



**YAŞLANDIRMA UYGULANMIŞ 6063-T6
ALÜMİNYUM ALAŞIMININ FREZELEME
İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN
FORM HATALARINA VE YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ**

Yavuz ÇODUR

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

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

**YAŞLANDIRMA UYGULANMIŞ 6063-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
FREZELEME İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN FORM
HATALARINA VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ**

Yavuz ÇODUR

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

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

**KARABÜK
Ocak 2022**

Yavuz ÇODUR tarafından hazırlanan “YAŞLANDIRMA UYGULANMIŞ 6063-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ FREZELEME İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN FORM HATALARINA VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

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

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

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/01/2022

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN (KBÜ)
Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA (AÜ)

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Yavuz ÇODUR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAŞLANDIRMA UYGULANMIŞ 6063-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ FREZELEME İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN FORM HATALARINA VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

Yavuz ÇODUR

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Öğr. Gör. Dr. Barış ÖZLÜ

Ocak 2022, 59 sayfa

Bu çalışmada, ilk olarak yaşlandırma işlemi uygulanan AA 6063 T6 alaşımına ait numunelerin mikroyapı ve sertlik değişimleri değerlendirilmiştir. İkinci bölümde, farklı mikroyapı ve sertliğe sahip numunelerin serbest formlu yüzeylerin farklı takım yolu ve kesme parametreleri ile işlenmesi sonucu elde edilen form hataları ve yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir. Son olarak optimum kesme parametrelerini ve kesme parametrelerinin çıktı parametreleri üzerine etkilerini belirlemek için istatistiksel analizleri yapılmıştır. Bunun için, hazırlanan her numune kuru işleme şartlarında küresek karbür parmak freze ile CNC freze tezgahında farklı takım yolu, kesme hızı ve ilerleme miktarında işlenmiştir. Deney tasarımı her bir numune için Taguchi L16 ortogonal dizilimine göre hazırlanmıştır. İşlenen yüzeylerde meydana gelen en düşük form hatasının ve yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için CMM ve yüzey pürüzlülük

ölçüm cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Farklı yaşlandırma sürelerinde elde edilen her numunenin işlenmesinde form hatası ve yüzey pürüzlülüğü için takım yolu ve kesme parametrelerinin etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca form hatası ve yüzey pürüzlülüğünün en düşük değeri için optimum takım yolu ve kesme parametrelerinin belirlenmesinde S/N oranları kullanılmıştır. Takım yolu ve kesme parametrelerinin etki oranlarının belirlenmesi için ANOVA analizi yapılmıştır. Sonuç olarak; yaşlandırma işlemi sonucu OM numuneye göre solüsyona alınan 520-2S numunesinin mikroyapısı kaba tanelerden oluşurken sertliği de azalmıştır. Daha sonra yaşlandırma süresinin 18 saate kadar çıkarılması ile daha ince taneli yapılar oluşurken sertlik en yüksek değere çıktığı görülmüştür. İşleme deneyleri sonucu en düşük form hatası 133 Hv1 sertliğe sahip 155-18H numunesinin 4 nolu takım yolunda, 0,04 mm/diş ilerleme miktarı ve 105 m/dak kesme hızında 0,008 mm ölçülmüştür. En yüksek form hatası 75,7 Hv1 sertliğe sahip 520-2S numunesinin 4 nolu takım yolunda, 0,16 mm/diş ilerleme miktarı ve 60 m/dak kesme hızında 0,13 mm olmuştur. En düşük yüzey pürüzlülüğü 133 Hv1 sertliğe sahip 155-18H numunesinin 4 nolu takım yolunda, 0,04 mm/diş ilerleme miktarı ve 105 m/dak kesme hızında 0,66 µm ölçülmüştür. En yüksek form hatası 75,7 Hv1 sertliğe sahip 520-2S numunesinin 4 nolu takım yolunda, 0,16 mm/diş ilerleme miktarı ve 60 m/dak kesme hızında 2,88 µm olmuştur. Yapılan istatistiksel analizle sonucu bütün numuneler için optimum kesme parametrelerinin kombinasyonu A4B1C4 olmuştur. Buda yapılan deneysel çalışmalar ile istatistiksel analizlerin uyum içinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Al6063-T6, Yaşlandırma, Takım yolu, Kesme parametreleri, Form hatası, Yüzey pürüzlülüğü, Optimizasyon.

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON FORM ERRORS AND SURFACE ROUGHNESS IN MILLIG PROCESS OF AGING TREATED APPLIED 6063-T6 ALUMINUM ALLOY

Yavuz ODUR

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Dr. Barış ÖZLÜ

January 2022, 59 pages

In this study, the microstructure and hardness changes of the samples of the AA 6063 T6 alloy, which was first of all aged, were evaluated. In the second part, form errors and surface roughness obtained as a result of machining free-form surfaces of samples with different microstructure and hardness with different tool path and cutting parameters were evaluated. Finally, statistical analysis were performed to determine the optimum cutting parameters and the effects of cutting parameters on output parameters. For this, each prepared sample was machined with spherical carbide end mill with CNC milling machine at different tool path, cutting speed and feed rate under dry machining conditions. The experimental design was prepared for each sample according to the Taguchi L16 orthogonal arrangement. Measurements were made with

CMM and surface roughness measuring device to determine the lowest form error and surface roughness on the machined surfaces. The effects of tool path and cutting parameters were evaluated for form error and surface roughness in the machining of each sample obtained at different aging times. In addition, S/N ratios were used to determine the optimum tool path and cutting parameters for the lowest value of form error and surface roughness. ANOVA analysis was performed to determine the effect ratios of tool path and cutting parameters. As a result; As a result of the aging process, the microstructure of the 520-2S sample, which was taken into solution compared to the OM sample, consisted of coarse grains, while its hardness decreased. Then, by increasing the aging time up to 18 hours, it was observed that while finer grained structures were formed, the hardness reached the highest value. As a result of the machining experiments, the lowest form error was measured at 0.04 mm/tooth feed rate and 0.008 mm at a cutting speed of 105 m/min in tool path 4 of the 155-18H sample with a hardness of 133 Hv1. The highest form error of the 520-2S sample with 75.7 Hv1 hardness was 0.13 mm in tool path 4, 0.16 mm/tooth feed rate and 60 m/min cutting speed. The lowest surface roughness was measured at 0,04 mm/tooth feed rate and 0,66 μm at a cutting speed of 105 m/min in tool path 4 of 155-18H sample with 133 Hv1 hardness. The highest form error was 2.88 μm in tool path 4 of 520-2S sample with 75.7 Hv1 hardness, 0.16 mm/tooth feed rate and 60 m/min cutting speed. As a result of the statistical analysis, the combination of optimum cutting parameters for all samples was A4B1C4. It has been seen that the experimental studies and statistical analyzes are in harmony.

Key Word : Al 6063-T6, Aging, Tool path, Cutting parameters, Form error, Surface roughness, Optimization.

Science Code : 91438

TEŐEKKÜR

Bu yüksek lisans tez alıŐmasını araŐtırılmasında, planlanmasında, hazırlanışında ve yürütülmesinde bilgi ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, yüksek deneyim ve bilgilerinden faydalandığım, talimatlarıyla çalıŐmalarımı akademik temeller doğrultusunda Őekillendiren danıŐmanlarım Prof. Dr. Halil DEMİR ve ŐĐr. Gr. Barış ŐZL'ye sonsuz sayĐı ve teŐekkürlerimi sunarım.

Deneyleerde kullanılan takımlar için bilgisini esirgemeyen Ali NAL beyfendiye, deney numunelerinin işlenmesinde yardımlarını esirgemeyen Erhan ŐZTRK ve Turgut ASRLAN'a en içten duygularım ile teŐekkür ederim.

KB-BAP FYL-2020-2139 Kodlu proje ile bu çalıŐmayı destekleyen Karabük Üniversitesi Bilimsel AraŐtırma Projeleri Birimine teŐekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli aileme en samimi ve kalbi duygularım ile teŐekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
ALÜMİNYUM	5
2.1. ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ	5
2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	6
2.2.1. Alüminyum Alaşımlarının Kodlandırılması	6
2.3. ALÜMİNYUMA ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ	8
2.3.1. Bakırın Etkisi	8
2.3.2. Bakırın Etkisi	8
2.3.3. Silisyumun Etkisi.....	8
2.3.4. Magnezyumun Etkisi	9
2.3.5. Manganın Etkisi.....	9
2.3.6. Çinkonun Etkisi	9
2.3.7. Titanyumun Etkisi	10
2.3.8. Demirin Etkisi.....	10
BÖLÜM 3	11
SERBEST FORMLU YÜZEYLERİN İŞLENMESİ.....	11
3.1. TAKIM YOLU STRATEJİLERİ VE TARZLARI.....	11

	<u>Sayfa</u>
3.2. FORM HATALARI	13
3.2.1. Yüzey Tamlığı ve Doğruluğu	13
3.2.2. Yüzey Hata Kaynakları.....	14
3.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	15
3.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK TANIMLAMALARI.....	15
3.4.1. Yüzey Pürüzlülük En Büyük Değeri (Rt).....	15
3.4.2. Yüzey Pürüzlülük Aritmetik Ortalaması (Ra)	16
3.4.3. Karesel Ortalamanın Pürüzlülük Karekök Değeri (Rq).....	16
3.4.4. Ortalama Yüzey Pürüzlülük Yüksekliği (Rz).....	17
3.4.5. Yüzey Pürüzlülük Birimi ve Kalite Derecesi	17
3.4.6. Yüzey Pürüzlülüğe Etki Eden Faktörler	18
3.4.7. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Yöntemleri	19
3.5. KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZI (CMM).....	20
3.5.1. CMM Cihazının Avantajları	20
3.5.2. Koordinat Ölçme Cihazı Çeşitleri	21
BÖLÜM 4	22
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	22
4.1. KULLANILAN MALZEME.....	22
4.2. YAŞLANDIRMA İŞLEMİ İÇİN NUMUNELERİN HAZIRLANMASI... 22	22
4.3. SERTLİK DENEYİ	23
4.4. OPTİK MİKROYAPI İNCELEMELERİ	23
4.5. NUMUNELERİN TASARIMI VE TAKIM YOLLARININ BELİRLENMESİ.....	24
4.6. CNC FREZE TEZGÂHI.....	25
4.7. KESİCİ TAKIM.....	26
4.8. YÜZEY PÜRÜZLÜĞÜNÜN ÖLÇÜMÜ	26
4.9. FORM HATALARININ CMM ÖLÇÜLMESİ.....	27
4.10. DENEY TASARIMI.....	29
BÖLÜM 5	30
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	30
5.1. MİKROYAPININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	30
5.2. SERTLİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİ	32

	<u>Sayfa</u>
5.3. FORM HATASININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU ...	33
5.3.1. S/N Oranlarının Analizi	33
5.3.2. Form Hatası Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	38
5.3.3. Varyans Analizi (Anova).....	40
5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU	41
5.4.1. S/N Oranlarının Analizi.....	42
5.4.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	46
5.4.3. Varyans Analizi (ANOVA)	48
 BÖLÜM 6	 50
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	50
6.1. GENEL SONUÇLAR	50
6.2. ÖNERİLER	52
 KAYNAKLAR	 53
 ÖZGEÇMİŞ	 59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Yüzey hatası ve sapma.....	13
Şekil 3.2. Yüzey hata kaynakları	14
Şekil 3.3. Yüzey pürüzlülük en büyük değeri R_t	15
Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülük ortalama değeri R_a	16
Şekil 3.5. Ortalama yüzey pürüzlülük yüksekliği R_z	17
Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülük derece numaraları	18
Şekil 4.1. Shimadzu marka sertlik cihazı.	23
Şekil 4.2. İşleme deneylerinde kullanılacak olan iş parça tasarımı.....	24
Şekil 4.3. Deneylerde kullanılan takım yolları. a) Form eksenine paralel, b) Form eksenine 45° c) İçten dışa spiral, d) Form eksenine dik	25
Şekil 4.4. CNC tezgahı	25
Şekil 4.5. Karbür parmak freze.	26
Şekil 4.6. Mitutoyo Surface SJ-210 yüzey pürüzlülük cihazı.....	26
Şekil 4.7. DEA GLOBAL CMM cihazı.....	28
Şekil 4.8. Ölçü yapılan iş parçası.	28
Şekil 5.1. AA 6063 T6 alüminyum alaşımına ait numunelerin mikroyapı görüntüleri; a) OM, b) 520-2S, c) 155-5H, d) 155-10H, e) 155-18H ve f) 155-22H....	31
Şekil 5.2. Al 6063 T6 malzemesine ait numunelerin sertlik sonuçları.	32
Şekil 5.3. Form hatası için kontrol faktörlerinin S/N oranları ana etki grafiği. a) OM, b) 520-2S, c)155-5H, d)155-10H, e)155-18H, f)155-22H.....	37
Şekil 5.4. AA 6063 T6 alaşımına ait numuneler için kesme parametrelerine göre Form hatasının değişimi. a) OM, b) 520-2S, c)155-5H, d)155-10H, e)155-18H, f)155-22H.	39
Şekil 5.5. Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin S/N oranları ana etki grafiği. a) OM, b) 520-2S, c)155-5H, d)155-10H, e)155-18H, f)155-22H.....	45
Şekil 5.6. AA 6063 T6 alaşımına ait numuneler için kesme parametrelerine göre yüzey pürüzlülüğü değişimi. a) OM, b) 520-2S, c)155-5H, d)155-10H, e)155-18H, f)155-22H.	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması	7
Çizelge 4.1. AA 6063 T6 alaşımının kimyasal bileşimi.	22
Çizelge 4.2. Numuneler için yaşlandırma prosesi ve numunelerin kodlanması.	22
Çizelge 4.3. Takım yolları ve kodlanması.	24
Çizelge 4.4. Karbür parmak freze ölçüleri.	26
Çizelge 4.5. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri.	27
Çizelge 4.6. CMM cihazı teknik özellikleri.	27
Çizelge 4.7. Deneyleerde kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri.	29
Çizelge 5.1. Al 6063 T6 numunelerine ait form hata değerleri.	34
Çizelge 5.2. Al 6063 T6 numunelerine ait form hataları için S/N oranları.....	35
Çizelge 5.3. Al 6063 T6 numunelerine ait form hatası için S/N yanıt tablosu.	36
Çizelge 5.4. Al 6063 T6 alaşımına ait form hatası için Anova tablosu.	41
Çizelge 5.5. Al 6063 T6 numunelerine ait yüzey pürüzlülüğü değerleri.	42
Çizelge 5.6. Al 6063 T6 numunelerine ait yüzey pürüzlülüğü için S/N oranları.....	43
Çizelge 5.7. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu.	44
Çizelge 5.8. Al 6063 T6 alaşımına ait yüzey pürüzlülüğü için Anova tablosu.....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- Al : alüminyum
Cr : krom
Cu : bakır
Fe : demir
 μm : mikrometre
mm : milimetre
S/N : sinyal gürültü oranı

KISALTMALAR

- CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
CAD : Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM : Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)
BSD : Bilgisayarlı Sayısal Denetim
CMM : Coordinate Measuring Macnines (Koordinat Ölçme Cihazı)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gün geçtikçe hızla artan üretim faaliyetlerinde genellikle kullanılan yöntem talaşlı imalat metodu olarak görülmektedir [1]. Talaşlı imalat yönteminin sıklıkla tercih edilmesinin nedeni, optimize edilen parametrelerin en doğru ve uygun olan parametrelerin seçilebilmesine olanak sağladığı için imal edilen parçaların ölçü bütünlüğü ve yüzey kalitesinin en iyi ve yüksek oranlarda elde edilebilmektedir. Bu sebeplerden ötürü bu konu üzerinde birden fazla akademik çalışma yapılmıştır [2]. Serbest formlu yüzeyler, farklı endüstri alanlarında çoğunlukla kullanılmaktadır [3]. Örneğin hassas makine parçalarının imalatında, plastik enjeksiyon ve sac metal kalıpcılığında, uzay ve havacılık faaliyetlerinde, otomotiv sektörü ve tıbbi cihazların imalatı gibi farklı alan ve sektörlerde yaygın olarak görünmektedir [4,5].

Seri imalatın temel prensibi kısa sürede yüksek verim ve kalitede, maliyeti az olan ürünler üretmektir [6]. İmalat yöntemleri ve otomasyon sistemleri bu amaç yönünde kullanılabilir [7]. Yüksek yüzey kalitesini elde etmenin yanısıra düşük maliyet ve en kısa sürede üretimi gerçekleştirmek için bilgisayar destekli (CNC) tezgahlar kullanılmaktadır [8]. Üretim giderlerini en aza indirmek ve yüksek yüzey hassasiyetini elde etmek için malzemenin, doğru ve uygun parametrelerce işlenmesi büyük öneme sahiptir [9]. Bundan dolayıdır ki işlem parametrelerinin yeterli seviyede seçilmesi ve aralarındaki etkileşimlerin deneysel çalışmalarla incelenmesi imalat alanında büyük önem arz etmektedir [10,11]. İşlem metodu, kesici takımın cinsi, malzeme seçimi, kimyasal, fiziksel ve ısıl etkenler, imalat sırasında kullanılan soğutucular, işlem gören malzeme ve kesici takım arasındaki dinamik hareketler yüzey kalitesine etkiye bulunan parametrelerdir [12]. Yüzey kalitesi iyi derecede yüksek olan bir yüzey yorulma mukavemetinde, korozyona olan direncinde ve malzemenin uzun ömürlülüğünde yüksek oranda iyileştirme sağlamaktadır. Ölçüm sırasında ölçüm aletlerinin kalibrasyonu yapılması, ölçüm doğruluğu ve bütünlüğü için önemlidir. Bir

diğer önem arz eden hususta deney sonuçlarının yorumlanmasıdır [13]. Araştırmacıların hedefleri tasarımdan imalata veya onarım çalışmalarında en uygun değerleri bulmaktır. Gerçekleştirilen deneylerde optimum değerleri bulmak için istatistiksel yöntemler genellikle tercih edilmektedir [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].

Parça yüzeyinden talaş keserek veya kaldırarak şekil verme işlemi imalat yöntemlerinin en önemli kısmını gerçekleştirmektedir. Bir Diğerk şekil verme yöntemleri ise (haddeme, döküm modelleme, dövme vb.) ile imalat edilen parçaların son şekilleri talaş kaldırılarak elde edilmektedir. Nihai geometrinin oluşması uygun tezgâhın ve kesici takım seçilerek malzeme yüzeyinden talaş kaldırılarak sağlanır [19]. Otomotiv, uzay, uçak, ve kalıp gibi farklı endüstri alanlarında genellikle rastlanan serbest formlu yüzeyleri, istenilen tolerans hassasiyeti ve yüzey kalitesinde imalat edilmesi çok yüksek önem arz etmektedir [20]. Gün geçtikçe gelişen ve büyüyen CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) / CAM (Bilgisayar Destekli İmalat) ve BSD (Bilgisayarlı Sayısal Denetim) sistemlerine rağmen, serbet formlu yüzeyleri istenilen toleranslar ve hassasiyette imal etmek zaman almanın yanında maliyetide arttıran işlemlerdir. Piyasada rekabet edebilmek için maliyet ve zaman unsurlarını en aza indirmek, teknolojinin sunduğu yenilikleri en verimli şekilde kullanmakla mümkün olabilmektedir [21].

Genellikle serbest geometrili yüzeylerin talaşlı imalatında işleme sırası yarı sonlandırma ve bitirme işleme operasyonlarında aranmaktadır. Bu operasyonlarda da çoğunlukla küresel uçlu takımlar tercih edilmektedir. Bu tip yüzeyler gözlemlenirken

form hatası ve yüzey pürüzlülüğü öne plana çıkmaktadır. Form hatası, takımın konumlandırılmasındaki hatalardan ve kesici takıma etkisi altına alan kuvvetler sonucu oluşan sehimlerden meydana gelmektedir. Dalgalanma ise talaş kaldırma sırasında kesici takımın meydana getirdiği tarak yüzeylerine bağlı, pürüzlülük ise salgı ve parçanın yüzeyinde kalan takım hatları nedeniyle oluşmaktadır [22].

Serbest formlu geometrilerin işlenmesinde oluşması istenilmeyen yüzey hataları (takım körelmesi, esnemesi, kırılması vb.) ve yüksek imalat verimliliği için en doğru parametrelerin kullanılması ve de takım hatalarının asgariye indirilmesi çok önemlidir. Emniyetli çalışma adına endüstride genel olarak düşük takım ilerleme hızları ile talaş kaldırılmaya çalışılmaktadır. Dolayısıyla ilerleme hızları maliyeti ve üretim süresini arttırmaktadır. Lakin maliyeti düşürmek için kullanılan yüksek ilerleme ve diğer kesme parametre değerleri (talaş derinliği, kesme ve fener mili hızı) kullanıldığında gerçekleşen yüksek kesme kuvvetleri, kesici takım sehimleri ve yüzey hataları parça için ölçütsel problemler oluşturmaktadır. Bu boyutsal hatalar bulunup onarılması için otonom sistemlerin kullanımı büyük önem gerektirmektedir. Takım tezgâhlarında ki bu farklılıkların gerçekleştirilmede kilit kısım, işleme esnasında destekleyici teknolojilerin yenileştirilmesidir [23,24].

İmalatlarda istenen toleransların ve ölçüsel doğrulukların aralıkları oldukça azdır ve bu nedenle ölçüsel hataları en aza düşürmek gerekmektedir. Parmak frezeler gibi kesici takımlardan dolayı meydana gelen hatalarda takımın oluştuğu aşınma ve salgı ön planda görülmektedir. Bunlarla birlikte, kesme esnasında takımın esnemesinden kaynaklı esneme ve eğilme imalatta çoğunlukla dikkate alınmamaktadır. Aslında takımın bu esneme parçanın istenilen ölçü ve tolerans tamlığında çıkmasını engelleyecektir. Dolayısıyla istenilen yüzeylerde form hatası oluşacaktır [25].

Yüzeylerde 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 katsayılarının ve işleme metodunun uygun belirlenmesi maliyeti, imalat süresini ve işlenen formun yapısını direct olarak etkilemektedir. Serbest yzeyeye sahip formların işlenmesiyle ilgili değişik örnekler literatürde yer almaktadır. Fakat bu tarz araştırmaların formlu yüzeylerin işlenmesiyle ilgili birbirlerinden farklılıklarını belirlemek oldukça zor olmaktadır [27].

Bu tezin amacı, AA 6063 T6 alaşımının farklı sürede yaşlandırılmasında mikroyapı ve sertlikteki değişim incelenerek bu numuneler üzerinde serbest formlu yüzeylerin farklı takım yollarının ve kesme parametrelerinde işlenerek meydana gelen yüzey pürüzlülüğü ve form hataları için optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2

ALÜMİNYUM

2.1. ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ

Doğamızda en çok bulunan üçüncü element olarak alüminyum, demirin ardından en çok tercih edilen metaldir. Otomotiv, savunma sanayi, uzay ve havacılık gibi endüstrilerde yaygın olarak kullanılmasının sebebi; alüminyumun hafifliği ve alaşımlandırma yöntemleriyle dayanıklılığının artmasıdır. Bununla birlikte elektrik ve ısı iletkenliği, korozyona karşı mukavemeti ve işlenebilirliğindeki kolaylık en önemli avantajlarından [28-29].

Fiziksel özellik: Birçok farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılmasının bir diğer sebebiyse, fiziksel özelliğinde barındırdığı düşük yoğunluk içermesidir. Alüminyum neredeyse bir çeliğin 3/1 ağırlığına sahiptir. Alüminyumun hafif olması birtakım çalışmalarda avantajken, saf alüminyumların düşük mukavemette olması ise dezavantajdır. Alaşımlama yöntemleriyle beraber yüksek mukavemete çıkması nedeniyle uzay ve havacılık sektörlerinde kullanılmasına imkan sağlamıştır. Elektrik ve ısı iletkenliği epeyce yüksektir. Neredeyse çeliğin altı katı ısı iletkenliğine sahiptir. Alüminyumun elektrik iletkenliği ise ağırlığına oranla bakırdan daha yüksektir. Farklı bir avantajı ise %80 oranında ışığı yansıtabiliyor olmasıdır [30-31].

Kimyasal özellik: Alüminyumun doğada saf olarak bulunamamasının nedeni, yüksek oranda kimyasal reaksiyonda bulunma isteğidir. Alüminyumu elde etme işlemi, demir oksit ve alüminyum silikattan meydana gelen boksit cevherinden oluşturulmaktadır. Alüminyumun yüzeyinin hava ile temasında oluşan oksit tabakası atmosfer tesirlerine karşı yüksek direnç göstermektedir. Oksijenle birlikte tepkimeye girme isteği baryum, krom, vanadyum, ve lityum gibi metal oksitleri indirgeyerek imaledilmelerine imkan

sağlamaktadır. Gıda sektöründe yaygın olarak paketlenme işlemlerinde kullanılması, alüminyumun zehirleyici özelliğinin olmamasıdır [32-33].

Mekanik özellikleri: Kolayca şekil alabilme özelliği sebebiyle presleme, bükme, çekme, haddeleme işlemleriyle farklı biçimlerde imalatı sağlanmaktadır. Mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde; ısıl işlem uygulamalarıyla birlikte alüminyum alaşımlarına magnezyum, silisyum, çinko ve bakır gibi elementlerin eklenmesi olarak göstermektedir. [34,35,36-37].

2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum içinde barındırdığı birden fazla özellik sayesinde mühendislik çalışmalarında genel olarak tercih edilmektedir. Alüminyumun mukavemet direncinin yüksek olması tercih sebebi olduğu için, saf alüminyumun düşük mukavemette olması nedeniyle kullanıldığı alanlar sınırlıdır. Alüminyumun mukavemetini arttırmak için biçim değiştirmeyle birlikte alaşım elementlerinin eklenmesi ve ısıl işlem gibi işlemler yapılmaktadır [30,35,36,31,38].

Alüminyum alaşımlarının mekanik niteliklerinin yenilenebilirliği, hafifliği, paslanmaya karşı dayanımı, rahat işlenmesi, ısı ve elektrik iletkenliğinin yüksek olması ekonomik ve kolay ulaşılabilirliği sayesinde başta otomotiv, uzay ve havacılık endüstrileri olmak üzere birçok sektörde tercih edilmesinde olanak sağlamıştır. [39,31,33,40].

Ağırlığın önem arz ettiği işlemlerde; alüminyum alaşımlarının hafifliği ve yüksek mukavemetinden dolayı genel olarak tercih edilme sebebidir. Elektrik iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle yüksek gerilim hatlarında çoğunlukla bakırın yerini almaktadır. [28,39,41,33].

2.2.1. Alüminyum Alaşımlarının Kodlandırılması

Alüminyum alaşımları; Alüminyum Standartları Birliği (ASA) tarafından oluşturulan standartlara uygun üretim yöntemleri ve tekniklerine göre iki ayrı grupta

sınıflandırılmaktadır. Bunlar; dövme ve döküm alüminyum alaşımlarıdır. Isıl işlem uygulanabilenler ve ısıl işlem uygulanamayanlar olmak üzere kendi aralarında da iki gruba ayrılırlar. Plastik şekil verme metoduyla üretilen dövme alüminyum alaşımları döküm alaşımlarına nazaran ayrı bir mikroyapıya ve kimyasal senteze sahiptirler [42,35,36,37,43]. Çizelge 2.1’de alüminyum alaşımlarının gruplandırılması gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [33].

Döküm Alüminyum Alaşımları		
Alaşım Serisi	Ana Alaşım Elementi	Isıl İşlem Durumu
1XX.X	Saf Alüminyum (Al)	Uygulanmaz
2XX.X	Bakır (Cu)	Uygulanabilir
3XX.X	Silisyum (Si) + Bakır (Cu) veya Magnezyum (Mg)	Uygulanabilir
4XX.X	Silisyum (Si)	Uygulanabilir
5XX.X	Magnezyum (Mg)	Uygulanmaz
6XX.X	Kullanılmayan Seri	-
7XX.X	Çinko (Zn)	Uygulanabilir
8XX.X	Kalay (Sn)	Uygulanmaz
Dövme Alüminyum Alaşımları		
Alaşım Serisi	Ana Alaşım Elementi	Isıl İşlem Durumu
1XXX	Saf Alüminyum (Al)	Uygulanmaz
2XXX	Bakır (Cu)	Uygulanabilir
3XXX	Mangan (Mn)	Uygulanmaz
4XXX	Silisyum (Si)	Uygulanmaz
5XXX	Magnezyum (Mg)	Uygulanmaz
6XXX	Magnezyum (Mg) ve Silisyum (Si)	Uygulanabilir
7XXX	Çinko (Zn)	Uygulanabilir
8XXX	Lityum (Li)	Uygulanabilir

2.3. ALÜMİNYUMA ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ

Saf alüminyumun çoklu niteliklerine karşın mukavemetinin düşük olması dezavantajdır. Alüminyumu alaşımlandırma işlemleriyle mekanik özellikleri yenileştirilebilir. Alüminyum alaşımlarının nitelikleri mikroyapı ve mekanik özellikleri alaşım elementlerinin miktarlarına göre değişim göstermektedir. Öncelikli alaşım elementleri demir, magnezyum, titanyum, bakır, magan, silisyum ve çinkodur [28,41,42,44,37,45,46,47].

2.3.1. Bakırın Etkisi

Paslanmaz çeliklerin büyük bir bölümünün kaynak kabiliyeti yüksektir ve ark kaynağı, direnç kaynağı, elektron ve lazer ışın kaynakları, sürtünme kaynağı ve sert lehimleme gibi çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler [10].

2.3.2. Bakırın Etkisi

Alüminyumla beraber ilkez kullanılan element bakır alaşım elementidir. Bakır döküm alaşımlarında mukavemeti arttırdığından dolayı % 12 oranından fazla kullanılmaz. % 12'den fazla bakır miktarı arttırıldığında malzemede gevreklik meydana getirir. Dövme alaşımlarında ise malzemenin işlenebilirliğini düşürdüğünden dolayı % 5'den fazlası bulundurulmaz. Genellikle ideal bakır oranı % 3-5 arasındadır. Bununla birlikte bakır, elektrik iletkenliğini ve korozyona karşı olan mukavemeti azaltmaktadır. Sıcaklığa bağlı olarak alüminyumun içerisindeki bakırın çözünürlüğü çoğalmakta ve çökeltme sertleşmesi metoduyla mukavemetin yükselmesine fayda vermektedir [48].

2.3.3. Silisyumun Etkisi

Silisyum oranı, alaşımın kaynak vasfını, korozyon mukavemetini ve akıcılık ve gibi niteliklerini iyileştirmektedir. Bununla beraber modifikasyon ve tane boyutu azaltma yöntemleriyle düzgün şekillendirilebilme özelliği eklenmiş olur. Alaşımın mikroyapısına ve sentezine bağlı olarak mekanik nitelikler genişletilmektedir. Al-Si

ötektiği ve yuvarlak ve küçük şekle sahip çökelti mukavemetin çoğalmasına sebep olmaktadır. İğne şekline sahip Al-Si ötektiği malzemenin mukavemet direncinin çoğalmasına karşı olarak darbelere karşı mukavemetini azaltmak, kolay şekil alabilme becerisini ve yorulma niteliğini azaltmaktadır [33,37,45,49].

2.3.4. Magnezyumun Etkisi

Alüminyum alaşımlarında magnezyum; süneklige, aşırı paslanmaya karşı dirence, kaynak edilebilirlikteki kolaylığın yanısıra yüksek etkili mukavemete fayda göstermektedir. Magnezyum dövme alaşımlarında % 1-6 oranları arasında olması haddeleme becerisini ve şekil alabilme özelliğine katkı sağlamaktadır [45].

2.3.5. Manganın Etkisi

Manganın demir ile beraber dökülebilirliği ve metaller arası bileşiklerin niteliklerinin farklılaştırılmasına katkı vermektedir. Alaşımların tokluk derecesini yükseltmekte ve kolay işlenebilirliğini olum doğrultuda etkilemektedir. % 1,2 oranında mangan alaşım yapısında çökelti sertleşmesi işlemiyle mukavemetin artmasına katkı sağlamaktadır. Alaşımlarda, manganın yardımıyla demirin olumsuz yöndeki etkileri azaltılmaktadır. Demir bazlı kaba ve düzensiz çökelti oluşmasına mâni olmak için manganın alaşımlarda olması, ince partiküllü (Mn, Fe) Al6 intermetaliklerinin oluşmasını sağlayarak mümkündür [45].

2.3.6. Çinkonun Etkisi

Alüminyuma çinkonun dahil edilmesiyle mukavemetini arttırmakla beraber hadde edilebilirliğini kolaylaştırmaktadır. Çinkonun sıcak yırtılmaya karşı etkisini azaltmak için bakır ilave edilmektedir. Magnezyum ile beraber eklendiğinde haddeleme becerisi, darbe ve çekme mukavemeti yükselmektedir [35,43].

2.3.7. Titanyumun Etkisi

Titanyum elementinin eklenmesiyle mekanik niteliklerini arttırmakla birlikte tanelerde küçültmeye etki etmektedir. En doğru ve pozitif etkiyi borla beraber kullanıldığında vermektedir Çekme dayanımını ve sünekliği yükseltirken, ısı iletkenliğini azaltmaktadır [43,45].

2.3.8. Demirin Etkisi

Demir tane ufaltıcı verim vermekte ve ısı dayanımı artırmaktadır. Demir, Al-Si bazlı yüksek silisyum oranına sahip alaşımlarda kaba ve gevrek yapıların doğmasına sebep olmaktadır. Bu yüzdendirki bu tarz alaşımlarda minimum bir değerde olması talep edilmektedir. Döküm alaşımlarında sıcak çatlama sının azaltılmasında pozitif yönde katkısı vardır [37,45].

BÖLÜM 3

SERBEST FORMLU YÜZEYLERİN İŞLENMESİ

Serbest formlu yüzey işlemleri ve eğimli yüzeylerin işlenilmesi genellikle; otomotiv sektöründe, makine imalatında, tıbbi cihazların üretilmesinde, uzay ve havacılık endüstrisinde, sac metal, plastik enjeksiyon ve hacim kalıpcılığı gibi farklı imalat sektörlerinde çoğu kez kullanılan bir imalat yöntemidir. Yüzeylerinde karmaşık geometrilere sahip parçaları işleyebilmek, imalat verimliliğini arttırmak ve kaliteli yüzey elde etmek için doğru ve uygun kesme parametrelerin kullanılması büyük önem arz etmesiyle birlikte zor ve güç gerektiren bir işlemdir. [50]. Üretimlerde ölçü boyutlandırılması ve toleransların küçüklüğünden dolayı ölçüsel hataların asgari düzeye indirilmesi gerekmektedir. Aşınma ve salgılar gibi kesici takımlarda oluşan ve hatalı imalatın oluşmasına neden olan bazı kesici takım hatalarıdır. Takımın sehiminden kaynaklanan hataları belirleyebilmek için işlemin planlanması, kesici takımın boyutları, parçanın geometrik yüzeyi, malzeme bilgisi ve doğru malzeme seçimi, kesici takım eğiminden oluşan hataları en aza düşürebilecektir [51].

3.1. TAKIM YOLU STRATEJİLERİ VE TARZLARI

Talaş keserek ve kaldırarak şekil verme genelde imalatı yapılacak parçanın geometrik ve ölçüsel tamlığının yanısıra, yüzey kalitesinin ve üretim maliyetini amaçlamaktadır. Talaşlı imalat esnasında görülen olumsuzluklardan biri de çıkan talaşların, takım talaş ara yüzünden kontrollü bir şekilde uzaklaştırılmasıdır. Bundan dolayı çıkan malzemenin davranışının iyi tespit edilip analizinin yapılması yüksek öneme sahiptir. Çünkü talaş kaldıran kesici takım diğer imalat yöntemlerinin tersine lokal olarak mekanik, ısı, fiziksel, kimyasal ve aşınma faktörleriyle karşılaşmaktadır [52].

Kesici takımlardan oluşan problemleri en aza indirmek, yüzey kalitesini arttırmak ve imalat verimliliğini yükseltmek için doğru kesme ve ilerleme parametrelerinin iyi

analiz edilip belirlenmesi gerekmektedir. Bu problemlerin meydana gelmesinde takım yolu stratejilerinin tesirleri farklı çalışmalarda gözlenmiştir. Kesici takım ömrüleri için kaydırma, ızgara, tek yön takım yolları dikkate alınmış ve yüzey pürüzlülüğü açısından takım yolu stratejileri incelendiğinde ilgili parametrelerde diğer takım yollarına oranla spiral takım yolunun daha verimli, yüksek talaş derinlikleri için ızgara takım yolunun diğer takım yollarına oranla daha etkili olduğu vurgulanmıştır [53].

Takım yolu stratejilerinin bir diğer önemi ise yüksek hızlı işlemler sırasında, işlem zamanına etkisidir. İşleme zamanı dikkate alındığında zig-zag takım yolunun verimli olduğu gözlemlenmiştir [54].

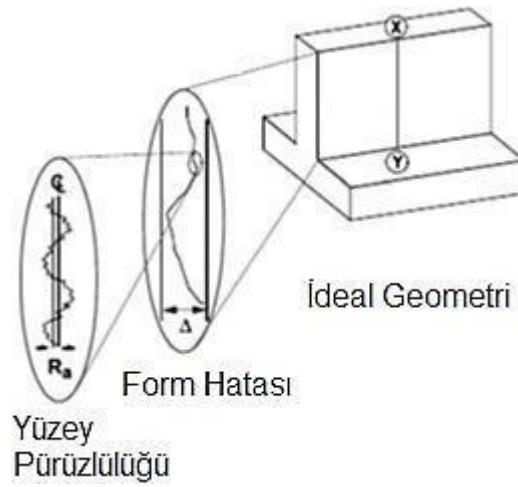
Kesici takım yollarının optimizasyonu alanında yapılan bazı deneylerde ise imalat esnasında olumsuz etkileri en aza indirmek için kesici takımın hareket ettiği işleme parametreleri, kesme kuvvetleri ve eğriler referans alınarak iyileştirmeler yapılmıştır. [55,56].

Uygun seçimi gerçekleştirilmiş takım yolu imalatın süresini, yüzey kalitesini ve maliyeti etkilemektedir. Yapılan bazı çalışmalarda zig-zag, tek yön, spiral ve paralel işleme metodları kullanılmıştır. Zig-zag işleme yönteminde takım hareketini yüzeyi yatayı X-Y düzlemine göre zig-zag olacak şekilde bir konumlandırma ile kesme işlemi gerçekleştirilmektedir. Tek yön işleme yönteminde takım, serbest formlu yüzeyi birbirine paralel olacak şekilde çizgiler halinde tarama oluşturarak işlemektedir. Tek yönde sadece Sabit adımlarda kesme işlemi yapmaktadır. Her çevrimden sonra takım tekrardan başa dönüp bir önceki çevrime paralel olacak şekilde bir adım yana kayarak kesme işlemini gerçekleştirilmektedir. Spiral takım yolunda ise, işlenen yüzeyin parçanın ortasından dışa doğru yada dışındaki hututlarından merkeze doğru yay şeklinde bir hareketlerle kesme gerçekleştirilmektedir. Paralel işleme tarzı, kontur işleme olarak adlandırılır. Yüzey üzerinde takım içten dışa doğru yada dıştan içe doğru birbirine paralel olacak şekilde dikdörtgen bir kesme yapmaktadır [57].

3.2. FORM HATALARI

3.2.1. Yüzey Tamlığı ve Doğruluğu

Doğruluk; geometrik adına bakıldığında boyutsal ve doğru bitirilmiş parçanın uyumu olarak adlandırılabilir. Hata; hassas toleransla üretilen iş parçasının gerekli teorik ölçüsünden kesici kenar pozisyonunun sapması olarak ifade edilebilir (Şekil 3.1) [58].



Şekil 3.1. Yüzey hatası ve sapma [57].

Üretilen edilen parçaları veya ürünlerin yüzey kalitesinin verimini direkt olarak etkileyebilir. İş parçasının yüzey kalitesi temel olarak iki gruba ayrılır: Yüzey doğruluğu / bütünlüğü ve yüzey dokusudur. 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, talaşlı imalatın sebep olduğu iş parçası yüzey tabakasına metalürjik değişim ve mekanik değişim ile daha fazla vurgulanır. Bu nedenler, iş parçasının verimine önemli derecede etki altına alabilir. Makine parçalarının işlevsel verimini etkileyen yüzey niteliklerine bakıldığında mikro sertlik, mikro yapı, yorulma ve kalıntı gerilme olarak yüzey tamlığı karakterize edilebilir [59].

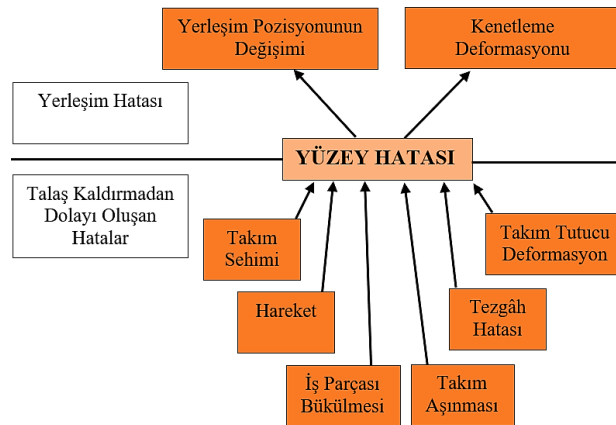
3.2.2. Yüzey Hata Kaynakları

Geometrik doğruluğa bakılacak olursa boyut hataları, yüzey hataları ve konumlandırma hataları denilir. Gerçek yüzey her daim nominal konumdan sapma gerçekleştirdiğinde, yüzey form hatası onların ortasındaki en fazla sapma olarak adlandırılır. Yüzey hatası fonksiyonel ve performans olarak gerekliliklerini oluşturduğunda izin verilebilir. Yüzey hata toleransı; profil toleransı, şekil-konum toleransı ve alışırma toleransı şeklinde gruplandırılabilir [60,61].

Geleneksel olarak yapılan talaşlı imalat yöntemleri boyunca meydana gelen kuvvet tezgâh sisteminin, işlenen parçanın ve kesici takımın elastik deformasyonuna yol açar. Bu elastik deformasyon çoğu zaman her geleneksel talaşlı imalatta oluşur.

Şekil 3.2’de gösterildiği gibi yüzey hata kaynakları iki gruba ayrılabilir. Birincisi talaş kaldırma işleminden önce meydana gelen konumlandırma hatasıyla oluşan yüzey hataları ve talaş kaldırma sırasında karşılaşılan ikinci hata ise talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan yüzey hatasıdır.

parçadaki hatayı etkisi altına alan ana nedenler; % 30-35 işlem, % 5-10 çevresel ve % 60-65 tezgâh-takım etkenleridir. Tezgâh-takım hatalarına tezgâhın mekaniği neden olur ve geometrik hatalar ve ısıl olarak meydana gelen hatalar buna eklenebilir. Proses hataları operasyonun kendisiyle alakalıdır ve kesme kuvveti, tırlama, sapma, takım aşınması, salgılama ve titreşim gibi etkenler sebep olur [62].



Şekil 3.2. Yüzey hata kaynakları [57].

3.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

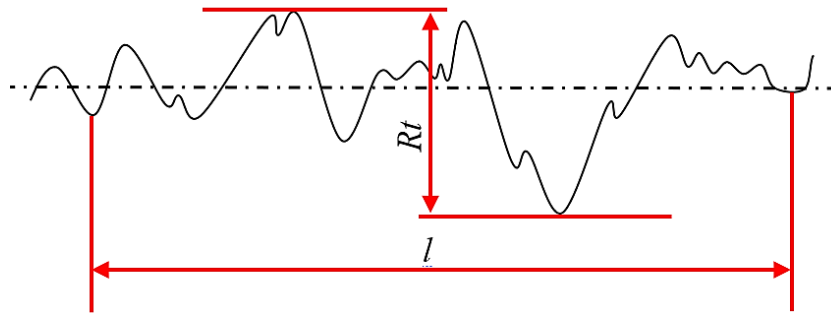
Ölçülen yüzey pürüzlülük oranı yüzey pürüzlülüğüyle direkt olarak bağlantılıdır. Genel olarak iş parçalarının yüzey kalitesi büyük öneme sahiptir. Yüzey pürüzlülüğü işlem gören iş parçası yüzeylerinin kalite karakteristiği olmasının yanı sıra, üretim metodlarıyla işlenen yüzeylerin küçük aralıklarındaki değişkenlikler olarak da adlandırılır [63]. İş parçasından frezelemede kesikli işlem ile talaş kaldırıldığından, kesme katsayılarının (parametrelerin), soğutma işlemlerinin ve takım geometrisinin kusursuz düzeyde seçilmeleri son derece büyük öneme sahiptir. İdeal yüzey pürüzlülüğüne sahip olmak için; iş parçasının ve kesici takımın rijit bağlanması ve tezgâhtan kaynaklı titreşim gibi farklılıkların denetim altına alınmasıyla mümkündür [63].

3.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK TANIMLAMALARI

Dört ana sınıfta yüzey pürüzlülüğü ifade edilebilir. Yüzey pürüzlülüğün en büyük değeri (R_t), karesel ortalamanın karekökü (R_q ya da RMS), aritmetik ortalaması (R_a) ve beş en yüksek beş en çukur noktanın ortalaması (R_z).

3.4.1. Yüzey Pürüzlülük En Büyük Değeri (R_t)

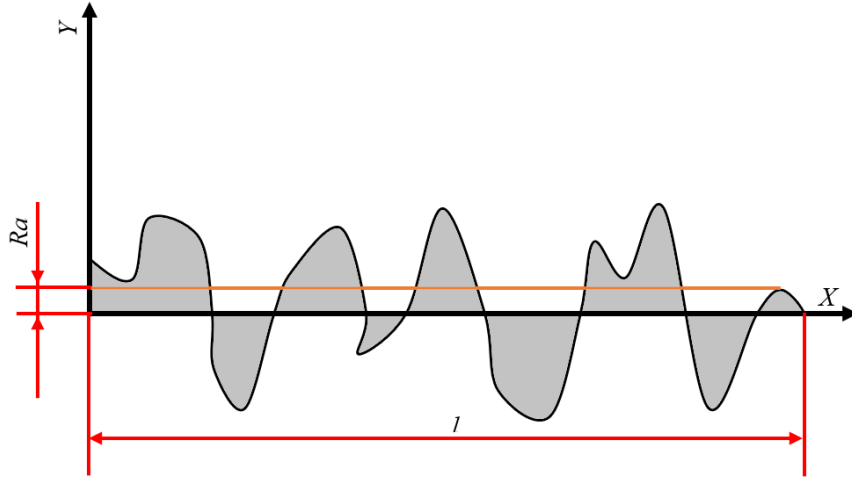
Yüzey pürüzlülük en büyük değeri, ölçülen yüzey pürüzlülük uzunluğunda (l boyunda) ortalama ile birlikte profil çizgisinin üstünde kalan en büyük tepe noktası, ortalama profil çizgisinin altında kalan kısım ile en düşük dip noktası arasında kalan uzunluk olarak ifade edilebilir [64]. R_t sembolü ile ifade edilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Yüzey pürüzlülük en büyük değeri R_t [65].

3.4.2. Yüzey Pürüzlülük Aritmetik Ortalaması (Ra)

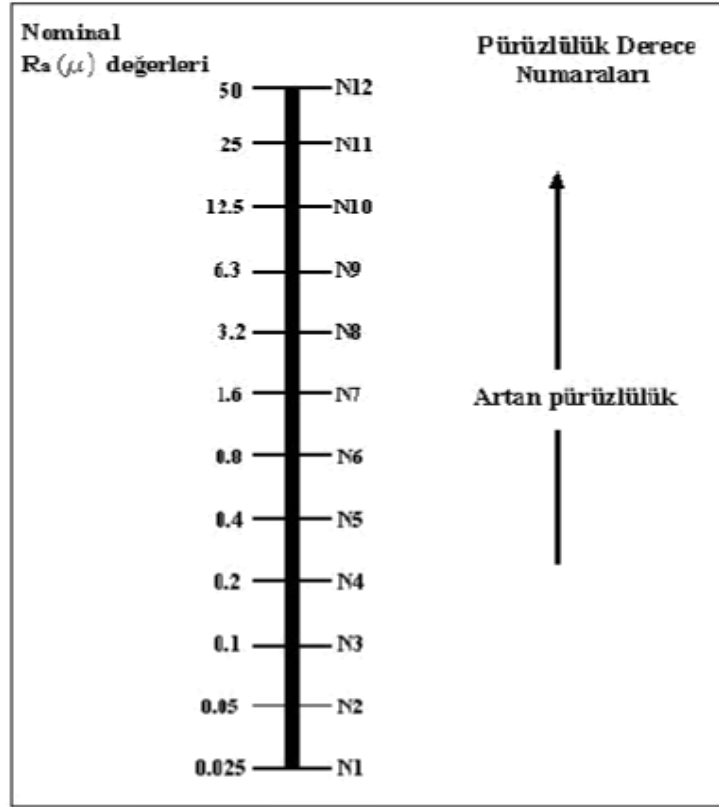
Yüzey pürüzlülük aritmetik ortalaması, pürüzlülük kıstası olarak kabul edilir. Ortalama profil çizgisinden etkin profile olan $y_1, y_2, y_3 \dots y_n$ değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanır (Şekil 3.4). Ortalama profil çizgisinin altında kalan ölçümlerin mutlak değeri alınır. İş parçası teknik resimlerinde yüzey pürüzlülük ifadesi olarak çoğunlukla Ra kullanılmaktadır. Pratikte $Ra = (0,16 \sim 0,25) \times Rt$ şeklinde hesaplanabilir. Örneklem uzunluğu standartlarda verildiği üzere 0,08-2,5-8 ve 25 mm olarak tercih edilebilir [65].



Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülük ortalama değeri Ra [65].

3.4.3. Karesel Ortalamanın Pürüzlülük Karekök Değeri (Rq)

İşleme sonrası meydana gelen yüzey pürüzlülük profili “y” koordinatının ikinci derece ortalamasının karekökü olarak tanımlanmasıdır. Pürüzlülük değerlerinin kalerinin ortalamalarının karekökü ölçülen uzunluktaki dağılmış tepe ve çukurların standart sapmasını ifade etmektedir [65].



Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülük derece numaraları [66].

3.4.6. Yüzey Pürüzlülüğe Etki Eden Faktörler

- İş parçasının bağlanmasından kaynaklı oluşan bozulma,
- Tezgâh ilerleme hareketlerindeki arızalar,
- Kırılgan nitelikteki malzemelerin üretiminde düzensiz talaş kaldırımı,
- İşlenmesi kolay olan malzemelerin düşük kesme hızlarında işlendiğinde, yüzeylerinde meydana gelen yırtılmalar,
- Malzemenin yapısal bozuklukları,
- Talaş akışından kaynaklanan bozulmalar,
- Düzgün kesme hızı ve ilerleme seçilmemesinden doğan bozukluklar,
- Faklılık gösteren talaş derinliği,
- İşlem esnasında iş parçasının ve takımın soğutma/yağlama durumları,
- Kesici takımın şekili ve bağlama özellikleri,
- Tezgâhının türü, sabitliği, rijitliği ve çalışma şartları,
- Doğru aparat seçimi [67].

3.4.7. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Yöntemleri

Yüzey pürüzlülük ölçüm yöntemleri, işlenecek yüzeyin genel şartlarına, iş parçasının şekline ve uygulanan işleme metoduna bağlı olarak çeşitlilik gösterebilir.

- Dokunarak ölçme metodu,
- Pnömatik ve hidrolik metot,
- Yüzey dinamometresi yöntemi
- Mekanik çalışmayla ölçme metodu,
- Kapasitans yöntemi,
- Optik parazit yöntemi,
- X ışınlarıyla ölçme yöntemi,
- Elektron mikroskobu yöntemi,
- Karşılaştırmalı mikroskop yöntemi
- Optik mikroskop yöntemi,
- Kesit alarak ölçme yöntemi,
- Optik profilometre yöntemi,
- Kisilev profilometre yöntemi,
- Yaylı profilometre yöntemi,
- Işık yansıması yöntemi,
- Replika (maske) yöntemi,
- Standart örnek yüzey yöntemi,
- Işık bant mikroskop yöntemi,
- Elektro fiber optik yöntemi
- İnterferans mikroskop yöntemi,
- Elektrikli profilometre yöntemi,
- Leving profilografi yöntemi,
- Linnik ikili mikroskop yöntemi,
- Hava master yöntemi,
- Fotoğraflama yöntemi,
- Çok sayıdaki yükseltinin masterlarla okunması yöntemi,
- İzleyici uç yöntemi kullanılabilmektedir [65].

3.5. KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZI (CMM)

Günümüzde, modern imalat teknolojisinin en önde gelen bileşenlerinden biride koordinat ölçme cihazları olmuştur. Gelişmekte olan üretim ihtiyaçları nedeniyle doğrudan üretime adapte edilmek suretiyle, modern imalat sistemlerinin kontrolünde büyük öneme sahiptir. CMM cihazları şekil, boyut ve yer sapmalarını ileri doğrulukla ölçebilen cihazlardır [68].

3.5.1. CMM Cihazının Avantajları

CMM cihazlarının, gün geçtikçe gelişen ölçüm sistemleri oldukları için konvansiyonel ölçüm tekniklerine karşı çok fazla özellikleri ve avantajları mevcuttur. CMM cihazlarının konvansiyonel ölçüm teknik ve sistemlere karşı avantajları:

- Çok yönlü çalışabilme: CMM cihazları, farklı şekillere sahip geometrilerin, yüzeylerin, hassas toleransların ölçümlerini yapabilir.
- Eksenel hizalamadaki kolaylığı sayesinde fikstürleme işlemine gerek duymadan, ölçülecek parça ile kendi eksen limitini otomatik olarak ayarladığı için ciddi süre kazanımı sağlar.
- Ölçülecek parça cihaza bir kez tanıtıldığında, parçanın farklı eksen ve formlarında otomatik olarak çalışmasından dolayı bir başka referanslama işlemine gerek yoktur.
- Yüksek tekrar edilebilirlik ve doğruluk: Otomatik olarak çalışan CMM cihazları ölçü aletlerinden oluşan hataları en aza düşürmektedir. Bu özelliğiyle tekrar eden ölçümlerinde yüksek doğruluk sağlar.
- CMM cihazı otomatik çalıştığından dolayı, personelin ölçüm cihazı üzerindeki kişisel beceri ve el hissiyatını ortadan kaldırır. Bundan dolayı oluşabilecek insan odaklı hataları ortadan kaldırır.
- Veri kaydetme ve otomatik raporlama yapabilmesiyle data kaybını önler.
- CMM cihazı otomatik olarak çalıştığı ve raporlama özelliği sayesinde kullanıcı kaynaklı gecikmeler azaltılmış ve verimlilik artışı ile zaman tasarrufu yapılmıştır [69].

3.5.2. Koordinat Ölçme Cihazı Çeşitleri

CMM cihazlarının kullanım ihtiyaçlarından doğan farklı çeşitleri bulunmaktadır. Genel olarak gövde tiplerine göre gruplandırılırlar. Hassasiyet, ölçümü yapılacak parçasının geometrisi ve boyutu, cihazın kullanılacağı alanine fiziki özellikleri, sürenin verimli kullanımı ve maliyet cihaz seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken şartlardır.

- Köprü Tipi CMM Cihazı
- Dört Kolonlu Tip CMM Cihazı
- Dirsek Tip CMM Cihazı
- Yatay Kol Tip CMM Cihazı [70].

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. KULLANILAN MALZEME

Yapılan çalışmada, 40x90x1000 mm boyutlarında AA 6063 alüminyum alaşımı T6 halinde ticari olarak temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan AA 6063 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. AA 6063 T6 alaşımının kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşim									
Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
Ağırlıkça (%)	0,52	0,35	0,05	0,1	0,6	0,08	0,1	0,15	Kalan

4.2. YAŞLANDIRMA İŞLEMİ İÇİN NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

Yaşlandırma ısıl işlemi için 5 numune 40x90x140 mm kesilmiştir. Numunelerin solüsyona alma ve yaşlandırma ısıl işlemi PROTHERM PLF 120/27 marka ısıl işlem fırınında gerçekleştirilmiştir. 5 numunenin bir tanesi orjinal malzeme olarak ayrılmış,

Çizelge 4.2. Numuneler için yaşlandırma prosesi ve numunelerin kodlanması.

Numuneler	Numunelerin Kodları
Orjinal malzeme	OM
520°C, 2 saat sonra suda soğutma	520-2S
155 °C, 5 saat yaşlandırma havada soğutma	155-5H
155 °C, 10 saat yaşlandırma havada soğutma	155-10H
155 °C, 18 saat yaşlandırma havada soğutma	155-18H
155 °C, 22 saat yaşlandırma havada soğutma	155-22H

diğerleri 520°C’de 2 saat fırında bekletildikten sonra suda soğutularak solüsyona alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Solüsyona alınan numunelerin 3 tanesi 155 °C’de 5, 10 ve 18 saat yaşlandırma işleminden sonra havada soğutulmuştur. Numneninin kodlanması Çizelge 4.2’de verilmiştir.

4.3. SERTLİK DENEYİ

Deneylede kullanılmak üzere hazırlanan numunelerin sertlik ölçümlerinde SHIMADZU marka mikro sertlik cihazı kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri Hv1 (9,807 N) yük 10 saniye süre ile uygulatarak gerçekleştirilmiştir. Her numuneden 10’ar adet ölçüm yapılmıştır. Yapılan sertlik ölçümlerinin aritmetik ortalamaları hesaplanarak sertlik değerleri tayin edilmiştir. Deneylede kullanılan sertlik ölçüm cihazı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Shimadzu marka sertlik cihazı.

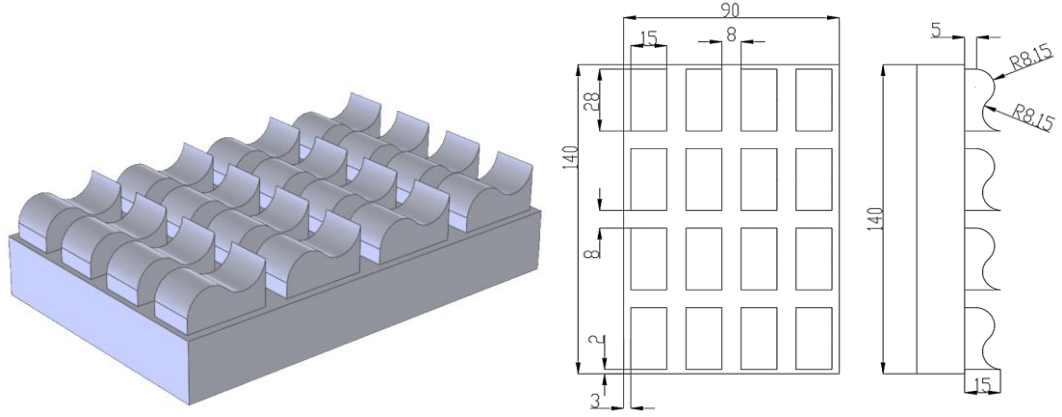
4.4. OPTİK MİKROYAPI İNCELEMELERİ

Farklı orjinal malzeme ve farklı sürelerde yaşlandırılan numuneler mikroyapı incelemeleri için öncelikle soğuk reçine ile kalıba alınmıştır. Numuneler öncelikle 200, 400, 600, 800, 1200, 1500 ve 2500 meşlik su zımparası ile yüzeylerdeki çizikler giderilene kadar parlatılmıştır. Daha sonra numuneler 3 µm ve 1 µm keçe ile parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra numuneler 95 ml saf su, 2,5 ml HNO₃, 1,5 ml HCL ve 1 ml HF Keller çözeltisinde 5 ile 15 saniye arasında tutularak dağlanmışır.

Dağlanan numuneler su ve ardından metanol ile temizlenmiştir. Hazırlanan numunelerin mikroyapıları Nikon Epihot marka optik mikroskopla incelenmiştir.

4.5. NUMUNELERİN TASARIMI VE TAKIM YOLLARININ BELİRLENMESİ

Deney numuneleri 40x90x140 mm kesildikten sonra Şekil 4.2’de görüldüğü gibi Pro Engineer programında tasarımı yapılmıştır. Parça tasarımı literature uygun yapılmıştır [53, 54]. Aynı programda DMG MORİ M1 CNC işleme merkezinde işlemek için takım yolları ve CNC kodları oluşturulmuştur.

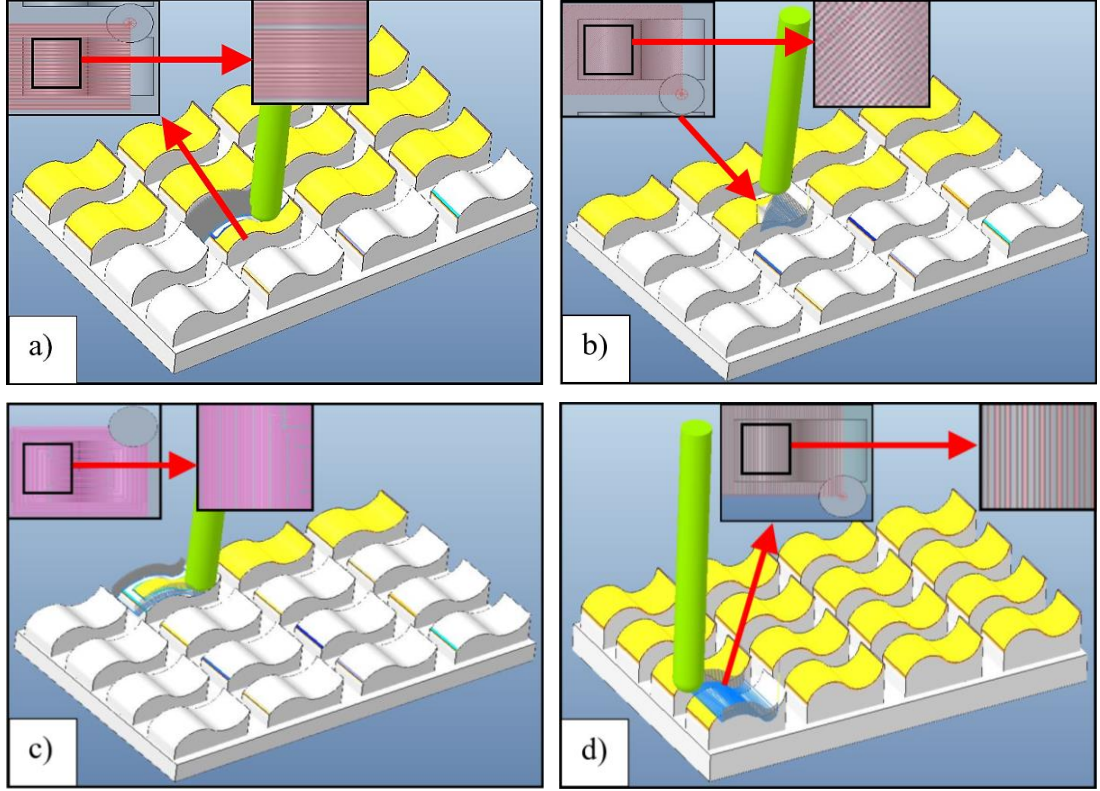


Şekil 4.2. İşleme deneylerinde kullanılacak olan iş parça tasarımı.

İşlemlerde Şekil 4.3’de verilen dört farklı takım yolu seçilmiştir. Bunlar form eksenine paralel, form eksenine 45°, içten dışa spiral ve form eksenine dik olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada takım yolu isimlerinin karışıklık yaratmaması için kodlanmıştır. Bu kodlama Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Takım yolları ve kodlanması.

Takım Yolu	Takım Yolu Kodları
Form eksenine paralel	T1
Form eksenine 45°	T2
İçten dışa spiral	T3
Form eksenine dik	T4



Şekil 4.3. Deneylerde kullanılan takım yolları. a) Form eksenine paralel, b) Form eksenine 45° c) İçten dışa spiral, d) Form eksenine dik.

4.6. CNC FREZE TEZGÂHI

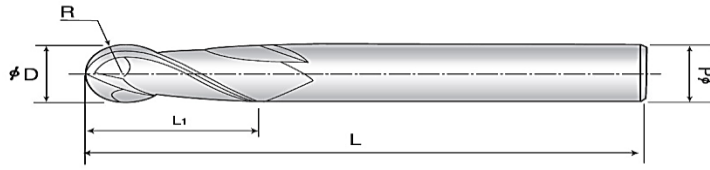
İşleme deneyleri 13 kW güce sahip maksimum 12000 dev/dak çıkabilen simens kontrol üniteye sahip DMG MORİ M1 CNC işleme merkezinde yapılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. CNC tezgahı.

4.7. KESİCİ TAKIM

Yapılan literatür araştırmasında alüminyum malzemeler üzerinde serbest formlu yüzeylerin işlenmesinde küresel uçlu parmak frezelerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Kesici takım olarak yekpare üretilmiş 4BN1000DD022A standarda sahip karbür küresel uca sahip parmak freze seçilmiştir. Parmak frezeyle ait özellikler Şekil 4.5 ve Çizelge 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.5.Karbür parmak freze.

Çizelge 4.4. Karbür parmak freze ölçüleri.

Takım Çapı (d1)	d2	L	L1	Ağız sayısı
10	12	100	26	2

4.8. YÜZEY PÜRÜZLÜĞÜNÜN ÖLÇÜMÜ

İşlenen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin ölçümünde Mitutoyo Surface SJ-210 model yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.5’de ve kullanılan pürüzlülük cihazının görüntüsü Şekil 4.6’de verilmiştir. İşlenen form yüzeylerin 4 farklı noktasından ölçüm yapılarak bu sonuçların aritmetik ortalaması hesaplanarak o yüzeyin pürüzlülük değeri belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Mitutoyo Surface SJ-210 yüzey pürüzlülük cihazı.

Çizelge 4.5. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri.

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

4.9. FORM HATALARININ CMM ÖLÇÜLMESİ

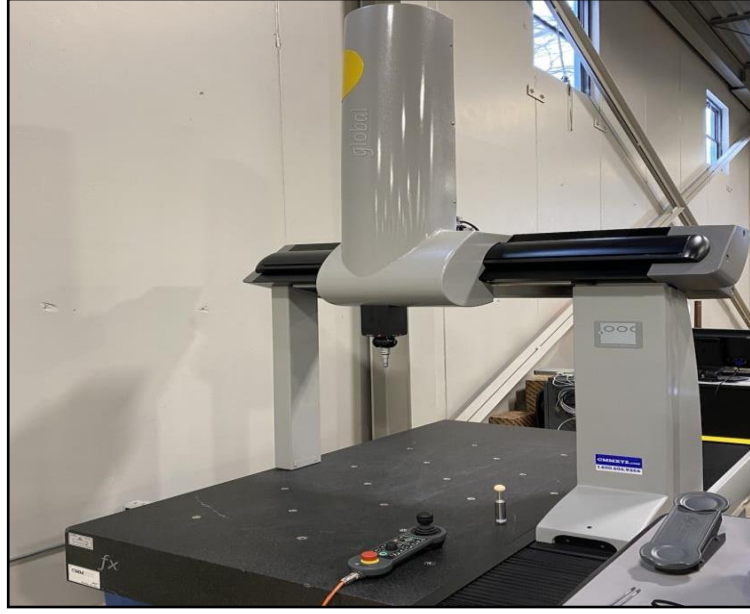
Form hatalarının ölçümünde DEA GLOBAL 12.22.10 marka koordinat ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.7). DEA GLOBAL 12.22.10 marka koordinat ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.6’de verilmiştir

Çizelge 4.6. CMM cihazı teknik özellikleri.

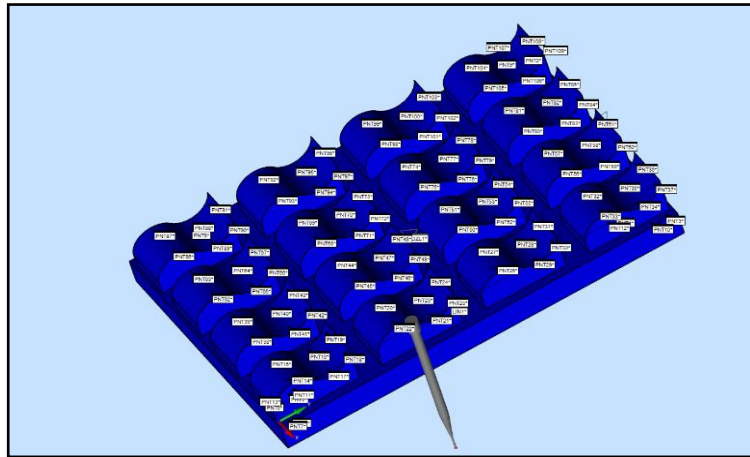
Marka/Model	DEA/GLOBAL 12.22.10
Faydalı Stroklar	X:1200 mm Y:1200 mm Z:1000 mm
Hız	500 mm/s
İvme	1000 mm/s ²
Hacim	
Prob Tipi ve Modeli	Dokunma Tetiklemeli, TESASTAR-m
Yazılım	PC-DMIS CAD++

Form hatalarının ölçümleri sırasında iş parçaları CMM cihazının pleytine çeşitli aparatlarla sabitlenmiştir. Bir sonraki adım iş parçası pleyte sabitlendikten sonra ölçüm işlemine geçilmesidir. Burada iş parçasının katı modeli IGES formatında CMM programında kullanılan PC-DMIS CAD yazılımına yüklenmiştir. Daha sonra ölçme işlemleri sırasında kullanılacak proplar seçilerek kalibrasyonu yapılmıştır. Ardından

numunelerin ölçüleri için gerekli olan referans noktaları alınarak referanslandırılması yapıldı. Bir sonraki aşama ölçümü yapılacak yüzeyler üzerinde unsurları oluşturmak için numune üzerinde unsurları oluşturan yüzeylere dokunarak noktalar belirlenmiştir. Ölçüm sırasında her yüzeyden 6 noktadan ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarının raporları PC-DMIS yazılımında alınmıştır. Ölçümü yapılan iş parçasının görüntüsü Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.7. DEA GLOBAL CMM cihazı.



Şekil 4.8. Ölçü yapılan iş parçası.

4.10. DENEY TASARIMI

Talaşlı imalatla üretilen parçalarda hedef, kısa sürede düşük maliyetli ve yüksek kaliteli ürünlerin üretilmesidir. Bunun için işleme sırasında kullanılan girdi parametrelerinin optimum değerlerinin bulunması gerekir. Bu hedefe ulaşabilmek için Taguchi yöntemi geliştirilen optimizasyon yöntemlerinden biride Taguchi yöntemidir. Taguchi yöntemi deney sayısını önemli ölçüde azaltmak ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerinin en aza indirmek için ortogonal dizinlerden faydalanır. Bu çalışmada AA 6063 T6 numuneleri için kalite özellikleri olarak form hataları ve yüzey pürüzlülüğü olarak belirlenmiştir. Çalışmada dikkate alınacak kesme parametrelerini takım yolu, kesme hızı ve ilerleme miktarı olarak belirlenmiştir. Her numunenin işlenmesinde kullanılacak kesme parametreleri ve seviyeleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Bu çalışmanın amacı form hatalarının ve yüzey pürüzlülüklerinin en aza indirilmesi amaçlandığı için eşitlikte verilen “en küçük en iyi” yaklaşımı kullanılmıştır.

En küçük en iyi: $S/N = -10 \log 1/n (\sum y^2)$

Eşitlikde verilen n yapılan deney sayısını, y ise ölçülen değeri ifade etmektedir. Kesme parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenmesinde ve kesme parametrelerinin etkilerinin analiz etmek için Taguchi L16 ortogonal dizisi seçildi. Ayrıca deneylerde talaş derinliği 0,5 mm ve takımın yanal kayma miktarı 0,3mm alınırken, devir sayısı 0,5 mm kesme derinliği için 10 mm çapında küre parmak frezenin aktif kesme çapı 3,41 mm göre hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Deneylerde kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri.

Sembol	Kesme parametreleri	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
A	Takım Yolu	TY1	TY2	TY3	TY4
B	İlerleme miktarı (mm/diş)	0.04	0.08	0.12	0.16
C	Kesme Hızı (m/dak)	60	75	90	105

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

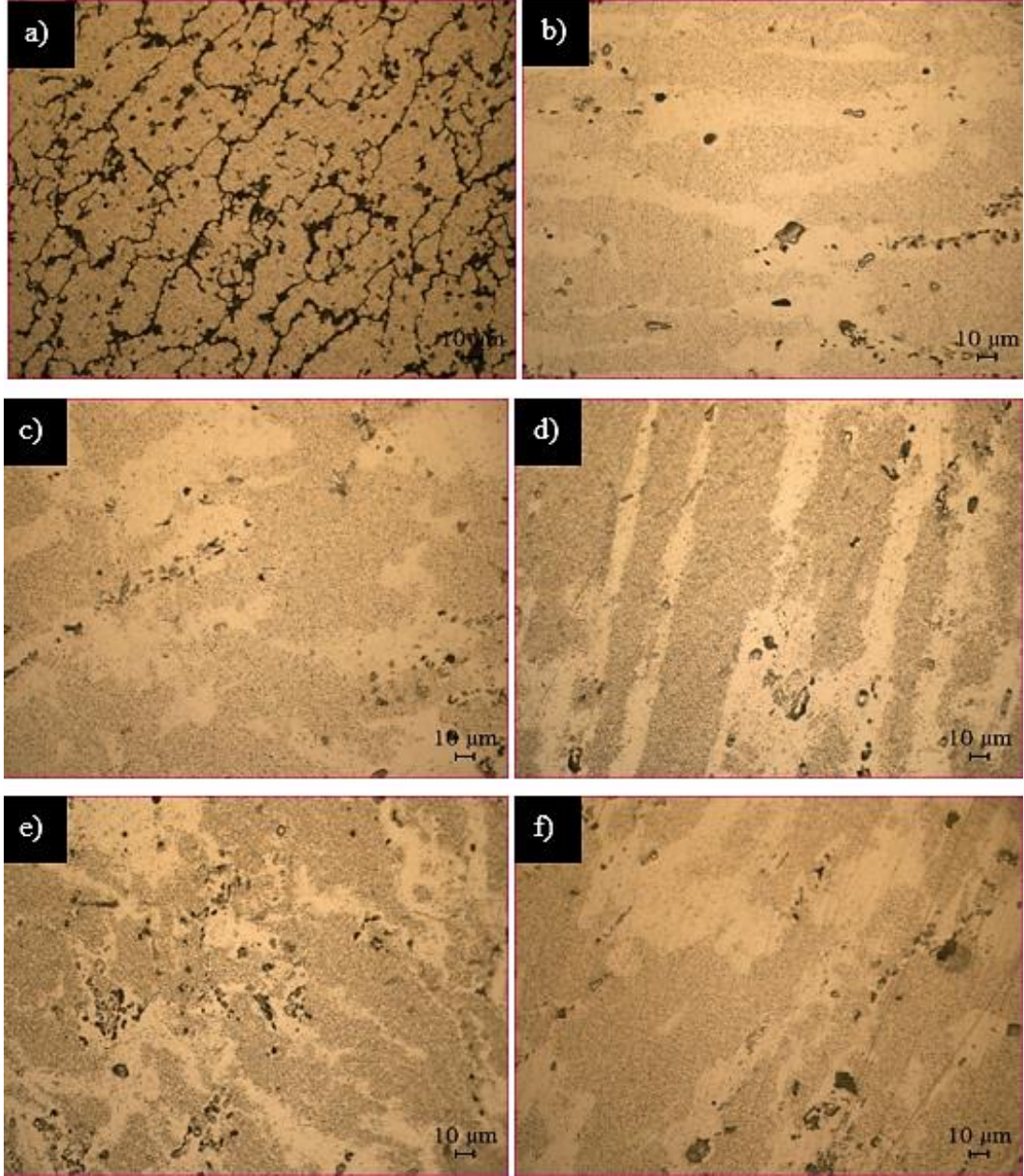
5.1. MİKROYAPININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bu bölümünde, AA 6063 T6 alaşımından hazırlanan OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H yaşlandırma işlemi sonrası numunelerin mikroyapı değişimleri incelenmiştir. Numunelere ait mikroyapı görüntüleri Şekil 5.1'de verilmiştir.

Şekil 5.1 a'da AA 6063 T6 çözeltili ısıl işlemi görmüş ve suni olarak yaşlanmış orjinal malzemenin mikroyapısı incelendiğinde, tanelerin yapı içerisinde homojen olarak dağıldığı görülmektedir. 520-2S numuneye ait mikroyapısı Şekil 5.1 b'de verilmiştir. 520-2S numuneye ait mikroyapı incelendiğinde OM'nin mikroyapısında bulunan çökeltilerin çözünerek doymuş yapıların oluştuğu görülmektedir. Ayrıca 520-2S numuneye ait mikroyapısı OM'nin mikroyapısına göre daha kaba taneli yapıların oluştuğu görülmektedir. 520-2S numunesinde çözeltilerin çözülmesi ve kaba tanelerin oluşması dislokasyon hareketini kolaylaştırmaktadır. Bu durum malzemenin dayanımının azalmasına neden olur [55].

Şekil 5.1 c-d-e'de 155-5H, 155-10H, 155-18H numunelerine ait numunelerin mikroyapıları verilmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde yaşlandırma süresinin artışına bağlı özellikle 155-18H numunesinde çökelti miktarının arttığı görülmektedir. Ayrıca yaşlandırma süresinin artması ile daha homojen bir yapının oluştuğu görülmektedir. 155-18H numunesinde mikroyapıdaki görülen küçük ve orta büyüklükteki çökeltilerin homojen olarak dağılmasıyla numunenin dayanımının artmasında önemli bir role sahip olduğu bildirilmiştir [56,57].

Şekil 5.1 f'de 155-22H numunesine ait mikroyapıya bakıldığında, yaşlandırma süresinin artması ile tane boyutunun tekrar arttığı ve tane sınırlarının daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Tane boyutunun artması sertliğin azalmasına neden olduğu yapılan literatür araştırması ile paralellik göstermektedir [58].



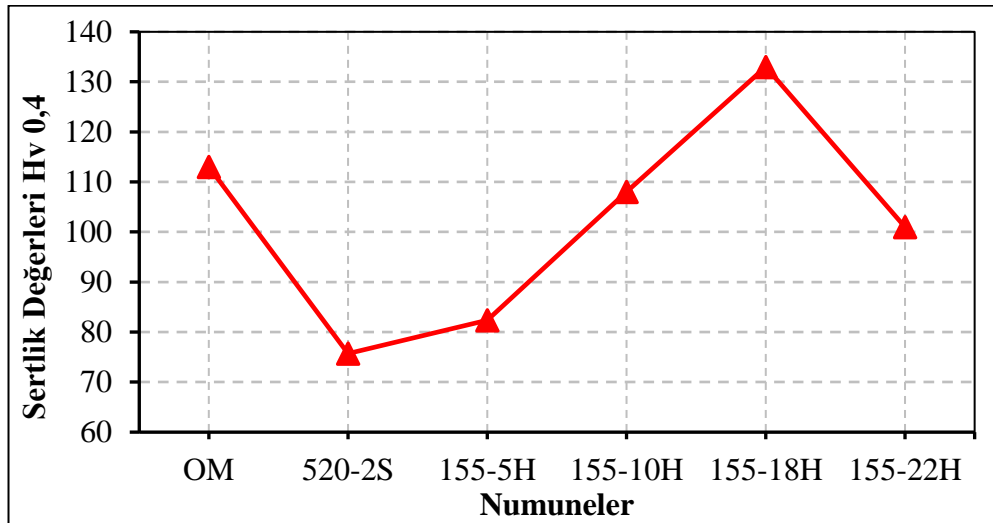
Şekil 5.1. AA 6063 T6 alüminyum alaşımına ait numunelerin mikroyapı görüntüleri; a) OM, b) 520-2S, c) 155-5H, d) 155-10H, e) 155-18H ve f) 155-22H

5.2. SERTLİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Al 6063 T6 malzemesine ait OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numunelerden Vickers (Hv1) yöntemi ile ölçülen sertlik değerleri Şekil 5.2’de verilmiştir.

Deneylerde kullanılan OM numunesinin sertliği 113 Hv1 ölçülmüştür (Şekil 5.2). solüsyona alınan 520-2S numunesinin sertliği %33’lük azalma ile 75.7 Hv olmuştur. OM numunesine göre solüsyona alınan 520-2S numunesinin sertliğindeki bu azalma solüsyona alma işleminde OM’nin çözünmesine bağlı sertliğin azalacağı bildirilmiştir [59]. Daha sonra 155-5H, 155-10H ve 155-18H numunelerinde yaşlandırma süresinin artmasına paralel sertlik değerlerinde artış gözlenmiştir.

En yüksek sertlik 155-18H yaşlandırılan numunede 133 Hv1 sertlik değeri ölçülmüştür. Sertlikteki bu artış difüzyon destekli mekanizma ve 520 °C’de solüsyona alma işleminden sonra malzemede aşırı boşluk konsantrasyonuna sahip olacağından, safsızlık atomları, yani ikinci fazın yabancı partikülü tarafından dislokasyon hareketinin engellenmesi ile açıklanabilir. Yaşlandırma süresinin ve sıcaklığın artması ile GP (Guinier-Preston) bölgesinde yoğunluğun artması ile kafeslerdeki düzensizlik derecesi Al alaşımının mekanik özelliklerinde bir artışa neden olacağı ifade edilmiştir [60].



Şekil 5.2. Al 6063 T6 malzemesine ait numunelerin sertlik sonuçları.

En yüksek yaşlandırma süresine sahip 155-22H numunesinde sertliğin 101 Hv1 olmuştur. Yaşlandırma süresinin artması ile mikroyapıda çökeltilerin birbirleriyle etkileşime girerek çökelti sayısında azalma ve boyutunda artış olacağı bildirilmiştir [61,62]. Buna bağlı olarak çökelti boyutundaki artışa bağlı dislokasyon hareketleri engellenemez ve sertlikte düşüşe neden olacağı ifade edilmiştir [59].

5.3. FORM HATASININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU

Yapılan çalışmanın bu bölümünde yaşlandırma işlemi uygulanan Al 6063 alaşımına ait numunelerin işlenmesi sonucu elde edilen yüzeyler üzerinden yapılan form hatalarının takım yolu kesme hızı ve ilerleme miktarına göre her numune için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Daha sonra numuneler kendi aralarında genel bir değerlendirme yapılmıştır.

5.3.1. S/N Oranlarının Analizi

AA 6063 T6 malzemesine ait OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numunelerinin form hata değerleri ve S/N oranları sıra ile Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de görülmektedir. S/N oranlarının hesaplanmasında “en küçük en iyi” yaklaşımı kullanılmıştır.

OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucu elde edile form hatası değerlerinin ortalamaları sırası ile 0,026 mm, 0,095 mm, 0,079 mm, 0,039 mm, 0,017 mm ve 0,057 mm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numunelere ait S/N oranlarının ortalama değeri sırası ile 31,947 dB, 20,745 dB, 22,357 dB, 28,347 dB, 35,456 dB ve 25,232 dB olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Al 6063 T6 numunelerine ait form hata değerleri.

Deney No	Form Hataları					
	OM	520-2S	155-5H	155-10H	155-18H	155-22H
1	0,028	0,101	0,085	0,043	0,019	0,062
2	0,031	0,111	0,091	0,046	0,02	0,065
3	0,032	0,114	0,095	0,047	0,021	0,068
4	0,033	0,12	0,099	0,049	0,022	0,071
5	0,021	0,082	0,067	0,034	0,015	0,049
6	0,027	0,099	0,083	0,042	0,019	0,061
7	0,026	0,094	0,079	0,039	0,016	0,056
8	0,031	0,116	0,095	0,047	0,021	0,067
9	0,017	0,062	0,052	0,026	0,012	0,036
10	0,019	0,069	0,056	0,028	0,013	0,041
11	0,03	0,109	0,091	0,045	0,021	0,065
12	0,032	0,117	0,096	0,048	0,02	0,069
13	0,012	0,04	0,034	0,018	0,008	0,024
14	0,019	0,07	0,059	0,029	0,012	0,042
15	0,026	0,094	0,077	0,039	0,017	0,056
16	0,036	0,13	0,109	0,055	0,024	0,08

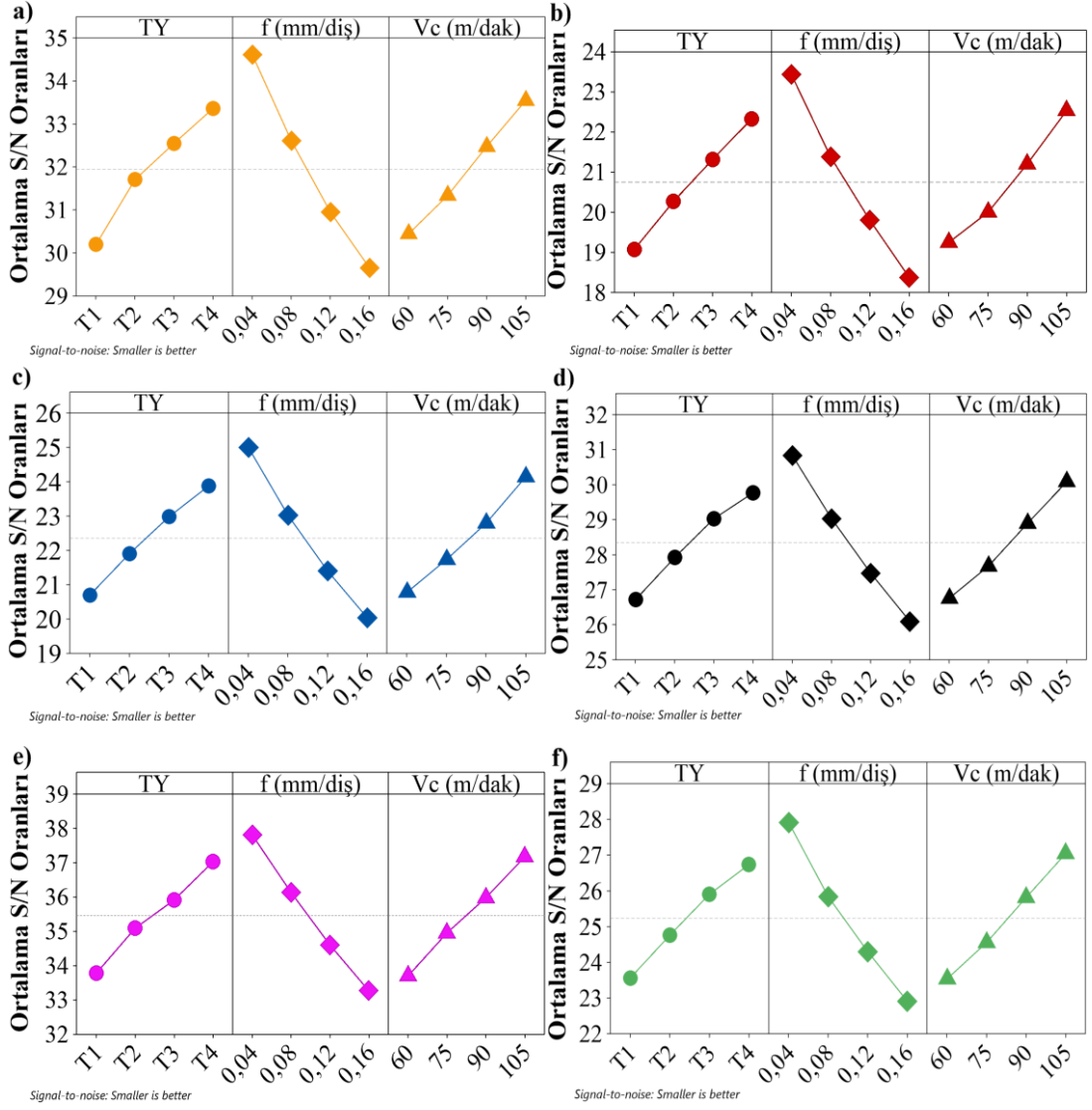
Çizelge 5.2. Al 6063 T6 numunelerine ait form hataları için S/N oranları.

Form Hataları (S/N) Oranları						
Deney No	OM S/N oranı (dB)	520-2S S/N oranı (dB)	155-5H S/N oranı (dB)	155-10H S/N oranı (dB)	155-18H S/N oranı (dB)	155-22H S/N oranı (dB)
1	31,057	19,914	21,412	27,331	34,425	24,152
2	30,173	19,094	20,819	26,745	33,979	23,742
3	29,897	18,862	20,446	26,558	33,556	23,350
4	29,630	18,416	20,087	26,196	33,152	22,975
5	33,556	21,724	23,479	29,370	36,478	26,196
6	31,373	20,087	21,618	27,535	34,425	24,293
7	31,701	20,537	22,047	28,179	35,918	25,036
8	30,173	18,711	20,446	26,558	33,556	23,479
9	35,391	24,152	25,680	31,701	38,416	28,874
10	34,425	23,223	25,036	31,057	37,721	27,744
11	30,458	19,251	20,819	26,936	33,556	23,742
12	29,897	18,636	20,355	26,375	33,979	23,223
13	38,416	27,959	29,370	34,895	41,938	32,396
14	34,425	23,098	24,583	30,752	38,416	27,535
15	31,701	20,537	22,270	28,179	35,391	25,036
16	28,874	17,721	19,251	25,193	32,396	21,938

Çizelge 5.3. Al 6063 T6 numunelerine ait form hatası için S/N yanıt tablosu.

Kontrol Faktörleri						
	A	B	C	A	B	C
	OM Numune			520-2S Numune		
Seviye 1	30,19	34,60	30,44	19,07	23,44	19,24
Seviye 2	31,70	32,60	31,33	20,26	21,38	20,00
Seviye 3	32,54	30,94	32,47	21,32	19,80	21,21
Seviye 4	33,35	29,64	33,54	22,33	18,37	22,53
Delta	3,16	4,96	3,10	3,26	5,07	3,29
	A	B	C	A	B	C
	155-5H Numune			155-10H Numune		
Seviye 1	20,69	24,99	20,78	26,71	30,82	26,75
Seviye 2	21,90	23,01	21,73	27,91	29,02	27,67
Seviye 3	22,97	21,40	22,79	29,02	27,46	28,89
Seviye 4	23,87	20,03	24,14	29,75	26,08	30,08
Delta	3,18	4,95	3,36	3,05	4,74	3,33
	A	B	C	A	B	C
	155-18H Numune			155-22H Numune		
Seviye 1	33,78	37,81	33,70	23,55	27,90	23,53
Seviye 2	35,09	36,14	34,96	24,75	25,83	24,55
Seviye 3	35,92	34,60	35,99	25,90	24,29	25,81
Seviye 4	37,04	33,27	37,18	26,73	22,90	27,04
Delta	3,26	4,54	3,48	3,17	5,00	3,51

Her bir kesme parametrelerinin form hatası üzerine analizinde S/N yanıt tablosu kullanılmış ve Çizelge 5.3’de S/N yanıt tablosu verilmiştir. Bu çizelgede her numune için optimum yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin optimum seviyeleri görülmektedir. Numunelerin form hatası değerleri için kesme parametrelerinin seviyeleri Çizelge 5.3’de verilmiş ve bu değerlere ait grafikler Şekil 5.3’de sunulmuştur.



Şekil 5.3. Form hatası için kontrol faktörlerinin S/N oranları ana etki grafiği. a) OM, b) 520-2S, c)155-5H, d)155-10H, e)155-18H, f)155-22H

Bütün kesme parametreleri için en iyi seviye o kesme parametesinin tüm seviyelerindeki en büyük S/N oranına göre belirlenmiştir. Buna göre Çizelge 5.3 ve Şekil 5.3'e bakıldığında yaşlandırma işlemi uyulanan Al 6063 alaşımına ait OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numuneler için optimum form hatası değerini veren kesme parametreleri için seviyeler A4, B1, C4 seviyelerine ulaşılmıştır. Takım yolu 4 (A4), 0,04 mm/diş ilerleme miktarı (B1), 105 m/dak kesme hızı (C4) olarak elde edilmiştir.

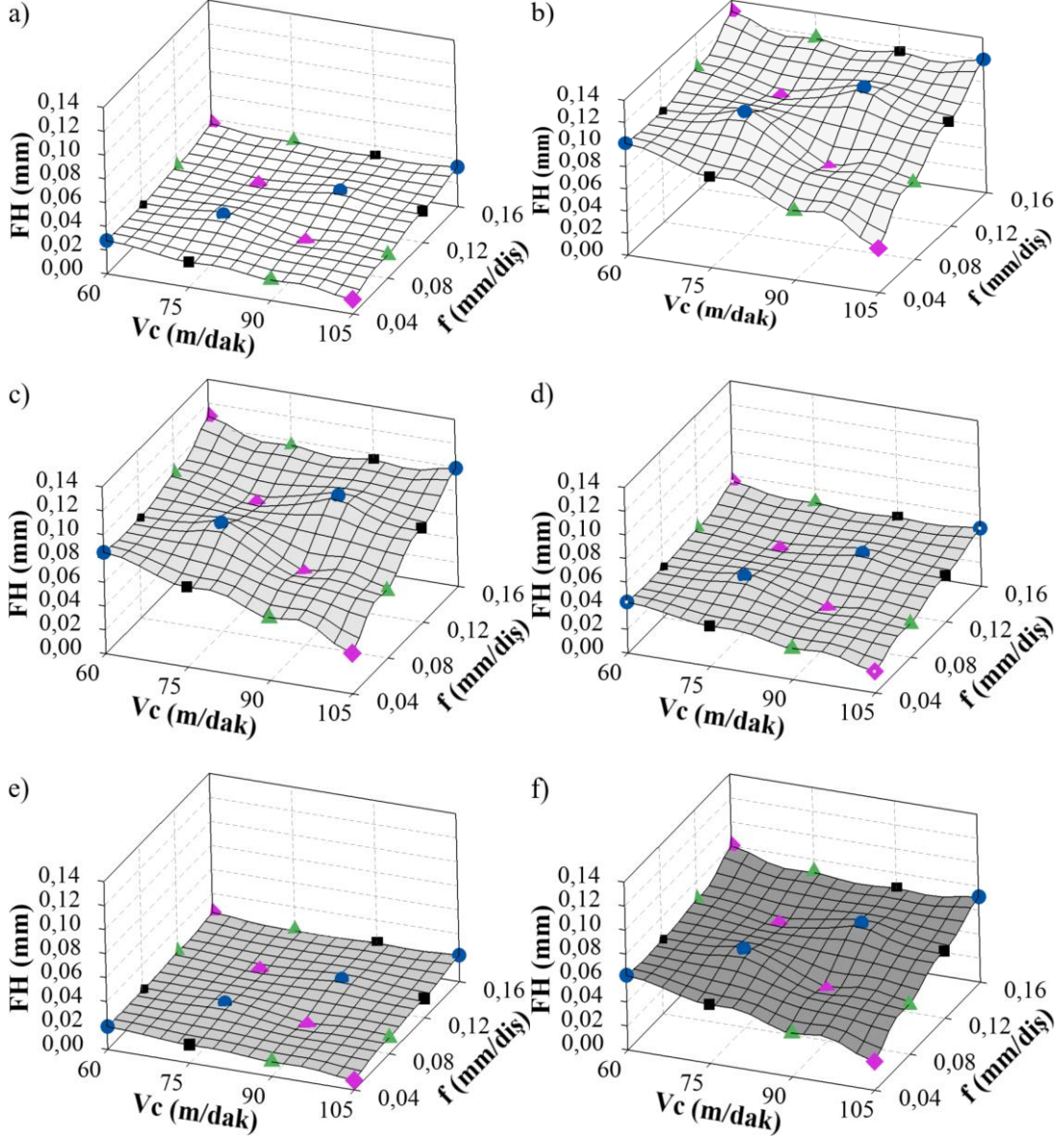
5.3.2. Form Hatası Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

AA 6063 T6 malzemesine ait OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numunelerin farkı takım yolları ve kesme parametrelerinde işlenmesi sonucu elde edilen form hatası değişimleri Şekil 5.4'de verilmiştir.

Yapılan çalışma sonucu bütün kesme parametrelerinde elde edilen form hataları 0,008 mm ile 0,13 mm arasında değiştiği görülmüştür. Şekil 5.4 a'da 113 Hv1 sertliğe sahip OM'nin T4 takım yolu, 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve 105 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucu en düşük form hatası 0,012 mm ölçülmüştür. Ancak aynı takım yolunda ilerleme miktarını 0,16 mm/diş çıkarılmasıyla ve kesme hızının 60 m/dak düşürülmesiyle form hatası %200'lük artışla 0,036 mm olmuştur. Şekil 5.4 b'de Solüsyona alma işlemi uygulanan 520-2S numunesinin sertliği ortalama %27 (75,7 Hv1)'lik azalma olduğu görülmüştür. Sertlikteki bu azalma 520-2S numunesi için T4 takım yolu, 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve 105 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucu en düşük form hatası 0,04 mm ölçülmüştür. Bu değer diğer numuneler arasında ölçülen en düşük form hataları arasında maksimum olanıdır. Aynı numune için T4 takım yolunda ilerleme miktarını 0,16 mm/diş çıkarılmasıyla ve kesme hızının 60 m/dak düşürülmesiyle form hatası 0,13 mm ile yapılan deneyler arasında maksimum form hatası değerine ulaşılmıştır. Yaşlandırma süresinin artması ile sertliği artan 155-5H ve 155-10H numuneler için form hatasının azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür. Şekil 5.4 e'de dikkat çeken en önemli nokta 18 saat yaşlandırma işlemi sonrası sertliği 133 Hv1 olan 155-18H numunesinin T4 takım yolu, 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve 105 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucu en düşük form hatası 0,008 mm ölçülmüştür. Bu değer bütün numuneler ve deneylerde elde edilen en düşük form hatasıdır. Yaşlandırma süresinin artırılması sonucu sertliğin azalarak 133 Hv1 olan 155-22H numunesinde form hatasının tekrar arttığı tesbit edilmiştir.

Yapılan çalışmada bütün numuneler için kesme hızının artması ile form hatasının azaldığı, ilerleme miktarının artmasıyla da form hatasının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca bütün numuneler için takım yolunun form hatasına etkisi değerlendirecek olursak, form eksenine dik işleme stratejisine sahip takım yolunda minimum form hatası elde

edilirken, form eksenine paralel işleme stratejisine sahip takım yolunda maksimum form hatası görülmüştür.



Şekil 5.4. AA 6063 T6 alaşımına ait numuneler için kesme parametrelerine göre Form hatasının değişimi. a) OM, b) 520-2S, c)155-5H, d)155-10H, e)155-18H, f)155-22H.

Yapılan çalışmada form hatası ölçümleri sırasında dikkat çeken diğer bir nokta takımın form üzerinde bulunan rampaları tırmandığı yerlerde maksimum form hatalarının ölçüldüğü tesbit edilmiştir.

Form hatası sonuçlarını etkileyen durumlar genel olarak değerlendirecek olursak; alüminyumun sertliğinin artması ile işlenebilirliğin iyileştiği bilinen bir durumdur. Düşük sertliğe sahip alüminyumların sünekliğinin yüksek olması işleme sırasında kesici takım üzerine yapışma eğilimi artmaktadır. Bununda form hatalarını artıracakı düşünülmektedir. Kesme hızının artması ve ilerleme miktarının azalması ile kesme anında meydana gelen kesme kuvvetleri literatürde bildirilmiştir. Ayrıca bu durum takım sehiminde azalmasına neden olmaktadır. Bu durum form hatasının azalmasının nedeni olarak düşünebiliriz.

5.3.3. Varyans Analizi (Anova)

Kesme parametrelerinin birbirleri ile etkileşiminin belirlemek amacıyla Varyans Analizi (Anova) yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada, OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numunelerinin işlenmesinde form hatası üzerine takım yolunun, kesme hızı ve ilerleme miktarının etkilerini analiz etmek için ANOVA kullanılmıştır. Çizelge 5.4'de form hatası için elde edilen ANOVA sonuçları görülmektedir. ANOVA analizleri %90 güven seviyesinde yapılmıştır. Çizelge 5.4'deki P değeri 0.05'den küçük olduğunda kesme parametrelerinin form hatası üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edilmektedir. OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numuneleri için ölçülen form hatası üzerine en etkin kesme parametresi sırası ile %58,61, %58,39, %57,30, %55,15, %51,18 ve %55,31 ile ilerleme miktarının olduğu tesbit edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarında form hatası için ortalama hata yüzdesi oldukça düşüktür. Form hatası için ortalama form hatası %0,606 bulunmuştur. Bu sonuç yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçları doğrular niteliktedir.

Çizelge 5.4. Al 6063 T6 alaşımına ait form hatası için Anova tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
OM Numune						
TY	3	0,000139	0,000046	23,08	0,001	20,04
f (mm/diş)	3	0,000405	0,000135	67,50	0,000	58,61
Vc (m/dak)	3	0,000135	0,000045	22,58	0,001	19,61
Hata	6	0,000012	0,000002			1,74
Toplam	15	0,000691				100
520-2S Numune						
TY	3	0,001777	0,000592	22,63	0,001	19,26
f (mm/diş)	3	0,005385	0,001795	68,60	0,000	58,39
Vc (m/dak)	3	0,001904	0,000634	24,25	0,001	20,64
Hata	6	0,000157	0,000026			1,70
Toplam	15	0,009222				100
155-5H Numune						
TY	3	0,001197	0,000399	20,37	0,002	19,08
f (mm/diş)	3	0,003594	0,001198	61,17	0,000	57,30
Vc (m/dak)	3	0,001363	0,000454	23,21	0,001	21,74
Hata	6	0,000117	0,000020			1,87
Toplam	15	0,006271				100
155-10H Numune						
TY	3	0,000288	0,000096	19,96	0,002	18,92
f (mm/diş)	3	0,000840	0,000280	58,19	0,000	55,15
Vc (m/dak)	3	0,000366	0,000122	25,36	0,001	24,04
Hata	6	0,000029	0,000005			1,90
Toplam	15	0,001523				100
155-18H						
TY	3	0,000061	0,000020	18,62	0,002	20,44
f (mm/diş)	3	0,000152	0,000051	46,62	0,000	51,18
Vc (m/dak)	3	0,000077	0,000026	23,85	0,001	26,18
Hata	6	0,000006	0,000001			2,20
Toplam	15	0,000296				100
155-22H						
TY	3	0,000608	0,000203	16,90	0,002	18,24
f (mm/diş)	3	0,001845	0,000615	51,25	0,000	55,31
Vc (m/dak)	3	0,000810	0,000270	22,51	0,001	24,30
Hata	6	0,000072	0,000012			2,16
Toplam	15	0,003336				100

5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU

Bu bölümde yaşlandırma işlemi uyulanan AA 6063 T6 alaşımına ait numunelerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri takım yolu kesme hızı ve ilerleme miktarına

göre her numune için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Daha sonra numuneler kendi aralarında genel bir değerlendirme yapılmıştır.

5.4.1. S/N Oranlarının Analizi

Yaşlandırma işlemi uygulanan AA 6063 T6 alaşımına ait numunelerinin yüzey pürüzlülük değeri ve S/N oranları sırası ile Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6’da verilmiştir. S/N oranlarının hesaplanmasında “en küçük en iyi” yaklaşımı kullanılmıştır.

Yapılan frezeleme deneyleri sonucu OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numunelere ait elde edile yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalamaları sırası ile 1,54 μm , 2,09 μm , 1,98 μm , 1,85 μm , 1,40 μm ve 1,90 μm hesaplanmıştır. Ayrıca OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numunelere ait S/N oranlarının ortalama değeri sırası ile -3,421 dB, -6,114 dB, -5,618 dB, -5,021 dB, -2,574 dB ve -5,279 dB olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5. Al 6063 T6 numunelerine ait yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Deney No	Yüzey Pürüzlülüğü					
	OM	520-2S	155-5H	155-10H	155-18H	155-22H
1	1,69	2,28	2,14	1,99	1,55	2,07
2	1,78	2,44	2,32	2,16	1,61	2,21
3	1,84	2,51	2,35	2,21	1,67	2,28
4	1,91	2,56	2,44	2,29	1,74	2,33
5	1,28	1,77	1,69	1,57	1,17	1,6
6	1,44	1,96	2,11	1,72	1,3	1,78
7	1,61	2,21	1,84	1,91	1,46	2,01
8	1,83	2,51	2,35	2,2	1,66	2,28
9	0,98	1,41	1,31	1,22	0,89	1,28
10	1,09	1,46	1,39	1,31	0,98	1,33
11	1,75	2,34	2,23	2,1	1,58	2,12
12	1,87	2,51	2,39	2,24	1,7	2,29
13	0,74	1,02	0,95	0,88	0,66	0,92
14	1,13	1,54	1,45	1,36	1,03	1,41
15	1,52	2,07	1,94	1,82	1,38	1,87
16	2,14	2,88	2,74	2,57	1,95	2,63

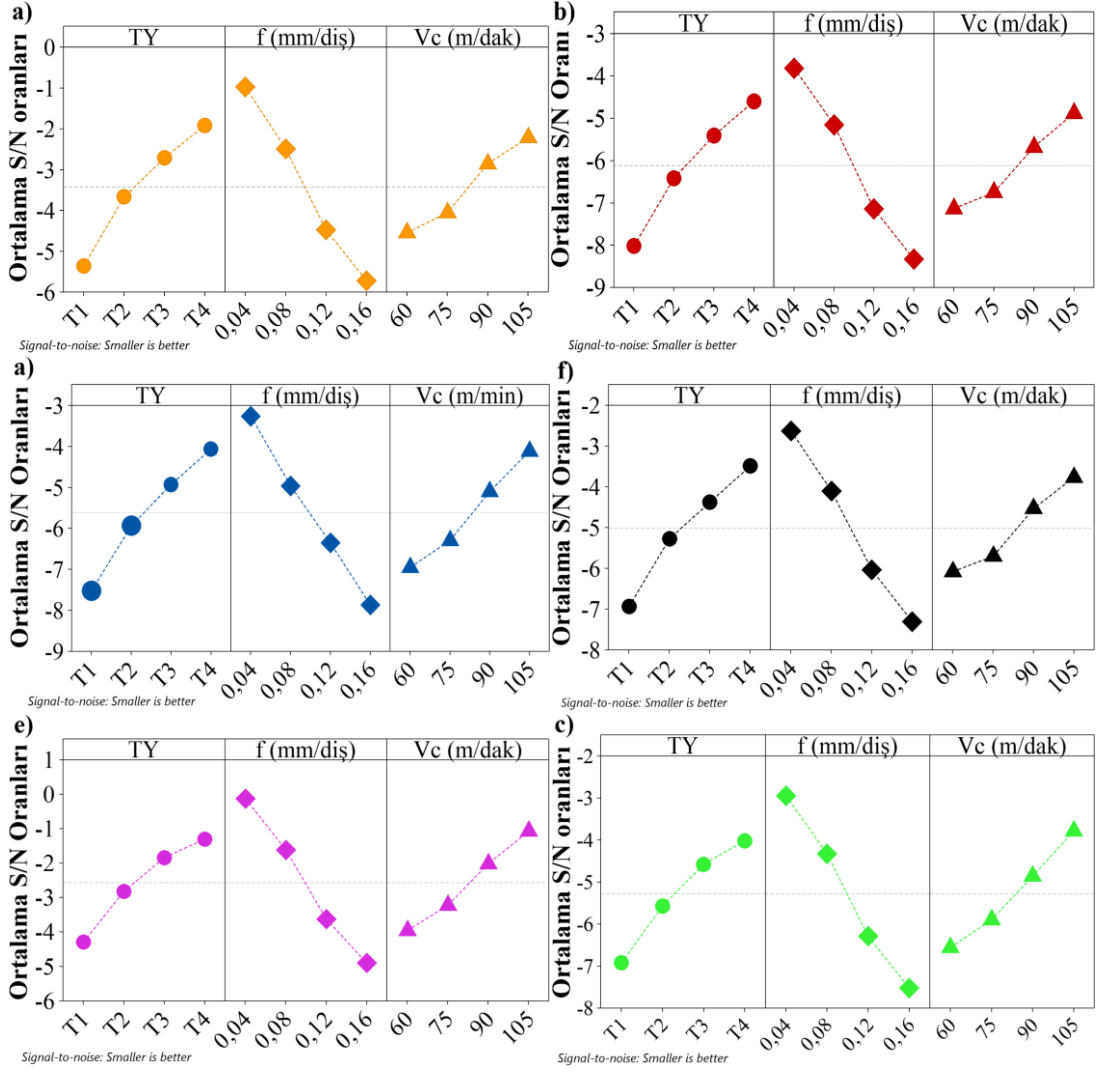
Çizelge 5.6. Al 6063 T6 numunelerine ait yüzey pürüzlülüğü için S/N oranları.

Yüzey Pürüzlülüğü için S/N Oranları						
Deney No	OM S/N oranı (dB)	520-2S S/N oranı (dB)	155-5H S/N oranı (dB)	155-10H S/N oranı (dB)	155-18H S/N oranı (dB)	155-22H S/N oranı (dB)
1	-4,558	-7,159	-6,608	-5,977	-3,807	-6,319
2	-5,008	-7,748	-7,310	-6,689	-4,137	-6,888
3	-5,296	-7,993	-7,421	-6,888	-4,454	-7,159
4	-6,608	-9,188	-8,755	-8,199	-4,811	-7,347
5	-2,144	-4,959	-4,558	-3,918	-1,364	-4,082
6	-3,167	-5,845	-6,486	-4,711	-2,279	-5,008
7	-4,137	-6,888	-5,296	-5,621	-3,287	-6,064
8	-5,249	-7,993	-7,421	-6,848	-4,402	-7,159
9	0,175	-2,984	-2,345	-1,727	1,012	-2,144
10	-0,749	-3,287	-2,860	-2,345	0,175	-2,477
11	-4,861	-7,384	-6,966	-6,444	-3,973	-6,527
12	-5,437	-7,993	-7,568	-7,005	-4,609	-7,197
13	2,615	-0,172	0,446	1,110	3,609	0,724
14	-1,062	-3,750	-3,227	-2,671	-0,257	-2,984
15	-3,637	-6,319	-5,756	-5,201	-2,798	-5,437
16	-5,621	-8,165	-7,748	-7,197	-5,801	-8,399

Her bir kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine analizinde S/N yanıt tablosu kullanılmış ve Çizelge 5.7’de S/N yanıt tablosu verilmiştir. Bu çizelgede her numune için optimum yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin optimum seviyeleri görülmektedir. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri için kesme parametrelerinin seviyeleri Çizelge 5.7’de verilmiş ve bu değerlere ait grafikler Şekil 5.5’de sunulmuştur.

Çizelge 5.7. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu.

Kontrol Faktörleri						
	A	B	C	A	B	C
	OM Numune			520-2S Numune		
Seviye 1	-5,368	-0,978	-4,552	-8,022	-3,819	-7,138
Seviye 2	-3,674	-2,496	-4,057	-6,421	-5,158	-6,755
Seviye 3	-2,718	-4,483	-2,858	-5,412	-7,146	-5,680
Seviye 4	-1,926	-5,729	-2,220	-4,602	-8,335	-4,884
Delta	3,442	4,751	2,332	3,420	4,516	2,255
	A	B	C	A	B	C
	155-5H Numune			155-10H Numune		
Seviye 1	-7,524	-3,266	-6,952	-6,938	-2,628	-6,082
Seviye 2	-5,940	-4,971	-6,298	-5,274	-4,104	-5,703
Seviye 3	-4,935	-6,360	-5,104	-4,380	-6,039	-4,534
Seviye 4	-4,071	-7,873	-4,117	-3,490	-7,312	-3,764
Delta	3,452	4,607	2,835	3,449	4,684	2,319
	A	B	C	A	B	C
	155-18H Numune			155-22H Numune		
Seviye 1	-4,3021	-0,1373	-3,9648	-6,928	-2,955	-6,563
Seviye 2	-2,8330	-1,6242	-3,2267	-5,578	-4,339	-5,901
Seviye 3	-1,8486	-3,6280	-2,0253	-4,586	-6,297	-4,861
Seviye 4	-1,3115	-4,9057	-1,0784	-4,024	-7,525	-3,791
Delta	2,9906	4,7684	2,8865	2,904	4,570	2,772



Şekil 5.5. Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin S/N oranları ana etki grafiği. a) OM, b) 520-2S, c)155-5H, d)155-10H, e)155-18H, f)155-22H.

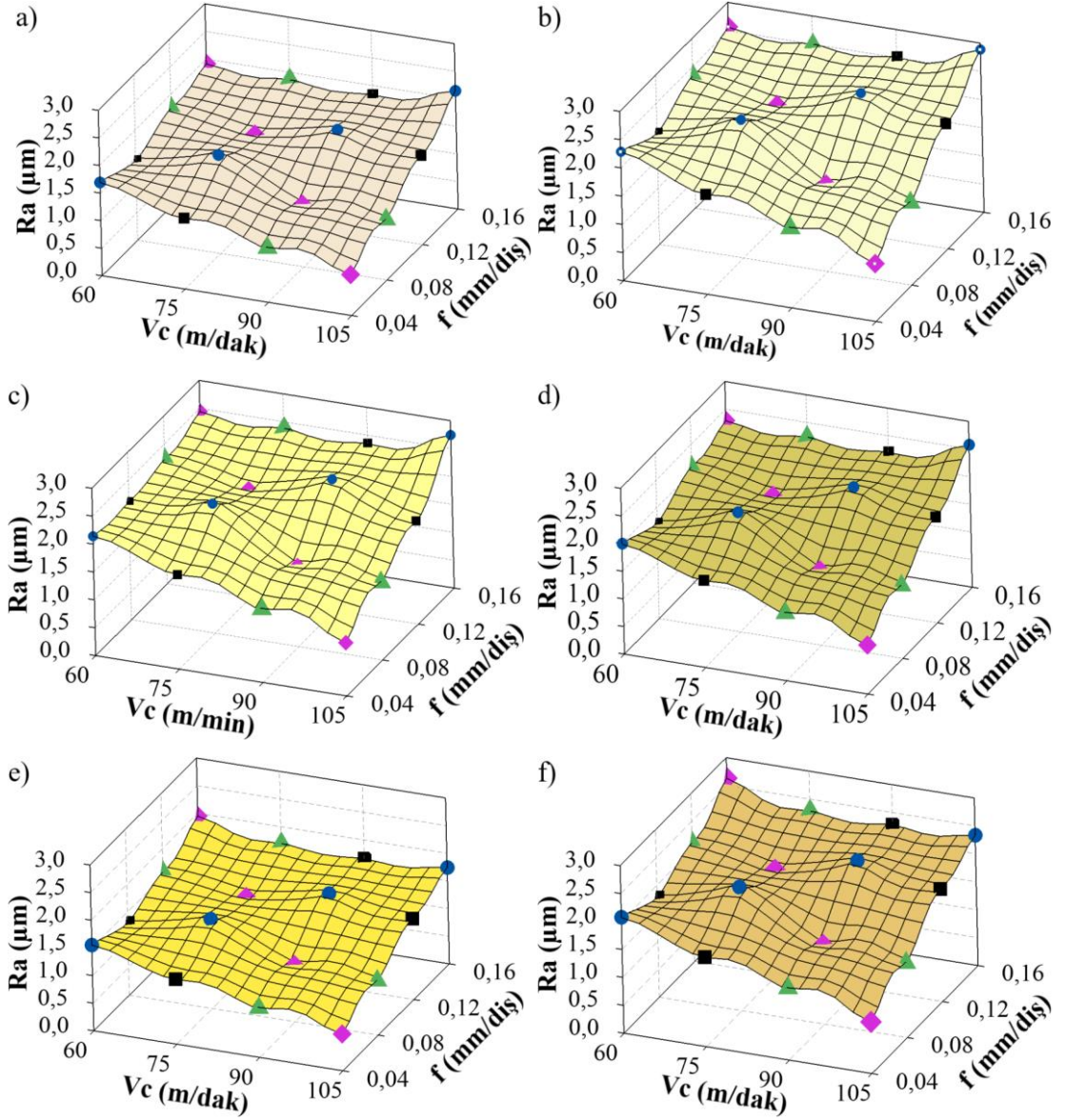
Şekil 5.5’de yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin S/N oranı ana etki grafiği verilmiştir. Bütün kesme parametreleri için en iyi seviye o kesme parametresinin tüm seviyelerindeki en büyük S/N oranına göre belirlenmiştir. Buna göre Çizelge 5.7 ve Şekil 5.5’e bakıldığında yaşılandırma işlemi uyulanan AA 6063 T6 alaşımına ait OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H bütün numuneler için optimum yüzey pürüzlülük değerini veren kesme parametreleri için A4, B1, C4 seviyelerine ulaşılmıştır. Takım yolu 4 (A4), 0,04 mm/diş ilerleme miktarı (B1), 105 m/dak kesme hızı (C4) olarak elde edilmiştir.

5.4.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

AA 6063 T6 malzemesine ait OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numunelerin farklı takım yolları ve kesme parametrelerinde işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüğü değişimleri Şekil 5.6'da verilmiştir.

AA 6063 T6 malzemesine ait OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numunelerin farklı takım yolu ve kesme parametrelerinde işlenmesi sonucu ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri 0,66 μm ile 2,88 μm arasında değişmektedir. Şekil 5.6 a'da 113 Hv 1 sertliğe sahip OM numunesinin T4 takım yolu, 0,04 mm/diş ve 105 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucu yüzey pürüzlülüğü 0,74 μm ölçülmüştür. T4 takım yolunda ilerleme miktarının 0,16 mm/diş'e çıkarılması ve kesme hızının 60 m/dak kadar azaltılması ile yüzey pürüzlülüğü değerinde %189,2'lik artışla 2,14 μm olmuştur. Şekil 5.6 a'de solüsyona alma işlemi sonrası sertliği 75,7 Hv1 düşen 520-2S numunesinin T4 takım yolu, 0,04 mm/diş ve 105 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucu yüzey pürüzlülüğü OM numunesine göre %37,8 oranında artarak 1,02 μm ölçülmüştür. Diğer numunelerde olduğu gibi ilerleme değerinin 0,16 mm/diş ile maksimum değerde ve kesme hızının minimum değerinde bu numune ve yapılan bütün deneyler için de yüzey pürüzlülük değeri 2,88 μm ile maksimum değere ulaşmıştır. Bu noktadan sonra yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak sertliği artan 155-5H ve 155-10H numunelerinin yüzey pürüzlülük değerlerinde düzenli bir azalma görülmüştür. Yaşlanma süresinin 18 saate çıkması ile sertliği 133 Hv1 ile en yüksek değere ulaşan 155-18H numunesinin T4 takım yolu, 0,04 mm/diş ve 105 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucu yüzey pürüzlülüğü bütün değerler arasında 0,66 μm ile en düşük yüzey pürüzlülük değerine ulaşılmıştır. Bu numune için en yüksek yüzey pürüzlülük değeri gene kesme parametrelerinin maksimum olduğu T4 takım yolunda, 0,16 mm/diş ilerleme miktarında ve 60 m/dak kesme hızında 1,95 μm ölçülmüştür. Şekil 5.6 f'de dikkat çeken bir nokta ise yaşlandırma süresinin 22 saate çıkması ile sertliğin 101 Hv1 düşen 155-22H numunesinin işlenmesinde yüzey pürüzlülük değerinde tekrar atma görülmüştür. Örneğin, T4 takım yolu, 0,04 mm/diş ve 105 m/dak kesme hızında işlenmesi ile yüzey pürüzlülül değeri 155-18H numunesine göre ortalama %40'lık bir artış olmuştur. Benzer durum maksimum kesme parametrelerde

(T4, 0,16 mm/diş ve 60 m/dak) yapılan deneylerde de yüzey pürüzlülüğünde ortalama %35'lik artışın olduğu tesbit edilmiştir.



şekil 5.6. AA 6063 T6 alaşımına ait numuneler için kesme parametrelerine göre yüzey pürüzlülüğü değişimi. a) OM, b) 520-2S, c)155-5H, d)155-10H, e)155-18H, f)155-22H.

Sonuç olarak, yapılan çalışmada yaşlandırma işlemi sonrası maksimum sertliğe ulaşan 155-18H numunesinin işlenmesinde minimum yüzey pürüzlülüğü ölçülürken, en düşük sertliğe sahip 155-2S numunesinin işlenmesinde maksimum yüzey pürüzlülüğü

ölçülmüştür. Buda bize AA 6063 T6 alaşımının şalandırma süresine bağlı sertliğin artması yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Kesme parametreleri açısından yüzey pürüzlülüğü değerlendirilecek olursak kesme hızının artması ve ilerleme miktarının azalması yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkilediği tepit edilmiştir. Takım yoluda ise yüzey pürüzlülüğü ölçüm yönü ile aynı yönde işleme yapılan takım yolunda optimum yüzey pürüzlülükleri ölçülürken, yüzey pürüzlülük ölçüm yönüne dik yönde işleme yapılan takım yolunda da maksimum yüzey pürüzlülüğünün olduğu görülmüştür.

5.4.3. Varyans Analizi (ANOVA)

Yaşlandırma işlemi uygulanmış Al 6063 T6 alaşımına ait numunelerin işlenmesi sonucu ulaşılan yüzey pürüzlülüğü için ANOVA sonuçları Çizelge 5.8’de görülmektedir. ANOVA analizleri %90 güven seviyesinde yapılmıştır. Çizelge 5.8’de bütün numuneler için P değeri 0.05’den küçük olduğunda takım yolunun, kesme hızının ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerine belli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Çizelge 5.8’e bakıldığında OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numuneleri için ölçülen yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkin kesme parametresi sırası ile %59,72, %58,59, %53,88, %59,51, %59,07 ve %59,07 ile ilerleme miktarının olduğu tesbit edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarında form hatası için ortalama hata yüzdesi oldukça düşüktür. Form hatası için ortalama form hatası %2,38 bulunmuştur. Bu sonuç yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçları doğrular niteliktedir.

Çizelge 5.8. Al 6063 T6 alaşımına ait yüzey pürüzlülüğü için Anova tablosu.

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
OM Numune						
TY	3	0,65605	0,218683	37,98	0,000	28,39
f (mm/diş)	3	1,38015	0,460050	79,89	0,000	59,72
Vc (m/dak)	3	0,24035	0,080117	13,91	0,004	10,40
Hata	6	0,03455	0,005758			1,49
Toplam	15	2,31110				100
520-2S Numune						
TY	3	1,21222	0,40407	36,27	0,000	30,03
f (mm/diş)	3	2,36467	0,78822	70,76	0,000	58,59
Vc (m/dak)	3	0,39232	0,13077	11,74	0,006	9,72
Hata	6	0,06684	0,01114			1,66
Toplam	15	4,03604				100
155-5H Numune						
TY	3	1,08025	0,360083	78,85	0,000	29,23
f (mm/diş)	3	1,99115	0,663717	145,34	0,000	53,88
Vc (m/dak)	3	0,59690	0,198967	43,57	0,000	16,15
Hata	6	0,02740	0,004567			0,74
Toplam	15	3,69570				100
155-10H Numune						
TY	3	0,93092	0,310306	34,01	0,000	28,52
f (mm/diş)	3	1,94227	0,647423	70,97	0,000	59,51
Vc (m/dak)	3	0,33562	0,111873	12,26	0,006	10,28
Hata	6	0,05474	0,009123			1,68
Toplam	15	3,26354				100
155-18H						
TY	3	0,36967	0,12322	9,40	0,011	19,10
f (mm/diş)	3	1,14317	0,38106	29,07	0,001	59,07
Vc (m/dak)	3	0,34372	0,11457	8,74	0,013	17,76
Hata	6	0,07864	0,01311			4,06
Toplam	15	1,93519				100
155-22H						
TY	3	0,6496	0,21652	8,35	0,015	19,34
f (mm/diş)	3	1,9843	0,66142	25,51	0,001	59,07
Vc (m/dak)	3	0,5699	0,18996	7,33	0,020	16,96
Hata	6	0,1556	0,02593			4,63
Toplam	15	3,3593				100

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, ticari olarak temin edilen AA 6063 T6 alüminyum alaşımına yaşlandırma uygulanarak elde edilen OM, 520-2S, 155-5H, 155-10H, 155-18H ve 155-22H numunelerin mikroyapı ve sertlik incelemeleri yapılmıştır. Daha sonra numunelerin küresel uçlu parmak freze ile farklı takım yolu stratejileri ve kesme parametrelerinde işlenmiştir. Yaşlandırma işlemi uygulanmış numuneler üzerine serbes formlu yüzeylerin işlenmesinde takım yolu stratejileri ve kesme parametrelerinin form hatası ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca takım yolu stratejileri ve kesme parametrelerinin optimum değerlerinin bulunması için Taguchi metodu kullanılmıştır. Deneysel ve istatistiksel olarak yapılan bu çalışmanın sonucunda;

- AA 6063 T6 alüminyum OM numunenin mikroyapısı incelendiğinde, hadde yönünde eş eksenli tanelerin yeniden kristalleştiği, ayrıca çözelti ısıtma işlemi görmüş ve suni olarak yaşlandırma işleminden etkilenmesi sonucu mikroyapıda küçük ikincil faz parçacıkları görülmektedir.
- 520-2S yaşlandırılan numunenin mikroyapısında çökeltilerin çözünerek doymuş yapıların oluştuğu görülmüştür. Ayrıca mikroyapının daha kaba tanelerden oluştuğu görülmüştür.
- Yaşlandırma süresinin artarak 18 saate çıkması ile elde edilen 155-18H numunesinin mikroyapısının çökelti miktarının arttığı ve daha homojen bir yapının oluştuğu görülmektedir.

- Yaşlandırma süresinin 22 saate çıkarılarak elde edilen 155-22H numunesine ait mikroyapı incelemesinde, yaşlandırma süresinin artması ile tane boyutunun arttığı ve tane sınırlarının daha belirgin hale geldiği görülmektedir.
- 520-2S solüsyona alınan numunenin sertliği 71,7 Hv (0,04) ile en düşük değer ölçülürken, 18 saat yaşlandırılarak 155-18H 117,7 Hv (0,04) ile en yüksek sertlik değeri ölçülmüştür.
- En düşük form hatası 155-18H numunesinde 4 nolu takım yolu, 0,04 mm/diş ilerleme miktarı ve 105 m/dak kesme hızında 0,008 mm ölçülmüştür.
- En yüksek form hatası 520-2S numunesinde 4 nolu takım yolu, 0,16 mm/diş ilerleme miktarı ve 60 m/dak kesme hızında 0,13 mm ölçülmüştür.
- En düşük yüzey pürüzlülüğü 155-18H numunesinde 4 nolu takım yolu, 0,04 mm/diş ilerleme miktarı ve 105 m/dak kesme hızında 0,66 μm ölçülmüştür.
- En yüksek yüzey pürüzlülüğü 520-2S numunesinde 4 nolu takım yolu, 0,16 mm/diş ilerleme miktarı ve 60 m/dak kesme hızında 2,88 μm ölçülmüştür.
- Yapılan istatistiksel analiz sonucu form hatası ve yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme parametreleri A4B1C4 yani, 4 nolu takım yolu, 0,04 mm/diş ilerleme miktarı ve 105 m/dak kesme hızı olarak belirlenmiştir.
- Elde edilen sonuçlar ışığında optimum değerlerin elde edildiği 155-18H numunenin ANOVA analizi sonucu form hatası ve yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkin kesme parametresi sırası ile %51,18 ve %59,07 ilerleme miktarı olmuştur.
- Yapılan deneysel ve istatistiksel çalışmanın sonuçlarının birbiri ile örtüştüğü görülmektedir.

6.2. ÖNERİLER

- Yaşlandırma işlemi uygulanan AA 6063 T6 alüminyumun mikroyapı değişimlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için SEM incelemeleri yapılabilir.
- Yaşlandırma işleminin mekanik özellikler üzerine etkilerini değerlendirmek için numunelerinin çekme testleri yapılabilir.
- Form hatalarının daha iyi değerlendirilebilmesi için işleme sırasında meydana gelen takım sehiminin ve kesme kuvvetlerinin incelenmesi yapılabilir.
- Deneylerde kullanılan yüzey pürüzlülük cihazı doğrusal ölçüm kabiliyetine sahip olduğu için yüzey pürüzlülük ölçümleri tek yönde yapılmıştır. Takım yolu stratejisinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerinin daha iyi anlayabilmek için pürüzlülük ölçümleri yüzey profilometre ile incelenebilir.

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”, *CIRPAnnals-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 AISi/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. Nalçacıoğlu, C., "Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen AA7075 alüminyum alaşımlarında T6 ısıl işlem parametrelerinin elektrik iletkenliği ve korozyon özelliklerine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 3-5 (2017).
29. Güner, A. T., "Yarı-katı halde şekil verilmiş alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerine su verme sıcaklığının etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 3-4 (2013).
30. Yalçın, N., Kayır, Y. ve Erkal, S., "AA2024 alüminyum alaşımına uygulanan yaşlanma yöntemlerinin işlenebilirliğe etkisinin taguchi ve anova ile araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 20 (4): 743-751 (2017).
31. Güteryüz, K., "Deformasyon yaşlanmasının AA7075 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 3-11, 36-37 (2011).
32. Gökçe, A., "Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Al-Cu alaşımlarının mekanik özelliklerinin geliştirilmesi", Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 26-28 (2013).
33. Eren, H., "Al-Si alaşımının mekanik özelliklerine magnezyum elementinin etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 3-9, 12, 17 (2017).
34. Fakıoğlu, A., "Yaşlandırılan AA7075 alüminyum alaşımlarının yorulma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 3-4 (2012).
35. Başer, E., "Yaşlandırma parametrelerinin ETİAL-160 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 3-12, 17, 20 (2018).
36. Büyükdoğan, S., "Yaşlandırılan Al-Mg-Si alaşımının aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 3-8, 16, 23-26, 75-76 (2011).

37. Onur, A., "AA6XXX serisi alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemine bağlı olarak işlenebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik, 2-9 (2014).
38. Dilmeç, M., "2024-T4 Alüminyum sacların şekillendirme sınır eğrilerin kalınlığa göre değişimi", Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 6-7 (2012).
39. Dilmeç, M., Tıncır, M. ve Arıkan, H., "Al 2024 alaşımının çökeltme sertleşmesi işlemi koşullarının şekillendirilebilirliğe etkisinin incelenmesi", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30 (1): 231-248 (2015).
40. Avşar, M., "Yaşlandırma parametrelerinin AA6061 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine ve şekillendirmeye olan etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 4, 8, 37, 41 (2011).
41. Delikanlı, Y. E. "Alüminyum alaşımlarında çökeltme sertleşmesinin mekanik özelliklere etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 1-9 (2011).
42. Çakır, A., "AA 7075 ve AA 2024 alüminyum malzemelerine delik delinmesinde soğutma yöntemlerinin işleme performansına etkilerinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-9 (2015).
43. Erkal, S., "AA2024 Alüminyum alaşımlarında yaşlandırma ısıl işlemlerinin mekanik özelliklere ve işlenebilirliğe etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-10, 14-16 (2011).
44. Öcal, M., "T4 ve T6 yaşlandırma işlemleri uygulanmış 2014 alüminyum alaşımının fretting yorulma davranışı üzerine relatif kayma genliğinin etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 9-11, 14, 17-20 (2011).
45. Tufan, M., "AA6082 Alüminyum alaşımlarında yaşlandırma ısıl işleminin işlenebilirliğe ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 5-9, 38 (2011).
46. Patır, A., "AA 2024-B4C Kompozitlerin özelliklerine yaşlandırma parametrelerinin etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 17, 24 27, 85-86 (2014).
47. Çolak, H., "AA 7075 Alüminyum alaşımına uygulanan yaşlandırma işleminin mikroyapı ve bazı mekanik özelliklerine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 5 (2019).

48. Dongre, R. D. and Salunkhe, S., “Study of effect of deformation temperature on 6061 aluminium alloy by thermo mechanical simulation”, *Global Journal of Researches in Engineering: A Mechanical and Mechanics Engineering*, 14: 45-48 (2014).
49. Bayoğlu, S., “Al-Si-Mg Alaşımlarına ilave edilen Cu ve Fe’in mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 9-10 (2015).
50. Lazoğlu, İ., “Sculpture surface machining: a generalized model of ball-end milling force system”, *Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 453- 462 (2003).
51. Milfelner, M. and Cus, F., “Simulation of cutting forces in ball-end milling”, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 19: 99-106 (2003).
52. Çakır M. C., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları*, 525, (1999).
53. Yaka, H., Demir, H., Gök. A., “Optimization of the cutting parameters affecting the surface roughness on free form surfaces”, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 35: 323-331 (2017).
54. Yaka, H., “Serbest formlu yüzeyleerde form hataları ve yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 38-42, 106 (2018).
55. Fujda, M., Mısıcko, R., Rusnakova, L., and Sojko, M., “Effect of solution annealing temperature on structure and mechanical properties of EN AW 2024 aluminium alloy”, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 17 (1): 35-40 (2007).
56. Alexopoulos, N. D., Velonaki Z., Stergiou, C. I. and Kourkoulis S. K., “Effect of ageing on precipitation kinetics, tensile and work hardening behavior of Al-Cu-Mg (2024) alloy”, *Mater. Sci. Eng. A*, 700: 457-467 (2017).
57. Koç, F. G., “AA7075 Alüminyum alaşımına ısıl işlem parametrelerinin endüstriyel koşullarda optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 5-6, 28, 71 (2019).
58. Meyveci, A., “Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 9, 12-13, 18-27, 52-53 (2007).
59. Coşkun, A., “Yaşlandırılan AA 2024 alüminyum alaşımının soğuk, ılık ve sıcak deformasyon kabiliyetinin incelenmesi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 38-41 (2020).
60. Demir, H., Gündüz, S., “The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy”, *Mater. Des.*, 30(5): 1480-1483 (2009).

61. Zhao, Y. L., Yang, Z. Q., Zhang, Z., Su, G. Y. and Ma, X. L., “Double-peak age strengthening of cold-worked 2024 aluminum alloy”, *Acta Materialia*, 61:1624-1638 (2013).
62. Tafti, M. F., Sedighi, M. and Hashemi, R., “Effects of natural ageing treatment on mechanical, microstructural and forming properties of Al 2024 aluminum alloy sheets”, *Iranian J. of Mater. Sci. Eng.*, 15 (4): 1-10 (2018).

ÖZGEÇMİŞ

Yavuz ÇODUR ilk ve orta öğrenimini Düzce’de tamamladı. Düzce Anadolu Teknik, Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Makine Ressamlığı Bölümünü bitirdi. Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği Bölümü’nden 2016 yılında mezun oldu Aralık 2016 ve Ağustos 2018 yılları arası Çelebi Kalıp makine A.Ş’ de CAM sorumlusu olarak çalıştı. 2019 ve 2020 yılları arası Düzce Özel Mimar Sinan Teknoloji Kolejinde Makine öğretmenliği görevi yaptı. Mart 2021 tarihinde Sarsılmaz Silah Sanayinde CAD/CAM uzmanı olarak başladığı görevi halen devam etmektedir.