



TARSUS
ÜNİVERSİTESİ

T.C.
TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

AISI 1040 ÇELİĞİNİN CNC YÜZEY FREZELEME İLE
İŞLENMESİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ
VE
TALAŞ KALDIRMA MİKTARININ
GRİ - BULANIK ALGORİTMA İLE MODELLENMESİ

Ahmet BİRATAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2024

T.C.
TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**AISI 1040 ÇELİĞİNİN CNC YÜZEY FREZELEME İLE
İŞLENMESİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TALAŞ
KALDIRMA MİKTARININ GRİ - BULANIK ALGORİTMA İLE
MODELLENMESİ**

Ahmet BİRATAR

Danışman: Prof. Dr. Uğur EŞME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2024

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jüri tarafından İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Uğur EŞME
(Danışman)

Üye: Doç.Dr. Ercan KÖSE

Üye: Dr.Öğr. Üyesi Kaan Emre ENGİN

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../2024 tarih ve/.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylarım.
.../.../2024

Doç. Dr. Ayşe ERGİN ÜNAL
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. .../.../ 2024

İMZA

Ahmet BİRATAR

ÖZET

AISI 1040 ÇELİĞİNİN CNC YÜZEY FREZELEME İLE İŞLENMESİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TALAŞ KALDIRMA MİKTARININ GRİ -BULANIK ALGORİTMA İLE MODELLENMESİ

Ahmet BİRATAR

Yüksek Lisans Tezi, İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Uğur EŞME

Ekim 2024, 97 sayfa

Bu tez çalışmasında AISI 1040 çeliğinin CNC (Bilgisayar Destekli Tasarım Ve Modelleme) Yüzey Frezeleme ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma miktarı, Gri Bulanık Algoritma ile Taguchi L16 ortogonal dizilimi kullanılarak optimize edilmiştir. Çalışmada ilk olarak deney parçaları CNC tezgâhında HSS Ø 20mm parmak freze ile belirlenen kesme parametreleri doğrultusunda işlenmiştir. İşlem parametreleri kesme hızı olarak 47.10, 62.80, 78.50, 94.20 mm/dak, kesme derinliği olarak 0.5, 0.75, 1, 1.25 mm, kesme metodu olarak zig-zag, morph spiral, one way zig, tezgah mili devir sayısı olarakta 750, 1000, 1250, 1500 dev/dak değerleri kullanılmıştır. Yapılan deneylerde ortalama pürüzlülük değeri (Ra) ve talaş kaldırma miktarı (Mrr) değerleri ölçülmüş ve bu değerler Gri bulanık algoritmanın girdi parametresi olarak belirlenmiştir. Ra ve Mrr' nin çıktı parametresi olarak ise GRG (grey relation grade) kullanılmıştır. Girdi ve çıktı değerleri üyelik fonksiyonu şeklinde matematiksel kümeler biçiminde ifade edilmektedir. Bu alt kümeler “endüşük-düşük-orta-yüksek-dahayüksek-enyüksek” isimleriyle adlandırılmıştır. Girdi ve çıktı değişkenlerinin her bir alt kümesi fuzzy toolboxta mamdani çıkarım modellemesiyle bulanıklaştırılmış ve sonrasında elde edilen çıktı değerleri centroid yöntemine göre durulaştırılarak matematiksel ifadelere dönüştürülmüştür. Parametreler arasındaki değişkenliklerin yüzey pürüzlülüğüne ve talaş kaldırma miktarına etkisi gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlarla talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğü ilişkisi Anova analizi ile incelenmiştir. Buna göre talaş derinliğinin % 39.47, ilerlemenin %24.73, kesme stratejisinin %17.21 ve kesme hızının % 4.76 oranlarında etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın deney bulgularına göre en iyi ortalama pürüzlülük değeri 14 nolu deneyde 2.76 µm olarak ölçülmüştür. Varyans analizinin çıktı verilerine göre ideal yüzey pürüzlülüğüne 1250 dev/dak kesme hızında, 1.45 mm/dak ilerleme hızında, 1.25 mm talaş derinliğinde ve zig kesme stratejisinde ulaşılabileceği bulunmuştur. Bunun sonucunda optimum yüzey pürüzlülüğünün kesme derinliğine ve ilerleme miktarına bağlı değiştiği, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametreler olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: CNC frezeleme, yüzey pürüzlülüğü, gri bulanık modelleme, taguchi

ABSTRACT
MODELING OF MATERIAL REMOVAL RATE AND SURFACE
ROUGHNESS IN CNC MILLING OF AISI 1040 STEEL PLATE USING
GREY - FUZZY ALGORITHM

Ahmet BİRATAR

Master / Ph.D. Thesis, Department of Manufacturing Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Uğur EŞME

October 2024, 97 pages

In this thesis, the surface roughness and material removal rate in CNC (Computer Numerical Control) face milling of AISI 1040 steel were optimized using the Grey Relational Analysis with Taguchi L16 orthogonal array. In the study, the test pieces were initially machined on a CNC machine using an HSS Ø20 mm end mill according to the determined cutting parameters. The process parameters were cutting speed of 47.10, 62.80, 78.50, 94.20 mm/min, cutting depth of 0.5, 0.75, 1, 1.25 mm, cutting method of zig-zag, morph spiral, one way, zig, and spindle speed of 750, 1000, 1250, 1500 rpm. In the conducted experiments, average surface roughness value (Ra) and material removal rate (Mrr) were measured. These values were determined as the input parameters of the Grey fuzzy algorithm GRG (grey relation grade) was used as the output parameter of Ra and Mrr. Input and output values are expressed as mathematical sets in the form of membership functions. These subsets were named as "lowest-low-medium-high-higher-highest". Each subset of the input and output variables was fuzzified using Mamdani inference model in a fuzzy toolbox, and then the obtained output values were defuzzified according to the centroid method and converted into mathematical expressions. The effects of variations in the parameters on surface roughness and material removal rate were observed. The relationship between material removal rate and surface roughness was analyzed using ANOVA. According to the results, cutting depth had a 39.47% effect, cutting speed had a 24.73% effect, cutting strategy had a 17.21% effect, and spindle speed had a 4.76% effect. Accordingly to the experimental finding of this study, the best average surface roughness value was measured as 2.76 µm in experiment number 14. According to the output data of variance analysis, it was found that the ideal surface roughness could be achieved spindle speed of 1250 rpm, cutting speed of 1.45 mm/min, depth of cut of 1.25 mm and zig cutting strategy. As a result, it was determined that the optimum surface roughness varies depending on the depth of cut and cutting speed, and that the cutting speed and cutting depth are the parameters that have the most significant effect on the surface roughness.

Keywords: CNC Milling, surface roughness, Gray Blurred modeling, Taguchi Optimization.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın hazırlanması ve yazılması sürecinde her konuda desteklerini esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım sayın Prof.Dr. Uğur EŞME'ye, Doç.Dr.Ercan KÖSE' ye, Dr.Öğr.Üyesi Kaan Emre ENGİN'e çok teşekkür ederim. Değerli öğretim görevlisi sayın Ganime Tuğba ERCOŞKUN'a ve Mustafa UĞURLU' hocalarıma bana birçok konuda yardımlarını ve desteklerini esirgemedikleri için emek ve sabırlarına çok teşekkür ederim. Yüksek lisans yapmam için beni hep teşvik eden, yapabileceğime inandıran sevgili Erdoğan ŞİMŞEK'e ve değerli eşim Deniz Taciroğlu BİRATAR' a, canım kızım Duru BİRATAR' a candan ve gönülden teşekkür ederim. Ayrıca deneylerin yapım aşamasında okulmuzun atölye olanaklarının ve CNC tezgahının kullanımında bana verdikleri destek için Adana Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi müdürü nezdinde makine bölümüne teşekkür ederim. Yüzey pürüzlülük ölçüm işlemlerinde deney parçalarının ölçümünde bana yardımcı olan Teyfik KESKİNER ve ekibine, Yepar mühendislik ve Murat KAYA nezdinde teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii

GİRİŞ

BÖLÜM I

LİTARATÜR TARAMASI	3
--------------------------	---

BÖLÜM II

TALAŞLI ÜRETİM

2.1. Talaşlı İmalat	11
2.2. Talaş Kaldırma Esasları	12
2.3. Frezeleme İşlemi	14
2.4. Talaşlı İmalat Mekanığı ve Talaş Oluşumu	18
2.5. Talaşlı İmalatta CNC Dik İşleme ve CAD/CAM Programı Kullanımı	22
2.6. Talaşlı İmalatta Yüzey Pürüzlülüğü	25
2.7. Gri Bulanık Algoritma (Gray Fuzzy Algorithm)	29
2.8. Taguchi Metodu	32

BÖLÜM III

MATERYAL VE METOD

3.1. Deneyde Kullanılan Malzeme ve Özellikleri	34
3.2. Deneysel Çalışma	36
3.3. Deneyde Kullanılan Ses ve Işık Uyarılı Takım Boy Telafi Probu	39
3.4. Deneylerde Kullanılan Bağlama Aparatı ve Paralellik Ayarı	40
3.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	40

3.6. Bor Yağı Kullanımı.....	42
3.7. Fuzzy Gri Bulanık Yöntem.....	43
3.7.1. Bulanık Modelin Oluşturulması.....	44
3.7.2. Kural Tabanı Oluşturulması.....	45
3.8. Taguchi Optimizasyonu.....	47
3.9. Durulaştırma.....	49

BÖLÜM IV

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Taguchi Analizi.....	52
4.2. Fuzzy Gri Bulanık Yöntem.....	56
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKÇA.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	84

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
C:	Karbon
CNC	: Bilgisayar Destekli Tasarım ve Modelleme
C	: Karbon
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM	: Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)
GİA	: Gri İlişkisel Analizi
Grg	: Bulanık ilişki derecesi
HSC	: High Speed Cutting (Yüksek Hızlı Kesme)
HSS	: High Speed Steel (Yüksek Hız Çelikleri)
Mrr	: Talaş kaldırma miktarı
NC	: Numerical Control (Nümerik Kontrol)
Ra	: Ortalama pürüzlülük değeri
S/N	: Sinyal Gürültü oranı
μA	: A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
μB	: B bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
μC	: C bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
$\mu_{\text{çokdüşük}}$: Çok düşük bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
$\mu_{\text{düşük}}$: Düşük bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
μ_{orta}	: Orta bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
$\mu_{\text{yüksek}}$: Yüksek bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
$x_i(k)$: Gri bulanık işlemde sonraki değer
$\xi_i(k)$: Gri ilişkisel katsayı değeri
γ_i	: Gri İlişki derecesi
Y_0	: Durulaştırma sonucu elde edilen GFRG değeri
R^2	: Regresyon değeri

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. AISI 1040 Çeliğinin Kimyasal Bileşimi (% ağırlık)	34
Tablo 3.2. AISI 1040 Çeliğinin Mekanik Özellikleri (% ağırlık)	35
Tablo 3.3. Bor Yağının Kimyasal Özelliği	42
Tablo 3.4. Parametreler İçin Oluşturulan Bulanık Alt Kümeler	44
Tablo 3.5. Ra, Mrr ve Grg İçin Üyelik Dereceleri Aralık Değerleri.....	45
Tablo 3.6. Ra, Mrr ve Grg İçin Üyelik Dereceleri	45
Tablo 3.7. Ra, Mrr ve Grg verileri için Mamdani çıkarım program bulanık mantık kuralları	47
Tablo 3.8. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Parametrik Değişkenler ve Faktör Seviyeleri	48
Tablo 3.9. Taguchi L16 Deneysel Tasarım Matrisi	49
Tablo 4.1. Deney Sonuçları ve S/N Oranları	51
Tablo 4.2. Sinyal Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu Daha Küçük Olan Daha İyidir.....	52
Tablo 4.3. Daha Küçük Olanın Daha İyi Olduğu Anlamına Gelen Yanıt Tablosu	52
Tablo 4.4. Sinyal Gürültü Oranı İlişkin Yanıt Tablosu Daha Büyük Olan Daha İyidir.....	54
Tablo 4.5. Daha Büyük Olanın Daha İyi Olduğu Anlamına Gelen Yanıt Tablosu	54
Tablo 4.6. Mrr ve Ra İçin Deney Sonuçları	64
Tablo 4.7. Mrr ve Ra İçin Normalizasyon Değerleri	65
Tablo 4.8. Mrr ve Ra İçin Delta Değerleri	65
Tablo 4.9. Mrr ve Ra için Gri İlişki Katsayısı Değerleri	66
Tablo 4.10. Mrr ve Ra için Gri İlişki Derecesi Değerleri	66
Tablo 4.11. Gri İlişki Değerleri.....	67
Tablo 4.12. S/N Oranları.....	67
Tablo 4.13. Gri Analiz Sonucu GRC ve GRG İçin Elde Edilen Değerler	68
Tablo 4.14. GRG ve GFRG' nin Karşılaştırılması.....	68
Tablo 4.15. GFRG İçin Yanıt Tablosu.....	69
Tablo 4.16. Anova Analiz Tablosu Değerleri	70

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Frezeleme Operasyon Tipleri	15
Şekil 2.2. Frezeleme Yöntemini Oluşturan Operasyon ve Stratejileri	15
Şekil 2.3. Tasarım Sürecinin Modeli İmalat Akış Şeması.....	17
Şekil 2.4. Talaş Kaldırma İşlemi Sınıflandırılması (Talaş Kaldırmanın Teorisi)	18
Şekil 2.5. Bir Sistem Olarak İmalat.....	18
Şekil 2.6. Talaş Oluşumunun Geometrisi.....	20
Şekil 2.7. Klasik Tezgâh ve CNC Tezgâhı.....	24
Şekil 2.8. CNC Tezgâhlarda Kayıt ve Kızak Yapısı	25
Şekil 2.9. Yüzey Pürüzlülüğünün Geometrik Şekli.....	26
Şekil 2.10. Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri	27
Şekil 2.11. Yüzeydeki Düzensizlikler	28
Şekil 2.12. Bulanık Sistemin Bileşenleri.....	31
Şekil 2.13. Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi	33
Şekil 3.1. HSS (High Steel Speed) Takım ile Cep Yüzeylerin İşlenmesi	36
Şekil 3.2. Deneylerin Yapıldığı “JHV-710” CNC Freze Tezgâhı	36
Şekil 3.3. Karbür Uçlu Tarama ile Yüzeyin Hazırlanması.....	37
Şekil 3.4. Deneylerin Yapıldığı CAM Programı 2 Boyutlu Similasyonu	37
Şekil 3.5. Deneylerin Yapıldığı CAM Programı 3 Boyutlu Similasyonu	38
Şekil 3.6. Cam Programı Cep Frezeleme Kesme Metodları.....	38
Şekil 3.7. Kesme Metotlarına Göre Ortaya Çıkan Yüzey Şekilleri.....	39
Şekil 3.8. Ses ve Işık Uyarılı Yüzey Sıfırlama Probu	39
Şekil 3.9. Mengenenin Parallellığının Komparatörle Ayarlanması.....	40
Şekil 3.10. Mitutoyo Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı.....	41
Şekil 3.11. Pürüzlülük Cihazı Ölçme Ekranı.....	41
Şekil 3.12. Kesme İşlemi Sırasında Bor Yağının Kullanılması	43
Şekil 3.13. Fuzzy Logic Toolbox Ekran Görüntüsü.....	44
Şekil 4.1. Ortalamalar İçin Ana Etkiler Grafiği (En Küçük En İyi).....	53
Şekil 4.2. S/N Oranları İçin Ana Etkiler Grafiği (En Küçük En İyi)	53

Şekil 4.3. Ortalamalar İçin Ana Etkiler Grafiği (En Büyük En İyi)	55
Şekil 4.4. S/N Oranları İçin Ana Etkiler Grafiği (En Büyük En İyi)	55
Şekil 4.5. Ra (Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değeri) Üçgen Üyelik Fonksiyonu	56
Şekil 4.6. MRR (Talaş Kaldırma Miktarı) Üçgen Üyelik Fonksiyonu	57
Şekil 4.7. GRG (Bulanık İlişki Değerleri) Üçgen Üyelik Fonksiyonu	57
Şekil 4.8. Üçgen Üyelik Fonksiyon 2 Boyutlu Korelasyon Grafiği	59
Şekil 4.9. R ² Değerini Gösteren Doğru Grafiği	59
Şekil 4.10. Üçgen Üyelik Fonksiyon İçin Bu Çalışmada Kullanılan Gri-Bulanık Mantık Kurallarının Şematik Gösterimi	60
Şekil 4.11. Üçgen Üyelik Fonksiyon 3 Boyutlu Girdi –Çıktı Kural Grafiği	60
Şekil 4.12. Ra (Ortalama Yüzey Pürüzlülük değeri) Gaus Üyelik Fonksiyonu	61
Şekil 4.13. MRR (Talaş Kaldırma miktarının) Gaus Üyelik Fonksiyonu	62
Şekil 4.14. GRG (Bulanık İlişki Değerleri) Gaus Üyelik Fonksiyonu	62
Şekil 4.15. Gaus Üyelik Fonksiyon İçin Bu Çalışmada Kullanılan Gri-Bulanık Mantık Kurallarının Şematik Gösterimi	63
Şekil 4.16. Gaus Üyelik Fonksiyon 3 Boyutlu Girdi –Çıktı Kural Grafiği	64
Şekil 4.17. CNC Parametrelerinin GFRG Yanıt Grafiği	69

GİRİŞ

Talaşlı imalatta kullanılan malzeme grubu incelendiğinde metal malzemeler, bu grupta da çelik malzemeler karşımıza çıkmaktadır. Çelik malzemelerin miktarca fazla kullanılmasının en büyük nedeni çeliğin bol miktarda olması, çok geniş yelpazede mekanik özellikler sunabilmesi, talaşlı üretimde şekillendirilmeye elverişli olmasıdır. Çelik malzemenin temel alaşım elementi karbon (C) olup, bileşim içeriğine bağlı olarak farklı özellikler sergilerler (Özgen vd.,2018).

Dökme demir, haddeleme ve benzeri yöntemlerle imal edilen parçalar son biçim ve boyutlarına talaşlı imalatın farklı işleme yöntemleriyle getirilir (Ateş,2006).

Bütün talaş kaldırma işlemlerindeki temel amaç malzemedeki istenilen geometriyi ve hassas bir bitirme yüzeyini oluşturmaktır. Yeni nesil talaş kaldırma yöntemlerinde, artık teknoloji devreye girmekte ve boyutsal tamlik gibi önemli bir unsura yüzey kalitesi gibi başka önemli bir unsur eklenmektedir (Acır,2003). Kalıp numuneleri imal edilirken metal kesme işlemleri için en önemli operasyonların başında CNC (Bilgisayar Destekli Tasarım ve Modelleme) Frezeleme işlemi gelir. Yüzey kalitesi, kalıp parçalarında yüzey işleme işlemi gerçekleşirken, maliyeti doğrudan etkiler. Eğer kalıp parçalarında yüzey kalitesi yüksek ise, bu durum ürünün de yüksek bir yüzey kalitesine erişmesini sağlar. CNC Frezeleme işleminde iyi bir planlama yapılırsa, kalıp parçalarının yüzey kalitesi artar (Ata şimşek, 2006;Yelbey ve Yelbey,2002).

Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen birçok faktörün (kesici takım, kesme ilerlemesi, kesme parametreleri, malzemenin sertliği dayanımı ve sürekliliği) işleme sırasında göz önünde bulundurulması gereken özelliklerdir. Örneğin bir kesici takımın yararlı çalışma süresi, kesici ucun iş parçası üzerinde kaldığı toplam zamandır. Bu zaman zarfında uçta oluşan aşınmaların kontrol edilmesi ile takım ömrünün azalması, ölçülerde sapmaların ve işlenmiş yüzeylerin bozuk çıkması engellenmiş olur.

Uygun kesici takım ve kesme parametreleri, kaliteli üretim, hassas yüzey kalitesi, en uygun tezgâh gücünün belirlenmesi ve ekonomiklik gibi konularda en uygun sonuca ulaşılması açısından önem taşımaktadır (Bayraktar,2021:3). Bir kalıpta, yüzey kalitesi malzeme seçmeye ve CNC Frezeleme parametrelerine bağlıdır. Malzeme seçildikten sonra en uygun frezeleme parametreleri sağlanabilirse, en düşük yüzey

pürüzlülüğü ve buna bağlı olarak da yüksek yüzey kalitesine ulaşılır. Optimum frezeleme parametrelerinin elde edilmesi yüzey kalitesini arttırırken parça imalat süresini de en aza indirerek üretim maliyetlerin düşürür. (Krajnik vd.,2005; Bouaziz vd.,2005) Yukarıda anlatılan etken koşulların hepsine matematiksel tahmin yöntemleriyle (gri bulanık algoritma yöntemi) çözüm bulmak için bu tez çalışmasının konusu; parçaların yüzeylerinin CNC ile Frezelenmesi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğüne ait optimizasyon olarak belirlenmiştir.

Dünya ticaret ve üretim anlayışın, standardizasyon, müşteri odaklı kalite ve maliyet talaşlı imalat sahasında da önemli hale gelmiştir. Bu etkenler üretim sürecini şekillendirmektedirler. Bu etkenler, başlangıç aşamasından itibaren üretim süresince aynı kalitede (standart) ürün üretebilmesi için bir bütün olarak desteklenmelidir. Günümüzde imalat işlemleri süreçleri hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu süreçlere uyum sağlamak maliyet ve üretim açısından önemli hale gelmiştir. Üretim sürecine etki eden bütün olasılıkları değerlendirip üretimden beklenen standardın korunması bir imalattan istenilen sonuçların alınmasını sağlayacaktır. Bir üretimin etkili olması isteniyorsa, kalite, verimlilik ve ekonomiklik bir arada değerlendirilmelidir. (Kosko ve Toms,1993).

Günümüz imalat sanayinin üretim alanlarının önemli bir bölümünü temsil eden talaşlı üretimin CAD/CAM prosesi, gelişmiş ve gelişmekte olan teknolojik dik işleme tezgâhlarının üretime daha hızlı entegre edilmesine sebep olmuştur. İmalatın bu derece hızlanması sonucunda üretim sonucu kaliteye etki eden kesme parametrelerinin daha gelişmiş, daha hızlı sonuç veren matematiksel modellemelerle desteklenmesi oluşabilecek hataları en aza indirmesi, daha kesin sonuçlara ulaşılmasını bir zorunluluk haline getirmiştir. İşleme parametrelerinin optimizasyonunda son yıllarda yapılan çalışmalarda gri bulanık mantığın Taguchi ile beraber optimizasyon yöntemi olarak kullanıldığı yapılan literatür çalışmalarında görülmektedir (Pandey ve Panda,2014).

Yapılan bu çalışmada imalat süreçlerinde çokça kullanılmakta olan AISI 1040 çeliğinin CNC frezede işlenmesinde farklı devir sayısı, kesme hızı ilerlemesi, talaş kaldırma miktarı, kesme stratejisi gibi değişkenlere bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkileri Taguchi deney tasarımı kullanılarak Gri bulanık yöntemle araştırılmıştır.

BÖLÜM I

LİTARATÜR TARAMASI

Tamminenir vd.(2014), Cnc frezeleme işleminde kullanılan parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmalarında AA 1050 malzemeyi işlemek için seçtikleri kesme parametrelerinin kesme hızı değerlerini (500, 1000, 1500 dev/dak), ilerleme miktarı değerlerini (50, 60, 70 mm/dev), kesme derinliği değerlerini (0.5, 1, 1.5 mm) olarak belirlemişlerdir. Deney sonuçlarına göre en ideal yüzey pürüzlülük değerini 1.022 μm bulmuşlar ve bu pürüzlülük değerini elde etmek için kullanılan parametrelerin 1500 dev/dak kesme hızı, 60 mm/dev ilerleme miktarı, 0.5 mm talaş derinliği olarak tespit etmişlerdir.

(Toh,2005), büyük çaplı kesicilerle yüksek kesme derinliklerinde, “up dowing milling” yöntemleri için talaş yüzey sıcaklığı ile kesme parametreleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Araştırmacı, kesme işlemi sonucunda en önemli faktörün yüzey sıcaklığı olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca talaş yüzey sıcaklığının kesme performansı üzerinde %74.04 oranında etkili olduğu ve “up-down milling” yöntemlerinin kaba frezeleme yöntemleriyle kullanılmasının metal kesme performansını arttırdığı sonucuna varmıştır.

(Tekaslan, vd.,2008), 10 mm çapında ve 250 mm boyunda numuneler üzerinde değişik kesme parametreleri kullanarak yaptıkları uygulamada pürüzlülüğün, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine göre değişimini incelemiştir. En ideal yüzey pürüzlülük sonucunu 1.625 μm olarak bulmuşlardır. Bu sonucu elde etmek için kullanılan kesme parametreleri değerlerine kesme hızı 75 m/dak, ilerleme 0.15 mm/dev ve talaş derinliği 1.5 mm olduğu zaman ulaşmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızının artmasıyla iyileşmekte, ilerleme hızının artmasıyla bozulduğunu gözlemlemiştir.

(Özçelik, vd.,2005), AISI 140 çelik malzemeyi 4 ağızlı \varnothing 10 mm kaplama uçlu malzeme özelliğine sahip parmak frezeyle yüksek hızlarda işlemişlerdir. Deneyde kullandıkları parametreler sırasıyla (4000, 5500, 7000, 8500, 10.000 mm/dev) kesme hızı, (640, 1320, 2240, 3400, 4800 mm/dak) ilerleme miktarı, (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 mm) kesme derinliği, (1, 2, 3, 4 mm) kesici yana kayma miktarı olarak belirlemişlerdir. Deney sonucunda 0.45 μm ideal yüzey pürüzlülüğü değerine 8500 mm/dev kesme hızı, 1320

mm/dak ilerleme hızı, 0.1 mm kesme derinliği, 1 mm kesici yana kayma miktarı değerleriyle ulaşmışlardır.

(Özel ve Hüseyinoğlu,2009), CNC freze tezgâhlarında parmak freze kullandığı çalışmasında CAM kodlarını otomatik olarak üretmeyi amaçlamışlardır. Programın CAM kodları otomatik olarak oluşturulurken standart ISO (G&M) kodları kullanmışlardır. Takım yolu denklemlerine ait parametrelerin üretim süresi ve işleme doğruluğu üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir.

(Kurt ve Bağcı,2009), Al 2024 alaşımının kuru delinmesin de delik çapı hassasiyetini araştırdıkları çalışmada farklı kesme- ilerleme hızlarının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Delik çapı doğruluğunu optimize etmek için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen veriler doğrultusunda 25 mm delik derinliğinde, 0.25 mm/dev ilerlemede, 30 m/dak kesme hızında pürüzlülük değerini (Ra) 3.581 µm olarak bulmuşlardır.

(Göloğlu ve Arslan,2009), farklı kesme parametreleri, iş mili devri, ilerleme, talaş derinliği ve kesici yüzdelik yanal kayma miktarlarını kullanarak zigzag kesme metodu yöntemiyle CNC freze tezgâhında cep frezeleme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri yüzey pürüzlülüğünü Genetik Programlama (GP) ile modellemişlerdir. Deney sonucunda en iyi yüzey pürüzlülük değeri 1.59 µm olarak bulunmuş ve bu pürüzlülük değerine ulaşmak için 21 m/dak iş mili devri, 180 mm/dak ilerleme, 0.8 mm talaş derinliği, 2 mm yanal kayma değerlerini kullanmışlardır. Geliştirilen bu modelle %98 başarı değerinde yüzey pürüzlülük modeli elde etmişlerdir.

(Özlu,2022). Plastik kalıp çeliğinin freze ile işlenmesinde kesme parametrelerinin değişimine bağlı olarak işlenen malzemenin yorulma ömrü ile yüzeyin pürüzlülüğü arasında ne gibi etkilerin olabileceğini kesme derinliği (mm), ilerleme miktarı (mm/dak) ve kesme hızına (mm/dev) bağlı olarak kesme üzerine etkilerini araştırmıştır. Yapılan 18 deney sonucunda en düşük yüzey pürüzlülüğü olan 0.188 µm değerine teorik yorulma ömrü 220 m/dak kesme hızında, 0.05 mm/dev ilerleme değerinde ve 0.5 mm talaş derinliğinde ulaşmıştır.

(Wang vd.,2023), küresel uçlu frezeleme takımıyla CNC tezgâhında takıma üç farklı açı değerleri (15C°, 30C° ve 40C°), kesme hızı değerleri (50, 75,100, 125 m/dak), ilerleme miktarı değerleri (160, 240 320, 400 mm/dak) için parametrik değişkenlerini kullanarak

pürüzlülüğe olan etkilerini incelemiştir. 15C°, 0.8 mm kesme derinliği, 100 m/dak kesme hızı, 240 mm/dak ilerleme değerinde 0.220 µm yüzey pürüzlülük değerinin optimum değer olduğunu bulmuşlardır.

(Asiltürk ve Akkuş,2011), çalışmasında yüzey pürüzlülüğünü (Ra ve Rz) en aza indirmek için Taguchi yöntemine dayalı tornalama parametrelerinin optimize edilmesi konusunda çalışmışlar, CNC torna makinesinde L9 ortogonal dizisi kullanarak kaplamalı karbür kesici takımlarla sertleştirilmiş AISI 4140 (51 HRC) üzerinde kuru tornalama testleri yapmışlar. Sinyal-gürültü oranı (SNR) ve varyans analizinin (ANOVA) istatistiksel yöntemlerini kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmak için uygulamışlar ve Taguchi deney tasarımı kullanılarak sert tornalama operasyonlarında aynı veya benzer alanda yapılan deney sayısını azaltmayı başarmışlardır. Anova sonucuna göre Ra ve Rz değerleri üzerinde ilerleme hızınının %95 etkisi olduğu gözlemlenmiş. Yapılan çalışma için en uygun parametrelerin kesme hızı 120 m/dak, ilerleme hızı 0.18 mm/dev, talaş derinliği 0.4 mm olduğunu tespit etmişlerdir.

(Kalidass vd.,2013) Frezeleme ile işlenmiş parçaların yüzey pürüzlülüğünü en elverişli değerlere getirmek için Genetik algoritma modelini kullanarak optimizasyon işlemi gerçekleştirmişler ve kullanılan kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Bu çalışma için seçilen işlem parametreleri helis açısı (25 C°, 30 C°,35 C°, 40 C°, 45 C°), kesme hızı (700, 1400, 2100, 2800, 3500 mm/dev), ilerleme miktarı (0.03, 0.06, 0.09, 0.12, 0.15 mm/dev), kesme derinliği (0.2, 0.4 0.6, 0.8, 1.0 mm) olmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda 36.30 C° helis açısı, 3497 mm/dev kesme hızı, 0.07 mm/dev ilerleme miktarı, 0.204 kesme derinliği değerlerinin en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri elde etmek için uygun değerler olduğunu bulmuşlardır.

(Shaikh vd.,2023), AISI 1040 çeliği kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı imalat sanayinde yaygın kullanım alanı bulmuş bir malzemedir. Yeterli çekme mukavemetine sahip orta derece sertlikte bir malzemedir. Isıl işlem sonucunda su verilerek sertleştirilme işlemi yapılarak mukavemet derecesi artırılabilir. Orta ve yüksek tokluk dereceleri ve mukavemetin ön planda olduğu bütün mühendislik uygulamalarında kullanılabilen bir çelik malzemedir. Yaptıkları çalışmada AISI 1040 çelik malzemeyi Taguchi L27 deney tasarımına göre işlemiş ve işleme parametreleri olarak kesme hızı (250, 300, 350 m/dak), kesme derinliği (0.1, 0.3, 0.5 mm) ve ilerleme miktarı (0.05, 0.25, 0.45

mm/dev) değerlerini kullanmış ve ANOVA sonuçlarına göre en etkin parametreleri %5.58 ile ilerleme miktarı, %4.93 ile kesme derinliği, %1.95 ile kesme hızının oluşturduğunu bulmuşlardır.

(Nas vd.,2012), AISI 1050 çeliğini CNC freze tezgâhında frezeleme işleme tabi tutarak yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametreleri deneysel olarak araştırmışlar, parametreler için dört farklı kombinasyon oluşturup deneyler yapmışlardır. Bu deneylerde çeliğin ve küresel grafit dövme demirlerin işlenmesinde kullanılan PVD yöntemiyle kaplanmış kesiciler kullanılmış, parametrik değişimlerle yüzey pürüzlülüğü arasındaki değişimlerin gözlemini eğri uydurma algoritmaları kullanarak matematiksel olarak modellemişlerdir. Deney parametreleri olarak kesme hızı (60, 90, 120, 150, 180 m/dak), ilerleme miktarı (0.1, 0.05, 0.15 mm/dev), kesme derinliği (1, 2, 3 mm) değerleri kullanılmış ve sonuçta en iyi yüzey pürüzlülüğü değerine 180 m/dak kesme hızında, 0.1 mm/dev ilerlemede ve 2 mm talaş derinliğinde ulaşmışlardır.

(Bensouliah vd.,2016), Taguchi metodu aracılığı ile kaplamalı ve kaplamasız sert malzeme tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti analizi yapmışlardır. Deneylerinde parametrik değişken olarak kesme hızı (75, 105, 150, 210 m/dak), ilerleme miktarı (0.08, 0.12, 0.16, 0.20 mm/dev), talaş derinliği (0.10, 0.20, 0.30, 0.40 mm) değerlerini kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü, kaplamalı seramik uçlarda daha iyi çıkarken kesme kuvvetlerinin ise kaplamasız seramik uçlarda daha düşük olduğu belirlenmiştir. En uygun deney parametrelerini 150 m/dak kesme hızı, 0.08 mm/dev ilerleme miktarı, 0.40 mm talaş derinliği olarak bulmuşlardır.

(Aydemir vd.,2013), Gri sistem teorisi ve uygulamaları konusunda ağırlıklı olarak son on beş yılı kapsayan bir araştırma yaparak gri sistem teorisini, akademik öğretim ve endüstriyel araştırmalar açısından değerlendirmiş, pratik çözümler için öneriler sunmuştur.

(Özler,2019). AISI 1040 malzemenin Cnc freze tezgâhında farklı uç açlarına sahip matkap ile kare profile sahip malzemenin delinmesi ile oluşan yüzey kalitesini Gri bulanık yöntemle analiz etmiştir. Kullanılan kesme hızı parametresi değerleri (50, 75, 100 m/dak), ilerleme değerleri (75, 150, 225 mm/dak), takımın uç açısı değerleri (30 C°, 45 C°, 60 C°), olacak şekilde seçilmiştir. Gri bulanık analiz sonucunda minimum yüzey pürüzlülük değerini veren delme parametreleri 30 C° takım uç açısı, 100 m/dak delme hızı ve 225 mm/dak ilerleme miktarı ve 0.334 µm yüzey pürüzlülüğü olarak bulunmuştur.

(Fedai vd.,2018), AISI 4140 çeliğinin frezelenmesinde profilin pürüzlülüğü (Rq) ve profilin ortalama maksimum yüksekliği (Rz) deneysel olarak inceledikleri çalışmada, kesme derinliği, ilerleme hızı, kesme hızı ve kesici uç sayısı kontrol faktörleri olarak kabul edilerek Ra, Rz ve Rq yanıt faktörleri olarak kullanılmıştır. Deney çalışmasında kesme hızı değerleri (175, 250, 325 m/dak), ilerleme değerleri (0.08, 0.12, 0.16 m/dev), talaş derinliği değerleri (0.5, 1, 1.5 mm) şeklinde belirlenmiş ve yapılan işlemler sonucunda sırasıyla ideal yüzey pürüzlülük değerleri Ra, Rz ve Rq (0.117, 0.933, 0.143 μm), 325 m/dak kesme hızı, 0.08 mm/dev ilerleme, 1 mm talaş derinliği ideal parametreler olarak bulunmuşlardır.

(Uğur ve Öztürk,2019), sıcak çeliği farklı parametrik değerlerde işleyerek yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Bu çalışma için Taguchi L27 deney tasarımını kullanmışlardır. Kesme hızı (150, 200 m/dak), ilerleme (0.2, 0.3, 0.25 mm/dev), talaş derinliği (0.3, 0.6, 0.9 mm) değişkenlerini kesme parametreleri olarak kullanmışlardır. Parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki önemini değerlendirmek için ANOVA analizi yapmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasının optimizasyonu için en iyi kesme parametrelerinin kombinasyonunu elde etmek için Taguchi yönteminin S/N oranını uygulamış ve kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği fonksiyonlarını kullanarak Ra' yı tahmin etmek için çoklu regresyon analizi yapmışlardır. Sonuç olarak 0.678 μm pürüzlülük değerine 150 m/dak kesme hızı, 0.2 mm/dev ilerleme ve 0.3 mm talaş derinliğinde ulaşmışlardır. İlerleme miktarının uygun yüzey pürüzlülük değerinin oluşmasında en temel parametrik faktör olarak tespit etmişlerdir.

(Turgut ve Çakmak,2019), yapmış olduğu AISI 1040 çeliğinin frezelemesinde talaş kırıcı formunun yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisini araştırmıştır. Çalışmada AISI 1040 çeliği CNC dik işleme tezgâhında farklı talaş kırıcı formlara sahip (E-PL, M-PL, M-PM, M-MM) kesici uçların yüzey pürüzlülüğü ile kesme kuvvetlerine etkisine bakılmış. Kuru kesme şartlarında yapılan deneyler de farklı dört kesme hızı (150, 225, 300, 375 m/dak), üç ilerleme miktarı (0.05, 0.1, 0.15 mm/diş) ve bir tane talaş derinliği (1 mm) değerlerini kullanarak kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme kuvvetlerine etkisini araştırmışlardır. 1mm talaş derinliğinde yapılan frezeleme işleminde deney sonuçları en iyi pürüzlülük değerine E-PL kodlu talaş kırıcı forma sahip kesici takımla ulaşılmıştır. Ayrıca en uygun kesme parametreleri 0.05 mm/diş ilerleme, 375 m/dak kesme hızı olarak belirlenmiş bunun sonucunda yüzey pürüzlülük değerini 0.134 μm bulmuşlardır.

(Özay ve Küçük,2020), AISI 1040 çeliğini tornalama ve frezeleme yöntemiyle işleyerek yüzey pürüzlülüğünün genetik algoritma yöntemiyle optimizasyonunu yapmışlardır. Bu çalışmada Taguchi deney tasarım metodu kullanılmış ve AISI 1040 çeliğinin ortogonal ve teğetsel tornalama-frezeleme yöntemiyle işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Deneysel çalışmada işleme parametreleri olarak; kesici takım devri (250, 350, 450 dev/dak), iş parçası devri (140, 180, 224 m/dak), talaş derinliği (0.1 0.5, 1 mm) ve aksel ilerleme parametreleri (3.2, 7.9, 12.6 mm/dak) seçilmiştir. Çalışmanın sonuçları Minitab15 paket programı kullanılarak S/N oranları dönüştürülüp optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda kesme hızı 350 dev/dak, iş parçası devri 180 m/dak, aksel ilerleme miktarı 3.2 mm/dak, kesme derinliği 0.1 mm ve yüzey pürüzlülük değerini 0.667 μm olarak bulmuşlardır. Teğetsel tornalama-frezeleme işleminin yüzey pürüzlülüğünü azalttığını gözlemlemişlerdir. Genetik algoritma yöntemi, S/N oranları ve matematiksel modelden elde edilen minimum yüzey pürüzlülüğü değerlerinin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

(Siyambaş ve Turgut,2020), İAIN kaplamalı ve kaplamasız HSS matkapları ile üç farklı kesme hızı (18, 26, 34 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0.05, 0.075, 0.1 mm/dev) değeri kullanarak kesme parametreleri için çap değişimi ve çapak yüksekliği üzerindeki etkilerini araştırarak, Taguchi L18 ortogonal deney tasarımına göre deneylerini tasarlamış, deney sonuçları gri ilişkisel analiz yöntemi kullanarak optimize etmişlerdir. İşlemdeki en etkili parametreyi belirleyebilmek için Anova metodu kullanmışlardır. Gri ilişki derecesi değerine göre, çap değişimi ve çapak yüksekliği değerlerinde, en uygun parametrelerin kaplamasız matkaplar, 0.05 mm/dev ilerleme hızı ve 34 m/dak kesme hızı olduğu tespit edilmiştir.

(Aslan,2021), AISI 5140 çeliğinin tornalanması için kuru işleme koşullarında iki farklı kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme hızı ve yaklaşma açısını Taguchi yöntemi kullanarak çalışmış, kesme parametrelerinin akustik emisyon ve akım üzerindeki etkisini incelemiş, kesme hızı motor akımı (70.8%) ve akustik emisyon (89.5%) üzerinde en etkili parametre olurken istatistiksel analiz sonuçlarının hem motor akımı (92.5%) hem de akustik emisyon (95.9%) için yüksek güven aralığında olduğunu ortaya koymuştur.

(Balonji vd.,2023), alüminyum Al 6061 ile işlenmiş blokların yüzey pürüzlülüğünü

tahmin etmek ve izlemek için yapay sinir ağı (YSA) ve uyarlanabilir ağı tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yaklaşımlarını kullanmıştır. Ayrıca, hibrit yaklaşımın tahmin performansındaki potansiyel artışı araştırmak için her iki model de genetik algoritma (GA) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ile hibritleştirilmiştir. Modellerin hiperparametre kombinasyonunun tahmin yeteneği üzerindeki etkisini sergilerken uygun tahmin modellerinin geliştirilmesine ve yumuşak hesaplama tekniklerinin CNC makinelerinde alüminyum Al 6061 bloklarının yüzey pürüzlülüğünü tahmin etme potansiyeline dair fikir oluşturduğu belirtilmiştir.

(Abdelwahab,2023), CNC frezede alüminyum alaşımlı malzeme AA5083 için hem titreşim sinyali (VS) hem de ortalama pürüzlülük değeri (Ra) üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yapay sinir ağı (ANN) tekniğine dayalı olarak VS ve Ra' yi tahmin etmek için üç model geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, devir sayısı (19, 21, 23, 25, 27 m/dak) , ilerleme miktarı (150, 200, 250, 300, 350 mm/dak), talaş derinliği (0.7, 1, 1.5, 2, 2.3 mm) değerleri kullanmıştır. Deney çalışması sonucunda en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri 23 m/dak devir sayısı, 350 mm/dak ilerleme, 1.5 mm talaş derinliği parametrik değerleri sonucu elde edilmiştir ve 3.120 µm olarak bulunmuştur. VS arttıkça ilerleme hızı ve kesme derinliğinin VS'yi etkileyen en önemli unsurlar olduğunu göstermiştir.

(İlçe,2023), Taguchi deneysel tasarım modeli sadece 16 deneyle yüzey pürüzlülük değerlerini %96,62 başarı ile tahmin etmiştir. Elde edilen denklem deneysel ve tahmin edilen değerlerle karşılaştırıldığında değerlerin %96,80 başarı oranıyla uyum içinde olduğu görülmüştür. Sonuç olarak mevcut sonuçlar, az sayıda deneysel ölçüm noktasına sahip bir Taguchi deneysel tasarım modeli kullanılarak etkili optimizasyonun sağlanabileceğini doğrulamaktadır.

(Bhokal vd.,2015), çalışmalarında EN-31 alaşım çeliğini Cnc tezgâhında farklı parametrik değerler kullanarak işlemişlerdir. İşleme esnasında Cnc tezgâhında oluşan titreşim değeri ile işlenen parçanın yüzey kalitesinin kesme takımının ömrünü nasıl etkilediğini bulmaya çalışmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları parametre değerleri kesme hızı (100, 140, 180 m/dak), ilerleme miktarı (0.1, 0.15, 0.2 mm/dev), kesme derinliği (0.75, 1, 1.25 mm) şeklinde belirlemişlerdir. Regresyon analiz sonuçlarına göre deney bulguları 143.6 mm/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme miktarı, 1.25 mm talaş derinliği değerleri için yüzey pürüzlülüğü 0.189 µm bulunmuştur. Bu parametrik değerlerin

kullanılması durumunda takım ömrünün daha uzun olacağını tespit etmişlerdir.

(Chowdary ve Sookhansingh,2024), bilgisayarlı sayısal kontrollü parmak frezeleme işleminde kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve radyal talaş açısının alüminyum 5083 (Al5083), yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırarak Taguchi L9 ortogonal deneysel tasarım dizisi kullanmışlar. Tahmin modelleri oluşturmak için yanıt yüzeyi metodolojisi kullanmışlar, minimum yüzey pürüzlülüğü elde etmek için genetik algoritma yaklaşımı kullanılarak en uygun işleme koşullarını bulmuşlardır. Al5083 için optimal yüzey pürüzlülüğünün 0,143 μm olduğunu tespit etmişlerdir.

(Esmee,2014), Literatür çalışmalarında yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin Ra değerinin ne derecede ve hangi parametrik koşullara göre değiştiğini gri bulanık yöntemine göre araştırmıştır. Bu çalışmada Ra ve Mrr girdi parametresi olarak GFRG ise çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Çalışmasında kesme hızı için (1000, 1500, 2000, 2500 dev/dak), ilerleme miktarı için (0.5, 1, 1.5, 2 mm/dak), talaş derinliği için (0.5, 0.75, 1, 1.25 mm), kesme stratejisi için (zigzag ve spiral) parametrelerini kullanmıştır. Deney sonucunda optimum yüzey pürüzlülüğünü 1500 mm/dev kesme hızı, 2 mm/dak ilerleme hızı, 1.25 mm talaş derinliği ve spiral kesme yöntemi kullanarak bulmuştur.

(Patel ve Kiran,2021), AISI 1040 çelik malzemeyi parmak freze takımıyla işlemişler ve yüzey pürüzlülük değerlerini yüzey profilometresi ölçüm cihazıyla ölçerek bulmuşlardır. İşleme esnasında kontrast, enerji, entropi ve homojenite değişkenlerini parametrik değerler olarak kullanmışlar ve oluşan yüzey şekillerinin kamera vasıtasıyla ekrana yansıtılarak kesme esnasında oluşan anlık değişen yüzey pürüzlülük değerlerini görsel olarak ölçmeyi mümkün hale getirmişlerdir. Araştırmaları sonucunda 0.390 μm yüzey pürüzlülük değerini ideal değer olarak tespit etmişlerdir.

(Rashid ve Lani,2010), İşleme esnasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreleri çoklu regresyon ve yapay sinir ağları modeli kullanarak tespit etmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışma için Al 6061 malzeme kullanmışlardır. Cnc dik işleme tezgâhında işlemek için (1000, 1250, 1500 dev/dak) kesme hızı, (152, 380, 588 mm/dak) ilerleme miktarı, (0.25, 0.76, 1.27 mm) kesme derinliği parametrelerini seçmişlerdir. Çalışma sonucunda optimum yüzey pürüzlülüğünü 1.173 μm olarak bulmuşlardır. Bu değer için kullandıkları parametreler 1000 mm/dev kesme hızı, 152 mm/dak ilerleme, 0.25 mm kesme derinliği olmuştur.

BÖLÜM II

TALAŞLI ÜRETİM

2.1. Talaşlı İmalat

İnsanlık tarihi boyunca, medeniyetin gelişimiyle birlikte imalat faaliyetleri de başlamıştır. İnsan toplulukları, daha iyi ürünler üretme amacıyla sürekli olarak çaba sarf etmişlerdir. İmalat kelimesi, İngilizce karşılığı “manufacturing” Latince "manus" (el) ve "factus" (yapma) kelimelerinin birleşiminden gelir (Groover,2015). İmalat, işlenecek malzemenin, fiziksel ve kimyasal uygulamalarla geometrisinin ve özelliklerinin değiştirilmesi sürecidir. Bu süreç, birden fazla parçadan oluşan ürünlerin montaj işlemini de içerir. İmalat, hammaddelerin pazarlanabilir mallara dönüşümüne odaklanan organize edilmiş bir faaliyettir (Wu,2012).

İmalat süreleri, hammaddenin bitmiş ürün olarak değişmesini sağlayan teknolojik metotlardır (Aran,2007). İmalat, hammaddelerin pazarlanabilir mallara dönüşümünü sağlayan organize bir faaliyettir. Bu süreç, başlangıç malzemesinin fiziksel ve kimyasal yöntemlerle şeklinin ve özelliklerinin değiştirilmesini ve birden fazla parçadan oluşan ürünlerin montajını içerir (Gaither ve Frazier,2002).

Günümüzde imalat sektörü, gelişen teknolojiye paralel olarak ürünlerin artan yüksek kalite ihtiyacına cevap verebilmek için sürekli olarak iyileştirme ve geliştirme çalışmalarına ihtiyaç duymaktadır. Rekabetin temel kuralı olan düşük maliyet, yüksek kalite ve verim dengesinin çok iyi korunması gerekmektedir (Fedai vd.,2018).

Teknoloji ile imalatın önemi ve yeri sürekli artmaktadır. Bir ürünün imal edilmesinde de en çok kullanılan yöntemler talaşlı imalat yöntemleridir. İmal edilen parçaların gerek ölçü hassasiyeti, gerekse yüzey hassasiyetinin istenilen sınırlar ve toleranslar içerisinde olması, talaş kaldırma işlemini günümüzde daha da önemli bir hale getirmiştir.

Talaş kaldırma yöntemlerinin çeşitli geometrilere ve özelliklere sahip parçaların işlenmesinde önemli bir unsurdur ve talaşlı imalatta işleme kalitesini etkilemektedir. İstenen parça geometrisinin oluşturulmasında, mekanik olarak kesici bir takım kullanmak, bu şekilde malzeme uzaklaştırarak malzeme işleme yöntemi, metal makine parçalarını

şekillendirmek adına, yüksek boyutsal doğruluk ve kesinlikte geometrik özellikler sağlar ve parça geometrilerinin düzeltilebilme kapasitesi bakımından imalat yöntemlerinin en uygunudur (Groover,2015).

Talaşlı imalatta, diğer endüstriyel işlemlerde olduğu gibi amaç en hızlı ve en ekonomik biçimde gereken kalitedeki üretimi gerçekleştirmektir. Son yıllarda artmaya devam eden yüksek iş mili devirleri ve hassasiyet sağlayan tezgâhlar sayesinde üretim kapasitelerinde de önemli artışlar mümkün hale gelmiştir. Talaş kaldırma işleminde ise uygun malzeme ve kesici seçimi oldukça büyük avantajlar sağlar. Bu avantajlar arasında; verimliliğin, kalitenin artırılması ve imalat masraflarının azaltılması yer alır. Yüksek verimlilik, uygun kesme ve ilerleme hızının seçilmesiyle sağlanabilir. Uygun kesme ve ilerleme hızları, kullanılacak kesme stratejisiyle de doğrudan ilişkilidir. Etkatif bir kesme stratejisi kullanılırsa uygun kesme ve ilerleme hızlarına ulaşılabilir. Dolayısıyla, istenen zamanda istenen kalitede doğru ve hassas parça yüzeyleri elde edilebilir.

Azalan işlem basamakları, ürünün daha fazla geriye kazanımı ve yeni ürünlerin piyasaya sürülmesi için harcanan zamanın azalması, dünya ekonomisindeki gelişmelerin etkisiyle talaşlı imalatta bu gelişmelere paralel bir şekilde hızlanmış ve üretim kapasitesini arttırmıştır. (Shutzer ve Helleno,2005).

Araştırmacılar AISI 1045 çelik malzemesi üzerinden işlemek için tasarlanan test modelleri geliştirmişlerdir. Follow Periphery, fallow part, paralel lines ve zig zag gibi kesme stratejilerini, test modellerini CNC’de işlenmesi sırasında kullanmışlardır. Daha sonra bu stratejiler sonunda harcanan zaman ile yüzey kalitesini karşılaştırmışlardır. Her bir kesme stratejisinde; kesici tip, devir sayısı (n), İlerleme (Vf), kesme hızı (Vc), dış başına ilerleme(f), kesme derinliği(a) ve kesicideki diş sayısı (Zn) gibi frezeleme parametreleri burada kullanılmıştır. Sonuç olarak; test modelleri üzerinde kesme stratejileriyle frezeleme parametrelerinin kullanımının imalat zamanı, parça geometrisi ve yüzey kalitesini önemli ölçüde etkilediği ifade edilmiştir (Shützer ve Helleno,2005).

2.2. Talaş Kaldırma Esasları

Endüstriyel makine parçalarının üretiminde yaygın olarak kullanılan talaşlı imalat yöntemleri sıcak ve soğuk haddeleme, presleme, döküm, dövme, enjeksiyonla kalıplama ve diğer şekillendirme işlemlerinin yanı sıra, mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır

hale getirilmesinde de önemli bir rol oynar. Talaşlı imalat işlemlerinde, hammadde üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhları, kesici takımlar ve işleme parametreleri kullanılarak istenilen ölçü, tolerans ve yüzey pürüzlülüğünde parçalar elde edilir. Kesme hareketi, iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini içerir. Talaşlı imalat genellikle metallerin şekillendirilmesi için kullanılsa da farklı malzeme çeşitlerinde de aynı yöntemlerle uygulanabilir.

Talaşlı imalat, diğer imalat yöntemleriyle kıyaslandığında, çelik, alüminyum, metal alaşımlar, plastik ve termoplastik esaslı malzemeler, başta olmak üzere bütün stok malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle işlenebilir. Bütün bu stok malzemeler üzerinde takımyolu geometrileri oluşturulabildiği gibi birkaç talaşlı imalatı sırasıyla uygulayarak hemen hemen bütün karmaşık geometriler oluşturulmaktadır. Diğer üretim yöntemlerine göre talaşlı imalatta hedeflenen ölçülere en yakın toleranslar ve daha iyi yüzey kaliteleri elde edilmektedir.

Döküm yöntemi, dövme ve haddeleme gibi işlemlerle üretilen ürünlerin ve diğer talaşsız imalat metodlarıyla şekillendirilen mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale gelmesi için genellikle talaşlı imalatla işlenmeleri gerekir. Talaşlı imalat, parçanın yapım resminde belirtilen geometri ve ölçülere uygun olarak işlenmesini sağlar. Bu işlem, uygun kesme takımlarıyla iş parçasından kaldırılan talaşlar sayesinde istenilen boyutsal ölçülerin ve yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesini sağlar. Torna, freze, matkap, planya, borvek, CNC freze ve CNC torna gibi takım tezgâhları, parçaların işlenmesinde sıkça kullanılır. Talaşlı imalat, birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılır; örneğin kalıp sanayisi, otomotiv sektörü, havacılık endüstrisi ve uzay sanayisi gibi alanlarda sıklıkla tercih edilir.

Talaşlı imalat, kesme talaş kaldırma işleminin temelinde plastik deformasyonun meydana gelmesi ve bu deformasyonun talaş haline dönüşmesiyle gerçekleşir. Genellikle metal malzemeler bu yöntemle işlenir ancak diğer malzemelerde de kullanılabilir. Bu yöntemin yaygın olarak tercih edilmesinin nedeni, hızlı, ekonomik ve istenilen kalitede parça üretimini sağlamasıdır. Son yıllarda yüksek iş mili devirleri ve hassas tezgâhlar sayesinde üretim kapasiteleri önemli ölçüde artmıştır.

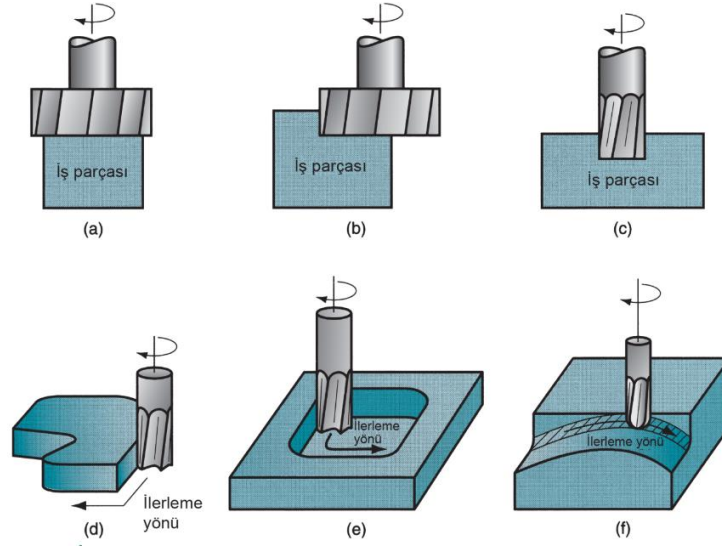
Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörlerin merkezindeki temel olgu, talaş oluşumudur. Talaş, malzemenin plastik şekil değiştirmesi nedeniyle meydana gelir. Keskin

bir takım ucu malzemeyle temas ettiğinde, yüksek gerilmeler ve sıcaklık meydana gelir. Gerilmeler, malzemenin akma sınırını aştığında kesme yüzeyinden ayrılan bir yüzey tabakası olan talaş oluşturur. Talaş oluşumu yüksek basınçlar altında gerçekleşir ve temas yüzeylerinde sıcaklıklar artar.

Kesme sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametreler arasında makine devri, ilerleme hızı, talaş derinliği ve kullanılan takım bulunur. Talaşlı imalat, yıllardır kullanılmış ve günümüzde etkisini artırarak sürdürmektedir. Ancak takım ve iş parçasının sürekli teması nedeniyle takım aşınır ve bu da iş parçasının boyutlarının değişmesine neden olabilir.

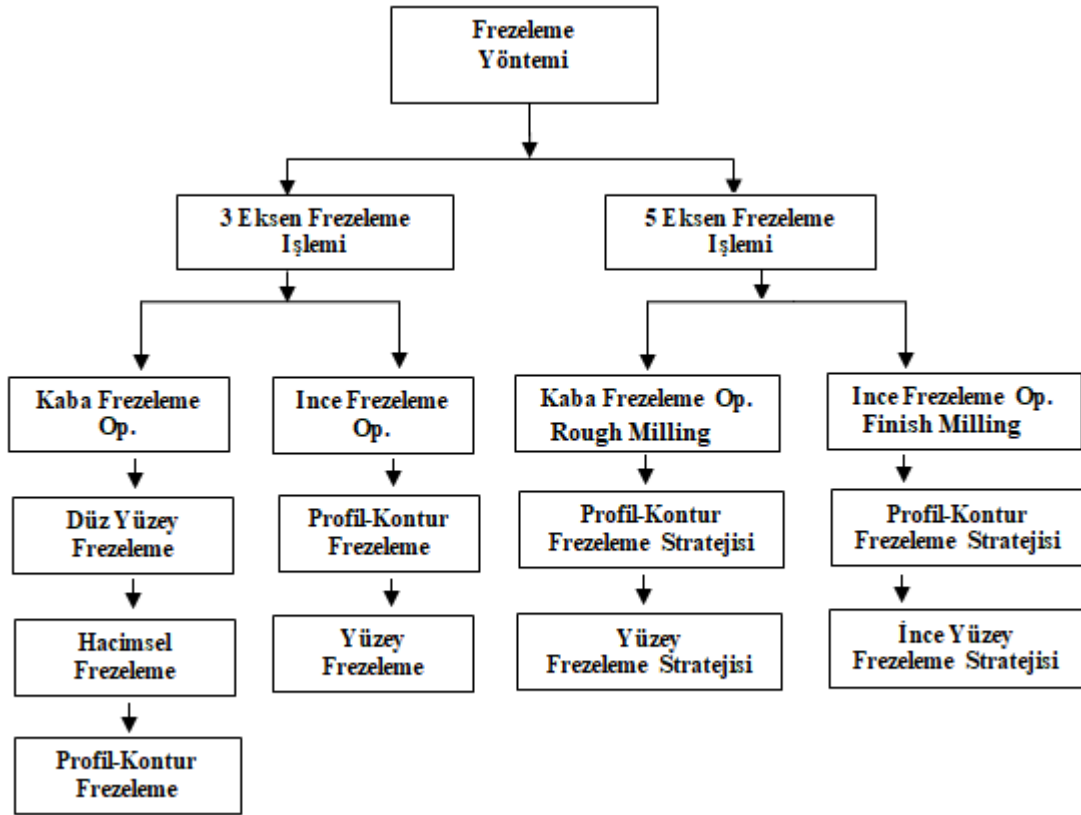
2.3. Frezeleme İşlemi

Frezeleme işleminde farklı geometrideki parçaların üretimi için kesme koşullarının dikkatlice kontrol edilmesi gereklidir. İyi bir ürün kalitesi elde etmek için iş parçasının ve yüzeyin niteliği ile talaş oluşum mekanizmasının detaylı bir şekilde incelenmesi önemlidir. Talaşlı imalat endüstrisinde, çeşitli takım tezgâhları ve kesici takımlar kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan frezeleme, talaşlı imalatta en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Frezeleme işlemi, tabla adı verilen bağlayıcı bir bölüme mengene, ayna, divizör ve iş bağlama kalıpları gibi araçlarla tespit edilen iş parçası üzerinden dönen ve etrafında birçok kesici takım bulunan tezgâhlar aracılığıyla talaş kaldırma işlemidir. Şekil 2.1’de farklı yöntemlerle yapılan frezeleme operasyonları gösterilmektedir. Frezeleme işlemi, iş parçalarının farklı geometrilere sahip olmasıyla mümkündür ve bu, freze tezgâhlarının X, Y, Z eksenlerinde hareket edebilme yeteneğine bağlıdır. Bu talaş kaldırma yönteminde, çok eksenli takım tezgâhlarının kullanılabilir olması, çeşitli geometrilere sahip iş parçalarının işlenmesini sağlar. Şekil 2.2.’de verilen frezeleme yöntemini oluşturan operasyon ve stratejiler, parça imalat sürecindeki talaş kaldırmanın temellerini oluşturur ve istenilen üretimin ana hatlarının ortaya çıkmasını sağlar.



Şekil 2.1. Frezeleme Operasyon Tipleri

Kaynak: Groover,2015.



Şekil 2.2. Frezeleme Yöntemini Oluşturan Operasyon ve Stratejileri

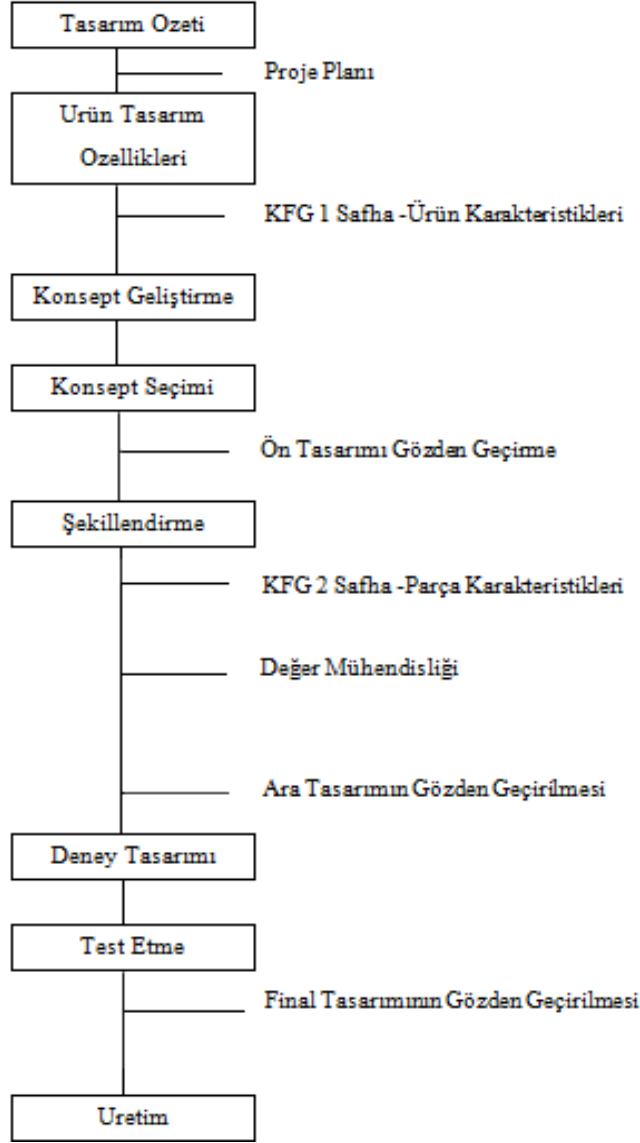
Kaynak: Öktem,2009:31.

Frezeleme işleminde günümüzde artık yüksek kesme hızları kullanılmaktadır.

Özellikle büyük çaplı kesici takımlarla CNC tezgâhlarında (Ø 8-10 mm) kaba frezeleme işlemleri yapmak için yeni teknikler geliştirilmiştir. Büyük çaplı kesici takımlarla kesme yönünde veya kesme yönüne ters (up down milling) biçimde büyük hacimli malzeme çıkarma işlemleri gerçekleştirilmektedir (Toh,2005).

CNC freze tezgâhları, çeşitli geometrik yapıya sahip parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Gelişmiş CAM (Bilgisayar Destekli İmalat) programları sayesinde, farklı geometrilere sahip parçaların üretimi daha da kolaylaşmıştır. Bu programlar, takım yolu simülasyonu gibi özellikler sunarak serbest yüzeyli ve karmaşık geometrilere sahip parçaların üretimini verimli bir şekilde gerçekleştirebilmektedir. Bu parçalar, genellikle otomotiv, uçak ve uzay araçları gibi ileri teknolojik sistem ve mekanizmalarda kullanılmaktadır. Özellikle bu ileri teknolojiye sahip araçlarda, parçaların çok hassas boyutsal özelliklere ve yüzey kalitesine sahip olması beklenmektedir. Bu, sadece bir beklenti değil, aynı zamanda bir zorunluluktur. Bu tür parçaların üretiminde, hata payı ve toleranslar minimize edilmiş ve optimal özellikler hedeflenmiştir. Bu yaklaşım, parçaların güvenilirliği, performansı ve dayanıklılığı için hayati öneme sahiptir. CNC freze tezgâhları, seri imalata uygun oldukları için üretimde zaman ve maliyeti azaltmak için otomasyonla üretim yapılmaktadır. Otomasyon sistemiyle üretilen ve sayıları oldukça fazla olan bu parçaların her birinin yüzey kalitesi ve boyutunu analiz etmek mümkündür. Ancak, bu parçaların her birini manuel olarak kontrol etmek, zaman ve maliyet açısından tercih edilmez. Bu nedenle, tahmin modellerinin geliştirilmesi ve uygulanmasıyla zaman ve maliyet minimize edilmektedir (Bakır,2012).

Bir talaş kaldırma operasyonunda, parçanın üretilmesi için öncelikle bir cam programında ve parametrelere uygun bir şekilde işleyebilmek adına imalat sürecinde bir akış şemasına ihtiyaç duyulur. Aşağıda Şekil 2.3’de talaş kaldırma işlemi için örnek bir akış şemasına yer verilmiştir.



Şekil 2.3. Tasarım Sürecinin Modeli İmalat Akış Şeması

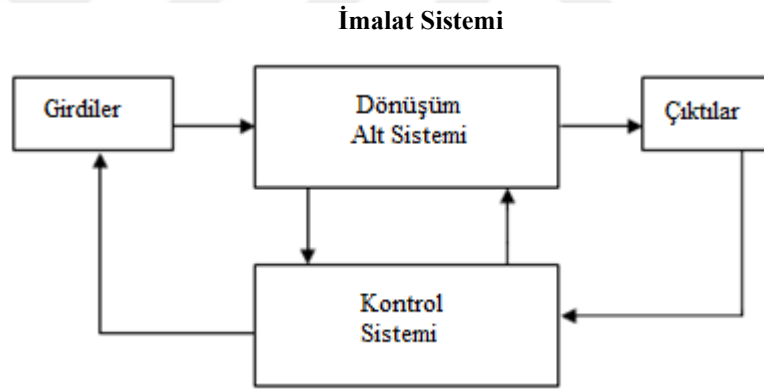
Kaynak: Oran,2012.

Malzeme kaldırma işlemleri; geleneksel talaşlı imalat, aşındırma işlemleri ve alışılmamış talaşlı imalat gruplarından oluşur. Frezeleme operasyonu, geleneksel imalat yöntemleri arasında yer alır. Frezeleme, her türlü geometrik parçanın işlenmesinde tercih edilen temel talaş kaldırma yöntemlerinden birisidir (Şekil 2.4). İmalat, girdi, dönüşüm, çıktı ve kontrol alt sistemlerinden oluşmaktadır (Şekil 2.5). Burada, her aşama önemli olmakla beraber en önemli öğeler, girdiler ve kontrol sistemleridir.

Malzeme Kaldırma İşlemleri	Geleneksel Talaşlı İmalat	Tornalama İle İlgili Operasyon
		Delik Delme ve İlgili Operasyon
		Frezeleme Operasyonu
		Diğer İşleme Operasyonu
	Aşındırma İşlemleri	Taşlama Operasyonu
		Diğer Aşındırma Operasyonları
	Alışılmamış Talaşlı İmalat	Mekanik Enerji İşlemi
		Elektrokimyasal İşlemi
		Isıl Enerji İşlemi
		Kimyasal İşlemi

Şekil 2.4. Talaş Kaldırma İşlemi Sınıflandırılması (Talaş Kaldırmanın Teorisi)

Kaynak: Groover,2015.



Şekil 2.5. Bir Sistem Olarak İmalat

Kaynak: Gaither ve Frazier,2001.

2.4. Talaşlı İmalat Mekanîği ve Talaş Oluşumu

Talaş kaldırma mekanîği üzerindeki önemli çalışmalar, modern imalatın temelini oluşturan ilkeleri ortaya koymuştur. Bu çalışmaların önemli bir kısmı, Taylor tarafından 1900'lerin başından itibaren yapılmıştır. Taylor, yaklaşık yirmi altı yıl süren deneyler ve incelemeler sonucunda, talaş kaldırma operasyonları sırasında kesme parametrelerinin ve takım malzemesinin takım ömrüne etkisini derinlemesine incelemiştir. Ortaya koyduğu prensipler, günümüzde hala endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. İmalat süreçlerinde zamanı ve maliyeti azaltma arayışları devam etmektedir. Bu bağlamda, üretimi

otomasyonla ve mümkün olduğunca az prosesle gerçekleştirmek, modern imalatın önemli hedefleri arasındadır. Bu hedefe ulaşabilmek için ara proseslerin gereksinimini ortadan kaldıracak veya minimize edecek tekniklerin geliştirilmesi önemlidir. Araştırmacılar ve imalat mühendisleri için bu tekniklerin uygulanabilir olduğu teknolojiler günümüzde mevcuttur. Mevcut teknolojilerin kombinasyonu ile geliştirilecek kontrol sistemleri, üretim sürelerini ve maliyetleri azaltmada etkili olacaktır. Bu süreçte, ara proseslerden en önemlisi parça yüzey kalitesinin kontrolüdür. Ancak her bir parçanın yüzey kalitesini kontrol etmek, maliyetli ve zaman alıcı bir süreçtir. Bu nedenle, tahmin modelleri ve sistemleri geliştirilerek kalite kontrol için ayrılan süreyi ve maliyeti azaltmak mümkündür.

Günümüzde, düşük insan gücü kullanarak kısa sürede yüksek kaliteli ürünler elde etmek hedeflenmektedir. Bu amaçla, esnek ve verimli üretim için CNC tezgâhlarının kullanımı giderek yaygınlaşmış ve imalat sektöründe önemli büyümelere yol açmıştır. İmalat sektöründe çeşitli talaş kaldırma yöntemleri bulunmaktadır. CNC tezgâhlarında talaşlı imalat süreçlerinde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen çeşitli parametreler bulunmaktadır, bunlar kesme hızı, ilerleme, kaldırılan talaş miktarı ve kesme metodu gibi faktörlerdir. Daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde etmek için kesme parametrelerinin optimize edilmesi ve yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi gerekmektedir. Modern imalat endüstrisi, yüksek kaliteli parça üretimi için bilgi teknolojisiyle derinlemesine bütünleşmiştir. İmalat endüstrisinin önemli bir bileşeni olan metal kesme işleminde, işleme parametrelerini izlemek ve tahmin etmek için artan bir talep bulunmaktadır.

Standart talaşlı imalat işlemleri, tornalama, frezeleme, delme ve vida açma gibi yöntemlerle gerçekleştirilir. Bu işlemlerde, iş parçası üzerinden kesici takımlar yardımıyla talaşlar şeklinde malzemeler kaldırılır. Her ne kadar işlem yöntemleri farklılık gösterse de (tornalama, frezeleme vb.), talaşın oluşum mekanizması temelde aynıdır. Bu mekanizma, kesici takımın malzemeye temas etmesiyle malzemenin plastik deformasyona uğraması ve bu deformasyonun talaş formunda malzemenin ayrılmasıdır. Bu süreç, iş parçasının istenilen geometriye ve ölçülere uygun olarak şekillendirilmesini sağlar.

Temelde, talaş oluşumu, kesici takımın iş parçasıyla temas etmesiyle dar bir bölgede gerçekleşen bölgesel bir kayma işlemidir. Kesici takımın iş parçasına temasıyla öncelikle iş parçasında elastik (geçici) bir deformasyon meydana gelir. Kesme gerçekleştiğinde, iş parçasının akma dayanımı aşılar ve malzeme plastik (kalıcı) bir

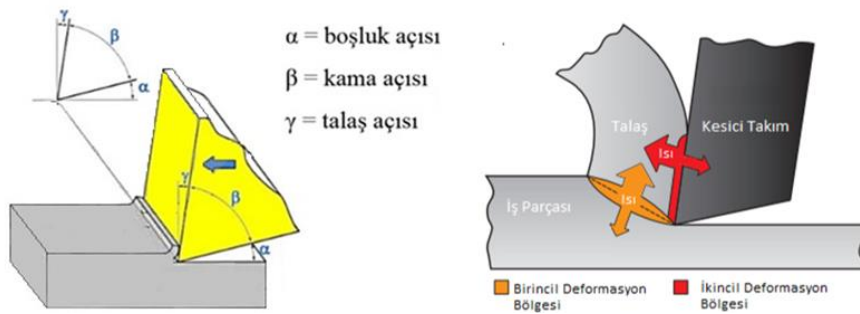
deformasyona (kalıcı şekil değişikliğine) uğrar. Kesici takım ve iş parçası arasındaki nispi hareket sırasında plastik deformasyon devam ederken iş parçası malzemesinde yüksek dislokasyon birikmesi meydana gelir. Bu yüksek dislokasyon birikimi, iş parçasında deformasyon sertleşmesine yol açar.

Deformasyon sertleşmesi bir doyum noktasına ulaştığında, iş parçası kaymaya maruz kalır ve deformasyona uğrayan bölge kesici takım tarafından talaş yüzeyinden alınarak talaş şeklinde atılır. Bu süreç, iş parçasının üzerinden malzeme talaşları şeklinde kaldırılmasını sağlar, böylece istenen şekil ve boyuttaki parça elde edilir (Çiftçi,2005).

Bir talaşın oluşumu için üç temel gereksinim bulunmaktadır ve bunlar şu şekildedir:

1. Kesici takımın, iş parçasından daha sert ve aşınmaya karşı daha dayanıklı olması gerekmektedir.
2. Kesici uç geometrisinin, talaş derinliği ve ilerlemeyle iş parçası ile takım arasında etkili bir şekilde dalma sağlayacak şekilde olması gereklidir.
3. İş parçası malzemesinin direncini yeterli kuvvetle yenmek için iş parçası ve takım arasında uygun bir kesme hızı veya nispi hareketin sağlanması gerekmektedir (Koçak,2011; Şeker,1997)

Şekil 2.6'da bir metal kesme işleminin, kesici takımın kesme açısıyla iş parçası üzerinden talaş deformasyona uğratarak kaldırması görülmektedir. Bu talaş kaldırma sürecinin anlamlandırılması ve tespiti için yapılan modellemelerde, bağımsız değişken olarak kesme parametreleri (ilerleme miktarı, paso miktarı, kesme hızı ve kesme metodu) ve bu bağlamda yüzey pürüzlülük değeri incelenmektedir (Bakır,2012).



Şekil 2.6. Talaş Oluşumunun Geometrisi

Kaynak: Bakır,2012.

Talaşlı imalatta yüzey kalitesinin belirlenmesinde temel kriterlerden biri, üretilen parçanın yüzeyindeki pürüzlülük düzeyidir. Özellikle frezeleme işlemlerinde, yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi önemlidir. Bu amaçla, kesme kuvvetleri ve titreşimler gibi faktörler göz önünde bulundurularak bir model geliştirilmiş ve pürüzlülük oranı tahmin edilmiştir. Bu model, frezeleme işlemi sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin ve titreşimlerin, nihai parça yüzeyinin pürüzlülüğü üzerindeki etkisini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu şekilde, işlem parametreleri önceden belirlenebilir ve istenen yüzey kalitesine ulaşmak için gerekli ayarlamalar yapılabilir. Bu tahmin modeli, frezeleme işlemlerinin daha verimli ve kaliteli hale getirilmesine yardımcı olabilir.

$$MRR = (v \times f \times d_{tool} \times depth \times n_{flute} / 1000) \quad (1)$$

Bazı talaşlı imalat işlemlerinde malzeme kaldırma miktarı (MRR), Eşitlik 1'deki gibi hesaplanır. Burada, kesme hızı (v) birincil hareket, ilerleme (f) ikincil hareket, kesme derinliği (depth) takımın orijinal parça yüzeyinden aşağıya nüfuziyeti, kesici takım çapı (d_{tool}), kullanılan takımdaki oluk ya da ağız sayısı (n_{flute}) 'dır. MRR formülüyle talaş kaldırma esnasında dakikada kaldırılan talaş miktarını hesaplanabilir.

Parçanın, çoklu kesici kenarları olan bir kesici takıma doğru ilerlediği talaş kaldırma yöntemi, dönen takım eksenini ilerlemeye diktir, düz bir yüzey oluşturur (Groover,2015). CNC freze tezgâhlarında, iş parçası üzerinde genellikle cep frezeleme veya havuz açma olarak bilinen bir işlem yapılır. Bu işlem genellikle parmak frezeler kullanılarak gerçekleştirilir. Cep frezeleme işlemi sırasında, kesici takım belirli bir noktada Z ekseninde dalma yapar ve X ve Y eksenlerinde işlem için gerekli yanal hareketleri gerçekleştirir. Parmak frezelerin alın yüzeylerinden alacağı talaş miktarı genellikle sınırlıdır. Bu işlem, iş parçasının belirli bölgelerinde, özellikle cepler veya havuzlar gibi geometrik özelliklerin oluşturulmasında kullanılır. Bu sayede, iş parçasının istenilen şekil ve boyutlara getirilmesi sağlanır. Z ekseninde dalma işlemi sırasında, parmak frezenin çapına uygun bir talaş miktarı seçilmesi son derece önemlidir. Talaş miktarı fazla verildiğinde, parmak freze Z ekseninde dalma esnasında kırılabilir. CNC programları, tezgâhın kontrol paneli üzerinde doğrudan oluşturulabileceği gibi bilgisayardaki CAM programları aracılığıyla da hazırlanabilir. Bu programlar kullanılarak takımın hareket

edeceği yolları belirlemek için toolpath (takım yolları), kesme parametreleri ve kesme yöntemleri belirlenir. Daha sonra, bu bilgiler "G" kodları adı verilen bir NC dosyasına dönüştürülerek, bir kart veya USB bellek aracılığıyla CNC tezgâha aktarılır ve tezgâh işlemeye hazır hale getirilir (Aygün vd.,2020).

Önceki araştırmalar, yüzey kalitesinin parçaların yorulma mukavemeti ve sürünme ömrü üzerinde doğrudan etkisi olduğunu göstermektedir (Özel ve Karpat 2005; Kopač vd., 2002; Tzeng vd., 2009).

Yüzey pürüzlülüğü, bir parçanın yüzeyinde kullanılan imalat yöntemleri ve diğer etkilerle meydana gelen girintili-çıkıntılı düzensizliklerin ortalama değeridir. Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğü, son üründe istenilen yüzey kalitesinin elde edilmesi açısından kritiktir. Parçanın amaçlanan kullanımı, malzemesi ve önceden yapılan işlemler (örneğin, ısıtım işlem) son yüzey kalitesini etkiler. Her talaş kaldırma yöntemi, elde edilebilecek yüzey kalitesi ve pürüzlülük derecesi açısından farklılık gösterir. Aynı kalitede ürünleri sürekli olarak üretebilmek için imalat süreci bütünsel olarak değerlendirilmelidir. Üretimde standartı bozan en önemli faktörlerden biri, takım aşınmasıdır. Takım aşındıkça, işlenen yüzeyin kalitesinde bozulmalar başlar. Verimlilik ve ekonomiklik, imalatın başarılı olabilmesi için bir arada düşünülmalıdır. Üretim stratejileri belirlenirken bu hedefleri kapsayan fonksiyonlar göz önünde bulundurulmalıdır. Kesici takım seçimi ve kullanılan işlem parametreleri, toplam üretim maliyetini önemli ölçüde etkiler. CNC tornalama prosesinde, kesme parametreleri ekonomik takım kullanımını hedeflerken toplam işleme maliyeti dikkate alınmalıdır. Takım aşınması en aza indirgenmeye çalışıldıkça, işleme maliyetinin artmasına neden olabilecek şekilde kesme koşulları düşük tutulmamalıdır. Kesme parametreleri üzerinde bu zamana kadar yapılan çalışmaların büyük bir kısmı, bu amacı iyileştirmeye yönelik olmuştur (Kosko ve Toms,1993; Kopač ve Krajinik,2006).

2.5. Talaşlı İmalatta CNC Dik İşleme ve CAD/CAM Programı Kullanımı

Talaşlı imalat alanında CNC dik işleme ve CAD/CAM programları oldukça yaygın olarak kullanılan konulardır. CNC dik işleme, dikey olarak yönlendirilen bir kesici takımın iş parçasını işlemesi anlamına gelir. Bu işlem genellikle frezeleme veya delme gibi yöntemlerle gerçekleştirilir. CNC dik işleme tezgâhları, iş parçasını işlerken kesici takımın dikey hareketine izin verir ve genellikle çok yönlüdür, yani birçok farklı işlemi

gerçekleştirebilirler. CAD/CAM (Bilgisayar Destekli Tasarım/Bilgisayar Destekli İmalat) programları, imalat sürecinde tasarımın ve işlemenin dijital olarak yönetilmesini sağlar. CAD yazılımları, parçaların dijital tasarımlarının oluşturulmasına ve düzenlenmesine olanak tanırken CAM yazılımları, bu tasarımların fiziksel parçalara dönüştürülmesi için üretim talimatlarını oluşturur. Bu talimatlar, CNC makinelerinin nasıl hareket edeceğini belirler ve kesici takımın iş parçasını istenilen şekilde işlemesini sağlar. CAD/CAM programlarının kullanımı, üretim sürecini optimize etmek, hata payını azaltmak ve daha karmaşık parçaların üretimini kolaylaştırmak için yaygın olarak tercih edilir. Bu programlar, tasarım ve imalat süreçlerini entegre ederek verimliliği artırır ve ürün kalitesini iyileştirir.

CAD/CAM tekniği, üretimi üç aşamada gerçekleştirir:

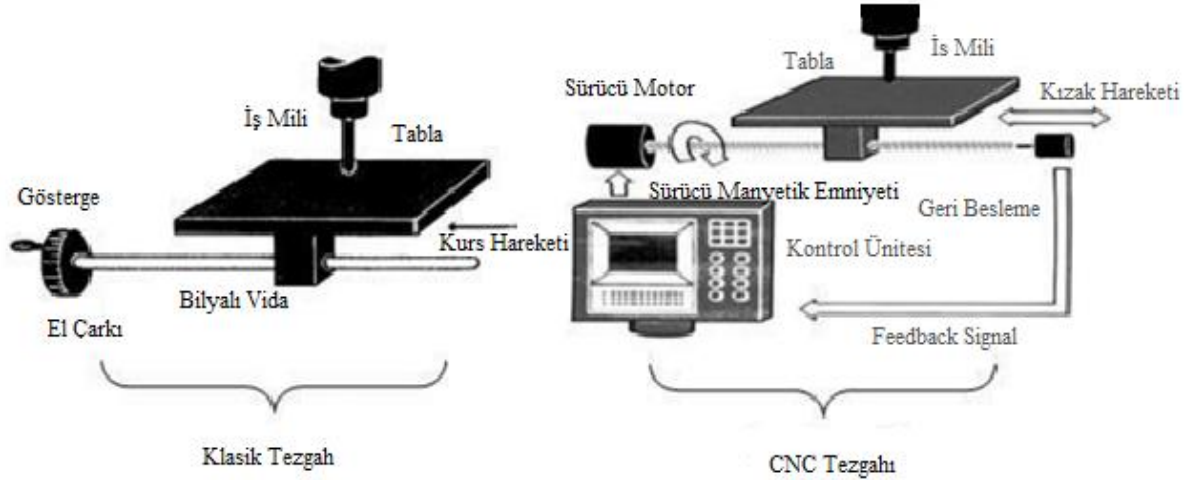
1. Dijital verilerin elde edilmesi ve üretilecek modelin dijital olarak hazırlanması için dijital ölçüm tekniklerinin kullanılması.
2. Yazılım aracılığıyla dijital verilerin işlenmesi ve tasarımın gerçekleştirilmesi (CAD).
3. Tasarımın üretim aşamasına geçilmesi (CAM) (Beuer vd.,2008).

Çok eksenli takım yolu oluşturma konusunda yapılan bir araştırmada, CAD/CAM/CNC sistemlerinde işleme doğruluğunun ve verimliliğin artırılması, işlenen yüzeyin hatasının analizi, NC doğrulama/simülasyonu ve tezgâh enterpolasyonu gibi konular incelenmiştir. Bu çalışma, işleme etkinliğini artırmak için parça yüzeyinin işleme potansiyel alanı (machining potential field) temeline dayanan yeni bir optimal takım yolu oluşturma algoritması geliştirmiştir (Chiou,2000).

Takım tezgâhlarında önemli bir ilerleme, 1950'lerde nümerik programlamaya dayalı olarak çalışan ve Nümerik Kontrollü (NC - Numerical Control) olarak adlandırılan tezgâhların kullanılmasıyla başlamıştır. Bu dönemde, seramik malzemelerin kullanımıyla birlikte kesme hızları ve işleme kalitesinde önemli artışlar yaşanmıştır. Bu gelişmeler, daha önceki mekanik otomat tezgâhlarına kıyasla daha gelişmiş bir kapsama sahiptir ve günümüzde pim kontrollü, kam kontrollü, kopya kontrollü, tek akslı, çok akslı transfer tezgâhları gibi çeşitli tezgâhları içeren geniş bir yelpazeyi oluşturmuştur. NC tezgâhlarının

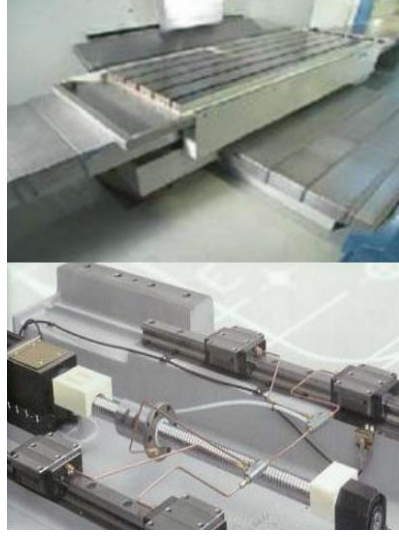
bilgisayarlarla donatılmasıyla birlikte, CNC (Computer Numeric Control) ve DNC (Direct Numerical Control) tezgâhları ortaya çıkmıştır. Bilgisayarlar ve kişisel bilgisayarlar kullanılarak bu tezgâhlar talaşlı imalat süreçlerini optimize etme yeteneğine sahip olmuşlardır (Ergün,2004).

Günümüzde, endüstride CNC tezgâhlarının kullanımı önemli ölçüde artmaktadır. Bu tezgâhlar, üretim esnekliği, düşük maliyetli parça üretimi, istenilen tolerans ve kalitede üretim gibi avantajlar sağlayarak tüketicinin beklentilerine uygun kalitede üretimi gerçekleştirmeyi mümkün kılmaktadır. Bu nedenle, NC ve daha sonra CNC tezgâhları, üretimde yerini almıştır. Ülkemizde, 1990'ların başından itibaren orta ve büyük ölçekli üretim atölyelerinde CNC tezgâhları yaygın olarak kullanılmaktadır. CNC takım tezgâhlarının en önemli ve birincil faydası, otomasyona olanak sağlamasıdır. Bu tezgâhlar sayesinde üretim süreçlerinde operatör müdahalesi en aza indirilmiş veya tamamen ortadan kaldırılmıştır (Göktay,1994). Tezgâh tablasının hareketini sağlayan sistemlere kızak ve kayıt denir. Klasik tezgâhlarda, tabla hareketleri genellikle manuel olarak veya elektrik motorlarıyla gerçekleştirilirken CNC tezgâhlarında ise tezgâh hareketleri bilgisayar tarafından kontrol edilen özel servo motorlarıyla gerçekleştirilir. Bu işlem, Şekil 2.7'de, kayıt ve kızak yapısı ise Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Klasik Tezgâh ve CNC Tezgâhı

Kaynak: Megep,2013:5.



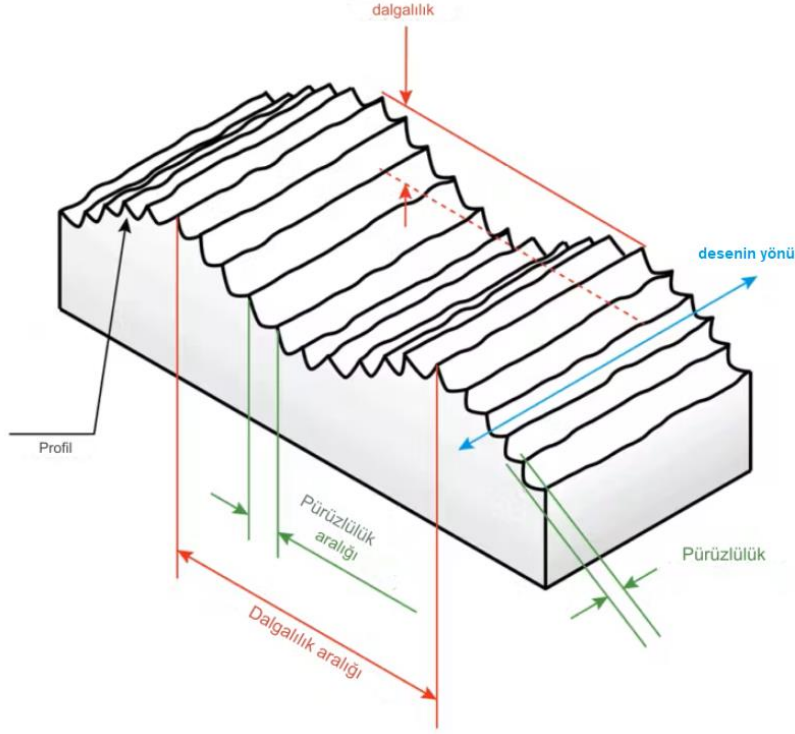
Şekil 2.8. CNC Tezgâhlarda Kayıt ve Kızak Yapısı

Kaynak: Megep,2013:4.

2.6. Talaşlı İmalatta Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, iki parça birbiri ile temas ederken yüzeyde herhangi bir sorun teşkil etmeden görevlerini yerine getirmesinde kullanılan bir kriterdir. Yüzey pürüzlülük değerinin istenilen aralıkta bulunması, malzemenin yorulma dayanımı ve korozyon dayanımı üzerinde pozitif etkiler sağlamaktadır (Sangwan vd.,2015:305). Buna ilave olarak talaşlı imalatta, yüzey pürüzlülüğünün varlığı ve seviyesi parçanın çalıştığı yerdeki fonksiyonel özelliklerini de etkilemektedir (Hecker ve Liang,2003:755).

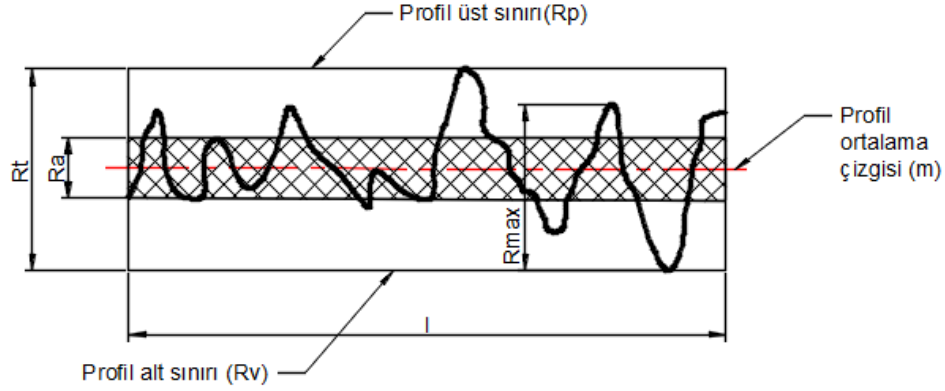
Yüzey pürüzlülüğü ve işleme hassasiyeti, frezeleme işleminde en önemli performans göstergeleridir (Akdeniz vd.2023:2). Yüzey pürüzlülüğü, bir ürünün kalitesini belirleyen önemli bir faktördür ve talaşlı imalat işlemlerinde kaliteyi belirleyen bir değişkendir. Daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde etmek için, talaşlı imalat öncesinde uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi gereklidir (Motorcu ve Güllü,2006). Yüzey pürüzlülüğünün geometrik şekli Şekil 2. 9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Yüzey Pürüzlülüğünün Geometrik Şekli

Kaynak: Elder,2021.

Pürüzlülük aritmetik ortalaması (R_a), bir yüzeydeki mikro-ölçekli yükseklik farklarının ortalamasını ifade eden bir parametredir. Bu parametre, yüzeyin üzerindeki tüm dalgalanmaların toplamını temsil eder. R_a değeri, bir yüzeyin pürüzlülüğünü nicel olarak ifade etmek için yaygın olarak kullanılan bir ölçümdür. Ölçüm, yüzey üzerindeki en yüksek ve en düşük noktalar arasındaki mesafelerin toplamının yüzey alanına bölünmesiyle hesaplanır. Daha düzgün bir yüzey, daha düşük bir R_a değerine sahip olacaktır çünkü daha az yükseklik farklarına sahip olacaktır (Motorcu,2006). Pürüzlülük yüksekliği (R_t), bir yüzeyin en yüksek noktası ile en düşük noktası arasındaki maksimum mesafeyi ifade eder. R_t değeri, yüzeydeki en yüksek pürüzlülük veya dalgalanma miktarını ölçmek için kullanılır. Bu parametre, yüzeyin genel düzensizliğini veya dalgalanmasını tanımlamak için önemlidir ve yüzey kalitesinin belirlenmesinde dikkate alınan bir faktördür. Daha büyük R_t değeri, yüzeyin daha fazla dalgalanma veya pürüzlülük içerdiğini gösterirken daha küçük R_t değeri daha düzgün bir yüzeyi ifade eder. Aşağıdaki Şekil 2.10'da yüzey pürüzlülüğü ile ilgili parametreler gösterilmektedir.

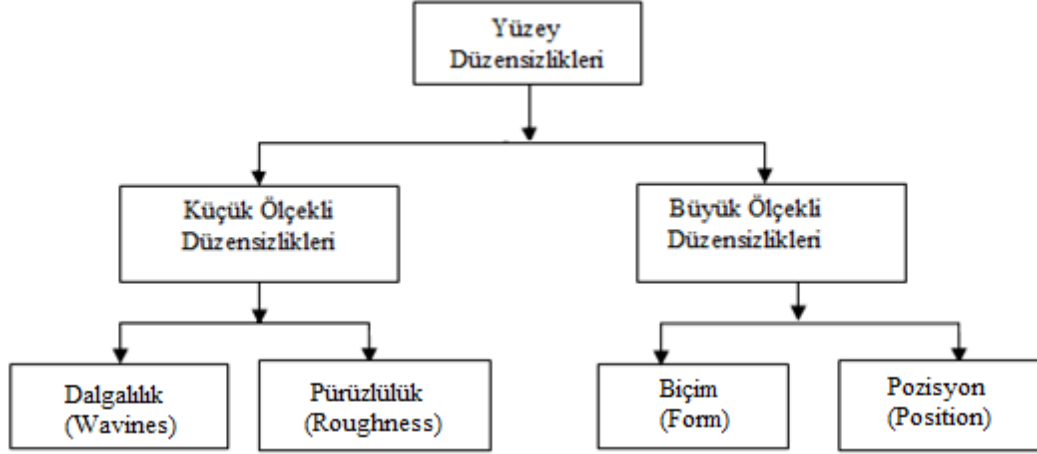


Şekil 2.10. Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri

Kaynak: drawturk.com,2024.

Yüzeyler, kaba ve düz olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Kaba ve düz yüzeyler arasındaki farklar, dokunuşla ve görüntüyle kolayca ayırt edilebilir. Düz yüzeyler, ışığı yansıtarak ayna gibi parlar ve genellikle bir doku deseni içermezken kaba yüzeyler yansıma yapmaz ve bir doku desenine sahiptir. Düz bir yüzey üzerindeki cisimler kolayca kayarken kaba bir yüzeyde gözle görülür bir sürtünme hissedilir. Bu farklılıklar, kaba ve düz yüzeylerin ayrıştırılmasında önemli bir rol oynar. Özellikle frezeleme ve taşlama işlemleri sonucunda yüzeylerdeki pürüzlülük incelendiğinde, bu fark daha net bir şekilde görülebilir (Bhushan,2000).

Yüzey pürüzlülüğü, çeşitli imalat işlemleri sonucunda malzemede meydana gelen mikro seviyedeki düzensizlikler veya bozukluklar olarak tanımlanır. DIN EN ISO 4287 standartlarına göre yüzey pürüzlülüğü Ra sembolü ile “ μm ” birimiyle gösterilir (Dagnal,1986). Ayrıca yüzey pürüzlülüğü, talaşlı imalatta istenen bir durum değildir. Hassasiyet ve yüzey pürüzlülüğü, işletme verimliliği ve ekonomik açıdan da büyük öneme sahiptir. Pürüzlü yüzeyler, düzgün yüzeylere kıyasla daha yüksek sürtünme katsayılarına sahiptir ve bu durum hızlı aşınmaya yol açabilir (Eser,2020; Öztürk,2016). Yüzey düzensizlikleri, küçük ve büyük ölçekli olarak iki gruba ayrılır (Şekil 2.11), dalgalılık ve pürüzlülük küçük ölçekli pürüzsüzlük iken biçim ve pozisyon büyük ölçekli grupta yer alır.



Şekil 2.11. Yüzeydeki Düzensizlikler

Kaynak: Gadelmawla vd.,2002.

Talaşlı imalat sürecinde, iş parçasının yüzeyinde istenmeyen izlerin oluşması birden çok nedene dayanmaktadır. Bu nedenler arasında kesici takımın özellikleri, kesme parametreleri, kullanılan talaş kaldırma yöntemi, tezgâhın gücü, kesme ilerlemesi, işlenen malzemenin özellikleri ve çeşitli kimyasal ve ısıl faktörler bulunmaktadır. Tornalama, frezeleme, taşlama, broşlama, honlama gibi farklı işleme yöntemleriyle işlenen malzemelerde talaş kaldırma sonucu yüzey pürüzlülüğü kaçınılmazdır. Farklı işleme yöntemleriyle elde edilen malzemelerin yüzey pürüzlülük değerleri aynı olsa bile bazen bu malzemelerin sürtünme, aşınma, korozyon ve yorulma dirençleri farklılık gösterebilir. Bu durum, işleme izlerinin yönleri ve dağılımlarının pürüzlülük performansını etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, işlenecek malzemenin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin yanı sıra işleme yöntemlerinin de belirtilmesi, pürüzlülük performansını artırabilir (Sarı,2008).

İmalatta yüzey pürüzlülüğü incelenirse, işlenmiş bir yüzeyin yapısının kalite açısından önemli kıstaslardan birisi olduğu ve üretim sürecinde birçok parametrik değer tarafından etkilendiği görülür. Malzemelerin işlenmesi kullanılan her türlü parametrik değer yüzeydeki hassasiyeti etkilemektedir. İlerleme miktarı, paso derinliği, kesme hızı ve devir sayısı gibi parametreler, yüzey pürüzlülüğünü belirlemede önemli rol oynar. İşlenmiş malzemenin tribolojik özellikleri, yüzey pürüzlülüğü tarafından doğrudan etkilenir ve sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi geleneksel triboloji alanlarında değil, aynı

zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik ve ısı iletimi gibi farklı alanlarda da önemlidir. Bu nedenle, makine parçalarında yüzey pürüzlülüğü değerlerinin doğru bir şekilde tespit edilmesi büyük önem taşır (Çoğun ve Özses,2002). Yüzey pürüzlülüğü, ürünün görünümü, fonksiyonu ve performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İyi bir yüzey pürüzlülüğüne sahip olan parçalar, daha iyi işlevsellik, daha düzgün görünüm ve daha uzun ömür sunabilir. Bu nedenle, imalatta yüzey pürüzlülüğünün kontrolü ve optimize edilmesi önemlidir. Bu genellikle uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi, doğru kesme metotlarının seçilmesi ve uygun işleme koşullarının sağlanmasıyla gerçekleştirilir.

2.7. Gri Bulanık Algoritma (Gray Fuzzy Algorithm)

Optimizasyon yöntemleri, başlangıçta endüstri mühendisliğinin operasyon araştırması alanında geliştirilmiş ve daha sonra diğer disiplinlere de uygulanmıştır. Optimizasyon yöntemleri günümüzde ekonomik katkılar sağlamaktadır. Metal kesme işlemlerinde karşılaşılan sorunların (yüzey pürüzlülüğü, aşınma, kesme kuvvetleri ve kaplama kalınlığı gibi) çözümünde optimizasyon yöntemleri önemli bir rol oynamıştır (Belgin,2019; Baskar, vd.,2005; Vivancos, vd.,2004).

Optimizasyon yöntemine dayalı olarak metal kesme problemlerinin çözülmesinde matematiksel modellemeler kullanılarak ekonomik açıdan en yaygın sonuçlar elde edilmiştir. Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında geliştirilen fuzzy (bulanık) mantık kuramı (Zadeh,1965), geleneksel iki değerli mantık sistemlerine alternatif bir yaklaşım sunmuştur. Bu kuram, sibernetik ve ilgili alanlarda büyük bir ilerlemeye öncülük etmiş ve yapay zekâ çalışmalarını hızlandırmıştır. Lotfi A. Zadeh, yaşamı boyunca mantık, sibernetik, bilgisayar, yapay zekâ ve otomatik makinelerle ilgili çeşitli kuramlar ve kanunlar geliştirmiştir. Bu çalışmalarıyla 20. ve 21. yüzyıl teknoloji devrimine önemli katkılarda bulunmuştur. Sibernetik, insan benzeri hareketler sergileyen makinelerin oluşturulmasına yönelik bir girişim olarak otomasyon ve makineleşme alanında daha fazla olarak sunmaktadır (Zadeh,1978).

Gri sistem teorisi, belirsizliğin sayısallaştırılmasında bir yöntem olarak kullanılır ve stokastik veya bulanık yöntemlerle ele alınamayan belirsizlik durumlarının modellenmesine olanak sağlar. Bu teoriye göre, belirsizliğin olmadığı, kusursuz bilgiye sahip olan sistemler

beyaz renkle sembolize edilirken tam zıt özelliklere sahip olanlar siyah olarak nitelendirilir. Ancak çoğu zaman yalnızca kısmi bilgiye sahip olduğumuz sistemler, "gri sistemler" olarak adlandırılır. Gerçek hayattaki olaylar, işlemler ve süreçler genellikle tam siyah ya da tam beyaz değildir. Örneğin tarım sektöründe hasat miktarını belirlemek için gerekli olan tüm parametrelerin kesin olarak bilinmediği durumlarda, hava koşulları gibi belirsiz faktörler ürün miktarını etkiler. Bu nedenle, genellikle eksik bilgi ve varsayımlar altında modeller oluşturulur ve kararlar alınır. Gri teorinin ortaya çıkış nedeni de bu fikirlerden gelmektedir. Gri sistem teorisinde, sistem faktörleri ve bunlar arasındaki ilişkiler, sistemlerin işleyiş yapısı ve işleyiş şekli genellikle belirsizdir.

Gri sistem teorisi ve bulanık mantık arasındaki temel fark, kavramların içerdikleri dar ve geniş anlamlardan kaynaklanmaktadır. Gri sistem, kesin geniş anlama ve belirsiz dar anlama sahip nesnelere veya kavramlarla ilgilenirken bulanık mantık kesin ve tam bir dar anlama sahip ve belirsiz geniş anlama sahip kavramlarla ilgilenir. Örneğin, Çin hükümetinin Çin nüfusunu 1.15-1.25 milyar kişi arasında tutmayı planlaması bir gri kavramdır. Bu, geniş anlamda kesin olarak belirgin bir aralığı ifade etmektedir, ancak dar anlamda bu aralık belirgin değildir veya nüfusun alacağı kesin değer belirgin değildir (Üstünişik,2007).

Bulanık mantık, matematik ve bilimde görülen değerler dizisi değişiklikleri arasında en dikkat çekici olanlardan biridir. Belirsizlik önceleri bilimsel olarak kabul görmemesine rağmen 19. yüzyılın başlarından itibaren bu konu üzerine yapılan çalışmalar artmıştır.

Gerçek hayat, genellikle kesin sınırlarla belirlenemeyen durumlarla doludur ve bu nedenle kesin modellemelerle çözülemeyen bazı problemlere Bulanık Mantık ile çözümler üretmek mümkün olabilir.

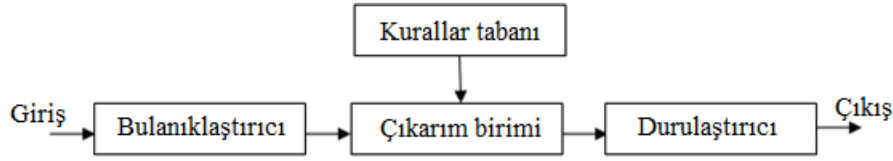
Bulanık mantığın özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

1. Sözel olarak ifade edilen doğruluk derecelerine sahip olması, örneğin "doğru", "çok doğru", "az doğru" gibi.

Geçerliliğin kesin olmayıp yaklaşık olan çıkarım kurallarına sahip olması.

2. Her kavramın bir derecesinin olması.
3. Her mantıksal sistemin bulanıklaştırılabilmesi.
4. Bulanık mantıkta bilginin, bulanık kısıtlara ait değişkenlerin esnekliği veya denkliliyle yorumlanması (Aktaş ve Çağman,2006).

Bulanık sistemler genelde matematiksel olarak modellenemeyen problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bir bulanık sistem bulanıklaştırıcı, çıkarım birimi ve durulaştırıcıdan oluşur (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Bulanık Sistemin Bileşenleri

Kaynak: Gadelmawla vd.,2002.

Bulanıklaştırıcı problemlerde, kesin değerlerin bulanık ifadelerle dönüştürülmesi için öncelikle üyelik fonksiyonu ve bu fonksiyonun sınır değerleri belirlenmelidir. Çıkarım birimi, girişlerden elde edilen dilbilimsel bulanık ifadeleri, kurallar tabanı ile karşılaştırarak bulanık çıkarımı sağlar. Kurallar tabanı, genellikle tamamlanmış olan "eğer-ise" kurallarından oluşur. Mamdani ve Sugeno, en yaygın kullanılan çıkarım modelleridir. Mamdani modelinde, A, B ve C gibi bulanık üyelik değerleri kullanılarak çıkarım ifadesi oluşturulur (Çağman,2006). Gray-Fuzzy algoritması, torna tezgâhlarında talaşlı imalat yaparken takım aşınmasını temel alarak kesici takımların daha verimli ve ekonomik kullanılabilmesi için bulanık mantık programlama yöntemini kullanır. Bu yaklaşımda, malzemenin sertliği, takımın cinsi gibi giriş parametreleri kullanılarak en uygun kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği gibi çıkış parametrelerini belirleyen bir bulanık mantık çözüm modeli oluşturulur. Bu modelde, üyelik fonksiyonları, ayak genişlikleri ve fonksiyonlar arasındaki ilişkiler, deneysel çalışmalar ve uzman görüşleri temel alınarak oluşturulan kural tabanı ile ilişkilendirilir (Çuvalcıoğlu,2012).

Günümüzde, müşteri taleplerinin hızla değiştiği ve ürün kullanım döngülerinin kısaldığı rekabetçi bir ortamda, yeni ürünler geliştirilirken zaman ve maliyet kaynaklarının

daha verimli kullanılması gereklidir. İmalat sürecinin başında uygun optimizasyon yöntemlerinin kullanılması, tasarım sürecinde farklı parametreleri göz önünde bulundurarak üretimi gerçekleştirmenin önemli olduğunu vurgular. Bu süreçte, kesme parametrelerinin optimize edilmesi ve yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi, daha iyi sonuçlar elde etmek için gereklidir (Sahoo,2011; Tzeng, vd.,2009).

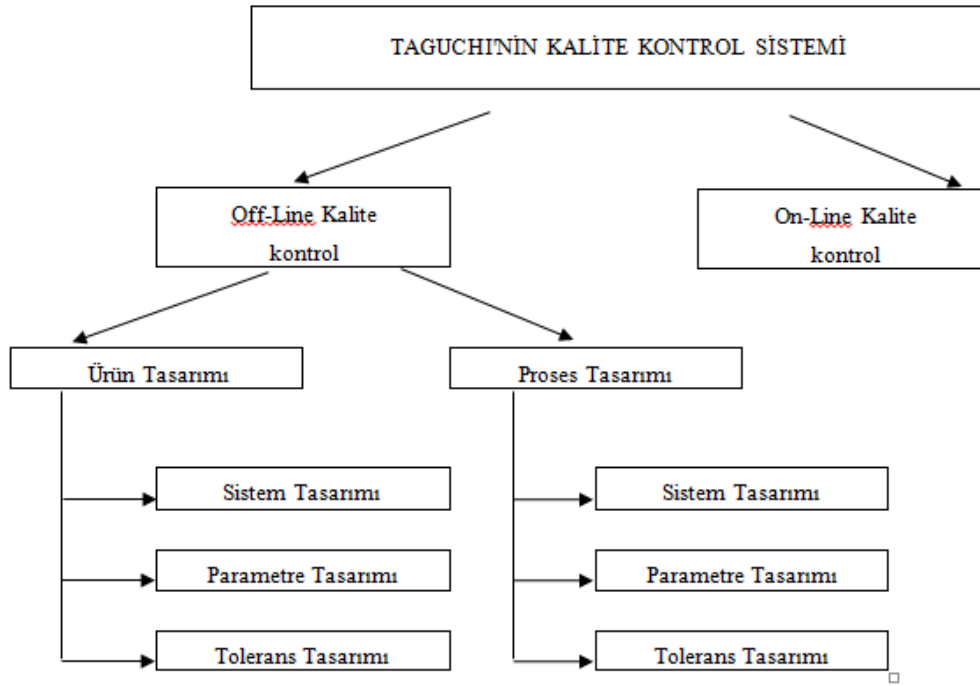
Bulanık mantık, klasik mantığın geliştirilmiş bir versiyonudur ve sıfır ile bir arasında sonsuz bir değer kümesi kullanır. Bu küme, bulanık değer kümesi olarak adlandırılır ve doğal dildeki belirsiz ifadeler için yaklaşık bir çıkarsama sağlar. Örneğin, "yaş" dilsel değişkeni üzerinden bulanık mantık çalışma prensibini anlamak mümkündür. Bir kişinin yaşının genç, orta yaşlı veya yaşlı olarak gruplandırılması, kesin sayısal bir karşılığa sahip değildir. Bulanık mantık, bu tür belirsizlikleri üyelik dereceleriyle sayısal olarak ifade ederek ele alır. Mantık, günlük yaşamda tutarsız davranışları ve sözleri olanları mantıksız olarak nitelerken tutarlı olanları mantıklı kabul eder. Mantık, doğru düşünme yöntemlerini ve kurallarını konu edinir ve bu yöntemlerin uygulanmasıyla elde edilen sonuçların doğru olacağı sonucuna varır.

2.8. Taguchi Metodu

Taguchi yöntemi, kaliteyi artırmak için kullanılan bir stratejidir ve adını Japon mühendis Dr. Genichi Taguchi'den alır. Farklı parametrelerin farklı seviyeleri arasında optimum kombinasyonun belirlenmesinde oldukça yararlı bir yöntemdir. Bu yöntem, Japonya'da 1960'lardan beri başarıyla uygulanmaktadır. 1980'lerde, Batı'daki şirketler, Japonların üretim sonrası denetim temelli kalite kontrol yöntemleriyle rekabet edemediklerini fark etti. Dr. Taguchi, kalitenin üretim sürecinin başlangıcında sağlanması gerektiğini savunarak bu yöntemle sıkı denetimin kaliteyi geliştirmeyeceğini öne sürdü. Taguchi yöntemi, geleneksel kalite kontrol yöntemlerinden farklı olarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlar ve ürün kalitesinin artırılması için kullanılan deney tasarım metodunun öncülüğünü yapar. Tüm mühendislik sistemleri, girdi ve çıktı arasında ideal bir ilişkiyi temel olarak yönlendirilir. Ancak deney tasarım yöntemlerinin çoğu genellikle ortalamayı hedef bir değere ayarlamaya odaklanırken Taguchi yöntemi, S/G oranı adı verilen bir performans ölçütü kullanarak hem ortalamayı hem de değişkenliği dikkate alır. Bu yöntem, farklı olarak iki aşamada hedefe ulaşmaya çalışır: birincisi varyansı azaltma, ikincisi ise

ayarlar adımlarıdır. S/G oranı, tasarımda enerji dönüşümünü ölçmenin yanı sıra dayanıklılığı da değerlendirerek daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Taguchi, kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetleri offline ve online kalite kontrol olmak üzere iki kategoriye ayırır (Şekil 2.13). Offline kalite kontrol, düşük maliyetli ve güçlü tasarımları teşvik ederek kalitenin sağlanmasını hedefler. Online kalite kontrol aşamasında ise güçlü parametre tasarımının sürekli olarak izlenmesi ve kontrol edilmesi sağlanır. Offline kalite kontrol çalışmaları, pazar araştırmasıyla başlar ve ürün/süreç geliştirme süreciyle devam eder; üretim öncesi kalite geliştirme faaliyetlerini içerir. Bu çalışmalar, ürünün üretilebilirliğini ve güvenilirliğini artırmayı, ürün geliştirmeyi ve olası maliyetleri azaltmayı amaçlar.



Şekil 2.13. Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi

Kaynak: Kayı,2006.

BÖLÜM III

MATERYAL VE METOD

Yapılan bu çalışmada AISI 1040 çeliğinin “TAKUMA JHV-710 ” CNC Dik işleme (Freze) tezgâhında soğutma sıvısı (bor yağı) kullanılarak frezeleme işlemi yapılmıştır. Sonrasında, Taguchi L16 ortogonal dizilime göre optimize edilen işlenmiş yüzeyler Mititoyo yüzey pürüzlülük ölçüm aletiyle ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan parametrelerin talaş kaldırma ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki değişimleri gri bulanık algoritmaya göre modellenmiştir.

Deneyde kullanılan parametrik değişkenler; kesme hızı, devir sayısı, kesme metodu, kesme derinliği olarak belirlenmiştir.

3.1. Deneyde Kullanılan Malzeme ve Özellikleri

Deney çalışmasında, 270 x 90 x 25 mm boyutlarında 16 adet AISI 1040 çeliği malzeme kullanılmıştır. Ongun vd. (2017), AISI 1040 çeliği mekanik özellikleri bakımından imalat sanayisinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. AISI 1040 çeliği %0,4 karbon içerikli orta sertlikte bir malzemedir ve karbon miktarı arttıkça sertlikleri artan ve tokluk değerleri düşme özelliğine sahip bir malzemedir. Kullanılan deney numunesinin kimyasal özellikleri ve mekanik özellikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de sunulmuştur. Deney parçaları öncelikle 60 mm’lik yüzey frezeleme karbür uçlu tarama ile yüzey temizliği yapıp yüzeyleri işlenmeye hazır hale getirilmiştir. Çalışmada kullanılan HSS (Yüksek Hız Çeliği) de cep frezeleme takımıyla talaş kaldırma işlemi için CNC tezgâhına yerleştirilmiş ve işlenmeye hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.1).

Tablo 3.1. AISI 1040 Çeliğinin Kimyasal Bileşimi (% ağırlık)

Element	C	Si	Mn	P	S
% Miktarı	0.40-0.50	0.25-0.35	0.60-0.90	0.04	0.05

Kaynak: Oğuz vd.,2024

Tablo 3.2. AISI 1040 Çeliğinin Mekanik Özellikleri (% ağırlık)

Sertlik (Bhn)	Akma (Mpa)	Kopma (Mpa)	Uzama (%)
170	353	518	25

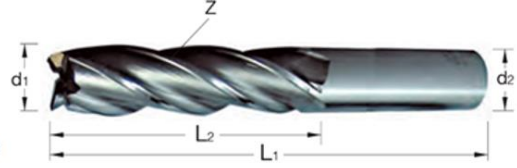
Kaynak: Oğuz vd.,2024

20. yüzyılın başından beri bilinen ve sürekli olarak geliştirilen kesici takım grubu olan yüksek hız çelikleri (HSS), düşük maliyeti ve işlenebilme özellikleri sayesinde imalat endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Ancak, HSS'lerin yerini toz metalürjisi tekniği ile üretilen ve daha yüksek hızlarda kesme işlemi yapabilen yüksek aşınma direncine sahip sert metallere bırakmıştır. Bununla birlikte, HSS'lerin yüksek tokluk değerleri, bazı talaşlı imalat yöntemlerinde hala önemli bir rol oynamaktadır. Helisel matkaplar, azdırma çakıları, modül frezeler, kılavuzlar ve parmak frezeler gibi kesici takımlarda hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek hız çelikleri (HSS'ler), yüksek alaşımlı çeliklerdir ve 600 °C sıcaklığa kadar sertliklerini koruyabilirler. Bu çelikler, genellikle yüksek kesme hızlarında (30, 40, 50 mm/dak) kullanılırlar. HSS'ler, genellikle T ve M olmak üzere iki gruba ayrılır. T serisi HSS'ler, %12-20 tungsten ve diğer alaşım elementleri olarak vanadyum, krom ve kobalt içerirken, M serisi HSS'ler yaklaşık olarak %3,5-10 molibden ile birlikte diğer alaşım elementleri olan kobalt, krom ve vanadyumu içerir.

HSS'ler, yüksek sıcaklıklarda ve yüksek karbon içeren düşük alaşımlı çeliklerde daha iyi sertlik sağlama yeteneğine sahip önemli takım malzemelerinden biridir. Özellikle matkaplar, kılavuzlar, freze uçları gibi karmaşık takım geometrileri içeren uygulamalar için iki ana türü bulunmaktadır: Tungsten tipi (T sınıfı olarak gösterilir) ve molibden tipi (M sınıfı olarak gösterilir). Deneylerde kesme takımı olarak kullanılan HSS Ø20 mm parmak freze şekil 3.1.' de gösterilmiştir.



DIN 844 A
Silindirik Saplı
Düz Alınlı
Sağ Helis
Sağ Kesme
Helis Açısı 30 derece
Tip N Weldon



Şekil 3.1. HSS (High Steel Speed) Takım ile Cep Yüzeylerin İşlenmesi

3.2. Deneysel Çalışma

Deneyde kullanılan iş parçalarının işlenmesi işlemi, Adana Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Makine CNC atölyesinde bulunan Fanuc kontrol ünitesine sahip olan JHV-710 sanayi tipi CNC Freze tezgâhı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2’de CNC tezgâhı gösterilmiştir. Bu cihazı kullanarak numune yüzeyleri karbür uçlu takım ile düzgün hale getirilmiştir (Şekil 3.3).

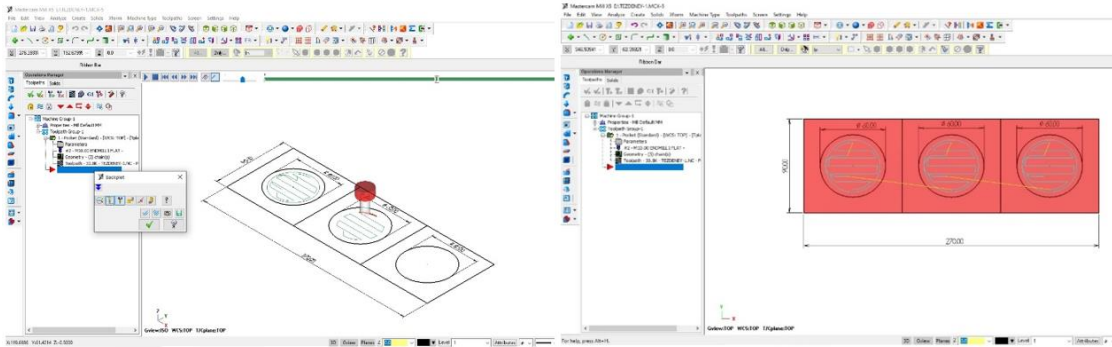


Şekil 3.2. Deneylerin Yapıldığı “JHV-710” CNC Freze Tezgâhı

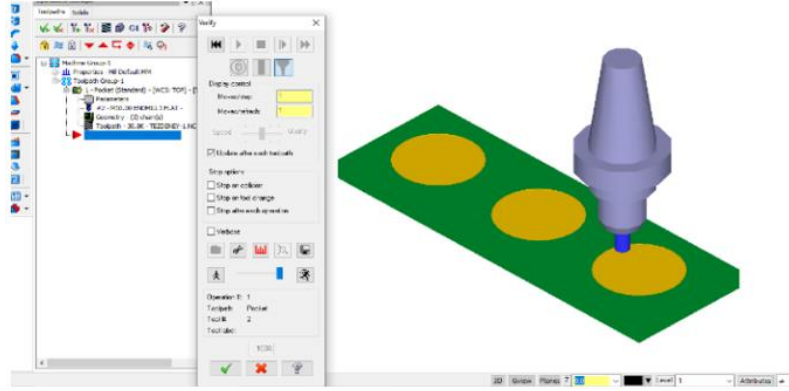


Şekil 3.3. Karbür Uçlu Tarama ile Yüzeyin Hazırlanması

İşlenecek deney parçaları CAM programında tasarlanmıştır. Tasarlanan bu parçaların her birinin, işleme parametreleri doğrultusunda, CNC programları yazılmıştır. 2 boyutlu (Şekil 3.4) ve 3 boyutlu (Şekil 3.5) simülasyonu oluşturulmuştur. CNC programları CNC Dik işleme tezgâhına aktarılarak işlenmeye hazır hale getirilmiştir.

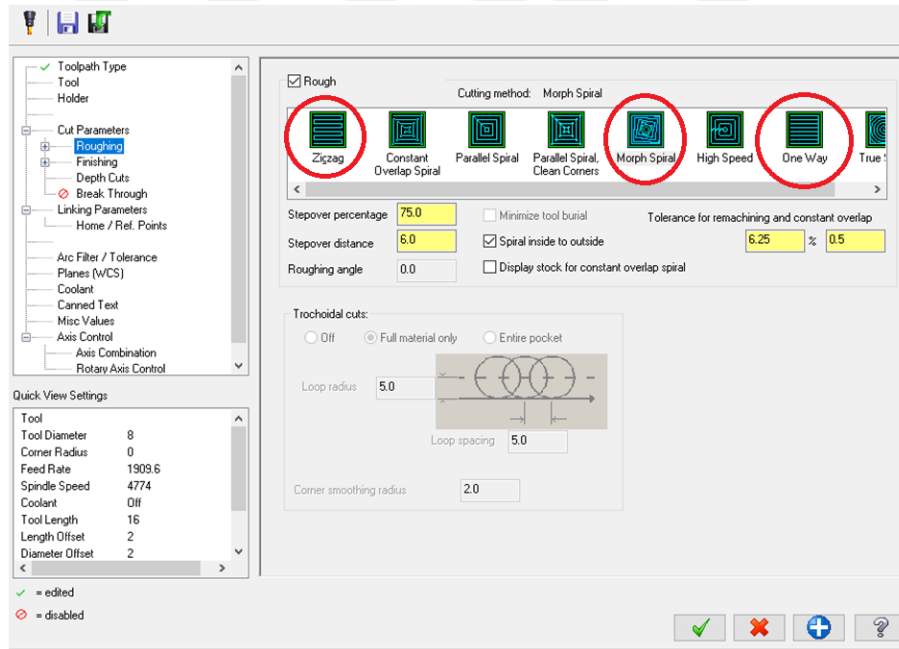


Şekil 3.4. Deneylerin Yapıldığı CAM Programı 2 Boyutlu Similasyonu



Şekil 3.5. Deneylerin Yapıldığı CAM Programı 3 Boyutlu Similasyonu

Deney setleri oluşturulurken CAM programında Pocket takım yolu komutu kullanılmıştır ve bu takım yolu içerisindeki One Way, Zig, Zigzag, Morph Spiral kesme metodları ile talaş kaldırma geometrisi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6).

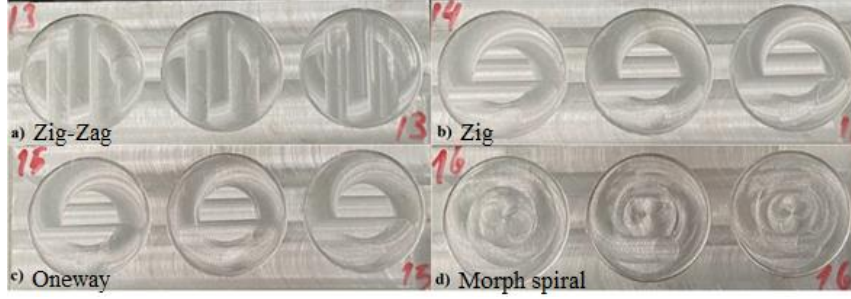


Şekil 3.6. Cam Programı Cep Frezeleme Kesme Metodları

Daha sonra çap 20 mm'lik HSS parmak freze takımıyla cep bölümleri, verilen kesme Zigzag, Zig, Morphspiral, Oneway metodları doğrultusunda işlenmiştir. Yüksek devirli kesme yapılan uygulamalarda yüzeyde meydana gelen ısının oluşacak yüzey

pürüzlülüğüne olumsuz etki etmemesi için kesme esnasında bor yağı kullanılarak sulu kesim yapılmıştır.

İşlenmiş parçaların kesme metodlarına göre ortaya çıkan yüzey şekilleri Şekil 3.7’de görüldüğü gibidir. Şekil 3.7.a’da Zigzag, Şekil 3.7.b’de Zig Şekil 3.7.c’de Oneway, Şekil 3.7.’de Morphspiral şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Kesme Metodlarına Göre Ortaya Çıkan Yüzey Şekilleri

3.3. Deneyde Kullanılan Ses ve Işık Uyarılı Takım Boy Telafi Probu

Ses ve ışık uyarılı takım boy telafi probu, CNC freze tezgâhında işlemede kullanacağımız takımların boylarının farklı olmasından dolayı, takımların bağlamadan ve geometrik çeşitliliklerinden kaynaklanan boy farklarını telafi etmek için kullandığımız bir çeşit sesli ve ışıklı kontrol aletidir (Şekil 3.8). Probu kullanılması, parçaya verilecek paso miktarlarının kullanılan her takım için değişmeden sabit kalmasını sağlayacaktır.



Şekil 3.8. Ses ve Işık Uyarılı Yüzey Sıfırlama Probu

3.4. DeneYlerde Kullanılan Bağlama Aparatı ve Paralellik Ayarı

Deney uygulamasına başlamadan önce iş parçasının CNC tezgâhının tablasına gönyesinde bağlanabilmesi için mengenyeyi komparatör kontrol aletiyle tezgâhın paralel olan gövdesine göre ayarlamak için Şekil 3.9'daki gibi bir düzenek oluşturulmuştur.



Şekil 3.9. Mengenenin Paralelliğinin Komparatörle Ayarlanması

3.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

DeneYler için belirlenen parametreler doğrultusunda farklı parametrik değişkenler için oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin tespit edilip kıyaslanması için yüzey pürüzlülük değerleri kullanılmıştır.

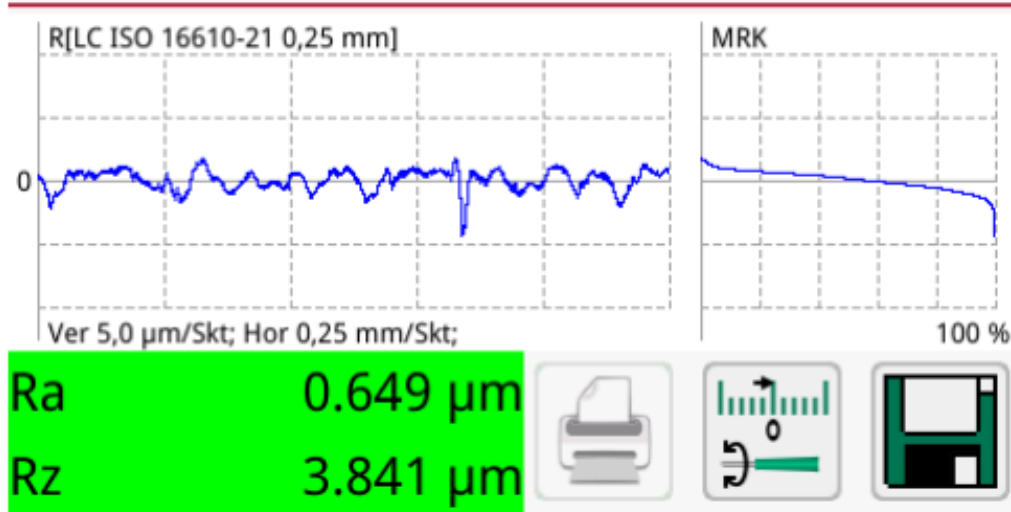
CNC Freze tezgâhında imalatı gerçekleştirilen işlenmiş cep yüzeyler üzerinden alınan yüzey pürüzlülük değerleri Mitutoyo 178-572-01D "Surftest SJ-310" portatif yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür. Şekil 3.10'da kullanılan pürüzlülük ölçümü için cihaz gösterilmektedir.

Ölçümler işlenen cep içerisinde talaş kaldırma yüzeyinin işleme doğrultusuna paralel olacak şekilde (oluşan takım yoluna paralel olacak şekilde) ve çap 60mm'lik bölgenin orta kısmına denk gelecek şekilde işlenen yüzey boyunca pürüzlülük ölçümü yapılmış, alınan ortalama (Ra) değerleri veri tablosuna aktarılmıştır. Pürüzlülük ölçümü 3 defa tekrarlanmış, elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değeri hesaplanmıştır.



Şekil 3.10. Mitutoyo Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Pürüzlülük cihazı ile ölçülen Ra değerlerinin cihaz grafik çıktılarının bir ekran görseli Şekil 3.11'deki gibidir.



Şekil 3.11. Pürüzlülük Cihazı Ölçme Ekranı

3.6. Bor Yağı Kullanımı

Talaş kaldırma sırasında parça yüzeyinde sürtünme ve ilerlemeden kaynaklı yüksek derece de ısı ortaya çıkmaktadır. Bu ısının en minimum seviyelere indirilmesi hem takım için hem de işlenen malzeme için daha uygun olacaktır. Sonuçta ortaya çıkan ısı, kesmeyi olumsuz etkileyecek ve işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğünde de bozulmalara neden olacaktır. Kesmeyi olumsuz etkileyen ısı ve sürtünmeden dolayı takım aşınmasının önüne geçmek, kesme performansını yükseltmek, kesilen talaşların yüzeylere yapışmasını engellemek, kesme bölgesinin devamlı temiz kalmasını sağlamak, yüzey pürüzlülüğünün olumsuz etkilenmesini önlemek için bor yağı kullanımı önem arz etmektedir. Bor yağının kimyasal içeriği Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Bor Yağının Kimyasal Özelliği

Yoğunluk, 15°C g/ml	ASTM 4052	0.885
Kinematik Viskozite 40°C’ de mm ² /s 100°C’ de mm ² /s	ASTM D-445	25
Emülsiyon pH 20°C	D-1287	8.9
Emülsiyon Stabilitesi, 24 st Yağ ml Krem ml	- -	0 3.5
Pas testi 2 st 5g yağ / 95g 300 PPM sert su	DIN 51360-2	Geçer

Kaynak: Apet petrol.,2024

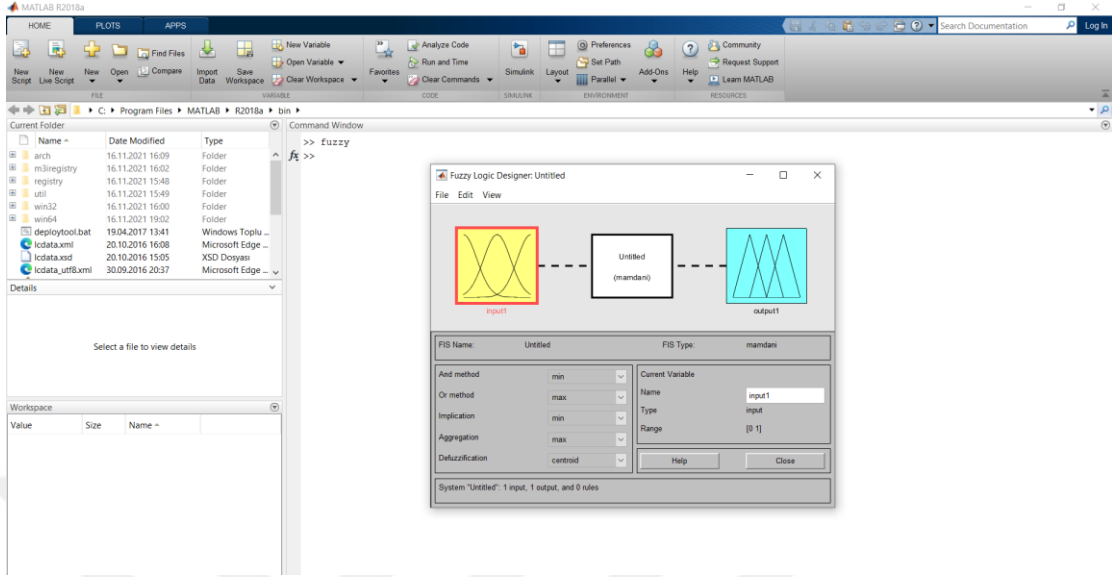
Deneylerde belirlenen Taguchi L16 ortogonal dizilim optimizasyonunu uygularken kesme koşulları Yüksek Hız Çeliği (HSS) takımıyla yapılırken kesme esnasında bor yağı kullanılmıştır. Kullanılan bor yağının işlenen yüzeye olan etkisi dolaylı olarak gerçekleşmektedir. Şöyle ki takımın aşınmasının önlenmesi ve bu sayede talaş kaldırılan yüzeyin kalitesinin daha iyi sonuçlar vermesi sağlanmıştır. Şekil 3.12’de hazırlanan deney numuneleri için kesme işlemi uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Kesme İşlemi Sırasında Bor Yağının Kullanılması

3.7. Fuzzy Gri Bulanık Yöntem

Yüzey pürüzlülüğünün ve talaş kaldırma miktarının modellenmesi için yapılmıştır. Kullanılan kesme koşullarının hangisinin en iyi yüzey pürüzlülüğünü verdiğinin tespit etmek amacıyla matematiksel modelleme işlemleri Matlab programında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.13’de, Fuzzy Logic Toolbox kullanılarak alınmış bir ekran görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 3.13. Fuzzy Logic Toolbox Ekran Görüntüsü

3.7.1. Bulanık Modelin Oluşturulması

Bulanık modelin oluşturulmasında ilk adım, problem için üyelik fonksiyonlarının belirlenmesidir. Sonraki adımda kural tabanını oluşturulmuştur. Son adımda, çıkarım modeli olarak Mamdani çıkarım modeli belirlenmiştir. Bulanıklaştırılan veriler durulaştırılıp sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Fuzzy Gri Bulanık yöntemde yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma miktarı belirlenirken Mamdani çıkarım modelinde verilerin bulanıklaştırma aşamasında, giriş ve çıkış bulanık alt küme için parametreler Matlab programı kullanılarak tanımlanmıştır. Tablo 3.4’de belirtildiği gibi girdi parametresi olarak Ra (ortalama pürüzlülük değeri) ve MRR (birim zamanda kaldırılan talaş miktarı) çıktı parametresi olarak Grg (bulanık ilişki derecesi) kullanılmıştır.

Tablo 3.4. Parametreler İçin Oluşturulan Bulanık Alt Kümeler

Parametre Tipi	Parametre	Bulanık Alt Küme
Giriş Parametresi	Ra (Ortalama Pürüzlülük Değeri)	Low-Lowest-Mid-High-Higher-Highest
Giriş Parametresi	Mrr (Birim zamanda kaldırılan talaş miktarı)	Low-Lowest-Mid-High-Higher-Highest
Çıkış Parametresi	Grg (Bulanık ilişki oranı)	Low-Lowest-Mid-High-Higher-Highest

3.7.2. Kural Tabanı Oluşturulması

Bulanık modelin giriş ve çıkış parametrelerinin arsında bulanık alt kümelerin oluşturulması ve bulanık üyelik alt kümelerinin modellenmesinin matlab fuzzy programında mamdani çıkarım bölümünde yazılması ile kural tabanı oluşturulmaktadır. Kural tabanı “If ‘EĞER’ ...” önermeleri şeklinde mantıksal kurallar şeklinde oluşturulmuştur.

Tablo 3.5. Ra, Mrr ve Grg İçin Üyelik Dereceleri Aralık Değerleri

DEĞER ARALIKLARI			
Bulanık Alt Kümeler	Ra(Giriş Parametresi)	Mrr(Giriş Parametresi)	Grg(Çıkış Parametresi)
LOWEST (En Düşük)	0.333<0.428	0.333<0.428	0.449<0.528
LOW (Düşük)	0.429<0.530	0.429<0.530	0.529<0.606
MED (Orta)	0.531<0.640	0.531<0.640	0.607<0.685
HIGH (Yüksek)	0.641<0.713	0.641<0.713	0.686<0.764
HIGHER (Daha Yüksek)	0.714<0.808	0.714<0.808	0.765<0.843
HIGHEST (En Yüksek)	0.809<1.000	0.809<1.000	0.844<1.000

Tablo 3.5’te bulunan değer aralıkları Tablo 3.6 içerisindeki değerlerden seçilerek Fuzzy de kullanılacak sayısal değerlere dönüştürülmüştür.

Tablo 3.6. Ra, Mrr ve Grg İçin Üyelik Dereceleri

Kural No	Ra		MRR		Grg	
1	0.528	low	0.370	lowest	0.518	lowest
2	0.702	high	0.333	lowest	0.532	low
3	0.670	high	0.394	lowest	0.511	lowest
4	0.504	low	0.518	low	0.702	high
5	0.530	low	0.874	highest	0.449	lowest
6	0.596	med	0.381	lowest	0.488	lowest
7	0.651	high	0.981	highest	0.816	higher
8	0.640	med	1.000	highest	0.820	higher
9	0.675	high	0.433	med	0.554	low
10	0.907	highest	0.838	highest	0.873	highest
11	0.612	med	0.463	low	0.538	low
12	0.718	higher	0.874	highest	0.796	higher
13	0.753	higher	0.552	med	0.652	med
14	1.000	highest	0.783	higher	0,892	highest
15	0.618	med	0.802	higher	0,710	high
16	0.333	lowest	0.635	med	0.484	lowest

Gri bulanık yöntemde farklı birimlere sahip veriler (0 ve 1 aralığındaki) aynı birimlere dönüştürülüp normalleştirilirler, bu işlemler eşitlik 2’ de verilen formülle yapılmaktadır.

$$x_i(k) = \frac{\max y_i(k) - y_i(k)}{\max y_i(k) - \min y_i(k)} \quad (2)$$

Burada, $x_i(k)$: Gri bulanıklaştırma işleminden sonraki değerdir, $\min y_i(k)$; k'nıncı yanıt için $y_i(k)$ 'nin en küçük değeridir, $\max y_i(k)$; k'nıncı yanıt için $y_i(k)$ 'nin en büyük değeridir (Pandey ve Panda,2014).

Normalizasyon işlemi sonucu eldeki verilerle Gri İlişki Katsayısı Eşitlik 3'teki formülle belirlenmiştir (Pandey ve Panda,2014).

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{min} - \psi \Delta_{max}}{\Delta_{oi}(k) + \psi \Delta_{max}} \quad (3)$$

Burada $\xi_i(k)$; Gri ilişkisel katsayı değeridir, ψ Ayırt edici katsayı değeridir (Çoğu uygulamada 0,5 olarak alınır), Δ_{oi} ; Mutlak değer farkı değeri, Δ_{min} ; En küçük delta değeri, Δ_{max} ; En büyük delta değeridir (Ho ve Lin,2003).

Gri İlişkisel derecenin hesaplanması Eşitlik 4' teki formülle bulunur. Gri İlişkisel derecenin büyük olması değerler arasında yakınlık derecesi olduğunu gösterir. Burada γ_i Gri ilişkisel dereceyi gösterir. Eğer bu değerler aynı ise Gri ilişki derecesi 1 olarak bulunur (Yılmaz,2010).

$$\gamma_i = \frac{1}{n} + \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (4)$$

16 Bulanık kural denklem kullanılarak iki giriş parametresi (Ra ve MRR) ve bir çıkış parametresi (GRG) oluşturuldu, deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda bulanık çıkarım kuralları aşağıdaki gibi yazıldı.

Kural 1: Eğer (Ra düşükse) ve (Mrr en düşükse) o halde (Grg en düşüktür.)

Kural 2: Eğer (Ra yüksekse) ve (Mrr en düşükse) o halde (Grg düşüktür.)

Kural n: Eğer (Ra n) ve (Mrr n) o halde (Grg n); bulanık bir değer oluşturmak için maksimum ve minimum çıkarımlar eşitlik 5 kullanılarak bulundu (Pandey ve Panda, 2014). Gri ilişki katsayıları gri bulanık çıkarım sisteminin (X1: Ra, X2:MRR, X3:GRG) girdi ve çıktı kısmını oluştururken Y_0 GFRG' ye karşılık gelir.

$$\mu_{C_0}(Y_0) = \mu_{A_1}(R_a) \wedge \mu_{B_1}(MRR) \wedge \mu_{C_1}(RY_0) \vee \dots \vee \mu_{A_n}(R_a) \wedge \mu_{B_n}(MRR) \wedge \mu_{C_n}(Y_0) \quad (5)$$

Tablo 3.7’de Mamdani çıkarım modelinde girdiler ve çıktı için kullanılan kural tabanı Matlab programının Fuzzy Tool Box bölümünde yazılmıştır.

Tablo 3.7. Ra, Mrr ve Grg verileri için Mamdani çıkarım program bulanık mantık kuralları

Kural No	Ra: Girdi Mrr: Girdi Grg: Çıktı
1	Eğer (Ra düşükse) ve (Mrr en düşükse) o halde (Grg en düşüktür)
2	Eğer (Ra yüksekse) ve (Mrr en düşükse) o halde (Grg düşüktür)
3	Eğer (Ra yüksekse) ve (Mrr en düşükse) o halde (Grg en düşüktür)
4	Eğer (Ra düşükse) ve (Mrr düşükse) o halde (Grg yüksektir)
5	Eğer (Ra düşükse) ve (Mrr en yüksekse) o halde (Grg en düşüktür)
6	Eğer (Ra ortaysa) ve (Mrr en düşükse) o halde (Grg en düşüktür)
7	Eğer (Ra yüksekse) ve (Mrr en yüksekse) then (Grg daha yüksektir)
8	Eğer (Ra ortaysa) ve (Mrr en yüksekse) o halde (Grg daha yüksektir)
9	Eğer (Ra yüksekse) ve (Mrr ortaysa) o halde (Grg düşüktür)
10	Eğer (Ra en yüksekse) ve (Mrr en yüksekse) o halde (Grg en yüksektir)
11	Eğer (Ra ortaysa) ve (Mrr düşükse) o halde (Grg düşüktür)
12	Eğer (Ra daha yüksekse) ve (Mrr en yüksekse) o halde (Grg daha yüksektir)
13	Eğer (Ra daha yüksekse) ve (Mrr ortaysa) o halde (Grg ortadır)
14	Eğer (Ra en yüksekse) ve (Mrr daha yüksekse) o halde (Grg en yüksektir)
15	Eğer (Ra ortaysa) ve (Mrr daha yüksekse) o halde (Grg yüksektir)
16	Eğer (Ra en düşükse) ve (Mrr ortaysa) o halde (Grg en düşüktür)

3.8. Taguchi Optimizasyonu

Deneylerde kullanılan parametrik değişkenler doğrultusunda işleme sonucunda oluşacak yüzey pürüzlülüğünü öngörebilmek amacıyla yöntemler geliştirilmektedir. Bu yöntemlerde öne çıkan durumlar; kullanılacak yöntemin hassasiyeti, güvenilir olması, maliyetler üzerindeki etkileridir. İmalat sürecindeki bu koşullar değerlendirildiğinde zamanın ve olanakların verimli bir biçimde kullanılması aynı zamanda sonuçları en doğru şekilde yorumlayabilmek (öngörülebilir ve öngörülemez etkenler ile çıktı değerleri arasındaki ilişkiyi tam olarak tespit etmek ve optimizasyonu sağlayabilmek) için deney tasarım yöntemlerini kullanmak oldukça faydalı bir yaklaşımdır. İmalat sürecinin her

aşaması ekonomik şartlar doğrultusunda gerçekleştiği için uygun optimizasyon yöntemlerini kullanmak elzem hale gelmektedir. Günümüz gelişmiş teknolojisinin bu tür yaklaşımları doğrultusunda Taguchi Deneysel Tasarımı metodu, içerisinde birçok parametrik değişken bulunan problemlerin çözümünde ve optimizasyonunda başarılı bir bilimsel metod olarak kullanılmaktadır. Taguchi Optimizasyonu elde edilmek istenilen sonuçlara mümkün olduğunca az deney sayısı ile ulaşmamızı sağlar ve ayrıca istenilen kalitede üretim yapabilme olanaklarını destekler.

Eşitlik 6’da ve 7’de Taguchi metodunda kullanılan kalite tanımlarından (“en küçük en iyi”, “en büyük en iyi”) Ra ortalama pürüzlülük değerleri için en uygun olan S/N oranı hesaplanmıştır (Esmek,2014).

En Düşük en iyi olduğunda (Smaller is better)

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (6)$$

En Büyük en iyi olduğunda (Larger is better)

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (7)$$

Taguchi optimizasyon yöntemiyle en iyi yüzey pürüzlülüğünü elde edilmesi amaçlanmaktadır, bu doğrultuda yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrik değişkenler ve faktör seviyeleri Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Parametrik Değişkenler ve Faktör Seviyeleri

Kesme Parametreleri	Simge	Birim	Faktör seviyeleri			
			1	2	3	4
Kesme hızı	V	Dev/dak	750	1000	1250	1500
İlerleme miktarı	f	mm/dev	0.5	0.85	1.15	1.45
Kesme derinliği	d	mm	0.5	0.75	1.0	1.25
Kesme stratejisi	p	-	Zig	Zig-Zag	Morph Spiral	One Way

Tablo 3.8’ de verilen kesme parametreleri doğrultusunda deneysel çalışmaya en uygun tasarım olarak 16 deneyli L16 orthogonal dizi kullanılmıştır. Deneyler her bir

parametrik değer için 3 defa tekrarlanmıştır toplamda 48 adet yüzey işlenerek bulgular elde edilmiştir. Deneysel tasarım matrisi Tablo 3.9’ da görüldüğü gibi düzenlenmiştir.

Tablo 3.9. Taguchi L16 Deneysel Tasarım Matrisi

Deney no	Kesme Parametreleri			
	V kesme hızı (dev/dak.)	(mm/dev.)	d (talaş derinliği mm)	p (kesme stratejisi)
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	1	4	4	4
5	2	1	2	3
6	2	2	1	4
7	2	3	4	1
8	2	4	3	2
9	3	1	3	4
10	3	2	4	3
11	3	3	1	2
12	3	4	2	1
13	4	1	4	2
14	4	2	3	1
15	4	3	2	4
16	4	4	1	3

3.9. Durulaştırma

Durulaştırma, bulanık küme teorisi içinde, belirsizliği ortadan kaldırmak ve anlaşılabilir sayısal değerlere dönüştürmek için kullanılan gri bulanık yöntemin son aşamasıdır. Bu işlem, bulanık verileri net bir şekilde tanımlanmak ve daha kesin bir yapıya kavuşturulmak için kullanılır (Kulaç ve Arslankaya,2024).

Çıkış üyelik fonksiyonun durulaştırılması aşaması Centroid Metodu yöntemine göre yapılmıştır. Centroid Metodu, Eşitlik 8’ de hesaplanarak herbir noktanın ağırlığı bulunmuş daha hassas ve net sonuçlara ulaşma sağlanmıştır. Ağırlık Merkezi veya Alan Merkezi olarak bilinen bu yöntem en çok tercih edilen durulama yöntemlerinden birisidir (Eldem ve Eldem,2013). Eşitlik 8’deki formüle göre hesaplanır.

$$Y_0 = \frac{\sum Y \mu_{C_0}(Y)}{\sum \mu_{C_0}(Y)} \quad (8)$$

Burada Y_0 değeri bulanıklaştırılan değerlerin durulaştırma işleminin sonucu elde edilen sonuçlarını göstermektedir, μ_{C_0} ve ise bulanık küme fonksiyonlarını göstermektedir.

BÖLÜM IV

BULGULAR VE TARTIŞMA

16 Adet deney numunesi ve 48 adet yüzey, Tablo 3.8’de belirlenen parametreler doğrultusunda CNC dik işleme tezgâhında işlenmiştir. Deneylerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ve sinyal/gürültü (Signal to Noise) oranları Tablo 4.1’de verilmiştir. Bu çalışmanın amacı yüzey pürüzlülüğünün ve talaş kaldırma miktarının gri bulanık yöntemle göre modellenmesini yaparak kesmeye etkileyen faktörlerin Taguchi optimizasyon matrisi yardımıyla analizini yapmaktır. Bu analiz sonuçları doğrultusunda en küçük en iyi (smaller is better), en büyük en iyi (larger is better) ifadeleri kullanarak aşağıdaki tabloda verilen S/N yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N talaş kaldırma miktarı (Mrr) bulunmuştur. Yapılan deneylere bağlı olarak, seçilen parametrik değişkenlerin yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılmıştır. İşleme sürecinde, yapılan ölçümlerde ortalama yüzey pürüzlülük değeri ile talaş kaldırma miktarının (Mrr) etkileri belirlenmiştir. Taguchi L16 orthogonal deneysel tasarım metodu kullanılmış ve Gri bulanık algoritmasına göre modellenmiş, centroid yöntemi ile durulaştırma yapılarak açıklanmıştır.

Tablo 4.1. Deney Sonuçları ve S/N Oranları

Deney No	Kesme hızı (V) Dev./dak.	Kesme Hızı (V) mm/dak.	İlerleme Miktarı (f) mm/dev.	Kesme Derinliği (d) mm	Kesme Stratejisi (p)	Yüzey Pürüzlülüğü-1 (Ra µm)	Yüzey Pürüzlülüğü-2 (Ra µm)	Yüzey Pürüzlülüğü-3 (Ra µm)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra µm)	MRR (mm ³ /dak.)	S/N Yüzey Pürüz.	S/N MRR
1	750	47.10	0.5	0.5	Zig zag	3.91	4.46	4.28	4.22	15.00	-12.50	23.52
2	750	47.10	0.85	0.75	Zig-zag	4.16	5.05	4.14	4.45	38.25	-12.97	31.65
3	750	47.10	1.15	1	Morph Spiral	6.45	6.15	5.80	6.13	69.00	-15.75	36.78
4	750	47.10	1.45	1.25	One way	5.94	5.94	5.53	5.80	108.75	-15.27	40.73
5	1000	62.80	0.5	0.75	Morph Spiral	6.03	5.41	6.04	5.83	30.00	-15.31	29.54
6	1000	62.80	0.85	0.5	One way	5.72	4.57	4.98	5.09	34.00	-14.13	30.63
7	1000	62.80	1.15	1.25	Zig zag	4.36	4.00	5.43	4.60	115.00	-13.25	41.21
8	1000	62.80	1.45	1	Zig-zag	4.13	4.86	5.07	4.69	116.00	-13.42	41.29
9	1250	78.50	0.5	1	One way	4.01	4.16	5.06	4.41	50.00	-12.89	33.98
10	1250	78.50	0.85	1.25	Morph Spiral	2.40	3.13	3.80	3.11	106.25	-9.86	40.53
11	1250	78.50	1.15	0.5	Zig-zag	5.25	5.23	4.33	4.94	57.50	-13.87	35.19
12	1250	78.50	1.45	0.75	Zig zag	3.66	4.56	4.11	4.11	108.75	-12.28	40.73
13	1500	94.20	0.5	1.25	Zig-zag	5.24	3.31	3.11	3.89	75.00	-11.79	37.50
14	1500	94.20	0.85	1	Zig zag	2.23	2.90	3.15	2.76	102.00	-8.82	40.17
15	1500	94.20	1.15	0.75	One way	4.55	4.94	5.15	4.88	103.50	-13.77	40.30
16	1500	94.20	1.45	0.5	Morph Spiral	9.86	9.64	9.37	9.62	87.00	-19.67	38.79

4.1. Taguchi Analizi

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde her bir kontrol faktörünün analizi S/N değerleriyle yapılmıştır (Tablo 4.2). (Singh, vd.,2024), çalışmasında yüzey pürüzlülüğü için taguchi L27 dizilimini kullanarak yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametrelerin ilerleme miktarı ve talaş derinliği olduğu sonucuna ulaşmıştır. Tablo 4.2’de, HSS parmak freze için yüzey pürüzlülük değerini en çok etkileyen parametreler sırasıyla ilerleme, talaş kaldırma miktarı, kesme stratejisi ve talaş derinliği olduğu verilmiştir. “Daha küçük olan daha iyidir” sonuç değerleri Minitab programında bulunarak Tablo 4.3’te sunulmuştur. Bu bulgulara göre, kesme hızı -14.12, ilerleme miktarı -15.16, kesme derinliği -15.04, kesme stratejisi -15.15 değerlerinde daha küçük olan daha iyidir olarak bulunmuştur. (Sarıkaya vd.,2014), frezelemede pürüzlülük ve takım ömrünü inceledikleri çalışmalarında Taguchi’nin Smaller is better “Daha küçük olan daha iyidir” optimizasyonunu kullanmışlardır. Bunun sonucunda pürüzlülüğün sırasıyla talaş kaldırma miktarına etken kesici uç sayısına, ilerleme miktarına ve kesme hızına bağlı olduğunu bulmuşlardır.

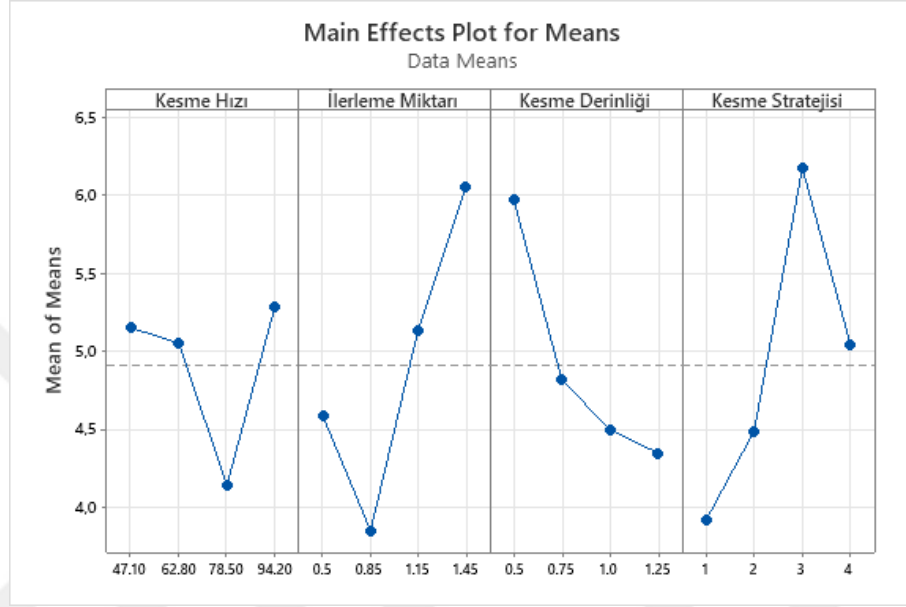
Tablo 4.2. Sinyal Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu Daha Küçük Olan Daha İyidir

Level	Kesme Hızı	İlerleme Miktarı	Kesme Derinliği	Kesme Stratejisi
1	-14.12	-13.12	-15.04	-11.71
2	-14.03	-11.44	-13.58	-13.01
3	-12.22	-14.16	-12.72	-15.15
4	-13.51	-15.16	-12.54	-14.02
Delta	1.90	3.71	2.50	3.44
Sıralama	4	1	3	2

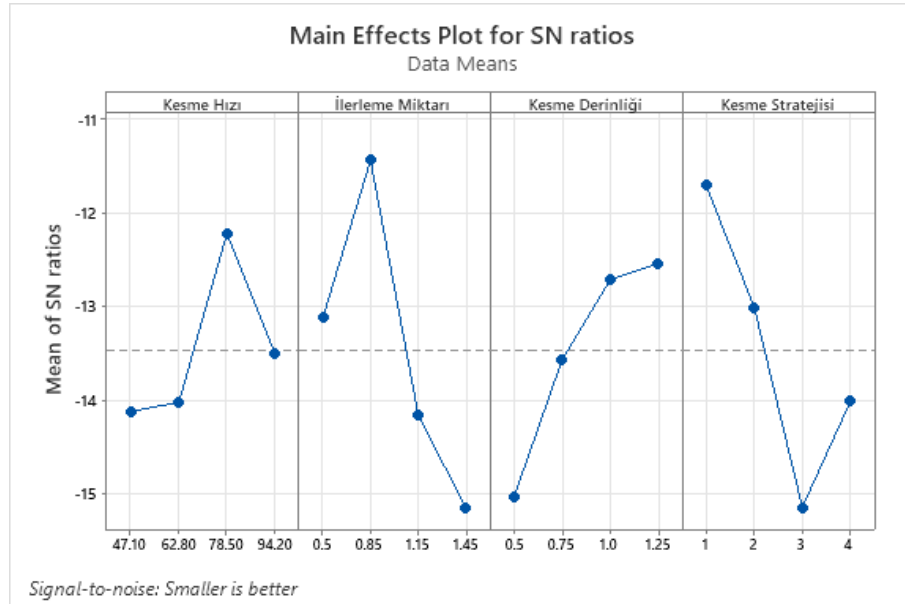
Tablo 4.3. Daha Küçük Olanın Daha İyi Olduğu Anlamına Gelen Yanıt Tablosu

Level	Kesme Hızı	İlerleme Miktarı	Kesme Derinliği	Kesme Stratejisi
1	5.151	4.585	5.967	3.921
2	5.050	3.852	4.817	4.490
3	4.142	5.137	4.498	6.173
4	5.287	6.056	4.349	5.046
Delta	1.146	2.203	1.617	2.253
Sıralama	4	2	3	1

En küçük en iyi mantığına göre deneyde kullanılan parametrik değişkenlerin grafiksel gösterimi Şekil 4.1'deki gibidir. Yukarıdaki ifade doğrultusunda en küçük en iyi mantığına göre S/N oranının grafiksel gösterimi Şekil 4.2'deki gibi bulunmuştur.



Şekil 4.1. Ortalamalar İçin Ana Etkiler Grafiği (En Küçük En İyi)



Şekil 4.2. S/N Oranları İçin Ana Etkiler Grafiği (En Küçük En İyi)

S/N değerlerinin en büyük en iyi değeri için bulunan değerler Tablo 4.4'te gösterilmiştir. En büyük en iyi değeri için Minitab programında bulunan parametrik değişkenlere bağlı sonuç tablosu Tablo 4.5'te verilmiştir.

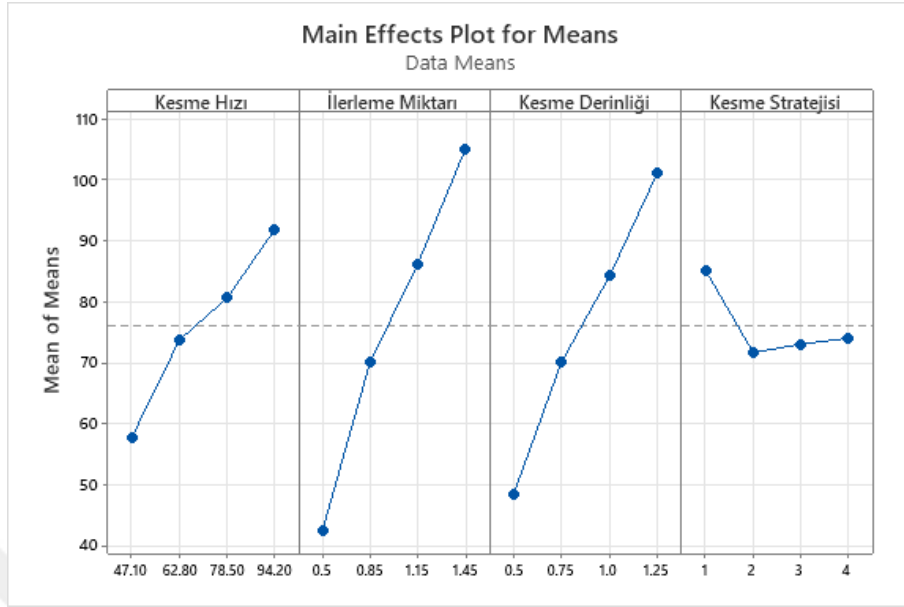
Tablo 4.4. Sinyal Gürültü Oranı İlişkin Yanıt Tablosu Daha Büyük Olan Daha İyidir

Level	Kesme Hızı	İlerleme Miktarı	Kesme Derinliği	Kesme Stratejisi
1	33.17	31.14	32.03	36.41
2	35.67	35.75	35.56	36.41
3	37.61	38.37	38.05	36.41
4	39.19	40.38	39.99	36.41
Delta	6.02	9.25	7.96	0.00
Sıralama	3	1	2	4

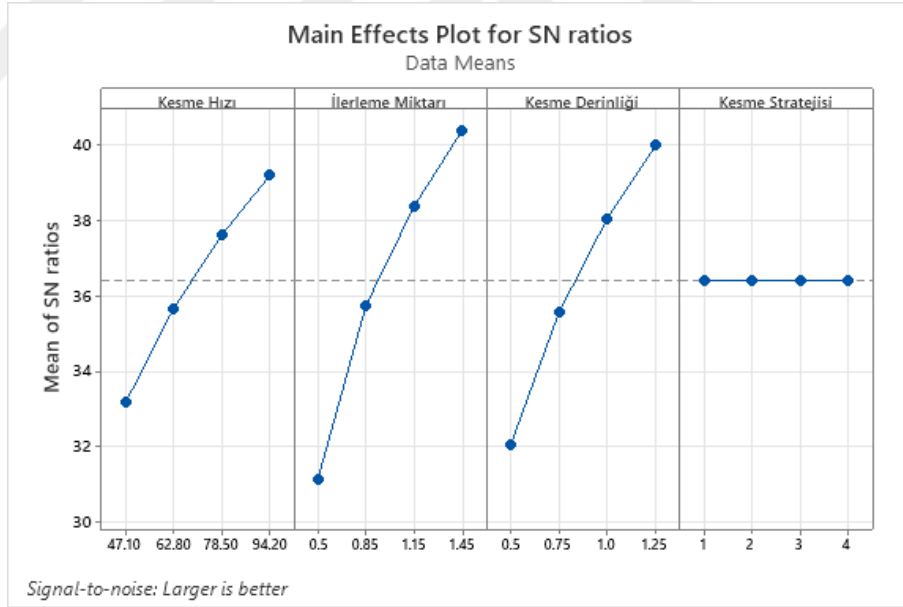
Tablo 4.5. Daha Büyük Olanın Daha İyi Olduğu Anlamına Gelen Yanıt Tablosu

Level	Kesme Hızı	İlerleme Miktarı	Kesme Derinliği	Kesme Stratejisi
1	57.75	42.50	48.38	85.19
2	73.75	70.13	70.13	71.69
3	80.63	86.25	84.25	73.06
4	91.88	105.13	101.25	74.06
Delta	34.13	62.63	52.88	13.50
Sıralama	3	1	2	4

En büyük en iyi mantığına göre deneyde kullanılan parametrik değişkenlerin grafiksel gösterimi Şekil 4.3'teki gibidir. Yukarıdaki ifade doğrultusunda en büyük en iyi mantığına göre S/N oranının grafiksel gösterimi Şekil 4.4'teki gibi bulunmuştur.



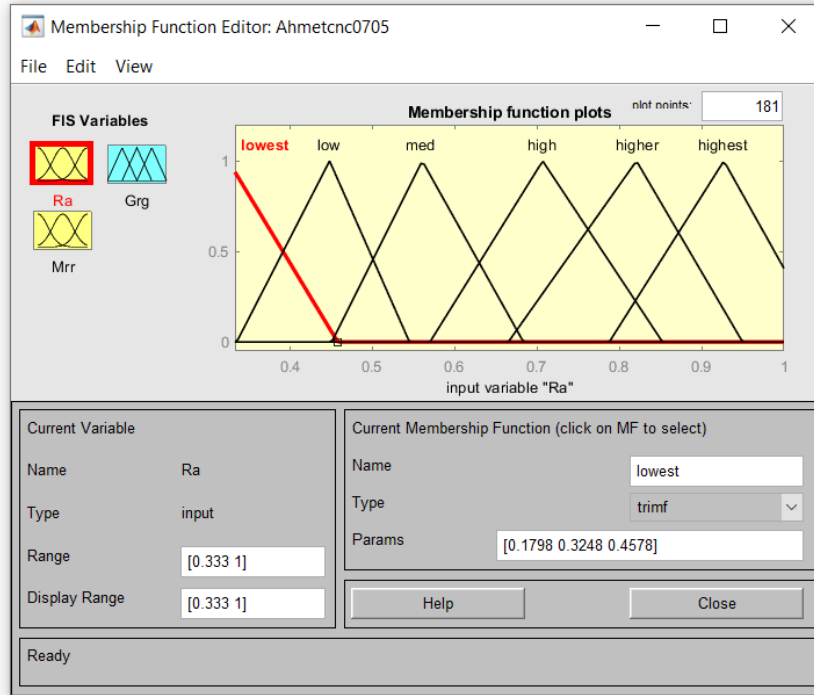
Şekil 4.3. Ortalamalar İçin Ana Etkiler Grafiği (En Büyük En İyi)



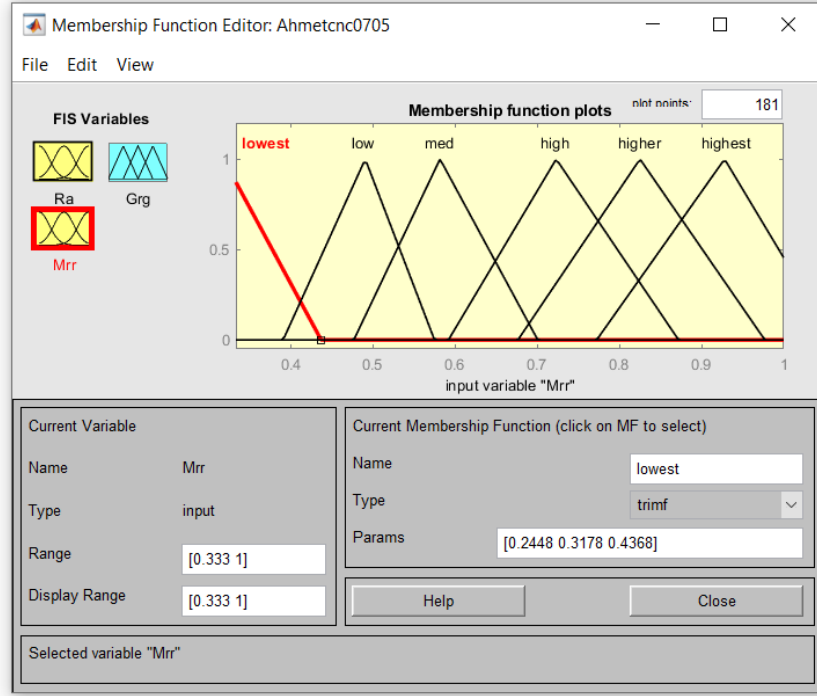
Şekil 4.4. S/N Oranları İçin Ana Etkiler Grafiği (En Büyük En İyi)

4.2. Fuzzy Gri Bulanık Yöntem

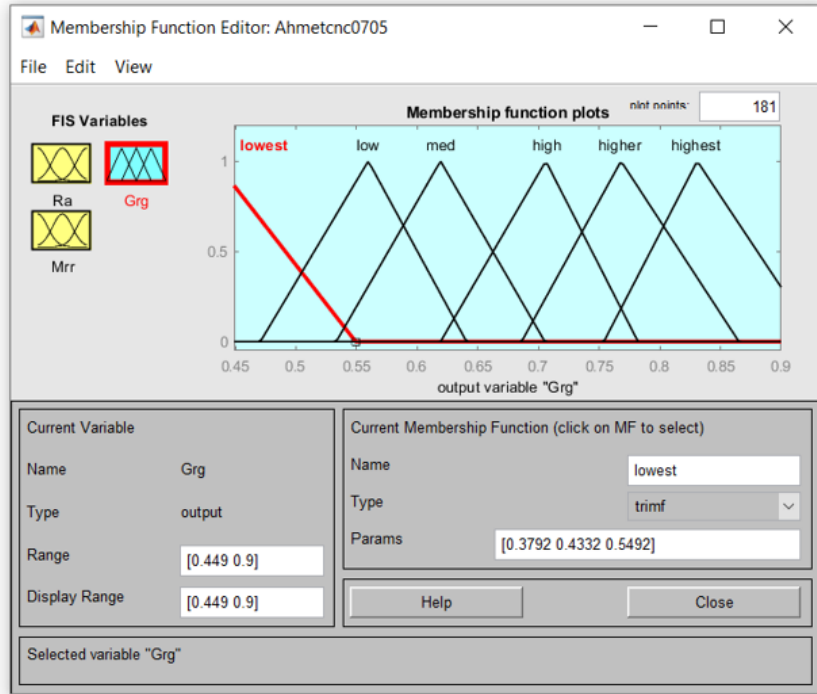
Bu çalışmada, CNC frezeleme işlemi sonucu elde edilen deney verileri, Mamdani ve Sugeno olarak bilinen çıkarım modellerinden; Mamdani kullanılarak Gri Bulanık yöntem yaklaşımıyla, yüzey pürüzlülük değerleri tahmin edilmiştir. Matlab programında, Mamdani çıkarım modeli için Üçgen ve Gaus üyelik fonksiyonları tercih edilmiştir. Deneylerde yapılmayan ara değerlerin tespit edilebilmesi gibi avantajlar gri bulanık yöntem sayesinde mümkün olabilmektedir. Deneylerde elde edilen sonuçlar ile Fuzzy kural tabanı modelleme sonuçları arasında korelasyon analizi yapılmış ve korelasyon analiz sonucu Korelasyon katsayısı Gaus üyelik fonksiyonu için 0.9836, üçgen üyelik fonksiyonu için 0.9675 bulunmuştur. Ra (Şekil 4.5) ve MRR (Şekil 4.6) değerleri girilerek, GRG (Şekil 4.7) değerleri için üçgen ve gaus grafikler elde edilmiştir. Korelasyon katsayısı 1.00'a en yakın değeri belirlemek için Matlab programı kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Ra (Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değeri) Üçgen Üyelik Fonksiyonu



Şekil 4.6. MRR (Talaş Kaldırma Miktarı) Üçgen Üyelik Fonksiyonu



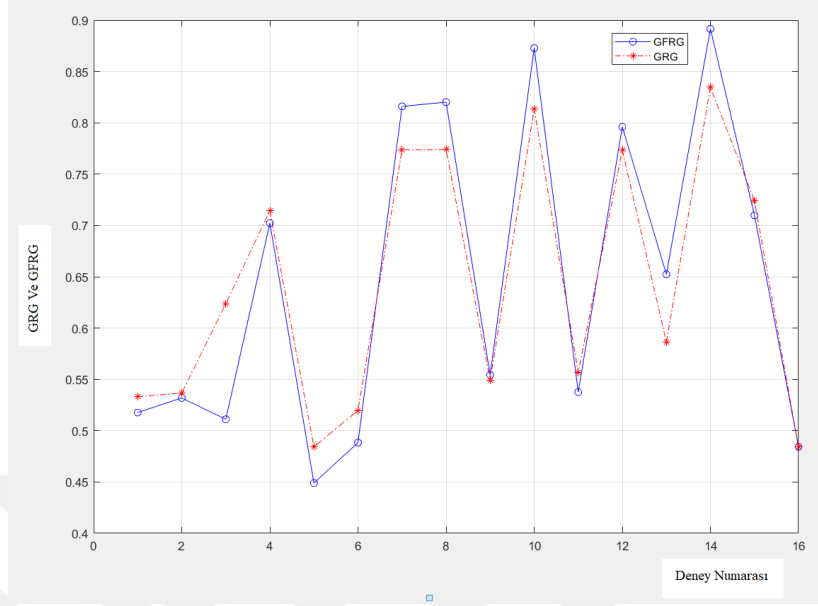
Şekil 4.7. GRG (Bulanık İlişki Değerleri) Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkinin yönünün, derecesinin belirlenmesinde kullanılan ölçütlerden biriside korelasyon katsayıdır. Korelasyon değişen iki değer arasındaki derecenin tespitinde kullanılır (Serper,1986). Korelasyon katsayısının 2 boyutlu ve 3 boyutlu grafiklerle gösterebilmek için girdiler ve çıktı arasındaki ilişkiyi görsel hale getiren Matlab programının yazılmıştır.

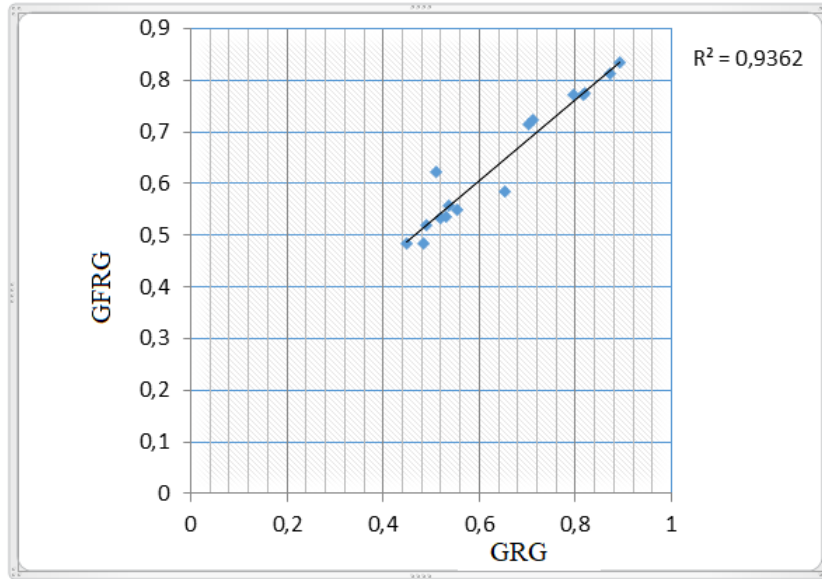
Korelasyon katsayısının belirlenmesinde kullanılan matlab programı şu şekildedir:

```
clc;clear all;close all;
fismat=readfis('Ahmetcnc0705.fis');
Ra=[0.702 0.670 0.504 0.530 0.528 0.596 0.651 0.640 0.675 0.907 0.612 0.718
0.753 1.000 0.618 0.333].';
%t=[0.274 0.569 1 1 0.274 0.569 1 0.725 0.306 0.569 0.725 1 0.248 0.569 0.725
1].';
MRR=[0.333 0.394 0.518 0.874 0.370 0.381 0.981 1.000 0.433 0.838 0.463 0.874
0.552 0.783 0.802 0.635].';
GRG=[0.5177 0.5319 0.5111 0.7022 0.4490 0.4884 0.8160 0.8202 0.5544 0.8728
0.5376 0.7961 0.6524 0.8915 0.7099 0.4843].';
Input=[Ra MRR];
Out_Fis=evalfis(Input,fismat);
R_Square=corr(GRG,Out_Fis);
fprintf('Korelasyon Katsayısı=%g\n',R_Square);
plot(GRG,'-Ob');
hold on;
plot(Out_Fis,'-Xr');
Err=sum(abs((GRG-Out_Fis)./GRG)/16)*100;
fprintf('Ortalama Yüzde Hata=%g\n',Err);
save all;
```

Girdiler ve çıktı arasındaki değişkenlerin birbirine olan uyumluluklarını üçgen üyelik fonksiyonu için gösteren korelasyon katsayısı grafiği Şekil 4.8'deki gibidir. R^2 (Regrasyon değerini gösteren eğri grafiği) Şekil 4.9' da görüldüğü gibidir.

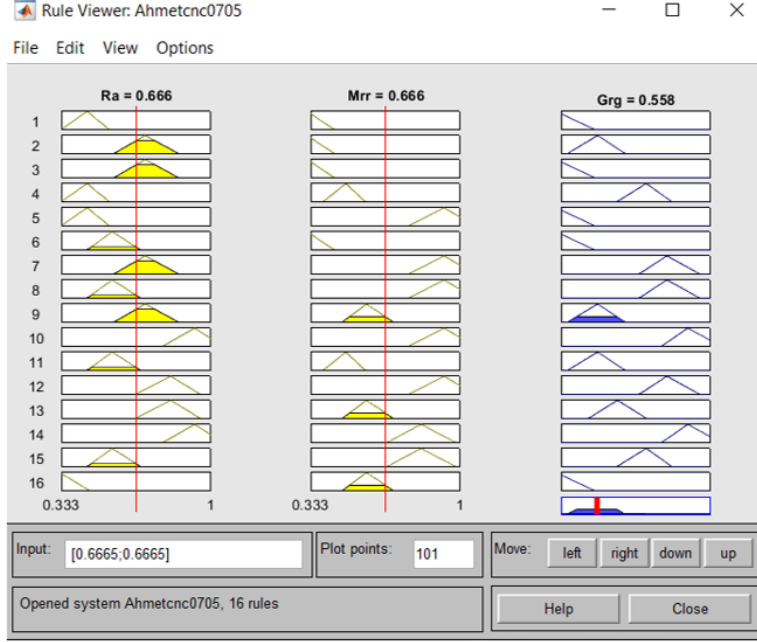


Şekil 4.8. Üçgen Üyelik Fonksiyon 2 Boyutlu Korelasyon Grafiği



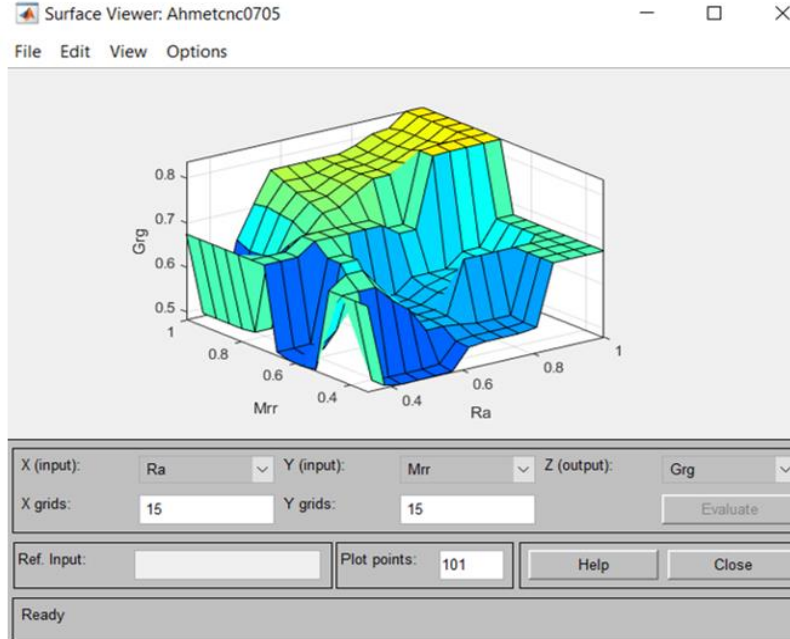
Şekil 4.9. R^2 Değerini Gösteren Doğru Grafiği

Mamdani çıkarım modelinin Girdiler (R_a , M_{rr}) ve Çıktı (G_{rg}) arasındaki çıkarım sonucunun gösterimi Şekil 4.9'da görüldüğü gibidir.



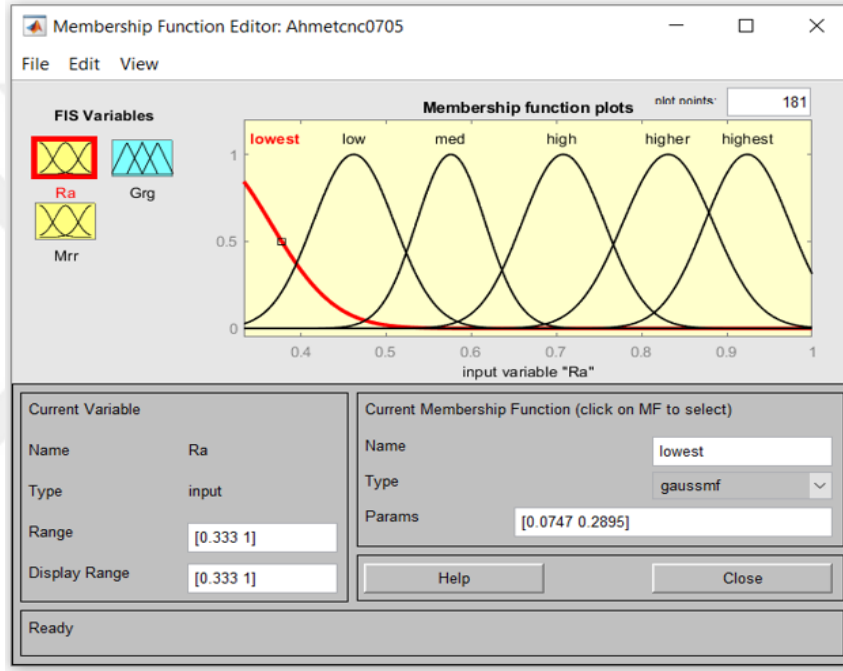
Şekil 4.10. Üçgen Üyelik Fonksiyon İçin Bu Çalışmada Kullanılan Gri-Bulanık Mantık Kurallarının Şematik Gösterimi

Girdiler ve çıktı arasındaki değişkenlerin birbirine olan uyumluluklarını üçgen üyelik fonksiyonu için gösteren 3 boyutlu kural grafiği Şekil 4.10’da görüldüğü gibidir.

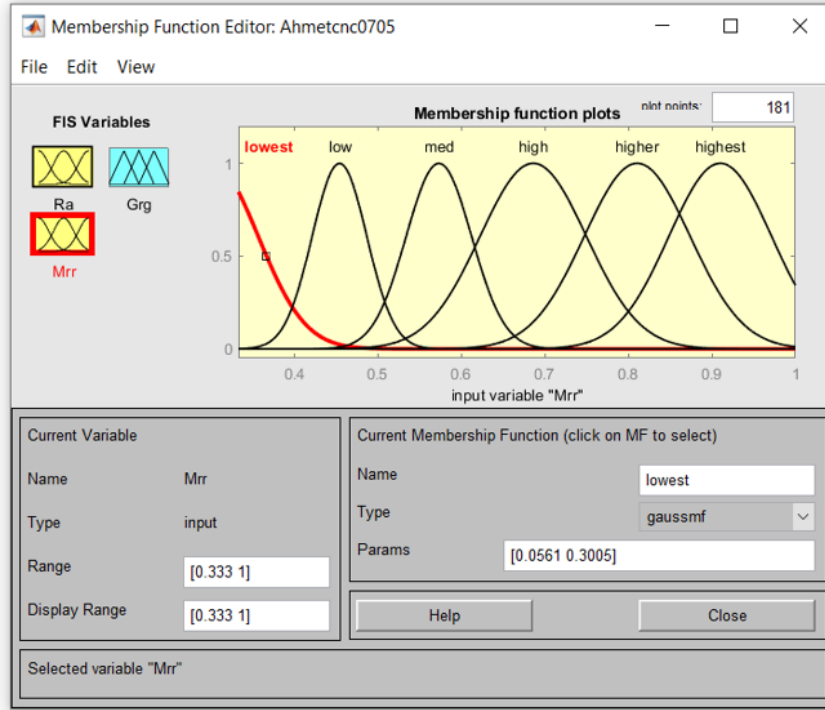


Şekil 4.11. Üçgen Üyelik Fonksiyon 3 Boyutlu Girdi –Çıktı Kural Grafiği

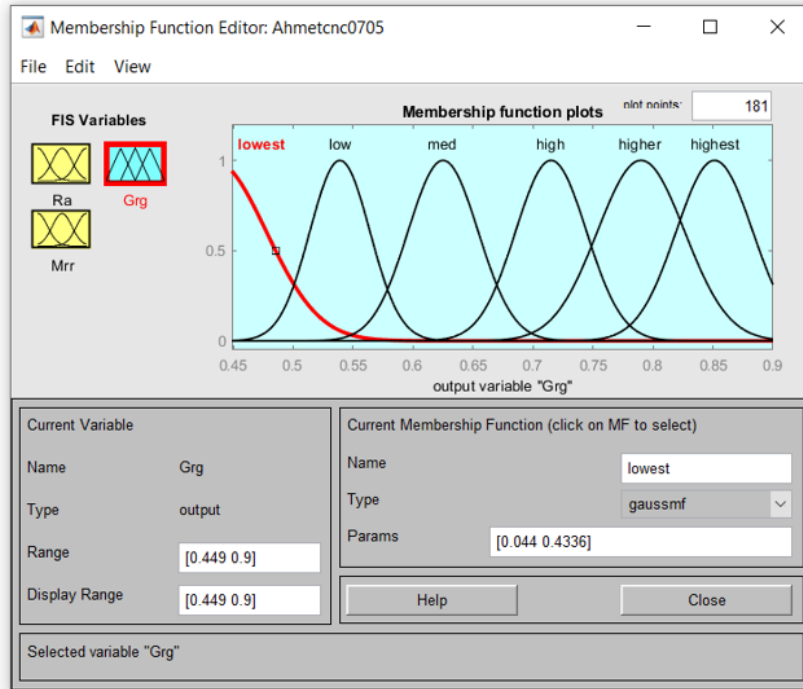
Yukarıda üçgen üyelik fonksiyonu için tanımlanan girdi ve çıktı verileri Gaus üyelik fonksiyonu için de tanımlanmış ve sonuçları değerlendirilmiş, korelasyon katsayısı Gaus üyelik fonksiyonu için 0.9836 değerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerlere ait bulanık modelleme şekilleri Matlab'da Fuzzy Toolbox kullanılarak bulunmuştur. Ra (Ortalama pürüzlülük değeri) Şekil 4.11'de, Mrr (Talaş kaldırma miktarı) Şekil 4.12.'de, Grg (Bulanık ilişki değerleri) Şekil 4.13'te olduğu gibi tespit edilmiştir.



Şekil 4.12. Ra (Ortalama Yüzey Pürüzlülük değeri) Gaus Üyelik Fonksiyonu

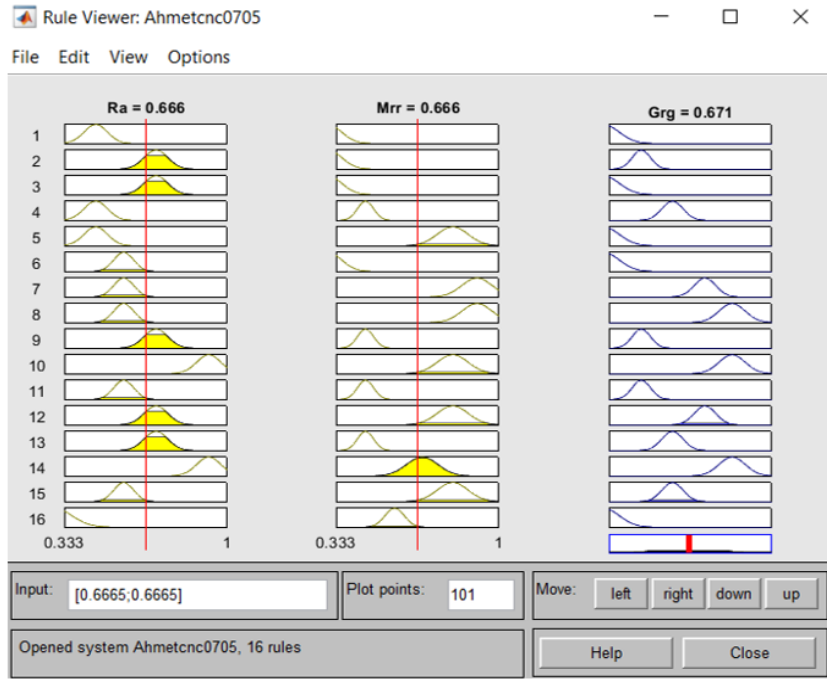


Şekil 4.13. MRR (Talaş Kaldırma miktarının) Gaus Üyelik Fonksiyonu

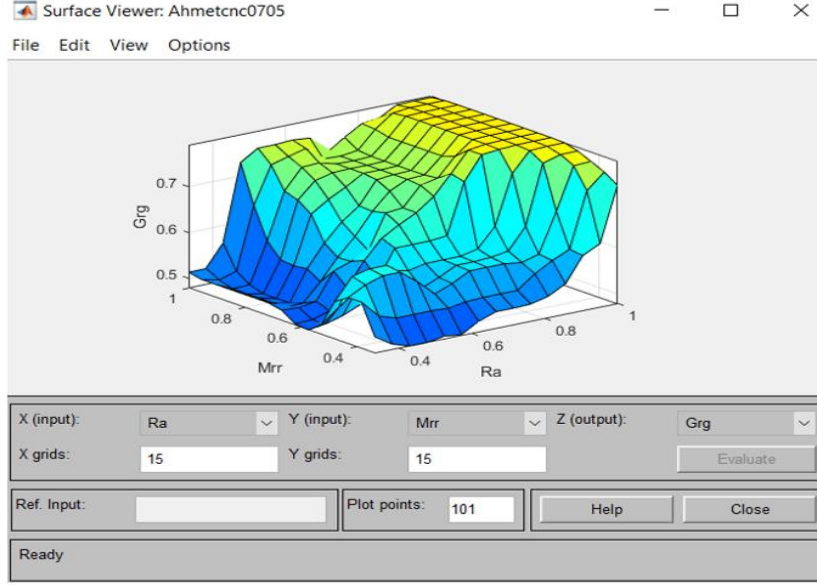


Şekil 4.14. GRG (Bulanık İlişki Değerleri) Gaus Üyelik Fonksiyonu

Mamdani çıkarım modelinin Girdiler (Ra, Mrr) ve Çıktı (Grg) arasındaki çıkarım sonucunun gösterimi ve Şekil 4.15.Gaus Üyelik Fonksiyon 3 Boyutlu Girdi –Çıktı Kural grafiği sırasıyla Şekil 4.15 ve 4.16’da gösterilmiştir. CNC tezgâhında Taguchi L16 ortogonal dizilime göre cep frezeleme işleme sonucu elde edilen Mrr (Talaş kaldırma miktarı; Eşitlik 1’e göre hesaplanmıştır) ve Ra (Ortalama pürüzlülük) değerleri Tablo 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.15. Gaus Üyelik Fonksiyon İçin Bu Çalışmada Kullanılan Gri-Bulanık Mantık Kurallarının Şematik Gösterimi



Şekil 4.16. Gaus Üyelik Fonksiyon 3 Boyutlu Girdi –Çıktı Kural Grafiği

Tablo 4.6. Mrr ve Ra için Deney Sonuçları

No Ideal dizi	MRR	Ra
	Larger-The-Better (Enbüyük-Eniyi)	Smaller-the-better (Enküçük-Eniyi)
1	15	4.217
2	38.25	4.450
3	69	6.133
4	108.75	5.803
5	30	5.827
6	34	5.090
7	115	4.597
8	116	4.687
9	50	4.410
10	106.25	3.110
11	57.5	4.937
12	108.75	4.110
13	75	3.887
14	102	2.760
15	103.5	4.880
16	87	9.623

Gri bulanık ilişkide Mrr ve Ra değerleri için Eşitlik 2' ye göre normalizasyon yapılmış Mrr ve Ra değerleri Tablo 4.7' de verilmiştir.

Tablo 4.7. Mrr ve Ra İçin Normalizasyon Değerleri

No Ideal dizi	MRR	Ra
1	0.000	0.788
2	0.230	0.754
3	0.535	0.508
4	0.928	0.557
5	0.149	0.553
6	0.188	0.661
7	0.990	0.732
8	1.000	0.719
9	0.347	0.760
10	0.903	0.949
11	0.421	0.683
12	0.928	0.803
13	0.594	0.836
14	0.861	1.000
15	0.876	0.691
16	0.713	0.000

Gri bulanık ilişkide Mrr ve Ra değerleri için Eşitlik 2’de bulunan her bir değerın ‘1’ sayısından çıkarılmasıyla delta değerleri sonuçlarına ulaşılmıştır (Tablo 4.8).

Tablo 4.8. Mrr ve Ra İçin Delta Değerleri

No Ideal dizi	MRR	Ra
1	1.000	0.212
2	0.770	0.246
3	0.465	0.492
4	0.072	0.443
5	0.851	0.447
6	0.812	0.339
7	0.010	0.268
8	0.000	0.281
9	0.653	0.240
10	0.097	0.051
11	0.579	0.317
12	0.072	0.197
13	0.406	0.164
14	0.139	0.000
15	0.124	0.309
16	0.287	1.000

Tablo 4.9.’ da Gri bulanık ilişkide Mrr ve Ra değerleri için Eşitlik 3’e göre Gri ilişki katsayısı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Tablo 4.9. Mrr ve Ra için Gri İlişki Katsayısı Değerleri

No Ideal dizi	MRR	Ra
1	0.333	0.702
2	0.394	0.670
3	0.518	0.504
4	0.874	0.530
5	0.370	0.528
6	0.381	0.596
7	0.981	0.651
8	1.000	0.640
9	0.433	0.675
10	0.838	0.907
11	0.463	0.612
12	0.874	0.718
13	0.552	0.753
14	0.783	1.000
15	0.802	0.618
16	0.635	0.333

Gri bulanık ilişkide Mrr ve Ra değerleri için Eşitlik 4'e göre Gri ilişki seviyesi ve/veya derecesi sonuçlarına ulaşılmıştır (Tablo 4.10).

Tablo 4.10. Mrr ve Ra için Gri İlişki Derecesi Değerleri

No (İdeal dizi)	Grey relational grade (Gri Bulanık İlişki)	Rank (Derece)
1	0.5177	12
2	0.5319	11
3	0.5111	13
4	0.7022	7
5	0.4490	16
6	0.4884	14
7	0.8160	4
8	0.8202	3
9	0.5544	9
10	0.8728	2
11	0.5376	10
12	0.7961	5
13	0.6524	8
14	0.8915	1
15	0.7099	6
16	0.4843	15

Eşitliklerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda Ra, Mrr ve Gri ilişki değerlerini gösteren veriler Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11. Gri İlişki Değerleri

Deney Numarası	Grey relation coefficients (GRC) (Gri İlişki Katsayısı)		Grey relational grade (Gri İlişki Derecesi) (GRG)
	Ra	MRR	
1	0.702	0.333	0.5177
2	0.670	0.394	0.5319
3	0.504	0.518	0.5111
4	0.530	0.874	0.7022
5	0.528	0.370	0.4490
6	0.596	0.381	0.4884
7	0.651	0.981	0.8160
8	0.640	1.000	0.8202
9	0.675	0.433	0.5544
10	0.907	0.838	0.8728
11	0.612	0.463	0.5376
12	0.718	0.874	0.7961
13	0.753	0.552	0.6524
14	1.000	0.783	0.8915
15	0.618	0.802	0.7099
16	0.333	0.635	0.4843

Gri bulanık ilişkide Mrr ve Ra değerleri için Eşitlik 6'daki enbüyük eniyi' ye göre hesaplama yapılmış Tablo 4.12'deki S/N oranları bulunmuştur.

Tablo 4.12. S/N Oranları

Run No İdeal dizi	Gri İlişki Derecesi	
	S/N	Mean (Anlam)
1	-12.97	4.45
2	-15.75	5.93
3	-15.27	5.78
4	-15.31	5.82
5	-14.13	5.09
6	-13.25	4.59
7	-13.42	4.72
8	-12.89	4.41
9	-9.86	3.11
10	-13.87	4.93
11	-12.28	3.80
12	-11.79	3.88
13	-8.82	2.76
14	-13.77	4.88
15	-19.67	10.67
16	-12.50	4.05

Gri bulanık ilişkide bulunan Mrr ve Ra değerleri için elde edilen GRC ve GRG değerlerinin sonuçları Tablo 4.13'te gösterilmiştir.

Tablo 4.13. Gri Analiz Sonucu GRC ve GRG İçin Elde Edilen Değerler

Deneş No	Normalizasyon		Δ		Gri İlişki Değerleri (GRC)		GRG (Gri İlişki Derecesi)
	Ra	MRR	Ra	(GRG)	Ra	MRR	GRG
1	0.788	0.000	0.212	1.000	0.702	0.333	0.5177
2	0.754	0.230	0.246	0.770	0.670	0.394	0.5319
3	0.508	0.535	0.492	0.465	0.504	0.518	0.5111
4	0.557	0.928	0.443	0.072	0.530	0.874	0.7022
5	0.553	0.149	0.447	0.851	0.528	0.370	0.4490
6	0.661	0.188	0.339	0.812	0.596	0.381	0.4884
7	0.732	0.990	0.268	0.010	0.651	0.981	0.8160
8	0.719	1.000	0.281	0.000	0.640	1.000	0.8202
9	0.760	0.347	0.240	0.653	0.675	0.433	0.5544
10	0.949	0.903	0.051	0.097	0.907	0.838	0.8728
11	0.683	0.421	0.317	0.579	0.612	0.463	0.5376
12	0.803	0.928	0.197	0.072	0.718	0.874	0.7961
13	0.836	0.594	0.164	0.406	0.753	0.552	0.6524
14	1.000	0.861	0.000	0.139	1.000	0.783	0.8915
15	0.691	0.876	0.309	0.124	0.618	0.802	0.7099
16	0.000	0.713	1.000	0.287	0.333	0.635	0.4843

Gri bulanık ilişkide bulunan durulaştırma değerlerinin GRG değerleri ile karşılaştırılması sonucu GRC ve GFRG değerlerinin sonuçları Tablo 4.14'te gösterilmiştir.

Tablo 4.14. GRG ve GFRG' nin Karşılaştırılması

Deneş Numarası	Gri ilişki derecesi (GRG)	Durulaştırma değerleri (GFRG)	Rank	Mutlak Hata (%)
1	0.5177	0.5331	12	2.97
2	0.5319	0.5366	11	0.88
3	0.5111	0.6238	13	22.05
4	0.7022	0.7142	7	1.71
5	0.4490	0.4842	16	7.84
6	0.4884	0.5197	14	6.41
7	0.8160	0.7736	4	5.20
8	0.8202	0.774	3	5.63
9	0.5544	0.5492	9	0.94
10	0.8728	0.8132	2	6.83
11	0.5376	0.5566	10	3.53
12	0.7961	0.7735	5	2.84
13	0.6524	0.5862	8	10.15
14	0.8915	0.8346	1	6.38
15	0.7099	0.7241	6	2.00
16	0.4843	0.4844	15	0.02
				Ortalama yüzdelik hata=5.33

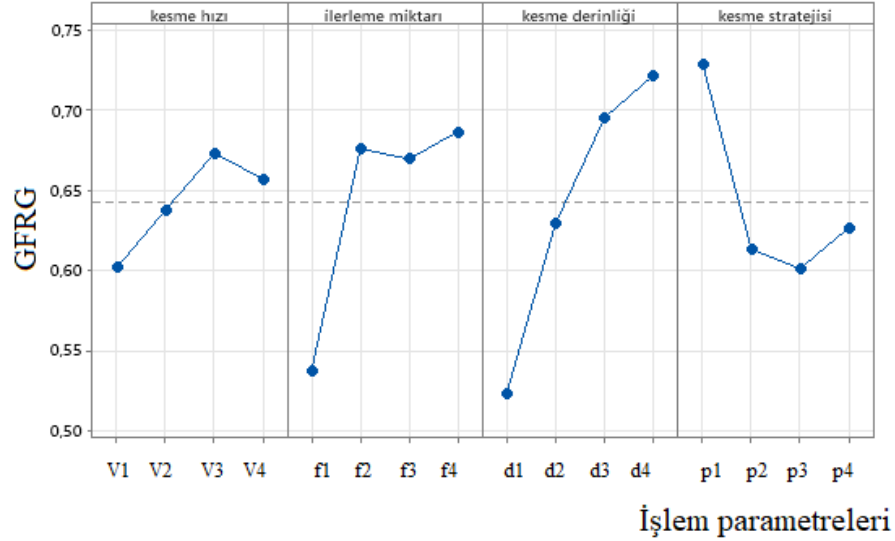
Her bir parametrenin GFRG ortalamasına dair yanıt tablosu en uygun parametre kombinasyonu ile bağlantılı, daha yüksek GFRG değerleri Tablo 4.15'teki gibi

gösterilmiştir (Pandey ve Panda,2014). Maksimum değer eksi minimum değer olarak formüle edilen delta istatistikleri, her bir etkinin göreceli boyutunu gösterir. Tablo 4.15. en yüksek delta değerine göre; en yüksek delta değerine karşılık gelen sıra 1'deki kesme derinliğidir, sonraki en yüksek değer ilerleme hızına karşılık gelen sıra 2'deki değerdir. Diğer sırada ise önce kesme stratejisi sonra da kesme hızı gelmektedir (sıra 3 ve sıra 4) (Eşme vd.,2015).

Tablo 4.15. GFRG İçin Yanıt Tablosu

	Gri ilişki derecesi					
	Level1	Level 2	Level 3	Level 4	Delta=max-min	Rank (Derece)
V	0.601	0.637	0.673	0.657	0.071	4
f	0.538	0.676	0.669	0.686	0.148	2
d	0.523	0.629	0.695	0.721	0.198	1
P	0.728	0.613	0.601	0.626	0.127	3

Toplam ortalama Gri ilişki derecesi=0.6554



Şekil 4.17. CNC Parametrelerinin GFRG Yanıt Grafiği

Parametre yanıtını grafiksel olarak incelenmiştir. Ayrıca yanıt grafiğinin eğimi ile parametrelerin çıkış üzerindeki etkisinin orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.17' deki grafiğin yatay kesikli çizgisi üzerinde kalan bölümde, optimum kesme hızı seviye 3,

optimum ilerleme hızı seviye 4, optimum kesme derinliği seviye 4 ve en uygun kesme stratejisi seviye 1 ($V_{3f4d4p1}$) belirlenmiştir. Parametrelerin etkinlik derecesini ve GFRG' ye olan etkilerini daha iyi tespit edebilmek için varyans analizi de yapıldı. Parametrelerin çıktı yanıtını ne derecede etkilediğini belirlemek için Anova analiz boyunca F oranı kullanıldı (Datta vd.,2008). Tablo 4.16.'da Anovanın özeti verilmiştir. Parametrelerin yüzedelik etkilerine göre kesme derinliği oranının (%39.47) çoklu çıkış özelliklerini etkileyen ana faktör olduğu, (%24.73), ilerleme miktarının ikinci ana etken olduğu, (%17.21), kesme yolu stratejisinin diğer etken olduğu ve son olarak kesme hızının (%4.76) olduğu bulunmuştur. Bu değerler doğrultusunda CNC ile cep frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreleri önem sırasına göre 1. sırada kesme derinliği, 2. İlerleme hızı, 3. ve 4. sıralarda ise kesme stratejisi ve kesme hızı olarak sıralayabiliriz. Ayrıca Tablo 4.16'da verilen F testi oranında da aynı katkı sırası elde edilmiştir.

Tablo 4.16. Anova Analiz Tablosu Değerleri

	Serbestlik derecesi	Toplam alan	Ortalama alan	F	Katkısı (%)
V	3	0.0113	0.0113	0.34	4.76
f	3	0.0587	0.0587	1.79	24.73
d	3	0.0937	0.0937	2.85	39.47
P	3	0.0408	0.0408	1.24	17.21
Residual	3	0.0328	0.0328		13.83
Toplam	15	0.2374			100
S=0.1046 R-Sq=86.17% R-Sq(adj)=30.86%					

(Özlü,2022), çalışmasında kesme derinliği ve ilerleme hızı beraber artırılırsa yüzey pürüzlülüğünü artıracakını ortaya koymuştur. Kesme stratejisinin (zig, zig-zag, morphpiral, oneway) yüzey pürüzlülüğüne etkisinin düşük olduğu gözlemlenmiştir.

GFRG ve işlem parametrelerinin Anova analiz sonuçları değerlendirildiğinde Tablo 4.16. kesme derinliğinin ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etken parametreler olduğu sonucuna varılmıştır. En iyi yüzey pürüzlülüğüne 1250 dev/dak kesme hızı, 1.45 mm/dak ilerleme miktarı, 1.25 mm talaş derinliği ve zig kesme stratejisi

kullanılarak ulaşılacağı tespit edilmiştir. İlerleme miktarı ve kesme derinliği parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ençok etki eden parametreler olduğu belirlenmiştir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında, CNC dik işlem tezgâhında AISI 1040 orta sertlikte çelik malzeme yüzeyi cep frezeleme takım yolu kullanılarak işlenmiştir. Deneysel yöntem olarak Taguchi tabanlı L16 orthogonal dizilim kullanılmıştır ve talaş kaldırma miktarı ve yüzey pürüzlülüğü Gri bulanık mantık yöntemine göre modellenmiş ve analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre Hibrit Taguchi tabanlı gri-bulanık algoritma kullanılarak yüzey pürüzlülüğü, işleme süresi ve talaş kaldırma oranları büyük ölçüde arttırılabileceği tespit edilmiştir. Talaş kaldırma miktarının CNC cep frezeleme işlemi için en yüksek etkiye sahip olduğu ve ardından ilerleme hızı, kesme stratejisi ve kesme hızı geldiği belirlenmiştir. Çalışmada Taguchi yöntemi kullanılarak en az sayıda deney yapmak hedeflenmiş, en uygun deney parametreleri bu şekilde tespit edilmiştir. Ayrıca optimum yüzey pürüzlülüğünün kesme derinliği, ilerleme miktarına bağlı olarak ANOVA analizi sayısal çıktılarına göre değerlendirilmiş ve sonuç olarak GFRG ve kesme parametreleri arasındaki yüzey pürüzlülüğünü etkileyen değişim gözlenmiştir.

Deneyler üç kez tekrarlanarak malzemeler işlenmiş, bunun sonucunda ortalama Ra pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Bu çalışmanın deney bulgularına göre en iyi ortalama pürüzlülük değeri 14 nolu deneyde 2.76 μm olarak ölçülmüştür. Bu pürüzlülük değerine en yakın olan değer 3,11 μm olarak 10 nolu deneyde elde edilmiştir. Bu sonuç GFRG S/N oranlarına göre tespit edilmiş olup 0.967'lik bir doğruluk oranıyla bulunmuştur. GFRG değerleri Bulanık mantık algoritması Matlab programında Mamdani çıkarım kural tabanı kullanarak bulunmuştur. Matlab Fuzzy toolbox ta girdi ve çıktılar için Mamdani kural tabanı kullanılmıştır. Bu kural tabanında oluşturulan veriler, iki girdi ve bir çıktı olacak şekilde tasarlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün ortalama değerleri (Ra) birinci girdi, Mrr (talaş kaldırma miktarı) ikinci girdi ve Grg değerleri çıktı verileri olarak değerlendirilmiştir. Bulanık mantıkta çıktı verilerinin durulaştırma işlemi centroid metoduna göre yapılmıştır, bu yöntem durulaştırma işlemi için en çok tercih edilen metodlardan biri olduğu için tercih edilmiştir. Durulaştırma işlemi sonucunda çıktı verilerine göre V3f4d4P1 1250 dev/dak. Kesme hızı, 1,45 mm/dak. İlerleme miktarı, 1,25mm talaş derinliği, zig kesme stratejisi parametrik değerleri olarak seçildiğinde en iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edileceği sonucuna varılmıştır. Deneylerin işlenmesi sonucunda yapılan gözlemler göstermiştir ki

Cam programlarında kullanılan takım yolu geometrileri (kesme stratejileri) zig, zig-zag, oneway, morphspiral vb. yüzey pürüzlülüğünün değişime etkisini iyileştirebilmektedir. Cam programlarının kullanımının imalat sanayinde yaygınlaşması, üretime olumlu anlamda etki etmektedir. Taguchi optimizasyonu olumsuz sonuçların hızlı tespiti ile zaman ve maliyetten oluşabilecek kayıpları önlemiştir. Doğru kesme parametrelerinin tespitini sağlayarak üretimin kalitesini arttırmıştır. Aynı deney koşullarında farklı türden malzemeler ve takımlar kullanılarak çok daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilebileceği bu çalışmada tespit edilmiştir. Parametrik değişkenlerin çeşitliliği artırılarak, bu ve benzeri çalışmalarda Ra değerinin imalatta istenilen yüzey tolerans değerlerine gelmesi sağlanabilecektir. İmalat sırasında talaş kaldırma miktarlarını kademeli olarak uygulamak, “süper finiş” olarak da bilinen, daha hassas işleme yüzeyi elde etmeyi sağlar. Bu durum deneylerde yapılan çalışmalar doğrultusunda Mrr değerinin Ra değerine olan etkilerinde gözlenmiştir. Bu çalışmada, kesme stratejilerinin ve kesme hızının Ra değerine etkisinin az olduğu tespit edilmiştir. Bulanık mantık yönteminin güvenilirliğinin ve hassasiyetinin yapılan bu çalışmada çok etkin ve güncel bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda Bulanık mantık algoritması kullanılarak girdi ve çıktı parametrelerinin sayısında artırılabilmesi mümkün olabilir. Bu sayede çok daha doğru ve kesin sonuçlara ulaşmak mümkün olabilir.

Çalışma sonucunda ilerleme miktarı ve kesme derinliği parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne en çok etken parametreler olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Abdelwahab, S. A. (2023). Surface roughness modeling and prediction based on vibration signal analysis and machining parameters in milling of aluminum by artificial neural network. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 104(2), 345-375.
- Acır, A. (2003). Talaş kaldırma işlemlerinde yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin incelenmesi. *Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, 209, 216.
- Akdeniz, E., Bozdemir, M., Yılmaz, M., Gezer, M. K. (2023). AL 7075-T6 Frezeleme operasyonunda kesme parametrelerinin ve takım tutucunun yüzey pürüzlülüğüne ve işleme hassasiyetine etkisinin incelenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(3): 535-543.
- Aktaş, H., Çağman, N. (2006). Generalized product of fuzzy subgroups and t-level subgroups. *Mathematical Communications*, 11(2), 121-128.
- Apet Petrol Madeni Yağlar, Boryağı tipik özellikleri, erişim tarihi 01.09.2024, <https://www.apetpetrol.com/bor-yagi/>
- Apostolou, G., Ntemi, M., Paraschos, S., Gialampoukidis, I., Rizzi, A., Vrochidis, S. ve Kompatsiaris, I. (2024). Novel Framework for Quality Control in Vibration Monitoring of CNC Machining, *Sensors* 24 (1), 307.
- Aran, A. (2007). Manufacturing properties of engineering materials: Lecture notes. ITU, Department of Mechanical Engineering.
- Asiltürk, I., Akkuş, H. (2011). Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method. *Measurement*, 44(9), 1697-1704.
- Aslan, A. (2021). Tornalamada akustik emisyon ve motor akımı optimizasyonu ve analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25): 50-57.
- Ataşımşek, S., (2006). Plastik ve Metal Kalıpcılık Teknikleri. Birsen Yayınevi, İstanbul, 448 s.
- Ateş, S. (2006). Sertleştirilmiş P20 Çeliğinin Kübik Bor Nitrür (CBN) Kesici Takımlarla Yüksek Hızlarda Frezelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, s144.özgen

- Aydemir, E., Bedir, F., Özdemir, G. (2013). Gri sistem teorisi ve uygulamaları: bilimsel yazın taraması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3): 187-200.
- Aygün, A.E., Yılmaz, M., Sönmez, M. (2020). Bilgisayar kontrollü üretim CNC/CAM. TC. Milli Eğitim Bakanlığı Modülü, Ankara s.110.
- Balonji, S., Tartibu, L. K., Okokpujie, I. P. (2023). Prediction Analysis of Surface Roughness of Aluminum Al6061 in End Milling CNC Machine Using Soft Computing Techniques. *Applied Sciences*, 13(7), 4147.
- Bakır, B. (2012). Frezelemede Talaş Oluşumunun Ve Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi. Doktora tezi. Marmara Üniversitesi. Türkiye.
- Baskar, N., Asokan, P., Prabhakaran, G., Saravanan, R. (2005). Optimization of machining parameters for milling operations using non-conventional methods. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25.
- Bayraktar, F., Kara, F. (2020). Investigation of the effect on surface roughness of cryogenic process applied to cutting tool. *International Journal of Analytical, Experimental and Finite Element Analysis*, 7(2), 19-27.
- Bayraktar F. (2021). Kesici Takım ve İş Parçasına Uygulanan Kriyojenik İşlemin Kesme Sıcaklığı, Yüzey Pürüzlülüğü Ve Takım Ömrüne Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi.
- Belgin, Ö. (2019). Hybrid approach in a production line for multi-objective simulation optimization. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(4), 1847-1859.
- Bensouilah, H., Aouici, H., Meddour, I., Yallese, M. A., Mabrouki, T., Girardin, F. (2016). Performance of coated and uncoated mixed ceramic tools in hard turning process. *Measurement*, 82, 1-18.
- Beuer, F., Schweiger, J., Edelhoff, D. (2008). Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *British dental journal*, 204(9): 505-511.
- Bhogal, S. S., Sindhu, C., Dhani, S. S., & Pabla, B. S. (2015). Minimization of surface roughness and tool vibration in CNC milling operation. *Journal of Optimization*, 2015(1), 192030.

- Bouaziz, O., Allain, S., Scott, C. (2008). Effect of grain and twin boundaries on the hardening mechanisms of twinning-induced plasticity steels. *Scripta Materialia*, 58(6), 484-487.
- Chiou, C. J. (2000). Robust computational analysis methods for multiple-axis machining in CAD/CAM/CNC systems. Ph.D., North Carolina State University, 173p., United States
- Chowdary, B. V., Sookhansingh, O. (2024). Tool geometry and machining variables influence on the surface roughness of end-milling process: a comparative study with application of RSM and GA tools and techniques. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 16(1), 1-18.
- Çağman, N. (2006). Bulanık mantık. *Bilim ve Teknik*, 463, 50-51.
- Çiftçi İ., (2005). Kesici takımlar ve kesme teorisi ders notları. Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Ders Notları, Karabük, 3-15.
- Çoğun, C., Özses, B. (2002). Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgâhlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(1).
- Çuvalcıoğlu, A. M. (2012). Bulanık Mantığın Teknolojideki Kullanımları, Dönem Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 55p.
- Dagnal, H. (1986), *Exploring Surface Texture*, Second Edition, Rank Taylor Habson Limited, England.
- Datta, S., Bandyopadhyay, A., & Pal, P. K. (2008). Grey-based Taguchi method for optimization of bead geometry in submerged arc bead-on-plate welding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (39): 1136-1143.
- Drawturk.com (2024). Yüzey İşleme İşaretleri-2, <https://www.drawturk.com/teknik-resim/yuzey-isleme-isaretleri/yuzey-isleme-isaretleri-2>, erişim tarihi 01.07.2024.
- Eldem, A., Eldem, H. Motor Parametrelerinin Tahmininde Bulanık Uzman Sistem Tasarımı. *Recent Advances in Science and Technology*, 95.
- Elder, S. (2021). *The Basics of Surface Finish, Lay, Waviness, and Roughness*.
- Ergün M. (2004), *Sayısal Kontrollü Tezgâhlar ve Programlama Prensipleri*, Mercan Ofset Ambalaj San.Tic., İzmir.

- Esme, U. (2014). Taguchi-based grey relation optimization of machining parameters and cutting path strategies in CNC pocket milling operations. *Materials Testing*, 56(9), 741-747.
- Esme, U., Kulekci, M. K., Ustun, D., Kahraman, F., & Kazancoglu, Y. (2015). Grey-based fuzzy algorithm for the optimization of the ball burnishing process. *Materials Testing*, 57(7-8), 666-673.
- Eser, A., (2020), AA 6082 Alüminyum Alaşımlarında Kesme Parametrelerinin İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Fedai, Y., Kahraman, F., Kirli Akin, H., Basar, G. (2018). Optimization of machining parameters in face milling using multi-objective Taguchi technique. *Tehnički glasnik*, 12(2), 104-108.
- Gadelmawla, E. S., Koura, M. M., Maksoud, T. M., Elewa, I. M., Soliman, H. H. (2002). Roughness parameters. *Journal of materials processing Technology*, 123(1), 133-145.
- Gaither, N., Frazier, G. (2001). *Operations Management with POM Software*. South-Western College Pub.
- Göktay E. (1994), CNC ile İşlemeye Giriş, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara s. 223.
- Göloğlu, C., Arslan, Y. (2009). Zigzag machining surface roughness modelling using evolutionary approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, (20): 203-210.
- Groover, M. P. (2015). *Modern imalatın prensipleri (4th Edition)* . Nobel Yayıncılık.
- Hecker, R. L., Liang, S. Y. (2003). Predictive modeling of surface roughness in grinding. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(8): 755-761.
- Ho, C. Y., & Lin, Z. C. (2003). Analysis and application of grey relation and ANOVA in chemical–mechanical polishing process parameters. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (21): 10-14.
- İlçe, A. C. (2023). Optimization of wood surface roughness in CNC milling by taguchi method. *Developments in the Field of Engineering 2023*, YAZ Yayınları, Editors: Assoc. Prof. Dr. Asaf Tolga Ülgen, Assoc. Prof. Dr. Mehmet Haskul, 177.

- İlkaz, S. (2002). CNC Tornalama İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Bulanık Mantık İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 138s.
- Kalidass, S., Palanisamy, P., & Muthukumaran, V. (2013). Prediction and optimization of surface roughness for end milling operation using artificial neural networks and genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Engineering*, 8(1): 028-037.
- Kayı, Y. (2006). Plastik enjeksiyon prosesindeki parametrelerin çekme problemine etkilerinin taguchi metodu ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 126s.
- Krajnik, P., Kopac, J., Sluga, A. (2005). Design of grinding factors based on response surface methodology. *Journal of Materials Processing Technology*, (162): 629-636.
- Kıma, M. (2011). Silindirik Yüzeylerin Taşlanması Değişik Helis Açılı Taşların Yüzey Pürüzlülüğüne ve Daireselliğe Etkisi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s.
- Kosko, B., Toms, M. (1993). Fuzzy thinking: the new science of fuzzy logic. Vol. 288. New York: Hyperion.
- Kopac, J., Krajnik, (2006). High-performance grinding—a review. *Journal of Materials Processing Technology*, 175(1-3): 278-284.
- Koçak, H. (2011). GGG 90 Küresel Grafitli Dökme Demirin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri Yüzey Pürüzlülüğü Ve Takım Aşınması Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 24-38.
- Kopač, J., Bahor, M., Soković, M. (2002). Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold pre-formed steel workpieces. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42(6): 707-716.
- Kulaç, S., Arslankaya, S. (2024). Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Trafik Kazası Riskinin Değerlendirilmesi. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 7(1): 44-56.
- Kurt, M., Bağcı, E., Kaynak, Y. (2009). Application of taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (40): 458-469.

- Megep (2013). Makine Teknolojisi CNC Freze Tezgâhları, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara, s.103.
- Motorcu, A. R., Güllü, A. (2006). Statistical process control in machining, a case study for machine tool capability and process capability. *Materials & Design*, 27(5), 364-372.
- Nas, E., Samtaş, G., Demir, H. (2012). Mathematically modeling parameters influencing surface roughness in cnc milling. *Pamukkale Univ. Müh. Bilim. Derg.*, 2012; 18(1): 47-59 | DOI: 10.5505/pajes.2012.58077.
- Oğuz, Y. N., Gedikli, M. B., Toktaş, G., Oral, A. (2024), AISI 1040 Çeliğinde yapısal yapışma bağı dayanımının statik ve dinamik zorlama şartları altında incelenmesi. *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26 (1): 203-214.
- Ongun, A., Uzun, İ., & Turgut, O. K. (2017). Investigation of mechanical properties AISI 1040 steel welding with electric arc and MIG, applied various heat treatments.
- Oran, A. (2012), Talaşlı imalat optimizasyonunda metodik yaklaşım ve sektörel bir altı sigma proje uygulaması, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 04-05 Ekim 2012, Ankara, Türkiye.
- Öktem, H. (2009). Kalıp Parçalarının Frezelenmesi Sonucunda Oluşan Yüzey Pürüzlülüğünün Optimizasyonu. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 163:31, Kocaeli.
- Özay Ç., Küçük, Z. (2020). AISI 1040 çeliğinin tornalama-frezeleme ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün genetik algoritma yöntemi ile optimizasyonu. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3): 1081-1091.
- Özcelik, B., & Bayramoğlu, M. (2006). The statistical modeling of surface roughness in high-speed flat end milling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(12-13): 1395-1402.
- Özel, C., Hüseyinoğlu, M. (2009). Çan şekilli bir yüzeyin CNC freze tezgahında imalatı için cam kodlarının matlab programlama ile oluşturulması. *Firat University Journal of Engineering Science*, 21(2).
- Özel, T., Karpat, Y. (2005). Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks. *International journal of machine tools and manufacture*, 45(4-5): 467-479.

- Özgen, C., Şit, M., Göker, Ü. D., Aytaç, A., Işık, M. S., Çanakçı, B., (2018). *Millî Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü, Savunma Bilimleri Dergisi*.
- Özler, L. (2019). AISI 1010 Malzemesinin sürtünmeli delinmesinde optimum parametrelerin gri ilişkisel analiz yöntemiyle belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(2): 535-544.
- Özlu, B. (2022). P20S plastik kalıp çeliğinin frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve teorik yorulma ömrüne etkisi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2): 393-405.
- Öztürk, M. M., (2016), Tornalama İşleminde Kesici Uç Kaplama Çeşidinin İş Parçası Yüzey Kalitesi ve Takım Ömrüne Etkisinin Araştırılması Deneysel Verilerin Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Pandey, R. K., Panda, S. S. (2014). Optimization of bone drilling process with multiple performance characteristics using desirability analysis. *APCBEE procedia*, 9, 48-53.
- Patel, D. R., & Kiran, M. B. (2021). Vision based prediction of surface roughness for end milling. *Materials Today: Proceedings*, 44, 792-796.
- Pekşen, H., & Kalyon, A. (2021). Optimization and measurement of flank wear and surface roughness via Taguchi based grey relational analysis. *Materials and Manufacturing Processes*, 36(16), 1865-1874.
- Rashid, M. A., & Lani, M. A. (2010, June). Surface roughness prediction for CNC milling process using artificial neural network. In *Proceedings of the World Congress on Engineering (Vol. 3, pp. 1-6)*.
- Sarı H. (2008), Frezelemede Takım Geometrisi Ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri, Yüksek lisans tezi, Mühendislik Bilimleri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.
- Sangwan, K. S., Saxena, S., Kant, G. (2015). Optimization of machining parameters to minimize surface roughness using integrated ANN-GA approach. *Procedia Cirp*, 29, 305-310.
- Sarıkaya, M., & Güllü, A. (2014). Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL. *Journal of Cleaner Production*, 65, 604-616.

- Sahoo, P. (2011). Optimization of turning parameters for surface roughness using RSM and GA. *Advances in Production Engineering & Management*, 6(3).
- Schützer, K., Helleno, A. L. (2005). Investigation of Toolpath Interpolation Methods in the High-Speed Manufacture of Molds and Dies. In *AMST'05 Advanced Manufacturing Systems and Technology: Proceedings of the Seventh International Conference* (pp. 165-174). Springer Vienna.
- Serper, Ö. (1986). *Uygulamalı İstatistik 2*, İstanbul: Filiz Kitapevi, s.292.
- Shaikh, M. B. N., Ali, M., Khan, Z. A., & Asjad, M. (2023). An MCDM approach for multi-response optimisation of machining parameters in turning of EN8 steel (AISI-1040) for sustainable manufacturing. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 17(6): 3159-3176.
- Singh, K., Rawat, P., & Raheja, G. (2024). Optimisation and modelling of burr formation during face milling of rolled steel (AISI 1040) using Taguchi approach. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 10(2), 1293-1302.
- Siyambaş, Y., Turgut, Y. (2020). HSLA çeliğinin delinmesinde kesme parametrelerinin çap değişimi ve çapak yüksekliği üzerindeki etkilerinin gri ilişkisel analiz yöntemiyle araştırılması. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 8(2): 320-334.
- Szwajka, K., Zielińska-Szwajka, J., Trzepieciński, T. (2023). The Use of a Radial Basis Function Neural Network and Fuzzy Modelling in the Assessment of Surface Roughness in the MDF Milling Process. *Materials*, 16(15), 5292.
- Şeker, U. (1997). Takım tasarımı ders notları, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 59-102.
- Tammineni, L., & Yedula, H. P. R. (2014). Investigation of influence of milling parameters on surface roughness and flatness. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 6(6), 2416.
- Tekaslan, Ö., Gezer, N., Şeker, U. (2008). CNC torna tezgahında aısı 304 çeliklerin işlenmesinde optimum yüzey pürüzlülüğünü sağlayacak kesme parametrelerinin tespiti. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (016): 97-104.

- Toh, C. K. (2005). Design, evaluation and optimisation of cutter path strategies when high speed machining hardened mould and die materials. *Materials & design*, 26(6), 517-533.
- Turgut, Y., Çakmak (2019) , İ. AISI 1040 çeliğinin frezelenmesinde talaş kırıcı formunun yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisinin araştırılması. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 7(2): 482-494.
- Tzeng, C. J., Lin, Y. H., Yang, Y. K., Jeng, M. C. (2009). Optimization of turning operations with multiple performance characteristics using the Taguchi method and Grey relational analysis. *Journal of materials processing technology*, 209(6): 2753-2759.
- Uğur, L., Öztürk, (2019). B. AISI 1040 çeliğinin tornalaması ile oluşan yüzey pürüzlülüğünün Matematiksel Modellenmesi
- Üstünişik, N. Z. (2007). Türkiyedeki İller ve Bölgeler Bazında Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması: Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ve Uygulaması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Vivancos, J., Luis, C. J., Costa, L., Ortíz, J. A. (2004). Optimal machining parameters selection in high speed milling of hardened steels for injection moulds. *Journal of Materials Processing Technology*, (155): 1505-1512.
- Wang, J., Chen, T., & Kong, D. (2023). Knowledge-based neural network for surface roughness prediction of ball-end milling. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 194, 110282.
- Wu, B. (2012). Manufacturing systems design and analysis. Springer Science & Business Media.
- Yang, Y. K., Chuang, M. T., Lin, S. S. (2009). Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end milling process via design of experiments methods. *Journal of materials processing technology*, 209(9): 4395-4400.
- Yelbey, Ğ., Yelbey, B. (2002). Kalıp Konstrüksiyonu ve Kalıp Yapımı. Irmak Ofset, 28-41.
- Yılmaz, E. (2010). Dış Tornalama İşleminde, Takım Tutucu Malzemesinin ve Sertliklerinin (hrc) Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Gri İlişkisel Analiz Yöntemi İle Belirlenmesi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, s. 126.

Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. Inform Control, 8, 338-353.

Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. Fuzzy sets and systems, 1(1), 3-28.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Ahmet BİRATAR

Öğrenim Durumu: Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
	Talaşlı Üretim Öğrt.	Gazi Üniversitesi	1995-1999

Görevler:

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Teknik Öğretmen	Adana Mesleki Ve Teknik Anadolu Lisesi	1999-2024