni, Si, V, Mo, W, Al gibi farklı elementlerle alaşımlama yapılabilmektedir [5,63,65,66]. Çelik kullanımının en yoğun olduğu sektörlerden biri olan Otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan IF çeliği ve BH çeliği gibi bazı çeliklerde ise çok düşük tutulmaktadır [67-69]. DP ve TRIP çeliklerinde ise Mn ve Si gibi elementler nispeten daha yüksek tutulmaktadır [66,70-73]. Ham demirde büyük miktarda karbonun yanı sıra bulunan bu katkı elementlerinden manganez ve silisyum % 0,8'den yüksek olmamak şartı ile çelikte istenen elementlerdir. Ancak, kükürt ve fosfor ise her miktarda malzeme için zararlı etkiye sahiptir ve olabildiğince malzemedan uzaklaştırılmalıdır [5,64]. Yapılan alaşımlamalar ile çeliklerin, süneklik, dayanım, aşınma dayanımı, tokluk, korozyon dayanımı, sertleşebilme kabiliyeti gibi kullanım özellikleri ile soğuk-sıcak şekillendirilebilirlik, kaynak kabiliyeti, dökülebilirlik, talaşlı imalata uygunluk vs. gibi imalat özellikleri de geliştirilebilmektedir [6,63].

Çelik malzemeler kaynak edilebilirliği olan malzemeler olmakla beraber korozyona ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılıklarının da yüksek olduğu türleri bulunmaktadır. Bunlara ek olarak, soğuk şekillendirilebilen çelikler, metal ve plastik malzemeler ile kaplama yapılabilirler [8].

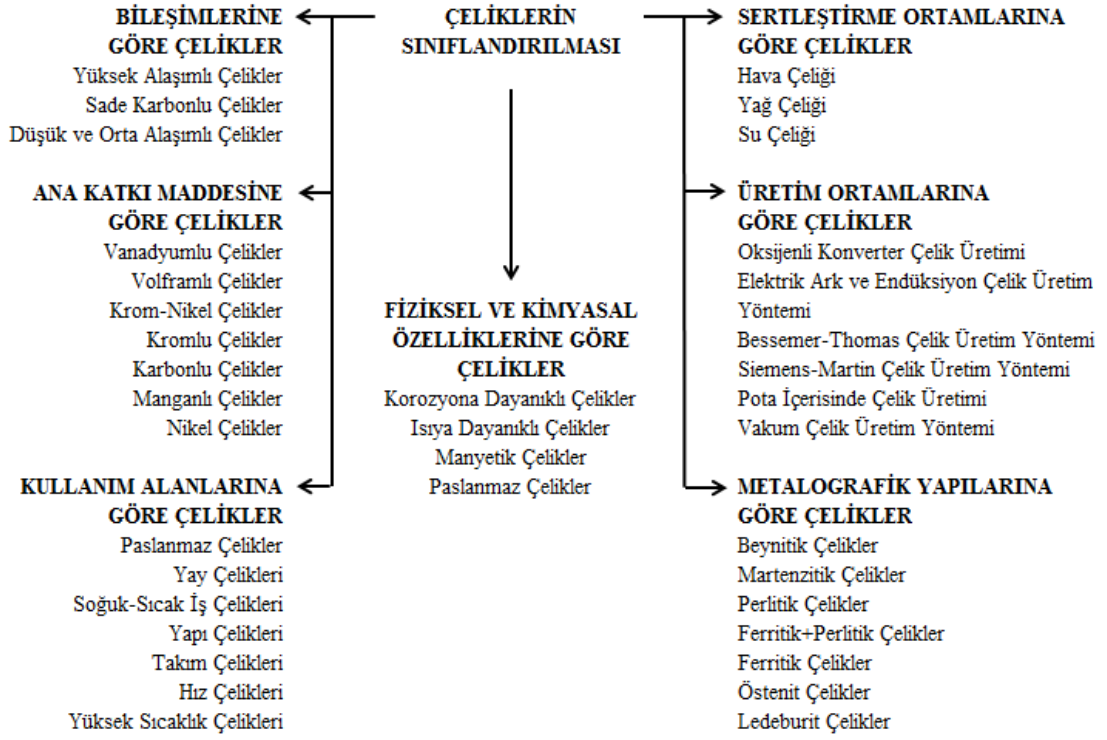
### 3.2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Çelik malzemeler farklı özellik ve standartlara göre hem sınıflandırılabilirler hem de kodlanırlar. Çizelge 3.1'de AISI (ABD) standartlarına göre örnek bir kodlama gösterilmiştir [5,6,63].

Çizelge 3.1. AISI (ABD) normlarına göre çeliklerin kodlanması.

Sınıf	Alaşım Elementleri	Yaygın Örnekler
10XX	C	1020, 1040,1060
11XX	C, S (Otomat)	1120
2XXX	Ni	2130
3XXX	Ni + Cr	3140
4XXX	Mo + Cr + Ni	4140, 4340
5XXX	Cr	5160
6XXX	V	6150
7XXX	W	7230
86XX	Ni + Cr + Mo	8620, 8660
92XX	Si	9260

Çelik malzemeler tanımlama ve malzeme seçimlerinde kolaylık sağlamak sebebiyle; üretim yöntemlerine, kimyasal yapılarına, sertleştirme ortamlarına, kalitelerine ve kullanıldıkları alanlara göre beş grupta sınıflandırılabilirler [6,64]. Şekil 3.2'de çeliklerin farklı özelliklerine göre sınıflandırılmaları şematik olarak gösterilmiştir [74].



Şekil 3.2. Çeliklerin farklı özelliklere göre sınıflandırılması.

Üretim yöntemlerine göre sınıflandırılan çelikler hangi yöntem ile imal edildiyse o ismi alır. Örnek olarak, Siemens-Martin, Bessemer-Thomas, oksijen konvertör vb. üretim şekillerinden biri ile üretilmiş çelik malzeme Bessemer-Thomas çeliği olarak adlandırılır [5,6,64].

Kimyasal yapılarına göre yapılan sınıflandırmada çelik, içerisinde bulundurduğu elementlere göre sınıflandırılır. İçeriğinde sadece karbon bulunan çelikler, Sade karbonlu çelikler olarak isimlendirilirken, katkı elementi eklenerek özellikleri istenilen standartlara getirilen çelikler ise, katkılı çelikler olarak adlandırılmaktadır. Sade karbonlu çelikler karbon oranlarına göre ötektik altı ve ötektik üstü olarak ikiye ayrılırlar. Ötektik altı çeliklerden; % 0,1-0,2 C içeren çeliklere yumuşak çelikler, % 0,2-0,3 C içeren çeliklere az karbonlu çelikler, % 0,3-0,85 C içeren çeliklere ise orta karbonlu çelikler denilmektedir. Ötektik üstü çelikler ise % 0,85 C'dan fazla karbon içermektedir. Katkılı çelikler ise içerdikleri yüksek oranda ki katkı elementinin ismine göre sınıflandırılırlar. Buna, Vanadyumlu çelikler vb. örnekler verilebilir [5,6,64].

Çelik malzemeler daha iyi istenilen özellik değerlerine erişebilmek için bir takım sertleştirme işlemlerinden ve sıvı, yağ, hava gibi ortamlardan geçirilirler. Bu işlemler sırasında bulunduruldukları ortam ismine göre ise, örneğin, hava çeliği veya su çeliği gibi isimlerle de sınıflandırılabilirler [5,64].

Kullanım alanlarında istenilen kaliteler dikkate alınarak yapılan sınıflandırmada çelikler; şekillendirme özelliğine göre dövme veya dökme elverişli çelikler, yapısal özellikleri dikkate alındığında ısıya, korozyona, aşınmaya karşı dayanıklı çelik malzemeler ve mikroskobik yapıları açısından ferritik çelikler, perlitik çelikler olarak adlandırılırlar [5,64].

Çelik malzemeler birçok farklı özellik taşıyabilirler. Taşıdıkları bu özellikler ile farklı alanlarda kullanılabilirler. Çelikler kullanım alanlarına göre, ıslah çelikleri, sementasyon çelikleri, otomat çelikleri, paslanmaz çelikler, yay çelikleri, imalat çelikleri ve takım çelikleri olarak sınıflandırılabilirler [6,64].

Günümüzde daha çok sistematik olmayan fakat çeliklerin karakteristik özelliklerini ve/veya kullanım amaçlarını daha çok ön plana çıkaran gruplandırmalar sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu sınıflamada bir çelik türü birden çok grup içerisinde de yer alabilir. Örneğin C40 hem ıslah hem de karbon çelikleri grubunda yer alabilir [75]. Çelikler, makina ve teçhizat üreten endüstri kollarında ve inşaat sektörü, konstrüksiyon elemanlarının üretimi, optik cihaz ve ölçü cihazları parçaları gibi hassas mekanik parçalar üreten endüstri kolları ve otomobil endüstrisi, pim, aparat vs. gibi seri imal edilen parçaların üretimi alanlarında kullanıma sahiptir [76]. Çelik malzemeler ne tarz alan için üretiliyorsa o ilgili alanın adını alarak gruplandırılır. Buna örnek vermek gerekirse inşaat çelikleri örneği verilebilir [4,6].

Çelik malzemeler kullanıldıkları alanlara göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilirler [77];

1. Otomat çelikleri
2. Yay çelikleri
3. İmalat çelikleri



4. Sementasyon çelikleri
5. Paslanmaz çelikler
6. Islah çelikleri
7. Takım çelikleri

### **3.2.1. Otomat Çelikleri**

Otomat çeliklerinin üretiminde sıklıkla ufak parçalar imal edildiğinden dolayı, karbon oranı ortalama % 0,10-0,60 aralığında olan ıslah çelikleri ve alaşımsız sementasyon çelikleri kullanılır. Talaşlı imalat için ise kükürt ve mangan ihtivasi diğer çeliklere göre daha fazla yapılır. Bu şekillerde elde edilen çeliklere otomat çeliği adı verilir. Kısa ve kırılğan yapıda talaş meydana getirmek amacıyla mangan ve kükürtün birleşmesiyle mangan sülfür elde edilerek malzeme yapısında kırılğanlık sağlanır [77-80]. Bu sebeple tek veya çok milli hızlı takım tezgâhlarında işlenmeleri daha doğrudur. Bazı durumlarda kesme hızlarını yükseltmek için yapılarına Tellür (Te), Kurşun (Pb), Bizmut (Bi) ve Selenyum (Se) ilave edilmektedir [81,82].

Genel olarak özelliklerini değerlendirdiğimizde, otomat çelikleri içeriğinde yüksek miktarlarda mangan ve kükürt bulundurmakla birlikte alaşım içermezler ve sade karbonlu çelik olarak adlandırılırlar. Kükürt ve fosfor çelik malzemede yağlama etkisi ile malzeme mukavemetinin yükseltilmesine ve işlenen malzemede pürüzsüz yüzey elde edilmesine imkân tanır [81,82]. Talaş kaldırma özellikleri iyidir ve buna elverişlidir. Bu çeliklere uygulanan talaş kaldırma işleminde ki çok düşük kesme kuvvetinden dolayı, kesici kalemde yüksek ömür ve işleme yapılan parçada ise oldukça pürüzsüz bir yüzey kalitesi gerçekleşmektedir [4,6,80].

Otomat çeliklerine yapılan hızlı talaş kaldırma işlemi sonucunda oluşan talaşların kısa ve kırılğan çıkmasından dolayı, talaşlı imalat maliyetleri oldukça düşük çıkmaktadır. Bu malzemeler revolver ve çok milli torna tezgâhlarında uygulanan alın ve boyuna tornalama, matkapla delme, diş açma, raybalama vb. gibi talaş kaldırma işlemlerine yapıları dolayısıyla elverişli çeliklerdir [83].

Otomat çelik malzemeleri daha çok hassas mekanik işlev gören endüstri parçalarının üretiminde kullanılmaktadır. Bunlara; otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemeler, yapı elemanlarının üretimi, makine parçaları imal eden sanayi kollarında, inşaat sektöründe ve ölçüm cihazlarının bazı parçaları gibi örnekler verilebilir [4,6,80]. Şekil 3.3’de otomat çelik parçalar gösterilmiştir [84].



Şekil 3.3. Otomat çelik parçalar.

Otomat çelik malzemelerin gösteriminde içerdiği katkı elementleri önemlidir. Örneğin; kükürt, mangan, kalay ve fosfor elementlerinden hangisi malzemede bulunuyorsa, bulunanlar bu sırayla gösterilir. Karbon ve kükürdün yüzde miktarı yüz ile çarpılarak gösterilir. Örneğin; otomat çeliğinin kimyasal bileşimi % 0,45 C, % 0,20 S ve % 0,15 Pb şeklinde ise malzeme 45SPb20 olarak kodlanır [4,6,80].

Otomat çeliklerini üç temel grupta sınıflandırabiliriz. Bunlar; ısıl işlem yapılanlar, ısıl işlem yapılamayanlar ve sementasyon işlemi gerçekleştirilenler olarak yazılabilir. Otomat çelik malzemeleri, hassas ölçü aralıklarında soğuk haddelenmiş olarak kullanılır. Yüzey hassasiyeti h9, h11 toleranslarında üretilmektedir [7].

### 3.2.2. Yay Çelikleri

Genellikle taşıtların ve bazı makinaların yapımında kullanılan yayların büyük bir bölümü yay çeliklerinden elde edilmektedir. Bu malzemeler, daha çok tel, çelik çubuk ve band gibi yarı mamullerin, yay çeliğinin kullanım yerlerindeki istenilen

ölçülerine bakılarak sıcak veya soğuk olarak yaya şekil verilmesiyle elde edilirler [77,79].

Yay çelikleri, yapı çeliklerine göre daha fazla karbon bulundururken, takım çeliklerinden daha az oranda karbon içermektedirler. Akma sınırı/çekme mukavemeti oranı fazladır ve elastisite modülü kararlıdır. Bu malzemelerin dayanımları oldukça yüksek ve sabit titreşime dayanıklıdır [8,77]. Orta karbonlu olan yay çeliklerde, iyi sertleşebilme kabiliyetinin olduğu bilinmektedir [63].

Yay çelikleri için aranan en önemli özellikleri, yük dayanımının yeterli seviyede olması, esneklik, maruz kalınan yük sonrası kırılmaması şeklinde sıralanabilir. Bu özelliklerin yakalanabilmesi için çelik malzeme seçiminin ve üretim sonrası ısı işlemin uygun seçilmesi oldukça önemlidir. Uygulanan yük miktarının artırılması ile hem yüke karşı mukavemetinin hem de malzemenin sünekliliğinin korunması gerekmektedir [85]. İçeriğinde düşük oranda alaşım elementleri bulunan yay çelikleri yüksek akma dayanımına sahiptirler ve bundan dolayı eğme ve bükmeden sonra malzemelerin orijinal şekle dönmeleri gerçekleşmektedir [86].

Yay çelikleri gibi esnek malzemelerin imalatından kaynaklı iç çatlaklar, ısı işlemden kaynaklı hatalar, yüzey çentiği vb. gibi malzemenin homojen sertliğini bozan etkenler malzemenin kolay kırılmasına neden olacak hatalar olarak belirtilir [85].

Bu çelikler birçok alanda kullanılır. En fazla kullanılan yay çelikleri; 1.0902 (DIN 46i7) (SAE 9245), 1.0904 (DIN 55Si7) (SAE 9255) ve 1.0906 (DIN 65Si7) (SAE 9265) şeklinde sıralanabilir [83].

### **3.2.3. İmalat Çelikleri**

İmalat çelikleri içerisinde %1,7'ye kadar karbon bulunduran çeliklerdir. Sade karbon veya alaşımsız makine imalat çeliği olarak da adlandırılırlar. İmalat çeliğinin sertleşebilirlik özelliği içeriğindeki karbon miktarına bağlı olarak artarken, tokluk değeri ise karbon miktarı ile arttıkça azalır. Eğer daha yüksek sertleşebilirlik istenilen

uygulamalarda kullanılacaksa, buralarda düşük alaşımli çelikler kullanılmaktadır [85].

Mukavemet değerinin yüksek olmasının istenmediği makine parçalarında imalat çelikleri genellikle kullanılmaktadır. Dişliler, miller, dişli parçaları, pimler, civatalar, vd. gibi parçalar kullanılarak; makine, taşıt, motor ve aparat yapımında imalat çeliği kullanılmaktadır [85].

İmalat çeliklerine örnek olarak SAE 1030, 1040, 1050, 1060 kalitede bulunan çeliklerin yanı sıra C30, C40, C50 ve C60 gibi eş değer kaliteler de verilebilir. İmalat çeliği kullanılan parçaların çoğunda talaşlı imalatta yapılmaktadır. Bu çeliklere kükürt ilavesi sıklıkla gerçekleştirilir. Kükürt katkısı yapılan çelikleri C30R, C40R, C50R, C60R şeklinde tanımlama yapılır. Katkı oranı genellikle % 0,020-0,035 oranı aralığında gerçekleştirilir [85].

#### **3.2.4. Sementasyon Çelikleri**

Sementasyon işlemleri, büyük yüklerin taşınmasını veya ağır darbelerin karşılanmasını, sünekliliği, sürekli dayanımı, yüzey sertliği aşınma dayanımı ve parça çekirdek bölge dayanımı gibi değerleri iyileştirerek gerçekleştirir [85].

Sementasyon çelikleri, sementasyon işleminden sonra çeliklerin yüzey bölgelerinin sertleşip aşınmaya dayanıklı olan ve çekirdek bölgesinde ise daha yumuşak bir yapıya sahip olan çeliklerdir [76]. Sementasyon işlemine tabi tutulan bu çeliklerin çekirdekdeki karbon oranı % 0,10-0,20 değerlerinde bulunurken, yüzeye karbon emdirilmesi suretiyle bu bölgede karbon oranı % 0,8'e kadar yükselir [76,85].

Sementasyon çelikleri genellikle ağır darbe dayanımı gereksinimi olan alanlarda kullanılır. Bunlara örnek olarak; dişli parçaların imalatı, miller, zincir dişli parçaları, kılavuz yatakları ve merdaneler vb. parçalar verilebilmektedir [75,77].

Günümüzde en çok kullanılan sementasyon çelikleri, C10 (1.0301), C15 (1.0401), (SAE 1020), 21NiCrMo2 (1.6523), 16MnCr55 (1.7139), 15Cr3 (1.7015), SAE 4320, SAE 3315, SAE 3415 ve SAE 4120 olarak adlandırılan çeliklerdir [78].

### **3.2.5. Paslanmaz Çelikler**

Alaşım bakımından düşük olan çelikler, ortam koşullarına göre hızlıca paslanır ya da kimyasal korozyona uğrar. Bu tarz tahribatlardan korunmak amacıyla, çeliklere boya uygulaması yapabilir ancak bu yeteri kadar koruma sağlamayabilir. İşte bu gibi ortamlarda kullanılmak için paslanmaz çelikler tercih edilir [85].

Paslanmaz çelik malzemelerin kimyasal yapıları incelendiğinde, en az % 10,5 krom ve en fazla % 1,2 karbon içerdiği görülmüştür [76]. İçeriğinde Si ve Al gibi elementleride bulundurlar. Bu Cr, Al ve Si gibi elementler, oksijenle tepkime gerçekleştirerek, ince ve yoğun bir tabaka oluştururlar. Bu oluşan oksit film tabası sayesinde paslanmadan korunma sağlanır [85].

Paslanmaz çelikler, korozif ortamlarda istenilen mekanik özelliklerini koruyarak yüksek bir korozyon direnci gösterdiği uygulama alanlarında artarak kullanımına devam etmektedir [78].

Paslanmaz çelikler mutfak araç gereçlerinden, tekne üretimine, santral imalatından, endüstriyel makina parçalarına, otomobil parçalarında, uzay ve havacılık sanayiine, bina iç ve dış cephesinde, inşaat demirlerinde, makina parçalarında ve günlük hayatımızda karşımıza çıkabilen hemen hemen tüm alanlarda kullanılmaktadırlar [78,85].

Paslanmaz çelikler içerdikleri katkı elemanlarına göre değişkenlik gösterirler. Tamamen östenitik ve ferritik yapı aralığında olan beş çeşit paslanmaz çelik bulunmaktadır. Bu çelikler; ferritik paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çelikler, çift fazlı (Dubleks) paslanmaz çelikler, martenzitik paslanmaz çelikler ve çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler olarak adlandırılırlar [78].

### 3.2.6. Islah Çelikleri

Islah çeliklerini karbon oranı % 0,35'den başlar. Islah çeliklerinde sertleşebilirlik yanında, süneklik ve yüksek dayanım gibi özelliklerde aranır. Bu çeliklere istenilen oranda sertlik verebilmek için, yüksek oranda karbon içermeleri gerekir [75,85]. Islah çeliklerine sertleştirme işlemi uygulandıktan sonra yüksek sıcaklıkta menevişlenirler. Kükürt miktarı belli bir aralıkta değişen, alaşımsız ve alaşımlı ıslah çelikleri de geliştirilmiştir [77]. Bu bağlamda ıslah çelikler malzemeleri kimyasal bileşimlerine göre; alaşımsız, mangan alaşımlı, krom alaşımlı ve krom-molibden alaşımlı ıslah çelikleri olmak üzere dört bölüme ayrılırlar [85].

Islah çelikleri, büyük ölçüde makine imalatında kullanılmakla beraber alaşımlı olanlar mil, şart, krank gibi parçaların imalinde de kullanılır [75]. Bunu yanı sıra, bu çelikler motor parçaları, çeşitli somun cıvata, saplamalar, akslar, çeşitli miller, dişliler, dövem parçaları, piston kolları gibi parçaların üretimi alanlarında oldukça geniş bir kullanıma sahiptirler [76].

### 3.2.7. Takım Çelikleri

Metal ve metal dışı malzemelerin çeşitli şekillerde şekillendirilmesi ve makinelerin kesme, delme, dövme, çekme, ekstrüzyon, haddeleme gibi üretim işlemlerini yapan parçalara takım çelikleri denir [76,77]. Takım çeliklerinden kullanım şartlarına göre; yüksek akma-çekme dayanımı, aşınma direnci, kullanım şartına uygun süneklik, darbe direnci, tokluk ve yüksek sertlik gibi özellikler istenir [77]. Bunların yanı sıra bu çeliklerde, yüksek mukavemet, yüksek sıcaklıkta çalışabilme, ısı iletim kabiliyetinin yüksek olması, iyi derecede işlenebilirlik ve düşük termal genleşme gibi özelliklerde aranır [83].

Takım çelikleri endüstride, sıcak iş, soğuk iş, yüksek hız takım çelikleri ve plastik kalıp çelikleri olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır [77].

Sıcak iş takım çelikleri, sıcaklık arttıkça mukavemetlerini ve tokluk gibi özelliklerini yitirmeden çalışabilirler. Oda koşullarında şekil verilemeyen malzemeleri ısıtarak

şekillendirilmesi alanlarında kullanılırlar. Sıcak iş takım çeliklerinin karbon oranları % 0,3 ile % 0,5 aralığındadır. İçeriğinde molibden, tungsten ve krom gibi elementleri içerir. Darbelere karşı oldukça dayanıklı olan sıcak iş takım çeliklerinin, sıcaklık arttıkça mekanik özelliklerini koruyabilmesi istenmektedir. Bunun yanı sıra, aşınma dayanımlarının ve ısı iletkenliklerini yüksek olması da aranan özelliklerindedir. Bu çeliklerin sertlik değerleri 40-55 HRC aralığında istenmektedir. Sıcak iş takım çelikleri, beyaz eşya sektöründe, dövme kalıpları, boru presleri, ekstrüzyon kalıpları gibi malzemelerin imalatında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu malzemelere; SAE5330, SAE7430, SAE7930 vb. çelikler örnek olarak verilebilir [77,83].

Soğuk iş takım çelikleri, aşınma direncinin ve mukavemet değerlerinin yüksek olması istenen çelik malzemelerdir. Bu çelikleri genel anlamda üçe ayırırlar. Bunlar; hava ve yağda sertleştirilme ile yüksek karbon-krom tipleri olarak adlandırılırlar. Soğuk iş takım çeliklerinde, mangan, krom ve tungsten elementleri bulunur. Zımparalar, makaslar, bıçaklar, kesme kalıpları, soğuk ekstrüzyon takımları, presler vb. malzemeler bu çeliklerden elde edilirler [78,83].

Yüksek hız takım çelikleri içeriğinde % 4 krom elementi bulunan, derin sertleşebilen çelik malzemelerdir. Bu çeliklerden bazıları molibden, bazıları ise tungsten esaslı malzemelerdir. Torna kalemleri, frezeler, rayba, diş açıcı uçlar, metal testereleme ve zımba gibi malzemeler olarak kullanılmaktadırlar [76,77,83].

Plastik kalıp çelikleri plastik imalatında sıklıkla kullanılan çelik malzemelerdir. Plastik malzemelerin şekillendirilmesi esnasında kullanılan bu çelikler, kullanılan plastik malzemenin cinsine göre aşınma, korozyon ve basınca dayanıklı olması gerekmektedir [77].

## BÖLÜM 4

### KURAMSAL TEMELLER

#### 4.1. İŞLENEBİLİRLİK

İşlenebilirlik teriminin net bir tanımı yoktur. Bununla birlikte işlenebilirlik, bir malzemenin farklı işleme operasyonları veya tekniklerle hangi zorluk derecesinde işlendiğini, bu kriteri esas alarak da iş parçasının kalitesini ve varlığını anlamamıza yardımcı olacak bir ifade olarak tanımlanır [87-89].

Araştırmacıların işlenebilirlikle ilgili yaptıkları çalışmaların temel hedefi, istenilen geometride, en iyi kalitede ve işleme maliyetini en düşük seviyede kalmasını sağlayacak en uygun kesme şartlarını sağlayarak imalatı gerçekleştirmektir [88,90].

İşlenebilirlik özelliklerini etkileyen bazı değerler mevcuttur. Bu etkenler ile malzemeleri aynı şartlar altında kıyaslamak mümkündür. İşlenebilirliği etkileyen koşullar işleme şartları, takım açısından ve iş parçası yönünden olmak üzere üç şekilde aşağıdaki gibi özetlenebilir [87,90]:

1. Kesme hızı, derinliği ve ilerleme hızı,
2. Takım geometrisi, takım açısı ve kesici takım malzemelerinin kırılma direnci,
3. Fiziksel, kimyasal, mekanik ve ısı özellikler, mikroyapısal değişimler, iş parçasının mikroyapısı ve talaş kalınlığı.

İyi bir işlenebilirliği yakalayabilmek için, kesme hızı değerinin veya kesici takım ömrünün yüksek olması gerekirken, kesme kuvvetinin daha düşük olması gerekmektedir [89].



Bir malzemenin işlenebilirlik düzeyini kırılma tokluğu, sertlik, vb., gibi malzeme özellikleri ile tanımlamak yerine, karşılaştırma yaparak kullanmak daha yaygın görülen bir yöntemdir. Örnek olarak, endüstride bir malzeme tercihi yapılırken, işlenebilirlik seviyesi, kesici tezgâhlar ve kesici takımlar ile en yüksek ve en düşük malzemeler seçilir [91].

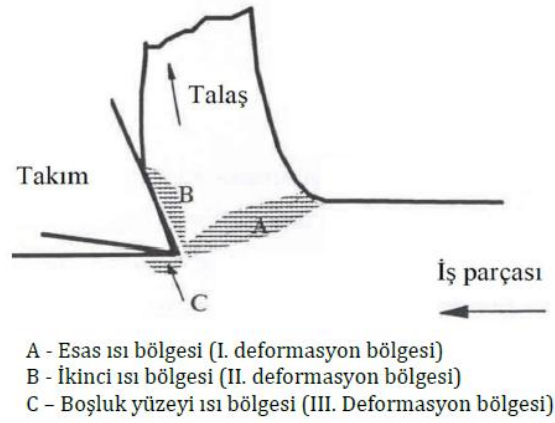
#### **4.1.1. İşlenebilirliğin Ölçülebilmesi**

İşlenebilirliğin ölçülmesi için kesin olarak kabul gören bir yöntem bulunmamaktadır. Ancak, işlemeli ve işlemez deneyler olarak iki ana grupta toplayacağımız işlenebilirlik deneyleriyle, bu değerın kısmen belirlenmesi sağlanmaktadır. Bir iş parçasının işlenebilirlik değeri, işlemeli deneylerden olan takım ömrü, kesme hızı, kesme kuvvetleri, güç tüketimi, yüzey kalitesi ve talaş biçimi gibi etkenlerden bir veya birden fazlası ile ölçülerek belirlenebilir [92].

İşlemeli deneyler zaman alan araştırmalardır. Zaman tasarrufu açısından birçok araştırmacı bu deneyler yerine işlemez deneyler yardımıyla iş parçalarının işlenebilirlik özellikleri arasında birçok ilişki belirlemişlerdir. Bu işlemez deneylere; kimyasal bileşim deneyi, mikroyapı incelemesi, fiziksel özelliklerin araştırılması vb. özellikler örnek olarak verilebilir [92].

#### **4.1.2. Kesme İşleminde Oluşan Isı**

Talaş kaldırma işlemin uygulanan yük ve sürtünmelerin % 98 civarı bu işlem sırasında ısıya dönüşür. Bu nedenden dolayı talaş kaldırma işlemlerinde en önemli etkilerden birisi ısı açığa çıkmasıdır. Bu açığa çıkan ısı ve kesme bölgesindeki sıcaklık değeri arttıkça kesici takımların verimliliği ve çalışılan malzemenin özellikleri etkilenir [93,94] Şekil 4.1'de kesme bölgesinde ısı açığa çıkan bölgeler gösterilmiştir [94].



Şekil 4.1. Kesme bölgesi ısı oluşumu [94].

Bu bölgeler aşağıdaki şekilde özetlenmiştir [93,94]:

A - Kayma düzlemi; kayma alanında meydana gelir. Bu ısının çoğu talaş malzeme üzerinde kalır. En yüksek ısısal değer, bu bölgede oluşmaktadır.

B - Takım-talaş ara yüzü bölgesi; plastik deformasyonun ve kayma hareketlerinin yüksek olmasından dolayı ısı açığa çıkmasında etkili bir alandır.

C - Takım yan yüzeyi, işlenmiş yüzey ile kesici takım arasındaki yan yüzeyde meydana gelen ısı sıklıkla bu yan yüzeyin sürtünmesi sonucu oluşan aşınmanın artmasıyla artar.

Kesme sıcaklığını etkileyen durumlara kesme hızı, derinliği, ilerleme hızı, soğutma sıvıları, kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, takım aşınması ve geometrisi gibi özellikler örnek olarak verilir [93].

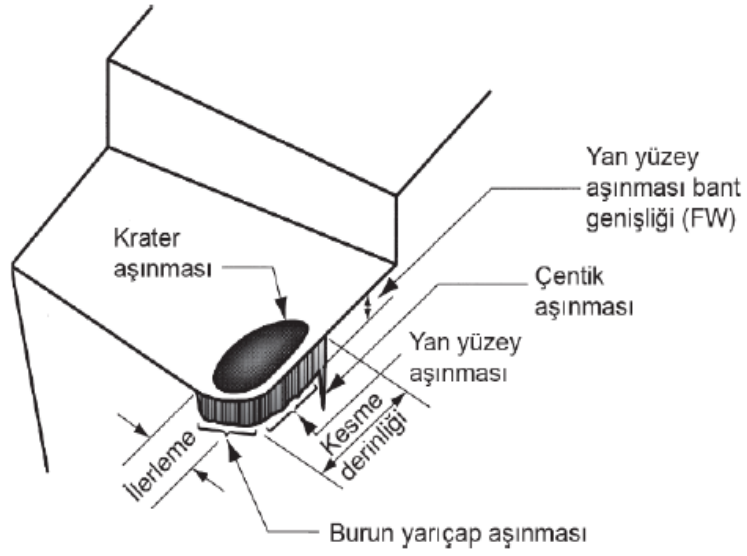
Bazı durumlar dışında, daha düşük takım aşınması elde edebilmek için, kesme sıcaklıklarını düşürmek gerektiği bilinmektedir. Ancak kendiliğinden açığa çıkan sıcaklık yükselmesinin, işlenebilirlik özelliklerini belli bir zamana kadar arttırdığı da bilinmektedir. Bunlar göz önüne alınarak, kesme sıcaklıklarında meydana gelen ani ve fazla yükselmelerin, işlenebilirlik özelliğini azalttığı gözlemlenmiştir [91].

### 4.1.3. Takım Aşınması

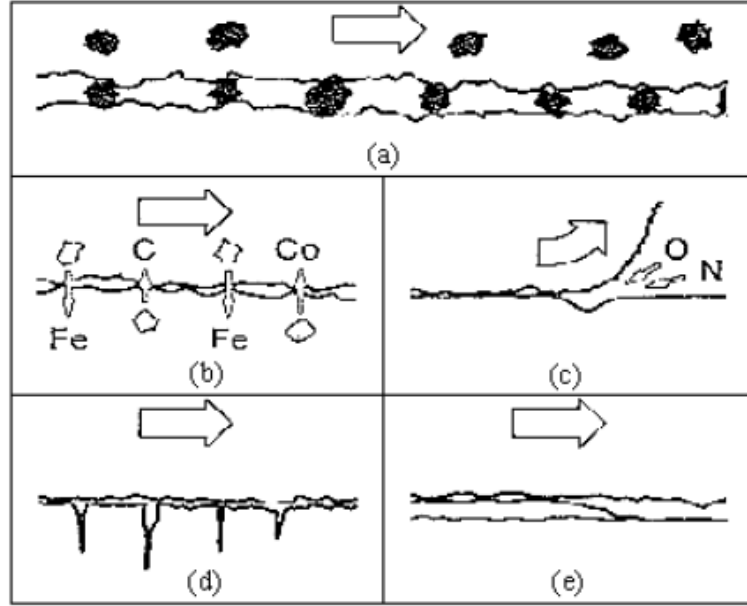
Takım aşınması, kesici kenar üzerine uygulanan yük neticesinde, takımın malzeme kaybı yaşaması ve ilk yapısına göre yapısında deformasyon meydana gelmesi olayıdır. Bir başka deyişle, kesme işlemi süresince, imalatın seyrini ve kalitesini bozan ve kesici takım üzerinde oluşan kütle azalması olarak da tanımlanabilir [2,8,9]. Kesici takımların hepsi işleme süresince kullanım ömrünün dolmasına kadar aşınmaya devam ederler. Takım aşınmasının seviyesini belirlemede iş parçasının özellikleri ve kesici takım özellikleri önemli rol oynamaktadır. Bunun yanısıra ilerleme oranı, kesme hızı ve derinliği ile çalışma sıcaklığı gibi kesme parametrelerinin etkenleri de takım aşınmasının belirlenmesinde önemli rol oynarlar [2,9]. Bu parametrelerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Çünkü bu etkenlerden oluşacak hatalar, takım malzemesinin aşınmasını arttıracaktır. Literatür çalışmaları ışığında, takım üzerinde meydana gelen aşınmaların, yüzey kalitesini olumsuz yönde etkileyeceği ortadadır. Bu duruma ek olarak, aşınma olayının fazlaşması, güç tüketimini aynı oranda arttırmakla beraber yeni takım kullanma gereksinimini de arttıracığından dolayı işleme maliyetlerini belirli ölçüde arttıracaktır [2].

Mekanik, ısıl, kimyasal ve sürtünme faktörlerinden kaynaklanan sebepler neticesinde kesici takımlarda takım aşınması gözlemlenir [9]. Aşınmanın sebeplerinin yanında aşınma tipleri ve meydana geldikleri bölgeleri bilmek, kesici takımların verimini arttırmak ve üretimin sürekliliği sağlamak adına oldukça önemlidir [2]. Şekil 4.2’de aşınma tipleri ve meydana geldikleri bölgeler gösterilmiştir [2].

Yan yüzey (yanak aşınması), plastik deformasyon, krater aşınması, çentik aşınması termal çatlaklar, mekanik yorulma çatlakları, çentikleme, kırılma (kesici ucun kırılması) ve yığılma-sıvanma (BUE) aşınma türleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunların yanısıra ise, abrasiv aşınma, difüzyon ile aşınma, oksidasyon aşınması, yorulma ile aşınma ve adhesiv aşınma takım aşınma mekanizmaları olarak karşımıza çıkmaktadır [8]. Şekil 4.3’te aşınma mekanizmaları gösterilmektedir [8].



Şekil 4.2. Aşınma tipleri ve bölgeleri.



Şekil 4.3. Aşınma mekanizmaları, (a) Abrasiv, (b) Difüzyon, (c) Oksidasyon, (d) Yorulma, (e) Adhesiv.

#### 4.1.4. Titreşim ve Ses Yoğunluğu

İşenebilirlik özelliklerinden titreşim, oldukça önemli ve zor bir konudur. Titreşim, makinaların hareketli ekipmanlarının içerisindeki kuvvetlerin hareketi sonucu ortaya çıkan bir faktördür. Tornalama esnasında her ne kadar işi yapmak için bir güç

tüketimi gerçekleşse de bunun bir kısmı titreşim için harcanmaktadır. Bu da tornalama işlemi süresince malzeme de titreşimden kaynaklı bir güç tüketimine sebep olur [2,95].

Tornalama işlemlerinde titreşim kaçınılması ve önlenmesi gereken bir faktördür. İş esnasında açığa çıkan titreşim, iş parçası üzerinde malzeme yorulması, parça aşınması, takım tezgâhlarının kırılması ve yüksek gürültü vb. gibi olumsuzluklarla karşılaşılmasına neden olur [2]. Bu konu üzerine yapılan çalışmalarda, araştırmacılar, optimum kesme şartlarını en iyi seviyede tutmayı amaçlayarak, bu doğrultuda kesme şartlarını ya en aza indirmeyi ya da olumsuz etkileyen koşulları ortadan kaldırmayı hedeflemişlerdir [2]. İş parçası, kesme koşulları, kesici takım ve kullanılan tezgâhın gücü gibi bileşenlerin ideal koşullara uygun olması ve birbirleriyle uyum içerisinde olması her ne kadar titreşimi en aza indirse de tamamen ortadan kaldırması mümkün olmayacaktır. Bu bağlamda kesme parametrelerinin optimum olduğu durumlarda dahi üzerine çalışma yapılabilecek ve ölçülebilecek titreşim hep olacaktır [2].

Freze tezgâhlarında, çeşitli iş parçası ve tornalama işlemlerinde elde edilen çıktılar, belirli saniyelik aralıklarla kayıt altına alınmış ve bu konu üzerine analizler yapılarak titreşimlerin düşük olduğu devir sayıları belirlenebilmiştir [95]. Titreşimleri etkileyen birçok koşul ve durum mevcut olduğu gibi, ölçülmesi içinde yine farklı yöntem veya yöntemler bulunmaktadır. Buna istinaden titreşimleri belirlemenin bir diğer yaygın yöntemine değinmek gerekirse bu noktada karşımıza ses yoğunluğu gelmektedir. Ses yoğunluğu, kısaca, bir mikrofon yardımıyla verilerin alınması, ekrandan izlenmesi ve analiz yapılması sonucunda titreşimin ölçülmesi ve değerlendirilmesini sağlamaktadır. Akademik alanda yapılan deneyler sonucunda, titreşimin artmasıyla ses yoğunluğu ve şiddetinin de arttığı görülmektedir [95].

## **4.2. KESİCİ TAKIMLAR**

Kesici takım malzemeleri endüstride birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. En çok bilinen özellikleri, yüksek tokluğa sahip olmaları, ısı direnç: yüksek sıcaklıklarda sertlik vb. gibi özelliklerini korumaları ve aşınmaya karşı direçlerinin yüksek olması [88].

#### **4.2.1. Kesici Takım Malzemeleri**

Günümüzde kesici takım malzemeleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

##### **4.2.1.1.Yüksek Hız Çeliği**

İçeriğinde Mo, V, Co, W ve Cr gibi elementler bulunarak sertleştirilmiş yüksek hız çelikleri (HSS: High Speed Steel), karbon çeliklerine ve düşük alaşım içeren çeliklere nazaran sıcaklığın artmasıyla sertliklerini daha iyi koruyabilen, ısıya karşı dirençli malzemelerdir [90,91]. Bu çelikler diğer malzemelere göre daha kolay şekillendirilebilir olduğundan ve maliyetlerinin daha düşük olmasından dolayı talaşlı imalat sektöründe sıklıkla kullanılırlar [96]. Bu çelikler; matkap ve freze çakıları gibi yumuşak sertlikteki alaşımsız çelik malzemelerin talaşlı imalatında kullanılmaktadır [90,91].

##### **4.2.1.2.Sementit Karbür**

Sinterlenmiş karbür ismiyle de bilinen sementit karbürler, kobalt (Co) ve tungsten karbür (WC) kullanılarak toz metalurjisi yöntemi ile elde edilirler. Bunların yanı sıra bu çeliklerin elde edilmesinde, titan (TiC) ve tantal (TaC) karbürleri de toz metalurjisinde kullanılır [96].

Sementit karbürler basınç dayanımları yüksek malzemeler olmasına rağmen, çekme dayanımları düşük-orta seviyelerdedir. Kullanımı günümüzde de gittikçe artan bu malzemeler, yüksek ısı dayanıma, yüksek sertliğe ve iyi bir aşınma direncine sahip malzemelerdir. Bunun yanı sıra sementit karbürlerin, ısı iletkenlikleri de yüksektir [88].

Sementit karbür kesici takımlar, magnezyum, pirinç, alüminyum, bakır ve dökme demir gibi malzemeler ile düşük alaşımlı, paslanmaz vb. diğer alaşımlı malzemelerin işlenmesinde günümüzde sıklıkla kullanılır [90].

#### **4.2.1.3.Kaplamalı Sementit Karbür**

Sementit karbürlerin aşırı hızlarda kullanımların kısıtlanması ve sertliklerinin düşük olması gibi nedenlerle, bu malzemeler üzerine kimyasal veya fiziksel buhar çöktürme metotlarıyla 2,5 ile 13 µm kalınlığında, bir veya çoklu katman halinde, TiC, TiN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi malzemeler ile kaplama yapılarak kaplamalı sementit karbür malzemeler elde edilir [88,90,91]. Bu sayede kesici takımlar, daha iyi sertliğe, daha yüksek aşınma direncine ve daha yüksek ısıl sertliğe sahip olurlar [91].

#### **4.2.1.4.Sermet**

Sermet karbürler, metal ve seramik parçacıklardan toz metalurjisi kullanılarak elde edilen kesici takımlardır. Bu kesici takımlar, TiN, TiC, TiCN veya WC bazlı sertlik seviyesi daha yüksek seramik partiküllerden oluşmaktadır. Bu nedenle, diğer kesici takımlara göre sertlik değeri ve ısıl direnci oldukça yüksek olmakla beraber tokluk değeri daha düşüktür [90,91]. Sermet karbür kesici takımlar, endüstride kesme hızlarının oldukça fazla olduğu paslanmaz çelik, çelik veya dökme demir gibi malzemelerin finish tornalama süresince kullanılmaktadır [88].

#### **4.2.1.5.Seramik**

Sıcaklığın artmasıyla sertlik değerini muhafaza eden seramik takım malzemeleri metallere karşı kimyasal tepkimeye girmemek ve oldukça sert olmaları gibi belirgin özelliklerinin yanı sıra WC kesme takımlarına göre kesme hızlarının 10 kat daha fazla olması nedenlerinden dolayı önemli takımlardan birisi olarak göze çarpmaktadır [91]. Buna rağmen ısıl iletkenliklerinin ve kırılma tokluklarının düşük olması bu malzemelerin zayıf yanlarından birisidir [91].

Seramik kesici takımların WC'ye göre, aşınma direnci yüksektir, plastik deformasyona karşı direnci fazladır, sıcak sertliği ve sertliği yüksektir, kimyasal kararlılık seviyesi iyidir ancak kırılma tokluk değeri ve ısı şok direnci düşüktür [90]. Bu kesici takımlar, yüksek hızlarda tornalama işlemi yapılan dökme demir ve çelik

malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. İşlemede kesme hızının yüksek olduğu, ilerleme miktarının düşük olduğu durumlarda kullanımına ihtiyaç duyulur [88].

#### **4.2.1.6.Çok Sert Kesici Takımlar**

Çok sert kesici takımlar, tek kristalli (doğal elmas), çok kristalli elmas (PCD) ve kubik bor nitrür (CBN) malzemeler olarak gruplandırılırlar. CBN kesici uçlar bunların arasında doğal elmaslardan sonra gelen ikinci sertlikteki takımlardır [90,91]. Kristal düzlemlerinin anizotropik özelliklerine bağlı olarak sertlik değerleri 6000-12000 VSD arasında olan doğal elmaslar, seramik ve sementit karbür gibi sert kesicilere göre bile dört kat daha fazla sertlik özelliği taşımaktadır [90]. CBN kesici uçların sertlik değeri ise 3000-5000 VSD arasındadır [90]. CBN kesici uçların kırılma toklukları ile ısı iletkenliklerinin iyi olduğu bilinen özelliklerdendir. Bu kesici uçlar ile yapılan işlemlerde demir alaşımları içerdikleri elementler neticesinde kimyasal reaksiyondan ötürü difüzyon aşınması gösterebilirken, nikel ihtiva eden süperalaşımların ve dökme demir malzemelerin işlenmesi ise oldukça kaliteli sonuçlar verir [91]. CBN malzemeler, maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı takım olarak üretilmek yerine kesici uç olarak kullanılması mümkündür [91].

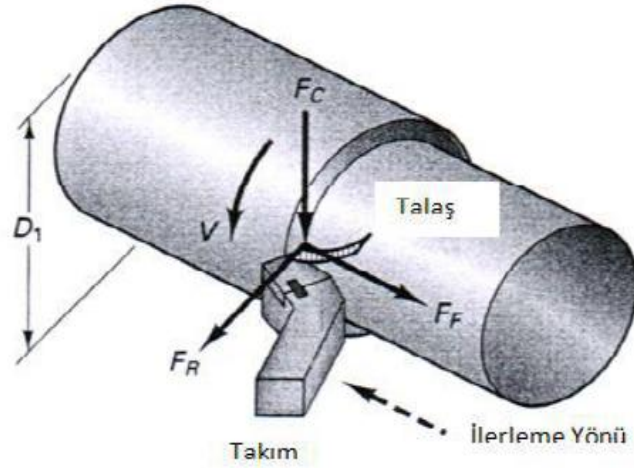
### **4.3. KESME KUVVETLERİ VE GÜÇ TÜKETİMİ**

Talaş kaldırma işleminin yapılabilmesi için, kesme hattında oluşan tepkilere karşılık gelen kuvvetler, talaş kaldırma kuvvetleri veya kesme kuvvetleri olarak bilinir [9]. Kesme kuvvetleri, talaş kaldırma prosesi süresinde kullanılan veya açığa çıkan, ısı oluşumu, kesici malzemenin kullanım ömrü, işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğü ve çalışılan malzemenin boyutları üzerinde göz ardı edilemeyecek ölçüde bir etki oluştururlar [89]. Bunun yanı sıra kesme kuvvetleri, takım tezgâhlarının projelendirilmesi ile kesici malzemelerin ve bağlamada kullanılan kalıpların projelendirilmesinde önemli bir kullanıma sahiptir [97].

Kesme düzleminde oluşan kuvvetleri; kesme kuvveti, talaş ile takım malzemesi ve takım malzemesi ile çalışılan malzeme arasındaki sürtünme kuvvetleri olarak adlandırılır. Kesme düzlemi boyunca uzanan bu kuvvetler, takım malzemesinin uç



bölgesine veya kesme hattının orta bölgesine uygulanan tek bir kuvvet olarak gösterilebilir [9]. Şekil 4.4'de tornalama işlemi süresince meydana gelen kesme kuvvetleri şematik olarak gösterilmiştir [89].



Şekil 4.4. Kesme kuvvetlerinin şematik gösterimi [89].

Kesme kuvvetleri dinamometre ve tamamlayıcı donanımlarla ölçülmektedir. Kesme kuvveti bileşenleri; kesme hızı yönü boyunca etkili olan esas kesme kuvveti ( $F_c$ ), kesici takım malzemesinin ilerleme yönü üzerindeki ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) ve işlenen yüzey bölgesine dik açıyla oluşan radyal (pasif) kuvvet ( $F_r$ ) şeklinde tanımlanırlar [89,97]. Eşitlik 4.1'de bu üç kuvvetin bileşkesi olan bileşke kuvvetin hesaplanması gösterilmiştir [97].

$$F_R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (4.1)$$

Güç tüketimi, üretim sektöründe ilk maliyet ve çevreye olan etkisi düşünüldüğünde önemli bir yer almaktadır. Birçok araştırmacı sert parçaların işlenmesinde güç tüketiminin etki ve sonuçlarını araştırmışlardır [98,99]. Yüksek sertlikteki malzemelerin talaşlı imalat ile işlenmeleri süresince, iyi bir yüzey pürüzlülüğünün sağlanması amacıyla genelde daha karışık takım tezgâhlarının kullanılmasına gereksinim artmıştır ve bu temel nedenden dolayı da güç tüketimi doğal olarak artmaktadır [100]. Genel olarak güç tüketimine birçok faktörün etki ettiği bilinmektedir. Kesici takım malzemesinin aşınması, ilerleme hızı ile kesme hızının

ardından enerji sarfiyatında en etkili faktör olarak belirlenir. Bunun yanı sıra, talaş kaldırma oranının güç sarfiyatı üzerinde bilinen önemli bir etkisinin olmadığı ancak bu oranın yükselmesiyle güç tüketiminin de bir miktar arttığı bilinmektedir [98,99]. Kesme parametrelerinin etkisiyle meydana gelen kesme sıcaklığı, kesici takım malzemelerinin aşınmasına ve dolaylı olarak da güç tüketiminin belirli oranlarda artmasına sebep olmaktadır [98,99]. Genel olarak, güç tüketiminin düşük seviyelerde tutulması için, kesme parametrelerinin optimum değerlerinin uygulanması gerekmektedir. Yapılan birçok çalışmada düşük güç tüketiminin elde edilmesi için, kesme hızının düşük, ilerleme ve kesme derinlik değerlerinin ise yüksek olması gerektiği tespit edilmiştir [101].

#### **4.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ**

Yüzey pürüzlülüğü belirtilen bir yüzey uzunluğu boyunca, nominal yüzeye göre dikey sapmaların ortalaması olarak tanımlanır. Talaş kaldırma prosesinde, işlenen yüzeylerin kalitesi işleme performansı önemli oranda etkilemektedir. Aynı zamanda işlenen yüzey kalitesi ne kadar iyiye aşınma direnci, sürtünme ömrünü ve yorulma dayanımını o kadar iyileştirir [89,92].

Yüzey pürüzlülüğü talaşlı imalatta istenmeyen bir durumdur, hassasiyet ve yüzey pürüzlülüğü işletme ve ekonomiklik olarak da önem arz etmektedir. Pürüzlü olan yüzeyler, pürüzsüz yüzeylere göre yüksek sürtünme katsayıları ve hızlı aşınmaya neden olabilir [93,96].

Talaş kaldırma işlemlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ideal ve gerçek yüzey pürüzlülüğü olarak iki başlık altında incelenmekle beraber yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerde yüzey pürüzlülüğü için önemli bir konudur [89,92].

##### **4.4.1. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü**

Kesici uç biçimine ve ilerlemeye bağlı oluşan en ideal bitirme; kesici takımlardaki vuruntular, hatalar ve yığıntı talaş oluşumlarını azaltılması ile sağlanır. Tek bir faktöre veya bir diziye göre işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğünü tespit edilebilmesi

sayısal analizler ve kıyaslamalar için çok kullanışlı bir metot olabilir. Bunu için genellikle aritmetik ortalama değeri (Ra) kullanılmaktadır. Eşitlik 4.1’de belirtildiği gibi; Ra ortalama pürüzlülük değeri; uçyarıçapı (re) ve ilerleme (f) parametlerine bağlıdır [89,90].

$$Ra = 0,0321 \times f^2 / re \quad (4.1)$$

#### **4.4.2. Gerçek Yüzey Pürüzlülüğü**

Eşitlik 4.1’deki bilgiler yüzey pürüzlülük değerinin büyük kısmını oluşturur. Fakat deneysel testler sonucu oluşan gerçek pürüzlülük değerleri, genellikle teorik açıdan belirlenen değerlerden çok daha fazladır [89].

Doğal yüzey pürüzlülüğüne en temel etkenler; kesme hızı, takım sistemi, çalışma ortamı koşulları, malzeme kusurları, aşınma ve titreşimdir [88-90].

#### **4.4.3. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler**

Talaşlı imalat prosesinde, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen durumlar mevcuttur Bunlar [89,94]:

1. Malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri
2. Kesici takım geometrisi
3. Takım tezgahı ve takım tutucunun rijitliği
4. Takım aşınmasının etkileri
5. Talaş kaldırma şekilleri
6. Soğutma sıvıları
7. Yataklama sisteminde ortaya çıkan hatalar
8. Kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği vb.) faktörleridir.

## BÖLÜM 5

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 5.1. GİRİŞ

Bu çalışmada, literatür araştırmaları incelenerek planlanan ve gerçekleştirilen çalışmalar aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

- Malzemelerin temin edilmesi,
- Malzemelere istenilen sertlik değerine ulaşılabilmesi için ısıl işlem uygulanması,
- Malzemenin homojen sertleşip sertleşmediğini kontrol etmek amacıyla, 1 mm talaş kaldırması ve sonrasında sertlik kontrol deneyleri yapılması,
- Deneysel olarak ölçülen, yüzey pürüzlülük değerleri ile güç tüketimi değerlerinin istatistiksel yöntemler ile analiz edilmesi.

#### 5.2. DENEY MALZEMESİ

Bu çalışmada, Birleşik Metal ve Isıl İşlem Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.'nden alınan 250 mm uzunluğunda 50 mm çapında bir DIN 1.2367 sıcak iş takım çeliği deney parçası olarak kullanılmıştır. Bu malzeme, AISI H11 sıcak işlenmiş çeliğe benzer, ancak daha yüksek molibden içeriği içeren bir Krom-Molibden sıcak iş çeliğidir. Daha yüksek molibden, daha yaygın olan H11 ve H13 sıcak iş çeliklerinden daha yüksek elde edilebilir sertlik ve daha derin sertleşmenin yanı sıra DIN 1.2367'ye daha iyi sıcak sertlik ve temper direnci verir. Tipik uygulamalar arasında ekstrüzyon kalıpları, sıcak dövme kalıpları, sıcak başlık kalıpları, sıcak kesme bıçakları, sıcak zımbalar ve mandreller, sıcak tutucu kalıpları ve bakır ve pirinç için kalıp döküm takımları bulunur [102]. Çizelge 5.1'de deneylerde kullanılan DIN 1.2367 sıcak iş takım çelik malzemesinin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %).

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Nb	P	Fe
0,40	0,50	0,40	5,10	0,12	3,10	0,07	0,50	0,02	0,01	Kalan

### 5.2.1. Deney Malzemesinin Hazırlanması

Sert tornalama işleminin araştırılması için DIN 1.2367 çelik malzemesinin, homojenleştirme işlemi yapılarak ile sertlik değerinin 55 HRC'ye çıkartılması hedeflenmiştir. Bunun için malzeme öncelikle 900 °C'ye kadar ısıtılıp 2 saat bekletildikten sonra yağda su verme işlemi yapılarak soğutulmuştur.

Su verme işlemi sonrası malzeme sert ve kırılğan bir hale gelmektedir. Malzemede soğutma esnasında oluşan iç gerilmeler mevcuttur. Bu iç gerilmelerin giderilmesi ve tokluğunun iyileştirilmesi için malzemenin tekrar ısıtılıp, aynı sıcaklıkta bir süre tutulup soğutularak menevişleme yapılması gerekmektedir [5,6]. Bu nedenlerden dolayı, deney malzemesi yağda su verme işleminden sonra iç gerilmelerin giderilmesi için 500 °C'de 1 saat bekletilip havada yavaş soğutulmuştur. Isıl işlem parametreleri ürün kataloğuna ve literatür kaynakları dikkate alınarak belirlenmiştir [5,6].

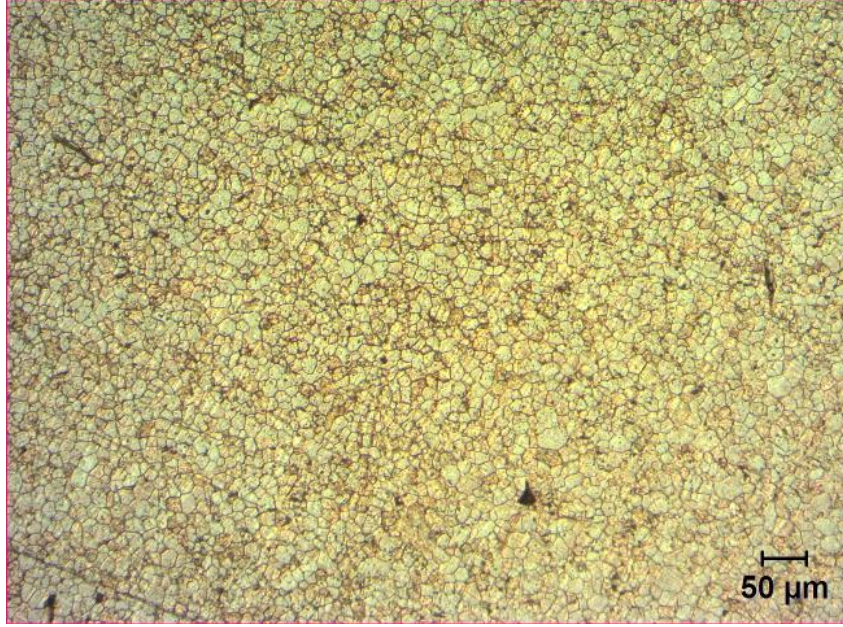
Uygulanan ısıl işlem sonrasında malzemenin homojen sertleşip sertleşmediğini anlamak için malzeme yüzeyinden 1 mm talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Daha sonra ise farklı noktalardan sertlik değeri ölçülmüştür. Alınan değerlerde  $\pm 1$  HRC sertlik değerlerinin görülmesi malzemeye homojen bir sertleşme işleminin uygulandığını göstermektedir.

### 5.2.2. Mikroyapı İncelemesi

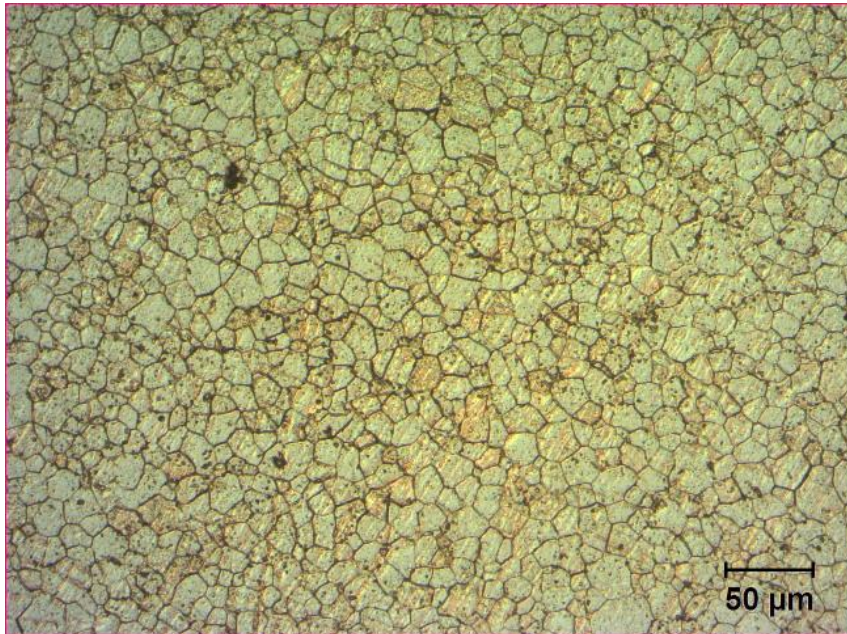
DIN 1.2367 malzemesinin işleme özelliklerine geçilmeden önce tane boyu, tane sınırları ve yapısının incelenmesi amacıyla Karabük Üniversitesi MARGEM Metalografi Laboratuvarında Nikon Ters Metalurjik Mikroskop kullanılarak

mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Standart metalografik uygulamalar yapılmıştır. Numuneler % 2 Nital dağlayıcısı ile dağlanmıştır.

DIN 1.2367 sıcak iş takım çeliğinin mikroyapı görüntüleri 100X, 200X, 500X ve 1000X büyütme halinde aşağıda gösterilmiştir.

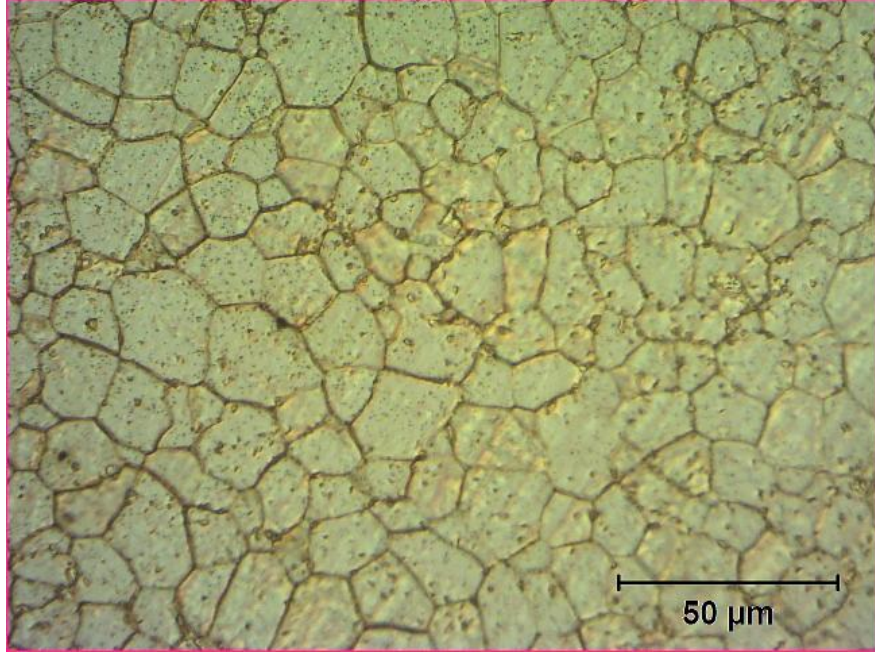


Şekil 5.1. 100X büyütme ile çekilen mikroyapı görüntüsü.

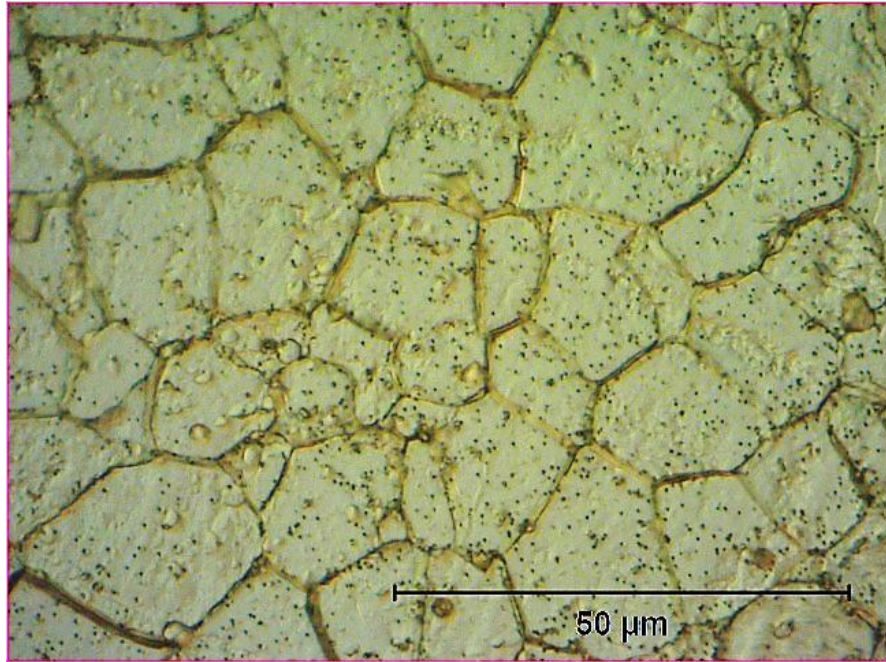


Şekil 5.2. 200X büyütme ile çekilen mikroyapı görüntüsü.





Şekil 5.3. 500X büyütme ile çekilen mikroyapı görüntüsü.



Şekil 5.4. 1000X büyütme ile çekilen mikroyapı görüntüsü.

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, tane yapılarının oldukça küçük olduğu ve homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Tane sınırları da belirgin bir şekilde görülmüştür. Elde edilen görüntüler malzemenin iç yapısının istenildiği gibi olduğunu kanıtlamıştır.

### 5.2.3. Sertlik Ölçümü

Deney malzemesinin sertlik ölçümleri Gürmak A.Ş.'de Welmess WM-R-C Rockwell Sertlik Ölçüm Cihazı kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 5.2'de ısıtılma işlem öncesi ve sonrasındaki sertlik ölçümleri ve ortalamaları gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Sertlik ölçümleri (HRC).

Isıl İşlem	1.Ölçüm	2.Ölçüm	3.Ölçüm	4.Ölçüm	Ort.
Isıl İşlem Öncesi	14	15	13	15	14,25
Isıl İşlem Sonrası	51	54	50	55	52,50

Sertlik deneyi sonrasında, malzemeye uygulanan ısıtılma işleminin malzemenin sertliğini arttırdığı görülmüştür. Sertlik ortalamasının 14,25 HRC'den 52,50 HRC'ye çıktığı belirlenmiştir.

### 5.3. DENEY MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ

DIN 1.2367 çelik malzemesinden hazırlanan deney numunelerinin, işlenebilirlik ölçütleri olarak yüzey pürüzlülüğü, güç tüketimi ve ses yoğunluğu esas alınmıştır. Tornalama sırasında oluşan akım (A), işleme süresi (s) ve güç tüketimi (Watt) değerleri deneysel olarak ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde ise ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri esas alınmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan makine, takım ve cihazlar aşağıda verilmiştir.

#### 5.3.1. Takım Tezgâhı ve Kesici Takımlar

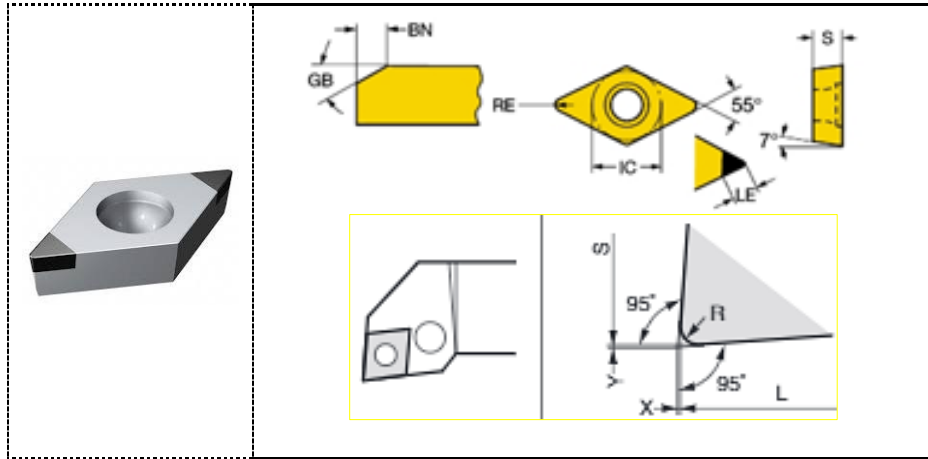
Deneysel çalışmalarda kullanılan takım tezgâhı, Şekil 5.5'de gösterildiği gibi TEZMAKSAN firması tarafından üretilen 20 HP gücünde, 4000 rpm devir sayısına sahip CNC torna tezgâhıdır.





Şekil 5.5. CNC torna tezgâhı.

Kesici takım olarak, Sandvik Coromant firmasına ait 7125 kalite CBN kesici uç (DCGW11T304S01020F kodlu), bu takıma uygun  $95^\circ$  yanaşma açısına sahip SDLCR2525M11 kodlu takım tutucu kullanılmıştır. Şekil 5.6'da kesici takım ve takım tutucu geometrisi verilmiştir.



Şekil 5.6. Kesici takım geometrisi.

Takımların ve katerin olabildiğince rijit olması amacıyla tavsiye edilen oranda sıkılaştırılmış ve kater aralığı mümkün olduğunca dar bağlanmıştır. Sert parçalarda kopma mukavemetinin yüksek çıkması sadece küçük talaş ve ilerleme derinliğinin seçilmesini değil aynı zamanda kater, takım, punta ve ayna bağlantılarının da

olabildiğince rijit olmasını gerektirmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan takım tutucunun teknik özellikleri Çizelge 5.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Takım tutucunun teknik özellikleri.

Model	H1/H	B (mm)	F (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	Altlık	Uç	Pabuç	Vida
MWLN	25	25	32	150	40	WN008	WNM0804	M080105	M6X27

### 5.3.2. Ölçüm Cihazları

Ölçümlerin yapılması süresince kullanılan cihazlar kalibre edilmiş ve üç farklı ölçülen değerin aritmetik ortalaması hesaplanarak değerler belirlenmiştir.

#### 5.3.2.1. Akım Değeri Ölçüm Cihazı

Akım değeri için UNI-T UT 201 model Pens ampermetre kullanılmıştır. Eşitlik 5.1'de gösterildiği gibi akım değeri üç ile çarpılarak toplam akım ( $I$ ) değeri elde edilmiş olup, toplam akım değerinin voltaj ( $V$ ) değeriyle çarpılması ile anlık güç tüketimi ( $P$ ) bulunmuştur. Eşitlik 5.2'de toplam işleme süresi ( $t_i$ ) hesaplanması gösterilmiştir. Eşitlik 5.3'de ise anlık güç tüketiminin toplam işleme süresi ile çarpılmasıyla da toplam güç tüketimi ( $P_T$ ) hesaplanmıştır.

$$P = (I * 3) * V \quad (5.1)$$

$$t_i = \frac{d * \pi * L * i}{Vc * 1000 * f} \quad (5.2)$$

$$P_T = t_i * P \quad (5.3)$$



Şekil 5.7. UNI-T UT 201 model Pens ampermetre.

İşleme deneylerinde kullanılan pens ampermetrenin teknik özellikleri Çizelge 5.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. UNI-T UT 201 model Pens ampermetrenin teknik özellikleri.

Çene Açıklığı (mm)	28
Okuma	1999
Çözünürlük (dijit)	31/2
DC / AC Gerilim (V)	600
DC Gerilim Kademe (V)	0,2-2-20-200±[%0,8+1]
AC Gerilim Kademe (V)	2-20-200±[%1,2+5]
AC Akım Kademesi (A)	2-20-200-400±[%1,5+5]
Direnç Kademesi (MΩ)	20
Direnç Kademesi (Ω)	200-2k-20-200-2M-20M±[%1+2]

### 5.3.2.2. Yüzey Pürüzlülük Değeri Ölçüm Cihazı

Yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 5.8'de gösterilen Mitutoyo SurfTest SJ-201 pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bu değerler için, işleme deneyi biter bitmez üç farklı noktadan alınan ölçümlerin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır.



Şekil 5.8. SurfTest SJ-201 pürüzlülük ölçüm cihazı.

Yüzey pürüzlülük değerinin ölçümünde, yüzeydeki girinti ve çıkıntıların toplam alanlarının eşit olduğu düzlemi referans kabul ederek, bu düzleme göre üstte ve altta kalan alanların eşit olduğu yeni iki düzlemi bulan ve bunların arasındaki uzaklığı esas alan, aritmetik ortalama (Ra) değeri yüzey pürüzlülük kriteri olarak dikkate alınmıştır.

Ölçme işleminden önce cihaz kalibre edilmiştir. Buna ek olarak ölçümlerin sağlıklı olduğundan emin olmak için kalibrasyon işlemi belirli aralıklarla kontrol edilmiştir. Ölçme işleminde izleyici ucun kesme izlerine dik ve dönme eksenine paralel olmasına özen gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümü malzeme oda sıcaklığına geldikten sonra yapılmıştır. Ölçümü yapılacak numuneler hava ile güzelce temizlenmiştir. Mitutoyo SurfTest SJ-201 pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 5.5’de gösterilmiştir [103].

Çizelge 5.5. Mitutoyo SurfTest SJ-201 pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Hız	Ölçüm: 0,25 mm/s, 0,5 mm/s Geri Dönüş: 0,8 mm/s
Ölçüm Aralığı (x-ekseni)	12,5 mm
Ağırlık	190 gr

Standart Prob	Kod Numarası: 178-395	
Tip	Endüktif	
Ölçüm Aralığı	350 µm (-200 µm'den, +150 µm'ye)	
Uç	Elmas Koni	
Kayma Yarıçapı	40 mm	
Uç Yarıçapı	2 µm	
Ölçüm Kuvveti	0,75 mN	
Kayıtlı Profiller	Pürüzlülük Profili (R), DIN 4776	
Pürüzlülük Parametreleri	Ra, Ry, Rz, Rq, S, Sm, Pc, R3z, mr, Rt, Rp, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2, A1, A2, Vo (user-defined)	
Pürüzlülük Standartları	JIS, DIN, ISO, ANSI	
Değerlendirme Uzunluğu (L)	0,25 mm, 0,80 mm, 2,5 mm	
Örnekleme Uzunluklarının Sayısı	X1, x3, x5, xL*	
Dijital Filtreler	Gauss 2 CR, PC 75, Gauss (PL 50)	
Cut-off	Ic	0,25 mm, 0,80 mm, 2,5 mm
Mesafesi	Is	2,5 µm, 8µm
Çözünürlük/Aralık	Otomatik / Ölçüm Aralığına Bağlı 0,4 µm / 350 µm 0,1 µm / 100 µm 0,05 µm / 50 µm 0,01 µm / 10 µm	
Ekran Aralığı	Ra, Rq	0,01 µm / 100 µm
	Rz, Ry, Rp, Rt	0,02 µm / 350 µm
	R3z, Rk, Rpk, Rvk	0,02 µm / 350 µm
	Pc	2,5 – 5000/cm
	mr	1 – 100 %
	Sm, S	2 – 4000 µm
	Mr1, Mr2	0 – 100 %
	A1, A2	0 – 1500
	Vo	0,000 – 10,00 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> )
GO/NG Ölçüm	Üst ve alt tolerans değerleri ayarlanabilir	
Güç Kaynağı	Şebeke adaptörü / dahili şarj edilebilir piller aracılığıyla	
Şarj Edilebilir Bataryalar	Ölçüm Süresi: 12 saat (500 ölçüm için)	
Otomatik Uyku Modu	Hiçbir tuşa basılmadan sonraki 30 saniye sonunda	
Veri Çıkışı	RS-232C arayüz ünitesi aracılığıyla, SPC çıkışı	
Ağırlık	290 gr	

\*Değerlendirme uzunluğu, 0,3 ile 12,5 mm aralığında istenildiği gibi seçilebilir.

## 5.4. DENEY TASARIMI VE MATEMATİKSEL MODELLEME

### 5.4.1. Deneysel Tasarım

Deneysel tasarımda ilk olarak güç tasarrufu ve yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde doğrudan etkisi olan kesme parametreleri belirlenmiştir. Bu amaçla, A – Kesme derinliği (a)(mm), B – Kesme hızı (V)(m/dk) ve C – İlerleme miktarı (f)(mm/ dev) olmak üzere üç faktör seçilmiştir. Bu faktörlerin seviyeleri ise literatür incelemesinde sert tornalama işlemleri dikkate alınarak ve kesici takım firması bilgileri alınarak tespit edilmiştir. Bu faktörler çerçevesinde gerçekleştirilen karma deneysel tasarım için Taguchi Yöntemi L27 dikey dizini kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan faktörler ve bunların seviye değerleri Çizelge 5.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Faktörler ve seviyeleri.

Sembol	Faktörler	Seviyeler		
		1	2	3
A	Kesme derinliği, a (mm)	0,10	0,20	0,30
B	Kesme hızı, V (m/dk)	190	210	230
C	İlerleme miktarı, f (mm/dev)	0,05	0,08	0,11

### 5.4.2. Yüzey Tepki Metodu ile Modelleme

RSM (Yüzey Tepki Metodu), endüstride kullanılan kesme işlemlerinde girdi değişkenlerinin en iyi değerlerinin belirlenmesi için tercih edilen ve günümüzde çokca kullanılan bir matematiksel modelleme ve değerlendirme biçimidir. RSM yöntemi üç aşamadan oluşmaktadır. Bunların ilkinde, belirlenen deneysel parametreler belirlenerek deneysel aşamada testler gerçekleştirilir. Bu işlemde ki temel amaç ise, tepki değerlerinin belirlenmesidir. Endüstride en önemli etkenlerden birisi maliyet-verim dengesidir. Bu nedenle yapılan birinci aşama ile deney sayıları önemli ölçüde azaltılarak maliyet düşerken, verim ise artmış olur. İkinci aşamada, girdi değişkenleri ile birinci aşama sonrasında belirlenen tepki değerlerinin

aralarındaki bağlantı, üssel ya da ikinci dereceden polinomial bir fonksiyon olarak hesaplanır. Üçüncü ve son aşamada ise, ANOVA analizleri ve oluşturulan yüzey grafikleri ile en iyi değerlerin belirlenmesi sağlanır [104].

Yüzey Tepki Metodu işlemlerinde girdi değişkenleri ile belirlenen tepki değerleri arasındaki bağlantı, aşağıda gösterilen Eşitlik 5.1'deki denklem yardımıyla hesaplanır ve tanımlanır [104,105].

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_i \sum_j \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (5.1)$$

Yukarıda ki denklemde  $\eta$  tahmin edilen tepkiyi,  $\beta_0$  sabit katsayıyı ve  $\beta_i$   $\beta_{ii}$   $\beta_{ij}$  ise sırasıyla kodlanmış girdi değişkenleri ile girdi etkileşimlerinin katsayılarını göstermektedir [105].

## BÖLÜM 6

### DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada, sertleştirilmiş DIN 1.2367 sıcak iş takım çeliğinin CBN kesici takımlarla işlenmesi yapılmıştır. Deneylerde, kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme hızı gibi kesme parametrelerinin güç tüketimi, ses yoğunluğu ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Malzemenin işlenebilirliği sert tornalama yöntemi ile yapılmıştır.

Boyu çapından 3 kat fazla olan iş parçası, oluşabilecek salınımların önlenmesi amacıyla punta ve ayna arasına bağlanmıştır. Parçanın hiçbir etkiye maruz kalmadan ve titreşimsin dönebilmesi sağlanmıştır. Finiş tornalamalarda talaş derinliklerinin küçük çıkması muhtemel salgıların minimuma düşürülmesini gerektirmektedir. İş parçalarının sertliklerinin yüksek olması da küçük talaş derinliklerinde bile yüksek oranlarda kuvvetlerin meydana gelmesine neden olduğundan, malzeme bağlanırken punta ve ayna hidrolik basınçlarının 40 bar civarında tutulmasına önem verilmiştir. Deney malzemesinin salgı koparatör saati ile denetlenmesinden sonra, yüzeyde 0,2 mm talaş kaldırılarak açığa çıkabilecek salgı en düşük miktarda tutulmuştur.

Deney malzemesi yüzeyinde 2 mm genişliğinde kanallar oluşturularak her bir deney parametresi ile yapılan çalışmanın diğerleriyle karıştırılmaması hedeflenmiştir. Kesme parametrelerine karar verilirken, ilk olarak takım katalog parametreleri değerlendirilmiştir. Yapılan işlemler bir finish tornalama olduğu için yüzey kalitesinin fazla olması gerekmektedir. Bu nedenle kesme parametreleri ilgili alanlardaki literatür araştırmaları da göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Kesme parametrelerinin aralarındaki miktarın birbirine yakın olmasına özen gösterilmiştir. Aksi durumda birbirinden çok uzak olan bir kesme parametresinde etki oranı yüksek çıkarken, birbirine çok yakın olan bir kesme parametresinde de etki



oranı çok düşük çıkmaktadır. Kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği parametrelerinin geniş bir yelpazede belirlenmesinden sonra ön deneyler yapılarak takım tezgâhı, iş parçası ve kesici takımların birbirleriyle ilişkili olup olmadığı test edilmiştir.

Talaş kaldırma işleminde kontrol edilebilen parametreler veya faktörler çerçevesinde, her bir deney için yeni bir CBN kesici takım kullanılarak Taguchi L27 dikey dizinine göre 27 adet deney yapılmıştır. Kesme parametrelerinin bağımsız değişken (girdi) olarak alındığı çalışmada, işlenmiş yüzeylerde oluşan güç tüketimi, akım, yüzey pürüzlülüğü, işleme süresi gibi bağımlı değişkenler (çıkıtı) değerlendirilmiştir. Kesme uzunluğu (L) 20 mm olarak alınmıştır.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi elde edilen verilerin ışığında Minitap 16 istatistiksel paket programı kullanılarak analiz yapılmıştır ve üç boyutlu grafikleri çıkarılmıştır. Yapılan sert torlanama sonucunda elde edilen, akım (A), güç tüketimi (W), işleme süresi (s) ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra)( $\mu\text{m}$ ) Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

CBN kesici takımların her biri için kullanılan kontrol faktörleri ilerleme miktarı (f), kesme hızı (V) ve kesme derinliği (a) ile çıkış faktörleri; akım (A), ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), işleme süresi (s) ve toplam güç tüketimi (W) arasında tahmini model oluşturma ve bunlar arasında ki ilişkiyi tanımlayabilmek için çoklu regresyon analizleri de kullanılmıştır.

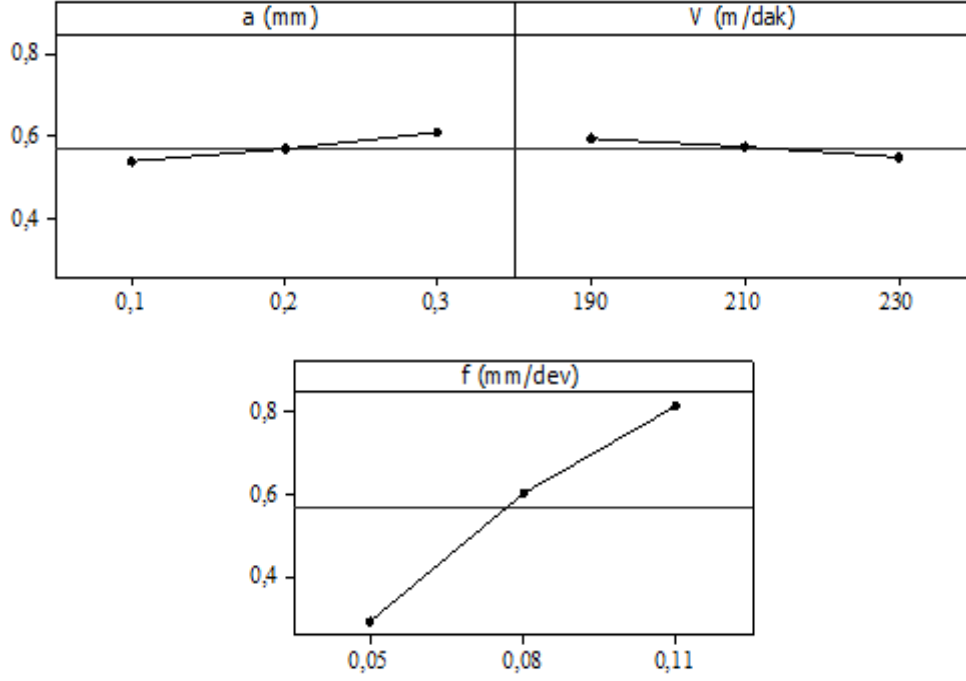
Sert tornalama deneylerinden elde edilen çıkış parametreleri değerlerine uygulanan çoklu regresyon analizi sonucunda, çıkış faktörlerinin matematiksel modelleri ikinci dereceden denklemler olarak geliştirilmiş olup, çıkış parametrelerinin analiz değerlerinden sonra eşitlikler olarak ilerleyen sayfalarda gösterilmişlerdir.

Çizelge 6.1. Deney sonuçları.

No.	a (mm)	V (m/dak)	f (mm/dev)	(A)	(W)	(s)	Ra (µm)
1	0,1	190	0,05	2,63	2972,95	59,49	0,27
2	0,1	190	0,08	2,75	1942,88	37,18	0,56
3	0,1	190	0,11	2,90	1490,07	27,04	0,83
4	0,1	210	0,05	2,71	2771,63	53,83	0,26
5	0,1	210	0,08	2,79	1783,41	33,64	0,57
6	0,1	210	0,11	2,96	1376,05	24,47	0,79
7	0,1	230	0,05	2,76	2577,31	49,15	0,24
8	0,1	230	0,08	2,81	1640,00	30,72	0,53
9	0,1	230	0,11	2,95	1252,15	22,34	0,80
10	0,2	190	0,05	2,82	1593,86	29,75	0,31
11	0,2	190	0,08	2,93	1035,02	18,59	0,63
12	0,2	190	0,11	3,08	791,28	13,52	0,84
13	0,2	210	0,05	2,86	1462,52	26,91	0,29
14	0,2	210	0,08	2,97	949,23	16,82	0,60
15	0,2	210	0,11	3,12	725,22	12,23	0,83
16	0,2	230	0,05	2,92	1363,36	24,57	0,26
17	0,2	230	0,08	3,01	878,36	15,36	0,57
18	0,2	230	0,11	3,15	668,52	11,17	0,78
19	0,3	190	0,05	3,12	1175,62	19,83	0,35
20	0,3	190	0,08	3,23	760,67	12,39	0,69
21	0,3	190	0,11	3,42	585,75	9,01	0,86
22	0,3	210	0,05	3,14	1070,47	17,94	0,34
23	0,3	210	0,08	3,28	698,87	11,21	0,65
24	0,3	210	0,11	3,49	540,81	8,16	0,83
25	0,3	230	0,05	3,21	999,18	16,38	0,32
26	0,3	230	0,08	3,35	651,72	10,24	0,64
27	0,3	230	0,11	3,53	499,45	7,45	0,81

## 6.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 6.1'de yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği (a), kesme hızı (V) ve ilerleme miktarları (f) değerlerinin etkileri gösterilmektedir.

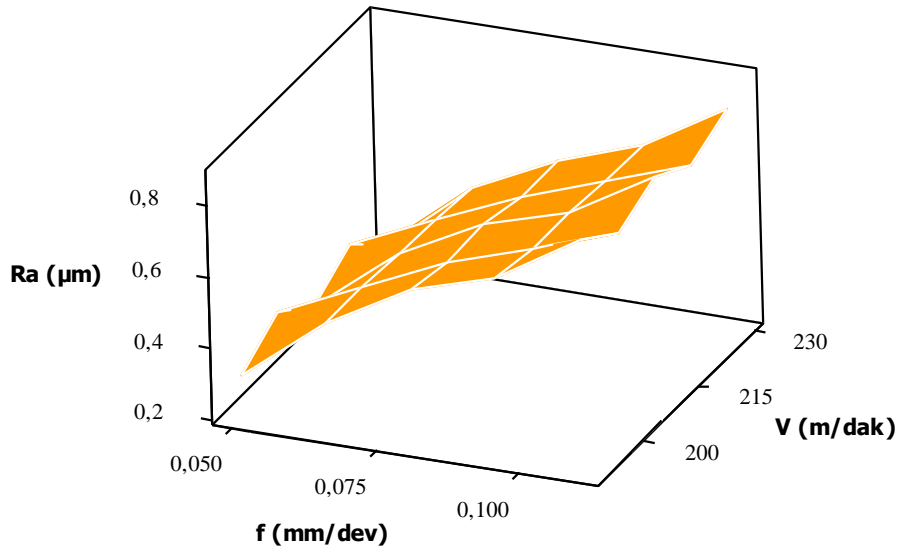


Şekil 6.1. Yüzey pürüzlülüğü için ana etkilerin grafiği.

Kesme parametreleri içerisinde, ortalama pürüzlülük değeri üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğu görülmektedir. Kesme hızının (V) 190 m/dk'dan 230 m/dk'ya artışının ve kesme derinliğinin (a) 0,1 mm'den 0,3 mm'ye artışının yüzey pürüzlülüğü üzerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. İlerleme miktarı (f) 0,05 mm/dev'den 0,11 mm/dev'e arttığında ise yüzey pürüzlülük (Ra) değerinin ortalama olarak % 700 artmış olduğu belirlenmiştir. Artan ilerleme miktarı ile silindirik yüzeydeki kanalların derinliği artmaktadır. Dolayısıyla ilerleme eksenine paralel yapılan yüzey pürüzlülük değerleri de artmaktadır. Sert tornalama işlemi bir finish tornalama işlemidir. Düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilmesi amaçlanır. Bundan dolayı ilerleme miktarlarının değerlerinin düşük olması tercih edilmektedir.

Kesme hızı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülük değeri üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı görülmektedir. Yüzey kalitesinin en önemli göstergelerinden biri yüzey pürüzlülük değeri iken bunun yanı sıra ovallik, yüzeydeki beyaz katmanın oluşması istenmeyen bir durumdur. Ovallik iş parçalarının düzenli çalışmasına engel olmaktadır. Beyaz katman oluşumu ise yüzeyde kalıntı gerilmelerine neden olur. Bu tabaka iş parçasının mukavemetini düşürür. Aşınma direncinin düşmesine neden olur. Gerek ovallik gerekse beyaz katman oluşumunda kesme hızı ve talaş derinliğinin büyük bir etkisi vardır. Yüzey kalitesi için sadece yüzey pürüzlülük değerinin düşük olması yeterli olmayacaktır. Ovallik, beyaz katman gibi yüzey kalitesinde etkili olan diğer işlenebilirlik özelliklerini iyileştirmek için de düşük talaş derinliği ve yüksek kesme hızları tercih edilmelidir [106,107].

Şekil 6.2 'de ilerleme miktarı ile kesme hızının yüzey pürüzlülük değeri üzerine olan etkileri üç boyutlu olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.2. İlerleme miktarı, f (mm/dev) ve Kesme hızı, V (m/dak) değerlerinin yüzey pürüzlülük, Ra (µm) değeri üzerine olan etkileri.

Artan ilerleme miktarı ile yüzey pürüzlülük değeri artmıştır. Kesme hızının yüzey pürüzlülük değeri üzerinde çok belirgin bir etkisi olmadığı görülmektedir. Artan kesme hızı yüzey pürüzlülük değeri üzerinde çok etkili olmasa da kesme kuvvetlerini düşürdüğü yapılmış diğer çalışmalarda görülmektedir [10,31]. Kesme kuvvetlerinin

düşmesi yüzeydeki kalıtım gerilmelerini ve ovalliğin azalmasında etkilidir. Bundan dolayı düşük ilerleme değeri yüksek kesme hızı değerlerinin tercih edilmesi yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [37,43].

### 6.1.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Modellenmesi

Analiz, kodlanmış birimler kullanılarak yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü için tahmini regresyon katsayıları Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Yüzey pürüzlülüğü için tahmini regresyon katsayıları ( $\mu\text{m}$ ).

S	PRESS	R-Sq	R-Sq (Pred)	R-Sq (Adj)
0,0165930	0,0128165	99,64 %	99,01 %	99,45 %

Çizelge 6.3’de yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi ve Çizelge 6.4’de katsayılar gösterilmektedir.

Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ ) için varyans analizi.

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regresyon	9	1,29079	1,29079	0,14342	520,91	0,000
Doğrusal	3	1,27414	1,27414	0,42471	1542,58	0,000
a (mm)	1	0,02276	0,02276	0,02276	82,65	0,000
v (m/min)	1	0,00845	0,00845	0,00845	30,69	0,000
f mm/rev)	1	1,24294	1,24294	1,24294	4514,41	0,000
Karesel	3	0,01430	0,01430	0,00477	17,31	0,000
a (mm)*a (mm)	1	0,00027	0,00027	0,00027	0,97	0,339
v (m/min)*v (m/min)	1	0,00002	0,00002	0,00002	0,06	0,809
f mm/rev)*f mm/rev)	1	0,01402	0,01402	0,01402	50,91	0,000
Etkileşim	3	0,00234	0,00234	0,00078	2,84	0,069
a (mm)*v (m/min)	1	0,00013	0,00013	0,00013	0,48	0,496
a (mm)*f mm/rev)	1	0,00213	0,00213	0,00213	7,75	0,013

v (m/min)*f mm/rev)	1	0,00007	0,00007	0,00007	0,27	0,608
Artık hata	17	0,00468	0,00468	0,00028		
Toplam	26	1,29547				

Çizelge 6.4. Katsayılar.

Terim	Katsayı
Sabit Katsayı	-0,655139
a (mm)	0,794444
v (m/min)	0,00133333
f (mm/rev)	19,1157
a (mm)*a (mm)	0,666667
v (m/min)*v (m/min)	-4,16667E-06
f mm/rev)*f mm/rev)	-53,7037
a (mm)*v (m/min)	-0,00166667
a (mm)*f mm/rev)	-4,44444
v (m/min)*f mm/rev)	-0,00416667

Sert tormalama deneylerinden elde edilen Ra değerine uygulanan çoklu regresyon analizi sonucunda, yüzey pürüzlülüğünün matematiksel modellemesi Eşitlik 6.1'de aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Katsayıların pozitif veya negatif işaretli olması; katsayının bulunduğu girdi parametresinin, değerlendirilen çıktı parametrelerine olumlu veya olumsuz etki yaptığını göstermektedir. İşaretin pozitif olması, beklenen etkiyi sağladığını, negatif olması ise beklenen etkiyi sağlamadığını göstermektedir.

Kesici takım için Ra modeli;

$$Ra = - 0,655139 + 0,794444 \times a + 0,00133333 \times V + 19,1157 \times f + 0,666667 \times a^2 - 4,16667E^{-06} \times V^2 - 53,7037 \times f^2 - 0,00166667 \times a \times V - 4,44444 \times a \times f - 0,00416667 \times V \times f \quad (6.1)$$

Bir finiş tormalama işlemi olan sert tormalama işleminde en önemli işlenebilirlik değeri yzey pürzlölüktür. Yzey pürzlölüğünün taşlama kalitesi olarak kabul edilen 0,3 mikrona yakın ıkması hedeflenir. Yzey pürzlölüğünün bu şekilde düşük olması, iş makinasının ıalışmasını verimli kılar. Sürtünmenin az olması makine ömrünün fazla olmasını sağlar. Bu nedenle önemli bir araştırma konusudur [108].

İlerleme miktarı arttıkça yzey pürzlölük değeri artmıştır. Çünkü ilerleme miktarındaki artış yzeydeki helis kanalların derinliğini arttırmıştır. Helis kanallarındaki derinlik yzey pürzlölük değerinin artmasına neden olmuştur. Başka bir ifade ile ilerleme miktarının artması ile takımın yzeyde bekleme süresi kısalımmıştır. Bu durum talaş kaldırılan yzeydeki yükseklik ve ıkurlukların arasındaki farkı arttırmıştır. Böylelikle yzey pürzlölük değeri artmıştır.

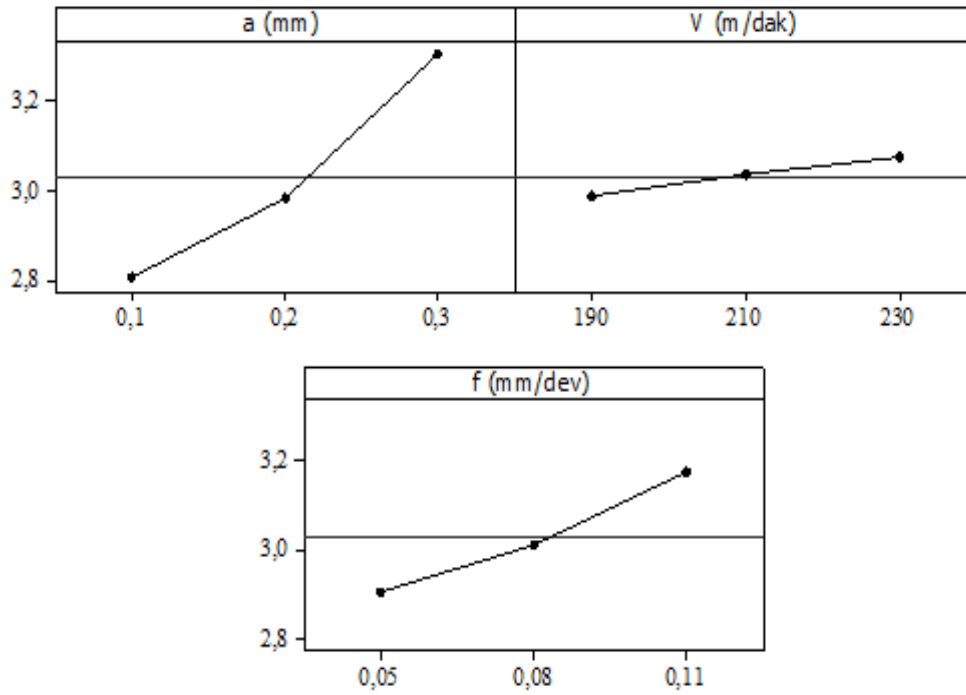
Talaş derinliğinin artmasının yzey pürzlölüğü üzerinde ık fazla bir etkisi görölmemiştir. Finiş tormalama işleminde düşük talaş derinlikleri tercih edilmektedir [107]. Malzemenin rijitliği yüksektir. Bundan dolayı malzeme aksel yönde sehim yapmamaktadır. Ayrıca yüksek bir kesme kuvveti olmamasından dolayı yüksek titreşim oluşmamıştır. Bundan dolayı pürzlölük değerlerinde önemli bir farklılık görölmemiştir. Özellikle finiş tormalama işlemlerinde rijit tezgâhların tercih edilmesinin nedeni budur. Finiş tormalamada tezgâh hassasiyeti bozulmamış olması gerekir. Tezgâhtaki aşınmalara bağlı olarak rijitlik bozulduğu zaman pürzlölük değeri talaş derinliği ile artar.

Kesme hızındaki artışta benzer şekilde pürzlölükte önemli bir değişiklik oluşturmamıştır. Çünkü artan devir sayısı tezgâhta önemli bir titreşim oluşturmamıştır. Bu durumda pürzlölük değerlerin de sapma görölmemiştir. Hatta artan kesme hızı ile düşen kesme kuvvetleri ve BUE Oluşumunun azalması daha iyi bir kesme sağlamaktadır. Özellikle yeni tezgâhlarda düşük talaş derinliği ve yüksek kesme hızı tercih edilmesinin nedeni budur. Tezgâh rijitliğinden dolayı artan devir sayısı (kesme hızı) ile rijitliğini kaybetmemekte. Artan hız ile basınç düşmektedir. Kesme basıncının düşmesi kesme kuvvetinin düşmesini sağlar. Bu durum daha iyi

bir kesme sağlar. Bundan dolayı yeni veya rijit takım tezgâhlarında yüksek kesme hızı, düşük talaş derinliği tercih edilmelidir.

## 6.2. MOTOR AKIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

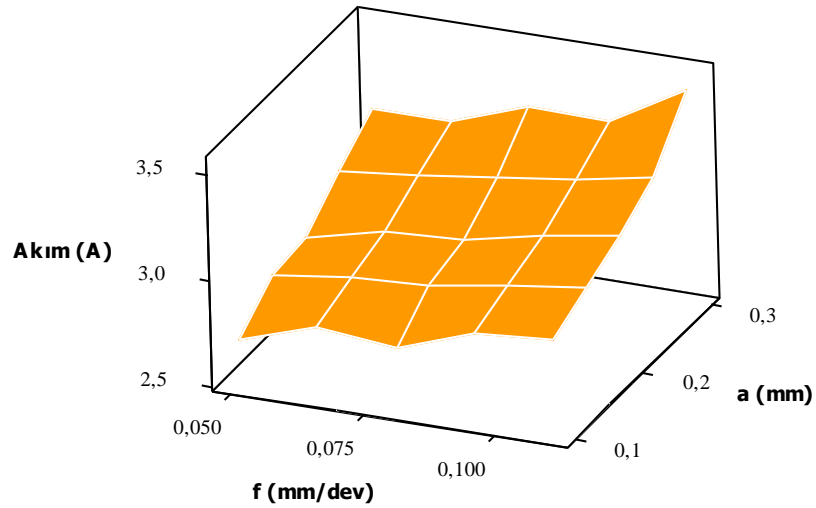
Şekil 6.3'de motor akım değerine kesme derinliği (a), kesme hızı (V) ve ilerleme miktarları (f) değerlerinin etkileri gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Motor akım değeri için ana etkilerin grafiği.

Şekil 6.4 'de ilerleme miktarı ile kesme derinliğinin motor akım değeri üzerine olan etkileri üç boyutlu olarak gösterilmiştir.





Şekil 6.4. İlerleme miktarı,  $f$  (mm/dev) ve kesme derinliği,  $a$  (mm) değerlerinin motor akım değeri (A) üzerine olan etkileri.

Akım değeri takım tezgâhındaki enerji sarfiyatının en önemli göstergesidir. Yani takım tezgâhındaki zorlanma miktarı arttıkça akım değeri artmaktadır. Artan ilerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliği ile akım değeri artmaktadır. Kesme derinliği ( $a$ ) 0,10 mm'den 0,30 mm'ye arttığında motor akım değeri (A) ortalama % 17,86 oranında bir artış göstermiştir. Kesme hızı ( $V$ ) 190 m/dk'dan 230 m/dk'ya arttığında motor akım değeri (A) önemli bir değişim göstermemiştir. Son olarak, ilerleme miktarı ( $f$ ) 0,05 mm/dev'den 0,11 mm/dev'e arttığında motor akım değeri ortalama olarak % 10,34 oranında bir artış göstermiştir. Artan ilerleme miktarı anlık akım değerinin artmasına neden olmaktadır. Talaş derinliğindeki artış da benzer şekilde takım tezgâhındaki yük miktarının artmasına ve akım değerinin yükselmesine neden olmuştur.

### 6.2.1. Motor Akımının Modellenmesi

Analiz, kodlanmış birimler kullanılarak yapıldı. Akım değeri için tahmini regresyon katsayıları Çizelge 6.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. Akım değeri için tahmini regresyon katsayıları (A).

S	PRESS	R-Sq	R-Sq (Pred)	R-Sq (Adj)
0,0163483	0,0133012	99,71%	99,14%	99,55%

Çizelge 6.6'da motor akım değeri için varyans analizi ve Çizelge 6.7'de katsayılar gösterilmektedir.

Çizelge 6.6. Motor akım değeri için varyans analizi (A).

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regresyon	9	1,53842	1,53842	0,17094	639,57	0,000
Doğrusal	3	1,49451	1,49451	0,49817	1863,94	0,000
a (mm)	1	1,13001	1,13001	1,13001	4228,02	0,000
v (m/min)	1	0,03645	0,03645	0,03645	136,38	0,000
f mm/rev)	1	0,32805	0,32805	0,32805	1227,43	0,000
Karesel	3	0,03707	0,03707	0,01236	46,24	0,000
a (mm)*a (mm)	1	0,03178	0,03178	0,03178	118,91	0,000
v(m/min)*v (m/min)	1	0,00009	0,00009	0,00009	0,34	0,568
f(mm/rev)*f mm/rev)	1	0,00520	0,00520	0,00520	19,46	0,000
Etkileşim	3	0,00684	0,00684	0,00228	8,53	0,001
a (mm)*v (m/min)	1	0,00053	0,00053	0,00053	2,00	0,176
a (mm)*f mm/rev)	1	0,00563	0,00563	0,00563	21,08	0,000
v(m/min)*f mm/rev)	1	0,00067	0,00067	0,00067	2,53	0,130
Artık hata	17	0,00454	0,00454	0,00027		
Toplam	26	1,54296				

Çizelge 6.7. Katsayılar.

Terim	Katsayı
Sabit Katsayı	1,75110
a (mm)	-1,68333
v (m/min)	0,00666667
f (mm/rev)	0,445988
a (mm)*a (mm)	7,27778
v (m/min)*v (m/min)	-9,72222E-06
f mm/rev)*f mm/rev)	32,7160
a (mm)*v (m/min)	0,00333333
a (mm)*f mm/rev)	7,22222
v (m/min)*f mm/rev)	-0,0125000

Sert tornalama deneylerinden elde edilen motor akım (A) değerine uygulanan çoklu regresyon analizi sonucunda, motor akım değerinin matematiksel modellenmesi Eşitlik 6.2’de aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Kesici takım için Motor Akım modeli;

$$\text{Akım} = 1,75110 - 1,68333 \times a + 0,00666667 \times V + 0,445988 \times f + 7,27778 \times a^2 - 9,72222 \times 10^{-6} \times V^2 + 32,7160 \times f^2 + 0,00333333 \times a \times V + 7,22222 \times a \times f - 0,0125000 \times V \times f \quad (6.2)$$

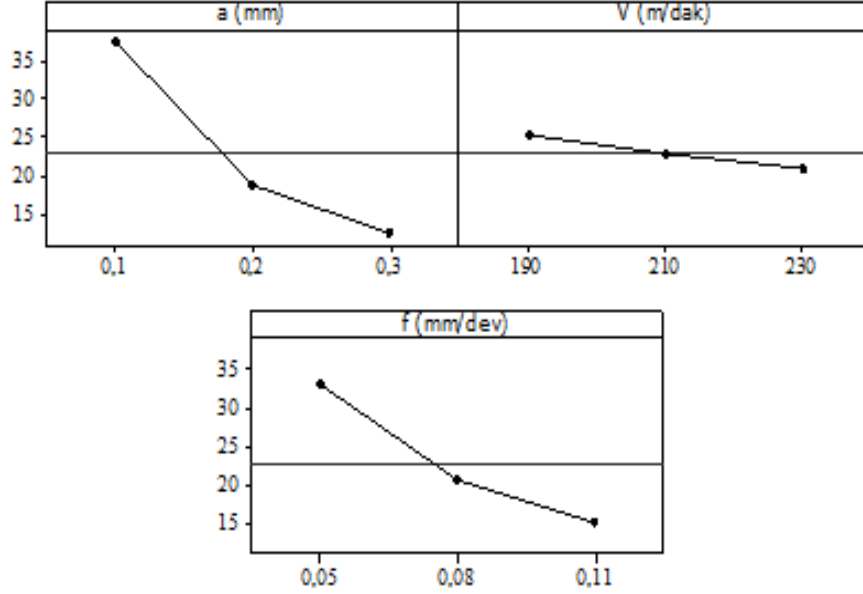
Motor akım değeri güç tüketimi ve tezgâhtaki anlık yük miktarının da bir göstergesi olduğu için önemli bir yeri vardır. Kesme parametrelerinin motor akım değerini nasıl etkilediğini bilmek faydalıdır.

Motor akım değeri artan ilerleme miktarı ile artmaktadır. Çünkü birim zamanda takıma binen yük artmaktadır. Bu durum anlık talaş kesitinin artmasında da görülmektedir. İlerleme miktarı artınca kesme kuvvetlerinin artması da bu durumun göstergesidir [51,60]. Ayrıca ölçümü pahalı ve zahmetli olan kesme kuvvetleri yerine anlık akım değerinin de bir gösterge olduğu bilinmektedir. Bu deneysel çalışmada talaş derinliğinin düşük seçilmesi yük miktarının düşük olmasını sağlamaktadır. Bundan dolayı artan ilerleme miktarı ile akım değerinde küçük bir artış görülmektedir. Akım değerinde bu değişim aralığının küçük olmasında kesme değişkenlerinin çok geniş seçilmemesinde etkili olmaktadır. Çünkü yapılan tornalama işlemi bir finiş tornalamadır. Düşük talaş derinliği ve düşük ilerleme değerleri tercih edilir.

Kesme hızındaki artış da akım değerinin bir miktar artmasını sağlar. Çünkü devir sayısındaki artış motorun tükettiği akım değerinin artmasına neden olur. Artan kesme hızı ile kesme kuvvetlerinin düştüğü bilinmektedir [10,31]. Buna rağmen kesme kuvvetleri bir miktar düşse de motor devir sayısı arttığı için akım değeri bir miktar artmıştır.

### 6.3. TOPLAM İŞLEME SÜRESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 6.5’de toplam işleme süresine kesme derinliği (a), kesme hızı (V) ve ilerleme miktarları (f) değerlerinin etkileri gösterilmektedir.



Şekil 6.5. Toplam işleme süresi değerleri için ana etkilerin grafiği.

Kesme derinliği (a) 0,10 mm’den 0,30 mm’ye arttığında işleme süresi (s) ortalama % 72,97 oranında, kesme hızı (V) 190 m/dk’dan 230 m/dk’ya arttığında işleme süresi (s) ortalama % 20 oranında ve ilerleme miktarı (f) 0,05 mm/dev’den 0,11 mm/dev’e arttığında ise işleme süresi (s) ortalama % 54,54 oranında azalma göstermiştir. Buna istinaden ilerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliğindeki artışların işleme süresinin azalmasını sağladığı belirlenmiştir.

#### 6.3.1. Toplam İşleme Süresinin Modellenmesi

Analiz, kodlanmış birimler kullanılarak yapıldı. Toplam işleme süreleri için tahmini regresyon katsayıları Çizelge 6.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8. Toplam işleme süresi için tahmini regresyon katsayıları (s).

S	PRESS	R-Sq	R-Sq (Pred)	R-Sq (Adj)
1,58958	116,303	99,15%	97,69 %	98,70 %

Çizelge 6.9'da işleme süresi değeri için varyans analizi ve Çizelge 6.10'da katsayılar gösterilmektedir.

Çizelge 6.9. İşleme süresi değeri için varyans analizi (s).

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regresyon	9	4992,38	4992,38	554,71	219,53	0,000
Doğrusal	3	4371,55	4371,55	1457,18	576,70	0,000
a (mm)	1	2818,61	2818,61	2818,61	1115,50	0,000
v (m/min)	1	86,45	86,45	86,45	34,21	0,000
f mm/rev)	1	1466,49	1466,49	1466,49	580,38	0,000
Karesel	3	303,89	303,89	101,30	40,09	0,000
a (mm)*a (mm)	1	234,88	234,88	234,88	92,96	0,000
v(m/min)*v (m/min)	1	0,26	0,26	0,26	0,10	0,752
f (mm/rev)*f mm/rev)	1	68,74	68,74	68,74	27,21	0,000
Etkileşim	3	316,94	316,94	105,65	41,81	0,000
a (mm)*v (m/min)	1	17,15	17,15	17,15	6,79	0,018
a (mm)*f mm/rev)	1	290,87	290,87	290,87	115,12	0,000
v (m/min)*f mm/rev)	1	8,92	8,92	8,92	3,53	0,077
Artık hata	17	42,96	42,96	2,53		
Toplam	26	5035,33				

Çizelge 6.10. Katsayılar.

Terim	Katsayı
Sabit Katsayı	236,094
a (mm)	-632,212
v (m/min)	-0,563234
f (mm/rev)	-1532,63
a (mm)*a (mm)	625,678
v (m/min)*v (m/min)	0,000521794
f mm/rev)*f mm/rev)	3760,91
a (mm)*v (m/min)	0,597691
a (mm)*f mm/rev)	1641,12
v (m/min)*f mm/rev)	1,43707

Sert tornalama deneylerinden elde edilen toplam işleme süresi (s) değerine uygulanan çoklu regresyon analizi sonucunda, işleme süresi değerinin matematiksel modellemesi Eşitlik 6.3'de aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Kesici takım için İşleme Süresi modeli;

$$\text{Süre} = 236,094 - 632,212 \times a - 0,563234 \times V - 1532,63 \times f + 625,678 \times a^2 + 0,000521794 \times V^2 + 3760,91 \times f^2 + 0,597691 \times a \times V + 1641,12 \times a \times f + 1,43707 \times V \times f \quad (6.3)$$

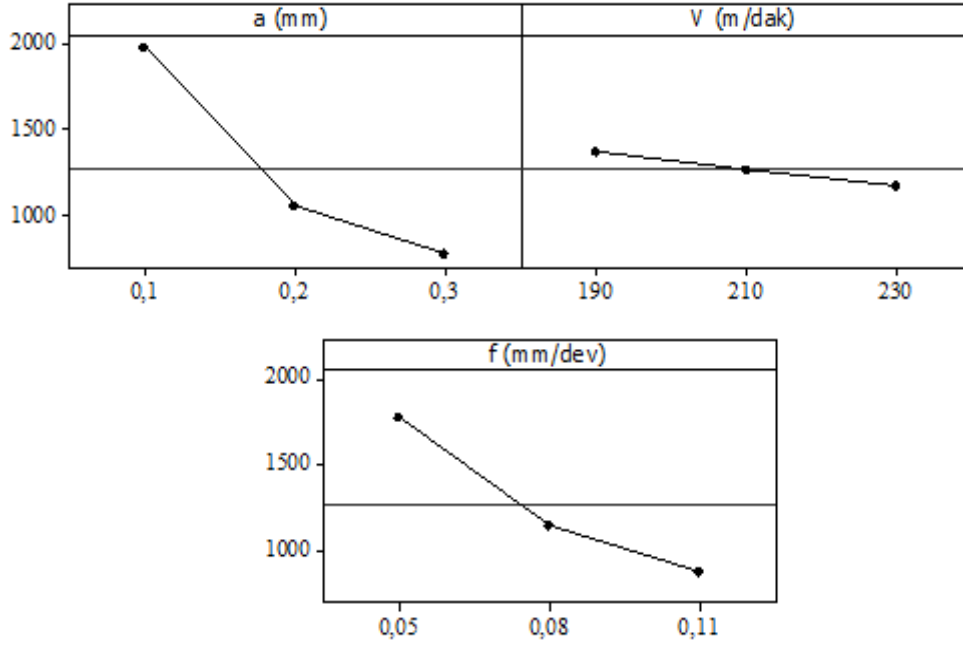
Endüstride artan taleplerden dolayı, işleme süresi, işletmelerde önemli bir yere sahiptir. Birim zamanda üretilen ürün sayısının artması maliyetleri düşürür. Ayrıca firmaların, taleplere kısa sürede cevap vererek rekabet şansını artırır. Daha az sayıda kesici takım tezgâhına ihtiyaç duyulur. Yatırım maliyetlerini düşürür. Daha küçük işletmelerde, daha düşük maliyetlerle daha çok ürün üretme fırsatı tanır [109,110].

İşleme süresi takım tezgâhın güç sarfiyatı ile doğrudan bağlantılıdır. Bundan dolayı işleme süresi ne kadar kısaltılırsa güç tüketimi o oranda azalır. Takım tezgâhlarında özellikle finiş tornalamada enerji tüketiminin önemli bir kısmı takım tezgâhının

çalışması için kullanılır. Bundan dolayı tezgâhın yük altında tükettiği enerji miktarı toplam tüketilen enerji miktarının yarısından daha azını oluşturur. Bu durumda işleme süresi ne kadar kısa olursa takım tezgâhının güç tüketimi de o kadar az olur. Bu durum yüksek kesme parametreleri tercih edilerek sağlanır [109,110].

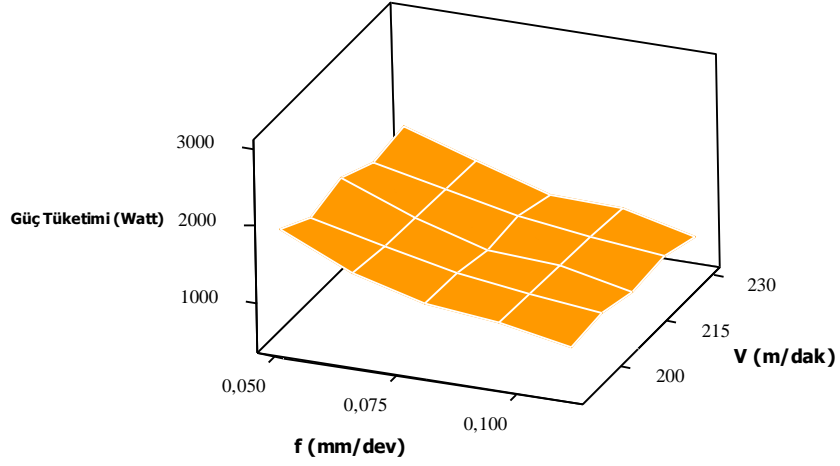
#### 6.4. TOPLAM GÜÇ TÜKETİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 6.6'da güç tüketim değerine kesme derinliği (a), kesme hızı (V) ve ilerleme miktarları (f) değerlerinin etkileri gösterilmektedir.

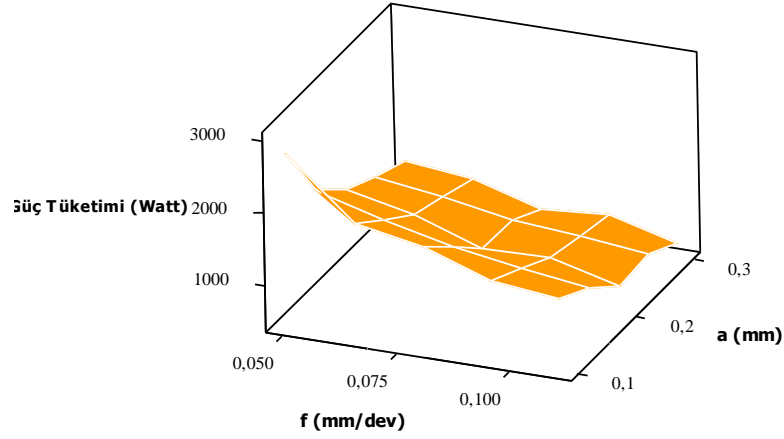


Şekil 6.6. Güç tüketimi değeri için ana etkilerin grafiği.

Şekil 6.7'de ilerleme miktarı ile kesme hızının güç tüketim değeri üzerine olan etkileri ve Şekil 6.8'de de ilerleme miktarı ile kesme derinliğinin güç tüketim değeri üzerine olan etkileri üç boyutlu olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.7. İlerleme miktarı,  $f$  (mm/dev) ve kesme hızı,  $V$  (m/dak) değerlerinin güç tüketim değeri (Watt) üzerine olan etkileri.



Şekil 6.8. İlerleme miktarı,  $f$  (mm/dev) ve kesme derinliği,  $a$  (mm) değerlerinin güç tüketim değeri (Watt) üzerine olan etkileri.

Kesme derinliği ( $a$ ) 0,10 mm'den 0,30 mm'ye arttığında güç tüketimi (W) ortalama % 70 oranında, kesme hızı ( $V$ ) 190 m/dk'dan 230 m/dk'ya arttığında güç tüketimi (W) ortalama % 7,69 oranında ve ilerleme miktarı ( $f$ ) 0,05 mm/dev'den 0,11 mm/dev'e arttığında ise güç tüketimi (W) ortalama % 57,14 oranında azalma göstermiştir.

#### 6.4.1. Toplam Güç Tüketiminin Modellenmesi

Analiz, kodlanmış birimler kullanılarak yapıldı. Güç Tüketim değeri için tahmini regresyon katsayıları Çizelge 6.11'de gösterilmiştir.



Çizelge 6.11. Güç tüketimi değeri için tahmini regresyon katsayıları (W).

S	PRESS	R-Sq	R-Sq (Pred)	R-Sq (Adj)
72,2996	232053	99,25 %	98,04 %	98,85 %

Çizelge 6.12'de güç tüketimi değeri için varyans analizi ve Çizelge 6.13'de katsayılar gösterilmektedir.

Çizelge 6.12. Güç tüketimi değeri için varyans analizi (W).

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regresyon	9	11721847	11721847	1302427	249,16	0,000
Doğrusal	3	10299305	10299305	3433102	656,77	0,000
a (mm)	1	6508743	6508743	6508743	1245,16	0,000
v (m/min)	1	183627	183627	183627	35,13	0,000
f mm/rev)	1	3606935	3606935	3606935	690,03	0,000
Karesel	3	828847	828847	276282	52,85	0,000
a (mm)*a (mm)	1	634665	634665	634665	121,42	0,000
v(m/min)*v (m/min)	1	274	274	274	0,05	0,822
f(mm/rev)*f (mm/rev)	1	193907	193907	193907	37,10	0,000
Etkileşim	3	593695	593695	197898	37,86	0,000
a (mm)*v (m/min)	1	26578	26578	26578	5,08	0,038
a (mm)*f mm/rev)	1	556580	556580	556580	106,48	0,000
v(m/min)*f (mm/rev)	1	10538	10538	10538	2,02	0,174
Artık hata	17	88863	88863	5227		
Toplam	26	11810710				

Çizelge 6.13. Katsayılar.

Terim	Katsayı
Sabit Katsayı	10675,8
a (mm)	-29707,2
v (m/min)	-20,8066
f (mm/rev)	-71610,1
a (mm)*a (mm)	32523,5
v (m/min)*v (m/min)	0,0169028
f mm/rev)*f mm/rev)	199746
a (mm)*v (m/min)	23,5309
a (mm)*f mm/rev)	71788,0
v (m/min)*f mm/rev)	49,3888

Sert tornalama deneylerinden elde edilen güç tüketimi (Watt) değerine uygulanan çoklu regresyon analizi sonucunda, güç tüketimi değerinin matematiksel modellemesi Eşitlik 6.4'de aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Kesici takım için Güç Tüketimi modeli;

$$P.C. (W) = 10675,8 - 29707,2 \times a - 20,8066 \times V - 71610,1 \times f + 32523,5 \times a^2 + 0,0169028 \times V^2 + 199746 \times f^2 + 23,5309 \times a \times V + 71788,0 \times a \times f + 49,3888 \times V \times f \quad (6.4)$$

Anlık akım değeri ve toplam işleme süresi ile bağlantılı olan güç tüketimi küresel anlamda en büyük problemlerden birini oluşturur. Çünkü takım tezgâhlarında kullanılan elektrik akımı fosil yakıtlarının yanması sonucu elde edilir. Bu yeraltı kaynaklarının ise sınırlı bir rezervi olduğu bilinmektedir. Ayrıca bu enerji kaynaklarının yanması sonucu açığa çıkan gazlar ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Bu durum enerji tüketimi konusunda daha dikkatli olmaya bizleri yönlendirmektedir [111].

Kesme parametrelerindeki artış anlık akım değerini arttırdığı yukarıdaki incelemede görülmüştür. Kesme parametrelerindeki artışın işleme süresini kısalttığı benzer

şekilde incelenmiştir. Kesme parametrelerindeki artış, anlık akım değerini arttırsa da işleme süresini kısalttığı için güç tüketimini azaltmaktadır. Güç tüketiminde ise etkili olan parametre işleme süresidir. Çünkü sadece takım tezgâhını çalıştırmak, enerji sarfiyatının büyük kısmına neden olur. Bu durumda tezgâhın çalışma süresinin kısılması için kesme parametrelerini arttırmak gerekir. Fakat kesme parametrelerinde ilerleme miktarını arttırmak yüzey pürüzlülük değerini arttıracığı için tercih edilmez. Bundan dolayı enerji sarfiyatını azaltmak, işleme süresini kısaltmak ve yüzey kalitesini bozmamak için; kesme hızı ve talaş derinliği arttırılabilirken, ilerleme miktarı azaltılmalıdır.

## 6.5. TARTIŞMA

Talaş kaldırma işleminde kesme parametrelerinin optimum seviyeleri vardır. Kesme parametrelerinin, işlenen malzemeye göre de optimum değerleri vardır. Bundan dolayı bu sınırlar içinde parametrelerde değişiklik yapılabilir. Literatürde ki çalışmalara bakıldığında;

Suresh vd., çalışmalarında AISI 4340 çelik malzemesini kullanmışlardır. Bu çalışma için, kesme derinliğini 0,8-1,2 mm, kesme hızını 80-260 m/dk ve ilerleme miktarını 0,10-0,26 mm/dev aralığında tercih etmişlerdir [12]. Anıl vd., deneylerinde geleneksel karıştırma döküm işlemi ile birleştirdikleri grafit (Grp) takviyeli Al 8011 kompozit malzemesini kullanmışlardır. Bu malzeme için kesme parametrelerini; kesme derinliği 0,2-0,6 mm, kesme hızı 175-395 m/dk ve ilerleme miktarı 0,067-0,167 mm/dev olacak şekilde belirlemişlerdir [13]. Bu iki farklı malzeme ele alındığında AISI 4340 çelik malzeme için, kesme derinliği ve ilerleme miktarı daha yüksekken, kesme hızı kompozit malzemeye göre daha düşük tercih edilmiştir.

Bunun yanı sıra Luo vd., yaptıkları araştırmalarında, 7075-T651 alüminyum alaşım kullanmışlardır. Bu malzemedeki birinci alaşım elementi olarak % 5,1-6,1 aralığında Zn bulunurken ikinci alaşım elementi olarak ise % 2,1-2,9 aralığında Mg bulunmaktadır. Luo ve arkadaşları ise bu malzeme için kesme parametreleri olarak; kesme derinliğini 1-3 mm, kesme hızını 160-320 m/dk ve ilerleme miktarını 0,10-0,30 mm/dev şeklinde tercih etmişlerdir [16]. Alüminyum alaşım için, ilerleme

miktarı ve kesme hızı diğer malzemeler de tercih edilenlere her ne kadar yakın değer olsa da kesme derinliği olarak diğerlerinden daha yüksek bir değer seçilmiştir.

Bouacha vd., çalışmalarında 64 HRC gibi yüksek sertliğe sahip AISI 52100 çeliğini kullanmışlardır. Bu malzeme için ise; kesme derinliğini 0,15-0,45 mm, kesme hızını 125-246 m/dk ve ilerleme miktarını 0,08-0,16 mm/dev şeklinde ayarlamışlardır [25]. Bouacha ve arkadaşları kesme derinliğini ve ilerleme miktarını oldukça dar bir aralıkta tutarken, kesme hızını ise ortalama bir değer aralığında seçmişlerdir.

Farklı malzemeleri kullanan farklı araştırmacılardan seçilen örnekler dikkate alındığında kesme parametreleri belirlenirken, malzemenin cinsine göre optimum aralıklarda farklı değerler seçilebilmektedir. Fakat tezgâhın rijitliği, kesici takım özellikleri, soğutma sıvısı veya kuru kesme şartları da işleme koşullarını etkileyen önemli faktörlerdir. Bu durum tezgâhlar arasında farklılık gösterebilir.

Parçanın boyutları, işleme türünde optimum değerlerin belirlenmesini zorlaştırabilir. Optimum işleme koşulları tespit etmek karmaşık bir süreçtir. Çok değişkeni olan bu imalat sürecinde sert tornalama için önemli olan parametreler değerlendirilmiştir. Bu çalışma için ise, kesme derinliği 0,10-0,30 mm, kesme hızı 190-230 m/dk ve ilerleme miktarı da 0,05-0,11 mm/dev olarak tercih edilmiştir. Genel bir fikir vermesi amaçlandığı gibi karşılaşılabilecek farklı durumların muhtemel nedenleri de açıklanmıştır.

Kesme derinliği ve ilerleme miktarı düşük değerlerde belirlenirken, kesme hızı ortalama bir değer olarak belirlenmiştir. Sert tornalama işleminde akım değeri dar bir aralıkta değişmektedir. Bunun nedeni ise kesme parametrelerinden kesme derinliği ve ilerleme miktarlarının düşük bir değer aralığında tercih edilmesinden kaynaklanmaktadır.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR

Elde edilen deneysel çalışmalarda; sert tornalama işlemine uygun takımlar, uygun tezgâhlarda işlendiği zaman taşlama kalitesinde yüzey elde edildiği görülmüştür.

DIN 1.2367 çeliğinin işlenmesinde, en düşük yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri CBN kesici takım ile 0,10 mm kesme derinliği, 230 m/dk kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında 0,24  $\mu\text{m}$  olarak tespit edilmiştir. En düşük güç tüketimi ise, 0,30 mm kesme derinliği, 230 m/dk kesme hızı ve 0,11 mm/dev ilerleme miktarında 499,45 W olarak tespit edilmiştir.

Kesme parametreleri içerisinde, ortalama pürüzlülük değeri üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğu görülmüştür. Kesme hızı (V) ve kesme derinliğinin (a) yüzey pürüzlülük üzerine önemli bir etkisinin olmamasıyla beraber ilerleme miktarı (f) 0,05 mm/dev'den 0,11 mm/dev'e arttığında yüzey pürüzlülük (Ra) değerinin 0,1 $\mu\text{m}$ 'den 0,8  $\mu\text{e}$  yükselerek, ortalama % 700 artmış olduğu belirlenmiştir.

Artan ilerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliği ile akım değeri artmıştır. Kesme derinliği (a) 0,10 mm'den 0,30 mm'ye arttığında motor akım değeri (A) ortalama % 17,86 oranında bir artış göstermiştir. Kesme hızı (V) 190 m/dk'dan 230 m/dk'ya arttığında motor akım değeri (A) önemli bir değişim göstermemiştir. Son olarak, ilerleme miktarı (f) 0,05 mm/dev'den 0,11 mm/dev'e arttığında motor akım değeri ortalama olarak % 10,34 oranında bir artış göstermiştir.

Kesme hızı ve talaş derinliği bir miktar artırılarak işleme süresi azaltılırken, ilerleme miktarı azaltılarak yüzey kalitesi artırılmaktadır. Kesme derinliği (a) 0,10 mm'den 0,30 mm'ye arttığında işleme süresi (s) ortalama % 72,97 oranında, kesme hızı (V)

190 m/dk'dan 230 m/dk'ya arttığında işleme süresi (s) ortalama % 20 oranında ve ilerleme miktarı (f) 0,05 mm/dev'den 0,11 mm/dev'e arttığında ise işleme süresi (s) ortalama % 54,54 oranında azalma göstermiştir.

Anlık akım değeri, artan kesme parametreleri ile artsa da toplam güç tüketimi azalır. Toplam güç tüketimi üzerinde en etkili parametre işleme süresidir. İşleme süresinin kısalmasında ise etkili olan kesme parametrelerinin arttırılmasıdır.

Kesme derinliği (a) 0,10 mm'den 0,30 mm'ye arttığında güç tüketimi (W) ortalama % 70 oranında, kesme hızı (V) 190 m/dk'dan 230 m/dk'ya arttığında güç tüketimi (W) ortalama % 7,69 oranında ve ilerleme miktarı (f) 0,05 mm/dev'den 0,11 mm/dev'e arttığında ise güç tüketimi (W) ortalama % 57,14 oranında azalma göstermiştir.

Akım değeri aralığının düşük olması, öncelikle talaş derinliğinin düşük olmasından kaynaklanır. Buna rağmen akım değeri ile kesme parametreleri arasında güçlü bir ilişki vardır.

Bu çalışmada farklı oranlarda kesme parametreleri kullanılmış olup bu parametrelerin sonuçları detaylı şekilde incelenmiştir. Bu çalışmaya ek olarak, deney parçası işlendikten sonra uygulanan her kesme parametresinin sonuçlarını malzeme mikroyapısında inceleyebilmek adına, işlenen bölgenin metalografik incelemesi yapılarak mikroyapı fotoğraflarının eklenmesi önerilmektedir. Bu işlemin daha sonrası için çalışmalara malzeme bilimi açısından önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

## KAYNAKLAR

1. Ozkul, I., “Takım çeliği malzemelerinin geleneksel ve modern işleme yöntemleri ile işlenebilirliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-4 (2012).
2. Seremet, M., “AISI 4140 ıslah çeliğinin seramik kesici takımlarla tornalanmasında oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Düzce, 1-24 (2019).
3. İnternet: Hascometal, “Çeliklerin Sınıflandırılması, Teknik Bilgiler”, <https://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=74>.
4. Arman, M. A., “Farklı oranlarda mikro alaşım bor içerikli AISI 4140 çeliğinin aşınma davranışının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Nevşehir, 27-36 (2017).
5. Savaşkan, T.,” Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi 10. Basım”, **Papatya Yayıncılık Eğitim**, İstanbul, 113-164, 169-200, 265-279, 289-309, 325-387 (2010).
6. Askeland, D.R., “The Science and Engineering of Materials-1 3rd ed.”, **Nobel Yayıncılık**, Ankara, 99-128, 154-176, 204-264, 265-332 (2002).
7. Onur, C. and Inem, B., “AISI W<sub>1</sub> ve L<sub>2</sub> soğuk iş takım çeliklerinin düşük sıcaklıklarda (120 °C) menevişlenmesi ile optimum tokluğun geliştirilmesi”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 18 (1): 109-124 (2003).
8. 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, 1-4 (2007).
9. Kacal, F., “Isıl işlem görmüş Böhler K340 soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kütahya, 1-4 (2018).
10. Nalbant, M., Altın, A. and Gokkaya, B., “The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickel-base Inconel 718 super alloys”, **Materials and Design**, 28: 1334-1338 (2006).

11. Thakur, D. G., Ramamoorthy, L. and Vijayaraghavan, L., “Study on the machinability characteristics of superalloy Inconel 718 during high speed turning”, *Materials and Design*, 30: 1718-1725 (2008).
12. Suresh, R., Basavarajappa, S., Gaitonde, V. N. and Samuel, G. L., “Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert”, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 33: 75-86 (2012).
13. Anil, K. C., Vikas, M. G., Shanmukha, T. B. and Sreenivas-Rao, K. V., “Effect of cutting parameters on surface finish and machinability of graphite reinforced Al-8011 matrix composite”, *2nd International Conference on Mining, Material and Metallurgical Engineering*, Orlando, 191 (2021).
14. Marimuthu, P. and Chandrasekaran, K., “Machinability study on stainless steel and optimum setting of cutting parameters in turning process using Taguchi design of experiments”, *International Journal of Materials and Product Technology*, 43: 122 - 133 (2012).
15. Bayraktar, S. and Hekimoglu, A. P., “Effect of zinc content and cutting tool coating on the machinability of the Al-(5–35) Zn alloys”, *Metals and Materials International*, 26: 477–490 (2020).
16. Luo, H., Wang, Y. and Zhang, P., “Effect of cutting parameters on machinability of 7075-T651 aluminum alloy in different processing methods”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 110: 2035–2047 (2020).
17. Shnfir, M., Olufayo, O. A., Jomaa, W. and Songmene, V., “Machinability study of hardened 1045 steel when milling with ceramic cutting inserts”, *Materials*, 12 (23): 3974-3994 (2019).
18. Davim, J. P. and Figueira, L., “Machinability evaluation in hard turning of cold work tool steel (D2) with ceramic tools using statistical techniques”, *Materials & Design*, 28 (2007): 1186–1191 (2006).
19. Asiltürk, I. and Akkus, H., “Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method”, *Measurement*, 44 (2011): 1697–1704 (2011).
20. Mia, M., Dey, P. R., Hossain, M. S., Arafat, Md T., Asaduzzaman, Md., Ullah, Md S. and Zobaer, S. M. T., “Taguchi S/N based optimization of machining parameters for surface roughness, tool wear and material removal rate in hard turning under MQL cutting condition”, *Measurement*, 122 (2018): 380–391 (2018).
21. D'Addona, D. M. and Raykar, S. J., “Analysis of surface roughness in hard turning using wiper insert geometry”, *Procedia CIRP*, 41 (2016): 841–846 (2015).



22. Aouici, H., Yallese, M. A., Chaoui, K., Mabrouki, T. and Rigal, F. J., “Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool: Prediction model and cutting conditions optimization”, *Measurement*, 45 (2012): 344–353 (2011).
23. Elbah, M., Yallese, M. A., Aouici, H., Mabrouki T. and Rigal, F. J., “Comparative assessment of wiper and conventional ceramic tools on surface roughness in hard turning AISI 4140 steel”, *Measurement*, 46 (2013): 3041–3056 (2013).
24. Sarnobat, S. S. and Raval, H. K., “Experimental investigation and analysis of the influence of tool edge geometry and work piece hardness on surface residual stresses, surface roughness and work-hardening in hard turning of AISI D2 steel”, *Measurement*, 131 (2019): 235–260 (2018).
25. Bouacha, K., Yallese, M. A., Mabrouki, T. and Rigal, F. J., “Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool”, *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 28 (2010): 349–361 (2009).
26. Pavel, R., Marinescu, I., Deis, M. and Pillar, J., “Effect of tool wear on surface finish for a case of continuous and interrupted hard turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, 170 (2005): 341–349 (2005).
27. Lalwani, D. I, Mehta, N. K. and Jain, P. K., “Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 206 (2008): 167–179 (2007).
28. Agrawal, A., Goel, S., Rashid, W. B. and Price, M., “Prediction of surface roughness during hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC)”, *Applied Soft Computing*, 30 (2015): 279–286 (2015).
29. Srithar, A., Palanikumar, K. and Durgaprasad, B., “Experimental investigation and surface roughness analysis on hard turning of AISI D2 steel using coated carbide insert”, *Procedia Engineering*, 97 (2014): 72–77 (2014).
30. Das, D. K., Sahoo, A. K., Das, R. and Routara, B. C., “Investigations on hard turning using coated carbide insert: Grey based Taguchi and regression methodology”, *Procedia Materials Science*, 6 (2014): 1351–1358 (2014).
31. Bartaryaa, G. K. and Choudhury, S. K., “Effect of cutting parameters on cutting force and surface roughness during finish hard turning AISI52100 grade steel”, *Procedia CIRP*, 1 (2012): 651–656 (2012).
32. Allu, V. P., Raju, D. L. and Ramakrishna, S., “Performance investigation of surface roughness in hard turning of AISI 52100 steel - RSM approach”, *Materials Today: Proceedings*, 18 (2019): 261–269 (2018).

33. Azizi, M. W., Keblouti, O., Boulanouar, L. and Yallese, M. A., “Design optimization in hard turning of E19 alloy steel by analysing surface roughness, tool vibration and productivity”, *Structural Engineering & Mechanics*, 73 (5): 501–513 (2020).
34. Palanisamy, P. and Shanmugasundaram, S., “Modelling of tool wear and surface roughness in hard turning using regression and artificial neural network”, *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 4 (1): 76-94 (2008).
35. Thamizhmanii, S., Raju, D. L. and Ramakrishna, S., “Analyses of surface roughness by turning process using Taguchi method”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 20 (1-2): 503-506 (2007).
36. Salvi, S.B., Deshmukh, R. R. and Deshmukh, S. D., “Analysis of surface roughness in hard turning by using Taguchi method”, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 5 (2): 365–370 (2013).
37. Gunay, M., Kacal, A. and Turgut, Y., “Optimization of machining parameters in milling of Ti-6Al-4V using Taguchi method”, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 5 (2): 365–370 (2013).
38. Mohruni, A. S., Yanis, M. and Kurniawan, E., “Development of surface roughness prediction model for hard turning on AISI D2 steel using cubic boron nitride insert”, *Jurnal Teknologi*, 80 (1): 173–178 (2017).
39. Fnides, B., Aouici, H. and Yallese, M. A., “Cutting forces and surface roughness in hard turning of hot work steel X38CrMoV5-1 using mixed ceramic”, *Mechanika*, 2 (70): 73–78 (2008).
40. Umamaheswarrao, P., Ranga, R. D., Suman, K. N. S A. and Ravi, S. B., “Hybrid optimal scheme for minimizing machining force and surface roughness in hard turning of AISI 52100 steel”, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 11 (3): 19–29 (2019).
41. Thangarasu, SK., Shankar, S., Mohanraj, T. and Devendran, K., “Tool wear prediction in hard turning of EN8 steel using cutting force and surface roughness with artificial neural network”, *Journal of Mechanical Engineering Science*, 234 (1): 329-342 (2020).
42. Aouici, H., Yallese, M. A., Fnides, B., Chaoui, K. and Mabrouki, T., “Modeling and optimization of hard turning of X38CrMoV5-1 steel with CBN tool: Machining parameters effects on flank wear and surface roughness”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 25 (11): 2843-2851 (2011).
43. Sharma, V.S., Dhiman, S., Sehgal, R. and Sharma, S.K., “Estimation of cutting forces and surface roughness for hard turning using neural networks”, *J. Intell. Manuf.*, 19: 473–483 (2008).

44. Ferreira, R., Şehor, J., Lauro, C. H., Carou, D. and Davim, J.P., “ Analysis of the hard turning of AISI H13 steel with ceramic tools based on tool geometry: surface roughness, tool wear and their relation”, *J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, 38: 2413–2420 (2016).
45. Gunay, M., Korkmaz, M. E. and Yasar, N., “ Performance analysis of coated carbide tool in turning of Nimonic 80A superalloy under different cutting environments”, *Journal of Manufacturing Processes*, 56: 678–687 (2020).
46. Aouici, H., Fnides, B., Elbah, M., Benlahmidi, S., Bensouilah, H., and Yallese, M. A., “Surface roughness evaluation of various cutting materials in hard turning of AISI H11”, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7 (2016): 339-352 (2015).
47. Mir, M. J. and Wani, M. F., “Modelling and analysis of tool wear and surface roughness in hard turning of AISI D2 steel using response surface methodology”, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9 (2018): 63-74 (2017).
48. Basavarajappa, S., Suresh, R., Gaitonde, V. N. and Samuel, G. L., “Analysis of cutting forces and surface roughness in hard turning of AISI 4340 using multilayer coated carbide tool”, *Int. J. Machining and Machinability of Materials*, 16 (2): 169-185 (2014).
49. Khamel, S., Ouelaa, N. and Bouacha, K., “Analysis and prediction of tool wear, surface roughness and cutting forces in hard turning with CBN tool”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26 (11): 3605-3616 (2012).
50. Ambhore, N., Kamble, D. and Chinchanikar, S., “Prediction of cutting tool vibration and surface roughness in hard turning of AISI52100 steel”, MATEC Web of Conferences, Lisbon, Portugal, 3011-3016 (2018).
51. Kumar, P., Chauhan, S. R., Pruncu, C. I., Gupta, M. K., Pimenov, D. Y., Mia, M and Gill, H. S., “Influence of different grades of CBN inserts on cutting force and surface roughness of AISI H13 die tool steel during hard turning operation”, *Materials*, 12: 177-196 (2018).
52. Mia, M. and Dhar, N. R., “Modeling of surface roughness using RSM, FL and SA in dry hard turning”, *Arab. J. Sci. Eng.*, 43: 1125-1136 (2018).
53. Şahinoğlu, A. and Güllü, A., “CuZn39Pb3 malzemenin torna tezgâhında işlenmesinde oluşan akım, ses şiddeti, titreşim ve yüzey pürüzlülük değeri arasındaki ilişkinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23 (3): 615-624 (2020).
54. Khellaf, A., Aouici, H., Smaiah, S., Boutabba, S., Yallese, M. A. and Elbah, M., “Comparative assessment of two ceramic cutting tools on surface roughness in hard turning of AISI H11 steel: including 2D and 3D surface topography”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 89: 333-354 (2017).

55. Singh, D. and Rao, P. V., "Optimization of tool geometry and cutting parameters for hard turning", *Materials and Manufacturing Processes*, 22 (1): 15-21 (2007).
56. Dureja, J. S., Singh, R. and Bhatti, M. S., "Optimizing flank wear and surface roughness during hard turning of AISI D3 steel by Taguchi and RSM methods", *Production & Manufacturing Research an Open Access Journal*, 2 (1): 767-783 (2014).
57. Panda, A., Das, S. R. and Dhupal, D., "Surface roughness analysis for economical feasibility study of coated ceramic tool in hard turning operation", *Process Integr Optim Sustain*, 1: 237–249 (2017).
58. Rashid, W. B., Goel, S., Davim, J. P. and Joshi, S. N., "Parametric design optimization of hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC)", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 82: 451–462 (2016).
59. Saini, S., Ahuja, I. S. and Sharma, V. S., "Residual stresses, surface roughness, and tool wear in hard turning: a comprehensive review", *Materials and Manufacturing Processes*, 27 (6): 583-598 (2012).
60. Xiao, Z., Liao, X., Long, Z. and Li M., "Effect of cutting parameters on surface roughness using orthogonal array in hard turning of AISI 1045 steel with YT5 tool", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 93: 273–282 (2017).
61. Chavoshi, S. Z. and Tajdari, M., "Surface roughness modelling in hard turning operation of AISI 4140 using CBN cutting tool", *Int. J. Mater. Form.*, 3: 233-239 (2010).
62. Şahinoğlu, A. and Rafiği, M., "Investigation of Vibration, Sound Intensity, Machine Current and Surface Roughness Values of AISI 4140 During Machining on the Lathe", *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45: 765-778 (2020).
63. Aran, A., "Malzeme Bilgisi Ders Notları", *İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi*, İstanbul (2008).
64. Karagöz, S., "Malzeme Bilgisi Ders Notu", *Adnan Menderes Üniversitesi Makine Resim Konstrüksiyon Programı*, Aydın (2008).
65. Akınay, Y. and Hayat, F., "The influence of the heat treatment on mechanical and microstructure properties of Fe-Mn-C high-manganese steel", *Kovove Mater.*, 54: 91-96 (2016).
66. Davies, R. G., "Influence of martensite composition and content on properties of Dual-Phase steels", *Metallurgical Transactions A*, 9: 671-679 (1978).

67. Hayat, F., Demir, B., Aslanlar, S. and Acarer, M., "Effect of welding time and current on the mechanical properties of resistance spot welded IF (DIN EN 10130–1999) steel", *Kovové materiály - Metallic Materials*, 47 (1): 11-17 (2009).
68. Hayat, F. and Demir, B., "Adhesive weld bonding of interstitial free steel at spot welding for automotive application", *Kovove Material*, 48: 137-143 (2010).
69. Hayat F., "Resistance spot weldability of dissimilar materials: BH180-AISI304L steels and BH180-IF7123 steels", *Journal of Materials Science & Technology*, 27 (11): 1047-1058 (2011).
70. Sevim, I., Hayat, F. and Kulekci, M. K., "Nucleus geometry and mechanical properties of resistance spot welded coated-uncoated DP automotive steels", *Bulletin of Materials Science*, 36 (6): 1049-1055 (2013).
71. Hayat, F., "TRIP Çeliklerinin otomotiv endüstrisinde kullanımının incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (4): 701-712 (2010).
72. Hayat, F., Demir, B. and Acarer, M., "Tensile shear stress and microstructure of low-carbon dual-phase Mn-Ni steels after spot resistance welding", *Metal Science and Heat Treatment*, 49 (9): 484-489 (2007).
73. Sezgin, C. T. and Hayat, F., "The Microstructure and Mechanical Behavior of TRIP 800 and DP 1000 Steels Welded by Electron Beam Welding Method", *Soldagem & inspeção*, 25 (1): 1-12 (2020).
74. İnternet: Coggle.it, "Çeliklerin sınıflandırılması", <https://coggle.it/diagram/Wk0JJnGPjgABmgao/t/%C3%A7eli%CC%87kleri%CC%87n-siniflandirilmesi>.
75. İnternet: Uslular Hadde, "Çeliklerin Sınıflandırılması", <https://www.uslularhadde.com/celiklerin-siniflandirilmesi>.
76. İrizalp, S., "Çeliklerin Sınıflandırılması ve Standart Gösterimi", *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Bölümü*, Manisa.
77. Demirok, S., "Çeliklerin farklı sertlik oranlarında işlenebilirliklerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, (2008).
78. Bingül, E., "K390 soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında temperleme sıcaklığının işlenebilirlik üzerine etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, (2014).
79. Topbaş, M. A., "Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı", *Ekim Ofset*, İstanbul, (1998).

80. Unterweiser, P. M., Boyer, H. E. and Kubbs, J. J., “Heat treater's guide : standard practices and procedures for steel”, *Metals Park : American Society for Metals*, Ohio, (1982).
81. Karayel, D., “Prediction and control of surface roughness in cnc lathe using artificial neural network”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (7): 3125-3137 (2009).
82. Kıratlı, N., “Ç1040 ve 11SMnPb37 çeliklerinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve üretim maliyetinin deneysel olarak incelenmesi”, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 5 (2): 201-211 (2010).
83. Eren, H., “Çeliklerin Sınıflandırılması”, *Çankırı Karatekin Üniversitesi Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Programı*, Çankırı (2018).
84. İnternet: Metalurji-Malzeme.Net, “Otomat Çeliği”, <https://www.metalurjimalzeme.net/otomat-celigi/>.
85. İnternet: Hascometal, “Çeliklerin Sınıflandırılması, Yay Çelikleri”, <https://www.hascometal.comceliklerin-siniflandirilmasiyay-celikleri>.
86. Eren, H., “Metalik Malzemeler”, *Çankırı Karatekin Üniversitesi Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Programı*, Çankırı (2016).
87. Ulusoy, A., “Orta karbonlu ve otomat çeliklerinde kesme hızının işlenebilirlik üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, (2008).
88. Akdere, R., “Sertleştirilmiş AISI H10A çeliğinin CBN kesici takımlarla işlenebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2016).
89. Gönülaçar, Y. E., “AISI 4140 malzemesinin tornalanmasında minimum miktarda yağlama (MQL) kullanımının işlenebilirlik üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman, (2018).
90. Özlü, B., “Sıcak dövme uygulanan mikroalaşımli çeliklerin mikroyapı ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2019).
91. Kaya, E., “Farklı kesici takım malzemeleri kullanarak NiTi şekil hafızalı alaşımların işlenebilirlik davranışlarının araştırılması ve performans parametrelerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Eskişehir, (2019).
92. Özçatalbaş, Y., “1050, 4140 ve 8620 çeliklerinin ısı ilemele değişen mikroyapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlikleri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (1996).

93. Eser, A., "AA 6082 Alüminyum alaşımlarında kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce, (2020).
94. Öndaş, A., "Sert tornalama işleminde minimum miktarda yağlama yönteminin etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2016).
95. Şahinoğlu, A., Güllü, A. and Dönertaş, M. A., "GGG50 Malzemenin Torna Tezgâhında İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Titreşim, Ses Şiddeti ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkisinin Araştırılması", *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (1): 67-79 (2017).
96. Öztürk, M. M., "Tornalama işleminde kesici uç kaplama çeşidinin iş parçası yüzey kalitesi ve takım ömrüne etkisinin araştırılması deneysel verilerin elde edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, (2016).
97. Yücel, E., "Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerin (Ni-Hard) işlenebilirlik parametrelerinin Taguchi Yöntemi ile optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2011).
98. Güldibi, A. S., "AISI 304 paslanmaz çeliğine bor ilavesinin işlenebilirlik parametrelerine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2015).
99. Karabulut, Ş. and Şahinoğlu, A., "R260 çeliklerinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, güç tüketimi ve makine gürültüsü üzerine etkileri", *Politeknik Dergisi*, 21 (1): 237-244 (2018).
100. Serin, G., Kahya, M., Özbayoğlu, M. and Ünver, H. Ö., "Ti6Al4V Malzemesinin tornalama işleminde özgül kesme enerjisi ve yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi ve yapay sinir ağları temelli tahmin modeli geliştirilmesi", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24 (2): 517-536 (2019).
101. Gürbüz, H. and Baday, Ş., "CNC torna tezgahlarında ayna ve punto basıncının yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerine etkisinin Taguchi Metodu ile optimizasyonu", *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2): 119-134 (2019).
102. İnternet: OtaSteel, "DIN 1.2367, hot work tool steel", <https://www.otaisteel.com/din-1-2367-hot-work-tool-steel/>.
103. İnternet: Allmetech, "Surface Measurement SurfTest SJ-201 / SJ-301", [http://allmetech.com/images/brosuri/mitutoyo/SurfTest\\_SJ201\\_SJ301\\_PRE%20-%20rugozimetre.pdf](http://allmetech.com/images/brosuri/mitutoyo/SurfTest_SJ201_SJ301_PRE%20-%20rugozimetre.pdf).
104. Neşeli, S., Asiltürk, İ., Yaldız, S. and Sağlam, H., "Tornalama işleminde cevap yüzey metodu ile kesme kuvvetlerinin kesme parametrelerine bağlı olarak

- modellenmesi”, *III. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, 442-455 (2012).
105. Myers, R. H., Montgomery, D. C. and Anderson-Cook, C. M., “Process and Product Optimization Using Designed Experiments 3rd ed.”, *John Wiley & Sons*, (2009).
106. Girisanekar, S. and Omkumar, M., “Investigation on the hard turning in enhancing the surface reliability by white layer elimination using cbn semi worn-out inserts under shielding gas atmosphere”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33 (5): 2345-2352 (2019).
107. Hosseini, S. B., Rytberg, K., Kaminski, J. and Klement, U., “Characterization of the surface integrity induced by hard turning of bainitic and martensitic AISI 52100 steel”, *5th CIRP Conference on High Performance Cutting*, Zurich, Switzerland, 494-499 (2012).
108. Hamamcı, M. and Topal, E. S., “Yüksek hızlı talaşlı işlemede yüzey kalitesinin iyileştirilmesi”, *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 528-537 (2012).
109. Sahoo, S., “Review on Hard Turning using Finite Element Method”, *Journal of Engineering Innovation and Research*, 9 (1): 61-68 (2019).
110. Eren, N., Hayat, F. and Günay, M., “Sertleştirilmiş 1.2367 Takım Çeliğinin İşlenmesinde Enerji Tüketiminin Analizi ve Modellenmesi”, *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 1 (3): 41-49 (2020).
111. Yakıncı, Z. D. and Kök, M., “Yenilenebilir enerji ve toplum sağlığı”, *İ.Ü. Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 5 (1): 43-55 (2017).



## ÖZGEÇMİŞ

Naime EREN; ilk ve orta öğretimini, T.O.B.B. İlköğretim Okulu 'nda ve Çankırı Anadolu Lisesi 'nde tamamladı. 2010 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi Mühendisliği Bölümü 'nde öğrenimine başlayıp 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında, Panel A.Ş. 'de mühendis olarak ilk iş hayatına başladı. 2016 yılında, VADEMSAŞ Voestalpine Kardemir Demiryolu Sistemleri San. Tic. A.Ş. 'de mühendis olarak iş hayatına devam etti ve halen aynı yerde çalışmaktadır. 2018 yılında ise Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı 'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.