



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL GRİ VE KÜRESEL GRAFİTLİ (SFERO) DÖKME DEMİRİN
FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜ, TAKIM AŞINMASI VE KESME SICAKLIĞINA ETKİSİ**

RAŞİT DÜZCE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. GÜRCAN SAMTAŞ**

DÜZCE, 2022

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL GRİ VE KÜRESEL GRAFİTLİ (SFERO) DÖKME
DEMİRİN FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ, TAKIM AŞINMASI VE KESME
SICAKLIĞINA ETKİSİ

Raşit Düzce tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Salih KORUCU

Gazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 21.01.2022

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.

21 Ocak 2022

Raşit DÜZCE

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenim hayatım boyunca, bilgilerini ve tecrübelerini sabırla bana aktarmaya çalışan, her konuyu en ince ayrıntısına kadar düşünüp planlayan ve çalışmamın başarı ile sonuçlanması için elinden geleni yapan danışman hocam Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ'a en içten duygularıyla minnet ve şükranlarımı sunar, teşekkürü bir borç bilirim.

Yapmış olduğum tezin farklı aşamalarında, Düzce Üniversitesi Makine İmalat Mühendisliği Bölümü'ndeki saygıdeğer hocalarıma vermiş oldukları destekler için teşekkür ederim.

İlk iş gününden, bugüne, ferdi olmaktan mutluluk duyduğum ve iş yoğunluğuna rağmen göstermiş oldukları iyi niyet ve anlayışları için; Birleşik Akrilik Sanayi ailesine ve yine aynı ortamda beraber çalıştığım mühendis arkadaşım Melih ARICI'ya şükranlarımı sunarım.

Son olarak, hayatım boyunca desteğini her zaman yanımda hissettiğim, sevgili aileme çok teşekkür ederim.

21 Ocak 2022

Raşit DÜZCE

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
SİMGELER	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. TAGUCHİ TEKNİĞİ	9
4. MATERYAL METHOD.....	13
4.1.DENEYSEL DETAYLAR	13
4.2.PÜRÜZLÜLÜK,AŞINMA VE SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ.....	15
5. GG25 İÇİN TAGUCHİ METODUNUN UYGULANMASI VE DENEYLER.....	16
5.1.DENEYSEL TASARIM VE DENEYLER.....	16
5.2.OPTİMUM PARAMETLERİN BELİRLENMESİ.....	23
5.3.KESME PARAMETRELERİNİN VARYANS ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	25
5.4.DOĞRULAMA DENEYLERİ VE TAGUCHİ TAHMİN DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI.....	27
6. GGG60 İÇİN TAGUCHİ METODUNUN UYGULANMASI VE DENEYLER.....	31
6.1.DENEYSEL TASARIM VE DENEYLER.....	31
6.2.OPTİMUM PARAMETLERİN BELİRLENMESİ.....	38
6.3.GGG60 İÇİN KESME PARAMETRELERİNİN VARYANS ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	40
6.4.DOĞRULAMA DENEYLERİ VE TAGUCHİ TAHMİN DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI.....	42

7. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	46
7.1.GG25 İÇİN İKİ BOYUTLU GRAFİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	46
7.2.GG60 İÇİN İKİ BOYUTLU GRAFİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ ..	49
7.3.GG25 İÇİN 3 BOYUTLU GRAFİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	52
7.3.1. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	52
7.3.2. Kesme Parametrelerinin Aşınmaya Etkisi.....	53
7.3.3. Kesme Parametrelerinin Sıcaklığa Etkisi.....	55
7.4.GG60 İÇİN 3 BOYUTLU GRAFİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	57
7.4.1. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	57
7.4.2. Kesme Parametrelerinin Aşınmaya Etkisi.....	59
7.4.3. Kesme Parametrelerinin Sıcaklığa Etkisi.....	60
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	63
9. KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	72

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.1. Delta Seiki CNC freze tezgahı.....	13
Şekil 4.2. Takım tutucu ve kesici uçlara ait detaylar.	15
Şekil 5.1. GG25 için aşınma optik mikroskop görüntüleri.	20
Şekil 5.2. GG25 için elde edilen termal görüntüler.	22
Şekil 5.3. a) Yüzey pürüzlülük değerleri b) S/N oranlarının etki grafikleri.	24
Şekil 5.4. a) Aşınma değerleri b) S/N oranlarının etki grafikleri.	24
Şekil 5.5. a) Sıcaklık değerleri b) S/N oranlarının etki grafikleri.....	25
Şekil 6.1. GGG60 için aşınma optik mikroskop görüntüleri.	35
Şekil 6.2. GGG60 için elde edilen termal görüntüler.	37
Şekil 6.3. a) Yüzey pürüzlülük değerleri b) S/N oranlarının etki grafikleri.	39
Şekil 6.4. a) Aşınma değerleri b) S/N oranlarının etki grafikleri	39
Şekil 6.5. a) Sıcaklık değerleri b) S/N oranlarının etki grafikleri.....	40
Şekil 7.1. Kesme hızının a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık üzerine etkisi.....	46
Şekil 7.2. İlerleme oranının a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık üzerine etkisi	47
Şekil 7.3. Kesici ucun a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık üzerine etkisi.....	48
Şekil 7.4. Kesme hızının a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma ve c) Sıcaklık üzerine etkisi..	49
Şekil 7.5. İlerleme oranının a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık üzerine etkisi	50
Şekil 7.6. Kesici ucun a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma b) Sıcaklık üzerine etkisi.....	51
Şekil 7.7. GG25 Yüzey pürüzlülüğüne a) Kesme hızı-kesici uç b) İlerleme oranı- kesici uç c) Kesme derinliği-Kesici uç d) İlerleme oranı-kesme hızı etkisi... 52	
Şekil 7.8. GG25 aşınmaya a) Kesme hızı-kesici uç b) İlerleme oranı-kesici uç c) Kesme derinliği-Kesici uç d) İlerleme oranı-kesme hızı etkisi.....	54
Şekil 7.9. GG25 sıcaklığa a) Kesme hızı-kesici uç b) İlerleme oranı-kesici uç c) Kesme derinliği-Kesici uç d) İlerleme oranı-kesme hızı etkisi.....	56
Şekil 7.10. GGG60 yüzey pürüzlülüğüne a) Kesme hızı-kesici uç b) İlerleme oranı- kesici uç c) Kesme derinliği-Kesici uç d) İlerleme oranı-kesme hızı etkisi... 58	
Şekil 7.11. GGG60 aşınmaya a) Kesme hızı-kesici uç b) İlerleme oranı-kesici uç c) Kesme derinliği-Kesici uç d) İlerleme oranı-kesme hızı etkisi.....	59
Şekil 7.12. GGG60 sıcaklığa a) Kesme hızı-kesici uç b) İlerleme oranı-kesici uç c) Kesme derinliği-Kesici uç d) İlerleme oranı-kesme hızı etkisi.....	61

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan tezgahın teknik özellikleri.	13
Çizelge 4.2. GG25 dökme demire ait bileşenler (Matweb).	14
Çizelge 4.3. GG25 dökme demire ait mekanik özellikler (Matweb).	14
Çizelge 4.4. GGG60 dökme demire ait bileşenler (Matweb).	14
Çizelge 4.5. GGG60 dökme demire ait mekanik özellikler (Matweb).	14
Çizelge 5.1. GG25 için kesme parametreleri ve seviyeler.	16
Çizelge 5.2. L27 ortogonal dizi ve deneysel kurulum.	17
Çizelge 5.3. Pürüzlülük için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.	18
Çizelge 5.4. Aşınma için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.	19
Çizelge 5.5. Sıcaklık için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.	21
Çizelge 5.6. Deneysel sonuçlar için S/N oranları (dB) ortalaması.	23
Çizelge 5.7. Kesme parametreleri için ANOVA sonuçları.	26
Çizelge 5.8. Optimize ve rastgele koşulların tahmin değerlerle karşılaştırılması.	30
Çizelge 6.1. GGG60 için kesme parametreleri ve seviyeler.	31
Çizelge 6.2. L27 ortogonal dizi ve deneysel kurulum.	32
Çizelge 6.3. Pürüzlülük için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.	33
Çizelge 6.4. Aşınma için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.	34
Çizelge 6.5. Sıcaklık için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.	36
Çizelge 6.6. Deneysel sonuçlar için S/N oranları (dB) ortalaması.	38
Çizelge 6.7. GGG60 kesme parametreleri için ANOVA sonuçları.	41
Çizelge 6.8. GGG60 için optimize ve rastgele koşulların tahmin değerlerle karşılaştırılması.	45

KISALTMALAR

AlTiN	Alüminyum Titanyum Nitrür
CNC	İşleme merkezi
KGDD	Küresel grafitli dökme demir
ÖKGDD	Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir
S/N	Sinyal gürültü oranı
SDD	Sfero dökme demir
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrür
TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	Titanyum Nitrür-Titanyum Karbon Nitrür-Alüminyum Oksit



SİMGELER

a	Kesme derinliği
ANOVA	Varyans analizi
f	İlerleme oranı
GG25R _{ap}	GG25 için yüzey pürüzlülüğü tahmin değeri
GG25W _f p	GG25 için takım aşınması tahmin değeri
GG25T _p	GG25 için sıcaklık için Taguchi tahmin değeri
GGG60R _{ap}	GGG60 için yüzey pürüzlülüğü tahmin değeri
GGG60W _f p	GGG60 için takım aşınması tahmin değeri
GGG60T _p	GGG60 için sıcaklık için Taguchi tahmin değeri
Kt	Kesici uç
mm	Milimetre
m/dak	Metre/dakika
η_{gRa}	Yüzey pürüzlülüğü optimum seviyeleri için S/N oranı
η_{gT}	Sıcaklık optimum seviyeler için S/N oranı
η_{gWf}	Kesici uç aşınması optimum seviyeler için S/N oranı
Ra	Yüzey pürüzlülüğü
T	Sıcaklık
V	Kesme hızı
Wf	Yan yüzey aşınması
°C	Santigrat derece

ÖZET

ENDÜSTRİYEL GRİ VE KÜRESEL GRAFİTLİ (SFERO) DÖKME DEMİRİN FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ, TAKIM AŞINMASI VE KESME SICAKLIĞINA ETKİSİ

Raşit DÜZCE

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ

Ocak 2022, 71 sayfa

Dökme demirler, sertlik, aşınma direnci, işlenebilirlik, korozyon direnci ve mukavemet gibi mekanik özelliklerinin yanı sıra kolay üretilebilir ve ekonomiktirler. Bundan ötürü yaygın olarak kullanılan mühendislik malzemeleridir. Dökme demirlerin işlenebilirliği, dökümün tipine ve mikro yapısına bağlıdır. Bu çalışmada GG25 (gri dökme demir) ve GGG60 (küresel grafitli dökme demir) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, kesici uç aşınması ve kesme sıcaklığı üzerine etkileri araştırılmıştır. Kullanılan malzemeler için özel olarak dökülmüş deney numuneleri kullanılmıştır. GG25 için üç farklı kaplamaya sahip kesici uç (TiALN, TiN-TiCN-AL₂O₃ ve ALTiN kaplamalı), üç farklı kesme hızı (150, 200 ve 250 m/dak), üç farklı ilerleme oranı (0,10, 0,25 ve 0,35 mm/diş) ve üç farklı kesme derinliği (0,5, 1 ve 1,5 mm) kullanılmıştır. GGG60 için üç farklı kaplamaya sahip kesici uç (TiALN, TiN-TiCN-AL₂O₃ ve ALTiN kaplamalı), üç farklı kesme hızı (175, 225 ve 300 m/dak), üç farklı ilerleme oranı (0,10, 0,20 ve 0,30 mm/diş) ve üç farklı kesme derinliği (0,5, 1 ve 1,5 mm) kullanılmıştır. Deneysel tasarım ve optimizasyon için Taguchi metodu kullanılmıştır. Her iki malzeme için deneysel tasarımda Taguchi L27 (3⁴) ortogonal dizi kullanılmıştır. Her iki malzeme için her bir deney sonrası malzeme yüzeyinden iki adet pürüzlülük ölçümü yapılmış bu tezde bu iki ölçümün ortalaması kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar Taguchi metodu kullanılarak optimize edilmiş, optimizasyon sonrası optimize parametreler ile her bir sonuç için üç adet doğrulama deneyi yapılmıştır. Doğrulama deney sonuçları ortalaması ile hesaplanan Taguchi tahmin değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda hatalar çok küçük çıkmış ve sonuçlar göstermiştir ki Taguchi metodu bu çalışmaya başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Ayrıca her iki malzeme için deneysel sonuçlar varyans analizi, iki boyutlu grafikler ve üç boyutlu grafiklerle değerlendirilmiş, kesme parametrelerinin deneysel sonuçlara etkileri araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Dökme demirler, Kesme sıcaklığı, Optimizasyon, Taguchi, Yüzey pürüzlülüğü.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF CUTTING PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS, TOOL WEAR AND CUTTING TEMPERATURE IN THE MILLING OF INDUSTRIAL GRAY AND SPHEROIDAL GRAPHITE CAST IRON

Raşit DÜZCE

Düzce University

Institute of Graduate Education, Department of Manufacturing Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gürcan SAMTAŞ

January 2022, 71 pages

In addition to their properties such as hardness, wear resistance, machinability, corrosion resistance and strength, cast irons are also easily manufacturable and economical. For this reason, they are prevalently used engineering materials. The machinability of cast irons is dependent on the type of cast and its microstructure. This study investigated the effects of cutting parameters on surface roughness, tool wear and cutting temperature in GG25 (gray cast iron) and GGG60 (spheroidal graphite cast iron). Experimental samples that were cast specifically for these materials were used. For GG25, cutting bits with three different coatings (TiALN, TiN-TiCN-AL₂O₃ and ALTiN coatings), three different cutting speeds (150, 200 and 250 m/min), three different feed rates (0.10, 0.25 and 0.35 mm/tooth) and three different depths of cut (0.5, 1 and 1.5 mm) were used. For GGG60, cutting bits with three different coatings (TiALN, TiN-TiCN-AL₂O₃ and ALTiN coatings), three different cutting speeds (175, 225 and 300 m/min), three different feed rates (0.10, 0.20 and 0.30 mm/tooth) and three different depths of cut (0.5, 1 and 1.5 mm) were used. The Taguchi method was utilized for experimental design and optimization. For both materials, the Taguchi L27 (3⁴) orthogonal array was used in the experimental design. After each experiment, two roughness measurements were made on the material's surface, and the average of these two measurements was used for the analysis for each material. The experimental results were optimized using the Taguchi method, and three confirmation experiments were conducted for each result that was obtained using the optimized parameters. The mean values of the results of the confirmation experiments and the calculated Taguchi prediction values were compared. The error terms that were found as a result of this comparison were very small, and the results revealed that the Taguchi method was successfully implemented in this study. Moreover, the experimental results for both materials were analyzed using analysis of variance, two-dimensional plots and three-dimensional plots, and the effects of the cutting parameters on the experimental results were evaluated.

Keywords: Cast irons, Cutting temperature, Optimization, Surface roughness, Taguchi.

1. GİRİŞ

Dökme demirler, sertlik, aşınma direnci, işlenebilirlik, korozyon direnci ve mukavemet gibi mekanik özelliklerinin yanı sıra daha kolay üretilebilir ve ekonomik olmalarından ötürü yaygın olarak kullanılan mühendislik malzemeleridir [1]. Döküm tipi ve mikro yapısı, dökme demirlerin işlenebilirliği ile bağlantılıdır. Ferritik dökümün işlenebilirliği diğer dökme demirlere oranla daha kolay iken, beyaz dökme demirin ise daha zordur. Küresel grafitli dökme demir (KGDD), Vermüküler grafitli dökme demir, alaşımlı ve temper dökme demirlerin işlenebilirlikleri ise beyaz ve ferritik döküm arasındadır [2]. Kesici uçta oluşan deformasyonlar; işlenecek olan parçada olumsuz yüzey kalitesi oluşturmaktadır. Ayrıca kesici uçta oluşan deformasyonların meydana getirdiği problemlerden bir diğeri ise takımı daha fazla yıpratarak kullanım ömrünü azaltmasıdır. Takımda meydana gelen kesme kuvveti ise bu durumu etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesidir. Kesici uç ömrünün azalması, kesici uç maliyetini ve bununla birlete üretim maliyetini etkileyen etkenlerden biridir. Bu sebepten dolayı; takım ömrünü etki eden parametrelerin bilinmesi ve bu parametreleri kontrol altına tutabilecek yöntemlerin belirlenmesi, kesici takım ömrünün uzaması ve ayrıca kesici takım değiştirme zamanı önemli faktörler arasındadır [3]. Dökme demirlerin daha kolay ergitilebilmesi ve çoğunlukla son boyutlarda imalatı sağlanabilen karmaşık şekillerde dökülebilmesi bakımından tercih edilen alaşımlardır. Dökme demirler gevrek ve çeliklere oranla daha düşük mukavemet özelliği göstermelerine karşılık daha ucuzdurlar. Ayrıca, uygun alaşımlandırma, kaliteli bir döküm kontrolü ve uygun ısı işlemleriyle bütün dökme demirlerin özelliklerini çok geniş bir aralıkta değiştirilebilmektedir [1]. Dökme demir üretimindeki ilk gelişme aşılama işleminde başarı elde edilerek gri dökme demirin üretimi olmuştur. Bundan sonraki zamanlarda gri dökme demirleri seryum ve magnezyum ilavesi yapılarak gri dökme demirlere oranla iki kat daha mukavemetli küresel grafitli dökme demir elde edilmiştir. Günümüzde gri ve küresel grafitli dökme demirler motor silindirleri, döküm kalıpları alüminyum ve kurşun ergitme potaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır [1].

Bu çalışmada iki farklı türden seçilmiş dökme demirlerin GGG60 ve GG25'in farklı kesme parametrelerinde taguchi deneysel tasarım ile yüzey frezeleme işlemi uygulanmış

ve uygulanan bu frezeleme işleminde kesici uç aşınmaları, yüzey pürüzlülüğü ve kesme bölgesi sıcaklık faktörünün etkileri incelenmiştir. Yapılan yüzey frezeleme işleminde özel olarak yaptırılmış Takım tutucu kullanılmıştır. Çalışmada Taguchi metodu kullanılarak kesme parametreleri optimize edilmiş, Taguchi tahmin değerleri hesaplanmış ve bu değerler hata yönünden karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar varyans analizi iki boyutlu ve üç boyutlu grafiklerle değerlendirilmiştir. Literatür taraması sonucunda GG25 ve GGG60 dökme demirler ile ilgili Taguchi metodu kullanılarak, yüzey pürüzlülüğünün, kesici uç aşınması ve kesme sıcaklığı bir arada incelenmiş bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatür taraması ve bu malzemelerin endüstriyel açıdan yaygın bir şekilde kullanılması dikkate alındığında bu tez çalışması özgün bir değer taşımaktadır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Bir malzemenin ileri mekanik özellikleri barındırması, o malzemeyi diğer malzemelerden farklı kılan özelliklerden bir tanesidir. Bununla beraber, malzemelerin işlenebilirlikleri de mekanik özellikleri kadar önem arz etmektedir. Malzemelerin talaşlı imalat kabiliyetinin iyi olması, imalat esnasında maliyeti düşüreceğinden önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. İşlenebilirliğin iyileştirilmesi maliyeti en aza indireceğinden dolayı literatürde bu konu ile ilgili değişik çalışmalar mevcuttur. İmalat sanayinde kullanılan kesici takımların verimliliği takımın kullanma süresinin uygun seçilmesiyle ölçülür. Takımın kullanma ömrü; kesme hızına, kesme sıcaklığına, işlenen malzemenin cinsine, ilerleme miktarına, talaş derinliğine ve işlemin kuru veya soğutma sıvısı kullanılıp kullanılmaması gibi kesme şartlarına bağlıdır. Bu konuda yapılan araştırmaların çoğu bahsedilen hususların takım aşınması üzerine etkisi olarak araştırılmıştır. 1999'da çelik, pirinç ve dökme demir üzerinde yapılan bir çalışmada, tornalamada sıcaklık ve gerilim farklarının kalem ömrüne olan etkisi ile ilgili bir araştırma yapılmış ve araştırmada her malzeme için takım ömrü, gerilim farkı arasında ilişki kurulduğu görülmüştür [4]. Yapılan çalışmalarda kesme işlemi esnasında ortaya çıkan deneysel sonuçlar talaşlı imalat şartlarının ve kesme parametrelerinin etkisinden dolayı herhangi bir tahminde bulunmak zordur. Fakat oluşabilecek olumsuz durumların önceden öngörülmesi işleme maliyetlerinin daha aza indirilmesinde önemli bir rol oynayacaktır. İşleme maliyetlerini azaltmak için daha önceden yapılmış deneysel çalışmaların işleme parametrelerini baz alarak çıkacak sonuçların önceden tespitinin yapılabilmesine yönelik çok fazla çalışma yapılmıştır ve buna benzer çalışmalar literatürde vardır. Mundada vd, deneylerden elde ettikleri yüzey pürüzlülüğü değerlerinin matematisel modelini çıkarmışlardır. Deney verileri ile matematiksel model verileri karşılaştırıldığında matematiksel modelden elde edilen veriler deney sonuçlarına çok yakın çıkmıştır [5]. Diğer bir çalışmada kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplar kullanılarak delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kesme bölgesi sıcaklığı ve kesme kuvvetleri ölçülmüş, bu değerleri tahmin etmek içinde yapay sinir ağları kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada elde edilen veriler değerlendirildiğinde tahmini matkap ucu sıcaklığı ve kesme kuvvetleri sonuçlarının deneysel sonuçlarla kabul edilebilir parametreler içerisinde olduğunu çıkmıştır [6]. Parmar vd., yaptıkları frezeme çalışmasında uygun kesme parametreleri kullanarak talaş

kaldırma oranı, kesme kuvvetlerini ölçmüşler ve takım ömrünü belirlemişlerdir. Elde edilen deneysel sonuçlar yapay sinir ağı kullanılarak modellenmiştir [7]. Vermiküler grafitli dökme demirler, gri dökme demir ve sfero dökme demirlerin mükemmel özelliklerine sahiptir. Vermiküler grafitli dökme demirlerin çekme mukavemeti gri ve küresel grafitli dökme demir arasındadır ve döküm özellikleri küresel grafitli dökme demirinkinden daha yüksektir [8]. Bu özelliklerinden ötürü vermiküler grafitli dökme demir, yüksek derecede oluşma eğilimine sahip, otomobil sanayisinde tercih edilen bir malzemedir [9], [10].

Dökme demir çeşitlerinin işlenebilirlikleri yapıları ve sertlikleriyle belirlenmektedir. Dökme demirlerdeki grafit partikülleri, bu malzemelere kolay işlenebilirlik iyi talaşlı imalat özellikleri kazandırmaktadır [11].

Küresel grafitli dökme demir (KGDD) ve Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir (ÖKGDD)'lere eklenen alaşım elementleri bu malzemelerin; mikro yapı, mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkileri bulunmaktadır [12], [13]. KGDD'lerin diğer dökme demir çeşitleri ile kıyaslandığında daha iyi bir dayanım, süneklik, tokluk ve iyi bir talaşlı imalat kabiliyetine sahiptir. KGDD'lerin bu yüksek özellikleri ısıtma işlemi tabii tutulmasıyla birlikte daha da iyileştirilip üstün hale getirilebilmektedir [14]. Diğer dökme demir türleri ile kıyaslandığında, KGDD'lerin ileri süneklik, çekme dayanımı ve tokluğunun yanı sıra işlenebilirlik özelliği nispeten daha düşüktür. Bunun yanı sıra; bir çelik malzemelerinin yerine KGDD tercih edildiğinde daha iyi bir talaşlı imalat özelliğine sahip olduğu bilinmektedir [15]. Farklı dökme demir türlerine oranla daha üstün mekanik özellikler sergileyen KGDD'lerin işlenebilirlik özellikleri incelendiğinde diğer dökme demirlere oranla işlenebilirlik özelliklerinin daha az olduğu bilinmektedir [16].

Diğer bir çalışmada KGDD ve ÖKGDD'lerin talaşlı imalatında, düşük östemperleme sıcaklığının, kesme kuvvetlerinin değerini arttırırken yüzey pürüzlülüğünü düşürdüğü, kesme hızının arttırılması ile kesme bölgesinde oluşan titreşimi azalttığı belirtilmiştir [17], [18]. Literatürde ayrıca ÖKGDD'nin abrasif aşınma davranışına, östemperleme işleminde soğutmanın etkisi ve östemperleme sıcaklığının, süresinin işlenebilirlik üzerindeki etkisini inceleyen, farklı çalışmalarında olduğu görülmektedir [19], [20]. KGDD'nin korozyon direncini inceleyen farklı çalışmalarda rastlanmaktadır [21]. Diğer bir çalışmada ÖKGDD'den üretilmiş dişli çarkların frezelenmesi işleminde, yüksek hız çeliğinden üretilmiş kesici takım kullanılarak, iş parçası malzeme yapısını takım aşınması ve yüzeyi pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmıştır. Kaplamalı olarak kullanılan kesici

takım üzerinde oluşan aşınma, belirli oranda kaplamalı kesici takıma göre daha fazla çıkmıştır. Bu aşınmanın nedeni ise, kesme kenarında biriken talaş miktarının, takım aşınmasını doğrudan etkilediği vurgulanmıştır [22]. Literatürde KGDD'nin talaşlı imalatında, kesici takım uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğünün üzerine etkisini inceleyen çalışmalar da bulunmaktadır [23]. Dökme demirlerin yüksek devirlerde frezelenmesi işleminde, seramik kesici takım ve kesici takım geometrisinin işlenebilirlik kabiliyeti incelenmiş, kesici takım üzerinde oluşan aşınmalar gözlemlenmiştir [24]. Moncada vd. [25], östemperlenmiş dökme demirlerin tornalanması işleminde talaşlı imalat kabiliyetini etkileyen kesme parametreleri değerlendirilmiştir. Dökme demir işleme esnasında ortaya çıkan aşınma tipleri abreziv, adeziv ve difüzyon aşınmalarıdır. Difüzyon aşınması yüksek sıcaklık ile bağlantılı olup özellikle ileri mukavemetli dökme demir kalitelerinde gözlemlenir [26].

Çağımız imalat sektöründeki yoğun rekabet şartları, birçok alanda kullanıma sahip KGDD'yi yüksek kalitede üretmek ve daha uygun maliyetlerle üretimini gerçekleştirmek imalat sektörünün ortak amacıdır. KGDD'lerin, gri ve temper dökme demirlere oranla iyi olmayan işlenebilirlik kabiliyetleri günümüz çelikleri ile kıyaslandığında daha iyi performansa sahip olduğu söylenebilir [27].

Gri dökme demirde işlenmiş yüzeyler, otomotiv bileşenlerinin ve makine parçalarının çalışma yüzeyleri olacaktır ve bu yüzeylerin özellikleri, bileşen performansını önemli ölçüde etkileyebilir. İşleme operasyonları önemli mekanik ve termal stresler içerir, bu nedenle işleme sonunda iş parçası yüzeyi çekirdeğinden çok farklı özelliklere sahip olabilir. Bu tür bir çalışmaya yüzey bütünlüğü denir ve Bellows vd. tarafından gözden geçirilmiştir [28]. Yorulma arızasını önlemek isteyen yüksek mukavemetli alaşımlar için. İşleme sonrası doku ve artık gerilmeler üzerine çalışmalar Jawahir ve diğerleri tarafından yapılmıştır [29] ve Navas vd. [30]. Dökme demirde klasik bir örnek, içten yanmalı motorlar için silindir bloklarının honlanmasıyla ilgilidir. Bu durumda amaç, honlama işlemi tarafından oluşturulan bir kanallar ağı ve yağlayıcı tutucular olarak işlev gören küçük gözeneklerin düzgün dağılımını içeren aşınmaya dirençli bir yüzey elde etmek ve pistonun hareketi sırasında sabit bir yağlama yağı bulunmasını sağlamaktır. Küçük gözeneklerin bu dağılımı, yüzey ile temas halinde olan grafit parçacıklarının kırılması ve uzaklaştırılmasıyla sağlanır. Ayrıca honlama işlemi, kırılan grafitin bıraktığı gözenekleri kapatabilecek delaminasyona neden olabilecek yüzey deformasyonunu önlemek için yapılır. Malzeme açısından bakıldığında, grafit parçacıkları ince bölünmüş (küçük ve iyi

dağılmış gözenekler sağlamak için) perlitik bir gri demirdir (yüksek aşınma direnci sağlamak ve honlamadadelaminasyon oluşumunu engellemek için). Bu, istenen yüzey özelliklerini oluşturmak için işleme operasyonunun planlandığı bir örnektir. Bununla birlikte, birçok durumda ortaya çıkan yüzey özellikleri amaçtan çok farklıdır. Tornalama işleminde, Marwanga ve vd. [31], işleme sırasında dökme demirlerin mikro yapısındaki değişiklikleri tanımladı. Sfero dökme demirlerde, kesmenin önündeki ve altındaki grafit yumruları şiddetli deformasyona uğrar ve tercihen kesme yönünde uzar. Yüzey grafit nodülleri, mikro ekstrüzyon işlemlerine tabi tutulur ve işleme sırasında “dışarı çıkar”. Matris yapısındaki ferrit içeriği ne kadar yüksek olursa, grafit nodüllerinin plastik deformasyonu ve uzaması o kadar fazla olur. Gri demirde işleme özellikleri temelde farklıdır: çok az plastik deformasyon gözlenir ve lamel grafit yapısıyla ilişkili kırılma olayları baskındır [32]. Gri dökme demirin İşlenmiş yüzeylerinde ve yüzeyin altındaki matris üzerinde yapılan gözlemler, gri dökme demirin dönmesini içeren yoğun plastik deformasyonun altını çizdi, bu da perlitin katmanlı sementitinin kırılmasına, manganez sülfür parçacıklarının deformasyonuna, grafit parçacıklarının incelmesine neden oldu. İşlenmiş yüzeyde, perlitik matrisin plastik deformasyonu tarafından kısmen bloke edilen, grafit pullarının ve çevreleyen matrisin kırılmasından kaynaklanan mikro gözeneklerin varlığı gösterildi. Şiddetli plastik deformasyon, işlenmiş yüzeyde malzeme yapışmaları ile yine de katmanlara ayrılmaya neden olur. Bu yüzey özellikleri iş parçasında kalır ve hizmetteki performanslarını etkileyebilir, bu nedenle finiş işleme operasyonları ihtiyacına ilişkin karar sadece istenen yüzey kalitesine göre değil, aynı zamanda yakın ve yakındaki mikro yapı üzerinde de dikkate alınmalıdır [32].

7075 alüminyum alaşımının frezelenmesinde, Taguchi tekniği kullanılarak belirlenen farklı değerlerdeki kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde 60x60x30 mm AA 7075 alüminyum alaşımı ve kesici takım malzemesi olarak $\phi 14$ mm çapında 90° derece giriş açılı ve 0,8 mm uç yarıçaplı kaplamasız sementit karbür parmak freze kullanılmıştır. Deney parametreleri için kesme derinlikleri 1.0–1.25–1.75 mm ölçülerinde, kesme hızları 100–200–300 m/dak, ilerleme hızları 150–675–1200 mm/dak ölçülerinde sabitlenmiştir. Araştırmada ulaşılan stratejiler; Taguchi tekniğinin L27 orthogonal deney planı uygulanmış, elde edilen deney sonuçlar, sinyal gürültü oranı(S/N) ve varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Alüminyum alaşımının frezelenmesi işleminde Taguchi tekniği ile belirlenen farklı kesme parametreleri ve işleme desenlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri

incelenmiştir. Yüksek kesme hızlarında minimum yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. Düşük ilerleme hızları ve talaş derinliği değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün azaldığı sonucuna varılmıştır. İşleme desenlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelendiğinde spiral işleme deseni ile paralel işleme desenlerinde yüzey pürüzlülüğü için minimum değerler elde edilirken tek yönlü işleme deseninde yüzey pürüzlülüğü için maksimum değerler elde edilmiştir [33].

AA 2024 alüminyum alaşımının DLC kaplanmış (sert kaplama) matkaplarla delinmesi işlemi esnasında, Taguchi tekniği ile belirlenen farklı kesme parametrelerinin ve matkap çapındaki değişimin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları sinyal gürültü oranı (S/N) ve varyans analizi ile incelenmiştir. Farklı değerlerdeki kesme parametrelerine Taguchiteknikinin uygulanması ile en düşük yüzey pürüzlülüğü sonuçları elde edilerek Taguchi optimizasyonunun deneylerde başarıyla uygulandığı tespit edilmiştir [34].

Frezeleme işlemlerinde Taguchi tekniği kullanılarak belirlenen farklı kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmış ve yüzey pürüzlülüğü hassasiyetini elde edecek optimum kesme parametreleri tespit edilmiştir. Deneylerde Taguchi deney tasarımı ile Taguchi L18 orthogonal dizi kullanılmıştır. Deney sonuçları değerlendirilirken minimum yüzey pürüzlülüğü değerleri için optimum deney parametrelerine ulaşılmıştır [35].

TiALN kaplamalı ve kaplamasız matkaplar ile delik delme uygulamaları incelenerek Taguchi tekniği ile belirlenen farklı kesme parametrelerinin ölçü tamlığı ve geometrik sapmalar (çaptan sapma, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma) incelenmiş ve optimum parametreler elde edilmiştir. Deneyler, Taguchi L9 orthogonal (dik) dizi seçilerek yürütülmüş ve deney sonuçları incelenmiştir. Elde edilen bulgular; Taguchi tekniği kullanılarak belirlenen kesme parametrelerinde TiALN kaplamalı matkap uçlarının HSS matkap uçlarına göre performanslarının daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca her iki matkap ucu ile yapılan deneysel çalışmaların değerlendirilmesinde Taguchi tekniğinin uygulanması sonucu en verimli kesme parametreleri elde edilmiştir [36].

ÖKGDD olan GGG 40 malzemenin tornalanmasında, Taguchi metodu kullanılarak kesme parametrelerinin optimizasyonunu yapılmıştır. Yapılan varyans analizi ile yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini etkileyen en etkili faktör ilerleme oranı çıkmıştır [37]. Korkut vd. Kaplamalı karbür kesici takımlar ile GG70'in tornalanmasında minimum

yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerini incelemişlerdir.[38]. Literatürde ayrıca GGG 70 malzemenin işlenmesi esnasında farklı tip soğutma sıvısı kullanımına yönelik çalışmalar da bulunmaktadır. GGG70'in tornalama [39] ve frezeleme [40] işlemlerinde nano MoS₂ katkılı minimum miktarda yağlama tekniğini kullanan çalışmalarda yüzey pürüzlülüğünün kuru işleme şartlarına göre önemli derecede iyileştiği belirtilmiştir. 6013 alüminyum alaşımının frezelenmesinde yüzey kalitesini etkileyen farklı işleme parametrelerinin optimizasyonunu incelemiştir. Çalışmada; Alüminyum alaşımlı malzemenin frezelenmesinde Taguchi tekniği ile belirlenen farklı kesme parametrelerinin minimum yüzey pürüzlülüğü değerleri elde etmek için Taguchi optimizasyonu uygulanarak kesme parametrelerinin optimum deney şartlarına ulaşılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızları ile ters orantılı olarak değişme gösterdiği ancak ilerleme hızları ve talaş derinliği parametreleri ile doğru orantılı olarak değişme gösterdiği tespit edilmiştir [41].

AA 5083–H111 alüminyum alaşımının kaplanmış ve kaplanmamış kesici takımlar ile frezelenmesinde Taguchi yöntemi kullanılarak kesme parametrelerinin optimizasyonunu incelemiştir. Bu çalışmada yüzey frezeleme işlemi uygulanmış, deneylerde ise Taguchi tekniğinin L18 orthogonal dizisi kullanılmıştır. Çalışmada bulunan yöntemler; Taguchi tekniği ile kısa zamanda çok deney yapılarak en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir [42].

Literatür taraması sonuçlarına göre, incelemiş olduğumuz çalışmalarda GG25 ve GGG60 endüstriyel gri ve küresel grafitli (Sfero) dökme demirin frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme sıcaklığına etkisi araştırılmış ancak bu konuda bütün parametreleri kapsayan genel bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yüzden özgün olan bu konu üzerine çalışmalar yapılmış ve literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

3. TAGUCHİ TEKNIĞİ

Fisher tarafından ortaya atılan Taguchi tekniğı sanayi sektöründe üretimi yapılan ürünlerin kalitesini geliştirmeye odaklanan deneysel tasarım metotları üzerinde durmuştur. Taguchi tekniğinin, endüstriyel imalatlardaki amacı müşteriye sunulan ürünün kalite memnuniyetinin en üst düzeyde gerçekleştirilmesidir. Taguchi bu amaçla endüstriyel ürünlerde müşteri memnuniyetini belirleyen alt ve üst kalite kriterleri belirlemiştir. Ancak endüstriyel imalatlarda hedef olarak müşteri memnuniyetini belirleyen bu alt ve üst kalite kriterlerinin üretimin sürekliliğinde istenmeyen sonuçlara sebep olduğu tespit edilmiştir. Sanayi sektöründe üretilen ürünlerin kalite maliyetleri; alt ve üst kalite kriterlerini taşımayan hatalı ürünlerin sayısı ile yeniden işleme veya hurda ürünlerin maliyetlerine göre hesaplanmaktadır. Taguchi tekniğı bu kalite maliyetlerinden farklı olarak endüstriyel imalatlarda ürünün kalitesinin topluma olan maliyetini daha önemli bulmaktadır. Kalitenin amacı imalat endüstrisinde değerlendirildiğinde özel bir anlam taşımaktadır. Avrupalı ve Amerikalı imalatçılar müşteriye giden ürünün kalite kriterlerini ortaya koymak amacıyla uzun zamandır gerçekleştirdikleri üretimlerde ürünlerin alt ve üst kalite kriterlerini belirleyen tolerans değerlerini uygulamışlardır. Bu uygulama, üretim sürecinde üretilen ürünlerin özellikleri belirlenen tolerans değerleri içerisinde ise kalite standartlarına göre kabul edilebilir olmasını sağlamıştır. Taguchi'nin kalite ile ilgili değerlendirmesi, Avrupa ve Amerika gibi devletlerin kalite yaklaşımlarından çok daha fazla değişiklikler göstermektedir. Taguchi metoduna uygun olarak Japonlar daha tasarım aşamasında iken ürün üzerinde çalışarak, bu tasarımı minimum kayıpla yapmanın ve üretiminin maliyetlerini düşürmenin en uygun olanını yapmaktadır. Bunun sonucunda üretilen ürünün kalite kriterleri belirlenerek tasarım esnasında müşteri memnuniyetine ulaşılmaktadır. Ayrıca uzun süreli işlemler boyunca daha az zaman kayıpları da böylece sağlanmış olacaktır. Taguchi felsefesi; satışa sunulan ürünün veya satış sonrası hizmetin gerçekleşmesi sürecinde ortaya konulan yüksek kalite müşteri memnuniyeti için çok büyük önem taşımakta ve işletme için de hayati bir önem göstermektedir. Ayrıca doğru analiz ve tasarım aşamasından sonra yapılan ön imalat deneyimlerinin ürünün kalite iyileştirme çalışmalarına çok önemli katkılar sağladığı gerçeğı kabul edilmektedir. Ön imalat deneyimleri; uzun yıllardır sanayi sektöründeki ürünlerin kalite geliştirme çalışmalarında uygulanan, günümüzde de

geçerliliğini sürdürmekte olan müşteriye sunulan ürünlerde yalnızca bir kalite kriteri üzerine yoğunlaşarak kaliteyi artırma çalışmalarıdır. Ön imalat deneyimlerinin uygulanması ile birlikte endüstriyel üretimde sadece bir kriteri değişen ürünün analizi yapılabilmektedir. Bu uygulama, hedef olarak müşteri memnuniyetini en üst düzeyde sağlama gerçekliğinden uzak kalmakla birlikte yüksek kalite maliyeti getirmektedir. İstatistiksel deney tasarım metodunun sahip olduğu Taguchi tekniğinin potansiyelinin farkına ilk önce Japonlar varmışlardır. Taguchi felsefesinin tamamı ön imalat deneyimleri ile farklılık göstermektedir. Taguchi tekniği birçok kriterde aynı zamanda meydana gelen değişimleri sistematik bir yöntem ile incelemektedir. İmalat sanayinde, ürün ve ürünün üretim süreçleri üzerine yapılan mühendislik çalışmalarındaki yeni gelişmeler kalite kontrol yöntemleri olarak uygulamaya konulmaktadır. Ancak sanayide Taguchi tekniği imalatın bir adım daha gerisine giderek doğru analiz ve dizayn aşamasında üretimin kalite kriterleri ile çevre koşulları üzerinde değişik çalışmalar gerçekleştirmekte ve bunların etkilerini incelemektedir. Taguchi tekniğinin dayandığı temel ilkeleri beş ana başlıkta sıralayabiliriz;

1. Dünya pazarındaki rekabetçi piyasa koşullarından dolayı sürekli kalite iyileştirme ve maliyet azaltma çalışmaları işletmenin devamlılığı için zorunludur.
2. Üretimde kalitenin önemini ve sürekliliğini sağlayan hususlardan biride imalatı yapılan ürünün toplum üzerindeki toplam kalite kayıplarıdır.
3. Ön imalatın doğru analiz ve dizayn aşamasındaki deneysel sürecini değiştirerek tek seferde sadece bir adet kriter üzerine yoğunlaşarak kaliteyi artırma çalışmaları yerine birden fazla kriterde aynı esnada oluşan değişimleri sistematik bir yöntem ile inceleyerek birçok faktörün incelenmesi gerektiğini savunmaktadır.
4. İmalat endüstrisinde piyasaya sunulan ürünlerde kalite kriterlerinden ve üretim hedeflerindeki sapmalardan kaynaklanan problemler müşteri kayıplarına sebep olmaktadır. Taguchi kalite ile ilgili tüm amaçları ve kalite tanımlarını yeniden düzenleyerek istenilen şartlara uygunluk yaklaşımı yerine hedefi yakalama ve müşteri şikayetlerini minimize etme görüşünü savunmaktadır.
5. Piyasaya sunulan ürün ve hizmetin kalitesindeki değişkenlikler, kalite kriterleri üzerinde etkili olan imalat sonrası müşteri şikayetlerinden gelen kalite problemlerinin çözülmesi ile önlenilmektedir. Kalite problemlerinin çözülmemesi durumu düşük kaliteyi de ortaya çıkarmaktadır.

Taguchi tekniğinin amacı; üretim sürecinde ürünün kalite kriterleri ile ilgili hedeflerinin ve ürünün kalite hedefini etkileyecek olan sapmaların belirlenmesi, ürün tasarımında ve üretim sürecinde etkili olan kontrol edilebilir unsurların ve bunların seviyelerinin tanımlanması gerektiğidir. Bu unsurların seviyelerinin en uygun değerlerde olması ayrıca üretim sürecinde çevresel şartlarında göze alınması ile imalatla aynı özellikleri taşıyan ürünlerin üretilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca Taguchi tekniği ürünlerde müşterilerden gelen kalite şikâyetlerini kaldırmak yerine kalite şikâyetlerine sebep olan kalite problemlerinin düzeltilmesi üzerinde çalışarak üründe yüksek kaliteye ulaşmayı hedeflemektedir [43].

Ürün veya proses tasarımı yüksek bir S/N oranında dengeliyse her zaman optimum kaliteyi ve minimum değişimi verir. S/N oranı kullanılarak yapılan analizlerin avantajları şöyle sıralanabilir; 1. Hedef çerçevesinde minimum değişime giden ve hedefe ortalama olarak en yakın değeri gösteren seviyelerin, en iyi sonuçların kullanılmasına yardımcı olur. 2. Hedef çerçevesindeki değişim ve hedef değerden ortalamanın sapmasına dayanan iki set deneysel datanın bağımsız olarak kıyaslanmasını sağlar [44]. En düşük en iyi olduğu durumda daima alt sınırın olması istenir. Bu duruma örnek olarak, talaş kaldırma işlemlerinde yüzey pürüzlülük değeri verilebilir. Yüzey pürüzlülüğü ne kadar küçük ise hedefe o kadar yaklaşılmış olur. Bu durum için sinyal/gürültü oranı denklem (3.1)'de belirtildiği gibi tanımlanır;

$$\eta = S/N_S = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (3.1)$$

En yüksek en iyi olduğu durumda y'nin hedef değerinin bir üst sınırı yoktur. Değer büyüdükçe verimlilikte artacaktır. Buna örnek olarak malzemelerin dayanıklılık değerleri verilebilir. Malzeme dayanıklılık durumu ne kadar büyük olursa, istenilen sonuç değere de o kadar yakındır. Bu durum için sinyal/gürültü oranı denklem (3.2)'de belirtildiği gibi tanımlanır;

$$S/N_L = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (3.2)$$

Hedef değer en iyi (Nominal) olduğu durumda, y için belli bir hedef değer verilmiştir ve sapmalar iki yönlü olarak değişebilir. Buna en iyi örnek olarak boyut kriterleri verilebilir. Nominal değer etrafında ki toleranslar saptanırken Taguchi'nin kayıp fonksiyonundan faydalanılır [45]. Bu durum için sinyal/gürültü oranı denklem (3.3)'de belirtildiği gibi tanımlanır.

$$\eta = S/N_T = 10 \log \left[\frac{\bar{y}}{S^2_y} \right] \quad (3.3)$$

Denklemlerde; y_i : performans yanıtını, i : gözlem değerini, n : bir denemedeki test sayısını, $\bar{y}$: gözlem değerlerinin ortalamasını ve S^2_y : gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir.

4.MATERYAL METHOD

4.1. DENEYSEL DETAYLAR

Frezeleme deneyleri, maksimum devri 8000 RPM olan DELTA SEİKİ marka 1050A model 3 eksenli dikey freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın görseli Şekil 4.1.' de teknik özellikleri ise Çizelge 4.1.' de verilmiştir.



Şekil 4.1.Delta Seiki CNC freze tezgahı.

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan tezgahın teknik özellikleri.

Tezgâhgücü	12 kW
Maksimumdevirsayısı	8000 dev/dak
İşletimsistemi	Fanuc Oimate MC
İşletmeBasıncı	5,5 bar
ÖlçüHassasiyeti	0,001 mm

ISO 8688-1 standardına göre frezelenen olan deney numunesi için tavsiye edilen ölçüler, kullanılan takım tutucu çapının en az 3 katı kadar boy ve 0,6 katı kadar kesme genişliği ölçülerinde olmasıdır [46]. Bu durum dikkate alınarak frezeleme deneylerinde özel olarak dökülmüş GG25 ve GGG60 dökme demirler kullanılmıştır. Malzemelere ait teknik bilgiler Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’ te verilmiştir.

Çizelge 4.2. GG25 dökme demire ait bileşenler (Matweb).

C	Fe	Mn	P	Si	S
%2,95-3,45	%92,63-94,26	%0,55-0,75	%0,10-0,20	%2,1-2,9	%0,040-0,070

Çizelge 4.3. GG25 dökme demire ait mekanik özellikler (Matweb).

Yoğunluk	Sertlik Brinell	Çekme Dayanımı
7,30 g/cm ³	160-230	155MPa

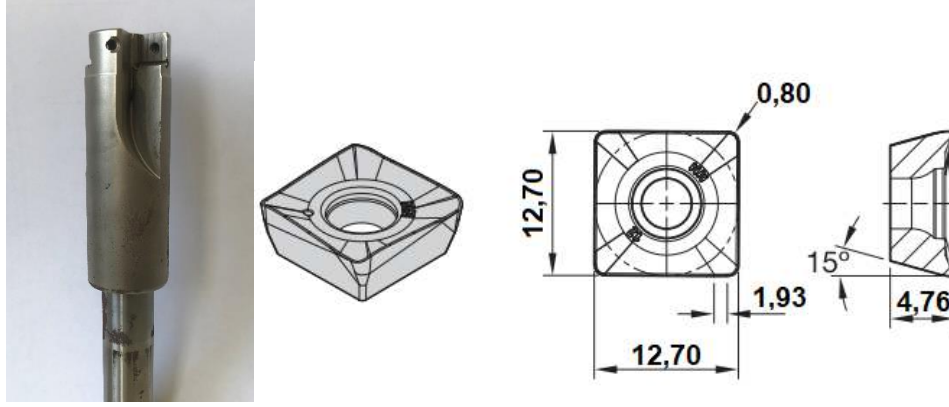
Çizelge 4.4. GGG60 dökme demire ait bileşenler (Matweb).

C	Fe	Mn	P	Si	S
%3,25-3,7	%92,83-94,19	%0,10-0,30	%0,15-0,080	%2,4-3	%0,005-0,020

Çizelge 4.5. GGG60 dökme demire ait mekanik özellikler (Matweb).

Yoğunluk	Sertlik Brinell	Çekme Dayanımı
7,30 g/cm ³	200-270	550 MPa

Frezeleme deneylerinde WIDIA (Germany) kesici takım firmasına ait TN6525 kodlu TiAlN kaplanmış, TN7535 kodlu TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplanmış ve WS30PM kodlu ALTiN kaplanmış 4 kesme kenarına sahip kesici uçlar kullanılmıştır. Takım tutucu olarak kesici uçlara uygun muadil üç ağızlı takım tutucu piyasadan temin edilmiştir. Kesici uç detayı ve takım tutucu Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Takım tutucu ve kesici uçlara ait detaylar.

Bu çalışmada, kuru işleme şartlarında deneyler yürütülmüştür.

4.2. PÜRÜZLÜLÜK, AŞINMA VE SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ

Yüzey pürüzlülük ölçümleri için Marsurf PS10 yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Ölçümler, frezelenen yüzeyin başlangıç ve bitiş noktasından 4 mm'lik örnekleme uzunluğunda parça kenarına dik olacak şekilde yapılmıştır. Bu çalışmada bu iki ölçümün ortalaması kullanılmıştır. Bu çalışmada kesici uç yan yüzey aşınma durumlarına bakılmıştır. Kesici uç yan yüzey aşınma görüntüleri için Dino-Lite Pro2 polarize mikroskop kullanılmıştır. Görüntüler 50 kat büyültme ile alınmış, ölçümler Dino Capture 2.0 programı ile elde edilmiştir. Aşınma ölçümlerinden önce her bir deney üç defa tekrar edilmiştir.

Her bir deney için kesici takım talaş kaldırmaya başladıktan 3 sn sonra kesme bölgesinin orta noktasından Fluke TiS20 model termal kamera ile sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmada kesme bölgesindeki maksimum sıcaklık dikkate alınmıştır. Kullanılan termal kamera -20 °C ile 350 °C arası ölçüm yapabilen, dedektör çözünürlüğü 120x90, görüş alanı 35,7° x 26,8° ve 9 hertz kare hızına sahiptir. Kullanılan malzemenin emissivity (yayınım) değeri 0,82 olarak alınmıştır.

5.GG25 İÇİN TAGUCHI METODUNUN UYGULANMASI VE DENEYLER

5.1. DENEYSEL TASARIM VE DENEYLER

Deneysel tasarım için Taguchi $L_{27}(3^4)$ ortogonal dizisi kullanılmış, tam tasarım 81 deney yerine sadece 27 deney yapılmıştır. Taguchi metodu ile yapılan analiz ve değerlendirmelerde deney sayısı önemli derecede azaltmak mümkündür. Taguchi metodu, kalite özelliklerini belirlemede bazı fonksiyonlar kullanmaktadır. Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü, kesici uç aşınması ve kesme bölgesi sıcaklık ölçümlerinde en küçük değer arzu edildiği için Taguchi “En küçük en iyi” fonksiyonu kullanılmıştır (5.1).

$$\text{En küçük en iyi: } \eta = \frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (5.1)$$

Burada n gözlemlenen değer sayısı, y ise gözlemlenen veridir [47]. Taguchi metodunda ortogonal dizi seçimi; seçilen faktörlere, bu faktörlerin etkileşimlerine, her faktör için seviyelerinin sayısına ve deneyin amacına bağlıdır. Çizelge 5.1’de seçilen kesme parametreleri ve bu parametrelerin seviyeleri verilmiştir. Kesme parametrelerinin belirlenmesinde malzeme ve kesici takım kataloğu dikkate alınmıştır [48], [49]. Taguchi L_{27} ortogonal dizisi Çizelge 5.2’de verilmiştir. GG25 malzeme için deney parametrelerinin seviyeleri ve L_{27} ortogonal dizisi dikkate alınarak oluşturulan deneysel tasarım, deneysel sonuçlar ve denklem 1 kullanılarak hesaplanan sinyal gürültü (S/N) oranları pürüzlülük için Çizelge 5.3, aşınma için Çizelge 5.4 ve sıcaklık için Çizelge 5.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. GG25 için kesme parametreleri ve seviyeler.

Kesme Parametreleri		Seviyeler		
		1	2	3
A	Kesici uç (Kt)	TiAlN	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	ALTiN
B	Kesme hızı (V, m/dak)	150	200	250
C	İlerleme oranı (f, mm/diş)	0,10	0,25	0,35
D	Kesme derinliği (a, mm)	0,5	1	1,5

Çizelge 5.2. L27 ortogonal dizi ve deneysel kurulum.

Deney no	L27 ortogonal dizi				Deneysel parametreler ve kurulum			
	A	B	C	D	Kesici uçlar (A)	Kesme hızı (B)	İlerleme oranı (C)	Kesme derinliği (D)
					(Kt)	(V m/dak)	(f mm/diş)	(a, mm)
1	1	1	1	1	TiALN	150	0,10	0,5
2	1	1	1	1	TiALN	150	0,10	0,5
3	1	1	1	1	TiALN	150	0,10	0,5
4	1	2	2	2	TiALN	200	0,25	1
5	1	2	2	2	TiALN	200	0,25	1
6	1	2	2	2	TiALN	200	0,25	1
7	1	3	3	3	TiALN	250	0,35	1,5
8	1	3	3	3	TiALN	250	0,35	1,5
9	1	3	3	3	TiALN	250	0,35	1,5
10	2	1	2	3	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	150	0,25	1,5
11	2	1	2	3	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	150	0,25	1,5
12	2	1	2	3	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	150	0,25	1,5
13	2	2	3	1	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	200	0,35	0,5
14	2	2	3	1	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	200	0,35	0,5
15	2	2	3	1	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	200	0,35	0,5
16	2	3	1	2	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	250	0,10	1
17	2	3	1	2	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	250	0,10	1
18	2	3	1	2	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	250	0,10	1
19	3	1	3	2	ALTiN	150	0,35	1
20	3	1	3	2	ALTiN	150	0,35	1
21	3	1	3	2	ALTiN	150	0,35	1
22	3	2	1	3	ALTiN	200	0,10	1,5
23	3	2	1	3	ALTiN	200	0,10	1,5
24	3	2	1	3	ALTiN	200	0,10	1,5
25	3	3	2	1	ALTiN	250	0,25	0,5
26	3	3	2	1	ALTiN	250	0,25	0,5
27	3	3	2	1	ALTiN	250	0,25	0,5

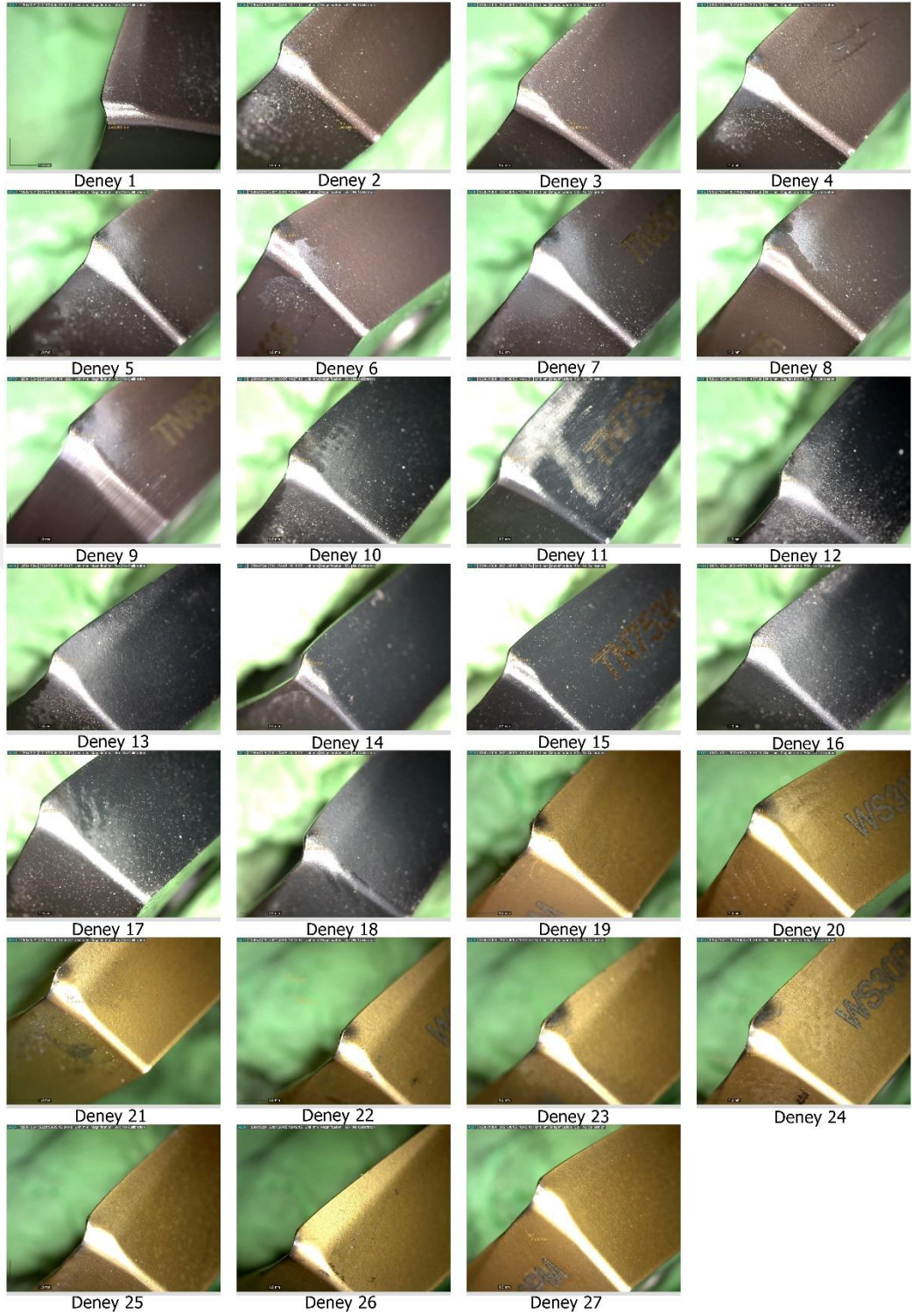
Çizelge 5.3. Pürüzlülük için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.

Deney no	Kesme parametreleri				Deneysel Sonuçlar ve S/N oranları	
	A	B	C	D	Pürüzlülük (Ra _{ort} , µm)	S/N _{Ra} (dB)
	Kesici uçlar (Kt)	Kesme hızı (V)	İlerleme oranı (f)	Kesme derinliği (a)		
1	TiALN	150	0,10	0,5	1,358	-2,655
2	TiALN	150	0,10	0,5	1,356	-2,642
3	TiALN	150	0,10	0,5	1,329	-2,467
4	TiALN	200	0,25	1	1,374	-2,757
5	TiALN	200	0,25	1	1,161	-1,293
6	TiALN	200	0,25	1	1,135	-1,096
7	TiALN	250	0,35	1,5	1,287	-2,188
8	TiALN	250	0,35	1,5	1,355	-2,636
9	TiALN	250	0,35	1,5	1,401	-2,926
10	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	150	0,25	1,5	1,562	-3,874
11	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	150	0,25	1,5	1,586	-4,006
12	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	150	0,25	1,5	1,305	-2,312
13	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	200	0,35	0,5	1,193	-1,533
14	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	200	0,35	0,5	1,671	-4,460
15	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	200	0,35	0,5	1,547	-3,790
16	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	250	0,10	1	1,421	-3,049
17	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	250	0,10	1	1,397	-2,904
18	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	250	0,10	1	1,471	-3,349
19	ALTiN	150	0,35	1	1,074	-0,620
20	ALTiN	150	0,35	1	1,022	-0,185
21	ALTiN	150	0,35	1	1,051	-0,428
22	ALTiN	200	0,10	1,5	0,662	3,589
23	ALTiN	200	0,10	1,5	1,265	-2,042
24	ALTiN	200	0,10	1,5	1,061	-0,514
25	ALTiN	250	0,25	0,5	1,126	-1,031
26	ALTiN	250	0,25	0,5	1,561	-3,865
27	ALTiN	250	0,25	0,5	1,128	-1,046

Çizelge 5.4. Aşınma için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.

Deney no	Kesme parametreleri				Deneysel Sonuçlar ve S/N oranları	
	A	B	C	D	Aşınma (Wf, mm)	S/N _T (dB)
	Kesici uçlar (Kt)	Kesme hızı (V)	İlerleme oranı (f)	Kesme derinliği (a)		
1	TiALN	150	0,10	0,5	0,110	19,172
2	TiALN	150	0,10	0,5	0,109	19,251
3	TiALN	150	0,10	0,5	0,111	19,094
4	TiALN	200	0,25	1	0,109	19,251
5	TiALN	200	0,25	1	0,104	19,659
6	TiALN	200	0,25	1	0,109	19,251
7	TiALN	250	0,35	1,5	0,115	18,786
8	TiALN	250	0,35	1,5	0,109	19,251
9	TiALN	250	0,35	1,5	0,109	19,251
10	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	150	0,25	1,5	0,115	18,786
11	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	150	0,25	1,5	0,093	20,630
12	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	150	0,25	1,5	0,093	20,630
13	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	200	0,35	0,5	0,074	22,615
14	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	200	0,35	0,5	0,074	22,615
15	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	200	0,35	0,5	0,074	22,615
16	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	250	0,10	1	0,066	23,609
17	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	250	0,10	1	0,074	22,615
18	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	250	0,10	1	0,101	19,914
19	ALTiN	150	0,35	1	0,122	18,273
20	ALTiN	150	0,35	1	0,071	22,975
21	ALTiN	150	0,35	1	0,071	22,975
22	ALTiN	200	0,10	1,5	0,078	22,158
23	ALTiN	200	0,10	1,5	0,062	24,152
24	ALTiN	200	0,10	1,5	0,089	21,012
25	ALTiN	250	0,25	0,5	0,093	20,630
26	ALTiN	250	0,25	0,5	0,082	21,724
27	ALTiN	250	0,25	0,5	0,088	21,110

Şekil 5.1’de aşınma ölçümleri için kullanılan optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



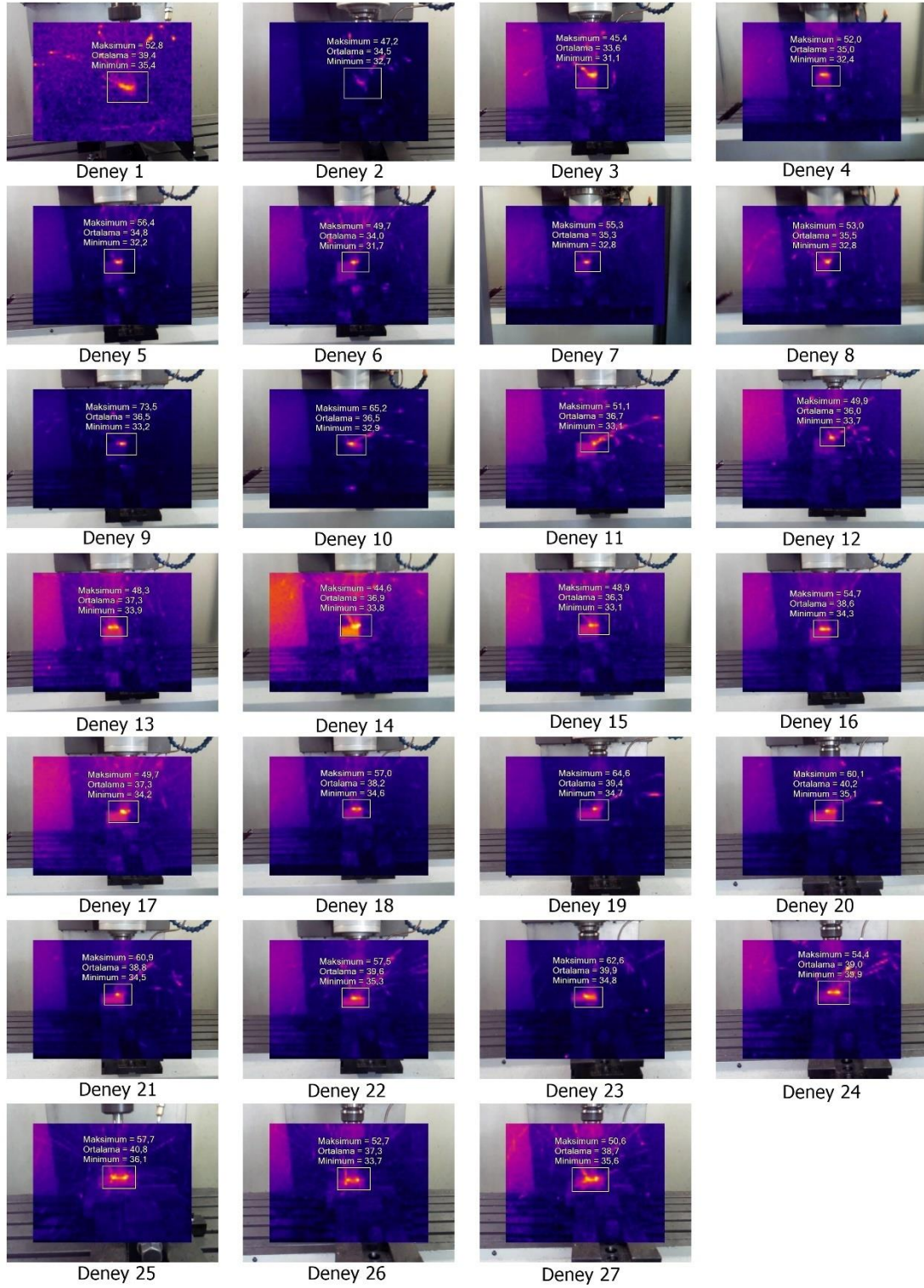
Şekil 5.1. GG25 için aşınma optik mikroskop görüntüleri.

Çizelge 5.5’de termal kamera ile deneylerden elde edilen sıcaklık sonuçları ve S/N oranları verilmiştir. Sıcaklık değerleri kesme bölgesi maksimum sıcaklık değerleridir.

Çizelge 5.5. Sıcaklık için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.

Deney no	Kesme parametreleri				Deneysel Sonuçlar ve S/N oranları	
	A	B	C	D	Sıcaklık (T, °C)	S/N _T (dB)
	Kesici uçlar (Kt)	Kesme hızı (V)	İlerleme oranı (f)	Kesme derinliği (a)		
1	TiALN	150	0,10	0,5	52,8	-34,453
2	TiALN	150	0,10	0,5	47,2	-33,479
3	TiALN	150	0,10	0,5	45,4	-33,141
4	TiALN	200	0,25	1	52	-34,320
5	TiALN	200	0,25	1	56,4	-35,026
6	TiALN	200	0,25	1	49,7	-33,927
7	TiALN	250	0,35	1,5	55,3	-34,855
8	TiALN	250	0,35	1,5	53	-34,486
9	TiALN	250	0,35	1,5	73,5	-37,326
10	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	150	0,25	1,5	65,2	-36,285
11	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	150	0,25	1,5	51,1	-34,168
12	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	150	0,25	1,5	49,9	-33,962
13	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	200	0,35	0,5	48,3	-33,679
14	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	200	0,35	0,5	44,6	-32,987
15	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	200	0,35	0,5	48,9	-33,786
16	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	250	0,10	1	54,7	-34,760
17	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	250	0,10	1	49,7	-33,927
18	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	250	0,10	1	57	-35,117
19	ALTiN	150	0,35	1	64,6	-36,205
20	ALTiN	150	0,35	1	60,1	-35,577
21	ALTiN	150	0,35	1	60,9	-35,692
22	ALTiN	200	0,10	1,5	57,5	-35,193
23	ALTiN	200	0,10	1,5	62,6	-35,931
24	ALTiN	200	0,10	1,5	54,4	-34,712
25	ALTiN	250	0,25	0,5	57,7	-35,224
26	ALTiN	250	0,25	0,5	52,7	-34,436
27	ALTiN	250	0,25	0,5	50,6	-34,083

Şekil 5.2’de termal kamera ile elde edilen sıcaklık görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.2. GG25 için elde edilen termal görüntüler.

Yürütülen 27 deneyden sonra yüzey pürüzlülüğünün ortalama değeri, $1,291 \mu\text{m}$ ve aynı şekilde ortalama S/N oranı ise $-2,077\text{dB}$ olarak hesaplanmıştır. Ortalama aşınma değeri $0,093 \text{ mm}$ ve aşınma değerleri için ortalama S/N oranı da $20,815\text{dB}$ olarak bulunmuştur.

Sıcaklık sonuçlarının ortalama değeri 54,659 °C ve sıcaklık için ortalama S/N oranı da -34,694 dB olarak hesaplanmıştır.

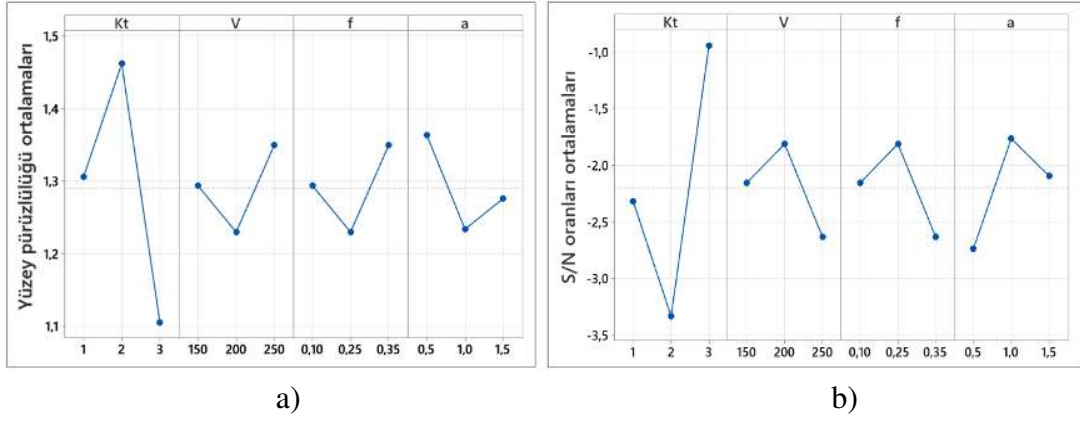
5.2. OPTİMUM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Çizelge 5.6’da kontrol faktörleri olarak ifade edilen kesme parametreleri, seçilen ortogonal diziye göre farklı seviyeler ve olası etkileri göz önünde bulundurularak ayırt edilmiştir. Bu seviyeler deneysel çalışmada yüzey pürüzlülüğü, kesici uç aşınması ve sıcaklık değerlerinin analizi için hesaplanan sinyal gürültü oranlarının ortalama değerlerini göstermektedir. Bu değerler, belirlenen optimum parametreler için tahmin değerleri hesaplamak için kullanılır.

Çizelge 5.6. Deneysel sonuçlar için S/N oranları (dB) ortalaması.

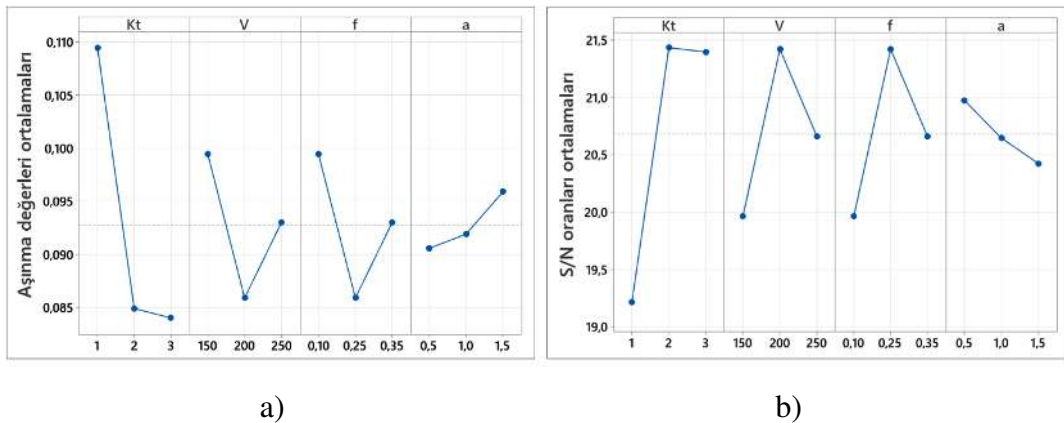
Deney parametreleri		Seviyeler			Mak-Min
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	
Yüzey pürüzlülük için S/N oranları (dB)					
A	Kesici uc (Kt)	-2,3210	-3,3323	-0,9474	2,3850
B	Kesme hızı (V)	-2,1553	-1,8137	-2,6318	0,8182
C	İlerleme oranı (f)	-2,1553	-1,8137	-2,6318	0,8182
D	Kesme derinliği (a)	-2,7386	-1,7666	-2,0955	0,9720
Aşınma için S/N oranları (dB)					
A	Kesici uc (Kt)	19,22	21,43	21,39	2,22
B	Kesme hızı (V)	19,96	21,42	20,66	1,45
C	İlerleme oranı (f)	19,96	21,42	20,66	1,45
D	Kesme derinliği (a)	20,97	20,64	20,42	0,55
Sıcaklık için S/N oranları (dB)					
A	Kesici uc (Kt)	-34,64	-34,36	-35,25	0,89
B	Kesme hızı (V)	-34,83	-34,42	-34,99	0,58
C	İlerleme oranı (f)	-34,83	-34,42	-34,99	0,58
D	Kesme derinliği (a)	-33,94	-34,97	-35,33	1,39

Optimum değer hesaplamasında bir diğer gereklilik de optimum seviyeleri belirlemektir. Optimum seviyeler, L_{27} ortogonal dizi tarafından üretilen kombinasyonların sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin farklı seviyelerini değerlendirerek belirlenebilir. Bu seviyeler, ana etki grafiklerini çizmek için kullanılır (Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5).



Şekil 5.3. a) Yüzey pürüzlülük değerleri b) S/N oranlarının etki grafikleri.

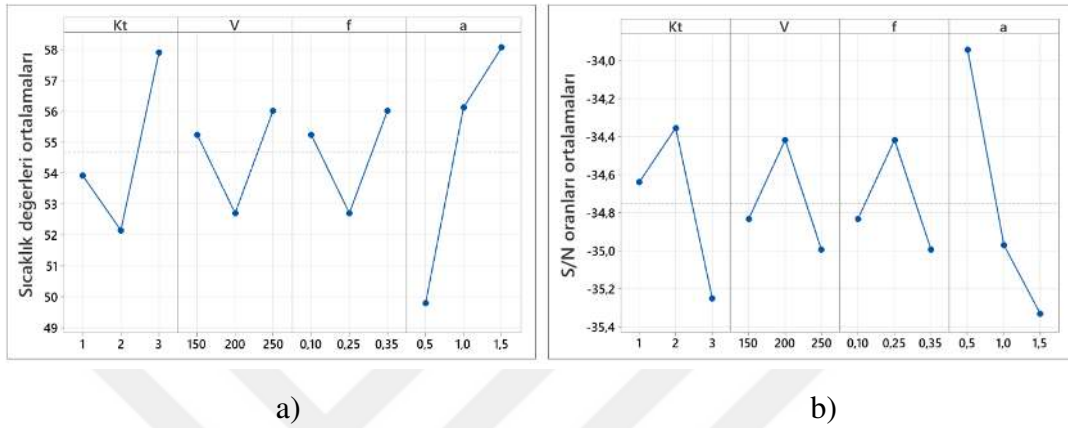
Deney parametreleri ve seviyelerine göre hesaplanan S/N oranları ve pürüzlülük değer dağılımları Şekil 5.3’de gösterilmektedir. Kontrol faktörlerinin optimal kombinasyonunu belirlemek için yüzey pürüzlülük değerlerinin tüm seviyelerin en küçük ortalama değerleri değerlendirilmiştir. Aynı şekilde yüzey pürüzlülüğü S/N oranları için en büyük ortalama değerleri değerlendirilebilmektedir. Çünkü “En küçük en iyi” karakteristikte, hedef değer azaldıkça S/N değerleri artmaktadır. Buna göre minimum yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin optimum kombinasyonu $A_3B_2C_2D_2$ (A_3 =ALTiN kaplamalı kesici uç, B_2 = 200 m/dak kesme hızı, C_2 = 0,25 mm/diş ilerleme oranı ve D_2 = 1 mm kesme derinliği) olarak belirlenmiştir. Kontrol faktörlerine ve seviyelerine göre hesaplanan S/N oranları ve aşınma ortalama değer dağılımları Şekil 5.4’de gösterilmektedir.



Şekil 5.4. a) Aşınma değerleri b) S/N oranlarının etki grafikleri.

Şekil 5.4'e göre minimum aşınma değerleri için kesme parametrelerinin optimum kombinasyonu $A_3B_2C_2D_1$ (A_3 =ALTiN kaplamalı kesici uç, $B_2 = 200$ m/dak kesme hızı, $C_2 = 0,25$ mm/diş ilerleme oranı ve $D_1 = 0.5$ mm kesme derinliği) olarak belirlenmiştir.

Kontrol faktörlerine ve seviyelerine göre hesaplanan S/N oranları ve sıcaklık ortalama değer dağılımları Şekil 5.5'de gösterilmektedir.



Şekil 5.5. a) Sıcaklık değerleri b) S/N oranlarının etki grafikleri.

Şekil 5.5'e göre minimum sıcaklık değerleri için deney parametrelerinin optimum kombinasyonu $A_2B_2C_2D_1$ (A_2 =TiN-TiCN- Al_2O_3 kaplamalı kesici uç, $B_2 = 200$ m/dak kesme hızı, $C_2 = 0,25$ mm/diş ilerleme oranı ve $D_1 = 0.5$ mm kesme derinliği) olarak belirlenmiştir.

5.3. KESME PARAMETRELERİNİN VARYANS ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Deney tasarımıında kullanılan tüm kontrol faktörlerinin birbirlerini nasıl etkilediğini, bunun performans özellikleri üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu ve performans özelliklerinde parametrelerin farklı seviyelerinde ne gibi değişiklikler olduğunu belirlemek için ve Taguchi güven aralıklarının belirlenmesinde varyans analizi kullanılmaktadır [50], [51]. Kesici takım, kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü, aşınma değerleri ve sıcaklık üzerine etkileri varyans analizi ile değerlendirilmiş, varyans analizi sonuçları Çizelge 5.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Kesme parametreleri için ANOVA sonuçları.

Parametreler	Serbestlik derecesi (SD)	Kareler toplamı (KT)	Kareler ortalaması (KO)	F Değeri	P Değeri	Parametre etkisi (%)
Yüzey pürüzlülüğü (Ra- μ m)						
Kesici uç (Kt)	1	0,18070	0,18070	4,02	0,057	14,24
Kesme hızı (V)	1	0,01408	0,05604	1,25	0,276	1,11
İlerleme oranı (f)	1	0,05045	0,05045	1,12	0,301	3,98
Kesme derinliği (a)	1	0,03423	0,03423	0,76	0,392	2,70
Hata (e)	22	0,98915	0,04496	-	-	77,97
Toplam	26	1,26862				100
Aşınma (Wf, mm)						
Kesici uç (Kt)	1	0,002913	0,002913	14,23	0,001	34,79
Kesme hızı (V)	1	0,000187	0,000556	2,71	0,114	2,23
İlerleme oranı (f)	1	0,000641	0,000641	3,13	0,091	7,65
Kesme derinliği (a)	1	0,000128	0,000128	0,62	0,438	1,53
Hata (e)	22	0,004506	0,000205	-	-	53,80
Toplam	26	0,008375				100
Sıcaklık (T, °C)						
Kesici uç (Kt)	1	71,20	71,20	2,16	0,156	6,15
Kesme hızı (V)	1	2,72	53,29	1,62	0,217	0,24
İlerleme oranı (f)	1	51,24	51,24	1,55	0,226	4,43
Kesme derinliği (a)	1	306,69	306,69	9,30	0,006	26,51
Hata (e)	22	725,23	32,97			62,68
Toplam	26	1157,09				100

Çizelge 5.7’de yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için, pürüzlülüğe etki eden en etkili parametre %14,24 ile kesici uç olmuştur. Bu parametreyi ikinci olarak %3,98 ile ilerleme oranı takip etmektedir. Bu durumda kesici uçlar pürüzlülüğe doğrudan etkilediği söylenebilir. Aşınma için varyans analizi değerlendirildiğinde aşınmaya etki eden en etkili parametre ise yine %34,79 ile kesici uç olmuştur. Bu parametreyi %7,65 ile ilerleme oranı takip etmektedir. Aşınma için de aynı durum söz konusu olup, kesici uçlar aşınmaya doğrudan etkilemektedir. Sıcaklık için sonuçlar değerlendirildiğinde sıcaklığa etki eden en etkili parametre %26,51 ile kesme derinliği olmuştur. Bu parametreyi %6,15 ile kesici uç takip etmektedir. Talaş derinliğinin artması birim alana düşen sürtünmeyi arttıracığından sıcaklığın da artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla sıcaklık için varyans analizi sonuçları tutarlıdır denilebilir.

5.4 DOĞRULAMA DENEYLERİ VE TAGUCHİ TAHMİN DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

Taguchi metodunun son adımı olan doğrulama deneylerinin amacı, kalite özelliklerini analiz etmektir. Ayrıca optimizasyon sürecinin doğruluğunu test etmek için de doğrulama deneyleri kullanılır. Yani diğer bir deyişle doğrulama deneyleri, kesme parametrelerinin ve seviyelerinin belirlenen optimum kombinasyonu test etmek amacıyla yapılır. Kesme parametrelerinin bireysel etkileri dikkate alınarak yüzey pürüzlülüğü için elde edilen optimum kombinasyona göre $A_3B_2C_2D_2$ (A_3 =ALTiN kaplamalı kesici uç, B_2 = 200 m/dak kesme hızı, C_2 = 0,25 mm/diş ilerleme oranı ve D_2 = 1 mm kesme derinliği) tahmin yüzey pürüzlülüğü ($GG25Ra_p$), deney parametrelerinin bireysel etkileri dikkate alınarak takım aşınması için elde edilen optimum kombinasyona göre $A_3B_2C_2D_1$ (A_3 =ALTiN kaplamalı kesici uç, B_2 = 200 m/dak kesme hızı, C_2 = 0,25 mm/diş ilerleme oranı ve D_1 = 0.5 mm kesme derinliği) tahmin takım aşınması ($GG25Wf_p$) ve deney parametrelerinin bireysel etkileri dikkate alınarak sıcaklık için elde edilen optimum kombinasyona göre $A_2B_2C_2D_1$ (A_3 =TiN-TiCN- Al_2O_3 kaplamalı kesici uç, B_2 = 200 m/dak kesme hızı, C_2 = 0,25 mm/diş ilerleme oranı ve D_1 = 0.5 mm kesme derinliği) tahmin sıcaklık değeri ($GG25T_p$) aşağıda verilen denklemlerle hesaplanır [50]-[53].

$$\eta_{gRa} = A_3 + B_2 + C_2 + D_2 - 3\eta_{\frac{S}{N}-Ra} \quad (5.2)$$

$$GG25Ra_p = 10^{-\eta_{gRa}/20} \quad (5.3)$$

$$\eta_{gWf} = A_3 + B_2 + C_2 + D_1 - 3\eta_{\frac{S}{N}-Wf} \quad (5.4)$$

$$GG25Wf_p = 10^{-\eta_{gWf}/20} \quad (5.5)$$

$$\eta_{gT} = A_2 + B_2 + C_2 + D_1 - 3\eta_{\frac{S}{N}-T} \quad (5.6)$$

$$GG25T_p = 10^{-\eta_{gT}/20} \quad (5.7)$$

Denklemlerde; $A_3B_2C_2D_2$, $A_3B_2C_2D_1$ ve $A_2B_2C_2D_1$ faktörlerin optimum seviyelerine ait sinyal gürültü oranlarıdır (Çizelge 5.6). $\eta_{\frac{S}{N}-Ra}$ Yüzey pürüzlülük değerleri S/N oranlarının ortalaması, $\eta_{\frac{S}{N}-Wf}$ aşınma değerleri S/N oranlarının ortalaması ve $\eta_{\frac{S}{N}-T}$ sıcaklık değerlerinin S/N oranları ortalamasıdır. η_{gRa} Yüzey pürüzlülüğü optimum seviyeleri için hesaplanan S/N oranı, η_{gWf} kesici uç aşınması optimum seviyeleri için

hesaplanan S/N oranı, η_{gT} sıcaklık optimum seviyeleri için hesaplanan S/N oranı, $GG25Ra_p$ yüzey pürüzlülüğünün tahmin değeri ve $GG25Wf_p$, takım aşınmasının tahmin değeri ve $GG25T_p$, sıcaklık için hesaplanan Taguchi tahmin değerleridir. Denklem 5.2 ve denklem 5.3 kullanılarak hesaplanan yüzey pürüzlülüğü tahmin değeri ($GG25Ra_p$) 1,012 μ m, Denklem 5.4 ve Denklem 5.5 kullanılarak hesaplanan kesici uç aşınması tahmin değeri ($GG25Wf_p$) 0.072 mm ve Denklem 5.6 ve Denklem 5.7 kullanılarak hesaplanan sıcaklık tahmin değeri 44,96 °C olarak bulunmuştur. Doğrulama deneylerinin sonucunu tahmin değerle karşılaştırılmasında ve kalite özelliğinin doğrulanmasında güven aralığı (CI) kullanılmaktadır. Güven aralığı maksimum ve minimum değer olup, hesaplanan değer tahmin değerleri ile karşılaştırılarak doğrulama deneylerinin doğruluğu test edilir. CI aşağıda verilen denklem ile hesaplanır [52], [53].

$$CI = \sqrt{F_{\alpha:1,V_e} \times V_{ep} \times \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (5.8)$$

Denklem 5.8’de $F_{\alpha:1,V_e}$ önem düzeyi α ’nın F oranı, α önem düzeyi, $1 - \alpha$ güven aralığı, V_e varyans analizi sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklığa ait hatanın serbestlik derecesidir. Çizelge 5.7 incelendiğinde tüm parametrelere ait hatanın serbestlik derecesi 22 dir. Bu durumda %95 güven seviyesine ait F tablosundan 1-22 değeri 4,30 olarak bulunmuş ve bu değer yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için hesaplanacak güven seviyesi için aynıdır. V_{ep} yine varyans analizi sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklığa ait hatanın varyansı, r doğrulama deney sayısı ve n_{eff} etkin ölçülen sonuçların sayısıdır [52], [53].

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + V_t} \quad (5.9)$$

Denklem 9’da N , toplam deney sayısını (27), V_t çizelge 5.7 dikkate alınarak ortalamanın hesaplandığı kesme parametrelerine ait toplam serbestlik derecesini (4) ifade etmektedir. Çizelge 5.7 incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık deney parametrelerinin serbestlik dereceleri aynıdır ve toplamda hepsi için 27 deney yapıldığından n_{eff} hepsi için aynı değer alacaktır. Bu durumda n_{eff} , 5,4 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü, kesici uç aşınması ve sıcaklık için belirlenen optimum kombinasyonlar dikkate alınarak her biri için 3 adet doğrulama deneyi yapılmıştır ve deney sonuçları %95 güven aralığında değerlendirilmiştir.

Denklem 5.8 ve Denklem 5.9 dikkate alındığında yüzey pürüzlülüğü için güven aralığı (CI_{Ra}) = 0,316, takım aşınması için güven aralığı (CI_{Wf}) = 0,0213 ve sıcaklık için güven aralığı (CI_T) = 8,569 olarak bulunmuştur. Güven aralığının kullanımında, her bir parametre için hesaplanan Taguchi tahmin değeri güven aralığı ile toplanır ve çıkartılır. Doğrulama deneylerinin ortalaması bu iki değer arasında olması istenir.

Yüzey pürüzlülüğü için yapılan 3 adet doğrulama deneylerinin ortalaması 1,050 μ m'dur. Bu durumda yüzey pürüzlülüğü için, $(1,012-0,316) < 1,050 < (1,012+0,316) = 0,696 < 1,050 < 1,328$ aralığı elde edilmiş ve doğrulama deneyleri güven aralığı içinde gerçekleşmiştir. Takım aşınması için yürütülen 3 adet doğrulama deneylerinin ortalamaları 0,074 mm'dir. Bu durumda takım aşınması için; $(0,072-0,0213 < 0,074 < (0,072+0,0213) = 0,0507 < 0,074 < 0,0933$ aralığı elde edilmiş ve takım aşınması için doğrulama deneyleri güven aralığı içinde gerçekleşmiştir. Kesme sıcaklığı için yürütülen 3 adet doğrulama deneylerinin ortalaması 44,84 °C'dir. Bu durumda sıcaklık için; $(44,96-8,569 < 44,84 < (44,96+8,569) = 36,391 < 44,84 < 53,529$ aralığı elde edilmiş ve sıcaklık için doğrulama deneyleri güven aralığı içinde gerçekleşmiştir. Bu durumda her üç ölçüm için gerçekleştirilen optimizasyon başarılıdır denilebilir.

Çizelge 5.8'de, Taguchi metodu kullanılarak elde edilen öngörülen değerlerle deney sonuçlarının karşılaştırmasını gösterilmiştir. Tahmin değerlerinin hesaplanmasında Denklem 5.2, Denklem 5.3, Denklem 5.4, Denklem 5.5, Denklem 5.6 ve Denklem 5.7 kullanılmıştır. Tahmin edilen değerler ve deneysel değerler birbirine yakın çıkmıştır. Güvenilir istatistiksel analiz için hata değerleri %20'den az olmalıdır [50].

Çizelge 5.8. Optimize ve rastgele koşulların tahmin değerlerle karşılaştırılması.

Seviyeler	Taguchi metodu		
	Deneysel	Tahmin	Hata (%)
Yüzey pürüzlülüğü (Ra, μm)			
A ₃ B ₂ C ₂ D ₂ (Optimum)	1,050	1,012	3,67
A ₂ B ₁ C ₂ D ₃ (Rastgele)	1,305	1,439	9,31
A ₃ B ₁ C ₃ D ₂ (Rastgele)	1,051	1,157	9,16
Aşınma (Wf,mm)			
A ₃ B ₂ C ₂ D ₁ (Optimum)	0,074	0,072	2,70
A ₂ B ₁ C ₂ D ₃ (Rastgele)	0,093	0,091	2,15
A ₁ B ₃ C ₃ D ₃ (Rastgele)	0,115	0,118	2,54
Sıcaklık (T, °C)			
A ₂ B ₂ C ₂ D ₁ (Optimum)	44,84	44,96	0,266
A ₂ B ₁ C ₂ D ₃ (Rastgele)	49,90	55,96	10,82
A ₁ B ₃ C ₃ D ₃ (Rastgele)	55,30	62,14	11,01

Çizelge 5.8’de yüzey pürüzlülük, kesici uç aşınması ve sıcaklık deney değerleri ile tahmin değerleri karşılaştırılmıştır. Doğrulama testi sonuçları ile Taguchi metoduyla elde edilen sonuçlar arasındaki hata değerleri %20 den az olduğu görülmektedir. Bu durumda doğrulama deneyleriyle elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, optimizasyon başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

6. GGG60 İÇİN TAGUCHI METODUNUN UYGULANMASI VE DENEYLER

6.1. DENEYSEL TASARIM VE DENEYLER

GGG60 malzemesi için deneysel tasarımda yine Taguchi L_{27} (3^4) ortogonal dizisi kullanılmış, tam tasarım 81 deney yerine sadece 27 deney yapılmıştır. Bu malzeme içinde ölçülen değerler için en küçük değer arzu edildiği için Taguchi “En küçük en iyi” fonksiyonu kullanılmıştır (Denklem 5.1).

Çizelge 6.1’de seçilen kesme parametreleri ve bu parametrelerin seviyeleri verilmiştir. Kesme parametrelerinin belirlenmesinde malzeme ve kesici takım kataloğu dikkate alınmıştır [58], [59]. Taguchi L_{27} ortogonal dizisi Çizelge 6.2’de verilmiştir. GG25 malzeme için deney parametrelerinin seviyeleri ve L_{27} ortogonal dizisi dikkate alınarak oluşturulan deneysel tasarım, deneysel sonuçlar ve denklem 5.1 kullanılarak hesaplanan sinyal gürültü(S/N) oranları pürüzlülük için Çizelge 6.3, aşınma için Çizelge 6.4 ve sıcaklık için Çizelge 6.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. GGG60 için kesme parametreleri ve seviyeler.

Kesme Parametreleri		Seviyeler		
		1	2	3
A	Kesici uç (Kt)	TiALN	TiN-TiCN- Al_2O_3	ALTiN
B	Kesme hızı (V, m/dak)	175	225	300
C	İlerleme oranı (f, mm/diş)	0,10	0,20	0,30
D	Kesme derinliği (a, mm)	0,5	1	1,5

Çizelge 6.2. L27 ortogonal dizi ve deneysel kurulum.

Deney no	L27 ortogonal dizi				Deneysel parametreler ve kurulum			
	A	B	C	D	Kesici uçlar (A)	Kesme hızı (B)	İlerleme oranı (C)	Kesme derinliği (D)
					(Kt)	(V m/dak)	(f mm/diş)	(a, mm)
1	1	1	1	1	TiALN	175	0,1	0,5
2	1	1	1	1	TiALN	175	0,1	0,5
3	1	1	1	1	TiALN	175	0,1	0,5
4	1	2	2	2	TiALN	225	0,2	1
5	1	2	2	2	TiALN	225	0,2	1
6	1	2	2	2	TiALN	225	0,2	1
7	1	3	3	3	TiALN	300	0,3	1,5
8	1	3	3	3	TiALN	300	0,3	1,5
9	1	3	3	3	TiALN	300	0,3	1,5
10	2	1	2	3	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	175	0,2	1,5
11	2	1	2	3	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	175	0,2	1,5
12	2	1	2	3	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	175	0,2	1,5
13	2	2	3	1	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	225	0,3	0,5
14	2	2	3	1	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	225	0,3	0,5
15	2	2	3	1	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	225	0,3	0,5
16	2	3	1	2	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	300	0,1	1
17	2	3	1	2	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	300	0,1	1
18	2	3	1	2	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	300	0,1	1
19	3	1	3	2	ALTiN	175	0,3	1
20	3	1	3	2	ALTiN	175	0,3	1
21	3	1	3	2	ALTiN	175	0,3	1
22	3	2	1	3	ALTiN	225	0,1	1,5
23	3	2	1	3	ALTiN	225	0,1	1,5
24	3	2	1	3	ALTiN	225	0,1	1,5
25	3	3	2	1	ALTiN	300	0,2	0,5
26	3	3	2	1	ALTiN	300	0,2	0,5
27	3	3	2	1	ALTiN	300	0,2	0,5

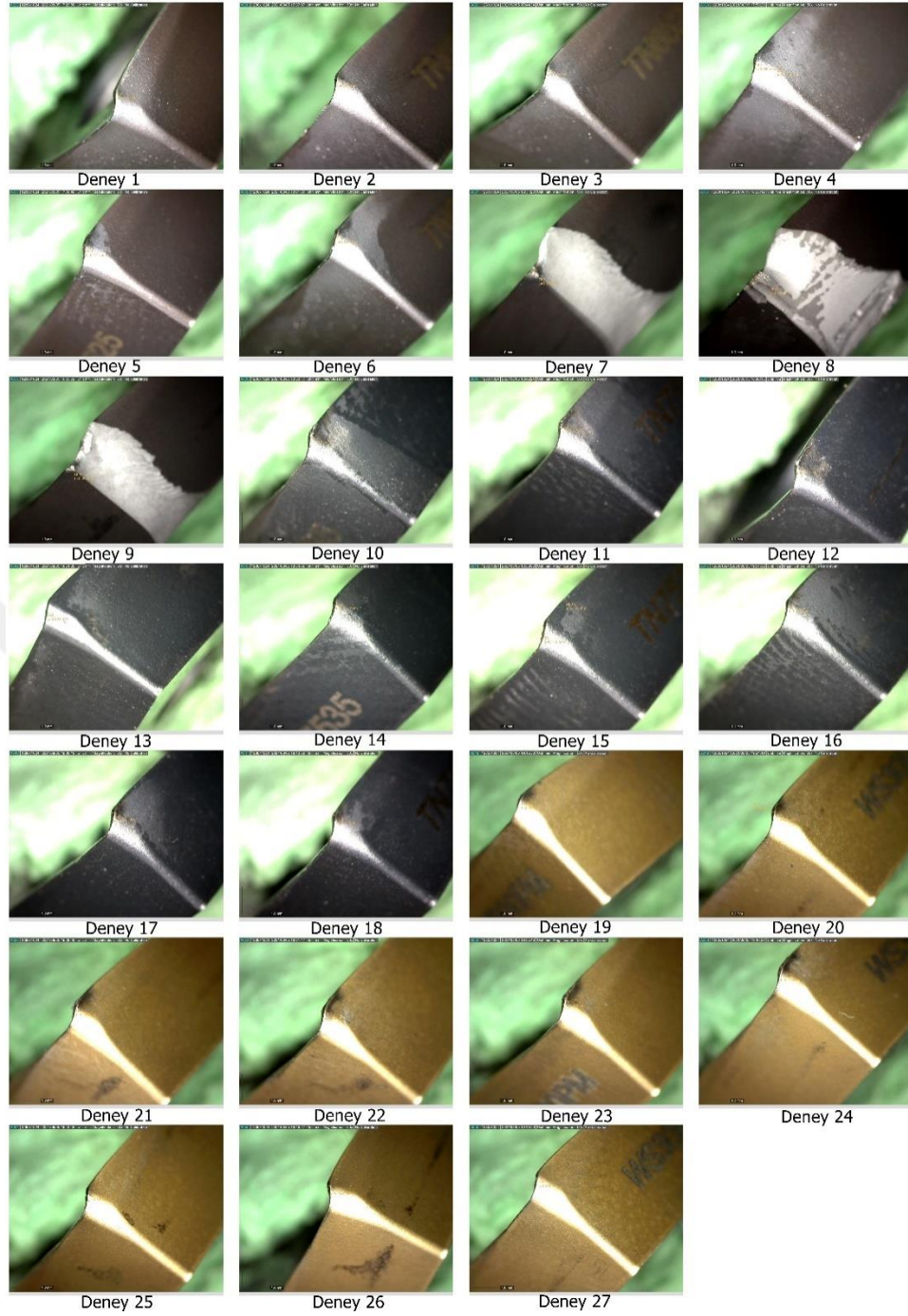
Çizelge 6.3. Pürüzlülük için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.

Deney no	Kesme parametreleri				Deneysel Sonuçlar ve S/N oranları	
	A	B	C	D	Pürüzlülük (Ra _{ort} , µm)	S/N _{Ra} (dB)
	Kesici uçlar (Kt)	Kesme hızı (V)	İlerleme oranı (f)	Kesme derinliği (a)		
1	TiALN	175	0,1	0,5	0,491	6,187
2	TiALN	175	0,1	0,5	0,488	6,232
3	TiALN	175	0,1	0,5	0,484	6,303
4	TiALN	225	0,2	1	0,760	2,384
5	TiALN	225	0,2	1	1,087	-0,721
6	TiALN	225	0,2	1	0,787	2,081
7	TiALN	300	0,3	1,5	0,936	0,574
8	TiALN	300	0,3	1,5	1,400	-2,923
9	TiALN	300	0,3	1,5	1,328	-2,464
10	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	175	0,2	1,5	0,546	5,256
11	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	175	0,2	1,5	0,886	1,051
12	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	175	0,2	1,5	0,940	0,542
13	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	225	0,3	0,5	0,561	5,028
14	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	225	0,3	0,5	0,452	6,907
15	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	225	0,3	0,5	0,909	0,829
16	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	300	0,1	1	0,812	1,809
17	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	300	0,1	1	0,790	2,053
18	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	300	0,1	1	0,844	1,473
19	ALTiN	175	0,3	1	0,632	3,993
20	ALTiN	175	0,3	1	0,470	6,567
21	ALTiN	175	0,3	1	0,593	4,546
22	ALTiN	225	0,1	1,5	0,796	1,987
23	ALTiN	225	0,1	1,5	0,785	2,108
24	ALTiN	225	0,1	1,5	1,158	-1,270
25	ALTiN	300	0,2	0,5	1,737	-4,796
26	ALTiN	300	0,2	0,5	0,744	2,569
27	ALTiN	300	0,2	0,5	1,224	-1,756

Çizelge 6.4. Aşınma için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.

Deney no	Kesme parametreleri				Deneysel Sonuçlar ve S/N oranları	
	A	B	C	D	Aşınma (Wf, mm)	S/N _T (dB)
	Kesici uçlar (Kt)	Kesme hızı (V)	İlerleme oranı (f)	Kesme derinliği (a)		
1	TiALN	175	0,1	0,5	0,106	19,494
2	TiALN	175	0,1	0,5	0,108	19,332
3	TiALN	175	0,1	0,5	0,104	19,659
4	TiALN	225	0,2	1	0,099	20,087
5	TiALN	225	0,2	1	0,111	19,094
6	TiALN	225	0,2	1	0,109	19,251
7	TiALN	300	0,3	1,5	0,399	7,981
8	TiALN	300	0,3	1,5	0,726	2,781
9	TiALN	300	0,3	1,5	0,294	10,633
10	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	175	0,2	1,5	0,122	18,273
11	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	175	0,2	1,5	0,155	16,193
12	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	175	0,2	1,5	0,147	16,654
13	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	225	0,3	0,5	0,101	19,914
14	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	225	0,3	0,5	0,137	17,266
15	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	225	0,3	0,5	0,116	18,711
16	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	300	0,1	1	0,164	15,703
17	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	300	0,1	1	0,135	17,393
18	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	300	0,1	1	0,147	16,654
19	ALTiN	175	0,3	1	0,093	20,630
20	ALTiN	175	0,3	1	0,135	17,393
21	ALTiN	175	0,3	1	0,126	17,993
22	ALTiN	225	0,1	1,5	0,128	17,856
23	ALTiN	225	0,1	1,5	0,113	18,938
24	ALTiN	225	0,1	1,5	0,128	17,856
25	ALTiN	300	0,2	0,5	0,137	17,266
26	ALTiN	300	0,2	0,5	0,123	18,202
27	ALTiN	300	0,2	0,5	0,101	19,914

Şekil 6.1’de aşınma ölçümleri için kullanılan optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.1. GGG60 için aşınma optik mikroskop görüntüleri.

Çizelge 6.5’de termal kamera ile deneylerden elde edilen sıcaklık sonuçları ve S/N oranları verilmiştir. Sıcaklık değerleri kesme bölgesi maksimum sıcaklık değerleridir.

Çizelge 6.5. Sıcaklık için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.

Deney no	Kesme parametreleri				Deneysel Sonuçlar ve S/N oranları	
	A	B	C	D	Sıcaklık (T, °C)	S/N _T (dB)
	Kesici uçlar (Kt)	Kesme hızı (V)	İlerleme oranı (f)	Kesme derinliği (a)		
1	TiALN	175	0,1	0,5	47,7	-33,570
2	TiALN	175	0,1	0,5	55,9	-34,948
3	TiALN	175	0,1	0,5	54,9	-34,791
4	TiALN	225	0,2	1	57,8	-35,239
5	TiALN	225	0,2	1	54,3	-34,696
6	TiALN	225	0,2	1	61,8	-35,820
7	TiALN	300	0,3	1,5	52,7	-34,436
8	TiALN	300	0,3	1,5	55,3	-34,855
9	TiALN	300	0,3	1,5	48,4	-33,697
10	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	175	0,2	1,5	49,9	-33,962
11	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	175	0,2	1,5	57,6	-35,208
12	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	175	0,2	1,5	55,7	-34,917
13	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	225	0,3	0,5	58	-35,269
14	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	225	0,3	0,5	55	-34,807
15	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	225	0,3	0,5	57,1	-35,133
16	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	300	0,1	1	58,2	-35,298
17	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	300	0,1	1	58,8	-35,388
18	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	300	0,1	1	60,4	-35,621
19	ALTiN	175	0,3	1	53,4	-34,551
20	ALTiN	175	0,3	1	67,4	-36,573
21	ALTiN	175	0,3	1	66,8	-36,496
22	ALTiN	225	0,1	1,5	57,7	-35,224
23	ALTiN	225	0,1	1,5	52,7	-34,436
24	ALTiN	225	0,1	1,5	50,2	-34,014
25	ALTiN	300	0,2	0,5	47,7	-33,570
26	ALTiN	300	0,2	0,5	45,6	-33,179
27	ALTiN	300	0,2	0,5	51	-34,151

Şekil 6.2’de termal kamera ile elde edilen sıcaklık görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.2. GGG60 için elde edilen termal görüntüler.

GGG60 için yürütülen 27 deneyden sonra yüzey pürüzlülüğünün ortalama değeri, $0,838\mu\text{m}$ ve aynı şekilde ortalama S/N oranı ise, $2,094\text{dB}$ olarak hesaplanmıştır. Ortalama aşınma değeri $0,162\text{ mm}$ ve aşınma değerleri için ortalama S/N oranı da $17,078\text{dB}$ olarak bulunmuştur. Sıcaklık sonuçlarının ortalama değeri $55,259^\circ\text{C}$ ve sıcaklık için ortalama S/N oranı da $-34,809\text{ dB}$ olarak hesaplanmıştır.

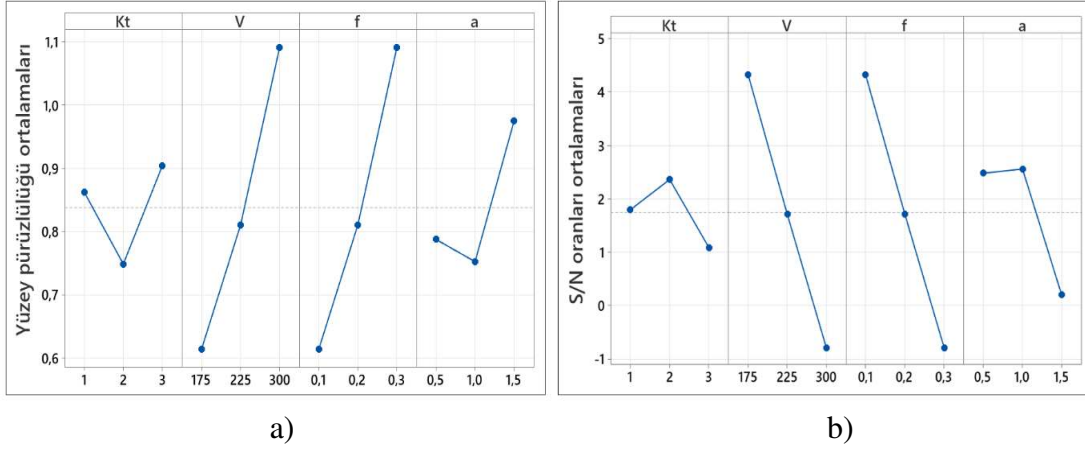
6.2. OPTİMUM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Çizelge 6.6’da deney parametreleri, seçilen ortogonal diziye göre farklı seviyeler ve olası etkileri göz önünde bulundurularak ayırt edilmiştir. Bu seviyeler deneysel çalışmada yüzey pürüzlülüğü, kesici uç aşınması ve sıcaklık değerlerinin analizi için hesaplanan sinyal gürültü oranlarının ortalama değerlerini göstermektedir. Bu değerler, belirlenen optimum parametreler ve rastgele seçim için tahmin değerleri hesaplamak için kullanılır.

Çizelge 6.6. Deneysel sonuçlar için S/N oranları (dB) ortalaması.

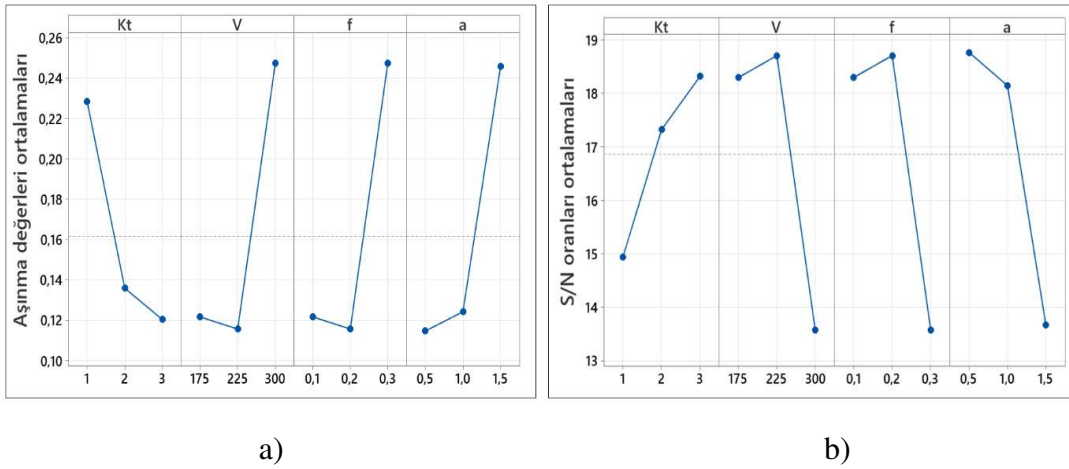
Deney parametreleri		Seviyeler			Mak-Min
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	
Yüzey pürüzlülük için S/N oranları (dB)					
A	Kesici uc (Kt)	1,7981	2,3647	1,0886	1,2761
B	Kesme hızı (V)	4,3262	1,7126	-0,7874	5,1136
C	İlerleme oranı (f)	4,3262	1,7126	-0,7874	5,1136
D	Kesme derinliği (a)	2,4829	2,5614	0,2071	2,3543
Aşınma için S/N oranları (dB)					
A	Kesici uc (Kt)	14,95	17,33	18,33	3,38
B	Kesme hızı (V)	18,30	18,71	13,58	5,13
C	İlerleme oranı (f)	18,30	18,71	13,58	5,13
D	Kesme derinliği (a)	18,77	18,15	13,68	5,09
Sıcaklık için S/N oranları (dB)					
A	Kesici uc (Kt)	-34,70	-35,08	-34,74	0,38
B	Kesme hızı (V)	-35,06	-34,98	-34,48	0,58
C	İlerleme oranı (f)	-35,06	-34,98	-34,48	0,58
D	Kesme derinliği (a)	-34,40	-35,56	-34,56	1,16

Optimum değer hesaplamasında bir diğer gereklilik de optimum seviyeleri belirlemektir. Optimum seviyeler, L_{27} ortogonal dizi tarafından üretilen kombinasyonların sonuçlarına göre deney parametrelerinin farklı seviyelerini değerlendirerek belirlenebilir. Bu seviyeler, ana etki grafiklerini çizmek için kullanılır (Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5).



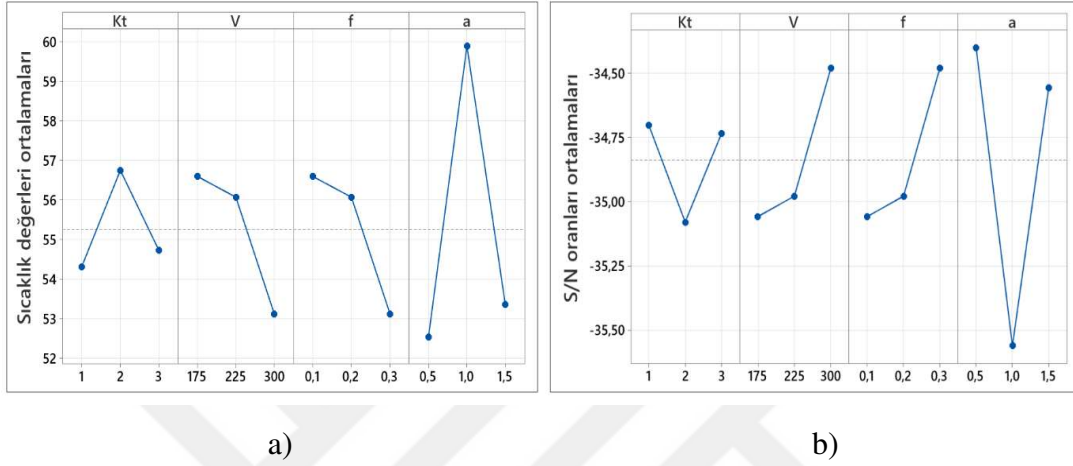
Şekil 6.3. a) Yüzey pürüzlülük değerleri b) S/N oranlarının etki grafikleri.

Deney parametreleri ve seviyelerine göre hesaplanan S/N oranları ve pürüzlülük değer dağılımları Şekil 5.3’de gösterilmektedir. Kontrol faktörlerinin yani deney parametrelerinin optimal kombinasyonunu belirlemek için yüzey pürüzlülük değerlerinin tüm seviyelerin en küçük ortalama değerleri değerlendirilmiştir. Aynı şekilde yüzey pürüzlülüğü S/N oranları için en büyük ortalama değerleri değerlendirilebilmektedir. Çünkü “En küçük en iyi” karakteristikte, hedef değer azaldıkça S/N değerleri artmaktadır. Buna göre minimum yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin optimum kombinasyonu $A_2B_1C_1D_2$ (A_2 =TiN-TiCN- Al_2O_3 kaplamalı kesici uç, B_1 = 175 m/dak kesme hızı, C_1 = 0,10 mm/diş ilerleme oranı ve D_2 = 1 mm kesme derinliği) olarak belirlenmiştir. Kontrol faktörlerine ve seviyelerine göre hesaplanan S/N oranları ve aşınma ortalama değer dağılımları Şekil 6.4’de gösterilmektedir.



Şekil 6.4. a) Aşınma değerleri b) S/N oranlarının etki grafikleri.

Şekil 6.4'e göre minimum aşınma değerleri için kesme parametrelerinin optimum kombinasyonu $A_3B_2C_2D_1$ (A_3 =ALTiN kaplamalı kesici uç, $B_2 = 225$ m/dak kesme hızı, $C_2 = 0,20$ mm/diş ilerleme oranı ve $D_1 = 0.5$ mm kesme derinliği) olarak belirlenmiştir. Deney parametreleri ve seviyelerine göre hesaplanan S/N oranları ve sıcaklık ortalama değer dağılımları Şekil 6.5'de gösterilmektedir.



Şekil 6.5. a) Sıcaklık değerleri b) S/N oranlarının etki grafikleri.

Şekil 6.5'e göre minimum sıcaklık değerleri için deney parametrelerinin optimum kombinasyonu $A_1B_3C_3D_1$ (A_1 =TiALN kaplamalı kesici uç, $B_3 = 300$ m/dak kesme hızı, $C_3 = 0,30$ mm/diş ilerleme oranı ve $D_1 = 0.5$ mm kesme derinliği) olarak belirlenmiştir.

6.3. GGG60 İÇİN KESME PARAMETRELERİNİN VARYANS ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Deney tasarımında kullanılan tüm kontrol faktörlerinin birbirlerini nasıl etkilediğini, bunun performans özellikleri üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu ve performans özelliklerinde parametrelerin farklı seviyelerinde ne gibi değişiklikler olduğunu belirlemek için ve Taguchi güven aralıklarının belirlenmesinde varyans analizi kullanılmaktadır [50], [51]. Kesici takım, kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü, aşınma değerleri ve sıcaklık üzerine etkileri varyans analizi ile değerlendirilmiş, varyans analizi sonuçları Çizelge 6.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. GGG60 kesme parametreleri için ANOVA sonuçları.

Parametreler	Serbestlik derecesi (SD)	Kareler toplamı (KT)	Kareler ortalaması (KO)	F Değeri	P Değeri	Parametre etkisi (%)
Yüzey pürüzlülüğü (Ra- μ m)						
Kesici uç (Kt)	1	0,00785	0,007854	0,12	0,733	0,30
Kesme hızı (V)	1	1,03148	0,010640	0,16	0,692	38,95
İlerleme oranı (f)	1	0,00018	0,000181	0,00	0,959	0,01
Kesme derinliği (a)	1	0,15764	0,157641	2,39	0,136	5,95
Hata (e)	22	1,45125	0,065966	-	-	54,80
Toplam	26	2,64841				100
Aşınma (Wf, mm)						
Kesici uç (Kt)	1	0,05249	0,052488	5,55	0,028	12,01
Kesme hızı (V)	1	0,08061	0,028382	3,00	0,097	18,44
İlerleme oranı (f)	1	0,01872	0,018716	1,98	0,174	4,28
Kesme derinliği (a)	1	0,07722	0,077225	8,16	0,009	17,67
Hata (e)	22	0,20811	0,009459	-	-	47,61
Toplam	26	0,43714				100
Sıcaklık (T, °C)						
Kesici uç (Kt)	1	0,761	0,7606	0,02	0,877	0,10
Kesme hızı (V)	1	58,456	8,8007	0,29	0,599	7,84
İlerleme oranı (f)	1	4,425	4,4246	0,14	0,708	0,59
Kesme derinliği (a)	1	2,961	2,9606	0,10	0,760	0,40
Hata (e)	22	678,543	30,8429			91,06
Toplam	26	745,145				100

Çizelge 6.7’de yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için, pürüzlülüğe etki eden en etkili parametre %38,95 ile kesme hızı olmuştur. Bu parametreyi ikinci olarak %5,95 ile kesme derinliği takip etmektedir. Bu durumda kesme hızının pürüzlülük üzerine doğrudan etkilediği söylenebilir. Aşınma için varyans analizi değerlendirildiğinde aşınmaya etki eden en etkili parametre ise yine %18,44 ile kesme hızı olmuştur. Bu parametreyi %17,67 ile kesme derinliği takip etmektedir. Aşınma için de aynı durum söz konusu olup, kesme hızı aşınma üzerine doğrudan etkilemektedir. Sıcaklık için sonuçlar değerlendirildiğinde sıcaklığa etki eden en etkili parametre %7,84 ile kesme hızı olmuştur. Bu parametreyi %0,59 ile ilerleme oranı takip etmektedir. Yine sıcaklık için de en etkili parametre kesme hızıdır. Bu durumda üç deneysel sonuç için en etkili parametrenin kesme hızı olduğu ve bu durumda bu parametrenin GGG60 malzemesinin yüzey frezeleme işleminde pürüzlülük, aşınma ve sıcaklığa doğrudan etkileyen bir parametre olduğu söylenebilir.

6.4. DOĞRULAMA DENEYLERİ VE TAGUCHİ TAHMİN DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

Kesme parametrelerinin bireysel etkileri dikkate alınarak yüzey pürüzlülüğü için elde edilen optimum kombinasyona göre $A_2B_1C_1D_2$ (A_2 =TiN-TiCN- Al_2O_3 kaplamalı kesici uç, $B_1 = 175$ m/dak kesme hızı, $C_1 = 0,10$ mm/diş ilerleme oranı ve $D_2 = 1$ mm kesme derinliği) tahmin yüzey pürüzlülüğü ($GGG60Ra_p$), deney parametrelerinin bireysel etkileri dikkate alınarak takım aşınması için elde edilen optimum kombinasyona göre $A_3B_2C_2D_1$ (A_3 =ALTiN kaplamalı kesici uç, $B_2 = 200$ m/dak kesme hızı, $C_2 = 0,25$ mm/diş ilerleme oranı ve $D_1 = 0.5$ mm kesme derinliği) tahmin kesici uç aşınması ($GGG60Wf_p$) ve deney parametrelerinin bireysel etkileri dikkate alınarak sıcaklık için elde edilen optimum kombinasyona göre $A_1B_3C_3D_1$ (A_3 =ALTiN kaplamalı kesici uç, $B_3 = 300$ m/dak kesme hızı, $C_3 = 0,30$ mm/diş ilerleme oranı ve $D_1 = 0.5$ mm kesme derinliği) tahmin sıcaklık değeri ($GGG60T_p$) aşağıda verilen denklemlerle hesaplanır [50]- [53].

$$\eta_{gRa} = A_2 + B_1 + C_1 + D_2 - 3\eta_{\frac{S}{N}-Ra} \quad (6.1)$$

$$GGG60Ra_p = 10^{-\eta_{gRa}/20} \quad (6.2)$$

$$\eta_{gWf} = A_3 + B_2 + C_2 + D_1 - 3\eta_{\frac{S}{N}-Wf} \quad (6.3)$$

$$GGG60Wf_p = 10^{-\eta_{gWf}/20} \quad (6.4)$$

$$\eta_{gT} = A_1 + B_3 + C_3 + D_1 - 3\eta_{\frac{S}{N}-T} \quad (6.5)$$

$$GGG60T_p = 10^{-\eta_{gT}/20} \quad (6.6)$$

Denklemlerde; $A_2B_1C_1D_2$, $A_3B_2C_2D_1$ ve $A_1B_3C_3D_1$ faktörlerin optimum seviyelerine ait sinyal gürültü oranlarıdır (Çizelge 6.6). $\eta_{\frac{S}{N}-Ra}$ GGG60 için; yüzey pürüzlülük değerleri S/N oranlarının ortalaması, $\eta_{\frac{S}{N}-Wf}$ aşınma değerleri S/N oranlarının ortalaması ve $\eta_{\frac{S}{N}-T}$ sıcaklık değerlerinin S/N oranları ortalamasıdır. η_{gRa} Yüzey pürüzlülüğü optimum seviyeleri için hesaplanan S/N oranı, η_{gWf} kesici uç aşınması optimum seviyeleri için hesaplanan S/N oranı, η_{gT} sıcaklık optimum seviyeleri için hesaplanan S/N oranı, $GGG60Ra_p$ yüzey pürüzlülüğünün tahmin değeri ve $GGG60Wf_p$, takım aşınmasının tahmin değeri ve $GGG60T_p$, sıcaklık için hesaplanan Taguchi tahmin değerleridir. Denklem 6.1 ve denklem 6.2 kullanılarak hesaplanan yüzey pürüzlülüğü

tahmin değeri (GGG60R_{ap}) 0,431μm, Denklem 6.3 ve Denklem 6.4 kullanılarak hesaplanan kesici uç aşınması tahmin değeri (GGG60W_{f_p}) 0.068 mm ve Denklem 6.5 ve Denklem 6.6 kullanılarak hesaplanan sıcaklık tahmin değeri (GGG60T_p) 48.05 °C olarak bulunmuştur. Sonraki adımda GGG60 için güven aralığı (CI) aşağıda verilen denklem ile hesaplanır [52]- [55].

$$CI = \sqrt{F_{\alpha:1,V_e} \times V_{ep} \times \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (6.7)$$

Denklem 6.7’de $F_{\alpha:1,V_e}$ önem düzeyi α ’nın F oranı, α önem düzeyi, $1 - \alpha$ güven aralığı, V_e varyans analizi sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklığa ait hatanın serbestlik derecesidir. Çizelge 6.7 incelendiğinde tüm parametrelere ait hatanın serbestlik derecesi 22 dir. Bu durumda %95 güven seviyesine ait F tablosundan 1-22 değeri 4,30 olarak bulunmuş ve bu değer yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için hesaplanacak güven seviyesi için aynıdır. V_{ep} yine varyans analizi sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklığa ait hatanın varyansı, r doğrulama deney sayısı ve n_{eff} etkin ölçülen sonuçların sayısıdır [52]- [55].

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + V_t} \quad (6.8)$$

Denklem 6.8’de N , toplam deney sayısını (27), V_t Çizelge 6.7 dikkate alınarak ortalamanın hesaplandığı kesme parametrelerine ait toplam serbestlik derecesini (4) ifade etmektedir. Çizelge 6.7 incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık deney parametrelerinin serbestlik dereceleri aynıdır ve toplamda hepsi için 27 deney yapıldığından n_{eff} hepsi için aynı değer alacaktır. Bu durumda n_{eff} , 5,4 olarak hesaplanmıştır. GGG60 için yürütülen çalışmada; yüzey pürüzlülüğü, kesici uç aşınması ve sıcaklık için belirlenen optimum kombinasyonlar dikkate alınarak her biri için 3 adet doğrulama deneyi yapılmıştır ve deney sonuçları %95 güven aralığında değerlendirilmiştir.

Denklem 6.7 ve Denklem 6.8 dikkate alındığında yüzey pürüzlülüğü için güven aralığı (CI_{Ra}) = 0,383, takım aşınması için güven aralığı (CI_{Wf}) = 0,145 ve sıcaklık için güven aralığı (CI_T) = 8,29 olarak bulunmuştur. Güven aralığının kullanımında, her bir parametre için hesaplanan Taguchi tahmin değeri güven aralığı ile toplanır ve çıkartılır. Doğrulama deneylerinin ortalaması bu iki değer arasında olması istenir.

Yüzey pürüzlülüğü için yapılan 3 adet doğrulama deneylerinin ortalaması 0,452 μm 'dur. Bu durumda yüzey pürüzlülüğü için, $(0,431-0,383) < 0,452 < (0,431+0,383) = 0,048 < 0,452 < 0,814$ aralığı elde edilmiş ve doğrulama deneyleri güven aralığı içinde gerçekleşmiştir. Takım aşınması için yürütülen 3 adet doğrulama deneylerinin ortalamaları 0,069 mm'dir. Bu durumda takım aşınması için; $(0,068-0,145) < 0,069 < (0,068+0,145) = 0 < 0,069 < 0,213$ aralığı elde edilmiş ve takım aşınması için doğrulama deneyleri güven aralığı içinde gerçekleşmiştir. Kesme sıcaklığı için yürütülen 3 adet doğrulama deneylerinin ortalaması 49,17°C'dir. Bu durumda sıcaklık için; $(48,05-8,29) < 49,17 < (48,05+8,29) = 39,76 < 49,17 < 56,34$ aralığı elde edilmiş ve sıcaklık için doğrulama deneyleri güven aralığı içinde gerçekleşmiştir. Bu durumda her üç ölçüm için gerçekleştirilen optimizasyon başarılıdır denilebilir.

Çizelge 6.8'de, Taguchi metodu kullanılarak elde edilen öngörülen değerlerle deney sonuçlarının karşılaştırmasını gösterilmiştir. Tahmin değerlerinin hesaplanmasında Denklem 6,1, Denklem 6,2, Denklem 6,3, Denklem 6,4, Denklem 6,5 ve Denklem 6,6 kullanılmıştır. Tahmin edilen değerler ve deneysel değerler birbirine yakın çıkmıştır. Güvenilir istatistiksel analiz için hata değerleri %20'den az olmalıdır [50].

Çizelge 6.8. GGG60 için optimize ve rastgele koşulların tahmin değerlerle karşılaştırılması.

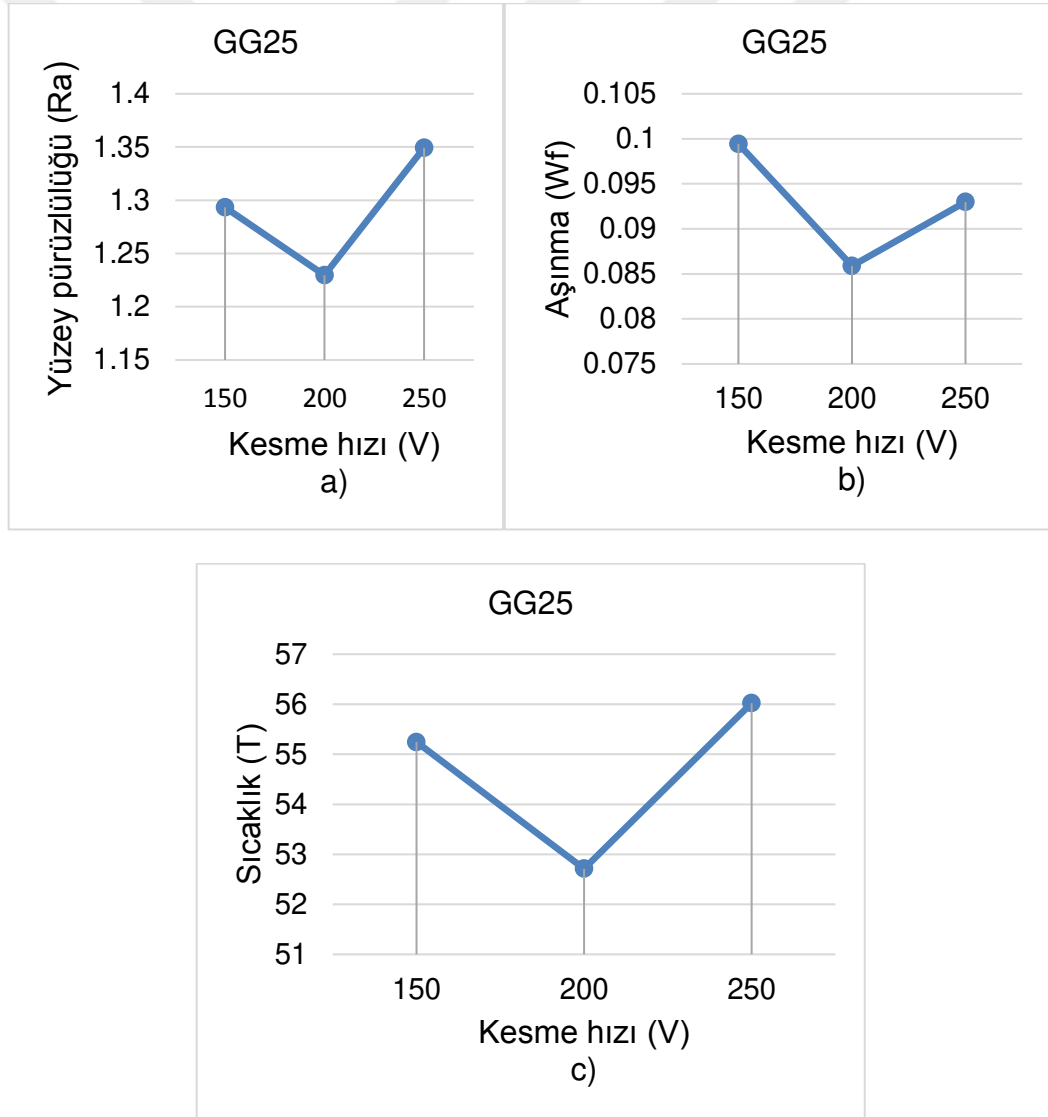
Seviyeler	Taguchi metodu		
	Deneyssel	Tahmin	Hata (%)
Yüzey pürüzlülüğü (Ra, μm)			
A ₂ B ₁ C ₁ D ₂ (Optimum)	0,452	0,431	4,65
A ₃ B ₂ C ₁ D ₃ (Rastgele)	0,796	0,827	3,74
A ₃ B ₃ C ₂ D ₁ (Rastgele)	1,224	1,214	0,816
Aşınma (Wf, mm)			
A ₃ B ₂ C ₂ D ₁ (Optimum)	0,069	0,068	1,93
A ₂ B ₂ C ₃ D ₁ (Rastgele)	0,137	0,138	0,72
A ₂ B ₁ C ₂ D ₃ (Rastgele)	0,147	0,144	2,04
Sıcaklık (T, °C)			
A ₁ B ₃ C ₃ D ₁ (Optimum)	49,17	48,05	2,28
A ₂ B ₁ C ₂ D ₃ (Rastgele)	55,70	57,89	3,78
A ₂ B ₂ C ₃ D ₁ (Rastgele)	57,10	53,16	6,90

Çizelge 6.8’de yüzey pürüzlülük, kesici uç aşınması ve sıcaklık deney değerleri ile tahmin değerleri karşılaştırılmıştır. Doğrulama testi sonuçları ile Taguchi metoduyla elde edilen sonuçlar arasındaki hata değerleri %20’den az olduğu görülmektedir. Bu durumda doğrulama deneyleriyle elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, optimizasyon başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

7.DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1. GG25 İÇİN İKİ BOYUTLU GRAFİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

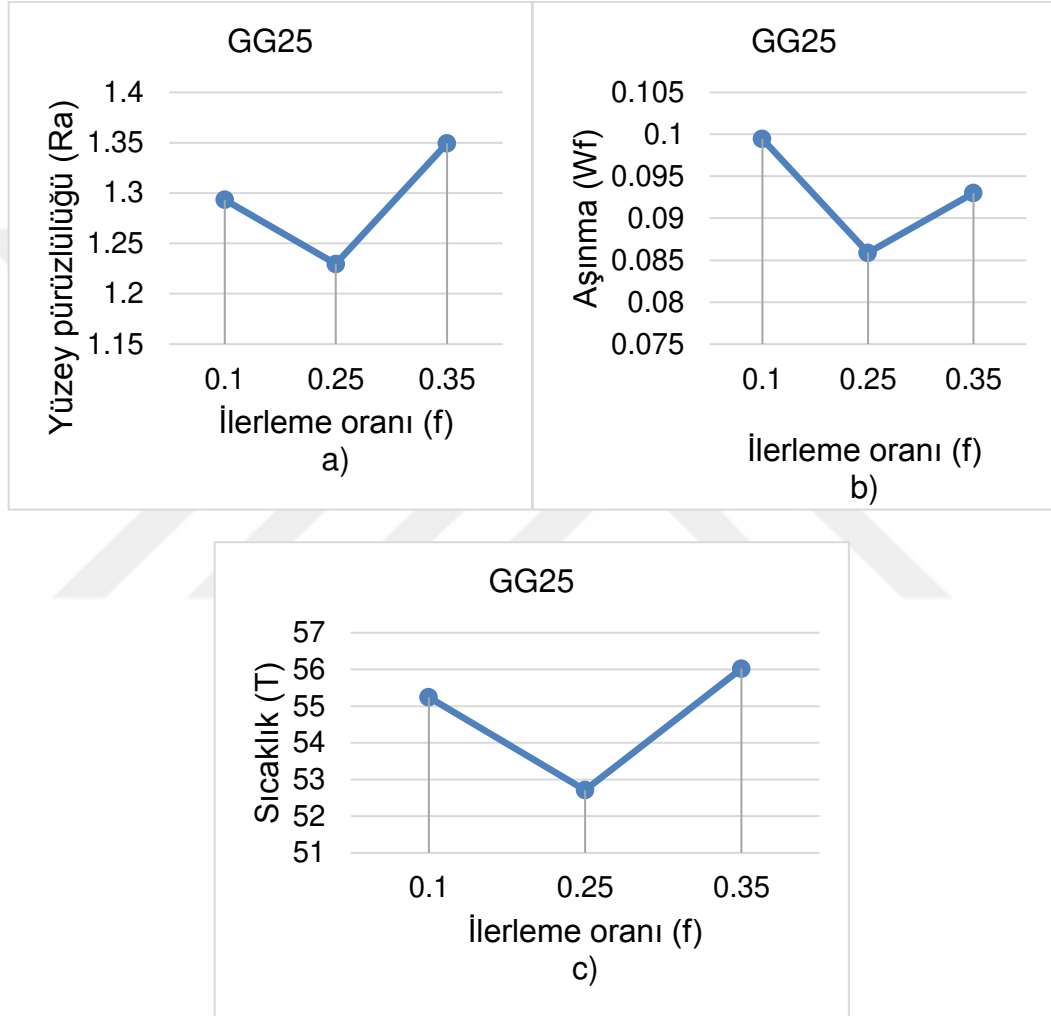
GG25 gri dökme demir ile yürütülen deneylerde kesme hızlarının yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 7.1’de görülmektedir. Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün düştüğü daha sonra arttığı görülmektedir. Aşınma değerinin ise düştüğü daha sonra bir miktar arttığı görülmektedir. Her üç nedeysel sonuç için mininum değerler 200 m/dak kesme hızında olmuştur.



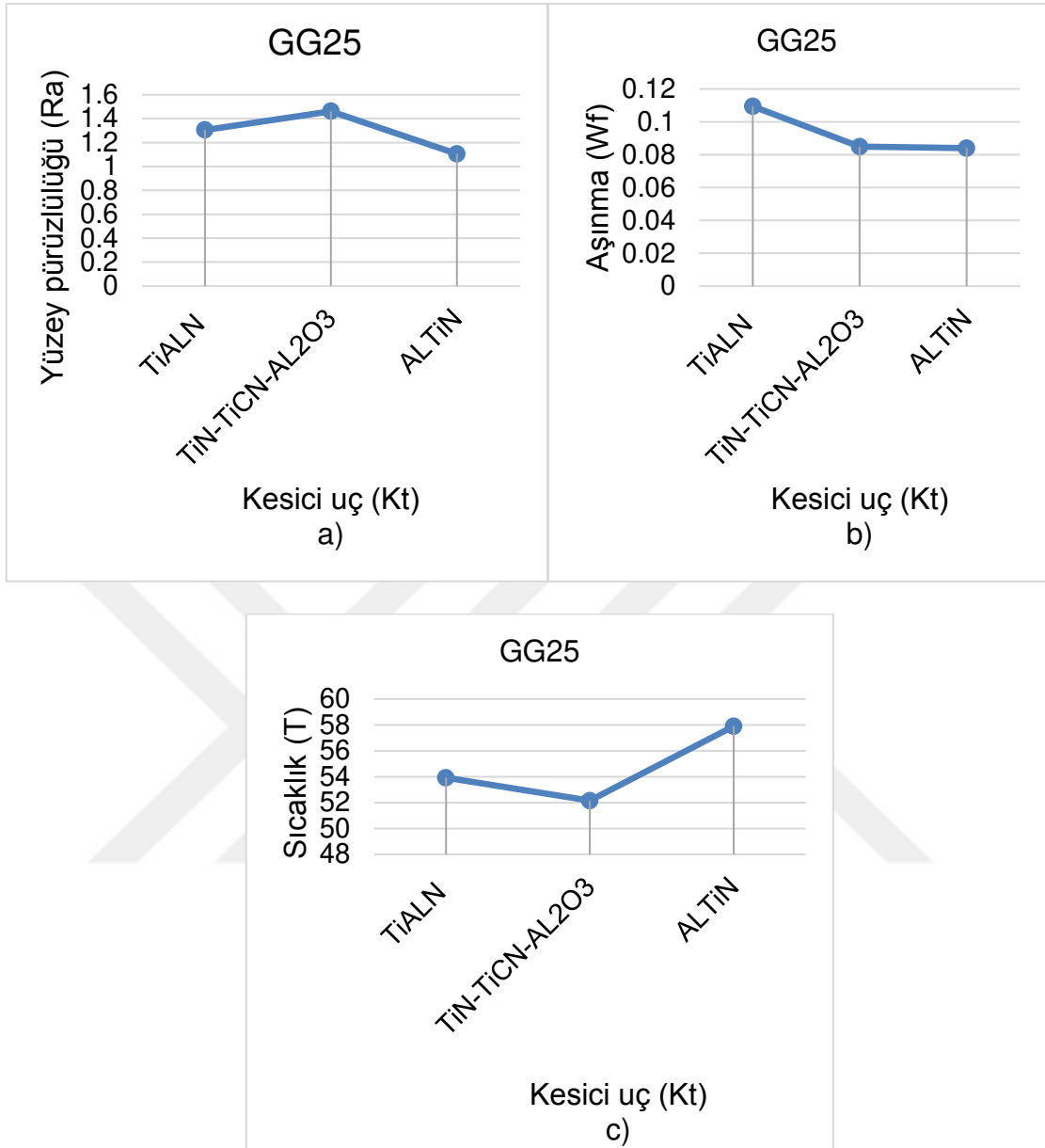
Şekil 7.1. Kesme hızının a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık üzerine etkisi.

GG25 gri dökme demir ile yürütülen deneylerde ilerleme oranlarının yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 7.2’de görülmektedir.

Grafikler incelendiğinde ilerleme oranı arttıkça da yüzey pürüzlülüğü aşınma ve sıcaklık değerlerinin bir süre düştüğü daha sonra tekrar arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum en uygun ilerleme hızının 0,25 mm/diş olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7.2. İlerleme oranının a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık üzerine etkisi.

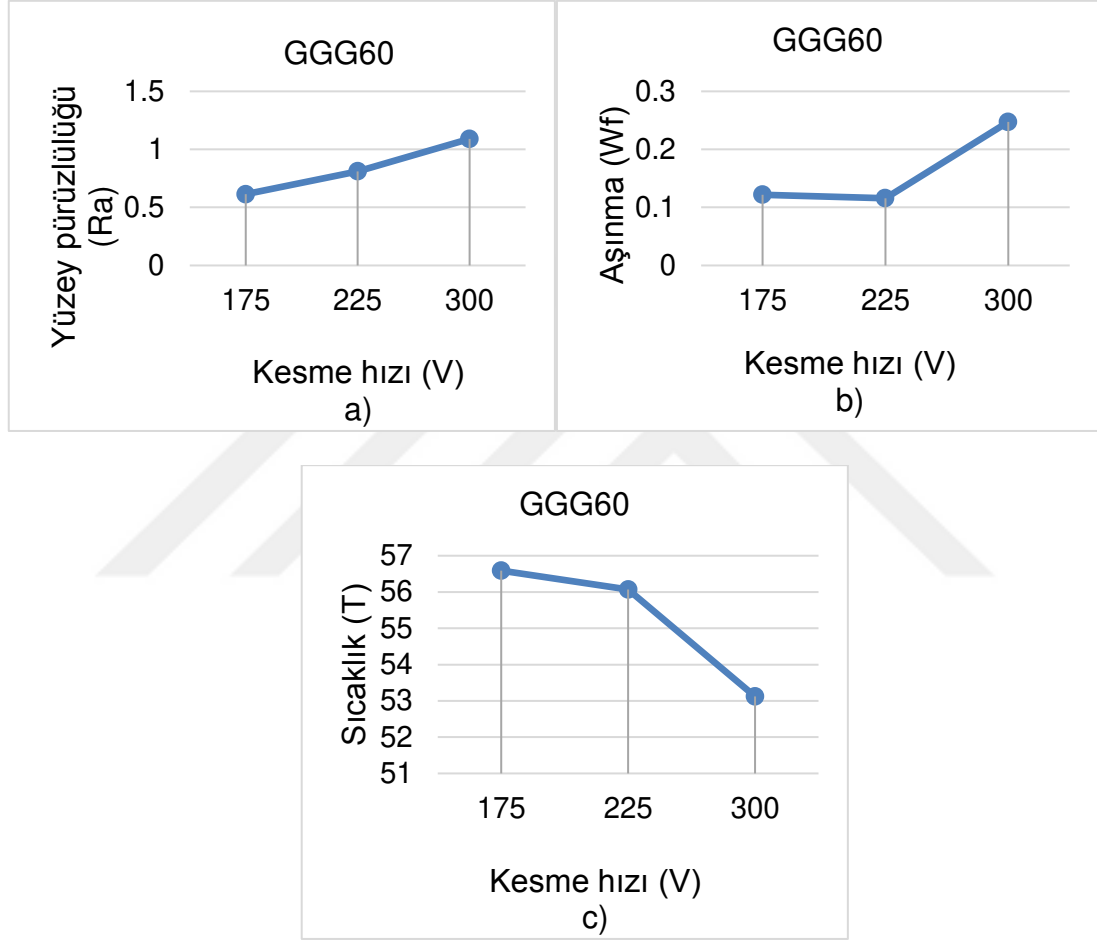


Şekil 7.3. Kesici ucun a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık üzerine etkisi.

Yine GG25 ile yürütülen deneylerde kesici ucun; yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık üzerindeki etkisi Şekil 7.3'te görülmektedir. Bu grafiklerde yüzey pürüzlülüğü ve aşınma için AlTiN kaplamalı kesici uç, sıcaklık için ise TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç en iyi sonuçları vermiştir.

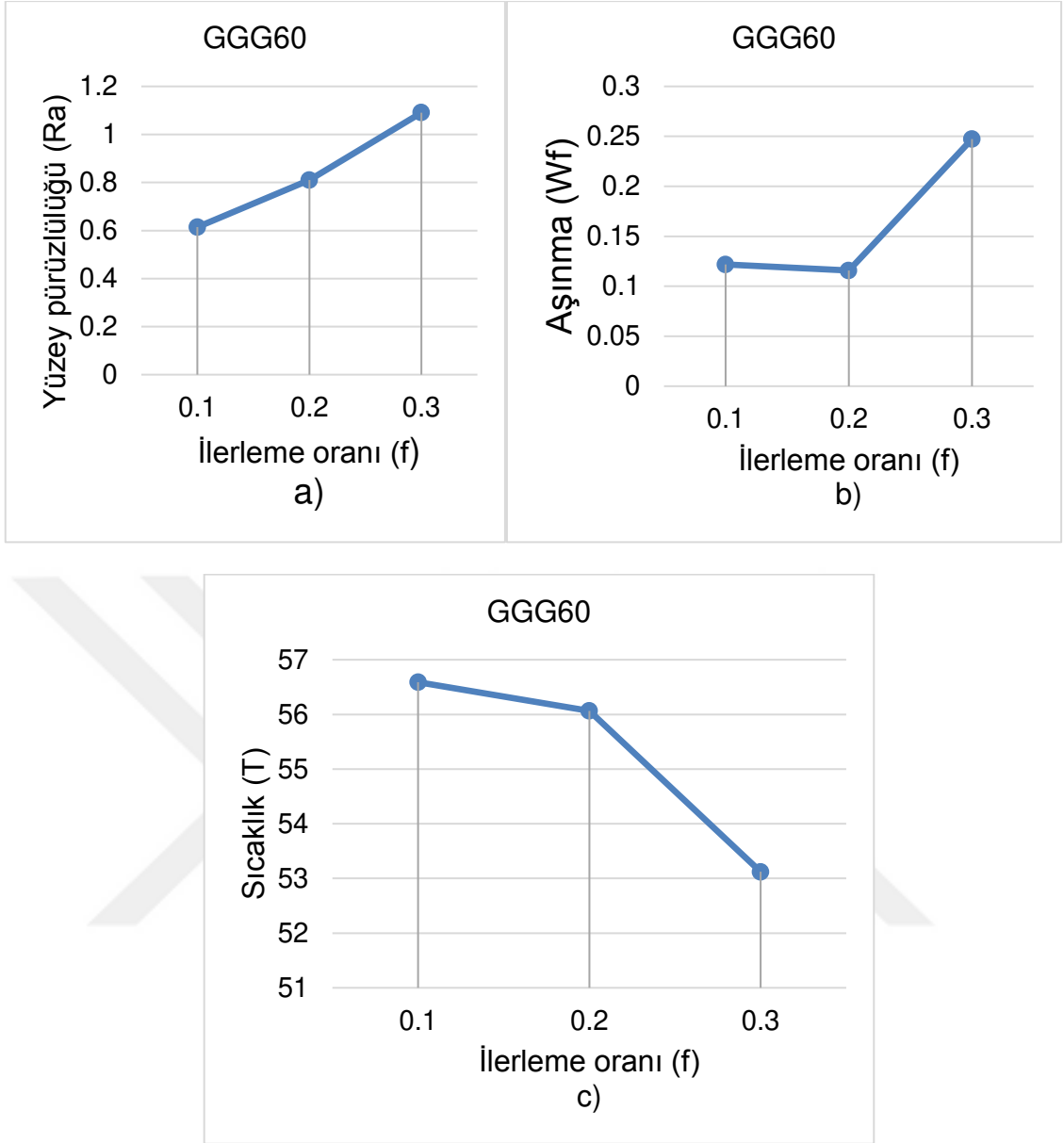
7.2. GGG60 İÇİN İKİ BOYUTLU GRAFİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

GGG60 küresel grafitli dökme demirde yürütülen deneylerde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 7.4’de görülmektedir. Burada kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Bu bilinen bir durumdur. Aynı şekilde kesme hızı arttıkça aşınmanın bir miktar sabit kaldığı ardından arttığı görülmektedir. Yine grafiklerden sıcaklığında düştüğü görülmektedir.

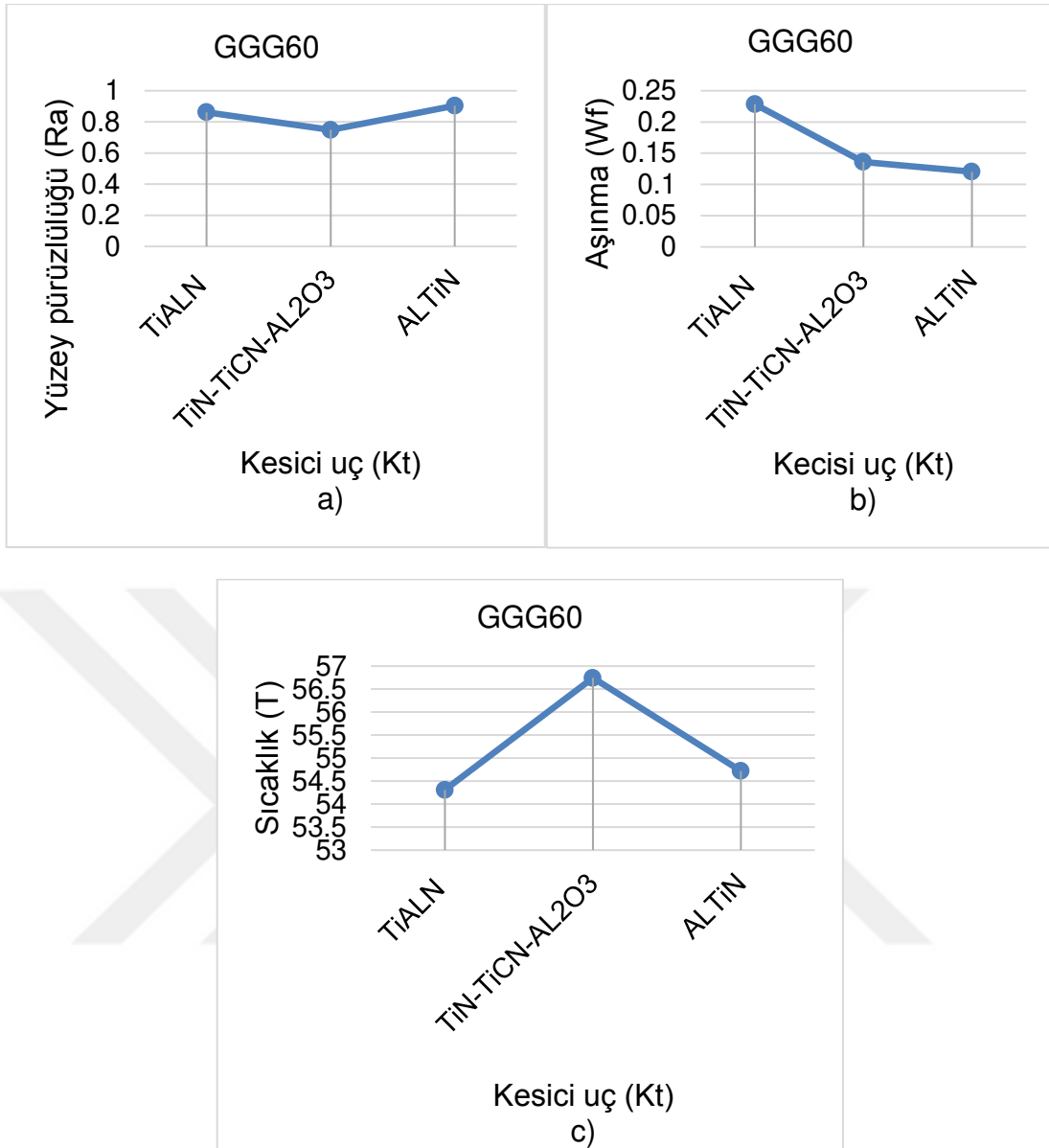


Şekil 7.4. Kesme hızının a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık üzerine etkisi.

GGG60 küresel grafitli dökme demirlerde yürütülen deneylerde ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 7.5’te görülmektedir. Grafiklere bakıldığında ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı aşınma değerinin bir miktar düştüğü ve sonrasında arttığı sıcaklık değerlerinin ise düştüğü görülmektedir. Bu sonuçlar ilerleme oranı arttıkça, kesici ucun malzemenin yüzeyine temas etme süresinin azalması ile açıklanabilir.



Şekil 7.5. İlerleme oranının a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık üzerine etkisi.



Şekil 7.6. Kesici ucun a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık üzerine etkisi.

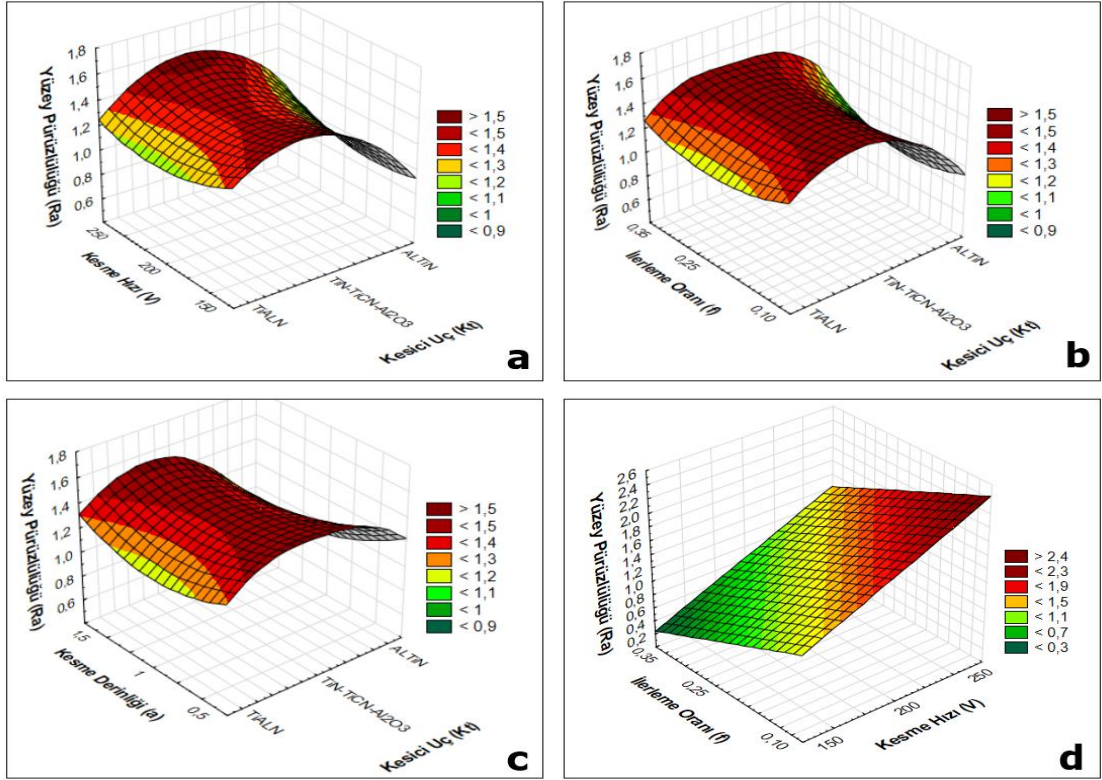
Yine GGG60 ile yürütülen deneylerde kesici ucun; yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık üzerindeki etkisi Şekil 7.6'da görülmektedir. Grafiklerde incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç, aşınma için AlTiN kaplamalı kesici uç ve sıcaklık için ise TiAlN kaplamalı kesici uç en iyi sonuçları vermiştir.

7.3. GG25 İÇİN 3 BOYUTLU GRAFİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

7.3.1. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Deneysel sonuçlara etki eden kesme parametreleri ve bu parametrelerin etkisi üç boyutlu grafiklerle değerlendirilmiştir (Şekil 7.7). Şekil 7.7a'da kesici uç ve kesme hızının, yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğünün ALTiN kesici uç ve 200 m/dak kesme hızı ile, TiALN kaplamalı kesici uç ve 200 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. Bu durum yine Taguchi optimizasyon değerleriyle benzerlik göstermektedir.

Şekil 7.7a'da en yüksek yüzey pürüzlülüğünün TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç ve tüm kesme hızlarında olduğu görülmektedir. Burada da en iyi performansı ALTiN ve TiALN kaplamalı kesici uçlar göstermiştir.

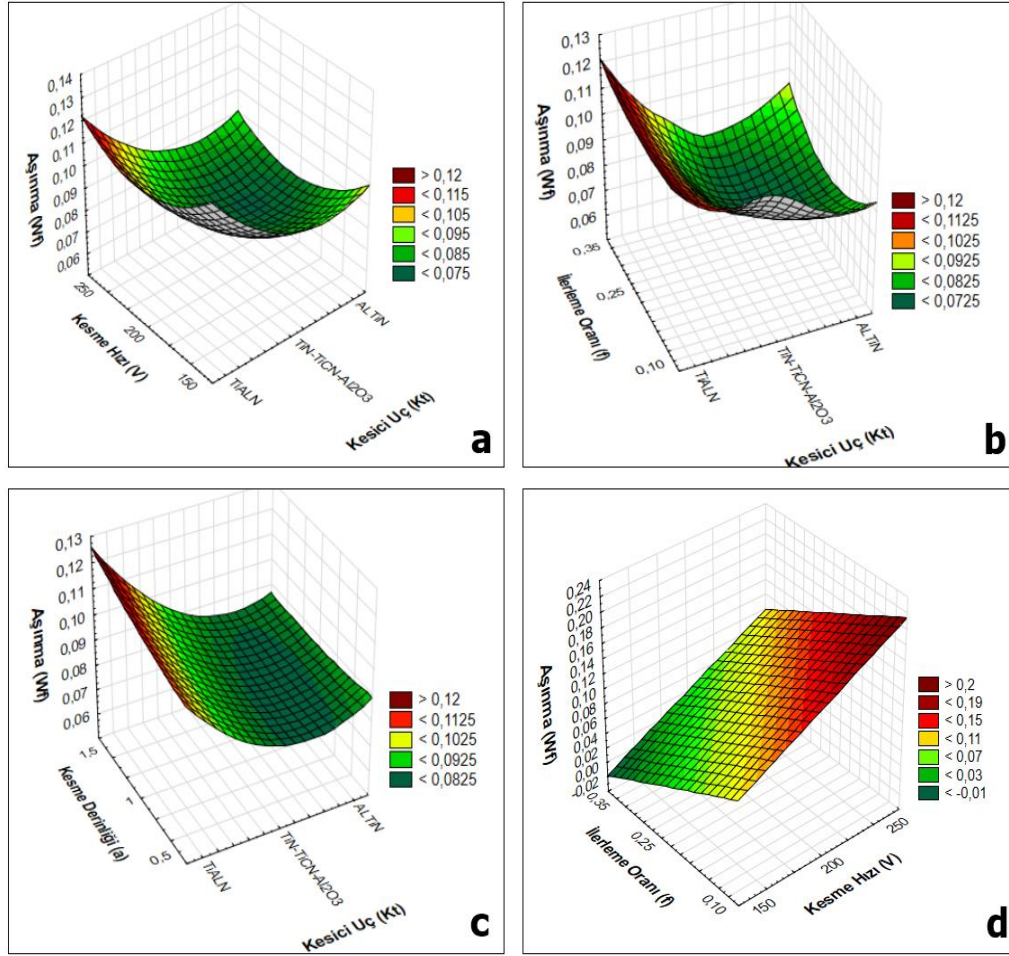


Şekil 7.7. GG25 Yüzey pürüzlülüğüne a) Kesme hızı-kesici uç b) İlerleme oranı-kesici uç c) Kesme derinliği-kesici uç d) İlerleme oranı-kesme hızı etkisi.

Şekil 7.7b’de ilerleme oranı ve kesici uçların yüzey pürüzlülüğü üzerine etki grafiği gösterilmiştir. Burada ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 0.25 mm/diş ilerleme oranı ve ALTiN kaplamalı kesici uçta olduğu görülmektedir. Bu durum Taguchi optimizasyon değerleri ile örtüşmektedir. Şekil 7.7b’de en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise, TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç, tüm ilerleme oranlarında olduğu görülmektedir. Şekil 7.7c’de kesici uç ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme derinliği ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğünün TiALN ve ALTiN kaplamalı kesici uçlar ve 1 mm kesme derinliğinde olduğu görülmektedir. Bu durum da Taguchi optimizasyon değerleriyle örtüşmektedir. Şekil 7.7c’de en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri; TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç ve tüm kesme derinliklerinde olduğu görülmektedir. Bu grafikten de anlaşılabacağı gibi burada en iyi performansı TiALN kaplamalı kesici uç göstermiştir. Şekil 7.7d’de kesme hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı, en yüksek yüzey pürüzlülüğünün ise 0.10 mm/diş ilerleme oranı ve 250 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğündeğeri ise 150 m/dak kesme hızı ve 0.35 mm/diş ilerleme oranında olduğu görülmektedir.

7.3.2. Kesme Parametrelerinin Aşınmaya Etkisi

Deneysel sonuçlara etki eden kesme parametreleri ve bu parametrelerin etkisi üç boyutlu grafiklerle değerlendirilmiştir (Şekil 7.8). Şekil 7.8a’da kesici uç ve kesme hızının, aşınma değeri üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme hızı arttıkça aşınma değerinin de arttığı görülmektedir. En düşük aşınma değeri ALTiN ile TiN-TiC-A₂O₃ kaplamalı kesici uçlar ve 200 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. Bu durum yine Taguchi optimizasyon değerleriyle benzerlik göstermektedir. Şekil 7.8a’da en yüksek aşınma değeri TiALN kaplamalı kesici uç ve 250 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. Burada da en iyi performansı ALTiN VE TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçlar göstermiştir.



Şekil 7.8. GG25 aşınmaya a) Kesme hızı-kesici uç b) İlerleme oranı-kesici uç c) Kesme derinliği-kesici uç d) İlerleme oranı-kesme hızı.

Şekil 7.8b’de ilerleme oranı ve kesici uçların aşınma değeri üzerine etki grafiği gösterilmiştir. Burada ilerleme oranı arttıkça aşınmanın da arttığı görülmektedir. En düşük aşınma değeri 0.25 mm/diş ilerleme oranı ve TiN-TiCN-Al₂O₃ ile ALTiN kaplamalı kesici uçlarda olduğu görülmektedir. Bu durum Taguchi optimizasyon değerleri ile örtüşmektedir. Şekil 7.8b’de en yüksek aşınma değerinin ise, TiALN kaplamalı kesici uç, 0.35 mm/diş ilerleme oranı ve ALTiN kaplamalı kesici uç, 0.35 mm/diş ilerleme oranlarında olduğu görülmektedir. Ayrıca TiN-TiCN-Al₂O₃ ile ALTiN kaplamalı kesici uçlar bütün ilerleme oranlarında iyi performans göstermiştir. Şekil 7.8c’de kesici uç ve kesme derinliğinin aşınma üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme derinliği arttıkça aşınma değerinin arttığı görülmektedir. En düşük aşınma değerinin ALTiN ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçlar ve 0.5 mm kesme

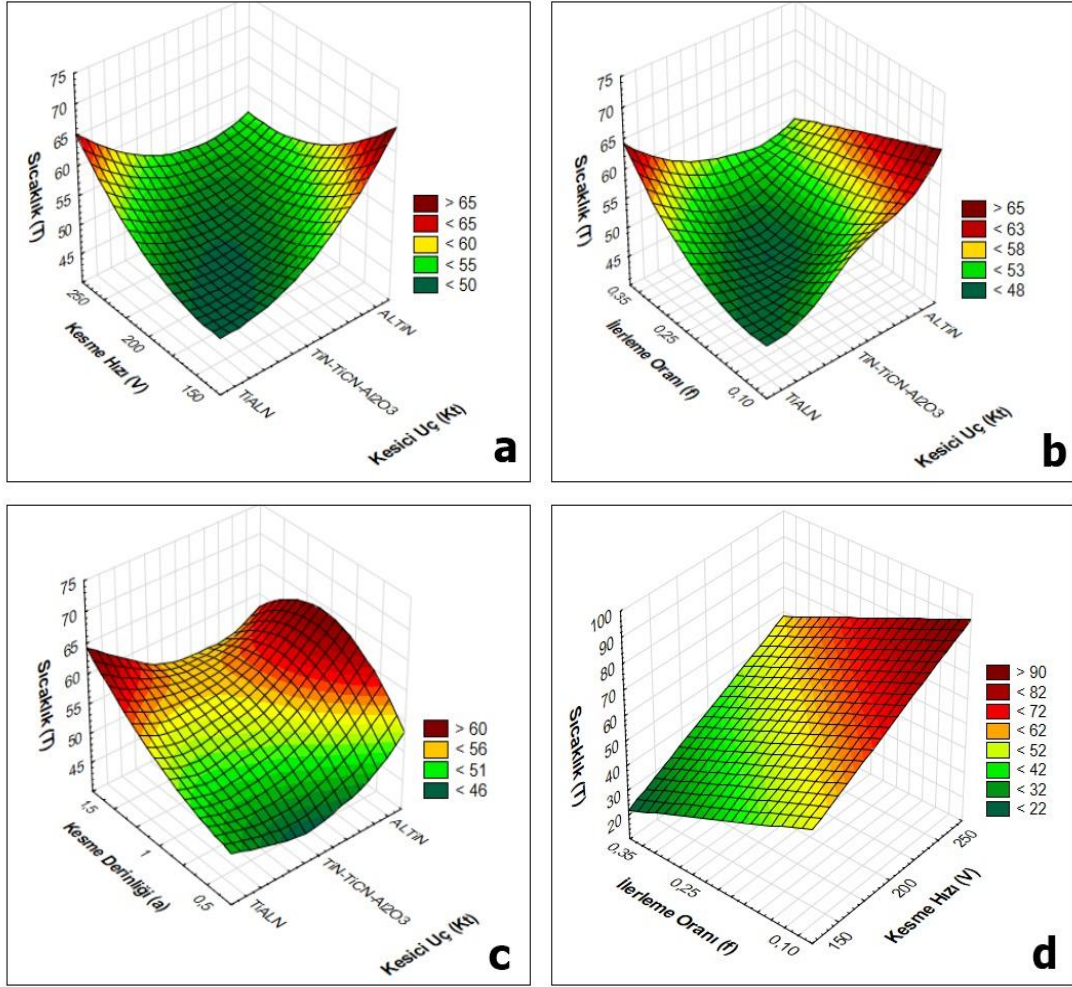
derinliğinde olduğu görülmektedir. Bu durum da Taguchi optimizasyon değerleriyle örtüşmektedir. Şekil 7.8c’de en yüksek aşınma değerleri;

TiALN kaplamalı kesici uç ve 1.5 mm kesme derinliği, ALTiN kaplamalı kesici uç ve 0.5 mm kesme derinliğinde olduğu görülmektedir.

Bu grafikten de anlaşılaçağı gibi burada da en iyi performansı TiN-TiCN-Al₂O₃ ve ALTiN kaplamalı kesici uçlar göstermiştir. Şekil 7.8d’de kesme hızı ve ilerleme oranının aşınma üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme hızı arttıkça aşınma değerinin arttığı, en yüksek aşınma değerinin ise 0.10 mm/diş ilerleme oranı ve 250 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. En düşük aşınma değeri ise 150 m/dak kesme hızı ve 0.35 mm/diş ilerleme oranında olduğu görülmektedir.

7.3.3. Kesme Parametrelerinin Sıcaklığa Etkisi

Deneyssel sonuçlara etki eden kesme parametreleri ve bu parametrelerin etkisi üç boyutlu grafiklerle değerlendirilmiştir (Şekil 7.9). Şekil 7.9a’da kesici uç ve kesme hızının, kesme sıcaklığı üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme hızı arttıkça sıcaklığın arttığı görülmektedir. En düşük sıcaklığın TiALN kesici uç ve 150 mm/dak kesme hızı ile, TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç ve 200 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. Bu durum yine Taguchi optimizasyon değerleriyle benzerlik göstermektedir. Şekil 7.9a’da en yüksek sıcaklığın ALTiN kaplamalı kesici uç ve 150 m/dak kesme hızı, TiALN kaplamalı kesici uç ve 250 m/dak kesme hızlarında olduğu görülmektedir. Burada da en iyi performansı TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç göstermiştir.



Şekil 7.9. GG25 sıcaklığı a) Kesme hızı-kesici uç b) İlerleme oranı-kesici uç c) Kesme derinliği-kesici uç d) İlerleme oranı-kesme hızı etkisi.

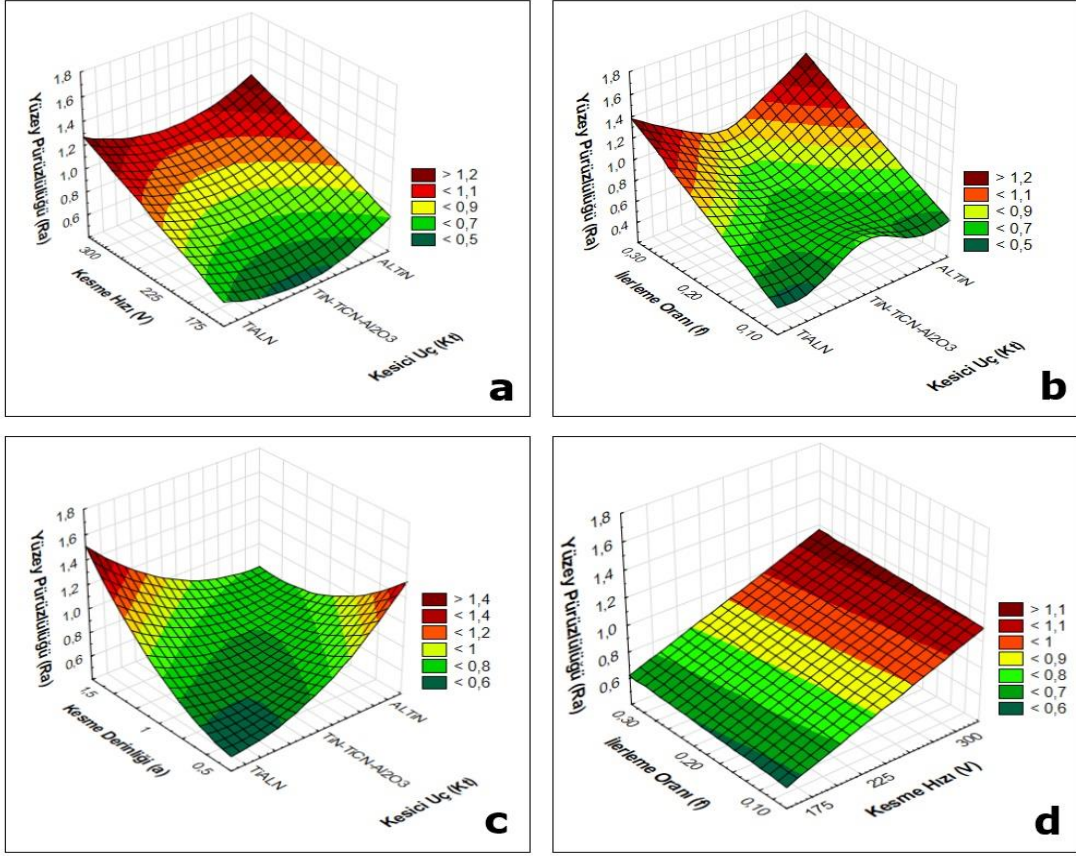
Şekil 7.9b’de ilerleme oranı ve kesici uçların kesme sıcaklığı üzerine etki grafiği gösterilmiştir. Burada ilerleme oranı arttıkça sıcaklığın da arttığı görülmektedir. En düşük sıcaklık değeri 0.25 mm/diş ilerleme oranı ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta olduğu görülmektedir. Bu durum Taguchi optimizasyon değerleri ile örtüşmektedir. Şekil 7.7b’de en yüksek sıcaklığın ise, ALTiN kaplamalı kesici uç, 0.10 mm/diş ilerleme oranı ve TiALN kaplamalı kesici uç, 0.35 mm/diş ilerleme oranlarında olduğu görülmektedir. Ayrıca TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici ucun bütün ilerleme oranlarında iyi performans göstermiştir. Şekil 7.9c’de kesici uç ve kesme derinliğinin sıcaklık üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme derinliği arttıkça sıcaklığın arttığı görülmektedir. En düşük kesme sıcaklığının TiALN ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçlar ve 0.5 mm kesme derinliğinde olduğu görülmektedir. Bu durum da Taguchi optimizasyon değerleriyle örtüşmektedir. Şekil 7.7c’de en yüksek sıcaklık değerleri; TiALN kaplamalı kesici uç ve

1.5 mm kesme derinliği, ALTiN kaplamalı kesici uç ve 0.5 mm kesme derinliğinde olduğu görölmektedir. Bu grafikten de anlaşılacağı gibi burada da en iyi performansı TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç göstermiştir. Şekil 7.9d’de kesme hızı ve ilerleme oranının kesme sıcaklığı üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme hızı arttıkça sıcaklığın arttığı, en yüksek sıcaklığın ise 0.10 mm/diş ilerleme oranı ve 250 m/dak kesme hızında olduğu görölmektedir. En düşük sıcaklık değeri ise 150 m/dak kesme hızı ve 0.25 mm/diş ilerleme oranında olduğu görölmektedir.

7.4. GGG60 İÇİN 3 BOYUTLU GRAFİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

7.4.1. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Deneysel sonuçlara etki eden kesme parametreleri ve bu parametrelerin etkisi üç boyutlu grafiklerle değerlendirilmiştir (Şekil 7.10). Şekil 7.10a’da kesici uç ve kesme hızının, yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görölmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğünün TiN-TiCN-Al₂O₃ kesici uç ve 175 m/dak kesme hızı ile, TiALN kaplamalı kesici uç ve 175 m/dak kesme hızında olduğu görölmektedir. Şekil 7.10a’da en yüksek yüzey pürüzlülüğünün ALTiN kaplamalı kesici uç ve 300 m/dak kesme hızı, TiALN kaplamalı kesici uç ve 300 m/dak kesme hızlarında olduğu görölmektedir. Burada da en iyi performansı TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç göstermiştir.



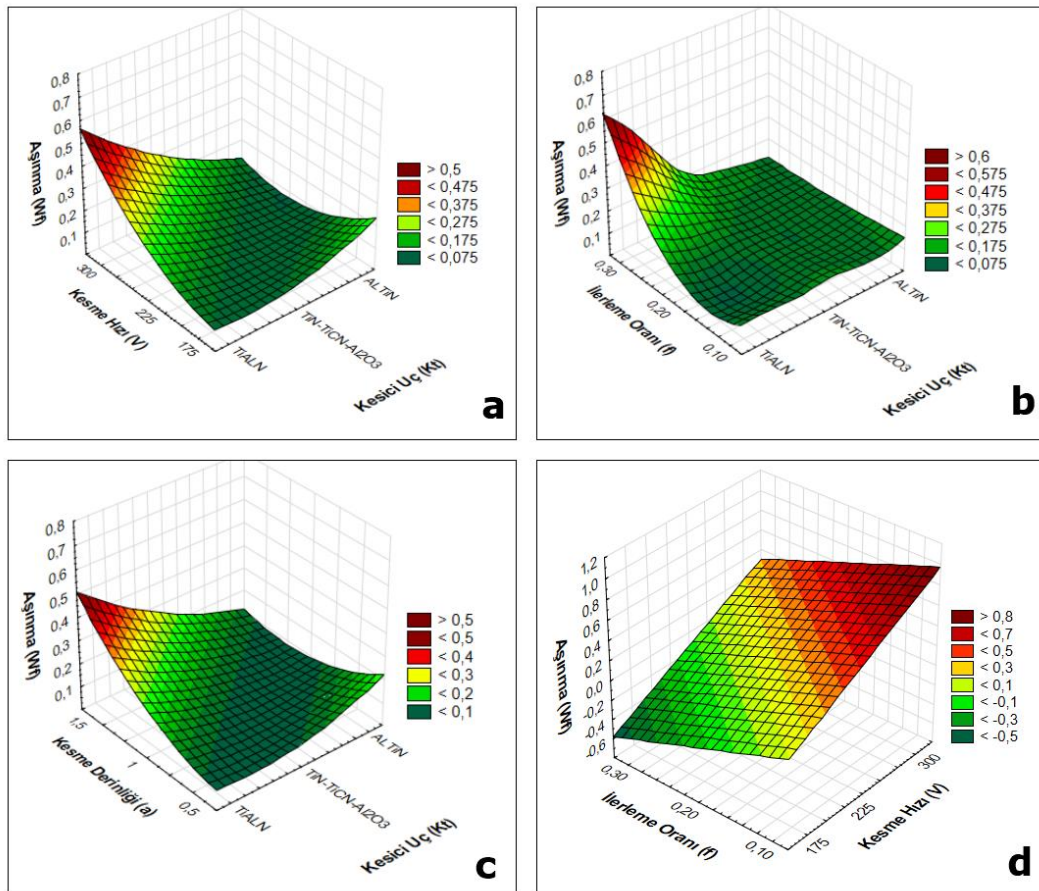
Şekil 7.10. GGG60 yüzey pürüzlülüğüne a) Kesme hızı-kesici uç b) İlerleme oranı-kesici uç c) Kesme derinliği-kesici uç d) İlerleme oranı-kesme hızı.

Şekil 7.10b’de ilerleme oranı ve kesici uçların yüzey pürüzlülüğü üzerine etki grafiği gösterilmiştir. Burada ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 0.10 mm/diş ilerleme oranı ve TiALN kaplamalı kesici uçta olduğu görülmektedir. Şekil 7.8b’de en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise, TiALN kaplamalı kesici uç, 0.30 mm/diş ilerleme oranı ve ALTiN kaplamalı kesici uç, 0.30 mm/diş ilerleme oranlarında olduğu görülmektedir. Şekil 7.10c’de kesici uç ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğünün TiALN kaplamalı kesici uç ve 0.5 mm kesme derinliğinde olduğu görülmektedir. Şekil 7.10c’de en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri; TiALN kaplamalı kesici uç ve 1.5 mm kesme derinliği, ALTiN kaplamalı kesici uç ve 0.5 mm kesme derinliğinde olduğu görülmektedir. Bu grafikten de anlaşılacağı gibi burada en iyi performansı TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç göstermiştir. Şekil 7.10d’de kesme hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme hızı

arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı, en yüksek yüzey pürüzlülüğünün ise 0.30 mm/diş ilerleme oranı ve 300 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğünün değeri ise 175 m/dak kesme hızı ve 0.10 mm/diş ilerleme oranında olduğu görülmektedir.

7.4.2. Kesme Parametrelerinin Aşınmaya Etkisi

Deneysel sonuçlara etki eden kesme parametreleri ve bu parametrelerin etkisi üç boyutlu grafiklerle değerlendirilmiştir (Şekil 7.11). Şekil 7.11a'da kesici uç ve kesme hızının, aşınma değeri üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme hızı arttıkça aşınma değerinin de arttığı görülmektedir. En düşük aşınma değeri TiALN kesici uç ve 175 mm/dak kesme hızı ile, TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç ve 175 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. Şekil 7.11a'da en yüksek aşınma değeri TiALN kaplamalı kesici uç ve 300 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. Burada da en iyi performansı ALTiN kaplamalı kesici uç göstermiştir.



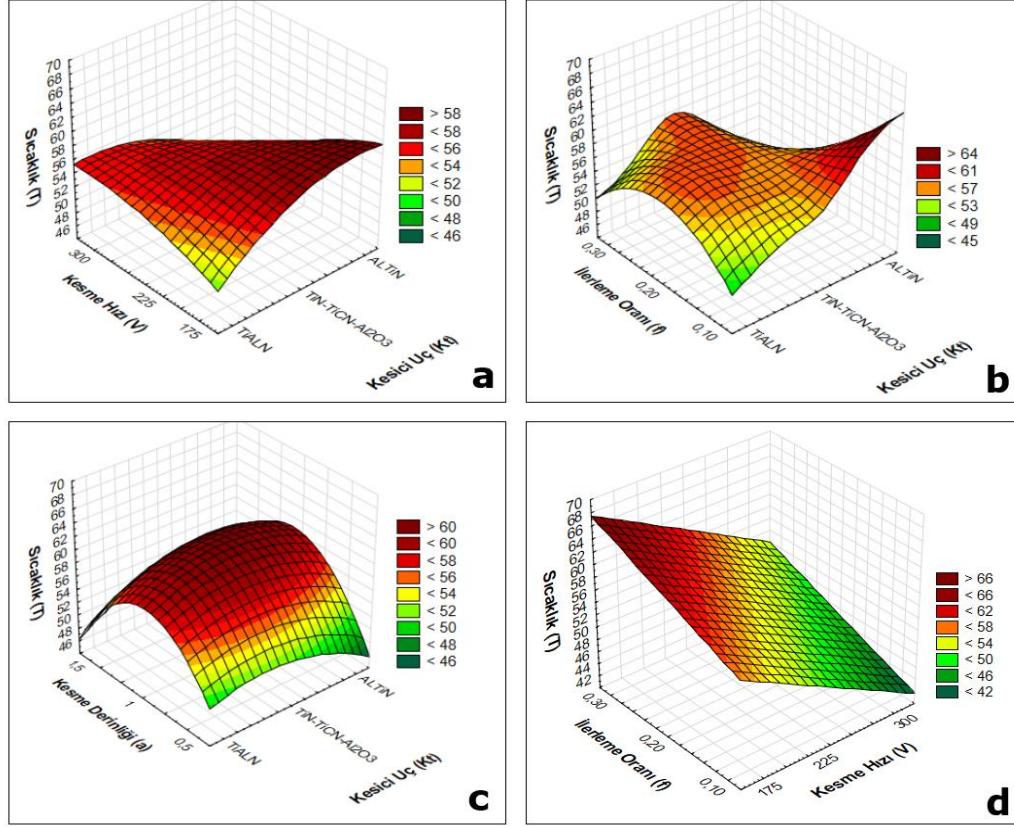
Şekil 7.11. GGG60 aşınmaya a) Keme hızı-kesici uç b) İlerleme oranı-kesici uç c) Kesme derinliği-kesici uç d) İlerleme oranı-kesme hızı etkisi.

Şekil 7.11b’de ilerleme oranı ve kesici uçların aşınma değeri üzerine etki grafiği gösterilmiştir. Burada ilerleme oranı arttıkça aşınmanın da arttığı görülmektedir. En düşük aşınma değeri 0.10 mm/diş ilerleme oranı ve TiALN kaplamalı kesici uçta olduğu görülmektedir. Şekil 7.11b’de en yüksek aşınma değerinin ise, TiALN kaplamalı kesici uç, 0.30 mm/diş ilerleme oranında olduğu görülmektedir. Ayrıca TiN-TiCN-Al₂O₃ ve ALTiN kaplamalı kesici uçların bütün ilerleme oranlarında iyi performans göstermişlerdir. Şekil 7.11c’de kesici uç ve kesme derinliğinin aşınma üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme derinliği arttıkça aşınma değerinin arttığı görülmektedir. En düşük aşınma değerinin TiALN ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçlar ve 0.5 mm kesme derinliğinde olduğu görülmektedir. Bu durum da Taguchi optimizasyon değerleriyle örtüşmektedir. Şekil 7.11c’de en yüksek aşınma değerleri; TiALN kaplamalı kesici uç ve 1.5 mm kesme derinliğinde olduğu görülmektedir.

Bu grafikten de anlaşılabacağı gibi burada da en iyi performansı TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç göstermiştir. Şekil 7.11d’de kesme hızı ve ilerleme oranının aşınma üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme hızı arttıkça aşınma değerinin arttığı, en yüksek aşınma değerinin ise 0.10 mm/diş ilerleme oranı ve 300 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. En düşük aşınma değeri ise 175 m/dak kesme hızı ve 0.30 mm/diş ilerleme oranında olduğu görülmektedir.

7.4.3. Kesme Parametrelerinin Sıcaklığa Etkisi

Deneyssel sonuçlara etki eden kesme parametreleri ve bu parametrelerin etkisi üç boyutlu grafiklerle değerlendirilmiştir (Şekil 7.12). Şekil 7.12a’da kesici uç ve kesme hızının, sıcaklık üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme hızı arttıkça sıcaklığın da arttığı görülmektedir. En düşük sıcaklığın TiALN kesici uç ve 175 mm/dak kesme hızı ile, ALTiN kaplamalı kesici uç ve 300 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. Bu durum yine Taguchi optimizasyon değerleriyle benzerlik göstermektedir. Şekil 7.12a’da en yüksek sıcaklık ALTiN kaplamalı kesici uç ve 175 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. Burada da en iyi performansı TiALN kaplamalı kesici uç göstermiştir.



Şekil 7.12. GGG60 sıcaklığa a) Kesme hızı-kesici uç b) İlerleme oranı-kesici uç c) Kesme derinliği-kesici uç d) İlerleme oranı-kesme hızı etkisi.

Şekil 7.12b’de ilerleme oranı ve kesici uçların sıcaklık üzerine etki grafiği gösterilmiştir. Burada ilerleme oranı arttıkça sıcaklığın arttığı daha sonra tekrar azaldığı görülmektedir. En düşük sıcaklık değeri 0,10 ve 0,30 mm/diş ilerleme oranları ve TiAlN kaplamalı kesici uçta olduğu görülmektedir. Bu durum Taguchi optimizasyon değerleri ile örtüşmektedir. Şekil 7.12b’de en yüksek sıcaklık değerinin ise, ALTiN kaplamalı kesici uç, 0,10 mm/diş ilerleme oranı ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç, 0,30 mm/diş ilerleme oranlarında olduğu görülmektedir. Ayrıca TiAlN kaplamalı kesici ucun bütün ilerleme oranlarında iyi performans göstermiştir. Şekil 7.12c’de kesici uç ve kesme derinliğinin sıcaklık üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme derinliği arttıkça sıcaklığın arttığı ancak belli bir ilerleme oranından sonra tekrar düştüğü görülmektedir. En düşük kesme sıcaklığının ALTiN kaplamalı kesici uç ve 0,5 mm kesme derinliğinde olduğu görülmektedir. Bu durum da Taguchi optimizasyon değerleriyle örtüşmektedir. Şekil 7.12c’de en yüksek sıcaklık değerleri; TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç ve 1,5

mm kesme derinliği, ALTiN kaplamalı kesici uç ve 1.5 mm kesme derinliğinde olduğu gör÷lmektedir. Bu grafikten de anlaşılacağı gibi burada da en iyi performansı ALTiN kaplamalı kesici uç göstermiştir.

Şekil 7.12d'de kesme hızı ve ilerleme oranının sıcaklık üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme hızı arttıkça sıcaklık değeri arttığı, en yüksek sıcaklık değeri ise 0,30 mm/dış ilerleme oranı ve 225 m/dak kesme hızında olduğu gör÷lmektedir. En düşük sıcaklık değeri ise 300 m/dak kesme hızı ve 0,10 mm/dış ilerleme oranında olduğu gör÷lmektedir.



8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada piyasadan temin edilen GG25 ve GGG60 dökme demirlere yüzey frezeleme işlemleri uygulanmıştır. Deneysel tasarım için Taguchi metodu kullanılarak L27 ortogonal dizi seçilerek 27 deney GG25 için 27 deneyde GGG60 için olmak üzere toplamda 54 deney yapılmıştır. Bunun yanında üç farklı kaplamaya sahip kesici uç, üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve üç farklı kesme derinliği kullanılarak deneysel tasarım oluşturulmuştur. Deneyler net sonuçlar elde edilene kadar kullanılmamış kesici takımlarla tekrarlanmıştır. Herbir deney için kesme parametreleri yüzey pürüzlülüğü, kesici uç aşınması ve kesme sıcaklığına etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışmada GG25 için elde edilen sonuçları şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Taguchi metoduna göre minimum yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin optimum kombinasyonu; ALTiN kaplamalı kesici uç 200m/ dak kesme hızı, 0,25 mm/diş ilerleme oranı ve 1mm kesme derinliği olarak çıkmıştır.
- Minimum aşınma değerleri için kesme parametrelerinin optimum kombinasyonu; ALTiN kaplamalı kesici uç 200 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/diş ilerleme oranı ve 0,5 mm kesme derinliği çıkmıştır.
- Minimum sıcaklık değerleri için deney parametrelerinin optimum kombinasyonu TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç 200 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/diş ilerleme oranı ve 0,5 mm kesme derinliği olarak çıkmıştır.
- Optimum sonuçlar göstermiştir ki bu malzemenin işlenmesinde 200 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/diş ilerleme önerilmektedir.
- Varyans analizi sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğüne etki eden en etkili parametre kesici uç, aşınmaya etki eden en etkili parametre yine kesici uç ve kesme sıcaklığına etki eden en etkili parametre kesme derinliği olmuştur. Kesme sıcaklığına etki eden en etkili parametrenin kesme derinliği olması birim alana düşen talaş miktarının artmasına ve dolayısıyla sürtünmenin artmasına atfedilmektedir.
- Hesaplanan her üç deneysel sonuç için hesaplanan Taguchi tahmin değerleri ve güven aralığı dikkate alındığında her üç ölçüm için gerçekleştirilen optimizasyon başarılıdır denilebilir.

- Yüzey pürüzlülüğü, kesme ve aşınma için optimum ve rastgele seviyeler ile hesaplanan tahmin değerleri ve bunlara karşılık gelen deneysel sonuçlar arasındaki hata oranı çok küçük çıkmıştır.
- İki boyutlu grafikler değerlendirildiğinde de minimum deneysel sonuçlar için en ideal kesme hızı 200 m/dak, en ideal ilerleme oranı 0,25 mm/diş olduğu görülmüştür.
- Yine iki boyutlu grafikler değerlendirildiğinde minimum yüzey pürüzlülüğü ve aşınma için en iyi sonucu ALTiN kaplamalı kesici uç göstermiştir. Minimum sıcaklık içinde en iyi performansı TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç göstermiştir. Bu sonuçlar Taguchi optimize parametrelerle benzerlik göstermektedir.
- Üç boyutlu grafikler değerlendirildiğinde ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı, en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 0,25 mm/diş ilerleme oranı ve ALTiN kaplama kesici uçta olduğu görülmüştür. Ayrıca kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı, en yüksek yüzey pürüzlülüğünün ise 0,10 mm/diş ilerleme oranı ve 250 m/dak kesme hızında görülmüştür.
- Yine üç boyutlu grafikler değerlendirildiğinde kesme hızı arttıkça aşınma değerinin de arttığı, en düşük aşınma değeri ALTiN ile TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçlar ve 200 m/dak kesme hızında olduğu görülmüştür. En yüksek aşınma değeri TiALN kaplamalı kesici uçta olmuştur. Ayrıca bu grafiklerde TiALN kaplamalı uçta ilerleme oranı arttıkça aşınmanında arttığı görülmüştür. TiN-TiCN-Al₂O₃ ile ALTiN kaplamalı kesici uçlar bütün ilerleme oranlarında iyi performans göstermiştir.
- Üç boyutlu grafikler değerlendirildiğinde de kesme hızı ve ilerleme oranı arttıkça sıcaklığın arttığı görülmüştür. En düşük sıcaklığın TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç ve 200 m/dak kesme hızında olmuştur. En yüksek sıcaklık ALTiN kaplamalı kesici uç ve 150 m/dak kesme hızı, TiALN kaplamalı kesici uç ve 250 m/dak kesme hızlarında olduğu görülmüştür. Gerek kesme hızı gerek ilerleme oranı ve gerekse kesme derinliği değerlendirildiğinde sıcaklık için en iyi performansı TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç göstermiştir.

Yine bu çalışmada GGG60 için elde edilen sonuçları şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Taguchi metoduna göre minimum yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin optimum kombinasyonu; TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç 175 m/dak kesme hızı, 0,10 mm/diş ilerleme oranı ve 1mm kesme derinliği olarak çıkmıştır.
- Minimum aşınma değerleri için kesme parametrelerinin optimum kombinasyonu; ALTiN kaplamalı kesici uç 225 m/dak kesme hızı, 0,20 mm/diş ilerleme oranı ve 0,5 mm kesme derinliği çıkmıştır.
- Minimum sıcaklık değerleri için deney parametrelerinin optimum kombinasyonu TiALN kaplamalı kesici uç 300 m/dak kesme hızı, 0,30 mm/diş ilerleme oranı ve 0,5 mm kesme derinliği olarak çıkmıştır.
- Bu malzemenin işlenmesinde optimum parametrelerin kullanılması önerilmektedir.
- Varyans analizi sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğüne etki eden en etkili parametre kesme hızı, aşınmaya etki eden en etkili parametre yine kesme hızı kesme sıcaklığına etki eden en etkili parametre kesme hızı çıkmıştır. Bu durumda bu malzemenin işlenmesinde minimum yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve kesme sıcaklığı için kesme hızı önemli bir faktördür denilebilir.
- Hesaplanan her üç deneysel sonuç için hesaplanan Taguchi tahmin değerleri ve güven aralığı dikkate alındığında her üç ölçüm için gerçekleştirilen optimisasyon başarılıdır denilebilir. Literatür dikkate alındığında bu oran %20 den az olması istenir.
- Yüzey pürüzlülüğü, kesme ve aşınma için optimum ve rastgele seviyeler ile hesaplanan tahmin değerleri ve bunlara karşılık gelen deneysel sonuçlar arasındaki hata oranı çok küçük çıkmıştır. Literatür dikkate alındığında bu oran %20 den az olması istenir.
- İki boyutlu grafikler değerlendirildiğinde minimum deneysel sonuçlar için en ideal kesme hızı yüzey pürüzlülüğü için 175 m/dak, aşınma için 225 m/dak ve sıcaklık içinde 300 m/dak olduğu görülmüştür. Bu sonuçlarda Taguchi optimize parametrelerle benzerlik göstermiştir.
- İki boyutlu grafikler değerlendirildiğinde, minimum yüzey pürüzlülüğü için en ideal ilerleme 0,1 mm/diş, aşınma için 0,2 mm/diş ve sıcaklık için 0,3 mm/diş olarak görülmektedir. Bu sonuçlarda Taguchi optimize parametrelerle benzerlik göstermektedir.

- Yine iki boyutlu grafikler değerlendirildiğinde minimum yüzey pürüzlülüğü için TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç, aşınma için en iyi sonucu ALTiN kaplamalı kesici uç göstermiştir. Minimum sıcaklık içinde en iyi performansı TiALN kaplamalı kesici uç göstermiştir. Bu sonuçlar Taguchi optimize parametrelerle benzerlik göstermektedir.
- Üç boyutlu grafikler incelendiğinde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı, en düşük yüzey pürüzlülüğünün 175 m/dak kesme hızı ve TiN-TiC-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta olduğu görülmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülüğü ise tüm kesici uçlar için 300 m/dak kesme hızında olmuştur. Yine grafikler incelendiğinde ilerleme oranı arttıkça pürüzlülüğün arttığı en iyi performansın ise 0,10 mm/diş ilerleme oranında olduğu sonucu çıkmıştır. Kesme derinliği için baktığımızda ise kesme derinliği arttıkça pürüzlülüğün arttığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü için genel olarak değerlendirildiğinde en iyi performansı TiN-TiC-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç göstermiştir.
- Üç boyutlu grafikler aşınma için değerlendirildiğinde kesme hızı ve ilerleme oranı arttıkça aşınma değerinin arttığı görülmüştür. En düşük aşınma değeri için bütün grafikler değerlendirildiğinde ALTiN kaplamalı kesici uçta olduğu sonucuna varılmıştır.
- Aynı grafikler sıcaklık için değerlendirildiğinde kesme hızı arttıkça sıcaklığın arttığı, en yüksek sıcaklığın ise ALTiN kaplamalı kesici uçta olduğu görülmüştür. Bütün grafikler değerlendirildiğinde burada en iyi performansı TiALN kaplamalı kesici uç göstermiştir. Aynı kaplamalı kesici uçta 0,10 ve 0,30 mm/diş ilerleme oranında düşük sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

Bu çalışmada GG25 ve GGG60 dökme demirlerin işlenmesinde farklı kaplama türlerinin işleme performansını ne derece etkilediği gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Taguchi optimizasyon parametreleri sanayide kullanılabilir nitelikte olduğu söylenebilir. Çalışmada sunulan deneysel yöntem dökme demirlerin farklı çeşitlerine uygulanabilir nitelikte olup bu tür çalışmalara referans niteliği taşımaktadır. Sonra ki çalışmalarda kullanılan bu malzemelere ve kesici uçlara kriyojenik işlem uygulanarak kesme parametrelerinin pürüzlülük, aşınma ve kesme sıcaklığı üzerine etkileri araştırılabilir.

9. KAYNAKLAR

- [1] Ö. Çelik, “Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışları”, Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2001.
- [2] V. S. R. Murthy, S. Seshan ve Kishore, “Characteristics of Compacted Graphite Cast Iron”, *American Foundrymen’s Society*, c. 92, sayı. 8, ss. 373-380, 1984.
- [3] R. T. Coelho, A. F. Souza, A. R. Roger, A. M. Y. Rigatti, A. A. Riberio, “Mechanistic approach to predict real machining time for milling free-form geometries applying high feed rate,” *International Journal Advanced Manufacturing Technologies* c. 46, sayı .9-12, ss. 1103–1111, 2010.
- [4] A. İnan, “Tornalamada Sıcaklık ve Gerilim Farkının Kalem Ömrüne Olan Etkilerinin Araştırılması”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Bilim Günleri, Makina Tasarım ve İmalat, Denizli, Türkiye, 1999, ss. 355-362
- [5] V. Mundada, ve S. K. R. Narala, “Optimization of milling operations using artificial neural networks (ANN) and simulated annealing algorithm (SAA),” *Materials Today: Proceedings*, c.5, sayı. 2, ss. 4971-4985, 2018.
- [6] R. Çakıroğlu, S. Yağmur, A. Acır, ve U. Şeker, “Modelling of Drill Bit Temperature and Cutting Force in Drilling Process Using Artificial Neural network”, *Politeknik Dergisi*, c. 20, sayı. 2, ss. 333-340, 2017.
- [7] J. G. Parmar, K. G. Dave, A. V. Gohil, and H. S. Trivedi, “Prediction of end milling process parameters using artificial neural network,” *Materials Today: Proceedings*, c. 38, sayı. 5, ss. 3168-3176, 2020.
- [8] J. Keller, V. Fridrici, P. Kapsa, S. Vidaller, ve J. F. Huard, “Influence of chemical composition and microstructure of gray cast iron on wear of heavyduty diesel engines cylinder liners,” *Wear*, c. 263, sayı. 712, ss. 1158-1164, 2007.
- [9] G. Uzun, “Analysis of grey relational method of the effects on machinability performance on austempered vermicular graphite cast irons,” *Measurement*, c. 142, sayı. 4, ss. 122-130, 2019.
- [10] A. Mavi, ve I. Korkut. “The effects of austempering temperature and time on the machinability of vermicular graphite iron”, *Materials Testing*, c. 56, Sayı. 4, ss. 289-293, 2014.
- [11] R. I. King, *Handbook Of High-Speed Machining Technology*, 1. cilt, New York, Amerika Birleşik Devletleri, Chapman And Hall, 1980, ss. 171-193.

- [12] C. H. Hsu, M. L. Chen ve C. J. Hu, “Microstructure and mechanical properties of 4% cobalt and nickel alloy ductile irons”, *Materials Science and Engineering*, c. 444, sayı. 1, ss. 339–346, 2007.
- [13] U. Şeker, İ. Çiftçi ve H. Hasırcı, “The effect of alloying elements on surface roughness and cutting forces during machining of ductile iron”, *Materials and Design*, c. 24, sayı.1, ss. 47–51, 2003.
- [14] H. Hasırcı, “Östempelenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Alaşım Elementleri (Cu ve Ni) ve Östempeme Süresinin Mikro Yapı Ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi” Yüksek lisans tezi, Metalurji Ve Malzeme mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2000.
- [15] Y. Aşkun, H. Hasırcı, U. Şeker, “Ni Ve Cu İle Alaşımlandırılmış Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinde Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Kaliteleri Açısından Değerlendirilmesi”, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c.9, sayı.2, ss. 191-199, 2002.
- [16] U. Şeker, İ. Çiftçi ve H. Hasırcı, “The Effect Of Alloying Elements Of Surface Roughness And Cutting Forces During Machining Of Ductile Iron” *Materials and Design*, c.24, sayı.1, ss. 47-51, 2003.
- [17] Y. Işık, “The performance of ceramic and cermet cutting tools for the machining of austempered ductile iron”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 19, sayı.2, ss. 67-76, 2014.
- [18] A. K. Ghani, I. A. Choudhury ve Husni “Study of tool life, surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 127, sayı.1, ss. 17–22, 2002.
- [19] F. Klocke, C. Klöpper, D. Lung ve C. Essig, “Fundamental wear mechanisms when machining austempered ductile iron (ADI), *Annals of the CIRP*, c. 56, sayı. 1, ss. 73-76, 2007.
- [20] M. Çetin, F. Gül, “Östempelenmiş küresel grafitli dökme demirin abrasiv aşınma davranışına östempeme işleminde soğutmanın etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 21, sayı. 2, ss. 359-366, 2006.
- [21] V. S. Aigbodion, O.Y. Mohammed, F.I. Yakubu ve J.O. Agunsoye, “Corrosion characteristics of vanadium alloyed ductile cast iron in nitric acid”, *Journal of Applied Sciences Research*, c.4, sayı.10, ss. 1267-1271, 2007.
- [22] H. Matsuoka, Y. Tsuda ve H. Ono, “Fundamental research on hobbing of austempered ductile iron gear (influence of graphite particle on machinability)”, *JSME International Journal Series* c. 46, sayı.3, ss. 1160-1170, 2003.
- [23] M. Zeyveli ve H. Demir, “Kesme parametrelerinin ve takım uç geometrisinin GGG-40 küresel grafitli dökme demirin işlenebilirliğine etkisi”, *Proceedings of 12th International Materials Symposium, Denizli, Turkey*, 2008, ss. 729-735.

- [24] A. M. Souza Jr., W. F. Sales, S. C. Santos ve A. R. Machado, “Performance of single Si₃N₄ and mixed Si₃N₄ + PCBN wiper cutting tools applied to high speed face milling of castiron”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, c. 45, sayı. 3, ss. 335–344, 2005.
- [25] O. J. Moncada, R. Spicacci ve J. A. Sikora, “Machinability of austempered ductile iron”, *J-Stage*, c. 41, sayı. 1, ss. 25-30, 2001.
- [26] M. C. Çakır, Modern talaşlı imalatın esasları, 2.Baskı, Ankara, Türkiye: Nobel Akademik Yayıncılık, 1999, 8.Bölüm, ss. 197-203.
- [27] M. C. Çakır, Y. Işık, “Investigating The machinability of austempered ductile irons having differen taustempering temperaturesand times”, *Materials and Design*, c. 29, sayı. 5, ss. 937-942, 2008.
- [28] W. L. Guesser, F. Sauza Pereira ve V. Boehs, “Gri dökme demirin tornalanması sırasında yüzey değişiklikleri” *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, c. 18, sayı. 3, ss. 313-324, 2016.
- [29] I. S. Jawahir, E. Brinksmeier, R. M. Saoubi, D. K. Aspinwall, J. C. Outeiro, D. Meyer, D. Umbrello ve A. D. Jayal, “Surface integrity in material removal process”, *Cirp Annals*, c. 60, sayı. 2, ss. 603–626, 2011.
- [30] V. G. Navas, O. Gonzalo ve I. Bengoetxea, “Effect of cutting parameter in the surface residual stresses generated by turning in AISI 4340 steel”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, c. 61, sayı.1, ss.48–57, 2012.
- [31] R. O. Marwanga, R. C. Voigt ve P. H. Cohen, “Influence of graphite morphology and matrix structure on chip formation during machining of continuously cast ductile irons”, *AFS Transactions*, c. 108, sayı. 6, ss. 567-572, 2000.
- [32] W. L. Guesser, “Surface changes during turning of grey cast iron” *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, c. 18, sayı. 3, ss. 313-324, 2016.
- [33] A. M. Pınar, E. Atık ve U. Çavdar. “AA 7075 alüminyum alaşımının frezelenmesinde kesme hızı, ilerleme oranı, işleme deseni ve talaş derinliği işlem parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, 2.Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, Türkiye, 2010, ss. 251-258.
- [34] L. Kutlu “Al 2024-T4 Alüminyumun Elmas ve Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi ve Taguchi Optimizasyonu”, Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [35] V. Yılmaz, H. Dilipak, M. Sarıkaya, C. Y. Yılmaz ve G. Meral. “Frezeleme İşlemlerinde Titreşimi ve Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Parametrelerin

- Optimizasyonu”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, c. 4, sayı. 1, ss. 37-44, 2014.
- [36] G. Meral, M. Sarıkaya ve H. Dilipak. “Delik Delme Uygulamalarında Delik Kalitesinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu”, *Mühendis ve Makine*, c. 52, sayı. 619, ss. 42-49, 2011.
- [37] A. Kacal ve M. Gulesin “Determination of optimal cutting conditions in finish turning of austempered ductile iron using Taguchi design method”, *NISCAIR-CSIR*, c. 70, sayı. 4, ss. 278-283, 2011.
- [38] I. Korkut, K. Yavuz ve Y. Turgut, “An experimental investigation into the machinability of GGG70 grades pheroidal graphite cast iron”, *Indian Journal of Engineering Materials Sciences*, c. 16, sayı. 2, ss. 116-122, 2009.
- [39] Ş. Sertsöz. “Küresel Grafitli GGG-70 Dökme Demirin Minimum Miktarda Yağlama Tekniği Kullanılarak Tornalanmasında İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2018.
- [40] B. Çelik. “Küresel Grafitli GGG-70 Dökme Demirin Minimum Miktarda Yağlama Tekniği Kullanılarak Frezelenmesinde İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2018.
- [41] H. Durmuş “Optimization of multi-process parameter saccording to the surface quality criteria in the end milling of the AA6013 aluminium alloy”, *Materials and technology*, c. 46, sayı. 4, ss. 383–388, 2012.
- [42] G. Samtaş “Optimisation of cutting parameters during the face milling of AA5083-H111 with coated and uncoated inserts using Taguchi method”, *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, c. 17, sayı. 3-4, ss. 211-232, 2015.
- [43] H. Çebi ve F. Kutay, “Taguchi ve Deneysel Tasarım Metodu”, *Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi*, c.6, sayı. 3-4, ss. 7-17, 2003.
- [44] E. C. Yılmaz, “Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Uygulama”, Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği Ana bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2001.
- [45] Ç. Canan, B. Akın, E. Vedat, *Toplam Kalite Yönetimi ve ISO 900 Kalite Güvence Sistemi*, 1.Baskı, İstanbul, Türkiye: Beta Yayıncılık, 1998, ss. 189-219.
- [46] F. Taylan, “Sert malzemelerin frezelenmesinde takım aşınma davranışlarının belirlenmesi”, Doktora tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2009.

- [47] K. Krishnaiah ve P. Shahabudeen, *Applied Design of Experiments and Taguchi Methods*, 1. Baskı, New Delhi, India: PHI Learning Private Limited, 2012, ss. 154-157.
- [48] WIDIA Advances catalog, 2020.
- [49] WIDIA Master Catalog, 2017.
- [50] F. Kara, “Optimization of surface roughness in finish milling of AISI P20+S plastic-mold steel”, *Materiali in tehnologije / Materials and technology*, c.52, sayı. 2, ss. 195–200, 2018.
- [51] G. Samtaş, S. Korucu, “Kriyojenik işlem görmüş EN AW 5754 (AlMg3) alüminyum alaşımının frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, c. 22, sayı.3, ss. 665-673, 2019.
- [52] G. Samtaş, “Optimisation of cutting parameters during the face milling of AA5083-H111 with coated and uncoated inserts using Taguchi method”, *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, c. 17, sayı. 3-4, ss. 211-232, 2015.
- [53] G. Samtaş, S. Korucu, “Temperlenmiş Alüminyum 5754 Alaşımının Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Taguchi Metodu Kullanılarak Optimizasyonu”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, sayı. 1, ss. 45-60, 2019.
- [54] F. Kara ve B. Öztürk, “Comparison and optimization of PVD and CVD method on surface roughness and flank wear in hard-machining of DIN 1.2738 mold steel”, *Sensor Review*, c. 39, sayı. 1, ss. 24-33, 2019.
- [55] T. Kıvak, “Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts”, *Measurement*, c. 50, sayı. 1, ss. 19-28, 2014,

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Raşit DÜZCE

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	-
Lisans	İmalat Mühendisliği	Karabük Üniversitesi	2017
Lise	Makine Teknolojileri	Düzce Anadolu Teknik Lisesi	2012

YAYINLAR

1. R. Düzce, G. Samtaş, “GG25 Dökme Demirin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Sıcaklığı Üzerine Etkisi ve Optimizasyonu”, *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, c. 2, sayı. 3, ss. 20-33, 2021.

