



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

**15-5 PH PASLANMAZ ÇELİĞİN TORNALANMASINDA İŞLEME
PARAMETRELERİNİN TAGUCHI METODU İLE OPTİMİZASYONU**

ŞERİF ÇETİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. TURGAY KIVAK**

DÜZCE, 2016

KABUL VE ONAY BELGESİ

Şerif ÇETİN tarafından hazırlanan "15-5 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında işleme parametrelerinin Taguchi metodu ile optimizasyonu" isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/10/2016E.5280 tarih ve 18730663/302.14.05 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Üye
(Tez Danışmanı)
Yrd. Doç. Dr. Turgay KIVAK
Düzce Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Mustafa GÜNAY
Karabük Üniversitesi

Üye
Yrd. Doç. Dr. Şenol MERT
Düzce Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih : 02.11.2016

ONAY

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Şerif ÇETİN'in İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesini almasını onamıştır.

Doç. Dr. Resul KARA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYAN

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

11.10 2016

Şerif ÇETİN



Sevgili Mithat'ıma ve Buket'ime

TEŞEKKÜR

Tez konumun seçilmesinde ve hazırlanmasında, tüm pratik çalışmalarında bana yol gösteren ve her ne şekilde olursa olsun yardım ve desteğini esirgemeyen kıymetli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Turgay KIVAK’a en samimi duygularıyla teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen Düzce Üniversitesi İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki saygıdeğer hocalarıma ve personeli olmaktan mutluluk duyduğum MTA Genel Müdürlüğü'ne şükranlarımı sunarım.

Varlıkları ile bana destek olan sevgili aileme ve her daim yanımda olup yalnız hissettirmeyen eşim olsa da sevgilim olmaya devam edecek olan Sayın Buket ŞEFLEK’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2014.07.04.217 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle destekleyen Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

Ekim 2016

Şerif ÇETİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR SAYFASI	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ	V
ÇİZELGE LİSTESİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	VIII
ÖZET	1
ABSTRACT	2
EXTENDED ABSTRACT	3
1. GİRİŞ	5
2. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	7
2.1. ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER.....	7
2.2. FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER	8
2.3. MARTENSİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER.....	9
2.4. ÇİFT FAZLI (DUBLEKS) PASLANMAZ ÇELİKLER.....	10
2.5. ÇÖKELME YOLUYLA SERTLEŞTİRİLEBİLEN PASLANMAZ ÇELİKLER.....	11
3. TALAŞ KALDIRMA ESASLARI.....	13
3.1. TORNALAMA METODU.....	13
3.1.1. Temel Tornalama İşlemleri.....	13
3.1.2. Talaşlı İmalat Mekaniği ve Talaş Oluşumu.....	15
3.2. TALAŞLI İMALATTA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....	16
3.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar.....	16
3.2.2. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler.....	17
3.2.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu.....	17

3.2.4. Yüzey Pürüzlülüğünü Ölçme Yöntemleri.....	17
3.2.5. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri.....	19
3.2.5.1. Örneklem Uzunluğu ve Örneklem Sayısı.....	19
3.2.5.2. Ortalama Çizgisi.....	19
3.2.5.3. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü.....	20
3.2.5.4. Genlik Dağılım Eğrisi.....	20
3.3. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ.....	20
3.4. KESİCİ TAKIM KAPLAMALARI.....	21
4. DENEY TASARIMI VE TAGUCHI METODU	22
4.1. TAGUCHI METODU.....	22
4.1.1. Taguchi Felsefesinin Tarihsel Gelişimi.....	22
4.1.2. Taguchi Deney Tasarımı Aşamaları.....	24
4.1.3. Değerlendirilecek Faktör ve Etkileşimlerin Belirlenmesi.....	25
4.1.4. Her Bir Faktöre Ait Seviyelerin Belirlenmesi.....	25
4.1.5. Deneye Uygun Ortogonal Dizin Belirlenmesi.....	26
4.1.6. Seçilen Ortogonal Dizin Faktör ve Etkileşimlerin Atanması.....	27
4.1.7. Deneylerin Uygulanması.....	27
4.1.8. Deneylere Ait Sonuçların Analiz Edilmesi.....	28
4.1.9. Doğrulama Deneylerinin Yapılması.....	29
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	30
5.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	34
6. MATERYAL VE YÖNTEM	36
6.1. DENEY MALZEMESİ.....	36
6.2. TAKIM TEZGÂHI.....	38
6.3. KESİCİ TAKIMLAR VE KAPLAMA MALZEMESİ.....	38
6.4. KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ.....	39
6.5. YÜZEY PÜRÜZLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ.....	40
6.6. DENEY TASARIMI.....	41
7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	43
7.1. KESME KUVVETİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	43
7.1.1. Sertleştirilmemiş 15-5 PH Çeliği için Kesme Kuvvetinin	
Değerlendirilmesi.....	43

7.1.1.1. S/N Oranlarının Analizi.....	43
7.1.1.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	45
7.1.1.3. Varyans Analizi (ANOVA)	47
7.1.1.4. Regresyon Analizi	47
7.1.2. Sertleştirilmiş 15-5 PH Çeliği için Kesme Kuvvetinin Değerlendirilmesi.....	48
7.1.2.1. S/N Oranlarının Analizi.....	48
7.1.2.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	50
7.1.2.3. Varyans Analizi (ANOVA).....	52
7.1.2.4. Regresyon Analizi	52
7.1.3. Kesme Kuvvetinin Genel Değerlendirilmesi	53
7.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	53
7.2.1. Sertleştirilmemiş 15-5 PH Çeliği için Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi.....	54
7.2.1.1. S/N Oranlarının Analizi.....	54
7.2.1.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	55
7.2.1.3. Varyans Analizi (Anova).....	57
7.2.1.4. Regresyon Analizi	58
7.2.2. Çökelti Sertleştirilmiş 15-5 PH Çeliği için Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi.....	59
7.2.2.1. S/N Oranlarının Analizi.....	59
7.2.2.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	61
7.2.2.3. Varyans Analizi (ANOVA)	63
7.2.2.4. Regresyon Analizi	63
7.2.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Genel Değerlendirilmesi	64
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	65
8.1. SONUÇLAR.....	65
8.2. ÖNERİLER.....	66
9. KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ	72

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Boyuna tornalama işlemi	13
Şekil 3.2. Torna tezgahında yapılabilen temel operasyonlar	14
Şekil 3.3. Dik ve eğik kesme metotları a) Dik kesme, b) Eğik kesme	15
Şekil 3.4. Gerçek talaş oluşumu	16
Şekil 3.5. İlerleme ve takım uç yarı çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi	17
Şekil 3.6. Örnekleme uzunluğunu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu	19
Şekil 3.7. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi	19
Şekil 3.8. Profil ve genlik dağılım eğrisi	20
Şekil 3.9. Tornalama işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetleri	20
Şekil 4.1. Faktörler ve etkileşimleri	26
Şekil 6.1. 15-5 PH çeliğine ait mikroyapı	37
Şekil 6.2. Çekme numuneleri	38
Şekil 6.3. Deney seti kurulumu	40
Şekil 6.4. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi	41
Şekil 7.1. Kesme kuvveti için kontrol faktörlerinin S/N oranları ana etki grafiği	45
Şekil 7.2. Kesme hızı ve kaplama tipine bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimi	46
Şekil 7.3. Kesme derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimi	46
Şekil 7.4. Fc için ölçülen değerler ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması	48
Şekil 7.5. Kesme kuvveti için kontrol faktörlerinin S/N oranları ana etki grafiği	50
Şekil 7.6. Kesme hızı ve kaplama tipine bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimi	51
Şekil 7.7. Kesme derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimi	51

Şekil 7.8.	Fc için ölçülen değerler ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması	53
Şekil 7.9.	Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin S/N oranları ana etki grafiği	55
Şekil 7.10.	Kesme hızı ve kaplama tipine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi	56
Şekil 7.11.	Kesme derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi	57
Şekil 7.12.	Ra için ölçülen değerler ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması	59
Şekil 7.13.	Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin S/N oranları ana etki grafiği	61
Şekil 7.14.	Kesme hızı ve kaplama tipine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi	62
Şekil 7.15.	Kesme derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi	62
Şekil 7.16.	Ra için ölçülen değerler ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması	64

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 4.1. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu	24
Çizelge 4.2. Tasarım matrisi	27
Çizelge 6.1. 15-5 PH paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi	37
Çizelge 6.2. BSD torna tezgâhı özellikleri	38
Çizelge 6.3. Kesici takım ve kaplamalara ait teknik özellikler	39
Çizelge 6.4. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri	39
Çizelge 6.5. Mohr Perthometer M1 yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri	41
Çizelge 6.6. İşleme parametreleri ve seviyeleri	42
Çizelge 6.7. Taguchi L ₁₈ deney tasarımı	42
Çizelge 7.1. Deney sonuçları ve S/N oranları	44
Çizelge 7.2. Kesme kuvveti için S/N yanıt tablosu	44
Çizelge 7.3. Kesme kuvvetleri için Anova tablosu	47
Çizelge 7.4. Deney sonuçları ve S/N oranları	49
Çizelge 7.5. Kesme kuvveti için S/N yanıt tablosu	49
Çizelge 7.6. Kesme kuvvetleri için Anova tablosu	52
Çizelge 7.7. Deney sonuçları ve S/N oranları	54
Çizelge 7.8. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu	55
Çizelge 7.9. Yüzey pürüzlülüğü için Anova tablosu	58
Çizelge 7.10. Deney sonuçları ve S/N oranları	60
Çizelge 7.11. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu	60
Çizelge 7.12. Yüzey pürüzlülüğü için Anova tablosu	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

ap	Kesme derinliği
AlCrO	Aluminum Chrome Oxide (Alüminyum Krom Oksit)
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
C	Karbon
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
Cr	Chrome (Krom)
CVD	Chemical Vapor Deposition (Kimyasal Buhar Çökeltme)
f	İlerleme hızı (mm/dev)
F _c	Cutting Force (Kesme Kuvveti (N))
F _f	İlerleme Kuvveti (N)
F _p	Radyal Kuvvet (N)
Kw	Kilowatt
Ni	Nikel
PH	Power of Hydrogen (Hidrojenin Gücü)
PVD	Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Çökeltme)
Ra	Surface Roughness (Yüzey Pürüzlülüğü)
RSM	Response Surface Methodology (Yanıt Yüzey Metodu)
TiAlN	Titanium Aluminum Nitride (Titanyum Alüminyum Nitrit)
TiC	Titanyum Karbür
TiCN	Titanium Carbon Nitride (Titanyum Karbon Nitrür)
TiN	Titanium Nitride (Titanyum Nitrür)
V _c	Kesme hızı (m/dak)

ÖZET

15-5 PH PASLANMAZ ÇELİĞİN TORNALANMASINDA İŞLEME PARAMETRELERİNİN TAGUCHI METODU İLE OPTİMİZASYONU

Şerif ÇETİN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Turgay KIVAK

Kasım 2016, 73 sayfa

Son yıllarda, 15-5 PH çökelme ile sertleştirilebilen martensitik paslanmaz çeliği yüksek dayanım, iyi korozyon direnci ve düşük distorsiyon özelliklerinden dolayı özellikle havacılık ve nükleer endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, sahip olduğu mükemmel mekanik özellikleri nedeniyle işlenebilirliği zor malzemeler sınıfında yer almaktadır. Bu çalışmanın amacı 15-5 PH paslanmaz çeliğin tornalamasında işleme parametrelerinin kesme kuvveti (F_c) ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerindeki etkilerini araştırmak ve optimum işleme şartlarını belirlemektir. Bu amaçla kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği üç farklı seviyede ve kesici takım ise iki farklı seviyede tanımlanarak Taguchi'nin L18 dikey dizini ile deney tasarımı yapılmıştır. İşlenebilirlik üzerinde çökelme sertleştirme ısı işlem etkisini belirlemek için, 15-5 PH ve çökelme 15-5 PH sertleştirilmiş (H1025) malzemeler kullanılmıştır. İşleme deneyleri CNC torna tezgahında kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılarak kuru kesme şartları altında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen F_c ve R_a değerleri için varyans analizi (ANOVA) yapılarak işleme parametrelerinin F_c ve R_a üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla regresyon analizi uygulanmıştır. Her iki malzemenin işlenmesinde de kesme kuvveti üzerinde en etkili parametrenin kesme derinliği, yüzey pürüzlülüğü üzerinde ise en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu görülmüştür. Çökelti sertleştirme ısı işleminin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı tespit edilmiştir. İşleme çıktıları üzerinde CVD TiCN-Al₂O₃-TiN kaplı takımın PVD TiAlN-AlCrO kaplı takıma üstünlük sağladığı görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Kesme kuvveti, Taguchi metodu, Varyans analizi,. Yüzey pürüzlülüğü, 15-5 PH

ABSTRACT

THE OPTIMIZATION OF MACHINING PARAMETERS BY TAGUCHI METHOD DURING TURNING OF 15-5 PH STAINLESS STEEL

Şerif ÇETİN

Düzce University

Institute of Science and Technology, Department of Manufacturing Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Turgay KIVAK

November 2016, 73 pages

In the recent years, 15-5 PH precipitation hardenable martensitic stainless steel has been widely used especially in the aviation and nuclear industry due to its high strength, good corrosion resistance and lower distortion properties. However, it is ranked in the hardly machinable materials classification because of this excellent mechanical properties. The aim of this study is to investigate the effects of machining parameters on the cutting force (F_c) and surface roughness (R_a) during turning of the 15-5 PH stainless steel and to specify the optimum machining conditions. For this purpose a test design will be carried on with Taguchi L18 orthogonal array by defining the cutting speed, feed rate and cutting depth at three different levels and the cutting tool at two different levels. To indicate the effect of precipitation hardening heat treatment on machinability, 15-5 PH and precipitation hardened 15-5 PH (H1025) materials will be used. Machining tests will be carried on at the CNC turning machine under dry cutting conditions by using coated cementite carbide cutting tools. At the end of the tests, variance analysis (ANOVA) will be made for the F_c and R_a values which are obtained depending on the cutting parameters and the effect of machining parameters on the F_c and R_a will be examined. Besides, a regression analysis will be made to put forth the relation between the dependent and independent variables. It has been seen that depth of cutting is the most efficient parameter on cutting force and feed rate is the most efficient parameter on surface roughness while processing both two materials. It has been determined that precipitation hardening heat treatment increases cutting force and surface roughness. It has been obtained that CVD TiCN-Al₂O₃-TiN covered tool has gained an advantage over PVD TiAlN-AlCrO covered tool on processing outputs.

Keywords: Cutting force, Taguchi method, Variance analysis, Surface roughness, 15-5 PH

EXTENDED ABSTRACT

THE OPTIMIZATION OF MACHINING PARAMETERS BY TAGUCHI METHOD DURING TURNING OF 15-5 PH STAINLESS STEEL

Şerif ÇETİN

Düzce University

Institute of Science and Technology, Department of Manufacturing Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Turgay KIVAK

November 2016, 73 pages

1. INTRODUCTION:

15-5 PH stainless steel takes place at the martensitic stainless steel group which is hardening via precipitation has a wide range of application area especially aviation and nuclear industry and chemistry, petrochemistry, food and paper industry because of high corrosion resistance and low distortion properties. However, it is in hard workability materials group because of the excellent mechanical properties. In industry lack of technologic data generally leads processing with trial and error way which causes decreasing in work quality and increasing production costs. Improving the quality of production parts and decreasing the production costs only possible with the parameter optimization. Applying experimental design methods provide an advantage in production costs and time. Within this scope Taguchi experimental design methods is one of the successful method for solving the problems. Variables which will come through optimizes with the use of Taguchi method; so the number of experiments decreases. Thus, production costs will be decrease which comes up with trial and error and loss of time will be minimized.

2. MATERIAL AND METHODS:

In this study, the aim is to search the effects of the processing parameters of turning the 15-5 ph martensitic stainless steel on cutting force and surface roughness and determine the optimum processing conditions. For that purpose, processing experiment has been

made on CNC turning machine with coated cementite carbide cutting tool, in the condition of dry shearing. In spinning experiments cutting tool that have two different coating, three different cutting speeds, three different process and depths of cut is used and FC and RA values have gotten. Taguchi methods have been used in the optimization of the processing parameters. 5-15 PH and sediment vulcanized 15-5 PH (H1025) materials is used to determine the effects of the precipitation hardening heat treatment on processability of 15-5ph stainless steel. As a result of the experiments, analysis of variance (ANOVA) have been made for the Fc and Ra values that have been obtained with cutting parameters and it's observed the effect of the processing parameters on Fc and Fa values. Also it has been made regression analysis to put forward to determine the connection of dependent and independent variables.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS:

Both for two materials, cutting forces showing downward trend with increasing cutting speed, but according to increasing progress and cutting depth, cutting forces substantially increased were determined. There is no significant effect of covering materials for cutting forces but generally both for two materials, CVD TiCN-Al₂O₃-TiN covered set showed a little advantage for PVD TiAlN-AlCrO covered set. During processing of two materials, the most effective parameter for the surface roughness is feed rate was observed. Surface roughness values showed a slight decrease according to increasing cutting forces and in parallel to cutting speed.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK:

For uncured 15-5 PH, the most effective parameter for cutting force is cutting depth with %55,62 contribution rate, for surface roughness is feed rate with %82,33 contribution rate was observed. For precipitate hardened 15-5 PH, the most effective parameter for cutting force is cutting depth with %53,82 contribution rate, for surface roughness is feed rate with %87,64 contribution rate was observed. Cutting force and surface roughness increase due to precipitate hardening heat treatment was observed. According to the process outputs, CVD TiCN-Al₂O₃-TiN covered set showed superiority to PVD TiAlN-AlCrO covered set were observed.

1. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler, içerisinde en az %10,5 oranında (ağırlıkça) krom (Cr) içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Bu çelikler içeriğindeki katkı elementlerine göre farklı sınıflara ayrılmaktadır. Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler sınıfında yer alan 15-5 PH martenzitik paslanmaz çeliği yüksek sıcaklığa maruz kalan türbin kanatları, nükleer santraller, havacılık, kimya, petro-kimya ve kağıt endüstrisi gibi birçok endüstri dalında uygulama alanı bulmaktadır. Bununla beraber özellikle çökelti ile sertleştirildiğinde mekanik özelliklerinde sağlanan iyileşme ile işlenebilirliği zorlaşmaktadır [1-3].

Yüzey kalitesi, mühendislik malzemelerinin en önemli kalite göstergelerinden birisidir. Yüzey pürüzlülüğü ise üretilen parçaların yüzey kalitelerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. İyi bir yüzey pürüzlülüğü bitmiş ürünün tribolojik özellikleri, yorulma dayanımı, korozyon direnci ve estetik görünümünde önemli iyileşmeler sağlamaktadır [4-6]. Bunlara ilave olarak istenilen yüzey pürüzlülük değerinin elde edilmesi üretim maliyetlerinin düşürülmesi adına önem arz etmektedir.

Üretimde en önemli maliyet faktörlerinden birini ise enerji sarfıyatı oluşturmaktadır. Talaş kaldırma sırasında harcanan güç enerji sarfıyatını belirleyen unsurdur. Tornalama işlemi için gerekli olan güç, kilowatt (kw) cinsinden malzeme faktörüne ilave olarak kesme derinliği, ilerleme miktarı ve kesme hızına bağlıdır. Malzemenin özgül kesme direncine bağlı olarak diğer faktörlerin de devreye girmesiyle, talaş kaldırma sırasında ihtiyaç duyulan asıl kesme kuvveti (F_c), talaş kaldırmak için harcanan gücü ve dolayısıyla enerji maliyetini belirleyen en önemli parametredir [7]. Dolayısıyla giriş parametrelerine bağlı olarak doğru kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün tayini, işleme performansı açısından büyük önem taşır. Bu amaçla, kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan F_c ve R_a 'nın deneysel olarak belirlenmesi ve optimum değerlerin ortaya konulması bu çalışmanın temel amaçlarından birini oluşturmaktadır. Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, talaş açısı, uç radyüsü, işlenen parçanın fiziksel ve kimyasal özellikleri, talaş kırıcı geometrisi gibi kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen birçok parametre vardır. Düşük maliyet ve yüksek kalitede ürünlerin elde

edilebilmesi için uygun işleme şartlarının belirlenmesi gereklidir [8,9]. Bu sebeple son yıllarda yanıt yüzey metodu (Response Surface Methodology, RSM), regresyon teknikleri, varyans analizi (ANOVA) ve Taguchi metodu gibi işleme parametrelerinin analiz ve optimizasyonuna yönelik birçok istatistiksel model geliştirilmiştir.

Taguchi Deney Tasarımı metodu optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir metot olarak ortaya çıkmaktadır. Taguchi metodu, çözümün sadece en az sayıda deneyle elde edilmesini sağlamakla kalmaz, yüksek kalitede proses ve ürün geliştirilmesini her açıdan destekler. Buna, prosesin veya ürünün üretim şartlarına ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı minimum hassasiyeti göstermesi, gerekli toleransların en düşük maliyetle sağlanması ve Taguchi kayıp fonksiyonu sayesinde ürünün toplumda yol açtığı kaybı minimize ederek yeni bir kalite maliyeti anlayışı çerçevesinde değerlendirilmesi de dahildir. Deneylerde Taguchi metodu kullanılarak gereksiz yapılacak deneylerden kaçınılmakta zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmaktadır [10,11].

Bu amaçla yapılan çalışmada 15-5 PH martenzik paslanmaz çeliğin tornalanmasında işleme parametrelerinin kesme kuvveti (F_c) ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerindeki etkileri araştırılarak optimum işleme şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. İşleme parametrelerinin optimizasyonunda Taguchi metodu esas alınmıştır. F_c ve R_a değerleri için varyans analizi (ANOVA) yapılarak işleme parametrelerinin F_c ve R_a üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla regresyon analizi uygulanmıştır.

2. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler; içerisinde en az %10,5 oranında (ağırlıkça) krom (Cr) içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan ince fakat yoğun krom oksit tabakası korozyona karşı yüksek dayanım sağlar ve oksidasyonun daha derine doğru ilerlemesini engeller. İçerdikleri diğer katkı elementlerine göre değişen ve tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan beş farklı çeşit paslanmaz çelik türü vardır.

Bunlar sırası ile;

- 1- Östenitik paslanmaz çelikler
- 2- Ferritik paslanmaz çelikler
- 3- Martenzitik paslanmaz çelikler
- 4- Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler
- 5- Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerdir [12].

2.1. ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çeliklerin içinde en çok kullanım alanı bulanlardan birisidir ve gıda, eczacılık, mayalama, kimya ve petrokimya alanlarında geniş uygulama alanları bulurlar. AISI 304 ve AISI 316 kalitelerindeki çelikler bu gruba dahildirler. AISI 304'ün içerisinde %18 krom ve %10 nikel (Ni) bulunur ve bu tür paslanmaz çelikler mükemmel korozyon direnci gösterirler. AISI 316 bileşiminde %17 krom, %12 nikel ve %2,2 molibden içeren bir östenitik paslanmaz çelik türüdür ve AISI 304'ün yetersiz kaldığı klorürlü ortamlar gibi çok daha ciddi korozif ortamlarda kullanım alanı bulurlar. Östenitik paslanmaz çeliklerin bir diğer önemli özelliklerinden birisi genellikle çeliklerde görülenin tersine manyetik özelliği olmamasıdır.

Bu tür paslanmaz çelikleri bileşimlerinde %12~25 Cr ve %8~25 Ni içerirler. Nikel, kuvvetli bir östenit yapıcı olduğundan, bu çeliklerde katılaşma sırasında ortaya çıkan östenit oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda bile dönüşmeden kalır. Soğuma sırasında östenit–ferrit dönüşümü olmadığından su verme yolu ile sertleştirilemezler. Bu grup içinde en fazla bilinen 18/8 çeliği diye isimlendirilen, birleşiminde %18 Cr ve %8 Ni

içeren türdür. Anti manyetik olan bu tür paslanmaz çeliklere korozyon dayanımını artırmak için bir miktar molibden katılır.

Mukavemet, yoğun katı eriyik mukavemetleşmesi ile elde edilir ve östenitik paslanmaz çeliklerin soğuk deformasyon sonucu pekleşmesi ferritik paslanmaz çeliklerden daha fazla olabilir. Östenitik çelikler geçiş sıcaklıklarına sahip olmadıkları için, düşük sıcaklıktaki darbe özellikleri mükemmeldir. Bu çelikler ferromanyetik değildirler. Yüksek nikel ve krom miktarı bu çeliklerin maliyetinin artmasına neden olur. %0,03'ten daha fazla karbon içeren östenitik paslanmaz çelikler, taneler arası korozyona karşı hassas olabilirler. Çelik yaklaşık 870 ile 420 °C'ler arasında yavaş yavaş soğutulduğunda tane sınırlarında krom karbür çökelir. Daha sonra bu tane sınırları bölgesinde korozyon oluşur. Su verme, tavlama, ısıtma işlemi, korozyonu önlemek için kullanılabilir. Korozyona hassas çelik 870 °C'nin üzerinde ısıtıldığında krom karbürler çözündükten sonra hızla soğutulur karbürlerin yeniden oluşması önlenir. Bu problemin bir başka çözümü ise çeliğe titanyum veya niobyum katmaktır. Karbon krom yerine titanyum ve niobyumu tercih ederek TiC ve NbC oluşturmaya çalışılır. Bu işlem dengeleme olarak adlandırılır [13].

2.2. FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Östenitik paslanmaz çeliklere göre paslanmazlık özelliği daha düşük olan bir çelik türüdür ve bu nedenle paslanmazlık özelliğinin çok ciddi boyutlarda istenmediği otomotiv sanayi gibi alanlarda daha çok kullanım alanı bulurlar. Östenitik paslanmaz çeliklere göre daha gevrek mukavemet özellikleri gösteren bu tip çelikler paslanmaz çeliklerde bir dezavantaj teşkil eden manyetik özellikler gösterirler ve içeriğinde %11,5 ile %16,5 arasında krom içeren türleri bulunmasının yanı sıra %0,5'den daha az miktarda nikel içerirler. Bu tür paslanmaz çelikler %16~30 Cr ve %0,25~0,5 C içerirler. Bu tip çeliklerin en önemli özellikleri katı halde bir faz dönüşmesi oluşmadığından su verme yolu ile sertleştirilmeleri ve yüksek sıcaklıkta korozyon ve oksidasyon dirençlerinin yüksek olmasıdır. Bu tür çeliklerin ancak soğuk şekil değiştirme ile sertleştirilmeleri olanaklıdır. Bundan ötürü az miktarda olsa soğuk şekil değiştirmenin neden olduğu sertlik, çeliğin biçimlendirilmesini zorlaştırdığından kullanma oranları azdır. Bu çelikler soğuk şekil değiştirme sertleşmesini ortadan kaldırmak için 750~800 °C sıcaklıkla yumuşatma tavrına tabi tutulur [14].

2.3. MARTENSİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Bu tip paslanmaz çelikler mukavemet açısından diğerlerine göre çok daha iyi özellikler göstermesine rağmen paslanmazlık özelliği en düşük olanıdır ve paslanmazlığın yanı sıra yüksek mukavemet ve sertleşebilirlik özelliklerinin bir arada bulunmasının istendiği yerlerde uygulama alanı bulurlar. Östenitik paslanmaz çelik ve ferritik paslanmaz çelik türlerinin %0,02 ila 0,04 arasında değişen karbon miktarına karşın martenzitik paslanmaz çelikler %0,3 civarlarında karbon içerebilirler ve içeriğindeki yüksek karbon miktarı sayesinde su verilerek sertleştirilebilirler. AISI 420 kalitesi bu tip paslanmaz çelik grubuna dahildir ve %0,2 civarında karbon %13 civarında krom içerirler.

Bu gruba giren paslanmaz çelikler genel olarak %16'dan az Cr içerirler, birleşimlerdeki C miktarı %0,5~%1,2 arasında değişir. Yüksek miktarda C içerenlerde Cr miktarı %18'e kadar çıkabilir. Soğuma hızları yavaş olduğundan martenzit oluşumu çok yavaş meydana gelir (sakin havada). Martenzitik halde korozyon dirençleri çok iyidir. 815 °C'ye kadar paslanmazlık özelliklerini yitirmezler. Uzun süre sıcaklığı maruz kalırlarsa hafif korozyon başlangıcı olur. Bundan ötürü endüstride 700 °C üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmazlar. Bu çeliklere 650 °C'de gerilim giderme, 825 °C'de yumuşatma tavı uygulanır. Düşük karbonlu martenzitik paslanmaz çelikler, bir takım önlemler alınarak kaynak edilirler. Yüksek karbonluların ise kaynak edilmelerinden kaçınılmalıdır. Düşük karbonlu martenzit paslanmaz çeliklerde martenzit nispeten daha az ve serttir, dolayısıyla çatlamaya karşı eğilimi daha azdır.

Korozyon dayanımını ve tokluğunu artırmak için alaşıma molibden ve nikel eklenir. Nikel içeren martenzitik çeliklerde karbonun görevini nikel üstlenir. Bu şekilde karbonun bazı olumsuz etkileri (karbür çökeltileri, aşırı sertlik gibi) ortadan kaldırılabilir. Nikel aynı zamanda yüksek miktarda kromun etkisini dengeleyerek içyapıyı serbest ferritlerden korur. Ayrıca sertleşme kabiliyeti ve su verme derinliği arttığından, iri parçalara daha ıslah işlemleri uygulanabilir. Molibden ve nikel ilavesi, su verme sonrasında martenzite dönüşmemiş artık östenitlerin oluşmasını önlemek için sınırlı tutmak zorundadır. Bu nedenle korozyon dayanımı orta düzeyde kalmaktadır. Martenzitik çelikler mıknatıslanma özelliğine sahip olup daha çok; ısıtma işlemi mukavemet gerektiren daha ziyade korozyona maruz yerlerde özellikle (pompa mili ve valf imalatında) kullanılır. En çok kullanılan tipleri, AISI 410 ve AISI 420'dir [15].

2.4. ÇİFT FAZLI (DUBLEKS) PASLANMAZ ÇELİKLER

Çift fazlı paslanmaz çelikler son günlerdeki en hızlı gelişen paslanmaz çelik grubudur ve yaklaşık olarak eşit oranda ferrit ve östenit içeren bir mikro yapıya sahiptir. Çift fazlı paslanmaz çelikler, daha yüksek akma dayanımına sahip olmaları ve gerilmeli korozyon çatlamasına karşı daha fazla direnç sağlamaları nedeniyle, konvansiyonel tipteki östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerinkine göre daha üstün avantajlar sunarlar.

Çift fazlı mikro yapı, %21-25 Cr ve % 5-7 Ni içeren çeliğin 1000-1050°C sıcaklıkta tavllanması ve ardından hızlı bir şekilde soğutulması ile elde edilir. Bu bileşimlere ait kaynak metalinin genellikle ferritik yapıda olarak katılacak ve sadece belirli bir miktarda östenit dönüşümü oluşacaktır. Birçok kaynak dolgusuna tavlama işlemi uygulanması mümkün olmadığından, dolgu metalinin Ni oranı % 8-10'a yükseltilerek kimyasal analiz modifiye edilir ve bu sayede kaynak metalinin kaynak edildiği haldeki mikro yapısında daha fazla östenit bulundurması sağlanır.

Çift fazlı bir içyapıya sahip, ferrit taneleri içinde östenit veya östenit taneleri içinde ferrit içeren bu tür paslanmaz çeliklerin östenitik paslanmaz çeliklere nazaran en önemli üstünlükleri akma mukavemetlerinin iki kat daha büyük olmaları ve çok daha iyi korozyon dirençleri göstermeleridir. Endüstriyel uygulamalarda klor içeren sıvıların kullanılması, kullanılacak malzemelerin bilinen paslanmaz çeliklere göre (AISI 316L) arttırılmış mukavemet ve geliştirilmiş korozyon dirençlerine sahip olmalarını gerektirir. Bu tür çelikler, tane büyüklüğü 3-10µm' ye kadar küçültülebildiğinde, 950°C civarında %500 gibi bir çekme uzaması göstererek süper plastik hale gelirler. Dupleks paslanmaz çelikler basit anlamda iki ayrı fazı (ferrit ve östenit) bünyelerinde bulundurur. Dolayısı ile ferritik-östenitik veya östenitik-ferritik paslanmaz çelikler olarak tanımlanırlar. Daha öncede belirtildiği gibi ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin en iyi ortak özelliklerini taşırlar. Ferritik yapıyla mukavemet ve gerilmenin korozyon çatlamasına direnç, östenitik yapı ile tokluk ve genel korozyon direnci sağlanır. Böylece iki fazlı, ince taneli, yüksek mukavemetli ve iyi korozyon dirençli bir çelik ortaya çıkmaktadır [16].

2.5. ÇÖKELME YOLUYLA SERTLEŞTİRİLEBİLEN PASLANMAZ ÇELİKLER

Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler, martenzitik, yarı-östenitik ve östenitik olma üzere üç gruba ayrılır. Martenzitik paslanmaz çelikler, yaklaşık 1038°C olan östenitleştirme sıcaklığından itibaren hızla soğutularak ve daha sonra 482-621°C sıcaklıklar arasında bir yaşlandırma ısı işlemi uygulanarak sertleştirilebilir. Bu tür çelikler %0,07'nin altında karbon içerdiği için, oluşan martenzit çok sert değildir ve asıl sertlik yaşlandırma (çökelme) reaksiyonu ile elde edilir. Bu grubu örnek alarak 17-4 PH, 15-5 PH ve PH 13-8Mo tipi çelikler gösterilebilir.

Yarı-östenitik paslanmaz çelikler östenitleştirme sıcaklığından oda sıcaklığına soğutulduklarında martenzit oluşturmazlar. Bunun temel nedeni martenzit dönüşüm sıcaklığının oda sıcaklığının altında olmasıdır. Karbonun ve/veya diğer alaşım elementlerinin karbürler ya da metaller arası bileşikler şeklinde çökebilmesini sağlayabilmek için bu tür çeliklere 732-954°C sıcaklıklar arasında kondisyonlama ısı işlemi uygulanmalıdır. Bu sayede alaşım elementleri çözeltiden ayrılarak östeniti destabilize edecek ve martenzit dönüşüm sıcaklığının yükselmesine neden olacaktır. Böylece çeliğin oda sıcaklığına doğru soğutulması işlemi sırasında martenzitik bir yapının oluşması mümkün olur. 454-593°C arasında gerçekleştirilen bir yaşlandırma ısı işlemi sonucunda gerilmeler ortadan kalkacak ve martenzit temperlenerek tokluk, süneklik, sertlik ve korozyon dayanımı artacaktır. 17-7 PH, PH 15-7 Mo ve AM350 bu grupta yer alan paslanmaz çeliklerin en tipik örnekleridir.

Çökelme yoluyla sertleşebilen östenitik tip paslanmaz çelikler çözeltiye alma sıcaklığından itibaren hızla soğutulduktan ve hatta yüksek oranda soğuk deformasyona uğradıktan sonra bile östenitik yapılarını korurlar. Bu çelikler sadece yaşlandırma ısı işleminden sonra sertleştirilebilirler. Bu işlem, 980-1121°C sıcaklıklar arasındaki çözeltiye alma ısı işleminden sonra 704-732°C'a doğru yağda veya suda hızlı soğutmayı ve daha sonra yine bu sıcaklık aralığında 24 saat süren bir yaşlandırma işlemini içerir. Bu tür çeliklere örnek olarak A286 ve 17-10P gösterilebilir.

Çökelme yoluyla sertleşebilen martenzitik ve yarı-östenitik türdeki paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek dayanım şartı aranıyorsa, kaynak işleminde ana malzemeninkine benzer yapıda dolgu metalleri kullanılmalı ve parçalara kaynaktan önce ısı işlem ya da

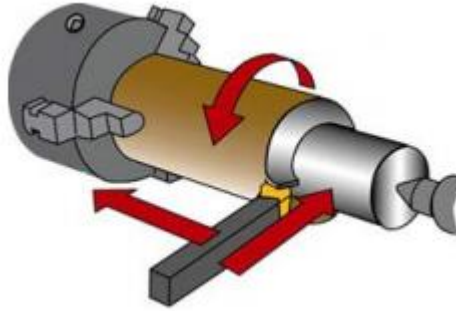
me yoluyla sertleşebilen östenitik tipteki paslanmaz çelikler, sıcak çatlamasıyla zor kaynak edilen paslanmaz çelikler grubuna girerler. Kaynakta en çözme tavı uygulanmış olan parçalar üzerinde yapılmalı ve uygulamalar altında ve mümkün olan en düşük ısı girdisi NiCrFe tipinde östenitik tipteki paslanmaz çelik dolgu malzemeleri bu bağlamda sık olarak kullanılmaktadır [12].

3. TALAŞ KALDIRMA ESASLARI

3.1. TORNALAMA METODU

Talaşlı imalat, imalat endüstrisinde en yoğun kullanılan yöntemlerden biridir. En çok tercih edilen talaşlı imalat yöntemleri ise tornalama, frezeleme, delme, vargelleme, planyalama ve taşlama işlemleridir. Tornalama, çok değişkenli koşulları bünyesinde barındıran en eski talaşlı imalat yöntemlerinden biridir [17]. Tornalama, işlenecek parçanın dönmesiyle kesme hareketinin sağlandığı ve yardımcı hareketlerin takım tarafından yapıldığı bir talaşlı şekil verme yöntemidir.

Tornalama, geometrik ve kinematik hareketlerin kolay tanımlanabilmesinden dolayı, metal kesme işlemlerindeki en basit yöntemlerden biridir. Bu basit işleme sürecinden dolayı, özellikle CNC tezgâhlardaki seri üretimlerde kolaylık sağlamaktadır. Ve yine bu basit işleme süreci üretim maliyetleri açısından da ekonomiklik sağlamaktadır [18]. Şekil 3.1’de temel tornalama işlemlerinden biri olan boyuna tornalama gösterilmektedir.



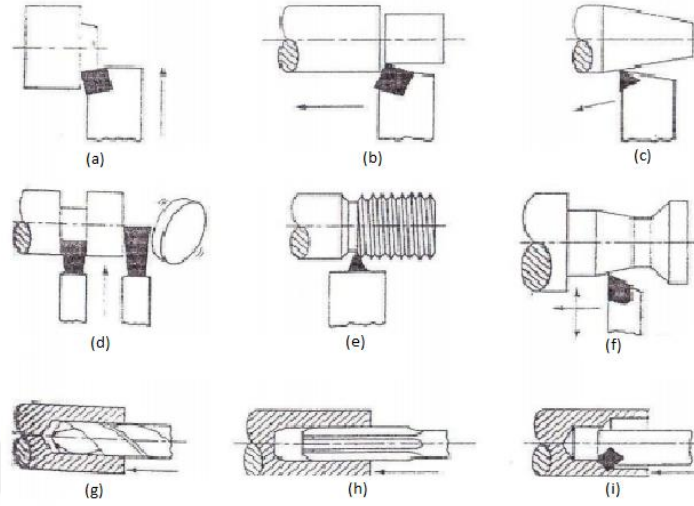
Şekil 3.1. Boyuna tornalama işlemi.

Tornalama, genellikle bir torna tezgâhında, dönen bir iş parçası üzerinden kesici takımın hareketi ile iç veya dış yüzeyden talaş kaldırma işlemidir. Tornalama, saat parçasından 25 metre uzunluktaki gemi şaftına kadar değişen boyuttaki parçalara uygulanmaktadır [19].

3.1.1. Temel Tornalama İşlemleri

Tornalama yöntemiyle yapılan işlemler arasında iç ve dış silindirik yüzeylerin

tornalanması, konik yüzeylerin oluşturulması ve/veya tornalanması, alın yüzeylerin işlenmesi, profilli yüzeylerin oluşturulması, vida açma, kanal açma ve parça kesme işlemleri sayılabilir. Torna tezgahında yapılabilen işlemler Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Torna tezgahında yapılabilen temel operasyonlar.

(a) Alın tornalama, (b) Silindirik tornalama, (c) Konik tornalama, (d) Kanal açma, (e) Vida açma, (f) Profil tornalama, (g) Delik delme, (h) Rayba çekme, (i) Delik büyütme.

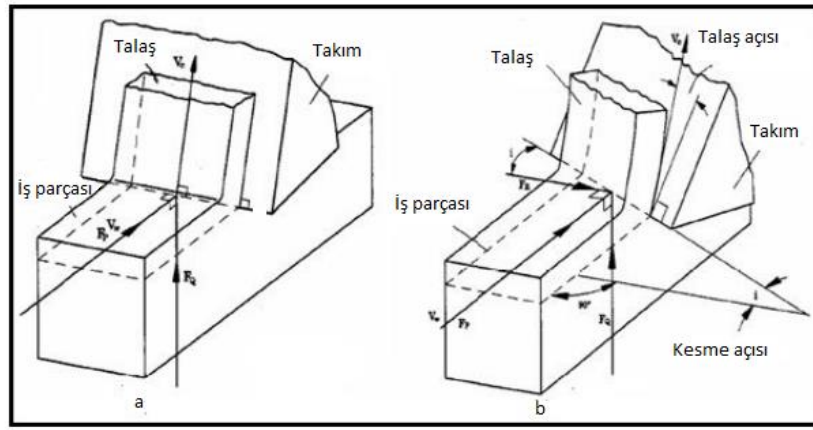
Boyuna tornalama kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak bir ilerleme değeri ile ilerleyerek talaş kaldırma işlemi olarak tanımlanırken konik tornalama, boyuna tornalamadan farklı olarak kesici takım iş parçası eksenine belirli açıda ilerleme hareketi yaparak talaş kaldırma olarak tanımlanmaktadır. Alın tornalama işleminde kesici takım, dönen iş parçası eksenine dik olarak ilerleme hareketi ile kesme işlemini gerçekleştirir. Kanal açma işleminde de parça eksenine dik hareket edilir fakat parça 14 eksen boyunca farklı yerlerden işlem uygulanabilir. Vida açma işleminde ise istenilen profile göre hazırlanmış kesici takım ile belirli derinlikte ve adıma uygun ilerleme miktarı ile parça üzerinden talaş kaldırılır [20].

Tornalama işleminde optimum kesme parametrelerinin saptanmasında;

- İşlem tipi (Kaba talaş, son talaş v.b)
- Tezgah parametreleri (güç, devir sayıları, ilerleme hızları, ayna ve tezgah rijitliği v.b)
- İşlem parametreleri (Kesici takım malzemesi, kesici takım geometrisi)
- İş parçası karakteristiği (Malzeme özellikleri, geometri, tolerans ve yüzey kalite ihtiyaçları) önemli olmaktadır [21].

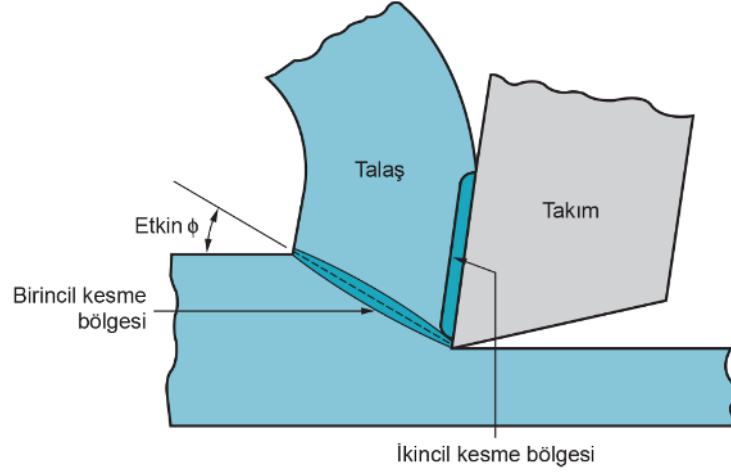
3.1.2. Talaşlı İmalat Mekanîği ve Talaş Oluşumu

Talaş kaldırma işlemi gerçekte üç boyutlu (eğik) ve karmaşık bir işlem olduğu için literatürde talaşlı imalat mekaniğinin tanımlanması için iki boyutlu dik kesme (orthogonal) modeli tercih edilir (Şekil 3.3). Bu yaklaşım basit olmasının yanında talaşlı imalat mekaniğini doğru tanımlamada yeterlidir. İki boyutlu dik kesme modeli talaşlı imalat işleminin analizinde önemli bir rol oynar. Bu modele göre, iş parçasının kesici takımını zorlamasıyla kayma düzleminde iş parçasının kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir [22].



Şekil 3.3. Dik ve eğik kesme metotları a) Dik kesme, b) Eğik kesme [23].

İki boyutlu dik kesme modelinin aksine gerçekte talaş oluşumu dar bir bölgede gerçekleşir (Şekil 3.4). Gerçek talaş oluşumu, iş parçasının kesici takımla teması esnasındaki deformasyonu ile gerçekleşir. İş parçası ile kesici takım arasındaki nispi hareket sonucu iş parçası bünyesinde meydana gelen gerilme iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğratarak talaşın ortaya çıkmasını sağlar. Meydana gelen talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerek kesme bölgesinin dışına atılır. Birinci deformasyon düzleminde meydana gelen talaş kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken kayma veya yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır [22].



Şekil 3.4. Gerçek talaş oluşumu.

3.2. TALAŞLI İMALATTA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaş kaldırma işlemlerinde boyutsal doğruluğun yanında işlenmiş yüzeyin kalitesi de önemli bir yer teşkil etmektedir. İşlenmiş yüzeyin kalitesinin ölçülme kriteri olan yüzey pürüzlülüğü, kullanılan imalat yöntemleri veya başka etkenlerle ortaya çıkan mutlak tarzda ve genellikle başka düzensizliklerle sınırlanan oldukça küçük aralıklı yüzey düzensizlikleridir. En uygun takım geometrisi ve kesme hızı ile sağlanabilen en iyi yüzey pürüzlülüğü ideal yüzey pürüzlülüğünü verir. Kesici takımda BUE oluşumu, titreşim ve takımın hatalı bağlanması gibi etkenler azaltılırsa ideal yüzey pürüzlülüğü sağlanabilir [24]. Yüzey pürüzlülüğünün önem arz ettiği durumlarda pürüzlülük ölçümünün yapılması gerekir. Bunun için hem ülkemizde hem de uluslararası alanda standartlar belirlenmiş ve yüzey pürüzlülüğü ölçümü standartlara bağlanmıştır.

3.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar

Yüzey pürüzlülüğü birçok alanda önemli olup bazılarında aşağıda değinilmiştir;

- Sürtünmeli yataklar,
- Korozyonlu ortamda çalışan parçalar,
- Yuvarlamalı yataklar,
- Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
- Sızdırmazlık yüzeyleri,
- Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
- Masterlar [25].

3.2.2. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

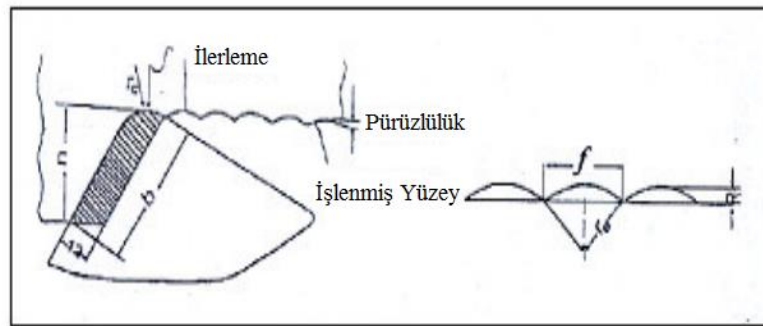
Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler;

- Kesici takımdaki titreşimler,
- Kesici takım geometrisi,
- İşlenen iş parçasında meydana gelen titreşim ve balans,
- İlerleme miktarı,
- Kesme hızı,
- Talaş derinliği,
- Kesici ucun üzerine talaş yapışması (BUE),
- İşlenen malzemenin süreksiz talaş vermesi,
- Bir önceki yüzey kalitesi şeklinde sıralanabilir [26].

3.2.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu

İdeal yüzey pürüzlülük oluşumunun şematik görünümü Şekil 3.5'te görülmektedir. Gerçekte tarif edilen bu pürüzlülük değerlerine ulaşmak pek mümkün değildir. Gerçek pürüzlülükte en etkili pürüzlülük tipi doğal yüzey pürüzlülüğüdür. Doğal yüzey pürüzlülüğüne sebep olan en önemli faktörlerden biri yığıntı talaş oluşumudur. İdeal yüzey pürüzlülüğü, geometrik hesaplamalarla elde edilen ve aşağıda verilen eşitlikle elde edilir [27].

$$Ra=0,064xf^2/8r \quad (1)$$



Şekil 3.5. İlerleme ve takım uç yarı çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

3.2.4. Yüzey Pürüzlülüğünü Ölçme Yöntemleri

Çeşitli talaş kaldırma işlemleri sonrası oluşan yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için farklı yöntemler bulunmaktadır. Talaşlı imalat sonucu elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde izleyici uca sahip cihazlar kullanılır.

İzleyici uçlu cihazlar: Sivri bir izleyici ucun işlenmiş yüzey üzerinde değerlendirme için yeterli uzunluk boyunca hareket ettirilmesi ve bu hareket esnasında oluşan titreşimlerin büyütülerek hareketli bir şerit üzerine aktarılması veya dijital cihazlar yardımıyla okunması prensibine dayanır. İzleyici ucun kalınlık miktarı ölçüm esnasında doğruluk açısından önem arz etmesinden dolayı iğne genelde 90° uç açılı ve 4-12 µm yarıçapa sahip iğneler kullanılmaktadır. Kullanım kolaylığından dolayı en yoğun tercih edilen yüzey pürüzlülük ölçüm tekniğidir.

Optik metot: İşlenmiş yüzey üzerine yansıtılan geliş açısı ile yansıma açısı aynı olacaktır. Pürüzlü yüzeylerde ışının dağılımı optik sensörlerle ölçülerek yüzey pürüzlülük miktarının belirlendiği metottur.

Temas metodu: İşlenmiş yüzey üzerinde dolaştırılan bir probun sürtünme kat sayısı bilinen bir yüzeye göre elde edilen neticelerinin karşılaştırılması esasına dayanır.

Mekanik metot: En düşük 500 g ağırlığındaki çelik bilyeyi kullanarak; yüzeyin içine doğru 1 mikronluk yer değiştirmesi ile yapılan ölçüm tekniğidir.

Hidrolik metot: Belirli eğim ve uzunluktaki bir düzlemde ve belli hacimde yağ damlasının akış süresi ile pürüzlülük değeri arasında kurulan ilişki ile pürüzlülük değerinin belirlenmesi esasına dayanan yöntemdir.

Yüzey dinamometresi metodu: İşlenmiş yüzeyler arasındaki sürtünme kat sayısı, yüzeylerin pürüzlülük değerlerine bağlıdır. İki parça birbiri üzerinde kaydırılarak ve uygulanan kuvvet dinamometre ile ölçülerek pürüzlülük değerinin ölçülebildiği yöntemdir.

X ışını metodu: Mikroskop altında, yüzey pürüzlülüklerinde küçük açılarla gönderilen X ışınları ile 0,00254-0,0508 µm arasındaki pürüzlülük değerlerinin ölçülebildiği yöntemdir.

Elektron mikroskobu metodu: Elektron mikroskobu en küçük düzensizlikleri ölçme gücüne sahip olmasına rağmen ölçme boyutunun küçük tutulması zorunluluğu ve görüntünün kopyalanması gibi sorunlar bu metodu sınırlamaktadır.

Replika metodu: Parça üzerindeki konumu nedeniyle ölçüm yapılacak yüzeye erişilemediği durumlarda yüzeye selüloz-asetat filmi, asetonla yumuşatılarak sertleşene

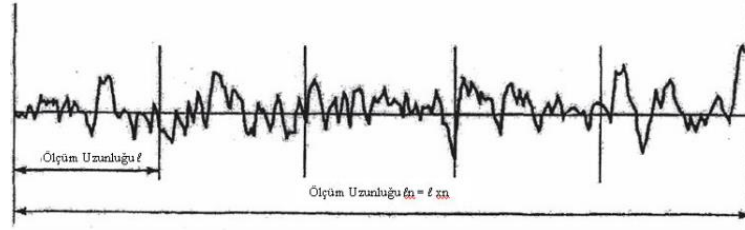
kadar temizlenmiş yüzeye bastırılırsa elde edilen maske yüzey karakteri hakkında %80 oranında bilgi verir.

Elektro fiber optik metot: Yüzey pürüzlülüğü ölçülecek malzeme X, Y yönünde hareket edebilen tablaya bağlanarak yatay konuma getirilir. Fiber optik algılayıcı ile parça yüzeyine dik olarak ışın gönderilir. Parça yüzeyinin pürüzlülüğüne göre dağılan ışınlar, foto algılayıcılarla yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunur [28].

3.2.5. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

3.2.5.1. Örnekleme Uzunluğu ve Örnekleme Sayısı

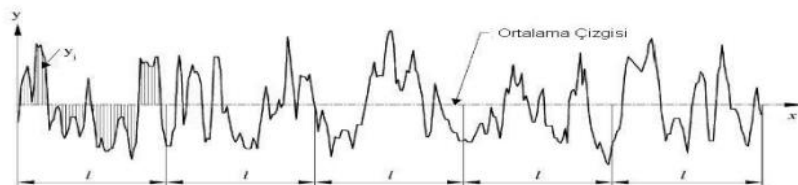
l ile ifade edilen örnekleme uzunluğu kesicinin ilerlemesini temsil edecek oranda seçilmelidir (Şekil 3.6). Profil üzerinde değerlendirilen bütün örnekleme uzunluklarının bir araya gelmesi ile ln ile ifade edilen ölçüm uzunluğu oluşur. ln uzunluğu $n \geq 5$ olmak üzere, örnekleme uzunluğu (l) ile n çarpılarak elde edilir ($ln = l \times n$) [29].



Şekil 3.6. Örnekleme uzunluğunu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu.

3.2.5.2. Ortalama Çizgisi

Ortalama çizgisi, ölçme uzunluğu içinde profilin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçen doğru olarak tanımlanmaktadır [25]. Şekil 3.7’de tipik yüzey pürüzlülüğü üzerinde ortalama çizgisi gösterilmiştir.



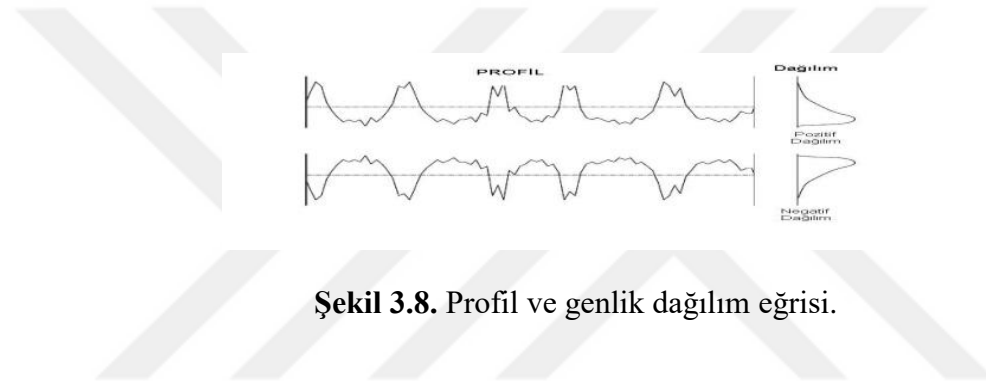
Şekil 3.7. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi.

3.2.5.3. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü

Ortalama çizgisinin altında ve üstünde oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalama değeri olarak tanımlanır. Literatürde büyük kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlaması ve ölçmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bir bilgi vermez.

3.2.5.4. Genlik Dağılım Eğrisi

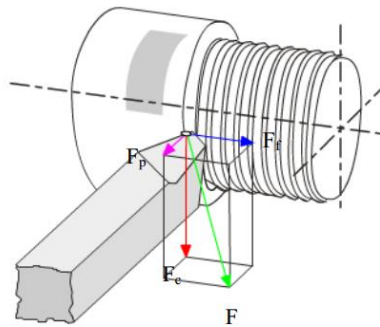
Şekil 3.8’de gösterildiği gibi profil genlik yoğunluğun ortalama çizgiye göre simetrisini belirten dağılım eğrisidir. Aynı R_a ve R_q değerine sahip profilleri ayırt etmeye yarayan bir değişkendir [29].



Şekil 3.8. Profil ve genlik dağılım eğrisi.

3.3. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ

Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri, imal edilen işin boyutsal tamlığını, yüzey kalitesini, takım ömrü ve kesme bölgesinde meydana gelen ısıyı doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. Bunun yanında, tezgah, yardımcı aparat ve kesici takım tasarımı esnasında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husustur [30]. Şekil 3.9’da tornada talaş kaldırma esnasında meydana gelen kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Tornalama işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetleri [31].

Şekil 3.9’da gösterilen kesme kuvvetlerinde üç temel bileşen bulunmaktadır;

1. *Esas Kesme Kuvveti (F_c)*: Kayma düzlemi boyunca etki eden kuvvet olup en büyük kuvveti temsil eder ve talaş kaldırma işleminde harcanan gücün yaklaşık %99’una karşılık gelmektedir.
2. *İlerleme Kuvvet (F_f)*: Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkileyen kesme kuvvetidir. Genellikle kesme kuvvetinin yarısı kadar olmasına rağmen kesme kuvvetiyle karşılaştırıldığında çok küçük olduğu için talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin çok küçük bir kısmına karşılık gelmektedir.
3. *Radyal Kuvvet (F_p)*: İşlenen yüzeye dik olarak etkileyen kuvvet olup ilerleme kuvvetinin yarısı kadardır. Ayrıca, dik kesme işlemi için çok küçük kabul edildiğinden standart tornalama işlemlerinde ihmal edilebilmektedir.

3.4. KESİCİ TAKIM KAPLAMALARI

Günümüzde kesici takım imalatında meydana gelen teknolojik gelişmelerle birlikte talaş kaldırma operasyonlarının yaklaşık %80’i kaplamalı kesici takımlarla yapılmaktadır [32]. Kesici takımların kaplanması işleminde ağırlıklı olarak Titanyum Karbür (Titanium Carbide, TiC), Titanyum Nitrür (Titanium Nitride, TiN), Titanyum Karbon Nitrür (Titanium Carbon Nitride, TiCN) ve Alüminyum Oksit gibi farklı kaplama malzemelerinin Kimyasal Buhar Çökertme (Chemical Vapor Deposition, CVD) ve Fiziksel Buhar Çökertme (Physical Vapor Deposition, PVD) yöntemleri kullanılarak kaplanmasıdır ve günümüz teknolojisinde kaplama yöntemi kesici takım ömrünü uzatmak için en uygun yöntem olarak kabul görmektedir [33,34]. Ayrıca, kaplama işlemi kesici takıma yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, yüksek korozyon direnci, kimyasal kararlılık ve erozyon aşınmalarına karşı direnç gibi ekstra özellikler katmaktadır.

4. DENEY TASARIMI VE TAGUCHI METODU

4.1. TAGUCHI METODU

Rekabete dayalı bir ürün satışı anlayışı üreticileri varlıklarını devam ettirebilme, pazar paylarını arttırma ve müşteri memnuniyeti için kaliteli ürünler üretmek zorundadırlar. Bu sebeple üreticilerin çalışmalarını en çok yönelttikleri konu kaliteyi nasıl arttırabilecekleri olmuştur. Bu hedef doğrultusunda üreticiler, kaliteyi geliştirmek için çeşitli yöntemler geliştirmişleridir. Ancak, bu yöntemlerdeki parametre çokluğu yüksek deney sayılarını doğurmuştur. Yüksek deney sayısı da yüksek maliyet ve uzun deney süresi demektir. Fakat ikinci dünya savaşının son dönemlerinde Japon bilim adamı Genichi Taguchi bu uzun deney süresi ve yüksek maliyeti azaltabilmek için ortogonal dizinleri gerçekleştirmiştir [35].

Ortogonal dizinler, faktör seviyelerini teker teker değiştirmektense aynı anda değiştirmeyi sunmaktadır. Bu da Taguchi deney yaklaşımının imalat sektörü için kabul edilmesini kolaylaştırmaktadır. Taguchi, deneysel tasarım yöntemi açısından bir yenilik getirmemiştir fakat sanayi uygulamalarına yönelik yaptığı çalışmalarla imalat sektörü tarafından kabul edilebilirliğini kolaylaştırmıştır [36].

Taguchi metodunun ana amacı, kontrol edilebilen değişkenler belirli seviyelerde zaman ve maliyet açısından etkin kontrol edilemeyen faktörlerin tüm kombinasyonlarına karşı duyarsız ürünler/prosesler tasarlamaktır. Taguchi deney tasarımının ana amacı ise, ürünlere ait istenen kaliteleri elde ederken bu kaliteyi elde etme sürecini çok daha az deney sayısı ve maliyetle tamamlamaktır [37].

Taguchi'nin kalite kavramına kattığı en önemli katkı, kalite sistemini üretim öncesi ve üretim esnası olmak üzere iki bölüme ayırarak üretilen bir ürünün kalitesini ve müşteri memnuniyetini üretime başlamadan önce tasarım ile yakından ilgili olduğunu gösteriyor olmasıdır [38].

4.1.1. Taguchi Felsefesinin Tarihsel Gelişimi

Taguchi deney tasarımının temeli ilk olarak 1920'li yıllarda İngiliz istatistikçi Sir Ronal

Fisher'in tarım alanındaki araştırmaları sonucunda ortaya çıkmıştır. İkinci dünya savaşı sonrasında yeni bir teknolojik sıçrama gerçekleştirmek isteyen Japonya bunun en önemli ayağı olarak bir telefon sisteminin geliştirilmesini hedef edinen bir projeyi görmekteydi. Bu projenin ana hedefi, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Bell laboratuvarlarında kullanılan telefon sistemi Japonya'da da kurmaktı. Ancak Japonya'daki imkanların kısıtlı olmasından dolayı projenin tamamlanma süresi olarak 20 yıllık bir süre öngörülmekteydi. Genichi Taguchi, proje süresini kısaltmak amacıyla, tüm araştırma personeli için metotların standardize edilmesini ve faktöriyel tasarımların kullanılmasını önerdi. Kabul edilen önerisi sayesinde proje 4 yılda bitirilmiş ve Taguchi çok ünlü olmuştur [35]. Taguchi yönteminin ölkemizdeki kullanımı ilk olarak 1990'lı yılların başına rastlamaktadır ve kullanımının başlaması ile birlikte endüstri uygulamaları açısından geniş kullanım alanına ulaşmıştır.

Kalite mühendisliği tasarımın kalitesinin üç ana etmene dayandığını iddia etmektedir;

- Dikey dizilim (Orthogonal Arrays)
- Sinyal-Gürültü oranı (S/N ratio)
- Kayıp fonksiyonu (Loss Function)

Taguchi yönteminin ana felsefesi üç ana başlık altında toplanmaktadır.

- a) Kalite ürüne göre tasarlanmalıdır.
- b) Kalite, hedeften sapmanın en az olduğu durumlarda ortaya çıkabilir, ürün ise kontrol edilemeyen çevresel faktöre karşı telafi edilebilecek şekilde tasarlanmalıdır.
- c) Kalite maliyeti, standarttan sapmanın bir fonksiyonu olarak ölçölmeli ve kayıplar sistem genelinde değerlendirilerek hesaplanmalıdır.

Taguchi metodu, deney tasarımı aracılığıyla elde edilmek istenilen ürün kalitesine ulaşmak için üç aşamalı bir süreci ön plana çıkarmaktadır [38].

Sistem tasarımı: Tasarım faktörlerinin uygun çalışma seviyelerinin belirlenmesi hedefine odaklanmaktadır. Güncel teknoloji ile donatılmış nominal ürün/süreç parametrelerini bir sistemin seçtiği malzeme ve parçalara göre tasarlanması ve test edilmesi gibi prensipleri içermektedir.

- i. Parametre tasarımı: Parametre tasarımı aşamasında ana hedef, gürültü faktörlerine ait etkilerin en az olduğu optimum şartın seçilmesidir.
- ii. Tolerans tasarımı: Ürün üzerinde önemli etkilere sahip olan faktörlerin

toleranslarını daraltarak parametre tasarımı sonuçlarının iyileştirilmesi için kullanılan aşamadır.

Taguchi yönteminin temel felsefesi, farklı parametrelerin farklı seviyelerinin bulunduğu durumlarda deney sayısını azaltmaktır. Bu farklı parametre ve bunların farklı seviyelerinin her biri için deney tasarlanması gereken durumlarda ortaya çıkan Taguchi yöntemi ortogonal dizi tablosu sayesinde çok daha az deney sayısı ile hedeflenen sonucu almayı sağlar. Çizelde 4.1’de Taguchi ortogonal dizini görülmektedir.

Çizelge 4.1. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu.

SEVİYE SAYISI											
2			3			4			5		
P=2	S=2	L4	P=2	S=3	L9	P=2	S=4	L'16	P=2	S=5	L25
P=3	S=2		P=3	S=3		P=3	S=4		P=3	S=5	
P=4	S=2	L8	P=4	S=3	L18	P=4	S=4		P=4	S=5	
P=5	S=2		P=5	S=3		P=5	S=4	L'32	P=5	S=5	L50
P=6	S=2	L11	P=6	S=3		P=6	S=4		P=6	S=5	
P=7	S=2		P=7	S=3	L27	P=7	S=4		P=7	S=5	
P=8	S=2	L16	P=8	S=3		P=8	S=4		P=8	S=5	
P=9	S=2		P=9	S=3		P=9	S=4		P=9	S=5	
P=10	S=2	L32	P=10	S=3	L36	P=10	S=4		P=10	S=5	
P=11	S=2		P=11	S=3					P=11	S=5	
P=12	S=2	L32	P=12	S=3					P=12	S=5	
P=13	S=2		P=13	S=3							
P=14	S=2	L32	P=14	S=3							
P=15	S=2		P=15	S=3							
P=16	S=2	L32	P=16	S=3							
P=17	S=2		P=17	S=3							
P=18	S=2	L32	P=18	S=3							
P=19	S=2		P=19	S=3							
P=20	S=2	L32	P=20	S=3							
P=21	S=2		P=21	S=3							
P=22	S=2	L32	P=22	S=3							
P=23	S=2		P=23	S=3							
P=24	S=2	L32									
P=25	S=2										
P=26	S=2	L32									
P=27	S=2										
P=28	S=2	L32									
P=29	S=2										
P=30	S=2	L32									
P=31	S=2										

4.1.2. Taguchi Deney Tasarımı Aşamaları

Deney tasarımının gerek kalite tasarımında gerekse de ürünün imalat süreci ve kullanımında ortaya çıkan değişkenliği azaltacak şekilde mükemmelliğe sahip tasarım elde edilmesi için kullanılan önemli bir araç olduğunu savunan Taguchi metodunda deneysel aşamalar şu şekildedir [39];

- a) Değerlendirilecek faktör ve etkileşimlerin belirlenmesi
- b) Her bir faktöre ait seviyelerin belirlenmesi
- c) Deneye uygun ortogonal dizinin belirlenmesi
- d) Seçilen ortogonal dizine faktör ve etkileşimlerin atanması
- e) Deneylerin uygulanması
- f) Deneylere ait sonuçların analiz edilmesi
- g) Doğrulama deneylerinin yapılması

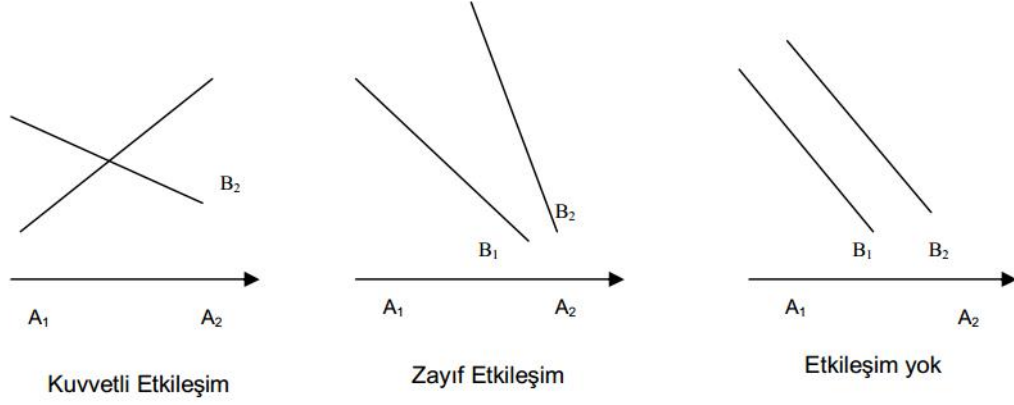
4.1.3. Değerlendirilecek Faktör ve Etkileşimlerin Belirlenmesi

Klasik deney tasarımı olduğu gibi Taguchi yönteminde de problemin çözümüne dair amaç belirlendikten sonra beyin fırtınası, süreç akış şeması ve sebep-sonuç diyagramı gibi yöntemler aracılığıyla değerlendirmeye alınacak faktörler belirlenir. Taguchi yönteminde, faktör seviyeleri belirlenmeden önce faktörler belirlenir ve bu faktörler kontrol edilebilen faktörler ve kontrol edilemeyen faktörler olmak üzere ikiye ayrılır. Kontrol edilebilen faktör sayısına göre deney tasarımı yapılır ve denemeler yapılır [40].

4.1.4. Her Bir Faktöre Ait Seviyelerin Belirlenmesi

Değerlendirilecek faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin her birine ait seviyelerin belirlenmesi gerekir. Faktör seviyeleri iki, üç veya daha çok olabilir. Faktör seviyeleri bir fonksiyondur ve bu fonksiyon serbestlik dereceleriyle ilgilidir. Serbestlik dereceleri, faktör seviyelerinden yola çıkarak hesaplanmaktadır. Serbestlik derecesi, deneyin büyüklüğünü belirlemek açısından önemli olup bir faktöre ait serbestlik derecesi o faktörün seviyesinin bir eksiği olarak hesaplanır. Bunun yanında, faktörlere ait bireysel etkilerle beraber faktörler arası etkileşimler de belirlenir. Bu durumda etkileşim için serbestlik derecesi etkileşen faktörlere ait serbestlik derecelerinin çarpımı şeklinde hesaplanır. Her bir faktöre ait serbestlik derecelerinin toplamı da toplam serbestlik derecesini vermektedir.

İki faktörün etkileşim halinde olması, bir faktörün (A olsun) kalite değişkenine olan etkisi, diğer faktörün (B olsun) hangi değerde bulunduğuyla alakalıdır. Bu durum AXB şeklinde ifade edilir. Etkileşime sahip veya etkileşime sahip olmayan faktörlerin grafiği Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Faktörler ve etkileşimleri.

4.1.5. Deneye Uygun Ortogonal Dizinin Belirlenmesi

Taguchi çok sayıdaki deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmuştur. Bu dizilerin en önemli özelliği ise birçok faktörün en az sayıdaki deneyle test edilmesi ve faktör seviyelerini eş zamanlı olarak değiştirmeye olanak sağlamasıdır. Ortogonal diziler problemin özelliğine göre iki kademeli, üç kademeli, iki ve üç kademeli olarak belirlenebilmektedir. Ortogonal dizine tasarım matrisi adı da verilmektedir. Ortogonal dizilere ait genel gösterim şu şekildedir;

$L_d(a)^k$ ya da L_d

d: Deney sayısı

a: Faktörlere ait düzey seviyesi

k: Faktör sayısı

L: Ortogonal diziyi ifade etmektedir.

Genelde iki seviyeli diziler L_4 , L_8 , L_{16} ve L_{32} üç seviyeli diziler ise L_9 , L_{18} ve L_{27} şeklinde olmaktadır. Dizilerin seçimi seviye sayısı ve toplam serbestlik derecesine göre yapılmaktadır. Ortogonal dizi, ürün ortalaması ve varyansında etkili olan birçok faktörle aynı anda ve daha kısa sürede çalışmayı sağlamaktadır. Örnek L_{18} tasarım matrisi Çizelge 4.2’de verilmiştir [41].

Çizelge 4.2. Tasarım matrisi.

Deney No	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	1	2
5	2	2	2	3
6	2	3	3	1
7	3	1	2	1
8	3	2	3	2
9	3	3	1	3
10	1	1	3	3
11	1	2	1	1
12	1	3	2	2
13	2	1	2	3
14	2	2	3	1
15	2	3	1	2
16	3	1	3	2
17	3	2	1	3
18	3	3	2	1

Ortogonal dizinler sayesinde çok sayıda yapılması gereken deney sayısı büyük oranda azalmaktadır. Çizelge 4.2 incelendiğinde normalde 81 adet yapılması gereken deney sayısı ortogonal dizin sayesinde 18'e düşmüştür.

4.1.6. Seçilen Ortogonal Dizine Faktör ve Etkileşimlerin Atanması

Seçilen ortogonal matrise faktör ve etkileşimlerin atanmasında Taguchi tarafından geliştirilen doğrusal grafikler ve üçgensel tablolar kullanılmaktadır. Doğrusal grafikler faktörlerin atanacağı sütunları gösterirken üçgensel tablolar ise faktörler arasında gerçekleşen tüm etkileşimleri kapsamaktadır.

4.1.7. Deneylerin Uygulanması

Deneye uygun ortogonal dizinler belirlenip elde edilen ortogonal matrise uygun faktör ve etkileşimler atandıktan sonra deneylerin uygulanmasına geçilebilir. Deneylerin yapılması esnasında deneylerin hangi sıra ile uygulanacağı ve tekrarlı yapıp yapılmayacağına karar verilmelidir. Deney sonucunda ölçülen çıktı sürekli bir veri ise (sıcaklık, basınç, hız vb.) deneyleri tekrarlamak güvenilirliğini artıracaktır. Ancak, deneyler sonucunda elde edilecek çıktı var-yok gibi süresiz bir veri ise deneyler mutlaka tekrarlı bir şekilde yapılmalıdır [42].

Deneyler uygulanırken ortogonal dizinin belirlediği sıra ile değil rastgele yapılmalıdır. Çünkü, makinelerin ve ölçüm cihazlarının hatalarını en aza indirmek ve önceden belirlenemeyen hataları ortadan kaldırmanın yolu deneylerin rastgele uygulanmasıdır. Faktörlerle oynamanın kolay olduğu durumlarda deneylerin rastgele yapılması uygulama sürecini kolaylaştıracaktır. Ancak faktörlerle oynamanın zor olduğu durumlarda biraz daha ortogonal dizine bağlı uygulamalar kabul edilebilir.

4.1.8. Deneylere Ait Sonuçların Analiz Edilmesi

Taguchi deney sonuçlarının analiz edilmesinde basitleştirilmiş varyans analizi (ANOVA) olan sütun etkileri yöntemini kullanmaktadır. Sütun etkileri metodu her bir sütun için, 1. düzeyin kullanılması ile ortaya çıkan deney sonuçlarının toplamının 2. düzeyin kullanılması ile ortaya çıkan deney sonuçları toplamından çıkarılması esasına dayanır. Bu şekilde her bir sütun için, sayısal bir değer elde edilecek ve bu değer büyüklüğü ilgili sütunda incelenen faktör ya da etkileşimin etki derecesine karar verecektir [42].

Deney sonuçlarının analiz edilmesinde Taguchi'nin sunduğu bir diğer öneri ise Sinyal/Gürültü oranıdır (Signal/Noise Ratio, S/N Ratio). Sinyal/Gürültü oranı performans kriteri olarak kullanılmak üzere sunulur ve kontrol edilemeyen gürültü faktörlerinin varlığı halinde ortaya çıkan varyasyonun bir ölçüsüdür. Taguchi, parametre tasarımının mühendislik uygulamalarında kullanılması üzerine 60'tan fazla sinyal gürültü oranı tanımlamıştır [43]. Bu sinyal gürültü oranları içerisinde en büyük-en iyi, en küçük-en iyi ve hedef değer-en iyi şeklindeki sinyal gürültü oranları en yaygın kullanılanlarıdır. Bu oranların tanımlanması şu şekilde yapılmıştır;

En küçük-En iyi;

$$\eta = S / N_T = 10 \log \left(\frac{\bar{y}}{s_y^2} \right)$$

En büyük-En iyi;

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

Hedef Değer-En İyi;

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

S/N oranlarının optimal sonuçlar vermeyeceğini savunan bazı istatistikçiler standart sapma analizini önermişlerdir. Bu analize göre, bir deneme için elde edilen standart sapma (S) analiz edilip varyasyonu etkileyen faktör veya etkileşimler de ortaya çıkarılabilir. Ancak varyasyona ilişkin yorumların sağlıklı yapılabilmesi için denemelerin en az 5 tekrarlı yapılması tavsiye edilmektedir [44].

4.1.9. Doğrulama Deneylerinin Yapılması

Uygulanan deneylerin analizinden sonra elde edilen en iyi şartlar altında deney tekrarlanmaktadır. En iyi şartları belirleyerek yapılan deneylere doğrulama deneyi denir. Deney sonucunda bulunan faktör-seviye kombinasyonu en iyi performans karakteristiği değerine ulaştırırsa istenen durum gerçekleşmiş ve deney amacına ulaşmış demektir.

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kara ve arkadaşları, AISI 316L paslanmaz çeliğin ortogonal kesme şartlarında karbür kesici takımlar ile işlenmesi sonucunda oluşan talaş şekillerinin kaplama türüne göre değişimi araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar, elde edilen talaşın daha çok testere talaş formatında olduğunu ortaya koymuştur. Artan ilerleme değerine bağlı olarak talaşın minimum ve maksimum kalınlığı da artmaktadır. Bununla birlikte kaplama türünün talaşın kıvrılma yarıçapını ve talaş morfolojisini önemli oranda etkilediği sonucuna varılmıştır. Minimum kıvrılma yarıçapı Al_2O_3 kaplı kesici takımında elde edilirken, kaplamasız kesici takımında şerit talaş oluşumu gözlemlenmiştir. Bu durum Al_2O_3 kaplı kesici takımın düşük bir termal iletkenlik sahip olmasına atfedilmiştir. Daha düşük termal iletkenlik, talaşa geçen ısı miktarı arttıracağı için talaşın takımla temas eden yüzeyi ile üst yüzeyi arasında ısı farkı artacaktır. Bu da talaşın kıvrılma çapının azalmasına neden olmaktadır [45].

Kayır ve arkadaşları, çalışmalarında AISI 316Ti paslanmaz çelik malzemesinin tornalanmasına yönelik bir Taguchi modeli oluşturmuşlardır. Klasik bir tornalama tezgâhında deneyler yapılmıştır. Deneylerde, farklı uç geometrisine sahip ve TiCN- Al_2O_3 -TiN kaplamalı karbür kesiciler kullanılmıştır. Kesici uç yarıçapı, kesici uç formunun ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Taguchi ve ANOVA analizleri yapılmıştır. Yüzey pürüzlülükleri için S/N ve etki grafikleri oluşturulmuştur. Sonuçlar, yüzey pürüzlülüğüne en etkili faktörlerin ilerleme (%73,97) ve kesici uç yarıçapı (%13,26) olduğunu göstermiştir. Deneylerde, uç yarıçapı küçük olan kesicilerin daha çok aşındığı görülmüştür [46].

Özer ve Bahçeci, TiC+TiN, TiC kaplı sementit karbür, kaplamasız sementit karbür ve CBN kesici takımların AISI 410 martensitik paslanmaz çeliğin işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla yapılan çalışmada talaş kökü morfolojisi, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. İşlenebilirlik deneyleri kuru tornalama ortamında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 60 m/dak kesme hızı, 0,12 mm/dev ilerleme hızı ve 1,2 mm talaş derinliği sabit tutulmuştur. TiC+TiN kaplı sementit karbür takım en yüksek kesme kuvveti değerlerini vermiştir. CBN takım en

düşük kesme kuvvetlerini vermesine karşın, kısa işleme mesafelerinde takımda kırılmalar meydana geldiği tespit edilmiştir. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü bakımından optimum değerler TiC kaplı sementit karbür takım ile talaş kaldırma işleminde elde edilmiştir [47].

Tekaslan ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde farklı kesme parametrelerinin kalıcı gerilmeler üzerindeki etkilerini belirlemeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. AISI 304 çeliğinden 61 mm çapında, 250 mm boyunda 31 adet deney numunesi hazırlanmış ve değişik kesme parametrelerinde CNC torna tezgâhında işlenmiştir. Daha sonra deney numuneleri üzerinde oluşan kalıcı gerilme, katman kaldırma yöntemi kullanılarak tespit edilmiş ve en uygun işleme parametreleri belirlenmiştir. Deney numunelerinin tornalama işlemi sonunda yüzeylerde maksimum -1876,69 MPa ile -136,71 MPa'lık basma kalıcı gerilmelerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Yüzeydeki basma kalıcı gerilmelerinin, katman kaldırılması ile 0,0465 mm derinlikten sonra çekme kalıcı gerilmelerine yöneldiği tespit edilmiştir [48].

Günay yaptığı çalışmada yüzey kalitesi ve ölçü tamlığının, temas halinde çalışan makine parçalarının dayanımını ve performansını önemli miktarda etkilediğini belirtmiştir. Çalışmasında, AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğinin işlenmesinde oluşan Fc ve Ra için kesici takım radyüsü ve kesme parametrelerinin (değişkenler) optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Taguchi'nin L9 dikey dizini kullanılarak işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. İşleme deneyleri sırasında ölçülen Fc ve Ra değerleri üzerinde değişkenlerin etkilerini ve önem seviyelerini belirlemek için varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. S/N oranları kullanılarak tespit edilen değişkenlerin optimum değerleri, Fc ve Ra için farklı seviyelerde bulunmuştur. ANOVA sonuçlarına göre, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli değişken ilerleme miktarı olarak belirlenmiştir [49].

Çiftçi tarafından, iki farklı kalitede östenitik paslanmaz çeliğin (AISI 304 ve AISI 316) işlenmesinde, kesici takım kaplamasının, kesme hızının ve iş parçası malzemesinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla soğutma sıvısı kullanılmadan tornalama metoduyla işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al₂O₃ katmanlarıyla çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Deneyler dört farklı kesme hızında (120, 150, 180 ve 210 m/dak) ilerleme hızı ve talaş derinliği sabit tutularak yapılmıştır. İlerleme hızı 0,16

mm/dev ve talaş derinliği de 1,6 mm olarak alınmıştır. Deney sonuçları, TiC/TiCN/TiN kaplanmış kesici takımın TiCN/TiC/Al₂O₃ kaplanmış kesici takımdan daha düşük kesme kuvvetlerine sebep olduğunu ortaya çıkarmıştır. Kesme hızının kesme kuvvetlerinde önemli derecede bir değişikliğe neden olmadığı ancak işlenmiş yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği görülmüştür. Artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerleri belirli bir kesme hızı değerine kadar azalmış ancak bu değerden sonra artan kesme hızı ile artış eğilimi göstermiştir [50].

Aydın ve arkadaşları östenitik paslanmaz çeliklerin sünek yapısından dolayı talaşlı imalat ile şekillendirilmesi zor olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle de talaş kaldırma esnasında oluşan ısının atılması ve kesici takımın kolayca yüzeyde kayabilmesi için ya soğutma sıvısı kullanmak ya da soğutma sıvısı kullanmadan kesme parametrelerinin ve kesici takımın uygun seçilmesinin bir gereklilik olduğu ifade edilmiştir. Çalışmalarında HC-35 kaplamalı sert metal (HM) kesici takım ile AISI 304 astenitik paslanmaz çeliklerin universal torna tezgâhında silindirik tornalama metoduyla işlenebilirlik deneyleri yapmışlardır. Soğutma sıvısı kullanılmadan kuru olarak farklı kesme parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Talaş kaldırma esnasında kesme kuvveti, talaş kaldırılan bölgenin ve talaşın ayrılma anındaki sıcaklığı ölçülmüştür. Ayrıca talaşın ayrılma anındaki formunun fotoğraf görüntüsü alınmıştır. Takımın kesme kenarındaki aşınma miktarı görüntülenmiştir. Talaş formu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, 70-90 m/dak kesme hızı aralığı, 0,5-0,7 mm talaş derinliği ve 0,08-0,11mm/dev ilerleme hızları uygun kesme şartları olarak görülmüştür [51].

Oyman ve arkadaşları AISI 316L paslanmaz çeliğinin AlTiN, AlCrN ve TiN kaplanmış kesici takımlarla ortogonal tornalamasında kesme parametrelerinin talaş morfolojisi üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Sonuçlara göre, bütün kesme parametreleri ve kaplama türleri için elde edilen talaş formu, testere tipi olarak gerçekleşmiştir. Kesme hızının artması testere talaş formundaki segment sayısının artmasına neden olmuştur. Artan ilerleme hızı talaş kesitini ve deforme olmuş talaş kalınlığı arttırdığı tespit edilmiştir. Artan kesme hızıyla ise kayma bandı genişliğinin azaldığı görülmüştür [52].

Kayır ve Aytürk yaptıkları çalışmada AISI 316Ti paslanmaz çelik malzemeyi, TiAlN kaplamalı, farklı kesici takım uç yarıçapına sahip karbür uçlar kullanılarak tornalamışlardır. Yapılan çalışmada takım uç yarıçapının kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri ve işlenen

yüzeylerin yüzey pürüzlülükleri değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda, ilerleme miktarı artıkça, kesme kuvvetlerinin arttığı, takım uç yarıçapının büyümesi ile de yüzey pürüzlülüğünün düştüğü görülmüştür [53].

Korkut ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin sementit karbür takımlarla tornalanmasında optimum kesme parametrelerini belirlemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Kesme hızının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmıştır. Kesme hızının 180 m/dk'ya kadar artmasıyla takım aşınmasında ve yüzey pürüzlülüğünde azalma gözlenmiştir [54].

Altinkaya ve Güllü, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin TiN/TiCN/TiN kaplı takma uçlu parmak freze ile işlenirken, kullanılan kesici uç üzerindeki talaş kırıcı formun kesici kenar üzerindeki aşınmaya ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Bunun için kesme derinliği sabit tutularak, üç değişik talaş kırıcı formlu takım ve üç farklı kesme hızı (180, 225, 270 m/dak) kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, kullanılan kesici takımlardan ERGC kodlu takımın diğer takımlardan daha iyi aşınma ve yüzey pürüzlülüğü sonuçları verdiği ortaya çıkmıştır [55].

Çiçek ve arkadaşları, AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin delinmesinde kriyojenik işlem uygulanmış M35 HSS matkapların performansını kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, takım ömrü ve talaş oluşumu bakımından incelemişlerdir. AISI 304 ve AISI 316 malzemelerin işlenebilirliği üzerinde işlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış matkapları performans bakımından karşılaştırmak amacıyla kesme hızı ve ilerleme hızının farklı kombinasyonları kullanılarak bir dizi delme deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları her iki malzemede de kriyojenik işlem uygulanmış matkapların kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve takım ömrü bakımından işlemsiz takımlara göre daha iyi performans sergilediğini göstermiştir. Ayrıca deney sonuçları AISI 304'ün işlenebilirliğinin AISI 316'ya göre daha zor olduğunu göstermiştir [56].

Kıvak ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin delinmesinde kesici takımlar üzerine yapılan nano kaplamaların kesme kuvveti, delik çapı ve takım ömrü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre nano TiAlN kaplama TiAlN kaplamaya kesme kuvveti ve delik çapları açısından üstünlük sağlamıştır. Kesme

parametrelerine bağılı olarak değişmekle birlikte nano TiAlN kaplama TiAlN kaplamaya göre takım ömrü açısından %20-40 iyileşme sağlamıştır [57].

Özer ve Bahçeci, TiC+TiN, TiC kaplı sementit karbür, kaplamasız sementit karbür ve CBN kesici takımların AISI 410 martensitik paslanmaz çeliğin işlenebilirlik özelliklerine etkilerini araştırılmışlardır. Bu amaçla, talaş kökü morfolojisi, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlüğü incelenmiştir. İşlenebilirlik deneyleri kuru tornalama ortamında gerçekleştirilmiş olup, deneylerde 60 m/dak kesme hızı, 0,12 mm/dev ilerleme hızı ve 1,2 mm talaş derinliği kullanılmıştır. TiC+TiN kaplı sementit karbür takım en yüksek kesme kuvveti değerlerini vermiştir. CBN takım en düşük kesme kuvvetlerini vermesine karşın, kısa işleme mesafelerinde takımda kırılmalar meydana gelmiştir. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü bakımından optimum değerler TiC kaplı sementit karbür takım ile talaş kaldırma işleminde elde edilmiştir [47].

Yeyen ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada AISI 303 paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmışlardır. Deneyler dört farklı kesme hızlarında (120, 150, 180 ve 210 m/min) ve üç farklı ilerle miktarında (0,20, 0,24 ve 0,30 mm/rev) gerçekleştirilmiş olup, kesme derinliği 2,5 mm olarak seçilmiştir. Bu araştırma kapsamında AISI 303 stenitik paslanmaz çelikler ile AISI 304 stenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre AISI 303'n işlenmesi sırasında AISI 304'e göre %19 daha fazla kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğündeki artış ise %51 olarak ölçülmüş ev deney sonuçlarının literatür ile uyumlu olduğu ifade edilmiştir [58].

5.1. LİTERATÜR ARAşTIRMASININ DEğERLENDİRİLMESİ

Yapılan literatür araştırmaları neticesinde çalışmaların çoğunlukla östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirlik özelliklerini belirlemeye yönelik olduğu, ancak yeni geliştirilen çökelme ile sertleştirilebilen paslanmaz çelikler ile ilgili çalışmaların oldukça kısıtlı olduğu grlmştir. Yine Taguchi metodu gibi farklı optimizasyon yöntemlerinin uygulanması ile zaman ve maliyetin düşürülmesinin yanı sıra ürün kalitesi ve işleme verimliliğinin arttırıldığı tespit edilmiştir. 15-5 PH paslanmaz çeliğin işlenebilirliği ile ilgili literatürdeki bu açığı kapatmak ve endüstride bu malzeme üzerinde işlenebilirlik çalışmaları yapan kuruluşların kullanabileceği teknolojik verilerin elde edilmesi

açısından bu çalışmanın önemli bir yer tutacağına inanılmaktadır. Ayrıca 15-5 PH malzemesinin havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanıldığı düşünüldüğünde ürün kalitesi ve verimliliğin artırılması noktasında Taguchi metodu gibi bir optimizasyon tekniğinin kullanılacak olması yapılan çalışmanın önemini arttırmaktadır.

6. MATERİYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, 15-5 PH martenzitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında işleme parametrelerinin kesme kuvveti (Fc) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerindeki etkileri araştırılarak optimum işleme şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, CNC torna tezgâhında kaplamalı sementit karbür takımlarla kuru kesme şartları altında işleme deneyleri yapılmıştır. Tornalama deneylerinde iki farklı kaplamaya sahip kesici takım, üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve üç farklı kesme derinliği kullanılarak Fc ve Ra değerleri elde edilmiştir. İşleme parametrelerinin optimizasyonunda Taguchi metodu esas alınmıştır. Çökelti sertleştirme ısıtılmasının 15-5 PH paslanmaz çeliğin işlenebilirliği üzerindeki etkisini ortaya koymak amacıyla 15-5 PH ve çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH (H1025) malzemeler kullanılmıştır. Deneyler sonucunda kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen Fc ve Ra değerleri için varyans analizi (ANOVA) yapılarak işleme parametrelerinin Fc ve Ra üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla regresyon analizi uygulanmıştır.

6.1. DENEY MALZEMESİ

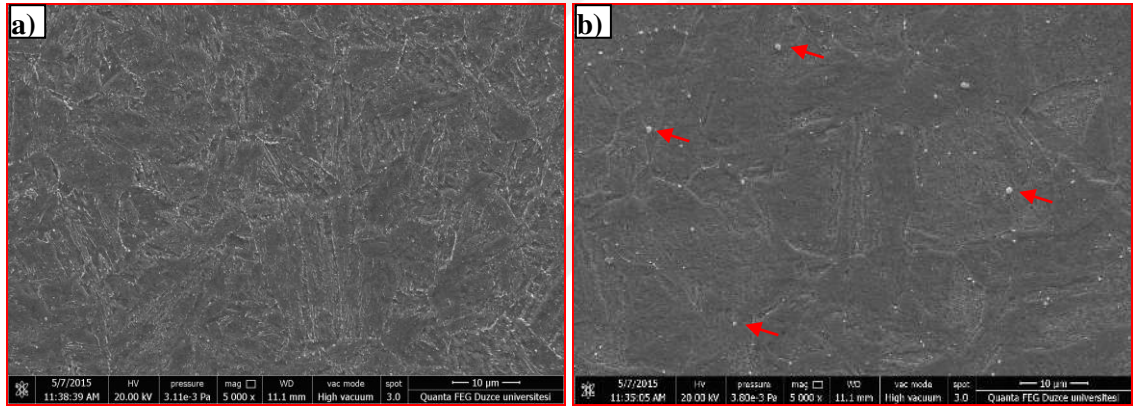
Deneylerde Ø40x200 mm ebatlarında AMS 5659 özelliklerine sahip 15-5 PH paslanmaz çeliği numuneler kullanılmıştır. 15-5 PH çeliği çökeltme yoluyla sertleşebilen martenzitik paslanmaz çelikler grubunda yer almaktadır. Sahip olduğu mükemmel mekanik özellikleri ile geniş bir endüstri yelpazesinde kullanılmaktadır. Bu çeliği diğer paslanmaz çelik türlerinden ayıran en önemli özelliği çökelti sertleştirme ısıtılma işlemi ile sertleştirilebilmekte ve bu sayede mekanik özelliklerinde önemli iyileşmeler elde edilebilmektedir. Malzeme üzerinde kullanım alanına bağlı olarak standart olarak H900, H1000, H1025, H1050, H1100 ve H1150 kodlarıyla tanımlanan ısıtılma işlemleri uygulanabilmektedir. Yapılan çalışmada çökelti sertleştirme işleminin malzemenin işlenebilirlik karakteristiği üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla ısıtılma işlemleri ve H1025 ısıtılma işlemi uygulanmış iki farklı mekanik özelliğe sahip 15-5 PH paslanmaz çeliği kullanılmıştır. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Isıl işlem öncesi 32 HRC sertliğinde olan malzeme ısıl işlem sonrası sertliği 42 HRC olmuştur.

Çizelge 6.1. 15-5 PH paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi.

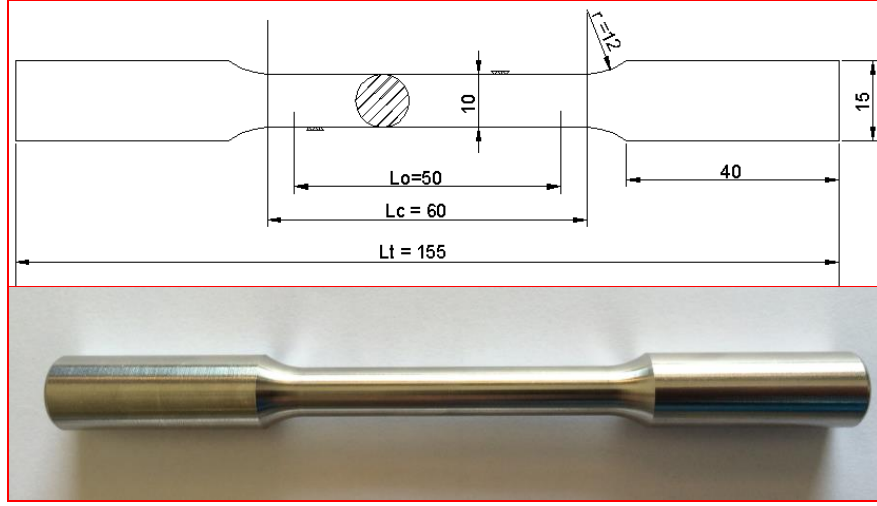
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb	Ta	Fe
0,07	0,338	0,791	0,022	0,004	15,02	5,08	3,53	0,325	0,15	Kalan

Çökelti sertleştirme işleminin mikro yapıda meydana getirdiği değişimleri irdelemek amacıyla her iki malzeme içinde ayrı ayrı SEM’de mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir. Şeki 6.1.a’da ısıl işlemsiz Şekil 6.1.b’de ise çökelti sertleştirme işlemi sonrası mikro yapı fotoğrafları görülmektedir. Isıl işlem sonrası yapının martenzite dönüştüğü ve ince karbür çökeltilerinin olduğu fotoğraftan açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6.1. 15-5 PH çeliğine ait mikroyapı a) işlemsiz b) ısıl işlem uygulanmış

Çökelti sertleştirme ısıl işleminin malzemenin mekanik özelliklerinde meydana getirdiği değişimi belirlemek amacıyla çekme testleri yapılmıştır. Bu amaçla standartlara uygun ölçülerde CNC torna tezgahında çekme deney numuneleri hazırlanmıştır. Çekme testlerinde kullanılan numune ölçüleri ile fotoğrafları Şekil 6.2.’de verilmiştir. Her malzeme için üç numune hazırlanmış olup çekme testi sonucunda elde edilen ölçümlerin ortalaması esas alınmıştır.



Şekil 6.2. Çekme numuneleri

Yapılan çekme testleri sonucunda ısıtılmış ve uygulanmamış numunelere ait mekanik özellikler Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Deney numunelerine ait mekanik özellikler

Numune	Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (Mpa)	Uzama (%)	Sertlik (HRC)
İşlemsiz	1148	1110	16	32
Isıl işlemlili	1200	1172	12	42

6.2. TAKIM TEZGÂHI

Tornalama deneyleri, maksimum devri 3500 dev/dak olan Johnford TC 35 (10kW) marka CNC torna tezgâhında, kuru kesme şartları altında ISO 3685 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu tezgâha ait teknik özellikler Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. BSD torna tezgâhı özellikleri.

Markası	Johnford TC35
İş mili en fazla döndürme çapı	450 mm
En fazla parça bağlama boyu	1200 mm
Sürekli dönme devir sayıları	10-3500 rev/min
Kesici bağlama hane sayısı	12 Adet
İş mili gücü	12 kw
İşletim sistemi	Fanuc OT

6.3. KESİCİ TAKIMLAR VE KAPLAMA MALZEMESİ

Kesici takım olarak Sandvik Coromant firmasından temin edilen SNMG 120408 geometrisine sahip iki farklı kaplama yöntemiyle kaplanmış (PVD, CVD) sementit

karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Kesici takım ve kaplama malzemelerine ait teknik özellikler Çizelge 6.3'te verilmiştir. Kesici takımların torna tezgâhına bağlanmasında PSBNR 2525 M 12 torna kateri kullanılmıştır.

Çizelge 6.3. Kesici takım ve kaplamalara ait teknik özellikler.

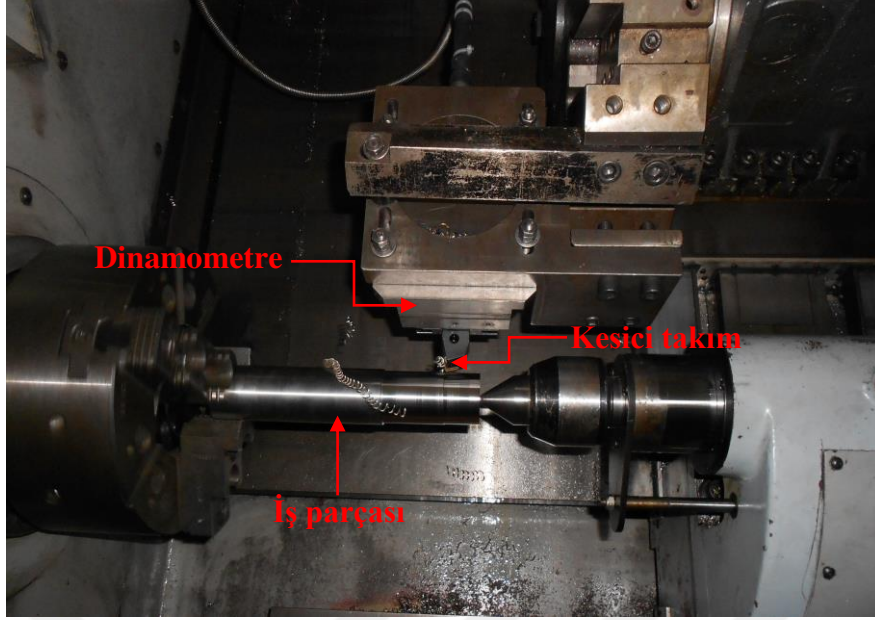
Kaplama metodu	Kaplama malzemesi	Kalite (ISO)	Kaplama kalınlığı (μm)	Sertlik (Hv)
PVD	TiAlN-AlCrO	GC1125	4	1640
CVD	TiCN-Al ₂ O ₃ -TiN	GC2015	5,5	1500

6.4. KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Kesme kuvveti ölçümleri CNC torna tezgâhına bağlanan Kistler 9257-B tipi dinamometre ile gerçekleştirilmiştir. Dinamometreden gelen sinyallerin veri okuma kartına aktarılmasında Kistler 5070-A tipi çok kanallı amplifier kullanılmıştır. Dinamometre ile ölçülen esas kesme kuvveti (F_c) değerleri DynoWare programı yardımı ile sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Deneylerde kullanılan dinamometreye ait teknik özellikleri Çizelge 6.4'te, deney düzeneğinin gösterimi ise Şekil 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri.

Kuvvet aralığı (kN) (F_x, F_y, F_z)	-5...10
Tepki verme (N)	<0.01
Hassasiyet (pC/N) F_x, F_y	-7,5
F_z	-3,5
Doğrusallık	%1 FSO
Histerezis	%0,5 FSO
Doğal frekans $f_0(x,y,z)$ (kHz)	3,5
Çalışma sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	0...70
Kapasitans (pF)	220
20 $^{\circ}\text{C}$ 'daki yalıtım direnci (Ω)	> 1013
Topraklama sınıfı (Ω)	> 108
Koruma sınıfı	IP 67
Ağırlık (kg)	7,3



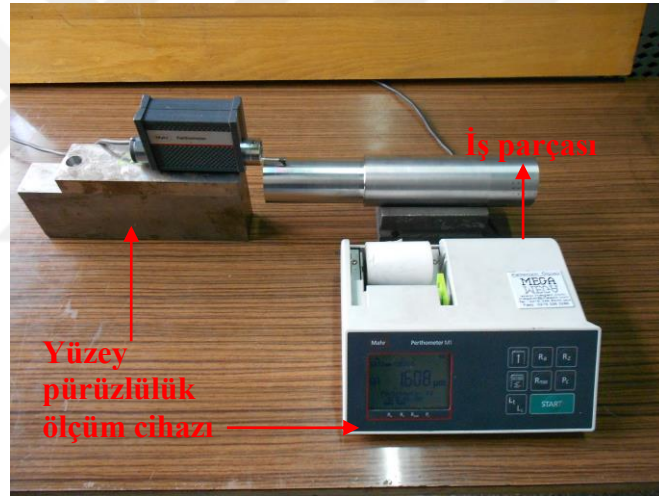
Şekil 6.3. Deney seti kurulumu.

6.5. YÜZEY PÜRÜZLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ

Günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak üretimden yüksek hassasiyet beklentileri artmıştır. Üretilecek bir ürün üzerindeki tornalama işlemi ihtiva eden unsurlar için de aynı yüksek hassasiyet beklentileri söz konusudur. Ürün kalitesini belirleyen en önemli özelliklerin başında ise işlenen yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri gelmektedir. Doğru seçilmiş kesme parametreleri arzu edilen yüzey kalitesinin elde edilmesi için en önemli etkindir. Bu amaçla yapılan çalışmada, farklı kesme parametrelerinde yapılan tornalama işlemi sonrası iş parçası üzerinden yüzey pürüzlülük ölçümleri alınmıştır. Yüzey kalitesinin belirlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan R_a değerleri dikkate alınmıştır. Her tornalanmış yüzeyden üç farklı noktadan ölçüm alınarak bunların ortalaması değerlendirilmiştir. Ölçümlerde Mohr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaza ait teknik özellikler Çizelge 6.5'te, yüzey pürüzlülüğü ölçüm şekli ise Şekil 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Mohr Perthometer M1 yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri.

Model	M1
Tarama hızı	0,5 m/sn
Tarama kuvveti	0,75 Mn
İğne uç yarı çapı	2 μ m
Ölçüm aralıkları	100 -150 μ m
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	Gausion
Örnekleme uzunluğu (Cut-off length)	0,25 - 0,8 - 2,5 (mm)
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 - 5,6 – 17,5 (mm)
Ölçülen parametreler	R _a , R _z , R _{max}
Dil	Seçilebilir 10 Avrupa, 3 Asya dili
Güç kaynağı	Entegre, NiCd şarj edilebilir pil
Boyutlar	190x170x75 mm
Yaklaşık ağırlık	90 g



Şekil 6.4. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi.

6.6. DENEY TASARIMI

Taguchi metodu, üretim sürecine etki eden işleme parametrelerinin optimize edilmesinde kullanılan etkili bir analiz yöntemidir. Bu metot kullanılarak yapılan deney tasarımı ile deney sayısı önemli ölçüde azaltılmakta ve zaman kayıpları en aza indirilmektedir. Bu sebeple optimal işleme parametrelerinin belirlenmesinde Taguchi metodu kullanılmıştır. Taguchi deneysel tasarım metodunda öncelikle kalite özelliklerini doğrudan etkileyecek olan etkenlerin belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada kalite özellikleri olarak kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü esas alınmıştır.

Deneylerde dikkate alınacak parametreler ise kaplama malzemesi (iki farklı kaplama), kesme hızı (Vc-m/dak), ilerleme hızı (f-mm/dev) ve kesme derinliği (ap-mm) olarak belirlenmiştir. Belirlenen parametreler ve seviyeleri Çizelge 6.6'da verilmiştir. Bu parametre ve seviyeleri dikkate alınarak Taguchi'nin L18 dikey dizinine göre işleme deneyleri yapılmıştır (Çizelge 6.7).

Bu çalışmanın temel amacını kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini minimize etmek oluşturmaktadır. Bu sebeple kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için kalite karakteristiklerinin belirlenmesinde eşitlik 1'de verilen "en küçük en iyi" yaklaşımı kullanılmıştır.

$$\text{En küçük en iyi: } S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

Eşitlik 1'de verilen n yapılan deney sayısını, y ise ölçülen değeri ifade etmektedir.

Çizelge 6.6. İşleme parametreleri ve seviyeleri.

Kontrol faktörleri	Sembol	Seviye	Seviye	Seviye
Kaplama malzemesi	A	PVD	CVD	-
Kesme hızı (m/dak)	B	150	200	250
İlerleme hızı	C	0,1	0,2	0,3
Kesme derinliği (mm)	D	0,5	1	1,5

Çizelge 6.7. Taguchi L₁₈ deney tasarımı.

Deney no.	Değişkenler	Faktör A	Faktör B	Faktör C	Faktör D
1	A ₁ B ₁ C ₁ D ₁	1	1	1	1
2	A ₁ B ₁ C ₂ D ₂	1	1	2	2
3	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃	1	1	3	3
4	A ₁ B ₂ C ₁ D ₁	1	2	1	1
5	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂	1	2	2	2
6	A ₁ B ₂ C ₃ D ₃	1	2	3	3
7	A ₁ B ₃ C ₁ D ₂	1	3	1	2
8	A ₁ B ₃ C ₂ D ₃	1	3	2	3
9	A ₁ B ₃ C ₃ D ₁	1	3	3	1
10	A ₂ B ₁ C ₁ D ₃	2	1	1	3
11	A ₂ B ₁ C ₂ D ₁	2	1	2	1
12	A ₂ B ₁ C ₃ D ₂	2	1	3	2
13	A ₂ B ₂ C ₁ D ₂	2	2	1	2
14	A ₂ B ₂ C ₂ D ₃	2	2	2	3
15	A ₂ B ₂ C ₃ D ₁	2	2	3	1
16	A ₂ B ₃ C ₁ D ₃	2	3	1	3
17	A ₂ B ₃ C ₂ D ₁	2	3	2	1
18	A ₂ B ₃ C ₃ D ₂	2	3	3	2

7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Taguchi'nin L18 düşey dizini kullanılarak yapılan deney tasarımında mevcut parametreler ve seviyelerine göre tornalama deneyleri yapılmıştır. Tornalama deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri 15-5 PH ve çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH malzemeleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Oluşturulan grafikler ile kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) ve kesici takım kaplama tipinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Ayrıca her iki malzemenin de tornalamasında F_c ve R_a 'ya etki eden parametrelerin etki düzeylerini belirlemek amacıyla ANOVA tabloları oluşturulmuştur. Yine deneylerde kullanılan bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin tanımlanmasında ise çoklu regresyon analizi uygulanarak deneysel sonuçlar ile tahmin değerleri arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Son olarak iki farklı özelliğe sahip malzemenin işlenebilirliği mukayese edilmiştir.

7.1. KESME KUVVETİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde sertleştirilmemiş ve çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH malzemeleri için elde edilen kesme kuvveti değerleri ayrı ayrı başlıklar altında değerlendirilmiştir. Daha sonra ise birbiri ile mukayesesi yapılarak genel bir değerlendirme yapılmıştır.

7.1.1. Sertleştirilmemiş 15-5 PH Çeliği için Kesme Kuvvetinin Değerlendirilmesi

7.1.1.1. S/N Oranlarının Analizi

Kesme kuvvetleri işleme esnasında kesici takım üzerine gelen yükleri belirleyen en önemli faktörlerden birisidir. Kesici takım üzerine gelen yüklerin azaltılması ise kesici takımın daha uzun süre çalışmasına imkân tanımaktadır. Kesme şartlarının optimum seviyelerinin belirlenmesinde S/N oranları kullanılmaktadır. Çalışmanın temel amacı en düşük kesme kuvveti değerlerini elde etmek olduğundan S/N oranlarının hesaplanması için eşitlik 1'de verilen "en küçük en iyi" eşitliği kullanılmıştır.

Çizelge 7.1'de sertleştirilmemiş 15-5 PH çeliği için deneysel çalışma sonucunda elde edilen kesme kuvveti değerleri ve bunlara karşılık gelen S/N oranları yer almaktadır.

Yapılan tornalama deneyleri sonucunda kesme kuvvetlerinin ortalama değeri 419,8 N olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde S/N oranlarının ortalama değeri sırasıyla -51,46 dB olarak hesaplanmıştır.

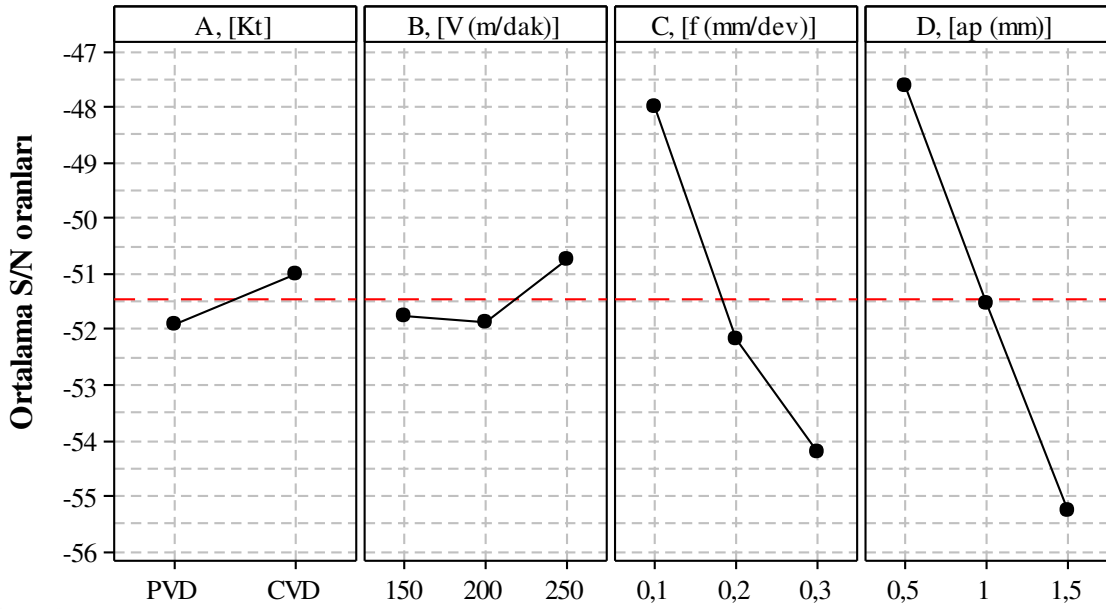
Çizelge 7.1. Deney sonuçları ve S/N oranları.

Den. No.	Kontrol faktörleri					
	A Kesici takım (Kt)	B Kesme hızı (V)	C İlerleme hızı (f)	D Kesme derinliği (ap)	Kesme kuvveti, Fc (N)	S/N oranı (dB)
1	PVD	150	0,1	0,5	156	-43,86
2	PVD	150	0,2	1,0	444	-52,95
3	PVD	150	0,3	1,5	859	-58,68
4	PVD	200	0,1	0,5	180	-45,11
5	PVD	200	0,2	1,0	452	-53,10
6	PVD	200	0,3	1,5	867	-58,76
7	PVD	250	0,1	1,0	257	-48,20
8	PVD	250	0,2	1,5	612	-55,74
9	PVD	250	0,3	0,5	345	-50,76
10	CVD	150	0,1	1,5	380	-51,60
11	CVD	150	0,2	0,5	246	-47,82
12	CVD	150	0,3	1,0	604	-55,62
13	CVD	200	0,1	1,0	257	-48,20
14	CVD	200	0,2	1,5	609	-55,69
15	CVD	200	0,3	0,5	332	-50,42
16	CVD	250	0,1	1,5	358	-51,08
17	CVD	250	0,2	0,5	242	-47,68
18	CVD	250	0,3	1,0	357	-51,05

Kesme kuvvetleri üzerinde her bir kontrol faktörünün analizi S/N yanıt tablosu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetleri için S/N yanıt tablosu Çizelge 7.2’de verilmiştir. Taguchi tekniği kullanılarak oluşturulan bu tablo optimum kesme kuvveti değerleri için kontrol faktörlerinin optimum seviyelerini göstermektedir. Çizelge 7.2’de verilen Fc değerleri için kontrol faktörlerinin seviye değerleri Şekil 7.1’deki grafikte gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Kesme kuvveti için S/N yanıt tablosu.

Seviyeler	Kontrol faktörleri			
	A	B	C	D
Seviye 1	-51,91	-51,75	-48,01	-47,61
Seviye 2	-51,02	-51,88	-52,16	-51,52
Seviye 3	-	-50,75	-54,22	-55,26
Delta	0,89	1,13	6,21	7,65

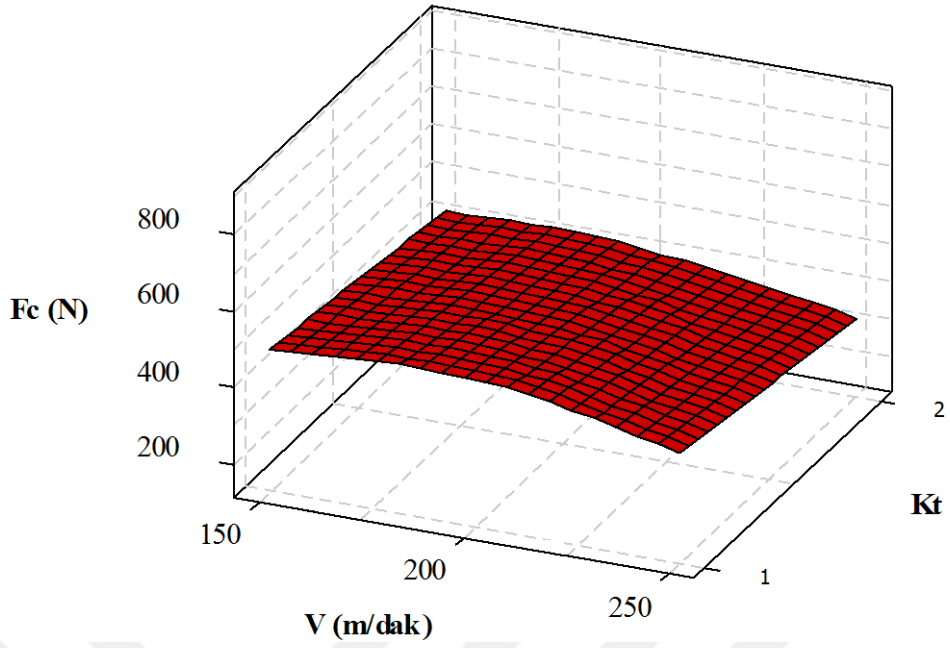


Şekil 7.1. Kesme kuvveti için kontrol faktörlerinin S/N oranları ana etki grafiği.

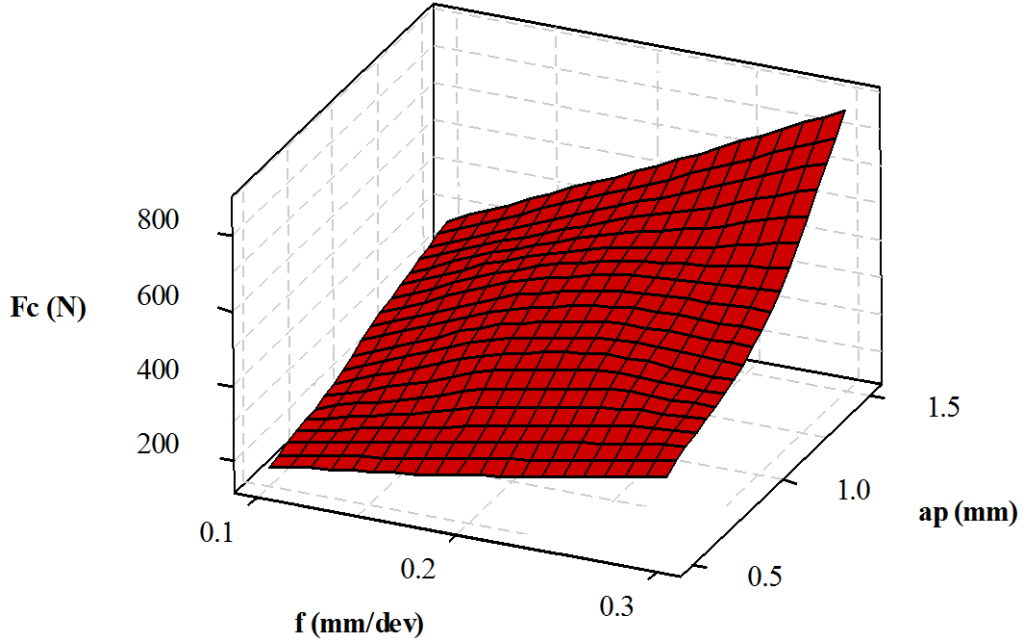
Herhangi bir kontrol faktörü için en iyi seviye o kontrol faktörünün tüm seviyeleri içerisindeki en büyük S/N oranına göre bulunmuştur. Buna göre en iyi Fc değerini veren faktörlere ait seviyeler ve S/N oranları, faktör A (Seviye 2, S/N=-51,02), faktör B (Seviye 3, S/N=-50,75), faktör C (Seviye 1, S/N=-48,01) ve faktör D (Seviye 1, S/N=-47,61) olarak belirlenmiştir. Diğer deyişle optimum Fc değeri CVD TiCN-Al₂O₃-TiN kaplanmış takım (A2), 250 m/min kesme hızında (B3), 0,1 mm/dev ilerleme hızında (C1) ve 0,5 mm kesme derinliğinde (D1) elde edilmiştir (Şekil 7.1).

7.1.1.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sertleştirilmemiş 15-5 PH çeliği için deneysel çalışma sonucunda elde edilen kesme kuvvetlerindeki değişimler Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'teki grafiklerde verilmiştir. Grafikler incelendiğinde genel olarak kesme hızı ve kesici takım kaplama tipinin, kesme derinliği ve ilerleme hızına göre kesme kuvvetlerinin değişimi üzerinde çok büyük etkiye sahip olmadığı söylenebilir. Ancak kendi içinde değerlendirildiğinde kesme hızındaki artışla birlikte kesme kuvvetleri azalma eğilimi göstermiştir (Şekil 7.2). Artan kesme hızı kesme bölgesindeki sıcaklıkları artırarak malzemenin akma mukavemetini düşürmekte buna bağlı olarak da kesme kuvvetleri düşüş eğilimi göstermektedir. Kaplama malzemesinin etkisine bakıldığında ise en düşük kesme kuvveti değerleri CVD TiCN-Al₂O₃-TiN kaplı takım (faktör 2) yapılan işleme deneylerinden elde edilmiştir (Şekil 7.3). En üst katmanda yer alan TiN kaplamanın sahip olduğu düşük sürtünme katsayısı ile kesme kuvvetlerinin düşmesi üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7.2. Kesme hızı ve kaplama tipine bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimi.



Şekil 7.3. Kesme derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimi. Sonuç olarak az da olsa CVD kaplı takım PVD kaplı takıma üstünlük sağlamıştır. Şekil 7.3'te verilen grafik incelendiğinde ise yüzey formlarındaki eğilimler, kesme derinliği ve ilerleme hızının kesme kuvvetlerinin değişimi üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Artan kesme derinliği ve ilerleme hızı kesme kuvvetlerini önemli ölçüde arttırmıştır. Bu durum birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artması ile kesici takım üzerine gelen yüklerin artmasına atfedilmiştir.

7.1.1.3. Varyans Analizi (ANOVA)

ANOVA deney tasarımı bulunduran tüm kontrol faktörlerinin bireysel etkileşimlerini belirlemek için kullanılan istatistiksel bir metottur. Bu çalışmada, kesme kuvveti üzerinde kesici takım, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin etkilerini analiz etmek için ANOVA kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri için ANOVA sonuçları Çizelge 7.3'te verilmiştir. Yapılan bu analiz %95 güven seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Tabloda yer alan P değeri 0.05'den küçük olduğunda faktörün çıktı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edilmektedir. Kesme hızı hariç diğer faktörlere ait P değerlerinin 0,05'den küçük olması, deneysel çalışmada kullanılan bu faktörlerin kesme kuvveti üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Faktörlerin etki düzeylerinin (katkı oranı) belirlenmesinde ise yine tabloda yer alan F değerleri dikkate alınmaktadır. Çizelge 7.3'e göre kesme kuvveti üzerinde faktör A, B, C ve D'nin yüzde katkıları sırasıyla %4,49, %3,95, %34,57 ve %52,62 olarak bulunmuştur. Bu nedenle kesme kuvvetini etkileyen en önemli faktör kesme derinliği (faktör D)'dir. Hata yüzdesi oldukça düşük olup Fc için %4,36 olarak bulunmuştur. İstatistiksel analiz sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen sonuçları doğrular niteliktedir.

Çizelge 7.3. Kesme kuvvetleri için Anova tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	1	34409	34409	10,30	0,009	4,49
B	2	30281	15141	4,53	0,040	3,95
C	2	264697	132348	39,63	0,000	34,57
D	2	402964	201482	60,33	0,000	52,62
Hata	10	33395	3339	-	-	4,36
Toplam	17	765746	-	-	-	100

7.1.1.4. Regresyon Analizi

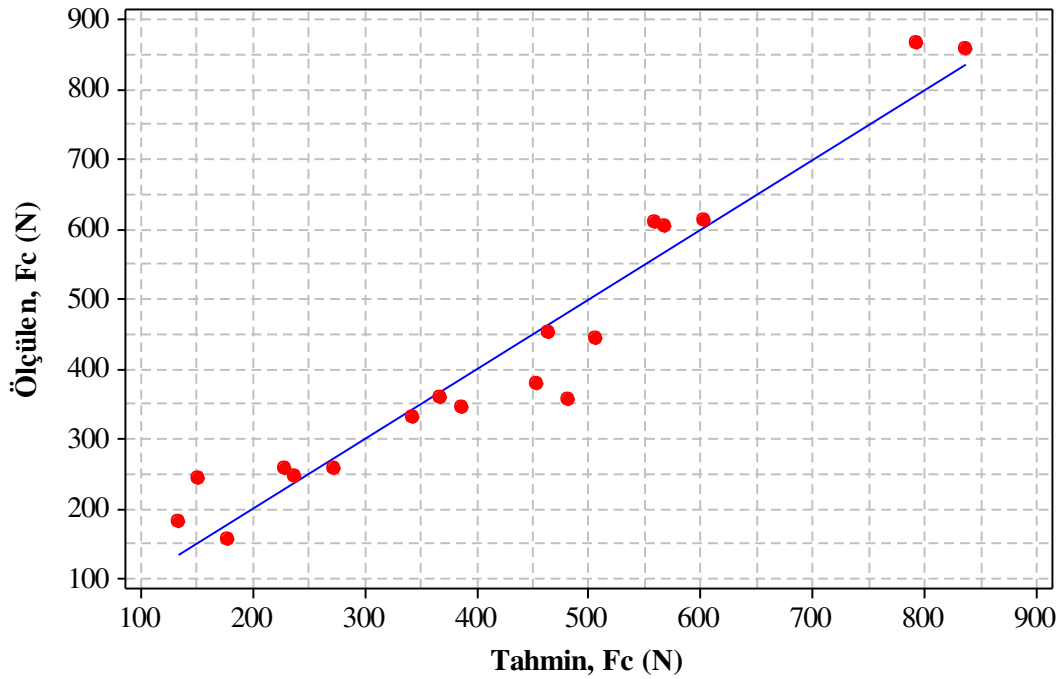
Regresyon analizi, herhangi bir değişkenin (bağımlı değişken) bir veya birden fazla değişkenle (bağımsız-açıklayıcı değişken) arasındaki ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklinde yazılmasıdır. Çoklu regresyon modeli bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılır. Bu çalışmada, bağımlı değişkenler yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve kesme kuvveti (Fc) olup bağımsız değişkenler ise kesici takım (Ct), kesme hızı (V), ilerleme hızı (f) ve kesme derinliği (ap)'dir. Kesme kuvveti için tahmin eşitliğinin elde edilmesinde çoklu regresyon analizi kullanılmıştır. Kesme kuvvetinin lineer regresyon modeli için elde edilen tahmin eşitliği

aşağıda verilmiştir.

$$F_c = 636667 - 87,4444K_t - 0863333V + 1480f + 364ap \quad (2)$$

$$R^2 = \%93,65 \quad R^2(\text{düzeltilmiş}) = \%91,69$$

Burada F_c , kesme kuvveti için tahmin eşitliğini göstermektedir. Şekil 7.4'te deneysel sonuçlar ile lineer regresyon modeli ile elde edilen tahminlerin karşılaştırılması görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi tahmin edilen değerler ile deneysel sonuçlar arasında çok iyi bir ilişki vardır. Kesme kuvveti için lineer regresyon modeli ile elde edilen eşitliğin R^2 değeri $\%93,65$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.4. F_c için ölçülen değerler ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

7.1.2. Sertleştirilmiş 15-5 PH Çeliği için Kesme Kuvvetinin Değerlendirilmesi

7.1.2.1. S/N Oranlarının Analizi

Çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH paslanmaz çeliği için deneysel çalışma sonucunda elde edilen kesme kuvveti değerleri ile bunlara karşılık gelen S/N oranları Çizelge 7.4'te verilmiştir. Daha önce olduğu gibi S/N oranlarının hesaplanmasında “en küçük en iyi” yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan tornalama deneyleri sonucunda kesme kuvvetlerinin ortalama değeri 447,67 N olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde S/N oranlarının ortalama değeri sırasıyla -52,06 dB olarak hesaplanmıştır.

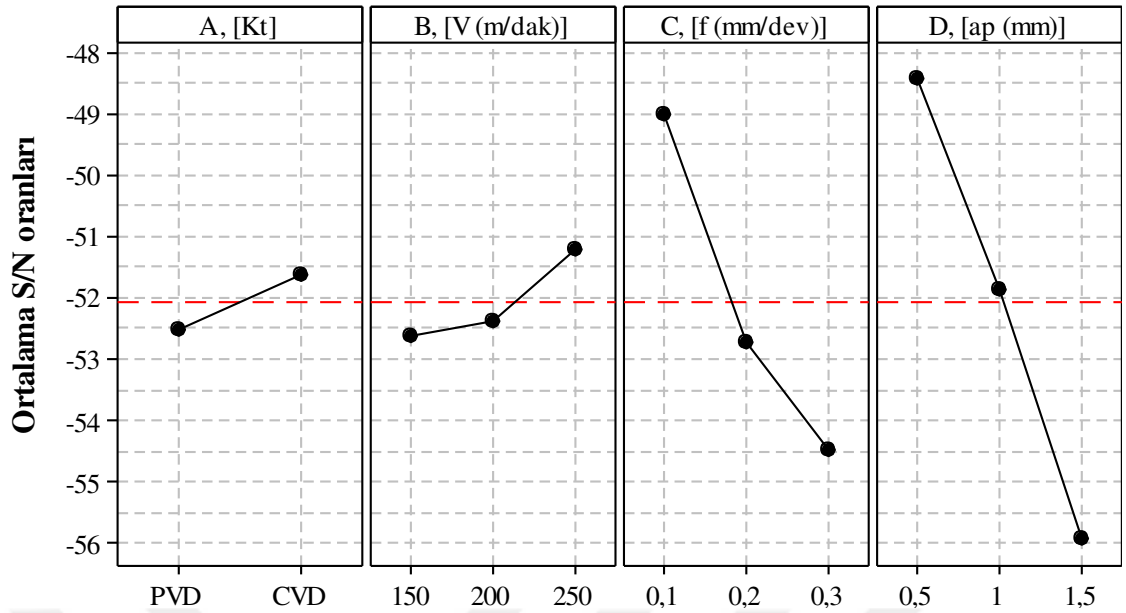
Çizelge 7.4. Deney sonuçları ve S/N oranları.

Den. No.	Kontrol faktörleri					
	A Kesici takım (Kt)	B Kesme hızı (V)	C İlerleme hızı (f)	D Kesme derinliği (ap)	Kesme kuvveti, Fc (N)	S/N oranı (dB)
1	PVD	150	0,1	0,5	195	-45,80
2	PVD	150	0,2	1,0	452	-53,10
3	PVD	150	0,3	1,5	927	-59,34
4	PVD	200	0,1	0,5	183	-45,25
5	PVD	200	0,2	1,0	460	-53,26
6	PVD	200	0,3	1,5	912	-59,20
7	PVD	250	0,1	1,0	308	-49,77
8	PVD	250	0,2	1,5	627	-55,95
9	PVD	250	0,3	0,5	357	-51,05
10	CVD	150	0,1	1,5	411	-52,28
11	CVD	150	0,2	0,5	273	-48,72
12	CVD	150	0,3	1,0	656	-56,34
13	CVD	200	0,1	1,0	277	-48,85
14	CVD	200	0,2	1,5	687	-56,74
15	CVD	200	0,3	0,5	356	-51,03
16	CVD	250	0,1	1,5	397	-51,98
17	CVD	250	0,2	0,5	268	-48,56
18	CVD	250	0,3	1,0	312	-49,88

Kesme kuvveti üzerinde her bir kontrol faktörünün analizi S/N yanıt tablosu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetleri için S/N yanıt tablosu Çizelge 7.5'te verilmiştir. Taguchi tekniği kullanılarak oluşturulan bu tablo optimum kesme kuvveti değerleri için kontrol faktörlerinin optimum seviyelerini göstermektedir. Çizelge 7.5'te verilen Fc değerleri için kontrol faktörlerinin seviye değerleri Şekil 7.5'teki grafikte gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. Kesme kuvveti için S/N yanıt tablosu.

Seviyeler	Kontrol faktörleri			
	A	B	C	D
Seviye 1	-52,52	-52,60	-48,99	-48,40
Seviye 2	-51,60	-52,39	-52,72	-51,87
Seviye 3	-	-51,20	-54,47	-55,91
Delta	0,93	1,40	5,49	7,51

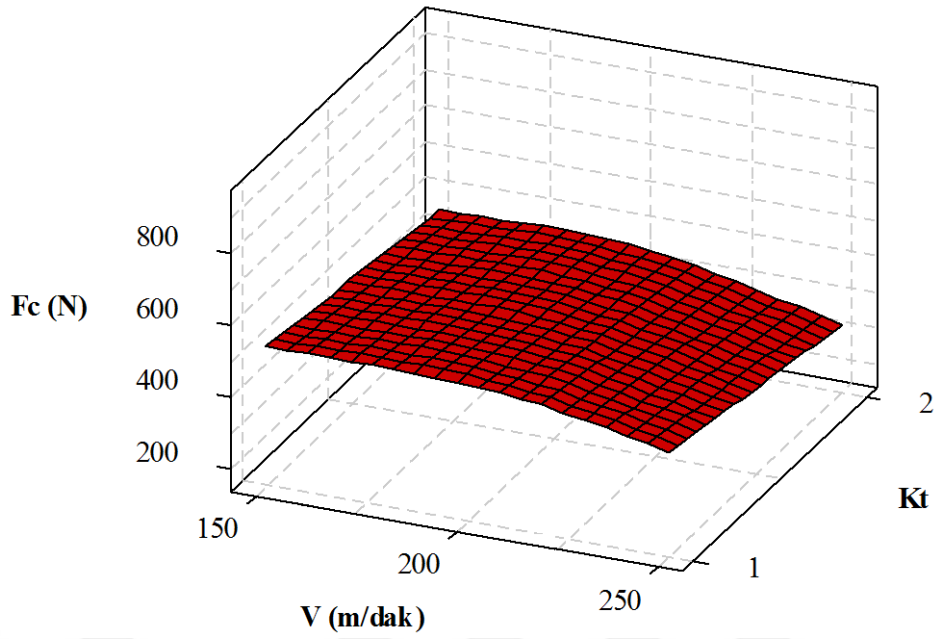


Şekil 7.5. Kesme kuvveti için kontrol faktörlerinin S/N oranları ana etki grafiği.

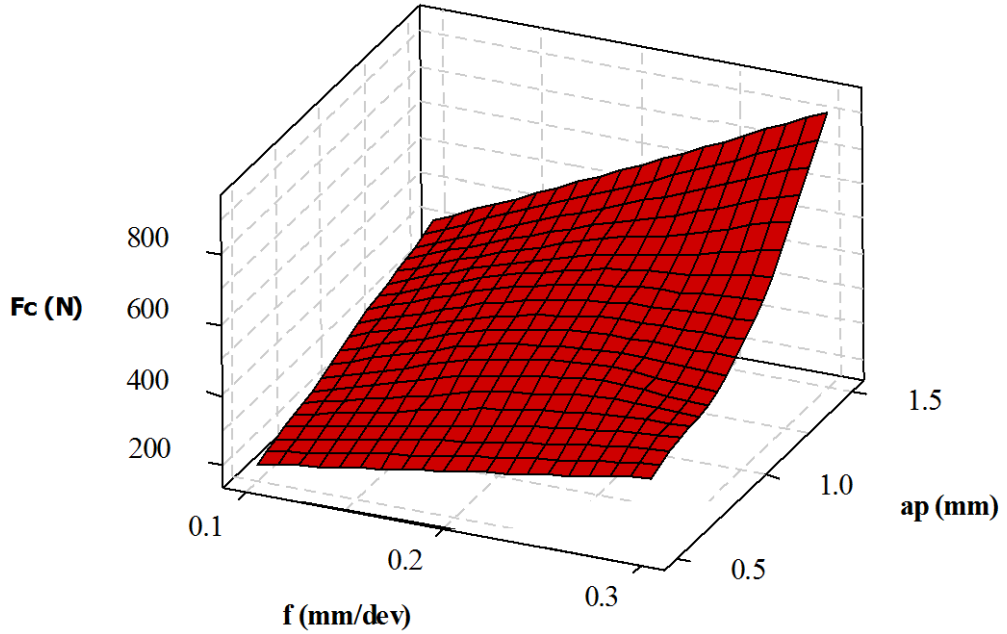
Herhangi bir kontrol faktörü için en iyi seviye o kontrol faktörünün tüm seviyeleri içerisindeki en büyük S/N oranına göre bulunmuştur. Buna göre çökelti sertleştirilmiş 15-5 çeliği için en iyi Fc değerini veren faktörlere ait seviyeler ve S/N oranları, faktör A (Seviye 2, S/N=-51,60), faktör B (Seviye 3, S/N=-51,20), faktör C (Seviye 1, S/N=-48,99) ve faktör D (Seviye 1, S/N=-48,40) olarak belirlenmiştir. Diğer deyişle optimum Fc değeri CVD TiCN-Al₂O₃-TiN kaplanmış takım (A2), 250 m/min kesme hızında (B3), 0,1 mm/dev ilerleme hızında (C1) ve 0,5 mm kesme derinliğinde (D1) elde edilmiştir (Şekil 7.5).

7.1.2.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH çeliği için deneysel çalışma sonucunda elde edilen kesme kuvvetlerindeki değişimler Şekil 7.6 ve Şekil 7.7'deki grafiklerde verilmiştir. Kesme hızının artan değerleri kesme kuvvetlerinin bir miktar düşmesini sağlamıştır. Artan kesme hızı ile takım-temas alanındaki azalmanın kesme kuvvetlerini düşmesi üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Serleştirilmemiş 15-5 PH malzemesinin işlenmesinde olduğu gibi yine CVD TiCN-Al₂O₃-TiN kaplı takım PVD TiAlN-AlCrO kaplı takıma bir miktar üstünlük sağlamıştır (Şekil 7.6).



Şekil 7.6. Kesme hızı ve kaplama tipine bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimi.



Şekil 7.7. Kesme derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimi. Kesme derinliği ve ilerleme hızının kesme kuvvetlerinin değişimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür (Şekil 7.7). Sertleştirme işlemi sonrası 42 HRC sertliğine ulaşan malzemenin, kesici takımın batmasına karşı gösterdiği direnci arttırmıştır. Bunun sonucu olarak da kesme kuvvetinin artmasında, kesme derinliğinin ilerleme hızından daha etkili olduğu görülmüştür.

7.1.2.3. Varyans Analizi (ANOVA)

Çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH çeliğin işlenmesinde elde edilen kesme kuvvetleri için ANOVA sonuçları Çizelge 7.6’da verilmiştir. Yapılan bu analiz %95 güven seviyesinde gerçekleştirilmiştir. İlerleme hızı ve kesme derinliğine ait P değerlerinin 0,05’ten küçük olması, deneysel çalışmada kullanılan bu faktörlerin kesme kuvveti üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Faktörlerin etki düzeylerinin (katkı oranı) belirlenmesinde ise yine tabloda yer alan F değerleri dikkate alınmıştır. Çizelge 7.6’ya göre kesme kuvveti üzerinde faktör A, B, C ve D’nin yüzde katkıları sırasıyla %3,96, %5,05, %29,74 ve %53,82 olarak bulunmuştur. Bu nedenle kesme kuvvetini etkileyen en önemli faktörün kesme derinliği (faktör D) olduğu tespit edilmiştir. Hata yüzdesi oldukça düşük olup Fc için %7,43 olarak bulunmuştur. İstatistiksel analiz sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen sonuçları doğrular niteliktedir.

Çizelge 7.6. Kesme kuvvetleri için Anova tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	1	34148	34148	5,33	0,044	3,96
B	2	43599	21799	3,40	0,075	5,05
C	2	256557	128278	20,01	0,000	29,74
D	2	464230	232115	36,21	0,000	53,82
Hata	10	64098	6410	-	-	7,43
Toplam	17	862632	-	-	-	100

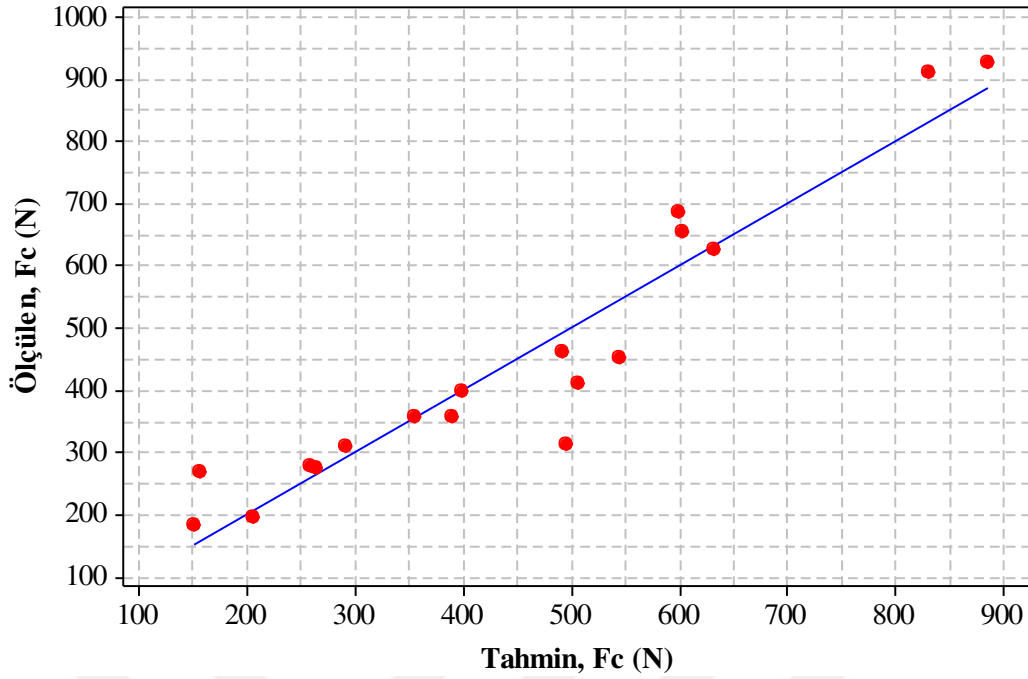
7.1.2.4. Regresyon Analizi

Çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH çeliğinin işlenmesinde elde edilen Fc için tahmin eşitliğinin oluşturulmasında çoklu regresyon analizi kullanılmıştır. Kesme kuvvetinin lineer regresyon modeli için elde edilen tahmin eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$F_c = 113,667 - 87,1111K_t - 1,075V + 1457,5f + 388,167ap \quad (2)$$

$$R^2 = \%89,93 \quad R^2(\text{düzeltilmiş}) = \%86,83$$

Burada Fc, kesme kuvveti için tahmin eşitliğini göstermektedir. Şekil 7.8’de deneysel sonuçlar ile lineer regresyon modeli ile elde edilen tahminlerin karşılaştırılması görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi tahmin edilen değerler ile deneysel sonuçlar arasında çok iyi bir ilişki vardır. Kesme kuvveti için lineer regresyon modeli ile elde edilen eşitliğin R² değeri %89,83 olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.8. Fc için ölçülen değerler ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

7.1.3. Kesme Kuvvetinin Genel Değerlendirilmesi

Sertleştirilmemiş ve çökelti sertleştirme işlemi uygulanmış 15-5 PH paslanmaz çeliğin işlenmesi esnasında elde edilen kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde en yüksek kuvvet değerleri çökelti sertleştirme işlemi uygulanan malzemenin işlenmesi esnasında meydana gelmiştir. Isıl işlem öncesi 32 HRC sertliğe sahip olan malzeme ısıl işlem sonrası sertliği 42 HRC'ye ulaşmıştır. Sertlik artışının yanı sıra ısıl işlem sonrası malzeme içyapısında meydana gelen martenzit oluşumu kesme kuvvetlerinin artmasında önemli bir rol oynamıştır. Her iki malzeme içinde artan kesme hızı ile kesme kuvvetleri düşüş eğilimi gösterirken artan ilerleme ve kesme derinliğinin kesme kuvvetlerini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Kaplama malzemesi kesme kuvvetinin değişimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmamakla birlikte genel itibariyle her iki malzeme içinde CVD TiCN-Al₂O₃-TiN kaplı takımın PVD TiAlN-AlCrO kaplı takıma bir miktar üstünlük sağladığı söylenebilir.

7.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde sertleştirilmemiş ve çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH malzemeleri için elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ayrı ayrı başlıklar altında değerlendirilmiştir. Daha sonra ise birbiri ile mukayesesi yapılarak genel bir değerlendirme yapılmıştır.

7.2.1. Sertleştirilmemiş 15-5 PH Çeliği için Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

7.2.1.1. S/N Oranlarının Analizi

Sertleştirilmemiş 15-5 PH paslanmaz çeliği için deneysel çalışma sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ile bunlara karşılık gelen S/N oranları Çizelge 7.7’de verilmiştir. Daha önce olduğu gibi S/N oranlarının hesaplanmasında “en küçük en iyi” yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan tornalama deneyleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğünün ortalama değeri 1,89 μm olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde S/N oranlarının ortalama değeri ise -3,71 dB olarak hesaplanmıştır.

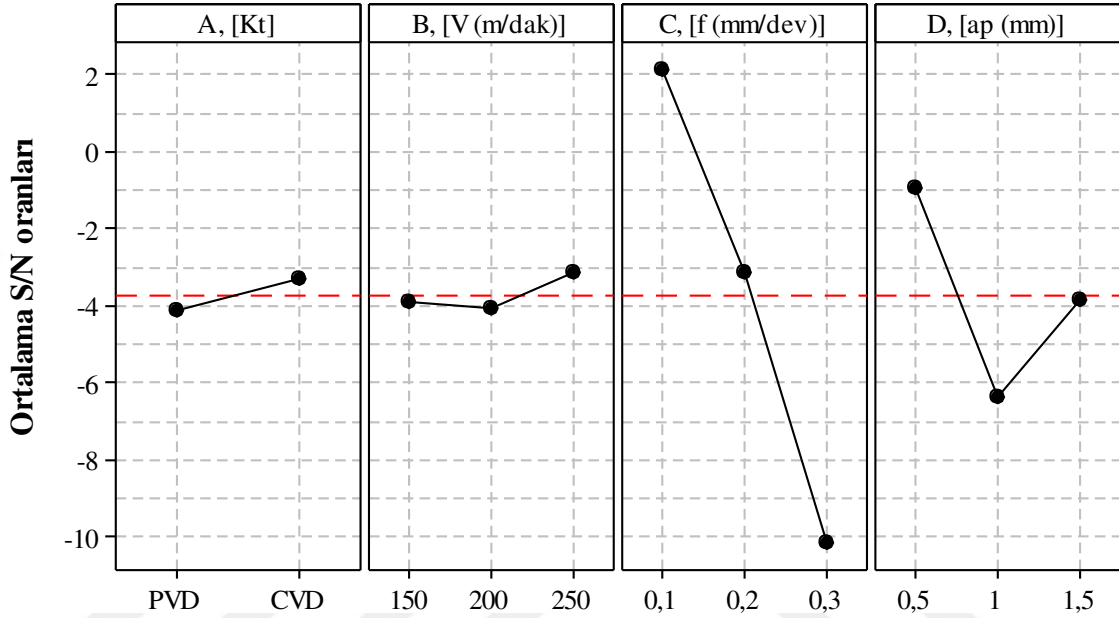
Çizelge 7.7. Deney sonuçları ve S/N oranları.

Den. No.	Kontrol faktörleri					
	A Kesici takım (Kt)	B Kesme hızı (V)	C İlerleme hızı (f)	D Kesme derinliği (ap)	Yüzey pürüzlülüğü Ra (μm)	S/N oranı (dB)
1	PVD	150	0,1	0,5	0,54	5,35
2	PVD	150	0,2	1,0	1,87	-5,44
3	PVD	150	0,3	1,5	3,77	-11,53
4	PVD	200	0,1	0,5	0,38	8,40
5	PVD	200	0,2	1,0	1,55	-3,81
6	PVD	200	0,3	1,5	3,41	-10,66
7	PVD	250	0,1	1,0	1,79	-5,06
8	PVD	250	0,2	1,5	1,88	-5,48
9	PVD	250	0,3	0,5	2,84	-9,07
10	CVD	150	0,1	1,5	0,74	2,62
11	CVD	150	0,2	0,5	1,61	-4,14
12	CVD	150	0,3	1,0	3,26	-10,26
13	CVD	200	0,1	1,0	1,67	-4,45
14	CVD	200	0,2	1,5	1,56	-3,86
15	CVD	200	0,3	0,5	3,22	-10,16
16	CVD	250	0,1	1,5	0,51	5,85
17	CVD	250	0,2	0,5	0,64	3,88
18	CVD	250	0,3	1,0	2,83	-9,04

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde her bir kontrol faktörünün analizi S/N yanıt tablosu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu Çizelge 7.8’de verilmiştir. Taguchi tekniği kullanılarak oluşturulan bu tablo optimum yüzey pürüzlülüğü değerleri için kontrol faktörlerinin optimum seviyelerini göstermektedir. Çizelge 7.8’de verilen Ra değerleri için kontrol faktörlerinin seviye değerleri Şekil 7.9’daki grafikte gösterilmiştir.

Çizelge 7.8. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu.

Seviyeler	Kontrol faktörleri			
	A	B	C	D
Seviye 1	-4,1417	-3,8995	2,1182	-0,9545
Seviye 2	-3,2856	-4,0886	-3,1415	-6,3425
Seviye 3	-	-3,1529	-10,1176	-3,8439
Delta	0,8561	0,9357	12,2358	5,3880



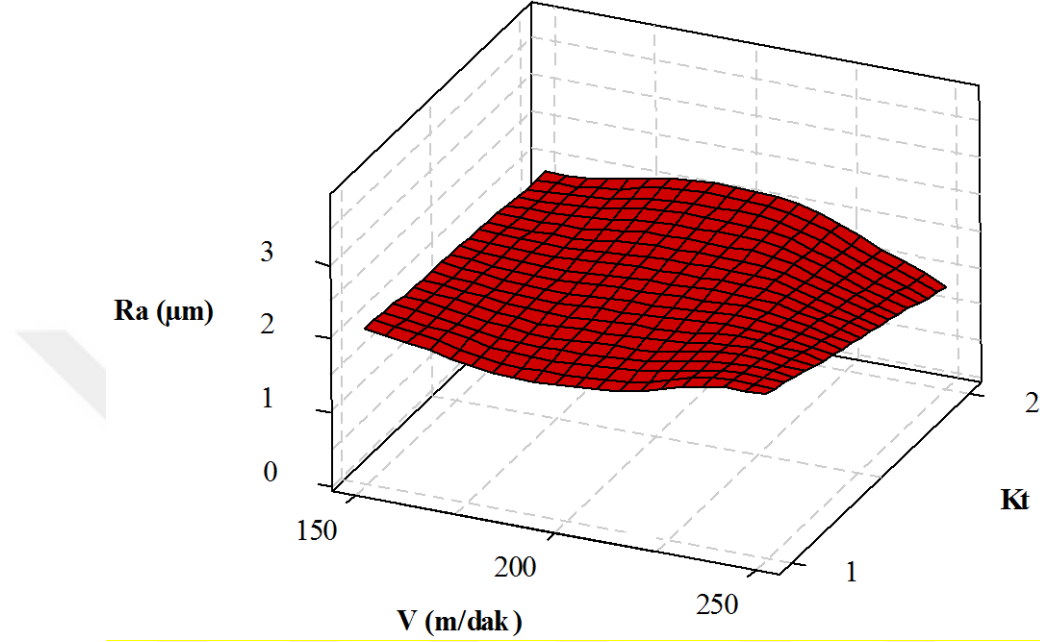
Şekil 7.9. Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin S/N oranları ana etki grafiği.

Herhangi bir kontrol faktörü için en iyi seviye o kontrol faktörünün tüm seviyeleri içerisindeki en büyük S/N oranına göre bulunmuştur. Buna göre sertleştirilmemiş 15-5 çeliği için en iyi Ra değerini veren faktörlere ait seviyeler ve S/N oranları, faktör A (Seviye 2, S/N=-3,2856), faktör B (Seviye 3, S/N=-3,1529), faktör C (Seviye 1, S/N=2,1182) ve faktör D (Seviye 1, S/N=-95,45) olarak belirlenmiştir. Diğer deyişle optimum Ra değeri CVD TiCN-Al₂O₃-TiN kaplanmış takımla (A2), 250 m/min kesme hızında (B3), 0,1 mm/dev ilerleme hızında (C1) ve 0,5 mm kesme derinliğinde (D1) elde edilmiştir (Şekil 7.9).

7.2.1.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

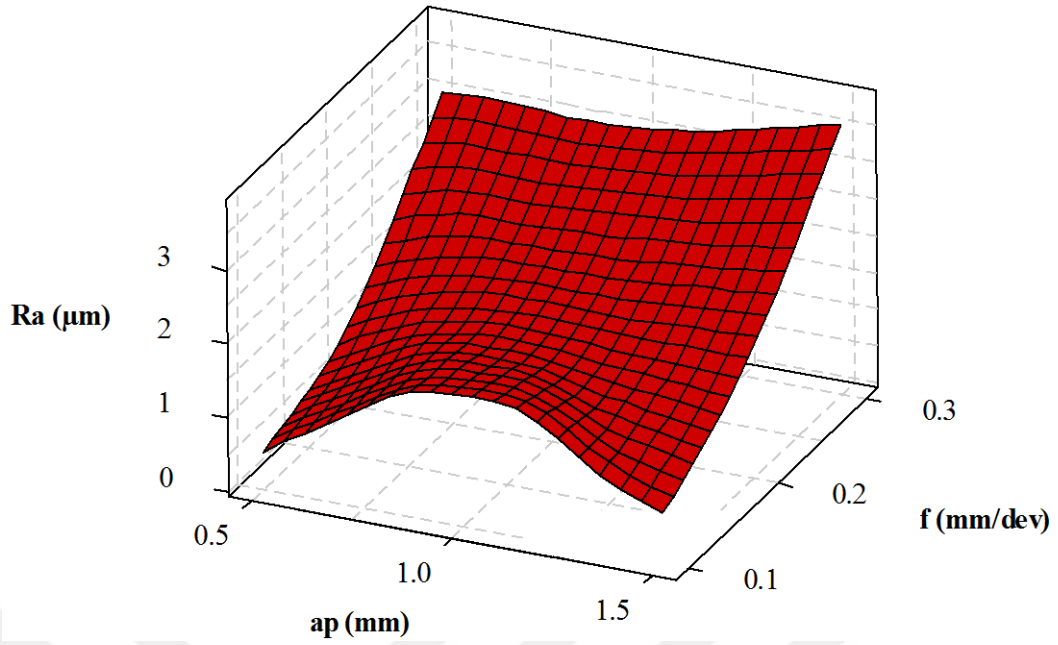
Sertleştirilmemiş 15-5 PH çeliği için deneysel çalışma sonucunda elde yüzey pürüzlülüğündeki değişimler Şekil 7.10 ve Şekil 7.11'deki grafiklerde verilmiştir. Kesme hızındaki artışla 200 m/dak kesme hızına kadar Ra değerleri düşmüş olup bu kesme hızından sonra bir miktar artış göstermiştir (Şekil 7.10). Artan kesme hızı takım-talaş temas alanını azaltmaktadır. Bu da sürtünmeyi azaltarak yüzey pürüzlülük

değerlerinin düşmesine yol açmaktadır. Ancak artan kesme hızı belli bir değerinin üzerine çıktığında takım aşınmasını arttırmakta bu da yüzey kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Kesme kuvvetlerinde olduğu gibi daha düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilmesinde CVD TiCN-Al₂O₃-TiN kaplı takım PVD PVD TiAlN-AlCrO kaplı takıma azda olsa üstünlük sağlamıştır.



Şekil 7.10. Kesme hızı ve kaplama tipine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

Test edilen parametreler içerisinde yüzey pürüzlülüğünün değişimi üzerinde en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ilerleme hızının bir fonksiyonu olduğundan artan değerleri yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde arttırmıştır. Kesme derinliğindeki artış ise özellikle yüksek ilerleme hızında (0,3 mm/dev) Ra değerlerinde bir miktar artışa sebep olmuştur.



Şekil 7.11. Kesme derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

7.2.1.3. Varyans Analizi (Anova)

Sertleştirilmemiş 15-5 PH çeliğin işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü için ANOVA sonuçları Çizelge 7.9'da verilmiştir. Yapılan bu analiz %95 güven seviyesinde gerçekleştirilmiştir. İlerleme hızına ait P değerlerinin 0,05'ten küçük olması, deneysel çalışmada kullanılan bu faktörün yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Faktörlerin etki düzeylerinin (katkı oranı) belirlenmesinde ise yine tabloda yer alan F değerleri dikkate alınmıştır. Çizelge 7.9'a göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde faktör A, B, C ve D'nin yüzde katkıları sırasıyla %1,07, %0,91, %82,33 ve %6,00 olarak bulunmuştur. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörün ilerleme hızı (faktör C) olduğu tespit edilmiştir. Hata yüzdesi oldukça düşük olup Ra için %9,69 olarak bulunmuştur. İstatistiksel analiz sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen sonuçları doğrular niteliktedir.

Çizelge 7.9. Yüzey pürüzlülüğü için Anova tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	1	0,22	0,22	1,11	0,318	1,07
B	2	0,1878	0,0939	0,47	0,637	0,91
C	2	16,9027	8,4514	42,50	0,000	82,33
D	2	1,2315	0,6158	3,10	0,090	6,00
Hata	10	1,9884	0,1988	-	-	9,69
Toplam	17	20,5304	-	-	-	100

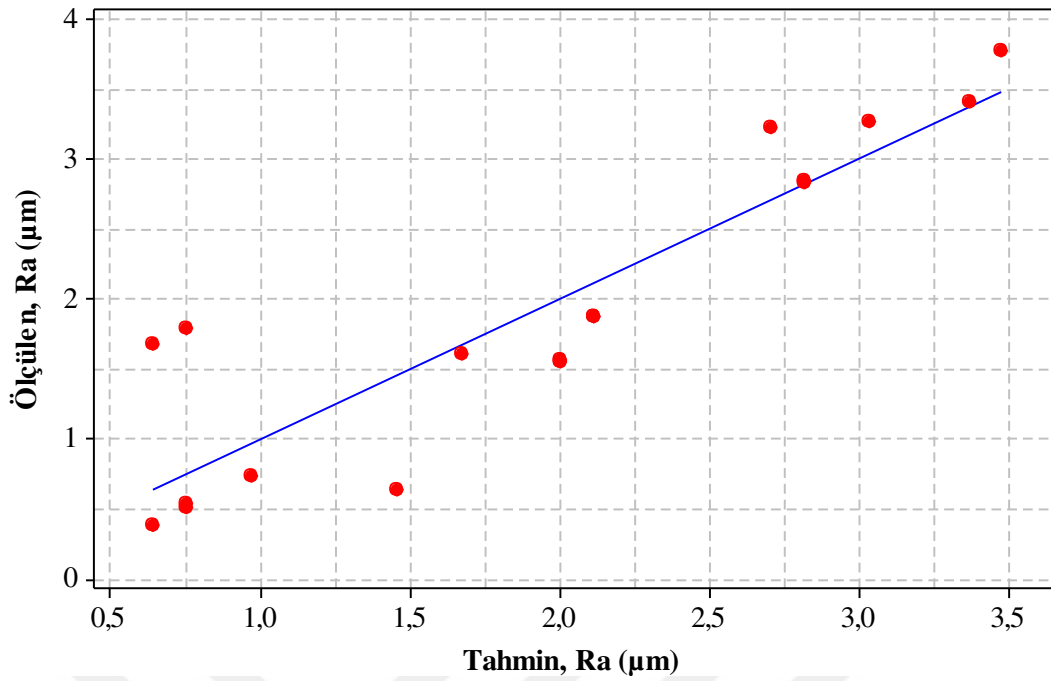
7.2.1.4. Regresyon Analizi

Sertleştirilmemiş 15-5 PH çeliğinin işlenmesinde sonucunda elde edilen Ra değerleri için tahmin eşitliğinin oluşturulmasında çoklu regresyon analizi kullanılmıştır. Lineer regresyon modeli ile Ra için elde edilen tahmin eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$Ra = -0,0655556 - 0,221111Kt - 0,00216667V + 11,4167f + 0,44ap \quad (2)$$

$$R^2 = \%80,77 \quad R^2(\text{düzeltilmiş}) = \%74,85$$

Burada Ra, yüzey pürüzlülüğü için tahmin eşitliğini göstermektedir. Şekil 7.12’de deneysel sonuçlar ile lineer regresyon modeli ile elde edilen tahminlerin karşılaştırılması görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi tahmin edilen değerler ile deneysel sonuçlar arasında çok iyi bir ilişki vardır. Yüzey pürüzlülüğü için lineer regresyon modeli ile elde edilen eşitliğin R^2 değeri %80,77 olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.12. Ra için ölçülen değerler ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

7.2.2. Çökelti Sertleştirilmiş 15-5 PH Çeliği için Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

7.2.2.1. S/N Oranlarının Analizi

Çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH paslanmaz çeliği için deneysel çalışma sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ile bunlara karşılık gelen S/N oranları çizelge 7.10'da verilmiştir. Daha önce olduğu gibi S/N oranlarının hesaplanmasında “en küçük en iyi” yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan tornalama deneyleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğünün ortalama değeri 1,97 μm olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde S/N oranlarının ortalama değeri ise -4,06 dB olarak hesaplanmıştır.

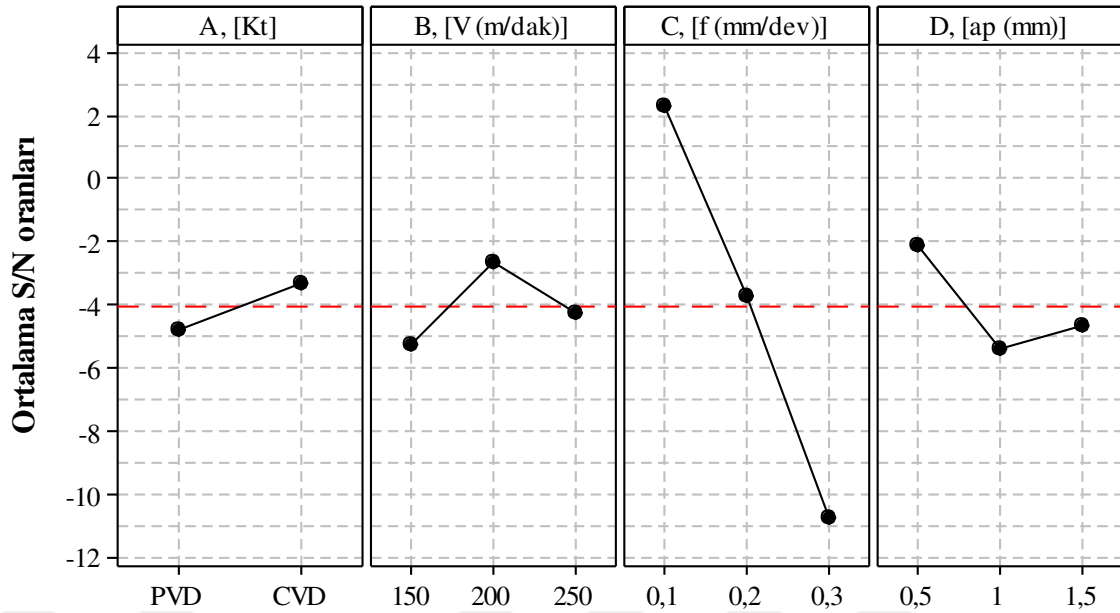
Çizelge 7.10. Deney sonuçları ve S/N oranları.

Den. No.	Kontrol faktörleri					
	A Kesici takım (Kt)	B Kesme hızı (V)	C İlerleme hızı (f)	D Kesme derinliği (ap)	Yüzey pürüzlülüğü Ra (μm)	S/N oranı (dB)
1	PVD	150	0,1	0,5	0,71	2,97
2	PVD	150	0,2	1,0	1,99	-5,98
3	PVD	150	0,3	1,5	3,97	-11,98
4	PVD	200	0,1	0,5	0,42	7,54
5	PVD	200	0,2	1,0	1,51	-3,58
6	PVD	200	0,3	1,5	3,48	-10,83
7	PVD	250	0,1	1,0	1,89	-5,53
8	PVD	250	0,2	1,5	1,94	-5,76
9	PVD	250	0,3	0,5	3,22	-10,16
10	CVD	150	0,1	1,5	1,06	-0,51
11	CVD	150	0,2	0,5	1,67	-4,44
12	CVD	150	0,3	1,0	3,86	-11,73
13	CVD	200	0,1	1,0	0,61	4,29
14	CVD	200	0,2	1,5	1,53	-3,69
15	CVD	200	0,3	0,5	3,08	-9,77
16	CVD	250	0,1	1,5	0,57	4,88
17	CVD	250	0,2	0,5	0,88	1,11
18	CVD	250	0,3	1,0	3,12	-9,88

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde her bir kontrol faktörünün analizi S/N yanıt tablosu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu Çizelge 7.11’de verilmiştir. Taguchi tekniği kullanılarak oluşturulan bu tablo optimum yüzey pürüzlülüğü değerleri için kontrol faktörlerinin optimum seviyelerini göstermektedir. Çizelge 7.11’de verilen Ra değerleri için kontrol faktörlerinin seviye değerleri Şekil 7.13’teki grafikte gösterilmiştir.

Çizelge 7.11. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu.

Seviyeler	Kontrol faktörleri			
	A	B	C	D
Seviye 1	-4,811	-5,276	2,275	-2,125
Seviye 2	-3,304	-2,675	-3,723	-5,400
Seviye 3	-	-4,222	-10,724	-4,647
Delta	1,506	2,601	12,999	3,275

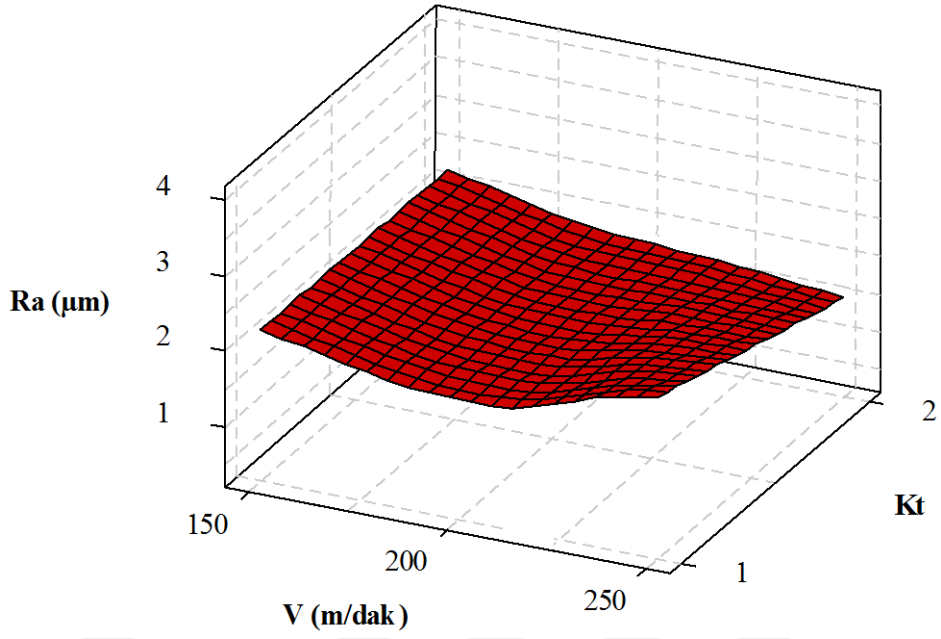


Şekil 7.13. Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin S/N oranları ana etki grafiği.

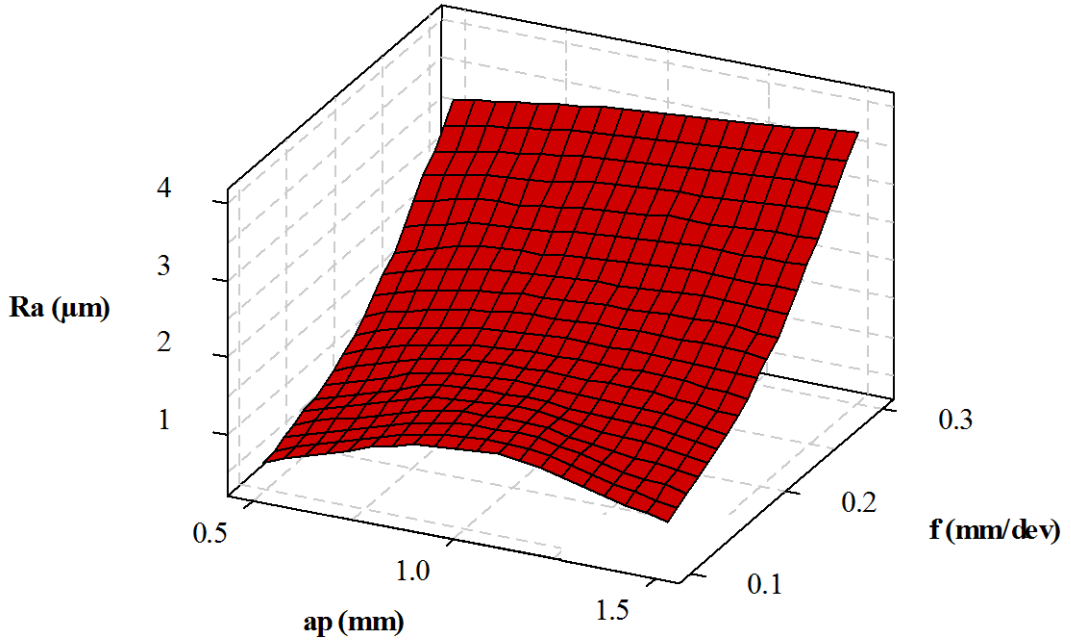
Herhangi bir kontrol faktörü için en iyi seviye o kontrol faktörünün tüm seviyeleri içerisindeki en büyük S/N oranına göre bulunmuştur. Buna göre çökelti sertleştirilmiş 15-5 çeliği için en iyi Ra değerini veren faktörlere ait seviyeler ve S/N oranları, faktör A (Seviye 2, S/N=-3,304), faktör B (Seviye 2, S/N=-2,675), faktör C (Seviye 1, S/N=2,275) ve faktör D (Seviye 1, S/N=-2,225) olarak belirlenmiştir. Diğer deyişle optimum Ra değeri CVD TiCN-Al₂O₃-TiN kaplanmış takımla (A2), 200 m/min kesme hızında (B3), 0,1 mm/dev ilerleme hızında (C1) ve 0,5 mm kesme derinliğinde (D1) elde edilmiştir (Şekil 7.13).

7.2.2.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH çeliği için deneysel çalışma sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğündeki değişimler Şekil 7.14 ve Şekil 7.15'teki grafiklerde verilmiştir. Özellikle CVD kaplı takımla yapılan kesme deneylerinde artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmüştür. Kaplama farkı yüzey pürüzlülük değerlerinin düşmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmamakla birlikte CVD takımla bir miktar daha düşük Ra değerleri elde edilmiştir. Bu durumun muhtemel sebepleri daha önce izah edilmişti.



Şekil 7.14. Kesme hızı ve kaplama tipine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi.



Şekil 7.15. Kesme derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

0,3 mm/dev ilerleme hızında artan kesme serinliği yüzey pürüzlülük değerlerinin artmasına yol açmıştır. Sertleştirilmemiş 15-5 PH malzemesinde olduğu gibi çökelti sertleştirilmiş malzemenin işlenmesinde de artan ilerleme hızı yüzey pürüzlülük değerlerini önemli ölçüde arttırmıştır. Dolayısıyla test edilen parametreler içerisinde ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre olduğunu söylemek mümkündür.

7.2.2.3. Varyans Analizi (ANOVA)

Çökelti sertleştirilmemiş 15-5 PH çeliğin işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü için ANOVA sonuçları Çizelge 7.12’de verilmiştir. Yapılan bu analiz %95 güven seviyesinde gerçekleştirilmiştir. İlerleme hızına ait P değerlerinin 0,05’ten küçük olması, deneysel çalışmada kullanılan bu faktörün yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Faktörlerin etki düzeylerinin (katkı oranı) belirlenmesinde ise yine tabloda yer alan F değerleri dikkate alınmıştır. Çizelge 7.12’ye göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde faktör A, B, C ve D’nin yüzde katkıları sırasıyla %1,74, %2,41, %87,64 ve %3,61 olarak bulunmuştur. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörün ilerleme hızı (faktör C) olduğu tespit edilmiştir. Hata yüzdesi oldukça düşük olup Ra için %4,59 olarak bulunmuştur. İstatistiksel analiz sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen sonuçları doğrular niteliktedir.

Çizelge 7.12. Yüzey pürüzlülüğü için Anova tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	1	0,4214	0,4214	3,78	0,081	1,74
B	2	0,5862	0,2931	2,63	0,121	2,41
C	2	21,2808	10,6404	95,38	0,000	87,64
D	2	0,8777	0,4388	3,93	0,055	3,61
Hata	10	1,1156	0,1116	-	-	4,59
Toplam	17	24,2816	-	-	-	100

7.2.2.4. Regresyon Analizi

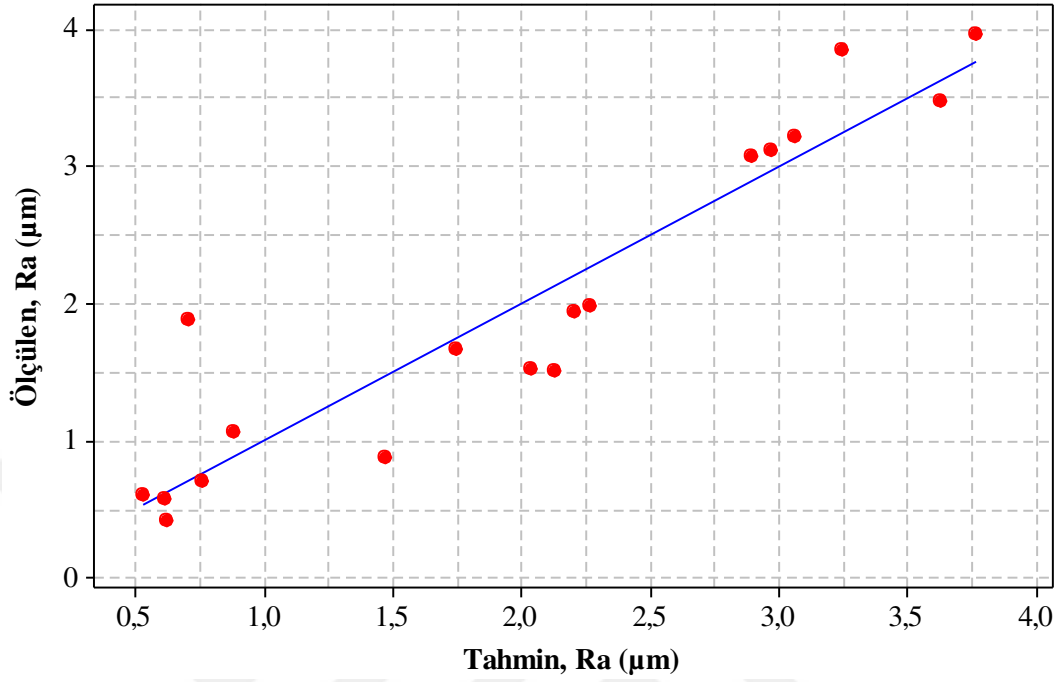
Çökelti sertleştirilmemiş 15-5 PH çeliğinin işlenmesinde sonucunda elde edilen Ra değerleri için tahmin eşitliğinin oluşturulmasında çoklu regresyon analizi kullanılmıştır. Lineer regresyon modeli ile Ra için elde edilen tahmin eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$Ra = -0,0297778 - 0,306Kt - 0,00272667V + 12,89f + 0,428667ap \quad (2)$$

$$R^2 = \%87,04 \quad R^2(\text{düzeltilmiş}) = \%83,05$$

Burada Ra, yüzey pürüzlülüğü için tahmin eşitliğini göstermektedir. Şekil 7.16’da deneysel sonuçlar ile lineer regresyon modeli ile elde edilen tahminlerin karşılaştırılması görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi tahmin edilen değerler ile

deneysel sonuçlar arasında çok iyi bir ilişki vardır. Yüzey pürüzlülüğü için lineer regresyon modeli ile elde edilen eşitliğin R^2 değeri %87,04 olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.16. Ra için ölçülen değerler ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

7.2.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Genel Değerlendirilmesi

Genel olarak deneysel çalışma sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ısıtılma işlemi uygulanan malzemede daha yüksek olduğu söylenebilir. Her iki malzemenin işlenmesinde de yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu görülmüştür. Kesme kuvvetlerine paralel bir şekilde artan kesme hızı yüzey pürüzlülüğü değerlerinde bir miktar düşüşe sebep olmuştur. Artan kesme derinliği ise özellikle yüksek ilerleme hızlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin bir miktar artmasına yol açmıştır. Yine kesme kuvvetlerinde olduğu gibi yüzey pürüzlülüğünde de CVD TiCN-Al₂O₃-TiN kaplı takım PVD TiAlN-AlCrO kaplı takıma bir miktar üstünlük sağlamıştır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, PVD ve CVD kaplı takımlarla sertleştirilmemiş ve çökelti sertleştirme işlemi uygulanmış 15-5 PH paslanmaz çeliğin tornalamasında, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen işleme parametrelerinin optimizasyonu için Taguchi metodu kullanılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Her iki malzeme içinde kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü minimize etmek için kontrol faktörlerinin optimum seviyelerinin belirlenmesinde S/N oranları kullanılmıştır.
- Sertleştirilmemiş 15-5 PH için optimum kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değeri CVD TiCN-Al₂O₃-TiN kaplanmış takımla (A2), 250 m/min kesme hızında (B3), 0,1 mm/dev ilerleme hızında (C1) ve 0,5 mm kesme derinliğinde (D1) elde edilmiştir.
- Çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH için optimum kesme kuvveti değeri CVD TiCN-Al₂O₃-TiN kaplanmış takımla (A2), 250 m/min kesme hızında (B3), 0,1 mm/dev ilerleme hızında (C1) ve 0,5 mm kesme derinliğinde (D1) elde edilmiştir.
- Çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH için optimum yüzey pürüzlülüğü değeri ise CVD TiCN-Al₂O₃-TiN kaplanmış takımla (A2), 200 m/min kesme hızında (B2), 0,1 mm/dev ilerleme hızında (C1) ve 0,5 mm kesme derinliğinde (D1) elde edilmiştir.
- Sertleştirilmemiş 15-5 PH için kesme kuvveti üzerinde %52,62 katkı oranı ile en etkili parametrenin kesme derinliği, yüzey pürüzlülüğü üzerinde ise %82,33 katkı oranı ile ilerleme hızı olduğu görülmüştür.
- Çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH için kesme kuvveti üzerinde %53,82 katkı oranı ile en etkili parametrenin kesme derinliği, yüzey pürüzlülüğü üzerinde ise %87,64 katkı oranı ile ilerleme hızı olduğu görülmüştür.

- Sertleştirilmemiş 15-5 PH için kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün tahmininde lineer regresyon modeli ile oluşturulan eşitliklerin R^2 değerleri sırasıyla %93,65 ve %80,77 olarak elde edilmiştir.
- Çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH için kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün tahmininde lineer regresyon modeli ile oluşturulan eşitliklerin R^2 değerleri ise sırasıyla %89,83 ve %87,04 olarak elde edilmiştir.

8.2. ÖNERİLER

Yapılan çalışma kapsamında sertleştirilmemiş ve çökelti sertleştirilmiş 15-5 PH malzemesinin tornalamasında kaplama malzemesi ve kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu çalışmadan farklı olarak yapılabilecek çalışmalar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Kesme parametreleri ve kesici takımlara uygulanan kaplama malzemelerinin takım aşınması ve takım ömrü üzerindeki etkileri analiz edilebilir.
- Farklı soğutma ve yağlama tekniklerinin işlenebilirlik üzerindeki etkileri değerlendirilebilir.
- Farklı kesici takım malzemelerinin işleme çıktıları üzerindeki etkileri ortaya konulabilir.

Malzemeye uygulanan farklı ısı işlemlerin işlenebilirlik karakteristiği üzerindeki sonuçlarına bakılabilir.

9. KAYNAKLAR

- [1] Kumar A., Balaji Y., Eswara Prasad N., Gouda G., Tamilmani K., Indigenous development and airworthiness certification of 15–5 PH precipitation hardenable stainless steel for aircraft applications, *Indian Academy of Sciences*, (2013) 3: 83–23.
- [2] Junior A.B., Diniz A.E., Filho F.T., Tool wear and tool life in end milling of 15–5 PH stainless steel under different cooling and lubrication conditions, *Int J Adv Manuf Technol.*, (2009) 43: 756–764.
- [3] Mondelin A., Valiorgue F., Rech J., Coret M., Feulvarch E., Hybrid model for the prediction of residual stresses induced by 15-5 PH steel turning, *International Journal of Mechanical Sciences*, (2012) 58: 69–85.
- [4] Asiltürk I., Çunkas M., Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method, *Expert Systems with Applications*, (2011) 38: 5826–5832.
- [5] Özel T., Karpat Y., Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, (2005) 45, 467-479.
- [6] Wang M.Y., Chang H.Y., Experimental study of surface roughness in slot end milling, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, (2004) 44, 51–57.
- [7] Çakır M.C., Principles of modern metal cutting, *Vipaş A.Ş, Bursa, Turkey*, (2000) 350-390.
- [8] Tamas S., Cutting force modeling using artificial neural networks, *J. Mater. Process Technol*, (1999) 92: 344–349.
- [9] Singh P.D., Rao V., A surface roughness prediction model for hard turning process, *Int J Adv Manuf Technol*, (2007) 32: 1115–1124.
- [10] Meral G., Sarıkaya M., Dilipak H., Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (2011) 27(4): 332-338.

- [11] Ay M., Turhan A, Investigation of the effect of cutting parameters on the geometric tolerances and surface roughness in turning operation, *Electronic Journal of Machine Technologies*, (2010) (7) 55-67.
- [12] Odabaş C., Paslanmaz çeliklerin kaynağı, *ASKAYNAK*, (2007).
- [13] Tekaslan, Ö., AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde İşlenebilirliğe Bağlı Olarak Kalıcı Gerilme Problemlerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, (2007).
- [14] Anonim, <http://keskincelik.com.tr/paslanmazcelik.asp?ID=28> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2015).
- [15] Taşdemir, V., AISI 304 Paslanmaz Çeliginin Isıl İşlem Uygulanarak İşlenebilirliğine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, (2002).
- [16] Balcı, B., AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Malzemenin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, (2005).
- [17] Sharma V. S., Dogra M., Suri N.M., Cooling techniques for improved productivity in turning, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 49 (2009) 435-453.
- [18] Stephenson D. A., Agapiou J. S., Metal cutting theory and practice, *Second Edition, Taylor&Francis*, (2006).
- [19] Makine Mühendisliği El Kitabı
- [20] Şahin Y., Talaş Kaldırma Prensipleri 1, *Nobel Yayın Dağıtım*, (2000).
- [21] Koç E., Ünver E., Tornalama işleminde optimizasyon ve parça programı geliştirilmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 4, Sayı: 1-2*, (1998) 655-661.
- [22] Groover M. P., Fundamentals of modern manufacturing-materials processes and systems, *Prentice-Hall Inc., New Jersey*, (1996) 220-639.
- [23] Lazoğlu İ., Serpengüzel A., Bilgisayarlı sayısal kontrol (CNC) tezgahlarında takım, parça ve talaş sıcaklıklarının yüksek çözünürlüklü kızılaltı kamera yardımıyla incelenmesi, *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, MİSAG* 193, İstanbul, (2006).

- [24] Bayrak M., Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Makine Mühendisliği Bölümü, (2002).
- [25] Özses B., Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgâhlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2002) .
- [26] Neşeli S., Yaldız S., Tornalamada takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, (2006) .
- [27] Shaw M. C., Metal cutting principles, *Oxford University Press*, London, (1985) 210-265.
- [28] Balcı B., AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2008) .
- [29] Gadelmavla E. S., Koura M. M., Roughness parameter, *Journal Of Material Processing Technology*, (2002) 123: 133-145.
- [30] Topal E.S., BSD tornalamada kesme kuvveti esaslı işleme hatasının incelenmesi ve bilgisayar desteğiyle düzeltilmesi, *Doktora Tezi*, Erciyes Üniversitesi, (2003).
- [31] Duran A., Acır A., HSS torna kalemindeki talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisi, *Politeknik Dergisi*, Cilt:7 Sayı:3 (2004) 211-215.
- [32] Sarwar M., Haider J., Development of advanced surface engineering technologies for the benefit of multipoint cutting tools, *Advanced Materials Research*, vol. 83-86, December, (2009) 1043-1050.
- [33] Rech J., Influence of cutting tool coatings on the tribological phenomena at the tool/chip interface in orthogonal dry turning, *Surface Coating Technolgy*, vol. 200, July, (2006) 5132-5139.
- [34] Dobrzanski L.A., Pakuła D., Kriz A., Sokovic M., Kopac J., Tribological properties of the PVD and CVD coatings deposited onto the nitride tool ceramics, *Journal of Materials Processing Technology*, vol.175, (2006) 179–185.
- [35] Canıyılmaz E., Kalite geliştirmede Taguchi metodu ve bir uygulama, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi (2001).
- [36] Şirvancı M., Kalite için deney tasarımı, Taguchi yaklaşımı, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, (1997).
- [37] Kayı Y., Plastik enjeksiyon prosesindeki parametrelerin çekme problemine etkilerinin Taguchi metodu ile incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya

- Üniversitesi, (2006).
- [38] Roy R.K., A primer on the Taguchi method, *Van Nostrand Reinhold*, New York, (1990) 1-28, 40-155, 211.
- [39] Ross P., Taguchi techniques for quality engineering, *McGraw-Hill, Inc.*, New York (1988).
- [40] Anagün A.S., Kalite kontrolde ileri teknikler ders notları, (2000).
- [41] Gopalsamy B. M., Mondal B., Ghosh S., Taguchi method and ANOVA: An approach for process parameters optimization of hard machining while machining hardened steel, *Journal of Scientific and Industrial Research*, Vol. 68, (2009) 686-695.
- [42] Ross P. J., Taguchi techniques for quality engineering, *McGraw-Hill Press*, New York, (1996).
- [43] Anthony J., Teaching the Taguchi method to industrial engineers, *Work Study*, (2001) 50-4, 141-149.
- [44] Şirvancı M., Kalite için deney tasarımı "Taguchi yaklaşımı", *Literatür Yayıncılık*, Milwaukee ABD, (1996) 112.
- [45] Kara F., Aslantaş K., Çiçek A., Ortogonal kesme işleminde kaplama malzemesinin talaş morfolojisi üzerinde etkisinin araştırılması, *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Kasım (2010).
- [46] Kayır Y., Aslan S., Aytürk A., AISI 316Ti paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesici uç etkisinin Taguchi yöntemi ile analizi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 28, No 2, (2013) 363-372.
- [47] Özer A., Bahçeci E., AISI 410 martensitik paslanmaz çeliklerin kesici takım ve kaplamasına bağlı işlenebilirliği, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 24, No 4, (2009) 693-698.
- [48] Tekaslan Ö., Gerger N., Şeker U., AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin farklı kesme parametreleri ile tornalama işleminden sonra oluşan kalıcı gerilmelerin araştırılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 24, No 3, (2009) 443-452.
- [49] Günay M., AISI 316L çeliğinin işlenmesinde takım radyüsü ve kesme parametrelerinin taguchi yöntemiyle optimizasyonu, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak.*

- Der.*, Cilt 28, No 3, (2013) 437-444.
- [50] Çiftçi İ., östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 20, No 2, (2005) 205-209.
- [51] Aydın M., Uçar M., Cengiz A., AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kuru tornalanabilmesine kesme parametrelerinin etkisi, 2. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, (2010).
- [52] Oyman E., Aslantaş K., Pazarkaya İ., Ortogonal kesme işleminde talaş morfolojisi ve kayma bandını etkileyen parametrelerin araştırılması, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 10, No: 2, (2013) 59-71.
- [53] Kayır Y., Aytürk A., AISI 316Ti paslanmaz çeliğin işlenebilirlik karakteristiklerinin incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* Cilt 18, Sayı 1, (2012) 61-71.
- [54] Korkut İ., Kasap M., Çiftçi İ., Şeker İ., Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel, *Materials and Design* 25 (2004) 303–305.
- [55] Altinkaya E., Güllü A., AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde talaş kırıcı formunun takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi, *Politeknik Dergisi*, Cilt 11, Sayı 1, (2008) 13-17.
- [56] Çiçek A., Kıvak T., Uygur İ., Ekici E., Turgut Y., Performance of cryogenically treated M35 HSS drills in drilling of austenitic stainless steels, *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (2012) 65-73.
- [57] Kıvak T., Çiçek A., Turgut Y., Uygur İ., Ekici, E., Paslanmaz çeliğin delinmesinde Nano kaplamaların kesme kuvveti, delik çapı ve takım ömrü üzerindeki etkileri, 6. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'11)*, Elazığ/Türkiye, Mayıs (2011).
- [58] Yeyen H.E., Korkut İ., Turgut Y., Çiftçi İ., AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye, Mayıs (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇETİN, Şerif
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 16.08.1984 / Tekirdağ
Telefon : 05425372039
Faks :
E-posta : ctnsrf@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. İmalat Mühendisliği A.B.D.	2016
Lisans	Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği	2015
Lisans	Abant İzzet Baysal Üniversitesi Düzce TEF Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği	2012
Lise	Muratlı Endüstri Meslek Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-Halen	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü	Makina Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce (ÜDS/KPDS/TOEFL :)

Yayınlar

A. Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler (SCI) :

A1. Çetin, Ç., Kıvak, T., “Optimization of machining parameters using the Taguchi

method in turning of 15-5 PH stainless steels”, Materials and Technology, Article in press, 2017.

B. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler :

- B1.** Kıvak, T., Çetin, Ş., “15-5 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesme kuvvetinin taguchi metodu ile optimizasyonu”, 5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 23-25 Ekim 2014, Bursa, Türkiye.

