

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİNİN KESME PERFORMANSI
VE DELİK KALİTESİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doğan ÖZCAN

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

NİSAN 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİNİN KESME PERFORMANSI
VE DELİK KALİTESİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doğan ÖZCAN

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat ÖZSOY

NİSAN 2023

Doğan ÖZCAN tarafından hazırlanan “Kesici Takım Geometrisinin Kesme Performansı ve Delik Kalitesine Etkisi” adlı tez çalışması 16.06.2022 tarihinde aşığıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç.Dr.Murat ÖZSOY (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
(Gerekliyse) Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
(Gerekliyse) Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİNİN KESME PERFORMANSI VE DELİK KALİTESİNE ETKİSİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

(imza)

Doğan ÖZCAN

Aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Murat Özsoy'a teşekkürlerimi sunarım.

Doğın ÖZCAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM	7
2.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan İş Malzemesi	7
2.2. CNC Dikey İşleme Merkezi	8
2.3. CNC Taşlama Tezgahı ve Takım	9
2.4. Soğutma sıvısı	10
2.5. Kesme Parametleri	10
2.6. Kesici Takım Geometrisi	10
2.7. Kesme Kuvvetleri Ölçümü	12
2.8. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	13
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	15
3.1. Kesme Kuvvetleri	15
3.2. Talaşlar	17
3.3. Çapak Yüksekliği	22
3.3.1. Yüzey pürüzlülüğü	25
4. OPTİMİZASYON	27
5. SONUÇLAR	33
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ	39

KISALTMALAR

Adj MS	: Tutarlılık göstergesi
Adj SS	: Uyarlanmış gösterge
CNC	: Bilgisayar destekli numerik kontrol
DF	: Özgürlük derecesi
F value	: Etkinlik göstergesi
P Value	: Olasılık değeri

SİMGELER

Al	: Alüminyum
Cu	: Bakır
Mn	: Mangan
P	: Fosfor
Ra	: Aritmetik ortalama pürüzlülük
Rz	: Maksimum Pürüzlülük Derinliği
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
Zn	: Çinko
α	: Yüzey merkezli kristal yapı
β	: Şekil merkezli kristal yapı

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. CW511L pirinç alaşımının kimyasal bileşimi.....	7
Tablo 2.2. Fanuc ROBODRILL alpha-21DLiB CNC dikey işleme merkezi mekanik özellikleri.....	9
Tablo 2.3. Karbür hammaddesine ait teknik veriler	9
Tablo 2.4. Talaşlı imalat deneyleri için belirlenen kesici takım geometrileri.....	11
Tablo 2.5. Taguchi L27 deneysel tasarım	12
Tablo 2.6. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm ayrıntısı.....	14
Tablo 3.1. İlerleme kuvvetleri	16
Tablo 3.2. İlerleme kuvvetlerine göre Anova analizi.	16
Tablo 3.3. Talaş ağırlığı değerleri	21
Tablo 3.4. Talaş ağırlığı değerlerine göre Anova analizi.	21
Tablo 3.5. Çapak yüksekliği değerleri.....	23
Tablo 3.6. Çapak yüksekliği değerlerine göre Anova analizi.	24
Tablo 3.7. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	25
Tablo 3.8. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre Anova analizi.....	26
Tablo 4.1. Optimizasyon parametreleri.....	27
Tablo 4.2. Çözüm	27
Tablo 4.3. Çoklu tahmin.....	28

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Deneysel çalışma için üretilmiş CW511L pirinç alaşım malzemesi.	7
Şekil 2.2.	CW511L malzemesinin mikroyapı görüntüsü.	8
Şekil 2.3.	Fanuc ROBODRILL alpha-21DLiB CNC dikey işleme merkezi	8
Şekil 2.4.	Karbür kesici takımlar.	10
Şekil 2.5.	(a) 5167A amplifikatör. (b)Deneysel düzenek, iş parçası ve dinamometre.	13
Şekil 2.6.	Yüzey pürüzlülük ve form ölçüm cihazı	13
Şekil 3.1.	Kesme kuvvetleri örnek görüntü.	15
Şekil 3.2.	İlerleme kuvvetlerine göre Pareto grafiği.	17
Şekil 3.3.	Talaş formları.....	18
Şekil 3.4.	Talaş ağırlığı değerlerine göre Pareto grafiği.	22
Şekil 3.5.	(a) delme işlemi sırasında çapak oluşumunu (b) çapak yüksekliğinin ayrıntılı tanımını gösteren çapak profili.....	23
Şekil 3.6.	Çapak yüksekliği değerlerine göre Pareto grafiği.	24
Şekil 3.7.	Yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre Pareto grafiği	26
Şekil 4.1.	Deneysel ve hesaplanan optimum ilerleme kuvvetleri değerleri.	29
Şekil 4.2.	Deneysel ve hesaplanan optimum talaş ağırlığı değerleri.	29
Şekil 4.3.	Deneysel ve hesaplanan optimum çapak yüksekliği değerleri.	30
Şekil 4.4.	Deneysel ve hesaplanan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri(Ra).....	30
Şekil 4.5.	Deneysel ve hesaplanan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri (Rz).....	31

KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİNİN KESME PERFORMANSI VE DELİK KALİTESİNE ETKİSİ

ÖZET

Talaşlı imalat gelişen ve yeniliğin gün geçtikçe artan sanayide önemli bir yer tutmaktadır. Talaşlı imalatın yapı taşı olan kesici takım ve hammadde endüstrisinde gün geçtikçe gelişmektedir. Yeni tasarlanan ürünlerin maliyetlerinin azaltılması ve performanslarının geliştirilmesi için yenilikçi hammaddelere ihtiyaç duyulmaktadır. Hammaddelerin çeşitli oranlarda birleşimi sonucunda istenen maliyetler ve performans parametreleri sağlanmaktadır. Teknolojik gelişmeler sonucunda birçok malzeme çeşidinin firmalar tarafından araştırılması konusunda en önemli kısıtlardan biride talaşlı imalat alanında işlenebilirliğinin sorgulanmasıdır.

Pirinç, bakıra belirli oranlarda çinko eklenerek elde edilen sarı renkteki alaşımların genel ismidir. Uzun ömürlü ve uygun maliyetlerde elde edilebilir olması, diğer malzemeler ile kıyaslanamayacak eşsiz nitelikteki birçok fiziksel özelliğe aynı anda sahip olması, elektrik ekipmanları ve hassasiyet gerektiren tüm hassas mühendislik endüstrisinde pirinç ilk sırada tercih edilen malzeme haline gelmiştir.

Pirinç bulundurduğu benzersiz özellik kombinasyonları ile birçok parçayı üretmek için en iyi malzemedir. Bu da üretim maliyetini düşürür ve tasarrufu beraberinde getirir. Örneğin, iyi mukavemet ve süneklik, mükemmel korozyon direnci ve üstün işlenebilirlik gibi özellikler birleştirilebilir. Pirinçler diğer malzemelerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesi aşamasında standardı belirler.

Ayrıca minimum işlemeye ihtiyaç duyabilmek adına pirinç çok çeşitli ürün formlarında ve boyutlarında mevcut olabilir.

Bu konuda kesici takım geometrelerinin hammaddeye uygun olarak tasarlanıp üretilmesi işlenecek hammaddenin işlenebilirliği, yüzey kalitesi ve talaşlı imalat maliyetlerine doğrudan etki etmektedir.

Bu çalışmada teknolojik gelişmeler sonucunda CW511L pirinç malzemenin birçok sektörde kullanılması ve talaşlı imalat alanında sıklıkla tercih edilen bir hammadde olması nedeniyle kesici takımların radyal talaş açısı, aksenal talaş açısı, yuvarlanma yarıçapı ve helis açısı parametreleri taguchi metodu kullanılarak belirlenmiş ve optimize hale getirilmiş kesici takım geometrisi elde edilmiştir. Optimize hale getirilmiş parametreler ile nihai kesici takım oluşturulmuş ve yüzey pürüzlülüğü, ilerleme kuvvetleri, talaş ağırlığı, çapak yüksekliği incelenmiştir.

Tez çalışması kapsamında Ø90 x 30 mm boyutlarında 28 adet CW511L(CuZn38As) düşük kurşunlu pirinç alaşım malzemesi kullanılmıştır. Tüm talaşlı imalat deneylerinde FANUC ROBODRILL Alpha-D21LiB5 CNC dikey işleme merkezi kullanılmıştır. CW511L kurşunsuz pirinç alaşımın işlenebilirlik deneyleri için gerekli olan yekpare karbür takımlar ANCA FX7 Linear takım bileme tezgahında üretilmiştir. Kesici takımların tasarımı ANCA Toolroom programında yapılmıştır.

CW511L kurşunsuz pirinç alaşımının talaşlı imalat deneylerinde kullanılmak üzere; 4, 8 ve 12 ° radyal talaş açısı, -2, 0 ve 2 ° aksel talaş açısı ve 0, 5 ve 10 ° helis açısı, 10, 20 ve 30 mikron yuvarlanma yarıçapına sahip olacak şekilde farklı geometrilerde 27 adet takım üretilmiştir. Tez çalışması kapsamında taguchi deneylerinden elde edilen sonuçlara göre tekrar takım üretilmiş ve doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Delik delme işlemleri sırasında kesme kuvvetleri maksimum 10 kN ölçüm yapan , 0-70 °C sıcaklık aralığında ve su altında çalışabilen Kistler 9129AA tipi çok bileşenli dinamometre kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen kuvvet verileri, LabAmp sistemi Tip 5167A amplifikatör kullanılarak bilgisayar aktarılmıştır. Veriler Dynoware yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir.

Tüm delik delme işlemlerinden sonra iç çap yüzeylerinin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek yüzey kaliteleri kıyaslanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için Mitutoyo SurfTest Extreme SV-3000 CNC yüzey pürüzlülük ve form ölçüm cihazı kullanılmıştır. Numune yüzeylerinin “Aritmetik Ortalama Pürüzlülük”, Ra, ve “Maksimum Pürüzlülük Derinliği”, Rz, değerleri ölçülmüştür.

Kesici takım geometrisinde yer alan helis açısı kesici takımın kesme özelliğinin gelişmesine, talaşın daha rahat parçadan uzaklaştırılmasına ve işlenen süreye verilene parametreler doğrultusunda etki etmektedir.

Radyal talaş açısı kesici takımın kanalında yer alan kesme açısıdır. Bu açı hammaddenin işlenebilirlik parametresine göre önem göstermektedir. Radyal talaş açısı kesme açısı olarak ifade edilebilmektedir.

Eksenel talaş açısı kesici takım dönerken veya hammadde dönerken kesici takım sabit konumda bulunduğu kesme işleminde sürtmenin gerçekleşmemesi için yapılan boşaltma açısı olarak ifade edilen açıdır. Açının değeri hammaddenin özelliğine göre belirlenmektedir.

Yuvarlanma yarıçapı, kesici takım çalışma esnasında aksel ve radyal kuvvetlere maruz kalır. Bu kuvvetler kesici takımın keskin yüzeylerinde çeşitli aşınmalara sebebiyet vermektedir. Bunun önüne geçilip daha fazla hammaddenin işlenmesini sağlanması için yapılan işlemdir.

Yuvarlanma yarıçapı kesici takımın ömrünü ve kesme parametreleri üzerinde olumlu etkiler yaratır. Kesici takımın geometrisini oluşturan yapı taşları helis açısı, radyal talaş açısı, aksel talaş açısı ve yuvarlanma yarı çapı hammaddenin işlenmesi sırasında çeşitli talaş oluşumlarına sebebiyet verir. Bu talaşların incelenmesi ile geometrik özelliklerin geliştirilmesi sağlanır. Aynı zamanda kesici takım delme işlemini gerçekleştirdikten sonra hammadde üzerinde çapak oluşumuna sebebiyet verir. Delik delme operasyonlarında talaş kırılabilirliği oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Delik delme esnasında talaşların işlenmiş yüzeyden dışarı atılması sebebi ile uzun talaşlardan kaçınılmalıdır. Delik delme performansı talaşın işlenmiş yüzeyden kolayca atılmasına bağlıdır ve işlenmiş yüzey kalitesinde bu durumdan etkilenmektedir.

Çalışmadan elde veriler doğrultusunda farklı pirinç alaşımları için optimum takım geometrileri oluşturulabilir ve standartlaştırma çalışmaları yapılabilir. Gün geçtikçe çevreye verilen önemin artmasıyla birlikte çevreye zararı minimum olan malzemeler üretilmektedir. Bu malzemelerin optimum işlenebilmesi için gelecekte yapılacak çalışmalar çok değerli olacaktır.

EFFECT OF CUTTING TOOL GEOMETRY ON CUTTING PERFORMANCE AND HOLE QUALITY

SUMMARY

Machining has an important place in the growing industry that has left behind the days of never and innovation. The building block of machining is the consumer team and the day in the raw material industry is entrepreneurial. There is a need for waste to reduce newly designed consumptions and limit their performance. As a result of combining the raw materials in various proportions, the desired values and performance values are given. As a result of technological developments, one of the most important restrictions that many material types have by their companies is the questioning of their machinability in the field of machining.

Brass is the general name of yellow alloys obtained by adding zinc to copper in certain proportions. Brass has become the first choice material in the electrical equipment and precision engineering industry that requires precision due to its long life and affordability, its unique physical properties that cannot be compared with other materials.

"High strength brasses" are available for applications that require higher strength. These contain additional alloying elements that further improve properties, such as manganese. Some high-strength brasses achieve strengths comparable to steels. These alloys contain the base metal copper, ranging from 58% to 95%. The remaining metals are usually zinc and lead, which is below 4%.

In the softened or annealed state, brasses are ductile and strong, but when they are hardened by cold working processes such as rolling or drawing, their strength increases significantly. Strong, rigid structures can be joined from extruded and extruded sections. Rods and rolled sheet and sheet metal can be manufactured into containers and other items of equipment operating under pressure. The strength of brasses is largely maintained at temperatures up to about 200 °C, and at 300 °C it decreases by about 30%; This is a positive situation compared to many alternative materials and easily exceeds the properties of plastics. Brasses are well suited for use at cryogenic temperatures, since their properties, especially strength and toughness, are maintained or slightly improved under such conditions.

Brasses can be easily joined to other copper alloys or other metals with most commercial joining processes such as riveting, soft soldering, hard soldering with silver, and friction welding. Adhesive bonding application can also be used.

With its unique combination of properties, brass is the best material to manufacture many parts. This reduces the production cost and brings savings. For example, properties such as good strength and ductility, excellent corrosion resistance and superior machinability can be combined. Brass sets the standard in the evaluation of the machinability of other materials. In addition, brass can be available in a wide variety of product forms and sizes to require minimal processing.

In this regard, the design and production of cutting tool geometries in accordance with the raw material directly affects the machinability, surface quality and machining costs of the raw material to be processed.

In this study, radial rake angle, axial rake angle, rolling radius and helix angle parameters of the cutting tools were determined and optimized using the taguchi method, as a result of technological developments, CW511L brass material is used in many sectors and is a frequently preferred raw material in the field of machining. has been done. The final cutting tool was created with optimized parameters and surface roughness, feed forces, chip weight, burr height were investigated.

Within the scope of the thesis study, 28 CW511L(CuZn38As) low lead brass alloy materials with $\varnothing 90 \times 30$ mm dimensions were used. Fanuc ROBODRILL Alpha-D21LiB5 CNC vertical machining center was used in all machining experiments. Solid carbide tools required for machinability tests of CW511L lead-free brass alloy were produced on ANCA FX7 Linear machine sharpening machine. The design of the cutting tools was made in the ANCA Toolroom program.

To be used in machining experiments of CW511L lead-free brass alloy; 27 tools were produced in different geometries with 4, 8 and 12 ° radial rake angle, -2, 0 and 2 ° axial rake angle and 0, 5 and 10 ° helix angle, 10, 20 and 30 micron rolling radius. Within the scope of the thesis study, according to the results obtained from the taguchi experiments, the set was produced again and validation experiments were carried out.

The cutting forces were measured using a Kistler 9129AA type multi-component dynamometer, which can operate under water at a temperature range of 0-70 °C, with a maximum measurement of 10 kN during drilling operations. The force data obtained were transferred to the computer using the LabAmp system Type 5167A amplifier. Data analyzed using Dynoware software

After all the drilling processes, the surface roughness values of the inner diameter surfaces were measured and the surface qualities were compared. Mitutoyo SurfTest Extreme SV-3000 CNC surface roughness and form measuring device was used for surface roughness measurements. “Arithmetic Average Roughness”, Ra, and “Maximum Roughness Depth”, Rz, values of the sample surfaces were measured.

The helix angle in the cutting tool geometry affects the improvement of the cutting feature of the cutting tool, the removal of the chip from the part more easily, and the parameters given to the machined time.

The radial rake angle is the cutting angle in the groove of the cutting tool. This angle shows importance according to the machinability parameter of the raw material. The radial rake angle can also be expressed as the cutting angle.

Axial rake angle is the angle expressed as the discharge angle, which is made to prevent friction in the cutting process when the cutting tool is in a fixed position while the cutting tool is rotating or the raw material is rotating. The value of the angle is determined by the nature of the raw material.

The rolling radius is subjected to axial and radial forces during cutting tool operation. These forces cause various abrasions on the sharp surfaces of the cutting tool. It is the process to prevent this and to ensure that more raw materials are processed.

The rolling radius has positive effects on the life of the cutting tool and cutting parameters. The helix angle, radial rake angle, axial rake angle and rolling radius, which are the building blocks that make up the geometry of the cutting tool, cause

various chip formations during the processing of the raw material. By examining these chips, the development of geometric properties is provided. At the same time, the cutting tool causes burr formation on the raw material after drilling. Chip breakability plays a very important role in drilling operations. Long chips should be avoided as the chips are ejected from the machined surface during drilling. Drilling performance depends on the easy removal of chips from the machined surface, and the machined surface quality is also affected by this.

In line with the data obtained from the study, optimum tool geometries can be created for different brass alloys and standardization studies can be carried out. With the increasing importance given to the environment day by day, materials with minimum damage to the environment are produced. Future studies will be very valuable for optimum processing of these materials.

1. GİRİŞ

Pirinç, bakıra belirli oranlarda çinko eklenerek elde edilen sarı renkteki alaşımların genel ismidir. Uzun ömürlü ve uygun maliyetlerde elde edilebilir olması, diğer malzemeler ile kıyaslanamayacak eşsiz nitelikteki birçok fiziksel özelliğe aynı anda sahip olması, elektrik ekipmanları ve hassasiyet gerektiren tüm hassas mühendislik endüstrisinde pirinç ilk sırada tercih edilen malzeme haline gelmiştir.

Pirinç aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- İletkenlik
- İşlenebilirlik
- Korozyon dayanımı
- Dayanıklılık
- Dövülebilirlik
- Renk
- Sertlik
- Aşınma dayanımı

Pirinç malzemeler sıcak dövülebilir, soğuk şekillendirilebilir, ekstrüzyon ile imal edilebilir, haddelenebilir ve kolayca dökülebilir. Sahip olduğu avantajlara başlıca bakacak olursak;

- Çok çeşitli uygulamalar için en uygun malzemedir.
- İşlenebilirliği diğer metallere kıyasla üst düzeydedir.
- Kullanım ömrü ve geri dönüşüm oranı baz alındığında en ucuz malzemedir.

Ürünler genellikle son kullanıcıya ulaştırılırken ekstra bir yüzey korumasına ihtiyaç duymaz.

Pirinç alaşımlarının kullanım alanlarının fazla olması nedeni ile çok farklı bakır içeriğine sahip standart pirinç alaşımları mevcuttur. Bu alaşımlar %58 ile %95 arasında değişen ana metal bakır içerir. Kalan metaller genellikle çinko ve %4'ün altında bulunan kurşundur.

Pirinç bulundurduğu benzersiz özellik kombinasyonları ile birçok parçayı üretmek için en iyi malzemedir. Örneğin, iyi mukavemet ve süneklik, mükemmel korozyon direnci ve üstün işlenebilirlik gibi özellikler birleştirilebilir. Pirinçler diğer malzemelerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesi aşamasında standardı belirler. Ayrıca minimum işlemeye ihtiyaç duyabilmek adına pirinç çok çeşitli ürün formlarında ve boyutlarında mevcut olabilir. Bu da üretim maliyetini düşürür ve tasarrufu beraberinde getirir.

Yumuşatılmış veya tavlanmış durumda, pirinçler sünek ve güçlüdür, ancak haddeme veya çekme gibi soğuk işleme süreçleriyle sertleştirildiklerinde, mukavemetleri önemli ölçüde artar. Güçlü, sert yapılar, ekstrüde edilmiş ve çekilmiş bölümlerden birleştirilebilir. Çubuklar ve haddelenmiş sac ve levha, kaplar ve basınç altında çalışan diğer ekipman öğeleri halinde imal edilebilir. Pirinçlerin mukavemeti, yaklaşık 200 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda büyük ölçüde korunur ve 300 °C 'de yaklaşık %30 azalır; bu, birçok alternatif malzeme ile karşılaştırıldığında olumlu bir durumdur ve plastiklerin özelliklerini kolayca aşar. Pirinçler kriyojenik sıcaklıklarda kullanım için çok uygundur, çünkü özellikleri, özellikle mukavemet ve tokluk bu koşullar altında muhafaza edilir veya biraz iyileştirilir.

Daha yüksek mukavemet gerektiren uygulamalar için "yüksek mukavemetli pirinçler" mevcuttur. Bunlar, manganez gibi özellikleri daha da iyileştiren ek alaşım elementleri içerir. Bazı yüksek mukavemetli pirinçler, çeliklerle karşılaştırılabilecek güçlere ulaşır.

Tüm pirinçlerin işlenmesi doğası gereği kolay olsa da pirinçlere küçük miktarlarda kurşunun eklenmesi bu özelliği daha da geliştirir ve işlenebilirlik değerlendirilirken diğer malzemelerin değerlendirildiği standardı belirleyen evrensel olarak kabul edilir. Daha yüksek işleme hızları ve daha düşük takım aşınma oranları, genel üretim maliyetlerinin en aza indirildiği, uzun üretim çalışmaları sırasında toleransların korunduğu ve yüzey kalitesinin mükemmel olduğu anlamına gelir.

Pirinçler, korozyona karşı mükemmel bir dirence sahiptir ve bu da onları birçok uygulama için doğal ve ekonomik bir ilk tercih haline getirir. Pirinçlerin atmosfere maruziyeti, yüzeysel bir kararma filminin gelişmesine neden olur. Açık havada maruz kalma sonucunda pirinçte oluşacak yeşil renkli "patine" denilen görsel bozukluk esasen pirincin bozulmasına neden olmaz ve pirinç sınırsız bir süre boyunca esasen etkilenmeden kalacaktır yani demir ya da çelik gibi paslanmayacaktır. Doğru alaşım

seçilirse deniz suyu teması herhangi bir problem oluşturmayacaktır ve evsel su tesisatı, merkezi ısıtma, deniz suyu hatları, buhar kondansatörleri ve tuzdan arındırma ekipmanlarında pirinç boru ve boru bağlantı parçaları, valfler, vb. ürünler kullanılmaya devam edecektir. Manganez içeren yüksek mukavemetli pirinçler, atmosferik korozyona karşı özellikle mükemmel dirence sahiptir, sürekli maruz kalma, bronz renginin kademeli olarak koyulaşmasına neden olur.

Pirinçler, perçinleme, yumuşak lehimleme, gümüşle sert lehimleme ve sürtünmeli kaynaklama gibi ticari birleştirme işlemlerinin çoğu ile diğer bakır alaşımlarına veya diğer metallere kolaylıkla birleştirilebilir. Yapıştırıcı birleştirme uygulaması da kullanılabilir.

Pirinç malzemeler yapısında temel alaşım olarak çinko bulunduran ve diğer alaşımlara göre özelliklerini en çok etkileyen çinko oranına bağlı olan bakır alaşımlarıdır.

- Nikel

Ni ile simgelenen kimyasal bir elementtir. Çinkosuzlaşma korozyonu hızını tersi yönde etkileyerek çinkosuzlaşma direncine katkı sağlar. Ayrıca süneklik özelliği üzerinde etkisi olup çekme mukavemetinde artmasını sağlar.

Pirinçler, sulama, sıhhi tesisat, otomotiv, makine, elektrik ve elektronik, havacılık ve medikal sistemler gibi çok çeşitli uygulamalara sahip bakır bazlı metal alaşımlarıdır [1]. Bakır ve bakır alaşımlarının işlenebilirliği kurşun, kükürt ve çinko ilavesiyle iyileştirilirken, kalay ve demir ilavesiyle bozular [2].

Kurşun düşük bir çözünürlüğe sahiptir ve tüm mikro yapı ve tane sınırlarında ayrışabilir. Ayrıca, düşük erime sıcaklığı, $T_m = 327,5 \text{ }^\circ\text{C}$, işleme sırasında yağlayıcı olarak davranmasına neden olur. Bu nedenle, kurşun ilavesinin, talaş kırılabilirliğinin iyileştirilmesi, kesme kuvvetlerinin azalması ve takım aşınmasının azaltılması yoluyla işlenebilirliğin artırılmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, kurşunun çevre üzerindeki tehlikeleri nedeniyle, bu malzemelerin kullanımı Dünya sağlık örgütü tarafından sınırlandırılmış ve düşük kurşunlu ve kurşunsuz pirinç alaşımlarının kullanımı yaygınlaşmıştır [3-6]. Kurşunun insan sağlığı ve çevre üzerindeki riskli etkileri, kurşun bulunan ürünlerde izin verilen kurşun içeriği seviyeleri için daha katı kurallar oluşturulmuş ve kurşunsuz pirinç alaşımlarının yaygınlaştırılması sağlanmıştır [7-9].

Timata ve diğ. [10] özel bir tungsten karbür delme aleti ile dövme pirincin deneysel olarak delinmesi üzerinde çalışılmıştır. Çıkış çapağı yüksekliğini ve iş parçası çapını farklı iş mili hızlarında ve besleme hızlarında ölçtüler. ANOVA sonuçları, çıkış çapağı yüksekliği ve iş parçası çapındaki iş mili hızı ve ilerleme hızının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olduğunu göstermiştir.

Hua ve ark. [11], kesme kenarı geometrisinin ve iş parçası sertliğinin, ilerleme hızı ve kesme hızı gibi kesme koşullarının etkilerini araştırdı. Pah kırma kenarına ek olarak keskinleştirilmiş kenarın ve daha yüksek ilerleme hızının, sert tornalama operasyonlarında hem artık basınç gerilimini, sertliği hem de penetrasyon derinliğini artırmaya yardımcı olduğunu belirtmişlerdir.

Alagarsamy ve ark. [12], pirinç (C26130) üzerinde frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğünü ve takım aşınmasını inceledi. Taguchi tekniğini kullanarak kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi işleme parametrelerini optimize ettiler.

Ebrahim [13], CuZn39Pb3'ün kuru tornalama işleminde, yüzey pürüzlülüğünü çıktı olarak alarak Taguchi Metodu kullanarak kesme hızı, talaş derinliği ve ilerlemeyi kesme parametreleri olarak optimize etmiştir.

Nobel ve diğerleri [14], CW508L, CW511L, CW510L ve CW724R pirinç alaşımlarının dış çap tornalanması sırasında alaşım elementi olarak mikroyapı ve silisyumun talaş oluşumu, kesme kuvvetleri, takım sıcaklıkları ve takım aşınması üzerindeki etkisini analiz ettiler.

Schultheiss ve ark. [15], kurşunsuz CuZn21Si3P alternatifi ile karşılaştırıldığında kurşunlu CuZn39Pb3 pirincinin işlenebilirliğini değerlendirmeye odaklandı. Bu iki malzemenin işlemedeki özellikleri ve davranışı karşılaştırılarak işlenebilirlikteki farkın daha iyi anlaşılması sağlandı.

Taha ve ark. [16], Cu 60/Zn 40 ve Cu 80/Si 20 Pb içermeyen ana alaşımlar kullanılarak hazırlanmış, ağırlıkça %1 ila 4 oranında Si içeren Pb içermeyen pirinçlerin işlenebilirliğini inceledi. İncelenen alaşımların işlenebilirliği, kesme kuvveti, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve talaş tipine göre test edildi. Elde edilen sonuçlara göre, silikon içeriğinin artırılması takım aşınmasını %140, işlenmiş yüzey pürüzlülüğünü %25 arttırırken, talaş tipi sürekli kesikli tipe değişmiş ve kesme kuvvetini %50 azaltmıştır. Grafit ve bizmut gibi alaşım katkı maddelerinin etkisi, kurşunsuz pirinç alaşımlarının işlenebilirliği ve mekanik özellikleri ile ilgili olarak incelenmiştir.

Uzama ve işlenebilirlik arasında iyi bir denge sergileyen kurşunsuz işlenebilir bir pirinç (CuZn40), ağırlıkça %0,5 grafit parçacıkları ve ağırlıkça %2,2 Bi ilaveleri içeren karışık toz kullanılarak elde edilmiştir[17]. İlgili araştırmalar, gerekli kesme kuvvetinin yanı sıra talaş boyutunu azaltarak kurşunsuz pirinç alaşımında (Cu-38Zn-0.5Si) geri dönüştürülmüş bizmut-kalay lehim ilavesinin faydalarını ortaya çıkarmışlardır[18]. Talaş kırma verimliliğindeki iyileşme, CuZn38As pirincindeki α fazının etkisinin aksine, CuZn21Si3P'de κ fazının varlığına bağlanmıştır. Benzer şekilde, CuZn41.5'in mikro yapısındaki yüksek β -faz yüzdesi, talaş morfolojisinin ve kesme kuvvetlerinin azalmasına neden olmuştur [19]. Mikro yapıyı değiştirmek ve β -faz içeriğini arttırmak için kurşunsuz pirinç alaşımlarında (CuZn42, CuZn38As ve CuZn36) ısıl işlemler de uygulanmıştır ve daha iyi talaş kırılabilirliği ve iyileştirilmiş işlenebilirlik için umut verici bir zemin sağlanmıştır[20]. Kaplama tipinin yanı sıra çok kristalli elmas (PCD) takımların işleme kuvvetleri, talaş oluşumu ve iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Elmas benzeri bir karbon kaplama kullanılarak, özellikle ikincil kesme bölgesindeki sürtünmenin azaltılmasıyla işleme sorunları azaltılmıştır. [21]. Kurşunlu (CuZn39Pb3) ve kurşunsuz pirinç (CuZn21Si3P) alaşımları arasında işlenebilirlik karşılaştırması, işleme sırasında takım aşınmasıyla ilgili bir çalışmada gerçekleştirilmiştir. Kurşunsuz pirinç alaşımının (CuZn21Si3P) işlenmesi, sementite karbürler kullanılarak daha yüksek kesme kuvvetleri, daha uzun talaş boyutu ve sonuç olarak daha yüksek takım aşınma oranları ile sonuçlandı. Aşırı takım aşınma oranlarının üstesinden gelmek için olası bir çözüm olarak karbür takımlarda kaplama kullanılması önerilmiştir [22].

Nobel ve ark. [23], CuZn38As, CuZn41.5, CuZn21Si3P ve ayrıca pirinç alaşımlarının serbest ortogonal kesiminde malzeme özelliklerinin, kurşun içeriğinin ve takım tasarımının doğal ve zorlamalı talaş oluşumu, akışı ve kırılması üzerindeki etkisi üzerine deneysel bir araştırma gerçekleştirdi. kurşun içeriği (CuZn41.5 Pb=0.003–0.19 %).

B. balout ve diğerleri. [24] işleme sırasında oluşan ve çevreye ve endüstrilerdeki çalışanlara zarar veren ince tozlar üzerinde çalıştı. Toz oluşumunun, işleme sırasında malzeme tipi, ısıl işlem süreci, sıcaklık ve talaş oluşumu gibi birçok faktörden etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Bamidele ve ark. , [25] yüzeye olan etkileri araştırmak adına pirinç delmek için gereken optimum işlem parametrelerini analiz etmişlerdir. İlerleme hızı, iş mili hızı ve kesme derinliği gibi çeşitli parametre

değişkenleri, pirincin yüzey pürüzlülüğünün üstesinden gelmek için analiz edilmiştir. VN Gaitunde ve ark. ,[26] arzu edilen bir iş malzemesi için işlenebilirliği geliştirmeyi amaçlayan minimum yağlama (MQL) ve proses değişkenleri üzerinde çalıştı. Azlan ve ark. , [27] ilerleme hızı, iş mili hızı ve takım geometrisi gibi kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal doğruluk üzerindeki etkisini araştırmışlardır.

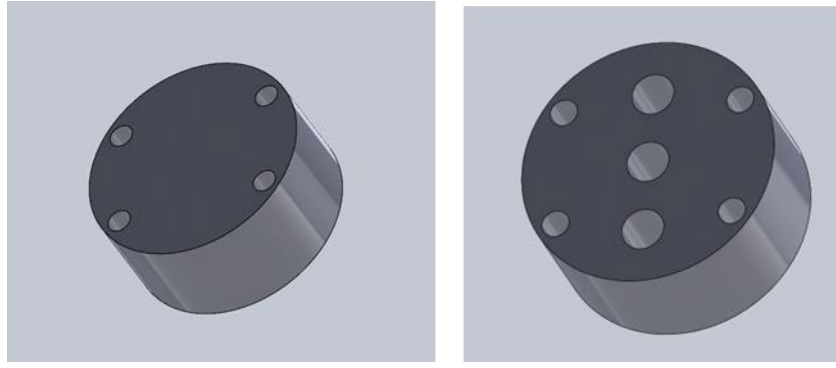
Zoghipour ve ark. [28], frezeleme işlemleri sırasında kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliği açısından kurşunsuz, düşük kurşunlu ve kurşunlu pirinç alaşımlarının işleme performansının deneysel sonuçlarını sunmuşlardır. Ayrıca, çalışmaları aynı zamanda kesici takımların kenar yarıçapını ve bunun işleme performansı üzerindeki rolünü de hesaba katar. Her malzeme için işleme davranışını tahmin etmek için ampirik denklemler türetilmiştir. Başka bir çalışmada [3], sıcak dövme kurşunsuz pirinç alaşımlarının bir form kesme aleti kullanılarak delinmesi sürecini incelemişlerdir. Çeşitli bakır içeriğine sahip kurşunsuz sıcak dövme pirinç alaşımları üzerinde farklı geometrilere, ilerleme hızlarına ve dönme hızlarına sahip takımları dikkate alarak kesme kuvvetlerini, boyutsal doğruluğu ve deliklerin yüzey kalitesini araştırdılar. Ayrıca, işleme sürecini ve ilgili yanıtları tahmin etmek ve optimize etmek için yapay sinir ağları modellemesi ve genetik algoritma tabanlı optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır.

Görüldüğü üzere literatürde pirinç alaşımların talaşlı imalatına yönelik bazı çalışmalar mevcuttur. Lieratürdeki çalışmalar ağırlıklı olarak kesme parametreleri ile ilgili olup standart matkap takımlar için kesme geometrisinin optimize edildiği çalışmalar çok sınırlıdır. Bu tez kapsamında solid karbür matkap geometrisinin talaşlı imalata olan etkisi üzerine kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Farklı geometrilere sahip karbür takımlar kesme performansı açısından analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Matkap geometrilerindeki değişimin kesme performansına etkisi oransal olarak kıyaslanmış olup yapılan optimizasyonlar sonucunda optimum takım geometrisi ortaya konmuştur. Takımdaki geometrik değişimlerin kesme performansına olan etkisi kapsamlı bir şekilde çalışılmıştır. Tez kapsamında yapılan deney ve analizlerin sonuçları literatüre katkı sağlayacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan İş Malzemesi

Tez çalışması kapsamında Ø90 x 30 mm boyutlarında 28 adet CW511L(CuZn38As) düşük kurşunlu pirinç alaşım malzemesi Kistler 9129AA tipi sabit dinamometreye bağlanabilmesi için Şekil 2.1' deki gibi üretilmiştir.



Şekil 2.1. Deneysel çalışma için üretilmiş CW511L pirinç alaşım malzemesi.

Delik delme deneylerinde kullanılan test parçaları dinamometreye sabitlenmesi için ve çapak yüksekliklerinin ölçümü de dikkate alınarak özel olarak üretilmiştir. Deneyler üç tekrarlı şekilde yapılmıştır.

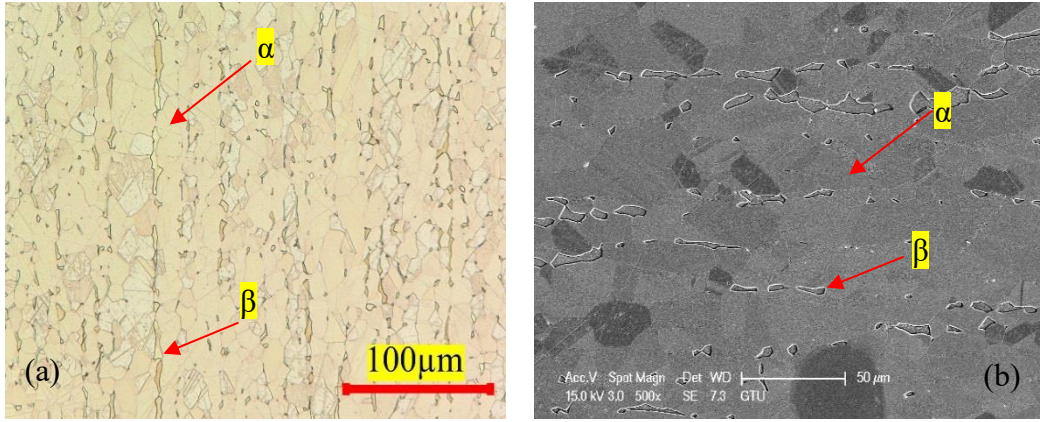
Çalışma kapsamında kullanılan CW511L pirinç alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. CW511L pirinç alaşımının kimyasal bileşimi.

	Cu	Zn	Pb	Sn	Fe	Ni	Al	As	Mn	P	Si
Min (%)	61.5	Rem.	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-
CW511L (CuZn38As)											
Max (%)	63.5	Rem.	0.2	0.1	0.1	0.3	0.05	0.15	-	-	-

CW511L pirinç alaşımının mikroyapı görüntüsü Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Şekil 2.2 (a) pirinç alaşımının dijital optik mikroskop yardımı ile alınmış görüntüsüdür. Şekil 2.2 (b)'de ise SEM(taramalı elektron mikroskobu) kullanılarak alınmış mikroyapı görüntüsü sunulmuştur. Şekilde malzemede bulunan alfa ve beta fazları gösterilmiştir.

Beta fazı, alfa fazından daha sert ve daha güçlü olan şekil merkezli bir kristal yapıya sahiptir. Alfa fazı ise yüz merkezli kübik kristal yapıdadır.



Şekil 2.2. CW511L malzemesinin mikroyapı görüntüsü.

2.2. CNC Dikey İşleme Merkezi

Tez çalışması kapsamında yapılan tüm talaşlı imalat deneylerinde Fanuc ROBODRILL Alpha-D21LiB5 CNC dikey işleme merkezi kullanılmıştır Şekil 2.3 . İşleme merkezine ait mekanik özellikleri Tablo 2.2’te sunulmuştur.



Şekil 2.3. Fanuc ROBODRILL alpha-21DLiB CNC dikey işleme merkezi

Tablo 2.2. Fanuc ROBODRILL alpha-21DLiB CNC dikey işleme merkezi mekanik özellikleri

X/Y/Z	Mm	700 x 400 x 330
Maksimum takım boyu	Mm	250
Maksimum takım çapı	Mm	80
Tabla boyutu	Mm	850 x 410
Maksimum tabla yüklemesi	Kg	300
Maksimum takım ağırlığı	Kg	3
İş mili hızı	Devir	10000
İş mili torku	Nm- KW	80 – 14.2
Boştaki eksen hızları	m/ dak.	54
Takım adedi		21
Takım tutucu		BT30/ SK30 DIN 69871A
Programlanabilir ilerleme hızı	mm/dak.	30000
Boyutlar	m	2.165 x 2.65 x 2.85

2.3. CNC Taşlama Tezgahı ve Takım

CW511L kurşunsuz pirinç alaşımın işlenebilirlik deneyleri için gerekli olan yekpare karbür takımlar ANCA FX7 Linear takım bileme tezgahında üretilmiştir. Kesici takımların tasarımı ANCA Toolroom programında yapılmıştır.

Tez çalışması kapsamında kaplamasız yekpare karbür matkaplar kullanılmıştır. Tüm deneyler aynı kalite karbür kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tane boyutları 0,5 ve 0,8 mikron değerleri aralığında olan karbürün kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2.3’ de görülmektedir.

Tablo 2.3. Karbür hammaddesine ait teknik veriler

Ürün Tanımı	Berlin Carbide DK500UF
Co %	8
WC %	92
Yoğunluk g/cm ³	14.55
Sertlik (HV30)	1690
Kırılma Tokluğu MPa.m ^{1/2}	10.4
Ortalama tane boyutu	0.5
Sınıfı	K20-K30

Proje kapsamında üretilen karbür kesici takımların görüntüsü Şekil 2.4’ da sunulmuştur.



Şekil 2.4. Karbür kesici takımlar.

2.4. Soğutma sıvısı

Kesici takımın talaşlı imalatı esnasında %7 derişimli bor yağı çözeltili yağmurlama tipi soğutmayla ve kesici takımın soğutma delikleri kullanılmış olup, işleme esnasında kesici takımlar 15 bar içten su vermeli olarak çalıştırılmıştır. Bor yağının derişim çözeltili taşınabilir refraktometre yardımıyla deneyler öncesinde ölçülmüştür.

2.5. Kesme Parametleri

Çalışma kapsamında üretilen tüm takım çapları 12 mm dir. Testlerde kullanılan devir 3000 rpm olmuştur. İlerleme ise 150 mm/dev olarak kullanılmıştır. Deneylerde kesme şartları sabit olup tek değişken kesici takım geometrisidir. Mevcut çalışma koşuları kullanılan hammadde özelinde seçilmiştir.

2.6. Kesici Takım Geometrisi

Kesici takım tasarımları ANCA toolroom yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Yazılım ile kesici takım geometrisi oluşturulduğunda üretim esnasında da kesici takım geometrisi üzerinde doğru bir şekilde yer alması sağlanmıştır.

CW511L kurşunsuz pirinç alaşımının talaşlı imalat deneylerinde kullanılmak üzere; 4, 8 ve 12 ° radyal talaş açısı, -2, 0 ve 2 ° eksenel talaş açısı ve 0, 5 ve 10 ° helis açısı, 10, 20 ve 30 mikron yuvarlanma yarıçapına sahip olacak şekilde farklı geometrilerde 27 adet takım üretilmiştir. Üretilen karbür takımlar için örnek tasarım görüntüsü Şekil 2.8’ de sunulmuştur. Tez çalışmasının ikinci aşamasında taguchi deneylerinden elde edilen sonuçlara göre tekrar takım üretilmiş ve doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Talaşlı imalat deneyleri için belirlenen kesici takım geometrileri Tablo 2.4’te verilmiştir.

Tablo 2.4. Talaşlı imalat deneyleri için belirlenen kesici takım geometrileri

Radyal Talaş Açısı (°)	Eksenel Talaş Açısı (°)	Yuvarlanma yarıçapı	Helis Açısı (°)
4	-2	10	0
8	0	20	5
12	2	30	10

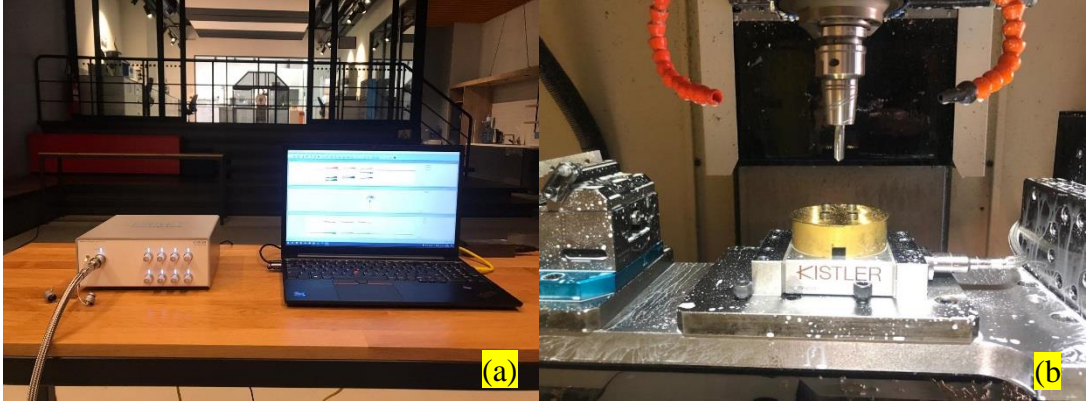
Tablo 2.5’ de ki kesme parametreleri baz alınarak L27 taguchi yöntemine göre deneysel tasarım gerçekleştirilmiştir. Deneysel tasarım Tablo 2.5’ de sunulmuştur.

Tablo 2.5. Taguchi L27 deneysel tasarım

Test	Eksenel talaş açısı	Yuvarlanma		
		yarıçapı	Helis açısı	Radyal talaş açısı
1	-2	10	0	4
2	-2	10	5	8
3	-2	10	10	12
4	-2	20	0	8
5	-2	20	5	12
6	-2	20	10	4
7	-2	30	0	12
8	-2	30	5	4
9	-2	30	10	8
10	0	10	0	4
11	0	10	5	8
12	0	10	10	12
13	0	20	0	8
14	0	20	5	12
15	0	20	10	4
16	0	30	0	12
17	0	30	5	4
18	0	30	10	8
19	2	10	0	4
20	2	10	5	8
21	2	10	10	12
22	2	20	0	8
23	2	20	5	12
24	2	20	10	4
25	2	30	0	12
26	2	30	5	4
27	2	30	10	8

2.7. Kesme Kuvvetleri Ölçümü

Delik delme işlemleri sırasında kesme kuvvetleri maksimum 10 kN ölçüm yapan , 0-70 °C sıcaklık aralığında ve su altında çalışabilen Kistler 9129AA tipi çok bileşenli dinamometre kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen kuvvet verileri, LabAmp sistemi Tip 5167A amplifikatör kullanılarak bilgisayar aktarılmıştır. Veriler Dynoware yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Kistler 5167A tipi ampifikatör Şekil 2.5(a)'da sunulmuştur. Kistler 9129AA tipi dinamometre ve iş parçasının bağlantısı Şekil 2.5(b)' de sunulmuştur. Delik delme işlemlerinde F_f kuvveti ilerleme kuvvetini ifade etmektedir ve ana kuvvet olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.5. (a) 5167A amplifikatör. (b)Deneysel düzenek, iş parçası ve dinamometre.

2.8. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Tüm delik delme işlemlerinden sonra iç çap yüzeylerinin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek yüzey kaliteleri kıyaslanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için Şekil 2.6’ de görüntüsü sunulan Mitutoyo Surftest Extreme SV-3000 CNC yüzey pürüzlülük ve form ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri Tablo 2.6’ de sunulmuştur. Numune yüzeylerinin “Aritmetik Ortalama Pürüzlülük”, R_a , ve “Maksimum Pürüzlülük Derinliği”, R_z , değerleri ölçülmüştür.



Şekil 2.6. Yüzey pürüzlülük ve form ölçüm cihazı

Tablo 2.6. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm ayrıntısı

Profil Türü	Roughness_ISO
Ölçüm Metodu	İğne Uç ile Ölçme
Lc	0.8 mm
Ls	0.0025 mm
Filtre Tipi	Gaussian
Örnekleme sayısı	5
Adım	0.0005 mm
Hız	1.0 mm/s

Tablo 3.1. İlerleme kuvvetleri

Test no	F_{ort}	Test no	F_{ort}	Test no	F_{ort}
1	429,4	10	405,1	19	401,4
2	369,1	11	372,9	20	334,4
3	325,2	12	347,1	21	307,9
4	444,0	13	442,0	22	444,9
5	388,3	14	388,2	23	399,4
6	371,4	15	386,7	24	392,6
7	463,7	16	464,8	25	452,0
8	435,6	17	417,8	26	410,8
9	417,7	18	392,1	27	395,4

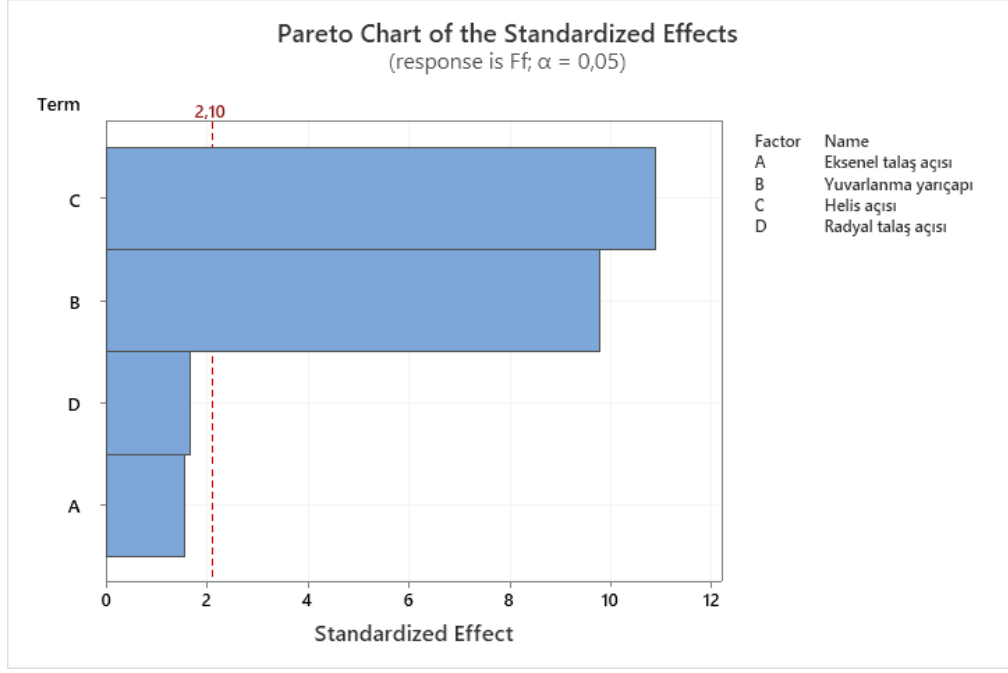
Deney sonuçları, minitab programı yardımı ile tek yönlü anova analizi yapılarak incelenmiştir. Kesme kuvvetlerine göre yapılan anova analizi sonucu Tablo 3.2’de sunulmuştur.

Tablo 3.2. İlerleme kuvvetlerine göre Anova analizi.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	41143,9	5143,0	34,03	0,000
Linear	8	41143,9	5143,0	34,03	0,000
Eksenel talaş açısı	2	665,7	332,8	2,20	0,139
Yuvarlanma yarıçapı	2	17817,5	8908,7	58,94	0,000
Helis açısı	2	21908,2	10954,1	72,47	0,000
Radyal talaş açısı	2	752,6	376,3	2,49	0,111
Error	18	2720,7	151,1		
Total	26	43864,6			

Anova analizleri ile birlikte dataların detaylı incelenmesi için pareto grafiği oluşturulmuştur. İlerleme kuvvetine göre oluşturulan perato grafiği Şekil 3.2’ de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde delme esnasında ilerleme kuvvetlerine en fazla etki eden değer parametre, takımındaki helis açısı olmuştur. Helis açısının artması ile ilerleme kuvvetlerinde azalma olmuştur. Bununla birlikte ilerleme kuvvetlerini etkileyen ikinci paramtere ise kesici takım yuvarlanma yarıçapı olmuştur. Yuvarlanma yarıçapı düşükken ilerleme kuvvetleri azalmış, yuvarlanma yarıçapı arttıkça ilerleme kuvvetlerinde artış görülmüştür.

Grafikte görüldüğü üzere diğer girdi parametreleri olan eksenel talaş açısı ve radyal talaş açısının ilerleme kuvvetine etkisi sınırlı olmuştur.



Şekil 3.2. İlerleme kuvvetlerine göre Pareto grafiği.

3.2. Talaşlar

Delik delme operasyonlarında talaş kırılabilirliği oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Delik delme esnasında talaşların işlenmiş yüzeyden dışarı atılması sebebi ile uzun talaşlardan kaçınılmalıdır. Delik delme performansı talaşın işlenmiş yüzeyden kolayca atılmasına bağlıdır ve işlenmiş yüzey kalitesi de bu durumdan etkilenmektedir. Tez çalışması kapsamında yapılan her bir deneyden sonra oluşan talaşlar toplanmış ve sınıflandırılmıştır. Şekil 3.3' de talaşların görüntüsü sunulmuştur. Şekilden de anlaşılacağı üzere kesici takım geometrisindeki değişkenler talaş formlarını ciddi oranda etkilemiştir. Talaş formlarının değişken olması eksenel talaş açısı, yuvarlanma yarıçapı, helis açısı ve radyal talaş açısına bağlı olarak değişmiştir. Kesici takımların talaşlı imalat esnasında işledikleri hacim aynı olsa da her bir değişkene göre ulaşılan talaşların ağırlıkları farklılıklar mevcuttur.

1-



2-



3-



4-



5-



6-



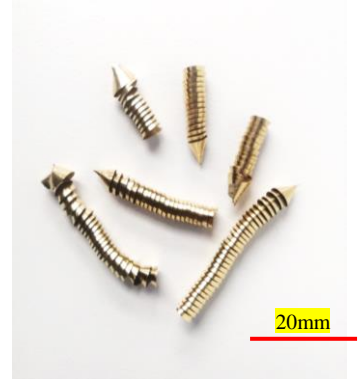
7-



8-



9-



Şekil 3.3. Talaş formları

10-



11-



12-



13-



14-



15-



16-



17-



18-



Şekil 3.3. (Devamı) Talaş formları

19-



20-



21-



22-



23-



24-



25-



26-



27-



Şekil 3.3. (Devamı) Talaş formları

Talaş kırılabilirliğini daha detaylı incelemek için talaşların hassas terazide ağırlıkları ölçülmüştür. Her ölçümde teraziye 10 adet talaş konmuştur. Çıkan ölçüm sonuçları 10'a bölünerek ortalama bir adet talaşın ağırlığı hesaplanmıştır. Tablo 3.3' de tüm deney sonuçlarında elde edilen ortalama talaş ağırlıkları sunulmuştur.

Tablo incelendiğinde en düşük talaş ağırlığı değerinin 1 numaralı deney sonucunda olduğu görülmüştür. Bu deney sonucunda ortalama talaş ağırlığı değeri 0,0206 gr olarak ölçülmüştür. En yüksek ortalama talaş ağırlığı değeri ise 24 numaralı deney sonucunda oluşmuştur. Bu durumda en yüksek talaş ağırlığı değeri 0,3551 gr olmuştur.

Tablo 3.3. Talaş ağırlığı değerleri

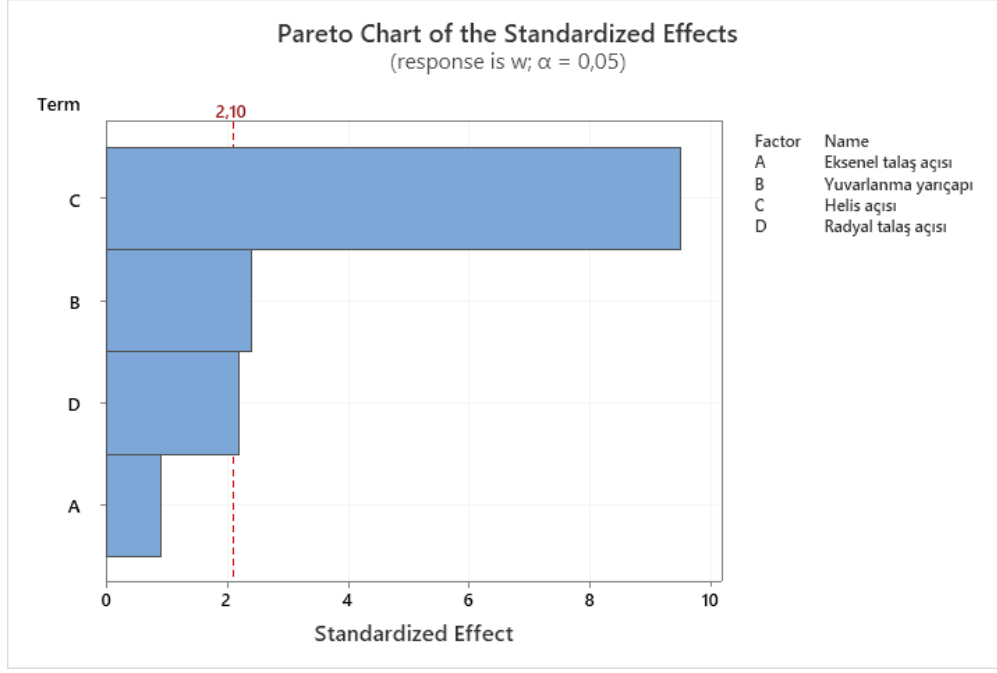
Test no	Talaş ağırlığı(gr)	Test no	Talaş ağırlığı(gr)	Test no	Talaş ağırlığı(gr)
1	0,0206	10	0,0543	19	0,0444
2	0,1395	11	0,0544	20	0,0549
3	0,3172	12	0,1683	21	0,1828
4	0,0408	13	0,0510	22	0,0686
5	0,1392	14	0,1116	23	0,1797
6	0,2446	15	0,3539	24	0,3551
7	0,0550	16	0,0583	25	0,0471
8	0,2250	17	0,1640	26	0,1695
9	0,2899	18	0,1941	27	0,2543

Tablo 3.4 Talaş ağırlığı değerlerine göre Anova analizi.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	0,241234	0,030154	16,22	0,000
Linear	8	0,241234	0,030154	16,22	0,000
Eksenel talaş açısı	2	0,003825	0,001912	1,03	0,378
Yuvarlanma yarıçapı	2	0,016394	0,008197	4,41	0,028
Helis açısı	2	0,206746	0,103373	55,60	0,000
Radyal talaş açısı	2	0,014269	0,007135	3,84	0,041
Error	18	0,033465	0,001859		
Total	26	0,274699			

Talaş ağırlıkları için dataların detaylı incelenmesi adına pareto grafiği oluşturulmuştur. Talaş ağırlığı değerlerine göre oluşturulan perato grafiği Şekil 3.4' de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde talaşlı imalat esnasında oluşan talaş formlarına en fazla etki eden değer parametre, takımındaki helis açısı olmuştur.

Grafikte görüldüğü üzere diğer girdi parametreleri olan yuvarlanma yarıçapı, eksenel talaş açısı ve radyal talaş açısının ilerleme kuvvetine etkisi sınırlı olmuştur.



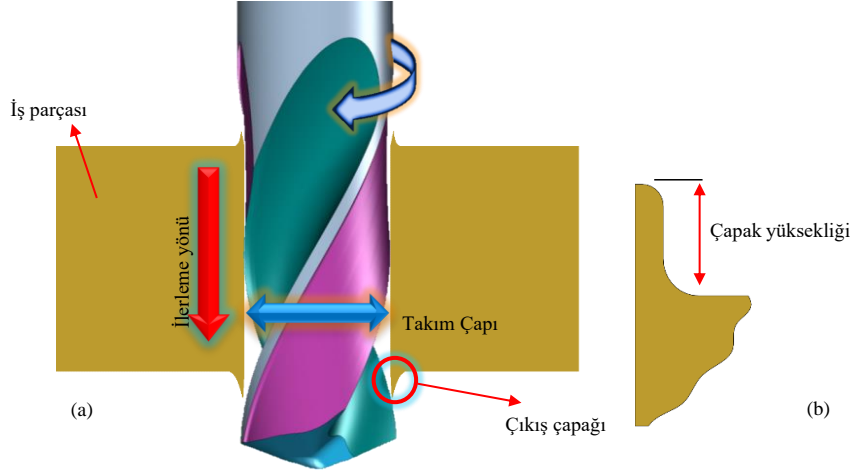
Şekil 3.4. Talaş ağırlığı değerlerine göre Pareto grafiği.

3.3. Çapak Yüksekliği

Kurşunsuz pirinç alaşımı olan CW511L pirinç alaşımının sünek yapısından dolayı talaşlı imalat işlemleri sırasında işleme bitişlerinde çapak oluşmaktadır. Bu malzemeler içlerinden sıvı ve gaz geçen akışkanların olduğu sıhhi tesisat alanında oldukça yaygın olarak kullanıldığı için, sızdırmazlık konusu hayli önem arz etmektedir. Sızdırmazlık istenen bölgelerin montajı esnasında çapak istenmeyen bir durumdur. Bu sebeple talaşlı imalat sonrasında çapak oluşumunu minimize etmek gerekmektedir. Çalışma kapsamında çapak yükseklikleri ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Şekil 3.5’ de çapak oluşumunun şematik gösterimi ve çapak yüksekliğinin gösterimi sunulmuştur. Çapaklar, plastik deformasyona ve kırılmaya neden olan istenmeyen oluşumlardır. Bu oluşumlar genellikle işlenmiş yüzeyin kenarında oluşan ve kullanımdan önce parçanın kontrol edilmesi veya parçadan çıkarılması gereken pürüzlü şeritler şeklindedir.

Yırtılma çapağı genellikle bir delme işleminde, temel olarak takım / kalıp boşluğu nedeniyle şekil değiştiren malzemenin etkisi ile takım parçadan ayrıldığında iş parçasının kenarına tutunarak şekillendirilir [29].

Çapak yüksekliği, uzama ve kırılma olarak ele alınan malzemenin belirlenen sünekliğine göre seçilen plastik deformasyonun ölçülmesiyle belirlenir. İşleme sırasında çapak oluşumu plastik deformasyon ve kırılmanın sonucudur [3, 30-32].



Şekil 3.5. (a) delme işlemi sırasında çapak oluşumunu (b) çapak yüksekliğinin ayrıntılı tanımını gösteren çapak profili.

Delme işlemleri sonrasında formtracer cihazından çapak formları taranmış ve yükseklikleri kayıt altına alınmıştır. Çapak yüksekliği değerleri Tablo 3.5’ de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde en düşük çapak yükseklik değerinin 12 numaralı deney sonucunda oluştuğu görülmüştür. Bu deney sonucunda çapak yüksekliği 57,6 mikron olarak ölçülmüştür. En yüksek çapak yükseklik değeri ise 25 numaralı deney sonucunda oluşmuştur. Bu durumda en yüksek çapak değeri 370 mikron olmuştur.

Tablo 3.5. Çapak yüksekliği değerleri

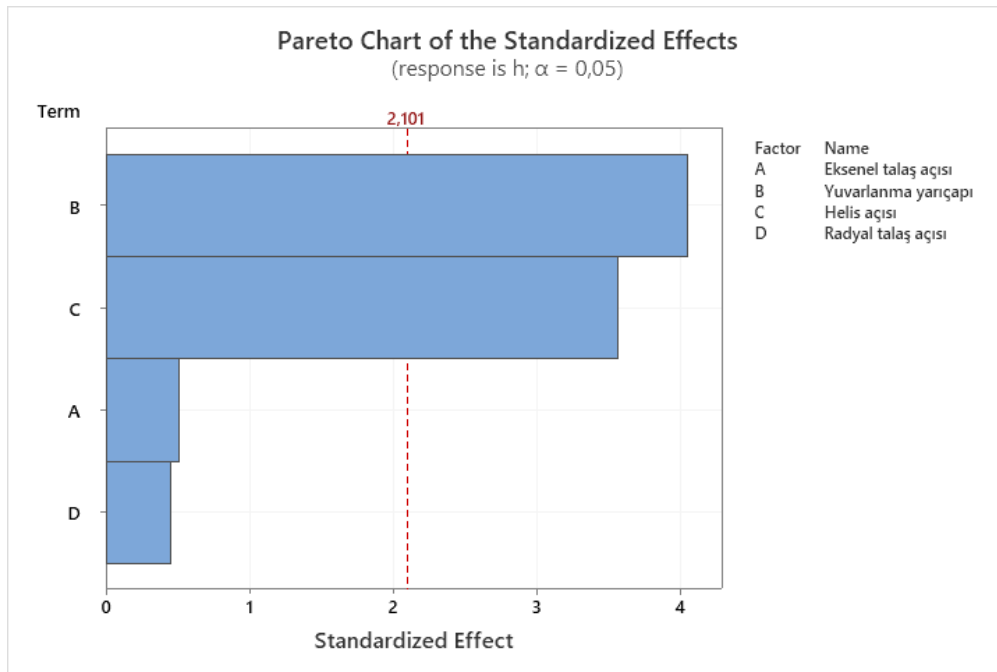
Test no	Çapak yüksekliği(μm)	Test no	Çapak yüksekliği(μm)	Test no	Çapak yüksekliği(μm)
1	142,7	10	131,4	19	102,1
2	169,4	11	210,2	20	135,1
3	113,6	12	57,6	21	92,0
4	126,5	13	180,4	22	142,6
5	170,3	14	207,8	23	205,5
6	97,4	15	169,6	24	117,1
7	166,3	16	190,1	25	370,0
8	307,9	17	318,1	26	234,0
9	142,0	18	166,2	27	169,7

Çapak yüksekliği sonuçları, minitab programı yardımı ile Anova analizi yapılarak incelenmiştir. Çapak yüksekliği değerlerine göre yapılan anova analizi sonucu Tablo 3.6’de sunulmuştur.

Tablo 3.6. Çapak yüksekliği değerlerine göre Anova analizi.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	91420	11427,5	5,16	0,002
Linear	8	91420	11427,5	5,16	0,002
Eksenel talaş açısı	2	2206	1102,9	0,50	0,616
Yuvarlanma yarıçapı	2	48744	24372,0	11,01	0,001
Helis açısı	2	38572	19286,2	8,71	0,002
Radyal talaş açısı	2	1898	948,8	0,43	0,658
Error	18	39842	2213,5		
Total	26	131262			

Deneyler sonucunda ölçülen çapak yüksekliği değerlerine göre oluşturulan perato grafiği Şekil 3.6' de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde delme işlemi sonrasında oluşan çapak yüksekliği değerlerine en fazla etki eden parametre, takımdeki yuvarlanma yarıçapı olmuştur. Yuvarlanma yarıçapının artması ile kesme kuvvetleri artar ve çıkış bölgesine yakın yerde kesici takım malzemeyi dışarı deforme olmaya zorlar ve çapak yüksekliği artar. Dolayısı ile bu sonuçlara göre çapak problemi yaşanan durumlarda yuvarlanma yarıçapını düşürmek çözüm sağlayacaktır. Çapak yüksekliğine etki eden bir diğer parametre ise kesici takımdaki helis açısı olmuştur. Helis açısında eksenel doğrultudaki kuvvetlere etki ettiği için çapak yüksekliğinde etkisi olmuştur. Bunların yanı sıra eksenel talaş açısının ve radyal talaş açısının çapak yüksekliğine etkisi sınırlı olmuştur.



Şekil 3.6. Çapak yüksekliği değerlerine göre Pareto grafiği.

3.3.1. Yüzey pürüzlülüğü

Yeni nesil bir pirinç alaşımı olan CW511L alaşımının düşük kurşun içeriğinden dolayı içinden sıvı ve gaz geçen komponentlerde sıklıkla tercih edilmektedir. Özellikle Dünya sağlık örgütü tarafından kurşuna gelen kısıtlamalardan sonra içinden içme suyu geçen komponentlerde kurşun oranı ciddi oranda azaltılmıştır. Pirinç malzemeler içinden akışkan geçen komponentlerde kullandığından dolayı, malzeme yüzeyinde sızdırmazlık özelliği istenmektedir. Bu durum üretilen komponentin yüzey kalitesiyle ilişkilidir. Talaşlı imalat işlemlerinden sonra iş parçası yüzeyindeki pürüzlülük değerlerinin minimum seviyede olması istenmektedir. Bu sebeplerden dolayı deneylerden sonra iş parçası yüzey kaliteleri ölçülmüştür. Tablo 3.7' de tüm deney sonuçlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri sunulmuştur. Tablo incelendiğinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin 7 numaralı deney sonucunda olduğu görülmüştür. Bu deney sonucunda ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 0,068 μm olarak ölçülmüştür. En yüksek ortalama pürüzlülüğü değeri ise 21 numaralı deney sonucunda oluşmuştur. Bu durumda en yüksek yüzey pürüzlülük değeri 0,414 μm olmuştur.

Tablo 3.7. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri

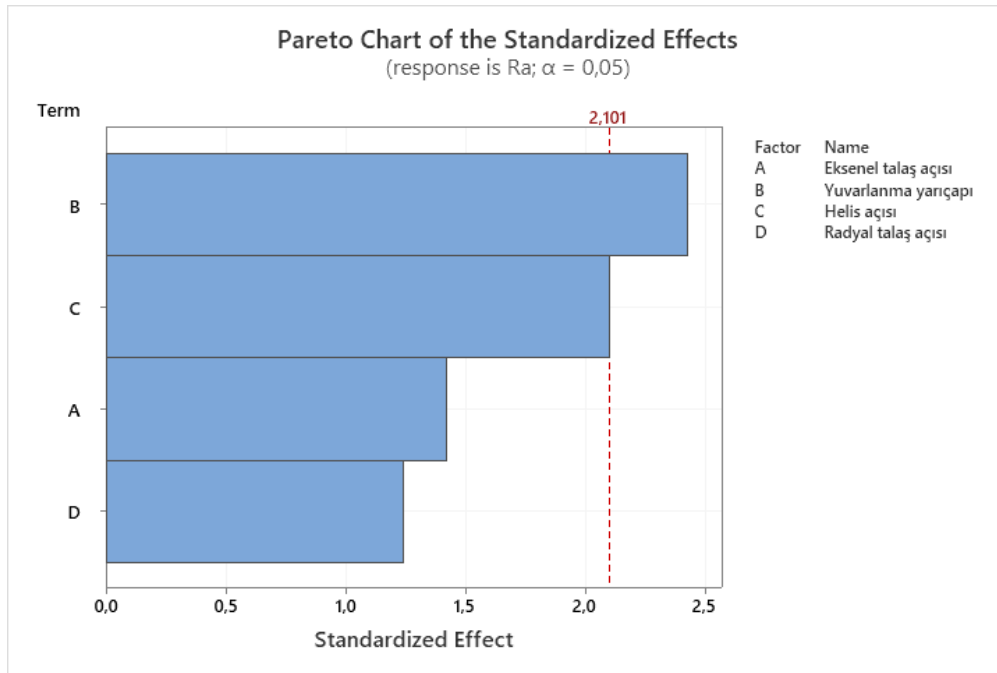
Test no	Ra	Test no	Ra	Test no	Ra
1	0,114	10	0,117	19	0,165
2	0,304	11	0,199	20	0,185
3	0,143	12	0,267	21	0,414
4	0,145	13	0,119	22	0,141
5	0,133	14	0,170	23	0,226
6	0,149	15	0,177	24	0,155
7	0,068	16	0,126	25	0,168
8	0,145	17	0,136	26	0,141
9	0,166	18	0,091	27	0,187

Ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları, minitab programı yardımı ile Anova analizi yapılarak incelenmiştir.

Tablo 3.8. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre Anova analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	0,070444	0,008806	2,89	0,029
Linear	8	0,070444	0,008806	2,89	0,029
Eksenel talaş açısı	2	0,011806	0,005903	1,94	0,173
Yuvarlanma yarıçapı	2	0,027395	0,013697	4,50	0,026
Helis açısı	2	0,021559	0,010780	3,54	0,050
Radyal talaş açısı	2	0,009685	0,004842	1,59	0,231
Error	18	0,054754	0,003042		
Total	26	0,125198			

Deneyler sonucunda ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre değerlerine göre oluşturulan perato grafiği Şekil 3.7' de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde delme işlemi sonrasında oluşan yüzey pürüzlülük değerlerine en fazla etki eden parametre, takımdaki yuvarlanma yarıçapı olmuştur [33, 34]. Yüzey pürüzlüğüne etki eden bir diğer parametre ise kesici takımdaki helis açısı olmuştur.



Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre Pareto grafiği

4. OPTİMİZASYON

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen tüm verilere göre (talaş ağırlığı, ilerleme kuvveti, çapak yüksekliği, yüzey pürüzlülüğü) optimizasyon çalışması yapılmıştır. Optimizasyonda desirability function metodu benimsenmiştir. Anova da tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Analiz aşamasında ayrı ayrı incelenen radyal talaş açısı, eksenel talaş açısı, yuvarlanma yarı çapı ve helis açısı en minimum kuvvet değerleri kıyasa alınıp optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Tablo 4.1. Optimizasyon parametreleri

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
w	Minimum		0,021	0,355	1	1
Ff	Minimum		307,867	464,800	1	1
h	Minimum		57,565	369,969	1	1
Rz	Minimum		0,543	2,987	1	1
Ra	Minimum		0,068	0,414	1	1

Tablo 4.2. Çözüm

Solution	Eksenel talaş açısı	Yuvarlanma yarıçapı	Helis açısı	Radyal talaş açısı	w Fit	Ff Fit	h Fit	Rz Fit
1	-1,89502	10	0	12	0,0206100	400,211	60,7071	1,43959
Solution	Ra Fit	Composite Desirability						
1	0,141824	0,726831						

Tablo 4.3. Çoklu tahmin

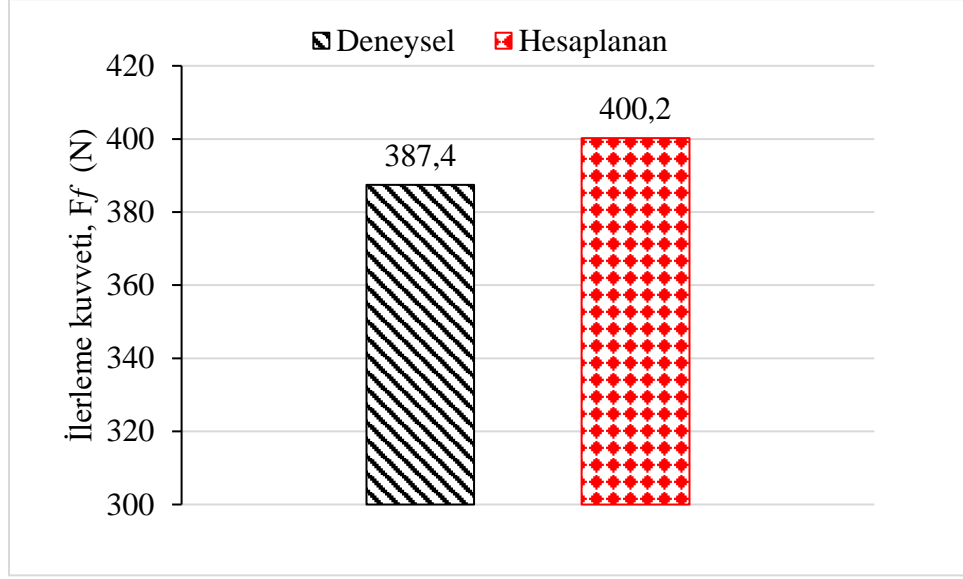
Variable	Setting
Eksenel talaş açısı	-1,89502
Yuvarlanma yarıçapı	10
Helis açısı	0
Radyal talaş açısı	12

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
w	0,0206	0,0724	(-0,1359; 0,1771)	(-0,1657; 0,2070)
Ff	400,2	21,6	(353,6; 446,8)	(344,7; 455,7)
h	60,7	64,1	(-77,8; 199,2)	(-104,2; 225,6)
Rz	1,440	0,580	(0,187; 2,692)	(-0,051; 2,931)
Ra	0,1418	0,0788	(-0,0285; 0,3122)	(-0,0610; 0,3446)

Optimizasyon sonuçlarına göre eksenel talaş açısı -1.89° , yuvarlanma yarıçapı $10\mu\text{m}$, helis açısı 0° ve radyal talaş açısı 12° çıkmıştır. Takım optimizasyon sonucu elde edilen veriler kullanılarak deney tekrarı gerçekleştirilmiştir.

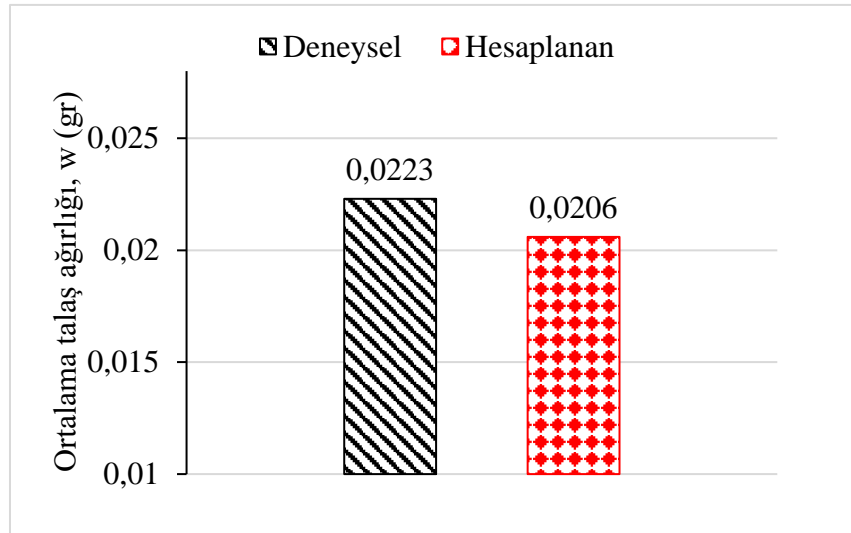
Takım tasarımından sonra üretim için gerekli taş paketleri hazırlandı ve tezgâh ayarları yapılarak takım üretimi gerçekleştirildi.

Şekil 4.3' de optimum kesici takımın oluşturduğu ilerleme kuvveti ve optimizasyon sonucunda elde edilen tahmini kuvvet değerleri sunulmuştur. Grafikte görüldüğü üzere optimum değerlere göre üretilen kesici takım, delik delme esnasında $387,4\text{ N}$ kuvvet oluşturmuştur. Optimizasyon sonuçlarına göre ise ilerleme kuvveti $400,2\text{ N}$ olarak tahmin edilmiştir. Görüldüğü üzere optimizasyon sonucunda elde edilen değer, deneysel sonuca oldukça yakın çıkmıştır. Deneysel çalışma ile simülasyon sonucunda tahmin edilen değer arasında yaklaşık %3 oranında bir sapma olmuştur. Bu değer oldukça iyi bir yakınsama olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.1. Deneysel ve hesaplanan optimum ilerleme kuvvetleri değerleri.

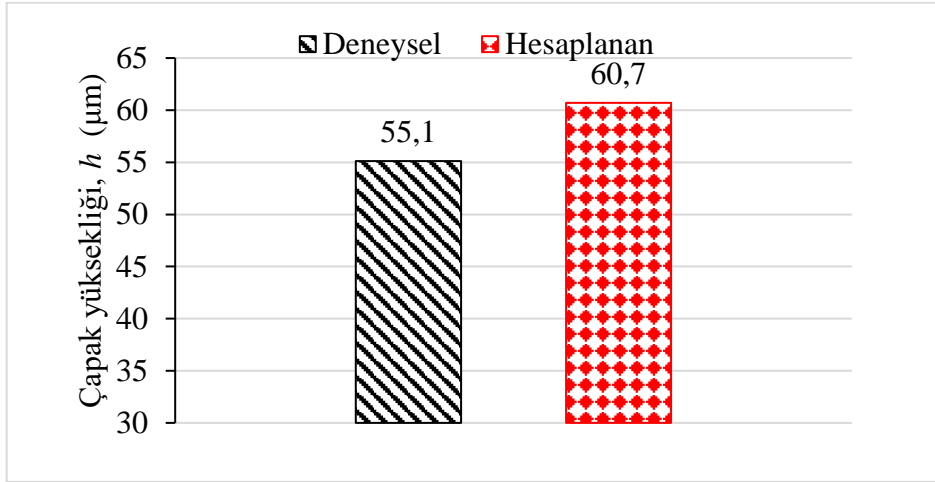
Şekil 4.4' de deneysel ve hesaplanan talaş ağırlığı değerleri sunulmuştur. Optimum geometrideki takımla yapılan deney sonucunda oluşan talaşlar hassas terazide tartılarak ortalama talaş ağırlığı değeri elde edilmiştir. Optimum takımla yapılan talaşlı imalat deneyi sonucunda oluşan talaşların ortalama ağırlığı 0,0223 gram olmuştur. Optimizasyon sonucu elde edilen değer ise 0,0206 gram olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.2. Deneysel ve hesaplanan optimum talaş ağırlığı değerleri.

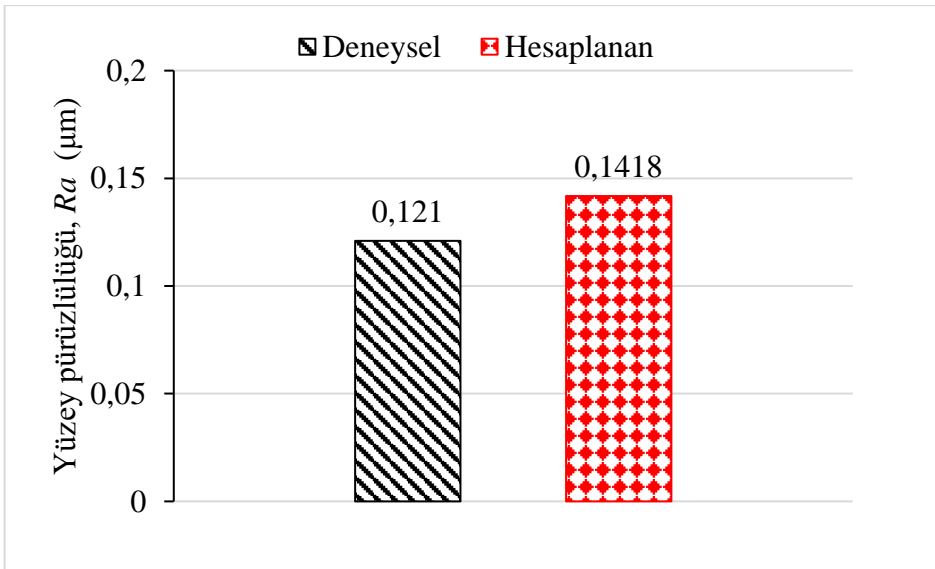
Deneysel ve hesaplanan talaş ağırlığı değerleri Şekil 4.5' de grafik olarak sunulmuştur. Optimum geometrideki takımla yapılan deney sonucunda oluşan çıkış çapakları formtracer cihazı ile ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Optimum takımla yapılan talaşlı imalat deneyi sonucunda oluşan çıkış çapağı yüksekliği 55,1 mikron olmuştur.

Taguchi deneylerinden sonra yapılan optimizasyon sonucu elde edilen değer ise 60,7 mikron olarak hesaplanmıştır.



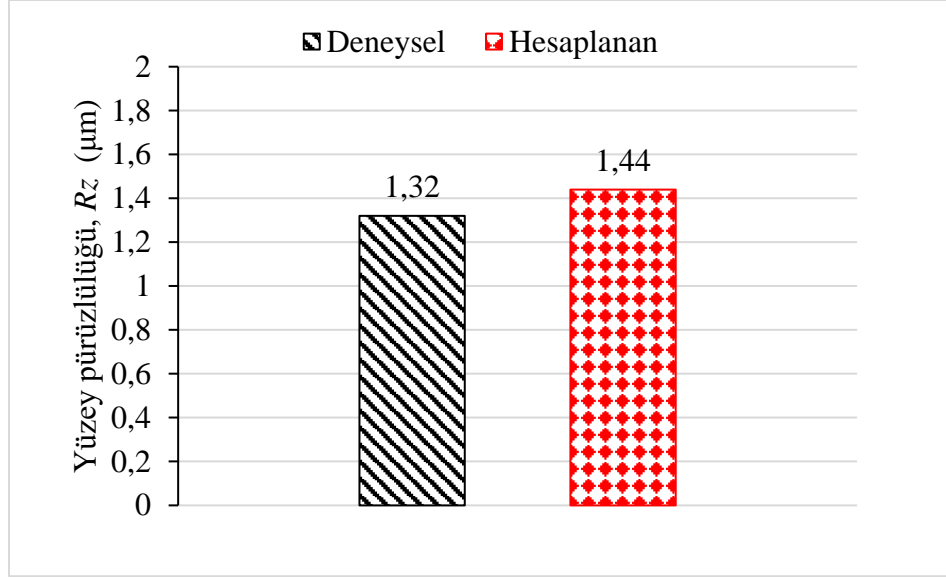
Şekil 4.3. Deneysel ve hesaplanan optimum çapak yüksekliği değerleri.

Pirinç alaşımlar için çok önem arz eden bir parametre olan yüzey kaliteleride çalışmalar sonucunda ölçülmüştür. Optimum geometrilere göre üretilen kesici takımın oluşturduğu ve optimizasyon sonucu tahmin edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 4.6' de sunulmuştur. Deney sonucunda elde ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 0,121 µm olmuştur. Hesaplanan değer ise 0,1418 µm dir. Görüldüğü üzere hesaplanan değerden daha düşük bir yüzey kalitesi elde edilmiştir. Bu durum optimum geometrideki takımın oluşturduğu yüzey kalitesi için oldukça iyi bir sonuç olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.4. Deneysel ve hesaplanan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri(Ra).

Deney sonuçları analizinde Rz değeri de incelenmiştir. Özellikle sızdırmazlık istenen yüzeylerde kısıtlayıcı bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 4.7’ de deneysel ve hesaplanan Rz değerleri sunulmuştur. Deney sonucunda ölçülen Rz değeri 1,32 mikron iken hesaplanan değer ise 1,44 mikron olarak karşımıza çıkmıştır.



Şekil 4.5. Deneysel ve hesaplanan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri (Rz).

5. SONUÇLAR

Bu tezde sihhî tesisat alanında oldukça yaygın olarak kullanılan düşük kurşunlu pirinç alaşım malzemesi grubuna ait CW511L(CuZn38As) malzemesinin delik delme operasyonunda kesici takım geometrisinin talaşlı imalat performansına etkisi kapsamlı olarak incelenmiştir.

Yapılan çalışmaların başında Taguchi deneyi gelmektedir. L27 taguchi yöntemine göre Minitab programı ile deney tasarımı oluşturulmuştur. Deney girdi parametreleri olarak, radyal talaş açısı 4, 8 ve 12 derece, aksenal talaş açısı -2, 0 ve 2 derece, yuvarlanma yarıçapı 10, 20 ve 30 mikron, helis açısı ise 0, 5 ve 10 derece olarak seçilmiştir. Deney tasarımına göre yapılan talaşlı imalat deneylerinde, kesme kuvvetleri, talaş kırılabilirliği, çapak yüksekliği ve yüzey kalitesi detaylı olarak incelenmiş ve raporlanmıştır.

Deneylemler sonucunda girdi parametrelerinin etki oranlarını incelemek için her bir parametre için pareto grafiği oluşturulmuştur. İlerleme kuvveti sonuçlarına göre en fazla etkili olan parametre helis açısı olmuştur. Helis açısından sonra ilerleme kuvvetine en fazla etki eden parametre yuvarlanma yarıçapı olmuştur. Diğer girdi parametreleri olan aksenal talaş açısı ve radyal talaş açısının ilerleme kuvvetine etkisi sınırlı olmuştur. Talaş formuna ve ağırlığına en fazla etki eden parametre ise helis açısı olmuştur. Helis açısının artması talaş kırılabilirliğini azaltmış ve ağırlıklardada artış görülmüştür. Talaşlı imalat işlemleri sonrasında oluşan çapak yüksekliği değerlerine en fazla etki eden parametre, takımdaki yuvarlanma yarıçapı olmuştur. Yuvarlanma yarıçapının artması ile kesme kuvvetleri artar ve çıkış bölgesine yakın yerde kesici takım malzemeyi dışarı deforme olmaya zorlar ve çapak yüksekliği artar. Dolayısı ile bu sonuçlara göre çapak problemi yaşanan durumlarda yuvarlanma yarıçapını düşürmek çözüm sağlayacaktır. Çapak yüksekliğine etki eden bir diğer parametre ise kesici takımdaki helis açısı olmuştur. Helis açısında aksenal doğrultudaki kuvvetlere etki ettiği için çapak yüksekliğinede etkisi olmuştur. Bunların yanı sıra aksenal talaş açısının ve radyal talaş açısının çapak yüksekliğine etkisi sınırlı olmuştur. Deneylemler sonucunda ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre en fazla etki eden parametre,

takımdaki yuvarlanma yarıçapı olmuştur. Yüzey pürüzlüğüne etki eden bir diğer parametre ise kesici takımdaki helis açısı olmuştur.

Taguchi deney sonuçlarına göre optimizasyon yapılmış ve eksenel talaş açısı -1.89° , yuvarlanma yarıçapı $10\mu\text{m}$, helis açısı 0° ve radyal talaş açısı 12° çıkmıştır. Optimum sonuçlara göre üretilen kesici takım ile optimizasyon sonucunda hesaplanan değerler arasındaki fark oldukça düşük olmuş olup, optimizasyon ile deney sonuçlarını yüksek yakınsama ile tahmin etmek mümkün olmuştur.

Çalışmadan elde veriler doğrultusunda farklı pirinç alaşımları için optimum takım geometrileri oluşturulabilir ve standartlaştırma çalışmaları yapılabilir. Gün geçtikçe çevreye verilen önemin artmasıyla birlikte çevreye zararı minimum olan malzemeler üretilmektedir. Bu malzemelerin optimum işlenebilmesi için gelecekte yapılacak çalışmalar çok değerli olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Amaral, L., et al., Effect of lead on the machinability of brass alloys using polycrystalline diamond cutting tools. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, 2018. 53(8): p. 602-615.
- [2] Davis, J.R., *Copper and copper alloys*. 2001: ASM international.
- [3] Zoghipour, N., et al., Machining-induced surface integrity of holes drilled in lead-free brass alloy. *Procedia CIRP*, 2020. 87: p. 148-152.
- [4] Xu, L., et al., General conception of polar diagrams for the evaluation of the potential machinability of workpiece materials. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 2013. 14(1): p. 24-44.
- [5] Buzek, J. and E. Gyóri, Directive 2011/65/EU on restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. The European Parliament and Council, Strasbourg, 2011.
- [6] Juncker, J., Commission Directive (EU) 2016/7747 on end-of-life vehicles, European Union. *Official Journal of the European Union*, 2016.
- [7] Pantazopoulos, G.A., et al., Machinability of Eco-Friendly Lead-Free Brass Alloys: Cutting-Force and Surface-Roughness Optimization. *Metals (2075-4701)*, 2018. 8(4).
- [8] Ståhl, J.-E. and M. Andersson. Polar machinability diagrams—a model to predict the machinability of a work material. in *Sweden production symposium*. Göteborg. 2007.
- [9] Programme, U.N.E., Final review of scientific information on lead. 2010, United Nations Environment Programme Nairobi.
- [10] Timata, M. and C. Saikaew. Influences of spindle speed and feed rate on exit burr height and workpiece diameter in drilling forging brass. in *Solid state phenomena*. 2018. Trans Tech Publ.
- [11] Hua, J., et al., Effect of feed rate, workpiece hardness and cutting edge on subsurface residual stress in the hard turning of bearing steel using chamfer+hone cutting edge geometry. *Materials Science and Engineering: A*, 2005. 394(1-2): p. 238-248.
- [12] Alagarsamy, S., et al., Prediction of surface roughness and tool wear in milling process on brass (C26130) alloy by Taguchi technique. *Materials Today: Proceedings*, 2020. 21: p. 189-193.
- [13] Kemal, T., Optimization of Dry Turning Parameters for Free Cutting Brass (CuZn39Pb3) Material Using Taguchi Method. 2019, ASTU.
- [14] Nobel, C., et al., Machinability enhancement of lead-free brass alloys. *Procedia CIRP*, 2014. 14: p. 95-100.

- [15] Schultheiss, F., et al., Comparative study on the machinability of lead-free brass. *Journal of Cleaner Production*, 2017. 149: p. 366-377.
- [16] Taha, M.A., et al., Machinability characteristics of lead free-silicon brass alloys as correlated with microstructure and mechanical properties. *Ain Shams Engineering Journal*, 2012. 3(4): p. 383-392.
- [17] Imai, H., Shufeng, L., Atsumi, H., Kosaka, Y., Kojima, A., & Kondoh, K. (2010). Development of lead-free machinable brass with bismuth and graphite particles by powder metallurgy process. *Materials transactions*, 51(5), 855-859.
- [18] Suksongkarm, P., Rojananan, S., & Rojananan, S. (2017). Using recycled bismuth-tin solder in novel machinable lead-free brass. *MATERIALS TRANSACTIONS*, 58(12), 1754-1760.
- [19] Nobel, C., Hofmann, U., Klocke, F., & Veselovac, D. (2016). Experimental investigation of chip formation, flow, and breakage in free orthogonal cutting of copper-zinc alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84, 1127-1140.
- [20] Toulfatzis, A. I., Pantazopoulos, G. A., & Paipetis, A. S. (2016). Microstructure and properties of lead-free brasses using post-processing heat treatment cycles. *Materials Science and Technology*, 32(17), 1771-1781.
- [21] Klocke, F., Nobel, C., & Veselovac, D. (2016). Influence of tool coating, tool material, and cutting speed on the machinability of low-leaded brass alloys in turning. *Materials and Manufacturing Processes*, 31(14), 1895-1903.
- [22] Schultheiss, F., Johansson, D., Bushlya, V., Zhou, J., Nilsson, K., & Ståhl, J. E. (2017). Comparative study on the machinability of lead-free brass. *Journal of Cleaner Production*, 149, 366-377.
- [23] Nobel, C., et al., Experimental investigation of chip formation, flow, and breakage in free orthogonal cutting of copper-zinc alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016. 84(5): p. 1127-1140.
- [24] Balout, B., Songmene, V., & Masounave, J. (2007). An experimental study of dust generation during dry drilling of pre-cooled and pre-heated workpiece materials. *Journal of manufacturing processes*, 9(1), 23-34.
- [25] Mogaji, P. B., & Famurewa, I. A. (2017). Investigating optimum parameters required for drilling brass using response surface methodology. *Journal of emerging trends in engineering and applied sciences*, 8(1), 37-42.
- [26] Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., & Davim, J. P. (2008). Selection of optimal MQL and cutting conditions for enhancing machinability in turning of brass. *Journal of materials processing technology*, 204(1-3), 459-464.
- [27] Firsas, T., Tadjuddin, M., Udink, A., & Hasanuddin, I. (2020). Effect of machining parameters on hole accuracy and burr formation in micro-drilling of brass. In *Defect and Diffusion Forum* (Vol. 402, pp. 73-80). Trans Tech Publications Ltd.
- [28] Zoghipour, N., et al., The influence of edge radius and lead content on machining performance of brass alloys. *Procedia CIRP*, 2022. 112: p. 274-279.

- [29] Chern, G.-L., Experimental observation and analysis of burr formation mechanisms in face milling of aluminum alloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2006. 46(12-13): p. 1517-1525.
- [30] Ko, S.-L. and J.-K. Lee, Analysis of burr formation in drilling with a new-concept drill. *Journal of materials processing technology*, 2001. 113(1-3): p. 392-398.
- [31] Gillespie, L.K., *The formation and properties of machining burrs*. 1973.
- [32] Tascioglu, E., et al., Machining-induced Surface Integrity in Brass Alloys. *Procedia CIRP*, 2022. 108: p. 654-659.
- [33] Qu, J. and A.J. Shih, Analytical surface roughness parameters of a theoretical profile consisting of elliptical arcs. *Machining science and technology*, 2003. 7(2): p. 281-294.
- [34] Bhushan, R.K., Impact of nose radius and machining parameters on surface roughness, tool wear and tool life during turning of AA7075/SiC composites for green manufacturing. *Mechanics of Advanced Materials and Modern Processes*, 2020. 6(1): p. 1-18.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Doğan ÖZCAN

ÖĐRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** :

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

-
-

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

-
-
-

DİĞER ESERLER: