



**İNCE CİDARLI AA 5083-H111 PARÇALARIN
FREZELENMESİNDE FORM HATALARINI VE
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜ ETKİLEYEN KESME
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

Uğurcan ÇELİK

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Halil DEMİR
Öğr.Gör.Dr. Barış ÖZLÜ**

**İNCE CİDARLI AA 5083-H111 PARÇALARIN FREZELENMESİNDE
FORM HATALARINI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜ ETKİLEYEN
KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

Uğurcan ÇELİK

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

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Halil DEMİR
Öğr. Gör. Dr. Barış ÖZLÜ**

**KARABÜK
Haziran 2022**

Uğurcan ÇELİK tarafından hazırlanan “İNCE CİDARLI AA 5083-H111 PARÇALARIN FREZELENMESİNDE FORM HATALARINI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜ ETKİLEYEN KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil DEMİR
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Öğr. Gör. Dr. Barış ÖZLÜ
Tez 2. Danışmanı, Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/06/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu) İmzası

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

Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Mehmet BOY (KBÜ)

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Harun YAKA (AÜ)

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



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

Uğurcan ÇELİK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İNCE CİDARLI AA 5083-H111 PARÇALARIN FREZELENMESİNDE FORM HATALARINI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜ ETKİLEYEN KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Uğurcan ÇELİK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Halil Demir

Öğr. Gör. Dr. Barış ÖZLÜ

Haziran 2022, 71 sayfa

Bu çalışmada, serbest formlu yüzeylere sahip AA 5083-H111 parçaların frezelenmesinde cidar kalınlığının, kesme hızının ve ilerleme miktarının form hatalarına ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri deneysel ve istatistiksel incelenmesine odaklanılmıştır. Deneyler kaplamasız yekpare karbür parmak freze ile kuru işleme şartlarında CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Deney tasarımı Taguchi'nin L32 ortogonal dizinine göre hazırlanmıştır. Çalışmada kesme parametresi olarak iki farklı cidar kalınlığı (3mm ve 5mm), dört farklı kesme hızı (80 m/dak, 120 m/dak, 160 m/dak ve 200 m/dak) ve dört farklı ilerleme miktarı (0,05 mm/diş, 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş) seçilmiştir. Form hataları Koordinat Ölçme Cihazı (CMM) ve Lazer Tarama (LS) ile ölçülüp ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Ayrıca iki ölçüm yöntemi arasındaki farklar karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları değerlendirilmesinin ardından

optimum sonuçların belirlenmesi için S/N oranları, kesme parametrelerinin % katkı oranlarının belirlenmesi için ANOVA analizi ve tahmini değerlerin belirlenmesi için regresyon analizi yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, 3 mm cidar kalınlığında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 160 m/dak kesme hızında en iyi yüzey pürüzlülüğü 0,72 μm iken 5 mm cidar kalınlığında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında en iyi yüzey pürüzlülüğü 0,657 μm ölçülmüştür. CMM ölçümlerinde en düşük form hatası 5 mm cidar kalınlığında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 160 m/dak kesme hızında 0,001 mm ölçülürken en yüksek form hatası 3 mm cidar kalınlığında, 0,15 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında 0,036 mm ölçülmüştür. ANOVA analiz sonucuna göre yüzey pürüzlülüğü için en etkin kesme parametresi %57,14 ile ilerleme miktarı olmuştur. Form hatasının koordinat ölçme cihazı ile ölçülmesinde en etkin kesme parametresi %56,18 ile kesme hızı iken lazer tarama için en etkin kesme parametre %68,06 ile ilerleme miktarı olmuştur. Yüzey pürüzlülüğü, koordinat ölçme cihazı ve lazer tarama için elde edilen ikinci derece regresyon analiz sonuçları ile tahmin edilen değerlerin lineer regresyon sonuçlarına göre gerçek değerlere daha yakın olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : AA 5083-H111, Serbest formlu yüzeyler, Yüzey pürüzlülüğü, Form hatası, Koordinat ölçme cihazı, Lazer tarama, Taguchi metodu.

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS AFFECTING FORM ERRORS AND SURFACE ROUGHNESS IN MILLING THIN-WALLED PARTS AA 5083-H111

Uğurcan ÇELİK

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Halil Demir

Öğr. Gör. Dr. Barış ÖZLÜ

June 2022, 69 pages

In this study, the effects of chip thickness, cutting speed and feed rate on form errors and surface roughness in the milling of AA 5083-H111 parts with freeform surfaces are focused on experimentally and statistically. The experiments were carried out in CNC vertical machining center under dry machining conditions with uncoated solid carbide end mill. The experimental design was prepared according to Taguchi's L32 orthogonal array. As cutting parameters in the study, two different wall thicknesses (3 mm and 5 mm), four different cutting speeds (80 m/min, 120 m/min, 160 m/min and 200 m/min) and four different feed rates (0.05 mm/tooth, 0.1 mm/tooth, 0.15 mm/tooth and 0.2 mm/tooth) were selected. Form errors were measured with Coordinate Measuring Device (CMM) and Laser Scanning (LS) and evaluated separately. In addition, the differences between the two measurement methods were compared. After

the evaluation of the experimental results, S/N ratios were used to determine the optimum results, ANOVA analysis was performed to determine the % contribution ratios of the cut parameters, and regression analysis was performed to determine the estimated values. According to the test results, with a wall thickness of 3 mm, a feed rate of 0.05 mm/tooth and a cutting speed of 160 m/min the best surface roughness is 0.72 μm while, 5 mm wall thickness, 0.05 mm/tooth feed and 200 m/min cutting speed the best surface roughness was measured as 0.657 μm . In CMM measurements, the lowest form error is measured at 5 mm wall thickness, 0.05 mm/tooth feed and 0.001 mm at a cutting speed of 160 m/min while, the highest form error was measured at 3 mm wall thickness, 0.15 mm/tooth feed and 0.036 mm at a cutting speed of 200 m/min. According to the ANOVA analysis result, the cutting parameter for the surface roughness was the feed rate with 57.14%. The most effective cutting parameter in measuring the form error with the coordinate measuring device is the cutting speed with 56.18% while, the most effective cutting parameter for laser scanning was the feed rate with 68.06%. It has been observed that the values estimated by the second-order regression analysis results obtained for the surface roughness, coordinate measuring device and laser scanning are closer to the actual values than the linear regression results.

Key Word : AA 5083-H111, Freeform surfaces, Surface roughness, Form error, Coordinate measuring, Laser scanning, Taguchi method.

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmasının araştırılmasında, planlanmasında, hazırlanışında ve yürütülmesinde bilgi ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, yüksek deneyim ve bilgilerinden faydalandığım, talimatlarıyla çalışmalarımı akademik temeller doğrultusunda şekillendiren danışmanlarım Prof. Dr. Halil DEMİR ve Öğr. Gör. Dr. Barış ÖZLÜ'ye sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında gerekli maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bünyesinde bulunan ekipmanları kullanmama izin veren PLASCAM A.Ş yönetimine ayrıca teşekkür ederim.

Deney numunelerini tasarımında yardımlarını esirgemeyen Yunus Emre İYİDEN, deney numunelerinin işlenmesinde yardımlarını esirgemeyen Orhan KARATEPE, deney numunelerinin yüzey pürüzlülüğü ölçümünde yardımlarını esirgemeyen Mustafa ILGAZ, deney numunelerinin CMM ölçümünde yardımlarını esirgemeyen İsmail KONYALI ve deney numunelerinin lazer taramasında yardımlarını esirgemeyen Umut AKTAŞ'a en içten duygularınla teşekkür ederim.

Tez çalışmam esnasında her zaman yanımda olan babam Murat ÇELİK, yakın zamanda kaybettiğim annem Sabriye ÇELİK, kardeşim Erdem ÇELİK, eşim Seda ÇELİK, kızım Eva ÇELİK ve yeni doğan oğlum Timur ÇELİK'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
SERBEST FORMLU YÜZEYLERİN İMALATI.....	3
2.1. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.2. TEMEL KAVRAMLAR.....	7
2.2.1. İşlenebilirlik.....	7
2.2.2. İşleme Parametleri	8
2.2.2.1. Kesme Hızı.....	8
2.2.2.2. İlerleme Hızı	9
2.2.2.3. Talaş Derinliği.....	10
2.2.3. İşleme Stratejileri.....	10
2.2.4. Takım Yolu Seçimi.....	11
2.2.5. Frezelemede Kesme Kuvveti.....	12
BÖLÜM 3	15
FORM HATALARI.....	15
3.1. YÜZEY TAMLIĞI VE DOĞRULUĞU	15
3.2. YÜZEY HATA KAYNAKLARI.....	16

3.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	17
3.3.1. Yüzey Ortalama (Ort.) Pürüzlülüğü (Ra)	17
3.3.2. Yüzey Pürüzlülük En Yüksek Değeri (Rt)	18
3.3.3. Karesel Ortalamanın Pürüzlülük Karekök Değeri (Rq).....	18
3.3.4. Ortalama Yüzey Pürüzlülük Yüksekliği (Rz).....	19
3.4.5. Yüzey Pürüzlülük Birimi ve Kalite Derecesi	19
3.4.6. Yüzey Pürüzlülüğe Etki Eden Faktörler	20
BÖLÜM 4	22
ÖLÇME VE ÜRETİM	22
4.1. ÖLÇME TEKNİĞİ.....	22
4.2. ÖLÇÜM METODU VE ÜRETİM İLİŞKİSİ.....	23
4.3. KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZI (CMM).....	24
4.4. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZI ÇEŞİTLERİ.....	24
4.4.1. Köprü Tipi CMM Cihazı	25
4.4.2. Dört Kolonlu Tip CMM Cihazı	25
4.4.3. Dirsek Tip CMM Cihazı.....	26
4.4.4. Yatay Kol Tip CMM Cihazı.....	27
4.5. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZI AVANTAJLARI	27
4.6. ÜÇ BOYUTLU TARAMA CİHAZI	28
4.7. 3B TARAMA CİHAZI ÇEŞİTLERİ	28
4.7.1. 3B Optik Tarama Cihazı.....	30
4.7.2. 3B Lazer Tarama Cihazı.....	31
4.8. 3B TARAMA CİHAZLARININ AVANTAJLARI.....	32
BÖLÜM 5	33
MALZEME VE METOD	33
5.1. KULLANILAN MALZEME	33
5.2. NUMUNELERİN TASARIMI VE KULLANILAN TAKIM YOLU.....	33
5.3. CNC FREZE TEZGÂHI	34
5.4. KESİCİ TAKIM	35
5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜMÜ	35
5.4. FORM HATALARININ CMM İLE ÖLÇÜLMESİ	36

	<u>Sayfa</u>
5.5. FORM HATALARININ LAZER TARAMAYLA ÖLÇÜLMESİ.....	38
5.6. DENEY TASARIMI	39
BÖLÜM 6	40
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	40
6.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	40
6.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ İÇİN CİDAR KALINLIĞI VE KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU	44
6.2.1. S/N Oranlarının Analizi.....	44
6.2.2. Varyans Analizi (ANOVA)	46
6.2.3. Regresyon Analizi	47
6.3. CMM VE LT ÖLÇÜM SONUÇLARI İÇİN FORM HATASININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	49
6.4. FORM HATASI İÇİN CİDAR KALINLIĞI VE KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU	55
6.4.1. S/N Oranlarının Analizi.....	56
6.4.2. Varyans Analizi (ANOVA)	59
6.4.3. Regresyon Analizi	59
BÖLÜM 7	62
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
7.1. SONUÇLAR	62
7.2. ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Deneysel çalışmanın şeması.....	5
Şekil 2.2. Talaşlı imalatta işlenebilirliğe etki eden faktörler.....	8
Şekil 2.3. Araştırmalarda kullanılan takım yolu tarzları	12
Şekil 2.4. Frezeleme işleminde kesme kuvveti yönleri.	13
Şekil 2.5. Frezelemede kesici uçtaki kesme kuvveti bileşenleri	13
Şekil 3.1. Yüzey hatası ve sapma	15
Şekil 3.2. Yüzey hatası sebepleri.....	17
Şekil 3.3. Yüzey pürüzlülük ortalama değeri Ra	18
Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülük en büyük değeri Rt	18
Şekil 3.5. Ortalama yüzey pürüzlülük yüksekliği Rz	19
Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülük derece numaraları	20
Şekil 4.1. Köprü Tip CMM cihazı.....	25
Şekil 4. 2. Dört kolonlu tip CMM cihazı.....	26
Şekil 4.3. Hexagon dirsek tip CMM cihazı	26
Şekil 4.4. DEA yatay kol tip CMM cihazı	27
Şekil 4.5. 3B Optik tarama cihazı.....	30
Şekil 4.6. 3B Lazer tarama cihazı.....	31
Şekil 5.1. İşleme deneylerinde kullanılacak olan iş parçasının tasarımı.....	33
Şekil 5.2. Deneyde kullanılan takım yolu.....	34
Şekil 5.3. DMG MORI Ecomil 70 5 eksen CNC işleme merkezi.....	34
Şekil 5.4 Kesici takım geometrisi.....	35
Şekil 5.5. Mitutoyo Surface SJ-210 yüzey pürüzlülük cihazı.	35
Şekil 5.6. DEA GLOBAL CMM cihazı.	36
Şekil 5.7. Ölçümü yapılan iş parçası.	37
Şekil 5.8. FARO Quantum m lazer tarama cihazı.	38
Şekil 5.9. Ölçümü yapılan iş parçası.	39
Şekil 6.1. 3 mm cidar kalınlığında kesme hızına ve ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	41

Şekil 6.2. 5 mm cidar kalınlığında kesme hızına ve ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	42
Şekil 6.3. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 3 mm ve 5 mm cidar kalınlığında yüzey pürüzlülük değişimi.	43
Şekil 6.4. Yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin S/N oranları ana etki grafiği.	46
Şekil 6.5. Yüzey pürüzlülüğü için ölçülen değerler ile lineer regresyon modeli ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.....	48
Şekil 6.6. Yüzey pürüzlülüğü için ölçülen değerler ile ikinci regresyon modeli ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.....	49
Şekil 6.7. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 3 mm cidar kalınlığı için CMM ölçümünde elde edilen form hatası.	50
Şekil 6.8. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 5 mm cidar kalınlığı için CMM ölçümünde elde edilen form hatası.	51
Şekil 6.9. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 3 mm cidar kalınlığı için LT ölçümünde elde edilen form hatası	52
Şekil 6.10. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 5 mm cidar kalınlığı için LT ölçümünde elde edilen form hatası	53
Şekil 6.11. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 3 mm cidar kalınlığında CMM ve LT ölçümü için form hatası farkı.	54
Şekil 6.12. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 5 mm cidar kalınlığında CMM ve LT ölçümü için form hatası farkı.	55
Şekil 6.13. Form hatası için kesme parametrelerinin S/N oranları ana etki grafiği. a) CMM ölçümü, b) LT ölçümü.....	58
Şekil 6.14. CMM ve LT form hataları için ölçülen değerler ile lineer regresyon modeli ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.....	60
Şekil 6.15. CMM ve LT form hataları için ölçülen değerler ile ikinci regresyon modeli ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.....	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 5.1. AA 5083-H111 kimyasal bileşimi.	33
Çizelge 5.2 Kesici takım bilgileri.	35
Çizelge 5.3. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri.	36
Çizelge 5.4. CMM cihazı teknik özellikleri.	37
Çizelge 5.5. Lazer tarama cihazı teknik özellikleri.	38
Çizelge 5.6. Kesme parametreleri ve seviyeleri.	39
Çizelge 6.1. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ve S/N oranları.	45
Çizelge 6.2. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu.	46
Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.	47
Çizelge 6.4. CMM ve LT için form hatası ve S/N oranları.	57
Çizelge 6.5. CMM ve LT için form hatası S/N yanıt tablosu.	58
Çizelge 6.6. CMM ve LT’da form hatası için ANOVA tablosu.	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: alüminyum
Cu	: bakır
Cr	: krom
He	: helyum
Si	: silisyum
Mn	: manganez
Mg	: magnezyum
mm	: milimetre
µm	: mikrometre
S/N	: sinyal gürültü oranı
m	: metre
dak	: dakika

KISALTMALAR

AA	: Alüminyum Alaşımı
3B	: 3 Boyutlu
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
CMM	: Coordinate Measuring Macnines (Koordinat Ölçme Cihazı)
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM	: Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Tasarım)
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
BDİ	: Bilgisayar Destekli İmalat
3D	: Three Dimension (3 Boyutlu)
Al	: Alüminyum
LT	: Lazer Tarama

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde imalat sektöründe, özellikle havacılık ve uzay sanayisinde, medikal cihazların üretiminde, otomotiv sektöründe ve hassas makine parçalarının imalatında ince cidarlı ve farklı formlara sahip yüzeyler yaygın olarak bulunmaktadır.

İmalat sektöründe ince cidarlı ve farklı formlara sahip yüzeylerin işlenmesi hem zor hem de maliyetli bir işlemdir. İşlenen yüzeyin duvar kalınlığının ince olması ve farklı formlarda yüzeylere sahip olması bu parçaların üç eksenli CNC tezgahlarında işlenmesini imkansız kılmaktadır. Bunun için bu parçalar yüksek hassasiyete ve yüksek işleme hızlarına sahip beş eksenli CNC tezgahlarında işlenmesi gerekmektedir. Buda parça maliyetlerinin de büyük olmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu parçaların işlenmesinde düşük yüzey pürüzlülüğü, hassas konumlama ve işleme toleransların istenmesi imalatı daha zor hale getirmektedir. Bu kriterlerin hepsinin bir araya gelmesi parça maliyetinin artırmaktadır. Bunun için parça maliyetinin daha fazla artmaması için parça işleme sırasında hatalı parça sayısını minimuma indirmek için uygun işleme parametrelerinin seçilmesi gerekmektedir.

Düşük maliyetli ve arzu edilen geometrideki parçaların verimliliğini arttırmak ve pürüzsüz yüzeyler elde etmek için yüzey pürüzlülüğüne ve form hatalarını neden olan kesme parametrelerini optimizasyonu yapılacaktır. Böylelikle işleme sırasında kesme parametrelerine bağlı meydana gelebilecek kusurları en az seviyeye indirmesi hedeflenmiştir.

Taguchi metodu, imalat maliyetlerini düşürme hususunda imalat miktarını arttıran ve zamandan azaltma sağlayan bir sorun çözme aracıdır. Bundan dolayı imalat verimliliği sağlamamıza yardımcı olmaktadır [1]. Bu metod, üretimde maliyeti düşürerek zamandan azaltma sağlayan, verimliliği uygun düzeye çıkarmak için en etkin

değişkenler seçilerek analitik ve deneysel görüşleri birleştirir [2]. Bunu elde etmek için Taguchi metodu, bütün prosesi içerisine alarak ve deney sayısını azaltarak en elverişli metodu yakalamak için özel ortogonal serilerden faydalanır [3].

Seri imalatın esas unsuru az maliyetle ve en az zamanda yüksek kaliteli ürünler imal etmektir [4]. Otomasyon ve üretim sistemleri bu hedef için kullanılabilir [5]. Hem az zamanda ve düşük maliyetle imalat yapılırken yüksek yüzey kalitesi yakalayabilmek için bilgisayar kontrollü (CNC) tezgahlar kullanılmaktadır [6].

Talaşlı üretimde kesme değişkenleri ve işleme metodunun doğru saptanması üretim zamanını, maliyetini ve işlenen yüzeyin biçimini bayağı etkilemektedir. Serbest şekilli biçime sahip yüzeylerin işlenmesiyle ilgili farklı örnekler kaynaklarda bulunmaktadır. Yinede serbest şekilli yüzeylerin işlenmesiyle ilgili çalışmaların birbirlerinden ayırt etmek oldukça güçtür [7].

İşlenen parçaların doğruluğunu ölçme için hassas ölçüm cihazları gereklidir. Parçanın ölçümün sağlamak için 3 boyutlu ölçme cihazları olan CMM ve 3 boyutlu tarama cihazı kullanılmalıdır. Bu cihazların ölçme toleransları sayesinde parçaların boyutsal doğruluğu görebiliriz.

BÖLÜM 2

SERBEST FORMLU YÜZEYLERİN İMALATI

2.1. LİTERATÜR TARAMASI

Havacılık, uzay, otomotiv, kalıp ve medikal cihazlar gibi endüstriyel sektörde üretimi yapılan çeşitli parçalar genellikle serbest biçimli kompleks yüzeyler içerir. Kompleks geometriye sahip parçaların üretiminde hem amaçlanan yüzey kalitelerini yakalamak hem de yüksek üretim verimliliği sağlamak için elverişli kesme şartlarının tayin etmek çok önemli ve aynı zamanda da güç bir yoldur [8]. Bazı parçalarda ölçü doğruluğu önemli olduğu için üretim sıkı toleranslar kapsamında olması gerekir. Kesici takımların neden olduğu kusurlardan birçoğu takımda meydana gelmiş titreşim ve aşınmadır. Ancak bununla birlikte takım sehiminden oluşan kusurlar imatlatta göz ardı edilebilmektedir. Takımın sehiminden ortaya çıkan kusurları belirlemek için işleme yöntemi, malzeme bilgisi, kesici takım ölçüleri ve yüzeyin şekli bilinmelidir. O zaman takım sehiminden ortaya çıkan kusuru enaza inebilecektir [9].

Kim ve arkadaşları küresel parmak freze ile yapılan işlemede iş parçasında şekil kusurları ve uygun kesici açısını belirlenmesini araştırmışlardır. Farklı kesme parametrelerde ve kesme stratejilerde açılı yüzeyleri işleyerek şekil kusurları ve uygun kesici açısını belirlenmesi için kesme kuvvetlerini ve takım sehimini ölçerek en iyi sonuçları ortaya koymuşlardır [10].

Kurt ve Bağcı, kompleks yüzeylerin işlenmesinde ilerleme hızının optimizasyonu ve tasarlanması üstünde çalışmışlardır. Bu çalışmada, üç eksenli frezeleme işlemleri için CAD/CAM ticari yazılımı ile uyumlu çalışan bir ilerleme optimizasyon sistemi geliştirmeye çalışmışlardır [11].

Form hataları esas olarak kesme kuvvetlerinden etkilenir. Talaş oluşumunun belirlenmesi, kesme kuvvetlerinin mekanik modellemesinde ilk adımdır. Martelotti'nin çalışması, takımın iş parçasına doğru kombine dönüşü ve ötelenmesi nedeniyle takım dişinin yolunun dairesel değil trokoidal olduğunu göstermiştir. Martelotti ayrıca diş başına ilerleme takım yarıçapından çok daha küçük olduğunda, dairesel takım yolu varsayımının geçerli olduğunu ve hatanın ihmal edilebilir olduğunu belirlemiştir [12].

Dişbudak, yapmış olduğu çalışmada AA7075 farklı kesme parametrelerinde üniversal torna ve freze tezgahında işlemiştir. Yüzey pürüzlülüğünü ilerleme hızı ve kesme derinliğinin artırılmasıyla arttığı fakat kesme hızının artırılmasıyla azaldığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünde en etkili parametre ilerleme hızı olmuştur. Bunu sırasıyla kesme hızı ve kesme derinliği takip etmiştir. Son olarak kesici takıma yapışan alüminyumun ilerleme hızındaki artışla bağlı olarak arttığı görülmüştür [13].

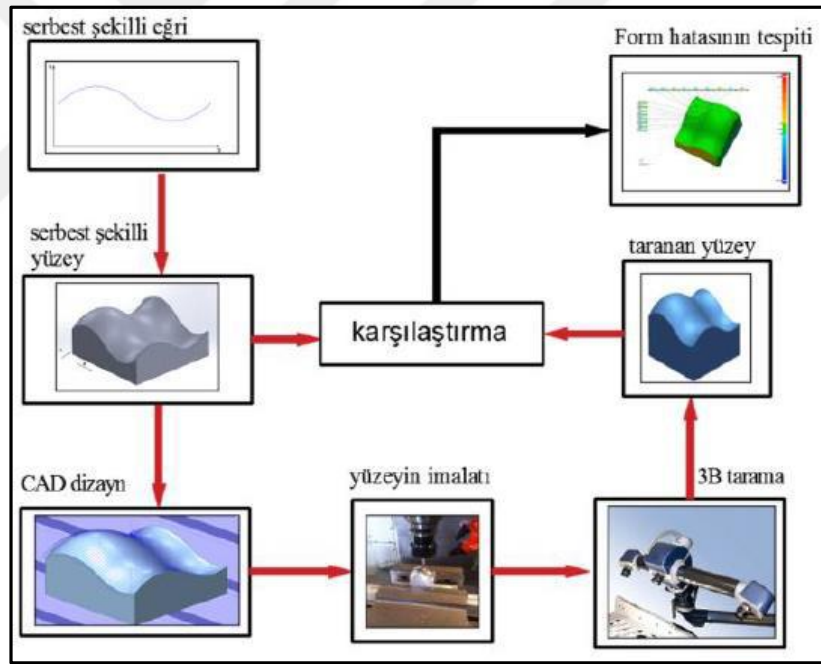
Ersoyoğlu ve arkadaşları, yaptığı çalışmada farklı takım yollarını kullanarak en optimize ve en uygun maliyetle serbest şekilli yüzeylerin işlenmesini araştırmıştır. Bu sayede kaba boşaltma işlemi için en uygun takım yolunu bulmayı amaçlamıştır [14].

Pınarbaşı, AA7075 malzemesini Taguchi metodu ile en uygun parametleri seçerek yüzey pürüzlülüğünü ve kesme enerjisini araştırmıştır. Yapılan işlemlerde devir, ilerleme hızı ve talaş derinliği gibi parametler değiştirilerek parçaları işlemiştir. Bu işlemler sonucunda parçaların üzerindeki yüzey pürüzlülüğü ve kesme enerjisinin değerlerini ölçülmüştür [15].

Gündüz, serbest şekilli yüzeylerin oluşturulmasında B-Spline eğrisinden yararlanmıştır. B-Spline eğrisinin oluşturulmasında temel B-Spline denklemlerini MATLAB ortamında oluşturulan program ile hesaplamıştır. Oluşturulan yüzeyler farklı düz ve küresel uçlu frezelerle işlemiştir. TEM cihazında ise takım aşınmalarına belirlemiştir. Form hatalarının ölçümünü 3B tarama cihazında yaparak değerleri ölçmüştür [16].

Ikua ve arkadaşları meyilli yüzeylerin küresel parmak freze ile işlenmesinde işleme kusurları ve kesme kuvvetlerinin değerlendirmek üzere teorik incelemeler yapmışlardır. Kesme kenarlarının trochoidal takım yolları talaş geometrisini yorumlamak için üzerinde durmuşlardır. Çalışmada ortaya çıkan sonuç frezelenen iş parçasının eğiklik açısı yükseldikçe kesme kuvvetlerini etkileyen işleme kusurlarının ortaya çıktığını bildirmişlerdir [17].

Özdemir ve arkadaşları yaptığı çalışmada B-spline eğrisini MATLAB programını kullanarak tensörel çarpımayla yüzey oluşturmuştur. Serbest şekilli forma sahip bu yüzey BDT ortamında katı hale getirildi. BDİ programından yararlanarak takım yolları oluşturdu. Oluşturduğu yüzeyi kaba, ara kaba ve ince olarak işledi. İşlediği numuneleri 3B tarayıcı ortamında tarayarak yüzey haritalarını çıkardılar (Şekil 2.1) [18].



Şekil 2.1. Deneysel çalışmanın şeması [18].

Bağcı, serbest biçimli yüzeylerin işlenmesinde akustik ses basıncı kullanılarak kesme koşullarının optimizasyonuna odaklanmıştır. Bu nedenle, ses basınç seviyesinin, kompleks yüzeylerin frezelenme operasyonlarında ilerleme değerlerinin varyasyonu ve işleme koşullarının etkilerinin gözlemlenmesi için elverişli ve yararlı bir yöntem olduğunu belirlemiştir [19].

Bektaş, krojenik işlem uygulanmış AA6061 kesme derinliğini sabit tutup, 3 farklı kesme hızı ve ilerleme hızı kullanarak bir deney düzeneği kurmuştur. Deneyler sonucunda kesme parametrelerinin kesme sıcaklığına, yüzey pürüzlülüğüne ve kesici takımında oluşan aşınmayı incelemiştir [20].

Durmuş, yaptığı çalışmada 3 farklı çapta düz karbür parmak freze ile küresel uçlu yüksek hız çeliği parmak frezeler kullanmıştır. Gerçekleştirilen deney sonucunda frezelerin uç profili ve çaplarına bağlı olarak yığıntı talaş meydana geldiği, çapındaki düz uçlu karbür parmak frezelerle gerçekleştirilen işlemlerde yüzey pürüzlülük değerlerinin $R_a = 0.791$ ile 1.527 arasında olduğu ve küresel uçlu yüksek hız çeliği parmak frezelerle gerçekleştirilen işlemlerde ise yüzey pürüzlülüklerinin $R_a = 0.236$ ile $0.358\mu m$ arasında gerçekleştirildiği gözlemiştir [21].

Şah, SAE 4140 malzemesini Taguchi metodu ile sabit talaş derinliği farklı devir ve ilerleme hızlarını kullanarak CNC frezede işlemiştir. Bu işlemler sonucunda kullanılan işleme parametreleri ile en düşük yüzey pürüzlülüğü ve harcanan en az enerji miktarını bulmaya çalışmıştır. [22].

Yaka ve arkadaşları, küresel uçlu parmak freze ile farklı ilerleme hızı, kesme hızı ve yanal ilerleme kullanarak yaptığı çalışmada 4 farklı takım yolu kullanarak Taguchi L16 ortogonal diziniyle deneyleri tasarlayarak işlemiştir. Bu çalışma sonucunda yüzey pürüzlülüğünü ölçmüştür. Form hatalarını ölçmek içinse 3B optik tarama cihazı kullanmıştır.[23].

Aktaş, AA 6082 üretiminde devir sayısı ve ilerlemenin yüzey form hatasına etkisini araştırmıştır. Form hatlarının belirlemek amacıyla 3B tarama cihazı kullanılmıştır. İlerleme hızı artıkça form hatalarının arttığı görülmüştür [24].

Bakır, frezelemede talaş oluşturma ve geometrisinin yüzey pürüzlülüğü üzerine nedenlerinin araştırmasını yaparken farklı takımlar kullanmıştır. Deney parametreleri ise Taguchi Deney tasarımı L36 Ortogonal dizine göre kesme şartlarına göre kesme hızı, diş başı ilerleme ve kesme derinliği belirlenmiştir. Bu parametrelere göre işlenen deney numunesinde yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür [25].

2.2. TEMEL KAVRAMLAR

2.2.1. İşlenebilirlik

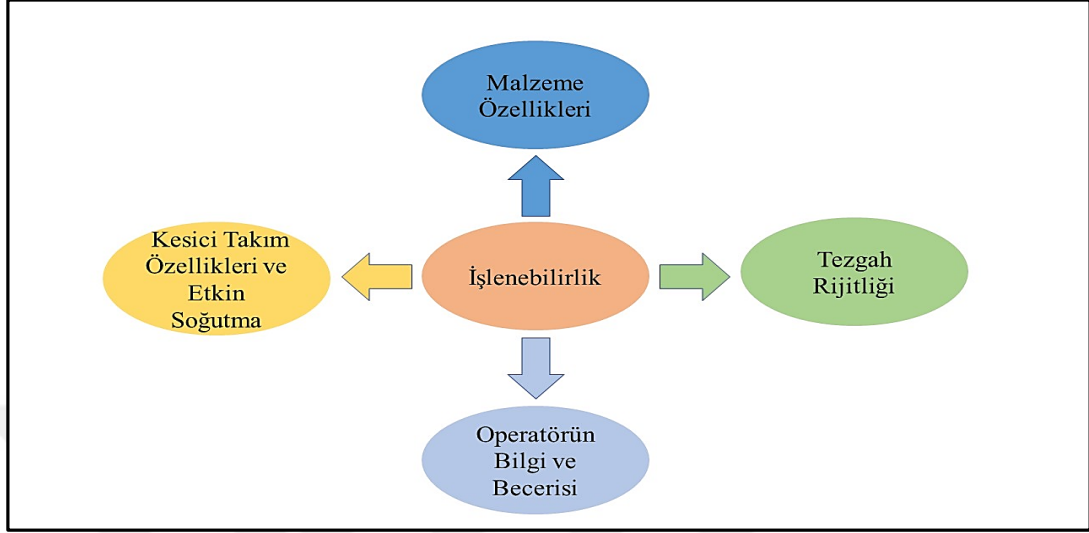
Talaşlı üretimde düzeltilmeye çabalanan bir konuda işlenebilirliktir. Üretimcilerin hemen hemen hepsi imal edeceği ürünü hızlı, ucuz ve kaliteli imal edebilmenin çözümünü aramaktadır. İşlenebilirliğin mutlak tarifi bulunmamasıyla beraber, araştırmalarda birkaç tane tarifi yapılmıştır. Tarifleri özetlersek, üretimi yapılacak parçanın üzerinden talaş kesilmesi olan yatkınlığıdır. Bir işlenebilirlik operasyonunda değişken olacak parametreler;

- Takım ömrü,
- Kesme hızı,
- Kesme kuvveti,
- Yüzey pürüzlülüğü,
- Kesici takım geometrisi,
- İşleme yöntemi,
- Talaş şeklidir [26,27].

Ürünlerin işlenebilirliklerine etki eden nitelikler kimyasal yapıları, mikroyapı nitelikleri, sertlik, akma ve çekme dirençleri, ısıl nitelik, tanecikler birbileri içinde ilgi nitelikleri ve elastik modülüdür. Malzemelerin düşük sertlik ve muvakalet nitelikleri yaygın olarak işlenebilirlik manasına gelmekle birlikte sertliği düşük olan fazla sünek malzemelerde kesme işlemi yapan kesici takımda yığıntı talaş oluşumu ortaya çıkar. Bu tür malzemelerin işlenmesinde yüzey kalitesi azalır, takım ömrü azalır ve işlenebilirlik düşer. Ürünlerin yüksek ısıl iletkenlik nitelikleri nedeniyle, operasyon sırasında oluşan ısının kolaylıkla gönderilmesi sağlanacağından dolayı imal edilenlerin ürünlerin işlenebilirliğine pozitif yönde etkiler.

Yenilikçi imalat operasyonlarının amacı kesici takım kullanımını arttırmak, finansal harcamaları en aza indirmektir. Denenen testleri önceliği bu amaca varmak için yapılmakta ve işlenebilirlik denemeleri ile dertsiz açıklanmaya çabalananmaktadır. Karşılaşılan bu deneme testleri; üretimi yapılacak parçanın malzemelerini,

kullanılacak kesici takımları ve onların özelliklerini içerir. Şekil 2.2’de işlenebilirliğe etki eden faktörler gösterilmiştir [26].



Şekil 2.2. Talaşlı imalatta işlenebilirliğe etki eden faktörler [26].

2.2.2. İşleme Parametleri

Talaş kesme operasyonlarında genel olarak temel işleme parametreleri; Kesme hızı (V_c) (m/dak), iş mili devri n (dev/dak), kesici takım ilerleme hızı (V_f) (mm/dak), talaş derinliği ap (mm), kesici takımın çapı D (mm), kesici ağız başına ilerleme f_z (mm/diş), kesici ağız sayısı Z (ağız) ve kesici yanal adımıdır (fp).

2.2.2.1. Kesme Hızı

Kesici takımın bir dakikada iş parçası üzerinde metre cinsinden katettiği yola kesme hızı denir. Başka bir deyişle iş parçası üzerinden kesici takımın bir dakikada kaldırdığı talaşın lineer uzunluğudur.

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot d} \quad (2.1)$$

Kesme Hızına Etki Eden Faktörler

- İşlenecek malzemenin cinsi
- Kesici takım malzemesi
- İş parçasının bağlama şekli
- Çalışılacak tezgahın gücü
- Talaş derinliği
- İşleme stratejisini çeşidi
- Kesici malzemenin ilerleme miktarı

2.2.2.2. İlerleme Hızı

İlerleme, kesici takımın iş parçası üzerinde doğrusal olarak bir dakikada mm cinsinden aldığı yolun uzunluğudur. Genel olarak ilerleme hızının hesaplamasında Eşitlik 2.2’de ferilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$V_f = n \cdot f_z \cdot Z \quad (2.2)$$

Eşitlik 2.2’deki ilerleme hızı (V_f) (mm/dak), kesici ağız başına ilerleme f_z (mm/diş), iş mili devri n (dev/dak), kesici ağız sayısı Z (ağız) dır.

İlerleme Hızına Etki Eden Faktörler

- Talaş derinliği
- Talaş kaldırma işleminin türü
- Elde edilecek yüzeyin kalitesi (yüzey pürüzlülüğü)
- Kullanılan kesme sıvısı

2.2.2.3. Talaş Derinliği

Talaş derinliği kesici takımın iş parçası üzerinden bir geçişte kaldırdığı malzemedir. Ap (*ap*) ile ifade edilir. Birimi mm'dir. Talaşlı imalatta talaş derinliğindeki değişim işleme kabiliyetini etkilemektedir. Talaşlı imalat işleminde kesme derinliğinin artırılması birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına neden olmaktadır. Buda takım üzerindeki ısı ve mekanik yüklerin artmasına neden olmaktadır.

2.2.3. İşleme Stratejileri

İş parçasından talaş kaldırarak biçim verme işlemi ile imal edilecek parçanın formsal ve ölçüsel bütünlüğüyle beraber, en iyi yüzey kalitesi ve imalat ekonomisi hedeflemektedir. Talaş üretim sırasında görülen sıkıntılardan biriside kesme işlemi uygulanırken oluşan talaşların, takım talaş ara yüzünden kontrollü bir biçimde ayrılmasıdır. Bu yüzden işleme stratejisinin en doğru şekilde belirlenmesi çok büyük önem taşımaktadır. Çünkü talaş kaldırma işlemi diğer imalat yöntemlerinden farklı olarak ısı, mekanik, kimyasal ve aşınma unsurları ile karşılaşmaktadır [28].

Bununla birlikte yüzeylerin işlenmesinde işleme hareketlerinden dolayı takım kırılması, esnemesi ve benzeri takım problemlerinin en stabil duruma getirilmesi yüksek üretim verimliliği için en doğru kesme parametrelerinin saptanması çok önemlidir. İmalat sektöründe güvenli çalışmak için düşük takım ilerleme hızları ve işleme hareketlerine aldırılmadan talaş kesme işlemi yapılmaya çalışılmaktadır. İlerleme hızları ve işleme hareketleri imalat süresini yükselterek üretim maliyetlere etkilemektedir. Ancak üretim maliyeti en uygun seviyeye getirmek için yüksek ilerleme ve diğer kesme parametre değerleri ile işlem yapıldığında yüksek kesme kuvvetleri, kesici takım sehimleri ve yüzey kusurları üretimi yapılan parçada geometrik sıkıntılar göstermektedir. Takım yolu hareketlerinin sonuçları birden fazla araştırmada araştırılmıştır. Kesici takımın en uzun süre kullanılması açısından tek yön, kaydırma ve ızgara takım yolu hareketleri değerlendirildiğinde yüksek talaş derinlikleri için en eksiksiz takım yolu hareketi ızgara takım yolu hareketidir. Yüzey

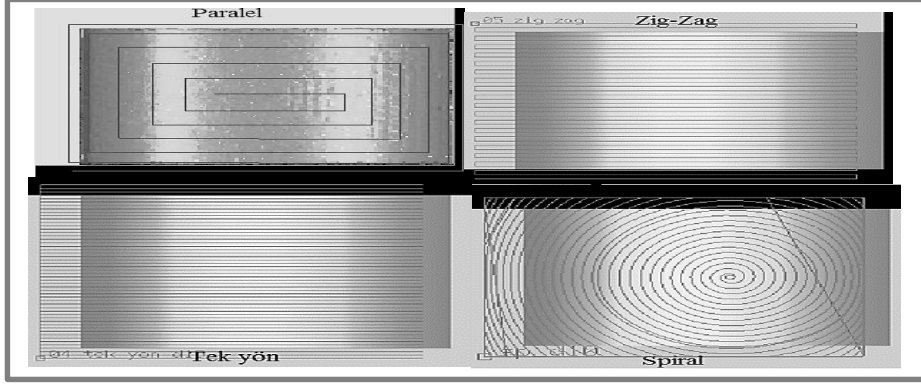
pürüzlülüğü bakımından takım yolu hareketleri değerlendirildiğinde ise ilgili parametrelerde spiral takım yolunun hareketinin en eksiksiz olduğu belirtilmiştir [29].

İşleme süresi yüksek hızlı işleme süreçlerinde takım yolu hareketleri için büyük bir konudur. İşleme süresi açısından takım yolu hareketleri yorumlandığında yüksek ilerleme işlemlerinde zig-zag takım yolunun istenilen sonuçlar verdiği görülmüştür [30].

Takım yollarının optimizasyonu ilişkin araştırmalarda üretim yapılırken oluşan negatif etkileri en stabil seviyeye düşürmek için kesme işlemi yapan takımın hareket ettiği eğriler, kesme kuvvetleri ve işleme parametreleri örnek alınarak düzeltmeler yapılmıştır [31,32].

2.2.4. Takım Yolu Seçimi

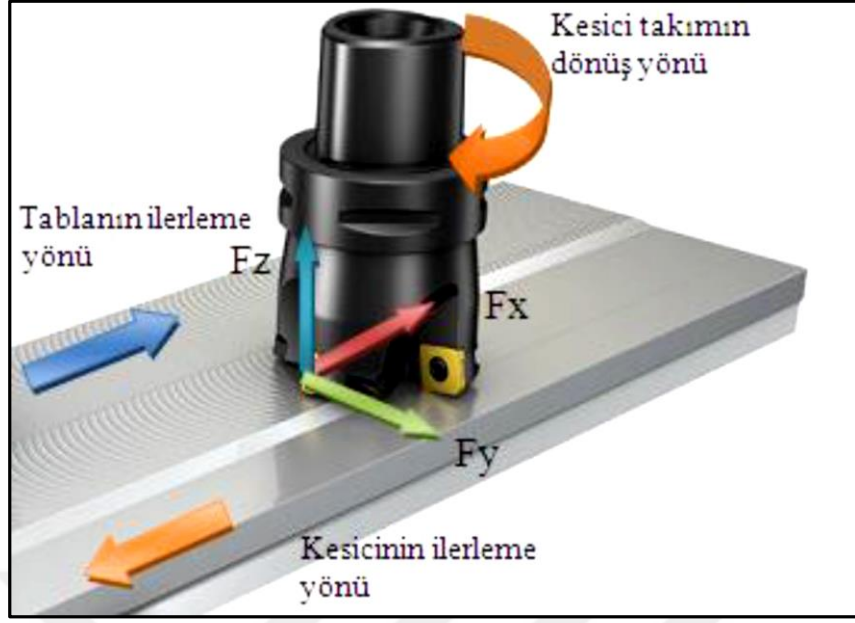
İmalatı yapılacak iş parçasının takım yolu seçimi imalat zamanını, yüzey kalitesini ve üretim maliyetini etkilemektedir. Bunun için genel olarak CNC dik işleme merkezinde zig-zag, tek yön, spiral ve paralel gibi takım yolları kullanılmaktadır. Zig-zag takım yolu işleme yönteminde takım hareketinin X-Y düzlemine göre zig-zag olacak şekilde bir pozisyonlamasıyla kesme işlemi yapmaktadır. Tek yön takım yolu işleme yönteminde takım, serbest şekilli yüzeyi birbirine benzer olacak şekilde çizgiler halinde paralel şekilde işlemektedir. Bu işleme yönteminde yalnızca sabit kademelerle kesme işlemi gerçekleştirmektedir. Spiral takım yolu işleme yönteminde ise, işlenen parçanın tam orta noktasından dışa noktalara doğru ve/veya dışındaki sınırlara merkeze göre yay şeklinde bir işleme hareketi yaparak kesme yapmaktadır. Paralel takım yolu işleme yönteminde, kontur işleme olarakta bilinmektedir. Takım işlenen parçanın iç yüzeyinden dışına doğru yada dış yüzeyinden içine doğru dikdörtgen şekil oluşturacak şekilde kesme işlemi gerçekleştirmektedir [33]. Araştırmalarda kullanılan takım yolları Şekil 2.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Araştırmalarda kullanılan takım yolu tarzları [33].

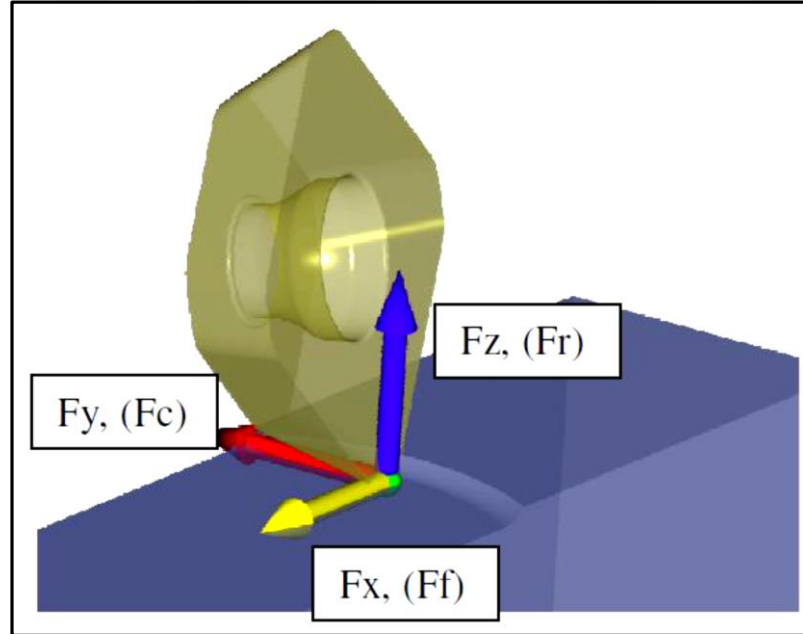
2.2.5. Frezelemede Kesme Kuvveti

Talaşlı imalat operasyonlarında (frezeleme, tornalama, delme, taşlama vb.) işlenen parçanın kalitesinin arttırmak, maliyeti en aza indirmek ve müşteri istemlerini karşılamak için kesme kuvvetlerinin incelenmesi ve kontrol altına alınması hayati öneme sahiptir [34,35]. Frezeleme uygulamalarında talaş kalınlığı ve devir sayısındaki çeşitlilik sebebiyle ortaya çıkan kesme kuvvetlerinde, geometrik olarak hem düzensizlik hem de tutarsızlık söz konusudur [36]. Kesme kuvvetleri; kesici takım tipi, geometrisi, frezeleme yöntemi, iş parçasının cinsi, talaş kalınlığı, kesme parametreleri vb. çeşitli değişebilir parametrelere bağlı olarak değişiklikler gösterebilir. Frezeleme işleminde sıcaklık değişimi, talaş oluşum mekaniği ve kesici takımın durumu üzerinde bilgi sahibi olmak için kesme kuvveti değişkenlikleri incelenebilir [37]. Bileşke kesme kuvveti (F_r), teğetsel kesme kuvveti (F_c) ve ilerleme kesme kuvveti (F_f) olmak üzere kesme kuvvetleri üç ana sınıfta incelenebilir [38]. Frezelemede kesici takım, imalatı yapılan parçanın hareket yönü ve kuvvet yönleri Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4. Frezeleme işleminde kesme kuvveti yönleri [38].

Frezeleme operasyonunda, kesme işlemi yapan kesici kesme kuvveti bileşenleri Şekil 2.5'da görülmektedir.



Şekil 2.5. Frezelemede kesici uçtaki kesme kuvveti bileşenleri [38].

Frezeleme uygulamalarında kesme kuvvetine etki eden değişkenler aşağıdaki verilmiştir;

- İşleme parametreleri,
- Kesici takım şekli ve boyutları,
- Kesme işlemi yapan takımın frezleme operasyonuna başlama yönü ve yanaşma açısı,
- Talaş derinliği,
- Kesme işlemi yapan takımdaki aşınma şekilleri,
- Frezeleme metodu,
- İmalatı yapılacak parçanın malzemesi,
- İş parçasının bağlama mekanizması ve rijit olma durumu.

gözlemlendiğinde mikro sertlik, mikro yapı, yorulma ve kalıntı gerilme olarak yüzey tamlığı olarak tanımlanabilir [40].

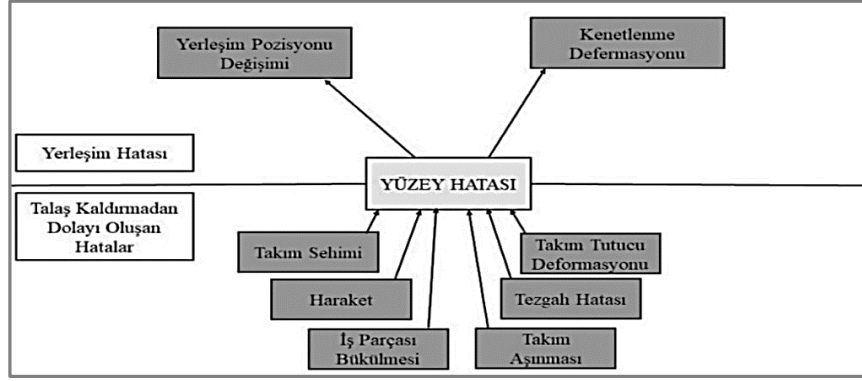
3.2. YÜZEY HATA KAYNAKLARI

Geometrik tamlığı dikkate alacak olursak yüzey hata kaynakları boyut hataları, yüzey hataları ve konumlandırma hatalarından oluşur. Doğru yüzey daima orijinal konumdan kayma gerçekleştirdiğinde, yüzey şekil hatası onların ortasındaki en yüksek kayma olarak tanımlanabilir. Yüzey hatası işlevsel ve verim olarak ihtiyaçları karşıladığında kabul edilebilir. Yüzey hata toleransı; profil toleransı, şekil-konum toleransı ve alıştırma toleransı şeklinde üç grupta tanımlanabilir [41,42].

Geleneksel şekilde yapılan talaşlı üretim yöntemleri süresince ortaya çıkan kuvvet tezgâh sisteminin, üretilen parçanın ve kesici takımın elastik deformasyonuna neden olur. Bu elastik deformasyon birçok sürede geleneksel talaşlı imalattan dolayı oluşur.

Şekil 3.2’de gösterildiği gibi yüzey hatası kaynakları iki gruba ayrılabilir. Birincisi talaş kesme yönteminden önce ortaya çıkan konumlandırma hatasıyla oluşan yüzey hataları ve talaş kesme esnasında ortaya çıkan ikinci hata ise talaş kesme yöntemi sırasında oluşan yüzey hatasıdır.

Üretimi yapılan parçadaki hatayı oluşturan ana nedenler; %30-35 işlem, %5-10 çevresel ve %60-65 tezgâh-takım bileşenleridir. Tezgâh-takım hataları tezgâhın mekaniği, geometrik hatalar ve ısıl olarak meydana gelen hatalardır. Süreç hataları işleme yönteminin kendisiyle alakalıdır ve kesme kuvveti, tırlama, sapma, takım aşınması, salgılama ve titreşim gibi değişkenler bu hayata sebep olur [43].



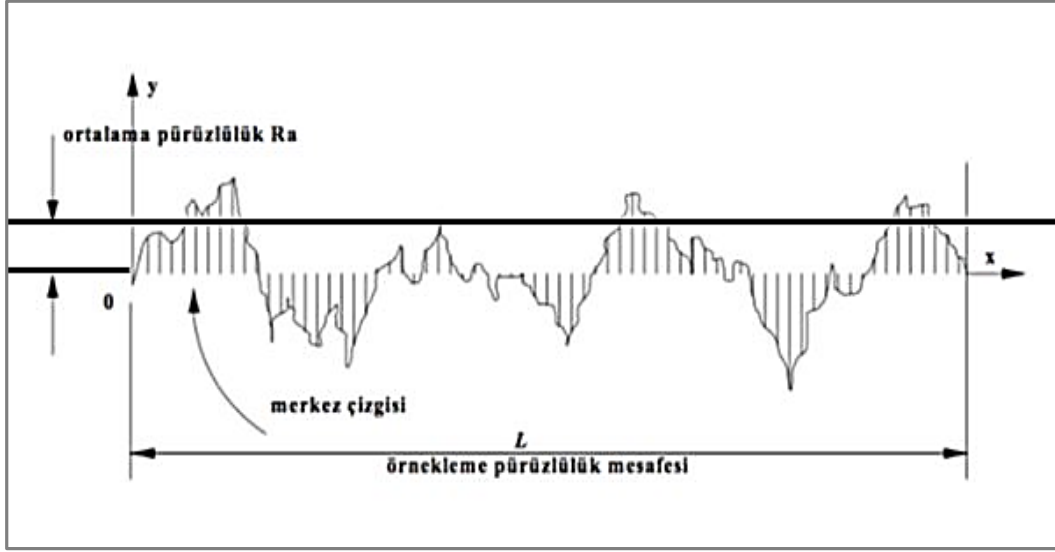
Şekil 3.2. Yüzeysel hatası sebepleri [43].

3.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Yüzeysel pürüzlülüğü, son yüzeysel için bir değer ve ürün özellikleri için bir dizi anlamına gelmektedir [44]. Yüzeysel pürüzlülüğü; üretim metodu sebeplerinden veya başka sebeplerden oluşa gelen, alışılan biçimde diğer düzensizlik hususlarından ötürü oluşa küçük aralıklı yüzeysel oluşa yüzeysel düzensizlikleri olarak adlandırılır. Kesici takımındaki ya da üretim basamağında başka sebeplerden ötürü oluşa yüzeyseldeki değişikliklerede pürüzlülük olarak adlandırılır. Parçaları şekillendirmekle kalmayıp onlara geometrik, boyut ve yüzeysel parametrelerinin istenilen elverişli toleranslara göre işlenmesini sağlama talaşlı üretimin en önemli hedeflerinden biridir. Parçaların geometrik, yüzeysel ve boyut yönünden doğru ve tam ölçüde olmaları bu zamandaki talaş kesme işleminin en değerli özelliklerinden biridir [45].

3.3.1. Yüzeysel Ortalama (Ort.) Pürüzlülüğü (Ra)

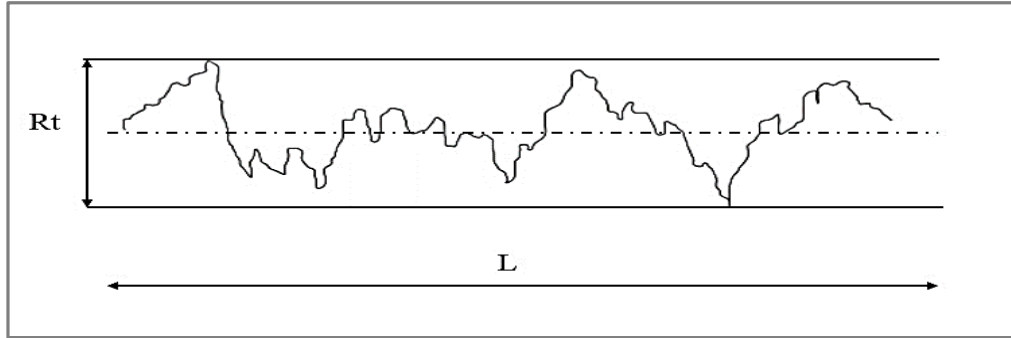
Yüzeysel pürüzlülük aritmetik ortalaması, pürüzlülük kriteri olarak sayılır. Ortalama profil hattında geçerli profile olan $y_1, y_2, y_3 \dots y_n$ kadar bütün değerlerin ortalaması hesaplanarak yapılır (Şekil 3.3). Ortalama profil hattının altında kalan değerlerin mutlak değeri alınır. Parçaların teknik resimlerinde yüzeysel pürüzlülük ifadesi için yaygın olarak Ra kullanılmaktadır. $Ra = (0,16 \sim 0,25) \times Rt$ gibi hesaplanılır [46].



Şekil 3.3. Yüzey pürüzlülük ortalama değeri R_a [46].

3.3.2. Yüzey Pürüzlülük En Yüksek Değeri (R_t)

Yüzey pürüzlülük en yüksek değeri, yüzey pürüzlülük mesafesinde ölçümü yapılan orta profil çizgisinin üstünde kalan en üst tepe noktası, orta profil çizgisinin altında kalan en dip noktası arasında kalan mesafedir [46]. R_t simgesiyle gösterilir (Şekil 3.4).



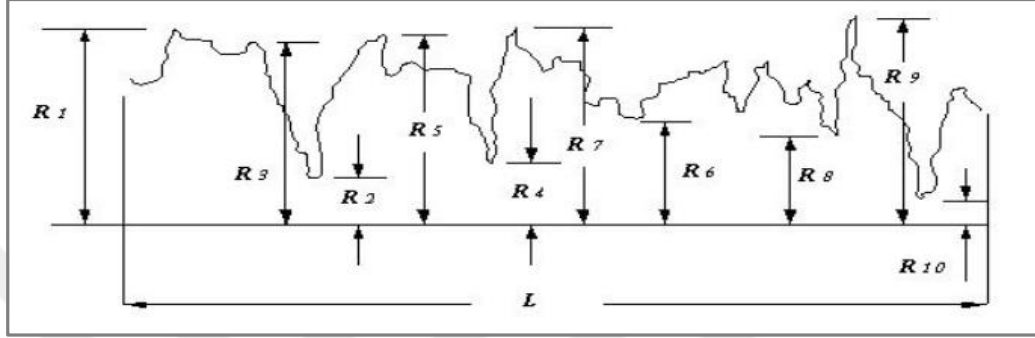
Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülük en büyük değeri R_t [46].

3.3.3. Karesel Ortalamanın Pürüzlülük Karekök Değeri (R_q)

Pürüzlülük profili yüksekliklerin karelerinin toplamının karekök ortalaması olarak tanımlanır. Pürüzlülük değerlerinin karelerinin ortalamalarının karekökü ölçülen mesafede dağıtılmış yükseklik ve diplerin normal ayrılması ifade etmektedir [46].

3.3.4. Ortalama Yüzey Pürüzlülük Yüksekliği (Rz)

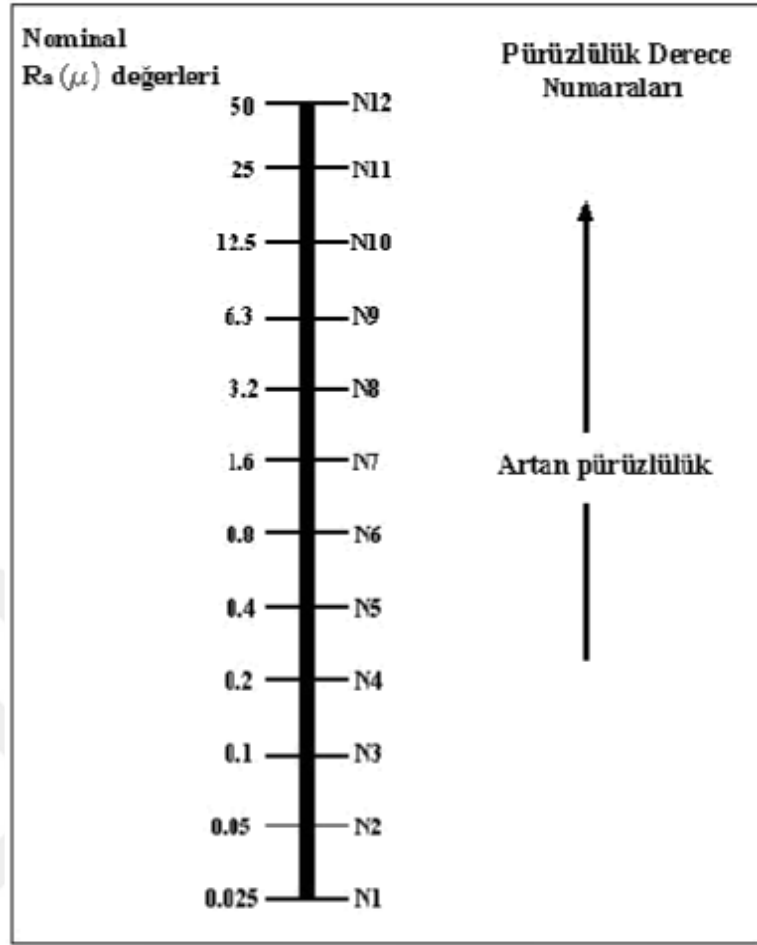
Yüzey profilindeki orta profil çizgisine paralel ve profille kesişmeyen, en yüksek beş yükseklik ve en düşük beş dip noktaları arasındaki ortalama mesafe olarak ifade edilmektedir. Rz sembolü ile gösterilir ve Şekil 3.5’de gösterilmiştir [46].



Şekil 3.5. Ortalama yüzey pürüzlülük yüksekliği Rz [46].

3.4.5. Yüzey Pürüzlülük Birimi ve Kalite Derecesi

DIN/ISO 4287 milletlerarası standartlara göre, yüzey pürüzlülük birimi mikron metre (μm) veya mikron inç ($\mu\text{inç}$) gibi ifade edilirken birçok kaynakta μm olarak gösterilir. Parçaların işlem yapılmış şekillerinde ortalama yüzey pürüzlülük değeri olarak isimlendirilirken Ra, işleme verim kuvvetini yüksek oranda tesir etmeden değişiklik gösterebilir. En mükemmel düzeyde yüzey kalitesinin değişkenlikleri belirlemek için yüzey pürüzlülük derecelerinin ayarlanması gerekir [47]. Yüzey pürüzlülük toleransları, N1~N12 pürüzlülük sınıfları rakamlarıyla ifade edilebilir (Şekil 3.6). Pürüzlülük numarası arttıkça, yüzeylerin işleme özelliği kaba, azaldıkça daha tamlık gerektiren bir işlem yapması gerektiğini anlatır.



Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülük derece numaraları [47].

3.4.6. Yüzey Pürüzlülüğe Etki Eden Faktörler

- Takım tezgâhı ilerleme hareketi sırasında oluşan arızalar,
- Kırılabılır özellikteki malzemelerin imalatında kararsız talaş kesimi,
- Üretilecek iş parçasının sabitlenmesinden dolayı oluşmuş bozulma,
- İşlenmesi rahat olan malzemelerin düşük kesme hızlarında işlendiğinde, yüzeylerinde oluşan bozukluklar,
- Malzemenin iç yapısından kaynaklı bozulmalar,
- Talaş akışından kaynaklanan bozulmalar,
- Doğru kesme hızı ve ilerleme belirlenmesinden dolayı oluşan bozukluklar,
- Değişiklik gösteren talaş derinliği,
- Üretim işlemi sırasında iş parçasının ve takımın soğutma/yağlama halleri,
- Kesici takımın konumlama ve bağlama karakteristikleri,

- Takım tezgâhının türü, sabitliği, rijitliği ve çalışma şartları,
- Doğru bağlantı aparat seçimi,
- İş parçasının sabitlenmesinden kaynaklı oluşan hatalar [48].



BÖLÜM 4

ÖLÇME VE ÜRETİM

4.1. ÖLÇME TEKNİĞİ

Ölçme, bilinmeyen bir büyüklüğün bilinen bir birim türünden hesaplanma olayıdır. Diğer bir ifadeyle, birim olarak isimlendirilen ve belli olan bir değerle, benzer türden belli olmayan bir değeri karşılaştırmaya ölçme denir. İnsanlar, yaşadıkları dönemlerde etrafında gelişen olayları kavramaya çabalamıştır. Ortamımızda incelediğimiz birçok parametre değişebilir. Bilim insanları olayları gözlemleyerek, olayların nedeni olan parametreleri kavrama çabalamışlardır. Bu incelemelerin merkezinde, yaşamımızın mühim bir bölümü oluşturan ölçme bulunmuştur. Araştırma ve geliştirme eylemleri ölçme yardımıyla belli bir olguya ulaşır [49].

Ölçme tekniği, kâinatta oluşan durumları denetimde tutmak ve idare edebilmenin esası bilimidir. Kıyaslama metodlarıyla belirlenir, fiziksel değerleri oluşturur. Fiziksel değerlerin matematik ile anlatıp, idare edilebilmeleriyle mümkündür. İnsanlar öğrenimi sırasında veya yaşama süresi boyunca devamlı ölçüm cihazları ile karşılaşır.

Ölçme tekniği hayatın doğruluğunu görmeye değerli bir yol göstericidir. Çağımızda kullanılan ölçüm tekniği bilimsel gelişimlerin gerisinde kalmış ve bilimsel gelişimleri teknolojiye çevrilmesinde modern ölçüm teknik ve yöntemlerine gereksinin vardır.

4.2. ÖLÇÜM METODU VE ÜRETİM İLİŞKİSİ

Modern, hesaplı ve seri üretimin ilkeleri değiştirilebilirlik niteliğinde olmasıdır. Değiştirilebilirlik niteliği üretim yönteminde, üretim ilkeleri ve kafilelerinin birbirlerinden münferit olarak üretilmeleri esastır. Üretim işlemlerinden sonra farklı işlem metotlarına gerek duymadan ölçü tamlığı sağlanmaktadır. Üretim metodlarının problemsiz olacak şekilde üretilmesi ancak üretim metodları ve üretim parçaları için belli usuller ve ölçülerin bilinmesi ile olanaklıdır.

Üretimi yapılan ürünler veya makine fonksiyonlarının amaçlanan kıstasta yapılabilmesi için belirlenen ölçülerde gerçekleştirilmesi takip ve kontrol edilmelidir. Bu takip ve kontrol gereksinimleri, ölçüm yöntemi, üretim ölçüm yöntemi araçları ve metotları ile yerine getirilir. Bu sebepten ötürü ölçüm yöntemi ve değiştirilebilirlik arasında bağımlı bir ilişki ve iki taraflı bağımlılık bulunmaktadır.

Endüstri operasyonlarında klasikleşmiş ölçüm metodları ve ölçüm cihazlarının kullanılmasının en önemli gerekçeleri;

- Dizayn, imalat ve kalite kontrol birlikleri, şirketler arasında bulunan haberleşmeyi arttırmak ve ortak uzantı kullanmak.
- Üretimin bütün derecelerindeki süreçleri yönetenler arasında imalat verimini ve doğruluğu sağlamak.
- Yeterli ölçülerdeki ham/yarı ürünleri üretime gönderirken, bozulmuş ürünleri en aza indirmek.
- Üretimi yapılan parçaları ölçüm kontrollerini başlangıç seviyede gerçekleştirmek.
- Milletler arası, yapılan imalat kabul edilebilirliğini kazanmaktır [50].

4.3. KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZI (CMM)

CNC imalat makinalarının 1950'li senelerde başlayan seri ilerletmenin günümüze kadar geçiş zamanında, otomatik üretimde ehemmiyetli olaylar gerçekleştirmiştir. Bu ilerletmeler ile karmaşık ürünler, ileri bir doğruluk ve daha az finansmanlar ile üretebilecek duruma gelmiştir.

Bugünkü, yenilikçi üretim teknolojisinin en önemli bileşenlerinden biride koordinat ölçme cihazları olmuştur. Gelişen imalat gereksinimleri sebebiyle farklı ölçüm cihazlarının direkt imalata uyarlanaması sebebiyle, yenilikçi üretim yöntemlerinin denetminde önemli bir geçerliliğe sahiptir. CMM cihazları form, ölçü ve yüzey sapmalarını hızlı ve büyük tamlıkla ölçebilen cihazlardır. CMM cihazının çalışma sistemleri aşağıdaki biçimde anlatılabilir: [51].

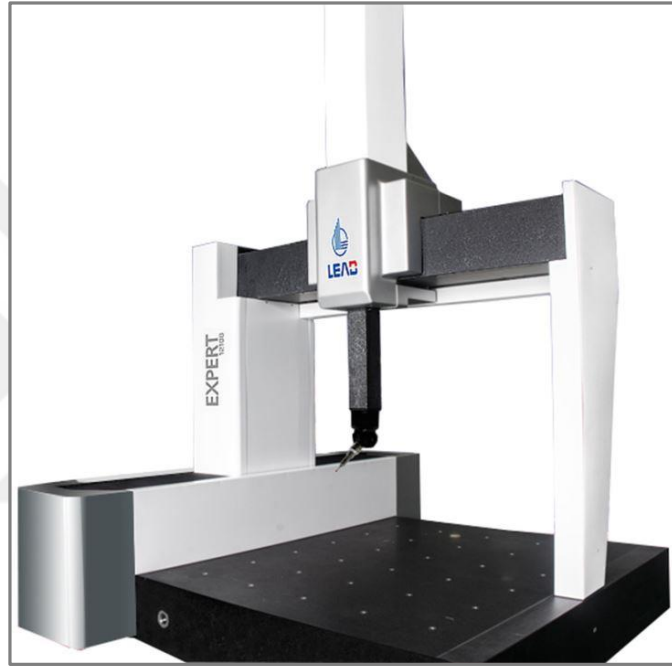
- Ürünler ölçülecek kısımlarını, koordinat ölçüm cihazında istenilen bölgelerden noktalar alınarak veya yüzeyleri tarayarak yapılır.
- Ürünlerin geometrik kısımlarının matematiksel sonuçları, ürün üzerinden edinilen koordinat noktalarıyla koordinat ölçüm makinesinin işlemcisi aracılığıyla sağlanır.
- Ölçüm bölgelerinin geometrik olarak meydana getirilecek kısmına gereken minimum değerden çok olması durumunda ölçüm hesaplanması için farklı ayırma yöntemlerine başvurulur.
- Ölçümü yapılan kısımların ölçüm değerleri, boyut sapmaları ve geometrik faktörleri arasındaki pozisyon kaymaları koordinat ölçme yöntemi ile yapılır [52].

4.4. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZI ÇEŞİTLERİ

CMM cihazları kullanım yerine ve kapasitesine göre çeşitlilik göstermektedir. Hassasiyet, üretilen parçanın boyutu, ölçülmesi amaçlanan nitelikler, cihazın kullanılacağı yerin durumu ve özellikleri, ölçüm zamanı ve finansman cihazı seçerken dikkate alınmalıdır. CMM cihazları çoğunlukla gövde şekillerine göre çeşitlendirilir.

4.4.1. Köprü Tipi CMM Cihazı

Köprü tipi CMM cihazları endüstride fazlaca kullanılmaktadır. Tablası granitten oluşan modelleri mevcuttur. Granit pleyt üzerinde dik olacak şekilde 2 adet kolon vardır. Bu kolonlar köprü olarak tanımlanan bölümü taşır. Köprü ise z eksen hareketini sağlayan kolunu taşımaktadır. Üretimi yapılan bütün parçaların ölçümünde kullanılır. Şekil 4.1’de köprü tipi CMM cihazı gösterilmektedir [53].



Şekil 4.1. Köprü Tip CMM cihazı [53].

4.4.2. Dört Kolonlu Tip CMM Cihazı

Dört Kolonlu tip CMM cihazları araba, rüzgâr tribünü şeklindeki büyük ürünlerin ölçümlerinin yapılmasında kullanılmaktadır. Çoğunlukla dört kolonlu tip CMM cihazlarında tabla yoktur. Ölçümü yapılacak parçanın CMM cihazının ortasına bazı sistemler kullanılarak yerleştirilir. Adındanda anlaşıldığı gibi 4 tane sabit kolon üzerine oturtulmuş kızak sistemi ile hareket eden köprü yapısından oluşur. Hareket iki kızak yapısı üzerinden yapılmaktadır. Cihaz ortasında tabla olmadığı için maksimum ölçüm alanı sağlar. Şekil 4.2’de dört kolonlu tip CMM cihazı gösterilmektedir [54].



Şekil 4. 2. Dört kolonlu tip CMM cihazı [54].

4.4.3. Dirsek Tip CMM Cihazı

Dirsek tip CMM cihazları çoğunlukla atölye, imalat hatlarında kullanılmaktadır. Dirsek tip CMM cihazları tablaya dik yönde bir kolon ve kolona sabitlenmiş bir kol bulunur. Ölçüm uçları kol üstünde hareket yaparak ölçümün yapılmasını sağlar. Gövdesi açık durumda olduğu için ölçümü yapılacak parçanın cihaza yükleme, parçaya erişimi avantajlı hale getiren cihazlardır. Şekil 4.3’de dirsek tip CMM cihazı gösterilmektedir [55].



Şekil 4.3. Hexagon dirsek tip CMM cihazı [55].

4.4.4. Yatay Kol Tip CMM Cihazı

Yatay kol tip CMM cihazları dik tarafta mevcut bir kolona montaj yapılan kol üstünde mevcut olan ölçme probu ile ölçüm yapmaktadır. Ölçme yapan prob kolon üstünde dikey ve yatay tarafa hareket sağlamaktadır. Yatay kol tipi CMM cihazları araba gibi büyük parçaların montaj hatlarına monte edilebilir. İki kol karşılıklı montajlanarak kullanım sağlanan türleri bulunmaktadır. Şekil 4.4'te yatay kol tip CMM cihazı gösterilmektedir [56].



Şekil 4.4. DEA yatay kol tip CMM cihazı [56].

4.5. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZI AVANTAJLARI

Koordinat ölçme cihazlarının, günden güne gelişen ölçüm modeli oldukları için konvansiyonel ölçüm yöntemlerine karşı birden fazla nitelik ve avantajları vardır. Koordinat ölçme cihazlarının farklı ölçüm yöntemlerine göre avantajları:

- Koordinat ölçme cihazları farklı formlara sahip geometrilerin, yüzeylerin, düşük tolerans ölçümlerini yaparken çok yönlü çalışır.
- Ölçülecek parça, fikstür vb. gibi parçaların kendi eksen eksenel hizalamadaki kolaylığı sayesinde süreden kazanç sağlar.

- Ölçümü yapılacak parça, fikstür vb. cihaza bir kez tanıtıldığında farklı eksen ve şekillendirme otomatik çalışır.
- Koordinat ölçme cihazı otomatik olarak çalıştığından yüksek doğruluk ve tekrar edilebilirlik sağlar. Bu nedenle tekrar eden ölçümlerde yüksek doğruluk sağlanır.
- Koordinat ölçme cihazı otomatik çalıştığı için kullanacak kişinin ölçüm cihazı üzerindeki beceriklilik ve özeni ortadan kaldırdığı ölçümlerdeki hatalar ortadan kalkar.
- Verileri kaydetme ve otomatik raporlama yaparak dataların saklanıp kaybolmasını önler.
- Koordinat ölçme cihazları otomatik çalıştığı ve raporlama özelliğinden dolayı hızlı ölçüm yapmakta ve ölçüm süresini düşürmektedir [57].

4.6. ÜÇ BOYUTLU TARAMA CİHAZI

Tasarım datası olmayan ürünlerin bilgisayar ortamına geçirilmesi işlemine 3B tarama denir. Son yıllarda CNC tezgahları ve 3D Printerlerden yararlanılarak ürünlerin imalatını yapmak istediğimizde parçanın CAD datasına gereksinimimiz vardır. 3B Tarama cihazlarını üretimi bitirilmiş parçaların geometrik toleranslarını ölçmek için kullanabiliriz.

4.7. 3B TARAMA CİHAZI ÇEŞİTLERİ

Tasarım datası olmayan ürünlerin bilgisayar ortamına geçirilmesi işlemine 3B Tarama denir. Son yıllarda CNC tezgahları ve 3D yazıcılardan yararlanılarak ürünlerin imalatını yapılmasında iş parçalarının CAD datalarına gereksinim duymaktayız. 3B Tarama cihazlarını üretimi bitirilmiş parçaların geometrik toleranslarını ölçmek içinde kullanılmaktadır.

3B optik tarama, en kolay durumuyla, fiziksel objenin optik üçgenleme ve projeksiyon teknikleriyle sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmasıdır. 3B optik tarama sisteminde genelde lazer tarama kullanılmaktadır. Lazer tarama yönteminde lazer ışınları ışık kaynağı olarak kullanılmaktadır. Yalnız kullanılan bu lazer ışık kaynakları,

taranan bölgelerin dijitalleştirilmesinde ve bilgisayara veri girişinde etkili olmamaktadır. Bu noktada projeksiyon yöntemiyle halojen beyaz ışık kullanılmaktadır. Beyaz ışık tarama sistemi çok kullanılan bir yöntemdir. Ancak değişen teknolojiden kaynaklı beyaz ışık yerine değişik renklerde ve teknolojilerle çalışan cihazlarda kullanılmaya başlanmıştır. Mavi, kırmızı ve yeşil ışık gibi farklı renklerde ışıklarda gelişen teknoloji ile kullanılmaya başlandı. İstenilen objenin optik tarayıcılarla taramaktadır. Taramadan ile sonuçlanan veriler yüzey modeline dönüştürülür. Yüzey modelinden katı model oluşumu sağlanmaktadır [58].

Taranacak nesnenin üç boyutlu modelini bilgisayara aktarmak için kullanılan lazerli cihazlarla yapılan işlem 3B lazer tarama işlemidir. Tarama bölgesini, bilgisayara aktarmak için verilerinin toplanması için bölgeye lazer ışını gönderilmektedir. Gönderilen ışınlar, lazer tarama cihazına sabitlenmiş kamera sensörü sayesinde takibi sağlanmaktadır ve tarama verilerini elde etmektedir. Elde edilen veriler ile yüzey oluşturulmasında yardımcı olur. Tersine mühendislik gibi başlıca sektörlerde kullanılmaktadır. Lazer tarama işlemi, objenin yüzey niteliklerinden veya ebatlarından serbest biçimde üç boyutlu şeklini oluşturabildiğinden birçok sektörde kullanımı sağlanabilmektedir. Lazer tarama yapıldığı için modeli çıkartılacak ürüne fiziki bir teması gerek duyulmadan alınan veriler kullanılabilirler. Lazer tarama cihazlarında 0.1 mm ara ile oluşturulan nokta bulutları kaydedilir ve bilgisayara modelleme için aktarımını sağlarlar. Tarama sonucunda sonuçlanan veriler, farklı bilgisayar programları sayesinde 3D CAD modellerin oluşumu sağlar. 3B lazer tarama cihazları ölçüm mesafelerine göre üçe ayrılmaktadır;

- Rastgele bir boyutta, bir metrenin yakın ve altındaki ürünlerin taranması işleminde kısa menzil kullanılır. Ölçümleri yüksek hassaslıkta yapmaktadır. Çoğunlukla parçaların dizaynı ve tersine mühendislik için kullanılmaktadır.
- Genelde 50 metre ile 300 metreye kadar orta menzil tarama yapabilmektedirler. İnşaat işlerinde kullanılır. Baraj ölçümü gibi projelerde kullanılmaktadır.
- Başka türlerinden çok daha büyük mesafeyi büyük menzille tarayabilmektedir. Yöntem olarak 2000 metreye kadar ölçüm mesafesine sahip olmaktadır [59].

4.7.1. 3B Optik Tarama Cihazı

Endüstride ve benzeri sektörlerde, üç boyutlu modelleme işlemlerinde etkin biçimde kullanılan optik tarama cihazları, uyum içinde çalışan iki fotoğraf makinesi gibi görünen mekanizmalardır. Makinelerin biri ışık kaynağı diğeri kameradır. Işık kaynağı, tarama yapılacak bölgelere aralıklı olarak ışık yansıtmaktadır. Işık kaynağının belirtilen zamanlarda, çeşitli bölgelere gönderdiği ışığın obje üstünde oluşturduğu siyah ve beyaz yüzeyler LCC kameralarla kaydedilir.

Kameralar kayıt esnasında seri şekilde çok fazla görüntü elde eder. Kayıt altına alınan görüntüler bilgisayara aktarılır. Elde edilen görüntüler belirli programlarla sayısal noktalar veriye dönüştürülür. Bu noktaların sayısı ve oluşacak modelin çözünürlüğü kullanılan kameranın piksel sayısı ile doğru orantılıdır. Kaydedilen ve sayısallaştırılan verilerin kullanımı ile nesne modellemesi sağlanmaktadır. Renkli ışık kaynakları tarama bölgesinde kullanılan teknolojiyle beraber kameraya parça yüzeyinden gelen yansımaları en aza indirgenmesini sağlar. Parçaların değişimi ve modellenmesinde rahatlık sağlar.

20 mikronla 400 mikrona kadar hassas ölçüm kabiliyetine sahiptir. Taranan bölgeleri STL, ASC, PLY ve ASC uzantılı olarak kaydedebilir. Dosya uzantısı olarak STL kullanılır. Şekil 4.5’de 3B optik tarama cihazı gösterilmektedir [58].



Şekil 4.5. 3B Optik tarama cihazı [58].

4.7.2. 3B Lazer Tarama Cihazı

Hızlı nesne modellerinin alanabilmesinden dolayı lazer tarama cihazı birçok alanda kullanılabilir. Tarama esnasında tarama bölgesine lazer demetleri gönderilerek kamera sensöründe toplanır. Bu işlem sırasında taranan bölgenin hatları belirlenir. Nokta bulutları şeklinde taranan bölgelerden alınan verilerin bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmaktadır.

Plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımının ilerlemesinde çok büyük yardımlar sağlar. Bilgisayar ortamına aktarılan bilgiler sayesinde model orataya çıkartılır. Bilgilerin toplanması esnasında oluşan problemler sebebiyle, taranan nesne ile gerçek nesne arasında farklılıklar oluşabilir. Ayrıca taranan bölgenin dış yüzeyindeki parlaklıklar yada bu bölgenin pis olması bunlara sebep olabilir. Geniş yüzeylerin taranmasında, hacim artışından dolayı da hatalar artabilmektedir. Şekil 4.6'de 3B lazer tarama cihazı gösterilmektedir [59].



Şekil 4.6. 3B Lazer tarama cihazı [59].

4.8. 3B TARAMA CİHAZLARININ AVANTAJLARI

3B tarama cihazlarının diğler ölçüm çeşitlerine göre avantajları aşağıdaki gibidir:

- Ölçüm işleminde hata oranı az olduğu için tekrar ölçme gerekmez.
- Ölçmenin zor olduğu bölgelerde ölçme işlemine yardımcı olur.
- Hassas işlerde kullanılır.
- Ölçü doğruluğu yüksektir.
- Ürüne yaklaşarak fiziki temas olmadan ölçüm yapar. Bu nedenle erişmenin zor olduğu yerlerde ölçüm yapmaktadır.
- Yapılan ölçüm verileri bilgisayar ortamında saklandığı için istenildiği kadar saklanabilir.
- Ölçüm değlerlendirilmesi anlık olarak yapılabilir.
- Diğler ölçüm metodlarına göre daha fazla veri toplama imkânı sağlar.
- Ürünlerde bölgesel tarama olanağı sağlar.
- Kurulumu ve kullanımını basittir.
- Işık ve yansılardan etkilenmez.

BÖLÜM 5

MALZEME VE METOD

5.1. KULLANILAN MALZEME

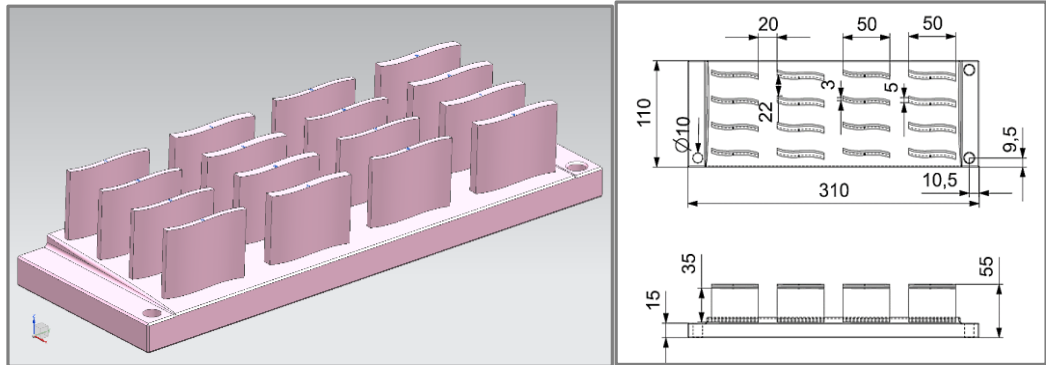
Yapılan çalışmada, 130x330x55 mm boylarında iki adet AA 5083-H111 ticari olarak temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan AA 5083-H111 kimyasal bileşimi Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. AA 5083-H111 kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşimi									
	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer
AA 5083-H111	0,40	0,40	0,10	0,48	4,72	0,25	0,21	0,15	0,15

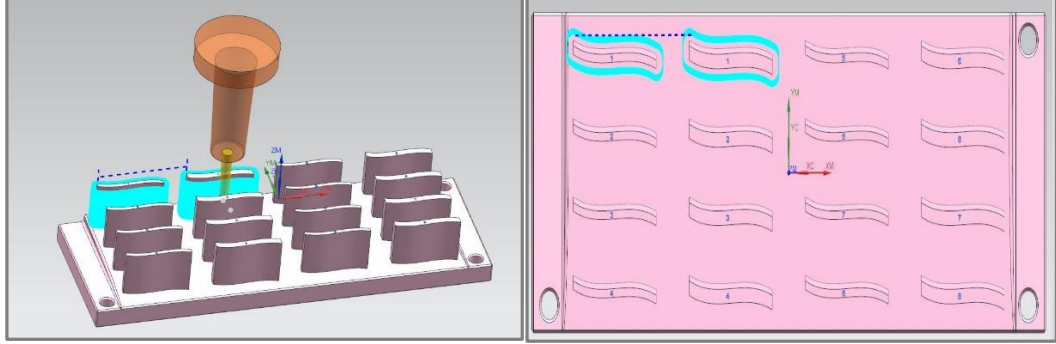
5.2 NUMUNELERİN TASARIMI VE KULLANILAN TAKIM YOLU

Deneylerde kullanılan numuneler 110x310x55 mm olarak kesildikten sonra Şekil 5.1’de görüldüğü gibi Simens NX programında tasarımı yapılmıştır. Aynı programda DMG MORI Ecomil 70 tezgahında işlemek için takım yolu ve CNC kodları oluşturulmuştur.



Şekil 5.1. İşleme deneylerinde kullanılacak olan iş parçasının tasarımı.

İşlemlerde Şekil 5.2’de verilen spiral takım yolu seçilmiştir. Spiral takım yolu dıştan içe doğru hareket etmiştir.



Şekil 5.2. Deneide kullanılan takım yolu.

5.3. CNC FREZE TEZGÂHI

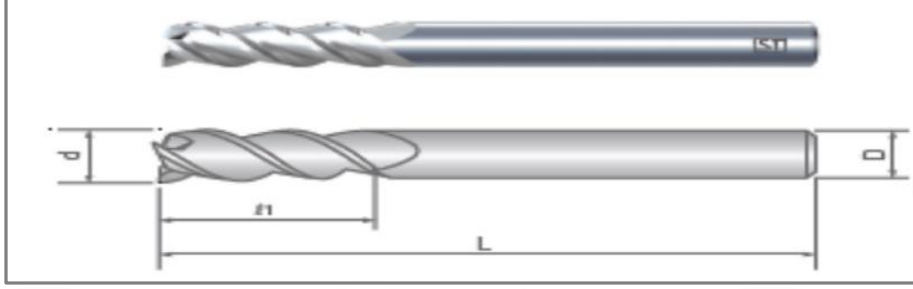
Deneiler 28 kW güce sahip maksimum 12000 dev/dak olan Siemens kontrol ünitesine sahip DMG MORI Ecomil 70 5 eksen tezgahında işlenmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. DMG MORI Ecomil 70 5 eksen CNC işleme merkezi.

5.4. KESİCİ TAKIM

Deneyleerde 8 mm çapa sahip kaplamasız yekpare karbür parmak freze kullanılmıştır (şekil 5.4). Kesici takıma ait özellikler izelge 5.2’de verilmiştir.



şekil 5.4 Kesici takım geometrisi.

Çizelge 5.2 Kesici takım bilgileri.

Takım apı	L	I1	D
8	80	40	8

5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜMÜ

İşlenen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin ölçümünde Mitutoyo Surface SJ-210 model yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri izelge 5.3’de ve kullanılan pürüzlülük cihazının görüntüsü şekil 5.5’de verilmiştir. İşlenen form yüzeylerin 3 farklı noktasından ölçüm yapılarak bu sonuçların aritmetik ortalaması hesaplanarak o yüzeyin pürüzlülük değeri belirlenmiştir.



şekil 5.5. Mitutoyo Surface SJ-210 yüzey pürüzlülük cihazı.

Çizelge 5.3. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri.

Tarama ucu	2 μm
Tarama boyu	17,5 mm
Ölçüm aralığı	360 μm
Hareket	17,5 mm
Ağırlık	500 g
Ölçüm kuvveti	0,75 mN
Ölçüm metodu	İndüksiyon yöntemi
Kızak yarı çapı	40 mm
Ölçüm uzunluğu	1.75 mm, 5.6mm, 17.5mm

5.4. FORM HATALARININ CMM İLE ÖLÇÜLMESİ

Form hatalarının ölçümünde DEA GLOBAL 12.22.10 marka koordinat ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.6). DEA GLOBAL 12.22.10 marka koordinat ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 5.4’de verilmiştir.

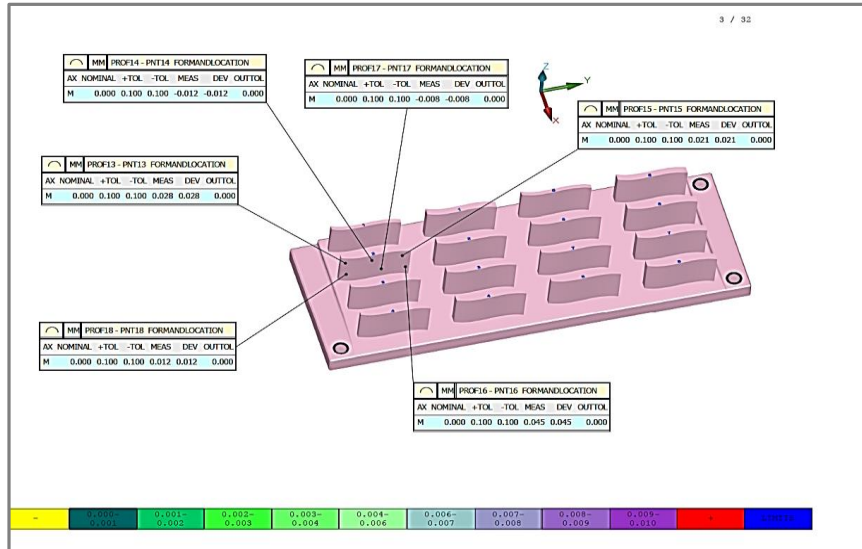


Şekil 5.6. DEA GLOBAL CMM cihazı.

Çizelge 5.4. CMM cihazı teknik özellikleri.

Marka/Model	DEA/GLOBAL 12.22.10
Faydalı Stroklar	X:700 mm Y:1000 mm Z:500 mm
Hız	500 mm/s
İvme	1000 mm/s ²
Hacim	
Prob Tipi ve Modeli	Dokunma Tetiklemeli, TESASTAR-m
Yazılım	PC-DMIS CAD++

Form hatalarının ölçümleri esnasında ölçüm yapılacak parça koordinat ölçme cihazının pleytine birkaç aparatla sabitlenmiştir. Bir sonraki adımda ölçüm yapılacak parça pleyte sabitlendikten sonra ölçüm işlemine geçilmesidir. Ölçülecek parçanın katı modeli STEP formatında koordinat ölçme cihazının programında kullanılan PC-DMIS CAD yazılımına yüklenmiştir. Ölçme işlemleri esnasında kullanılacak proplar belirlenerek kalibrasyonu yapılmıştır. Daha sonra ölçüm yapılması için parça referanslandırılmıştır. Ölçümü yapılacak parçadan 3B lazer taramada belirlenen noktaların koordinatları girilerek aynı noktaların ölçümü sağlanmıştır. Ölçüm sonuçlarının raporları PC-DMIS yazılımında alınmıştır. Ölçümü yapılan iş parçasının görüntüsü Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Ölçümü yapılan iş parçası.

5.5. FORM HATALARININ LAZER TARAMAYLA ÖLÇÜLMESİ

Form hatalarının ölçümünde FARO Quantum m marka lazer tarama cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.8). FARO Quantum m marka lazer tarama cihazının teknik özellikleri Çizelge 5.5’de verilmiştir.



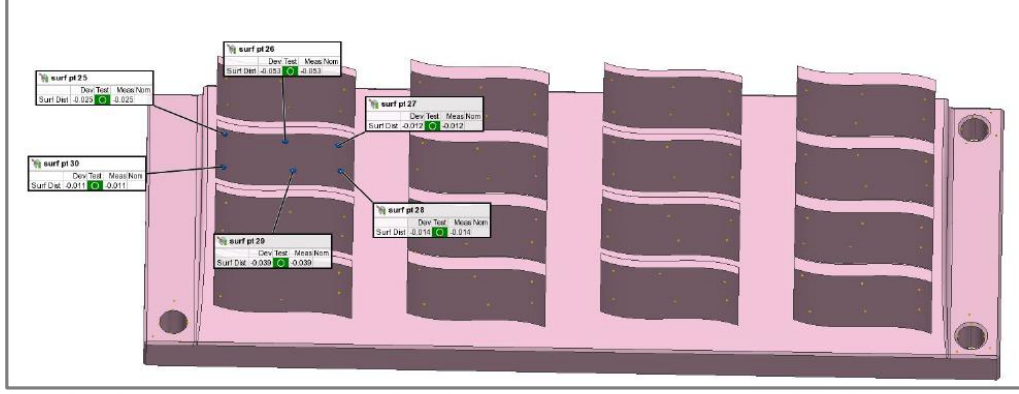
Şekil 5.8. FARO Quantum m lazer tarama cihazı.

Çizelge 5.5. Lazer tarama cihazı teknik özellikleri.

Marka/Model	FARO Quantum m Serisi
Ölçüm Aralığı	2,5 m
Prob Tipi ve Modeli	Dokunma Tetiklemeli, 6 mm iProbe-42ea-+
Yazılım	Polyworks MS 2021

Form hatalarının ölçümleri esnasında ölçüm yapılacak parça lazer tarama tabancasındaki propla ölçülmesi için düz bir tablaya birkaç aparatla sabitlenmiştir. Ölçülecek parçanın katı modeli STEP formatında lazer tarama programında kullanılan Polyworks MS 2021 CAD yazılımına yüklenmiştir. Daha sonra ölçüm yapılması için parça referanslandırılmıştır. Ölçümü yapılacak parçada 6 nokta belirlenerek 3B lazer taramada ölçümü sağlanmıştır. Ölçüm sonuçlarının raporları Polyworks MS 2021

yazılımında alınmıştır. Ölçümü yapılan iş parçasının görüntüsü Şekil 5.9'de verilmiştir.



Şekil 5.9. Ölçümü yapılan iş parçası.

5.6. DENEY TASARIMI

Frezeleme deneylerinde yüzey pürüzlülüğü ve form hataları üzerine etki edecek kesme parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için cidar kalınlığı, ilerleme miktarı ve kesme hızı kesme parametresi olarak belirlenmiştir. Frezeleme deneylerinde kullanılacak olan kesme parametreleri ve seviyeleri Çizelgede 5.6'da verilmiştir. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve form hataları üzerine etkilerini analiz etmek için deney tasarımı L32 ($2^1 \times 4^2$) hazırlanmıştır.

Çizelge 5.6. Kesme parametreleri ve seviyeleri

Kesme Parametreleri	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Cidar kalınlığı (mm)	A	3	5	-	-
İlerleme Miktarı (mm/diş)	B	0,05	0,1	0,15	0,2
Kesme Hızı (m/dk)	C	80	120	160	200

BÖLÜM 6

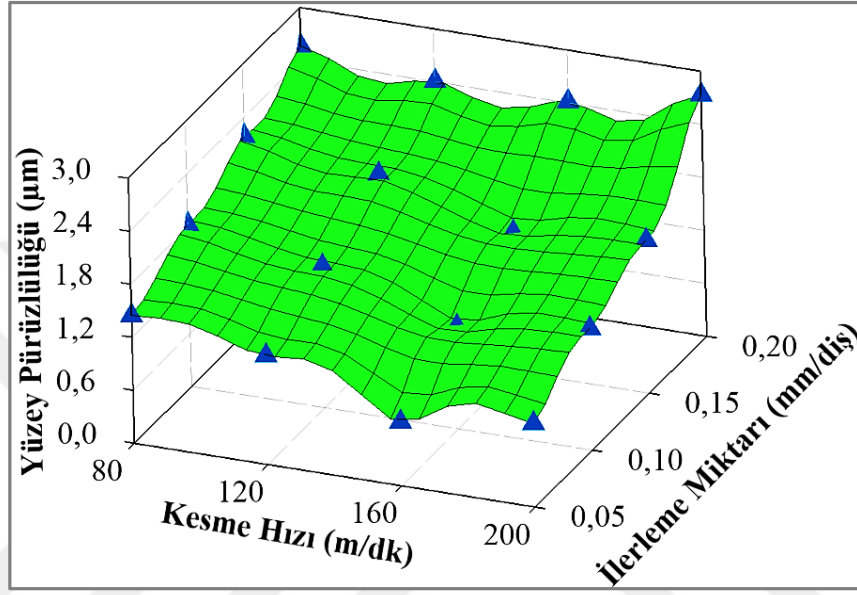
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Günümüzde ince cidarlı bileşenlere sahip serbest biçimli geometriler içeren ürünler özellikle elektronik, otomotiv, havacılık ve uzay sanayinde yüksek karmaşık ve pahalı ürünler olarak bulunmaktadır. Özellikle bu parçaların talaşlı imalatla üretilmesinde kesme parametrelerinin uygun seçilmesi üretim sürecini, işlenen parçadaki yüzeylerin durumunu ve imalat maliyetini etkilemektedir. Bunun için yapılan çalışmada, serbest olarak tasarlanan 3 mm ve 5 mm kalınlığında duvarlara sahip parçaların dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Cidar kalınlığına ve kesme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3’de verilmiştir.

3 mm cidar kalınlığında numunelerin dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu yüzey pürüzlülüğündeki değişim Şekil 6.1’de verilmiştir. 80 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/diş ilerleme miktarında yüzey pürüzlülüğü 1,449 μm ölçülmüştür. 80 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının sırası ile 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile yüzey pürüzlülük değerinde sırası ile %26,29, %51 ve %77,09 artma olmuştur. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızının 120 m/dak’ya çıkarılması ile yüzey pürüzlülüğü azalarak 1,232 μm olduğu görülmüştür. Benzer şekilde ilerleme miktarının 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile yüzey pürüzlülük değerinde sırası ile %30,28, %62,18 ve %95,45 oranlarında artmanın olduğu tespit edilmiştir. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızının sırası ile 160 m/dak çıkarılmasıyla yüzey pürüzlülük değeri 0,72 μm ile 3 mm cidar kalınlığı için minimum değere ulaşmıştır. Ancak bu noktadan sonra kesme hızının 200 m/dak’ya çıkarılması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri artma

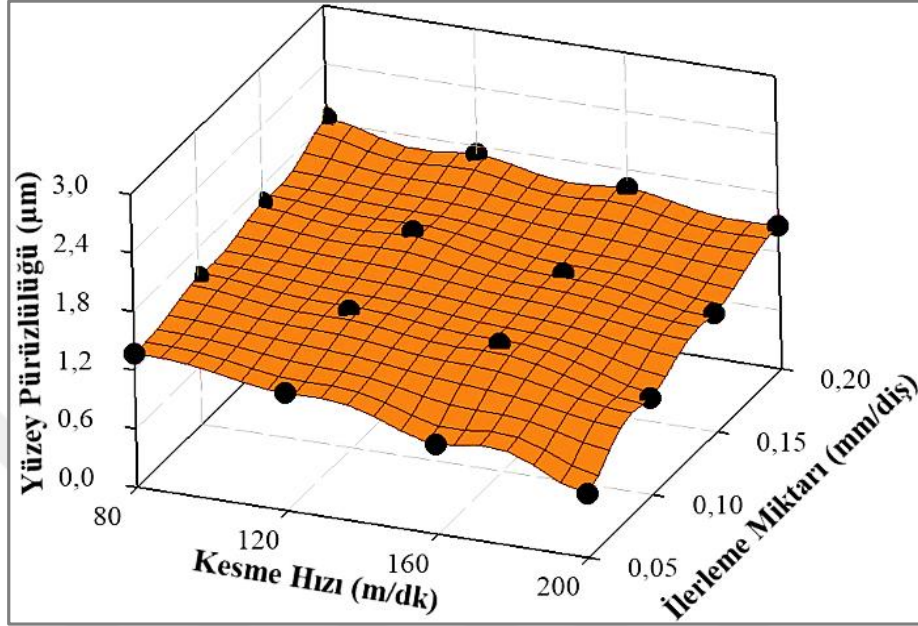
eğilimi göstererek 0,943 μm ölçülmüştür. Ayrıca Şekil 6.1 incelendiğinde 0,2 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızının 80 m/dak'dan 120 m/dak çıkarılması ile yüzey pürüzlülüğü %6,2 oranında azalırken, kesme hızının 200 m/dak çıkarılmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri 3 mm cidar kalınlığı %13,40 oranında artarak 2,730 μm maksimum değere ulaşmıştır.



Şekil 6.1. 3 mm cidar kalınlığında kesme hızına ve ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi.

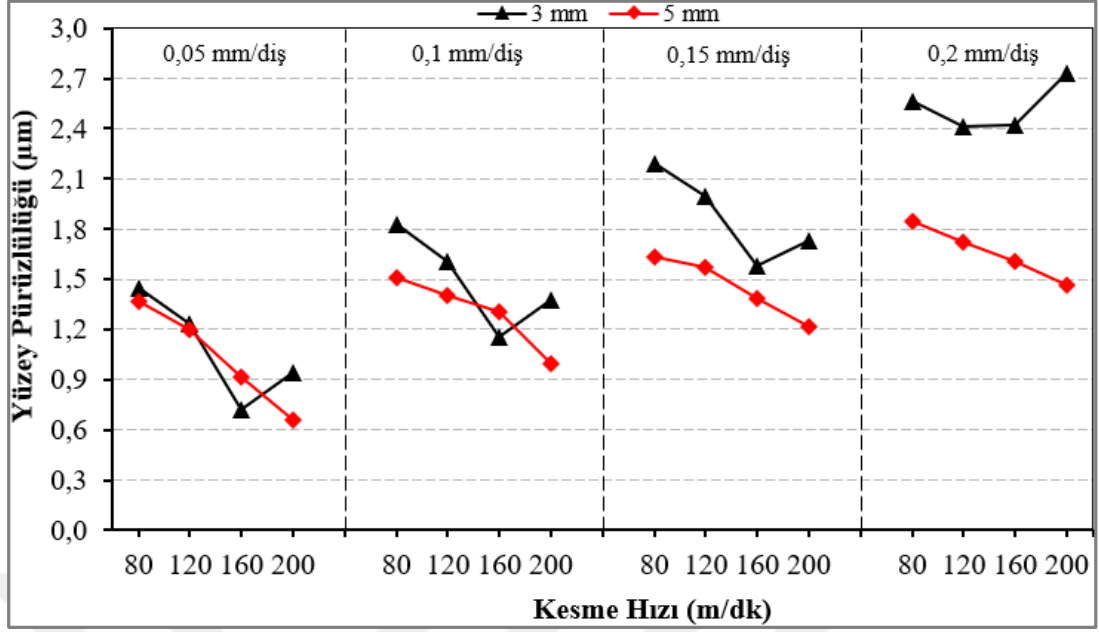
Şekil 6.2'de 5 mm cidar kalınlığında numunelerin dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu yüzey pürüzlülüğündeki değişimler gösterilmiştir. 80 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/diş ilerleme miktarında yüzey pürüzlülüğü 1,371 μm ölçülmüştür. 80 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının sırası ile 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile yüzey pürüzlülük değerinde sırası ile %10,21, %18,9 ve %34,94 artma görülmüştür. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızının 120 m/dak'ya çıkarılması ile yüzey pürüzlülüğü azalarak 1,202 μm olduğu görülmüştür. Benzer şekilde ilerleme miktarının 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,15 mm/diş çıkarılması ile yüzey pürüzlülük değerinde sırası ile %16,97, %3,7 ve %43,1 oranlarında artmanın olduğu tespit edilmiştir. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızının sırası ile 160 m/dak ve 200 m/dak'ya çıkarılması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri azalarak sırası ile 0,919 μm ve 0,657 μm ölçülmüştür. Ayrıca Şekil 6.2 incelendiğinde 5 mm cidar kalınlığı için 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve

80 m/dak'dan kesme hızında 1,85 μm ile maksimum yüzey pürüzlülüğü ölçülürken, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında 0,657 μm ile minimum yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür.



Şekil 6.2. 5 mm cidar kalınlığında kesme hızına ve ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi.

Şekil 6.3 incelendiğinde farklı kesme parametrelerde işleme sonrası 3 mm ve 5 mm cidar kalınlığına göre yüzey pürüzlülüğü daha iyi anlaşılacaktır. Genel olarak 3 mm cidar kalınlığında yüzey pürüzlülüğü daha yüksek çıktığı görülmektedir. Ayrıca 3 mm cidar kalınlığında dikkat çeken diğer bir nokta ise kesme hızınının 160 m/dak'dan sonra yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Bunun nedeninin artan kesme hızı ile birlikte fener mili hızının artması hem tezgahda hemde iş parçasında titreşimin artmasının neden olacağı düşünülmektedir. Cidar kalınlığının artması bu titreşimden daha az etkilenmesinden dolayı 5 mm cidar kalınlığında minimum yüzey pürüzlülüğü 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında elde edildiği görülmüştür.



Şekil 6.3. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 3 mm ve 5 mm cidar kalınlığında yüzeY pürüzlülük değışimi.

Genel olarak Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3 incelendiğinde, 3 mm ve 5 mm cidar kalınlığında parçaların 0,05 mm/diş, 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş ilerleme miktarlarında ve 80 m/dak kesme hızında işlenmesinde yüzeY pürüzlülük değeri yüksek çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni alüminyum gibi sünek malzemelerin 80 m/dak gibi düşük kesme hızlarında işlenmesi sırasında, iş parçasının kesici takım üzerine yapışması yüzeY pürüzlülük değeri artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Yapışan iş parçası malzemesi büyüdükçe kararsız hale gelir ve sonunda devam eden talaşlı imalat işleminin sonucu maruz kaldığı gerilmelere dayanamaz ve kırılarak kesici takımdan ayrılır. Ancak 3 mm cidar kalınlığına sahip numunelerin işlenmesinde kesme hızının 160 m/dak kadar artırılması ile iş parçasının kesici takıma yapışma eğilimi azalacağından yüzeY pürüzlülüğünün azalmasına neden olmaktadır [60, 61]. Bu noktadan sonra kesme hızının artması fener milinin hızının artmasına neden olmaktadır. Buda cidar kalınlığı ince olan parçanın işlenmesinde meydana gelen titreşimden daha fazla etkilendiği düşünülmektedir. Buda yüzeY pürüzlülüğünün artmasına neden olmuştur. 5 mm cidar kalınlığına sahip iş parçasının işlenmesinde 200 m/dak kesme hızına kadar bütün ilerleme miktarları için yüzeY pürüzlülüğü azalmıştır. Ayrıca bütün kesme hızları için ilerleme miktarının artması ile yüzeY pürüzlülüğünün arttığı görülmüş buda literatürde yapılan diğer çalışmalarla örtüşmektedir [62, 64].

6.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ İÇİN CİDAR KALINLIĞI VE KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Bu bölümde, farklı cidar kalınlığında, kesme hızında ve ilerleme miktarında yapılan işleme deneylerinde minimum yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin optimizasyonu hedeflenmiştir. Bu nedenle Taguchi L32 ortogonal deney tasarımı oluşturularak optimum yüzey pürüzlülüğü değerleri belirlenmiştir.

6.2.1. S/N Oranlarının Analizi

Frezeleme deneyleri sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüğü gibi çıktı parametresinin en düşük sonucuna ulaşılacak istenmektedir. Bunun için kesme parametrelerinin optimum seviyelerinin belirlenmesinde S/N oranları kullanılmaktadır. Çalışmanın temel amacı en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri istendiğinden S/N oranlarının hesaplanması için eşitlik 6.1’de verilen “En Küçük En İyi” yaklaşımı kullanılmıştır.

$$S/N = -10 \log_{10} (1/n \sum y^2) \quad (6.1)$$

Çizelge 6.1’de AA 5083-H111 frezelenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ile bunlara karşılık gelen S/N oranları verilmiştir. Yapılan frezeleme deneyleri sonucunda yüzey pürüzlülüğü ortalama değeri 1,554 µm ve buna karşılık gelen ortalama S/N değeri -3,367 dB olarak hesaplanmıştır.

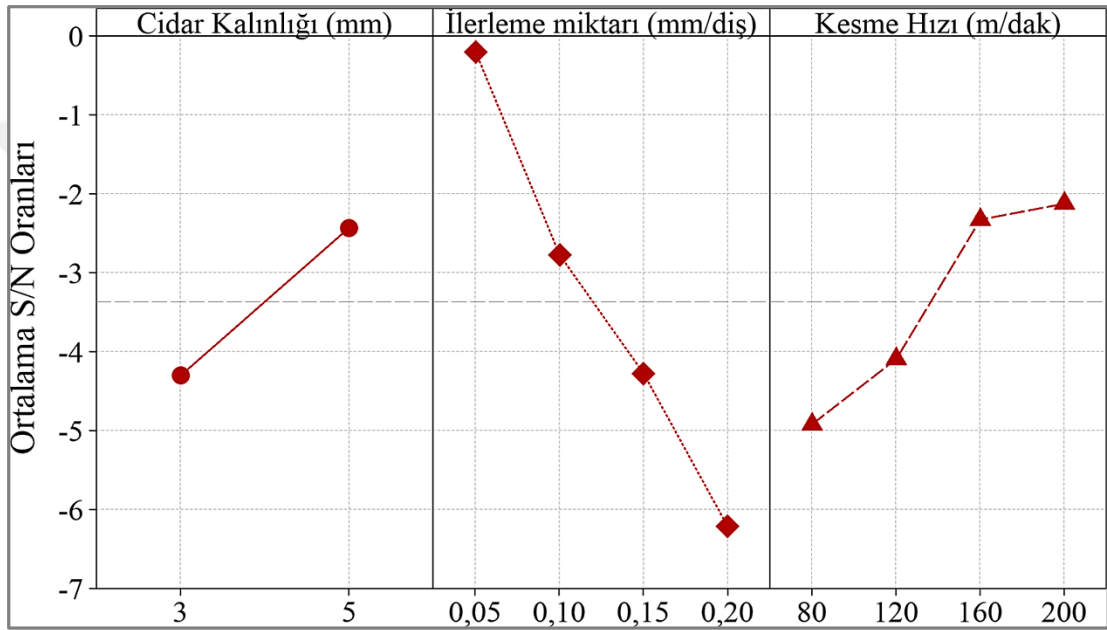
Çizelge 6.1. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ve S/N oranları.

Deney No	Cidar Kalınlığı (mm)	İlerleme Miktarı (f) (mm/diş)	Kesme Hızı (Vc) (m/dak)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (µm)	Yüzey Pürüzlülüğü S/N Oranı (dB)
1	3	0,05	80	1,449	-3,221
2	3	0,05	120	1,232	-1,812
3	3	0,05	160	0,720	2,853
4	3	0,05	200	0,943	0,510
5	3	0,10	80	1,830	-5,249
6	3	0,10	120	1,605	-4,110
7	3	0,10	160	1,158	-1,274
8	3	0,10	200	1,376	-2,772
9	3	0,15	80	2,188	-6,801
10	3	0,15	120	1,998	-6,012
11	3	0,15	160	1,583	-3,990
12	3	0,15	200	1,727	-4,746
13	3	0,20	80	2,566	-8,185
14	3	0,20	120	2,408	-7,633
15	3	0,20	160	2,418	-7,669
16	3	0,20	200	2,730	-8,723
17	5	0,05	80	1,371	-2,741
18	5	0,05	120	1,202	-1,598
19	5	0,05	160	0,919	0,734
20	5	0,05	200	0,657	3,649
21	5	0,10	80	1,511	-3,585
22	5	0,10	120	1,406	-2,960
23	5	0,10	160	1,306	-2,319
24	5	0,10	200	0,992	0,070
25	5	0,15	80	1,630	-4,244
26	5	0,15	120	1,571	-3,924
27	5	0,15	160	1,383	-2,816
28	5	0,15	200	1,214	-1,684
29	5	0,20	80	1,850	-5,343
30	5	0,20	120	1,720	-4,711
31	5	0,20	160	1,610	-4,137
32	5	0,20	200	1,464	-3,311

Yüzey pürüzlülüğü için her bir kesme parametresinin optimum seviyelerine ait S/N yanıt tablosu Çizelge 6.2’de verilmiştir. Çizelge 6.2’de verilen yüzey pürüzlülüğü değerleri için kesme parametrelerinin optimum seviyeleri şekil 6.4’deki grafikte gösterilmiştir. Herhangi bir kesme parametresi için en iyi seviye o kesme parametresinin tüm seviyeleri içerisindeki en büyük S/N oranını ifade etmektedir. Buna göre yüzey pürüzlülüğü için optimum seviyeleri veren kesme parametrelere seviyeleri A2B1C4 (5 mm cidar kalınlığı, 0,05 mm/diş ilerleme miktarı ve 200 m/dak) elde edilmiştir (Şekil 6.4).

Çizelge 6.2. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu.

Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (μm)			
Kesme Parametreleri			
Seviyeler	Cidar Kalınlığı	İlerleme Miktarı	Kesme Hızı
Seviye 1	-4,302	-0,203	-4,921
Seviye 2	-2,433	-2,775	-4,095
Seviye 3		-4,277	-2,327
Seviye 4		-6,214	-2,126
Delta	1,870	6,011	2,795



Şekil 6.4. Yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin S/N oranları ana etki grafiği.

6.2.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Yüzey pürüzlülüğüne cidar kalınlığının, ilerleme miktarının ve kesme hızının etkilerini belirlemek için %95 güven seviyesinde Varyans Analizi (ANOVA) yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA analizi sonuçları Çizelge 6.3'de verilmiştir. Çizelge 6.3'deki P değeri 0.05'den küçük olması kesme parametrelerinin çıktığı parametreleri üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olacağını bildirmişlerdir [65, 67].

Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.

Kesme Parametreleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı Oranı (%)
Cidar Kalınlığı	1	1,1724	1,1724	22,12	0,000	14,64
İlerleme Miktarı	3	4,5750	4,5750	28,78	0,000	57,14
Kesme Hızı	3	0,9882	0,9882	6,22	0,003	12,34
Hata	24	1,2717	1,2717			15,88
Toplam	31	8,0073				100

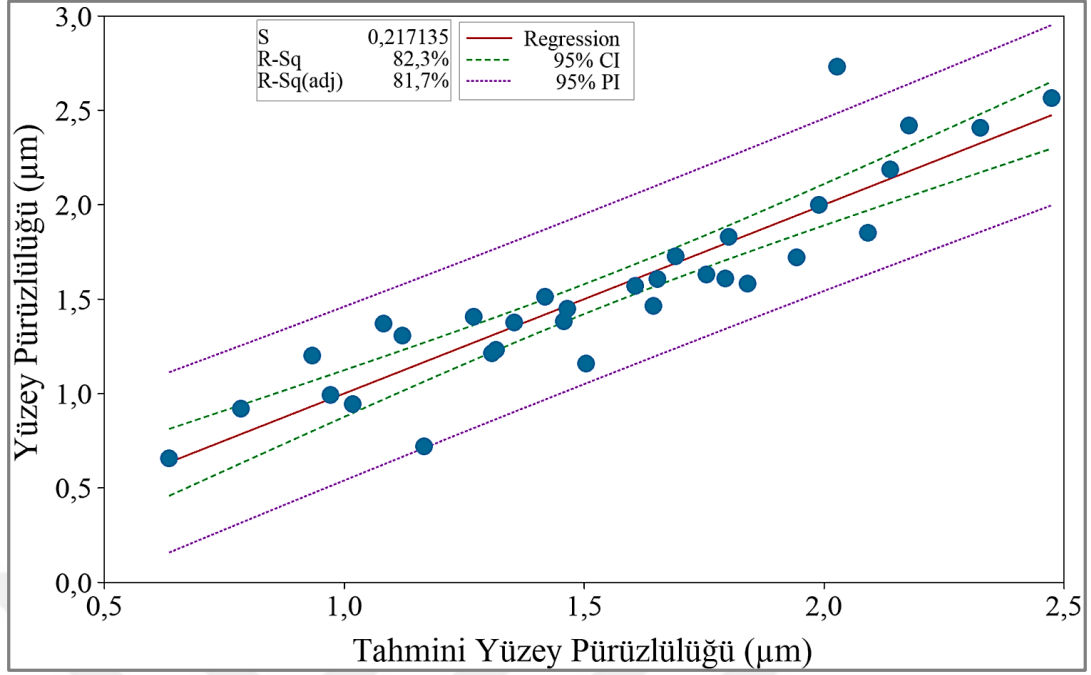
Frezeleme deneylerinde kullanılan kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine yüzde etki oranlarını Çizelge 6.3’de görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkin kesme parametresi %57,14 ile ilerleme miktarı olmuştur. Bunu sırası ile %14,64 cidar kalınlığı ve %12,34 ile kesme hızı takip etmiştir.

6.2.3. Regresyon Analizi

Yüzey pürüzlülüğü ile cidar kalınlığı, ilerleme miktarı ve kesme hızı arasındaki ilişkiyi anlamak amacıyla regresyon analizi uygulanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün tahmini için lineer ve ikinci dereceden regresyon modelleri ayrı ayrı oluşturulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü için elde edilen lineer regresyon modelleri eşitlik 6.2’de verilmiştir. Lineer regresyon modeli ile yüzey pürüzlülüğü için elde edilen denklem korelasyon katsayısı (R^2) %82,34 hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü için elde edilen deney sonuçları ile lineer regresyon modeli kullanılarak elde edilen tahmini sonuçların karşılaştırılması şekil 6.5’de verilmiştir.

$$\text{Yüzey pürüzlülüğü } (\mu\text{m}) = -2,0 - 0,1914 \text{ Cidar kalınlığı} + 6,732 f - 0,003725 Vc \quad (6.2)$$

$$R^2 = \%82,34 \quad R^2 \text{ (Düzeltilmiş)} = \%80,44$$



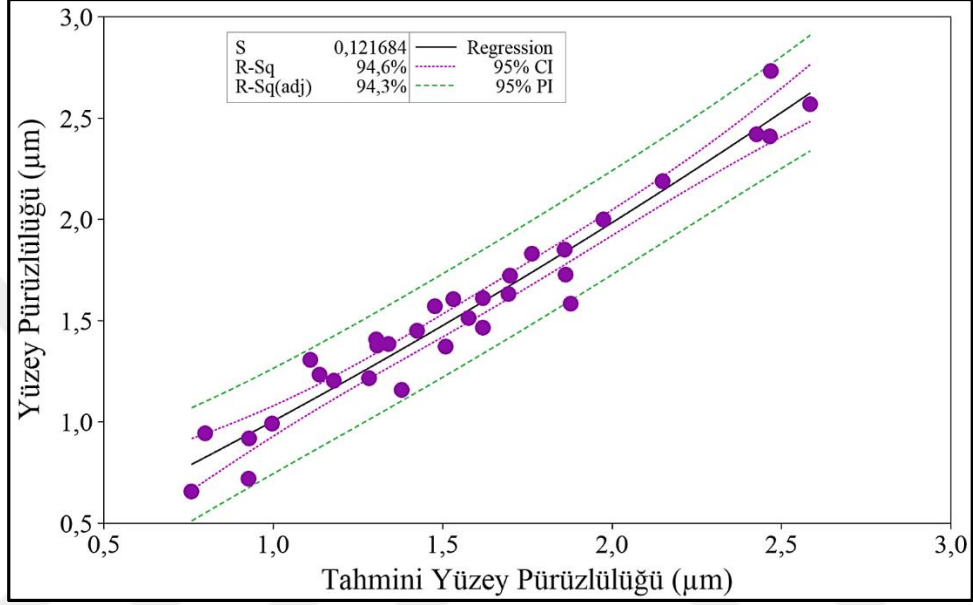
Şekil 6.5. Yüzey pürüzlülüğü için ölçülen değerler ile lineer regresyon modeli ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

Ancak yapılan çalışma %95 güven seviyesinde yapıldığı için ve elde edilen tahmini değerler ile gerçek değerler arasındaki farkın fazla olmasından dolayı kesme parametrelerin etkileşimlerini de kapsayan ikinci dereceden denklem üretilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için daha yüksek tahmin gücünün elde edilmesi amacıyla oluşturulan ikinci dereceden regresyon modeli eşitlik (6.3)'de görülmektedir. İkinci dereceden regresyon modeli ile yüzey pürüzlülüğü için elde edilen denklem katsayısı (R^2) %94,49 hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Yüzey pürüzlülüğü } (\mu\text{m}) = & 1,411 + 0,2181 \text{ Cidar kalınlığı} + 11,13 \text{ } 0,01208 \text{ } Vc + \\ & 9,76 f * f + 0,000025 \text{ } Vc * Vc2,698 \text{ Cidar Kalınlığı}f - \\ & 0,000516 \text{ Cidar Kalınlığı} * Vc + 0,02825 f * Vc \quad (6.3) \end{aligned}$$

$$R^2 = \%94,49 \quad R^2 \text{ (Düzeltilmiş)} = \%92,57$$

Yüzey pürüzlülüğü için elde edilen deney sonuçları ile ikinci dereceden regresyon modeli kullanılarak elde edilen tahmini sonuçların karşılaştırılması şekil 6.6'da verilmiştir. Şekil 6.5 ve şekil 6.6 incelendiğinde gerçek değerlere en yakın sonuçlar ikinci dereceden regresyon modeli ile hesaplanan tahmin değerlerin olduğu görülmüştür.

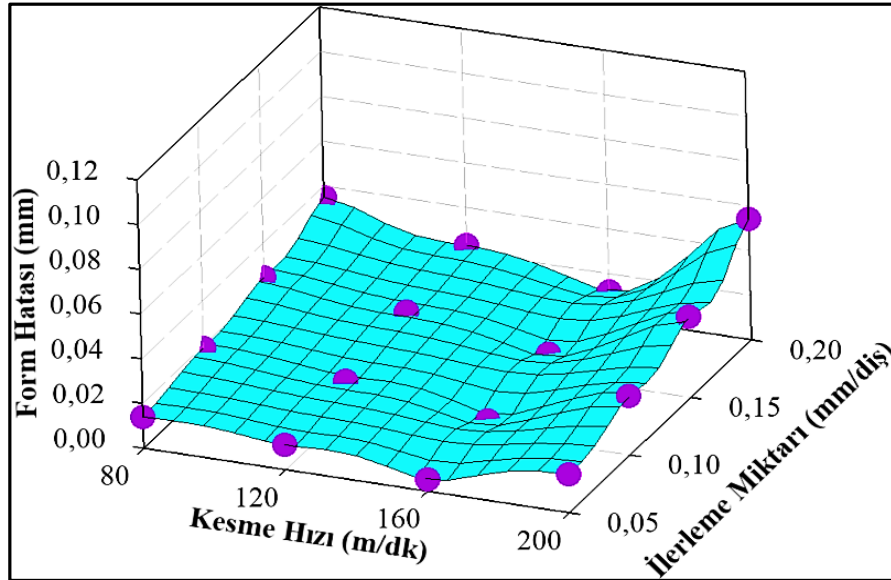


Şekil 6.6. Yüzey pürüzlülüğü için ölçülen değerler ile ikinci regresyon modeli ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

6.3. CMM VE LT ÖLÇÜM SONUÇLARI İÇİN FORM HATASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

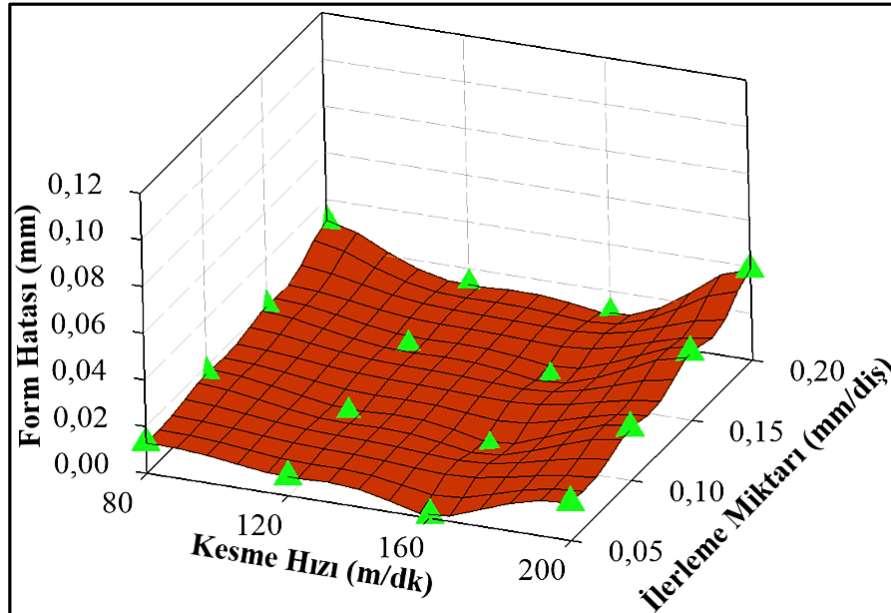
Çalışmanın bu bölümünde serbest olarak tasarlanan 3 mm ve 5 mm kalınlığında duvarlara sahip parçaların dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu kesme parametrelerinin form hatalarına etkileri değerlendirilmiştir. Bunun için işlenen parçalar hem CMM hem de Lazer tarama (LT) cihazı ile ölçülerek ölçümlerin CAD datasından ne kadar sapma olduğu belirlenmiştir. Cidar kalınlığına ve kesme parametrelerine bağlı form hatalarının belirlenmesi için CMM ölçüm sonuçları Şekil 6.7'de, LT sonuçları Şekil 6.9'de sunulmuştur. Ayrıca sabit cidar kalınlığında ve aynı kesme parametrelerde işlenen parçaların ölçülmesi ile iki ölçüm yönteminin farkı şekil 6.11 ve şekil 6.12'de verilmiştir.

3 mm cidar kalınlığında numunelerin dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim Şekil 6.7’de verilmiştir. 80 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/diş ilerleme miktarında CCM için form hatası 0,014 mm ölçülmüştür. 80 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının sırası ile 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim sırası ile %35,71, %78,57 ve %150 oranında artma olmuştur. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızının 160 m/dak’ya çıkarılması ile CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatasında %64,29 oranında azalma göstererek 0,005 mm ölçülmüştür. Bu noktada ile ilerleme miktarının 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim sırası ile ortalama %20, %100 ve %140 oranlarında artmanın olduğu tespit edilmiştir. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızının 200 m/dak’ya çıkarılması ile CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatasında %70,59 oranında artma olmuştur. Kesme hızının sabit tutulması ile ilerleme miktarının sırası ile 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim ortalama %75,74 oranında artma olmuştur.



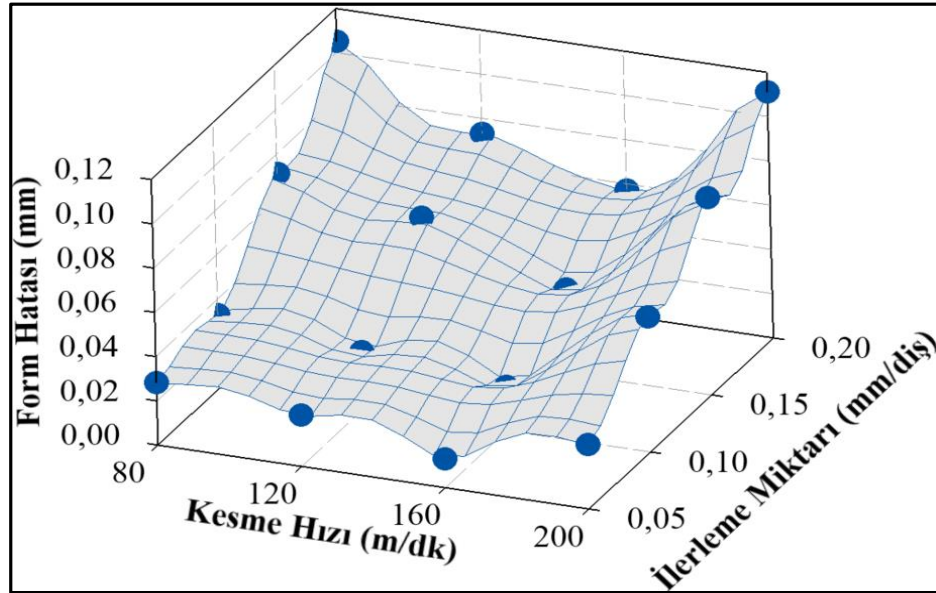
Şekil 6.7. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 3 mm cidar kalınlığı için CMM ölçümünde elde edilen form hatası.

Şekil 6.8’de 5 mm cidar kalınlığında numunelerin dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişimler gösterilmiştir. 80 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/diş ilerleme miktarında CCM için form hatası 0,013 mm ölçülmüştür. 80 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının sırası ile 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim sırası ile %30,77, %53,85 ve %138,46 oranında artma olmuştur. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızının 160 m/dak’ya çıkarılması ile CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatasında %92,31 oranında azalma göstererek 0,001 mm ölçülmüştür. Bu noktada ilerleme miktarının 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim sırası ile ortalama %300, %716,67 ve %900 oranlarında artmanın olduğu tespit edilmiştir. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızının 200 m/dak’ya çıkarılması ile CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatasında %1500 oranında artma ile 0,016 mm ölçülmüştür. Kesme hızının sabit tutulması ile ilerleme miktarının sırası ile 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişimler sırası ile %38,54, %81,25 ve %143,76 oranında artma olmuştur.



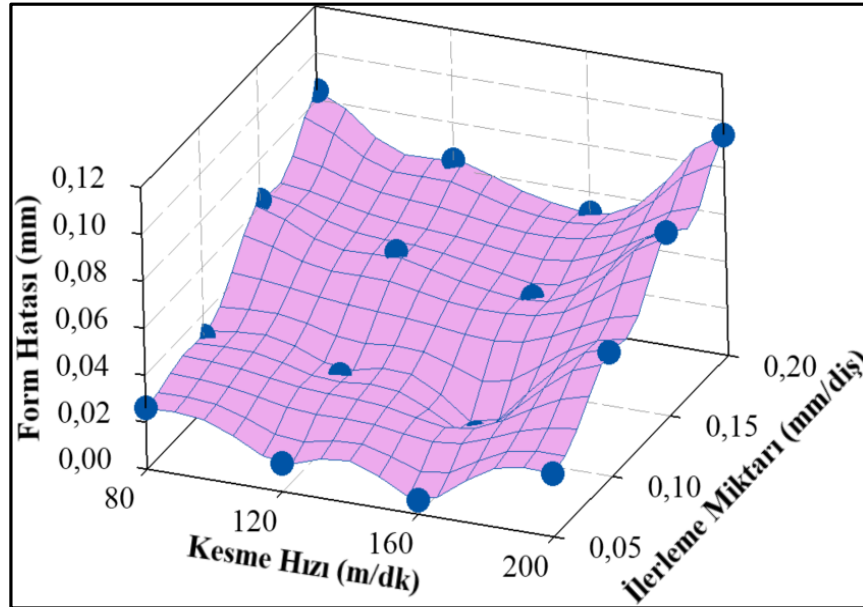
Şekil 6.8. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 5 mm cidar kalınlığı için CMM ölçümünde elde edilen form hatası.

3 mm cidar kalınlığında numunelerin dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim Şekil 6.9'de verilmiştir. 80 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/diş ilerleme miktarında LT için form hatası 0,028 mm ölçülmüştür. 80 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının sırası ile 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim sırası ile %17,86, %153,57 ve %275 oranında artma olmuştur. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızının 160 m/dak'ya çıkarılması ile LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatasında %53,57 oranında azalma göstererek 0,013 mm ölçülmüştür. Bu noktada ilerleme miktarının 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim sırası ile ortalama %53,85, %192,31 ve %338,46 oranlarında artmanın olduğu tespit edilmiştir. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızının 200 m/dak'ya çıkarılması ile CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatasında %123,08 oranında artma olmuştur. Kesme hızının sabit tutulması ile ilerleme miktarının sırası ile 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim sırası ile %110,34, %206,9 ve %282,76 oranında artma olmuştur.



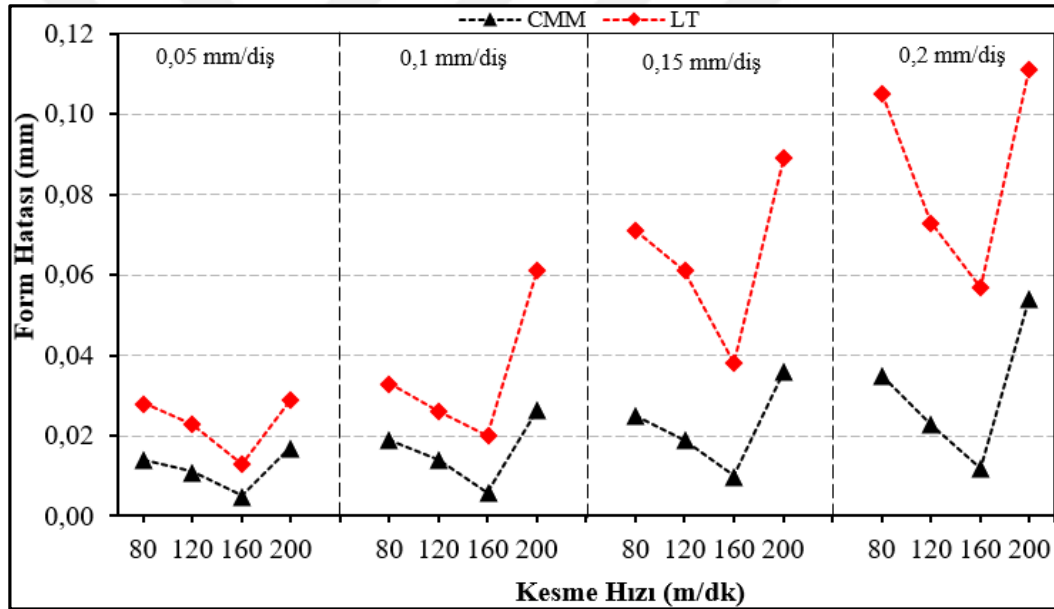
Şekil 6.9. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 3 mm cidar kalınlığı için LT ölçümünde elde edilen form hatası

Şekil 6.10'de 5 mm cidar kalınlığında numunelerin dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişimler gösterilmiştir. 80 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/diş ilerleme miktarında LT için form hatası 0,026 mm ölçülmüştür. 80 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının sırası ile 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim sırası ile %19,23, %142,31 ve %223,08 oranında artma olmuştur. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızının 160 m/dak'ya çıkarılması ile LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatasında %76,92 oranında azalma göstererek 0,006 mm ölçülmüştür. Bu noktada ilerleme miktarının 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim sırası ile ortalama %50, %583,3 ve %750 oranlarında artmanın olduğu tespit edilmiştir. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızının 200 m/dak'ya çıkarılması ile LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatasında %350 oranında artma ile 0,027 mm ölçülmüştür. Kesme hızının sabit tutulması ile ilerleme miktarının sırası ile 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş çıkarılması ile CMM ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişimler sırası ile %96,3, %188,89 ve %248,15 oranında artma olmuştur.

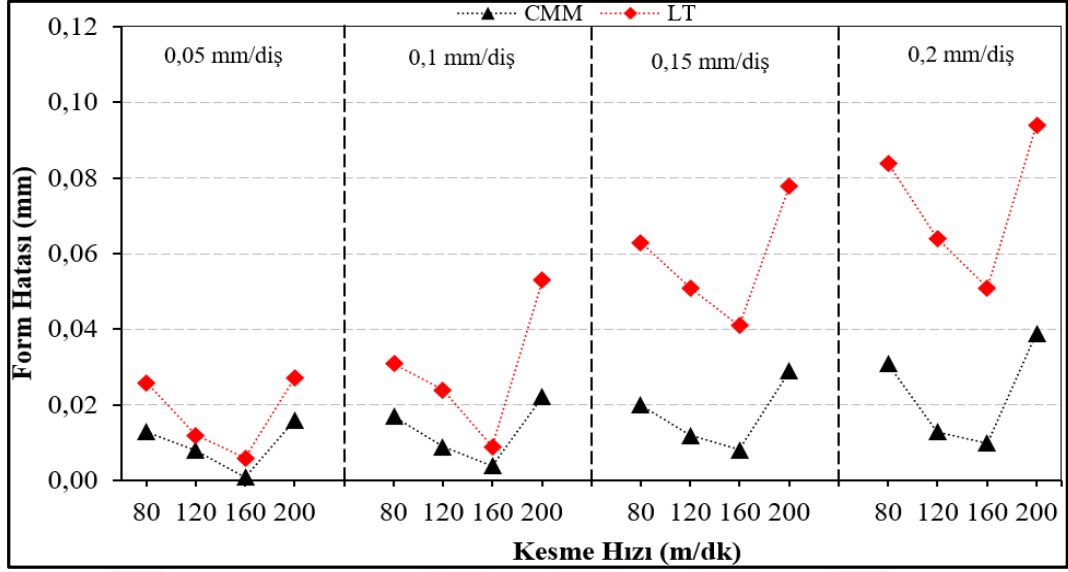


Şekil 6.10. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 5 mm cidar kalınlığı için LT ölçümünde elde edilen form hatası

Şekil 6.11’da dört farklı kesme hızı ve dört farklı ilerleme miktarında 3 mm cidar kalınlığına sahip numunelerin işlenmesi sonucu elde edilen numunelerin CMM ve LT ile ölçüm sonucu elde edilen form hata değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. 3 mm cidar kalınlığı için her iki ölçüm sonucu optimum form hata sonucu 160 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ölçüldüğü görülmüştür. 3 mm cidar kalınlığı için her iki ölçüm sonucu maksimum form hata sonucunun 200 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ölçülmüştür. 0,05 mm/diş, 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş ilerleme miktarlarında ve bütün kesme hızlarında yapılan deney sonuçlarına göre form hatası LT ile yapılan ölçümler CMM ile yapılan ölçümlere göre sırası ile ortalama %109,92, %131,09, %208,07 ve %224,49 oranlarında artma olduğu görülmüştür.



Şekil 6.11. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 3 mm cidar kalınlığında CMM ve LT ölçümü için form hatası farkı.



Şekil 6.12. Farklı kesme parametrelerinde işlenen 5 mm cidar kalınlığında CMM ve LT ölçümü için form hatası farkı.

Şekil 6.12'da dört farklı kesme hızı ve dört farklı ilerleme miktarında 5 mm cidar kalınlığına sahip numunelerin işlenmesi sonucu elde edilen numunelerin CMM ve LT ile ölçüm sonucu elde edilen form hata değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. 5 mm cidar kalınlığı için her iki ölçüm sonucu optimum form hata sonucu 160 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ölçüldüğü görülmüştür. 3 mm cidar kalınlığı için her iki ölçüm sonucu maksimum form hata sonucunun 200 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ölçülmüştür. 0,05 mm/diş, 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş ilerleme miktarlarında ve bütün kesme hızlarında yapılan deney sonuçlarına göre form hatası LT ile yapılan ölçümler CMM ile yapılan ölçümlere göre sırası ile ortalama %179,69, %128,28, %277,75 ve %280,17 oranlarında artma olduğu görülmüştür.

6.4. FORM HATASI İÇİN CİDAR KALINLIĞI VE KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Bu bölümde, farklı cidar kalınlığında, kesme hızında ve ilerleme miktarında yapılan işleme deneyleri sonucu iki farklı yöntemle ölçülen minimum form hataları için kesme parametrelerinin optimizasyonu hedeflenmiştir. Bu nedenle Taguchi L32 ortogonal

deney tasarımı oluşturularak CMM ve LT için optimum form hata değerleri belirlenmiştir.

6.4.1. S/N Oranlarının Analizi

Frezeleme deneyleri sonucu CMM ve LT için elde edilen form hatalarının en düşük sonuçlarına ulaşılmak istenmektedir. Bunun için Çizelge 6.4'de AA 5083-H111 frezelenmesi sonucu CMM ve LT ölçüm değerleri için elde edilen form hata değerleri ile bunlara karşılık gelen S/N oranları verilmiştir. Yapılan frezeleme deneyleri sonucunda CMM ve LT ölçüm değerleri için elde edilen form hatalarının ortalama değeri sırası ile 0,018 mm ve 0,049 mm iken bunlara karşılık gelen ortalama S/N değeri sırası ile 36,881 dB ve 28,1667 olarak hesaplanmıştır.

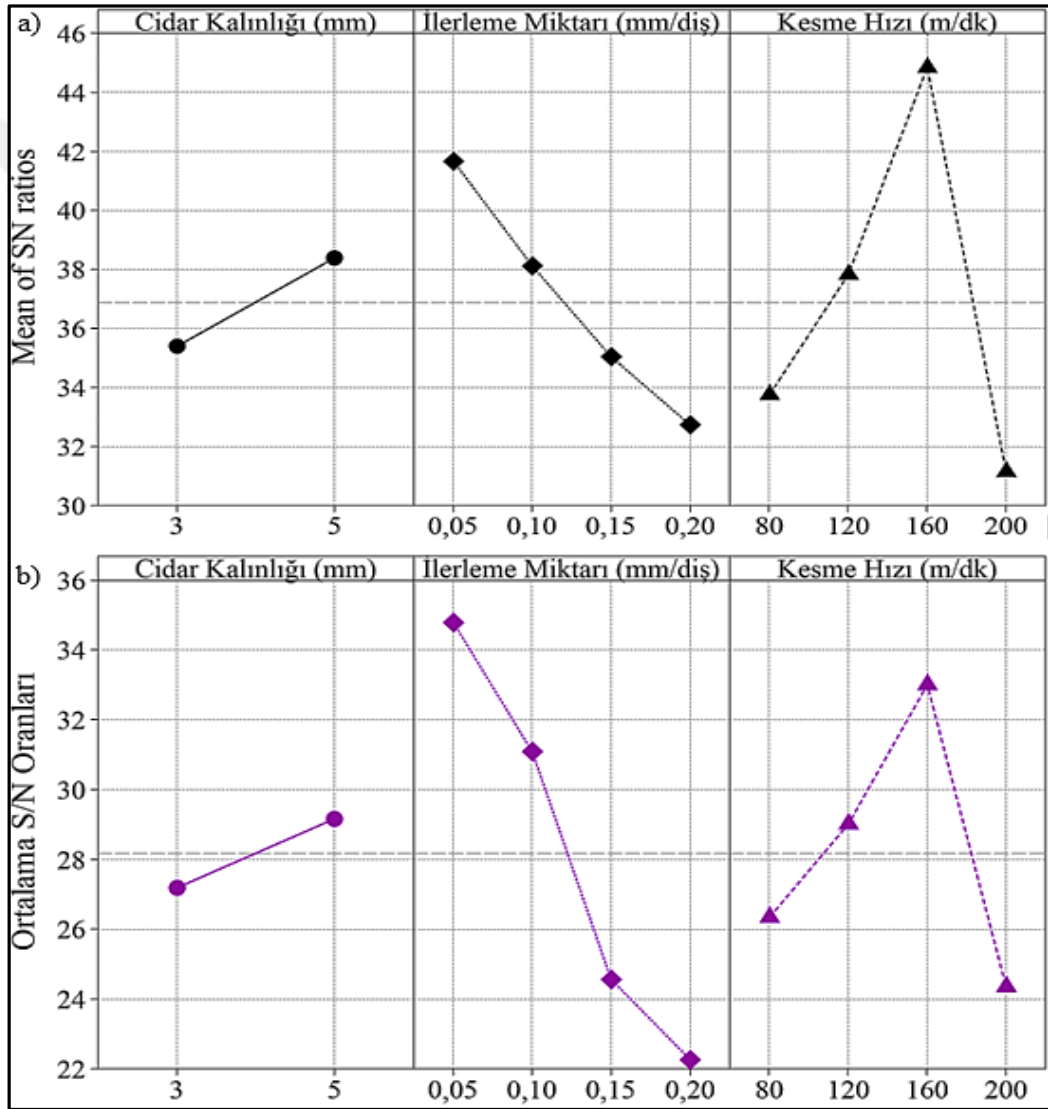
CMM ve LT için elde edilen form hataları için her bir kesme parametresinin optimum seviyelerine ait S/N yanıt tablosu Çizelge 6.5'de verilmiştir. Çizelge 6.5'de verilen CMM ve LT için elde edilen form hataları değerleri için kesme parametrelerinin optimum seviyeleri Şekil 6.13'deki grafikte gösterilmiştir. Herhangi bir kesme parametresi için en iyi seviye o kesme parametresinin tüm seviyeleri içerisindeki en büyük S/N oranını ifade etmektedir. Buna göre CMM ve LT'da elde edilen form hataları için optimum seviyeleri veren kesme parametrelere seviyeleri A2B1C3 (5 mm cidar kalınlığı, 0,05 mm/diş ilerleme miktarı ve 160 m/dak) elde edilmiştir (Şekil 6.12).

Çizelge 6.4. CMM ve LT için form hatası ve S/N oranları.

Deney No	Cidar Kalınlığı (mm)	İlerleme Miktarı (f) (mm/diş)	Kesme Hızı (Vc) (m/dak)	Form Hatası (mm)		Form Hatası S/N Oranı (dB)	
				CMM	LT	CMM	LT
1	3	0,05	80	0,014	0,028	37,077	31,057
2	3	0,05	120	0,011	0,023	39,172	32,765
3	3	0,05	160	0,005	0,013	46,021	37,721
4	3	0,05	200	0,017	0,029	35,391	30,752
5	3	0,10	80	0,019	0,033	34,425	29,630
6	3	0,10	120	0,014	0,026	37,077	31,701
7	3	0,10	160	0,006	0,020	44,437	33,979
8	3	0,10	200	0,026	0,061	31,590	24,293
9	3	0,15	80	0,025	0,071	32,041	22,975
10	3	0,15	120	0,019	0,061	34,425	24,293
11	3	0,15	160	0,010	0,038	40,000	28,404
12	3	0,15	200	0,036	0,089	28,874	21,012
13	3	0,20	80	0,035	0,105	29,119	19,576
14	3	0,20	120	0,023	0,073	32,765	22,734
15	3	0,20	160	0,012	0,057	38,416	24,883
16	3	0,20	200	0,054	0,111	25,352	19,094
17	5	0,05	80	0,013	0,026	37,721	31,701
18	5	0,05	120	0,008	0,012	41,938	38,416
19	5	0,05	160	0,001	0,006	60,000	44,437
20	5	0,05	200	0,016	0,027	35,918	31,373
21	5	0,10	80	0,017	0,031	35,391	30,173
22	5	0,10	120	0,009	0,024	40,915	32,396
23	5	0,10	160	0,004	0,009	47,959	40,915
24	5	0,10	200	0,022	0,053	33,086	25,514
25	5	0,15	80	0,020	0,063	33,979	24,013
26	5	0,15	120	0,012	0,051	38,416	25,849
27	5	0,15	160	0,008	0,041	41,759	27,744
28	5	0,15	200	0,029	0,078	30,752	22,158
29	5	0,20	80	0,031	0,084	30,173	21,514
30	5	0,20	120	0,013	0,064	37,833	23,876
31	5	0,20	160	0,010	0,051	40,000	25,849
32	5	0,20	200	0,039	0,094	28,179	20,537

Çizelge 6.5. CMM ve LT için form hatası S/N yanıt tablosu.

Form Hatası (mm)						
Seviyeler	CMM			LT		
	Cidar Kalınlığı	İlerleme Miktarı	Kesme Hızı	Cidar Kalınlığı	İlerleme Miktarı	Kesme Hızı
Seviye 1	35,39	41,65	33,74	27,18	34,78	26,33
Seviye 2	38,38	38,11	37,82	29,15	31,08	29,00
Seviye 3		35,03	44,82		24,56	32,99
Seviye 4		32,73	31,14		22,26	24,34
Delta	2,99	8,93	13,68	1,97	12,52	8,65



Şekil 6.13. Form hatası için kesme parametrelerinin S/N oranları ana etki grafiği. a) CMM ölçümü, b) LT ölçümü.

6.4.2. Varyans Analizi (ANOVA)

CMM ve LT için elde edilen form hataları üzerine cidar kalınlığının, ilerleme miktarı ve kesme hızının etkilerini belirlemek için %95 güven seviyesinde Varyans Analizi (ANOVA) yapılmıştır. CMM ve LT’da elde edilen form hataları için ANOVA analizi sonuçları Çizelge 6.6’de verilmiştir.

Çizelge 6.6. CMM ve LT’da form hatası için ANOVA tablosu.

Kesme Parametreleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı Oranı (%)
CMM						
Cidar Kalınlığı	1	0,000172	0,000172	8,90	0,006	4,07
İlerleme Miktarı	3	0,001215	0,001215	20,97	0,000	28,77
Kesme Hızı	3	0,002371	0,002371	40,95	0,000	56,18
Hata	24	0,000463	0,000463			10,98
Toplam	31	0,004221				100
LT						
Cidar Kalınlığı	1	0,000480	0,000480	9,67	0,005	1,85
İlerleme Miktarı	3	0,017644	0,017644	118,32	0,000	68,06
Kesme Hızı	3	0,006606	0,006606	44,30	0,000	25,48
Hata	24	0,001193	0,001193			4,60
Toplam	31	0,025924				100

Frezeleme deneylerinde kullanılan kesme parametrelerinin CMM ve LT ölçüleri sonucu elde edilen form hataları üzerine yüzde etki oranlarını Çizelge 6.6’de görülmektedir. CMM ölçümleri üzerine en etkin kesme parametresi %56,18 ile kesme hızı olmuştur. Bunu sırası ile %28,77 ilerleme miktarı ve %4,07 ile cidar kalınlığı takip etmiştir. LT ölçümleri üzerine en etkin kesme parametresi %68,06 ile ilerleme miktarı olmuştur. Bunu sırası ile %25,48 kesme hızı ve %1,85 ile cidar kalınlığı takip etmiştir.

6.4.3. Regresyon Analizi

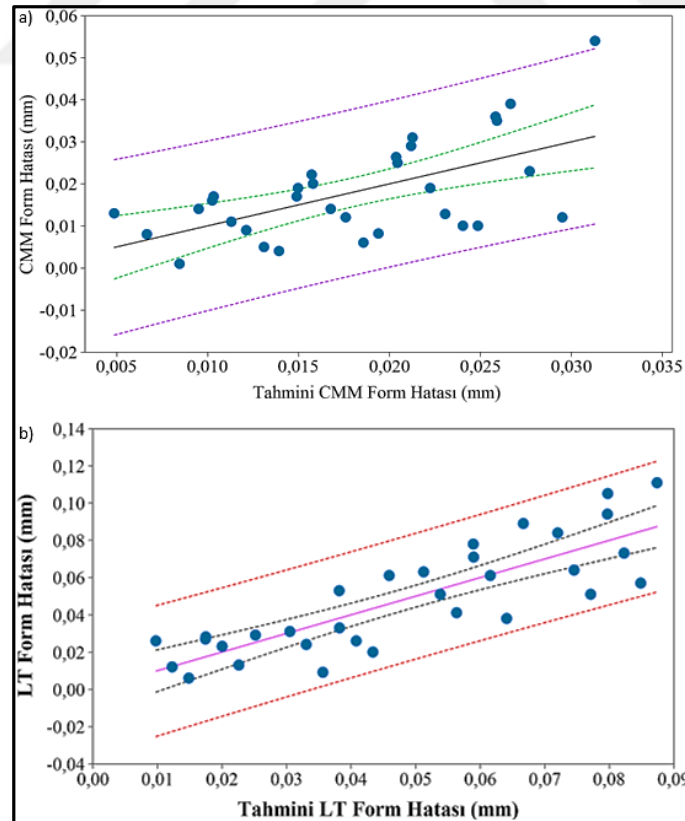
CMM ve LT ile ölçülen form hataları ile cidar kalınlığı, ilerleme miktarı ve kesme hızı arasındaki ilişkiyi anlamak amacıyla regresyon analizi uygulanmıştır. CMM ve LT ile ölçülen form hatalarının tahmini için lineer ve ikinci dereceden regresyon modelleri ayrı ayrı oluşturulmuştur. CMM ve LT ile ölçülen form hataları için elde edilen lineer

regresyon modelleri sırası ile Eşitlik 6.4 ve Eşitlik 6.5’de verilmiştir. CMM ve LT ile ölçülen form hataları için elde edilen deney sonuçları ile lineer regresyon modeli kullanılarak elde edilen tahmini sonuçların karşılaştırılması Şekil 6.14’de verilmiştir.

$$\text{CMM Form hatası (mm)} = 0,00739 - 0,00232 \text{ Cidar kalınlığı (mm)} + 0,1093 f + 0,000046 V_c \quad (6.4)$$

$$\text{LT Form hatası (mm)} = 0,0032 - 0,00387 \text{ Cidar kalınlığı (mm)} + 0,4150 f + 0,000064 V_c \quad (6.5)$$

Ancak yapılan çalışma elde edilen tahmini değerler ile gerçek değerler arasındaki farkın fazla olmasından dolayı kesme parametrelerin etkileşimlerini de kapsayan ikinci dereceden denklem üretilmiştir. CMM ve LT için form hatalarının daha yüksek tahmin gücünün elde edilmesi amacıyla CMM ve LT için oluşturulan ikinci dereceden regresyon modeli sırası ile Eşitlik 6.6 ve Eşitlik 6.7’de görülmektedir.

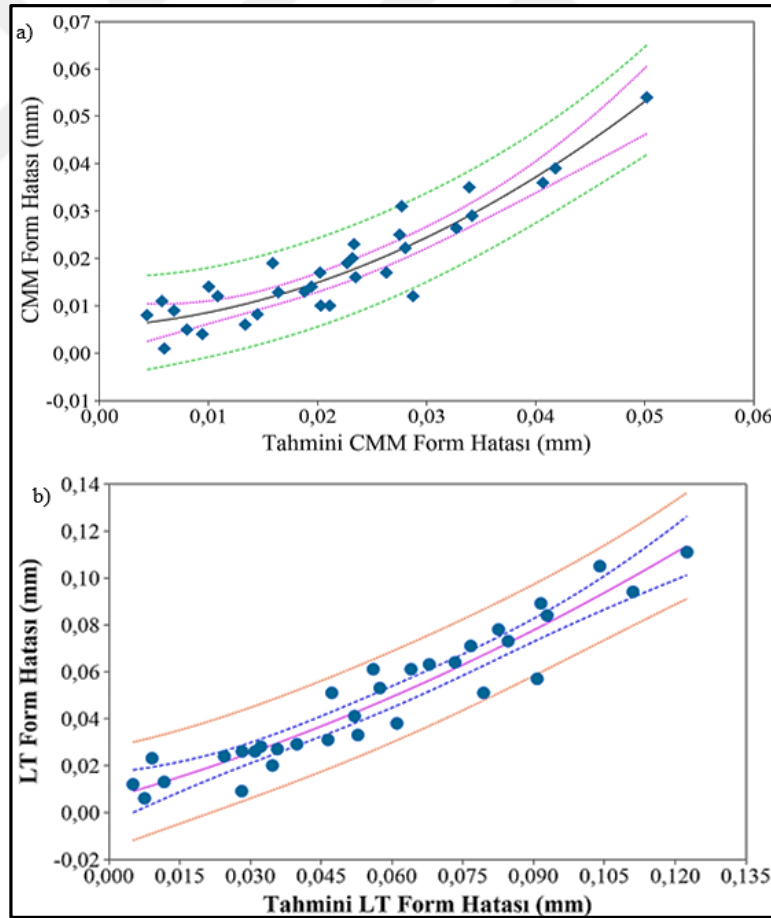


Şekil 6.14. CMM ve LT form hataları için ölçülen değerler ile lineer regresyon modeli ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

CMM ve LT ölçümleri sonucu elde edilen form hataları ile ikinci dereceden regresyon modeli kullanılarak elde edilen tahmini sonuçların karşılaştırılması Şekil 6.15’da verilmiştir. Şekil 6.14 ve Şekil 6.15 incelendiğinde gerçek değerlere en yakın sonuçlar ikinci dereceden regresyon modeli ile hesaplanan tahmin değerlerin olduğu görülmüştür.

$$\begin{aligned} \text{CMM Form hatası (mm)} = & 0,0913 + 0,00132 \text{ Cidar kalınlığı} + 0,032 f \text{ (mm/diş)} - \\ & 0,001342 Vc + 0,315 f * f - 0,000005 Vc * Vc - \\ & 0,0185 \text{ Cidar Kalınlığı} * f - 0,000009 \text{ Cidar Kalınlığı} * Vc + \\ & 0,000523 * Vc \end{aligned} \quad (6.6)$$

$$\begin{aligned} \text{LT Form hatası (mm)} = & 0,1423 - 0,00070 \text{ Cidar kalınlığı} + 0,334 f \text{ (mm/diş)} - \\ & 0,002203 Vc + 0,675 f * f + 0,000008 Vc * Vc - \\ & 0,024 \text{ Cidar Kalınlığı} * f - 0,000001 \text{ Cidar Kalınlığı} * Vc + \\ & 0,00006 * Vc \end{aligned} \quad (6.7)$$



Şekil 6.15. CMM ve LT form hataları için ölçülen değerler ile ikinci regresyon modeli ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada AA 5083-H111 serbest formlu yüzeylerin kaplamasız yekpare karbür parmak freze ile Taguchi deney tasarımına (3 mm ve 5 mm Cidar kalınlığı, 0,05 mm/diş, 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş ve 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 80 m/dak, 120 m/dak, 160 m/dak ve 200 m/dak kesme hızında) göre hazırlanan deney kombinasyonlarında işlenmiştir. Frezeleme deneyleri sonucunda işlenen yüzeylerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), CCM ve LT ile yapılan ölçümler sırasında meydana gelen form hataları ayrı ayrı kıyaslanmış ve iki ölçüm sonucu form hataları arasındaki fark değerlendirilmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü ve form hataları için S/N oranları, ANOVA ve regrasyon analizi yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilerek aşağıda özetlenmiştir:

- 3 mm cidar kalınlığında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 160 m/dak kesme hızında en iyi yüzey pürüzlülüğü 0,72 μm iken 5 mm cidar kalınlığında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında en iyi yüzey pürüzlülüğü 0,657 μm ölçülmüştür.
- 3 mm cidar kalınlığında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında en yüksek yüzey pürüzlülüğü 2,73 μm iken 5 mm cidar kalınlığında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 80 m/dak kesme hızında en yüksek yüzey pürüzlülüğü 1,85 μm ölçülmüştür.
- Yüzey pürüzlülüğünün optimum değerleri için yapılan optimizasyon sonucu kesme parametrelere seviyeleri A2B1C4 (5 mm cidar kalınlığı, 0,05 mm/diş ilerleme miktarı ve 200 m/dak) elde edilmiştir.

- ANOVA analiz sonucuna göre yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkin kesme parametresi %57,14 ile ilerleme miktarı olmuştur. Bunu sırası ile %14,64 cidar kalınlığı ve %12,34 ile kesme hızı takip etmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü için yapılan regresyon analiz sonuçlarında ikinci derece regresyon analiz sonuçları lineer regresyon sonuçlarına göre gerçek değerlere en yakın sonuçları verdiği görülmüştür.
- CMM ölçümlerinde en düşük form hatası 5 mm cidar kalınlığında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 160 m/dak kesme hızında 0,001 mm ölçülürken en yüksek form hatası 3 mm cidar kalınlığında, 0,15 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında 0,036 mm ölçülmüştür.
- LT ölçümlerinde en düşük form hatası 5 mm cidar kalınlığında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 160 m/dak kesme hızında 0,006 mm ölçülürken en yüksek form hatası 3 mm cidar kalınlığında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında 0,054 mm ölçülmüştür.
- CMM ve LT'da ölçülerek elde edilen form hatalarının optimum değerleri belirlemek için yapılan optimizasyon sonucu kesme parametrelere seviyeleri A2B1C3 (5 mm cidar kalınlığı, 0,05 mm/diş ilerleme miktarı ve 160 m/dak) elde edilmiştir.
- CMM ölçümleri üzerine en etkin kesme parametresi %56,18 ile kesme hızı olmuştur. Bunu sırası ile %28,77 ilerleme miktarı ve %4,07 ile cidar kalınlığı takip etmiştir.
- LT ölçümleri üzerine en etkin kesme parametresi %68,06 ile ilerleme miktarı olmuştur. Bunu sırası ile %25,48 kesme hızı ve %1,85 ile cidar kalınlığı takip etmiştir.
- CMM ve LT için yapılan regresyon analiz sonuçlarında ikinci derece regresyon analiz sonuçlarında elde edilen tahmini değerlerin lineer regresyon sonuçlarına göre elde edilen tahmini değerlerden gerçek değerlere daha yakın olduğu görülmüştür.

7.2. ÖNERİLER

AA 5083-H111 kaplamasız yekpare karbür parmak freze ile serbest formlu yüzeylerin farklı kesme parametreleri ile işlenmesi sonucu yüzey pürüzlülüğünün ve form hatalarının CMM ve LT ölçüm yöntemleri ile değerlendirilmesi üzerine hazırlanan bu çalışmanın daha kapsamlı sonuçların ve bundan sonra yapılacak olan benzer çalışmalar ışık tutacak öneriler aşağıda verilmiştir:

- İşleme sırasında kesme kuvvetleri ölçülebilir.
- İşleme sırasında kesici takım kaplaması, kesici takım çapı ve kesici takım bağlama boyu gibi parametrelerin etkileri incelenebilir.
- İşleme sırasında anlık takım sehim ölçülerek takım sehiminin form hatasına etkilerine bakılabilir.

KAYNAKLAR

1. Samtaş, G., “Optimisation of cutting parameters during the face milling of AA5083-H111 with coated and uncoated inserts using Taguchi method”, *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 17(3-4): 211-232 (2015).
2. Said, M. S., Ghani, J. A., Selamat, M. A., Wan, N. N. I., and Che, H. C., “Optimisation of End Milling Machining Parameters Using the Taguchi Method and ANOVA of AlSi/AlN Metal Matrix Composite Material”, *In Key Engineering Materials*, 701: 200-204 (2016).
3. Yaka, H., Akkuş, H., and Uğur, L., “AISI 1040 Çeliğinin Tornalamasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu”, *Celal Bayar University Journal of Science*, 12(2): 283-288 (2016).
4. Rashid, W. B., Goel, S., Davim, J. P., and Joshi, S. N., “Parametric design optimization of hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC)”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 82(1-4): 451-462 (2016).
5. Gupta, M., and Kumar, S., “Investigation of surface roughness and MRR for turning of UD-GFRP using PCA and Taguchi method”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18(1): 70-81 (2015).
6. Risbood, K. A., Dixit, U. S., and Sahasrabudhe, A. D., “Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 132(1): 203-214 (2003).
7. Li, X. P., Nee, A. Y. C., Wong, Y. S. and Zheng, H. Q., “Theoretical modelling and simulation of milling forces”, *Journal of Materials Processing Technology*, 89-90: 266-272 (1999).
8. Lazoğlu, İ., “Sculpture surface machining: a generalized model of ball-end milling force system”, *Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 453- 462 (2003).
9. Milfelner, M. and Cus, F., “Simulation of cutting forces in ball-end milling”, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 19: 99-106 (2003).

10. Kim, G. M., Kim, B. H. and Chu, C. N., "Estimation of cutter deflection and form error in ball end milling processes", *Machine Tools & Manufacture*, 43: 917-924 (2003).
11. Kurt, M. and Bagci, E., "Feedrate optimisation/scheduling on sculptured surface machining: a comprehensive review, applications and future directions", *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 55: 1037-1067 (2011).
12. Martellotti, M. E. "An analysis of the milling process." *Trans ASME* 63: 677-700 (1941).
13. Dişbudak, T., " Alüminyum alaşımının talaşlı işlenmesinde ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey kalitesine etkisi." Yüksek Lisans Tezi, *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bolu, 88-96 (2015).
14. ERSOYOĞLU, A. S., ve Ünüvar, A. " Serbest şekilli yüzeylerin işlenmesi için takım yolu oluşturulması." *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi* 23.2: 59-70 (2008).
15. Pınarbaşı, A., "Optimization of the effect of processing parameters on surface roughness and cutting energy in CNC Milling of Al-7075 material." *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 35.2: 345-356 (2020).
16. Gündüz, M. E., "Serbest şekilli yüzeylerin işlenmesinde kullanılan küresel uçlu parmak freze takımlarının performanslarının karşılaştırılması." Yüksek Lisans Tezi. *Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat, 53-72 (2015).
17. Ikuu, B. W., Tanaka, H., Obata, F. and Sakamoto, S., "Prediction of cutting forces and machining error in ball end milling of curved surfaces-II Experimental verification", *Precision Engineering*, 26: 69–82 (2002).
18. Özdemir, B., Güler, M. S., Bahçe, E. and Aktaş, S., "Serbest şekilli yüzeylerin frezelenmesinde işleme parametrelerinin form hatası üzerine etkilerinin araştırılması", *Ordu Univ. J. Sci. Tech.*, 6(2): 300-315 (2016).
19. Bagcı E., "Monitoring and analysis of MRR-based feedrate optimization approach and effects of cutting conditions using acoustic sound pressure level in free-form surface milling", *Scientific Research and Essays*, 6 (2): 256- 277 (2011).
20. Bektaş, B. S., ve Samtaş, G., "Alüminyum 6061-T651 Alaşımının Kaplamalı Kesici Uçlarla Frezelenmesinde Kesici Takım Aşınmasının Optimizasyonu." *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 10.2: 641-651.
21. Durmuş, V., "Al 7075 malzemenin parmak frezeler ile işlenebilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 29-34 (2019).

22. Şah, A., “Frezeleme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme enerjisine etkisinin taguchi metodu ile optimizasyonu.” Yüksek Lisans Tezi. *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 21-35 (2019).
23. Yaka, H., Demir, H., Gök, A., ve AKKUŞ, H., "Determination of optimum cutting parameters on free form surfaces in terms of form errors and machining times." *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences* 36.4: 1153-1164 (2018).
24. Aktaş, S., “Al 6082 alaşımında kontrol noktaları ile belirlenmiş serbest şekilli yüzeyin cnc freze tezgahında imalatının araştırılması Yüksek Lisans Tezi. *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 54-76 (2015).
25. Bakır, B., “Frezelemede Talaş Oluşumunun ve Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi.” Doktora Tezi. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 60-88 (2019).
26. O. Öndin, “Ph 13-8 Mo çeliğinin tornalanmasında mql sisteminde kullanılan bitkisel esaslı kesme yağına çok duvarlı karbon nanotüp ilavesinin işleme çıktıları üzerindeki etkisi,” Yüksek lisans tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce, 22-29 (2019).
27. M. E. Korkmaz, “Nikel esaslı süper alaşımın (Nimonic 80A) malzeme yapısal denklem parametrelerinin belirlenmesi ve uygulanabilirliğinin araştırılması,” Doktora tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2018).
28. Çakır, M. C., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları*, 525, (1999).
29. Toh, C. K., “A study of the effects of cutter path strategies and orientations in milling”, *Journal of Materials Processing Technology*, 152: 346-356 (2004).
30. Monreal, M. and Rodriguez, C. A., “Influence of tool path strategy on the cycle time of high-speed milling”, *Computer Aided Design*, 35: 395-401 (2003).
31. Toh, C. K., “Design, evaluation and optimisation of cutter path strategies when high speed machining hardened mould and die materials”, *Materials & Design*, 26: 517-533 (2005).
32. Giri, V., Bezbaruah, D., Bubna, P. and Choudhury, R.A., “Selection of master cutter paths in sculptured surface machining by employing curvature principle”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1202–1209 (2005).
33. Koç, F. G., “AA7075 Alüminyum alaşımına ısıl işlem parametrelerinin endüstriyel koşullarda optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 5-6, 28, 71 (2019).

34. Şeker, U., Kurt, A. ve Çiftçi, İ., “Design and construction of dynamometer for measurement of cutting forces during machining with linear motion”, *International Journal of Materials in Engineering Applications*, c. 23, sayı 4, ss. 355–360, (2002).
35. Günay, M., “Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, (2003).
36. Ç. V. Yıldırım, Ç. V., “Waspaloy süper alaşımının farklı soğutma teknikleri kullanarak frezeleme yöntemi ile işlenebilirliğinin incelenmesi”, Doktora tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce, (2017).
37. Akkurt, M., Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, 147–186, (2000).
38. Akkurt, M., Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi, CNC Takım Tezgâhları ve Üretim Otomasyonu, 2. baskı. İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, 80–138, (2012).
39. Yaka, H., “Serbest formlu yüzeylerde form hataları ve yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, *Karabük*, 38-42, 106 (2018).
40. Luo, X. and Cheng, K., “Abrasive nanometric machining: modelling, simulation and its application promise”, *Key Engineering Materials Vols.*, 257-258: 27-32 (2004).
41. Kundrak, J., Karpuschewski, B., Gyania, K. and Bana, V., “Accuracy of hard turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, 2: 328–338 (2008).
42. Wang, Y., Chen, X. and Gindy, N., “Surface error decomposition for fixture development”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31: 948–956 (2007).
43. Lee, S. G. and Yang, S. H., “Improvement of product accuracy in freeform surface machining”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21: 972–979 (2003).
44. Yılmaz, E., “Takım çeliğinden (Aisi 4340) farklı İki yöntemle üretilen takım tutucularının Kesme anındaki performanslarının Deneysel Olarak karşılaştırılarak, Uygun takım seçimine Karar Verilmesi.” Doktora Tezi. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 17-20 (2019).
45. Nas, E., “Frezeleme işleminde kesici uç sayısının titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi.” Yüksek lisans tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 17-20, (2019).

46. Şirin, S., “Sürdürülebilir imalat için inconel x 750 süper alaşımının frezelenmesinde yenilikçi soğutma/yağlama tekniklerinin işleme performansı üzerindeki etkileri”, Doktora tezi, **Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Düzce, 38-40, (2020).
47. Öktem, H, “Kalıp parçalarının frezelenmesi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu”, Doktora tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, 41-43, (2009).
48. Tekait, İ., “Takım tezgahlarındaki kesici takım titreşiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 35-40 (2008).
49. Işık, U., “Üç boyutlu koordinat ölçme cihazı (CMM) ile optik tarama cihazının performanslarının karşılaştırılması.” Yüksek lisans tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 2-4, (2019).
50. Germani, M., Mandorli, F., Mengoni, M., Raffaelli, R., “CAD-Based Environment to Bridge the Gap Between Product Design and Tolerance Control”, **Precision Engineering**, 34(1):7-15 (2010)
51. Işık, U., “Üç boyutlu koordinat ölçme cihazı (CMM) ile optik tarama cihazının performanslarının karşılaştırılması.” Yüksek lisans tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 6-6, (2019).
52. Weckenmann, A., “Koordinatenmesstechnik”, **Hanser**, Münih, 12-17 (2011).
53. İnternet: Zeiss, “ZEISS ACCURA”, <https://www.zeiss.com/metrology/products/systems/coordinate-measuring-machines/bridge-type-cmms/accura.html> (2019).
54. Hexagon, “Gantry Line Product Brochure”, **Hexagon**, 1 (2016).
55. Hexagon, “TIGO SF”, **Hexagon**, 2 (2017).
56. İnternet: Hexagon, “DEA BRAVO HP”, <https://www.hexagonmi.com/tr-TR/products/coordinate-measuring-machines/horizontal-arm-cmms/dea-bravo-hp.html> (2019).
57. Zhu, L., “Estimation of Uncertainty in Spatial Straightness Measurement According to Next Generation of GPS Standard System”, **Third International Workshop on Advanced Computational Intelligence**, 666-669 (2010).
58. İnternet: Tem Tasarım, <https://www.temtasarim.com/optik-tarama-nedir> (2021)
59. İnternet: Tem Tasarım, <https://www.temtasarim.com/lazer-tarama-nedir/> (2021)

60. Özlü, B., "Sleipner soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve talaş şekli üzerine etkisinin incelenmesi." *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 36.3: 1241-1252 (2021).
61. Akgün, M., "Optimization of Process Parameters Affecting Cutting Force, Power Consumption and Surface Roughness Using Taguchi-Based Gray Relational Analysis in Turning Aisi 1040 Steel." *Surface Review and Letters* 29.03: 2250029 (2022).
62. Akgün, M., Demir, H., & Çiftçi, İ. "Mg₂Si partikül takviyeli magnezyum alaşımlarının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu." *Politeknik Dergisi*, 21(3), 645-650 (2018).
63. Özlü, B., Demir, H. ve Türkmen, M., "The effect of mechanical properties and the cutting parameters on machinability of AISI 5140 steel cooled at high cooling rates after hot forging." *Politeknik Dergisi* 22.4: 879-887 (2019).
64. Özlü, B., "Examining the machinability of 38MnVS6 microalloyed steel, cooled in different mediums after hot forging with the coated carbide and ceramic tool." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* 235.22: 6228-6239 (2021).
65. ÇIRAKOĞLU, F, Özlü, B., ve Demir, H., "Hardox 450 Çeliğinin Lazerle Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Delik Kalitesi Üzerine Etkisinin İncelenmesi ve Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu." *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 8.2: 913-923 (2021).
66. Özlü, B., Akgün, M. ve Demir, H. "AA 6061 alaşımının tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin analizi ve optimizasyonu." *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 5.2: 151-158 (2019).
67. IŞIK, R., ÖZLÜ, B., ve DEMİR, H., "St-37 Malzemesinin Lazer ile Kesme İşleminde Seçilen Parametrelerin Etkisinin Deneysel ve İstatiksel Olarak İncelenmesi." *Firat University Journal of Engineering* 33.1 (2021).

ÖZGEÇMİŞ

Uğurcan ÇELİK, ilk ve orta öğrenimini Kocaeli ilinde tamamladı. Gebze Teknik Lisesi Makine Teknolojisi Bölümü'nden mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında Uras Dövme firmasında Üretim mühendisi olarak çalıştı. 2017 yılında askerliğini yedek subay olarak tamamladı. Şubat 2017 Mayıs 2017 arasında Tpm Otomasyon firmasında Tasarım mühendisi olarak çalıştı. Mayıs 2017 de ise PLASCAM A.Ş. firmasında Tasarım mühendisi olarak başladığı görevi halen devam ettirmektedir.