
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

EZME İŞLEMİNİN NİKELLİ ALÜMİNYUM BRONZ (CUPRAL 4M) YATAK MALZEMESİNİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Ebubekir ALAZCIOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAYIS 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ebubekir ALAZCIOĞLU

21/05/2024

EZME İŞLEMİNİN NİKELLİ ALÜMİNYUM BRONZ (CUPRAL 4M) YATAK MALZEMESİNİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ebubekir ALAZCIOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2024

ÖZET

Döner makine elemanlarından olan millerin kaymalı yataklarında delik içi yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği, aşınma dayanımı, silindiriklik, diklik ve dairesellik değerleri kritik derecede önemlidir. Yüzey kalitesi olarak genelleştirilebilen bu değerler; raybalama, taşlama, honlama gibi son yüzey işleme yöntemlerinden farklı olarak ezme yöntemiyle de iyileştirilebilmektedir. Bu çalışmada, literatürde karşılaşılamayan nikelli alüminyum bronz (Cupral 4M) yatak malzemesine ezme uygulaması yapılmıştır. Dış kısmı kademeli ve iç kısmı delik olarak önceden işlenen silindirik numunelerin delik iç yüzeyinde ezme yönteminin yüzey pürüzlülüğüne, yüzey sertliğine, aşınma direncine, silindiriklik, diklik ve dairesellik değerlerine olan etkisi Taguchi L9 deney dizilişine uygun olarak incelenmiştir. Çalışma sonunda, ezme işlemi uygulanan numunelerdeki yüzey pürüzlülüğü değerinin %90 oranında, yüzey sertliğinin %55 oranında iyileştiği; silindiriklik, diklik ve dairesellik ölçümlerinde, işlem uygulanmamışa kıyasla daha olumlu sonuçların ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Ezme işlemi uygulanan yatak malzemesinin aşınma dayanımının, işlem uygulanmayan numuneye kıyasla yaklaşık iki katı geçen bir direnç artışına yol açtığı tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : Ezme işlemi, nikelli alüminyum bronz, cupral 4M, yüzey kalitesi, taguchi

Sayfa Adedi : 48

Danışman : Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

THE EFFECT OF ROLLER BURNISHING ON THE SURFACE PROPERTIES OF THE NICKEL ALUMINUM BRONZE (CUPRAL 4M) BEARING MATERIAL

(M. Sc. Thesis)

Ebubekir ALAZCIOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2024

ABSTRACT

The parameters of bore surface roughness, surface hardness and the properties of hole wear resistance, hole cylindricity, hole perpendicularity, hole circularity are critically important in plain bearings of shafts which are one of the rotating machine elements. These parameters and properties which can be generalized as surface quality, can also be improved by rolling method as opposed to final surface processing methods such as reaming, grinding, honing and etc. In this study, roller burnishing has been applied to nickel aluminum bronze (Cupral 4M) bearing material which is not encountered in the literature. The effects of the rolling method on the surface roughness, surface hardness, wear resistance, cylindricity, perpendicularity and circularity values of the cylindrical specimens, which are pre-machined with a stepped outer surface and a hole inner surface, have been investigated in accordance with the Taguchi L9 experimental design. At the end of the study, it has been observed that the surface roughness value of the specimens processed by roller burnishing improved by 90%, surface hardness improved by 55%, and more suitable results have been observed in cylindricity, perpendicularity and circularity measurements compared to the unprocessed specimens. It has been found that the wear resistance of the bearing material processed by roller burnishing causes an increase in wear resistance that exceeded approximately two times compared to the unprocessed sample.

Science Code : 91438

Key words : Rolling method, nickel aluminum bronze, cupral 4m, surface quality, taguchi

Page Number : 48

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

TEŞEKKÜR

Çalışmanın her aşamasında ve her anında desteğini esirgemeyen, tez sürecinde karşılaştığım her türlü zorlukta yardım sağlayan değerli danışmanım Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR'e sonsuz teşekkür ederim.

Deneyin en önemli araçlarından olan ezme takımının temini noktasına sağladığı destek sebebiyle; Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Adnan AKKURT'a ve DURON Endüstriyel Ürünler San. Ve Tic. Lim. Şirketine ve sahibi Sn. Onur TATLIÜZÜM'e ayrıca teşekkür ederim.

Deney numunelerinin üretiminde ve ölçümünde tezgahlarından faydalandığım ve çalışanı olduğum ÖZBEN Savunma Limited Şirketine, mesai arkadaşlarıma ve bu imkanı sağlayan değerli yöneticilerime teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans süreci boyunca manevi desteğini her zaman hissettiğim canım aileme, deneylerin yapılması ve tez yazılması esnasındaki anlayışı, desteği ve hoşgörüsü ile yanımda olan sevgili hayat arkadaşım ve değerli eşime minnettarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ viii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ix

RESİMLERİN LİSTESİ x

SİMGELER VE KISALTMALAR xi

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI 3

3. MATERYAL VE METOD 13

3.1. Amaç ve Kapsam 13

3.2. Numune ve Yöntem 13

4. BULGULAR VE TARTIŞMA 21

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 37

KAYNAKLAR 39

EKLER 42

ÖZGEÇMİŞ 48

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Thamizhmnaii ve Arkadaşlarının Deney Parametreleri 4

Çizelge 2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Sonucu 6

Çizelge 2.3. Yüzey Pürüzlülüğü 7

Çizelge 2.4. Yüzey Sertlik ve Pürüzlülük Tablosu 8

Çizelge 2.5. Deney Parametreleri 10

Çizelge 3.1. Cupral 4M (CuA110Ni5Fe4) Malzemesinin Kimyasal Kompozisyonu ... 13

Çizelge 3.2. Nikelli Alüminyum Bronz Malzemesinin Mekanik Özellikleri 14

Çizelge 3.3. Deney Parametreleri 14

Çizelge 3.4. Taguchi Metoduna Göre Deney Planlaması 20

Çizelge 4.1. Deney Sonrası Pürüzlülük Ölçüm Sonuçları 22

Çizelge 4.2. Varyans Analizi Sonucu 24

Çizelge 4.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları 29

Çizelge 4.4. Aşınma Testi Deney Sonuçları 33

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Ezme Yöntemi Şematik Görseli 3

Şekil 2.2. Ezme Takım Görseli 3

Şekil 2.3. Mikrosertlik Tablosu 5

Şekil 2.4. Mikrosertlik Tablosu 6

Şekil 2.5. Mikrosertlik Tablosu 7

Şekil 2.6. Yüzey Sertlik ve Pürüzlülük Tablosu 9

Şekil 2.7. Yüzey Sertlik Değeri 10

Şekil 3.1. Deney Numunesinin Teknik Resmi 15

Şekil 4.1. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Sonucu 22

Şekil 4.2. Taguchi Metodu Sinyal/Gürültü Oranı 23

Şekil 4.3. Regresyon Eşitliği 24

Şekil 4.4. Deney Öncesi ve Sonrası Silindiriklik, Diklik ve Dairesellik Ölçümü 26

Şekil 4.5. Sertlik Ölçüm Noktalarının Gösterimi 28

Şekil 4.6. Sertlik Ölçümü Grafiksel Sonuçları 30

Şekil 4.7. Numunelerin Aşınma Testi Sonucu Grafiği 34

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Deneyde Kullanılan Ezme Takımı 14
Resim 3.2. Takisawa Taiwan CNC Torna Tezgahı 16
Resim 3.3. Hexagon CMM Tezgahında Deney Numunesi Ölçümü 17
Resim 3.4. Komparatör İle Numune Ölçümü 17
Resim 3.5. Holematic Ölçüm Cihazı Kutusu 18
Resim 3.6. Holematic Ölçüm Cihazı 18
Resim 3.7. Ezme Takımının CMM Cihazında Ölçümü 19
Resim 3.8. Deney Yapılan Üniversal Torna Tezgahı 20
Resim 4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü 21
Resim 4.2. Silindiriklik, Diklik ve Dairesellik Ölçümü CMM Programı 26
Resim 4.3. Yüzey Sertliği Ölçüm Cihazı 27
Resim 4.4. Ezme Takımının Numuneden Çıkışı 28
Resim 4.5. Sertlik Ölçüm Görüntüsü 29
Resim 4.6. Aşınma Deneyi İçin Kullanılan Üniversal Torna Tezgahı 30
Resim 4.7. Malzeme Cinsi Tespiti Ölçümü 31
Resim 4.8. Aşınma Testi Numunelerinin Bağlanması 32

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
dak	Dakika
dev	Devir
gr	Gram
m	Metre
mm	Milimetre
N	Newton
sn	Saniye

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
CMM	Koordinat Ölçme Makinası (Coordinate Measuring Machine)
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Denetim (Computer Numerical Control)
Ra	Ortalama Pürüzlülük (Roughness Average)

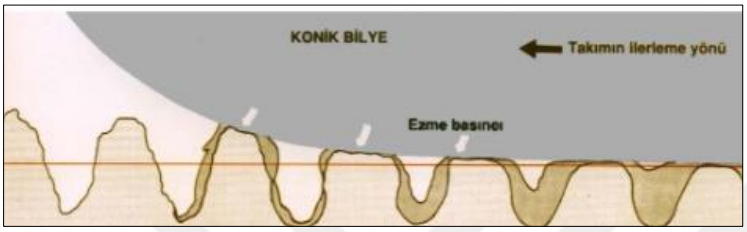
1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaratıldığı ilk günden bu yana barınma, beslenme ve kendisini koruma amacında olmuş ve bu amaçlar uğrunda yaşamını kolaylaştıracak alet edevatlar üretmiştir. Daha rahat barınmak, daha iyi beslenmek, daha korunaklı ve sağlıklı olmak için ürettiği bu malzemeleri çeşitlendirmiş ve geliştirmiştir. İnsan yaşamının başlangıcıyla başlayan imalat ve imal usulleri sürekli olarak gelişmekte ve insan yaşamına olan katkısını sürdürmektedir. Bu çalışma, bilinen imalat yöntemlerinden olan ezme metodunun literatürde incelemesi yapılmayan bir yatak türüne yaptığı etki üzerine odaklanmıştır.

Savunma sanayi ve otomotiv alanları başta olmak üzere, özellikle birbiri içerisinde çalışan montajlı sistemlerdeki parçalarda yüzey kalitesi oldukça kritik bir seviyededir. İyi yüzey kalitesine sahip bir ürün diğer ürünlere kıyasla daha işlevsel ve daha dayanıklı olmakla birlikte daha estetik bir görüntü sunabilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği ve aşınma direnci gibi parametreler, yüzey kalitesine etki eden parametrelerdir ve bu parametreleri iyileştirmek için farklı form ve özellikteki malzemelere çeşitli yöntemlerle deneyler yapılmıştır. Levha veya kütük formunda olan malzemelerin yüzeyleri ile çubuk veya boru formunda olan malzemelerin delik iç ve dış yüzeyleri, yapılan çalışmaların kapsamında yer almaktadır. Savunma sanayi ve otomotiv alanı baz alınarak düşünüldüğünde, delik iç yüzey kalitesi yukarıda sayılan yüzeyler içerisinde önemli bir yere sahiptir ve delik içi yüzey kalitesini geliştirmek amacıyla malzemelere raybalama, taşlama ve honlama gibi yöntemlerin uygulandığı literatür çalışmalarında saptanmıştır. Bu yöntemlerin yanı sıra ezme yöntemi de yüzey kalitesini iyileştirmek amacıyla araştırmalara konu olmuştur. Çalışma kapsamında, literatürde daha önce çalışılmamış boru formundaki Nikelli Alüminyum Bronz (Cupral 4M) malzemesinin delik içine ezme yöntemi uygulanmış ve uygulanan bu yöntemin malzemenin delik iç yüzeyindeki yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği, aşınma direnci, silindiriklik, diklik ve daireselliğe olan etkileri incelenmiştir. Ezme işleminin yüzey kalitesini iyileştirdiği gibi genel literatür çalışmalarından elde edilen ortak bulguların bu çalışmanın bulgularıyla örtüşmesinin ötesinde, ezme işlemi parametrelerinin yatak malzemesinin yüzey pürüzlülüğüne olan katkı düzeyleri belirlenmiş, ezme işleminin yatağın aşınma dayanımına katkısının iki katı geçecek miktarda olduğu tespit edilmiştir.

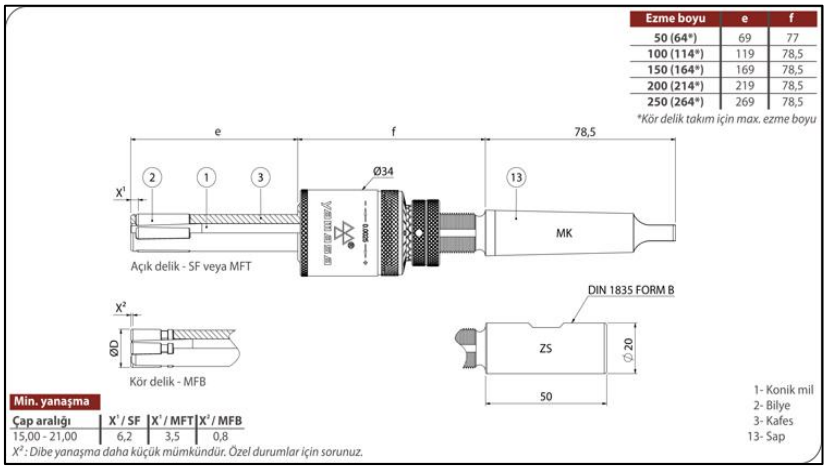
2. LİTERATÜR TARAMASI

Ezme yöntemi; honlama, raybalama ve taşlama gibi yüzey iyileştirme işlemlerinden bir tanesidir. Sayılan diğer yöntemlere kıyasla ezme takımı ile ezme yöntemi yüzey iyileştirme işlemini malzeme üzerinden talaş kaldırarak değil, malzemeyi ezerek yapmaktadır ve bu sayede yüzey kalitesi bakımından diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.



Şekil 2.1. Ezme Yöntemi Şematik Görseli

Şekil 2.1'de şematik görseli paylaşılan ezme yöntemi [1], Şekil 2.2'de görseli paylaşılan ezme takımının [2] uç kısmında yer alan bilyelerin malzeme yüzeyine uyguladığı ezme basıncı sebebiyle plastik deformasyon yapması işlemidir. Bu işlem sayesinde, malzeme yüzeyindeki mikron mertebesinde görülebilecek olan girinti ve çıkıntılar ezilmekte ve daha pürüzsüz bir yüzey elde edilmektedir. Ayrıca, malzemenin plastik deformasyona uğraması dolayısıyla oluşan pekleşme (deformasyon sertleşmesi) ile malzeme yüzeyinde sert bir katman oluşmaktadır. Bu sert katman, malzemenin yüzey sertlik değerini ve aşınma direncini pozitif anlamda etkilemektedir.



Şekil 2.2. Ezme Takım Görseli

Ezme yöntemi; ezerek parlatma, bilyeleme, bilyalama ve silindirik parlatma gibi çeşitli adlandırmalar ile yüzey kalitesini artırmak amacıyla farklı malzemelerde araştırma konusu olmuştur. Söz konusu çalışmalarda ezme yöntemi; malzemelere devir sayısı, ilerleme hızı, ezme miktarı, paso sayısı gibi parametreler ile uygulanmış ve çalışmanın etkinliği gözlemlenmiştir.

Hassan ve Al-Dhifi (1999), çalışmalarında pirinç malzemeyi kullanmışlardır. Bilyalı parlatma yöntemi ile takım besleme hızı, takım dönme hızı ve paso sayısı gibi değişkenlik gösteren parametrelerin pirinç malzemedeki aşınma direncine etkisini incelemişlerdir. İnceleme sonucuna göre, pirinç malzemenin aşınma direnci ve yüzey sertliği özelliklerinde bir artış gözlemlemişlerdir [3].

Thamizhmnaii, Omar, Saparudin ve Hasan (2008), çalışmalarında titanyum malzeme tercih etmişlerdir. Titanyum (Ti6Al4V) malzemesine uygulanan ezme işleminin malzemenin sertlik ve yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkisini incelemişlerdir [4]. Çalışmanın deney parametreleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

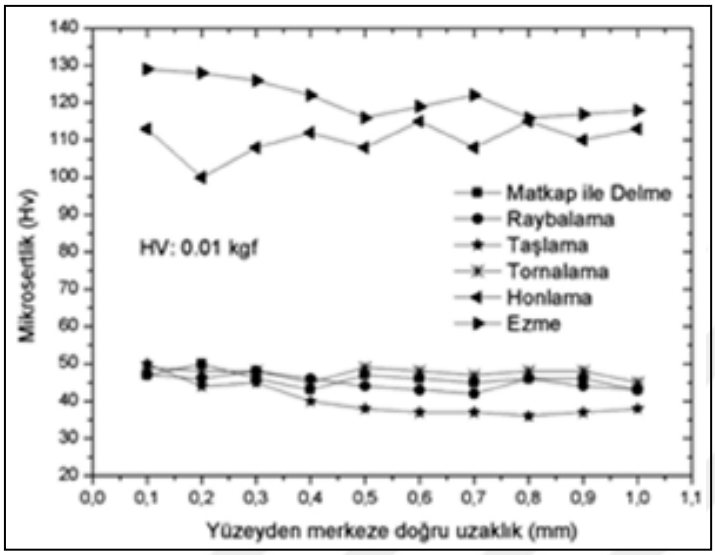
Çizelge 2.1. Thamizhmnaii ve Arkadaşlarının Deney Parametreleri

İlerleme Hızı (mm/dk)	100	200	300	400
Devir Sayısı (devir/dk)	700	1050	1400	1750
Talaş Derinliği (mm)	0,2	0,25	0,3	0,35

Thamizhmnaii ve arkadaşları başlangıçta 0,41 µm yüzey sertlik değerine sahip malzemenin en uygun parametre olan 1400 dev/dk devir sayısında 0,11 µm yüzey sertlik değerine kadar iyileşme sağladığını tespit etmişlerdir [4]. Aynı çalışmada yüzey sertlik değeri de incelenmiş ve bu değerin de 1400 dev/dk devir sayısında en yüksek değere ulaştığını saptamışlardır [4].

Akkurt ve Ovalı (2009) çalışmalarında AL6061 alüminyum malzemesini yüzey sertliği, yüzey pürüzlülüğü, dairesellik ve silindiriklik yönünden incelemişlerdir. Araştırma sonucuna göre matkap, taşlama, honlama gibi diğer yüzey bitirme işlemlerine kıyasla dairesellik, silindiriklik, sertlik ve yüzey pürüzlülüğü yönünden ezme yönteminin daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir [5].

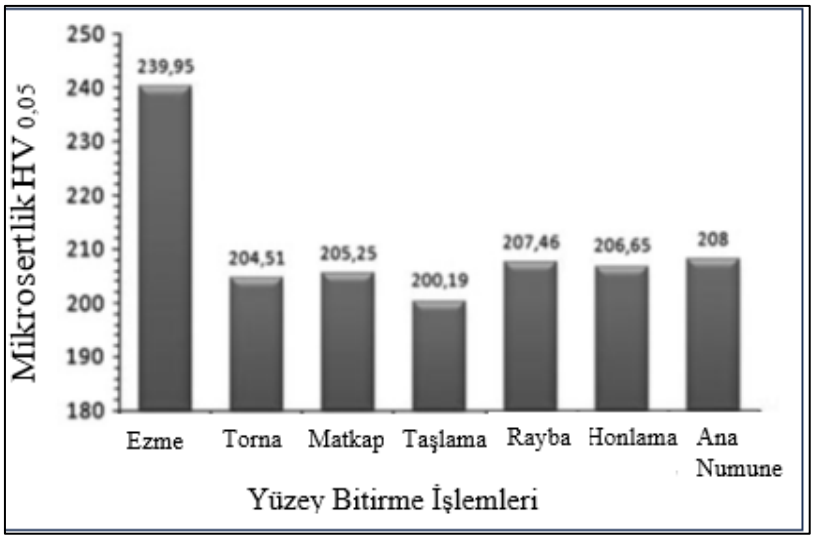
Makalede paylaşılan mikrosertlik grafiği Şekil 2.3'te paylaşılmıştır. Tabloya göre ezme işlemiyle sağlanan sertlik değeri, diğer bütün yüzey iyileştirme işlemlerinden daha iyi seviyededir [5]. Honlama işlemi esnasında meydana gelen anlık ısı sebebiyle sertlikte çok az bir kayıp söz konusu olduğu belirtilmiş ve sertlik konusunda en iyi sonucun ezme yöntemiyle elde edildiği tespit edilmiştir [5].



Şekil 2.3. Mikrosertlik Tablosu

Akkurt (2011), AISI 304 paslanmaz çelik malzeme ile yaptığı araştırmasında silindirik parlatma yöntemini incelemiştir. Matkap, torna, rayba ve honlama gibi diğer yüzey bitirme işlemlerine kıyasla ezme işleminin malzemenin silindiriklik, dairesellik, yüzey pürüzlülüğü ve sertliği bakımından çok daha iyi değerlere ulaştığını saptamıştır [6].

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, ezme yöntemi (burnishing); tornalama (turning), matkap (drilling), taşlama (grinding), raybalama (reaming) ve honlama (honing) yöntemlerine göre açık ara en iyi değeri sağlamıştır. Taşlama yöntemindeki düşük sertlik değerinin işlem esnasında oluşan ısı sebebiyle olduğu vurgulanmıştır [6].



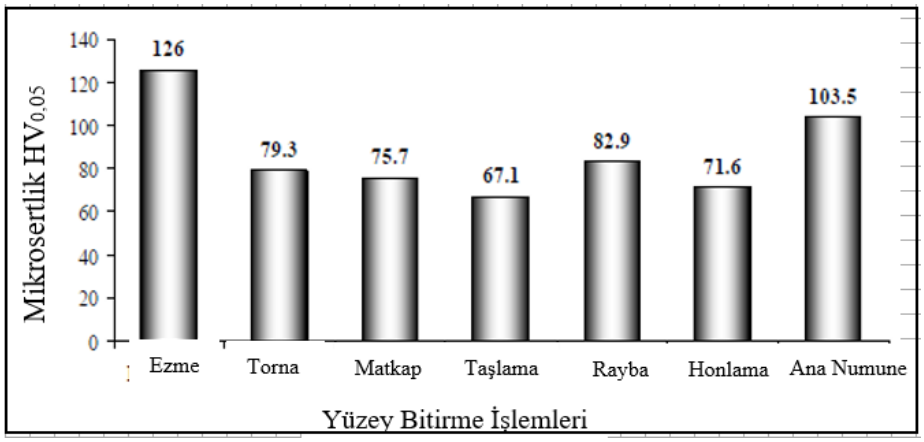
Şekil 2.4. Mikrosertlik Tablosu

Yapılan çalışmada yüzey pürüzlülüğü değerleri de paylaşılmıştır. İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğü değeri için en önemli parametrelerden bir tanesi olduğu, ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı belirtilmiş ve ilerleme hızının 2 m/s yi geçmemesi gerektiği vurgulanmıştır. İdeal ilerleme hızının 1-1,9 m/s olduğu ve yapılan çalışmada ilerleme hızı olarak 1,25 m/s kullanıldığı ifade edilmiştir [6]. Çizelge 2.2'de paylaşılan tabloya göre AL6061 malzemesine uygulanan yüzey iyileştirme işlemleri arasında, yüzey pürüzlülük değeri için de en iyi sonucun ezme yöntemi ile elde edildiği görülmüştür [6].

Çizelge 2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Sonucu

Delik İşleme Metodu	Yüzey pürüzlülüğü parametreleri µm									
	Ra	Rp	Rs	Rq	Rv	Rt	Rz	Rc	R3z	R3y
Ezme	0.076	0.195	15.56	0.124	0.412	3.02	0.607	0.62	0.281	0.759
Honlama	0.090	0.279	13.46	0.12	0.372	2.38	0.65	0.456	0.40	0.692
Torna	2.87	7.037	88.93	3.31	5.426	14.28	12.47	9.62	10.82	11.77
Matkap	5.023	12.5	180.3	6.32	12.63	36.08	25.12	14.94	11.9	14.53
Rayba	0.723	1.653	34.77	0.98	1.99	8.7	3.643	2.75	0.98	2.515
Taşlama	0.142	0.359	9.29	0.221	0.758	2.32	1.117	0.607	0.526	0.813

Akkurt, Kurt, Özdemir ve Şeker (2014); çalışmalarında saf bakır malzemeyi kullanmışlardır. Çalışmalarında matkap, torna, rayba ve honlama gibi çeşitli yöntemlerle ezme yöntemini kıyaslamışlar ve silindiriklik, dairesellik, yüzey sertliği, aşınma direnci gibi özellikler bakımından en iyi sonuçların ezme yöntemi ile elde edildiğini belirtmişlerdir [7].



Şekil 2.5. Mikrosertlik Tablosu

Şekil 2.5'te paylaşılan tabloya göre en düşük yüzey sertlik değerinin honlama ve taşlama işlemlerinde olduğunu saptamışlar ve bu duruma bahsi geçen iki işlem esnasında açığa çıkan ısının etkisi sebebiyle olduğunu vurgulanmıştır. En yüksek yüzey sertlik değeri ise ezerek parlatma işleminde olmuştur [7]. Çizelge 2.3'te yüzey pürüzlülüğü ile ilgi veriler paylaşılmıştır. Paylaşılan verilere göre en iyi sonucun ezerek parlatma yöntemiyle sağlandığı ve en kötü sonucun matkap yöntemiyle yapıldığı görülmektedir. Bakır malzemesi seçilerek yapılan çalışmaya göre, yüzey pürüzlülüğü konusunda genel bir algı ile en iyi yöntem olduğu düşünülen honlama yöntemine kıyasla ezerek parlatma yöntemi yaklaşık dört kat daha iyi bir değer sağlamıştır [7].

Çizelge 2.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey Bitirme İşlemleri	Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri µm									
	R_a	R_p	R_s	R_q	R_v	R_t	R_z	R_c	R_{3z}	R_{3y}
Ezme İşlemi	0.09	0.3	13.87	0.122	0.134	1.82	0.613	0.432	0.376	0.975
Honlama	0.311	0.94	26.60	0.455	1.796	6.75	2.74	1.77	1.365	2.74
Tornalama	2.16	5.8	104	2.57	3.45	12.44	9.253	7.921	8.3	8.87
Matkap	2.484	6.639	89.89	2.94	4.707	14.206	11.347	8.18	9.4	10.496
Rayba	0.84	2.89	31.14	1.235	4.3	17.21	7.19	4.09	4.24	7.64
Taşlama	1.835	3.721	75.78	2.185	4.273	10.99	7.995	5.91	5.458	7.21

Borkar, Kamble ve Seemikeri (2014), araştırmalarında Inconel 718 malzemesini kullanmayı tercih etmişlerdir. Yüzey pürüzlülük ve sertlik değerleri bakımından incelenen malzemeye silindirik parlatma yöntemini uygulamışladır [8]. Taguchi Metodu kullanılarak yapılan deneyler sonucunda en optimum sonuçların 646 dev/dk dönme hızında, 0,06 mm/devir besleme hızında ve 2 paso sayısıyla elde edildiği saptanmıştır [8]. Başlangıç

sertlik değeri 539 HV olan malzemenin ezerek parlatma sonrası ölçülen yüzey pürüzlülük ve sertlik değerleri Çizelge 2.4'te paylaşılmıştır [8].

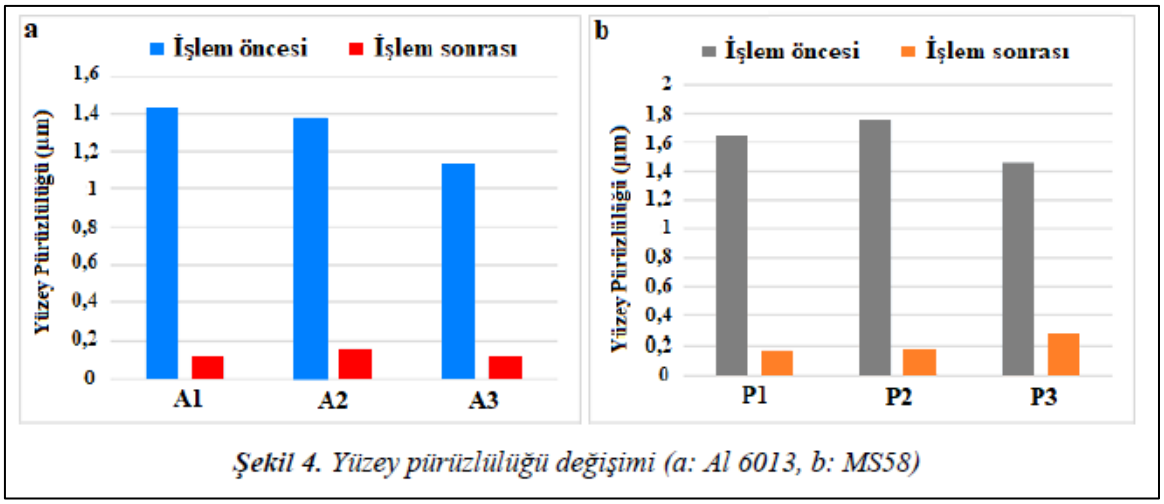
Çizelge 2.4. Yüzey Sertlik ve Pürüzlülük Tablosu

Numune	Pürüzlülük Değeri um	
	Ezme Öncesi	Ezme Sonrası
1	1.70	0.87
2	3.66	1.08
3	2.57	0.53
4	1.58	0.46
5	2.7	0.48
6	1.73	0.31
7	2.10	0.51
8	1.09	0.31
9	2.78	0.52

Numune	Mikrosertklik (Hv)
1	588
2	587
3	587
4	587
5	554
6	567
7	560
8	558
9	548

Ökmen H. (2018), yüksek lisans tezinde araştırma malzemesi olarak titanyum (Ti6Al4V) alaşımını kullanmıştır. Matkap, esnek honlama ve silindirik parlatma işlemlerinin malzemenin yüzey kalitesine etkilerini kıyaslamıştır [9]. Araştırma sonucuna göre silindirik parlatma işleminin delik içi yüzey pürüzlülüğünü azaltmada, yüzey sertliği ve aşınma direncini artırmada esnek honlama yöntemine kıyasla daha başarılı sonuçları olduğunu belirtmiştir [9]. Başlangıçta 310 HV sertlik değerine sahip olan malzemenin matkap işleminden sonra %25,3 oranında sertlikte artış sağlandığı, honlama işleminden sonra %11,3 oranında sertlikte artış sağladığı ve ezerek parlatma yönteminden sonra %33,4 oranında sertlik değerinde artış sağlandığı tespit edilmiştir [9]. Ökmen, esnek honlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülük değerinde %15 iyileşme kaydederken ezerek parlatma işlemi sonrasında yüzey pürüzlülük değerinde %85 oranında iyileşme olduğunu belirtmiştir [9].

Koçak H. (2020), makalesinde Al6013 alüminyum ve MS58 pirinç malzemesini eş zamanlı olarak incelemiş ve bu malzemelere ezerek parlatma yöntemi uygulamıştır [10]. Koçak, malzemelere yarıçapta etki eden 0,03mm, 0,06mm ve 0,09mm ezme derinliği deney parametresi belirlemiştir. Yapılan deneylerin ardından malzemelerin yüzey pürüzlülük ve sertlik değerleri ölçülmüştür. Şekil 2.6'da yüzey pürüzlülük değerleri paylaşılmıştır [10].



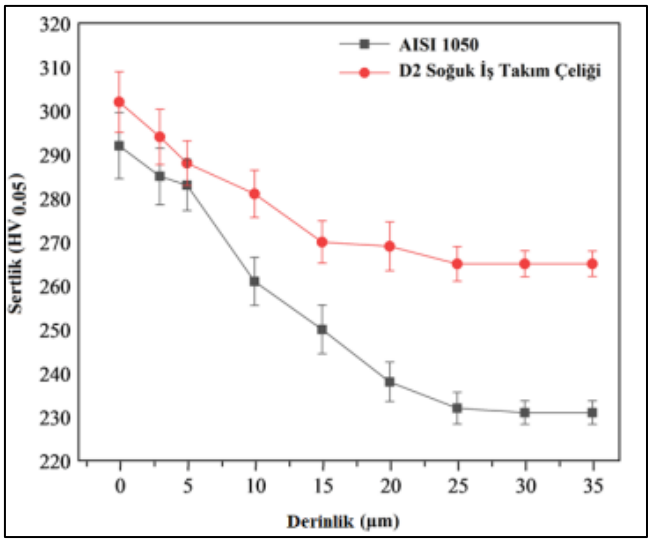
Şekil 4. Yüzey pürüzlülüğü değişimi (a: Al 6013, b: MS58)

Şekil 2.6. Yüzey Sertlik ve Pürüzlülük Tablosu

Yapılan çalışmaya göre, başlangıçta 1,4-1,7 µm yüzey pürüzlülük değerine sahip olan MS58 pirinç malzemesinin ezerek parlatma işlemi sonrasındaki yüzey pürüzlülük değerinin 0,17 µm değerine kadar iyileştiği tespit edilmiştir [10]. AL6013 malzemesinin ise 1,1-1,4 µm olan başlangıçtaki yüzey pürüzlülük değeri, deney sonrasında 0,12 µm değerine kadar iyileşme sağlamıştır [10]. Yüzey sertlik değerleri bakımından da malzemelerin incelendiği ve AL6013 malzemesinde %10 oranında sertlik artışı sağlandığı, MS58 pirinç malzemesinde ise %20 oranında sertlik artışı sağlandığı görülmüştür. Tane yapısı ve sertlik artışı incelendiğinde küçük tane yapısının daha kolay sertlik elde edilmesine imkan verdiği belirtilmiştir [10].

Tuncay Şimşek, Alican Yakın ve Adnan Akkurt [11], çalışmalarında AISI 1050 ve D2 soğuk iş takım çeliği malzemeleri üzerinde ezerek parlatma deneyi uygulamışlardır. Her iki malzemenin de yüzey pürüzlülük ve sertlik değerlerinde pozitif anlamda etkiler olduğunu saptamışlardır. Şekil 2.7'de malzemelerin yüzey sertlik sonuçları paylaşılmıştır. Grafiğe göre, ezerek parlatma işleminin yapıldığı yüzeyden başlayarak ölçümler yapıldığı, ezme çapından uzaklaştıkça sertlik değerinin azaldığı ve belli bir yerden sonra sertlik değerinin sabit kaldığı görülmektedir [11].

Çalışmada ayrıca Şimşek ve arkadaşları AISI 150 ve D2 soğuk iş takım çeliği malzemelerinin ezerek parlatma işlemi sonrasında silindiriklik ve dairesellik değerleri de ölçülmüş ve bu değerlerde de gelişme kaydedildiği belirtilmiştir [11].



Şekil 2.7. Yüzey Sertlik Değeri

Elif Malyer [12] makalesinde AA-7075-T6 alüminyum alaşımına ezerek parlatma yöntemi uygulamış ve sonuçlarını incelemiştir. Araştırmanın ayırıcı yönü, çubuk veya boru formunda bir malzeme ile değil düz bir malzeme kullanmış olmasıdır [12]. İlerleme miktarı, ezme derinliği, yanal adım, ezme doğrultusu, paso sayısı ve ezme şartı (soğutma sıvı, kesme yağı) parametreleri belirlenerek yapılan çalışmada ezerek parlatma yönteminin malzemenin kalıntı gerilmesine olan etkisi incelenmiştir [12]. Çalışmanın sonucunda, ezerek parlatma işlemi sonrası oluşan kalıntı gerilmelerinin beklendiği üzere basma gerilmesi olduğu belirtilmiştir. Yanal adım arttıkça kalıntı gerilme miktarının arttığı, ezme derinliği azaldıkça kalıntı gerilmelerin azaldığı, paso sayısı arttıkça her seferde ezilen malzeme miktarı da azaldığı için kalıntı gerilmelerin de azaldığı tespit edilmiştir [12].

Mahmut Çelik [13], Inconel 718 alaşımına ezerek parlatma işlemi uygulamış ve bu işlemin malzemedeki yüzey kalitesine olan etkisini incelemiştir. Baskı kuvveti, ilerleme miktarı ve paso sayısı parametreleri dört farklı seviyede alınmış ve Taguchi L6 deneysel tasarımı ile deney yapmıştır [13]. Bu deney parametreleri Çizelge 2.5'te paylaşılmıştır.

Çizelge 2.5. Deney Parametreleri

Tablo 3. Parlatma parametreleri ve faktör seviyeleri

Parlatma Parametresi	Seviyeler			
	1	2	3	4
Baskı Kuvveti (N)	160	240	320	400
İlerleme Miktarı, (mm/dev)	0,02	0,04	0,06	0,08
Paso Sayısı	1	2	3	5
Devir Sayısı (dev/dk)	1800			

Başlangıçta 3,3 μm Ra yüzey pürüzlülüğüne sahip olan malzemenin, ezerek parlatma işlemi sonrasında 0,189 μm Ra pürüzlülük değerine kadar azaldığı ve %90 oranından daha fazla iyileşme sağlandığı görülmüştür [13]. Çalışmada ayrıca baskı kuvvetinin artmasının malzeme yüzey kalitesinde olumsuz bir etki oluşturduğu da belirtilmiştir [13].

Omar Bataineh [14] çalışmasında 6061-T6 alüminyum malzeme kullanmayı tercih etmiş ve bu malzeme ezerek parlatma işlemi uygulamıştır. Ezme hızı ve ezme derinliği parametrelerinden dört farklı seviye belirlenerek yapılan deneyde yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği çıktıları değerlendirilmiş ve deney öncesine göre bu iki değerde de iyileşmeler olduğu kaydedilmiştir [14].

Literatür çalışmaları genel olarak incelendiğinde; ezme yönteminin alüminyum, çelik, titanyum, bakır, pirinç gibi farklı form ve özellikteki birçok malzemeye uygulandığı ve bu malzemeler üzerindeki etkilerinin incelendiği tespit edilmiştir. Çalışmalarda ağırlıklı olarak yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği çıktılarının sonuç olarak paylaşıldığı görülse de bazı çalışmalarda aşınma direnci, silindiriklik ve dairesellik parametrelerinin de sonuç olarak paylaşıldığı tespit edilmiştir. Ezme işleminin yapılan bütün çalışmalarda belirlenen parametrelerde iyileşme sağladığı ve hatta taşlama, raybalama ve honlama gibi benzer yüzey bitirme işlemleri ile kıyaslandığı çalışmalarda ezme yönteminin çok daha üstün bir yöntem olduğu dile getirilmiştir. Literatürde nikelli alüminyum bronz (Cupral 4M) malzemesinin ezme yöntemine maruz kaldığı ve deneysel çalışmaya konu edildiğine dair bir araştırmaya rastlanılmamıştır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Amaç ve Kapsam

Çalışmanın amacı, literatür çalışmasında daha önce kullanılmayan boru formundaki nikelli alüminyum bronz (Cupral 4M) yatak malzemesine ezme yöntemi uygulamak ve uygulanan bu yöntemin malzemenin yüzey kalitesine olan etkilerini incelemektir. Çalışma kapsamında, nikelli alüminyum bronz malzemesine devir sayısı, ezme hızı ve ezme derinliği olarak belirlenen üç parametre ve her parametreye ait üç farklı seviye ile yağlı ortamda ve bir paso uygulanacak şekilde deney düzeneği hazırlanmıştır. Taguchi L9 formasyonu uygulanarak deney numuneleri hazırlanmış ve bu numuneler ile üniversal torna tezgahında ezme işlemi yapılmıştır. Yapılan bu işlemin malzemenin yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği, aşınma direnci, silindiriklik, diklik ve dairesellik çıktılarına olan etkisi incelenmiştir.

3.2. Numune ve Yöntem

Deney malzemesi olarak literatürde daha önce kullanılmayan nikelli alüminyum bronz (Cupral 4M) tercih edilmiştir. Malzemenin kimyasal kompozisyonu ile mekanik ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de paylaşılmıştır. Bu bilgiler malzemenin temin edildiği Turka Metal firmasının paylaştığı malzeme sertifikasından alınmıştır.

Çizelge 3.1. Cupral 4M (CuA110Ni5Fe4) Malzemesinin Kimyasal Kompozisyonu

Kimyasal Element	Ağırlık %	Kimyasal Element	Ağırlık %
Cu	79,65	Be	0,002
Sn	0,05	Co	0,007
Zn	0,09	Cr	0
Pb	0,08	Bi	0,001
Fe	4,1	Ag	0,004
Ni	5,29	Al	9,3
P	0,1	S	0,01
Si	0,002	As	<0,001
Mn	1,3	Sb	0,001

Çizelge 3.2. Nikelli Alüminyum Bronz Malzemesinin Mekanik Özellikleri

Çekme Dayanımı Mpa	>290
Akma Dayanımı Mpa	>170
Uzama A5	>10
Brinel Sertlik HB	>100

Nikelli alüminyum bronz (Cupral 4M) malzemesi, yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini koruyabilen ve içerdiği nikel elementi sayesinde korozyona dayanıklı bir malzemedir [15]. Dişli takımları, yatak ve burç gibi aşınma dayanımı gereken alanlarda, gemi pervaneleri gibi korozyona müsait tuzlu, asitli ve sulu ortamlarda kullanılabilmektedir. Bu tür özellikleri sebebiyle otomotiv, savunma sanayi, gemi inşaatı ve havacılık başta olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılan bir alaşımdır.

Deney yöntemi belirlenmesinde literatür taramaları referans alınmış ve literatüre göre sonuca etki edeceği saptanan üç parametre tespit edilmiştir. Bu parametreler devir sayısı, ilerleme hızı ve ezme derinliğidir. Çizelge 3.3'te deney parametreleri ve bu parametrelere ait üç farklı seviye paylaşılmıştır.

Çizelge 3.3. Deney Parametreleri

İlerleme Hızı (mm/devir)	0,11	0,24	0,4
Devir Sayısı (devir/dk)	355	710	1000
Ezme Derinliği (mm)	0,04	0,08	0,12

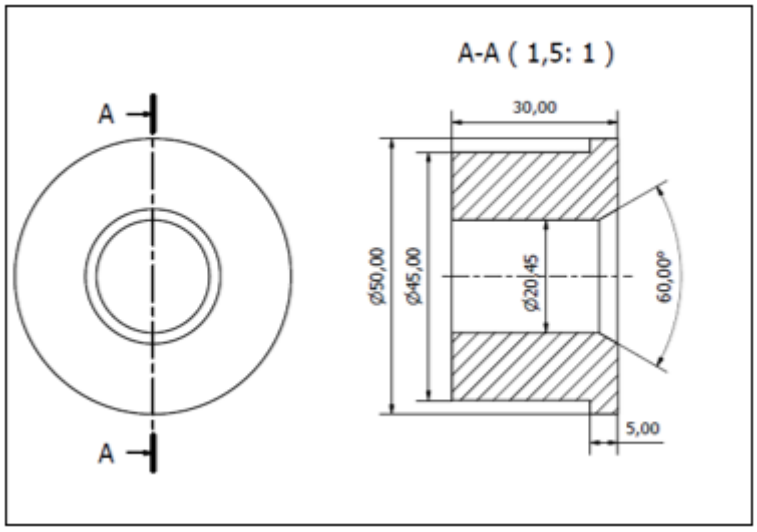
Deneyler Şekil 2.2'de şematik görüntüsü paylaşılan ve Resim 3.1'de gösterilen Yamasa marka [2] ezme takımı temin edilerek yapılmıştır.



Resim 3.1. Deneyde Kullanılan Ezme Takımı

Ø50 mm çapında çubuk formunda satın alınan nikelli alüminyum bronz (Cupral 4M) malzemesi NEX-110M model Takisawa Taiwan CNC Torna tezgahında Resim 3.2'de gösterilen ölçülerde işlenmiştir.

Ezme derinliği parametreleri, öncelikle literatür taramasında karşılaşılan 0,5 mm ezme derinliği baz alınarak 0,15 mm, 0,30 mm ve 0,50 mm değerleri seçilerek belirlenmiştir. Ezme takımının Ø20,60 mm çapta sabit tutulacağı planlanarak, belirlenen ezme derinliklerine uygun olması amacıyla Ø20,10 mm, Ø20,30 mm ve Ø20,45 mm olarak aşağıda detaylıca tarif edildiği şekilde her bir çaptan dokuz adet olmak üzere toplamda 27 adet deney numunesi üretilmiştir. Numuneler ile yapılan ilk deneyde, deney sonrası ölçülen yüzey pürüzlülük değerinin başlangıç değerine göre çok daha kötü sonuç vermesi sebebiyle deney durdurulmuştur. Ezme derinliği parametresi için belirlenen değerler bir kez daha gözden geçirilmiş ve yapılan ikinci literatür taraması sonucunda nihai olarak 0,04 mm; 0,08 mm ve 0,12 mm ezme derinlikleri belirlenmiştir. Deneye Ø20,10 mm, Ø20,30 mm ve Ø20,45 mm çapta hazırlanan numuneler ile devam edilmiş, belirlenmiş olan yeni ezme derinlikleri ezme takımının çapı değiştirilerek sağlanmıştır. Şekil 3.1'de Ø20,45 mm iç çap ölçüsüne sahip deney numunesi gösterilmiştir. Bu iç çap ölçüsü haricindeki tüm ölçüler diğer iki deney numunesinde de aynıdır.



Şekil 3.1. Deney Numunesinin Teknik Resmi

Deney numunesi Ø50 mm dış çapında ve 30 mm uzunluğundadır. Deney yapılırken numunenin üniversal tornanın aynasına bağlandığında ezme takımının ittirme kuvveti sebebiyle aynanın içine kaçma ihtimaline karşı önlem olarak 5mm kalınlığında bir fatura

yüzeyi oluşturulmuştur. Ezme takımının numune içerisine girmesi esnasında kolaylık sağlamak amacıyla da 60 derecelik bir havşa yapılmıştır.

Resim 3.2'de deney numunelerinin üretimi yapılan NEX-110M model Takisawa Taiwan CNC torna tezgahının fotoğrafı paylaşılmıştır. Numuneler bu tezgahta Stein marka bor soğutma sıvısı kullanılarak ve 1000 devir/dk devir sayısında üretilmiştir. Resim 3.2'de paylaşılan fotoğrafta ayrıca üretilen deney numuneleri ile mikrometre ve komparatör ölçüm cihazları da görüntülenmiştir. Üretim esnasında her numunenin teknik resim ölçüleri kumpas ile kontrol edilmiştir. Hassas olan ve deney uygulanacak olan iç çap ise bindelik hassasiyetle tezgahta üretilmiş ve daha önce uygun çap ölçüsünde mikrometre ile ayarlanan komparatör ile de Resim 3.4'te gösterildiği gibi çap yüzeyinde bir salgı olup olmadığı devamlı surette kontrol edilmiştir. Üretilen numuneler daha sonra Hexagon marka CMM tezgahında Resim 3.3'te gösterildiği gibi deney öncesinde silindiriklik, dairesellik ve teknik resim ölçüleri ölçülmüştür.

Silindiriklik ve dairesellik ölçümü yapılırken, numunenin başından, ortasından ve sonundan olmak üzere üç konum seçilmiş ve seçilen bu konumların her birinden beş nokta alınarak çap oluşturulmuştur. Farklı yerlerde oluşturulan bu üç çap ile silindiriklik ve dairesellik sorgulanmıştır. Resim 3.3'te farklı konumlarda oluşturulan çapların ölçüm görselleri paylaşılmıştır.

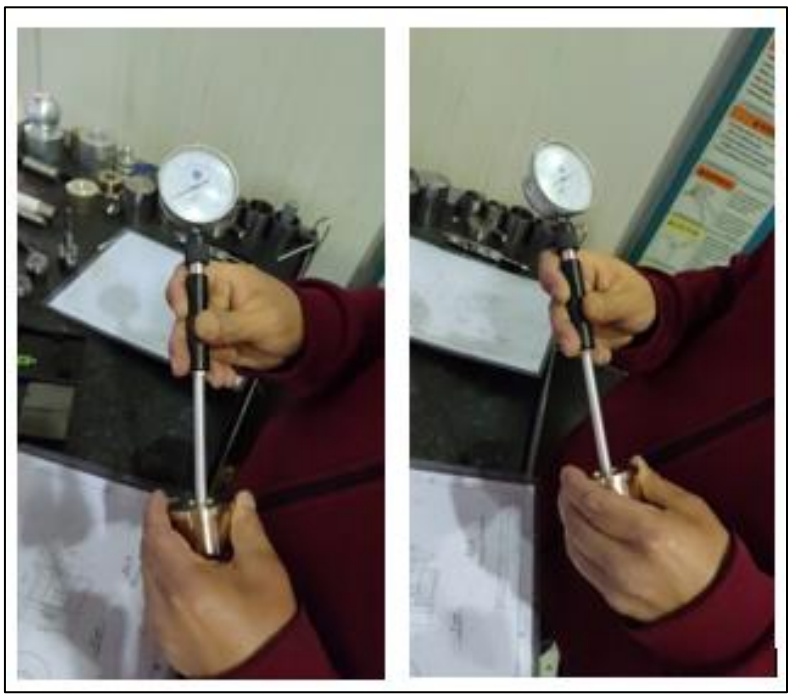


Resim 3.2. Takisawa Taiwan CNC Torna Tezgahı

Deney öncesinde yapılan silindiriklik ve dairesellik ölçümü, numunelerin üretimi esnasında tezgahtan kaynaklanabilecek ve deneyi etkileyebilecek bir olumsuzluğun olup olmadığının tespit edilmesi amacıyla da yapılmıştır ve numunelerin üretimi esnasında tezgahtan kaynaklanan herhangi bir kusurun olmadığı tespit edilmiştir. Bu ve diğer CMM ölçümlerinin öncesinde kalibrasyon yapılmış ve sonrasında ölçümler gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.3. Hexagon CMM Tezgahında Deney Numunesi Ölçümü



Resim 3.4. Komparatör İle Numune Ölçümü

Yukarıda sayılan ölçümlere ilave olarak numuneler, deney öncesi ve sonrası her aşamada Bowers marka Holematic cihazı ile de ölçülmüştür. Resim 3.5'te görseli paylaşılan holematic cihazı kısa bir tarif ile iç çap ölçebilen bir mikrometredir [16]. A, B ve C harfleriyle gösterilen ve farklı çap aralıklarını ölçebilen aparatlarıyla kullanılmaktadır. Kullanımdan önce uygun çapa göre D veya E mastarları ile cihaza kalibrasyon yapılmış ve sonrasında ölçüm gerçekleştirilmiştir. Resim 3.6 görselinde A harfi ile gösterilen bölge tabancanın mandalıyla belirli çap aralığında ileri ve geri yaparak ölçülmesi gereken malzemenin delik içine girmekte ve ölçüm gerçekleştirilmektedir.

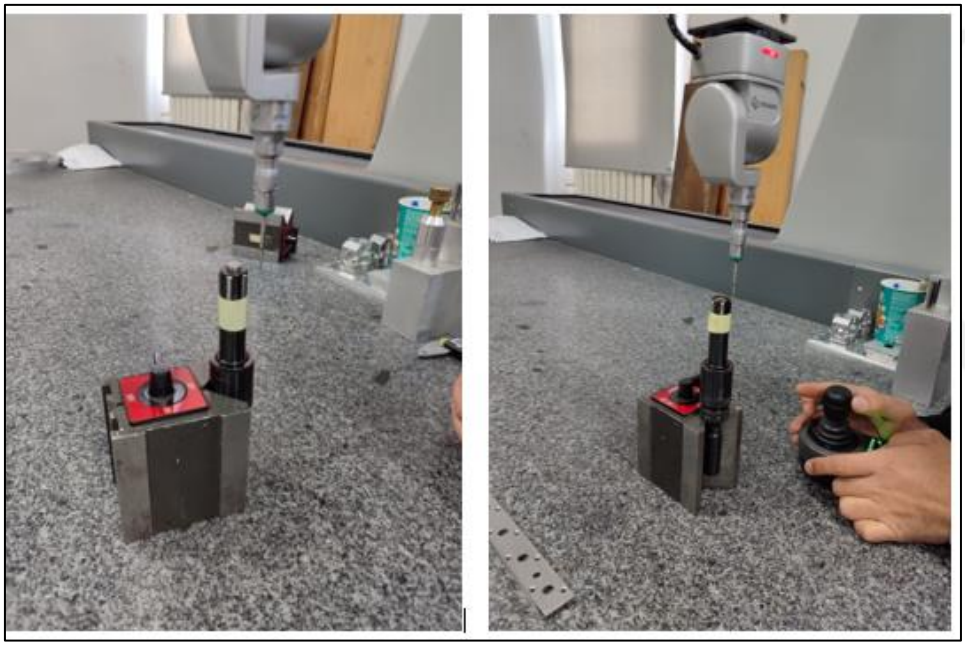


Resim 3.5. Holematic Ölçüm Cihazı Kutusu



Resim 3.6. Holematic Ölçüm Cihazı

Ezme takımı Resim 3.7'de paylaşıldığı şekilde CMM tezgahına bağlanmış ve ölçülmüştür. Ezme takımının ölçümü için mıknatıslı sabitleme aparatının mıknatıs özelliği aktif edilerek ezme takımı aparata sabitlenmiş ve uygun şekilde ölçüm tezgahına yerleştirilmiştir. Takım ucundaki bilyelerin hareketsiz durmasını sağlamak ve doğru bir ölçüm yapabilmek için bilyelerin olduğu bölüm Resim 3.7'de görüldüğü gibi bantlanmıştır. Takım ucunda yer alan beş adet bilyenin her birinden bir nokta alınmıştır. CMM programında bilyelerden alınan bu beş noktadan bir çember oluşturulmuştur ve bu çemberin ölçüsü sorgulanmıştır. Bu ölçüm ezme takımı istenilen çap ölçüsü sağlanana kadar tekrarlanmış ve ölçüm yakalandığında sabitleme aparatı yardımıyla takım sabitlenmiştir.



Resim 3.7. Ezme Takımının CMM Cihazında Ölçümü

Deney numunesi adedinin belirlenmesinde ve deney sürecinin işleyişinde Taguchi metodu kullanılmıştır. Belirlenen üç parametre ve her parametreye ait üç seviye olması sebebiyle Taguchi L9 formasyonu deney için uygun formasyon olarak belirlenmiştir. Minitab 19 bilgisayar programı kullanılarak yapılan işlemde, deney parametreleri ve parametrelere ait seviyeler programa yüklenmiş ve L9 formasyonu seçilerek Taguchi metoduna uygun olan deney sıralaması belirlenmiştir. Deney sıralaması Çizelge 3.4'te paylaşılmıştır. Deney numunesi üretilmesi aşamasında her bir çaptan dokuz adet olmak üzere toplamda 27 adet üretilen numune içerisinden deney ihtiyacı olan dokuz adet numune kullanılmış, kalan numuneler saklanmıştır.

Çizelge 3.4. Taguchi Metoduna Göre Deney Planlaması

İlerleme Hızı (mm/devir)	Devir Sayısı (devir/dk)	Ezme Derinliği (mm)
0,11	350	0,04
0,11	710	0,08
0,11	1000	0,12
0,24	350	0,08
0,24	710	0,12
0,24	1000	0,04
0,4	350	0,12
0,4	710	0,04
0,4	1000	0,08

Hazırlanan numunelere, Çizelge 3.4'te paylaşılan deney planlamasına uygun olarak Resim 3.8'de birkaç farklı açılardan görseli paylaşılan Tezsan marka üniversal torna tezgahında ezme işlemi uygulanmıştır. Deneylerin tamamı bir paso ile yapılmış ve yağlı ortam tercih edilmiştir. Yağ olarak Shell marka Tellus S2 M endüstriyel hidrolik yağ kullanılmış ve deney esnasında elle ve yağdanlık kullanılarak ezme takımının numune içerisine girişinde bir kez ve numune içerisinden çıkışında bir kez olmak üzere iki sefer uygulanmıştır.

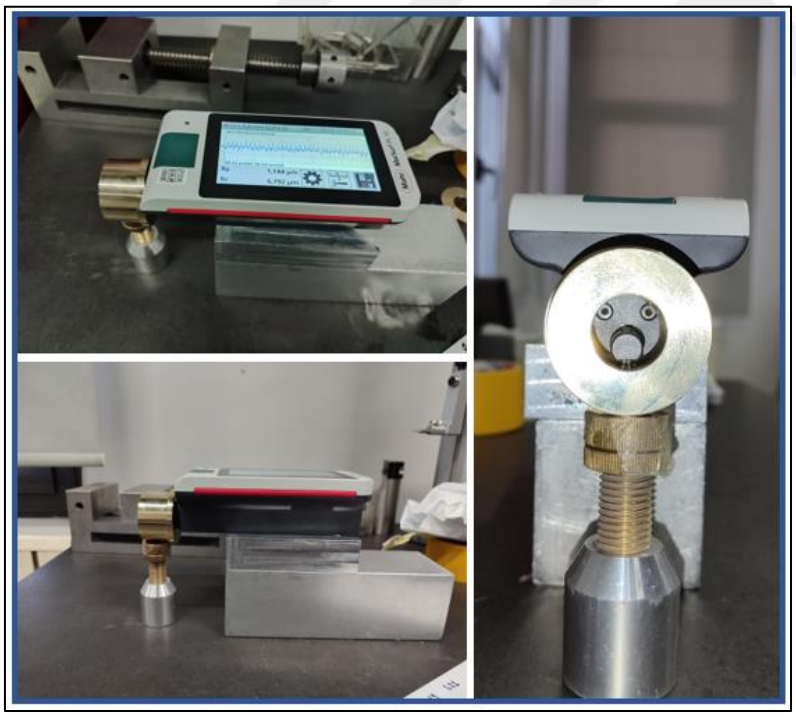


Resim 3.8. Deney Yapılan Üniversal Torna Tezgahı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Nikelli Alüminyum Bronz (Cupral 4M) malzemesine Taguchi L9 formasyonu ile hazırlanan deney planına göre yapılan ezme işlemi sonrası numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri, yüzey sertliği değerleri, silindiriklik ve dairesellik değerleri ile aşınma direnci değerleri sorgulanmış ve deney öncesi değerler ile kıyaslanmıştır.

Yüzey pürüzlülük ölçümleri Resim 4.1'de gösterildiği gibi MarSurf PS 10 model Mahr marka pürüzlülük cihazı ile yapılmıştır. Pürüzlülük cihazı ve deney numuneleri çift taraflı bant ile sabitlenmiş ve bu şartlar altında ölçüm yapılmıştır. Her üç numunede bir kez numune yüzeyindeki çift taraflı bant yenilenmiştir. Ölçüm sonucu, 120 derece açılarla üç noktadan alınan ölçümlerin ortalaması olarak kaydedilmiştir. Deney öncesinde 1,14-1,20 µm Ra pürüzlülük değerinde ölçülen malzemenin, deney sonrasında ölçülen pürüzlülük değeri Çizelge 4.1'de paylaşılmıştır.

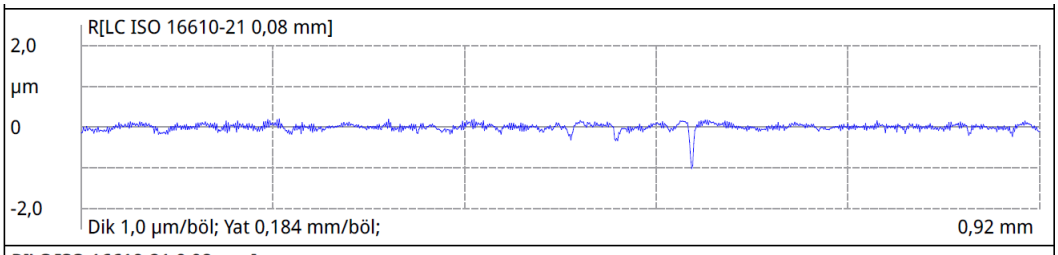


Resim 4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Çizelge 4.1. Deney Sonrası Pürüzlülük Ölçüm Sonuçları

TAGUCHI METODU L9 SIRALAMASI						
İlerleme Hızı (mm/devir)	Devir Sayısı (dev/dk)	Ezme Derinliği (mm)	Deney Sonrası Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü, Ra, µm			
			Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama
0,11	350	0,04	0,45	0,35	0,38	0,39
0,11	710	0,08	0,37	0,44	0,43	0,41
0,11	1000	0,12	0,33	0,25	0,29	0,29
0,24	350	0,08	0,54	0,43	0,5	0,49
0,24	710	0,12	0,25	0,28	0,22	0,25
0,24	1000	0,04	0,07	0,06	0,06	0,06
0,4	350	0,12	0,3	0,27	0,29	0,29
0,4	710	0,04	0,11	0,18	0,13	0,14
0,4	1000	0,08	0,42	0,37	0,37	0,39

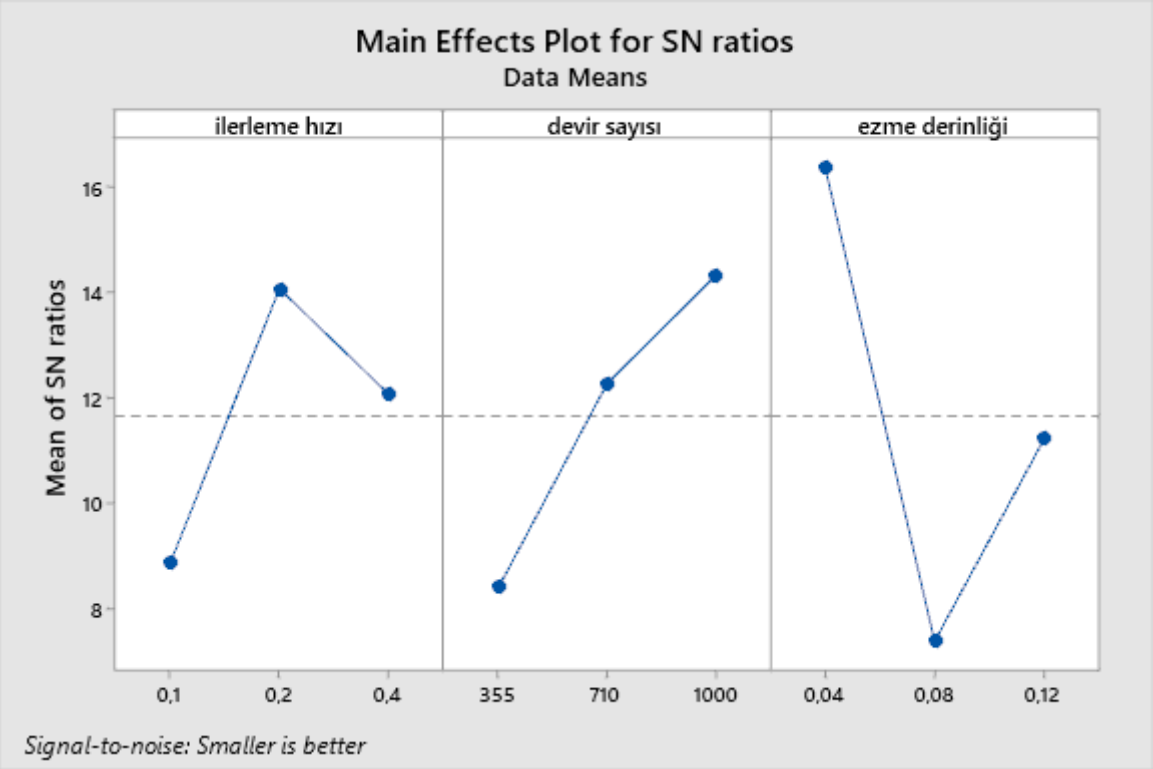
Çizelge 4.1'e göre, bütün deney parametrelerindeki yüzey pürüzlülük değerlerinin deney öncesi ölçülen 1,14-1,20 µm Ra pürüzlülük değerine göre iyileştiği görülmektedir. Özellikle 0,24 mm/devir ilerleme hızında, 1000 devir/dk devir sayısında ve 0,04 mm ezme derinliğine sahip parametrelerde yüzey pürüzlülük değeri 0,06 µm Ra değeriyle en düşük ve dolayısıyla en iyi ölçüsünü kaydetmiştir. Mahr marka cihazdan alınan bu ölçüm çıktısı Şekil 4.1'de paylaşılmıştır.



R[LC ISO 16610-21 0,08 mm]	
Ra	0,063 µm
Rz	0,600 µm
Rmax	1,268 µm

Şekil 4.1. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Sonucu

Alınan yüzey pürüzlülük sonuçları ile Minitap 19 programında analiz yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 4.2'de Taguchi metodu çıktılarından sinyal/gürültü tablosu paylaşılmıştır. Yüzey pürüzlülük değerlerinde en düşük değerin en iyi değer olduğu bilindiğinden program üzerinden hesap yöntemi seçilirken "en düşük en iyi" seçeneği seçilmiştir.



Şekil 4.2. Taguchi Metodu Sinyal/Gürültü Oranı

Şekil 4.2'de yer alan grafikte, deney parametreleri olan ilerleme hızı, devir sayısı ve ezme derinliği parametreleri ve bu parametrelere ait üç seviye yer almaktadır. İlerleme hızı parametresinin 0,1 (0,11) mm/devir hızında yüzey pürüzlülüğü değerleri için en kötü sonucu verdiği, 0,2 (0,24) mm/devir hızında ise en iyi sonucu verdiği kaydedilmiştir. 0,4 mm/devir hızında ise 0,24 mm/devir ilerleme hızına kıyasla daha düşük olmakla birlikte 0,11 mm/devir ilerleme hızına göre yüzey pürüzlülüğü sonucuna çok daha olumlu katkısı olmuştur. Benzer şekilde devir sayısı parametresinde yüzey pürüzlülük sonuçlarında en olumlu katkı 1000 dev/dk devir sayısında elde edilmiştir. Devir sayısında en olumsuz katkı ise 355 dev/dk devir sayısında alınmıştır. Ezme derinliği parametresi incelendiğinde ise yüzey pürüzlülük değerlerine en olumlu katkı sağlayan seviyenin 0,04 mm ezme derinliği olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.2'de varyans analiz sonuçları paylaşılmıştır. Bu analizde deney parametrelerinin deney sonucuna ne kadar etki yaptığı incelenmektedir. Analizin model özetinde R^2 değerinin %91,99 olduğu görülmektedir. Bu değer, oluşturulan regresyon modelin ve varyans analizinin ideale yakın olduğunu ifade etmektedir. Varyans analiz tablosunda yer alan P-Value değerinin 0,05 anlamlılık değerinden düşük olması beklenmektedir. Ancak

bütün P-Value değerlerinin 0,05 değerinden yüksek olması sebebiyle tabloya katkı oranı sekmesi eklenmiştir. Katkı oranı sekmesi tabloda yer alan Adj SS sütununun yüzdelik hesaplanmasından oluşturulmuştur. Buna göre, yüzey pürüzlülük ölçümüne en fazla etki eden parametrenin %55,597 oranı ile ezme derinliği olduğu görülmüştür. Ezme derinliği parametresini %24,027 ile devir sayısı takip etmektedir. Resim 4.4'te paylaşılan varyans analizi tablosuna göre, üç parametre arasından yüzey pürüzlülüğüne en az etki eden parametrenin ise %12,362 oran ile ilerleme hızı olduğu sonucu alınmıştır. Varyans sonucuna göre hata oranı ise %8 oranında çıkmıştır. Bu değer %10 dan daha düşük olması sebebiyle kabul edilebilir seviye olarak yorumlanmıştır.

Çizelge 4.2. Varyans Analizi Sonucu

Model Özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	R- sq(pred)
0,077372	91,99%	67,97%	0,00%

Varyans Analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Katkı Oranı %
ilerleme hızı	2	0,01849	0,009246	1,54	0,393	12,365
devir sayısı	2	0,03593	0,017964	3	0,25	24,027
ezme derinliği	2	0,08314	0,041572	6,94	0,126	55,597
Error	2	0,01197	0,005986			8,004
Total	8	0,14954				

Minitab 19 programında ayrıca regresyon eşitliği çıktısı da alınmış ve Şekil 4.3'te paylaşılmıştır. Bu eşitliğe göre, ilave yeni bir deney yapılmadan istenilen herhangi parametre ve parametre seviyesinde yüzey pürüzlülük değeri alınabilir durumdadır.

Regression Equation

yüzey pürüzlülüğü = 0,443 - 0,267 ilerleme hızı - 0,000227 devir sayısı + 0,96 ezme derinliği

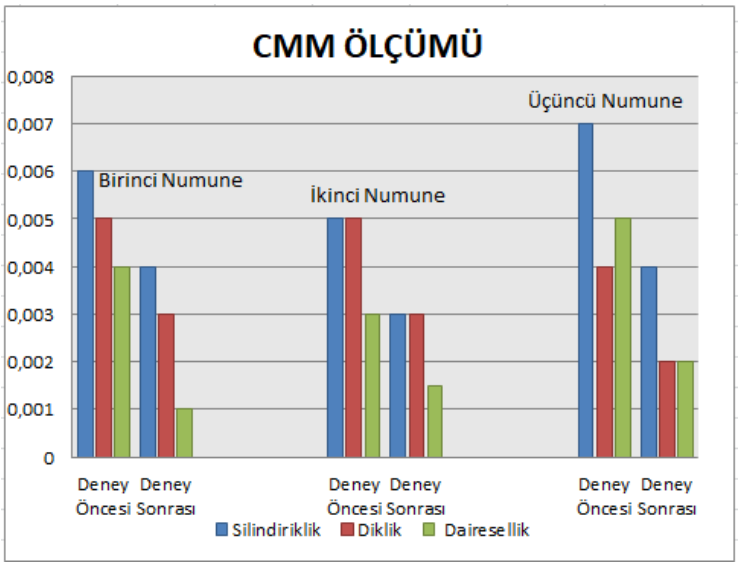
Şekil 4.3. Regresyon Eşitliği

Literatürde yer alan bazı çalışmalarda da ezme yönteminin yüzey kalitesi parametrelerine olan etkisinde benzer iyileşmeler görülmüştür. Patel ve Vaghela EN19 malzemesine yaptıkları ezme işleminde yüzey pürüzlülük değerini belirleyen temel faktörün ezme

derinliği parametresi olduğunu vurgulamışlardır [17]. Bu çalışmada da ezme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkin parametre olduğu görülmüştür. Korzynski, ezme kuvveti ve paso sayısının ezerek parlatma yönteminde malzemenin yüzey kalitesine etkisi bakımından önemli olduğunu dile getirmiştir [18].

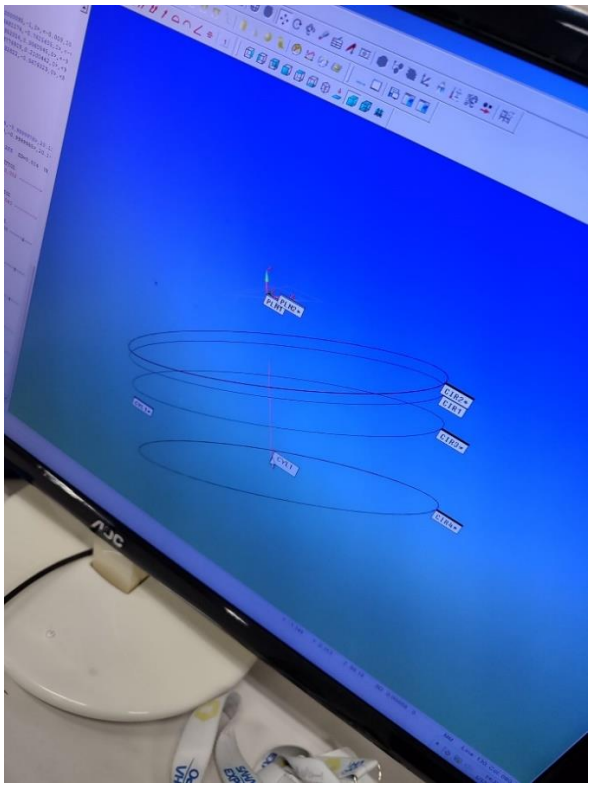
Şekil 4.2'de paylaşılan Taguchi Metodu Sinyal/Gürültü Oranı grafiğinde değerlerin sağlamasını ve kontrolünü yapabilmek ve tek paso ile çift pasonun etkisini görebilmek adına ilave deneyler yapılmıştır. Deney parametrelerinden olan ilerleme hızı ve ezme derinliği parametrelerinden ara değerler seçilerek deney tertibi düzenlenmiştir. Başlangıçta 0,11 mm/dev, 0,24 mm/dev ve 0,4 mm/dev olarak seçilen ilerleme hızı parametresine 0,16 mm/dev ve 0,32 mm/dev olmak üzere iki ara değer seçilmiştir. 0,04 mm, 0,08 mm ve 0,12 mm olarak başlangıçta belirlenen ezme derinliği parametresine de 0,06 mm ve 0,10 mm olmak üzere iki ara değer belirlenmiştir. Sabit 1000 dev/dk ve yağlı ortamda ilave deneyler yapılmıştır ve seçilen ara değerler ile tek paso ve çift paso uygulanmasının etkileri incelenmiştir. Deney planı ve deney sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri EK 2'de paylaşılmıştır. Deney sonuçlarından anlamlı veriler elde edilememesinden dolayı yapılan ilave deneyler tez kapsamından çıkarılmıştır.

Deney öncesinde ve deney sonrasında numunelerin silindiriklik, diklik ve dairesellik ölçümleri yapılmıştır. Şekil 4.4'te üç farklı çaptan seçilmiş üç numunenin cmm ölçüm sonuçları paylaşılmıştır. Grafiğe göre, birinci numunenin deney öncesinde silindiriklik ölçüsü 0,006 mm, diklik ölçüsü 0,005 mm ve dairesellik ölçüsü 0,004 mm olarak ölçülmüştür. Deney sonrasındaki ölçüm sonuçlarında ise silindiriklik ölçümü 0,004 mm, diklik ölçüsü 0,003 mm ve dairesellik ölçüsü 0,001 mm ölçülmüştür. İkinci ve üçüncü numunelerdeki sonuçlar da benzer şekilde değerlendirilmelidir. Deney öncesi ölçümlere göre kıyaslandığında bütün numunelerde ezme işlemi sonrası silindiriklik, dairesellik ve diklik ölçüm değerlerinde iyileşme kaydedilmiştir.



Şekil 4.4. Deney Öncesi ve Sonrası Silindiriklik, Diklik ve Dairesellik Ölçümü

Numunenin ezme işlemi uygulanan delik iç yüzeyinin başından, ortasından ve ölçüm probunun ölçebileceği en ileri uçtan olmak üzere üç konum belirlenmiştir. Her bir konumda beş nokta seçilerek bir çap oluşturulmuş ve oluşturulan bu üç çap birbiriyle kıyaslanarak silindiriklik ve dairesellik ölçümleri yapılmıştır. Diklik ölçümünde numunenin fatura yüzeyi dikkate alınmıştır. Ölçüm programı Resim 4.2'de paylaşılmıştır.



Resim 4.2. Silindiriklik, Diklik ve Dairesellik Ölçümü CMM Programı

Ezme işlemi uygulanan deney numunelerine sertlik ölçümü testi de yapılmıştır. Ölçümler yapılırken Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı bünyesinde bulunan ve Resim 4.3'te görseli paylaşılan Q30M model mikro sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihaz, ölçüm yapılacak numune üzerine yüz kat yaklaşabilecek özellikte olup, kullanıcı tarafından seçilen ağırlık altında malzeme üzerine iz bırakmakta ve oluşan izin uzunluk ölçümleri ile Vickers cinsinden sertlik sonucunu otomatik olarak hesaplayabilmektedir.



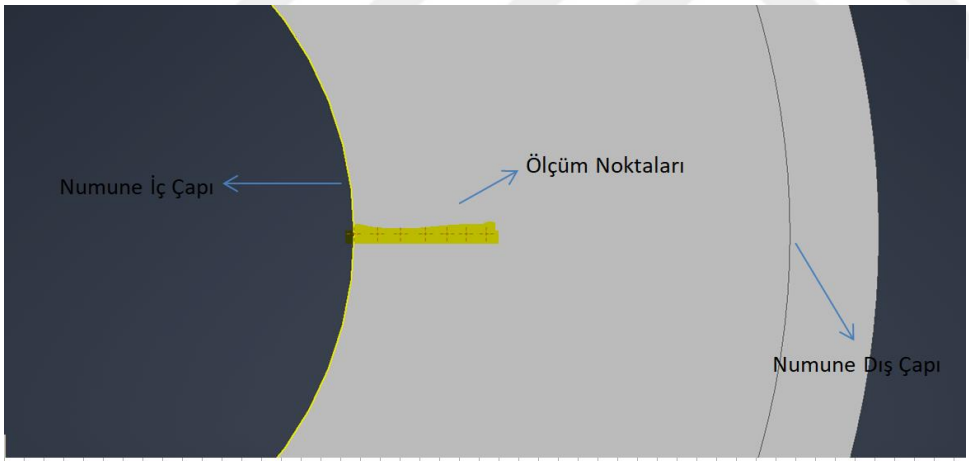
Resim 4.3. Yüzey Sertliği Ölçüm Cihazı

200 gram baskı ağırlığı seçilerek yapılan deney düzeneğinde Taguchi metoduna göre hazırlanan 9 numunenin tamamı ölçülmüştür. Ezme takımının girişini kolaylaştırmak ve takımın ağızlamasını sağlamak amacıyla numune üzerine açılan 60° havşa ölçüsünün olduğu bölüm iç çapa uzak bir bölüm olduğu için ölçümler bu bölümden değil, deney numunesinin pah olmayan arka kısmından yapılmıştır. Deney numunesinin bu arka kısmı, test esnasında ezme takımının numuneden çıktığı bölümdür. Test düzeneği gereği numune içerisinde hareket ederek ezme işlemi uygulayan ezme takımı, ön görüldüğü şekilde numuneden çıkış bölgesine bir miktar ezme işlemi artığı bırakmaktadır. Bu durum Resim 4.4'te görsel olarak paylaşılmıştır. Ölçüm yapılmasına engel oluşturacak bu çapak temizlenerek sertlik ölçümü bu yüzeyden yapılmıştır.



Resim 4.4. Ezme Takımının Numuneden Çıkışı

Ölçümler, deney numunesinin ezme işlemi uygulanan iç çapına en yakın seçilebilecek şekilde iç çaptan 0,05 mm uzaklıkta başlamış ve 0,15 mm aralıklar ile delik iç çapından dış çapa doğru uzaklaşarak devam etmiştir. Bu şekilde toplamda 8 noktadan ölçüm alınmış ve Şekil 4.5'te bu durum görsel olarak ifade edilmiştir. Bu görsel, bire bir ölçü olmayıp konunun anlaşılması için hazırlanan örnek bir gösterimdir.



Şekil 4.5. Sertlik Ölçüm Noktalarının Gösterimi

Resim 4.5'te sertlik ölçüm cihazında ölçümü yapılan deney numunesinin görüntüsü paylaşılmıştır. Malzeme üzerinde oluşan izin kırk kat büyütülmüş olarak görüntülendiği fotoğrafta sertlik ölçüm değeri belirlenirken, oluşan izin köşegen uzunlukları seçilerek cihazın otomatik olarak sertliği hesaplaması sağlanmıştır. Resim 4.5'te paylaşılan numunede 325 HV sertlik ölçülmüştür.



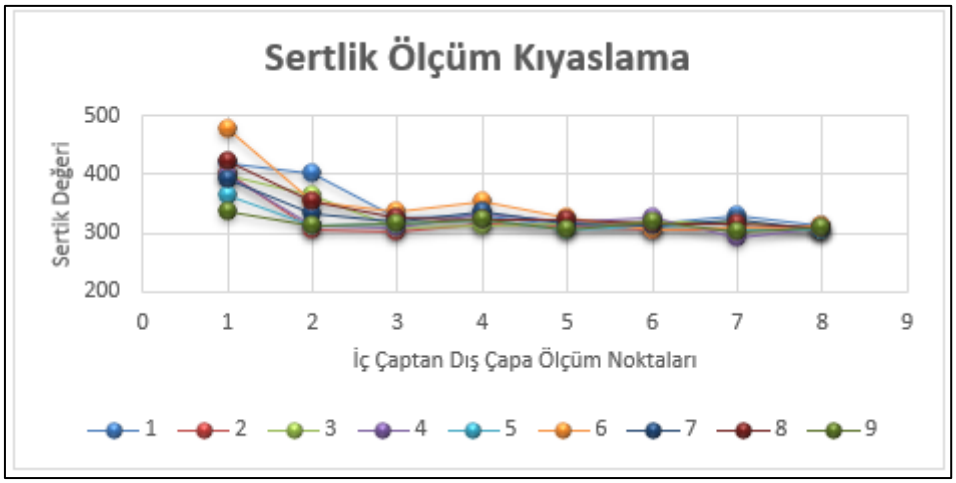
Resim 4.5. Sertlik Ölçüm Görüntüsü

Taguhci L9 formasyonu deney düzeneği gereği hazırlanan 9 adet numunenin yüzey sertlik ölçüm değerleri Çizelge 4.3'te paylaşılmıştır.

Çizelge 4.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Deney Numarası	İlerleme Hızı mm/devir	Devir Dayısı dev/dk	Ezme Derinliği mm	YÜZEY SERTLİĞİ SONUÇLARI HV 0,2							
1	0,11	350	0,04	420	400	325	330	311	316	330	314
2	0,11	710	0,08	400	307	303	315	313	305	305	309
3	0,11	1000	0,12	397	363	308	314	316	319	320	306
4	0,24	350	0,08	398	314	310	332	320	327	293	309
5	0,24	710	0,12	364	314	317	323	304	314	304	304
6	0,24	1000	0,04	477	355	338	353	325	307	310	312
7	0,4	350	0,12	390	334	319	336	315	314	322	306
8	0,4	710	0,04	423	352	326	321	322	316	315	310
9	0,4	1000	0,08	336	314	317	322	306	320	303	308

Çizelge 4.3'te paylaşılan ölçüm sonuçları, daha anlaşılır şekilde yorumlanması amacıyla Şekil 4.6'da paylaşılan grafiğe aktarılmıştır. Grafiğe göre, ezme işlemi yapılan iç çaptaki sertlik değeri bütün numunelerde sonraki noktalara göre yüksek ölçülmüştür. Ölçülen sertlik değerleri, iç çaptan uzaklaştıkça giderek azalmış ve belli bir noktadan sonra sabit kabul edilebilecek seviyelerde ölçülmüştür. En yüksek sertlik değeri 6 numaralı deney düzeneği olan 0,24 mm/devir ilerleme hızı, 1000 dev/dk ilerleme hızı ve 0,04 mm ezme derinliği parametrelerinde kaydedilmiştir ve 477 HV olarak ölçülmüştür. 6 numaralı deney düzeneği aynı zamanda yüzey pürüzlük değerinin de en iyi sonuç verdiği deney düzeneğidir.



Şekil 4.6. Sertlik Ölçümü Grafiksel Sonuçları

Ezme işleminin numunelerin aşınma direncine olan etkisini incelemek adına deney numunelerine aşınma testi uygulanmıştır. Aşınma deneyi için Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği bünyesinde bulunan ve Resim 4.6'da fotoğrafı paylaşılan Tezsan marka üniversal torna tezgahından faydalanılmıştır.



Resim 4.6. Aşınma Deneyi İçin Kullanılan Üniversal Torna Tezgahı

Deney numunelerinin ezme işlemi sonrası sertlik değerlerine yakın bir malzeme olması sebebiyle deney mili olarak Weldox çelik çubuk tercih edilmiştir (42 HRC). Malzeme cinsi, Innov X Olympus marka spektrometre cihazı ile kontrol edilmiş ve malzemenin Weldox cinsi çelik olduğu tespit edilmiştir. Ölçüm cihazı ve malzemenin kimyasal özellikleri sırasıyla bir ve iki numaralı gösterim ile Resim 4.7'de paylaşılmıştır. Ø20 mm

çap ölçüsüne sahip çelik çubuk Ø17 mm ölçüye kadar tornalanarak silindiriklik sağlanmış ve deney esnasında oluşabilecek ve deneyi olumsuz etkileyecek mil salgısı önlenmiştir. İşlem sonrası milin yüzey pürüzlülüğü Ra= 0,3 µm ölçülmüştür.

Aşınma testinde üç adet numune incelenmiştir. Bu numunelerden bir tanesi ezme işlemi uygulanmamış olan (1 numara) numunedir. Diğer numune, ezme işlemi sonrasında en iyi pürüzlülük değeri veren (2 numara) numunedir. Bu numune aynı zamanda en iyi sertlik değeri veren numunedir. Son numune ise yapılan ilave deneylerde çift pasoda en iyi pürüzlülük değeri elde edilen numune (3 numara) olarak seçilmiştir. İlgili numaralar deney numunelerinin üzerine yazılmış ve her seferinde aynı yüzeyden deney yapılmasını sağlamak amacıyla numunelerin üzerine deney başlangıç çizgisi çizilmiştir. Resim 4.8'de yer alan iki numaralı görselde bahsedilen durum fotoğraflanmıştır.



Resim 4.7. Malzeme Cinsi Tespiti Ölçümü

Deneyde kullanılmak üzere 10 N ve 20 N ağırlıklar Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarından temin edilmiştir. Her bir numuneye literatürde yer alan aşınma deneylerindeki ağırlık değerlerine benzer şekilde 40 N ağırlık uygulanarak aşınma deneyi yapılmıştır [28-36]. 40 N ağırlık elde edebilmek için iki numuneye 20+20 N olacak şekilde ağırlık bağlanmış, bir numuneye ise 10+20+10 N olacak şekilde standart ağırlık uygulanmıştır. Ağırlıklar Resim 4.14'te bir numaralı görselde gösterildiği şekilde deney numunelerine asılmıştır.

Deneyler sabit 1000 dev/dk devirde, 60-120-180-240 dakika zaman aralıklarında ve kuru ortamda yapılmıştır. Her bir zaman aralığının başında ve sonunda numuneler alkollü solüsyon ile temizlenmiş ve basınçlı hava tutularak ağırlığa etki edebilecek aşınma tozları vb. kirlerden arındırılmış şekilde ağırlık ölçümleri yapılmıştır.

Deney esnasında numune sıcaklıkları her yirmi dakikada bir kez ölçülmüş ve sıcaklık artışının aşınma değerlerini etkileyecek kadar yüksek değerlere ulaşmadığından emin olmak adına numune sıcaklığı devamlı surette kontrol altında tutulmuştur. Bu sıcaklık değerleri EK-1'de paylaşılmıştır. Ölçümler, EK-3'te fotoğrafı paylaşılan Mastech MS6540B marka ve model sıcaklık ölçüm aletiyle ölçülmüştür. Ağırlık ölçümleri esnasında numuneler alkollü solüsyona ve basınçlı havaya maruz kaldığı için soğumuş ve bir sonraki deney aşamasına yaklaşık olarak oda sıcaklığında tekrar başlanmıştır. Deney milinin deney sonundaki görüntüsü EK-5'te yer alan iki fotoğraf ile paylaşılmıştır.



Resim 4.8. Aşınma Testi Numunelerinin Bağlanması

Aşınma testine ait sonuçlar Çizelge 4.4'te paylaşılmıştır. Çelişkili sonuçlar vermesi sebebiyle 3 numaralı numune değerlendirme dışı tutulmuştur. Bu sonuçlar da ayrıca EK-2'de paylaşılmıştır.

Çizelge 4.4. Aşınma Testi Deney Sonuçları

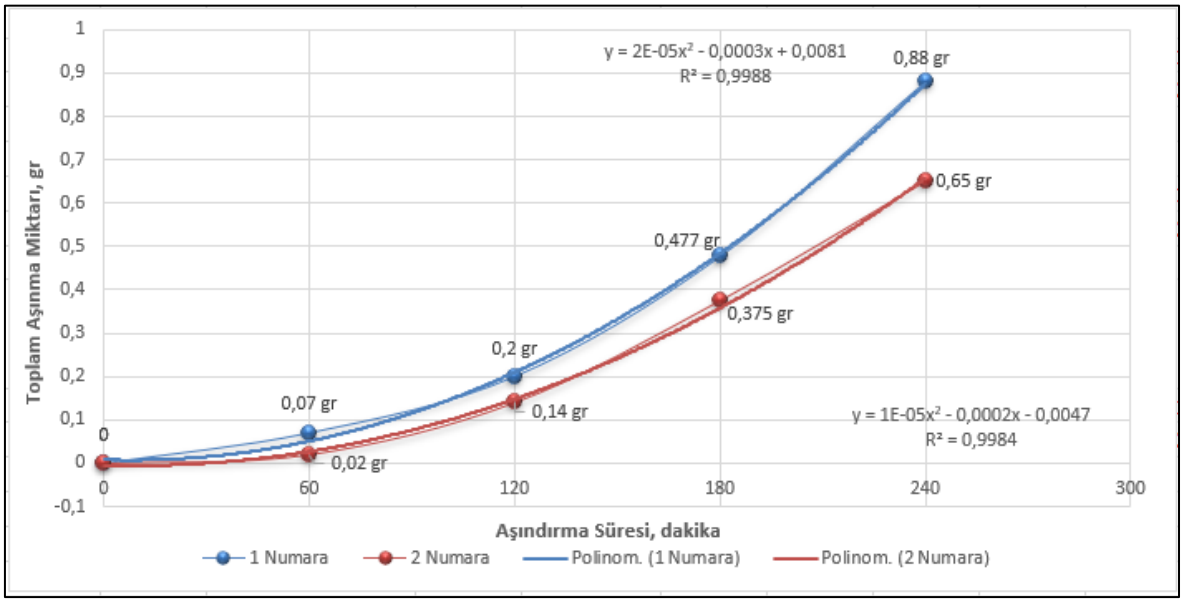
AŞINMA TESTİ	Ezme İşlemi Yapılmamış Numune (1 Numaralı Numune)		En iyi Pürüzlülük Değeri Veren Numune (2 Numaralı Numune)	
Başlangıç Değerleri	Sıcaklık	17,4 °C	Sıcaklık	17,8 °C
	Ağırlık	323,23 gr	Ağırlık	313,45 gr
60 dk sonra	Sıcaklık	38 °C	Sıcaklık	51 °C
	Ağırlık	323,16 gr	Ağırlık	313,43 gr
120 dk sonra	Sıcaklık	42 °C	Sıcaklık	33 °C
	Ağırlık	323,03 gr	Ağırlık	313,31 gr
180 dk sonra	Sıcaklık	37 °C	Sıcaklık	38 °C
	Ağırlık	322,753 gr	Ağırlık	313,075 gr
240 dk sonra	Sıcaklık	39 °C	Sıcaklık	35 °C
	Ağırlık	322,35 gr	Ağırlık	312,8 gr

Çizelge 4.4'te paylaşılan veriler Şekil 4.7'de grafik olarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.7'de yer alan grafik, toplam ağırlık kayıpları baz alınarak hazırlanmıştır. Ağırlık ölçümleri EK-4'te fotoğrafı paylaşılan CAS ME-410 marka ve model bindelik hassasiyette ölçüm yapabilen hassas terazi ile yapılmıştır. Buna göre, başlangıç ağırlığı 323,23 gr olan bir numaralı numunenin deney başlangıcı olması sebebiyle ağırlık kaybı ilk değeri sıfır olarak grafiğe işlenmiştir. 60 dakikanın sonunda ağırlığı 323,16 gr ölçülen numunenin toplam ağırlık kaybı 0,07 gram olarak grafikte yer almıştır. 120 dakikanın sonunda bir numaralı numunenin ağırlığı 323,03 gr ölçülmüştür ve başlangıç değer olarak 323,23 gr baz alındığı için toplam ağırlık kaybı 0,2 gram olacak şekilde grafikte görünmektedir. Bir numaralı numunede, 180 dakikanın sonunda 0,477 gr ve 240 dakikanın sonunda 0,88 gram toplam ağırlık kaybı kaydedilmiştir.

Şekil 4.7'de yer alan iki numaralı numunenin grafiği de benzer şekilde Çizelge 4.4'teki veriler kullanılarak hazırlanmış ve deney başlangıcında aşınma miktarı sıfır gram olarak

kaydedilmiştir. 60 dakika sonunda 0,02 gram, 120 dakika sonunda 0,14 gram, 180 dakika sonunda 0,375 gram ve 240 dakika sonunda 0,65 gram olarak grafiğe işlenmiştir.

Şekil 4.7'de yer alan grafikte, ikinci dereceden benzeştirilen denklemin 300, 480 ve 960 dakika sonraki tahmin edilen toplam aşınma miktarları değerlendirildiğinde, 1 numaralı ezme işlemi uygulanmamış numunenin toplam aşınma miktarı, 2 numaralı ezme işlemi uygulanan numuneye nazaran iki kata yaklaşan ve daha uzun sürelerde iki katı da aşan bir aşınmaya maruz kalacağı görülmektedir. Bu sonuçlar itibarıyla ezme işleminin yatak ömründe yaklaşık iki katı geçen bir artışa yol açtığı görülmektedir.



Şekil 4.7. Numunelerin Aşınma Testi Sonucu Grafiği

Başka çalışmalarda da ezme yönteminin yüzey kalitesi parametrelerine olan etkisinde benzer iyileşmeler görülmüştür. Rotella, Rinaldi ve Filice titanyum malzemesi ile yaptıkları ezerek parlatma çalışmasında soğutma ve yağlama sıvılarının yüzey pürüzlülük değerine etkisini incelemişler ve soğutma sıvısına kıyasla yağlama sıvısı kullanımında daha iyi sonuçlar almışlardır [19]. Tayep ve çalışma arkadaşları AL6061 malzemesi tercih ederek yaptıkları ezerek parlatma yönteminde malzemenin yüzey pürüzlülük değerinde yaklaşık %40 oranında ve yüzey sertlik değerinde yaklaşık %20 oranında iyileşme kaydetmişlerdir [20]. Ravenkar ve ekibi titanyum malzemesi ile deney çalışması yapmış ve ezerek parlatma uygunan malzemenin yüzey pürüzlülük değerinde ve yüzey sertlik değerinde iyileşme sağlandığını tespit etmişlerdir [21].

Cagan ve Buldum çalışmalarını AL7075 malzemesi ile yapmışlar ve ezerek parlatma uygulanan malzemenin sonuçlarını incelemişlerdir. Sonuçlara göre ilerleme hızı, ezme kuvveti ve paso sayısının önemli parametreler olduğunu belirmişlerdir [22]. Adnan Akkurt, ezerek parlatma işleminin raybalama, honlama, taşlama gibi diğer yüzey bitirme işlemlerine kıyasla AL6061 malzemesi kullanarak yaptığı çalışmasında yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği parametrelerinde daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir [23]. Tamer Çabonoğlu ve Sabri Öztürk AL 7050 malzemesine ezme yöntemi uygulamışlar ve yüzey pürüzlülülüğü ve ovallik konusunda ciddi iyileşmeler kaydetmişlerdir [27]. Mert Kaya, inconel 718 alaşımına uyguladığı ezme işlemi sayesinde malzemenin aşınma direncinde artış tespit etmiştir [37].

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, nikelli alüminyum bronz (Cupral 4M) malzemesine ezme işlemi uygulanmış ve uygulanan bu yöntemin malzeme iç yüzeyindeki yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği, aşınma direnci, silindiriklik, dairesellik ve diklik parametrelerine olan etkisi incelenmiştir. Taguchi L9 formasyonu ile yağlı ortamda ve bir paso ile yapılan çalışmanın sonucunda, ezme yöntemi uygulanan numunelerde deney öncesine kıyasla yüzey pürüzlülük değerinde %90 oranında ve yüzey sertliğinde %55 oranında iyileşme kaydedilmiştir. Aşınma testi, gerçek koşullara neredeyse bire bir uygun bir düzenekle yapılmıştır. Numunelere yapılan aşınma dayanımı deneyinde ezme işlemi uygulanmış numunenin ağırlık kaybı, ezme yapılmamış numuneye kıyasla daha iyi sonuç vermiştir. 480 dakika ve 960 dakika gibi tahmin edilen aşınma değerleri hesaba katıldığında ezme işleminin numunenin aşınma direncinde ve dolayısıyla yatak ömründe iki katı aşan bir artış yaşandığı görülmüştür. Ayrıca numunelerin silindiriklik, diklik ve dairesellik değerlerinde de deney öncesi değerlere göre daha pozitif değerler gözlemlenmiştir. Her deney çapından birer adet olmak üzere toplamda üç adet numunede yapılan silindiriklik, diklik ve dairesellik ölçümü birinci numunede sırasıyla 0,006; 0,005 ve 0,004 olarak ölçülmüş iken deney sonunda yine sırasıyla 0,004; 0,003 ve 0,001 olarak ölçülmüştür. İkinci ve üçüncü numunelerde de benzer sonuçlar mevcuttur.

Çalışmanın sonucunda aşağıdaki öneriler sıralanmıştır:

- Ezme yöntemi; yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği ve aşınma direnci gibi yüzey kalitesini belirleyen parametrelerin tamamında deney öncesi değerlere göre iyileşme sağlamıştır. Bu yöntem savunma sanayi, havacılık ve otomotiv alanları başta olmak üzere yüzey kalitesinin önemli olduğu her yerde yüzey iyileştirme işlemi olarak kullanılabilir.
- Özellikle sürtünmeye ve aşınmaya maruz kalan parçaların kullanım ömrünü uzatmak amacıyla ezme yöntemi tercih edilebilir.
- Birbiri içerisinde çalışan montajlı sistemlerde, yatak ve piston gibi hassas delik toleransı gerektiren yerlerde ve dairesellik, silindiriklik ve diklik ölçümlerinin önemli olduğu her alanda ezme yöntemi kullanılabilir.

- Ezme yöntemi yüzey kalitesi ve şekil toleranslarındaki olumlu sonuçlarına ilave olarak işlem yapılan malzemenin görseline de etki etmektedir. Daha güzel ve parlak bir görüntü gereken malzemelerde bu yöntem tercih edilebilir.
- Ezme yöntemi uygulayabilmek için ilave bir tezgah maliyeti veya yatırım gerekmediğinden dolayı kullanımının kolay ve ucuz olduğu bilinmelidir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Talaşsız imalat ve soğuk şekil verme. URL: http://www.yamato.com.tr/talassiz-imalat-soguk-sekil-verme, Son Erişim Tarihi: 03.01.2024.

2. İnternet: Yamasa Ezerek Parlatma Takımları DX015-021. URL: https://yamasa.com.tr/366/1/6/yamasa/dx015021mm.aspx, Son Erişim Tarihi: 03.01.2024.

3. Hassan, A.M., Al-Dhifi, S.Z.S. (1999). Improvement in the wear resistance of brass components by the ball burnishing process**.** *Journal of Materials Processing Technology*, 96, 73-80.

4. Thamizhmnaii, S., Omar, B. B., Saparudin, S. and Hasan, S. (2008). Surface roughness investigation and hardness by burnishing on titanium alloy**.** *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 28(2), 139-142.

5. Akkurt, A. and Ovali, İ. (2009). Ezme ve Geleneksel Bitirme İşlemlerinin Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parçaların Yüzey Pürüzlülüğü ve Daireselliği Üzerine Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(3), 371-382.

6. Akkurt, A. (2011). Comparison of roller burnishing method with other hole surface finishing processes applied on AISI 304 austenitic stainless steel**.** *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20(6), 960-968.

7. Akkurt, A., Abdullah, Kurt, Özdemir, A. and Şeker, U. (2014*).* Comparison of hole surface finishing processes with roller burnishing method applied in copper materials*. Gazi University Journal of Science*, 27(1), 721-734.

8. Borkar, A. P., Kamble, P. S. and Seemikeri, C. Y. (2014). Surface integrity enhancement of Inconel 718 by using roller burnishing process. Parameters, 1(2), 3.

9. Ökmen, H. (2018). *Ti6A14V alaşımında esnek honlama ve silindirik parlatma işlemlerinin delik yüzey özelliklerine etkilerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

10. Koçak, H. (2020). Al 6013 ve MS 58 malzemelere delik içi ezerek parlatma işlemi uygulanmasıyla yüzeysel özelliklerin iyileştirilmesi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 8(4), 972-980.

11. Şimşek, T., Yakın A., Akkurt A. (2023). AISI 1050 ve D2 Soğuk İş Takım Çeliği Malzeme Üzerine Açılmış Deliklere Uygulanan Ezme İşleminin Yüzey Özelliklerine Etkisi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 9(2), 153-162.

12. Malyer, E. (2018). Ezerek parlatma yapılan AA7075-T6 alüminyum alaşımında meydana gelen kalıntı gerilmelerin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(3), 565-573.

13. Çelik, M. (2023). Ezerek Parlatma Yönteminin Inconel 718 Alaşımının Yüzey Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(1), 333-342.

14. Bataineh, O. (2019). Effect of roller burnishing on the surface roughness and hardness of 6061-T6 aluminum alloy using ANOVA. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 8(4), 565-569.

15. İnternet: Sağlam metal. URL: https://www.saglammetal.com/tr/bronz/aluminyum-bronzlari/cupral-4m-cual10ni5fe4, Son Erişim Tarihi: 7.01.2024.

16. İnternet: Holematic. URL: https://www.fowlerprecision.com/Fowler-Bowers-0-750-1-20-25mm-XTH3-Bluetooth-Holematic-Pistol-Grip-54-567-720-BT, Son Erişim Tarihi: 7.01.2024.

17. Patel, J. G. and Vaghela, Y. (2016). To Study and Optimize the Process Parameter Throw Roller Burnishing Process on EN19 Material by Response Surface Methodology. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (Ijmperd)*, 6(6), 21-30.

18. Korzynski, M. (2007). Modeling and experimental validation of the force–surface roughness relation for smoothing burnishing with a spherical tool. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(12-13), 1956-1964.

19. Rotella, G., Rinaldi, S. and Filice, L. (2020). Roller burnishing of Ti6Al4V under different cooling/lubrication conditions and tool design: effects on surface integrity. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106, 431-440.

20. El-Tayeb, N. S. M., Low, K. O. and Brevern, P. V. (2007). Influence of roller burnishing contact width and burnishing orientation on surface quality and tribological behaviour of Aluminium 6061. *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1-3), 272-278.

21. Revankar, G. D., Shetty, R., Rao, S. S. and Gaitonde, V. N. (2014). Analysis of surface roughness and hardness in ball burnishing of titanium alloy. *Measurement*, 58, 256-268.

22. Cinar Cagan, S. and Baris Buldum, B. (2019). Effects of ball burnishing on the surface quality of Al 7075 alloy. *Materials Testing*, 61(11), 1105-1108.

23. Akkurt, A. (2009). *Delik Yüzeylerine Uygulanan Yüzey İyileştirme İşlemlerinin Alüminyum Alaşımı Malzemeler Üzerinde Araştırılması*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.

24. Rajasekariah, R. and Vaidyanathan, S. (1975**).** Increasing the wear-resistance of steel components by ball burnishing. *Wear*, 34(2), 183-188.

25. Murthy, R. L. and Kotiveerachari, B. (1981). Burnishing of metallic surfaces—a review. *Precision Engineering*, 3(3), 172-179.

26. Hassan, A. M. and Al-Bsharat, A. S. (1996). Influence of burnishing process on surface roughness, hardness, and microstructure of some non-ferrous metals. *Wear*, 199(1), 1-8.

27. Çobanoğlu, T., Öztürkb, S. (2015). AL 7050 Malzemede İç Çap Ezme Takımı Kullanımının Yüzey Kalitesine ve Delik Geometrisine Etkisi. *6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 60.

28. Meyveci, A. (2007). *Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi*. Yüksek lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

29. Ünal, H. and Yetgin, S. (2010). ÇYMAPE ve PA-6 mühendislik polimerlerinin aşınma ve sürtünme davranışlarının incelenmesi. *Tübav Bilim Dergisi* 3(2), 145-152.

30. Ercan**,** H**.** (2020). *Adhezif aşınma test cihazı tasarımı ve imalatı.* Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi.

31. Arık, H. (2019). Toz metalurjisi metoduyla Al-SiC kompozit malzeme üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology* 7.3, 741-754.

32. Kılıç, C. (2008). *Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilmiş ve soğuk haddelenmiş AlMg3/SiCp kompozitinin aşınma özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

33. Şimşek, İ. (2017). *Toz Metalurjisi İle Üretilen Titanyum Alaşımı Biyomalzemelerin Korozyon ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 9-11.

34. Yıldırım, M., Şimşek, İ. and Özyürek, D. (2018) Yaşlandırılmış AA7075 alaşımında solüsyona alma sıcaklığının aşınma performansına etkisinin incelenmesi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology* 6(1), 233-239.

35. Ünlü, B. S., Köksal, S., Atik, E. and Meriç, C. (2005). CuSn10 yatak malzemesinin tribolojik özelliklerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 41-45.

36. Tunçay, T. (2016). A356 Alaşımında Cu Miktarının Mikroyapı ve Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi**.** *Politeknik Dergisi* 19(4), 585-592.

37. Kaya, M. (2021). *Eklemeli İmalat İle Üretilen Inconel 718 Parçalarının Ezerek Parlatma Yöntemiyle Yüzey İyileştirme Sürecinin Modellenmesi Ve Deneysel Doğrulanması.* Yüksek Lisans Tezi, Marmara Universitesi, İstanbul.

EKLER

EK-1. Aşınma Testi Sıcaklık Ölçümleri

Çizelge 1.1. Aşınma Testi Sıcaklık Ölçümleri

AŞINMA TESTİ SICAKLIK		1 Numaralı Numune	2 Numaralı Numune
60 dk	Başlangıç Değeri	17,4 °C	17,8 °C
	20 dk sonra	22 °C	26 °C
	40 dk sonra	34 °C	35 °C
	60 dk sonra	38 °C	51 °C
120 dk	Başlangıç Değeri	21 °C	22 °C
	20 dk sonra	30 °C	27 °C
	40 dk sonra	40 °C	32 °C
	60 dk sonra	42 °C	33 °C
180 dk	Başlangıç Değeri	23 °C	22 °C
	20 dk sonra	30 °C	28 °C
	40 dk sonra	32 °C	30 °C
	60 dk sonra	37 °C	38 °C
240 dk	Başlangıç Değeri	20 °C	23 °C
	20 dk sonra	27 °C	26 °C
	40 dk sonra	35 °C	32 °C
	60 dk sonra	39 °C	35 °C

EK-2. İlave Deney Planı ve Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

Çizelge 2.1. İlave Deney Planı ve Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

İlerleme Hızı	Ezme Derinliği	Paso Sayısı	Pürüzlülük Ölçüm1	Pürüzlülük Ölçüm2	Pürüzlülük Ölçüm3	Ortalama Pürüzlülük Değeri
0,16 mm/devir	0,06 mm	tek paso	0,53	0,523	0,545	0,53
0,16 mm/devir	0,06 mm	çift paso	0,48	0,51	0,58	0,52
0,16 mm/devir	0,10 mm	tek paso	0,33	0,277	0,303	0,3
0,16 mm/devir	0,10 mm	çift paso	0,583	0,418	0,45	0,48
0,32 mm/devir	0,06 mm	tek paso	0,52	0,531	0,46	0,5
0,32 mm/devir	0,06 mm	çift paso	0,42	0,48	0,44	0,45
0,32 mm/devir	0,10 mm	tek paso	0,26	0,285	0,27	0,27
0,32 mm/devir	0,10 mm	çift paso	0,23	0,325	0,283	0,28

EK-3. Sıcaklık Ölçüm Cihazının Fotoğrafı



Resim 3.1. Sıcaklık Ölçüm Cihazının Fotoğrafı

EK-4. Ağırlık Ölçüm Cihazı



Resim 4.1. Ağırlık Ölçüm Cihazı

EK-5. Deney Sonrası Deney Milinin Görseli



Resim 5.1. Deney Sonrası Deney Milinin Görseli



Gazili olmak ayrıcalıktır