

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI**

**EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ
AlSi10Mg ALAŞIMININ YÜZEY KALİTESİ VE AŞINMA
ÖZELLİKLERİNİN EZEREK PARLATMA YÖNTEMİYLE
İYİLEŞTİRİLMESİ**

**Hazırlayan
Gözde ÜLKÜ BAŞSOY**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÇELİK**

Yüksek Lisans Tezi

**Ağustos 2024
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI**

**EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ
AlSi10Mg ALAŞIMININ YÜZEY KALİTESİ VE AŞINMA
ÖZELLİKLERİNİN EZEREK PARLATMA YÖNTEMİYLE
İYİLEŞTİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Gözde ÜLKÜ BAŞSOY**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÇELİK**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FYL-2023-12464 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Ağustos 2024
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Gözde ÜLKÜ BAŞSOY

İmza

“Eklemeli İmalat Yöntemi ile Üretilmiş AlSi10Mg Alaşımının Yüzey Kalitesi ve Aşınma Özelliklerinin Ezerek Parlatma Yöntemiyle İyileştirilmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Gözde ÜLKÜ BAŞSOY

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÇELİK

Sivil Havacılık ABD Başkanı

Doç. Dr. Veysel ERTURUN

TEŞEKKÜR

Çalışmamda bana yön gösteren, destekleyen, emeklerini esirgemeyen tez danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel süreçte aşınma testlerinde bilgisini esirgemediği nezaket ve işbirliği için sayın Doç. Dr. Rıdvan GECÜ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca derslerine girdiğim, bilgileriyle yol gösteren tüm hocalarıma ve çalışmamı destekleyen BAP Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini benden hiç esirgemeyen, beni yüreklendiren babam ve teyzeme ve her zaman yanımda olan, sevgileri ile beni yücelten eşim ve oğluma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2023-12464 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Gözde ÜLKÜ BAŞSOY

Ağustos 2024, KAYSERİ

EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ AISi10Mg ALAŞIMININ YÜZEY KALİTESİ VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN EZEREK PARLATMA YÖNTEMİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Gözde ÜLKÜ BAŞSOY

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2024
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÇELİK

ÖZET

Gelişen teknoloji, üretim süreçlerinde bazı köklü değişiklikleri beraberinde getirmiştir. Bu değişikliklerden biri de talaşlı imalata dayalı geleneksel üretim yöntemlerinin yerini eklemeli imalat teknolojisinin almasıdır. Devrim niteliğinde bir teknoloji olmasına rağmen, eklemeli imalat yöntemiyle üretilen ürünlerin yüzey kalitesi, hem yöntemin devam eden gelişim süreci hem de tekniğin doğası gereği beklentileri karşılamamaktadır. Bu nedenle eklemeli olarak üretilen parçaların yüzeylerinin ikincil bir işlem uygulanarak iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, eklemeli olarak üretilen AISi10Mg ezerek parlatma işlemine tabi tutularak, işlemin yüzey kalitesi ve aşınma direncine etkileri araştırılmıştır. Parlatma kuvveti, paso sayısı ve takım yolu tipi parametreleri 3 farklı seviyede değiştirilerek bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü iyileştirme oranı ve aşınma dayanımına etkileri belirlenmiştir.

Sonuç olarak ezerek parlatma yönteminin tüm numunelerin yüzey kalitesini iyileştirdiği ve yüzey pürüzlülük değerlerinde %75,26 ve %81,58 oranında iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

Aşınma dayanımları açısından ezerek parlatma işleminin uygulandığı numunelerde ortalama %42,39 oranında bir aşınma dayanımında artış meydana gelirken işlem parametrelerine bağlı olarak bu oranın % 65,87 değerlerine kadar arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, Ezerek parlatma, Alüminyum alaşımları,

**IMPROVEMENT OF SURFACE QUALITY AND WEAR PROPERTIES OF
AlSi10Mg ALLOY MANUFACTURED BY ADDITIVE MANUFACTURING
METHOD BY ROLLER BURNISHING METHOD**

Gözde ÜLKÜ BAŞSOY

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, August 2024

Supervisor: Asst. Prof. Mahmut ÇELİK

ABSTRACT

Developing technology has brought about some radical changes in production processes. One of these changes is the replacement of traditional production methods based on machining by additive manufacturing technology. Although it is a revolutionary technology, the surface quality of products manufactured by the additive manufacturing method does not meet expectations due to both the ongoing development process of the method and the nature of the technique. For this reason, the surfaces of additively manufactured parts need to be improved by applying a secondary process.

In this study, additively manufactured AlSi10Mg was subjected to roller burnishing process and the effects of the process on surface quality, wear resistance and mechanical properties were investigated. burnishing force, number of passes and tool path trajectory parameters were changed at 3 different levels and the effects of these parameters on the surface roughness improvement rate and wear resistance were determined.

As a result, it was observed that the roller burnishing method improved the surface quality of all samples and there was an improvement of 75.26% and 81.58% in surface roughness values.

In terms of wear resistance, it was determined that there was an average increase in wear resistance of 42.39% in the samples where the roller burnishing process was applied, and this rate increased up to 65.87% depending on the process parameters.

Keywords: Ball Burnishing; Surface quality; Additive manufacturing; Post processing

İÇİNDEKİLER

EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ AISi10Mg ALAŞIMININ YÜZEY KALİTESİ VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN EZEREK PARLATMA YÖNTEMİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

EKLEMELİ İMALAT

1.1. Eklemeli İmalat Çeşitleri ve Yöntemleri.....	5
1.1.1. 3B Baskı	9
1.1.2. Toz Yatağı Füzyonu (PBF).....	11
1.2. Eklemeli İmalatta Kullanılan Alüminyum Alaşımları	13
1.3. Eklemeli İmalat Sonrası Uygulanan İkincil İşlemler.....	18
1.3.1. Ezerek Parlatma.....	21
1.3.1.1. Bilyeli Ezerek Parlatma.....	22

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Deneysel Çalışma ve Materyal	24
2.2. Yöntem	26
2.2.1. Eklemeli İmalat ile Üretim	26
2.2.2. Bilyeli Ezerek Parlatma.....	27

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Yüzey Özellikleri	29
3.1.1 Parlatma Kuvvetinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkisi	32
3.1.2. Paso Sayısının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkisi.....	33
3.1.3. Takım Yolu Deseninin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkisi.....	34
3.2. Aşınma Özellikleri.....	37
3.2.1. Parlatma Kuvvetinin Aşınma Özellikleri Üzerinde Etkisi.....	38
3.2.2. Paso Sayısının Aşınma Özellikleri Üzerinde Etkisi	39
3.2.3. Takım Yolu Geometrisinin Aşınma Özellikleri Üzerinde Etkisi	40

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma	42
4.2. Sonuç ve Öneriler	43
KAYNAKÇA	46
EKLER.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	69

KISALTMALAR

3B	: Üç Boyutlu
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren, Termoplastik Polimer Malzeme
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
BDT	: Tasarım dosya formatı
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CNC	: Bilgisayar Destekli Talaşlı İmalat
DED	: Doğrudan Enerji Biriktirme
DMLS	: Direk Metal Lazer Sinterleme
EBM	: Elektron Işını ile Ergitme
Eİ	: Eklemeli İmalat
EP	: Ezerek Parlatma
FDM	: Birleştirmeli Yığılma Modellemesi
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
PBF	: Toz Yatağı Füzyonu
PETG	: Polietilen Tereftalat Glikol, Termoplastik Polimer Malzeme
PLA	: Polilaktik Asit, Termoplastik Polimer Malzeme
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SLA	: Stereolitografi
SLE	: Seçici Lazer Ergitme
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
STL	: CAD dosya formatı
TPU	: Termoplastik Poliüretan
YPIÖ	: Yüzey Pürüzlülüğü İyileştirme Oranı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Eİ ile üretimde yaygın olarak kullanılan alaşımlar ve uygulamalar	4
Tablo 1.2.	Metal bazlı Eİ yoluyla alaşım tasarımı yaklaşımı için uygulama alanları ...	5
Tablo 1.3.	Eİ yöntemleri	6
Tablo 1.4.	Eİ işlemlerinin karşılaştırılması	8
Tablo 1.5.	Geleneksel olarak işlenmiş muadillerine kıyasla Eİ tarafından üretilen Al alaşımlarının işleme parametreleri ve mekanik özellikleri	13
Tablo 1.6.	AlSi10Mg tozunun ve AlSi10Mg döküm alaşımının kimyasal bileşimi ...	16
Tablo 2.1.	AlSi10Mg alaşımı kimyasal özellikleri	24
Tablo 2.2.	AlSi10Mg alaşımı teknik, mekanik, fiziksel ve termal özellikleri	25
Tablo 2.3.	Numune üretiminde kullanılan parametre seti	26
Tablo 2.4.	Faktör seviyeleri	27
Tablo 2.5.	Deney tasarımı	28
Tablo 3.1.	Yüzey pürüzlülüğü sonuçları	30
Tablo 3.2.	Aşınma değerleri	37

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	EBM tarafından üretilen basit Ti-6Al-4V uçak yapısal braketleri. (a) STL (CAD) modelleri. (b) EBM tarafından üretilmiş bileşenler.....	4
Şekil 1.2.	Çeşitli Eİ yöntemlerinin şematik gösterimi (a) DED-L (b) DED-EB (c) DED-GMA (d) PBF-L (e) Ultrasonik Eİ (UAM) (f) Jet birleştirme	7
Şekil 1.3.	2022 yılına ait malzeme bazında 3B baskı üretim pazar payı	10
Şekil 1.4.	2021-2032 yılları arasında gerçekleşen ve beklenen teknoloji bazında 3B baskı üretimi (Milyon Dolar).....	10
Şekil 1.5.	SLS yazıcı mekanizması.....	12
Şekil 1.6.	SLE yazıcı mekanizması.....	12
Şekil 1.7.	(a) Eklemeli olarak üretilmiş AlSi10Mg'de enine ve boyuna gerilme mukavemeti ve (b) enine ve boyuna süneklik. Veriler Tablo 1.5'den alınmıştır.	15
Şekil 1.8.	(a) AlSi10Mg ve (b) AlSi12'de biriktirilmiş ve ısıtıl işlem görmüş koşullarda süneklığe karşı çekme mukavemeti. AlSi10Mg için tüm yönler dikkate alınırken, AlSi12 için bildirilen tüm veriler enine yöndedir.	15
Şekil 1.9.	AlSi10Mg alaşım tozunun SEM görüntüsü.....	16
Şekil 1.10.	Eİ sonrası uygulanan ikincil işlemlerin sınıflandırılması	19
Şekil 1.11.	SLS/SLE yöntemi ile üretilen AlSi10Mg parçasının tornalama ve ezerek parlatma sonrası görüntüsü	22
Şekil 1.12.	Bilyeli parlatmanın şematik gösterimi	23
Şekil 2.1.	Araştırmanın metodolojisi	26
Şekil 2.2.	Bilyeli ezerek parlatma aparatı	27
Şekil 2.3.	Takım yolu desenleri (a) çizgi -1 ve 3 geçiş, b) çizgi - 2 geçiş, c) spiral - 1,2 ve 3 geçiş d) sikloidal takım yolu	28
Şekil 2.4.	Deney düzeneği.....	28
Şekil 3.1.	Yüzey pürüzlülüğü için ölçüm konumu.....	29
Şekil 3.2.	a) Eİ ile üretilen ve b) BP uygulanan numunenin yüzey profilleri.....	31
Şekil 3.3.	YPIÖ için etkileşim grafiği.....	31
Şekil 3.4.	Parlatma kuvvetinin YPIÖ üzerindeki etkisi	33
Şekil 3.5.	Parlatma kuvvetinin parametre bazında YPIÖ üzerindeki etkisi.....	33

Şekil 3.6.	Paso sayısının YPIÖ üzerindeki etkisi.....	34
Şekil 3.7.	Paso sayısının parametre bazında YPIÖ üzerindeki etkisi	34
Şekil 3.8.	Takım yolu deseninin YPIÖ üzerindeki etkisi.....	35
Şekil 3.9.	Takım yolu deseninin parametre bazında YPIÖ üzerindeki etkisi	36
Şekil 3.10.	Aşınma oranı için etkileşim grafiği	38
Şekil 3.11.	Parlatma kuvvetinin aşınma oranı üzerindeki etkisi	39
Şekil 3.12.	Paso sayısının aşınma oranı üzerindeki etkisi.....	40
Şekil 3.13.	Takım yolu geometrisinin aşınma oranı üzerindeki etkisi.....	41



GİRİŞ

İmalat, en yalın haliyle hammaddeyi işleyerek bir ürün elde etme olarak tanımlanır. Günümüzde imalat yöntemleri geleneksel ve geleneksel olmayan imalat yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Geleneksel imalat yöntemleri; delme, frezeleme, vargel, raybalama, borlama, tornalama gibi yöntemlerin kullanıldığı talaşlı imalat ve döküm, plastik şekil verme, toz metalürjisi, kaynakla birleştirme gibi yöntemlerin kullanıldığı talaşsız imalat yöntemleri olarak sınıflandırılır. Geleneksel olmayan (ileri) imalat yöntemlerinden günümüzde sahip olduğu avantajlar sayesinde eklemeli imalat (Eİ) yönteminin dikkat çektiği görülmektedir. Farklı özelliklere sahip, birden fazla bileşeni olan malzemenin, hızlı bir şekilde üretilmesini ve daha yüksek performanslı parça elde edilmesini sağlarken önemli miktarda artık madde olmayışı en büyük avantajlarından biridir. Eİ yöntemi başlıca uzay ve havacılık, otomotiv, biyomedikal, savunma sanayi, enerji sektörü gibi önemli endüstri alanları için parça üretiminde kullanılmaktadır [1], [2], [5], [10].

Eİ yönteminde, ilk olarak imal edilmesi istenen parçalar bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları ile bilgisayar ortamında 3 boyutlu olarak tasarlanır ve daha sonra tasarlanan parçalar Eİ cihazları ile metal, polimer ya da seramik tozları kullanılarak katman katman üretilir. Eİ yöntemi ile geleneksel imalat yöntemleri kullanılarak üretilmesi oldukça zor ya da mümkün olmayan karmaşık şekilli parçaların imalatı mümkün hale gelmiştir.

Alüminyum, günümüzde pek çok endüstri alanında kullanılan, hafif, işlenebilirliği kolay ve maliyeti düşük bir malzemedir. Bazı alüminyum alaşımlarının kaynaklanmasının zor olduğu bilinmektedir. Alüminyum parçalarının Eİ ile imalatı için daha avantajlı yönü; termal olarak indüklenen gerilmeleri azaltan alüminyumun yüksek ısı iletkenliğidir. Bu sayede destek yapılarına olan ihtiyacı da azaltması ve yüksek termal iletkenliği ile yüksek işlem hızlarına izin vermesidir [1]. Eİ ile üretimde alüminyum ile ilgili olarak, iki alaşım

biraz daha ilgi görmüştür: AlSi12 ve AlSi10Mg. Her iki durumda da, sürekli dalga seçici lazer ergitme sistemi kullanılarak tamamen yoğun bileşenler elde edilmiştir [2].

Eİ yöntemi her ne kadar üstün özelliklere sahip olsa da bu yöntemin de bazı zayıf özellikleri vardır. Metal tozlarının katmanlar şeklinde serilerek ani olarak ısıtılması ve soğutulması imal edilen parçalarda ani çarpılmalar, iç gerilmeler, malzeme içerisinde oluşan boşluklar, kötü yüzey kalitesi gibi sorunları ortaya çıkartabilmektedir. Yöntemin bu zayıf özellikleri son yıllarda yapılan çalışmalar ile iyileştirilmeye çalışılmaktadır [19]. Üretim işleminden sonra ürüne uygulanan ısıtma işlemi, taşlama, kumlama, ezerek parlatma gibi ikincil işlemler ile ürünlerin daha üstün yüzey ve mekanik özelliklere sahip olmasına yönelik çalışmalar da yapılmaktadır [20], [22], [25], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34].

Bu tez çalışmasında, Eİ yöntemlerinden Seçici Lazer Ergitme (SLE) yöntemi kullanılarak üretilen AlSi10Mg alaşımına ikincil işlem olarak ezerek parlatma yöntemi uygulanmasıyla yüzey kalitesi ve aşınma dayanımı iyileştirilmiştir. Çalışmada Eİ ile imalat esnasında parametreler sabit tutulurken ezerek parlatma yönteminde parlatma kuvveti ve paso sayısı parametreleri üçer farklı seviyede değiştirilirken takım yolu geometrisi iki farklı seviyede değiştirilmiş ve parametrelerin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve aşınma dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

1. BÖLÜM

EKLEMELİ İMALAT

Eİ, ISO/ASTM 52900 terminoloji standardı tarafından tanımlandığı şekliyle, 3B model verilerinden parçalar yapmak için malzemeleri birleştirme işlemidir. Genellikle malzeme, eksiltici ve biçimlendirici imalat yöntemlerinin aksine, katman katman birleştirilir [3].

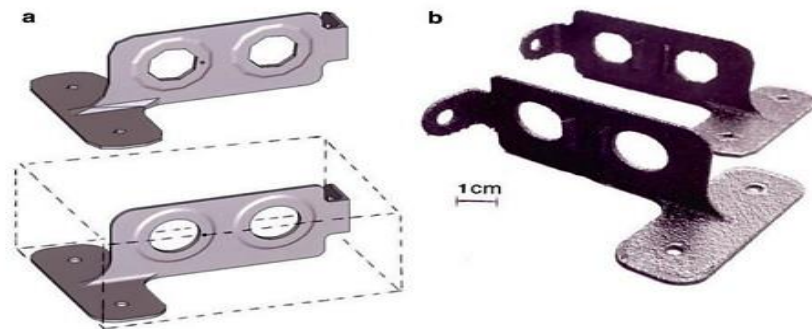
Metal Eİ süreçleri, özellikle geleneksel imalatın hem tasarım özgürlüğü hem de imalat yetenekleri açısından sınırlarına ulaştığı alanlarda, metal imalat endüstrisini dönüştürmeye hazırlanmaktadır. Günümüzde lazer, elektron ışını veya plazma eritmeye dayalı toz yatağı, toz beslemeli ve tel beslemeli prosesler dâhil olmak üzere birçok metal Eİ sistemi mevcuttur. Aynı zamanda, Eİ'ye uygun metal tozu malzemelerinin çeşitliliği genişlemeye devam etmektedir. Şu anda Eİ için paslanmaz çelikler, alüminyum, nikel, kobalt-krom ve titanyum alaşımları dâhil olmak üzere 29 yaygın metal tozu malzemesi bulunmaktadır[4].

Eİ işlemleri, lazer, elektron ışını veya elektrik arkı gibi bir enerji kaynağının yardımıyla veya bir katmanda ultrasonik titreşim kullanılarak eritilerek ve katılaştırılarak toz, tel veya levhalar gibi hammadde malzemelerini yoğun bir metalik parça katmanlar halinde birleştirir. Tablo 1.1, Eİ ile üretimde yaygın olarak kullanılan alaşımları ve bunların çeşitli uygulamalarını göstermektedir [5].

Tablo 1.1. Eİ ile üretimde yaygın olarak kullanılan alaşımlar ve uygulamalar [5]

	Alüminyum	Maraging çeliği	Paslanmaz çelik	Titanyum	Kobalt krom	Nikel süper alaşımlar	Değerli metaller
Uzay ve Havacılık	X		X	X	X	X	
Medikal			X	X	X		X
Enerji, yağ ve gaz			X				
Otomotiv	X		X	X			
Denizcilik			X	X		X	
İşlenebilirlik ve kaynaklanabilirlik	X		X	X		X	
Korozyon direnci			X	X	X	X	
Yüksek sıcaklık			X	X		X	
Araçlar ve kalıplar		X	X				
Tüketici ürünleri	X		X				X

Şekil 1.1, Eİ yönteminin avantajlarının basit bir örneğini göstermektedir. Uçak braketleri için STL dosya modeli Şekil 1a'da gösterilirken, Şekil 1.1b Eİ yöntemiyle üretilmiş iki braket formunu göstermektedir. Eİ ile üretilen braketler, ihtiyaca göre çapak kaldırma için çok az son işlem(finiş) gerektirirken, talaşlı imalat yöntemleri ile üretimde hammaddenin %90'ı atık olmaktadır. Şekil 1.1a da kesikli çizgi ile gösterilen dikdörtgen hacim parçanın geleneksel üretimi için minimum ham madde hacmini temsil etmektedir. Şekil 1.1'de ima edilen gerçek şu ki, hiçbir yeni takım veya takım optimizasyonu gerekmeden parça farklarını üretmek için CAD modelinde yapılan değişiklikler STL dosyalarına kolayca dâhil edilir [6].



Şekil 1.1. EBM tarafından üretilen basit Ti-6Al-4V uçak yapısal braketleri. (a) STL (CAD) modelleri. (b) EBM tarafından üretilmiş bileşenler [6].

İyi mekanik özelliklere sahip, hafif ve karmaşık yapıda parçaların üretim sürekliliği havacılık ve uzay endüstrisi için en önemli gereksinimler olup, Eİ da önemli bir üretim yöntemi haline getirmiştir. Bu imalat teknolojisinde kullanım ve talebin artması, malzeme

ve donanım fiyatlarının önümüzdeki yıllarda düşüşe sebep olabileceğini göstermektedir. Üretim pazarında Eİ teknolojisi son 7 yılda 5.7 kat büyürken, havacılık endüstrisindeki kullanımındaki artışın yaklaşık 1 milyar dolar olabileceği öngörülmektedir [7]. Birçok endüstride genel maliyetleri ve tedarik zinciri karmaşıklığını azaltmak için katkı tabanlı üretim yöntemleri geliştirmeye yönelik yoğun yatırımlar yapılmaktadır. Bazı önemli örnek alanlar Tablo 1.2'de gösterilmiştir [8].

Tablo 1.2. Metal bazlı Eİ yoluyla alaşım tasarımı yaklaşımı için uygulama alanları [8]

Malzeme Sistemi	Endüstriler	Tasarım & Uygulama Alanları
Inconel (Ni-Cr)	Uzay ve Havacılık, Enerji	Yüksek sıcaklıklarda sıcaklık kapasitesini, oksidasyon direncini, yorulma ve kırılma özelliklerini artırmak için takviye fazlarının modifikasyonu ve/veya geliştirilmesi.
Titanyum	Biyomedikal, Uzay ve Havacılık, Enerji	Biyouyumluluğun, yorulma performansının ve mukavemetin, korozyon ve oksidasyon direncinin artırılması
Alüminyum	Uzay ve Havacılık, Enerji	Lazer tabanlı Eİ ile artan güç, yorulma performansı ve işlenebilirlik
Yüksek Entropili Alaşımlar (HEAs)	Uzay ve Havacılık, Enerji	Mukavemet/tokluk modifikasyonu, ferromanyetik özellikler, artan oksidasyon direnci

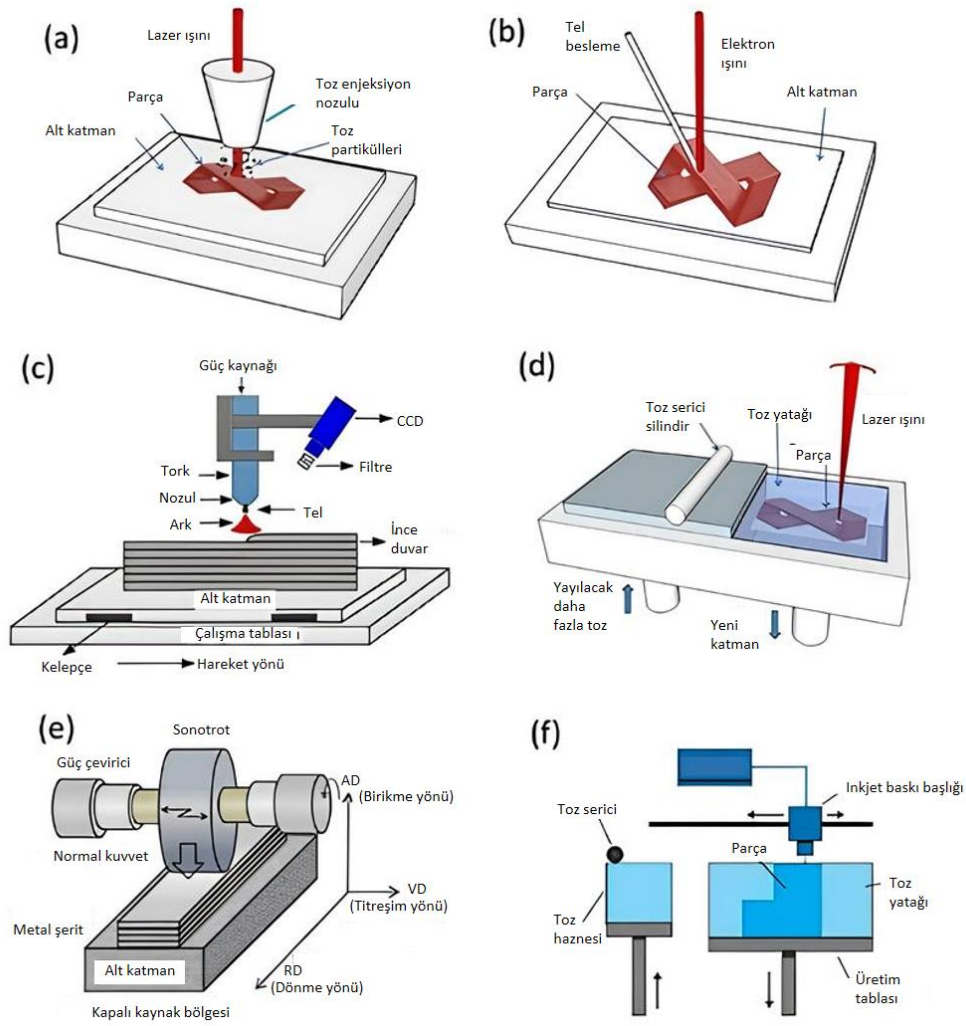
1.1. Eklemeli İmalat Çeşitleri ve Yöntemleri

90'lı yılların başından itibaren sürekli gelişen hızlı prototipleme tekniklerinde en çok kullanılan Eİ teknolojileri, CAD model verilerini katı modellere dönüştürülmesine olanak sağlayarak üretim adımlarını azaltır. Polimerler, metaller, seramikler ya da özel kullanım alanları olan malzemeler prototip imalatında sıklıkla kullanılmaktadır. Katmanlar halinde malzeme üretimi, konsept tasarımlar veya montaj testi uygulamalarının yanı sıra tek parça metal ürün üretmede de kullanılmaktadır. Eİ teknolojileri, geniş bir yelpazede ve birbirlerinden oldukça farklı ürünlerin üretimine imkân sağlayan sistemlerdir. Bu teknolojiler imalatta kullanılan malzeme çeşidine ve işlem süreçlerine bağlı olarak birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Endüstride yaygın olarak kullanılan Eİ yöntemleri ve bu yöntemlerin kısa tanımları Tablo 1.3'de gösterilmiştir [9].

Tablo 1.3. Eİ yöntemleri [9]

Eİ Teknolojisi	Tanımı
Binder Jetting (BJ)	Yapıştırıcı (bağlayıcı) püskürtme
Digital Light Processing (DLP)	Dijital ışık işleme
Direct Metal Deposition (DMD)	Direk metal depozisyonu
Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	Direk metal lazer sinterleme
Electron Beam Melting (EBM)	Elektron ışını ile ergitme
Fused Deposition Modeling (FDM)	Birleştirmeli yığma modellemesi
Laser Metal Deposition (LMD)	Lazer metal biriktirme
Laminated Object Manufacturing (LOM)	Lamine nesne imalatı
Multijet Modeling (MJM)	Çok jetli modelleme
Plaster Based Printing (PP)	Alçı esaslı baskı
Selective Heat Sintering (SHS)	Seçici ısıtmalı sinterleme
Stereolithography (SLA)	Stereolitografi
Selective Laser Melting (SLM)	Seçici lazer ergitme
Selective Laser Sintering (SLS)	Seçici lazer sinterleme

Ekleme terminolojisi, toz yatağı, toz besleme veya tel besleme işlemleri olarak toz veya tel formunda yaygın olarak kullanılan besleme stokunu ifade eder. Hedef uygulama için doğru tekniğin seçilmesi, bu Eİ süreçlerinin yetkinliklerinin ve özelliklerinin ciddi bir şekilde anlaşılmasını gerektirir[5]. Şekil 1.2 çeşitli Eİ yöntemlerini şematik olarak göstermektedir.



Şekil 1.2. Çeşitli Eİ yöntemlerinin şematik gösterimi (a) DED-L (b) DED-EB (c) DED-GMA (d) PBF-L (e) Ultrasonik Eİ (UAM) (f) Jet birleştirme [1]

(L: Lazer, EB: Elektron Işını, GMA: Gaz Metal Ark)

Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM), 2012 yılında eklemeli üretim yöntemlerini üretimde kullanılan malzemenin türüne ve katmanların işlem süreçlerine göre 7 kategoriye ayırmıştır [9]. Sık kullanılan Eİ teknolojileri Tablo 1.4’de kategorilere ayrılarak verilmiş ve teknolojilere ait başlıca özellikler belirtilerek karşılaştırmaları yapılmıştır[10].

Tablo 1.4. Eİ işlemlerinin karşılaştırılması [10].

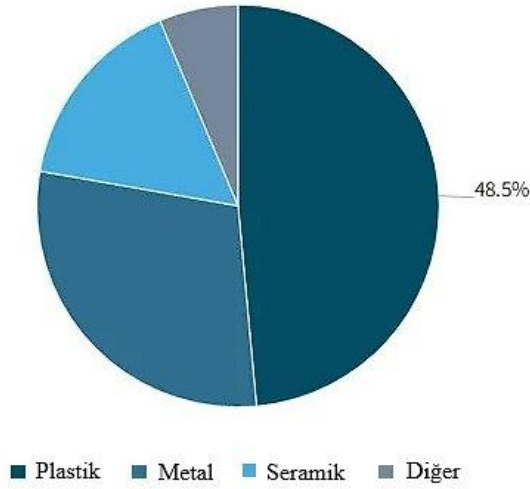
	TİP	KATEGORİ	YÖNTEM	TEKNOLOJİ	MALZEME	GÜÇ KAYNAĞI	ÖZELLİKLER
EKLEMELİ İMALAT	SIVI	Eriyik	Malzeme ekstrüzyonu	FDM	Termoplastik	Termal Enerji	*Düşük yazıcı maliyeti *Çoklu malzeme ile baskı *Yüksek mukavemet *Düşük parça çözünürlüğü *Zayıf yüzey iş sonu *Düşük baskı hızı
		Polimerize edilebilir	Fotopolimerizasyon	SL (SLA)	Fotopolimer, Seramik	UV Işını	*Yüksek baskı hızı *Yüksek parça çözünürlüğü *Yüksek detay *Malzeme maliyetleri yüksek
				DLP		Projeksiyon	*Yüksek baskı hızı *Çözünürlük, projeksiyonun piksel boyutu ile sınırlıdır
			Malzeme püskürtme	PJ	Fotopolimer, Wax	UV Işını	*Çoklu malzeme ile baskı *İyi yüzey iş sonu *Yüksek doğruluk *Yüksek detay
	KATI	Yapışık objeler	Sac laminasyon	LOM	Kâğıt, Plastik film, Metalik sac, Seramik bant	Lazer Işını	*İyi yüzey iş sonu *Yazıcı, malzeme, proses maliyeti düşük *Büyük boyutlu malzeme basabilme *Dikey yönde zayıf mukavemet
	TOZ	Eritme	Toz yataklı eritme	SLS	Poliamid, Polimer	Yüksek Güçlü Lazer Işını	*Yüksek doğruluk *Yüksek detay *Tam dolu parça üretimi *Yüksek mukavemet *Destek yapıları gerekmez
				DMSL		Metal tozu, Seramik tozu	
				SLM			
			EBM				
		Direk enerji depolama	LENS	Erimiş metal tozu	Lazer Işını	*Hasarlı ve aşınmış parçaları tamir edebilme *Son işlem gerektirir	
			EBAM				
	Yapıştırma	Yapıştırıcı püskürtme	BJ	Seramik tozu, Metal tozu, Kum	Termal Enerji	*Renkli obje baskısı *Destek yapıları gerekmez *Geniş malzeme seçeneği *Yüksek baskı hızı *Son işlem için infiltran malzeme gerektirir *Düşük dayanım *Yüksek gözeneklilik	

1.1.1. 3B Baskı

CAD üretim proseslerinin dayandığı Bilgisayar Destekli Talaşlı İmalat (CNC), frezeleme ve tornalama gibi geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinin aksine 3B baskı, dijital olarak tasarlanan nesneleri Eİ yöntemi, katmanların birleşmesi ile elde edilen fiziksel nesnelere dönüştürülmesine imkân verir. Böylece talaşlı imalat yöntemi ile üretilen 3 boyutlu nesneye göre Eİ yöntemi nesneyi katmanlar halinde üretilip yekpare hale getirmesinden dolayı daha az malzemeye ihtiyaç duyması bu yöntemi daha çok tercih edilen bir yöntem haline getirmektedir.

3B baskının en çok tercih edilme nedeni ise; üretim hattı kurulumu ya da kalıp oluşturma gibi ek üretim aşaması olmadan direk tasarımın imalata alınmasını sağlamasıdır. Eİ yönteminin sağladığı avantajları da kullanarak ev tipi 3B yazıcıların geliştirilmesi ve Eİ üretim esnekliği bu teknolojinin diğer imalat yöntemleri arasında öne çıkmasında etkili olmuştur. Diğer yandan 3B baskı yönteminin seri üretim için ekonomik olmaması, imal edilecek parçanın 3B yazıcının boyutları ile sınırlı kalması ve üretim hızının düşük olması yönteminin kullanımını kısıtlamaktadır. Her ne kadar 3B baskı için kullanılabilen malzemeler sınırlı olsa da pek çok plastik, metal, kompozit ve organik malzeme çeşidi 3B baskı imalatında kullanılabilmektedir[10]. Malzemeye bağlı 3b baskı üretim pazarı genel olarak plastik, seramik ve metal olarak bölümlere ayrılmıştır.

Şekil 1.3 2022 yılına ait 3b baskı üretim pazar payını malzeme bazında göstermektedir. Plastik segmenti 2022 yılında %45'in üzerinde Pazar payına sahipti ve 2032 yılına kadar 35 milyar ABD dolarının üzerinde gelire ulaşması bekleniyor. Plastikler PLA ve ABS'den PETG ve TPU gibi daha gelişmiş formülasyonlara kadar çok çeşitli malzeme seçenekleri sunuyor ve bu da onları çeşitli uygulamalar için çok yönlü hale getiriyor. Plastikler aynı zamanda uygun maliyetli olduğundan 3B baskıyı daha geniş bir kitleye erişilebilir kılıyor. Malzeme ve üretim maliyetlerini düşürerek prototip oluşturma ve küçük ölçekli üretim için özellikle değerlidirler. Ek olarak plastikler hafiftir ve bu da onları, ağırlığın azaltılmasının yakıt verimliliği ve performans açısından kritik önem taşıdığı havacılık ve otomobil gibi endüstrilerde kullanılabilir hale getirir. Biyouyumlu plastikler sağlık hizmetlerinde özel implant ve protez üretiminde önem kazanmıştır. Bazı plastik malzemenin geri dönüştürülebilirliği ve sürdürülebilirliği, üretim süreçlerinde artan çevresel kaygılara uyumlu olarak segmentin büyümesini daha da artırıyor[11].



Şekil 1.3. 2022 yılına ait malzeme bazında 3B baskı üretim pazar payı [11]

Teknolojiye dayalı olarak, 3B yazıcı üretim pazarı FDM, SLA, SLS, DMSL ve EBM olarak bölümlere ayrılmıştır. Şekil 1.4 2021-2032 yılları arasında gerçekleşen ve beklenen teknoloji bazında 3B baskı üretim değerlerini göstermektedir. EBM segmentinin değeri 2022’de 1,5 milyar doların üzerinde gerçekleşti. EBM, titanyum gibi yüksek hassasiyet ve yüksek sıcaklık dayanımına sahip diğer malzemeler ile çalışabilme imkânı sunuyor. Bu onu, dayanıklı ve karmaşık metal parçaların yüksek talep gördüğü havacılık, sağlık ve otomotiv sektöründeki uygulamalar için ideal kılar. Endüstriler arasında karmaşık metal bileşenlere ve hafif yapılara yönelik artan gereksinim nedeniyle EBM yeteneklerinin hızlı kullanımı, segmentin büyümesini destekleyecektir[11].



Şekil 1.4. 2021-2032 yılları arasında gerçekleşen ve beklenen teknoloji bazında 3B baskı üretimi (Milyon Dolar) [11]

ASTM F42 standardına göre Eİ yöntemleri ile üretim yapılabilmesi için bazı aşamalar mevcuttur.

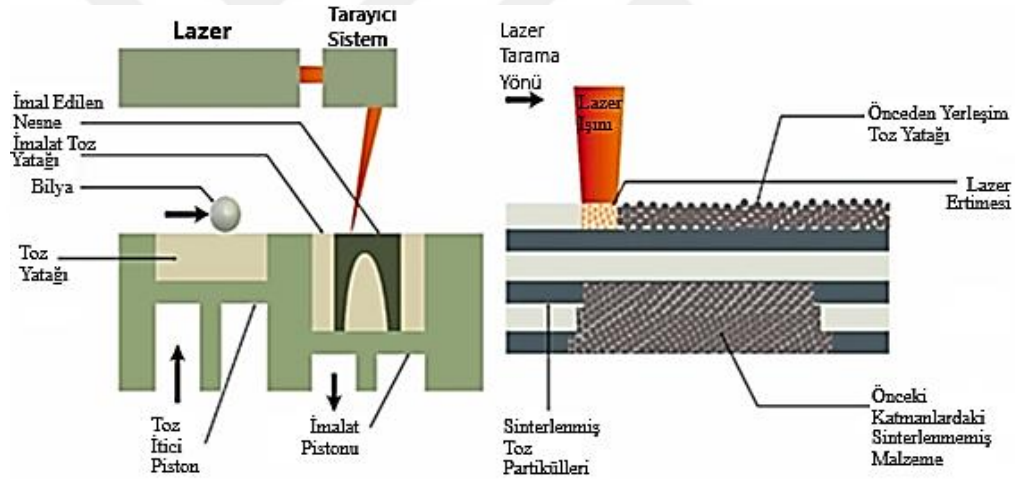
1. İmal edilecek parçanın 3B tasarımı,
2. 3B tasarımın dış yüzey geometrisini ve parçanın katmanlarının hesabını veren STL formatına dönüştürülmesi,
3. STL formatının Eİ makinasına gönderilmesi,
4. Makine parametrelerinin (lazer gücü, tarama yönü ve hızı, yapım yönü, kullanılan toz karakteri, sıcaklık gibi) seçilmesi,
5. Parçanın katman katman inşa edilmesi (imalat süreci) ve
6. Üretilen parçanın ikincil işlemleri (ısıtılma işlem, kesme, çapak alma gibi) ve
7. Montaj olarak sıralanmaktadır.

Dwivedi ve Rai (2016), Eİ yönteminde imalat öncesi veri hazırlığı aşaması olan BDT tasarımı ve bu tasarımın STL formatına dönüştürülmesi parametrelerinin parça kalitesi üzerine anahtar role sahip olduğunu rapor etmektedirler. Yaptıkları çalışmaya göre, imalat öncesi BDT ve STL verilerinin hazırlığı, üç boyutlu dijital tasarımın iki boyutlu kesitlere dilimlendikten sonra dijital ortamda seçici lazer sinterleme (SLS) makinasının tarayacağı alana yerleştirilerek yapılmaktadır. Ayrıca, parça hassasiyetini etkileyen dönüştürme ve dilimleme hatalarının meydana gelmemesi için önerilerde bulunmuşlardır. STL formatına dönüştürülen iki boyutlu model üzerinde, küçük radyüsler, keskin ince köşeler, üstü üste binen yüzeyler, değişken kenar çizgileri ve yüzeyler kontrol edildikten sonra dilimleme işleminin yapılması gerekmektedir. Dilimlemede üçgen serinin verimli olduğunu, üçgen dilimleme sayısının ve büyüklüğünün keskin köşeler ve radyüsler dikkate alınarak belirlenmesi gerektiğini önemle vurgulamaktadır [12].

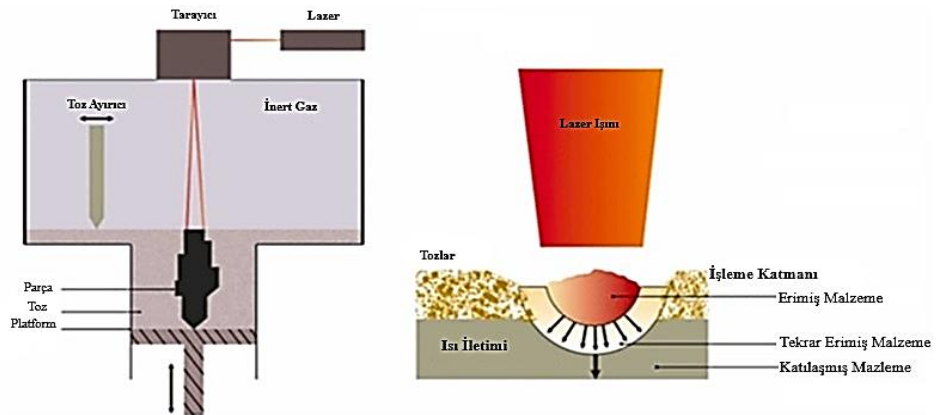
1.1.2. Toz Yatağı Füzyonu (PBF)

Güç kaynağı önce malzeme özelliklerini zayıflatmaya yol açabilen CAD dosyalarından elde edilen veriye göre toz parçacıklarının atmosferle reaksiyona girmediğinden emin olmak için vakumla kapatılmış veya inert gazlarla doldurulmuş kapta yayılmış bir toz tabakasını eritir. Katman tarandıktan sonra, piston, katmanın ne kadar kalın olması gerektiğine bağlı olarak sabit bir miktarda hareket edecek ve kaplayıcı, yeni bir toz katmanının üzerini kaplayacaktır. PBF Sürecinde, yapı boyutu, büyük bir miktarda tozun muhafaza edilmesi çok zor olduğundan sınırlıdır. Toz, minimum kalıntı gerilimi sağlamak için daha yüksek bir sıcaklığa ısıtılır. Bu işlem, ekstra parçaları çıkarmak ve

pürüzsüz bir son kat elde etmek için bazı son işlemler gerektirir. PBF'de tozun yatak boyunca eşit şekilde yayılmasını sağlamak için parçalar normalde düz bir taban plakası üzerine inşa edilir. PBF yönteminin iki türü vardır; EB-PBF ve L-PBF. Bu iki işlem arasındaki tek fark kullandıkları güç kaynaklarıdır. L- PBF'de ana enerji kaynağı yüksek güçlü bir lazerdir ve EB-PBF için ana enerji kaynağı yüksek enerjili bir elektron demetidir. En yaygın L-PBF yöntemleri, seçici katman sinterleme (SLS), seçici lazer ergitme işlemi (SLE) ve doğrudan metal lazer sinterlemedir (DMLS). Kullanılan EB-PBF yöntemi elektron ışını eritmedir (EBM). Her iki yöntemde de enerji, malzemeleri eritmek ve PBF'de yardımcı bir yapıştırıcı kullanarak bunları birbirine bağlamak için kullanılır. Şekil 1.5 ve 1.6 SLS ve SLE yazıcılarını gösterir. Şekiller her iki mekanizmanın da PBF olmasına ve aynı güç kaynağına sahip olmasına rağmen, bileşeni yazdırmanın tamamen farklı olduğunu göstermektedir[13].



Şekil 1.5. SLS yazıcı mekanizması [13]



Şekil 1.6. SLE yazıcı mekanizması [13]

1.2. Eklemeli İmalatta Kullanılan Alüminyum Alaşımları

Alüminyum uzun zamandır üretim endüstrisindeki yerini avantajları sayesinde korumaktadır. Yüksek kaynaklanabilirlik özelliği ve yüksek mukavemet/ağırlık oranı sebebiyle daha geniş uygulama alanları bulan alüminyum, hafiflik, dayanıklılık, şekillendirilebilirlik, kaynaklanabilirlik, iletkenlik gibi temel avantajları sayesinde diğer metaller arasında popüler hale gelmiştir.

Eİ'de en çok çalışılan Al alaşımı AlSi10Mg'dir. Tablo 1.5, eklemeli olarak üretilmiş AlSi10Mg'deki nihai çekme mukavemeti ve süneklik değerlerinin genellikle Eİ numunelerinde görülen ince mikro yapılara atfedilebilen, döküm ve yüksek basınçlı döküm (HPDC) AlSi10Mg'ye eşit veya bundan daha yüksek olduğunu göstermektedir. Şekil 1.7(a)'da gösterildiği gibi, eklemeli olarak üretilmiş AlSi10Mg'de çekme mukavemetinde kayda değer bir anizotropi yoktur; bununla birlikte, Şekil 1.7(b), kırılmaya kadar olan uzamanın boylamasına yönde enine yönden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Eİ'de kullanılan ve mekanik özelliklerin geniş çapta rapor edildiği bir diğer yaygın olarak kullanılan Al alaşımı AlSi12'dir. Alaşımlar arasında bildirilen mukavemet ve süneklik ölçümleri arasındaki bir karşılaştırma, Şekil 1.8'de gösterilmektedir[5].

Tablo 1.5. Geleneksel olarak işlenmiş muadillerine kıyasla Eİ tarafından üretilen Al alaşımlarının işleme parametreleri ve mekanik özellikleri [5]

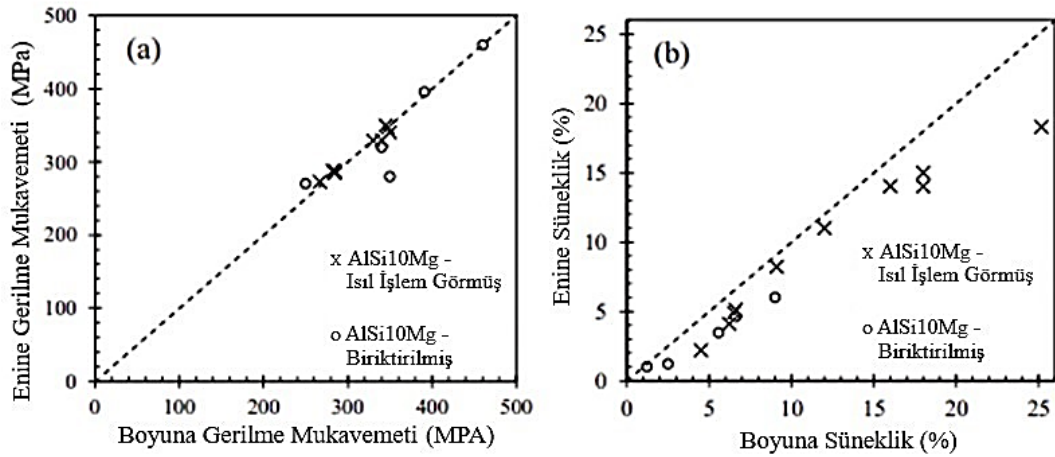
Alaşım	P (W)	v(mm/s)	H (j/mm)	İşlem sonrası	Yönlendirme	E (Gpa)	σ_y (Mpa)	σ_{uts} (Mpa)	Süneklik (%)	HV
<i>Toz yatağı füzyonu</i>										
AlSi10Mg	250	500	0,5	Yapılı haliyle	Boyuna		250	350	2,5	145
					Enine		240	280	1,2	
				T6 ^a	Boyuna		285	340	4,5	116
					Enine		290	330	2,2	
AlSi10Mg	250	500	0,5	Yapılı haliyle	Boyuna		125	250	6,6	75
					Enine		140	270	4,6	
				T6 ^a	Boyuna		295	350	6,5	118
					Enine		285	340	4,9	
AlSi10Mg				Yapılı haliyle	Boyuna	75±10	270±10	460±20	9±2	119±5
					Enine	70±10	240±10	460±20	6±2	
				2 h/300°C	Boyuna	70±10	230±15	345±10	12±2	
					Enine	60±10	230±15	350±10	11±2	
AlSi10Mg	200	1400	0,14	Yapılı haliyle	Boyuna	68±3		391±6	5,55±0,4	127
					Enine			396±8		
AlSi10Mg				Yapılı haliyle	Boyuna	68±3		396±8		
					Boyuna	66±5		399±7		
AlSi10Mg	195	800	0,24	2 h/300°C	Boyuna		252±11	348±5	6,6±0,3	105±2
					Enine		240±5	347±6	5,1±0,3	108±1
AlSi10Mg	195	800	0,24	2 h/300°C	Boyuna	73±1	243±7	330±3	6,2±0,3	105±2
					Enine	72±1	231±3	329±2	4,1±0,2	108±3

Tablo 1.5. (Devamı)

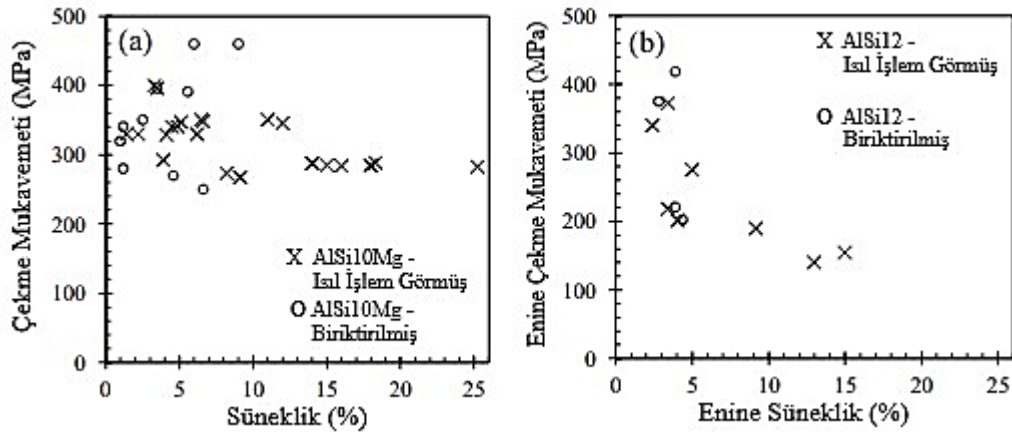
AlSi10Mg	200	571	0,35	Yapılı haliyle	Enine		330±10	1,4±0,3	
				6 h/160°C	Enine		292±4	3,9±0,5	
AlSi10Mg	175	1025	0,17	Yapılı haliyle	Boyuna	250	340	1,2	
					Enine	225	320	1	
AlSi10Mg	400	1000	0,4	2 h/300°C	Boyuna	182±5	282±5	25,2±1	
					Enine	184±5	288±5	18,3±1	
AlSi10Mg		1000		2 h/300°C	Boyuna	70,2	169	267	9,1
					Enine	70,7	169	273	8,2
AlSi10Mg	370	1300	0,28	2 h/300°C	Boyuna		181	284	18
					Enine		177	285	15
AlSi10Mg	370	1300	0,28	2 h/300°C	Boyuna		182	285	18
					Enine	180	287	14	
AlSi10Mg	370	1300	0,28	2 h/300°C	Boyuna		182	284	16
					Enine	180	287	14	
AlSi12	320	1455	0,22	Yapılı haliyle	Enine	260	375	2,8	
				6 h/200°C	Enine	260	340	2,4	
				6 h/300°C	Enine	170	275	5	
				6 h/350°C	Enine	120	190	9,2	
				6 h/400°C	Enine	100	155	15	
				6 h/500°C	Enine	95	140	13	
AlSi12	350	930	0,38	Yapılı haliyle	Enine	369,3±3,4	202,2±4,3	4,38±0,16	
				240°C	Enine	361,1±4,5	201,5±3,7	4,05±0,15	
AlSi12	350	930	0,38	Yapılı haliyle	Enine	418,9±9,6	220,5±9,4	3,91±0,27	
				240°C	Enine	372,3±7,2	218,0±6,9	3,41±0,29	
AlSi12	350	930	0,38	Yapılı haliyle	Enine	78,7±2,3	220,5±9,5	418,9±9,6	3,91±0,27
				200°C	Enine	76,5±1,8	218,0±3,9	372,9±2,8	3,41±0,16
Al-Sc-Mg	195			4 h/325°C	Boyuna		515	530	15
					Enine		500	525	13
Al-Cu-Mg	200	83,3	2,4		Enine	276,2±41	402,4±9,5	6±1,4	111
Tel beslemeli									
ER2319					Boyuna	114	263	18,3	68,3
					Enine	106	258	15,6	
Geleneksel üretim									
AlSi10Mg				HPDC		71	160-185	300-350	3-5 95-105
				HPDC-T6		71	285-330	330-365	3,5 130-133
AlSi12				Döküm		71	131	290	3,5

P = Lazer gücü, v = Tarama hızı, H = Doğrusal ısı girdisi, ρ = Yoğunluk, E = Elastik modül, σ_y = Akma dayanımı, σ_{uts} = Nihai çekme dayanımı, HV = Vickers sertliği.

^a 525 C'de 6 saat çözelti muamelesini, suyla söndürmeyi ve ardından 165 C'de 7 saat yaşlandırmayı ifade eder.



Şekil 1.7. (a) Eklemeli olarak üretilmiş AlSi10Mg'de enine ve boyuna gerilme mukavemeti ve (b) enine ve boyuna süneklik. Veriler Tablo 1.5'den alınmıştır.



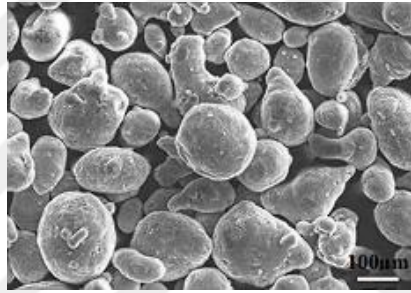
Şekil 1.8. (a) AlSi10Mg ve (b) AlSi12'de biriktirilmiş ve ısıtılmış koşullarda süneklığe karşı çekme mukavemeti. AlSi10Mg için tüm yönler dikkate alınırken, AlSi12 için bildirilen tüm veriler enine yöndedir. Veriler Tablo 1.5'den alınmıştır.

Yaygın olarak kullanılan bir dökme Al alaşımı olan AlSi10Mg alaşımı, hafiflik ve iyi termal iletkenlik özelliklerine sahiptir. Tablo 1.6 AlSi10Mg tozunun ve AlSi10Mg döküm alaşımının kimyasal bileşimini göstermektedir.

Tablo 1.6. AlSi10Mg tozunun ve AlSi10Mg döküm alaşımasının kimyasal bileşimi [14]

	Al	Si	Mg	Cu	Mn	Fe	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti
Toz	Kalan	9,0-11,0	0,2-0,45	≤0,05	≤0,45	≤0,55	≤0,05	≤0,1	≤0,05	≤0,05	≤0,15
Döküm alaşım		9,51	0,349	0,008	0,126	0,294	0,0043	0,0095	0,0019	-	0,13

Şekil 1.9, iyi bir akışkanlığı gösteren, pürüzsüz bir yüzeye sahip yaklaşık olarak küresel bir şekil sergileyen AlSi10Mg alaşım tozunun bir SEM görüntüsünü göstermektedir[15].



Şekil 1.9. AlSi10Mg alaşım tozunun SEM görüntüsü

K. Zygula vd. (2018), döküm ve SLE AlSi10Mg alaşımı üzerinde yaptıkları araştırma ve gözlemlerin sonuçlarına göre; mukavemet testleri, döküm ve SLE teknolojisi ile elde edilen AlSi10Mg alaşımı arasında önemli farklılıklar göstermiştir. İnce mikro yapısı nedeniyle SLE malzemesi döküm malzemeye göre daha yüksek sertlik değerine sahiptir. Bununla birlikte, çekme testleri, belirli koşullar altında sinterlenen malzemenin, geleneksel olarak dökülen malzemeye göre önemli ölçüde daha düşük özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. SLE teknolojisinin karmaşık şekilli yapılar ve bileşenler üretmek için geniş olanaklar sunduğuna dikkat edilmelidir. Bununla birlikte, yüksek mekanik özellikler ve elverişli mikro yapı elde etmek için, test edilen malzemenin zayıf özelliklerinden esas olarak sorumlu olan yüksek gözenekliliği önlemek için parametreler uygun şekilde seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir[14].

M. Javidani vd. (2017), AlSi10Mg alaşımının doğrudan enerji biriktirme (DED) süreci ile üretimini incelemişlerdir. Üretimin ardından, işlenen örneklerin makro ve mikroyapısal evrimi başlangıçta optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu

kullanılarak araştırılmıştır. Neredeyse hatasız bir yapıya sahip bir çökelti sergileyen sunulan sonuçlar, DED işleminin, oldukça konsolide bir yapıya sahip Al-Si bazlı alaşımların çökmesi için uygun olabileceği sonucuna varmışlardır[16].

Y. Siyambaş vd. (2022), çalışmalarında seçici lazer ergitme yöntemi ile AlSi10Mg alaşımından yüksek yoğunlukta, yüksek mukavemet özelliklerinde ve yüksek yüzey kalitesinde parçalar üretmek için literatürde yapılan çalışmaları incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, enerji yoğunluğunun ürün kalitesi üzerinde daha belirleyici olduğu tespit edilmiştir. Ürünlerde en az gözeneklilik için ideal enerji yoğunluğunun 50-75 J/mm³ aralığında olduğu, Eİ ile üretilen AlSi10Mg alaşımlı parçaların döküm yöntemi ile üretilenlere kıyasla daha iyi mukavemet özelliği gösterdiği belirlenmiştir[17].

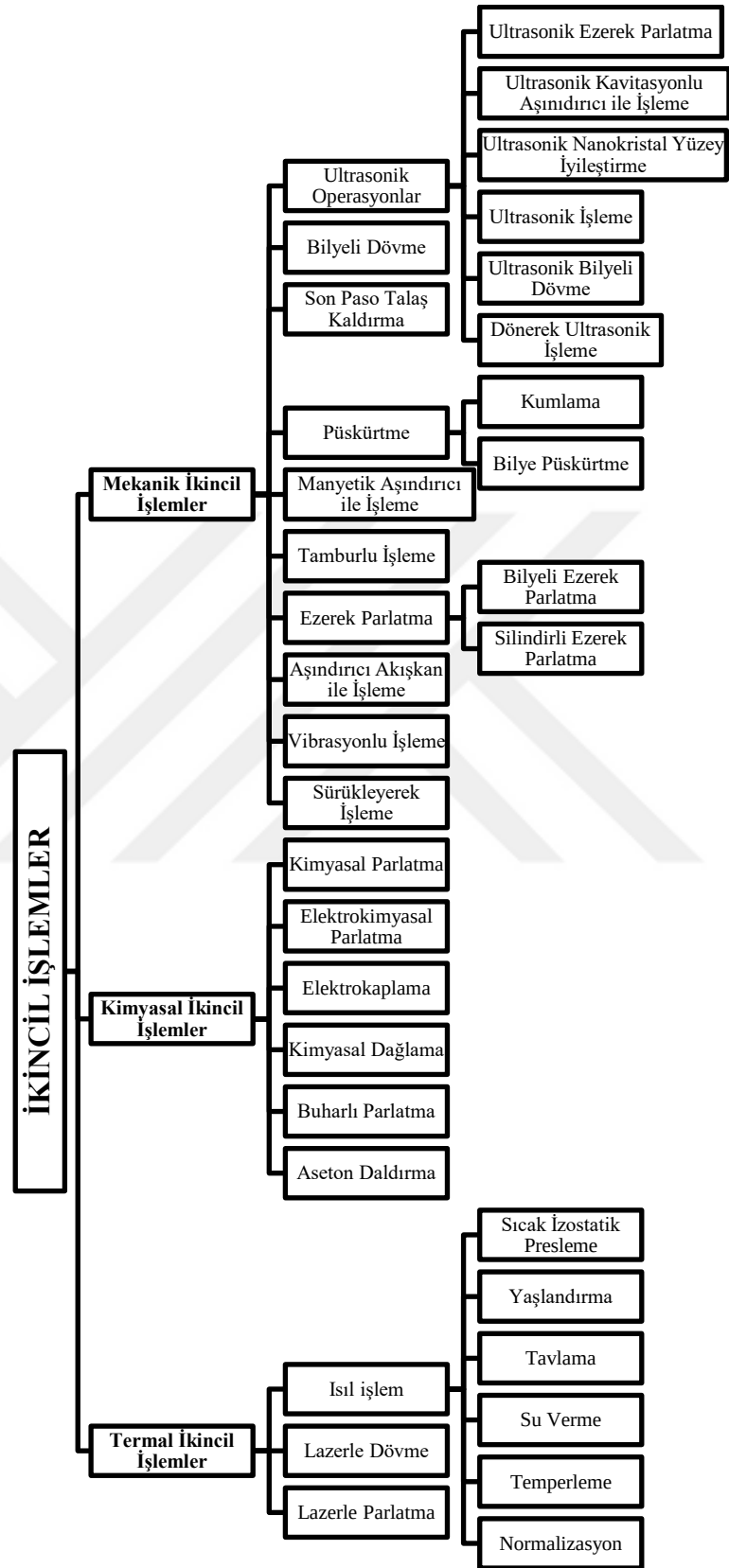
L. Girelli vd. (2019) , yaptıkları çalışmada, üretim yönlerinin, ısıl işlem parametrelerinin etkisini ve ayrıca Sıcak İzostatik Preslemenin (HIP) bunların darbe özellikleri üzerindeki etkisini doğru bir şekilde araştırmak için lazer katkılı imalat kullanılarak üretilen Charpy AlSi10Mg numuneleri üzerinde aletli darbe dayanımı testleri gerçekleştirmişlerdir. AlSi10Mg döküm numuneleri de karşılaştırma için test edilmiş ve metalografik incelemelere ek olarak, analiz edilen tüm koşullarda kırılma yüzeylerinin derin bir karakterizasyonu gerçekleştirildi. HIP, ardından T6 ısıl işlemi, çatlak ilerlemesi için uygun bir yol olan gözenekleri etkili bir şekilde azalttığı için alaşım özellikleri açısından olumludur. Üretim yönünün kırılma yayılımı üzerinde açık bir etkisi vardır. Üretildiği haliyle numuneler, kırılma yüzeyinde dikey yöne göre yatay yönde daha fazla pürüzlülük gösterir. Bu eğilim, ısıl işlemten sonra daha az belirgindir, ancak yine de tespit edilebilir. Kırılma yüzeylerinin fraktal boyutu, numunelerin üretim yönüne ve uygulanan ısıl işlemlere duyarlı niceliksel bir parametre olduğu sonucuna varmışlardır[18].

N. Takata vd. (2017) yaptıkları çalışmada, başlangıçta bir toz yatağı sistemi ile birleştirilmiş seçici lazer ergitme (SLE) kullanılarak 300 veya 530 °C sıcaklıklarda ısıl işlemler uygulanarak üretilen AlSi10Mg alaşımının mikro yapısındaki ve mekanik özelliklerindeki değişiklikleri incelemişlerdir. Üretilen numuneler, karakteristik bir mikroyapısal morfoloji ve doku sergiledi. Yerel olarak erimiş ve hızla katılaşmış bölgelere karşılık gelen eriyik havuzlarının birkaç sütunlu yapıdan oluştuğu bulunmuştur. Ayrıca, uzun süreli maruziyetten sonra mikroyapısal dengeye ulaşan kararlı bir intermetalik faz oluşumu meydana gelmiştir. Üretilen numune, yaklaşık 480 MPa'lık

yüksek bir gerilme mukavemeti sergilemiştir. Mukavemet çekme yönünden bağımsız yani üretim yönüne normal ve paraleldir. Tersine, çekme sünekliğinin yöne bağlı olduğu bulunmuştur ve bu nedenle tercihen bir eriyik havuzu sınırında meydana gelen bir kırılmadan sorumludur. 530 °C'de ısıtıl işlem görmüş numunede çekme sünekliğinin yön-bağımlılığı bulunmamıştır. Yaptıkları bu çalışma, SLE tarafından üretilen AlSi10Mg alaşımlarının çekme özelliklerinin yön bağımlılığının kontrolüne ilişkin yeni bilgiler sunmaktadır[19].

1.3. Eklemeli İmalat Sonrası Uygulanan İkincil İşlemler

Günümüzde sahip olduğu avantajlar sayesinde kullanımı yaygınlaşan Eİ yöntemlerinin bir kısım dezavantajları da bulunmaktadır. Yüzey kalitesine bakıldığında Eİ ile imal edilmiş parçalar daha pürüzlü yüzeylere sahiptir. Bazı medikal uygulamalarda yüzey pürüzlülüğü istense de yüksek yorulma dayanımı istenen ya da dinamik yük altında çalışacak parçalar için kötü yüzey kalitesi tercih edilmemektedir. Düşük yüzey kalitesine sahip parçaların, korozyon ve yorulma dayanımı azalması sonucu istenilen performansa ulaşması mümkün değildir [20].



Şekil 1.10. Eİ sonrası uygulanan ikincil işlemlerin sınıflandırılması

Damon vd çalışmasında, bilyeli dövmeden önce ve sonra seçici lazerle eritilmiş rotasyonla bükme test numunelerinin gözeneklilik dağılımını ve morfolojisini mikrotomografi analizi yoluyla incelemektedir. Yüzeye yakın alanlarda (0-500 μm) güçlü bir gözeneklilik küçülmesi elde edilebilir, ancak bilyeli dövme yoluyla erişilemeyen derinliklerde de elde edilebilir, bu da genel olarak %15-30 arasında bir gözeneklilik azalmasına yol açar. Ayrıca bilyeli dövme, özellikle büyük gözenekler için gözenek küreselliğinin artmasına neden olmuştur. Gözeneklerin bireysel oryantasyonu, bilyeli dövmeden önce ve sonra karşılaştırılmış ve sonuç olarak bilyeli dövmeden sonra 20 MPa kadar düşük ve yüksek devirli yorulma direncinde bir artış olduğunu gösteren yorulma testleri yapılmıştır [21].

T. A. El-Taweel vd. çalışmasında, bilyeli parlatma işleminin analizi ve optimizasyonu incelemiştir. Parlatma hızı, parlatma beslemesi, parlatma kuvveti ve geçiş sayısı gibi parlatma parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, yüzey mikro-sertliği, yüzey pürüzlülüğünün iyileştirme oranı ve yüzey mikrosertliğinin iyileştirme oranı üzerindeki etkisini belirlemek için Taguchi tekniği kullanılır. Varyans analizi (ANOVA), sinyal-gürültü (S/N) oranı ve katkı modeli gibi Taguchi araçları, bilyeli parlatma prosesi parametrelerinin optimum kombinasyon düzeylerini analiz etmek, önemli parametreleri elde etmek ve değerlendirmek için kullanılmıştır. Sonuçların analizi gösteriyor ki yüzey pürüzlülüğü için %39,87 ve yüzey mikrosertliği için %42,85 katkı yüzdesi ile parlatma kuvveti, hem yüzey pürüzlülüğü hem de mikrosertlik üzerinde baskın etkiye sahipti, bunu parlatma beslemesi, parlatma hızı ve ardından paso sayısı izlemiştir[22].

D. De Oliveira vd. yaptıkları araştırmada, analiz edilen son işleme işlemlerinin kullanılması yalnızca yüzey kalitesini iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda Eİ metallerinin yorulma ömrünü uzatarak boyut ve şekil toleranslarını kontrol etmeye yardımcı olur. Aşındırma işlemleri, Eİ metallerinin hem içini hem de dışını parlatmak için taşlama taşı olarak sert formda veya sıvılaştırılmış ortamda uygulanabilir. Taşlama sadece yüzey pürüzlülüğünü azaltmakla kalmaz, aynı zamanda faydalı artık basma gerilmeleri de oluşturur. Aşındırıcı, ortak şekillere sahip parlatılmış Eİ metallerine ultrasonik kavitasyonla geliştirilmiş mıknatıslanmış parçacıklarla birleştirilebilir. Mekanik perdah, karmaşık geometriye sahip metal parçalar için de kullanılabilir. Geleneksel olmayan son işleme süreçleri, yüzey kalitesini iyileştirmek için lazer veya elektrokimyasal reaksiyondan yararlanır. Bu teknikler, Eİ metalik bileşenleri için yerel olarak veya toplu

olarak uygulanabilir. İşlemler ayrıca yüzey kusurlarını en aza indirir kanısına varmışlardır[23].

M. A. Mahmood vd. çalışmalarında çeşitli son işlem teknikleri ve uygulamaları derlemişlerdir. Son işlem tekniklerinin eklemeli olarak üretilen parçalar üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Lazerle dövme işleminin özellikle daha ince bileşenlerde ciddi gerinim oranı oluşumuna neden olabileceği bulunmuştur. Lazerle dövme, yüzey düzgünlüklerini ve yerel tanecik inceliğini kontrol edebilir ve böylece sertlik değerini yükseltebilir. Lazerle parlatma, yüzey pürüzlülüğünü toplamda %95'e kadar azaltabilir ve sertliği imal edilen parçaya kıyasla arttırabilir. Termal son işlem teknikleri, gözenekliliği %99,99'a kadar ortadan kaldırmak, korozyon direncini artırmak ve son olarak mekanik özellikleri yükseltmek için uygulanabilir [24].

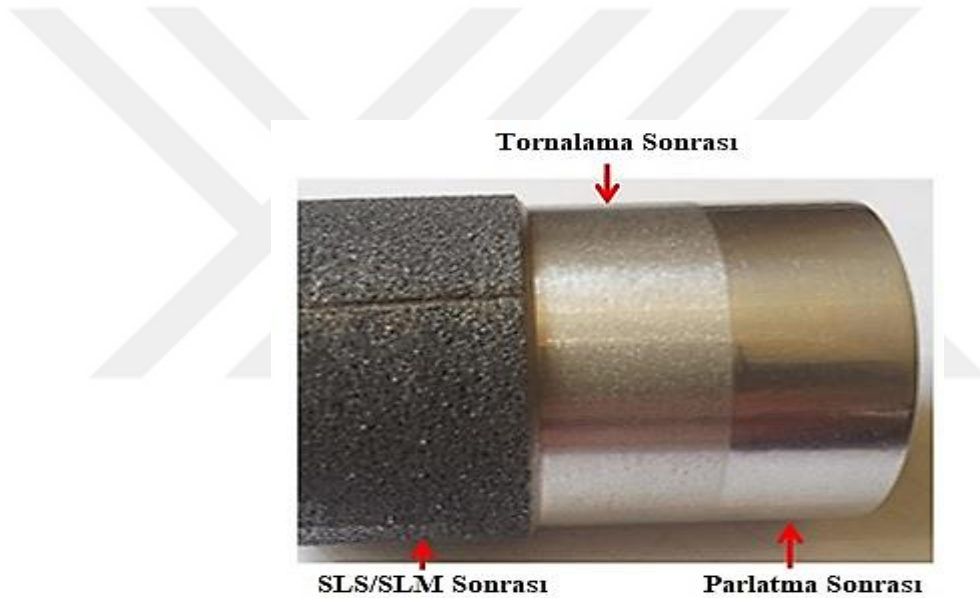
1.3.1. Ezerek Parlatma

Parlatma, silindirlerin veya bilyelerin pürüzsüz bir yüzey verdiği, işlenmiş bir yüzeyin pürüzlerini bastırdığı ve aynı zamanda plastik deformasyon nedeniyle yüzeyin işlenerek sertleştiği, talaşsız ve hassas bir işleme sonrası metal bitirme işlemidir. Son yıllarda, yüzey tabakalarının plastik deformasyonu ile yüzey özelliklerini iyileştiren parlatma işlemine büyük önem verilmektedir. İyi yüzey kalitesinin yanı sıra, parlatma işleminin, üretilen artık basınç geriliminin bir sonucu olarak artan sertlik, korozyon direnci ve yorulma ömrü sağlamada taşlama gibi diğer işleme süreçlerine göre avantajları vardır. Bu nedenle perdahlama, malzemenin yüzey kalitesinin ve mekanik özelliklerinin kalitesinin iyileştirilmesi için çok etkili bir yöntemdir. Ayrıca parlatılmış yüzey, yüksek aşınma direncine ve daha iyi yorulma ömrüne sahiptir. Yüksek üretkenliği sayesinde süper finisaj, honlama ve taşlama gibi diğer geleneksel işlemlere göre üretim maliyetlerinden daha fazla tasarruf sağlar. Artık gerilimler, hizmet (çalışma) çekme gerilimlerini azalttığı ve çatlak çekirdeklenmesini ve yayılmasını engellediği için hizmet performansı, bileşen performansındaki iyileştirmeler ve ömür üzerindeki doğrudan etkileri nedeniyle bütünlüğü değerlendirmede hayati bir unsurdur[25].

Stwora vd. AlSi10Mg alaşımlarının sunulan mikro yapı ve yoğunluk çalışmalarında, SLS/SLE üretilen numunelerin yüzey tabakasındaki yoğunluk artışının ve gözenekliliğin azalmasının, bunların mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu doğrulamıştır. Sert tornalama ve parlatma işleme uygulaması, test edilen numunelerin

mekanik mukavemetindeki artışı doğrudan etkileyen gözenekleri önemli ölçüde azaltmış ve pürüzlülük değerini en aza indirmeye izin verdiğini gözlemlemiştir[26].

Rotella ve ark. AM ile üretilen paslanmaz çeliğe rulo polisaj işlemi uyguladı. Çalışmada parlatma kuvveti ve parlatma hızı parametreleri 3 farklı seviyede, ilerleme parametresi ise 2 farklı seviyede değiştirilmiştir. Parametrelerin sertlik, artık gerilim ve yüzey kalitesi üzerindeki etkileri araştırıldı. Çalışma sonucunda çıktılar üzerinde en etkili parametrenin yanma kuvveti olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca parlatma işlemi numunelerin yüzey kalitesinin iyileştirilmesine, pürüzlülüğün azaltılmasına, yüzey sertliğinin artırılmasına ve gözeneklerin en aza indirilmesine yardımcı olmuştur [27].



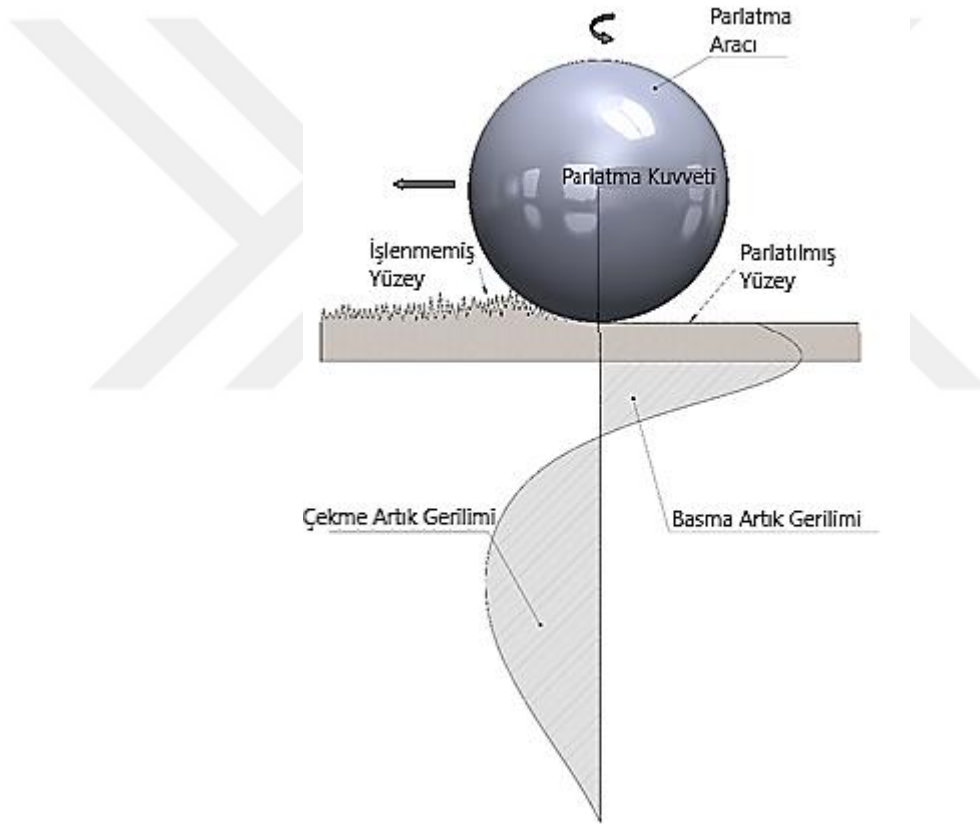
Şekil 1.11. SLS/SLE yöntemi ile üretilen AlSi10Mg parçasının tornalama ve ezerek parlatma sonrası görüntüsü[25]

1.3.1.1. Bilyeli Ezerek Parlatma

Bilyeli parlatma, birbirine bitişik geçişler boyunca düzenlenmiş bir kuvvet uygulayan bir alet kullanarak bir yüzeydeki düzensizliklerin plastik olarak deforme edilmesinden oluşur ve bunların tümü CNC'de programlanmış bir rutin tarafından kontrol edilir. Bu işlem ile piklerde bulunan malzeme sıkıştırılarak malzemenin yüzey pürüzlülüğünü azaltılır ve kalıntı gerilmeler oluşturulur[28]. Bilyeli ezerek parlatma tekniği, malzemenin mekanik özelliklerini ve yüzey bütünlüğünü geliştiren mekanik bir yüzey işleme prosedürüdür [29]. Bilyeli ezerek parlatma tekniğinin işleyişinin şematik bir temsili Şekil 1.12'de gösterilmektedir. Hidrolik veya manuel olarak çalıştırılan bir düzeltme topu, bu işlem

sırasında iş parçasının yüzeyine bastırılır, serbestçe yuvarlanır ve üst tabakayı plastik olarak deforme eder. Yüzey kusurlarının plastik akışı daha pürüzsüz bir yüzeye sonuçlanır. Ayrıca bilyeli ezerek parlatma, yüzey sertliğini önemli ölçüde artıran özel bir soğuk işlem şeklidir. Yüzey sertliğindeki artış, daha yüksek sıcaklıklarda bile aşınma direncini ve yorulma ömrünü iyileştirebilir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde bilyeli parlatma yönteminin hem geleneksel hem de Eİ ile üretilen parçalarda yüzey ve alt yüzey özelliklerinin önemli ölçüde değiştiği görülmektedir.



Şekil 1.12. Bilyeli parlatmanın şematik gösterimi [29]

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Deneysel Çalışma ve Materyal

Tez kapsamında üretilen AlSi10Mg alaşım tozları ALUTEAM tarafından tedarik edilmiş olup, alaşımın kimyasal özellikleri Tablo 2.1’ de, teknik, mekanik, fiziksel ve termal özellikleri ise Tablo 2.2,’de gösterilmiştir. EOS M 290 Eİ makinesi kullanılarak 45*45*10 mm boyutlarında elde edilmiştir. İmal edilen parçaların yüzeyleri, 120 m/dk kesme hızında 80 mm/ dk ilerleme miktarı ile her bir yüzeyden 0,5 mm talaş derinliği olacak şekilde tarama başlığı aracılığıyla sabit koşullarda frezeleme ile işlendi. Frezeleme işleminden sonra numunelere ikincil işlemlerden ezerek parlatma işlemi uygulanmıştır. Parlatma kuvveti ve paso sayısı parametreleri 3 farklı seviyede, parlatma yolu parametresi ise 2 farklı seviyede değiştirilerek proses parametrelerinin yüzey kalitesi, yüzey altı sertliği ve aşınma direnci üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Tablo 2.1. AlSi10Mg alaşımını kimyasal özellikleri

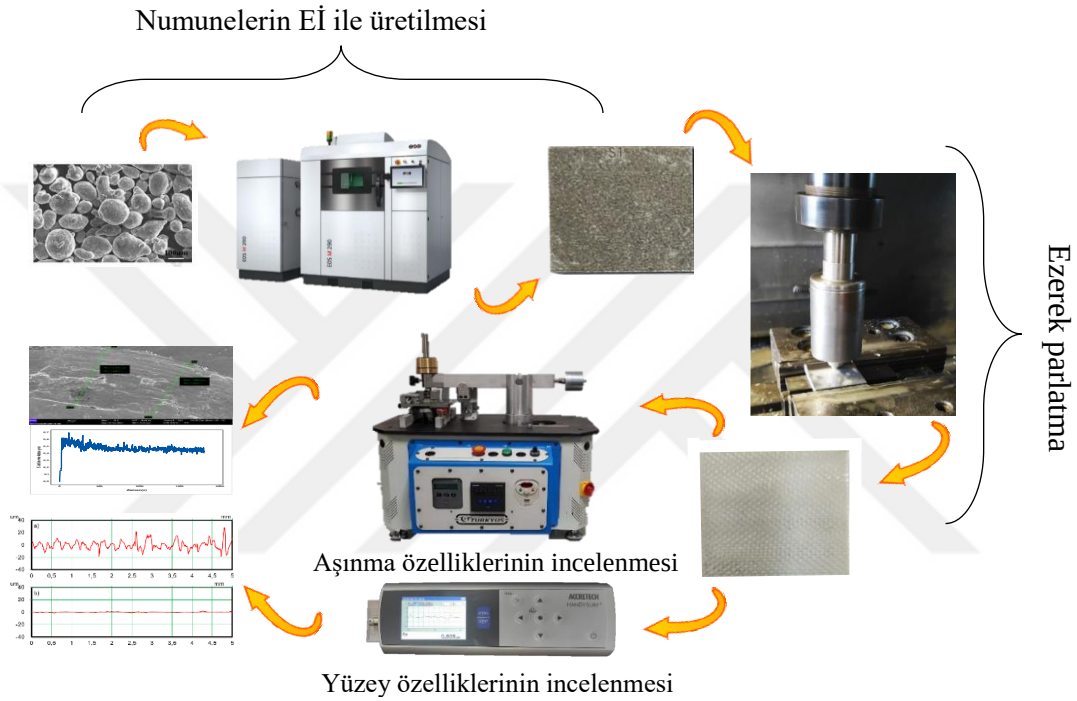
Element	Ağırlıkça İçerik
Silisyum	%9-11
Demir	≤%0,55
Bakır	≤%0,05
Manganez	≤%0,45
Magnezyum	%0,2-0,42
Nikel	≤%0,05
Çinko	≤%0,1
Kurşun	≤%0,05
Kalay	≤%0,05
Titanyum	≤%0,15
Alüminyum	Ana element

Tablo 2.2. AlSi10Mg alaşıımı teknik, mekanik, fiziksel ve termal özellikleri

Teknik Özellikler		
Tolerans	±100 µm	
Minimum Duvar Kalınlığı	0.3-0.4 mm	
Yüzey Pürüzlülüğü		
Üretimden Sonra Temizlenmiş	Ra= 6-10 µm	Rz=30-40 µm
Shot-Peening Sonrası	Ra= 7-10 µm	Rz=50-60 µm
Mekanik Özellikler		
Özellikler	Üretilen	Isıl İşlem Sonrası
Çekme mukavemeti		
Yatay (XY)	460 ± 20 MPa	345 ± 10 MPa
Dikey (Z)	460 ± 20 MPa	350 ± 10 MPa
Akma mukavemeti		
Yatay (XY)	270 ± 10 MPa	230 ± 15 MPa
Dikey (Z)	240 ± 10 MPa	230 ± 15 MPa
Elastiklik Modülü		
Yatay (XY)	75 ± 10 GPa	70 ± 10 GPa
Dikey (Z)	70 ± 10 GPa	60 ± 10 GPa
Kopma Uzaması		
Yatay (XY)	% (9 ± 2)	% 12 ± 2
Dikey (Z)	% (6 ± 2)	% 11 ± 2
Yorulma Dayanımı (Dikey)	97 ± 7 MPa	
Sertlik	119 ± 5 HBW	
Fiziksel Özellikler		
Yoğunluk	2.67 g/cm3	
Göreceli Yoğunluk	99.85%	
Termal Özellikler		
Özellikler	Üretim	Isıl İşlem
Isıl İletkenlik		
Yatay (XY)	103 ± 5 W/moC	173 ± 10 W/moC
Dikey (Z)	119 ± 5 W/moC	173 ± 10 W/moC
Özgül Isı		
Yatay (XY)	920 ± 50 J/kgoC	890 ± 50 J/kgoC
Dikey (Z)	910 ± 50 J/kgoC	890 ± 50 J/kgoC

2.2. Yöntem

Çalışma boyunca izlenen metodoloji Şekil 2.1'de görsel olarak özetlenmiştir. Çalışma, numunelerin Eİ ile üretilmesi, bilyeli ezerek parlatma işlemine tabi tutulması, yüzey özellikleri ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi aşamalarını içermektedir.



Şekil 2.1. Araştırmanın metodolojisi

2.2.1. Eklemeli İmalat ile Üretim

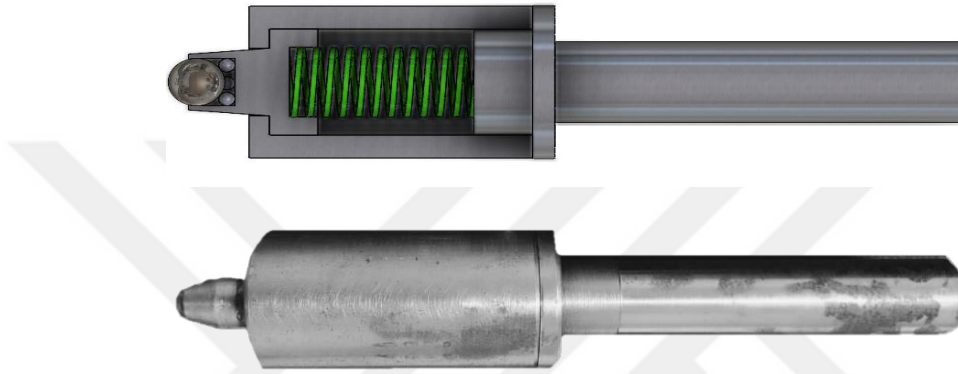
EOS M 290 Eİ makinesi kullanarak 45 x 45 x 10 mm boyutlarında AlSi10Mg alaşım tozlarından üretilen numuneler için üretim parametreleri Tablo 2.3'de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Numune üretiminde kullanılan parametre seti

Lazer gücü	370 W
Lazer tarama hızı	1300mm/s
Tarama mesafesi	0,19 mm
Katman kalınlığı	30 mikron
Beam offset	0,02 mm
Enerji yoğunluğu	49,932 J/mm ³
Tarama stratejisi	X-Döngüsel
Ön ısıtma sıcaklığı	35°C

2.2.2. Bilyeli Ezerek Parlatma

Bilyeli parlatma işlemi için özel bir takım tasarlanmış ve üretilmiştir. CAD çizimi ve üretilen parlatma takımı Şekil 2.2'te görülmektedir. Parlatma kuvveti, sertlik katsayısı 20 N/mm olan bir yay tarafından sağlanmaktadır. Kuvveti iş parçası yüzeyine aktarmak için kullanılan 14 mm çapındaki bilye sertleştirilmiş çelik malzemeden yapılmıştır.



Şekil 2.2. Bilyeli ezerek parlatma aparatı

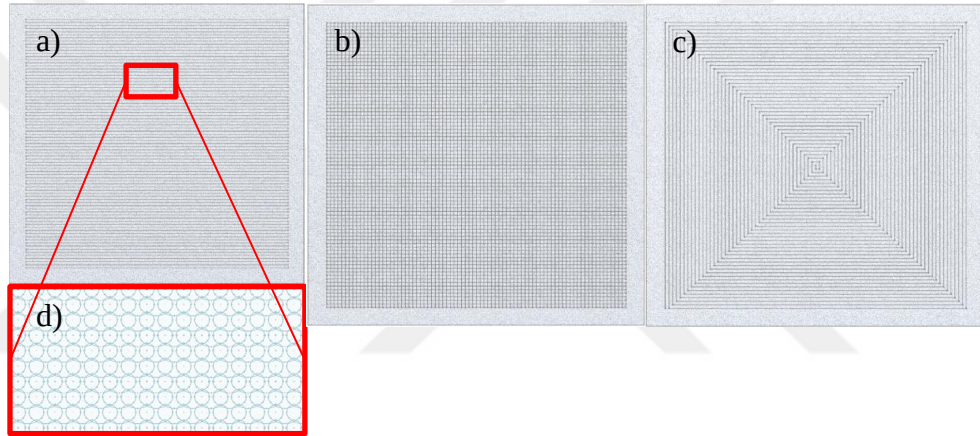
Bilyeli parlatma yönteminin verimliliğini etkileyen birçok parametre olmasına rağmen, ön deneyler ve literatür taraması sonucunda deneysel tasarım için parlatma kuvveti, paso sayısı ve takım yolu modeli parametreleri seçilmiştir [29-30]. Bilyeli parlatma yönteminde 5 farklı takım yolu stratejisi mevcut olup, bu çalışmada hem yüzey kalitesi hem de yüzey düzlüğü açısından iyi sonuçlar veren sikloid stratejisi benimsenmiştir [32]. Çizgi ve spiral desenli takım yolları ve sikloid takım yolu Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Çalışma, tam faktöriyel deneysel tasarım yaklaşımına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Faktör seviyeleri ve deney tasarımı sırasıyla Tablo 2.4 ve Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Faktör seviyeleri

Parametreler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Parlatma kuvveti (N)	260	300	340
Paso sayısı	1	2	3
Takım yolu geometrisi	Çizgi	Spiral	
Devir Sayısı (dev/dk)		200	
Takım ilerleme hızı (mm/dk)		450	

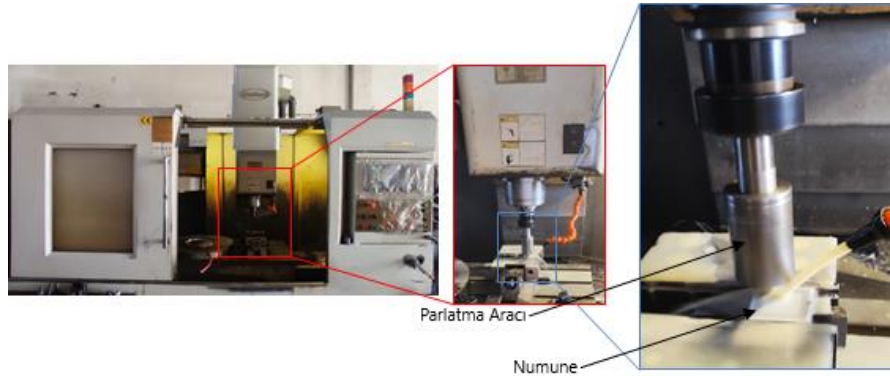
Tablo 2.5. Deney tasarımı

Deney. #	Parlatma kuvveti (N)	Paso sayısı	Takım yolu	Deney. #	Parlatma kuvveti (N)	Paso sayısı	Takım yolu
1	260	1	Çizgi	10	260	1	Spiral
2	260	2	Çizgi	11	260	2	Spiral
3	260	3	Çizgi	12	260	3	Spiral
4	300	1	Çizgi	13	300	1	Spiral
5	300	2	Çizgi	14	300	2	Spiral
6	300	3	Çizgi	15	300	3	Spiral
7	340	1	Çizgi	16	340	1	Spiral
8	340	2	Çizgi	17	340	2	Spiral
9	340	3	Çizgi	18	340	3	Spiral



Şekil 2.3. Takım yolu desenleri (a) çizgi -1 ve 3 geçiş, b) çizgi - 2 geçiş, c) spiral - 1,2 ve 3 geçiş d) sikloidal takım yolu

Tablo 2.4'deki verilere göre eklemeli olarak üretilen numunelerin frezeleme işlemi için Hartford marka HV 45 CNC freze tezgahı kullanılmıştır. Deneyler sırasında sürtünme etkilerini en aza indirmek için yağlayıcı olarak bor yağı kullanıldı. Şekil 2.4 deney düzeneğinin bir çizimini göstermektedir.



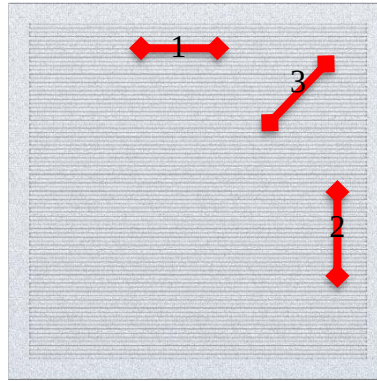
Şekil 2.4. Deney düzeneği

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Yüzey Özellikleri

Eİ yöntemiyle üretilmiş numunelerin EP işlemi neticesinde ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) ölçümleri Accretech Handysurf +45 marka portatif yüzey pürüzlülük cihazı yardımıyla 5 mm örnekleme uzunluğunda ve 1 mm/s ölçüm hızında Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilen 3 farklı yerden yapılmıştır. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 3.1.’de gösterilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü değeri olarak Ra parametresi seçimi, birçok çalışma da kullanılmış olmasının yanı sıra mevcut cihazın kabiliyetleri de göz önünde bulundurularak yapılmıştır [21,24,25,27]. Yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişimin daha iyi anlaşılabilmesi için Yüzey Pürüzlülüğü İyileştirme Oranı değerleri (YPIÖ) Denklem 1 yardımıyla hesaplanmıştır. Eİ ile üretilen ve EP uygulanan numunelerinin yüzey profilleri Şekil 3.2’de sunulmaktadır.



Şekil 3.1. Yüzey pürüzlülüğü için ölçüm konumu

$$YPIÖ = \frac{|Ra_f - Ra_i|}{Ra_i} \times 100 \quad (1)$$

Burada;

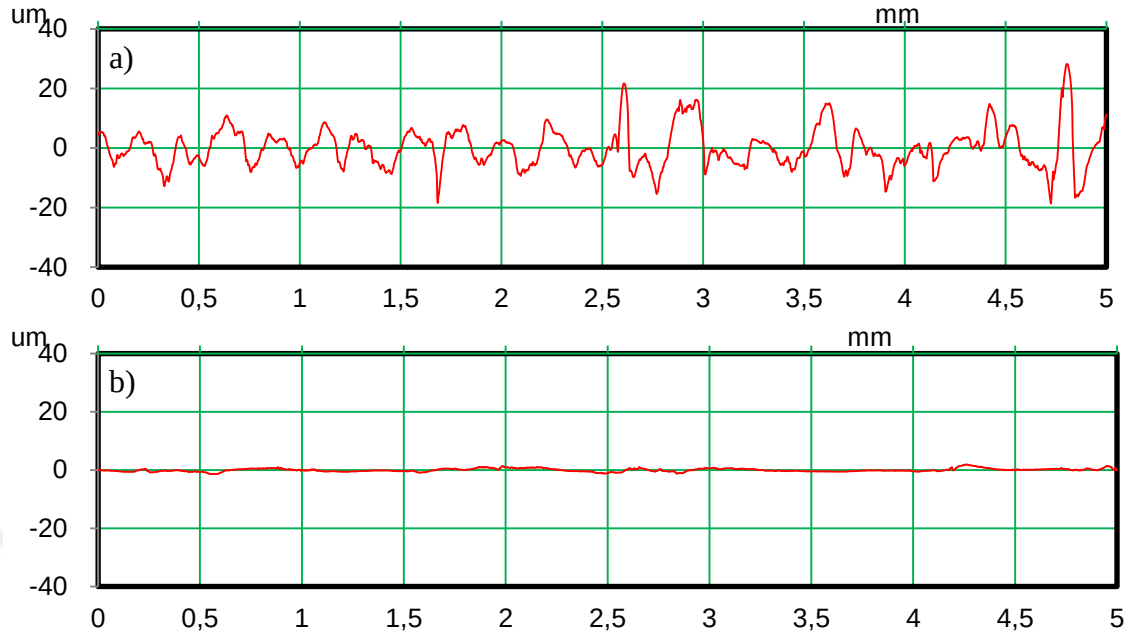
Ra_f, EP işlemi sonrası Ra değeri; Ra_i, EP işlemi öncesi Ra değeridir.

Tablo 3.1. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları

Deney #	Ra ₁ (μm)	Ra ₂ (μm)	Ra ₃ (μm)	Ra (μm)	YPİO (%)
1	0,552	1,653	0,926	1,044	78,11
2	0,689	1,319	0,965	0,991	79,22
3	0,502	1,586	1,133	1,074	77,48
4	0,621	1,668	1,226	1,172	75,43
5	0,663	1,466	0,732	0,954	80,00
6	0,622	1,648	0,875	1,048	78,02
7	0,648	1,736	1,155	1,180	75,26
8	0,435	1,73	1,008	1,058	77,82
9	0,714	1,537	1,007	1,086	77,23
10	0,654	1,319	1,039	1,004	78,95
11	0,666	1,562	0,894	1,041	78,18
12	0,624	1,242	0,769	0,878	81,58
13	0,699	1,514	1,163	1,125	76,40
14	0,763	1,252	1,076	1,030	78,39
15	0,856	1,020	1,072	0,983	79,39
16	0,750	1,757	1,000	1,169	75,48
17	0,512	1,127	1,117	0,919	80,73
18	0,624	1,396	0,968	0,996	79,11

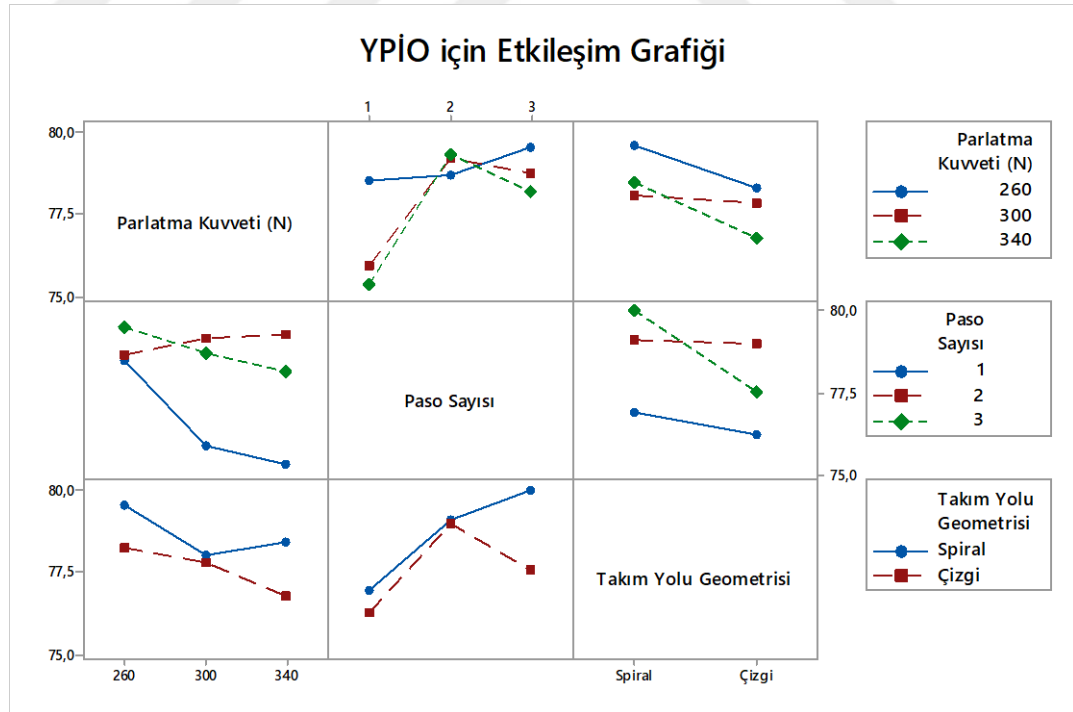
* Eİ ile üretilen numunenin Ra değeri 4.768 μm'dir

Tablo 3.1'de görüldüğü gibi, BP işlemi tüm deney koşullarında yüzey pürüzlülüğünde bir iyileşme ile sonuçlandı. BP öncesinde ortalama yüzey pürüzlülük değeri 4.768 μm iken işlem sonrasında bu değer ortalama 1.042 μm'a geriledi. Bu da yüzey kalitesinde ortalama %78,15 oranında iyileşme anlamına geliyor.



Şekil 3.2. a) Eİ ile üretilen ve b) BP uygulanan numunenin yüzey profilleri

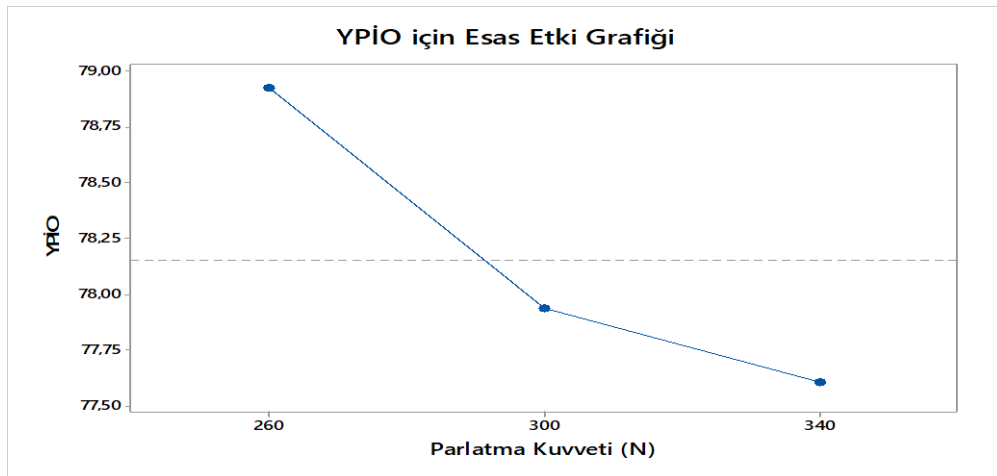
EP parametrelerinin YPIÖ üzerindeki etkileri ve birbirleriyle olan etkileşimleri Şekil 3.3'de grafiksel olarak gösterilmektedir.



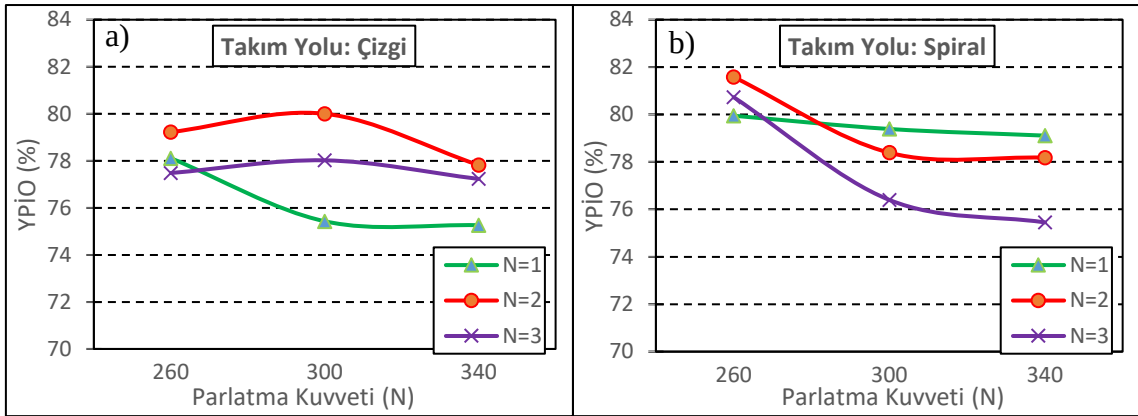
Şekil 3.3. YPIÖ için etkileşim grafiği

3.1.1 Parlatma Kuvvetinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkisi

Parlatma kuvvetinin YPİÖ üzerindeki esas etki grafiği Şekil 3.4'te görülmektedir. Grafikte kesikli çizgi ile gösterilen değer tüm deneylerin ortalama YPİÖ değeri olan %78,15 değerini göstermektedir. Nokta ile gösterilen değerler ise parlatma kuvveti parametresinin her bir seviyesinde elde edilen YPİÖ değerinin ortalamasını göstermektedir. Şekil incelendiğinde parlatma kuvveti değerinin artmasıyla YPİÖ değerinin azaldığı görülmektedir. Artan kuvvetle iş parçası üzerinde oluşan gerinim sertleşmesi, deformasyon sürecinin daha derine gitmesini engellediği gibi yüzeyde yeni pürüzlerin oluşmasına da neden olmaktadır [31-32]. Bunun sonucunda yüzey kalitesi nispeten olumsuz etkilenmektedir. Şekil 3.5'te ise parlatma kuvvetinin her bir parametreye bağlı olarak YPİÖ üzerindeki etkisi grafiksel olarak görülmektedir. Özellikle çizgi takım yoluna sahip tek paso olarak uygulanan deneylerde artan parlatma kuvvetinin YPİÖ üzerinde olumsuz etki ettiği görülürken 2 paso ve 3 paso olarak uygulanan deneylerde ise parlatma kuvvetinin 2. seviyesinde YPİÖ değerlerinde bir miktar artış olurken 3. seviyesinde belirgin bir azalma meydana gelmektedir (Şekil 3.5). 2 pasolu uygulamalarda takım yolları 90 derece kesiştiği için, ilk pasoda oluşan anizotropik parlatma izleri ikinci pasoda ortadan kaldırılarak yüzey kalitesi nispeten geliştirilmektedir. Öte yandan takım yolu deseninin spiral olduğu deneylerde yukarıda bahsedilen takım yolu kesişimleri olmadığı için bütün paso sayılarında benzer eğilim görülmektedir.



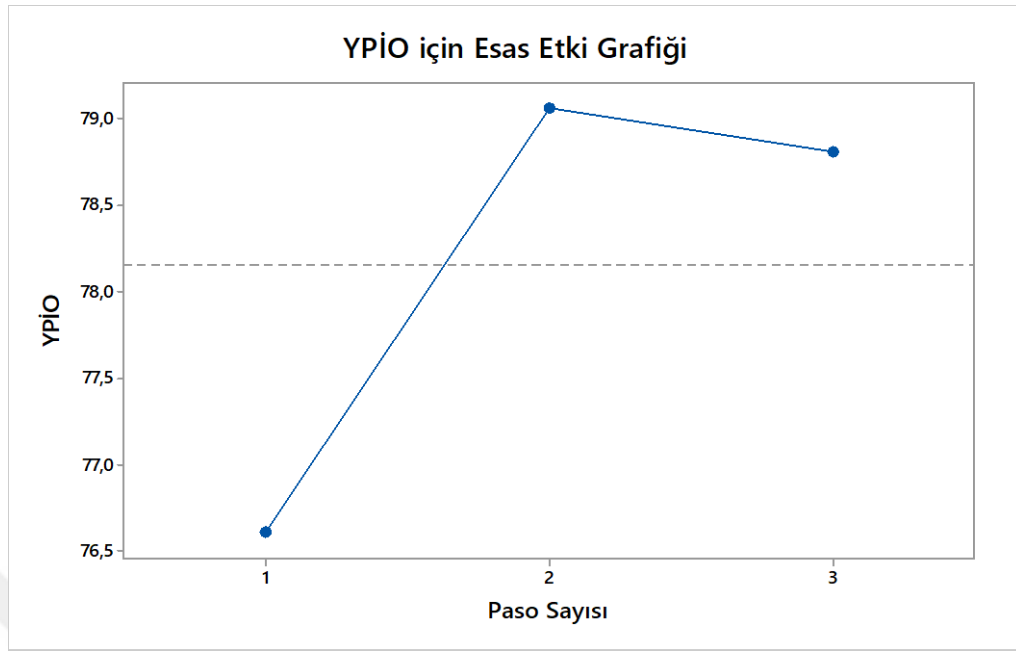
Şekil 3.4. Parlatma kuvvetinin YPİÖ üzerindeki etkisi



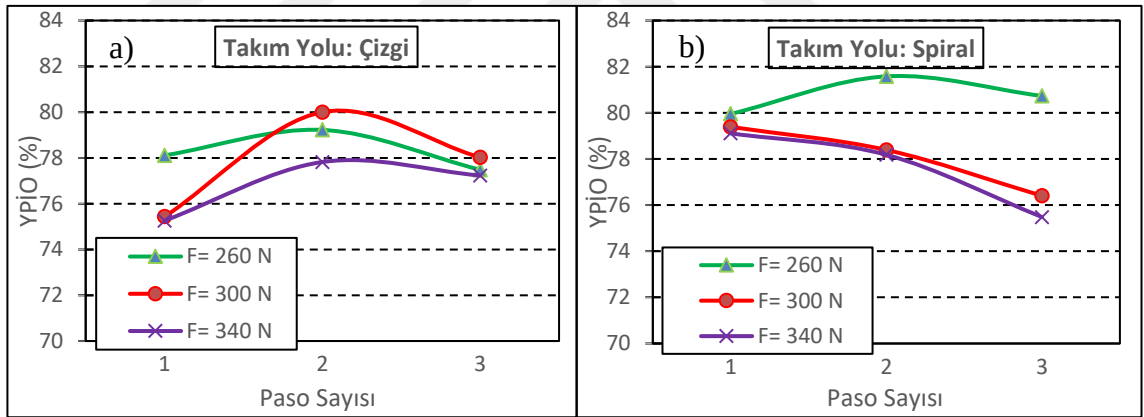
Şekil 3.5. Parlatma kuvvetinin parametre bazında YPIÖ üzerindeki etkisi

3.1.2. Paso Sayısının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkisi

Şekil 3.6'da paso sayısının YPIÖ üzerindeki esas etki grafiği görülmektedir. Şekil incelendiğinde paso sayısı arttıkça yüzey kalitesinin de arttığı görülmektedir. Ancak her bir parametrenin etkisi ayrı ayrı incelendiğinde bu artışın bütün koşullarda geçerli olmadığı görülmektedir (Şekil 3.7). Özellikle spiral takım yolunda parlatma kuvvetinin 1. seviyesinde paso sayısındaki artış YPIÖ üzerinde olumlu etki yaparken kuvvetin artmasıyla birlikte YPIÖ değerlerinin azaldığı görülmektedir. Çizgi takım yolunda ise en bütün parlatma kuvveti seviyelerinde en iyi YPIÖ değerinin 2 paso olarak uygulanan deneylerde edinildiği görülmektedir. 2 paso uygulanan deneylerde YPIÖ değerinin yüksek olması takım yollarının birbirleri ile dik olarak kesişmeleri neticesinde ilk pasoda meydana gelen parlatma izleri yok edilmesi ile ilişkilendirilebilir. Paso sayısı arttıkça parlatma takımının yüzeydeki tepeleri vadilere doğru akıtma şansı artar. Ancak paso sayısının artması malzeme yüzeyinde aşırı plastik deformasyona ve aşırı sertleşmeye neden olabilmektedir. Bunun sonucunda özellikle yüksek kuvvetlerin uygulandığı deneylerde yüzey katmanında pullanma gibi yüzey hasarları ile birlikte yüzey kalitesinde azalma meydana gelebilmektedir [21].



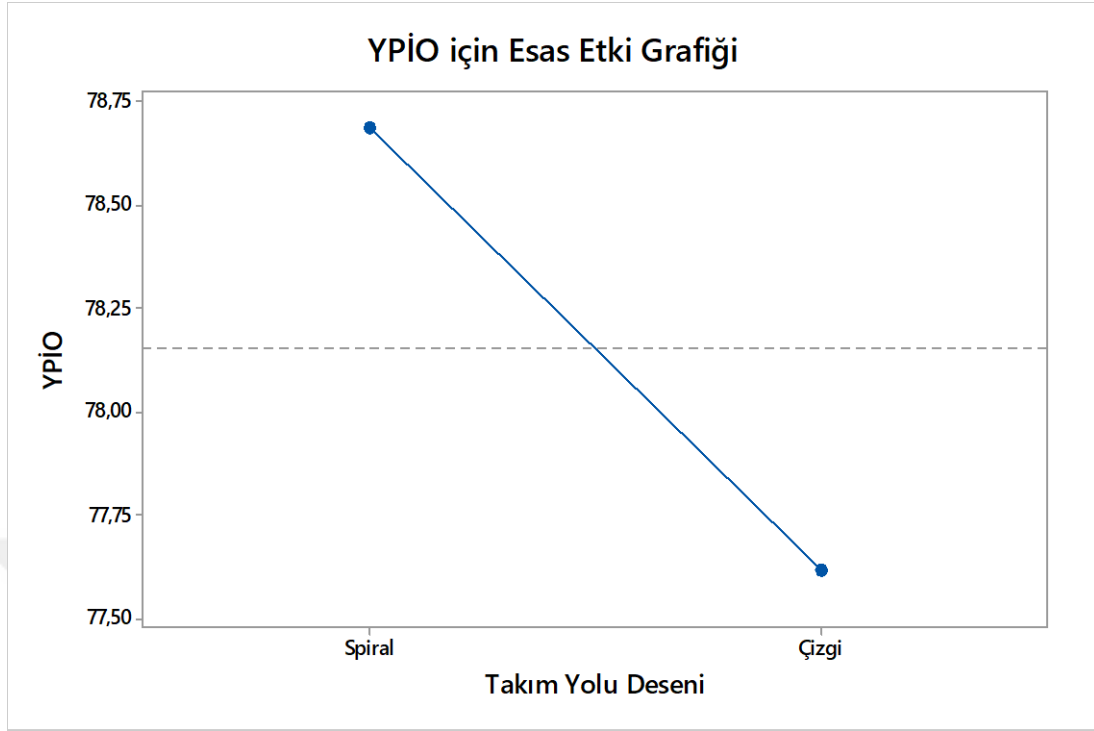
Şekil 3.6. Paso sayısının YPIÖ üzerindeki etkisi



Şekil 3.7. Paso sayısının parametre bazında YPIÖ üzerindeki etkisi

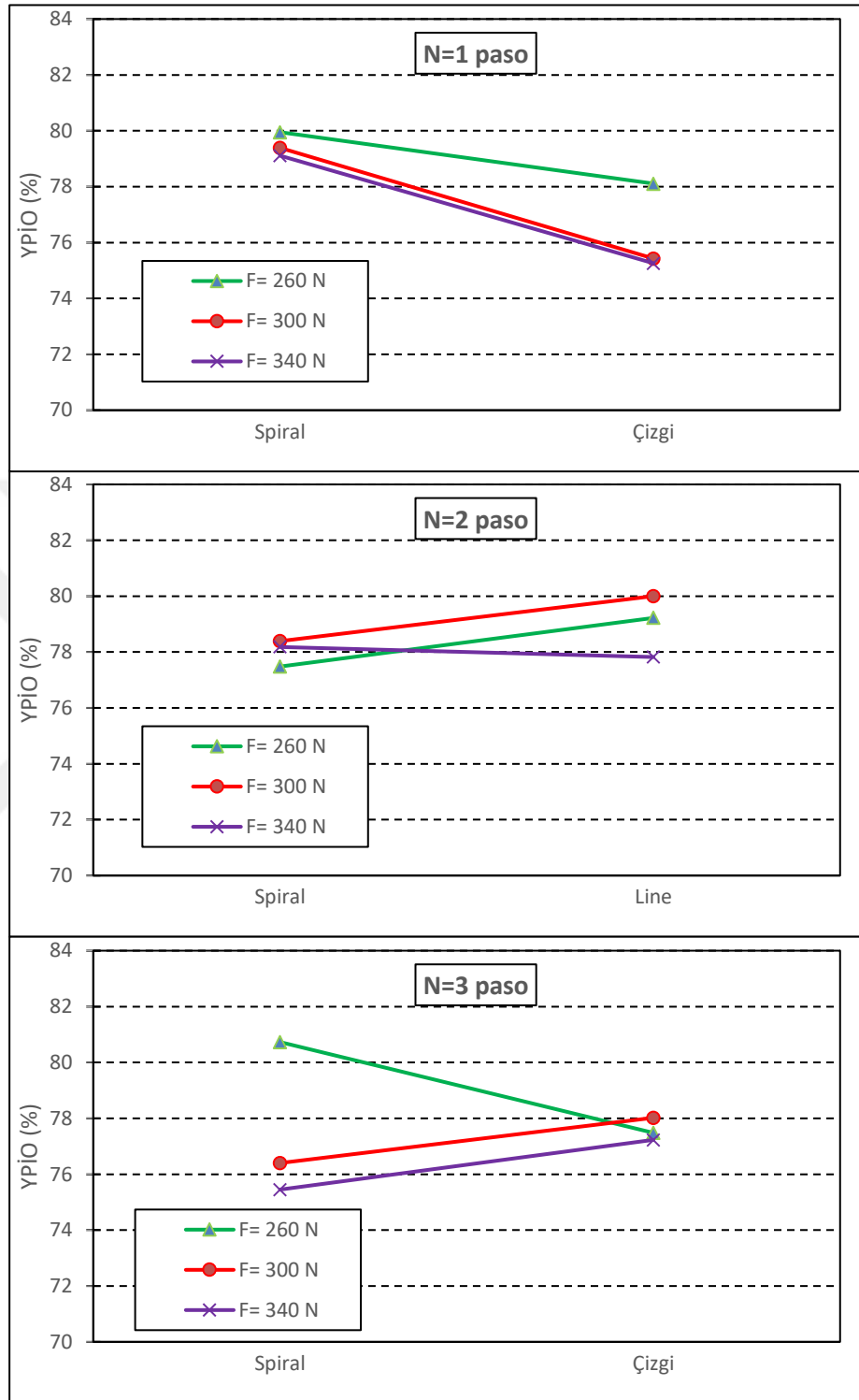
3.1.3. Takım Yolu Deseninin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkisi

Takım yolu deseninin YPIÖ üzerindeki ortalama etkisi Şekil 3.8’te görülmektedir. Şekil incelendiğinde spiral desene sahip deneylerde ortalama olarak çizgi desenine sahip deneylere kıyasla daha yüksek YPIÖ değerleri elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.8. Takım yolu deseninin YPİO üzerindeki etkisi

Şekil 3.9’da ise takım yolu deseninin her bir parametreye bağlı olarak YPİO üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekil incelendiğinde özellikle yüksek parlatma kuvvetlerinde ve yüksek paso sayılarında spiral desene sahip deneylerde nispeten daha düşük YPİO değerleri elde edildiği görülmektedir. Bu durum daha önce de bahsedilen aşırı sertleşme ve bunun neticesinde yüzey kalitesindeki azalışa bağlanmaktadır.



Şekil 3.9. Takım yolu deseninin parametre bazında YPIÖ üzerindeki etkisi

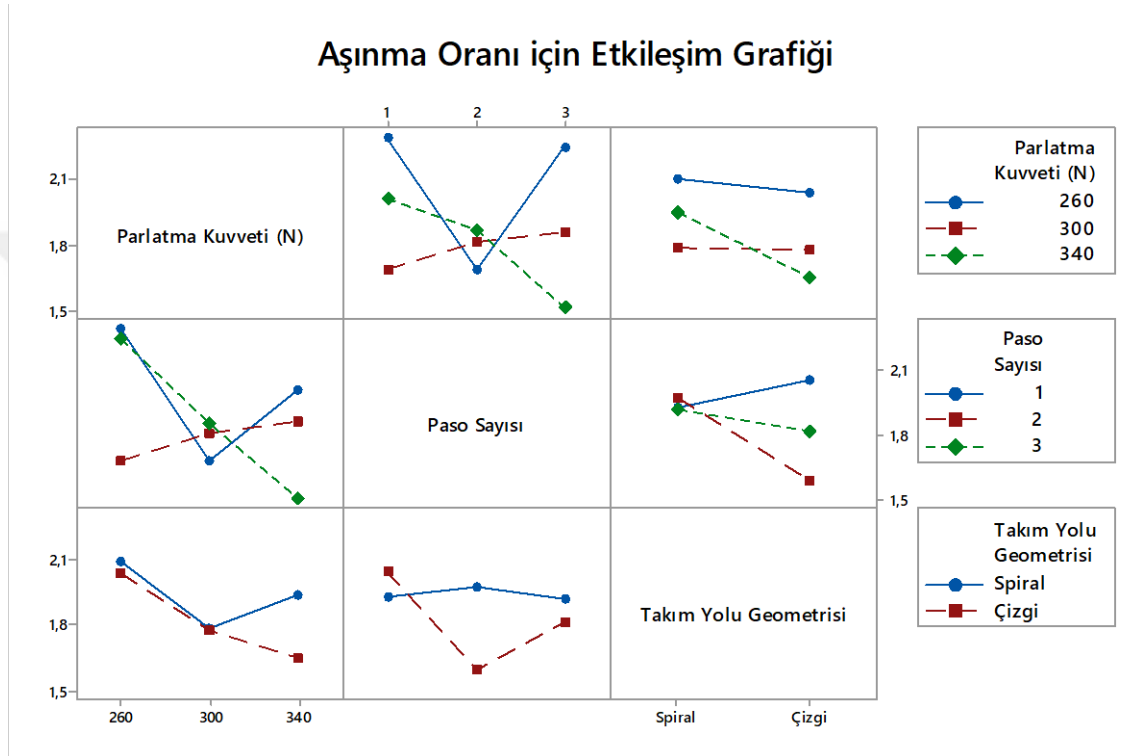
3.2. Aşınma Özellikleri

EP işleminin numunelerin aşınma özellikleri üzerindeki etkisini tespit edebilmek amacıyla EP işlemine tabi tutulan ve tutulmayan numuneler Turkyus marka pin on disk aşınma test cihazı vasıtasıyla aşınma testlerinde tabi tutulmuştur. Testler 6 mm çapında, 1850 HB sertliğe sahip alümina bilye ile 15 N sabit kuvvet ve 0,138 m/s plaka dönüş hızında gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda her bir numuneye ait aşınma oranı ve ortalama sürtünme katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca her bir numunenin aşınma yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenerek aşınma genişlikleri ölçülmüştür. Numunelere ait aşınma oranları, ortalama sürtünme katsayısı ve ortalama aşınma genişlikleri değerleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde bütün deney koşullarında EP işleminin aşınma oranı üzerinde düşürücü bir etki yarattığı görülmektedir. EP işlemi öncesi Eİ yöntemiyle üretilmiş numunelerin 3,267 mm³/Nm aşınma oranı değeri varken EP işlemi neticesinde bu değer 1,115 mm³/Nm değerine kadar düştüğü görülmektedir. Ortalama olarak ise EP işleminin aşınma oranında %42,39’luk bir oranda azalış etkisi yarattığı görülmektedir. Numunelere ait SEM görüntüleri ve sürtünme katsayısı grafikleri ise Ek 1. de verilmiştir.

Tablo 3.2. Aşınma değerleri

Deney #	Aşınma Oranı (mm ³ /Nm)	Sürtünme Katsayısı (ort)	Ortalama Aşınma Genişlikleri (mm)
1	2,670	0,460	1,762
2	2,508	0,459	1,745
3	1,913	0,453	1,584
4	2,370	0,456	1,740
5	1,921	0,459	1,621
6	1,333	0,452	1,381
7	1,437	0,459	1,468
8	1,647	0,456	1,565
9	1,533	0,457	1,543
10	2,365	0,472	1,738
11	2,955	0,459	1,887
12	1,745	0,456	1,578
13	1,845	0,460	1,580
14	1,986	0,460	1,675
15	1,513	0,455	1,524
16	1,543	0,459	1,563
17	1,115	0,456	1,217
18	1,479	0,463	1,512
Referans	3,267	0,457	1,970

Parametrelerin aşınma özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirebilmek için aşınma oranı verileri baz alınarak değerlendirme yapılmıştır. Aşınma oranı o malzemenin aşınma direnciyle ters orantılıdır. Dolayısıyla bu çalışmada EP işleminin aşınma oranında bir azalışa diğer bir deyişle aşınma direncinde artışa sebebiyet verdiği görülmektedir. Aşınma oranı için etkileşim grafiği Şekil 3.10’da verilmiştir.



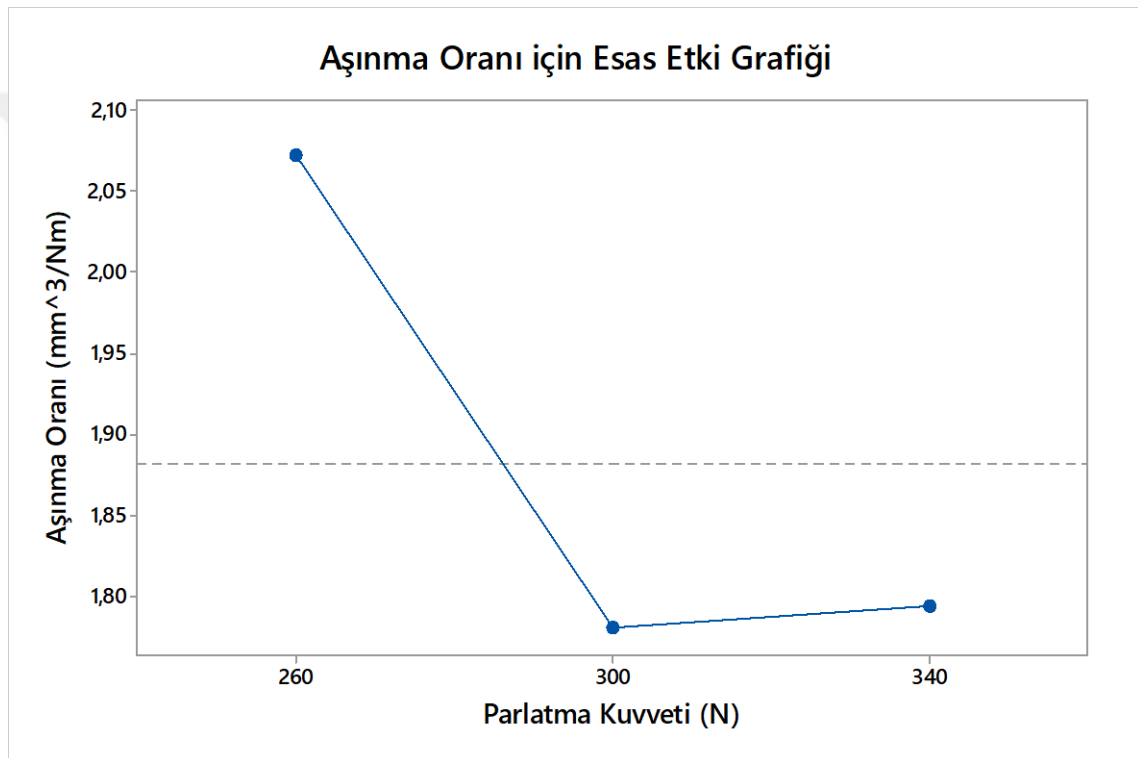
Şekil 3.10. Aşınma oranı için etkileşim grafiği

3.2.1. Parlatma Kuvvetinin Aşınma Özellikleri Üzerinde Etkisi

Parlatma kuvvetinin aşınma oranı üzerindeki esas etki grafiği Şekil 3.11’de görülmektedir. Grafikte kesikli çizgi ile gösterilen değer tüm deneylerin ortalama aşınma oranı olan $1,881 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ değerini göstermektedir. Nokta ile gösterilen değerler ise parlatma kuvveti parametresinin her bir seviyesinde elde edilen aşınma oranı değerinin ortalamasını göstermektedir. Şekil incelendiğinde parlatma kuvveti değerinin artmasıyla aşınma oranı değerinin azaldığı görülmektedir. Bilindiği üzere EP işlemi ile birlikte yüzey üzerinde plastik deformasyon meydana gelmekte ve esas malzemeye kıyasla daha sert bir tabaka oluşmaktadır [35]. Artan parlatma kuvveti neticesinde deformasyonun daha derine nüfuz etmesi ile malzemenin sertliğindeki artış daha derine ulaşmaktadır. Parlatma kuvvetinin artmasıyla aşınma oranının azalması bu durum ile ilişkilendirilebilir. Ancak

EP işlemi sırasında meydana gelen aşırı deformasyon işlemin daha derine nüfuz etmesini engelleyebilmektedir. Bu sebeple artan parlatma kuvveti bir seviyeden sonra aşınma direncini beklenen düzeyde artırmayıp göreceli olarak daha az hatta tam tersi yönde de bir etki yapabilmektedir.

Aşınma oranı değerlerinin parlatma kuvvetinin birinci ve ikinci seviyesindeki değerlerine bakıldığında keskin bir azalma meydana geldiği, ikinci seviye ile üçüncü seviye arasında ise belirgin bir farklılık olmadığı görülmektedir.

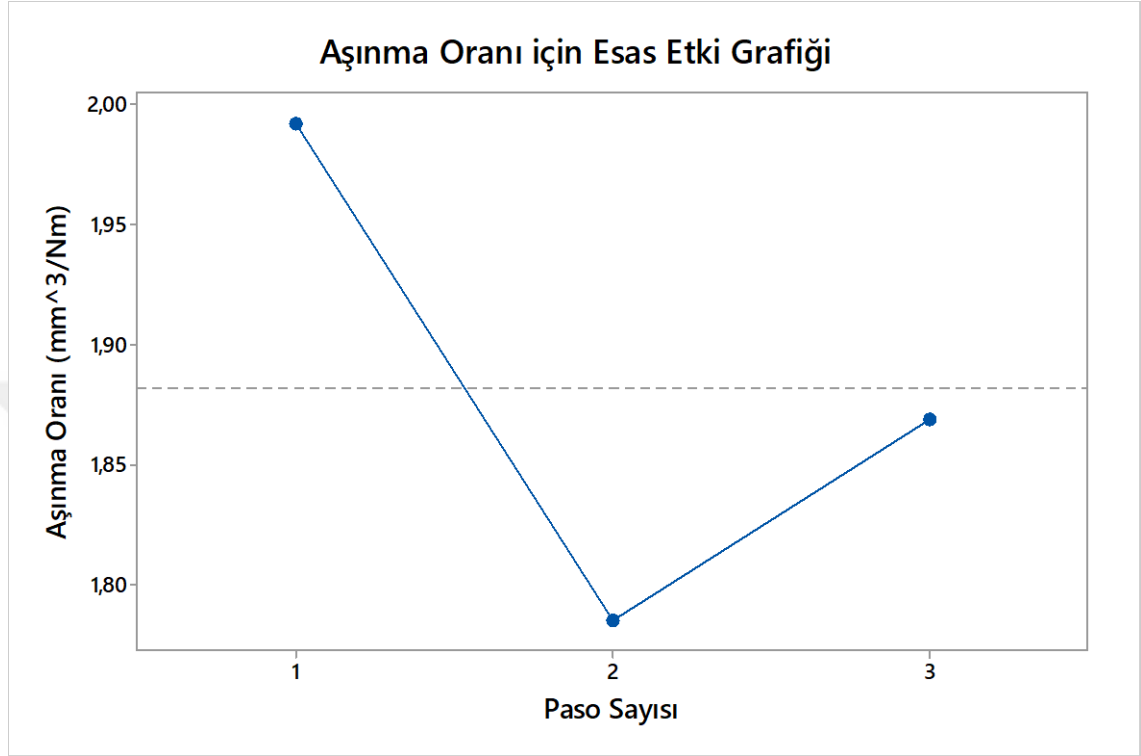


Şekil 3.11. Parlatma kuvvetinin aşınma oranı üzerindeki etkisi

3.2.2. Paso Sayısının Aşınma Özellikleri Üzerinde Etkisi

Şekil 3.12’de paso sayısının aşınma özellikleri üzerindeki esas etki grafiği görülmektedir. Şekil incelendiğinde paso sayısının artmasıyla aşınma oranında belirgin bir azalma olduğu görülmektedir. Artan paso sayısı ile birlikte yüzeyde ve yüzey altında meydana gelen plastik deformasyon ve deformasyon sertleşmesiyle birlikte sertlik artmaktadır. Ancak paso sayısı parametresinin artması bir seviyeden sonra işlemin daha derine nüfuz etmesini engelleyerek deformasyonun daha derine ulaşmasına engel olmaktadır ve bununla birlikte aşınma direncinde de göreceli olarak bir azalışa sebebiyet vermektedir. Bu sebeple paso sayısı parametresinin 1. seviyesinden 2. seviyesine doğru aşınma oranı

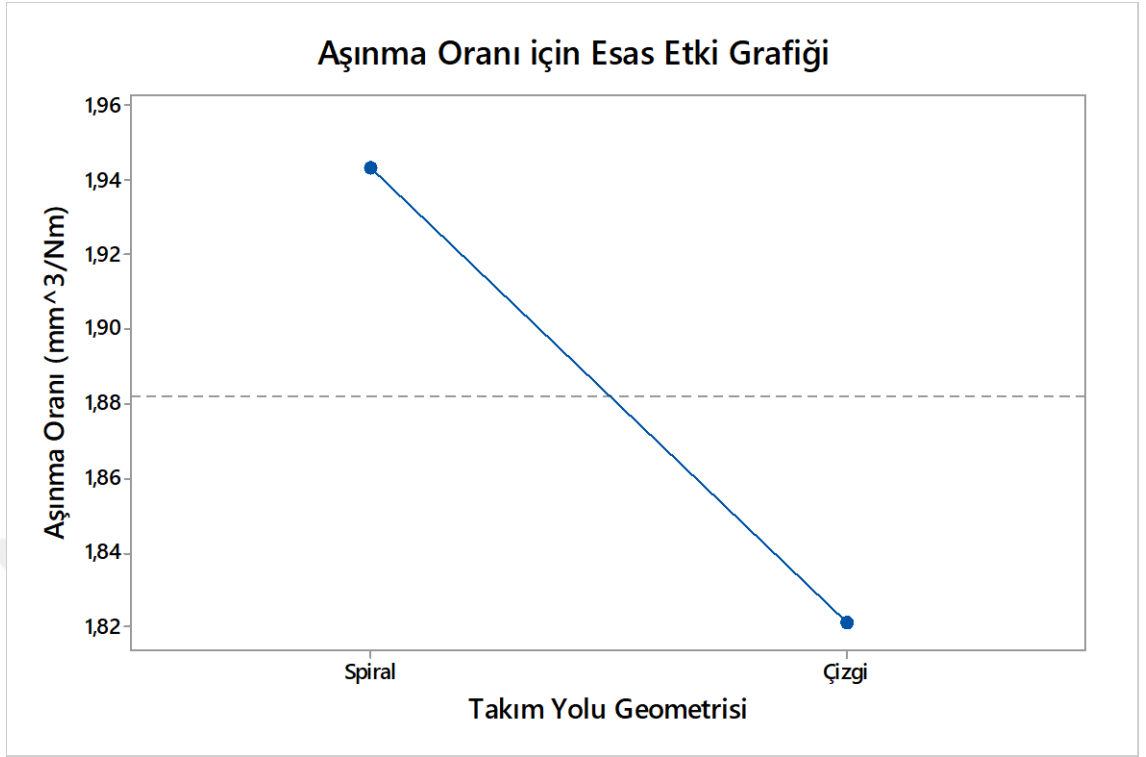
değerinde keskin bir azalış meydana gelirken 2. seviyeden 3. seviyeye geçişte tekrardan bir artış görülmektedir.



Şekil 3.12. Paso sayısının aşınma oranı üzerindeki etkisi

3.2.3. Takım Yolu Geometrisinin Aşınma Özellikleri Üzerinde Etkisi

Takım yolu geometrisinin aşınma oranı üzerindeki esas etki grafiği Şekil 3. 13'te görülmektedir. Şekil incelendiğinde çizgi geometriye sahip takım yolu deseninin kullanıldığı deneylerde aşınma oranının spiral takım yolu deseninin kullanıldığı deneylere kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu durum Şekil 3.10 ile birlikte değerlendirildiğinde özellikle yüksek parlatma kuvvetlerinde ve yüksek paso sayılarında çizgi takım yolu deseninin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu durum da spiral takım yolu deseninde üst üste binen ve birbirinin kesen parlatma izlerinin aşırı deformasyona sebep olduğu düşüncesini uyandırmaktadır.



Şekil 3.13. Takım yolu geometrisinin aşınma oranı üzerindeki etkisi

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma

Eklemeli imalat, genel olarak katman katman malzeme ekleyerek nesnelerin üretilmesi sürecini ifade eder. Bu yöntem, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları kullanılarak dijital modellerin oluşturulması ve bu modellerin özel yazıcılar aracılığıyla fiziksel nesnelere dönüştürülmesiyle gerçekleştirilir. Eklemeli imalat, özellikle karmaşık geometrilere sahip parçaların hızlı ve ekonomik bir şekilde üretilmesi için idealdir. Ancak bu yöntemin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar arasında düşük yüzey kalitesi ve nispeten düşük mekanik özellikler ön sırada yer almaktadır.

Eklemeli imalat ile üretilen parçaların yüzey kalitesi, genellikle geleneksel üretim yöntemlerine göre daha düşüktür. Bu, katman katman ekleme sürecinin doğasından kaynaklanır; her katman arasında belirli bir boşluk ve dantel yapısı oluşabilir. Bu da, son ürünün pürüzsüz ve estetik görünümünü olumsuz etkileyebilir.

Eklemeli imalat sürecinde, katmanlar arasında bağlanma noktaları olduğundan, parçaların mekanik özellikleri genellikle anisotropik (yön bağımlı) olabilir. Yani, parçanın farklı yönlerindeki mekanik özellikler, üretim yönüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu, özellikle dayanıklılık ve çekme mukavemeti gibi özelliklerde sorunlara yol açabilir.

Sonuç olarak eklemeli imalat yönteminin avantajları nedeniyle popülerliği artsa da, yüzey kalitesi ve mekanik özellikler açısından bazı dezavantajları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu dezavantajların üstesinden gelmek için uygun malzeme seçimi ve uygun post-processing teknikleri kullanmak önemlidir.

Bu kapsamda uygulanan post processing işlemlerinden bir tanesi de ezerek parlatma yöntemidir.

Ezerek parlatma, düşük hızda dönen bir ezme aparatının yüzeyle doğrudan temas etmesi yoluyla uygulanan bir işlemdir. Bu aparatın yüzeyi, genellikle sertleştirilmiş ve taşlanmış bir malzemeden yapılmıştır. İşlem sırasında aparat, parçanın yüzeyi üzerinde çok yüksek bir baskı uygulayarak metalin akışkan özelliklerini kullanır. Bu baskı, yüzeyin dış tabakasında deformasyona neden olur ve mevcut pürüzlülükleri azaltır, böylece yüzeyin daha pürüzsüz ve parlak bir görünüm kazanmasını sağlar.

Yüzey pürüzlülüğündeki bu artış hem doğrudan yüzey kalitesinde olumlu bir etki yaratırken hem de dolaylı olarak malzemenin yorulma ve aşınma dayanımını artırmaktadır.

Bu çalışmada eklemeli imalat yöntemiyle imal edilmiş AlSi10Mg alaşımı ezerek parlatma işlemine tabi tutulmuştur. EP işleminde parlatma kuvveti ve paso sayısı parametreleri 3'er farklı seviyede değiştirilirken takım yolu geometrisi parametresi ise 2 farklı seviyede değiştirilmiştir. EP işlemine tabi tutulan ve tutulmayan numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve numuneler aşınma testlerine tabi tutulmuştur. EP işleminin yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme oranı ve aşınma oranı üzerindeki etkileri parametre bazında değerlendirilmiştir.

4.2. Sonuç ve Öneriler

Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü iyileşme oranı açısından elde edilen sonuçlar;

- EP işlemi neticesinde bütün deney koşullarında yüzey kalitesinin arttığı tespit edilmiştir. Eİ ile imal edilen numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değeri 4.768 μm iken EP işlemi sonrasında bu değer ortalama 1.042 μm 'a gerilemiştir. Bu da yüzey kalitesinde ortalama %78,15 oranında iyileşme anlamına gelmektedir.
- Parlatma kuvvetinin YPİO üzerindeki etkisine bakıldığında en yüksek YPİO değerlerinin en düşük seviye olan 260 N seviyesinde elde edildiği diğer 2 seviye olan 300 ve 340 N seviyelerinin ise ortalamanın altında bir YPİO değeri sağladığı görülmüştür.

- Paso sayısı parametresinin YPIÖ üzerindeki etkisine bakıldığında en yüksek YPIÖ değerinin 2. seviye olan 2 paso sayısında meydana geldiği bunu sırasıyla 3. ve 1. Seviyelerin takip ettiği görülmüştür.
- Takım yolu geometrisi parametresinin YPIÖ üzerindeki etkilerine bakıldığında spiral geometriye sahip takım yollarının çizgi şeklindeki geometriye sahip takım yollarına kıyasla daha yüksek YPIÖ değeri sağladığı görülmüştür.

Aşınma dayanımı açısından elde edilen sonuçlar;

- EP işlemi neticesinde bütün deney koşullarında Eİ ile imal edilen numunelere kıyasla aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir. Aşınma oranlarının karşılaştırılması suretiyle yorumlanan aşınma direncinde EP işlemi öncesi Eİ yöntemiyle üretilmiş numunelerin $3,267 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ aşınma oranı değeri varken EP işlemi neticesinde bu değer $1,115 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ değerine kadar düştüğü görülmektedir. Ortalama olarak ise EP işleminin aşınma oranında %42,39'luk bir oranda azalış etkisi yarattığı görülmektedir
- Parlatma kuvvetinin aşınma oranı üzerindeki etkilerine bakıldığında en az aşınmanın 2. seviye olan 300 N'da olduğu ve bunu çok az bir farkla 3. seviye olan 340 N ve sonrasında 260 N'luk 1. seviyenin takip ettiği görülmektedir.
- Paso sayısı parametresinin aşınma oranı üzerindeki etkileri incelendiğinde en az aşınma oranının 2. seviye olan 2 paso sayısında gerçekleştiği, bunu sırasıyla 3. Ve 1. seviyelerin takip ettiği görülmektedir.
- Takım yolu geometrisinin aşınma oranı üzerindeki etkisi incelendiğinde ise çizgi şeklinde takım yoluna sahip deneylerde spiral takım yoluna sahip deneylere kıyasla daha az aşınma oranı olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak Eİ ile üretilmiş AlSi10Mg alaşımının yüzey kalitesi ve aşınma direncinin artırılması amacıyla kullanılmakta olan ezerek parlatma yönteminin belirtilen amaçlar doğrultusunda kullanışlı bir yöntem olduğu görülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçların akademik ve endüstriyel çalışmalarda kullanılmak üzere bir yol gösterici olması ümit edilmektedir.

Çalışma süresince yapılan deneyler ve testler neticesinde edinilen tecrübeye dayalı olarak verilebilecek öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Deneyler farklı malzemeler için yapılarak yöntemin farklı malzemeler üzerindeki etkileri incelenebilir.
- EP yönteminin özellikle mekanik özellikler üzerindeki etkilerini daha iyi irdelleyebilmek için EP yöntemi sonrasında numunelerin yüzey ve yüzey altı sertlikleri incelenebilir.
- EP yönteminin malzeme üzerindeki yapısal değişikliklerini inceleyebilmek adına numunelerden alınan kesitlerdeki mikroyapısal değişiklikler incelenebilir.
- EP yönteminin aşınma direncinin yanı sıra yorulma direncine etkilerini incelemek adına numuneler yorulma testlerine tabi tutulabilir.

KAYNAKÇA

1. O. Özsolak, 2019. Eklemeli İmalat Yöntemleri ve Kullanılan Malzemeler, International Journal of Innovative Engineering Applications 3, 1, 9-14.
2. R. Chou, J. Milligan, M. Paliwal and M. Brochu, Additive Manufacturing of Al-12Si Alloy Via Pulsed Selective Laser Melting, **JOM**, Vol. 67, No. 3, 2015
3. Wohlers Report 2022, ([https://wohlersassociates.com/terminology-and-definitions/additivemanufacturing/#:~:text=Additive%20manufacturing%20\(AM\)%20as%20defined,and%20formative%20methods%20of%20manufacturing](https://wohlersassociates.com/terminology-and-definitions/additivemanufacturing/#:~:text=Additive%20manufacturing%20(AM)%20as%20defined,and%20formative%20methods%20of%20manufacturing)), (Erişim tarihi: Nisan 2023).
4. M. QIAN, 2015. Metal Powder for Additive Manufacturing, **JOM**, Vol. 67, No. 3.
5. T. DebRoy, H.L. Wei , J.S. Zuback , T. Mukherjee , J.W. Elmer , J.O. Milewski , A.M. Beese , A. Wilson-Heid , A. De , W. Zhang, 2018. Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties, **Progress in Materials Science Volume 92**, March, Pages 112-224
6. Lawrence E. Murr, 2016. Additive Manufacturing: Changing the Rules of Manufacturing, Handbook of Materials Structures, Properties, Processing and Performance DOI 10.1007/978-3-319-01905-5_42-2 # Springer International Publishing AG.
7. G. Özer, 2020. Eklemeli Üretim Teknolojileri Üzerine Bir Derleme, **NÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / NOHU J. Eng. Sci.**, 9(1): 606 - 621
8. A. Bandyopadhyay , K. D. Traxel , M. Lang , M. Juhasz , N. Eliaz, S. Bose , 2022. Alloy design via additive manufacturing: Advantages, challenges, applications and perspectives, **Materials Today, Volume 52**, January/February.
9. M. Aktürk, M. E. Korkmaz, 2021. Eklemeli İmalat Yöntemi ile Üretilmiş Alüminyum Alaşımlarının Malzeme Yapısal Parametrelerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Derleme, **İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları Cilt: 2**, No: 1, (49-60).

10. H.K. Sürmen, 2019. Eklemeli İmalat (3b Baskı): Teknolojiler Ve Uygulamalar, **Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi**, Cilt 24, Sayı 2.
11. Manufacturing 3D Printer Market, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/manufacturing-3d-printer-market>, (Erişim tarihi: Mayıs 2024)
12. B. Yalçın, B. Ergene, 2017. Endüstride Yeni Eğilim Olan 3-B Eklemeli İmalat Yöntemi VE Metalurjisi, **SDU International Journal of Technological Science** Vol. 9, No 3, pp. 65-88.
13. V. Madhavadas , D. Srivastava , U. Chadha , S. Aravind Raj , M. T. H. Sultan, F. S. Shahr , A. U. Md Shah, 2022. A review on metal additive manufacturing for intricately shaped aerospace components, **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology** Volume 39, Pages 18-36.
14. K. Zyguła, B. Nosek, H. Pasiowiec, N. Szysiak, 2018. Mechanical properties and microstructure of AlSi10Mg alloy obtained by casting and SLM technique, **World Scientific News** 104, 462-472
15. Z.-h. Li, Y.-f. Nie, B. Liu, et al., 2020. Mechanical properties of AlSi10Mg lattice structures fabricated by selective laser melting, **Materials & Design**.
16. M. Javidani, J. Arreguin-Zavala, J. Danovitch, Y. Tian, M. Brochu, 2017. Additive Manufacturing of AlSi10Mg Alloy Using Direct Energy Deposition: Microstructure and Hardness Characterization, **J Therm Spray Tech.** 26:587–597
17. Y. Siyambaş, Y. Turgut, 2022. Defects, Mechanical Properties and Surface Roughness of AlSi10Mg Alloy Parts Produced by Selective Laser Melting (SLM) Method-A Review, **GU J Sci, Part C**, 10(2): 368-390.
18. L. Girelli , M. Giovagnoli, M. Tocci, A. Pola , A. Fortini, M. Merlin, G. M. La Vecchia, 2019. Evaluation of the impact behaviour of AlSi10Mg alloy produced using laser additive manufacturing, **Materials Science & Engineering A** 748 38–51.

19. N. Takata, H. Kodaira, K. Sekizawa, A. Suzuki, M. Kobashi, 2017. Change in microstructure of selectively laser melted AlSi10Mg alloy with heat treatments, **Mater. Sci. Eng. A** **704**, 218–228.
20. T. Ermergen, F. Taylan, 2020. Eklemeli imalat ile imal edilmiş metal parçalara uygulanan yüzey bitirme işlemleri, **Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi**, **12**(1), 45-55.
21. J. Damon, S. Dietrich, F. Vollert, J. Gibmeier, V. Schulze, 2018. Process dependent porosity and the influence of shot peening on porosity morphology regarding selective laser melted AlSi10Mg parts, **Additive Manufacturing** **20**, 77–89.
22. T. A. El-Taweel & M. H. El-Axir, 2009. Analysis and optimization of the ball burnishing process through the Taguchi technique, **Int J Adv Manuf Technol** **41**:301–310.
23. D. De Oliveira , M. C. Gomes , A. G. Dos Santos, K. S. B.Ribeiro , I. J. Vasques, R. T. Coelho, M. B. Da Silva, N. W. Hung, 2023. Abrasive and non conventional post processing techniques to improve surface finish of additively manufactured metals: a review, **Progress in Additive Manufacturing** **8**:223–240.
24. M. A. Mahmood, D. Chioibas, A. U. Rehman, S. Mihai, A. C. Popescu, 2022. Post-Processing Techniques to Enhance the Quality of Metallic Parts Produced by Additive Manufacturing, **Metals** **12**, 77.
25. Başak, H., S. Özkan, and A. Taşkesen, 2011. Application of burnishing process on friction stir welding and investigation of the effect of burnishing process on the surface roughness, hardness and strength. **Experimental Techniques**, **35**(1): p. 8.
26. A. Stwora, G. Skrabalak, and J. Maszybrocka, 2017. To enhance mechanical properties of parts produced from AlSi10Mg powder with use of SLS/SLM methods by densification of the product surface layer. **Mechanik**, **90**(5-6): p. 426-431.
27. G. Rotella, L. Filice, F. Micari, 2020. Improving surface integrity of additively manufactured GP1 stainless steel by roller burnishing, **CIRP Ann.** **69**, 513–516.

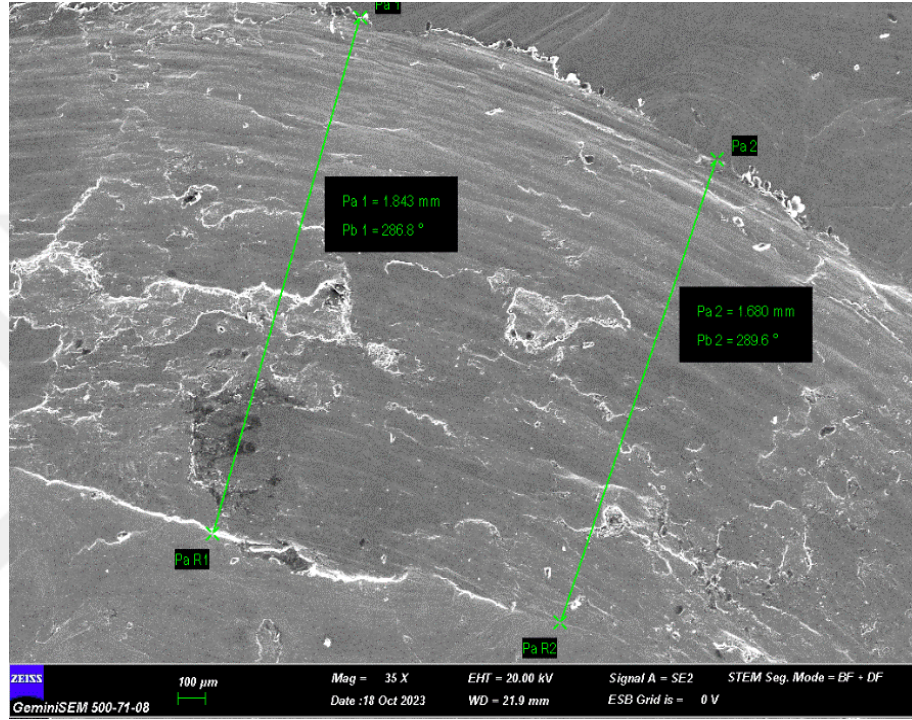
28. J. Rue , E. Velazquez, J. Marques , J. Llumà , R. Jerez, J. A. Travieso, 2021. Ball Burnishing effects on hardness and residual stresses in UDIMET 720 pieces, 9th *Manufacturing Engineering Society International Conference* (MESIC 2021).
29. P. Zhang, J. Lindemann, 2005. Effect of roller burnishing on the high cycle fatigue performance of the high-strength wrought magnesium alloy AZ80, **Scr. Mater.** **52** 1011–1015.
30. S.J. Casarin, L.E. De Angelo Sanchez, E.C. Bianchi, V.L. Scalon, R.L. Fragelli, E.L. De Godoi, M.D.P. Cindra Fonseca, 2021. Effect of burnishing on Inconel 718 workpiece surface heated by infrared radiation, **Mater. Manuf. Process.** **36** 1853–1864.
31. M. Okada, S. Suenobu, K. Watanabe, Y. Yamashita, N. Asakawa, 2015. Development and burnishing characteristics of roller burnishing method with rolling and sliding effects, **Mechatronics.** **29**, 110–118.
32. Z.F. Kovács, Z.J. Viharos, J. Kodácsy, 2020. Surface flatness and roughness evolution after magnetic assisted ball burnishing of magnetizable and non-magnetizable materials.
33. M.H. El-Axir, 2000. An investigation into roller burnishing, **Int. J. Mach. Tools Manuf.** **40**, 1603–1617.
34. G.D. Revankar, R. Shetty, S.S. Rao, V.N. Gaitonde, 2014. Analysis of surface roughness and hardness in ball burnishing of titanium alloy, **Measurement.** **58**, 256–268.
35. M. Celik, U. Caydas, M. Akyüz, 2022. The influence of roller burnishing process parameters on surface quality and fatigue life of AA 7075-T6alloy **Materialwissenschaft und Werkstofftechnik** **53**, (608-616).

EKLER

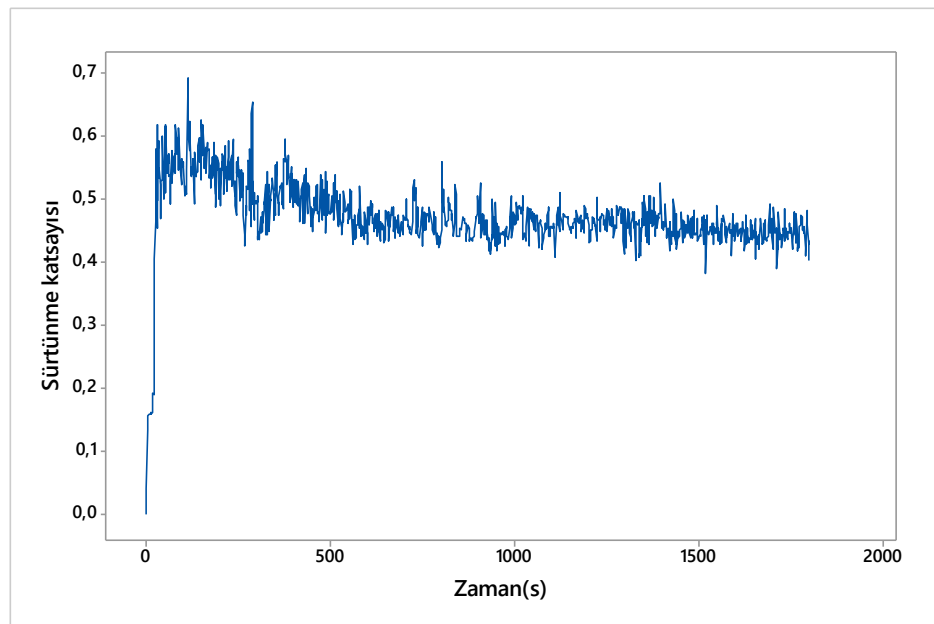
EK 1. Numunelere ait a) aşınmış yüzey görüntüleri ve b) sürtünme katsayısı grafikleri

Deney #1

a)

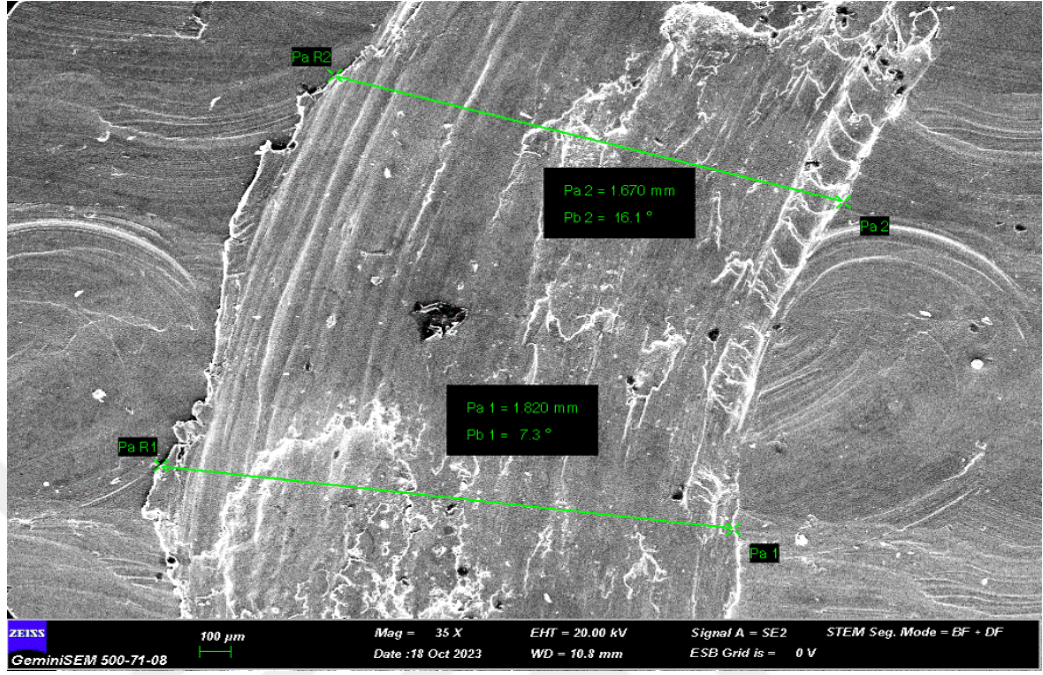


b)

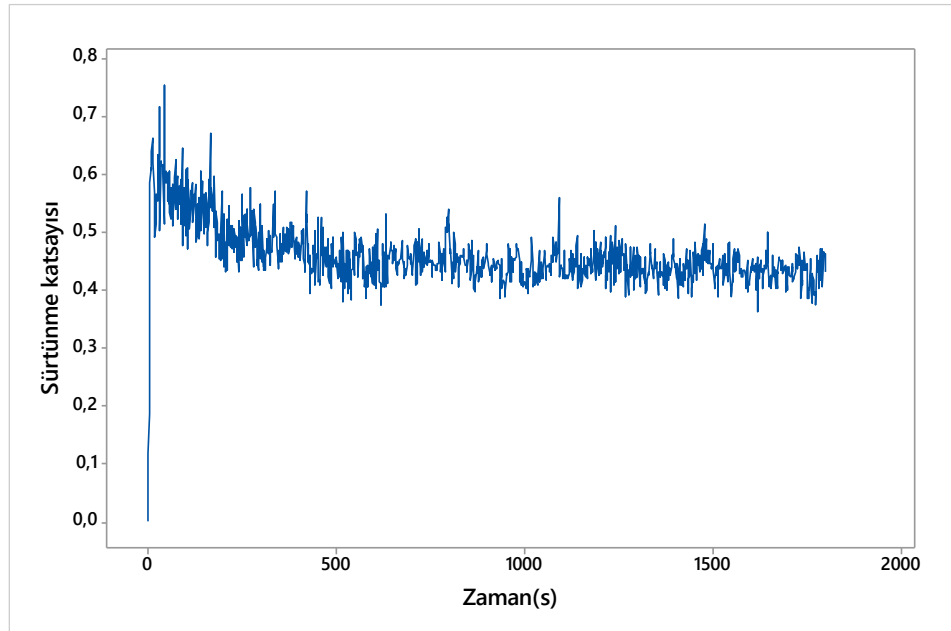


Deney #2

a)

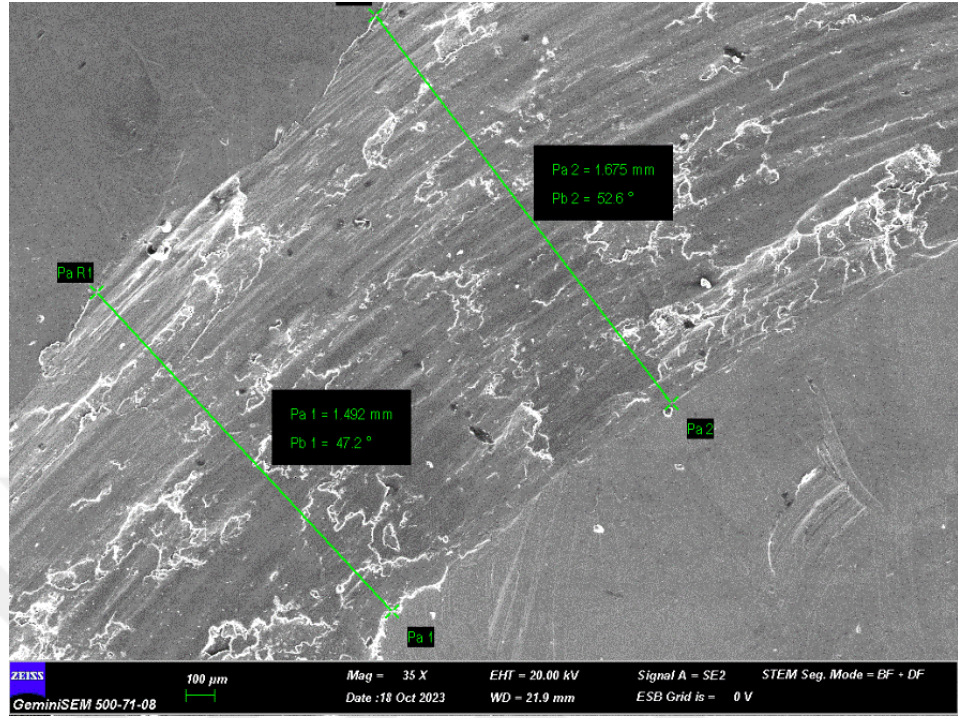


b)

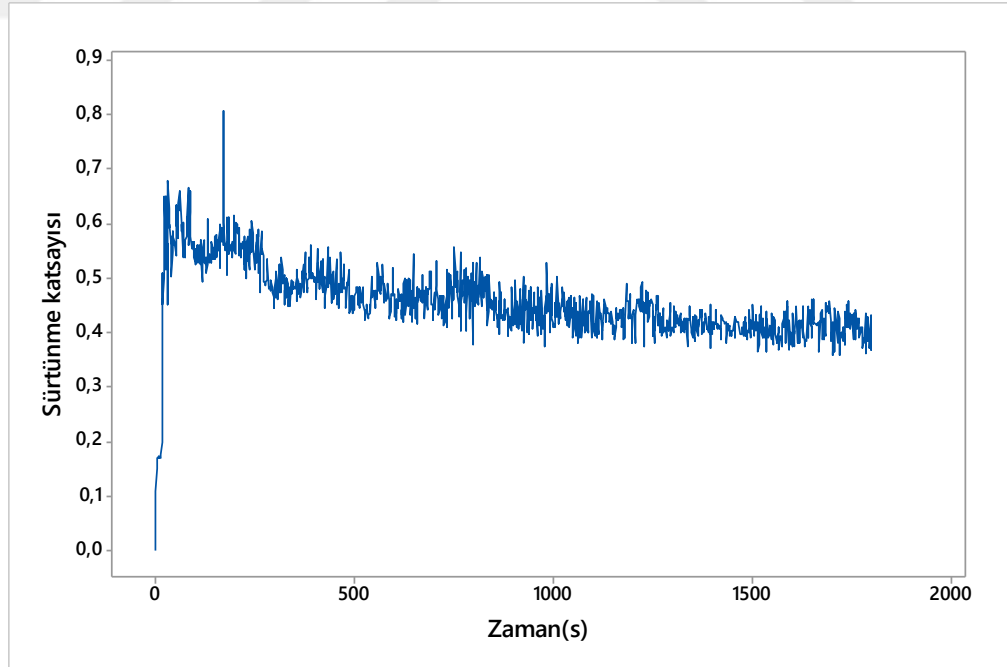


Deney #3

a)

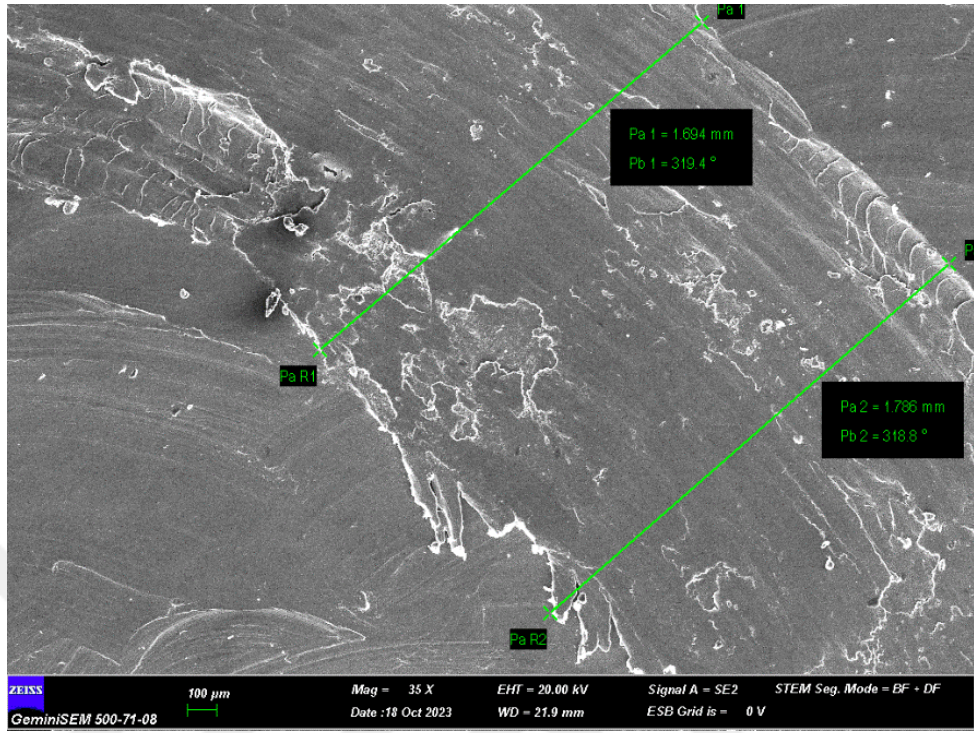


b)

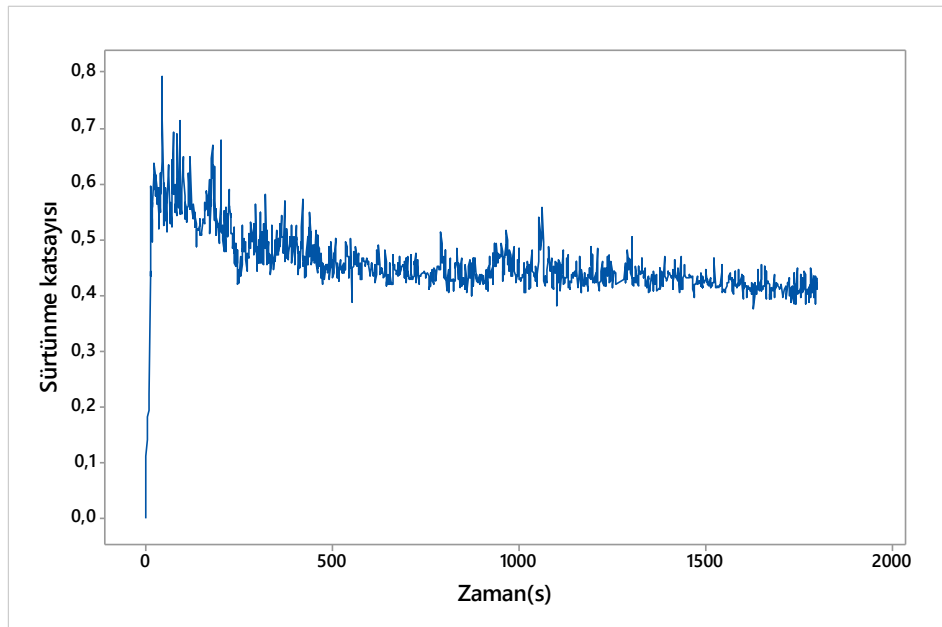


Deney #4

a)

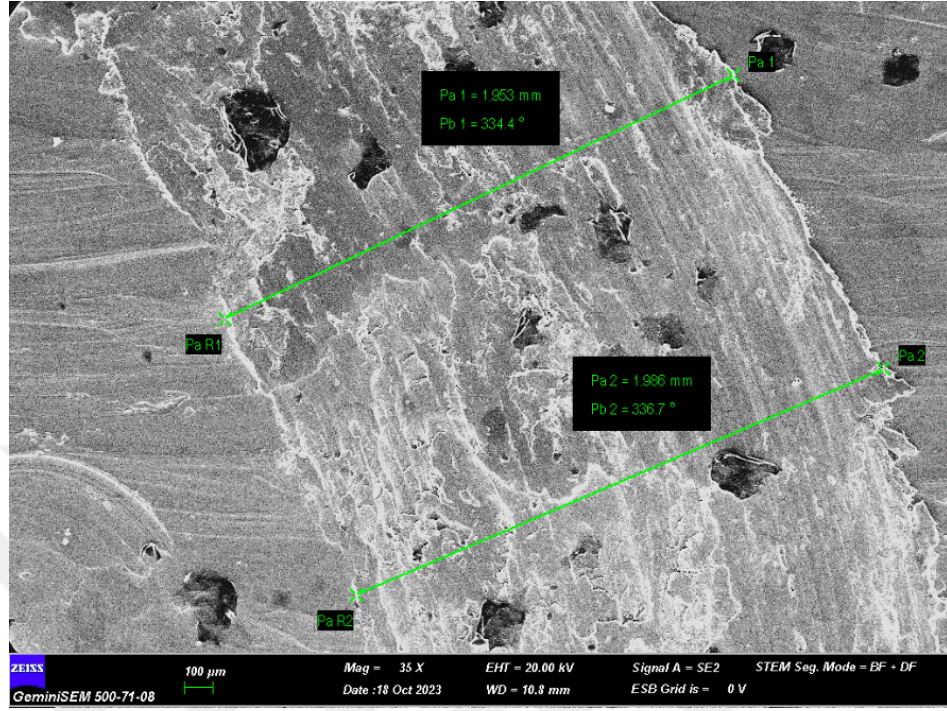


b)

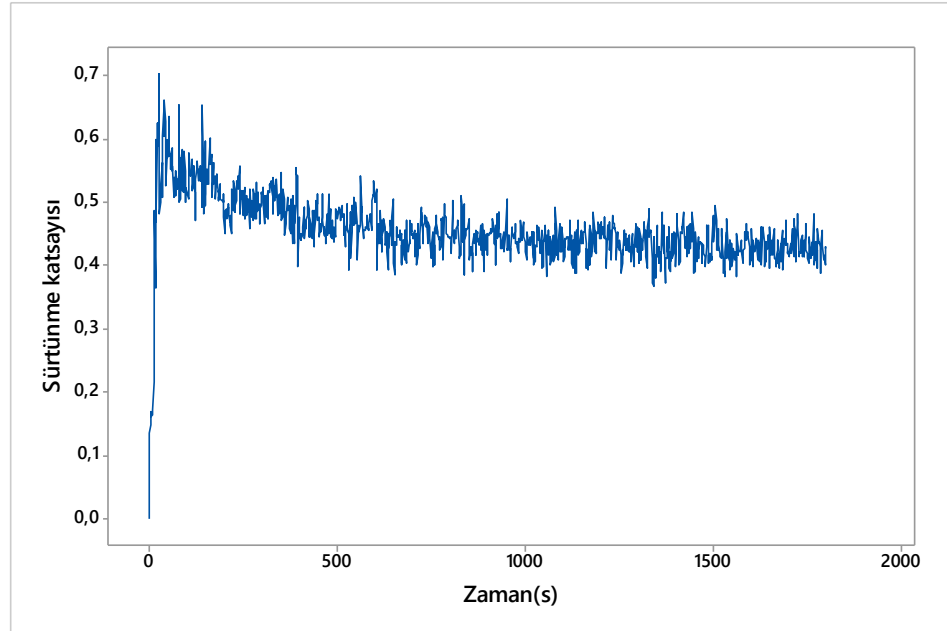


Deney #5

a)

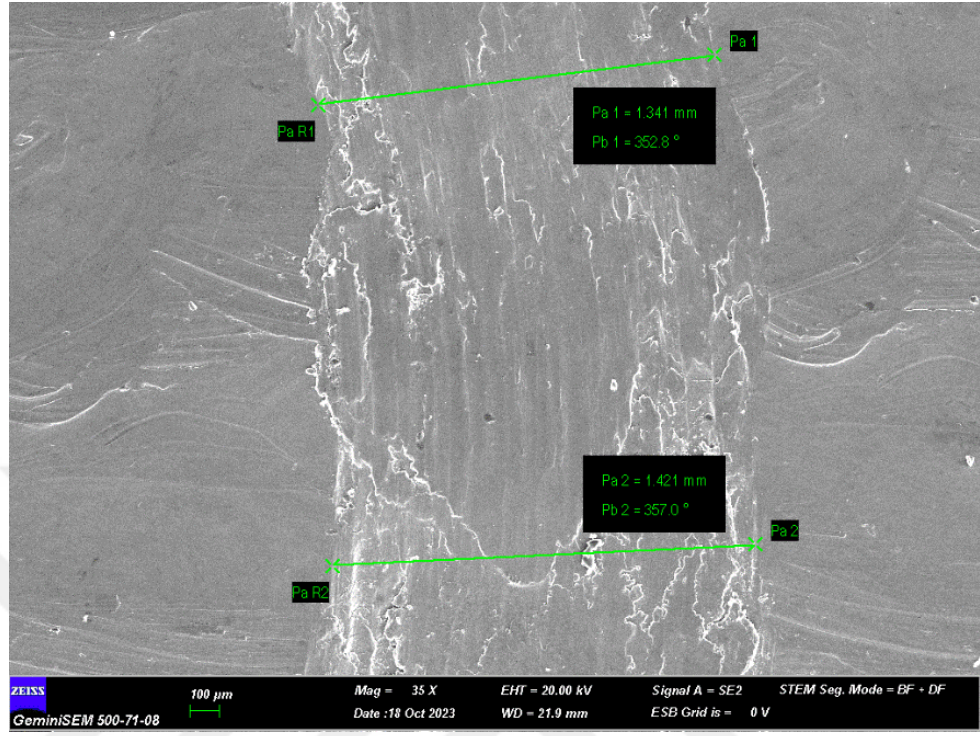


b)

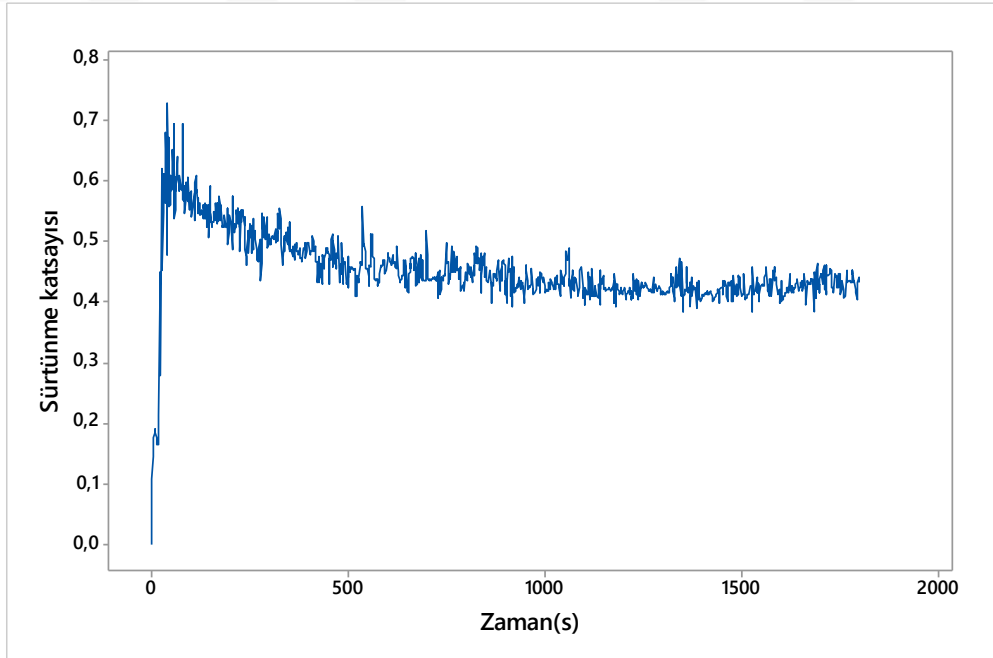


Deney #6

a)



b)

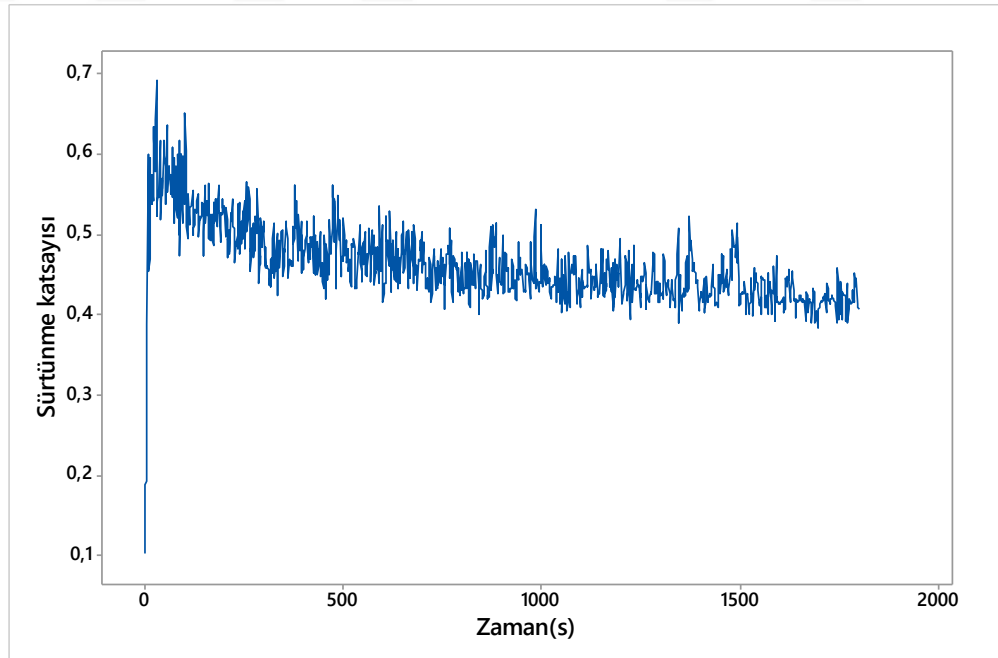


Deney #7

a)

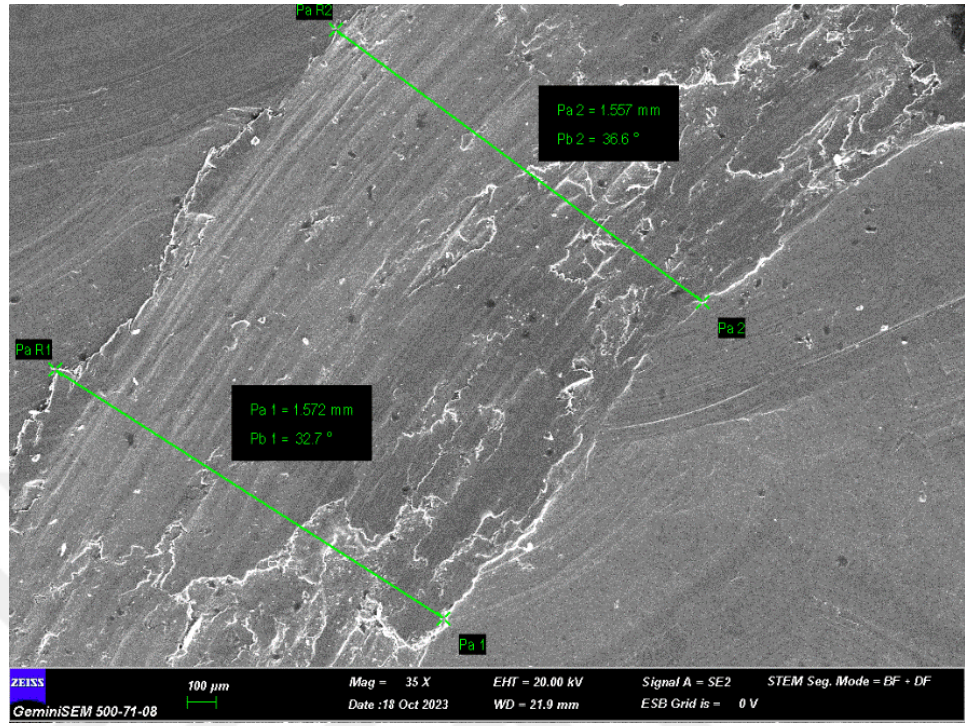


b)

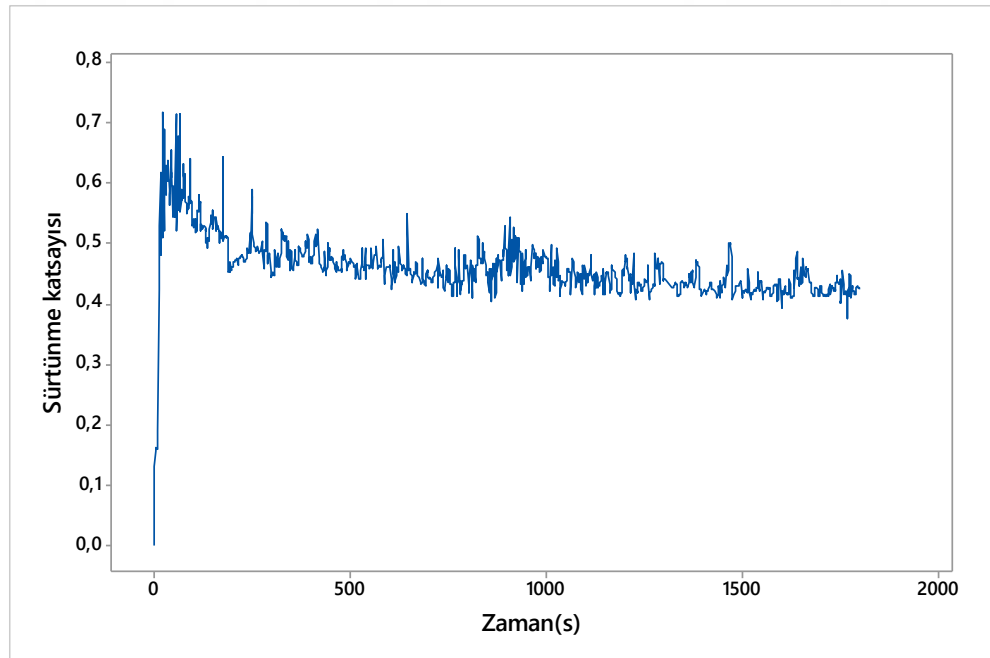


Deney #8

a)

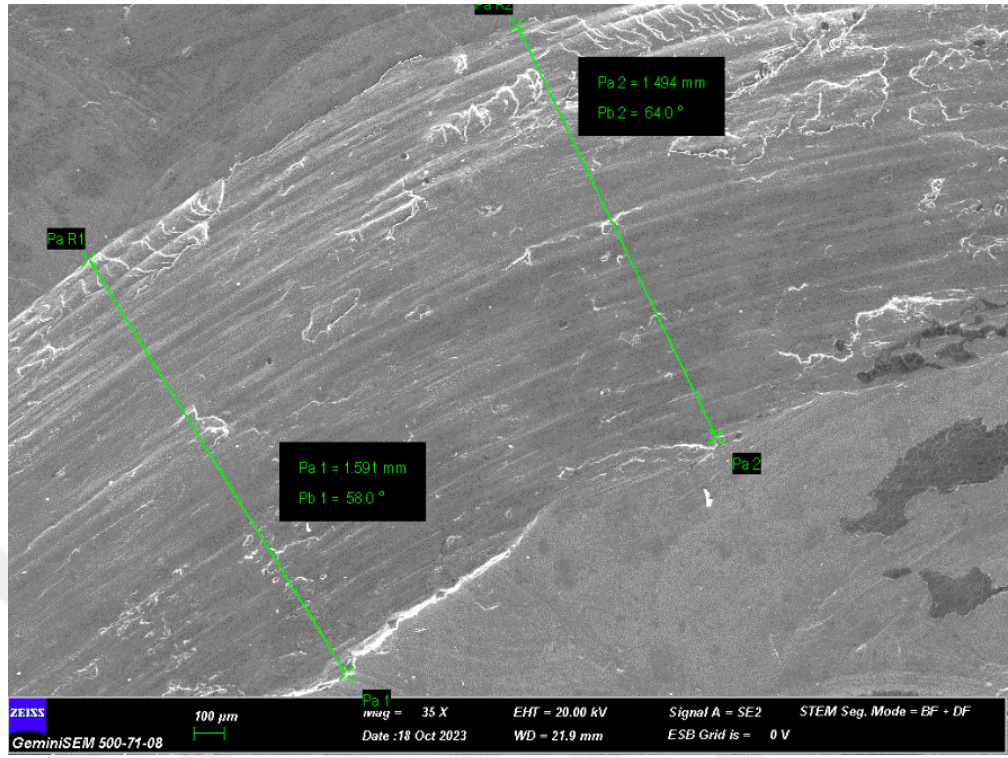


b)

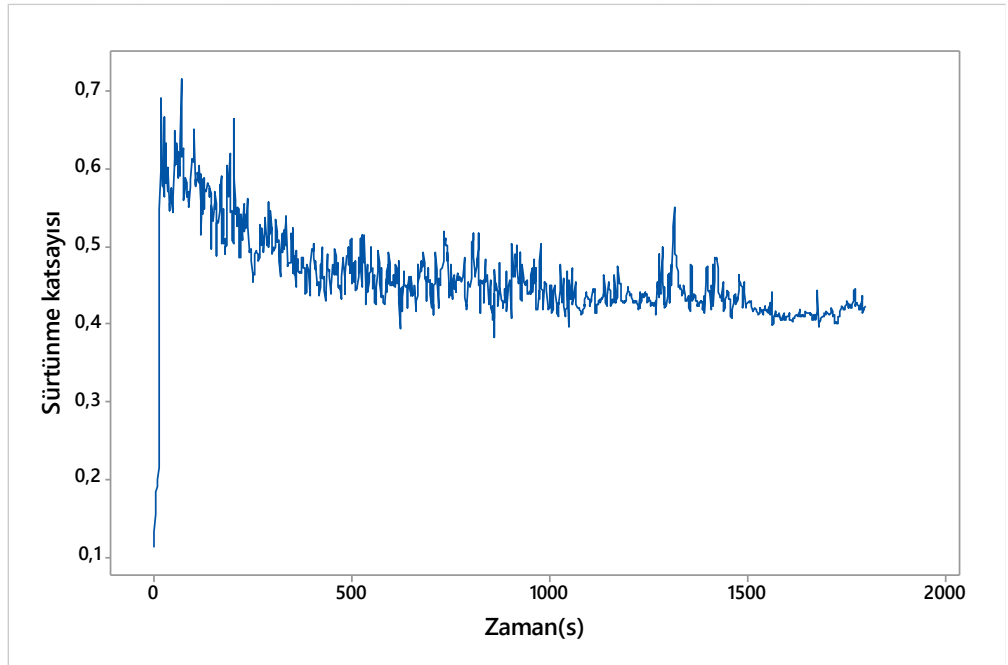


Deney #9

a)

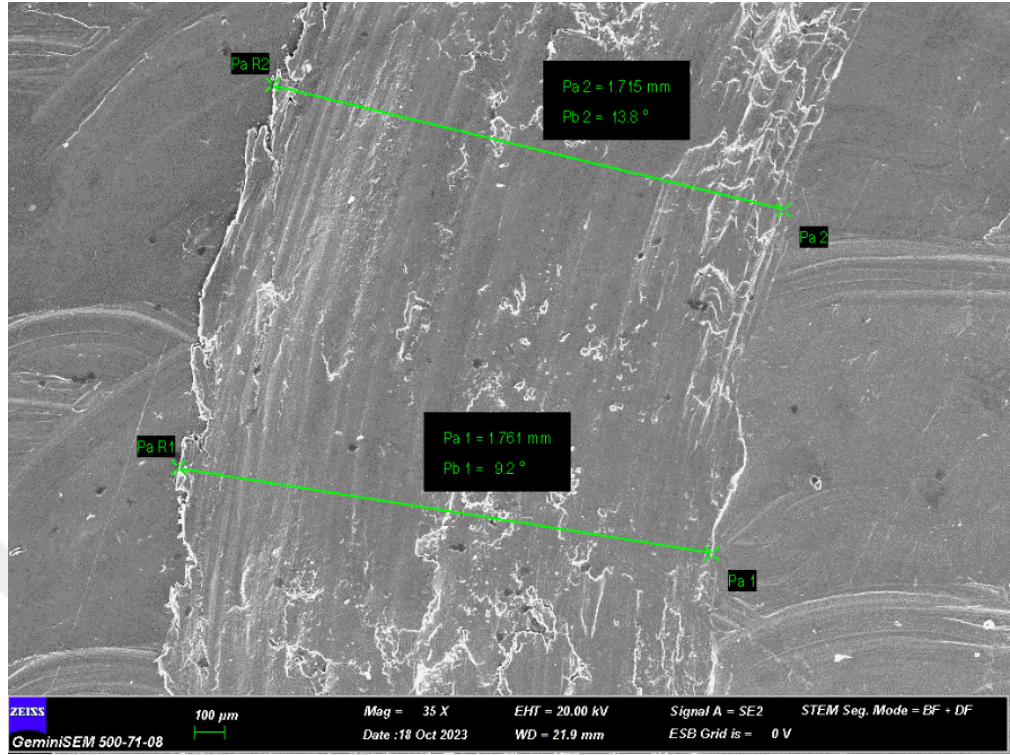


b)

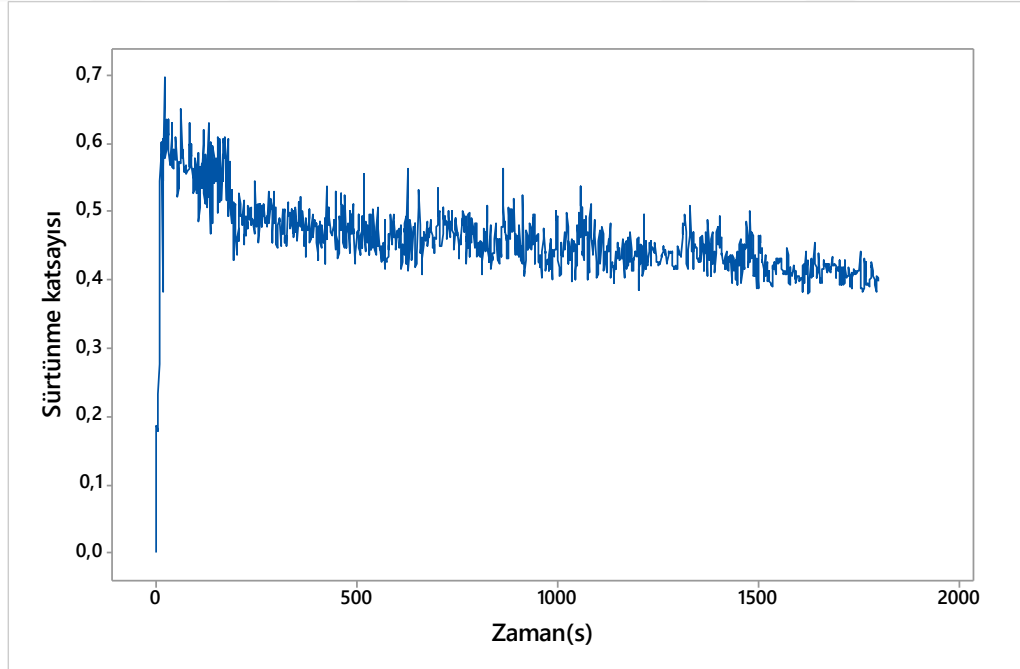


Deney #10

a)

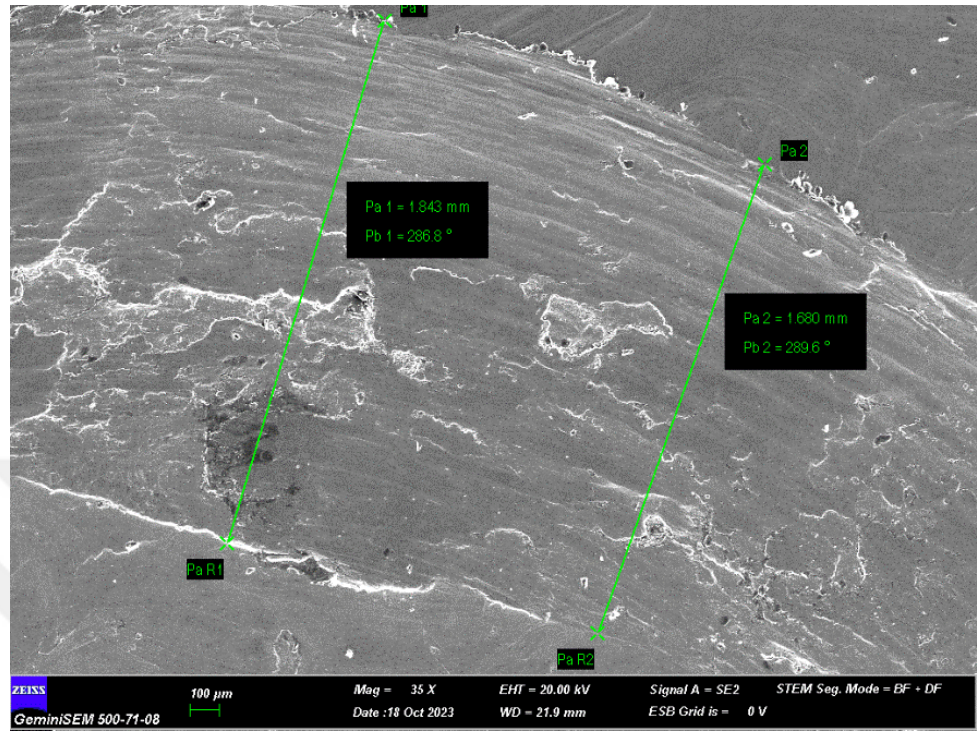


b)

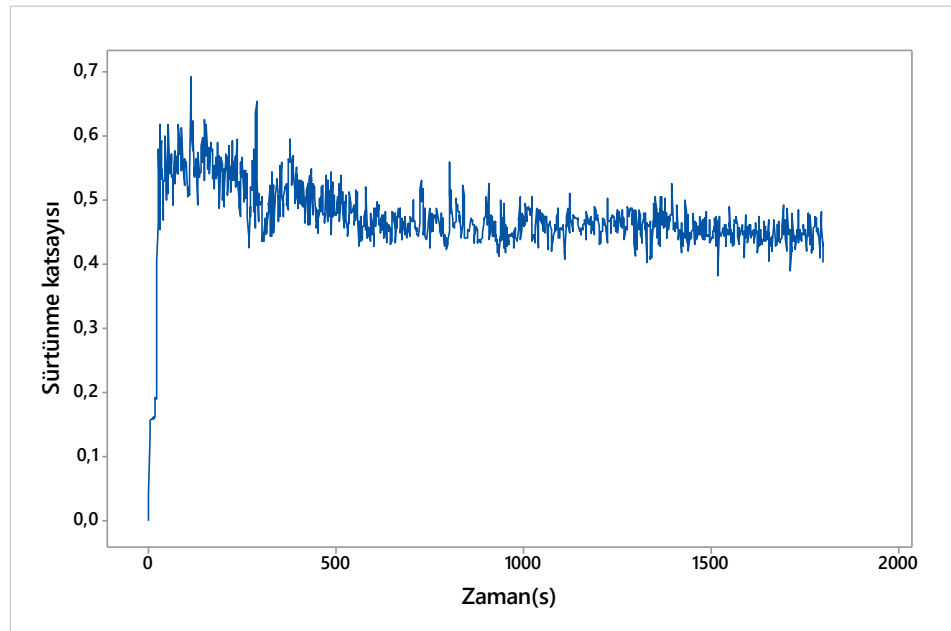


Deney #11

a)

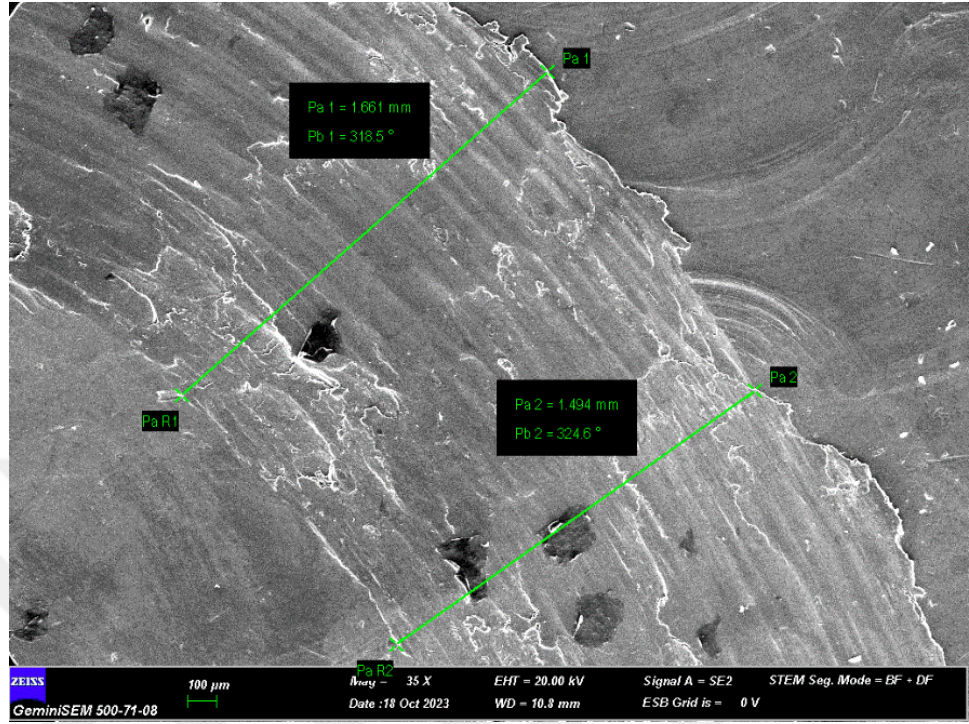


b)

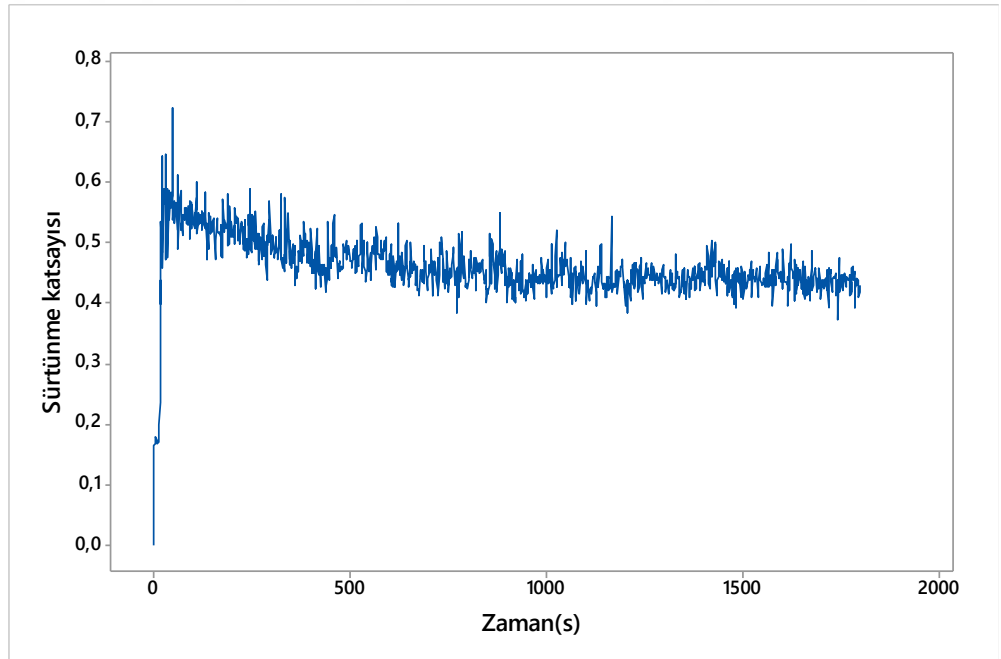


Deney #12

a)

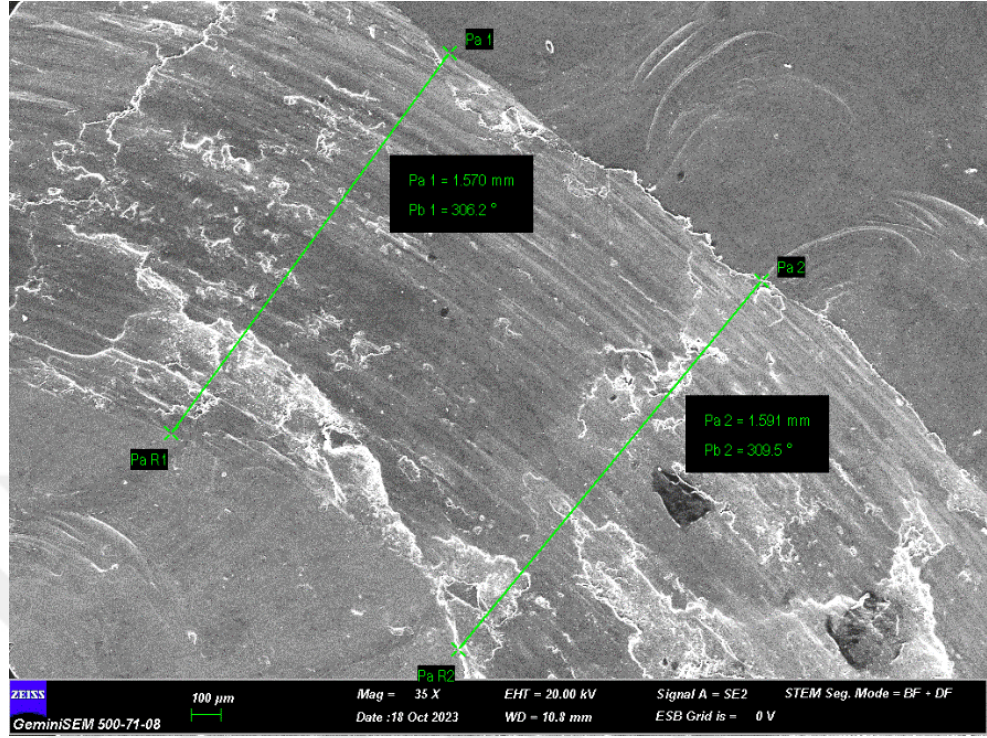


b)

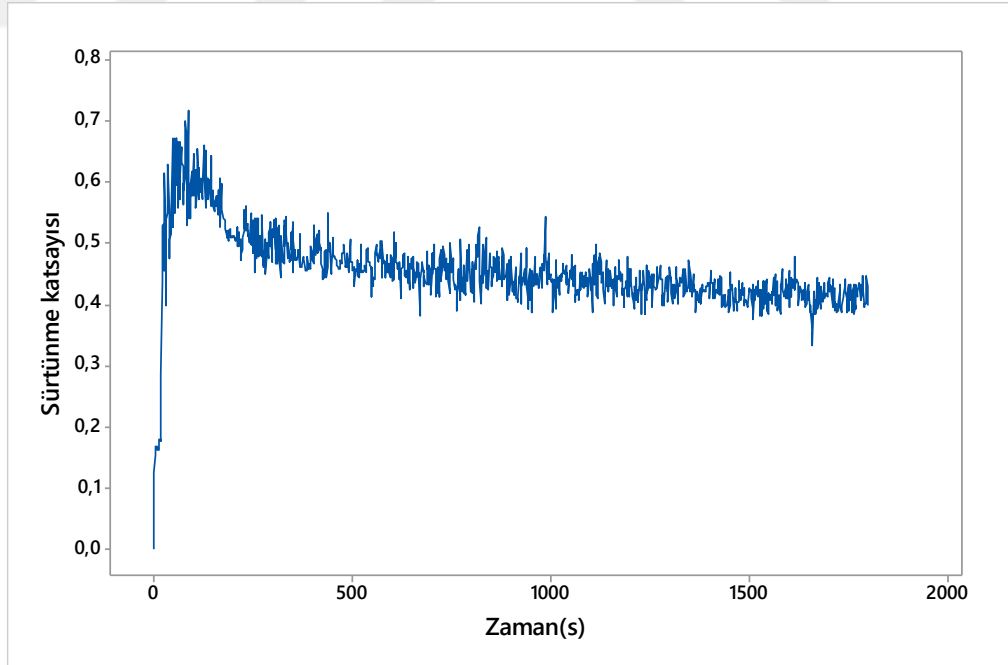


Deney #13

a)

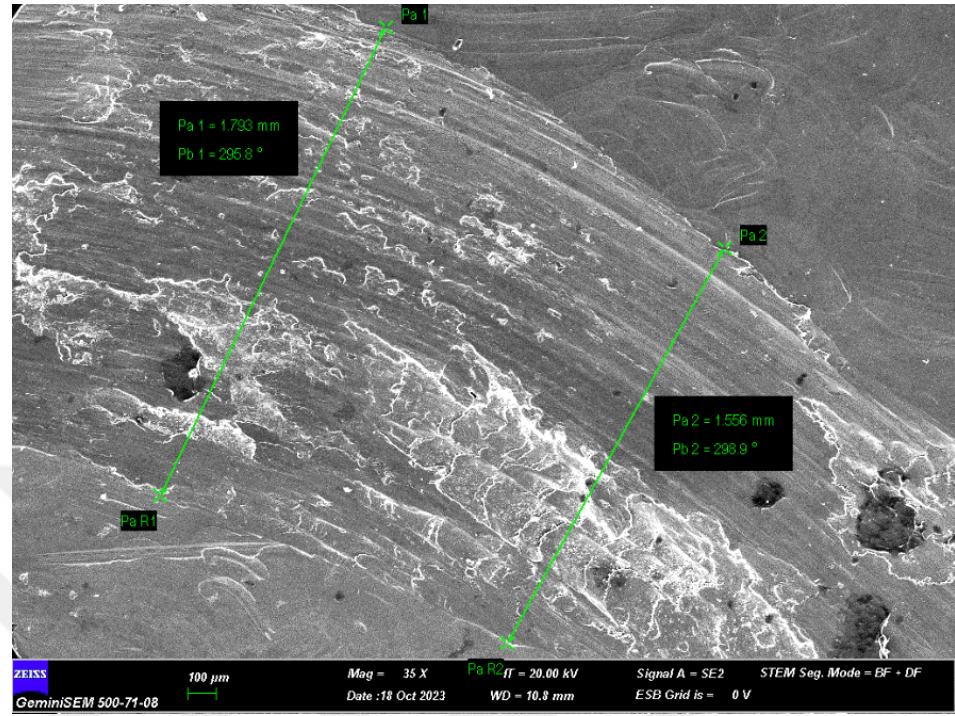


b)

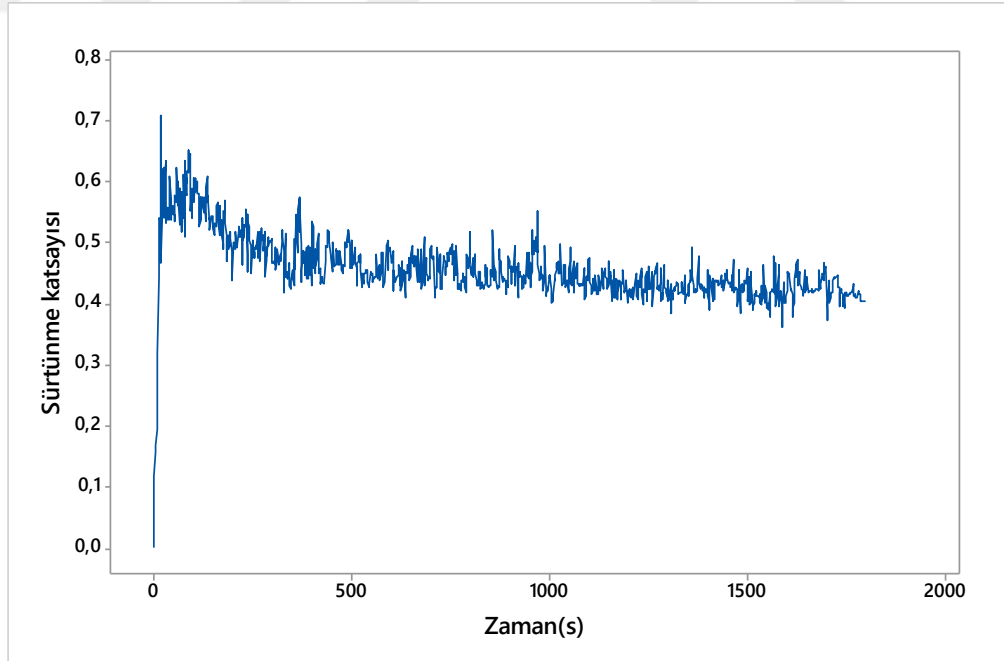


Deney #14

a)

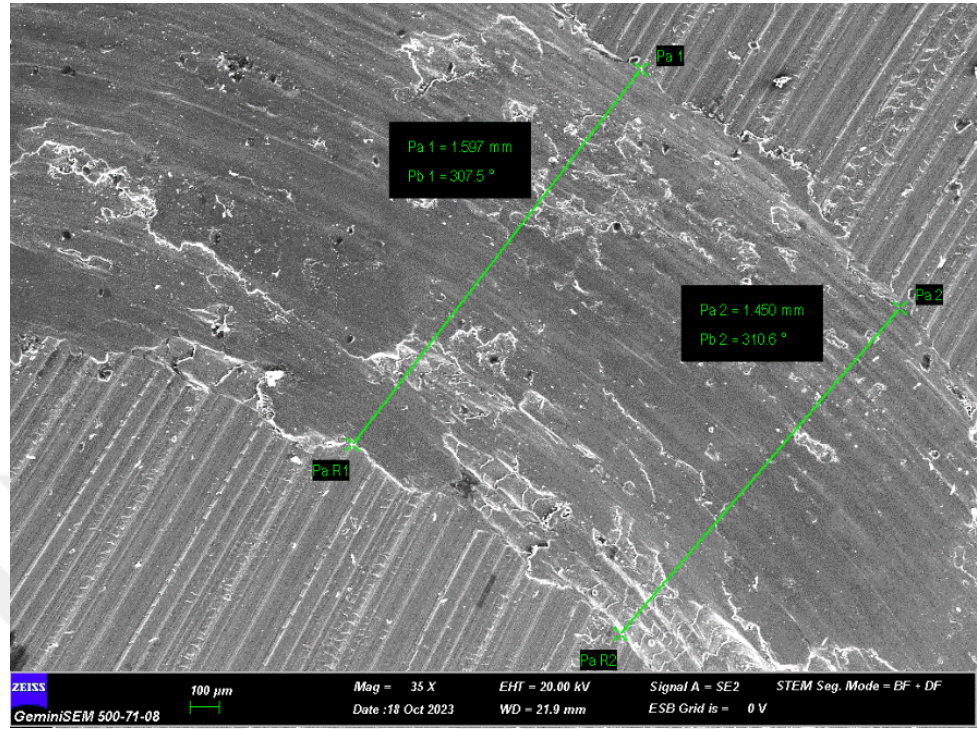


b)

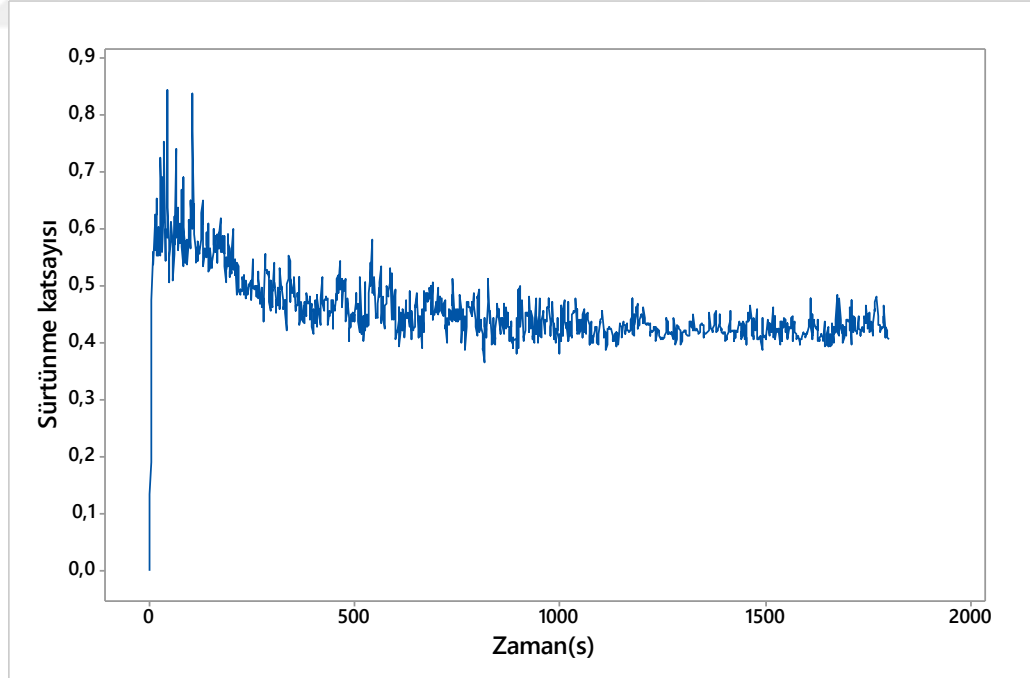


Deney #15

a)

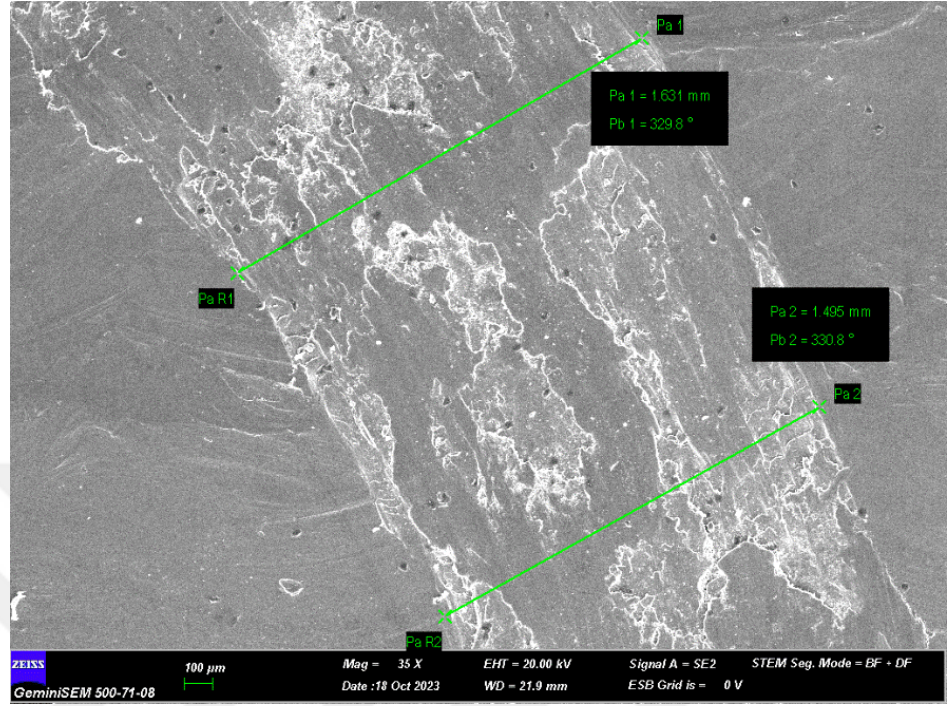


b)

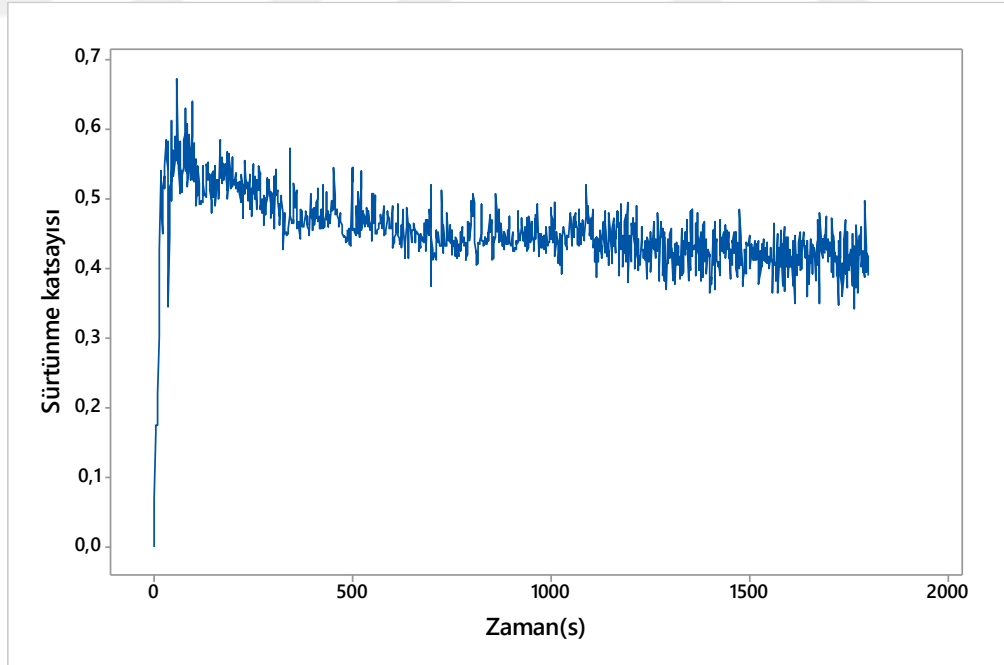


Deney #16

a)

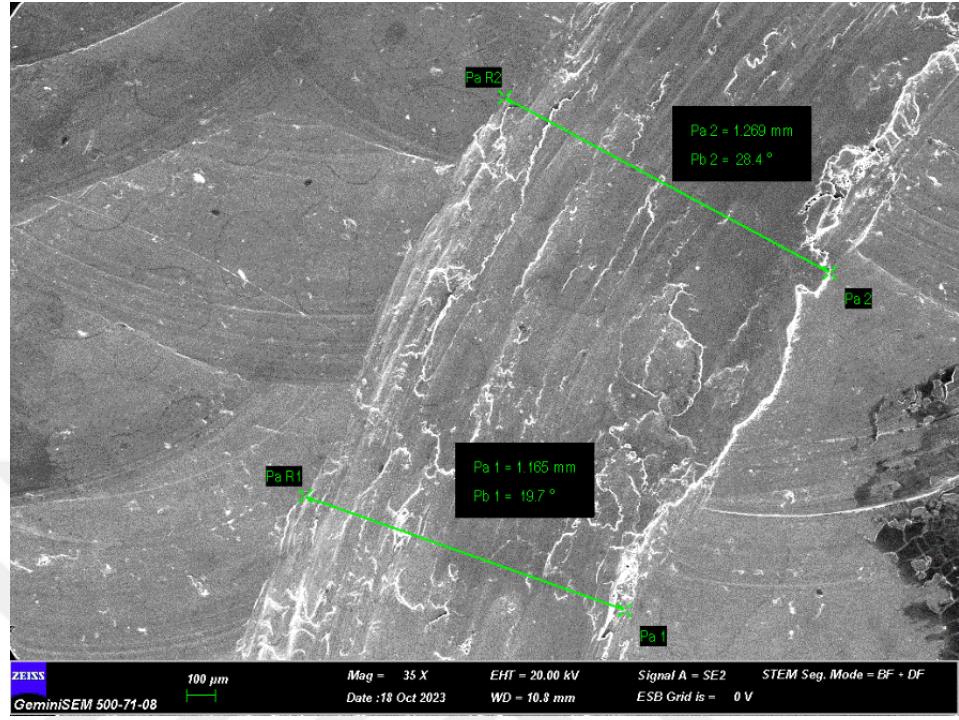


b)

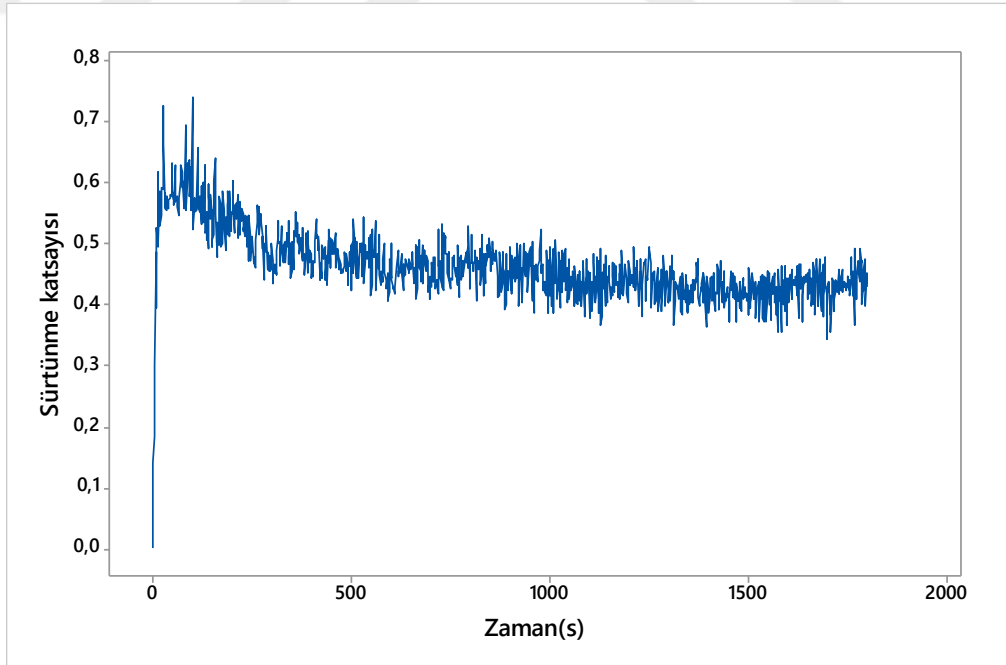


Deney #17

a)

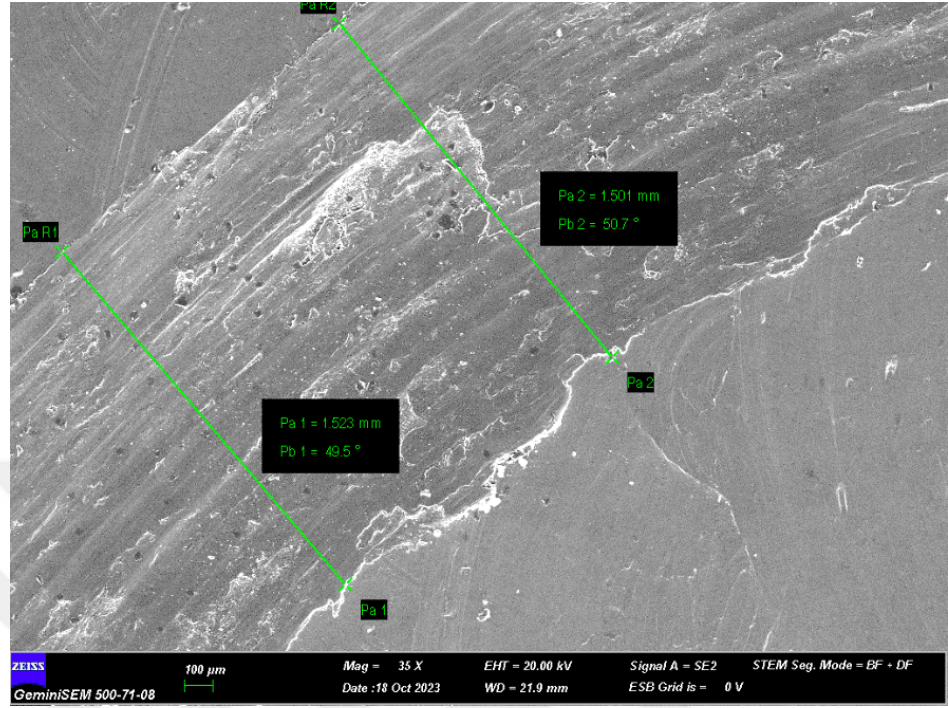


b)

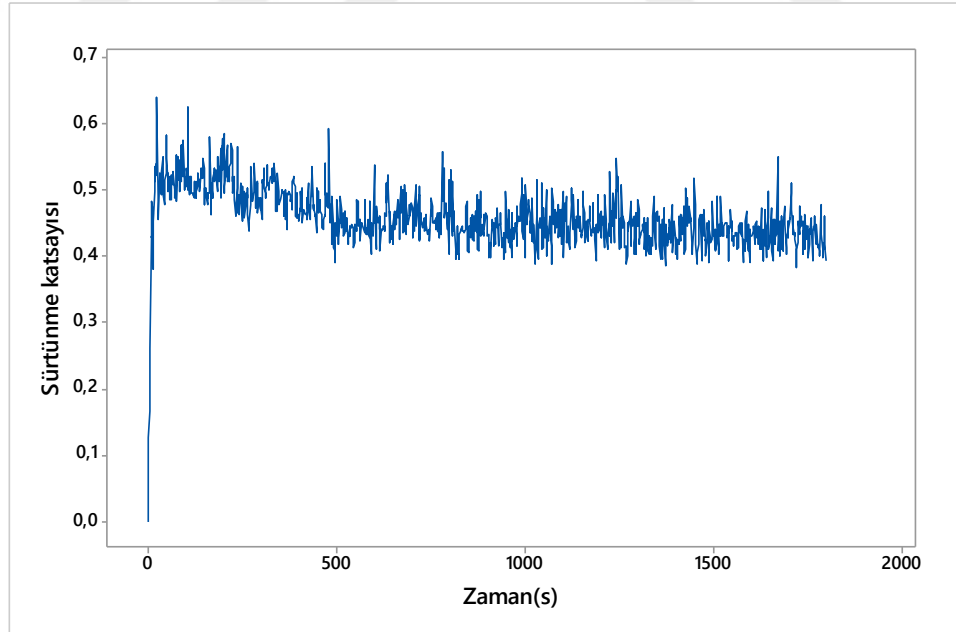


Deney #18

a)

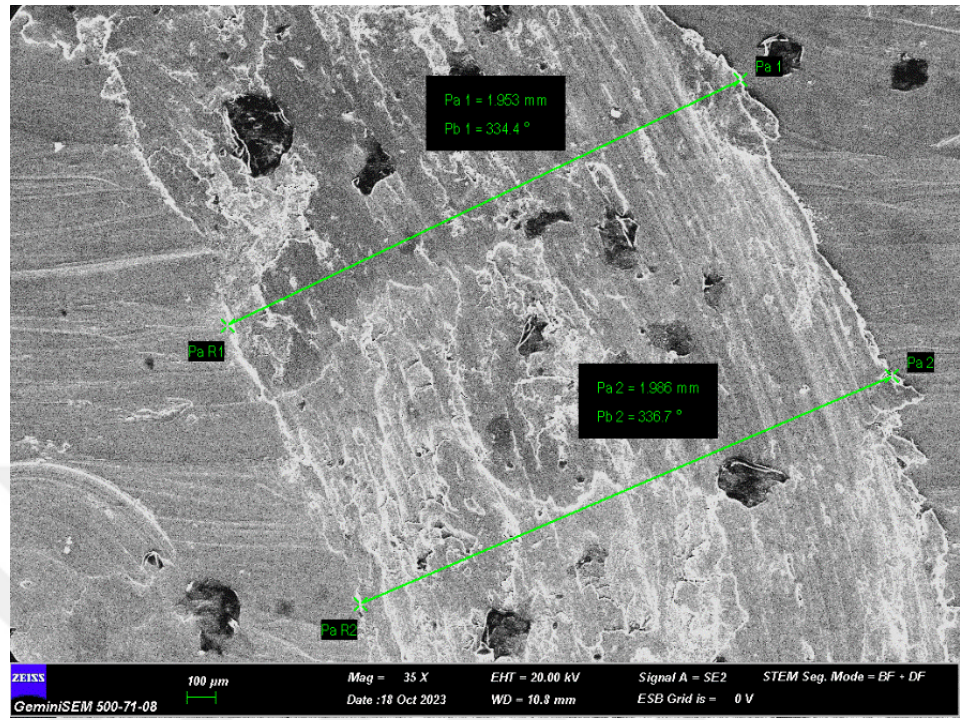


b)

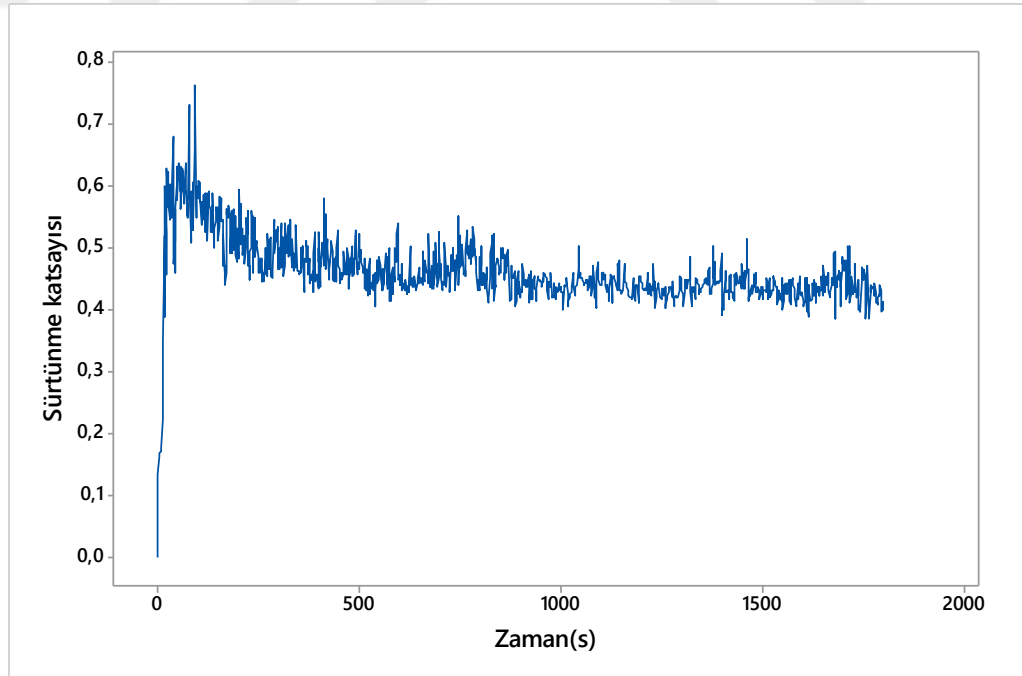


Referans

a)



b)



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Gözde ÜLKÜ BAŞSOY

Uyruğu: Türkiye (T.C)

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durum:

e-mail:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi , Uçak Gövde Motor	2024
Lisans	Gazi Üniversitesi, Otomotiv Öğretmenliği	2010
Ön Lisans	Anadolu Üniversitesi, Sosyal Hizmetler	2021
Lise	Hürriyet Anadolu Meslek Lisesi, Bursa	2006

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2021-2022	Topkapı Okulları	1 Yıl
2021-2021	Proday Bilişim Teknolojileri – Fatih Projesi	6 Ay
2020-2021	Promet Bilişim – Fatih projesi	6 Ay
2015-2018	BDH Bilişim Destek Hizmetleri – Fatih Projesi	3 Yıl
2014- 2015	Sentim Bilişim Teknolojileri – Fatih Projesi	1 Yıl

YABANCI DİL

İngilizce