

**SERBEST FORMLU YÜZEYLERDE
FORM HATALARI VE YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN
OPTİMİZASYONU**



**2018
DOKTORA TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Harun YAKA

**SERBEST FORMLU YÜZEYLERDE
FORM HATALARI VE YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN
OPTİMİZASYONU**

Harun YAKA

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Şubat 2018**

Harun YAKA tarafından hazırlanan “SERBEST FORMLU YÜZEYLERDE FORM HATALARI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN OPTİMİZASYONU” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil DEMİR

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Doç. Dr. Arif GÖK

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 09/02/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mehmet KARA (AÜ)

Üye : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (ÇAKÜ)

Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet BOY (KBÜ)



...../...../2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





“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.”

Harun YAKA

ÖZET

Doktora Tezi

SERBEST FORMLU YÜZEYLERDE FORM HATALARI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN OPTİMİZASYONU

Harun YAKA

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanları:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Doç. Dr. Arif GÖK

Şubat 2018, 106 sayfa

Günümüzde serbest formlu yüzeyler bir çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Enjeksiyon kalıpları ve bükme kalıplarının imalatında, uçak ve uzay sanayisinde, otomotiv alanında, medikal cihazların üretiminde ve hassas makine parçalarının imalatında çok sık görülmektedir. İmalatta gider kalemlerinin fazlalığı ve dolayısıyla maliyetlerin de büyük olması, imalat alanında toleransların çok düşük istenmesi gibi nedenler üretim planlamasının karmaşıklaşmasına neden olmaktadır. Bu giderleri düşürmek ve istenilen geometrilerin üretiminde verimliliği sağlamak ve daha kaliteli yüzeyler elde etmek için, yüzey pürüzlülüğünde ve form hatalarında artışa neden olan kesme parametrelerini belirlemek, meydana gelebilecek kusurları en az seviyeye indirme hususunda önem arz etmektedir.

Bu tezde, serbest formlu yüzeylerin imalatında en düşük yüzey pürüzlülüğü ve en düşük form hatasını elde edebilmek için uygun olan kesme parametreleri belirlenmiştir. Bunun için, kesme hızı, ilerleme, yanal adım ve işleme tarzlarına göre Taguchi L_{16} ortogonal dizini ile deney listesi tasarlanmıştır. Bu çalışmada, günümüzde sıklıkla tercih edilen Al 7075-T6 malzemesi kullanılmıştır. Malzeme üzerinde serbest formlu yüzeyler CNC freze tezgâhında işlenerek en düşük yüzey pürüzlülüğü ve form hatasının elde edildiği kesme şartları belirlenmiştir. Bu deneyler sonucu ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) sonuçları ve form hataları ölçülmüştür. Taguchi tasarımında Sinyal-Gürültü (S/N) oranları bulunmuş ve deney sonuçlarından, dört faktör arasında hem ortalama yüzey pürüzlülüğüne hem de form hatasına en önemli etkiyi yanal adımın etki ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca form hatası ve yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde elde edilen sonuçlar kıyaslandığında, bulunan değerlerin birbirlerine benzer ve paralel bir seyir gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Al7075-T6, Kesme parametreleri, Form hatası, Yüzey pürüzlülüğü, Taguchi metodu.

Bilim Kodu : 914.3.028

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

THE OPTIMIZATION OF FORM ERRORS AND SURFACE ROUGHNESS IN FREE FORM SURFACES

Harun YAKA

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisors:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Assoc. Prof. Dr. Arif GÖK

February 2018, 106 pages

Today, freeform surfaces are widely using in many areas. It is very common in the production of injection molds and bending molds, in aircraft and space industry, in automotive field, in the production of medical devices and in the manufacture of precision machine parts. The fact that the expense items of manufacturing expenditures are large and therefore the costs are also large and the tolerances are very low in the field of manufacturing, causes the production planning to become complicated. In order to reduce these costs and to provide efficiency in the production of desired geometries and to obtain better quality surfaces, it is very important to define the cutting parameters which cause the surface roughness and the increase of the form errors, to reduce the possible errors to the minimum level.

In this thesis, the most suitable cutting parameters are determined to obtain the lowest surface roughness and the lowest form error in the manufacture of freeform surfaces. For this, the experimental list was designed with Taguchi L₁₆ orthogonal array according to cutting speed, feed rate, step over and machining strategies. In our study, Al 7075-T6 material which is frequently preferred today was used. The freeform surfaces on the material were machined in the CNC milling machine to determine the cutting conditions that obtained the minimum surface roughness and form error. Average surface roughness (Ra) and form error were measured at the end of these experiments. Signal-to-noise (S/N) ratios were determined in the Taguchi design, and the most important effect on both the average surface roughness and the form error among the four parameters, was found to be the stepover according to the experimental results. Moreover, when the results obtained in the form error and surface roughness measurements were compared, it was viewed that the values are similar and parallel to each other.

Key Word : Al7075-T6, Cutting parameters, Form error, Surface roughness, Taguchi method.

Science Code : 914.3.028

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yűrűtűlmesinde ve oluőumunda ilgi ve desteęini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrűbelerinden yararlandıęım, yűnlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ıőıęında őekillendiren danıőmanlarım Prof. Dr. Halil DEMİR ve Doç. Dr. Arif GŖK'e sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Form hatası űlűmlerinde ve Taguchi deney tasarımında yardımlarımı esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Levent UęUR ve Yrd. Doç. Dr. Harun AKKUŐ'a teőekkűr ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tűm kalbimle teőekkűr ederim.

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	6
SERBEST FORMLU YÜZEYLERİN İMALATI.....	6
2.1. LİTERATÜR TARAMASI.....	6
2.2. TEMEL KAVRAMLAR.....	11
2.2.1 İşleme Stratejileri.....	11
2.2.2. Kesme Parametreleri.....	12
2.2.3. Takım Yolu Tarzları	13
2.2.4. Kesme Kuvveti	14
2.3. FORM HATALARI	17
2.3.1. Yüzey Tamlığı - Doğruluğu.....	17
2.3.2. Yüzey Hata Kaynakları.....	17
2.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü	19
2.4. OPTİK YÜZEY TARAMA	22
2.4.1. Optik Üçgenleme	23
2.4.2. Işık Kesiti.....	23
2.4.3. Fringe İzdüşümü	24

2.5. DENEYSSEL TASARIM	26
2.5.1. Deney Tasarım Yöntemleri.....	26
2.5.2. Taguchi Deney Tasarımı.....	28
2.5.2.1. Sistem Tasarımı	29
2.5.2.2. Parametre Tasarımı	29
2.5.2.3. Tolerans Tasarımı	33
BÖLÜM 3	34
MATERYAL VE METOT	34
3.1. CİHAZ VE DÜZENEKLER	34
3.1.1. CNC Freze Tezgâhı	34
3.1.2. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım, Takım Tutucu ve Pens Özellikleri.....	35
3.1.2.1. Kesici Takım.....	35
3.1.2.2. Takım Tutucu ve Pens	36
3.1.3. Deneylerde Kullanılan İş Parçası Malzemesi ve Ölçüleri	37
3.1.4. Yüzey Pürüzlüğünün Ölçümü.....	40
3.1.5. Üç Boyutlu Optik Tarama	43
BÖLÜM 4	48
DENEYSSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	48
4.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	48
4.1.1. Takım Yolu Tarzlarına Göre Elde Edilen Yüzey Pürüzlülüğü.....	49
4.1.2. Taguchi Yönteminde Sonuçların Değerlendirilmesi	54
4.1.3 Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Varyans Analizi	56
4.1.4. Parametrelerin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri	57
4.2. FORM HATASI ÖLÇÜMÜ.....	59
4.2.1. Taguchi Yöntemi İle Sonuçların Değerlendirilmesi.....	62
4.2.2. Form Hatası Değerlerinin Varyans Analizi	65
4.2.3. Parametrelerin Form Hatasına Etkileri	66
4.3. Yüzey Pürüzlülüğü ve Form Hatasının Kıyaslanması	68
4.3.1. Kesme Parametrelerinin Form Hatası ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	70

	<u>Sayfa</u>
4.3.2. İşleme Sürelerinin Kıyaslanması	71
BÖLÜM 5	75
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	79
EK AÇIKLAMALAR A.	86
EK AÇIKLAMALAR B.	104
ÖZGEÇMİŞ	106



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Deneysel çalışmanın şeması	7
Şekil 2.2. Deneyslerde kullanılan takım yolu tarzları.....	14
Şekil 2.3. Talaş kaldırma kuvvetleri	15
Şekil 2.4. Yüzey hatası ve şekilde sapma	17
Şekil 2.5. Yüzey hata kaynakları.....	19
Şekil 2.6. Yüzey pürüzlülük profili.....	20
Şekil 2.7. Balık kılçığı diyagramı	21
Şekil 2.8. Optik üçgenleme	23
Şekil 2.9. Işık kesiti.....	24
Şekil 2.10. Fringe izdüşümü	24
Şekil 2.11. Kamera sistemi ve deformasyona uğramış fringeler	25
Şekil 2.12. Çift kameralı sistem	26
Şekil 2.13. Kesikli optimizasyon çözüm yöntemleri	27
Şekil 3.1. Numunelerin işlendiği CNC tezgâhı.....	35
Şekil 3.2. Kesici takım geometrisi.	35
Şekil 3.3. Takım tutucu ve pens.	36
Şekil 3.4. Deneyslerde kullanılan Al7075-T6 malzeme.....	37
Şekil 3.5. Hazırlanan iş parçası boyutları.....	39
Şekil 3.6. Adalara ayrılan ve kaba işleme yapılan numuneler.	39
Şekil 3.7. Serbest formlu yüzeylerin ölçüsü ve işlenmiş görüntüsü.	40
Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü.....	42
Şekil 3.9. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için deney şeması.	43
Şekil 3.9. Qscan 3D tarama başlığı.	44
Şekil 3.10. Form hatası belirlemede kullanılan akış şeması	45
Şekil 3.11. Yüzeycik ve normali	45
Şekil 3.12. ASCII STL formatı	46
Şekil 3.13. 3B optik tarama ile işlenmiş yüzeylerin taranması.	47
Şekil 3.14. Form hatası ölçümü için deney şeması.	47
Şekil 4.1. Deneyslerde ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri.	49

Sayfa

Şekil 4.2. Paralel işleme yöntemine göre yüzey pürüzlülüğü grafiği.	49
Şekil 4.3. Zig-Zag işleme yöntemine göre yüzey pürüzlülüğü grafiği.	51
Şekil 4.4. Spiral işleme yöntemine göre yüzey pürüzlülüğü grafiği.	52
Şekil 4.5. Tekyön işleme yöntemine göre yüzey pürüzlülüğü grafiği.	53
Şekil 4.6. Ra'da en küçüğün en iyi olduğu S/N oranlarına göre A, B, C, D faktör seviyeleri.	55
Şekil 4.7. Parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etki değerleri ve S/N oranı.	58
Şekil 4.8. İşlenmiş parçanın optik tarama sonucu elde edilen yüzeyi.	59
Şekil 4.9. Tasarlanan yüzey ile tarama sonucu elde edilen yüzeylerin karşılaştırılması ve yüzeylerin deney sırasına göre dizilişi.	60
Şekil 4.10. Geomagic Studio 10 programı ile karşılaştırılan yüzeylerin analizi.	60
Şekil 4.11. TEBIS V3.4 programı kullanılarak yüzeylerin orta noktasından geçen eğrilerin analizi.	61
Şekil 4.12. Form hatasında en küçüğün en iyi olduğu S/N oranlarına göre A, B, C, D faktör seviyeleri.	64
Şekil 4.13. Parametrelerin form hatası üzerine etkileri ve S/N oranları.	67
Şekil 4.14. Yüzey Pürüzlülüğü ve Form Hatalarının kıyaslanması.	70
Şekil 4.15. Kesme parametrelerine göre yüzey pürüzlülüğü ve form hatası.	71
Şekil 4.16. Form hatası, yüzey pürüzlülüğü ve işleme süresi arasındaki ilişki.	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. CNC tezgâhının teknik özellikleri.	34
Çizelge 3.2. Kesici takımın geometrik özellikleri.....	36
Çizelge 3.3. Pens ölçüleri.....	36
Çizelge 3.4. Malzemenin mekanik özellikleri ve kimyasal kompozisyonu.....	38
Çizelge 3.5. Mitutoyo SJ-210 teknik özellikleri.	41
Çizelge 3.6. Faktör seviyelerinin belirlenmesi.....	43
Çizelge 4.1. L_{16} dizininde ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri.	48
Çizelge 4.2. Paralel işleme yönteminde kesme parametreleri ve deney sonucu.	50
Çizelge 4.3. Zig-Zag işleme yönteminde kesme parametreleri ve deney sonucu.	51
Çizelge 4.4. Spiral işleme yönteminde kesme parametreleri ve deney sonucu.	52
Çizelge 4.5. Tekyön işleme yönteminde kesme parametreleri ve deney sonucu.....	53
Çizelge 4.6. L_{16} dizinine göre ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)'nın S/N oranı.....	54
Çizelge 4.7. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) faktörü için S/N oranları cevap çizelgesi.	55
Çizelge 4.8. ANOVA'da S/N oranları ile faktörler arasındaki ilişki.	57
Çizelge 4.9. Deneylere göre elde edilen form hatası değerleri.	62
Çizelge 4.10. L_{16} Ortogonal dizininde form hatası için S/N oranları.	63
Çizelge 4.11. Form hatası faktörü için S/N oranları cevap çizelgesi.	64
Çizelge 4.12. $A_2B_3C_1D_1$ Ortogonal dizini için yapılan kontrol deneyi sonuçları.	65
Çizelge 4.13. ANOVA'da S/N oranları ile faktörler arasındaki ilişki.	66
Çizelge 4.14. Kesme parametreleri ve seviyeler.	68
Çizelge 4.15. L_{16} dizini kullanılarak yapılan deney tasarımı ve sonuçları.....	69
Çizelge 4.16. Deneylerin form hatası, Ra değerleri ve işleme süreleri.....	72
Çizelge Ek A.1. Geomagic Studio 10 ve TEBIS V3.4 programları ile optik tarama sonuçları	87
Çizelge Ek B.1. Ortogonal dizin tipleri.....	105

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

S/N : sinyal gürültü oranı

TM : taguchi metodu

fp : yanal adım

α : talaş açısı

β : kama açısı

r : takım ucu yarıçapı

T : takım ömrü

t : talaş kalınlığı

Vf : ilerleme

Vc : kesme hızı

ap : talaş derinliği

Fz : ağız başına ilerleme

Fs : kesme yönünde kesme kuvveti

Ft : radyal kuvvet

Fk : kesme yönünde makaslama kuvveti

Fb : dik yönde basma kuvveti

Ff : sürtünme kuvveti

Fn : normal kuvvet

ρ : sürtünme açısı

μ : sürtünme katsayısı

ϕ : kesme açısı

τ_k : kopma mukavemeti

Ra : ortalama yüzey pürüzlülüğü

Rt : maksimum yüzey pürüzlülüğü

Rz : beş tane ne yüksek ve en alçak noktanın ortalama pürüzlülüğü

z : kesici ağız sayısı

- S : iş mili devri
l₁ : kesici takım uzunluğu
l₂ : kesme boyu
d₁ : kesici takım çapı
d₂ : kesici takım sap çapı



KISALTMALAR

- DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normu)
- 3B : Üç Boyut
- 2B : İki boyut
- BDT : Bilgisayar Destekli Tasarım
- BDİ : Bilgisayar Destekli İmalat
- BSD : Bilgisayarlı Sayısal Denetim
- HSS : High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
- CAD : Computer Aided Desing (Bilgisayar Destekli Tasarım)
- CAM : Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)
- CNC : Computer Numeric Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
- CAE : Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik)
- TiC : Titanyum Karbür
- TiN : Titanyum Nitrür
- TiAlN : Titanyum Alüminyum Nitrür
- AISI : American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
- ISO : International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
- ANSI : American National Standards Institute (Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü)
- VDA : Verband der Automobilindustrie (Alman Otomotiv Endüstrisi)
- 3D : Three Dimension (Üç Boyutlu)
- STL : Stereolithography

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günden güne artan üretim alanlarında talaşlı imalat sıklıkla kullanılan bir metottür. Talaşlı üretimin fazla kullanılmasının sebebi, işleme parametrelerinin optimize edilerek en uygun parametrelerin seçilebildiği için ölçü tamlığı ve yüzey kalitesi daha iyi olan parçalar elde edilebilmektedir. Bundan dolayı bu konu üzerinde birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Son zamanlarda serbest formlu yüzeyler, endüstrinin farklı dallarında sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin kalıp üretiminde, hassas makine imalat endüstrilerinde, uçak ve uzay endüstrisinde, otomotiv sanayisi ve medikal cihazların üretimi gibi alanlarda yaygın olarak görülmektedir [1-5].

Üretimin temel amacı düşük maliyetle ve kısa sürede yüksek kaliteli ürünler üretmektir [6]. Otomasyon ve imalat sistemleri bu amaç doğrultusunda kullanılabilir [7]. Hem kısa sürede ve düşük maliyetle üretim gerçekleştirilirken hem de yüksek yüzey kalitesi sağlamak için bilgisayar kontrollü tezgahlar kullanılmaktadır [8].

Üretim maliyetlerini düşürmek ve optimum yüzey kalitesini sağlamak için malzemenin, uygun parametre seviyeleri kullanılarak işlenmesi önemlidir [9]. Bu işleme parametrelerinin uygun seçilmesi ve aralarındaki etkileşimlerin deneysel çalışmalarla incelenmesi imalat alanında büyük önem arz etmektedir [10,11]. İşleme yöntemi, seçilen malzeme, kesici takımın türü, fiziksel, kimyasal ve ısıl etkenler, işleme esnasında kullanılan kesme sıvısı, kesici takım ve işlenen malzeme arasındaki etkileşimler yüzey kalitesini etkileyen parametrelerdir [12]. Yüzey kalitesi iyi olan bir yüzey yorulma mukavemetinde, korozyon direncinde ve malzeme ömründe ciddi derecede iyileştirme sağlamaktadır. Ölçüm yapılırken ölçü aletlerinin kalibrasyonunun gerçekleştirilmesi ölçü tamlığı açısından önemlidir. Deney sonuçlarının elde edilmesi kadar önemli bir konuda yorumlanmasıdır [13]. Araştırmacıların amaçları tasarımı, imalatta veya bakım çalışmalarında en ideal

değerleri bulmaktır. Bunun için yapılan çalışmalarda optimum değeri bulmak için istatistiksel metotlar yaygın olarak kullanılmaktadır [14]. Taguchi, regresyon modelleri, yüzey cevap metodu, yapay sinir ağları gibi yöntemler karar verme aşamasında araştırmacılara yardımcı olmaktadır [15].

Taguchi yöntemi, üretim maliyetlerini düşürme özelliğine sahip olan, üretim miktarını arttıran ve zamandan tasarruf sağlayan bir problem çözme aracıdır. Böylelikle üretimde verimliliği elde etmemize yardımcı olmaktadır [16]. Bu yöntem, üretimde maliyeti düşürerek zamandan tasarruf sağlayan, verimliliği optimum düzeye çıkarmak için en etkin parametreler seçilerek analitik ve deneysel kavramları birleştirir [17]. Bunu elde etmek için Taguchi yöntemi, bütün prosesi içerisine alarak ve deney sayısını azaltarak en uygun yöntemi belirlemek için özel ortogonal dizilerden yararlanır [18].

Talaş kaldırarak şekil verme işlemi üretim yöntemlerinin en önemli grubunu oluşturmaktadır. Diğer şekil verme yöntemleri (döküm, dövme, haddeleme vb.) ile üretilen malzemelerin nihai şekli talaş kaldırılarak verilmektedir. En son şeklin verilmesi uygun takım tezgâhı ve kesici takım seçilerek malzeme üzerinden parça uzaklaştırılarak sağlanır [19]. Uzay, havacılık, otomotiv ve kalıp gibi endüstri alanlarında oldukça sık rastlanan serbest formlu yüzeyleri, istenilen yüzey kalitesi ve toleranslarda üretimi çok büyük önem arz etmektedir [20]. Hızla gelişen BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) / BDİ (Bilgisayar Destekli İmalat) ve BSD (Bilgisayarlı Sayısal Denetim) sistemlerine rağmen, serbet formlu yüzeyleri istenilen toleranslar ve kalitede üretebilmek hem zaman almakta hem de maliyetli işlemlerdir. Rekabet piyasasında var olabilmek için maliyet ve zaman faktörlerini aşağıya çekebilmek, ancak teknolojinin sunduğu gelişmeleri en uygun şekilde kullanmakla mümkün olabilmektedir [21].

Genel olarak serbest şekilli yüzeylerin talaşlı imalatında işleme doğruluğu yarı bitirme ve bitirme işleme operasyonlarında aranmaktadır. Bu operasyonlarda da genel olarak küresel uçlu takımlar kullanılmaktadır. Bu tip yüzeyler incelenirken form hatası ve yüksek pürüzlülük değerleri öne çıkmaktadır. Form hatası, takımın pozisyonlanmasındaki hatalardan ve kesici takıma etkiyen kuvvetler sonucu oluşan

sehimlerden meydana gelmektedir. İşlenmiş parçanın yüzey pürüzlülüğü, işlenen parçanın tane boyutuna ve son işleme şekline bağlıdır. Bitirme işleminde en düşük yüzey pürüzlülüğü taşlama ve honlama ile elde edilir [22].

Serbest formlu yüzeylerin işlenmesinde istenmeyen yüzey hataları (takım kırılması, esnemesi vb.) ve takım hatalarının minimuma indirilmesi ve de yüksek imalat verimliliği için en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesi çok önemlidir. Endüstride genel olarak emniyetli çalışma adına düşük takım ilerleme hızları ile talaş kaldırılmaya çalışılmaktadır. Kullanılan ilerleme hızları üretim süresini artırmakta ve maliyetlere yansımaktadır. Fakat maliyeti düşürmek için yüksek ilerleme ve diğer kesme parametre değerleri (kesme hızı, yanal adım, talaş derinliği) kullanıldığında oluşan yüksek kesme kuvvetleri, kesici takım sehimleri ve yüzey hataları parça için boyutsal problemler oluşturmaktadır. Bu boyutsal hataların tespit edilip giderilmesi için otonom sistemlerin kullanımı büyük önem arz etmektedir. İmalat yöntemleri için, ölçüm, denetim gibi fonksiyonların taleplerinin karşılanmasında önemli rol almaktadır. Takım tezgâhlarındaki bu fonksiyonları gerçekleştirmede kilit kısım, işleme sürecinde destekleyici teknolojilerin geliştirilmesidir [23,24].

Üretimde istenen toleransların ve boyutsal doğrulukların aralıkları oldukça küçüktür ve bu nedenle boyutsal hataları en aza indirmek gerekmektedir. Parmak frezeler gibi kesici takımlardan kaynaklı hatalarda takımın oluştuğu sehim ve aşınma ön planda görülmektedir. Kesme anında takımın esnemesinden kaynaklı meydana gelen sehim imalatta genellikle dikkate alınmamaktadır. Halbuki takımın bu sehim parçanın istenilen ölçü tamlığında çıkmasını engeller. Kısacası işlenen yüzeylerde form hatası meydana gelir [25].

İmalat işlemlerinde istenilen kaliteyi elde edebilmek için yapılan ara süreçlerden biri üretilen parçanın yüzey kalitesinin kontrolüdür. Her bir parçanın yüzey kalitesinin kontrolü maliyet gerektiren ve zaman alıcı bir iştir. Bundan dolayı, tahmin modelleri ve sistemleri geliştirmek kaydıyla, kalite kontrole ayrılan süreyi ve maliyeti azaltmak mümkündür. Eğimli yüzeylerin küresel parmak frezelenmesi sürecinin izlenmesi, üretim sürecinde doğruluğun ve hassasiyetin elde edilebilmesi için önemli bir gerekliliktir [26].

Talaşlı imalatta kesme parametrelerinin ve işleme yönteminin doğru belirlenmesi imalat süresini, maliyetini ve işlenen yüzeyin yapısını doğrudan etkilemektedir. Serbest forma sahip yüzeylerin işlenmesiyle ilgili değişik örnekler literatürde yer almaktadır. Buna rağmen serbest formlu yüzeylerin işlenmesiyle ilgili çalışmaların birbirlerinden farklılıklarını belirlemek oldukça güç olmaktadır [27].

Bu tezin amacı, günümüzde sıklıkla kullanılan serbest formlu yüzeylerin küresel uçlu parmak freze çakısı ile işlenmesi esnasında yüzeylerde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin ve form hatalarının tespit edilmesi, istatistik yöntemler kullanılarak uygun kesme şartlarının belirlenmesidir. Bu sebeple, kesme hızı, ilerleme ve yanıl adım kesme parametreleri olarak ve paralel, zig-zag, spiral ve tek yön işleme tarzları kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İşlenen yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve en uygun kesme şartları belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca işlenen yüzeyler 3B optik tarama yöntemi ile taranmış ve işlenen parçaların form hataları tespit edilmiştir.

Tezin takip eden bölümünde, serbest formlu yüzeylerin ve eğimli yüzeylerin işlenmesi, takım yolu tarzları, optik tarama yöntemleri, Taguchi metodu ile optimizasyon yapılmış çalışmalar ile ilgili bir literatür kısmı verilmiştir. Ayrıca, talaş kaldırma ile ilgili temel kavramlar ve teknolojisi, şekil hataları, optik tarama ve yüzey pürüzlülüğü ile ilgili temel bilgiler sunulmuştur.

Üçüncü bölümde, deneysel tasarım yöntemine ve deneysel çalışma sürecinde kullanılacak olan materyaller ile ölçüm tekniklerine yer verilmiştir. Parçaların işlendiği CNC tezgahı, kullanılan kesici takım ve takım tutucular, işlenen malzemenin özellikleri ve ölçüleri, yüzey pürüzlülüğü ve form hatası ölçümleri, Taguchi deney tasarımı ve ANOVA hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, tasarlanan Taguchi deney listesine göre işlenen parçalarda meydana gelen yüzey pürüzlülük değerlerinin değerlendirilmedi yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğüne en çok etkili olana parametreler belirlenmiştir. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olumlu yada olumsuz etkileri hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde, yapılan deneyler neticesinde belirlenen form hatalarının optimizasyonu yapılmıştır. Form hataların tespitinin nasıl yapıldığı ve yine kesme parametrelerinin form hatası üzerine etkileri bu bölümde verilmiştir. Altıncı bölümde, yüzey pürüzlülüğü ve form hatasının birbirleri arasında kıyaslaması yapılmıştır. Son bölümde, deneysel çalışmaların genel sonuçlarının yorumlanmasına yer verilmiş, ileride yapılması gerekli çalışmalar hakkında önerilerde bulunulmuştur.



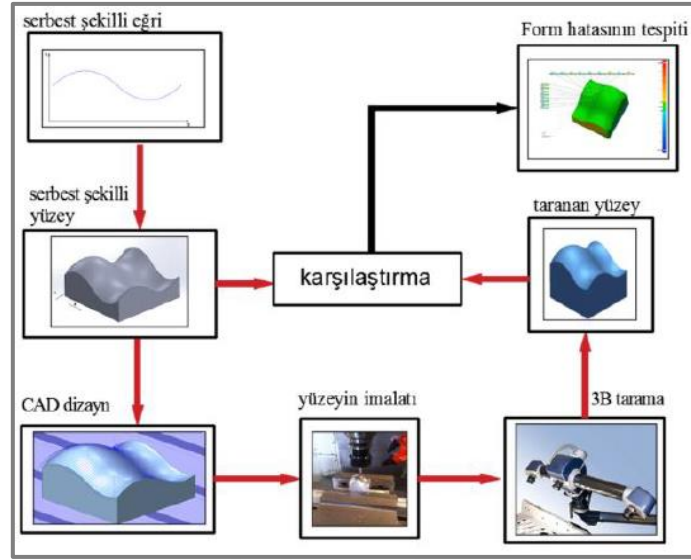
BÖLÜM 2

SERBEST FORMLU YÜZEYLERİN İMALATI

2.1. LİTERATÜR TARAMASI

Havacılık ve uzay, otomotiv ve kalıp gibi endüstriyel alanlarda kullanılan çeşitli bileşenler sıklıkla serbest formlu karmaşık yüzeyler içerir. Karmaşık geometriye sahip parçaların imalatında hem istenen yüzey kalitelerini sağlamak hem de yüksek imalat verimliliği elde etmek için uygun kesme şartlarının belirlenmesi çok önemli ve aynı zamanda da zor bir işlemdir [28]. Bazı bileşenlerde ölçü tamlığı oldukça önemli olduğu için imalatın sıkı toleranslar dahilinde yapılması gerekir. Kesici takımların neden olduğu hatalardan bir kaçınıtıda oluşan titreşim ve aşınmadır. Fakat bununla birlikte takım sehiminden kaynaklanan hatalar üretimde göz ardı edilebilmektedir. Takımın sehiminden meydana gelen hataları tespit edebilmek için işleme tarzı, malzeme bilgisi, kesici takım ölçüleri ve yüzeyin şekli bilinmelidir. O zaman takım sehiminden kaynaklanan hatalar minimuma indirilebilecektir [29].

Özdemir ve arkadaşları serbest şekilli yüzeyin işlenmesinde farklı ilerleme ve devir sayılarının boyutsal form hataları üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Deneplerinde medikal ve kalıpcılık sektöründe sıklıkla kullanılan Al6082 malzemesini kullanmışlardır. Taguchi metodunda deney listesi oluşturmuşlar ve oluşturulan listeye göre işlemler yapılmıştır. Elde ettikleri serbest şekilli yüzeyleri 3B optik tarama ile taramışlardır (Şekil 2.1). Tarama sonucu elde edilen eğimli yüzey üzerinde ve CAD datası üzerinde MATLAB programı kullanarak aynı noktadan geçecek şekilde eğimli bir çizgi oluşturmuşlar. Çizgi üzerinde noktalar belirleyip bu noktalara göre form hatalarını tespit etmişlerdir. Denepler sonucunda işleme parametrelerinin form hatası üzerinde oldukça etkili olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca form hatalarının azalmasının işleme parametrelerinin doğru seçilmesine bağlı olduğunu belirtmişlerdir [30].



Şekil 2.1. Deneysel çalışmanın şeması [30].

Lacalle ve arkadaşları eğimli yüzeylerde yüksek hızda işlemede takım eğilmesinin etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada Al 7075 ve AISI H13 olmak üzere iki tip malzeme kullanılmış ve malzeme üzerinden 15°, 30°, 45°lik açılarda işleme yapmışlardır. İşlemeleri küresel parmak freze ile gerçekleştirmişlerdir. Kesici takım malzemesi olarak TiAlN ve sinterlenmiş tungsten karbür tercih etmişlerdir. Farklı açılarda işlenen yüzeylerin boyutsal hatalarına ve yüzey pürüzlülük değerlerine bakmışlardır. Boyutsal hataları ölçmek için ZEISS 850 koordinat ölçme makinesi kullanmışlardır. Sonuç olarak daha küçük eğim açılarında işlenen yüzeylerde büyük boyutsal hatalar meydana gelmiştir. Aynı şekilde yüzey pürüzlülüğünün de düşük açıya sahip yüzeylerde daha fazla meydana geldiğini bulmuşlardır [31].

Kim ve arkadaşları küresel parmak frezeleme işleminde şekil hataları ve kesici eğilmesinin tahmini üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çeşitli kesme metodlarında şekil hatasını tahmin etmek amacıyla kesme kuvvetinde ve kesici takım sehiminde eğik yüzeylerin etkilerini içerecek şekilde model kurmuşlardır. Ayrıca yüzeydeki eğime göre kesme kuvvetleri ölçümü yapmışlar ve değerlendirmişlerdir [32].

Fontaine ve arkadaşları küresel parmak frezelerde takım sehimini ile kesme kuvvetinin modellenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında eğik kesmenin termomekanik bir modelini kurmuşlar ve frezelemede kuvvet tahmini modelini

kullanarak kesme kuvvetlerinin belirlenmesine çalışmışlardır. Bu model sayesinde takım talaş ara yüzeyindeki sürtünmenin, malzeme davranışının, kesme şartlarının, takım yolunun ve takım geometrisinin kesme kuvvetleri üzerindeki rolünü doğru bir şekilde tahmin etmeye çalışmışlardır. Deneylerinde AISI 4142 malzeme kullanmıştır. Sonuç olarak F_x , F_y ve F_z kuvvetleri tahmin edilen ve ölçülen değerler olarak birbirine çok yakın çıkmışlardır [33].

Lartigue ve arkadaşları, işlenen parça yüzeylerinin tasarlanan kalitede olması için işleme değişkenleri arasında bir bağlantı oluşturmayı amaçlamışlardır. Ayrıca, bu değişkenler ile işleme zamanını optimize etmişlerdir. Geometrik özellik olarak; form hatası ve yüzey pürüzlülük değeri, İşleme değişkenleri olarak; işleme yönü, takım yolu üzerinde ileri artış ve yana kayma olarak ta bilinen yanar artış belirlenmiştir. Maksimum pürüzlülük değerinin artmasıyla işleme toleransının azaldığı, işleme yönünün işleme zamanını azaltmada en önemli parametre olduğu, geliştirilen yaklaşımın form özellikleriyle uyumu için işleme değişkenlerinin doğru seçiminde etkili olduğu belirtilmiştir [34].

Bouzakis ve arkadaşları küresel parmak frezeler ile serbest form yüzeylerin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve talaş geometrisinin belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında çok eksenli freze tezgahında küresel uçlu parmak freze takımları ile bitirme işlemi yapmışlardır. İş parçası yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için BALLMILL isminde bilgisayar destekli simülasyon algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritma aracılığı ile deforme olmamış talaş kalınlığını, kesme kuvveti bileşenlerini, takım eğilmesini ve yüzey topolojisini belirlemeye çalışmışlardır [35].

Tsao ve arkadaşları geometrik analizler aracılığı ile küresel parmak frezelemede kesme kuvvetlerinin tahmini üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada deforme olmuş talaş kalınlığı, talaş açısı, kesme hızı, kesme kuvvetleri, kayma düzlemi ve talaş akış açısı arasındaki ilişkiler açıkça ortaya konulmuştur. Aynı zamanda iki helisel kanallı takım için kuvvet modeli geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tahmin edilen kuvvetler ve deneysel çıktılar aynı eğilimde ve yakın değerlerde olduğu görülmüştür [36].

Toh, sertleştirilmiş çeliklerin eğimli yüzeylerinin yüksek hızda frezelenmesinde yüzey topografya analizleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmada 75° eğimli iş parçası yüzeyinin bitirme frezemesi yapılmıştır. En iyi yüzey topografyasını elde edebilmek için farklı kesme yolu tarzları denemiştir. Böylelikle en ideal kesme yolu tarzı belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak tek yön dikey tırmanma en ideal kesme yolu tarzı olarak bulunmuştur [37].

Salami ve arkadaşları yüzeylerin 3 eksenli küresel parmak frezelenmesi için ilerleme hızı optimizasyonu üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada ilerleme hızının optimizasyonu için Visual Basic programı kullanılmıştır. Deneyler için CK45 karbon çeliği kullanılmış olup, kesici takım içinde değiştirilebilir uçlu parmak freze tercih edilmiştir. Sonuçlar verimlilikte önemli artışlar olduğunu göstermiştir [38].

Kurt ve Bağcı, karmaşık yüzeylerin işlenmesinde ilerleme hızının optimizasyonu ve planlanması üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında, üç eksenli frezeleme operasyonları için CAD/CAM ticari yazılımı ile bütünleştirilebilen ilerleme optimizasyon sistemi geliştirmişlerdir [39].

Sun ve arkadaşları yüzeylerin küresel parmak frezelenmesinde kesme kuvvetlerinin tahminsel ve deneysel doğrulanmasını araştırmışlardır. Çalışmada yeni bir talaş kalınlığı modeli dahil edilerek farklı ilerlemeler ve takım yollarında küresel parmak frezelemede kesme kuvvetlerinin mekanik modeli çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu mekanik modeli doğrulamak için deneyler de yapmışlardır. Deney sonuçları ve oluşturdukları mekanik metodun karşılaştırması göstermiştir ki metod verimli bir şekilde kullanılabilir [40].

Naserian ve arkadaşları yüzeylerin küresel parmak freze ile işlenmesinde 3 eksen için statik rijit kuvvet modeli üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada statik rijit kuvvet modeli herhangi bir titreşim etkisi, takım tezgâhının dinamik davranışı ve takım eğilmesi olmaksızın kesme kuvvetlerinin tahmini için kullanılmıştır. Hesaplamalar için Visual Basic programı kullanılmıştır. Deneyler için CK45 karbon çeliği kullanılmış olup, kesici takım olarakta değiştirilebilir uçlu parmak freze tercih edilmiştir [41].

Li ve arkadaşları frezeleme işleminde kesme kuvvetlerinin teorik modellenmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada, işleme teorisinin tahmini, malzeme özellikleri, takımın geometrik şekli ve kesme koşulları girilerek modelleme yapılmaya çalışılmıştır. Kesme yapan kesici uçtaki dişin bir bölümü için kesme hareketi birinci parçada takımın burun yarıçapı ve kesici kenarın etkisi olarak eğik kesme için modellenmiştir. Talaş yükü üzerine kesici salgısının etkileri doğru diş yörüngeleri referans alınarak yapılmıştır. Model deneysel frezeleme testleri ile desteklenmiştir [42].

Öztürk ve Lazoğlu tarafından yapılan çalışma, kesici takım iş parçası kesişimi fenomenini açıklamak için analitik model geliştirme çalışmasıdır. Bu amaçla, serbest şekilli yüzeylerin işlenmesinde iş parçasının ve kesici takımın anlık değme bölgesinin diğer bir anlatımla kesici takım iş parçası kesişim bölgesinin doğru ve hızlı belirlenmesi için yeni bir analitik model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelin, literatürdeki mevcut modellere göre daha doğru ve daha hızlı olduğu kıyaslama sonucunda gösterilmiştir. Geliştirilen bu model CAM programına adapte edildiği zaman, kesme kuvveti analizi, sistem dinamiği, yüzey kalitesi ve ilerleme hızı planlaması yapılabileceği belirtilmiştir [43].

Bağcı, serbest formlu yüzeylerin işlenmesinde akustik ses basıncını kullanarak işleme şartlarını değerlendirmiş ve ilerleme optimizasyonu yapmıştır. Sonuç olarak, ses basınç seviyesinin, karmaşık yüzeylerin frezelenmesi sürecinde ilerleme değerlerinin değişimi ve işleme şartlarının etkilerinin izlenmesi için pratik ve faydalı bir metod olduğunu ortaya koymuştur [44].

Milfelner ve arkadaşları küresel parmak frezelerde kesme kuvvetlerinin simülasyonu üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada küresel parmak frezelerde kesme kuvvetlerinin belirlenmesi için simülasyon sistemleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu sistem sayısal metotlar, bilgisayar programı, teknolojik süreçlerin teorik bilgisi, işleme ve testler gerçekleştirerek kurmuşlardır. Analitik model teğetsel, radyal ve aksel kesme kuvvetlerinin tahmini için kullanılmıştır. Aynı zamanda küresel takımlar ile deneyler de gerçekleştirilmiştir [45].

İkua ve arkadaşları eğimli yüzeylerin küresel parmak freze ile işlenmesinde işleme hataları ve kesme kuvvetlerinin tahmini üzerine teorik analizler yapmışlardır. Kesme kenarlarının trochoidal takım yolları talaş geometrisini değerlendirmek için dikkate alınmıştır. Kesme kuvvetleri eğik kesme teorisi tabanlı değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda görülmüştür ki frezelenen iş parçasının eğim açısı arttıkça kesme kuvvetlerini etkileyen işleme hataları azalmaktadır [46].

Yukarıdaki çalışmalardan görüldüğü üzere genel olarak serbest formlu yüzeylerde kesme kuvvetleri ve diğer parametrelerin ölçümü esas alınarak araştırmalar gerçekleştirilmiştir. İmalat sektöründe çalışılan yüzeylerin büyük bir çoğunluğu eğimli ve serbest şekilli yüzeyleri içermektedir. Dolayısıyla elde edilecek gerçek işlenebilirlik verilerinin ilgili koşullara göre tayin edilebilir.

2.2. TEMEL KAVRAMLAR

2.2.1 İşleme Stratejileri

Talaş kaldırarak şekil verme temelde üretilecek parçanın şekilsel ve boyutsal tamlığı yanında, en uygun düzeyde yüzey kalitesi ve üretim ekonomisini amaçlar. Talaş kaldırma olayında karşılaşılan problemlerden biri çıkan talaşların takım talaş ara yüzünden kontrollü bir şekilde uzaklaştırılmasıdır. Bu nedenle çıkan malzemenin davranışının bilinip analiz edilmesi büyük önem arz etmektedir. Çünkü talaşlı imalatta kullanılan kesici diğer üretim yöntemlerinin aksine bölgesel olarak ısı, mekanik, kimyasal ve aşınma faktörlerine maruz kalmaktadır [47].

Bunun yanında yüzeylerin işlenmesinde işleme stratejilerine bağlı takım kırılması, esnemesi ve benzeri takım hatalarının minimuma indirilmesi yüksek imalat verimliliği için çok önemlidir. Endüstride genel olarak emniyetli çalışma adına düşük takım ilerleme hızları ile işleme stratejilerine dikkat edilmeden talaş kaldırılmaya çalışılmaktadır. Kullanılan ilgili ilerleme hızları ve işleme stratejileri üretim süresini artırmakta ve maliyetlere yansımaktadır. Fakat maliyeti düşürmek için yüksek ilerleme ve diğer kesme parametre değerleri kullanıldığında oluşan yüksek kesme

kuvvetleri, kesici takım sehimleri ve yüzey hataları parça için boyutsal problemler oluşturmaktadır.

Tüm bu problemlerin oluşumunda takım yolu stratejilerinin etkileri birkaç çalışmada incelenmiştir. Takım ömrü açısından tek yön, kaydırma ve ızgara takım yolları dikkate alınmış ve yüksek talaş derinlikleri için ızgara takım yolu ideal, yüzey pürüzlülüğü açısından takım yolu stratejileri incelendiğinde ilgili parametrelerde spiral takım yolunun ideal çıktığı vurgulanmıştır [48].

Yüksek hızlı işleme operasyonlarında işleme zamanı üzerine takım yolu hareketlerinin etkisi önemli bir husustur. İşleme zamanı açısından takım yolu stratejileri değerlendirildiğinde ise yüksek ilerleme hızlarında zig-zag takım yolunun çok etkili olduğu bulunmuştur [49].

Takım yollarının optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalarda ise takımın hareket ettiği eğriler, kesme kuvvetleri ve işleme parametreleri referans alınarak iyileştirmeler yapılmıştır. Bu sayede imalat sürecinde olumsuz etmenler minimuma indirilmeye çalışılmıştır [50,51].

2.2.2. Kesme Parametreleri

Talaş kaldırma operasyonu ister dik işleme ister yatay işleme merkezinde yapılıyor olsun temel kesme parametreleri genel olarak değişmemektedir. Bunlar; Kesme hızı (V_c) (m/dk), kesici takımın ilerleme hızı (V_f) (mm/dk), talaş derinliği (paso miktarı) ap (mm), kesici takım çapı D (mm), kesicinin ağız başına ilerleme miktarı f_z (mm/ağız), kesici takım ağız sayısı Z (ağız) ve kesici yanıl adımıdır (fp). Kesme parametrelerinden kesme hızı ve kesici ağız başına ilerleme ilgili markanın katalog değerlerinden veya imalat kitaplarından kesilecek malzemenin cinsine, mekanik özelliklerine, takım malzeme cinsine, boyutuna, geometrisine göre belirlenebilmektedir. Kesme hızı ve kesici takım ilerleme hızı ise aşağıdaki formüllerle hesaplanabilmektedir.

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

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

2.2.3. Takım Yolu Tarzları

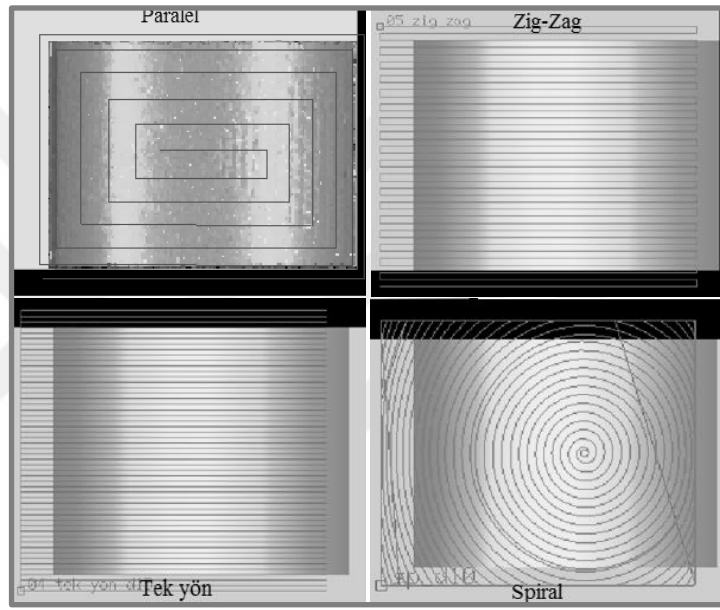
Takım yolu tarzı, kesici takımın frezeleme operasyonları sırasında talaş kaldırırken yapmış olduğu planlı ve bilinen hareketlerin tümü olarak tanımlanabilir. Talaş kaldırma sırasında takımın gösterdiği kesme performansını belirleyen en önemli olgu takım yolu tarzıdır. Takım yolunu oluşturan çeşitli parametrelerden en önemli olanları: takımın parçaya ilk girişi (başlangıç noktası) ve kesme açısı ile kesme parametreleridir.

Seçimi yapılan takım yolu tarzına göre bazı kesme parametrelerinin uygun seçimi, elde edilecek kesme kuvvetleri ve takım sehimini doğrudan etkilemektedir. Örneğin, yüksek hızda işleme yapılırken takım yolu tarzı, kesici üzerine gelen yükün sabit olmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Aksi takdirde kesme kuvvetleri ve takım sehiminde olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır [52].

En ideal kesme kuvveti ve takım sehim değeri için, işleme parametre değerlerinin daha önceden tespiti gerekmektedir. Bu parametre değerleri makineci el kitapları ya da deneyler gerçekleştirilerek elde edilmektedir. Deneyler aracılığı ile özel bir operasyon için optimum şartların belirlenmesi zaman ve kullanılan malzeme açısından çok maliyetli olmaktadır. Son yıllarda çok etkili bir metot olan Taguchi parametre tasarımı farklı işleme alanlarında deneysel çalışmalar için kullanılmaktadır [53,54].

Takım yolu tarzının uygun seçilmesi üretim süresini, işlenen yüzeyin durumunu ve imalat maliyetini etkiler. İmalatta, serbest formlu yüzeylerin işlenmesinde sıklıkla paralel, zig-zag, spiral ve tekyön işleme tarzları kullanılır. Tek yön işlemede kesici takım, serbest formlu yüzeyi birbirine paralel şekilde çizgiler ile tarama yaparak işleme yapar. Sabit adımlarda sadece tek yönde kesme yapar. Her pasodan sonra

kesici takım başa dönüp bir önceki pasoya paralel olarak bir adım yana kayıp kesme yapar. Zig-zag takım yolu tarzında kesici takım hareketini yüzeye yatay X-Y düzlemine göre zig-zag şeklinde bir pozisyonlamayla kesme işlemi yapar. Tek yön işlemeye benzer lakin düzlemde giderken de gelirken de kesme yapar. Spiral takım yolu tarzı, işlenen yüzeyin dışındaki sınırlarından merkeze doğru yada iş parçası merkezinden parçanın dışına doğru yay şeklinde bir hareketlerle kesme yapar. Paralel işleme, kontur işleme olarak da bilinmektedir. Yüzey üzerinde kesici takım dıştan içe veya içten dışa doğru birbirine paralel dikdörtgen şeklinde yol izler.



Şekil 2.2. Deneylerde kullanılan takım yolu tarzları.

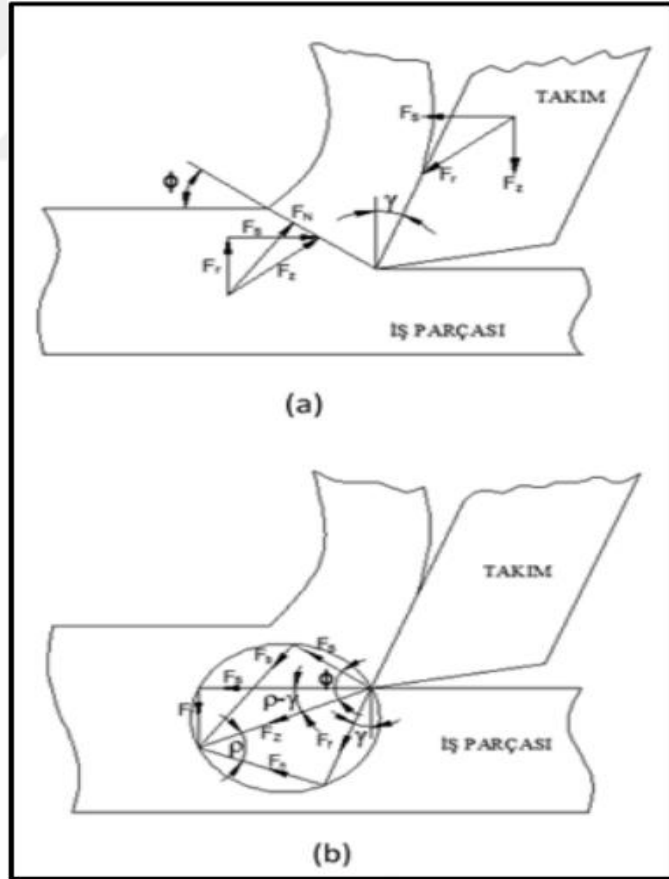
2.2.4. Kesme Kuvveti

Talaş kaldırma işleminin gerçekleşmesi için takıma, kesme düzlemi boyunca oluşan dirençlere karşı, talaş kaldırma kuvveti (F_z) adı verilen kuvvet uygulanmaktadır (Şekil 2.3.a). Kesme düzleminde oluşan kuvvetler, kesme kuvveti, kesici takımla talaş ve kesici takımla iş parçası malzemesi arasındaki sürtünme kuvvetlerinden meydana gelmektedir. Düzlem boyunca yayılmış durumda olan bu kuvvetler, kesme düzlemin ortasında (Şekil 2.3.a) veya Merchant'ın varsayımına göre kesici takımın ucuna (Şekil 2.3.b) uygulanan tek bir kuvvet ile gösterilebilir. Bu son durumda, takım ucuna uygulanan kuvvet talaş kaldırma kuvveti F_z olursa, bu kuvvetin aşağıda

gösterilen bileşenlerden meydana geldiği düşünülebilir. Kesme yönünde kesme kuvveti (F_s) ve bu yöne dik yönde radyal kuvvet (F_t), kesme düzleminde makaslama kuvveti (F_k) ve bu yöne dik yönde basma kuvveti (F_b), sürtünme kuvveti (F_f) ve bunu meydana getiren normal kuvvet F_n ile F_z arasındaki ρ açısı sürtünme açısıdır, bilindiği gibi sürtünme katsayısı μ ile ifade edilirse;

$$\mu = F_f / F_n = \tan \rho \quad ; \quad \rho = \arctan \mu \quad (2.3)$$

dır. Şekil 2.3'ten görüldüğü üzere kesme düzlemindeki, kesme direnci kuvvetinin yanı sıra kesici takım, malzemeden ayırmaya çalışan bir radyal direnç oluşmaktadır. Dolayısıyla kesici takım iş parçası üzerinde tutmak için takıma radyal bir kuvvetin uygulanması gerekir, bu da kesici takımın takım tutturma tertibatına bağlanması ile gerçekleştirilebilir [81].



Şekil 2.3. Talaş kaldırma kuvvetleri [81].

Kesme kuvveti ve kesme kesiti τ_k iş parçası malzemesinin kesme mukavemeti olmak üzere

$$F_k = A_k \tau_k \quad ; \quad A_k = hb / \sin \phi \quad (2.4)$$

ifade edilirse, Şekil 2.3.b'den kesme ve radyal kuvvetler

$$F_s = hb \tau_k \cos(\rho - \gamma) / [\sin \phi \cos(\phi + \rho - \gamma)] \quad (2.5)$$

$$F_t = hb \tau_k \sin(\rho - \gamma) / [\sin \phi \cos(\phi + \rho - \gamma)] \quad (2.6)$$

olarak bulunur.

2.5 denklemine dayanarak, bir malzemeden en düşük enerjiyle talaş kaldırılması için (minimum enerji ilkesine göre) ϕ kesme açısının optimum (ϕ_0) değeri bulunur. Buna göre;

$$dF_s/d\phi = 0 \text{ dan}; \quad \phi_0 = \pi/4 - 1/2 (\rho - \gamma) \quad (2.7)$$

bulunur. (2.7) denklemini ile F_s ve F_t kuvvetleri,

$$F_s = hb \tau_k = 2 \tan / \phi_0 \quad ; \quad F_t = hb \tau_k [(1/\tan^2 \phi_0) - 1] \quad (2.8)$$

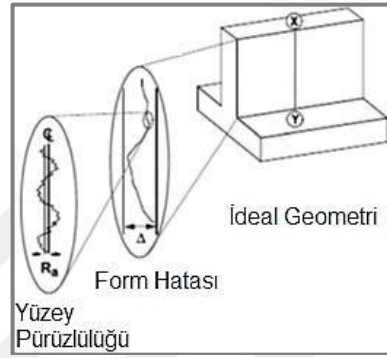
şeklinde yazılır.

Yukarıdaki denklemlerden görüldüğü gibi, talaş kaldırma için harcanan güç için önemli olan F_s kesme kuvveti; malzemenin kesme kopma mukavemetine (τ_k), talaşın boyutlarına (b,h) talaş açısı (γ), kesme açısı (ϕ) ve sürtünme açısına bağlıdır. Kesme açısı optimum kesme açısı olduğu durumda (Denklemin 2.8), belirli bir malzeme ve talaş boyutları için en düşük kesme kuvveti ve dolayısıyla en düşük talaş kaldırma gücü elde edilmektedir [81].

2.3. FORM HATALARI

2.3.1. Yüzey Tamlığı - Doğruluğu

Doğruluk; geometrik olarak doğru ve ölçüsel gereklilik ile bitmiş parçanın uyumu ya da uyuşma derecesi olarak tanımlanabilir. Hata; özel toleransla imal edilen iş parçasının gerekli teorik değerinden sapması olarak anlaşılabilir (Şekil 2.4) [55].



Şekil 2.4. Yüzey hatası ve şekilde sapma [55].

İmal edilen makine parçaları ya da ürünlerin yüzey kalitesini onların performansı doğrudan belirleyebilir. İş parçası yüzey kalitesi genellikle iki sınıfa ayrılır: yüzey dokusu ve yüzey bütünlüğü-doğruluğudur. Yüzey dokusunda mikro geometri ya da topografyadan söz edilir. Bu da temas ve yağlama-soğutma özellikleri, pürüzlülük şekli ve yüzey pürüzlülüğü tarafından karakterize edilir. Yüzey bütünlüğü, talaş kaldırmanın neden olduğu iş parçası yüzey tabakasına mekanik ve metalürjik değişim ile daha çok ilişkilendirilir. Bunlar, iş parçasının performansına önemli bir şekilde etki edebilir. Makine parçalarının/ürünlerin fonksiyonel performansını etkileyen yüzey özellikleri düşünüldüğünde mikro yapı, mikro sertlik, kalıntı gerilme ve yorulma olarak yüzey bütünlüğü karakterize edilebilir [56].

2.3.2. Yüzey Hata Kaynakları

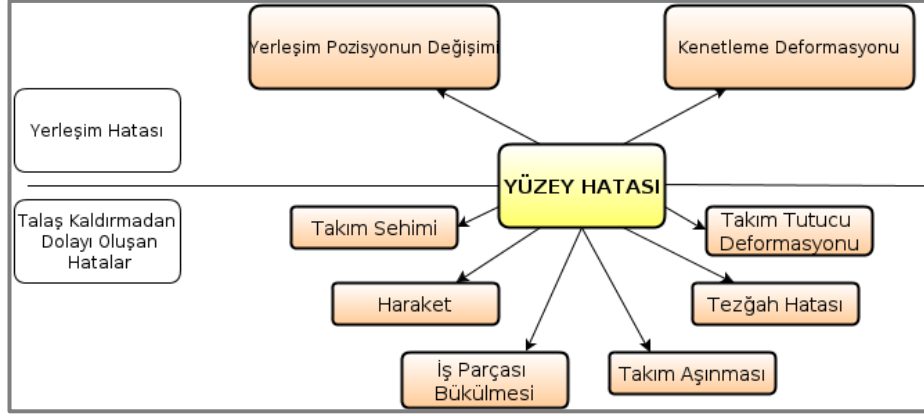
Geometrik doğruluğa boyut hataları, form hataları ve pozisyon hataları (paralellik, diklik, eğiklik, eş eksenlilik, yalpalama vb.) dahil edilir. Gerçek (asıl) yüzey daima

nominal pozisyonundan (konumundan) saptığından, yüzey hatası onların arasındaki maksimum sapma olarak tanımlanır. Yüzey hatası verimlilik ve işlevsel olarak gerekliliklerini tatmin ettiğinde izin verilebilir. Yüzey hata toleransı; alıştırma toleransı, profil toleransı ve şekil-konum toleransı olarak sınıflandırılabilir. Şekil-konum toleransları; düzlemsellik, dairesellik, doğrusallık, silindiriklik gibi sınıflandırılır. Tam gereklilik, talaş kaldırma parametrelerinin dikkatli seçimiyle başarılabılır [57,58].

Geleneksel talaş kaldırma işlemi boyunca oluşan kuvvet kesici takım, tezgâh sistemi ve iş parçasının elastik deformasyonuna sebep olur. Bu elastik deformasyon her geleneksel talaş kaldırma işleminde olur. Genellikle tornalama ve frezeleme işlemlerindeki elastik deformasyon, taşlama işlemine göre nispeten daha azdır. Parmak frezeleme işlemi parçaları şekillendirmek için yapılır. Bundan dolayı, talaş kaldırmanın elastikiyet olgusu özel olarak esas parçaların doğruluğu ve verimliliği ile ilgilidir.

Yüzey hata kaynakları Şekil 2.5’de gösterildiği gibi iki sınıfa ayrılabilir. Birincisi talaş kaldırmadan önce oluşan yerleştirme hatasıyla sonuçlanan yüzey hataları, ikincisi ise talaş kaldırma işleminden dolayı oluşan yüzey hatasıdır. Bu da talaş kaldırma esnasında karşılaşılan hatadır.

Üründeki hatayı etkileyen ana etkenler; % 60-65 tezgâh-takım, % 30-35 işlem ve % 5-10 çevresel faktörlerdir. Tezgâh-takım hatalarına tezgâhın kendisi sebep olur ve geometrik hatalar ve termal olarak oluşmuş hatalar buna dahil edilebilir. Süreç hataları operasyonun kendisiyle ilgilidir ve kesme kuvveti, sapma, takım aşınması, tırlama ve titreşim gibi sebepler neden olur [59].



Şekil 2.5. Yüzey hata kaynakları [59].

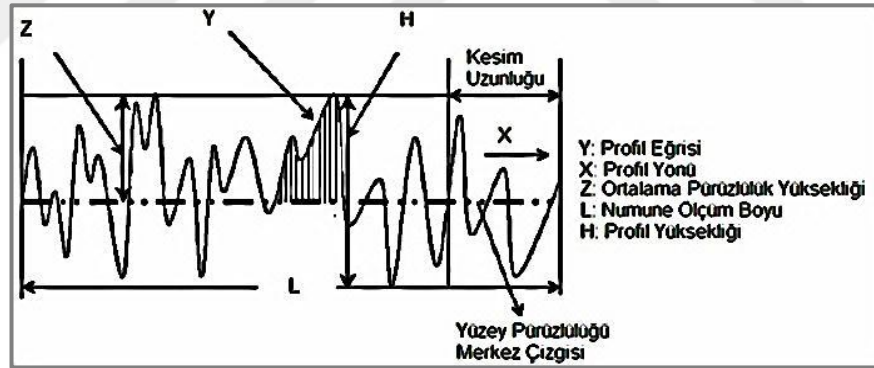
2.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalatta, üretimin zamanı ve maliyeti imalatın başarısını etkileyen önemli etkenler olmakla beraber, kalite konsepti içinde değerlendirildiğinde ve üretilen ürünün kullanılacağı yer ve hassasiyeti dikkate alındığında, ürünün kalitesi de üretim maliyeti ve zamanı kadar önemli bir etkidir. Bu bağlamda her imalat yönteminde olduğu gibi, talaşlı imalatta da ürün kalitesi hayli önemsenen ve üzerinde durulan bir araştırma konusudur. Ürün kalitesinin belirlenmesinde önemli faktör, ürünün üretim öncesi belirlenen toleranslar dahilinde olup olmadığıdır. Bu toleransların en önemlilerinden biride yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğü birinci olarak, ürünün fonksiyonunu yerine getirme sürecinde hem görsel hem de boyutsal olarak istenilen özelliklerde olması açısından önemlidir. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğünden dolayı malzeme mikroyapısında oluşabilecek çentikler ve akabinde yorulma hasarı meydana gelme ihtimalinden dolayı da önemlidir. Bununla beraber, yüzeydeki temastan dolayı sürtünme, aşınma ve yüzeydeki ısı transferi de yüzey kalitesini etkilemektedir [60]. Bunlar dikkate alındığında, araştırmacılar, işlenebilirlik konusu içine yüzey kalitesini de alarak, üzerinde hassasiyet ile durmuşlardır. Bu konuda kapsamlı çalışmalara imza atan Thomas'a göre [61], işlenen parçaların yüzey tribolojisi özellikleri, yüzey yapısından önemli miktarda etkilendiğini göstermektedir. Yorulma, aşınma, yağlama ve sürtünmeyi kapsayan tribolojik konuları yüzey pürüzlülüğü doğrudan ilgilendirmektedir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü ısı ve elektrik iletimi, sızdırmazlık gibi diğer alanlar içinde dikkat edilmesi icap eden mühim bir etkidir. Bu sebepten dolayı, makina parçalarının yüzey pürüzlülüğünün

belirlenmesi çok önemlidir. Aynı zamanda, talaşlı imalat ile işlenerek elde edilen yüzeylerin durumu farklı farklı değişkenlerden etkilenmektedir. İş parçası yüzeylerinin pürüzlülük mitarlarını azaltmak için; işleme esnasında düşük talaş derinliği, ilerlemenin düşük tutulması ve kesme hızlarının da yüksek seçilmesi, soğutucu sıvının yüksek debi ile soğutması, kesici takım uç radüsünün ve kesici takım talaş açısının büyük tutulması gibi faktörler yüzey pürüzlülüğü kalitesinde önemli rol oynamaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü, maksimum yüzey pürüzlüğü R_t , Ortalama yüzey pürüzlülüğü R_a gibi değişik şekillerde ifade edilebilmektedir. Ancak literatür ve imalat sanayi gözlemlendiğinde, R_a ortalama yüzey pürüzlüğü'nün çok daha fazla kabul gördüğü görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün R_a olarak matematiksel ifadesi aşağıda sunulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü profili Şekil 2.6'da sunulmuştur.

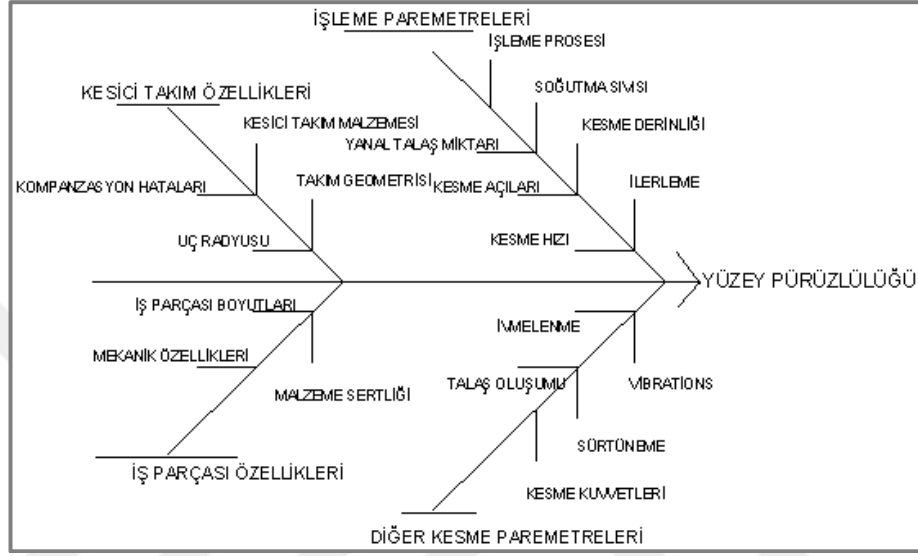
$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)| dx \quad (2.9)$$



Şekil 2.6. Yüzey pürüzlülük profili [60].

Yüzey pürüzlülüğü değişik faktörlere bağlı işlenebilirlik ile alakalı bir parametredir. Bu faktörleri, ilerleme oranı, kesme hızı, kesme kuvvetleri ve takımın meydana gelen aşınmalar olarak söyleyebiliriz. Ayrıca takımın geometrisine bağlı olarak da değişiklik göstermektedir. İşlenebilirlik alanında, elde edilen uygun yüzey pürüzlülük değerleri, iş parçasının kullanıldığı alanda istenen fonksiyonları sağlayabilmesi için gerekli bir etkidir. Literatür taraması yapıldığında işlenebilirlik üzerine yapılan çalışmaların çok olduğu ve kendi arasında değişik sınıflara ayrıldığı

görülmektedir. İşlenebilirlik alanında genellikle yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Şekil 2.7’de verilen balık kılıçığı diyagramında yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler yeterince gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere oldukça fazla değişken yüzey kalitesine etki etmektedir.



Şekil 2.7. Balık kılıçığı diyagramı [60].

Otomasyon sistemlerinde üretim yapılan ve sayısı oldukça çok olan imalat parçalarında her biri için ayrı ayrı yüzey kalitelerinin ve boyutlarının değerlendirmesini yapabilmenin yanında, işleme zamanının ve maliyetinin belirlenmesi bakımından tercih edilmemektedir. Bu durumda, tahmin model yöntemleri geliştirerek ve uygulayarak zamandan ve maliyetten tasarruf etmek mümkündür. Seri üretim prosesinde devamlı bir akış söz konusu olduğu için, sadece imal edilen parçalar için tahmin modelini göz önünde bulundurmaktansa başka alternatifte model geliştirmenin sayısız faydaları olacaktır. Bu konular dikkatlice ele alındığında, imal edilen iş parçası yerine iş parçasının işlenmesi sırasında meydana gelen talaşın oluşumunu ve geometrisini baz alarak model geliştirmek asıl amaç olmuştur. Böylelikle, seri üretim sürecinde süreç durdurulmamış olacak ve zamandan tasarruf sağlanmış olacaktır. Bu anlamda işlenmiş parçaların yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi hususunda da yapay sinir ağı gibi yöntemlerin üzerinde çalışmalar bulunmaktadır [62].

Talaşlı imalatta en iyilenmeye yönelik çalışmaların oldukça sık bir şekilde yapıldığı görülmüştür. Taguchi deneysel tasarım metodu ile minimum seviyede az bir deney sayısı ile, karmaşık hesap yapmalara gerek duyulmadan girdi faktörlerinin yüzeyin pürüzlülüğünün ve aşınmasının, üretim çıktıları üzerine tesirleri bulunabilmektedir. Böylelikle sistemlerde optimum işleme süreci belirlenmiş olur. Son zamanlarda bu metot ile imal edilen yüzeylerin pürüzlülük tahminleri ve en iyilenmesi hususunda sıkça yapılmış araştırmalara rastlanmaktadır [63].

2.4. OPTİK YÜZEY TARAMA

Fotoğrafın, en geniş anlamı ile 3B'lu dünyayı 2 boyut halinde bir resime çevirme yöntemi gibi ele alınırsa, 3B'lu optik tarama metodu yapılan bu işlem göre ters olarak yani 2B'lu resimler yardımıyla 3B'lu görüntülere ulaşabilmek diye tanımlanabilir. Fotoğraf yapma sürecinde maalesef bu dönüştürme işini tam olarak yapabilmek mümkün değildir. Bu işlem esnasında bazı veriler yok olabilir. Buna derinliği örnek verebiliriz. Bu işlemde bazı verilerin yok olduğundan dolayı 3B'lu görüntü çıkarabilmek için daha fazla çekim yapılması gerekmektedir. Bu sayede daha çok bilgiye ulaşılarak işlemin daha iyi olması sağlanır. Üç boyutlu optik tarama yönteminde kullanılmakta olan fotogrametri ve topogrametri metotları, 3B'lu cismin 2B'lu fotoğrafını çekerek bu fotoğrafın bilgisayar yardımıyla yeniden 3B'lu bir şekle çevrilmesini detaylı bir şekilde yapar [64].

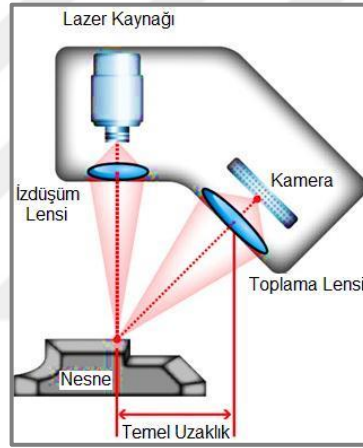
Üç boyutlu tarama teknikleri genel olarak optik üçgenleme tekniğini baz almaktadır. Kelime anlamıda, belirli sayıdaki noktaların konumlarını tam olarak belirleyebilmek adına, belirli nokta gruplarını tepe gibi görerek bulunan bu alanları üçgenlere ayırma sistemi olan "triangulation" bütün 3B'lu ölçme-tarama yöntemlerinin kullanılabildiği bir metottur. Çok farklı kullanım alanlarına sahip olan üçgenleme tekniği haritalamadan GPS yardımıyla yer belirleme tekniğine varana dek bir çok yerde kullanılabilmektedir. Bu yöntemle, sayısal olarak uzay boşluğunda çakışan doğrular yardımıyla noktaların bulunduğu konum detaylı olarak belirlenebilir.

Üç boyutlu tarama yöntemi, cismin birden fazla veya tek bir kamera yardımıyla iki boyutlu olarak taranmasıdır. Taranan yüzey daha sonra üç boyutlu kordinat sistemine

aktarılmaktadır. Bilgisayar yardımıyla cisim üzerindeki referanslar, yüzeyler ve formların nokta bulut biçiminde ölçülendirilebilmesi söz konusudur. Optik ölçümde en yaygın kullanılan aktif metotlardır. Aktif Metotlar; optik üçgenleme, ışık kesiti, fringe izdüşümü teknikleridir.

2.4.1. Optik Üçgenleme

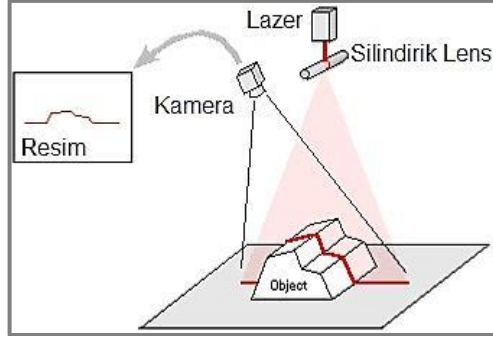
Bir lazer noktalyıcının ve optik dedektörün üçgen şeklinde bir yapı ile kurulur. Sonuç olarak üçgensel dayanak noktaları diye bilinen, üstüne lazer ile ışık düşen noktaların uzaklıkları dedektör yardımıyla tespit edilir (Şekil 2.8) [65,66].



Şekil 2.8. Optik üçgenleme [67].

2.4.2. Işık Kesiti

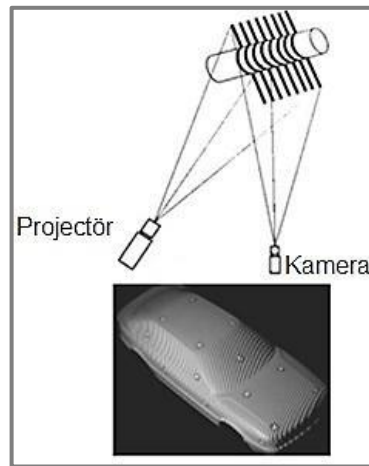
Işık kesit tekniğini, optik üçgenleme yönteminin daha gelişmiş hali olduğunu söyleyebiliriz. Bu teknik sayesinde cisim üstüne düşürülmüş çizgi ve optik dedektör desteğiyle cismin üç boyutlu şekli düzlem üzerinde bulunur (Şekil 2.9) [64].



Şekil 2.9. Işık kesiti [68].

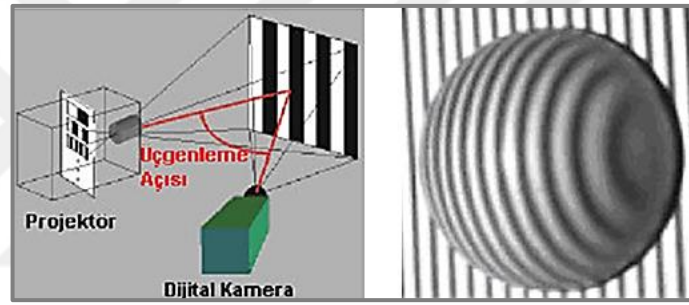
2.4.3. Fringe İzdüşümü

Işık kesit tekniği açısından daha gelişmiş bir yöntem olan Fringe izdüşüm tekniği, güçlü bir ışık kaynağı ile 3B'lu optik tarama sistemi parça üzerine farklı dokusal özelliklerde saçaklar düşürmektedir. Parçanın yüzeyi üzerindeki bu kodlanmış ışıklar parçanın karakteristik özelliklerinin yönlerine bağlı olarak deforme olmaktadır. Kodlanmış ışıklar özel bir açı elde etmek için iş parçasının yüzeyine doğru yönlendirilmektedir. Bu açı triangulasyon olarak adlandırılır. Fringe izdüşüm deformasyon analizleri aracılığı ile 1 milyonun üzerinde 3B koordinat birkaç saniye içinde elde edilir. Bu sayede yüzey bilgisini içeren nokta bulutu elde edilir (Şekil 2.10) [69].



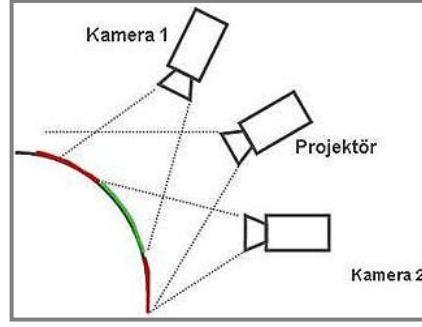
Şekil 2.10. Fringe izdüşümü [64].

3B'lu optik ölçme yöntemlerinde topogrametri tekniği, yapılışı, aydınlatma yöntemi, esnek ve güvenilir olması yönünden dikkat çekmektedir. Topogrametri tekniği üç boyutlu bir sistemde kuvvetli bir ışıkla cisimin üstüne değişik dokularda izler (Fringeler) atar. Cisimin yüzeyinin üstünde kodlanmış bu dokulu ışıklar, taranan cisimin şekilsel yapısı ile bozulmaya maruz kalır. Bu kameralama tekniği projeksiyon sistemiyle belirlenmiş bir açıya göre ayarlanmıştır. Ayarlanan bu açı üçgenleme açısı olarak bilinmektedir. Cisim üstüne düşürülmüş olan fringe izlerinin bozulma bilgisi incelenerek yaklaşık bir milyon nokta ile oluşan nokta bulutunun üç boyutlu koordinatları kısa bir sürede bulunabilmektedir. Şekil 2.11'de kamera, projektör ve sensor düzeneği ile cismin yüzeyinde deformasyona uğrayan izdüşürülmüş fringeler gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Kamera sistemi ve deformasyona uğramış fringeler [66].

Cisim yüzeyinin şeklini belirleyen nokta bulutu bu şekilde bulunabilmektedir. Bu işlemlerin ardından tersine mühendisliğin konusu olan nokta bulutu ile Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) ile parça üç boyutlu olarak modellenebilmektedir. Tarama yöntemleri bir kameradan oluşan yüksek teknolojili sistemler olduğu gibi kullanım yerlerinde göre, değişik görme alanına sahip olan lens yardımı ile farklı boyutlardaki cisimlerin sayısallaştırılmasına olanak sağlamaktadır. İki kamerası bulunan sistemde ise orta kısımda olan projeksiyon ile aynı veya değişik açılar yapabilecek biçimde yerleştirilmiş 2 adet kamera mevcuttur (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Çift kameralı sistem [65].

Her iki kameranın birlikte görmüş olduğu yer asıl ölçme yeridir. Breuckmann firması tarafında geliştirilmiş olan simetrik olmayan iki kameralı yöntemde de (Stereoscan) orta kısımdaki projeksiyonla iki farklı açı yapabilecek biçimde yerleştirilmiştir. Bu sistem asimetrik tasarımıyla üç adet üçgenleme açısına ulaşarak detay kısımlarının daha hassas ölçülebilmesi ve görüş kapasitesinde de artma sağlanmış olur. Optik tarama olarak bilinen topogrametrik ölçümlendirme sonucunda istenen modelin nokta bulutu ve poligon ağ verisi (STL) elde edilmektedir [65].

2.5. DENEYSEL TASARIM

2.5.1. Deney Tasarım Yöntemleri

Deney tasarımı, ürünü, süreci veya sistem üzerinde etkisi olan faktör ve değişkenler üstünde değişiklik yapılarak süreç veya sistemin tepkisi hakkında bilgi alabilmek için yapılan test serileridir. Faktörler ise kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen gürültü faktörleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Deneyi etkileyen kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesici takım boyutlarını içeren faktör çeşitlerine kontrol edebildiğimiz faktörler deriz. Kontrol edilemeyen faktörler ise deney esnasında kontrol edemediğimiz yani bağımsız faktörler deriz. Yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü, iş parçası deformasyonu gibi faktörler kontrol edilemeyen faktörlerdir [60].

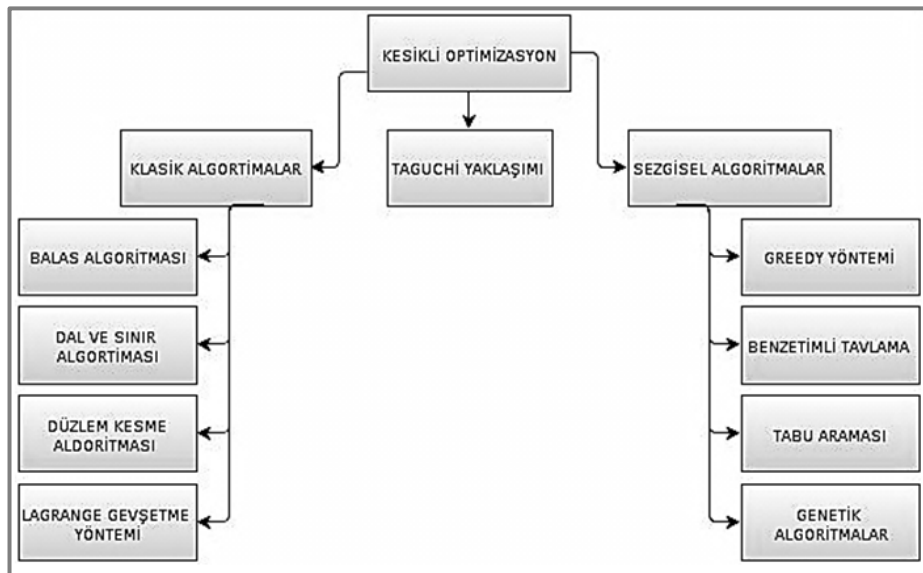
Süreci etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da çok hızlı şekilde artmaktadır. Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği artıracak bir çözüm

getirmiştir. Bu sayede deney öncesinde yapılan ayrıntılı analiz ve değerlendirmelerle gereken deney sayısını önemli şekilde düşürmek mümkün olmuştur. Taguchi metodu, bir deney tasarım tekniği olmanın ötesinde yüksek kalitede sistem tasarımı için de son derece faydalı bir tekniktir. Diğer taraftan deney sayısında elde edilen azalma, faktörler arasındaki etkileşimlerin belirli ölçüde göz ardı edilmesinden kaynaklanmaktadır [72].

Optimizasyon problemleri, genel olarak karar değişkenlerinin tipine bağlı olarak sürekli ve kesikli optimizasyon olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır.

Sürekli optimizasyonda, amaç fonksiyonu ve kısıtlar, karar değişkenlerinin sürekli bir fonksiyonudur. Amaç fonksiyonu sistemin etkinliğinin en büyüklenmesi, maliyetin en küçüklenmesi gibi hedefler biçiminde ifade edilir.

Kesikli optimizasyon, sürekli biçimde tanımlanan karar değişkenlerinin, kesikli değerler alan karar değişkenleri biçiminde tanımlandığı kesikli optimizasyon, hem problemlerin modellenmesinde hem de bu modellerin problem çözümünde kullanılmasında etkin ve hızlı çalışan algoritmalara ihtiyaç duyar. Kesikli optimizasyon çözüm yöntemleri Şekil 2.13’de gösterilmiştir [73].



Şekil 2.13. Kesikli optimizasyon çözüm yöntemleri [64].

2.5.2. Taguchi Deney Tasarımı

Fisher tarafından 1920’de geliştirilen klasik parametre tasarımı hem karmaşık hem de kullanım zorluğuna sahiptir. Süreç parametrelerinin sayısında artış olduğunda çok fazla sayıda deney yapılmasını gerektirir. Bu problemi aşmak için, Taguchi metodunda az sayıda deneyle tüm parametrelere yayılarak dikey düzenlemenin özel tasarımı kullanılır. Taguchi metodu, maliyet ve kalite performansı için deneysel tasarım optimizasyonuna basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sunar. Taguchi, arzu edilen değerden sapma performans karakteristiğini ölçmek için kayıp fonksiyonu kullanımını tavsiye eder. Kayıp fonksiyonun değeri daha sonra sinyal-gürültü ye (S/N) dönüşür. Bu oran, hedef performans civarındaki varyansı, istikrar ve güvenilirliğini ölçer. S (Sinyal), sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, N (Gürültü) ise ölçülen değer içerisinde bulunan kontrol edilemeyen faktörlerin değerini gösterir. Bu oranın büyütülmesi, kontrol edilemeyen faktörlerin küçültülmesi anlamına gelmektedir. Genellikle burada S/N oranının analizi performans karakteristiğinde üç kategoride incelenir: düşük-daha iyi, yüksek-daha iyi ve nominal-daha iyi. Süreç parametrelerinin her bir seviyesi için S/N oranı S/N analizine dayalı hesaplanır. Performans karakteristik kategorisine bakmaksızın büyük S/N oranı daha iyi performans karakteristiğine karşılık gelmektedir. Burada, süreç parametrelerinin optimal seviyesi en yüksek S/N oranlı seviyedir. Dahası, istatistik varyans analizi (ANOVA) süreç parametrelerinin istatistiksel olarak önemini görmek için yapılır. S/N ile ANOVA analizi, süreç parametrelerinin optimal kombinasyonu tahmin edilebilir. En sonunda parametre tasarımından elde edilen optimal süreç parametrelerinin doğruluğunu kanıtlamak için doğrulama deneyleri yapılır [74,75].

Klasik deneysel tasarım b^a olarak tanımlanır. Burada “ a ” değişken sayısını, “ b ” ise değişken seviyesini temsil etmektedir. Taguchi’nin deney için tasarımı ise “ L_{abc} ” ile belirtilir. Burada “ L_a ” tasarım matrisi ya da değişkenlerin dikeydüzenlemesi, “ b ” değişken seviyesi ve “ c ” değişken sayısı olup aşağıdaki maddeleri içermektedir:

- Güçlü tasarım- en uygun davranışı başarmak için şartları araştırmak,
- Kayıp fonksiyonu minimize etmek,
- S/N oranını maksimize etmek,

- Etkileşim etkileri için lineer grafik incelemelerinden deneysel tasarım seçimi.

Taguchi yönteminin birçok imalat alanında başarıyla uygulandığı ve iyi sonuçlar alındığı kanıtlanmıştır. Mühendislik analizi ve incelemesinde yaygın bir şekilde kullanılan Taguchi metodu süreç ya da ürün optimizasyonu için üç adımdan oluşan bir yaklaşımı önermektedir. Bunlar, sistemin tasarlanması, parametrenin tasarlanması ve toleransların tasarlanmasıdır [75,76].

2.5.2.1. Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı bu metodun ilk adımıdır. Bu adımda eldeki bütün materyaller değerlendirilir, aynı zamanda mevcut teknolojik yenilikler araştırılır ve sistemde kullanılabilirliği üzerine fizibilitesi yapılır. Bu tasarımın içeriği kalite karakteristiklerini geliştirmek için süreç parametre değerlerinin ayarlarını optimize etmek ve en uygun süreç parametreleri altında ürün parametre değerlerini tanımlamaktır. Bu aşamada müşteriyi maksimum seviyede memnun edebilecek, minimum maliyet göz önüne alınarak malzeme, parça, prototip ürün, parametre değerlerinin seçimi yapılmaktadır [77].

2.5.2.2. Parametre Tasarımı

Süreç yenilemesi ve iyileştirmesinin en önemli adımı parametre tasarımıdır. Taguchi'ye göre, ürün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama, hem ürün hem de süreç tasarımı için, parametre tasarımı aşamasıdır. Parametre tasarımında amaç, ürünün performans farklılıklarını asgariye indirerek, ürünün hem imalat, hem de hayat boyu maliyetini azaltmaktır. Taguchi, bu amaçla yapılan ürün ve süreç tasarımına sağlam tasarım demektedir. Burada sağlam, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin, nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve süreç anlamında kullanılmaktadır.

Ürün ve süreç parametre tasarım aşamalarında, optimal değerlerin belirlenmesi ve optimal ayarların yapılması gereken çok sayıda faktör vardır. Üstelik bu faktörlerin

birçoğu birbirleriyle etkileşim durumundadır. Bu kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin, ürün ve ürünün performansına olan etkilerinin birlikte belirlenebilmesi için en etkin yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Deney tasarımı aracılığıyla, birçok faktörün ürün üzerindeki etkisi ekonomik olarak (düşük maliyetle) belirlenebilir ve varyasyon oluşturan faktörlere karşı önlemleri, tasarım aşamasında almak mümkün olmaktadır. Dolayısıyla Taguchi'nin off-line kalite kontrol sistemi için en önemli kalite sağlama yöntemi deney tasarımıdır [78].

Parametre tasarımı içerisinde seviyelerin seçilmesi sırasında iki amaç vardır: Hedef değerin tutturulması ve değişkenliğin minimize edilmesidir. Taguchi tekniğinin parametre tasarımı kısmı aşağıda belirtilmiştir;

- Kalite karakteristiklerinin (bağımlı parametrelerin, örneğin; kesici takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü) ve tasarım parametrelerinin (bağımsız parametreler, örneğin; kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı vb.) belirlemek,
- Tasarımın parametre ve etkilendiği seviye düzeylerini belirlemek,
- Uygun olan bir dikey dizini veya lineer bir grafiği belirlemek ve bu dizin için uygun olan parametre seviye değerlerini yerleştirmek,
- Dikey dizine yerleştirilmiş olan seviye değerlerinde deneysel olarak çalışmalar gerçekleştirmek,
- Deney sonunda bulunan sonuçlar kullanılarak S/N oranlarını hesaplamak ve sonuçları analiz edebilmek,
- Optimum tasarım parametrelerini seçmek,

Bu işlem sırası takip edilerek parametre tasarımı gerçekleştirilir. Sistem tasarımı yapılırken ilk önce problemin anlamına göre kullanacağımız bağımlı veya bağımsız parametrelerin nelerden seçileceğini belirlememiz gerekmektedir. Sistemi etkileyen parametre sayısı çok olduğu durumda en az etkiye sahip olan parametreler tasarım içine dahil edilmeyebilir. Ayrıca deneylerden kaynaklanacak maliyetin miktarına göre parametre sayıları düşürülür veya arttırılabilir.

Daha sonraki kısımda da, belirlemiş olduğumuz tasarımdaki parametreler için, deneylerin sonuçlarını etkileyebilecek bağımsız olan parametreler için uygun seviye

değerleri belirlenmelidir. Bu kısımda da bir faktör için yapılan dağılım, seviyelerde uygun bir şekilde yapılmalıdır. Seviye sayıları uygun miktarda tutulmalıdır. Seviyelerin sayısı fazla olursa deney sayısında da artış söz konusu olur. Yapılan bazı deneylerde belirlenen seviyeler deneyin maliyetini arttırdığı görülmektedir. Deneydeki seviyeler arasında bulunan farklılıklar, bağımsız parametrenin bağımlı parametreler üstündeki etkisini doğru bir şekilde göstermiş olacaktır. Bu nedenle seviyeler arasında bulunan farklar eşit olarak artmalı veya azalmalıdır. Belirlenen bu seviyeler seçilmiş olan faktörün alabildiği en alt ve en üst seviyeler dikkate alınarak belirlenmelidir.

Üçüncü aşamasında da uygun olan bir dikey dizini veya lineer grafiği belirleyerek bu dikey dizin üzerinde belirlenmiş olan parametreler için uygun seviye değerlerini oturtmaktır. Taguchi, kısmi faktöriyel deney tasarımları için dikey dizin adını kullanmıştır. Taguchi bu şekilde yaparak, deneylerin tasarımı aşamasını sadeleştirmiş ve herkesin anlayabileceği daha sade bir seviye düzeyine getirmiştir. Taguchi dikey dizinleri aşağıda verildiği şekli ile kodla yapmıştır. Taguchi tarafından hazırlanan dikey dizinlerin listesi Ek Açıklamalar B’de verilmiştir.

$$LX(Y^Z) \quad (2.10)$$

Bu kodlamada;

L: Latin kare tabanlı anlamındadır,

X: Tasarımda bulunan deneylerin sayısı,

Y: Deneyde verilen seviyelerin sayısı,

Z: Deneylerde kullanılacak maksimum faktör sayısıdır.

Bu kodlamanın pratikte “*Y^Z*” kısmı pek kullanılmamaktadır [79].

DeneySEL çalışmaların yapılması parametre tasarımının dördüncü aşamasıdır. Bir sonraki aşama ise, deneySEL sonuçları kullanarak *S/N* oranlarını hesaplamak ve sonuçları analiz etmektir. Hedef değerlerin sağlanması için deney sonuçlarının ortalamaları; varyasyonun minimize edilmesi için *S/N* kullanılmaktadır. Sinyal/Gürültü oranı Taguchi tekniğinde, “sinyal-S” terimi çıkış karakteristiği için

bilinen ya da bulunan değer; “gürültü-N” terimi ise tanımlanmamış değer olarak tanımlanır. Bu nedenle; bilinen değerlerden kalite karakteristiğini ölçmek için Taguchi yöntemi sinyalin gürültüye dönüştürüldüğü S/N oranını kullanmaktadır ve çözülecek problemin tipine göre değişik şekiller almaktadır. Toplam S/N çeşidi sayısı yetmiş kadardır, fakat bunların en çok üç tanesi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Daha küçük daha iyi (S/N_S): Ortalamayı ve değişimi olabildiğince küçültmek istenen problemlerde kullanılır. Örneğin; yüzey pürüzlülüğünün en küçük olması istenilen durumlarda, daha küçük daha iyi kriterine göre S/N oranı;

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (2.11)$$

formülüyle hesaplanır. Formülde, y_i^2 , ölçüm sonuçlarının toplamının karesi, n ise toplam ölçüm sayısıdır.

Daha büyük daha iyi (S/N_B): Ortalamayı büyütüp, değişimi küçültmek istenen durumlarda kullanılır. Örneğin; kesici takım ömrünün en yüksek olması istenilen durumlarda, daha büyük daha iyi kriterine göre S/N_B oranı;

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (2.12)$$

formülüyle hesaplanır.

Nominal daha iyi (S/N_N): Varyasyonu oldukça küçültmek istenilen durumlarda kullanılır. Nominal daha iyi kriterine göre S/N_N oranı;

$$S/N = -10 \log \left(\frac{\overline{Y^2}}{S} \right) \quad (2.13)$$

formülüyle hesaplanır. Bu eşitlikte; s örnek varyanstır. S/N oranları desibel olarak ölçülmektedir [80].

2.5.2.3. Tolerans Tasarımı

Tolerans tasarımı genel olarak parametre çalışmaları sonucunda elde edilemeyen kalite durumlarında uygulamaya konulan bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Parametre tasarımında hedeften sapmalar tamamen elimine edilmeyebilir. Tolerans tasarımı, üretilen hatalı ürünlerin olasılıklarının limiti, üretilen tüm parçalar için kullanılmalıdır. Tolerans etrafındaki hedef genellikle tasarım mühendisi tarafından belirlenir; alabileceği değişim aralığı olarak tanımlanır. Tolerans limitleri test ve denemeden sonra ayarlanır. Tolerans ayarlamalarını; hedef, emniyet faktörü, fonksiyonel limit, beklenen kalite seviyesi ve hedeften herhangi bir sapmada finansal maliyet gibi kriterler belirler.

Parametre tasarımı ile faktörlerin belirlenen seviyelerinde, istenilen küçüklükte bir değişkenlik elde edilemiyorsa tolerans tasarımı kullanılır. Bu bölümde, Varyans analiz çizelgesi hazırlanarak değişimin istenilen düzeye indirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılır. Burada her bir etkenin toplam varyasyondaki yüzdesi hesaplanarak sistemin çıktı varyasyonunun istenilen düzeye getirilmesi için her bir etkenin varyasyonu ile ne kadar oynanması gerektiği hesaplanmaktadır. Bu basamakta yapılan işlem daha çok bir duyarlılık analizi olarak ortaya çıkmaktadır. Varyans analizi, kontrol faktörleri ve iterasyon etkilerinin anlamlılıklarını açıklamaktadır [80].

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1. CİHAZ VE DÜZENEKLER

3.1.1. CNC Freze Tezgâhı

Deneylelerde kullanılan CNC tezgâhı metrik ve inch birimlerinde ISO format programlamayla üç eksen lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, kontrol ünitesi FANUC Serisi Oİ-MD olan bir tezgâhtır.

Çizelge 3.1. CNC tezgâhının teknik özellikleri.

Model No	TAKUMA JVH-710
Tabla Çalışma Yüzeyi	760X420 mm
X,Y,Z Hareket Sınırları	X: 710 mm
	Y: 460 mm
	Z: 550 mm
İş Mili Devri	10000 rpm
Max. İş Parçası Ağırlığı	450 kg
Tezgâh Zemin Alanı (En x Boy x Yükseklik)	2340 x 2150 x 2350 mm
Makine Ağırlığı	4200 kg



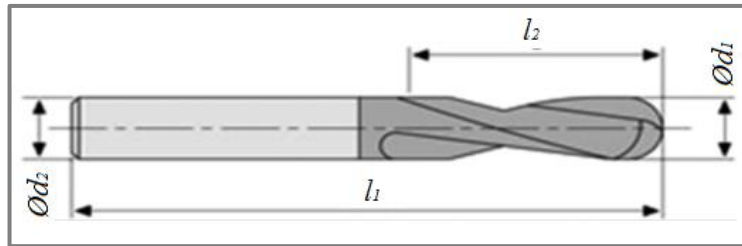
Şekil 3.1. Numunelerin işlendiği CNC tezgâhı.

3.1.2. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım, Takım Tutucu ve Pens Özellikleri

3.1.2.1. Kesici Takım

Sanayi uygulamalarından ve literatür araştırması sonuçlarından serbest formlu yüzeylerin işlenmesinde küresel uçlu parmak frezelerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle kesici takım olarak SBE 2120T TT1040 standar numaralı TaeguTec marka dıştan soğutmalı yekpare gövdeli küresel uçlu karbür parmak freze çakısı seçilmiştir. Kesici takıma ait özellikler Şekil 3.2 ve Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Seçilen bu kesici takım üretici firma tarafından, titanyum ve alaşımları, paslanmaz çelik, dökme demir, sertleştirilmiş malzemeler, alaşımsız çelikler, düşük alaşımlı çelikler, bakır ve bakır alaşımları, alüminyum alaşımlar, plastik ve grafit gibi malzemelerin işlenmesinde tavsiye edilmektedir.



Şekil 3.2. Kesici takım geometrisi.

Çizelge 3.2. Kesici takımın geometrik özellikleri.

Takım Çapı (d_1)	d_2	l_1	l_2	Ağız Sayısı	Heslis Açısı
12	12	100	26	2	30°

Kullanılan kesici takım taşma uzunluğu, takım çapının beş katı olan 60 mm alınmıştır. Yapılan literatür çalışması neticesinde bu tarz çalışmalarda kesici takım taşma uzunluğu genellikle kesici takım çapının beş katı olarak alındığı görülmüştür.

3.1.2.2. Takım Tutucu ve Pens

Kesici takım, kullanılan CNC tezgahının iş mili koniğine uygun bir takım tutucu ve pens kullanılarak bağlanmıştır. Bunun sebebi diğer tutucuların tam sıkma işlemini gerçekleştirememesinden dolayı titreşim veya boyutsal problemlerle karşılaşabilmektedir. Bu yüzden BT40-ER40x80-PB takım tutucu kullanılmıştır. Pens olarak da bu takım tutucuya uygun ER 40 pens kullanılmıştır. Şekil 3.3' te kullanılan takım tutucu ve pensin resimleri, Çizelge 3.3'te de pensin ölçüleri verilmiştir.



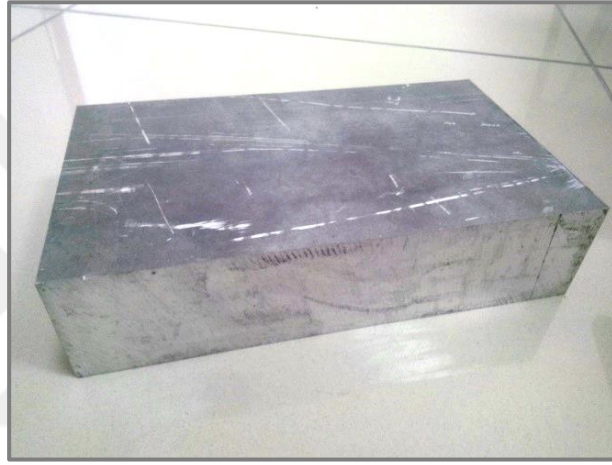
Şekil 3.3. Takım tutucu ve pens.

Çizelge 3.3. Pens ölçüleri.

Pens	d	D	L
ER40	12	41	46

3.1.3. DeneYlerde Kullanılan İş Parçası Malzemesi ve Ölçüleri

DeneYlerde, yoğunluğu çeliğın yoğunluğının yaklaşık üçte biri kadar olan ve bu düşük yoğunluğundan dolayı (2810 kg/m^3) hafif bir metal olan, yüzeyinde oluşan oksit filmi sayesinde korozyona karşı dirençli, yüksek mukavemete ve işlenebilirliğe sahip olan Alüminyum 7075-T6 serisi kullanılmıştır. Bu malzeme üzerinde serbest formlu (freeform) çeşitli geometriler küresel uçlu parmak freze ile CNC dik işlem merkezinde işlenmiştir. Şekil 3.4’de malzemenin işlenmemiş hali verilmiştir.



Şekil 3.4. DeneYlerde kullanılan Al7075-T6 malzeme.

Alüminyumun en geniş kullanım alanları denildiğinde, askeri amaçlı hafif zırhlı araçlar, deniz botları, yolcu ve askeri uçaklar, otomobil sacları ve motor blokları, pek çok irili ufaklı endüstriyel makine parçaları akla ilk gelenler arasında yer alır. Yoğunluk oranına bağlı olarak yüksek dayanımı nedeniyle, havacılık endüstrisinde oldukça geniş uygulama alanlarına sahiptir. Isıl işleme bağlı olarak yüksek dayanım özellikleri sergileyen alüminyum alaşımları içerisinde 7XXX serisi 7075 Al alaşımları dikkati çekmektedir. 7XXX serileri içerisinde çinko yüksek miktarda bulunarak temel alaşım elementi olma özelliği taşır ve daha az yüzde oranlarında magnezyum ikinci sırada bulunur. Bu iki alaşım elementi ısıya dayanıklı ve çok yüksek dayanımlara sahip bir alaşımı oluştururlar. Genellikle diğer elementler, bakır ve krom gibi çok az miktarlarda bulunmaktadır. 7XXX serisi alaşımlar, açık havaya

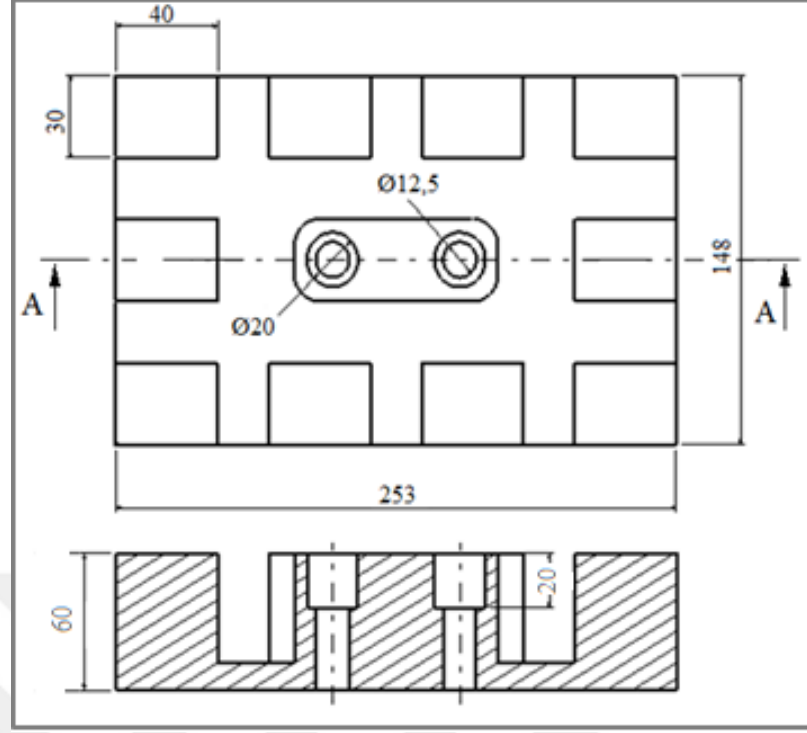
maruz kalan nemli ortamdaki yapılarda, hareketli cihazlarda ve diğer yüksek gerilime maruz kalan parçalarda kullanılmaktadırlar [70].

Deneyleerde kullanılan Al7075-T6 malzemenin mekanik özellikleri ve kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Malzemenin mekanik özellikleri ve kimyasal kompozisyonu.

Mekanik Özellikler		Kimyasal Kompozisyonu (%)	
Çekme Gerilmesi (MPa)	570	Zn	5,50
Akma Gerilmesi (MPa)	505	Si	0,13
Yoğunluk (Kg/m ³)	2810	Mn	0,30
Uzama (%)	11	Cr	0,28
Sertlik (HRb)	102	Ti	0,20
Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	72000	Cu	2
Poisson Oranı	0,33	Mg	2,9
		Al	KALAN

Deneyleerde 253x148x60 boyutlarında Al7075-T6 malzemenin oluşun dikdörtgen prizma şeklinde iş parçaları kullanılmıştır. Her iş parçası üzerinde 10 adet hücre olacak şekilde serbest formlu yüzeyler işlenmiştir. İş parçası üzerinde oluşturulan hücre ve kullanılan ham malzemenin ölçüleri Şekil 3.5’te verilmiştir.



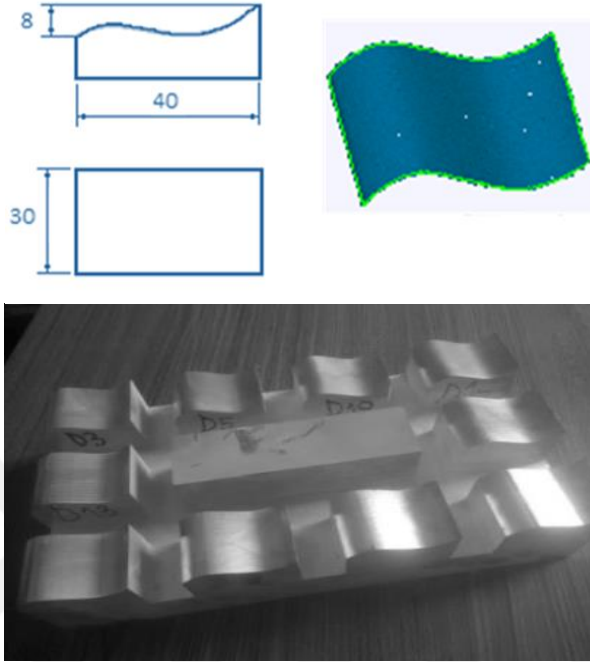
Şekil 3.5. Hazırlanan iş parçası boyutları.

İş parçası üzerinde işlenecek olan serbest formlu yüzeyler öncelikle düz uçlu parmak freze çakısı kullanılarak adalara ayrılmış, daha sonra da aynı çakı ile kaba işleme yapılarak son geometrisine 1 mm talaş kalacak şekilde işlenmiştir. Hazırlanan numuneler Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Adalara ayrılan ve kaba işleme yapılan numuneler.

Şekil 3.7’de de işlenen serbest formlu yüzeylerin ada üzerindeki en-boy ölçüleri ve işlenmiş hali verilmiştir.



Şekil 3.7. Serbest formlu yüzeylerin ölçüsü ve işlenmiş görüntüsü.

3.1.4. Yüzey Pürüzlüğünün Ölçümü

Serbest forma sahip yüzeylerin işlenmesiyle ilgili değişik örnekler literatürde yer almaktadır. Buna rağmen serbest formlu yüzeylerin işlenmesiyle ilgili çalışmaların birbirlerinden farklılıklarını belirlemek oldukça güç olmaktadır.

Literatür taraması yapıldığında çalışmalarda oldukça sık kullanılan deney tasarım metodlarından biri olan Taguchi yöntemi, sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı üzerinde yapılmış deney tasarımı ve optimizasyonu tekniği olduğu görülmektedir. Kalite ve güvence sistemi alanında biriktirilen dataların istatistiksel olarak analizlerinde yaygın bir şekilde kullanılan Taguchi yöntemi, farklı parametreler ve farklı seviyeler arasında en uygun koşulların belirlenmesinde oldukça önemli yöntemlerden biridir.

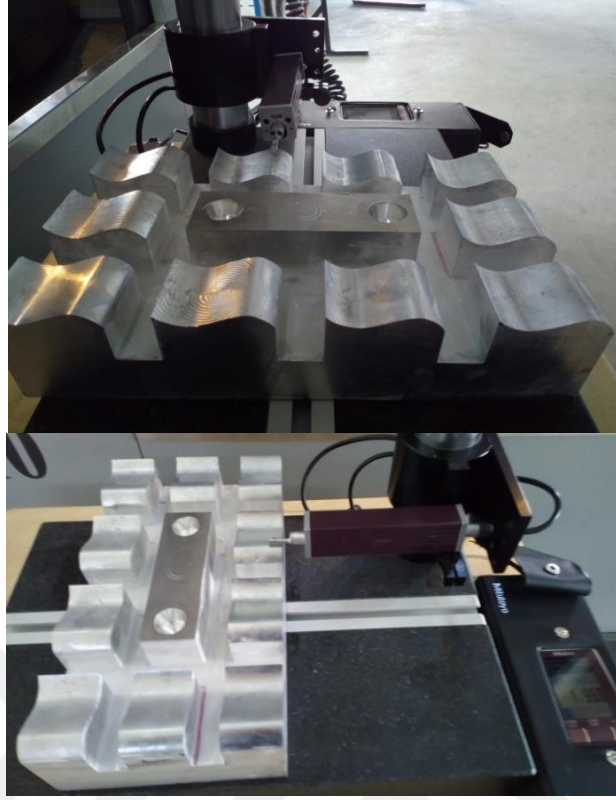
İzleyici uçla yüzey pürüzlülüğü ölçen aletler yüzey pürüzlülüğünü, uygun görülen uzunluk ve çevrelerde ölçer veya kontrol eder. Bu aletlerde izleyici uç, yüzey üzerinde gezdirilirken girinti ve çıkıntılara girip çıkar. Bu hareket, manyetik bir bobin veya kristalde, elektrik akımına dönüştürülür. Bu elektrik akımı da ilgili ünitelerde büyütülerek bir ibre yardımıyla veya dijital olarak görünür, istenirse yazıcı bir uçla grafik olarak kâğıt şeritlere çizilebilir. Bu cihazın kol olarak belirtilmiş parçasının ucundaki kafaya bağlı kızak, belirli yönlerde hareketi sırasında hem kola desteklik yapar hem de yoklayıcı ucu korur. İzleyici uç hareketi, profilin ölçülme geometrisinin perspektif görünüşünde daha iyi görünür.

Yapılan bu çalışmada, yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü için ISO, ANSI ve VDA (Verband der Automobilindustrie) standartlarında ölçüm yapabilen, manuel ve otomatik kalibrasyon özelliğine sahip, 1,75 / 5,6 / 17,5 mm tarama boyu seçimli, profil çözünürlüğü 0,012µm Mitutoyo SJ-210 ölçü aleti kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Mitutoyo SJ-210 teknik özellikleri.

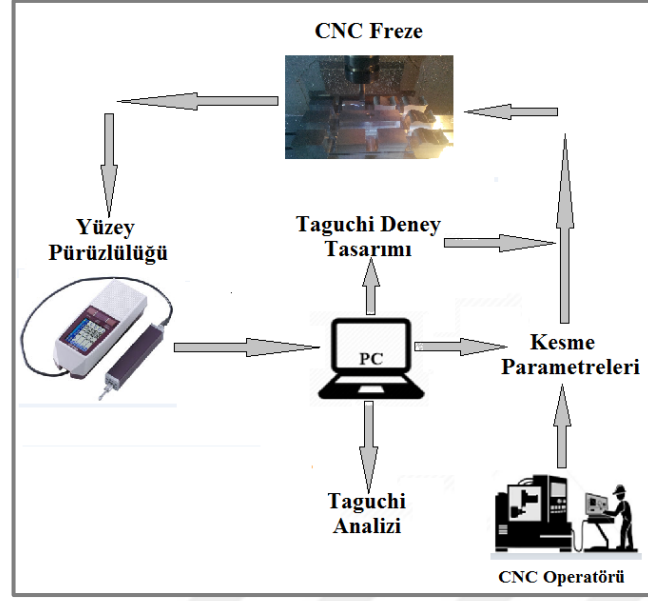
Ölçme Prensibi	İzleyici uç Metodu
Veri Toplama	2µm izleyici uç, 0,7 mN ölçme kuvveti
Parametreler	Ra, Rt, Rz
Ölçüm Aralığı	350 µm, 180 µm, 90 µm
Ölçüm Uzunluğu	1,75 mm, 5,6 mm, 17,5 mm

Ölçümler esnasında parçaların serbest formlu yapılarından dolayı açısı ve yüksekliği ayarlanabilir sehpa kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının güvenilirliği açısından pürüzlülük ölçümleri en az üç bölgeden ve işleme yönlerine dik olarak yapılmıştır. Böylece izleyici ucun scollap yüksekliğinden kaynaklanan işleme kanallarına paralel gitmesi engellenmiştir. Serbest form üzerinde bulunan dış bükey ve içi bükey eğriler üzerinden ölçülmüştür. Ölçümler sonunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması alınmıştır. İş parçası üzerinde işleme sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ölçümleri için ölçüm uzunluğu 5,6 mm olarak alınmıştır.



Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü.

Talaş kaldırma işlemindeki parametrelerin tasarımı ve elde edilen sonuçların yorumlanmasında en uygun verilere ulaşmak için dört farklı işleme şeklinde, kesme hızı, ilerleme ve yanal adımın dört seviyesine göre Taguchi L_{16} dizini ile deney listesi yapılmıştır (Çizelge 3.6). Taguchi yönteminde sinyal gürültü oranları belirlenmiş ve deneylerin sonuçlarına göre, dört parametrenin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinde önem sırası belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerini ölçmek için yapılan çalışmanın deney şeması Şekil 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.9. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için deney şeması.

Çizelge 3.6. Faktör seviyelerinin belirlenmesi.

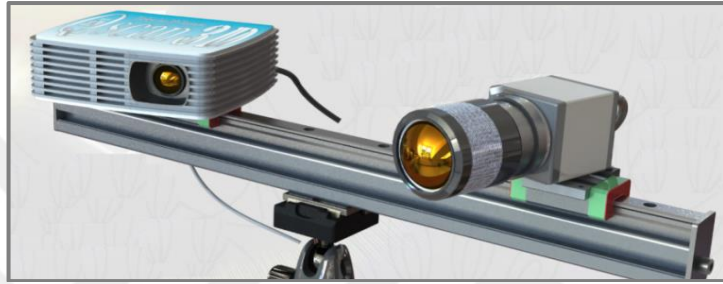
Sembol	Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye3	Seviye 4
A	Kesme Hızı (m/dk)	100	140	180	220
B	İlerleme Hızı (mm/dk)	200	500	800	1100
C	Yanal Adım (mm)	0,5	0,8	1,1	1,4
D	İşleme Tarzı	Paralel	Zig-Zag	Spiral	Tek yön

3.1.5. Üç Boyutlu Optik Tarama

Elde edilen ürünün yüzey bütünlüğü ve kalitesinin göstergelerinden olan form hatasının belirlenmesinde genellikle kıyaslama yöntemine başvurulmaktadır. Bu yöntemin amacı işlenen parçanın yüzeyinin optik tarayıcılarla taranarak elde edilen yüzeyin, parçanın teorik yüzeyi ile yani CAD datasıyla bilgisayar ortamında kıyaslanmasıdır. Kalıp, otomotiv, uzay ve uçak endüstrilerinde oldukça sık görülen serbest formlu yüzeyleri bulunduran parçaların istenilen yüzey tamlığında üretilmesi büyük önem taşımaktadır. Artan rekabete paralel olarak maliyetlerde ve üretim sürelerinde azalma ve ürün kalitesinde iyileştirmeler de önem arz etmektedir. Günden güne gelişen üretim sistemlerine rağmen, serbest formlu yüzeylerin işlenmesi oldukça zaman alan ve maliyeti de bir o kadar yüksek olan işlemdir.

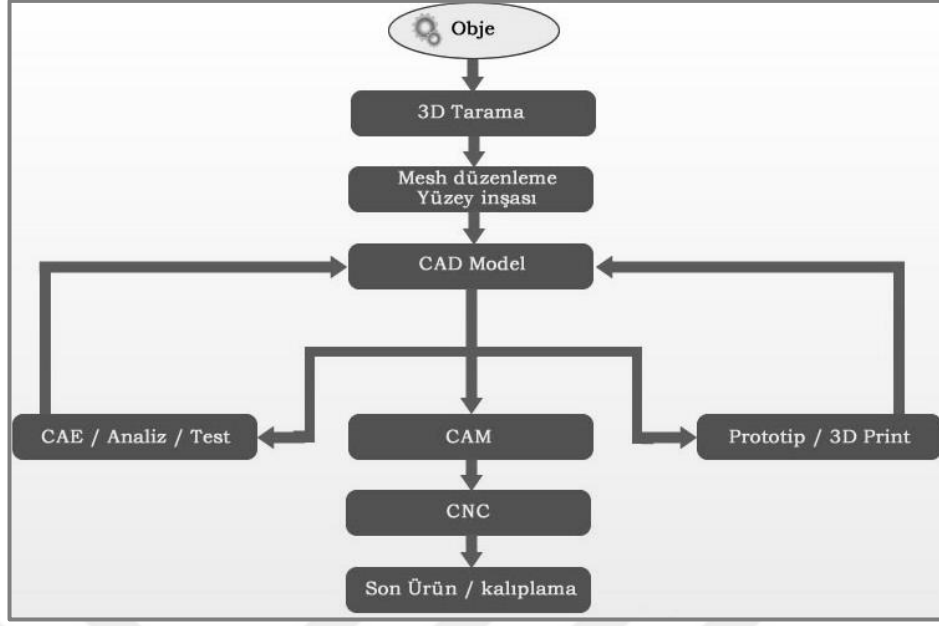
Serbest formlu yüzeyler genel olarak form ve yüzey pürüzlülüğü açısından incelenmektedir. Genellikle, form hatası kesici takımda meydana gelen takım sehimleri nedeniyle oluşurken, pürüzlülük ise titreşim ve kesicinin iş parçası yüzeyinde meydana getirdiği izlerden dolayı oluşmaktadır.

Deneylerde $\pm 40\mu$ hassasiyetinde tarama yapabilen Olympos firmasına ait Qscan 3D tarama sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.9). Orijinal bilgisayar destekli tasarım verisi ile işlenmiş yüzeyin üç boyutlu tarama verisinin karşılaştırılması hedeflenmiştir.



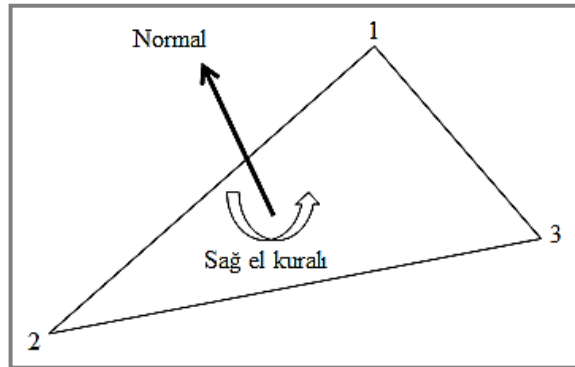
Şekil 3.9. Qscan 3D tarama başlığı.

Numune olarak kullanılan iş parçalarının üç boyutlu optik tarama işleminde Fringe izdüşüm metodu kullanılmıştır. Bu metot ile çoklu ışık kesitlerinden faydalanılarak (siyahlı ve beyazlı çizgiler halinde desen), cisim üzerine düşürme ile tek veya daha çok ve çözünürlüğü yüksek olan kameralar yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılarak üç boyutlu yüzey ve şekil bilgisine ulaşılır. Bu işlemin ardından fringe izdüşüm metoduyla bulunan noktalar bulutu ilk olarak yüzey modeline çevirilmiş olur ve bu yüzeyde küçük üçgen yüzeylerine bölünmüş olur (Şekil 3.11) [68]. Üç boyutlu tarama yöntemiyle işlenen numuneler üzerinde form hatası tesbitinin nasıl yapılacağı Şekil 3.10' daki akış şemasında verilmiştir.



Şekil 3.10. Form hatası belirmede kullanılan akış şeması [71].

Oluşturulan üçgenel yüzeyler, köşe koordinatlarının kartezyeni ve yüzeylerin normal vektörleriyle tanımlanmıştır. Tanımlanan bu yüzeyler Şekil 3.12’de verilmiş olan algoritma ile gösterildiği üzere köşeler üç temel eksendede tanımlanmış olur. Taranmış parçalar ile gerçekte olması gereken parçaların kıyaslanmasında ilk olarak yüzeylerin normal değerlerine göre belirleme yapılmasının ardından Z ekseninde köşe koordinatlarına göre yerleşme uygulanmıştır.



Şekil 3.11. Yüzeycik ve normali [68].

```
katı ismi  
  yüzey normali  $n_i n_j n_k$   
    dış eğri  
      köşe  $v1x v1y v1z$   
      köşe  $v2x v2y v2z$   
      köşe  $v3x v3y v3z$   
    eğri bitiş  
  yüzey bitiş  
katı bitiş ismi
```

Şekil 3.12. ASCII STL formatı [68].

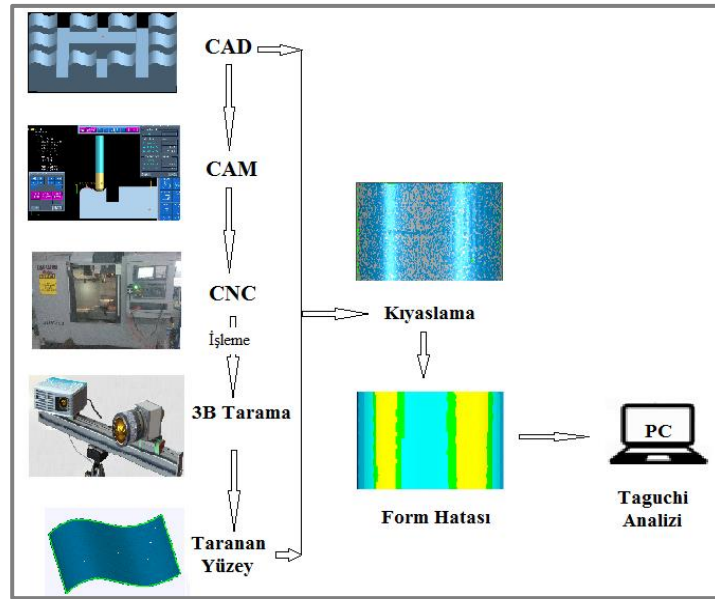
SolidWorks 2014 programı ile tasarlanarak oluşturulan iş parçası modeli ile işlenmiş yüzeylerin üç boyutlu tarama STL (StereoLithography) verileri kullanılarak oluşturulan model koordinatları aynı olacak şekilde sistem üzerine yerleştirilip, modeller arasında bulunan farklılıklar incelenmiştir. Kıyaslama işlemi iki farklı yazılım ile yapılmıştır. Geomagic programında, işleme sonunda taranarak elde edilen STL verilerinin serbest formlu yüzeylerdeki bölgesiyle CAD ortamında oluşturulan serbest formlu yüzeylerdeki bölgeler aynı düzlemde karşılaştırılmış ve parçadaki düzgün bir kenar baz alınarak şekilsel hatalar bulunmuştur. TEBIS programında ise elde edilen STL verilerindeki serbest formlu bölgenin tam ortasında dalga boyunca bir çizgi oluşturulmuş ve aynı yöntem tasarlanmış modeldeki serbest formda da uygulanmıştır. Oluşturulan bu iki çizgi üst üste karşılaştırılmış ve form hataları belirlenmiştir. Bu işlemde yapılmak istenen işlenmiş parçanın işlenen yüzeyi ile işleme sonunda ulaşmak istediğimiz katı modelin yüzeyleri arasındaki farklılıkları incelemektir. Şekil 3.13’de gerçek ölçüm durumu gösterilmiştir. Bu yöntemle elde edilen yüzey ile istenen yüzey CAD ortamında kıyaslanarak form hatalarını görülebilir.

Yüzeylere, tarama işleminden önce daha sağlıklı ve net bir tarama yapabilmek için çok ince tanecikli tozlardan oluşan bir sprey sıkılmıştır. Bu yöntem taranacak yüzeyin matlaşmasını sağlar. Tarama esnasında mat yüzey yansımayı engeller ve daha iyi bir tarama gerçekleşir.



Şekil 3.13. 3B optik tarama ile işlenmiş yüzeylerin taranması.

3B optik tarama yöntemiyle, işlenen serbest formlu deney numunelerin form hatası değerleri bulunmuştur. Meydana gelen form hatalarının bölgesi ve değerleri incelenmiştir. Form hatalarının tespitinde izlenen yol Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14. Form hatası ölçümü için deney şeması.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

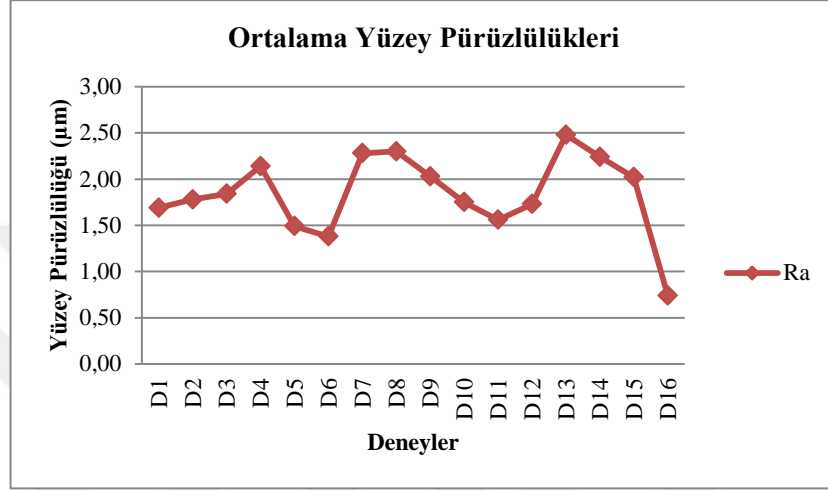
Talaşlı imalatta kesme parametrelerinin ve takım yolu tarzının uygun seçilmesi üretim sürecini, işlenen yüzeylerin durumunu ve imalat maliyetini etkilemektedir. L₁₆ ortogonal dizin kullanılarak oluşturulan deney tasarımına göre elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. L₁₆ dizininde ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri.

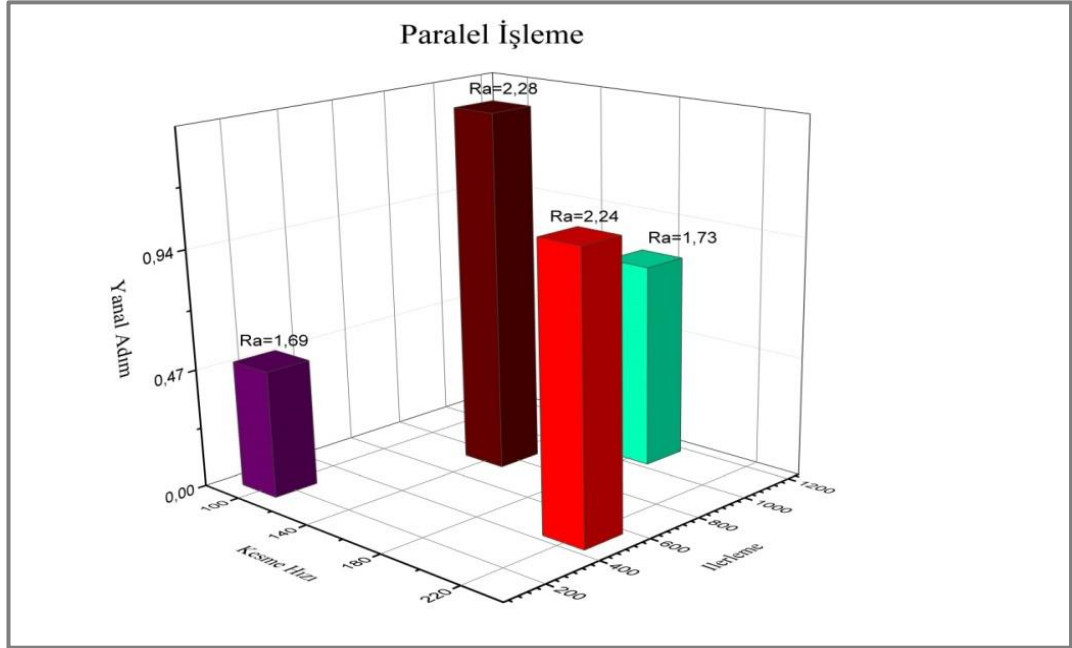
Deney No	A	B	C	D	Ra (µm)
1	1	1	1	1	1,69
2	1	2	2	2	1,78
3	1	3	3	3	1,84
4	1	4	4	4	2,14
5	2	1	2	3	1,49
6	2	2	1	4	1,38
7	2	3	4	1	2,28
8	2	4	3	2	2,30
9	3	1	3	4	2,03
10	3	2	4	3	1,75
11	3	3	1	2	1,56
12	3	4	2	1	1,73
13	4	1	4	2	2,48
14	4	2	3	1	2,24
15	4	3	2	4	2,02
16	4	4	1	3	0,74

4.1.1. Takım Yolu Tarzlarına Göre Elde Edilen Yüzey Pürüzlülüğü

Yapılan deneylerde dört farklı işleme yöntemine göre deneyler yapılmıştır. İşleme yöntemlerine göre yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Elde edilen pürüzlülük değerleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deneylerde ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri.



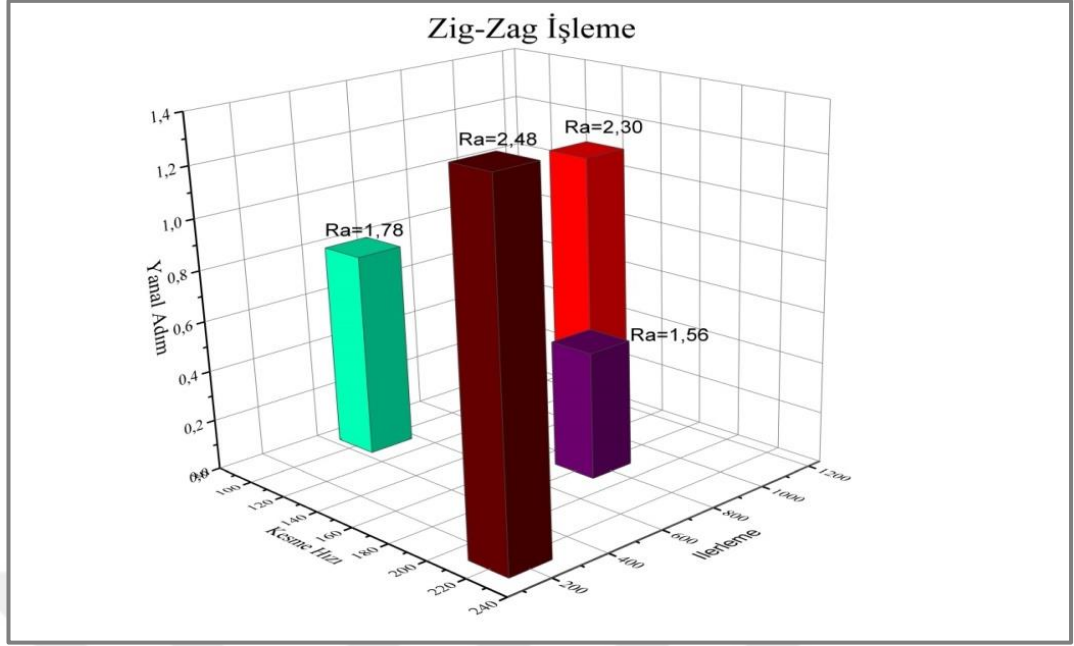
Şekil 4.2. Paralel işleme yöntemine göre yüzey pürüzlülüğü grafiği.

Çizelge 4.2. Paralel işleme yönteminde kesme parametreleri ve deney sonucu.

Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dk)	Yanal Adım (mm)	Ra (µm)
100	200	0,5	1,69
140	800	1,4	2,28
180	1100	0,8	1,73
220	500	1,1	2,24

Şekil 4.2 ve Çizelge 4.2’de paralel işleme yöntemi ile dört farklı değerde seçilen kesme hızı, ilerleme ve yanal adıma göre elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. Yanal adım arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır. İki bitişik takım yolu arasındaki yanal artış pürüz yüksekliği (scallop height) değerini büyüttüğü için yüzey pürüzlülüğünde mutlak bir artış söz konusu olmaktadır.

Genel olarak kesme hızıyla yüzey pürüzlülük değeri ters orantılıdır. Kesme hızı artışı ile pürüzlülük değeri de azalır, kesme hızı azaldıkça yüzey pürüzlülük değeri artar. Kesme hızı yeteri kadar yüksek olduğunda doğal frekans ve titreşim etkisi kayda değer bir önem arz etmez ve daha kaliteli bir yüzey elde edilmiş olur. Ancak bu grafikte etkin parametre yanal adım olduğu için etkisi ortaya çıkmıştır ve yanal adımın fazla olduğu deneylerde yüzey pürüzlülüğü değeri de artmıştır. İlerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün de kısmen arttığı görülmektedir.

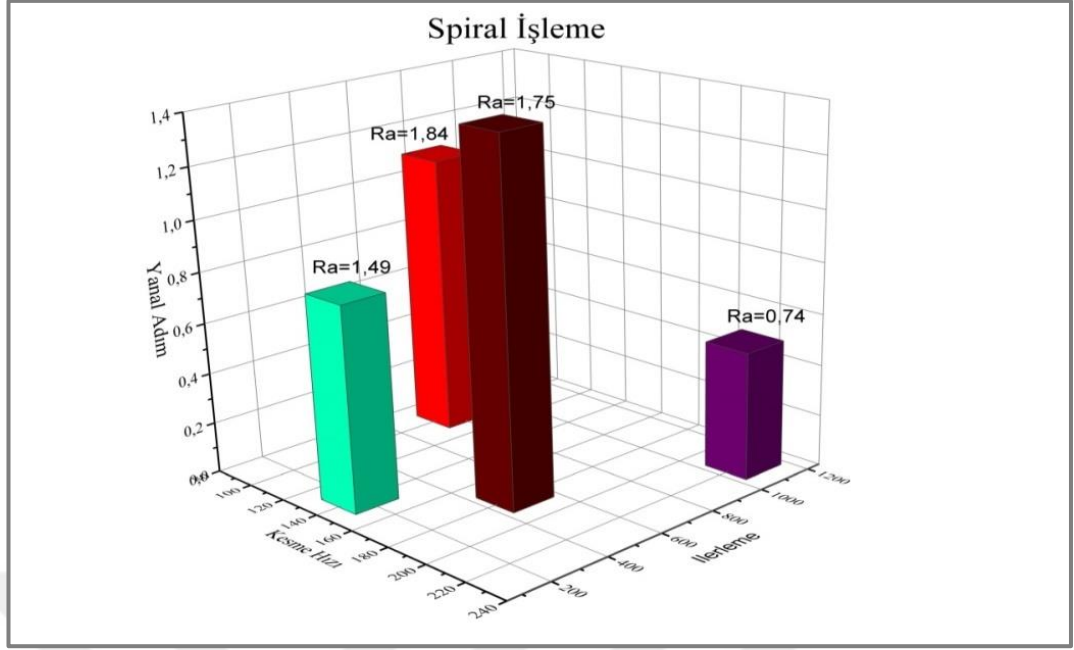


Şekil 4.3. Zig-Zag işleme yöntemine göre yüzey pürüzlülüğü grafiği.

Çizelge 4.3. Zig-Zag işleme yönteminde kesme parametreleri ve deney sonucu.

Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dk)	Yanal Adım (mm)	Ra (µm)
100	500	0,8	1,78
140	1100	1,1	2,30
180	800	0,5	1,56
220	200	1,4	2,48

Şekil 4.3 ve Çizelge 4.3'de zig-zag işleme yöntemi ile dört farklı değerde seçilen kesme hızı, ilerleme ve yanal adıma göre elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. Yanal adımın yüzey pürüzlülüğüne etkisi belirgin bir şekilde görülmektedir. Zig-zag işlemede en uygun kesme parametreleri, yüzey pürüzlülüğünün düşük olduğu kesme hızının 180 m/dk, ilerlemenin 800 mm/dk ve yanal adımın 0,5 mm olduğu parametrelerdir.

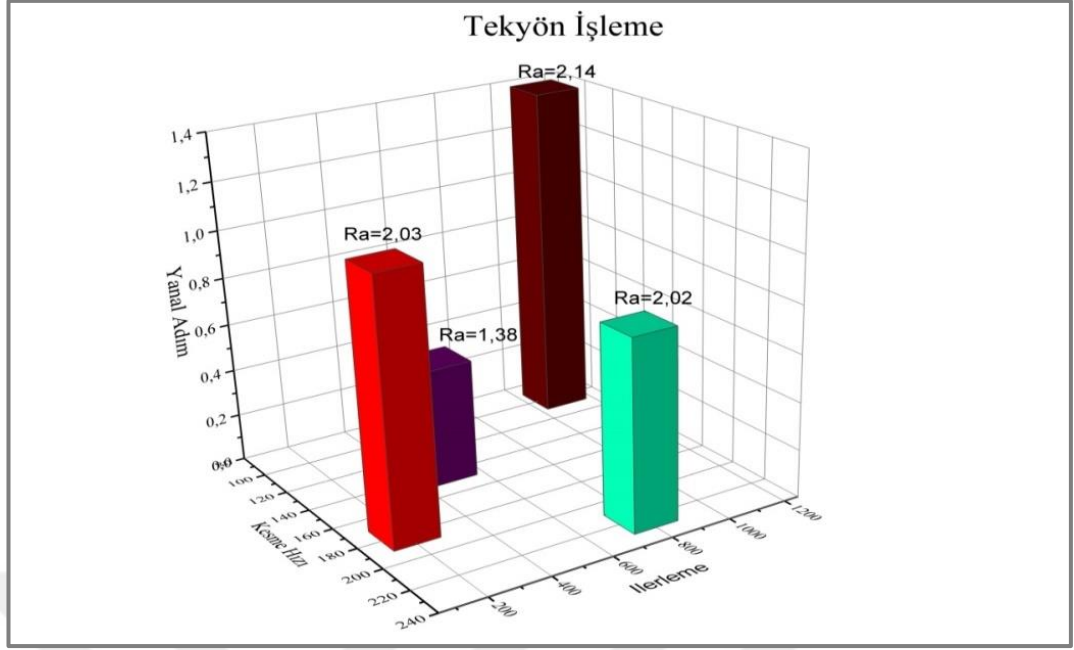


Şekil 4.4. Spiral işleme yöntemine göre yüzey pürüzlülüğü grafiği.

Çizelge 4.4. Spiral işleme yönteminde kesme parametreleri ve deney sonucu.

Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dk)	Yanal Adım (mm)	Ra (µm)
100	800	1,1	1,84
140	200	0,8	1,49
180	500	1,4	1,75
220	1100	0,5	0,74

Şekil 4.4 ve Çizelge 4.4'te spiral işleme yöntemi ile dört farklı değerde seçilen kesme hızı, ilerleme ve yanıl adıma göre elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. Yanıl adım arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı burada da görülmektedir. Spiral işlemede en uygun kesme parametreleri, yanıl adımın yine 0,5 mm olduğu, kesme hızının 220 m/dk ve ilerlemenin 1100 mm/dk olduğu deneydir. Diğer tüm işleme tarzlarıyla yapılan bütün deney sonuçlarına kıyaslandığında yüzey pürüzlülüğü en az bu deneyde olmuştur.



Şekil 4.5. Tekyön işleme yöntemine göre yüzey pürüzlülüğü grafiği.

Çizelge 4.5. Tekyön işleme yönteminde kesme parametreleri ve deney sonucu.

Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dk)	Yanal Adım (mm)	Ra (µm)
100	1100	1,4	2,14
140	500	0,5	1,38
180	200	1,1	2,03
220	800	0,8	2,02

Şekil 4.5 ve Çizelge 4.5'te de tekyön işleme yöntemi ile dört farklı değerde seçilen kesme hızı, ilerleme ve yanal adıma göre elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. Yanal adım arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı bu işleme yöntemiyle yapılan deneylerde de görülmektedir. Tekyön işlemede en uygun kesme parametreleri, yanal adımın yine 0,5 mm olduğu, kesme hızınının 140 m/dk ve ilerlemenin 500 mm/dk olduğu deneydir. Bu işleme tarzında da yüzey pürüzlülüğünün en az bu deneyde olduğu görülmüştür.

4.1.2. Taguchi Yönteminde Sonuçların Değerlendirilmesi

Taguchi yönteminde en düşük yüzey pürüzlülük değeri için en uygun kesme şartları, en küçüğün en iyi olduğu sinyal-gürültü oranları seçilerek yapılmıştır. MINITAB programı ile en küçüğün en iyi olduğu denklemi kullanarak S/N oranı ve seviye değeri hesaplanmıştır. Bu denklem sonucunda bulunan S/N oranlarının değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. L_{16} dizinine göre ortalama yüzey pürüzlüğü (Ra)'nın S/N oranı.

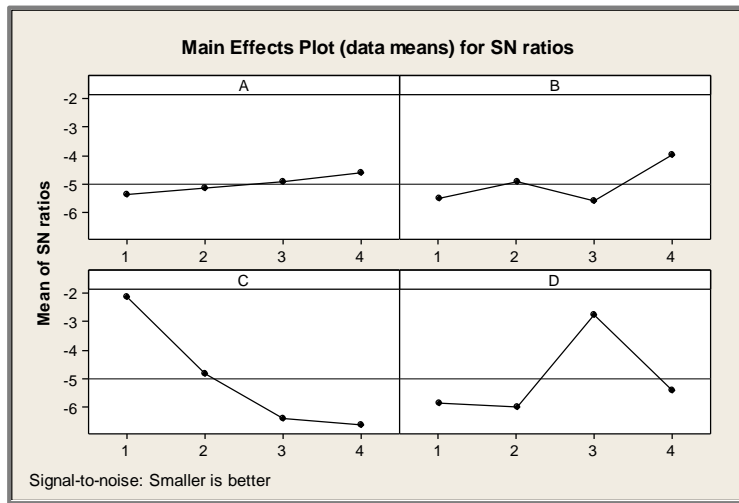
Deney No	A	B	C	D	Ra (μm)	S/N
1	1	1	1	1	1,69	-4,56
2	1	2	2	2	1,78	-5,01
3	1	3	3	3	1,84	-5,30
4	1	4	4	4	2,14	-6,61
5	2	1	2	3	1,49	-3,46
6	2	2	1	4	1,38	-2,80
7	2	3	4	1	2,28	-7,16
8	2	4	3	2	2,30	-7,23
9	3	1	3	4	2,03	-6,15
10	3	2	4	3	1,75	-4,86
11	3	3	1	2	1,56	-3,86
12	3	4	2	1	1,73	-4,76
13	4	1	4	2	2,48	-7,89
14	4	2	3	1	2,24	-7,00
15	4	3	2	4	2,02	-6,11
16	4	4	1	3	0,74	2,62

Taguchi yönteminde deneyler sonucu elde edilen verilerin analizlerinde en kritik etken sinyal/gürültü oranlarıdır. Yapılan bu çalışmada Taguchi yöntemi ile en uygun işleme şartlarına ulaşabilmek adına S/N oranlarının en büyük değerler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda, L_{16} dizinine göre Çizelge 4.6'da en uygun işleme koşulu Ra için 2,62 S/N oranı şeklinde görülmektedir. $A_4B_4C_1D_3$ dizini, yani 220 m/dk kesme hızı, 1100 mm/dk ilerleme hızı, 0,5 mm yanal adım ve Spiral işleme şeklinde en düşük Ra için en uygun işleme şartları bulunmuştur. Taguchi tasarımına göre ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin MINITAB programı ile bulunan faktör seviye değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.6'da, Çizelge 4.7' de görülen

seviyelerin değerler grafiği görülmektedir. İlerde yapılabilecek benzer çalışma ve benzer koşullarda deneylerin en uygun işleme koşullarının belirlenmesinde Çizelge 4.7'deki ve Şekil 4.6'da gösterilen A, B, C ve D faktörlerinin seviyelerine göre yorumlanabilir. Bu duruma göre, A faktöründe (kesme hızı) dördüncü seviye, B faktöründe (ilerleme hızı) dördüncü seviye, C faktöründe (yanal adım) birinci seviye ve D faktöründe (İşleme tarzı) üçüncü seviye yüksek olduğu Şekil 4.6 ve Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bu nedenle daha sonra yapılabilecek çalışmalar için benzer şartlarda oluşturulan en uygun işleme şartları kesme hızının 220 m/dk, ilerlemenin 1100 mm/dk, yanal adımın 0,5 mm ve işleme tarzının da spiral olduğu koşullardır. Çizelge 4.7'de aynı zamanda belirlenen faktörlerin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisinin sırası, sırasıyla yanal adım, işleme tarzı, ilerleme hızı ve kesme hızı diye belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) faktörü için S/N oranları cevap çizelgesi.

Level	A	B	C	D
1	-5,368	-5,515	-2,151	-5,871
2	-5,164	-4,918	-4,835	-5,999
3	-4,909	-5,606	-6,421	-2,751
4	-4,596	-3,997	-6,629	-5,416
Delta	0,771	1,609	4,479	3,247
Rank	4	3	1	2



Şekil 4.6. Ra'da en küçüğün en iyi olduğu S/N oranlarına göre A, B, C, D faktör seviyeleri.

4.1.3 Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Varyans Analizi

Taguchi ile optimizasyon yöntemini kullanılarak bulunan S/N oranlarında en uygun kesme şartlarını belirlerken, varyans analizi sayesinde de faktörler arasında nasıl bir ilişki olduğu belirlenir. Yani S/N oranlarının ilerleme hızı, kesme hızı, yanal adım ve işleme tarzı arasındaki ilişki değerlendirilebilmiştir. S/N oranlarının ANOVA çıktıları Çizelge 4.9’da görülmektedir. P değeri bir karşılaştırma esnasında “istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır” diye karar vermek için olası bir hata miktarı hakkında bilgi verir. İstatistik alanında uzman olan Fisher, bu hatanın maksimum kabul edilebilir düzeyi olarak 0,05 değerini önermiş ve bu şekilde de kabul edilmiştir. Deneyler neticesinde bulduğumuz bu P değeri 0,05’in altında çıkarsa karşılaştırma sonuçlarında anlamlı bir farklılık bulunduğu anlamını taşımaktadır. P değeri aşağıda verilenler gibi değerlendirilmelidir [74].

- p değeri küçüldükçe istatistiksel olarak anlamlı farklılığın kanıtı artar.
- p değeri 0,01 ile 0,05 aralığında; İstatistiksel olarak anlamlı fark vardır.
- p değeri 0,001 ile 0,01 aralığında; Yüksek düzeyde olarak anlamlı fark vardır.
- p değeri 0,001 den daha küçük ise; Çok yüksek düzeyde istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.
- p değeri 0,10 ile 0,05 aralığında; Sınırdan anlamlılık-marginally significant-anlamına gelmektedir

Aynı zamanda parametre ve hatanın serbestlik dereceleri ile önem seviyesi F dağılım çizelgesinden de incelenebilir. Deneysel veriden hesaplanan F değeri ölçülen değere ilgili parametrenin etkisi hakkında bilgi vermektedir [75].

ANOVA sonuçlarına göre en anlamlı çıkan değer sırasıyla yanal adım, işleme tarzı, ilerleme ve kesme hızıdır. Yanal adım 0,03 P değeri ile % 95 güven seviyesinde anlamlılık göstermiştir. Diğer parametrelerin anlamlılık seviyelerine (P) bakıldığında, parametrelerin birbirlerine göre anlamlılık seviyelerini de görmüş oluruz. Elde edilen bu değerler aynı zamanda Çizelge 4.8’de verilen önem sırası ile aynı olduğunu ve o sıralamayı doğruladığını göstermektedir.

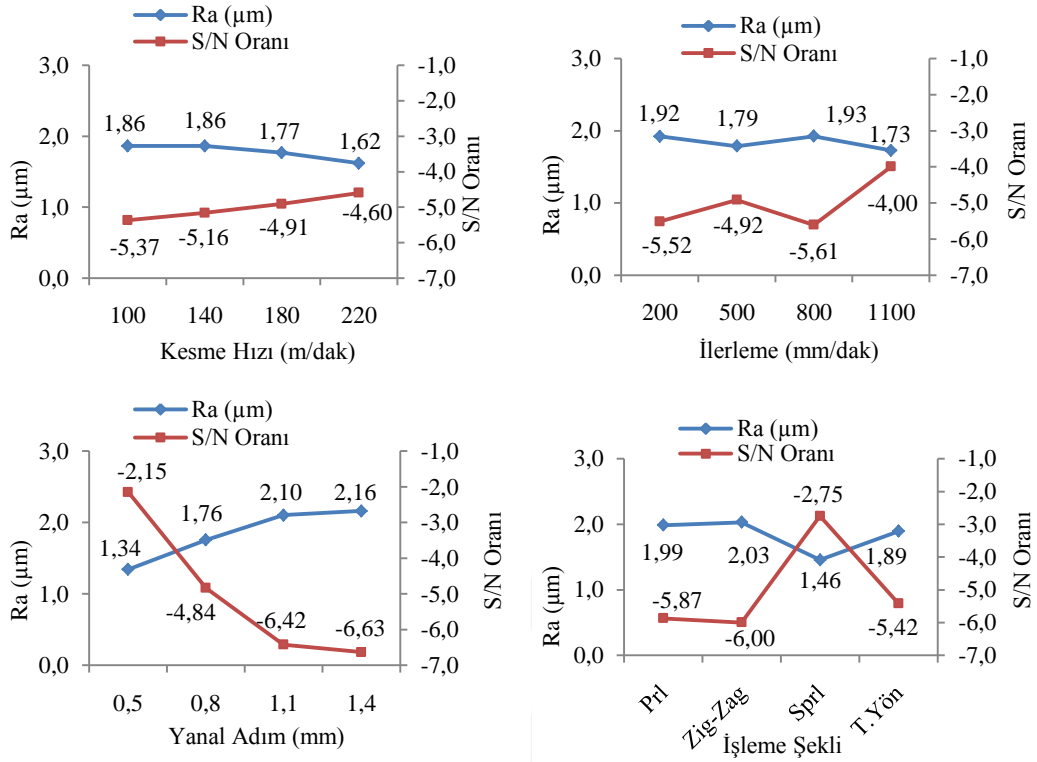
Çizelge 4.8. ANOVA’da S/N oranları ile faktörler arasındaki ilişki.

Kaynak	SD	KT	KO	Adj MS	F	P
A	3	0,03	0,03	0,01	0,25	0,86
B	3	0,12	0,12	0,04	1,05	0,49
C	3	1,71	1,71	0,57	15,18	0,03
D	3	0,83	0,83	0,28	7,39	0,07
Hata	3	0,11	0,11	0,04		
Toplam	15	2,80				

4.1.4. Parametrelerin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

16 adet serbest formlu yüzey işlenerek yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Çizelge 4.6’da L_{16} dikey dizin ve ölçüm sonuçları verilmiştir.

S/N oranları ölçüm değerine göre Şekil 4.7’de yüzey pürüzlülüğü için optimum seviyeler, kesme hızı için seviye dört (220 m/dak), ilerleme hızı için seviye dört (1100 mm/dak), yanıl adım için seviye bir (0,5 mm) ve takım yolu tarzı için seviye üç (Spiral işleme) çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.6’da verilen kesme parametrelerinin optimum seviyelerini de doğrular niteliktedir.

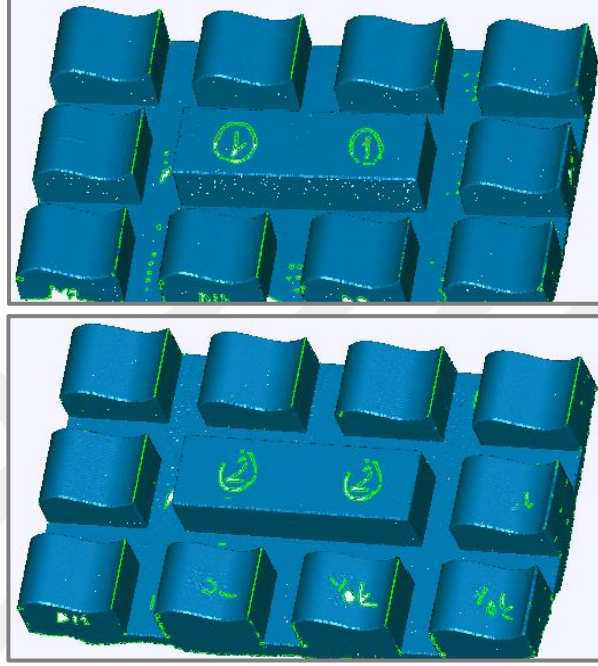


Şekil 4.7. Parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etki değerleri ve S/N oranı.

Şekil 4.7 incelendiğinde kesme hızı arttıkça genel olarak yüzey pürüzlülüğü azaldığı görülür. Yanal adım arttığında ise yüzey pürüzlülüğünde artış gözlemlenmiştir. İlerleme değerinin farklı seviyelerinde yüzey pürüzlülüğünün arttığı veya azaldığı görülmektedir. Bu da işleme esnasında çevresel faktörlerden, takımında meydana gelen sehimden veya tezgahdaki tıraşımından kaynaklanmış olabilir. Ayrıca takım ucunda meydana gelen yığıntı talaşdan dolayı da gerçekleşebilir. Ancak genel olarak ilermedeki artış yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olmuştur. Spiral işleme tekniğinde yüzey pürüzlülüğü değerleri küçük çıkmıştır.

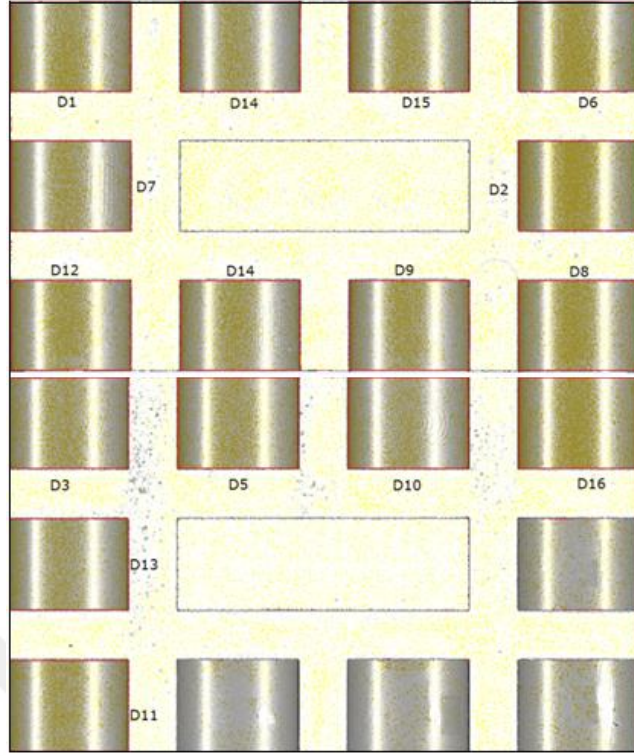
4.2. FORM HATASI ÖLÇÜMÜ

Şekil 4.8’de işlenen deney numunelerinin optik tarama sonucu elde edilen yüzey resimleri görülmektedir.

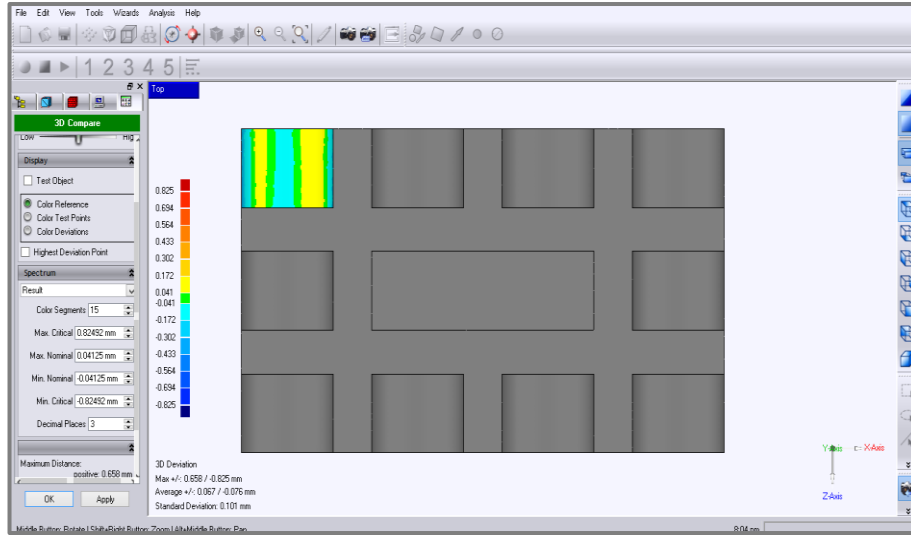


Şekil 4.8. İşlenmiş parçanın optik tarama sonucu elde edilen yüzeyi.

Geomagic Studio 10 programının 3D compare (3 boyutlu kıyaslama) menüsünde numune yüzeyleri ayrı ayrı incelenmiş ve form hataları tespit edilmiştir. Şekil 4.10’da kıyaslama işlemi ile yüzeylerin analizi görülmektedir.



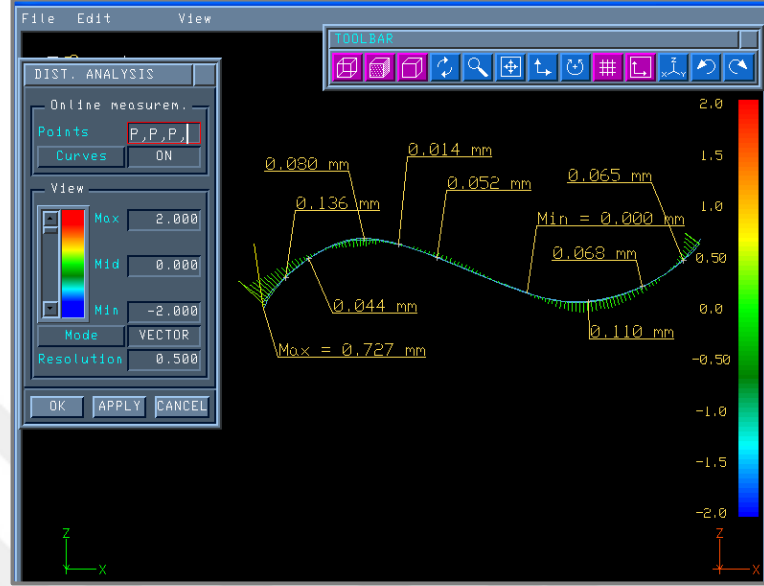
Şekil 4.9. Tasarlanan yüzey ile tarama sonucu elde edilen yüzeylerin karşılaştırılması ve yüzeylerin deney sırasına göre dizilişi.



Şekil 4.10. Geomagic Studio 10 programı ile karşılaştırılan yüzeylerin analizi.

İki eğri kıyaslanarak bulunan sapmalar vektörel olarak belirlenmiş ve geomagic programında bulunan yüzeyel sapmalar ile karşılaştırılmıştır. İki program ile elde

edilen veriler birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Şekil 4.11'de TEBIS V3.4 programında form hatası tespiti verilmiştir.



Şekil 4.11. TEBIS V3.4 programı kullanılarak yüzeylerin orta noktasından geçen eğrilerin analizi.

Geomagic Studio 10 programı ile elde edilen maksimum form hataları alınarak deney listesi oluşturulmuştur. Elde edilen form hatası değerleri Çizelge 4.9'da görülmektedir.

Çizelge 4.9. Deneylere göre elde edilen form hatası değerleri.

Deney No	A	B	C	D	Form Hatası (mm)
1	1	1	1	1	0,349
2	1	2	2	2	0,362
3	1	3	3	3	0,619
4	1	4	4	4	0,825
5	2	1	2	3	0,420
6	2	2	1	4	0,357
7	2	3	4	1	0,652
8	2	4	3	2	0,563
9	3	1	3	4	1,263
10	3	2	4	3	1,336
11	3	3	1	2	0,481
12	3	4	2	1	0,625
13	4	1	4	2	1,516
14	4	2	3	1	0,729
15	4	3	2	4	0,364
16	4	4	1	3	0,440

4.2.1. Taguchi Yöntemi İle Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu bölümde de, Taguchi metodunda en düşük form hatasına ulaştığımız en uygun işleme koşulları, en küçüğün en iyi (smaller is better) olduğu sinyal gürültü (S/N) oranı seçilerek gerçekleştirilmiştir. Form hatası analizi için de MINITAB programından yararlanarak en küçüğün en iyi olduğu denklem kullanılmış ve sinyal gürültü oranlarının, seviye değerleri bulunmuştur. Yapılan denklem sonucunda bulunan S/N oranlarının seviyeleri Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. L_{16} Ortogonal dizininde form hatası için S/N oranları.

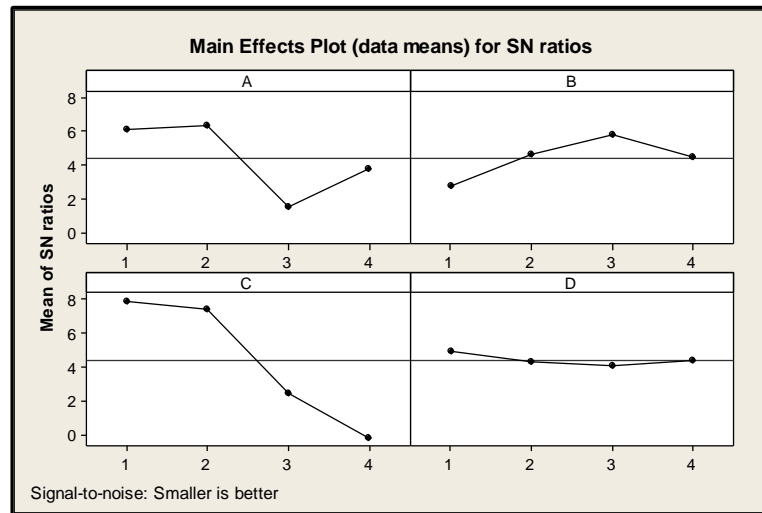
Deney No	A	B	C	D	Form Hatası (mm)	S/N
1	1	1	1	1	0,349	9,343
2	1	2	2	2	0,362	9,119
3	1	3	3	3	0,619	4,166
4	1	4	4	4	0,825	1,670
5	2	1	2	3	0,420	7,535
6	2	2	1	4	0,357	8,946
7	2	3	4	1	0,652	3,715
8	2	4	3	2	0,563	4,989
9	3	1	3	4	1,263	-2,028
10	3	2	4	3	1,336	-2,516
11	3	3	1	2	0,481	6,357
12	3	4	2	1	0,625	4,082
13	4	1	4	2	1,516	-3,613
14	4	2	3	1	0,729	2,745
15	4	3	2	4	0,364	8,777
16	4	4	1	3	0,440	7,130

Taguchi yönteminde deneyler sonucu elde edilen dataların analizlerini yapmak için en önemli kriter S/N oranlarıdır. Yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi bu çalışmada da form hatası için Taguchi yöntemine göre en uygun işleme koşullarını belirlemek için S/N oranlarının maksimum olduğu değerleri alınmıştır. Yapılan deneyler arasında en düşük form hatası 1 numaralı deneyde ($A_1B_1C_1D_1$ dizini) meydana gelmiştir. Yani kesme parametrelerinin birinci seviyeleri olan kesme hızında 100 m/dk, ilerlemede 200 mm/dk, yanal adımda 0,5 mm ve işleme tarzı olarakta paralel işleme yönteminde meydana gelmiştir. Ancak Taguchi analizine göre, L_{16} ortogonal dizini dışında bulunan $A_2B_3C_1D_1$ dizininde, yani kesme hızının 140 m/dk, ilerlemenin 800 mm/dk, yanal adımın 0,5 mm ve işleme tarzı Paralel işleme yöntemi olduğu seviyelerde en iyi form hatası değerleri elde edilmiştir. Taguchi ile oluşturulan deney listesine göre form hatası değerleri için MINITAB programı yardımıyla bulunan faktörler seviyelerinin değerleri Çizelge 5.3'de gösterilmiştir. Şekil 5.7'de de, Çizelge 5.3'de verilmiş olan seviye değerleri çizelgesi görülmektedir. İlerde benzer koşullarda yapılacak çalışmaların en uygun işleme şartlarının belirlenmesi için Çizelge 5.3'deki ve de Şekil 5.7'de belirtilmiş olan A, B, C ve D faktörlerinin seviyelerine göre yorum

yapılabilir. Bu şartlarda, kesme hızı olan A faktörünün ikinci seviyesinde, ilerleme olan B faktörünün üçüncü seviyesinde, yanal adım olan C faktörünün birinci seviyesinde ve işleme tarzı olarak da D faktörünün birinci seviye değeri yüksek çıktığı Şekil 4.12 ve Çizelge 4.11’de görülmektedir. Bu nedenle benzer koşullarda yapılabilecek çalışmalar için belirtilen en uygun işleme şartları kesme hızında 140 m/dk, ilerlememiz 800 mm/dk, yanal adım 0,5 mm ve işleme tarzı paralel olacaktır. Çizelge 4.11’de aynı zamanda faktörlerin form hatası değerlerini etkileme sırası, sırayla yanal adım, kesme hızı, ilerleme ve işleme tarzı olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.11. Form hatası faktörü için S/N oranları cevap çizelgesi.

Level	A	B	C	D
1	6,0750	2,7591	7,8945	4,9216
2	6,2966	4,6239	7,4287	4,2631
3	1,4738	5,7541	2,4684	4,0790
4	3,7601	4,4685	-0,1860	4,3419
Delta	4,8228	2,9950	8,0806	0,8426
Sıralama	2	3	1	4



Şekil 4.12. Form hatasında en küçüğün en iyi olduğu S/N oranlarına göre A, B, C, D faktör seviyeleri.

Taguchi analizi sonucunda form hatasının optimum çıktığı $A_2B_3C_1D_1$ dizini için kontrol deneyi yapılarak ortalama yüzey pürüzlülüğü ve form hatası değerleri ölçülmüştür. Ölçülen form hatası değeri Taguchi analizini doğrular niteliktedir. Yapılan deneyler arasında en düşük form hatası bu işleme sonucu bulunmuştur. Bulunan ortalama yüzey pürüzlülüğü, form hatası ve işleme süresi değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. $A_2B_3C_1D_1$ Ortogonal dizini için yapılan kontrol deneyi sonuçları.

Kontrol Deneyi					Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (μm)	Form Hatası (mm)	İşleme Süresi (s)
Sembol							
A	B	C	D				
2	3	1	1	1,46	0,324	480	

4.2.2. Form Hatası Değerlerinin Varyans Analizi

Form hatası değerleri için de Taguchi ile optimizasyon yöntemini kullanarak bulduğumuz S/N oranlarında en uygun kesme şartlarını belirlerken, varyans analizi sayesinde de faktörler arasında nasıl bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Yani S/N oranlarının ilerleme hızı, kesme hızı, yanal adım ve işleme tarzı arasında ki bağlar değerlendirilebilmiştir. Form hatası değerleri için S/N oranlarının ANOVA çıktıları Çizelge 4.13’te görülmektedir. ANOVA sonuçlarına göre en anlamlı çıkan değerler sırasıyla yanal adım, işleme tarzı, ilerleme ve kesme hızı olmuştur. Burada da yanal adım 0,005 P değeri ile % 95 güven seviyesinde anlamlılık göstermiştir. Elde edilen bu değerler aynı zamanda Çizelge 4.11’de verilen önem sırası ile aynı olduğunu ve o sıralamayı doğruladığını göstermektedir.

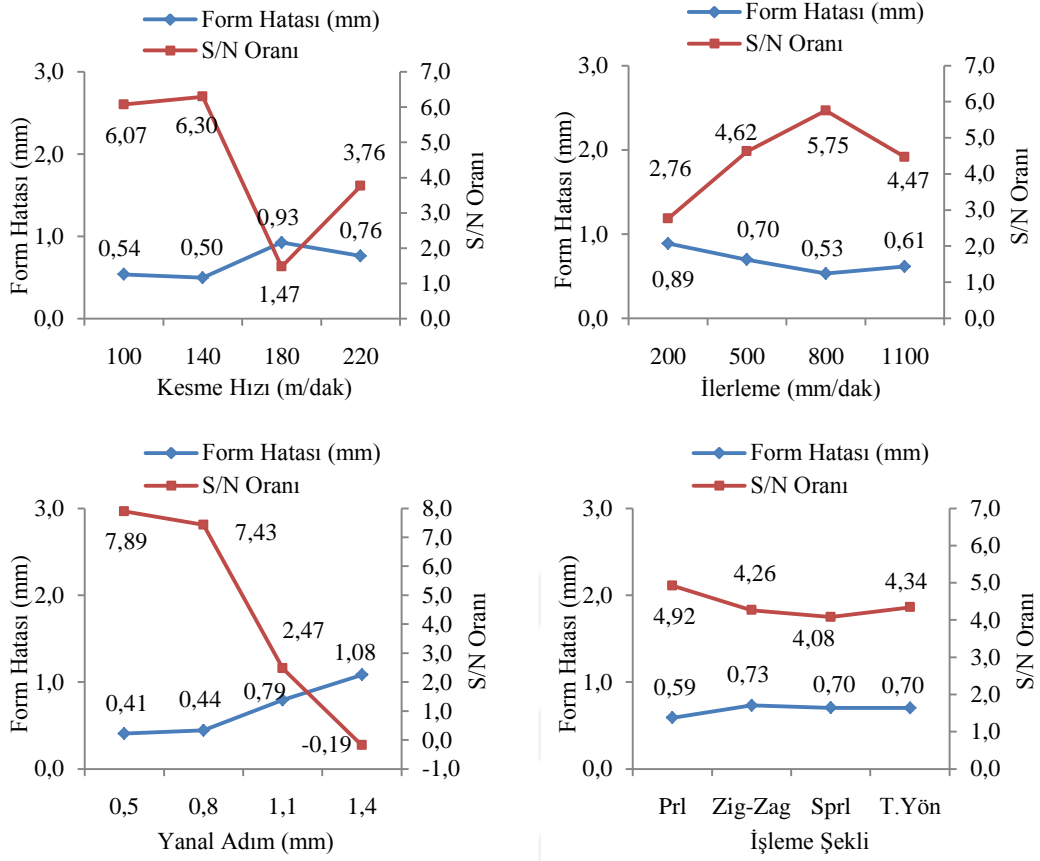
Çizelge 4.13. ANOVA’da S/N oranları ile faktörler arasındaki ilişki.

Kaynak	SD	KT	KO	Adj MS	F	P
A	3	2,28	2,28	1,14	9,07	0,099
B	3	0,25	0,25	0,12	0,99	0,504
C	3	51,06	51,06	25,53	82,83	0,005
D	3	0,08	0,08	0,06	0,21	0,740
Hata	3	0,18	0,18	0,07		
Toplam	15	53,67				

4.2.3. Parametrelerin Form Hatasına Etkileri

Oluşturulan 16 adet serbest formlu yüzey işlenerek yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Kesme hızı değerleri 100, 140, 180 ve 220 m/dak, ilerleme değerleri 200, 500, 800 ve 1100 mm/dak seçilmiştir. Çizelge 5.2’de L₁₆ dikey yerleşimi ve ölçüm sonuçları verilmiştir.

S/N oranları ölçüm değerine göre Şekil 4.13’de form hatası için optimum seviyeler, kesme hızı için seviye iki (140 m/dak), ilerleme için seviye üç (800 mm/dak), yanıl adım için seviye bir (0,5 mm), takım yolu tarzı için seviye bir (paralel) olmuştur. Elde edilen veriler Şekil 4.12 ve Çizelge 4.11’de verilen parametrelerin seviyelerini ve A₂B₃C₁D₁ dizini olduğunu doğrular niteliktedir.



Şekil 4.13. Parametrelerin form hatası üzerine etkileri ve S/N oranları.

Şekil 4.13 incelendiğinde kesme hızı arttıkça genel olarak form hatası da artmıştır. Kesme hızının birinci seviyesinde form hatası 0,54 mm iken dördüncü seviyesinde form hatası 0,76 mm çıkmıştır. Bu da genel olarak kesme hızındaki artışın form hatasını olumsuz etkilediği görülmüştür. Bazı durumlarda kesme hızındaki artış kesme kuvvetlerinde de artışa neden olacağı için kesici takımında meydana gelen sehim miktarını da artıracaktır. Artan sehim miktarı da form hatasında artışa neden olmaktadır. İlerleme değerinin farklı seviyelerinde form hatasının arttığı veya azaldığı görülmektedir. Bu da işleme esnasında çevresel faktörlerden veya tezgahdaki titreşimden kaynaklanmış olabilir. Ancak genel olarak ilerlemedeki artış form hatasında artışa neden olmuştur. Yanal adım arttığında ise form hatasında artış gözlemlenmiştir. Yanal adımdaki artış kesici takımın kaldıracağı talaş miktarını arttıracığı için takımında sehim oluşumunu da arttırır. Bu da form hatasında artışa neden olur. Paralel işleme tekniği form hatası değerleri açısından küçük çıkmıştır.

4.3. Yüzey Pürüzlülüğü ve Form Hatasının Kıyaslanması

Çizelge 4.14’de belirtilen faktörler ve seviyeleri uygulanarak elde edilen yüzeyler, yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile işleme yönlerine dik olarak ve üç noktadan Ra değerleri ölçülmüştür. Ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Daha sonra yüzeylerde meydana gelen form hatalarını belirlemek için yüzeyler optik tarama yöntemiyle taranmıştır. Tarama işlemi Qscan 3D optik tarayıcı ile yapılmıştır. Taranarak elde edilen veri her bir deney yüzeyi için bölümlere ayrılmış ve ayrı ayrı tasarım yüzeyleri ile kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.14. Kesme parametreleri ve seviyeler.

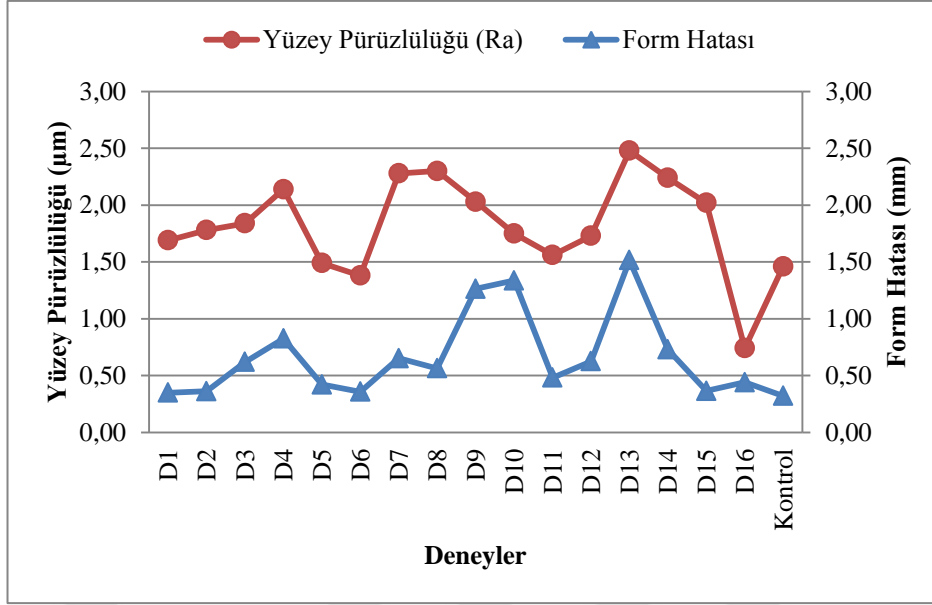
Sembol	Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye3	Seviye 4
A	Kesme Hızı (m/dk)	100	140	180	220
B	İlerleme Hızı (mm/dk)	200	500	800	1100
C	Yanal Adım (mm)	0,5	0,8	1,1	1,4
D	İşleme Tarzı	Paralel	Zig-Zag	Spiral	Tek yön

L₁₆ Ortogonal dizinim kullanılarak oluşturulan deney tasarımına göre tespit edilen yüzey pürüzlülüğü ve form hatası değerleri Çizelge 4.15’te verilmiştir.

Çizelge 4.15. L₁₆ dizini kullanılarak yapılan deney tasarımı ve sonuçları.

Deney No	Seviyeler				Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (µm)	Form Hatası (mm)
	A	B	C	D		
1	1	1	1	1	1,69	0,349
2	1	2	2	2	1,78	0,362
3	1	3	3	3	1,84	0,619
4	1	4	4	4	2,14	0,825
5	2	1	2	3	1,49	0,420
6	2	2	1	4	1,38	0,357
7	2	3	4	1	2,28	0,652
8	2	4	3	2	2,30	0,563
9	3	1	3	4	2,03	1,263
10	3	2	4	3	1,75	1,336
11	3	3	1	2	1,56	0,481
12	3	4	2	1	1,73	0,625
13	4	1	4	2	2,48	1,516
14	4	2	3	1	2,24	0,729
15	4	3	2	4	2,02	0,364
16	4	4	1	3	0,74	0,440
Kontrol	2	3	1	1	1,46	0,324

Form hatası ve yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde elde edilen sonuçların kıyaslandığında, bulunan değerlerin birbirlerine benzer olduğu görülmüştür. Şekil 4.14' ten de anlaşıldığı gibi değerler birbirlerine paralel bir seyir göstermektedir.



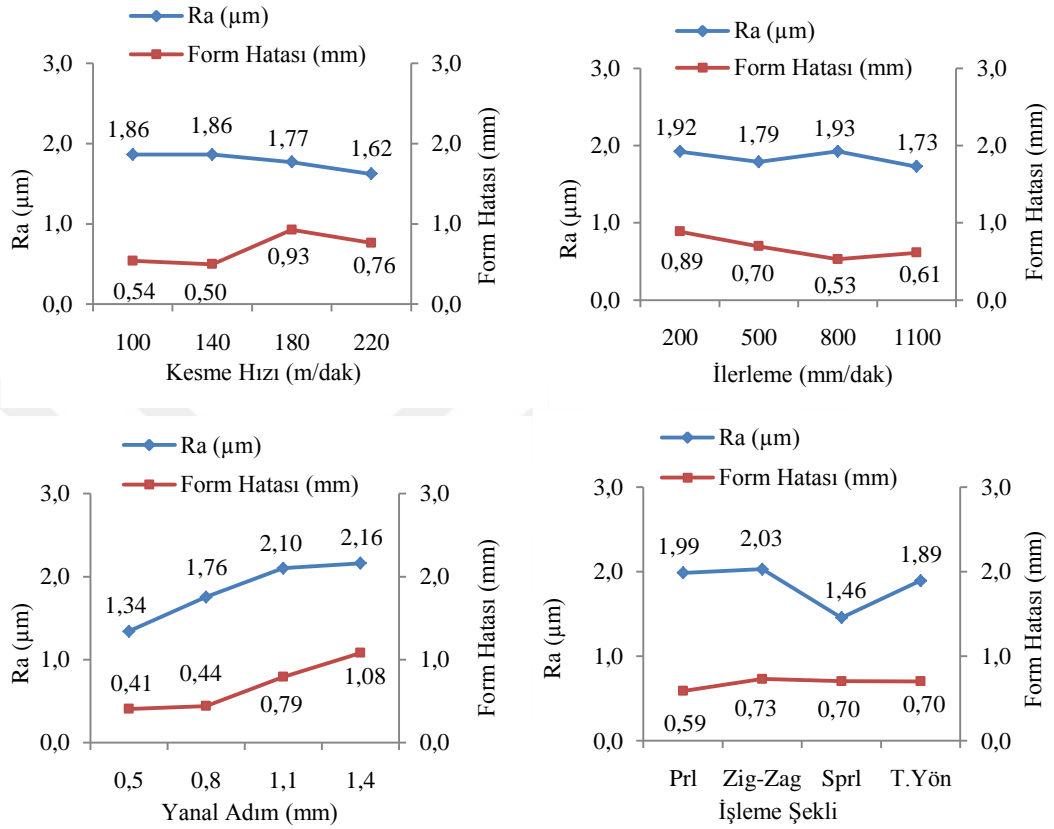
Şekil 4.14. Yüzey Pürüzlülüğü ve Form Hatalarının kıyaslanması.

Her iki ölçümde de en etkin parametre yanal adım olmuştur. Yanal adımın artması hem yüzey pürüzlülüğünü hem de form hatasını olumsuz yönde etkilemiştir. Kesme hızı artışı ise yüzey pürüzlülüğünde olumlu etki göstermiştir ancak form hatasını olumsuz etkilemiştir. Kesme hızının yüksek oluşu kesme kuvvetlerini de arttıracığı için takımda meydana gelen sehimde artar. Bunun sonucu olarakta form hatası değerleri yüksek çıkmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ve form hatası ölçümlerinde ilerlemenin anlamlılık değeri üçüncü sırada olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülüğü spiral işlemede çıkarken, en iyi form hatası da paralel işleme yönteminde oluşmuştur.

4.3.1. Kesme Parametrelerinin Form Hatası ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Yapılan ölçümler nesticesinde yüzey pürüzlülüğüne ve form hatasına etki eden parametreler ve seviyeler analiz edilmiştir. Yapılan analizlere göre deneylerde, form hatası ve yüzey pürüzlülüğü birbirine paralel sonuçlar vermiştir. Yüzey pürüzlülüğünün yüksek çıktığı deneylerde form hatası da yüksek çıkmıştır. Şekil 4.15'te parametreler incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü ve form hatası değerleri genel olarak birbirlerine paralel seyir göstermektedir. Sadece kesme hızı değerlerinde farklılık görülmektedir. Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmış lakin form hatası artmıştır. Kesme hızındaki artış kesme kuvvetlerinde de artışa neden

olacağından takımın sehim miktarı artar ve bu da form hatasının büyük çıkmasına neden olur.



Şekil 4.15. Kesme parametrelerine göre yüzey pürüzlülüğü ve form hatası.

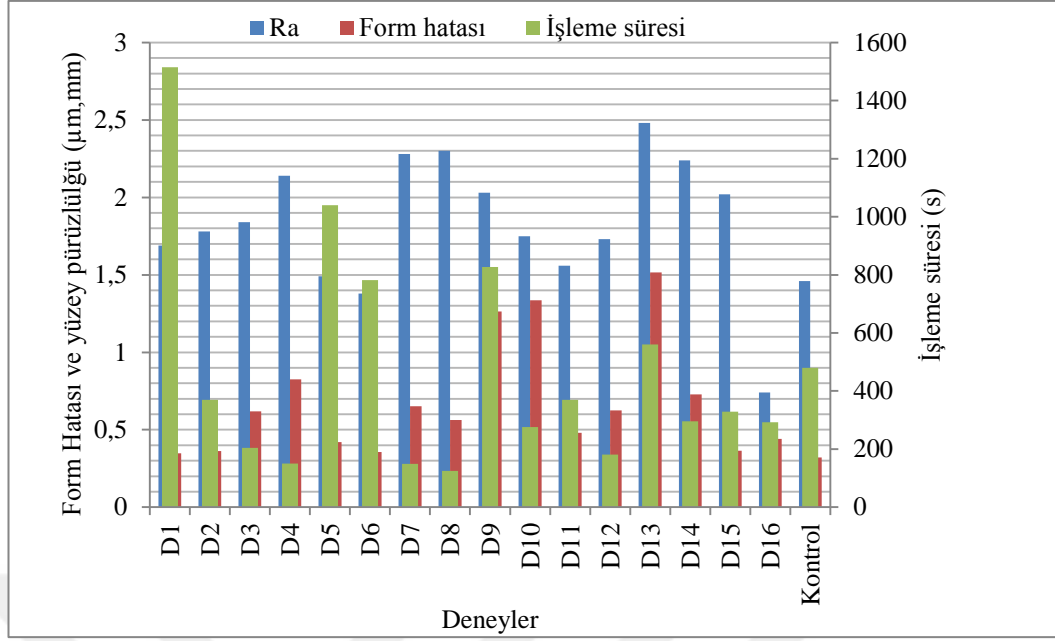
4.3.2. İşleme Sürelerinin Kıyaslanması

İmalat sürecinde işleme süreleri çok önemlidir. İşleme süreleri hem maliyeti arttırmakta hem de verimliliği ciddi oranda düşürmektedir. İstenen en uygun iş parçasını en kısa sürede elde edebilmek üretim sektöründe ciddi bir problemdir. Bunun üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmada kaba işleme süreleri dikkate alınmamış sadece bitirme işlemi süreleri üzerinde durulmuştur. Bütün numunelerin kaba işlenmesi aynı kesme parametreleri ve aynı takım yolu tarzı ile işlendiği için dikkate alınmamıştır. Ancak bitirme işleminde taguchi metodu ile tasarlanan L_{16} ortogonal deney dizininde her bir deney için farklı kesme parametreleri kullanıldığı için işleme süreleri de farklı çıkmıştır. Çizelge 4.16'da yapılan deneyler neticesinde ortaya çıkan işleme süreleri verilmiştir.

Çizelge 4.16. Deneylerin form hatası, Ra değerleri ve işleme süreleri.

Deney No	Seviyeler				Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (μm)	Form Hatası (mm)	İşleme süresi (s)
	A	B	C	D			
1	1	1	1	1	1,69	0,349	1515
2	1	2	2	2	1,78	0,362	370
3	1	3	3	3	1,84	0,619	204
4	1	4	4	4	2,14	0,825	150
5	2	1	2	3	1,49	0,420	1040
6	2	2	1	4	1,38	0,357	782
7	2	3	4	1	2,28	0,652	149
8	2	4	3	2	2,30	0,563	125
9	3	1	3	4	2,03	1,263	827
10	3	2	4	3	1,75	1,336	276
11	3	3	1	2	1,56	0,481	370
12	3	4	2	1	1,73	0,625	181
13	4	1	4	2	2,48	1,516	560
14	4	2	3	1	2,24	0,729	296
15	4	3	2	4	2,02	0,364	329
16	4	4	1	3	0,74	0,440	293
Kontrol	2	3	1	1	1,46	0,324	480

Bur tarz bir iş parçasının imal edileceği durumlarda işlenen yüzeyde aranan özelliklere ve çıkan işleme sürelerine göre yapılan bu deneyler dikkate alınarak imalat yapılabilir.



Şekil 4.16. Form hatası, yüzey pürüzlülüğü ve işleme süresi arasındaki ilişki.

Şekil 4.16'da yapılan deneyler sonucunda elde ettiğimiz form hatası ve yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Ayrıca her bir deney için işleme süreleri de verilmiştir. Verilen bu grafik incelendiğinde form hatasının, yüzey pürüzlülüğünün ve işleme süresinin en düşük olduğu deney dizinindeki 16. deney olduğu görülmektedir. Yani $A_4B_4C_1D_3$ dizininde bulunan 220 m/dk kesme hızı, 1100 mm/dk ilerleme hızı, 0,5 mm yanal adım ve Spiral işleme şeklinde form hatası, yüzey pürüzlülüğü ve işleme süresinin düşük çıktığı çok açıktır. Ayrıca daha önce yapmış olduğumuz yüzey pürüzlülüğü analizlerinde $A_4B_4C_1D_3$ dizlimi yüzey pürüzlülüğü için en küçük çıkmış ve en uygun işleme şartları olduğu belirtilmişti.

En düşük işleme süresi 8 numaralı deneyde görülmektedir. Ancak bu deneyde yüzey pürüzlülüğü oldukça yüksek çıkmıştır. Form hatası en düşük birinci deneyde görülmektedir. Ama 1. deney incelendiğinde işleme süresinin 1515 saniye ile en fazla süreye sahip olduğu da görülmektedir. Bu fazla işleme süresi maliyeti artıracığı için tercih edilmeyebilir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü de 1,69 µm ile oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Benzer şartlar altında imalat yapılacaksa belirlenen kriterler dikkate alınarak işleme şartları belirlenebilir. İşlenen parça için sadece form hatası önemli ise birinci deney seçilebilir, sadece yüzey pürüzlülüğü önemli ve diğerleri önemsenmiyorsa en düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği 16. deneydeki işleme koşulları kullanılabilir.



BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, küresel uçlu parmak freze ile serbest formlu yüzeylerin frezelenmesinde, işleme parametrelerinin ve bunların farklı seviyelerinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü ve form hatalarının değerlendirilmesi için deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tüm kesme kombinasyonları için kesme parametrelerinin ve dört farklı takım yolu tarzlarının işlenen yüzeyler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneyler sonrasında ortaya çıkan parçaların form ölçümleri optik tarama ile yapılarak, bilgisayar ortamında CAD verisi ile kıyaslanmış ve yüzeylerde meydana gelen form hataları belirlenmiştir. Yapılan detaylandırılmış ön çalışmalar ile bu alandaki verimliliklerin artırılmasındaki etken parametreler belirlenmiştir.

Serbest formlu yüzeylerin küresel uçlu parmak freze ile işlenmesinde oluşan form hatalarını ve yüzey pürüzlülüğünü araştırmak için Taguchi metodu kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışma neticesinde elde edilen dataların istatistiksel analizinde Minitab 14 paket programı kullanılmıştır. Talaş kaldırma sürecinin en uygun olması ve optimizasyonu açısından sistem çıkışları ve onlara etki eden en önemli parametreler ile ilgili şu sonuçlara ulaşılmıştır;

Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılarak yapılan analizde, serbest formlu yüzeylerin işlenmesinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için kesme şartları $A_4B_4C_1D_3$ dizininde gerçekleşmiştir. Yani 220 m/dk kesme hızı, 1100 mm/dk ilerleme, 0,5 mm yanal adım ve spiral işleme şekli olmuştur.

2. Kesme faktörlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etki gücü sırasıyla yanal adım (C), işleme tarzı (D), ilerleme (B) ve kesme hızı (A) olarak elde edilmiştir.
3. Elde edilen S/N oranlarında varyans analizi uygulanmış, kesme faktörlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilişki seviyeleri belirlenmiştir. ANOVA'ya göre ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinde yanal adım %95 güven düzeyinde anlamlı çıkmıştır.
4. ANOVA sonuçlarına göre diğer parametrelerin anlamlılık seviyelerine bakıldığında, parametrelerin birbirlerine göre anlamlılık seviyelerini de görmüş oluruz. En anlamlı çıkan değerler sırasıyla yanal adım, işleme tarzı, ilerleme ve kesme hızıdır. Elde edilen bu değerler aynı zamanda Çizelge 4.8'de verilen önem sırası ile aynı olduğunu ve o sıralamayı doğruladığını göstermektedir.
5. Yapılan deneylerde kesme hızı arttıkça genel olarak yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir.
6. Takım yolu tarzları ele alındığında yüzey pürüzlülüğü değerleri en düşük spiral işleme yönteminde çıkmıştır.
7. Yanal adım miktarına göre oluşan talaş kesiti alanı, kesme kuvvetlerini belirleyen en önemli faktördür. Buna paralel olarakta kesme kuvvetlerinde değişikliğe sebep olacağından yanal adım arttıkça yüzey pürüzlülüğü yüksek çıkmıştır.
8. İlerleme değerinin farklı seviyelerinde yüzey pürüzlülüğünün arttığı veya azaldığı görülmektedir. Bu da işleme esnasında çevresel faktörlerden veya takımında meydana gelen sehimden veya tezgahdaki tireşimden kaynaklanmış olabilir. Ancak genel olarak ilermedeki artış yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olmuştur.

Form hatası ile ilgili sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılarak oluşturulan deney tasarımında, serbest formlu yüzeylerin işlenmesinde en düşük form hatası $A_1B_1C_1D_1$ dizini olan birinci deneyde olduğu görülmektedir. Ancak Taguchi analizi sonrasında L_{16} ortogonal dizinin dışında bulunan $A_2B_3C_1D_1$ dizininde form hatasının daha düşük çıkacağı belirtilmiştir. Yani kesme hızı için 140 m/dk, ilerleme hızı 800 mm/dk, yanal adım 0,5 mm ve işleme tarzı paralel olacaktır.
2. Kesme faktörlerinin form hatasına etki gücü sırasıyla yanal adım (C), kesme hızı (A), ilerleme (B) ve işleme tarzı (D) olarak elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi form hatasında da yanal adım en etkin parametre çıkmıştır.
3. S/N oranlarına varyans analizi uygulanarak, kesme faktörlerinin form hatası üzerindeki ilişki düzeyleri belirlenmiştir. ANOVA'ya göre form hatası değerinde de yanal adım % 95 güven düzeyinde anlamlılık ifade etmektedir.
4. ANOVA sonuçlarına göre diğer parametrelerin anlamlılık seviyelerine bakıldığında, en anlamlı çıkan değerler sırasıyla yanal adım, işleme tarzı, ilerleme ve kesme hızıdır. Elde edilen bu değerler aynı zamanda Çizelge 5.3'te verilen önem sırası ile aynı olduğunu ve o sıralamayı doğruladığını göstermektedir.
5. Yapılan deneylerde kesme hızı arttıkça genel olarak form hatasının arttığı görülmektedir. Bunun sebebi olarakta artan kesme kuvveti ve takım sehimini olduğu söylenebilir.
6. Takım yolu tarzları ele alındığında form hatası değerleri en düşük paralel işleme yönteminde çıkmıştır.
7. Yanal adım tarafından oluşturulan talaş kesit alanı, kesme kuvvetlerini belirleyen en önemli faktördür. Buna paralel olarakta yanal adım arttıkça

kesme kuvvetleri ve takımda meydana gelen sehimde artmıştır. Yanal adımdaki bu artış da form hatasında artışa neden olmuştur.

8. İlerleme değerinin farklı seviyelerinde form hatasının arttığı veya azaldığı görülmektedir. Bu da işleme esnasında çevresel faktörlerden veya tezgahdaki tıraşimden kaynaklanmış olabilir. Ancak genel olarak ilerlemedeki artış form hatasında artışa neden olmuştur. Yanal adım ve ilerleme tarafından oluşturulan talaş kesit alanı, kesme kuvvetlerini belirleyen en önemli faktördür. Elde edilen verilere göre yanal adım ve ilerleme değeri arttıkça, kesme kuvvetleri ve takım sehimini artmaktadır. Bunun sebebi olarak, yanal adım ve ilerlemeye bağlı talaş kesitindeki artış gösterilebilir.

İşleme süreleri ile ilgili sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. İşleme süresi en düşük 125 saniye ile 8. deney olan $A_2B_4C_3D_2$ dizliminde gerçekleşmiştir. Ancak bu deneyde yüzey pürüzlülüğü yüksek çıkmıştır.
2. Form hatasının, yüzey pürüzlülüğünün ve işleme süresinin deneyler arasında nispeten düşük olduğu deney diziminin 16. deney olduğu görülmektedir. Yani $A_4B_4C_1D_3$ diziminde bulunan 220 m/dk kesme hızı, 1100 mm/dk ilerleme hızı, 0,5 mm yanal adım ve Spiral işleme şeklinde form hatası, yüzey pürüzlülüğü ve işleme süresi genel olarak düşük çıkmıştır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü en düşük bu deneyde oluşmuştur.
3. Form hatasının en küçük olduğu 1. deneyde de işleme süresi 1515 saniye ile en uzun süre olmuştur.

KAYNAKLAR

1. Yan, J., and Li, L., “Multi-objective optimization of milling parameters—the trade-offs between energy, production rate and cutting quality”, *Journal of Cleaner Production*, 52: 462-47 (2013).
2. Saini, S., Ahuja, I. S., and Sharma, V. S., “Influence of cutting parameters on tool wear and surface roughness in hard turning of AISI H11 tool steel using ceramic tools”, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13(8): 1295-1302 (2012).
3. Kurt, M., Hortomacıoğlu, S., Mutlu, B., and Köklü, U., “Minimization of the surface roughness and form error on the milling of free-form surfaces using a grey relational analysis”, *Materials and Technology*, 46(3): 205-213 (2012).
4. Lazoglu, I., Manav, C., and Murtezaoglu, Y., “Tool path optimization for free form surface machining”, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 58(1): 101-104 (2009).
5. Mohri, N., Saito, N., Higashi, M., and Kinoshita, N., “A new process of finish machining on free surface by EDM methods”, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 40(1): 207-210 (1991).
6. 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).
7. 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).
8. 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).
9. Shi, K., Zhang, D., Ren, J., Yao, C., and Huang, X., “Effect of cutting parameters on machinability characteristics in milling of magnesium alloy with carbide tool”, *Advances in Mechanical Engineering*, 8(1): 168-179 (2016).
10. Gok, A., “A new approach to minimization of the surface roughness and cutting force via fuzzy TOPSIS, multi-objective grey design and RSA”, *Measurement*, 70: 100-109 (2015).

11. Yang, J. L., and Chen, J. C., “A systematic approach for identifying optimum surface roughness performance in end-milling operations”, *Journal of industrial technology*, 17(2): 1-8 (2001).
12. Ulas, H. B., “Experimental determination of cutting forces and surface roughness when turning 50CrV4 steel (SAE 6150) and modelling with the artificial neural network approach”, *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 67(6): 869-879 (2014).
13. Krishankant, J. T., Bector, M., and Kumar, R., “Application of Taguchi method for optimizing turning process by the effects of machining parameters”, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2(1): 263-274 (2012).
14. Yaka, H., Uğur, L., and Akkuş, H., “AISI 1040 Çeliğinin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Çoklu Regresyon ile İncelenmesi”, *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 16(3): 770-775 (2016).
15. Göçer, H., Çiraklı, A., Uğur, L., Yıldız, A., and Karadeniz, S., “Determination of the most appropriate surgical treatment in syndesmotic injury of ankle joint: Application of Taguchi method”, *Mechanika*, 23(1): 138-145 (2017).
16. 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).
17. 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).
18. 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).
19. Köksal, S., “Face milling of nickel-based superalloys with coated and uncoated carbide tools”, PhD Thesis, *Coventry University School of Engineering*, England, Coventry, 250-287 (2000).
20. Shaw, M. C., “Metal Cutting Principles 2nd Edition”, *Oxford University Press*, Oxford, 102-110 (2005).
21. Şeker, U., Kurt, A. and Çiftçi, İ., “The effect of feed rate on cutting forces when machining with linear motion”, *Journal of Materials Processing Technology* 146: 403-407 (2004).

22. Şeker, U., Çiftçi, İ. and Hasırcı, H., “The effect of alloying elements on surface roughness and cutting forces during machining of ductile iron”, *Materials & Design*, 24: 47-51 (2003).
23. Trent, E. M. and Wright, P., “Metal Cutting 4th Edition”, *Butterworths Press*, London, 278-291 (2000).
24. Zhou, J. M., Andersson, M. and Ståhl, J. E., “Identification of cutting errors in precision hard turning process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 153–154: 746-750 (2004).
25. Abrari, F. and Elbestawi, M. A., “Closed form formulation of cutting forces for Ball and flat end mills”, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 33: 17-27: (1997).
26. Huang, T. and Whitehouse, D. J., “Cutting force formulation of taper end mills using differential geometry”, *Precision Engineering*, 23: 196-203 (1999).
27. 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).
28. Lazoğlu, İ., “Sculpture surface machining: a generalized model of ball-end milling force system”, *Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 453-462 (2003).
29. Milfelner, M. and Cus, F., “Simulation of cutting forces in ball-end milling”, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 19: 99-106 (2003).
30. 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).
31. Lacalle, L. N. L., Lamikiz, A., Sanchez, J. A. and Salgado, M. A., “Estimation of cutting forces in the ball end machining of complex surfaces”, *Int J Adv Manuf Technol.*, 44: 1511-22 (2004).
32. 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).
33. Fontaine, M., Moufki, A., Devillez, A. and Dudzinski, D., “Predictive force model for ball-end milling and experimental validation with a wavelike form machining test”, *International Journal Of Machine Tools & Manufacture*, 46: 367-380 (2006).
34. Lartigue, C., Due, E., Tournier, C., “Machining Of Free-Form Surfaces And Geometrical Specifications”, *Proc. Instn. Mech Engrs*, 213: part B (1998).

35. Bouzakis, K. D., Aichouh, P. and Efstathiou, K., “Determination of the chip geometry, cutting force and roughness in free form surfaces finishing milling with ball end tools”, *Machine Tools & Manufacture*, 43: 499-514 (2003).
36. Tsao, C. C. and Hocheng, H., “Evaluation of thrust force and surface roughness in drilling composite material using Taguchi analysis and neural network”, *Journal of Materials Processing Technology*, 203: 342–348 (2008).
37. 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).
38. Salami, R., Sadeghi, M. H. and Motakel, B., “Feed rate optimization for 3 axis ball end milling of sculptured surfaces”, *Machine Tools & Manufacture*, 47: 760-767 (2007).
39. 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).
40. Sun, G. and Wright, P., “Simulation based cutting parameter selection for ball end milling”, *Journal of Manufacturing Systems*, 24: 4-12 (2005).
41. Naserian, R. S., Sadeghi, M.H. and Haghightat, H., “Static rigid force model for 3 axis ball end milling of scuptured surfaces”, *Machine Tools & Manufacture*, 47: 785-792 (2007).
42. Li, Z., Z., Zhang, Z. and Zhengl, H.,”Feedrate optimization for variant milling process based on cutting force prediction”, *Int. j. Adv. Manuf. Technology*, 24: 541-552 (2004).
43. Öztürk, B., Lazoğlu, I., “Machining Of Free-Form Surfaces. Part I: Analytical Chip Load”, *Int.Journal of Machine Tools&Manufacture*, 46: 728-735 (2006).
44. 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).
45. Milfelner, M. and Cus, F., “Simulation of cutting forces in ball-end milling”, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 19: 99-106 (2003).
46. Ikua, 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).
47. Çakır M. C., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları*, 525, (1999).

48. 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).
49. 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).
50. 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).
51. 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).
52. Law, K. M. Y. and Geddam, A., "Prediction of contour accuracy in the end milling of pockets", *J. Mater. Process. Technol.*, 113(1-3): 399-405 (2001).
53. Yang, W. H. and Tarng, Y. S., "Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method", *J. Mater. Process. Technol.*, 84: 122-129 (1998).
54. Davim, J. P., "Design of optimisation of cutting parameters for turning metal matrix composites based on the orthogonal arrays", *J. Mater. Process. Technol.*, 132: 340-344 (2003).
55. Ramesh, R., Manan, M. A. and Poo, A. N., "Error compensation in machine tools: a review part 1: geometric, cutting-force induced and fixture-dependent errors", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40: 1235-1256 (2000).
56. Luo, X. and Cheng, K., "Abrasive nanometric machining: modelling, simulation and its application promise", *Key Engineering Materials Vols.*, 257-258: 27-32 (2004).
57. Kundrak, J., Karpuschewski, B., Gyania, K. and Bana, V., "Accuracy of hard turning", *Journal of Materials Processing Technology*, 2: 328-338 (2008).
58. Wang, Y., Chen, X. and Gindy, N., "Surface error decomposition for fixture development", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31: 948-956 (2007).
59. 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).

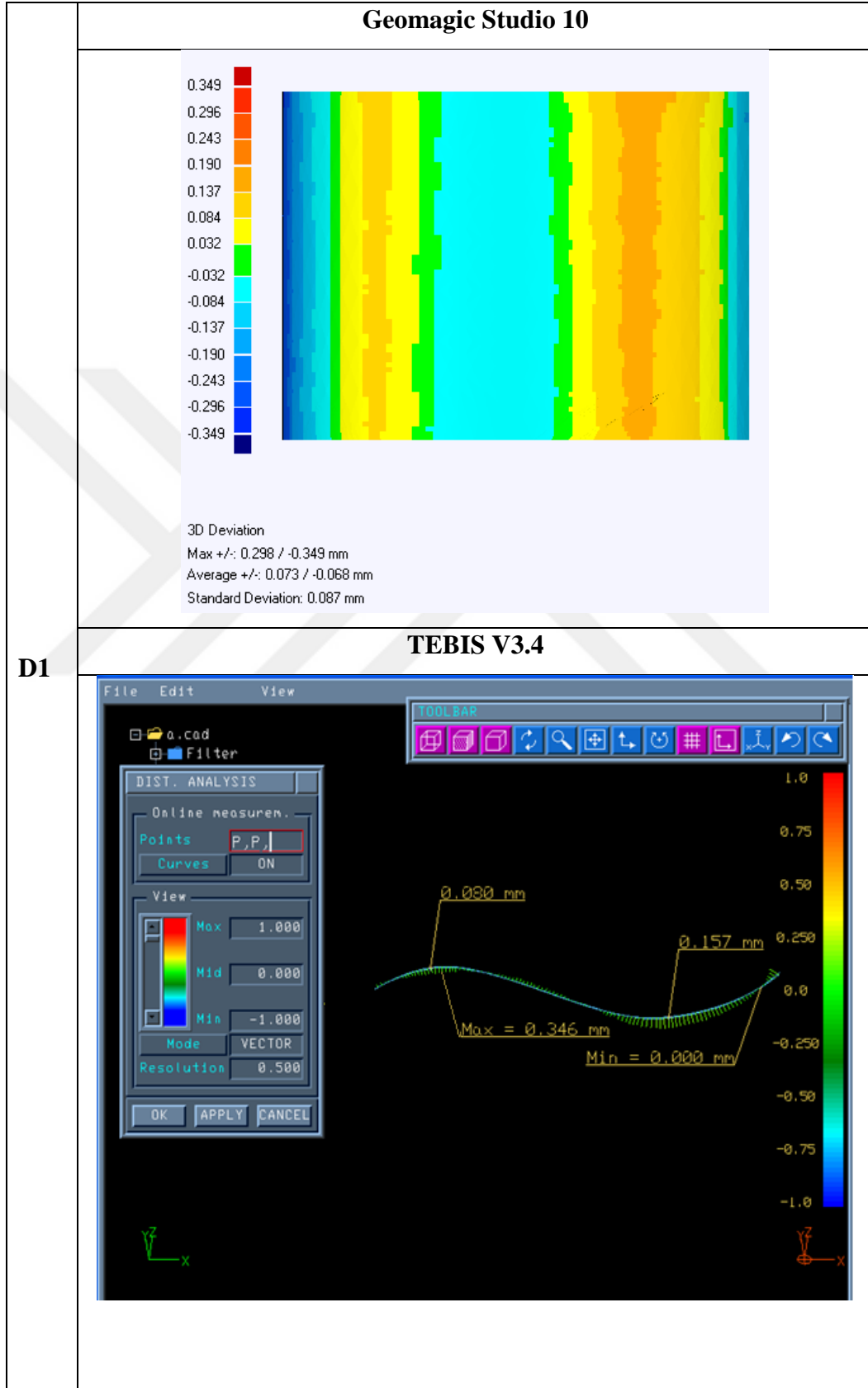
60. Bakır, B., “Frezelemede talaş oluşumunun ve geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi F.B.E.*, 55-71 (2012).
61. Thomas, T. R.: “Rough Surface”, *Longman*, New York, 109-135 (1982).
62. Atakök, G., “CNC Tornada talaş kaldırma işlemlerinde talaş kırıcı geometrisinin işlenebilirliğe etkilerinin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi F.B.E.*, İstanbul, 79-102 (2008).
63. Teti, R., Jemielniak, K., O’Donnell, G. and Dornfeld, D., “Advanced monitoring of machining operations”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 59: 717-739 (2010).
64. Köklü, U., “Değişik şekillerde aralıklı (şekilli) yüzeylerin taşlanmasında oluşan şekil hatalarının deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi F.B.E.*, Türkiye (2009).
65. Bağcı, E., “Serbest formlu yüzeylere sahip parçaların CNC frezeleme ile imalatında tolerans ve yüzey pürüzlülük değerlerinin iyileştirilmesi için kesme parametreleri ve stratejilerinin optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Türkiye (2010).
66. İnternet: Defne Mühendislik, “Mühendislik, Tasarım, Ürün Geliştirme”, <http://www.defnemuhendislik.com/tr/makaleler.html>, (2009).
67. İnternet: Breuckmann precision in 3D Products, “3Dimesional Optical Scanner”, <http://www.breuckmann.com/products/optotop-he.html>, (2012).
68. İnternet: “Geodetic Services, Inc”, The Basics of Photo Grammetry, <http://www.geodetic.com>, (2012).
69. Kurt, M., Hortomacıoğlu, S., Mutlu, B. and Köklü, U., “Minimization of the surface roughness and form error on the milling of free-form surfaces using a grey relational analysis” *Materiali in Tehnologije/Materials and Technology*, 46:3, 205-213 (2012).
70. Kaya, H., Cengiz, A., Uçar, M., “Talaş Formuna Bağlı Olarak 7075 Al Alaşımının İşlenebilirlik Parametrelerinin Uygunluğunun Tespit Edilmesi” 2. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 1-2 Ekim, Konya (2010).
71. İnternet: Olympos Tasarım, “Tasarım Mühendislik ve Ürün Geliştirme Hizmetleri”, <http://www.olymposdesign.com/tr/urunler/qscan-3d-sl-scanner>,
72. Jae-Seob, K., “Application of taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45: 327-334 (2005).

73. Gülcü, A., “Yapay zeka tekniklerinden genetik algoritma ve tabu arama yöntemlerinin eğitim kurumlarının haftalık ders programlarının hazırlanmasında kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 51-76 (2006).
74. Shaji, S. and Radhakrishnan, V., “Analysis of process parameters in surface grinding with graphite as lubricant based on the taguchi method”, *Journal of Materials Processing Technology*, 141: 51-59 (2003).
75. Yang, W. H. and Tarng, Y. S., “Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the taguchi method”, *Journal of Materials Processing Technology*, 84: 122–129 (1998).
76. Davim, J. P., “Design of optimisation of cutting parameters for turning metal matrix composites based on the orthogonal arrays”, *Journal of Materials processing Technology*, 132: 340-344 (2003).
77. Sakarya, N., “Cep işlemede takım yolu hareketlerinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 63-69 (2005).
78. Şirvancı, M., “Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı”, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul 45-55 (1997).
79. Bass, I., “Six Sigma Statistics with Excel and Minitab”, *McGraw-Hill Companies*, Oxford 34-45 (2007).
80. Montgomery, D. C., Peck, E. A. and Vining, G. G., “Introduction to Linear Regression Analysis”, *Wiley Science*, Hoboken (2006).
81. Akkurt, M., "Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları", *Birsen Yayınevi Ltd. Şti.*, İstanbul (2000).

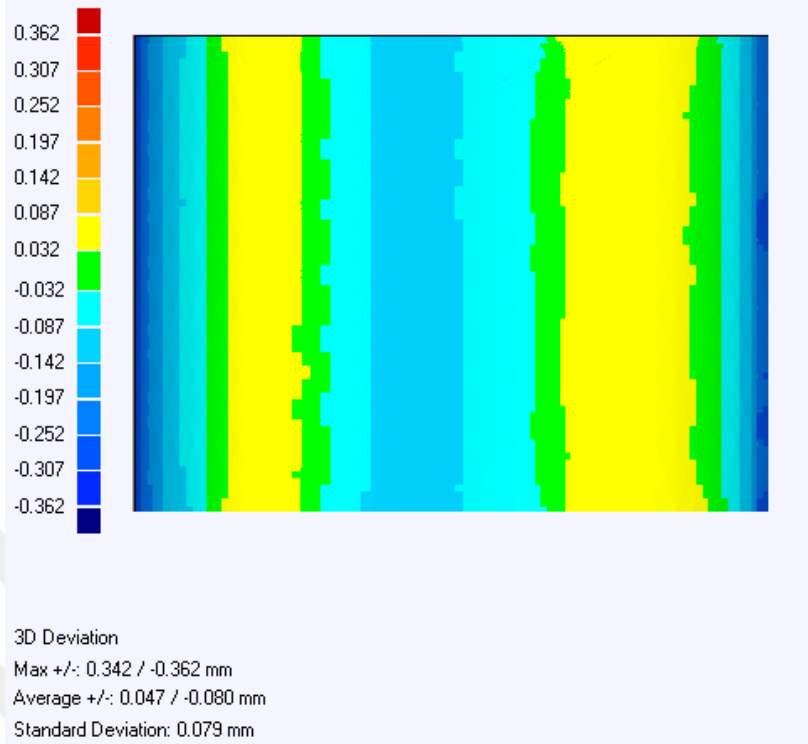
EK AÇIKLAMALAR A.

**GEOMAGIC STUDIO 10 VE TEBIS V3.4 PROGRAMLARI İLE OPTİK
TARAMA SONUÇLARI**

Çizelge Ek A.1. Geomagic Studio 10 ve TEBIS V3.4 programları ile optik tarama sonuçları



Geomagic Studio 10

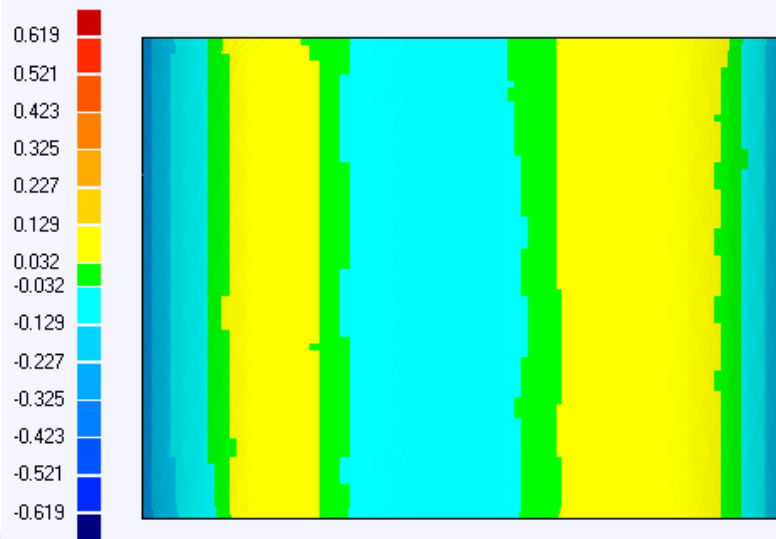


D2

TEBIS V3.4



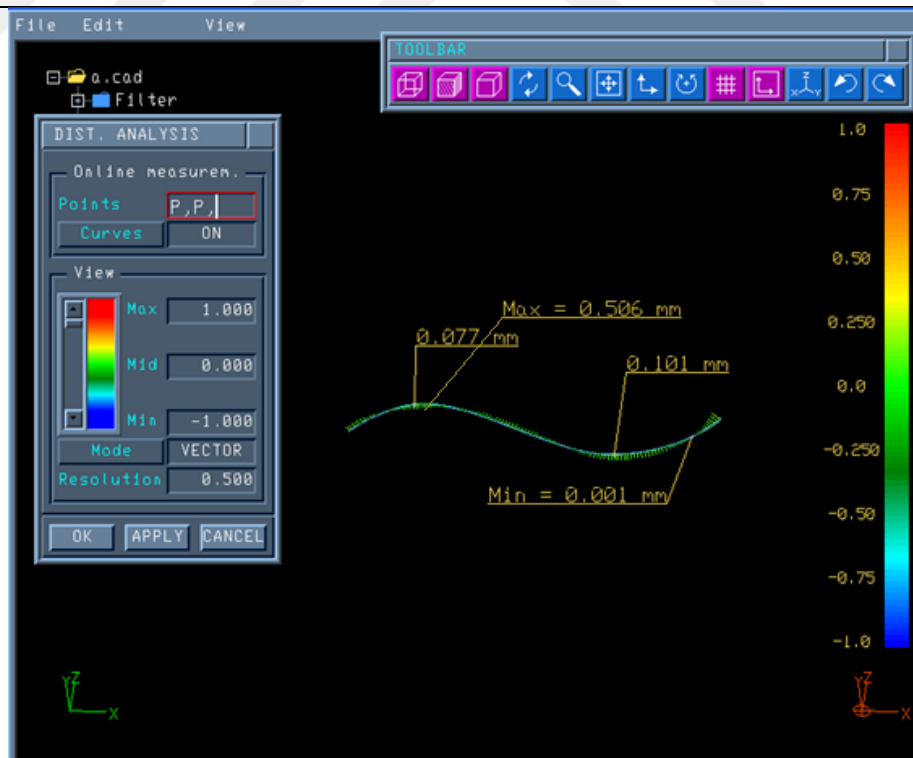
Geomagic Studio 10



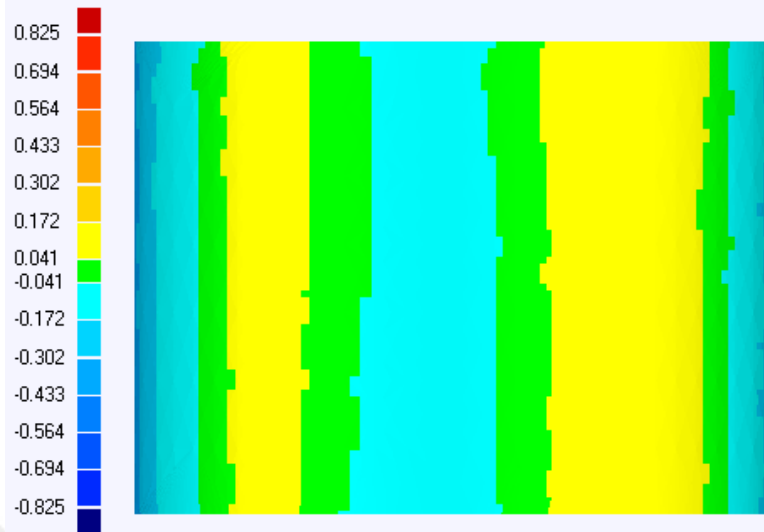
3D Deviation
Max +/-: 0.619 / -0.405 mm
Average +/-: 0.064 / -0.072 mm
Standard Deviation: 0.090 mm

D3

TEBIS V3.4



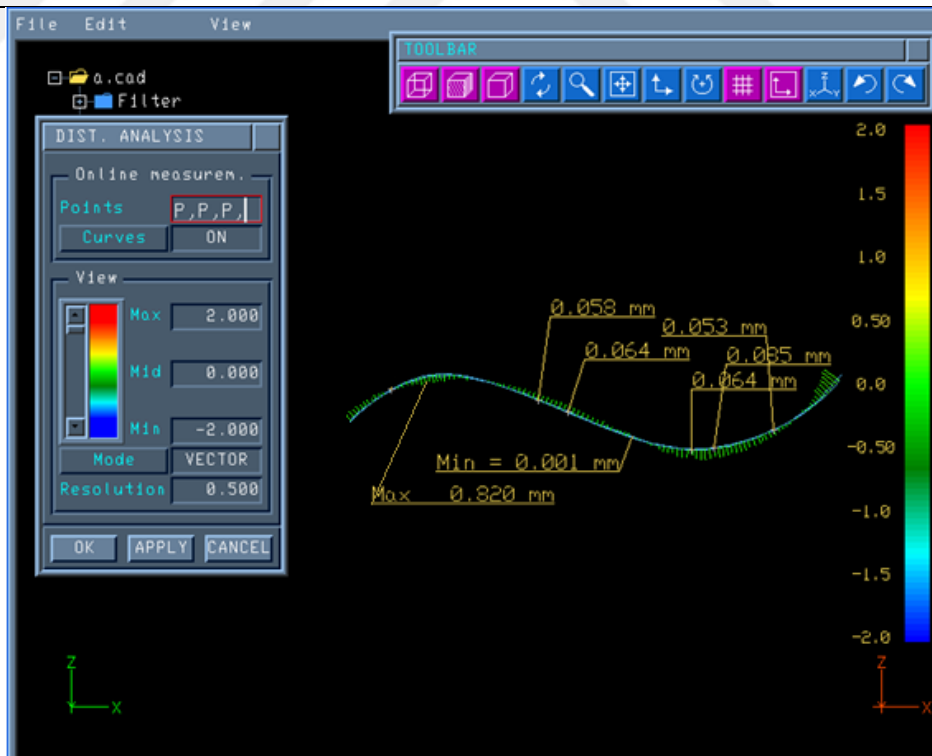
Geomagic Studio 10



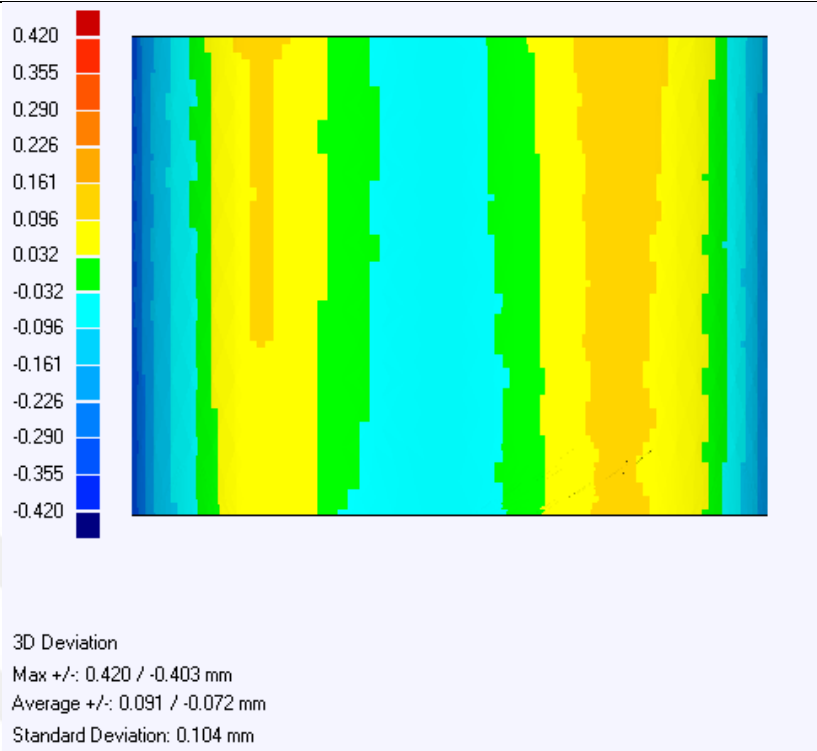
3D Deviation
Max +/-: 0.658 / -0.825 mm
Average +/-: 0.067 / -0.076 mm
Standard Deviation: 0.101 mm

D4

TEBIS V3.4

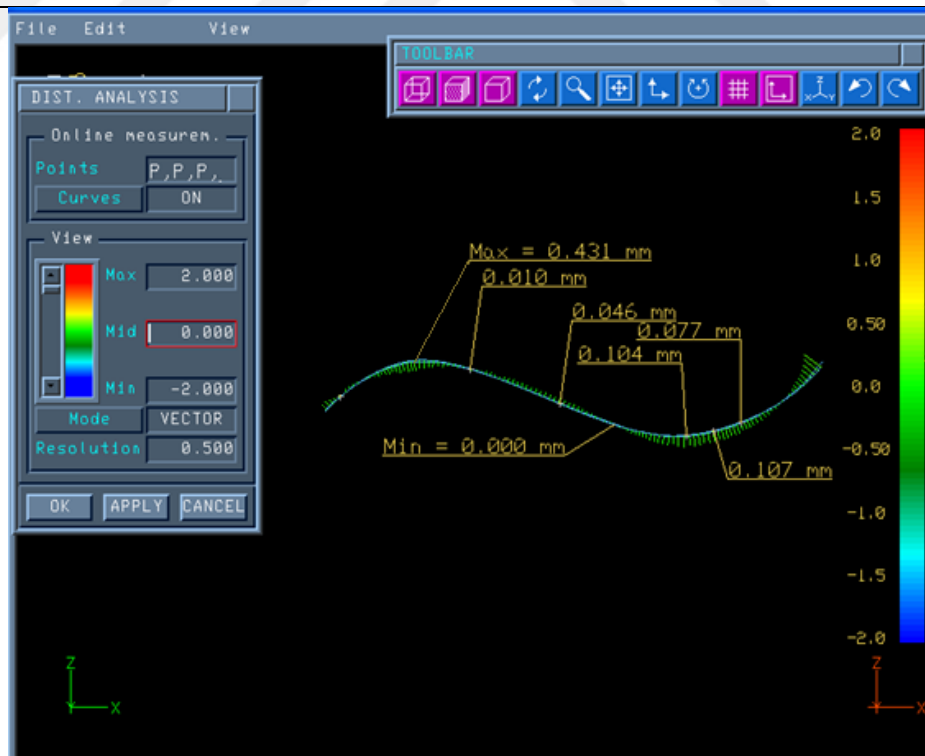


Geomagic Studio 10

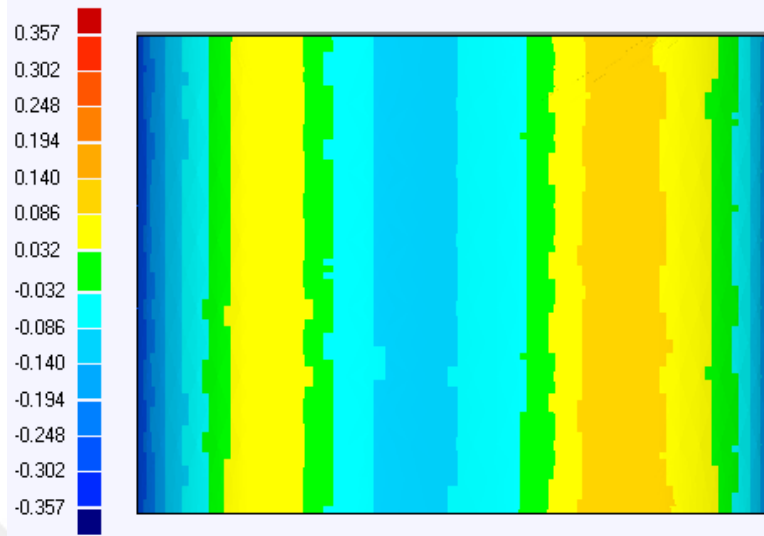


D5

TEBIS V3.4



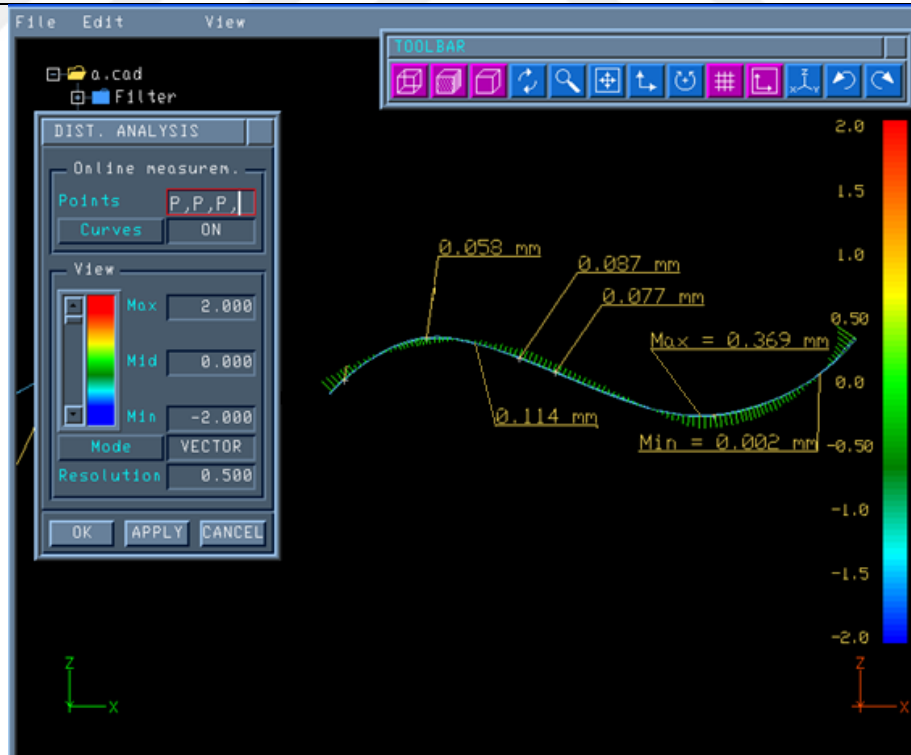
Geomagic Studio 10



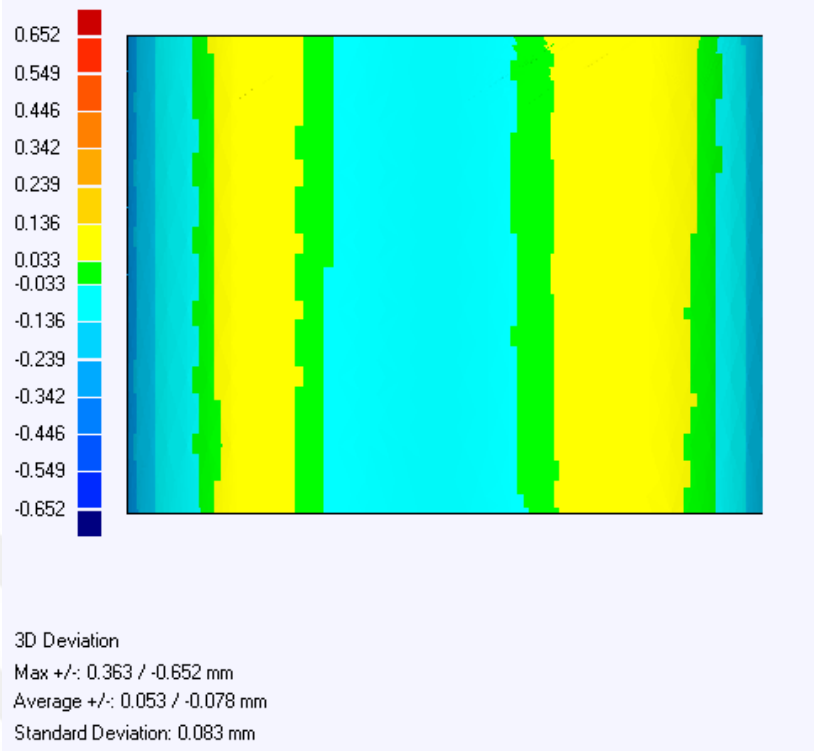
3D Deviation
Max +/-: 0.287 / -0.357 mm
Average +/-: 0.056 / -0.077 mm
Standard Deviation: 0.082 mm

D6

TEBIS V3.4



Geomagic Studio 10

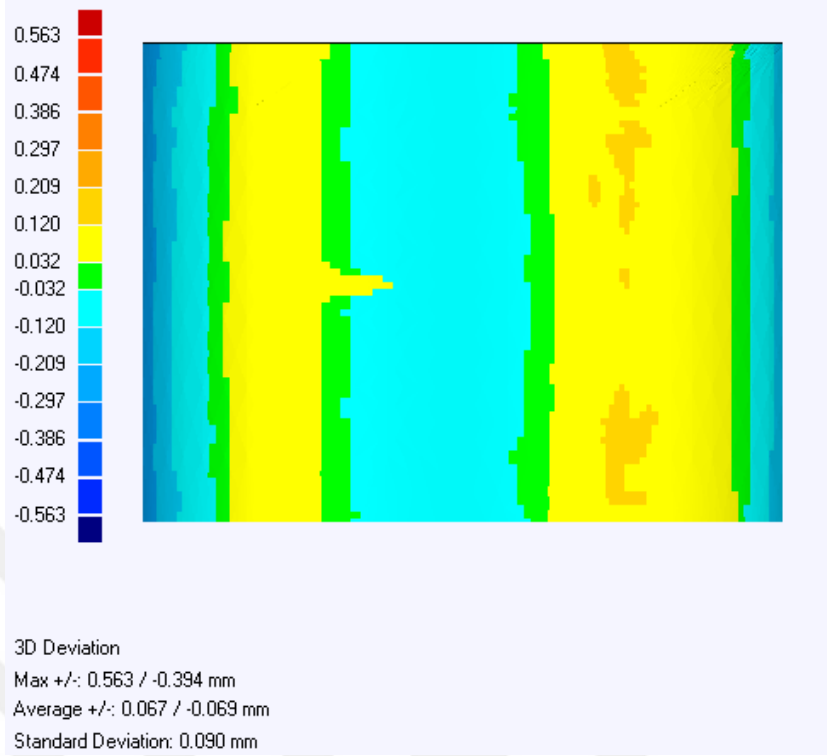


D7

TEBIS V3.4



Geomagic Studio 10

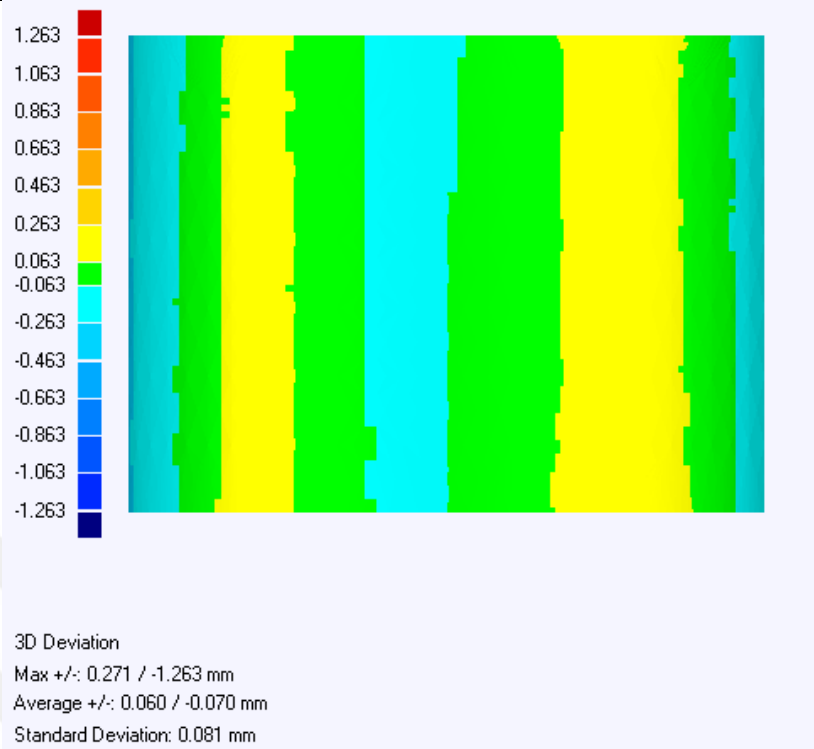


D8

TEBIS V3.4

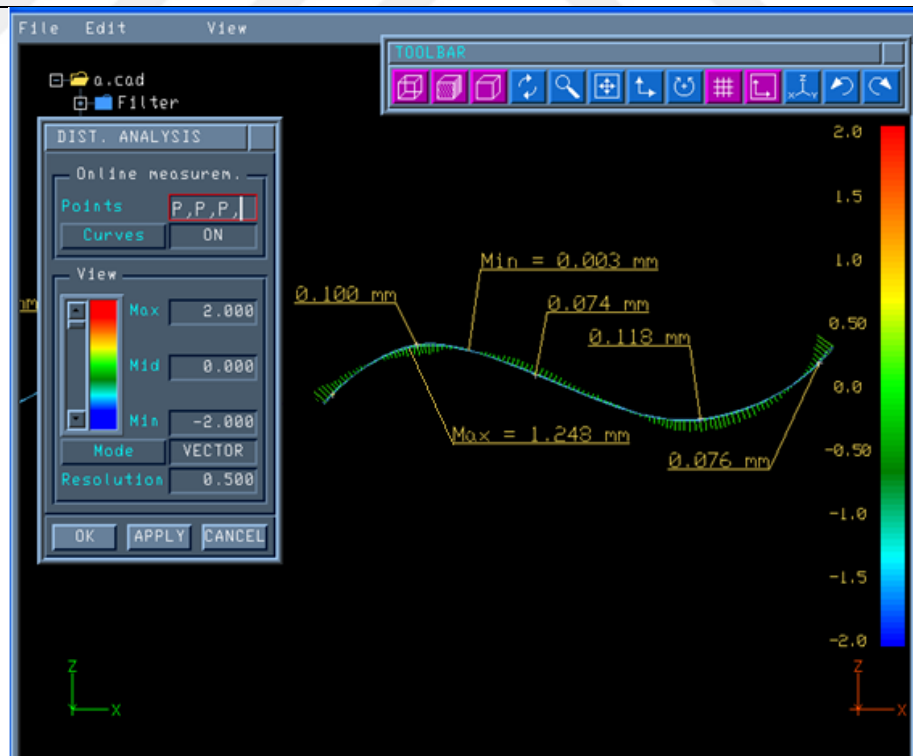


Geomagic Studio 10

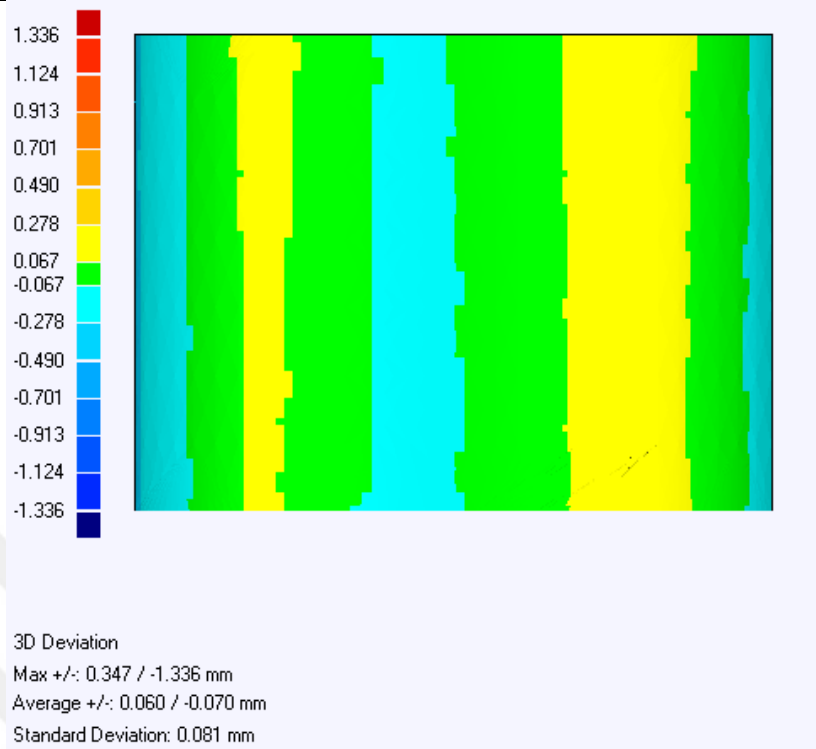


D9

TEBIS V3.4



Geomagic Studio 10

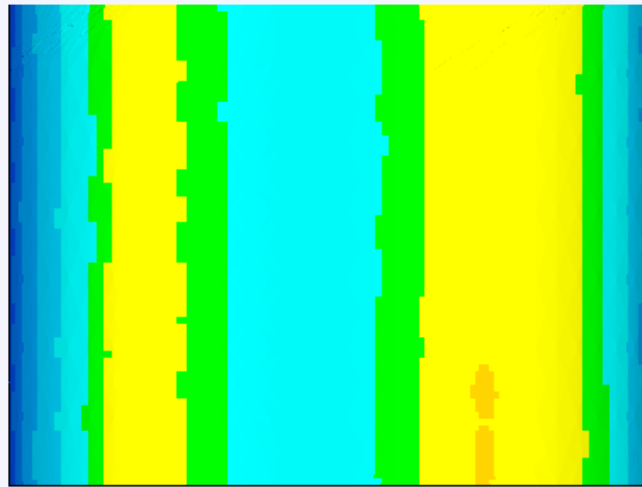
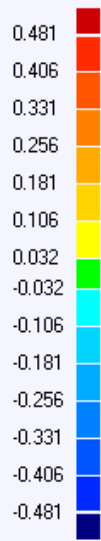


D10

TEBIS V3.4



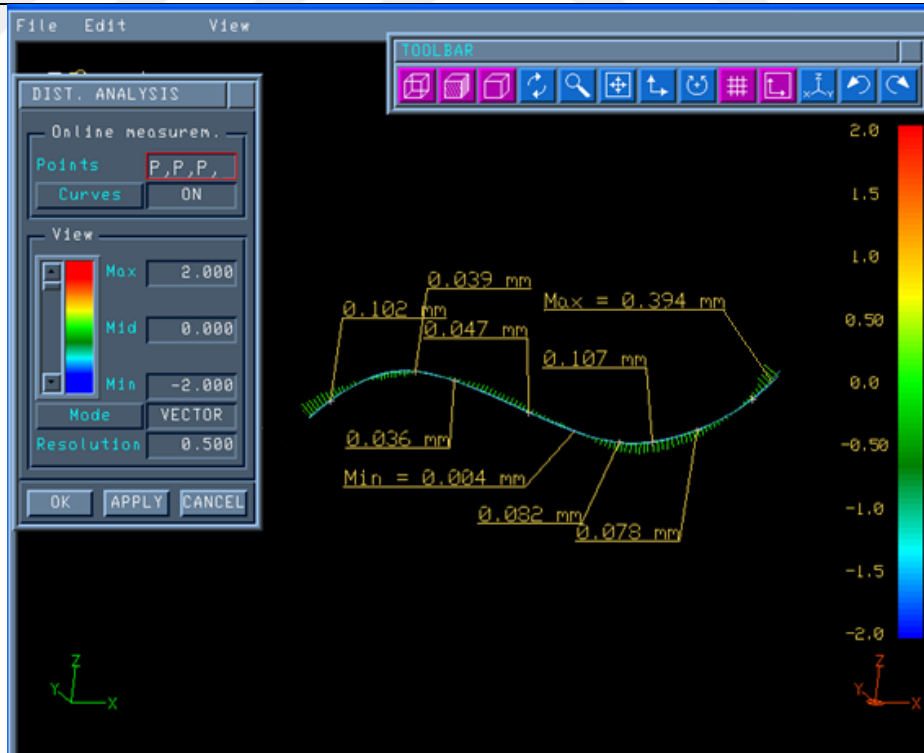
Geomagic Studio 10



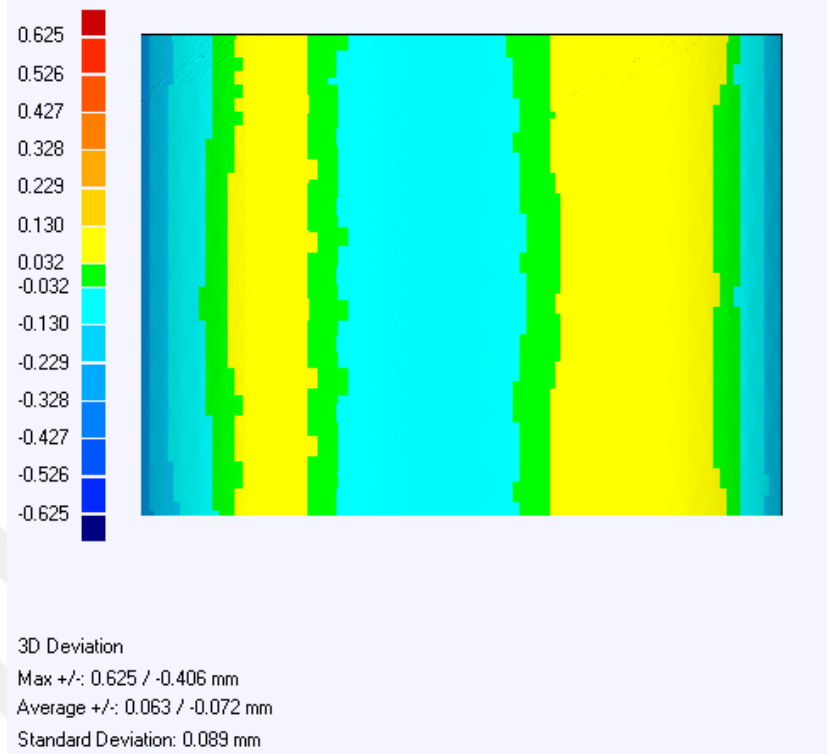
3D Deviation
Max +/-: 0.481 / -0.409 mm
Average +/-: 0.101 / -0.081 mm
Standard Deviation: 0.118 mm

D11

TEBIS V3.4

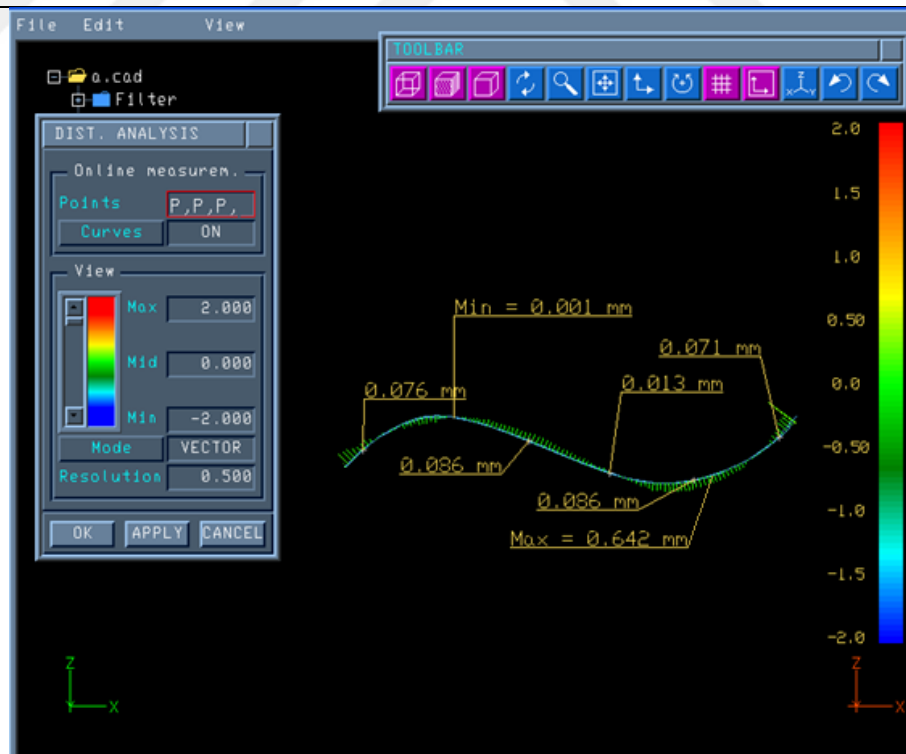


Geomagic Studio 10

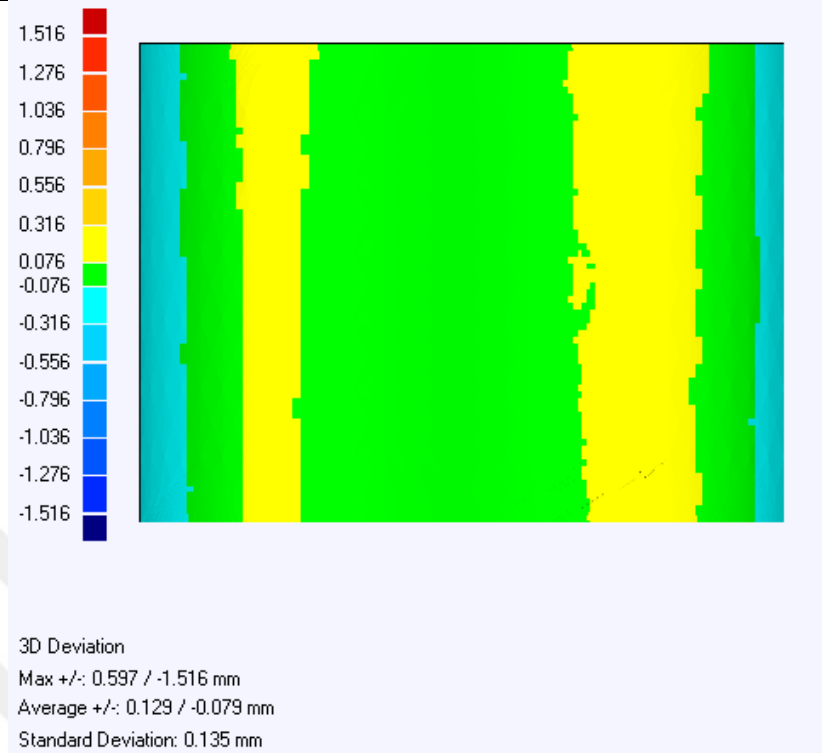


D12

TEBIS V3.4

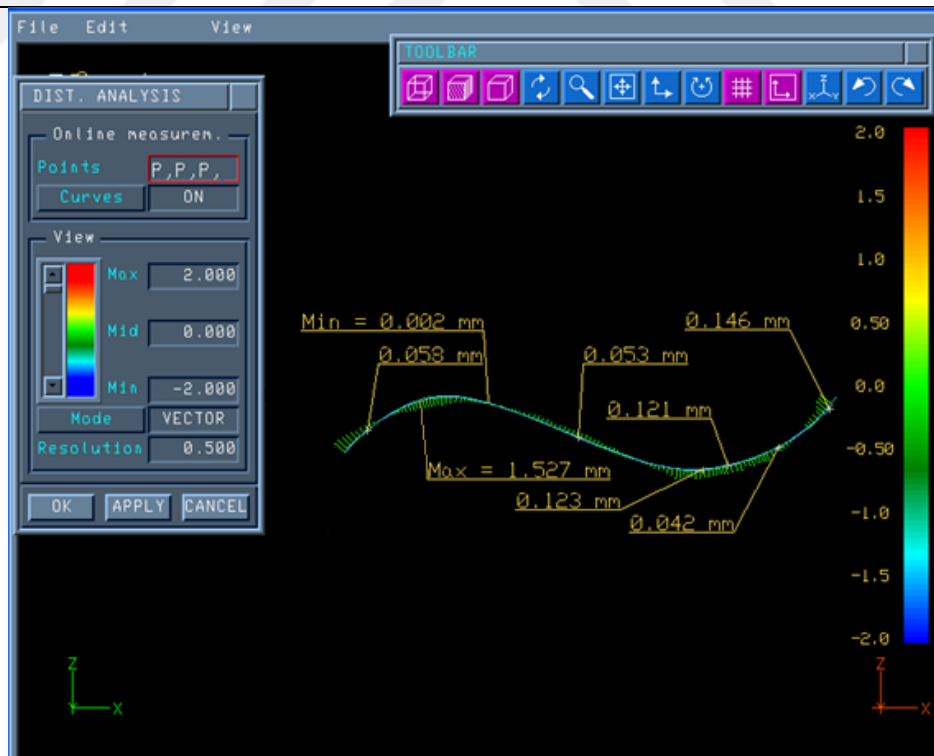


Geomagic Studio 10

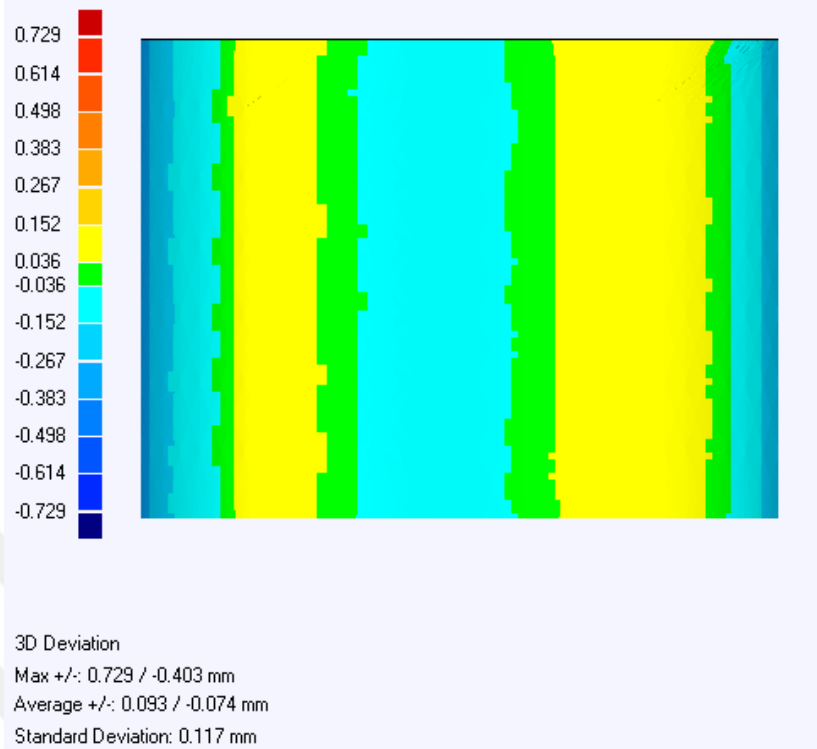


D13

TEBIS V3.4

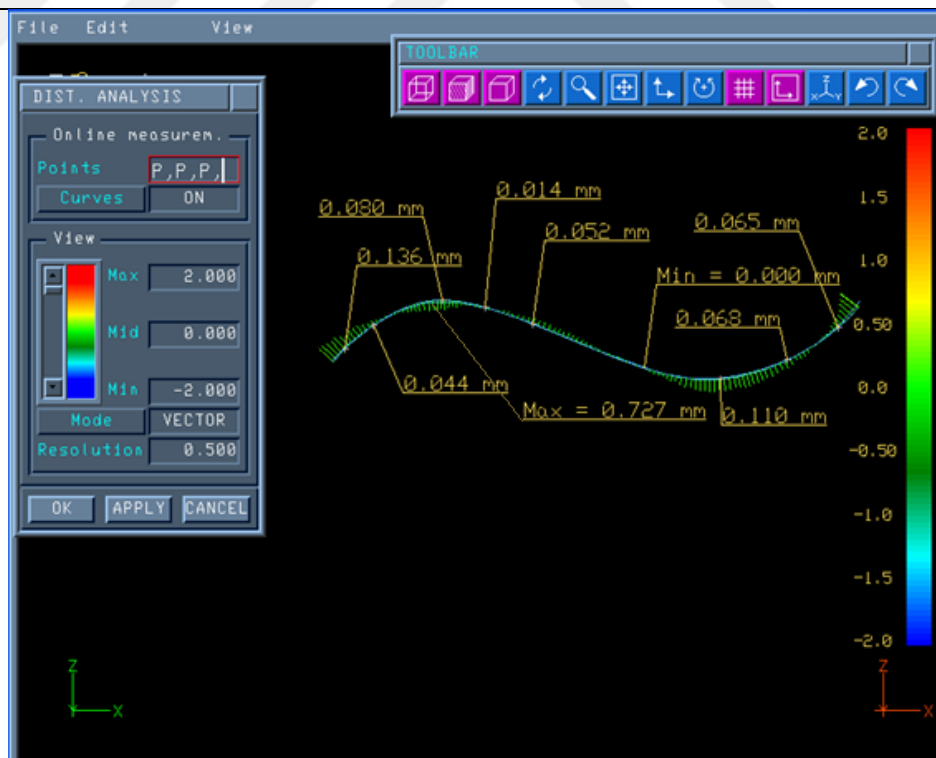


Geomagic Studio 10

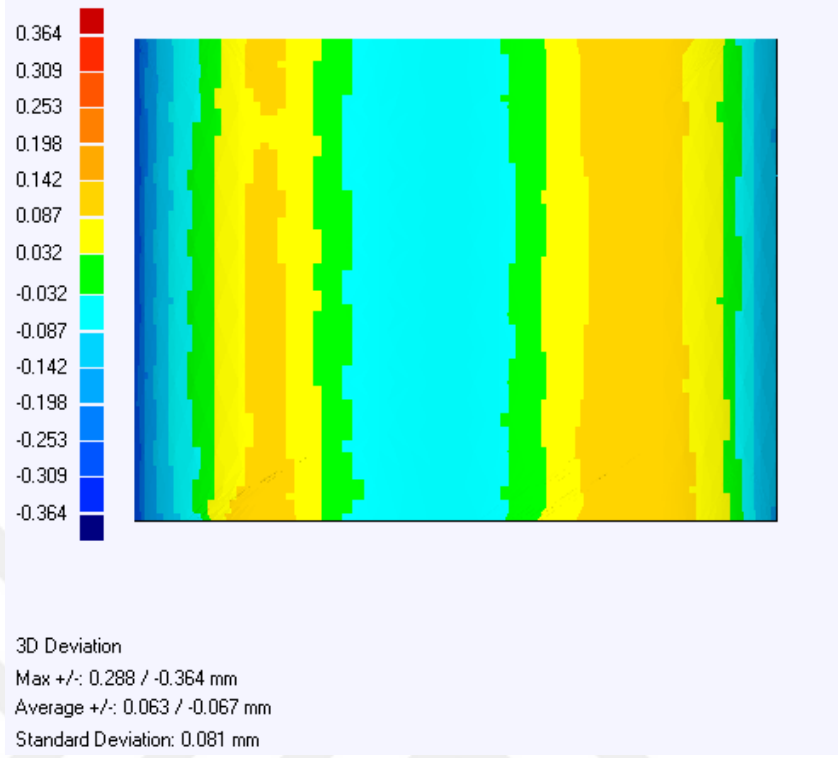


D14

TEBIS V3.4



Geomagic Studio 10

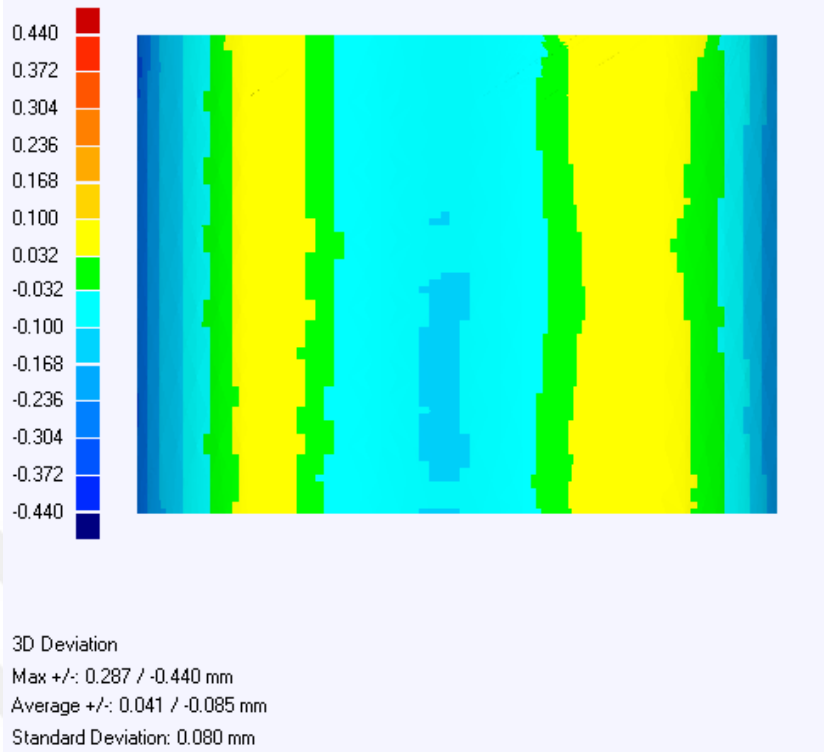


D15

TEBIS V3.4

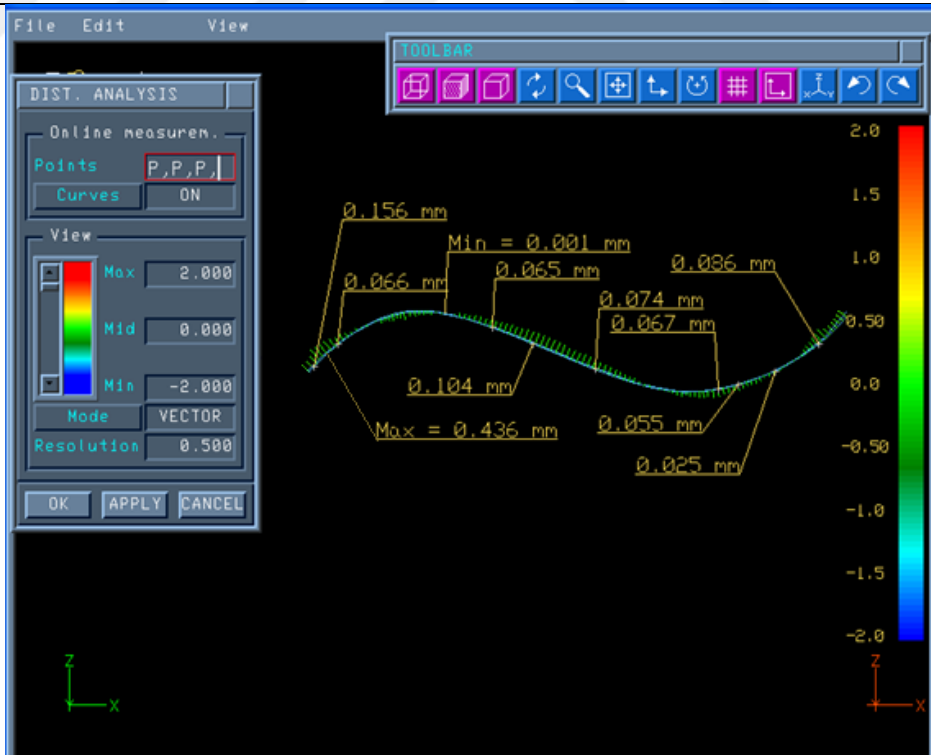


Geomagic Studio 10

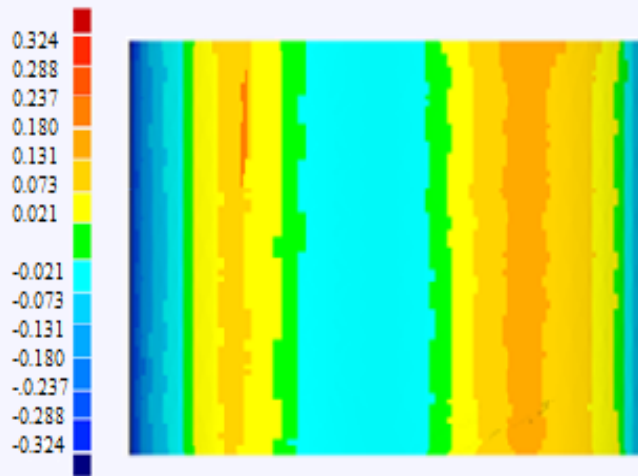


D16

TEBIS V3.4



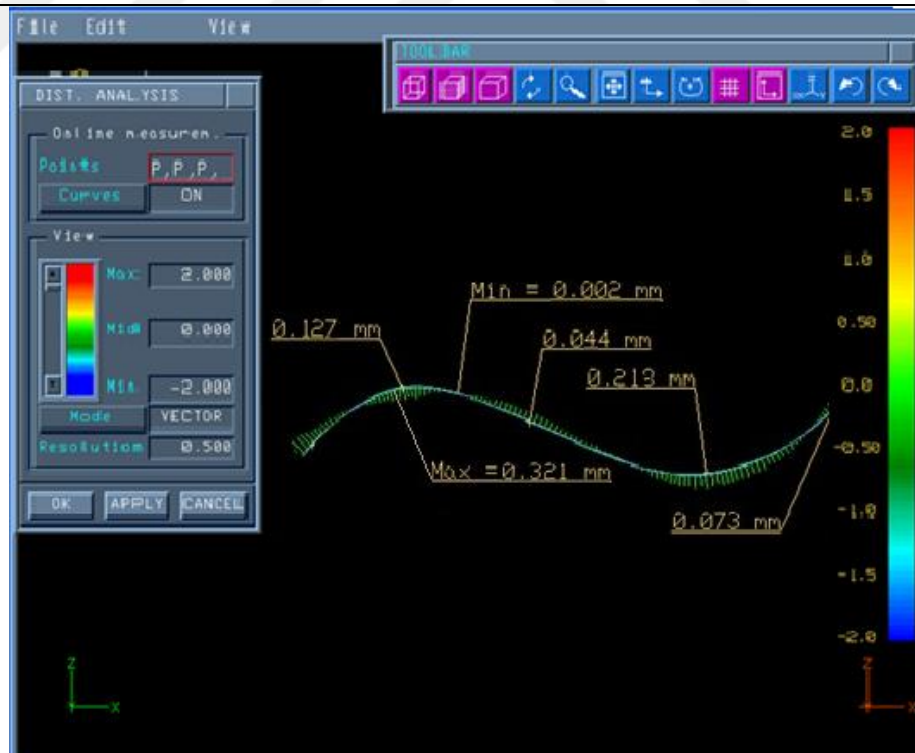
Geomagic Studio 10



3D Deviation
Max +/-: 0.280 / 0.324 mm
Average +/-: 0.062 / 0.58 mm
Standart Deviation: 0.081 mm

Kontrol

TEBIS V3.4



EK AÇIKLAMALAR B.

**GEOMAGIC STUDIO 10 VE TEBIS V3.4 PROGRAMLARI İLE OPTİK
TARAMA**

Çizelge Ek B.1. Ortogonal dizin tipleri.

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

ÖZGEÇMİŞ

Harun YAKA 1983 yılında Keskin’de doğdu; ilk ve orta öğrenimini Kırıkkale’de tamamladı. Kırıkkale Anadolu Meslek Lisesi CNC Bölümü’nden mezun oldu. 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2006 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2006 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda tamamladı. Yüksek Lisans eğitiminin devam ettiği 2006-2009 yılları arasında Cilas Kauçuk Aş.’de imalat sorumlusu olarak çalıştı. 2011 yılında Amasya Üniversitesi’nde öğretim görevlisi olarak göreve başladı. Halen Amasya Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölüm Başkanı olarak çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Amasya Üniversitesi
Teknik Bilimler MYO
Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü
Makine Programı
Merkez / AMASYA
Tel : (544) 297 3329
E-posta : harunyaka@gmail.com