



**CNC TORNA TEZGAHLARINDA FARKLI TREN
TEKERİ TİPLERİNDE İŞLEME
PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK ENERJİ
TÜKETİM OPTİMİZASYONU**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Abdulkadir DÖNMEZ

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Tuba COŞKUN**

**CNC TORNA TEZGAHLARINDA FARKLI TREN TEKERİ TİPLERİNDE
İŞLEME PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK ENERJİ TÜKETİM
OPTİMİZASYONU**

Abdulkadir DÖNMEZ

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Tuba COŞKUN

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ocak 2024

Abdulkadir DÖNMEZ tarafından hazırlanan “CNC TORNA TEZGAHLARINDA FARKLI TREN TEKERİ TİPLERİNDE İŞLEME PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK ENERJİ TÜKETİM OPTİMİZASYONU” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Tuba COŞKUN

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 11/01/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ (GÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Tuba COŞKUN (KBÜ)

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

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Abdulkadir DÖNMEZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CNC TORNA TEZGAHLARINDA FARKLI TREN TEKERİ TİPLERİNDE İŞLEME PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK ENERJİ TÜKETİM OPTİMİZASYONU

Abdulkadir DÖNMEZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi. Tuba COŞKUN

Ocak 2024, 46 sayfa

Bu çalışmada talaşlı imalat yöntemlerinden biri olan CNC torna prosesinde ER7 kalite malzemedeki oluşan tren tekeri numunelerine tornalama işlemi yapılmıştır. Taguchi yöntemi ile kesme enerjisi ve yüzey pürüzlülüğü parametrelerinde optimal verilere ulaşılma amaçlanmıştır. Taguchi yöntemi daha az ölçüm ile optimal verilerin elde edilmesini sağlayarak, maliyet ve zamandan tasarruf sağlar.

DeneySEL ölçümler A, B, C olarak adlandırılan üç farklı tip teker üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlerleme hızı (mm/dak.), kesme hızı (dev/dak.) ve kesme derinliği (mm) parametreleri üç farklı seviye için toplamda 9 kez ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, 3 mm kesme derinliği, 96 (m/dk) ilerleme hızı ve 120 (dev/dk) kesme hızı değerine sahip 6 nolu deneyde en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 2.3 µm olarak

ölçülmüştür. 3 (mm) kesme derinliği, 72 (m/dk) ilerleme hızı ve 60 (dev/dk) kesme hızı değerine sahip 1 no'lu deneyde en düşük akım değeri 40 A olarak ölçülmüştür.

3 mm kesme derinliği, 144 m/dk ilerleme hızı ve 80 dev/dk kesme hızı değerine sahip 8 no'lu deneyde en düşük enerji tüketimi değeri, 314.676,48j olarak hesaplanmıştır. Ölçümler sonucunda, kesme hızı değerinin yüzey pürüzlülüğü değeri üzerinde, kesme derinliği değerinin ise enerji tüketimi üzerinde en etkin parametre olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Tornalama işlemleri, Taguchi metodu, Tren tekeri, Enerji yüzey pürüzlülüğü.

Bilim Kodu : 92808

ABSTRACT

Master Thesis

OPTIMIZATIONS OF ENERGY CONSUMPTIONS DEPENDING ON MACHINING PARAMETERS FOR DIFFERENT TYPES OF TRAIN WHEELS ON CNC LATHES

Abdulkadir DÖNMEZ

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy System Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Tuba COŞKUN

January 2024, 46 pages

In this study, turning process was performed on train wheel samples consisting of ER7 quality material in CNC lathe process, which is one of the machining methods in the experimental study. The Taguchi method was used to obtain optimal data on cutting energy and surface roughness parameters. Taguchi method saves cost and time by obtaining optimal data with fewer measurements.

Experimental measurements were carried out on three different types of wheels named A, B, C. A total of 9 measurements were made for three different levels of feed rate (mm/min), Cutting speed (rpm) and depth of cut (mm) parameters. As a result of the study, the lowest surface roughness value was measured as 2.3 μm in experiment 6 with 3 mm depth of cut, 96 (mm/min) feed rate and 120 (rpm) cutting

speed. In experiment 1 with 3 (mm) depth of cut, 72 (mm/min) feed rate and 60 (rpm) cutting speed, the lowest current value was measured as 40 A.

In experiment 8 with 3 mm depth of cut, 144 mm/min feed rate and 80 rpm cutting speed, the lowest energy consumption value was calculated as 314,676.48j. As a result of the measurements, it was determined that the cutting speed value was the most effective parameter on the surface roughness value and the depth of cut value was the most effective parameter on the energy consumption.

Key Word : Turning process, Taguchi method, Train wheel, Energy surface roughness

Science Code : 92808

TEŞEKKÜR

Çalışmaya baőladıđım ilk günden beri büyük bir sabır ve özveri ile destekleyen baőta kıymetli hocam Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK ve sorularıma eksiksiz cevap veren Danıőman hocam Dr. Öğr. Üyesi Tuba COŞKUN olmak üzere, desteklerini eksik etmeyen eőim Nihal DÖNMEZ'e ve mutluluk kaynaklarım kızım Ayőe Serra DÖNMEZ ve oğlum Ahmet Ömer DÖNMEZ'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	6
TAGUCHİ METODU.....	6
3.1. SİSTEM TASARIMI	6
3.2. PARAMETRE TASARIMI	6
3.3. TOLERANS TASARIMI.....	7
3.4. TAGUCHİ METODU AKIŞ ŞEMASI.....	8
BÖLÜM 4	10
TREN TEKERİ VE TALAŞLI İMALAT.....	10
4.1. TREN TEKERİ	10
4.2. TALAŞLI İMALAT	10
4.2.1. Talaşlı İmalat ve Çeşitleri.....	12
4.2.2. Talaşlı İmalatta Yüzey Kalitesi	13
4.2.3. CNC Torna Tezgâhı ve Dikey İşleme Merkezi	15

	<u>Sayfa</u>
4.3. TREN TEKERİ ÜRETİMİ.....	16
BÖLÜM 5	23
MATERYAL VE YÖNTEM	23
5.1. DENEYDE KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ.....	23
5.2. DENEYDE KULLANILAN TAKIM TEZGÂHI ÖZELLİKLERİ.....	24
5.3. DENEYDE KULLANILAN KESİCİ TAKIM ÖZELLİKLERİ	25
5.4. DENEYDE KULLANILAN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI..	26
5.5. KULLANILAN SOĞUTMA SIVISI.....	27
5.6. DENEYDE KULLANILAN PENS AMPERMETRE CİHAZI	28
5.7. DENEYDE KULLANILAN TEKER TİPLERİ TEKNİK ÖZELLİKLERİ..	28
5.7.1. Teker Tipi A	28
5.7.2. Teker Tipi B.....	29
5.7.3. Teker Tipi C.....	30
5.8. DENEY TASARIMI	30
BÖLÜM 6	31
BULGULAR VE TARTIŞMA	31
6.1. KESME ENERJİSİ HESABI VE ANALİZİ.....	35
6.2. ENERJİ HESAPLAMALARI.....	38
BÖLÜM 7	41
SONUÇLAR	41
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.1. Parçanın işlem yüzeyi.....	14
Şekil 4.2. Döküm kütük.....	16
Şekil 4.3. Yuvarlak kütüklerin kesilmesi işlemi.....	17
Şekil 4.4. Dövme sıcaklığına kadar fırınlama.	17
Şekil 4.5. Yüksek basınçlı su ile tufal giderme.	18
Şekil 4.6. Preste ön şekil verme işlemi.....	18
Şekil 4.7. Preste ara şekil verme işlemi.....	19
Şekil 4.8. Haddeleme işlemi.....	19
Şekil 4.9. Ölçü kontrolü.....	20
Şekil 4.10. Ara stok istif sahası.....	20
Şekil 4.11. Tornalama işlemi.	21
Şekil 4.12. Paketleme aşaması.	21
Şekil 5.1. ER6-ER7-ER8 Kimyasal Özellik tablosu.	24
Şekil 5.2. VDM 1600 dik torna tezgâhı.....	24
Şekil 5.3. 3209M0SN kesici uç görseli.	25
Şekil 5.4. MarSurf PS 10 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı görseli.....	26
Şekil 5.5. MarSurf PS 10 taşınabilir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı görseli. Deney aşaması.	27
Şekil 5.6. Deneyde kullanılan pens ampermetrenin görseli.	28
Şekil 5.7. A tipi tekerlek.....	28
Şekil 5.8. B tipi tekerlek.	29
Şekil 5.9. C tipi tekerlek.	30
Şekil 6.1. S/N oranı grafiği.....	32
Şekil 6.2. S Yüzey pürüzlülüğü değer grafiği.	32
Şekil 6.3. İlerleme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği....	33
Şekil 6.4. İlerleme hızı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği.	34
Şekil 6.5. Kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği.....	34
Şekil 6.6. İşlem parametrelerinin S/N oran grafiği.....	36
Şekil 6.7. İşlem parametrelerinin akım değer grafiği.	36
Şekil 6.8. Kesme derinliği ve kesme hızının akıma etki grafiği.....	37

Şekil 6.9. Kesme derinliği ve ilerleme hızının akıma etki grafiği 38

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1. VDM 1600 dik torna tezgâhı teknik özellikleri.	25
Çizelge 5.2. 3209M0SN kesici uç teknik verileri.	26
Çizelge 5.3. MarSurf PS 10 taşınabilir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı teknik özellikleri.	27
Çizelge 5.4. Teker tipi A teknik özellikleri.....	29
Çizelge 5.5. Teker tipi B teknik özellikleri.....	29
Çizelge 5.6. Teker tipi C teknik özellikleri.....	30
Çizelge 5.7. Farklı seviyeler için parametre değerleri.	30
Çizelge 6.1. Taguchi L9 deney tasarımı, yüzey pürüzlülük ve S/N oranı değerleri. .	31
Çizelge 6.2. Yüzey pürüzlülüğü S/N yanıt tablosu.....	33
Çizelge 6.3. Akım ve S/N değerleri.	35
Çizelge 6.4. Akım S/N yanıt tablosu.....	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: amper
dk	: dakika
E	: enerji
h	: saat
I	: akım
J	: joule
mm	: milimetre
P	: power (W)
Ra	: yüzey pürüzlülüğü (μm)
rpm	: devir
t	: zaman (saniye)
V	: volt

KISALTMALAR

CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
AWS	: American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluğu)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
IIW	: International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
TS	: Türk Standardı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Mekanik işleme, bir malzemenin şekil verilmesi veya yüzey işleme işlemi sırasında mekanik kuvvetlerin kullanılmasıdır ve endüstride kullanılan imalat yöntemlerinin başında gelmektedir. Mekanik işleme sırasında tüketilen enerji endüstride ortaya çıkan enerji arzında önemli bir paya sahiptir. Ayrıca tüketilen enerji bu imalat işlemlerinde ortaya çıkan nihai ürünlerin ana maliyet kalemlerinde önemli bir kalem olarak önümüze çıkmaktadır. Buna ilaveten, günümüzde yaşanan yoğun enerji talebi ve tüketimi yeni enerji kaynaklarından yararlanma çalışmalarının araştırılmasına neden olmakla birlikte mekanik işleme gibi yoğun enerji tüketimi olan sistemlerdeki iyileştirme, geliştirme, optimizasyon ve enerji verimliliği çalışmalarının yapılmasına da temel oluşturmaktadır. Yapılan imalat işlemlerinde enerji verimliliğinin ön planda tutulması, işlemin sürdürülebilirliği ve ekonomikliği için önemlilik arz etmektedir.

Yukarıda imalat işlemlerindeki payı anlatılan enerji verimliliği kavramı, bir üretim sırasında ürün başına harcanan enerji tüketiminin azaltılmasını ifade eder. Mekanik işleme sırasında incelenen enerji verimliliği, kullanılan makinelerin tasarımına, işletme parametrelerine ve kullanılan kesme araçlarına bağlıdır. Metal malzeme işleyen endüstriyel tesisler için malzemenin yüzey pürüzlülüğü ve kalitesi ile ilgili parametreler önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu parametreler özellikle mekanik parçaların davranışlarını belirleme noktasında yol göstericidir. Dolayısıyla talep edilen yüzey kalitesini elde etmek, mekanik parçaların işlevsel davranışı için büyük önem taşır.

Mekanik işleme sürecinde yer alan maliyet ve verimliliğe ilişkin proses basamaklarındaki çeşitli uygulamaların, ölçümlerin optimize edilmesine ilişkin birçok çalışma olmasına rağmen, üretim hattındaki enerji kullanımının optimizasyonu yeteri kadar incelenmemiş ve göz ardı edilmiştir. Mekanik işleme

işlemlerindeki enerji tüketimini ve verimliliğini iyileştirmek, günümüzde yaşanan küresel ısınma vb. çevresel faktörler üzerinde de olumlu etkiler oluşturabilecektir. Bu işlemlerdeki enerji tüketimi azaltılabilir ve performanslar kayda değer bir şekilde artırılabilir. Ayrıca, birçok ürün gamında mekanik işleme sürecinin uygulanmasından dolayı, üretim ve imalat sistemlerinin enerji verimliliğinin ve performansının artırılması, ürün üretim süreçlerinin maliyetlerinde de önemli bir düşüş sağlayabilir.

Bu hususlar dahilinde yapılan çalışmada farklı tipteki tren tekerleklerinin işlenmesi sırasında tüketilen enerji üzerindeki etkin parametrelerin saptanması ile birlikte Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılarak farklı tren tekeri tiplerinin işlenmesinde kesme parametrelerine bağlı olarak enerji tüketiminin optimize değerlerinin elde edilmesi amaçlanmaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Enerji ihtiyacının dışarıdan karşılanması ülkelere maddi olarak büyük yükümlülükler getirmektedir. Küresel çapta enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu fosil yakıtlar olan petrol ve doğalgazdan karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıtların kullanımı doğal dengeyi bozması sebebiyle insan yaşamını ciddi oranda tehdit etmektedir. Ayrıca doğal dengeyi bozması sebebiyle doğadaki diğer canlıların da yaşamlarında olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Ülkemizde enerji ihtiyacının %70 gibi bir oranı dış kaynaklardan sağlandığı için bu durumun sanayi ve kalkınma faaliyetlerinde sorun yaratmaması için, küresel ısınmayı azaltmak ve doğal dengeyi korumak için enerjinin verimli kullanılması önem arz etmektedir. Enerji kullanımında israfın önlenmesi neticesinde yıllık %30'lara varan enerji tasarrufu sağlanabileceği tahmin edilmektedir.

Gelişmiş ülkelerde enerji tüketiminin büyük bir çoğunluğu sanayi sektörü tarafından gerçekleştirilir. Türkiye'de enerji tüketiminin yaklaşık %43'ü sanayi sektöründe gerçekleşmektedir. Bu nedenle enerji tasarrufu için yapılan ilk çalışmalar da yine bu sektör için yapılmıştır [3]. Metal işleme işlemlerinde kullanılan takım tezgahlarında sağlanabilecek enerji verimliliği, işleme sistemlerinin çevreye olan etkilerini de önemli oranda azaltabilir. Takım tezgahlarında kullanılan çeşitli elektriksel ekipmanlarla enerji tüketimi sürekli olarak izlenebilmekte ve yapılan tasarruf oranları raporlanabilmektedir. Ancak bu ekipmanlar maliyetli olduğu için uygulama maliyetini düşüren bir yaklaşım gereklidir [4]. Bhushan yöntemi ile CNC tezgahlarında elektrik tüketiminin azaltılması ve takım ömrünün uzatılması hedeflenmiştir. CNC'lerin çalışma parametrelerinde yapılan değişiklikler ile (hız, radyus, derinlik vb.) güç tüketiminin %13.55 azaltılabildiği, takım ömrünün %22.12 oranında artırılabilirdiği ispatlanmıştır [1, 2].

Carmita Camposeco-Negrete, AISI 6061 T6 alaşımının işlenmesi sırasında enerji tüketimini azaltmak için parametreleri optimize etmişlerdir. Kullanılan makinanın kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi parametreleri olarak A/N, Ortogonal dizi ve ANOVA gibi yaklaşımlar kullanmışlardır. İlerleme hızı verimlilik için en önemli faktör olmasına rağmen yüzey pürüzlülüğünde minimum seviye sağlanamamıştır [5].

Zhou ve arkadaşları, hızı artırmak ve tüketimi azaltmak için kesme parametresi optimizasyon modelini önermişlerdir. Tezgahın teknik özellikleri, kapasitesi, takım ömrü, yüzey kalitesi ve boşa harcanan enerji faktörleri dikkate alınmıştır. Yapılan optimizasyon modellemesi için bir algoritma kullanılmış, sonuçlar incelenmiştir. Yöntemin doğruluğunu ispatlamak için Taguchi ilkeleri uygulanmıştır [6].

Kant ve Sangwan en verimli işleme değerlerine ulaşmak için temel bileşen analizi ve tepki yüzey metodolojisi ile harmanlanmış gri ilişkisel analiz kullanılarak elektrik enerjisi tüketimi ve yüzey kusurlarının minimum seviyeye indirilmesini amaçlamıştır. Tezgah parametreleri olarak hız ve derinlik dikkate alınmıştır. Testler sonucunda %6.59 oranında enerji tüketimi azalmış, %2.65 oranında yüzey kalitesinde artış sağlanmıştır [7].

Hanafi ve arkadaşları, susuz ortamda TİN takımları ile PEEK-CF30 malzemesi için kesme parametreleri ile gri ilişkisel teori ve Taguchi optimizasyon yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntem ile amaçlanan minimum güç, maksimum yüzey kalitesinin tespiti amaçlanmıştır. Bu hedef doğrultusunda derinlik (%44,54), hız (%36,14) ve besleme oranında (%6,39) artış sağlanmıştır [8].

Fratila ve Caizar, AlMg3 malzemesini HSS takımı ile en verimli şekilde işlemek için Taguchi metodolojisini uygulamışlardır. Bu yönetimin yüzey verimine etkisine bakmak için Anova yöntemini uygulamışlardır. Sonuç olarak, genel bir kazanç sağlamak için güç tüketimini azaltmak, takım ömrünü artırmak, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak, maksimum besleme hızına ulaşmak mümkün görülmüştür [9].

Sarıkaya ve Güllü, AISI 1050 malzemesinin tornada işlenmesi sırasında tezgah soğutması, kesme ve ilerleme hızı, kesme derinliğinin yüzey kusurlarına etkisini araştırmak için RSM matematiksel modelini kullanılmıştır. ANOVA yöntemine göre elde edilen verilere dayanarak besleme hızı ve soğutma koşullarının yüzey kusurlarına yüksek oranda etki ettiği görülmüştür. Ra'yı en çok etkileme katsayısına sahip parametreler ilerleme hızı %68.68 , soğutma parametresi de %16.90 oranında olmuştur. Rz en çok %77.5 ile ilerleme hızından etkilenmiştir. Yapılan deneyler neticesinde yüzeyde %2.72 ile %7.14 oranları arasında sapma olduğu saptanmıştır [10].

Li ve ekibi, çeşitli tezgâhları içeren farklı işleme süreçlerinin sabit enerji tüketimini incelemiş ve işleme sırasında sabit güç taleplerini bileşen bazında ölçerek her tezgâhın enerji dağılımını karşılaştırmışlardır [11].

Bağcı ve Özçelik, Taguchi yöntemi ile tezgahların kesme parametre değerlerinde optimizasyon yapabilmek için matkap ucu sıcaklığının etkileri üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalar bu yöntemin deneysel tasarımlarda güçlü bir yaklaşım olduğunu ortaya çıkarmıştır [12].

Okwudire ve Rodgers, takım tezgahlarında enerji ve takım verimliliği için hibrit besleme tahrik sistemi önermişlerdir. Minimum elektrik tüketimi ve hız için doğrusal motorlu direk tahrik kullanmışlardır [13].

Abele ve arkadaşları, bir üretim sürecinde tüketim değerlerini tahmin etmek için bir simülasyon modellemesi önermişlerdir. Tezgahların bileşenleri arasında bulunan enerji etkileşimleri modellenmiştir. Bu modellemeye göre ise toplam elektrik enerjisi tüketimi tahmin edilmeye çalışılmıştır [14].

BÖLÜM 3

TAGUCHİ METODU

Taguchi metodu, Japon mühendis Genichi Taguchi tarafından geliştirilen bir kalite kontrol yöntemidir. Bu yöntem, üretim sürecindeki kalite problemlerini çözmek ve ürün kalitesini artırmak için tasarlanmıştır. Taguchi metodu, üretim sürecindeki çeşitli faktörlerin (örneğin, malzeme, işleme parametreleri, makineler, insan faktörü vb.) etkisini değerlendirerek, optimal parametre ayarlarını belirlemeye çalışır. Bu nedenle, Taguchi metodu, ürün kalitesini iyileştirmek için en uygun işleme parametrelerini belirleyerek üretim sürecinin istikrarını artırır. Taguchi metodunda proses tasarımı basamakları olarak kabul edilen üç kalite aşaması, sistem, tolerans ve parametre tasarımları aşağıda verilmiştir.

3.1. SİSTEM TASARIMI

Sistem tasarımı, bir sistem veya sürecin belirli bir amaca yönelik olarak tasarlanması işlemidir. Bu tasarım sürecinde, sistemin gereksinimleri belirlenir ve farklı bileşenler veya parçalar bir araya getirilerek sistemin amaçlarına uygun olarak tasarlanır. Sistem tasarımı, performans, kalite, maliyet ve güvenilirlik gibi faktörleri optimize etmek için stratejik yaklaşımlar kullanılabilir.

3.2. PARAMETRE TASARIMI

Parametre tasarımı, bir sistemin performansını veya özelliklerini optimize etmek için tasarlanmış parametrelerin belirlenmesi ve ayarlanması işlemidir. Bu tasarım sürecinde, sistemin belirli performans ölçütleri veya hedefleri belirlenir ve bu hedeflere ulaşmak için gerekli olan parametreler belirlenir. Parametreler genellikle deneyler, simülasyonlar veya matematiksel modeller yoluyla belirlenir. Parametre

tasarımı, ürün kalitesi, verimlilik, güvenilirlik, maliyet ve sürdürülebilirlik gibi faktörleri optimize etmek için kullanılabilir.

3.3. TOLERANS TASARIMI

Tolerans tasarımı kullanımına genellikle parametre tasarımında istenilen verilere ulaşılmadığında başvurulur. Tolerans tasarımında deneye etki eden faktörler daha dar aralıklarda belirlenir ve sonuçlar daha bilgi vericidir. Tolerans tasarımında pahalı ve iyi bileşenler kullanılır. Bu sebeple tolerans tasarımı maliyeti artırmaktadır. [18, 20].

Taguchi, istenilen kalite karakteristiğini belirlemek için sinyal-gürültü (S/N) oranını kullanmıştır. Ölçülebilen değer standart sapma yerine kullanılmıştır. Bu değer (S/N) oranı olarak belirlenir. [10] [16]. S/N oranı en temel haliyle, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) oranını ifade eder. Pratikte, hedef geliştirme değeri süreç gelişimi aşamasında değişebilir. S/N oranı kavramının faydalı olduğu iki uygulama, değişkenliğin azaltılması ve kalitenin geliştirilmesi için ölçümün iyileştirilmesidir. Sürekli bir karakteristik söz konusu olduğunda, S/N oranı özellikleri üç farklı kategoride incelenir. [21]:

En düşük en iyi olduğu durumda:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3.1)$$

Problemde, hedef değer Y'nin sıfır olmalıdır. Küçük değer en ideal sinyal/gürültü oranını verir. Örnek yüzey pürüzlülüğü, çalışan malzeme aşınması ve proses arızası vb. [22].

En yüksek (büyük) en iyi olduğu durumda:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.2)$$

Bu durumda, Y'nin değeri negatif olmayan bir ölçülebilir özelliği temsil eder ve ideal bir hedef olarak sonsuzdur. Sinyal/gürültü oranının en büyük değeri, en iyi durumu ifade eder. Örneğin, güç ve verim gibi faktörler bu duruma örnek olarak verilebilir. [22].

En iyi nominal şart,

$$\frac{S}{N} = 10 \log \left(\frac{\bar{y}}{s^2 y} \right) \quad (3.3)$$

Bu durumda, ikili toleransa sahip bir karakteristik olduğunda nominal değer hedef olarak kabul edilir. Yani, tüm parçalar bu değere getirildiğinde, varyasyon sıfır olur ve en optimal durumu temsil eder. Hedef değer, sinyal/gürültü oranının en iyi durumunu ifade eder. Örneğin, ürün boyutları gibi faktörler buna örnek olarak gösterilebilir [22]. \bar{y} ifadesi gözlemlenen verilerin ortalamasını temsil eder, $s^2 y$ ise 'y' verilerinin varyansını gösterir. 'n' gözlem sayısını ifade eder. [10, 23, 24, 25].

Kalite karakteristiği türünden bağımsız olarak, S/N oranının yüksek olması kalite özelliklerinin yüksek olması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla proses değerlerinin en uygun seviyesi en yüksek S/N oranına sahip seviyedir.

3.4. TAGUCHİ METODU AKIŞ ŞEMASI

Taguchi Methodunun akış şeması şu şekildedir:

- Problemin Belirlenmesi: İlk olarak, problemin belirlenmesi gereklidir. Bu aşamada, neyin optimize edilmesi gerektiği ve hangi faktörlerin bu optimizasyona en çok etki ettiği belirlenmelidir.
- Deney Planının Tasarlanması: Deney planı, sistemdeki değişkenlerin hangilerinin kontrol edileceğini ve hangilerinin kontrol edilemeyeceğini belirler. Deney planı, faktörlerin hangi seviyelerinde çalışılacağını ve hangi sırayla test edileceğini belirleyen bir matris içerir.

- DeneYlerin Gerçekleştirilmesi: DeneY planı doğrultusunda deneYler gerçekteştirilir ve veriler toplanır.
- Verilerin Analizi: Veriler analiz edilir ve performansın hangi faktörlere bağlı olduğu belirlenir.
- Parametrelerin Optimizasyonu: Parametrelerin optimize edilmesi için analiz sonuçlarına dayalı olarak öneriler yapılır.
- Sonuçların Doğrulanması: Sonuçların doğrulanması için deneYler tekrarlanır ve sonuçlar karşılaştırılır.
- Prosesin Uygulanması: En iyi performansı veren parametrelerin seçilmesi ve sürekli olarak uygulanması sağlanır.

BÖLÜM 4

TREN TEKERİ VE TALAŞLI İMALAT

4.1. TREN TEKERİ

Tren tekeri, ray üzerinde hareket eden trenin taşıyıcı tekerlekleridir. Tren tekerleri, yüksek mukavemetli çeliğin dövme veya döküm yöntemleriyle imal edilmesi ile elde edilir. Bu tekerler, aşınmaya ve korozyona karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanır ve ayrıca yüksek mukavemet ve sertliğe sahiptirler. Tren tekerleri, farklı tiplerde ve boyutlarda olabilirler. Trenlerde kullanılan tekerlerin boyutları, özellikle trenin hızına ve yüksekliğine bağlıdır. Tren tekerleri genellikle çelik jantlar üzerine kauçuk kaplama ile kaplanır. Bu kaplama, gürültüyü azaltmak ve trenin titreşimini emmek için kullanılır.

Tren tekerleri ayrıca yuvarlanma direncini azaltmak ve güvenliği arttırmak için tasarlanmıştır. Bazı tekerlerde özel profiller kullanılarak, tekerleklerin ray üzerinde daha güvenli bir şekilde hareket etmeleri sağlanır. Ayrıca, tren tekerleri, raydaki eğimli kısımları aşarken dönme yeteneğine sahip olacak şekilde tasarlanır. Tren tekerlerinin imalatı oldukça hassas bir işlemdir. Tekerlerin çapı, yüzey kalitesi ve döndürme hassasiyeti çok önemlidir. Tekerlerin imalatında CNC tezgahlarının kullanımı yaygındır. Ayrıca, tekerlerin test edilmesi de önemlidir. Tekerlerin statik ve dinamik testlerden geçirilerek, yüksek hızlarda ve aşırı yük altında nasıl davrandıkları belirlenir.

4.2. TALAŞLI İMALAT

Talaşlı imalat, metal ve benzeri malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılan önemli bir imalat yöntemidir. Bu yöntem, genellikle döner bir kesici takımın kullanıldığı makineler aracılığıyla malzemenin işlenmesini içerir. Talaşlı imalat, endüstriyel

üretimde özellikle metal parçaların üretimi için yaygın olarak kullanılan bir teknoloji olup, çeşitli sektörlerde birçok uygulamada önemli bir rol oynamaktadır.

Talaşlı imalat, metal veya diğer materyallerin işlenmesi esnasında talaş denilen küçük parçacıkların çıkarılmasını içeren bir üretim sürecidir. Bu işlemler genellikle tornalama, frezeleme, delme, taşlama gibi yöntemleri içerir. Malzemenin şekillendirilmesi, kesilmesi veya yüzeyinin düzeltilmesi amaçlanır.

Talaşlı imalat süreci, aşağıdaki adımları içerir:

Malzeme Seçimi: İlk adım, işlenmesi planlanan malzemenin belirlenmesidir. Genellikle metaller, plastikler, kompozit malzemeler ve benzeri katı malzemeler talaşlı imalat için uygundur.

İş parçasını Tutmak: Malzeme, iş parçasının sabitlenmesi ve işleme için uygun bir konumda tutulması için özel aparatlar veya tezgahlar üzerine yerleştirilir.

Kesici Takım Seçimi: İstenen sonucu elde etmek için uygun kesici takım seçilir. Torna tezgâhları için farklı, freze tezgâhları için farklı kesici takımlar kullanılır.

İşleme Parametrelerin Ayarlanması: İlerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliği işlem değerleri belirlenir ve ayarlanır. Bu parametreler, iş parçasının özelliklerine, malzeme türüne ve işleme yöntemine göre değişiklik gösterir.

İmalat İşlemi: Kesici takım, malzeme üzerinde döner veya hareket ederken talaşları oluşturur. Bu talaşlar, iş parçasının şeklini ve ölçülerini alarak istenen sonuca ulaşılmasını sağlar.

Finansal İşlemler: İmalat sürecinin tamamlanmasının ardından, iş parçası genellikle bir dizi finansal işleme tabi tutulur. Kalite kontrol, ölçüm, yüzey işlemleri gibi adımlar bu aşamada gerçekleştirilir.

Talaşlı imalatın avantajları arasında yüksek hassasiyet, geniş malzeme yelpazesi, seri üretim yeteneği ve çeşitli uygulamalara uygunluğu bulunmaktadır. Bu yöntem, otomotiv, havacılık, savunma sanayi, tıbbi cihaz üretimi ve birçok endüstriyel sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Talaşlı imalatın sürekli olarak gelişen teknolojisi, daha etkili ve verimli üretim süreçlerine olanak tanımaktadır.

4.2.1. Talaşlı İmalat ve Çeşitleri

Talaşlı imalatın farklı yöntemleri vardır. Bu yöntemler tornalama ile talaşlı imalat, frezeleme ile talaşlı imalat, matkapla delme ile talaşlı imalat, dişli ile talaşlı imalat ve taşlama ile talaşlı imalat olarak çeşitlendirebiliriz.

Talaşsız imalat ise yapılan işlemde malzemenin kütlesini koruyan bir yöntemdir. Döküm, plastik şekillendirme, toz metalürjisi, hızlı prototipleme ve kaynakla birleştirme gibi süreçleri içerir.

Talaşlı imalat çeşitlerinden biri de tornalamadır. Tornalama, bir döner torna tezgahı kullanılarak bir iş parçasının döndürülerek üzerinde işlem yapılması ile şekillendirilmesi işlemidir.

Tornalama işlemi, genellikle silindirik veya konik şekilli parçaların üretilmesinde, metal, plastik, ahşap gibi malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Torna tezgâhları, iş parçasının döndüğü bir mil üzerine sabitlenmiş olan kesici takımın iş parçasını şekillendirmesi prensibine dayanır. Tornalama işlemi, dış çap işleme, iç çap işleme, yüzey işleme, diş açma gibi farklı işlemler için kullanılabilir. Tornalama işlemi hassas işlemler için de uygundur ve genellikle seri üretimde kullanılır. Geleneksel tornalama işlemi manuel olarak gerçekleştirilirken, günümüzde bilgisayar kontrollü torna tezgâhları kullanılmaktadır. CNC torna tezgâhları, işlem yapılacak iş parçasının boyutları, şekli ve işlem türüne göre programlanabilir ve otomatik olarak işlem yapabilir. Bu da daha hassas ve tekrarlanabilir sonuçlar sağlar ve işlem süresini kısaltır.

4.2.2. Talaşlı İmalatta Yüzey Kalitesi

Yüzey kalitesi işlenmiş parçanın veya malzemenin yüzey düzgünlüğü, pürüzsüzlüğü ve istenilen özelliklere sahip olma durumudur. Talaşlı imalat süreçleri sırasında elde edilen yüzey kalitesi, kullanılan işleme yöntemlerine, kesici takımların özelliklerine, işleme parametrelerine ve malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Yüzey kalitesinin önemli parametresi Ra (ortalama pürüzlülük) değeridir. Ra, aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değeridir.

İşlenmiş bir yüzeyin pürüzlülüğü, bir dizi faktör tarafından etkilenebilir. Bu faktörlerden bazıları şunlardır:

Kesme Koşulları: Kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve kullanılan kesme akışkanı gibi kesme koşulları, işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğünü etkiler. Daha yüksek kesme hızları ve ilerleme miktarları genellikle daha pürüzlü yüzeylere neden olabilir.

Kullanılan Takım ve Kesici Uç: Takım malzemesi, kesici uç geometrisi ve aşınma durumu, işlenen yüzeyin pürüzlülüğünü etkileyen önemli faktörlerdir. Yeni ve keskin takımlar genellikle daha düzgün yüzeyler sağlar.

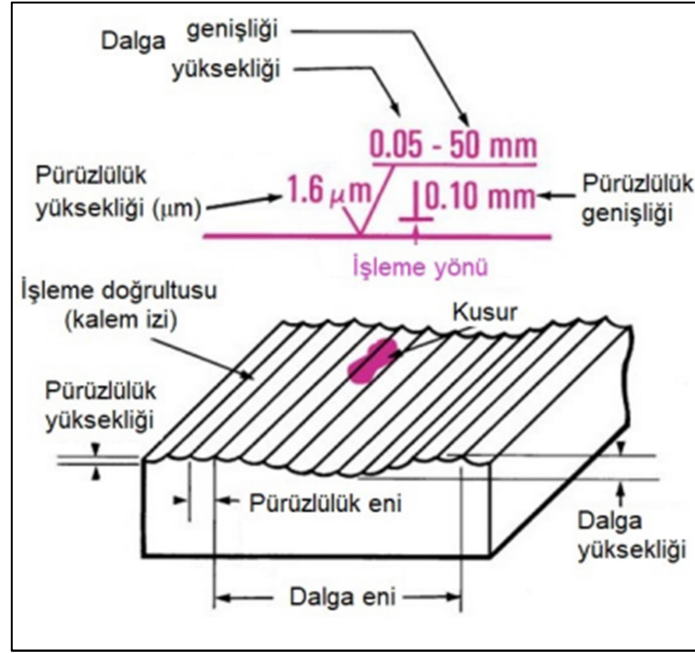
İş Parçası Malzemesi: İşlenen malzemenin cinsi, yüzey pürüzlülüğünü belirleyen bir faktördür. Farklı malzemeler farklı pürüzlülük özelliklerine sahip olabilir.

Soğutma ve Yağlama: İşleme sırasında kullanılan soğutma ve yağlama sistemleri, sıcaklık kontrolü sağlayarak ve takımın performansını etkileyerek pürüzlülüğü etkiler.

İşleme Tipi: Farklı işleme yöntemleri, yüzey pürüzlülüğünü etkiler. Örneğin, frezeleme, tornalama, taşlama gibi işleme yöntemleri farklı pürüzlülük sonuçlarına yol açabilir.

İş Parçasının Geometrisi: İş parçasının şekli ve tasarımı da pürüzlülüğü etkiler. Özellikle iş parçasının şekli ve konfigürasyonu, kesme koşullarını ve takım performansını etkileyebilir.

İşlenmiş yüzey pürüzlülüğü, genellikle bu faktörlerin kombinasyonu sonucu ortaya çıkar. İdeal bir pürüzlülük düzeyi, iş parçasının ve uygulanan işlemin gereksinimlerine bağlı olarak değişebilir.



Şekil 4.1. Parçanın işlem yüzeyi.

Torna tezgahlarında kullanılan "kesme hızı," tornanın iş parçasını döndürme hızı ve kesici takımın ilerleme hızının çarpımıdır. Kesme hızı genellikle birimi metre/saniye (m/dk) veya feet/dakika (ft/min) cinsinden ifade edilir. Kesme hızı, işlenen malzemenin cinsi, kesici takımın malzemesi ve işleme koşulları gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir.

$$V_c = \frac{\pi D n}{1000} \quad (3.4)$$

$$n = \frac{V_c 1000}{\pi D} \quad (3.5)$$

İlerleme hızı, yüzey işleme esnasında yüzey üzerinde işleme yapan takımın yüzey üzerinde yaptığı hızdır. İlerleme hızı V_f (mm/dak) veya f (mm/dak) olarak ifade edilir. Burada ilerleme f , takımın bir devirde yaptığı ilerlemedir.

$$V_f = f \cdot n = f_z \cdot n \cdot z \quad (3.6)$$

İlerleme hızları, işlenen yüzeylerin işleme kalitesi ve işleme süresi açısından kritik bir rol oynayan önemli bir faktördür. [28].

4.2.3. CNC Torna Tezgâhı ve Dikey İşleme Merkezi

CNC torna tezgâhları, bilgisayarlı sayısal kontrol (CNC) teknolojisi kullanarak otomatik olarak malzeme işleyen torna tezgahlarıdır. Bu tezgahlar, iş parçasını tutan bir mandrele monte edilmiş bir çubuk veya plaka şeklindeki malzemeyi işleyerek metal parçalar üretirler. CNC torna tezgâhları, işlemci kontrollü motorlar ve hassas ölçü aletleri kullanarak iş parçasını çeşitli şekillerde keserler ve şekillendirirler. CNC torna tezgâhları, farklı boyutlarda, şekillerde ve kapasitelerde üretim yaparlar. Bazı CNC torna tezgâhları, sadece küçük parçalar için uygunken, diğerleri daha büyük ve karmaşık parçalar için kullanılır. Torna tezgahlarının kapasiteleri, işlem yapabilecekleri malzeme boyutu, ağırlık ve şekline göre farklılık gösterir.

Bazı CNC torna tezgâhları, yalnızca bir iş parçasının dış çapını işleyebilirken, diğerleri iş parçasının iç çapını da işleyebilir. Ayrıca, bazı tezgahlar, frezeleme işlemleri de dahil olmak üzere, diğer işleme işlevlerini de yerine getirebilirler.

CNC torna tezgâhları, otomotiv, havacılık, savunma, tıbbi ekipmanlar, saatçilik ve diğer endüstrilerde yaygın olarak kullanılır. CNC teknolojisi sayesinde, iş parçalarının daha yüksek hassasiyetle ve daha hızlı bir şekilde üretilmesi mümkün hale gelmiştir.

Dikey işleme merkezi, işleme işlemlerinin dikey olarak gerçekleştirildiği bir tür CNC işleme makinesidir. Bu tür makineler, iş parçasını sabitlemek için bir tabla kullanır ve kesme aracı, dikey olarak iş parçasına yaklaşarak kesme işlemini gerçekleştirir.

Dikey işleme merkezleri, malzeme kaldırma kapasitesi ve üretkenlikleri nedeniyle büyük boyutlu ve ağır parçaların işlenmesi için özellikle uygundur. Bu makineler, otomotiv, havacılık, savunma sanayi gibi birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Dikey işleme merkezleri, farklı işleme işlevlerine sahip birçok çeşit ve modelde üretilmektedir. Bazı modeller, sadece frezeleme işlemleri için kullanılabilirken, diğerleri hem frezeleme hem de delme işlemleri yapabilirler. Ayrıca, çeşitli işlem hacimleri, mil hızları, kesici takımlar ve diğer özelliklerle de farklılık gösterirler.

4.3. TREN TEKERİ ÜRETİMİ

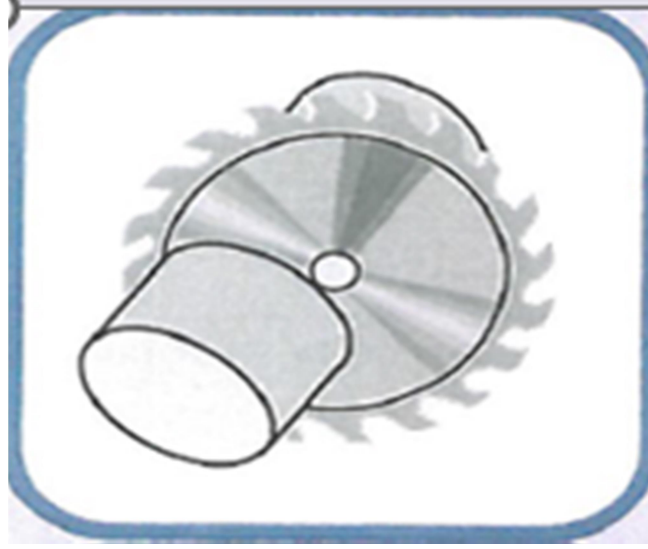
Tren tekerleri genellikle karmaşık bir üretim sürecinden geçer ve özel tasarım ve malzeme özellikleri gerektirir. Genel bir tren tekeri üretim süreci sırasıyla malzeme seçimi ile başlar. Tren tekerleri genellikle özel alaşımlı çelik veya dökme demir gibi dayanıklı malzemelerden üretilir. Bu malzemeler, yüksek mukavemet, aşınma direnci ve uzun ömür sağlamak için seçilir. Malzeme seçimi yapıldıktan sonra üretim aşamaları şöyle gerçekleşmektedir. Üretilecek tren tekeri ölçülerine ve ağırlığına göre Ø360, Ø380 çapında 6mt boyunda ER6-ER7-ER8 kalitesine sahip Şekil 4.2’de görülen kütük dökümü ile başlar.



Şekil 4.2. Döküm kütük.

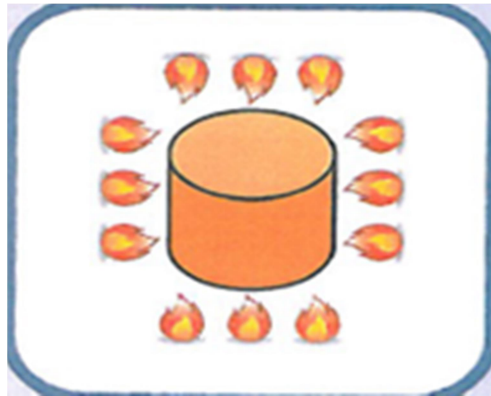
Malzeme döküm işi tamamlandıktan sonra istenilen çaptaki kütükler tren tekeri üretim fabrikasına istif sahasına nakliyesi gerçekleştirilir. İstif sahasındaki kütükler

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi Ø380x570 mm ebatlarında testere bölgesinde kesilir. Bu ölçüler üretilecek tekere göre değişkenlik gösterebilir.

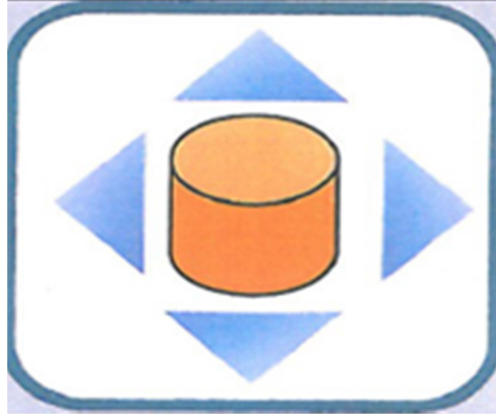


Şekil 4.3. Yuvarlak kütüklerin kesilmesi işlemi.

Kesilen kütükler tavlama fırınına gönderilir. Bu fırınların sıcaklıkları 1200°C-1400°C civarındadır. Malzeme fırında 6-7 saat boyunca tavllanır. Tavlama işlemi sonunda malzeme sıcaklığı 1250°C civarındadır. Tavlanan malzeme Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de görüldüğü gibi şekillendirme işlemi için fırından alınır tufal giderme işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 4.4. Dövme sıcaklığına kadar fırınlama.



Şekil 4.5. Yüksek basınçlı su ile tufal giderme.

Tufal giderme işlemi gerçekleştirildikten sonra yüksek kapasiteli preslerin dövmesi ile teker formunu alma işlemi gerçekleştirilir. Bu presleme işlemi iki defa gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Preste ön şekil verme işlemi.



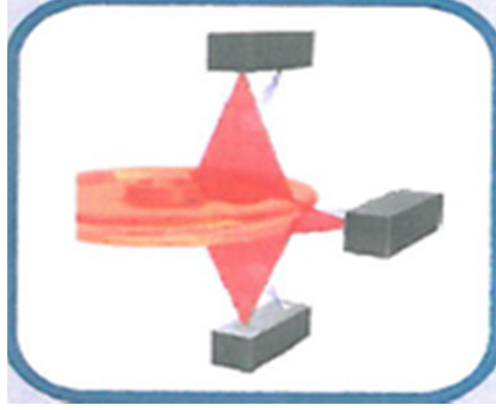
Şekil 4.7. Preste ara şekil verme işlemi.

Teker formunu almaya başlayan malzeme tekerin taslak nihai ölçülerini yakalaması için haddeleme işleminden geçer. Haddeleme işlemi, Şekil 4.8’de görüldüğü gibi tekerin tüm işlem yüzeylerinde gerçekleşir.



Şekil 4.8. Haddeleme işlemi.

Haddeleme işlemi tamamlandıktan sonra tekere son kaba nihai şeklini vermek göbek deliğini açmak için ikinci defa yüksek tonlu preslerden geçirilir. Bu aşamada tren tekerinin göbek delme işlemi de gerçekleştirilmektedir. Bu işlem devamında son presleme işi biten teker Şekil 4.9’de görüldüğü gibi ölçü kontrol cihazına getirilerek üç boyutlu bir şekilde ölçü kontrolleri yapılır.



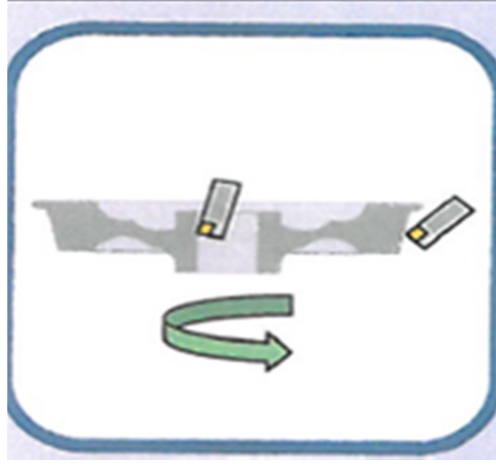
Şekil 4.9. Ölçü kontrolü.

Ölçü kontrolünden geçen tren tekeri temperleme ve su ile sertleştirmek için ısıtılma fırınlarına gönderilir. Burda bir dizi ısıtılma işlem ile tekerin istenilen sertliğe getirilmesi sağlandıktan sonra CNC torna atölyelerinde işleme aşamasına geçmesi için istif sahasına gönderilir. Şekil 4.9’de ara stok istif görülmektedir.



Şekil 4.10. Ara stok istif sahası.

İstif sahasında sırası gelen teker CNC torna tezgahlarında işlenmeye başlanır. Burada Şekil 4.11’de görüldüğü gibi CNC tezgâhları tren tekerini son nihai ölçüsüne kadar, istenilen toleranslarda tornalama işlemi gerçekleştirir.



Şekil 4.11. Tornalama işlemi.

Tornalama işleminden sonra istenilen ölçülere gelen tren tekeri test ve muayene hattına gönderilir. Bu hatta tren tekerinin belli standartlardan geçmesi gerekmektedir. Muayene hattında ultrasonik muayene, manyetik muayene, balans testi, kimyasal analiz testi, mekanik test, sertlik testi, ısıl işlem homojenlik testi, yüzey pürüzlülük testi, yorulma testi, kırılma tokluğu testi ve geometrik ölçümler testinden geçen teker paketlenme ünitesine gönderilir.



Şekil 4.12. Paketleme aşaması.

Test hattından sorunsuz çıkan tren tekerlekleri, nakliyesi kolay yapılması için hazırlanmış özel kasalara yüklenerek aşamasına geçilir. Bu kasalara yüklenmeden önce tekerlekler özel kimyasal maddelerle silinir. Sonra ki aşamada bekleme ve nakil aşamalarında korozyondan etkilenmemesi için özel yağlar ile bütün yüzeyler

kaplanır. Son aşamada ise özel kasalar ile paketlenip müşteriye gönderilme sürecine geçilir.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan deneysel çalışmada ER7 kalitesindeki malzeme VDM1600 marka dik CNC torna tezgâhı ile soğutma sıvısı kullanılarak tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Deneysel numunelerinin yüzey pürüzlülüğü değerleri mobil MarSurf PS 10 marka cihaz yardımıyla ölçülmüştür. Sistemin çektiği akım FLUKE 179 Cihazı ile ölçülmüştür. Alınan veriler doğrultusunda kalite geliştirme yöntemlerinden Taguchi yöntemi kullanılarak çıkan sonuçlar incelenmiş ve analizleri yapılmıştır. Enerji hesaplamaları yapılarak düşük enerji tüketimi ile en ideal yüzey kalitesine ulaşılmaya çalışılmıştır.

5.1. DENEYDE KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ

Deneyde ER 7 kalitesinde dokuz adet Ø380*571mm ebatlarında dairesel kesitli kütükler kullanılmıştır. Tren tekeri üretiminde genellikle üç farklı kalite malzeme kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla ER6 – ER7 – ER8 dir. ER6 malzemesi çelik kalitesi normalde yük vagonları için uygun değildir; bu kalite normal olarak düşük dingil yükü durumlarında uygulanır. ER7 malzemesi Yük trenlerinde ve yolcu trenlerinde kullanılmaktadır. ER8 malzemesi tüm yolcu araçları ve diğer teker tipleri için kullanılmaktadır. Şekil 5.1’ de ER6-ER7-ER8 malzemelerine ait Kimyasal Özellik tablosu görülmektedir.

Azami içerik, % ^a											
Çelik kalitesi	C	Si	Mn	P ^b	S ^{b,c}	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr+Mo+Ni
ER6	0,48	0,40	0,75	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50
ER7	0,52	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50
ER8	0,56	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50
ER9	0,60	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50

^a Özel uygulamalar için, bu değerlerin azami sınırlarındaki değişiklikler üzerinde anlaşılabilir.
^b Sipariş ve istek zamanında azami % 0,025'lik bir fosfor oranı üzerinde anlaşılabilir.
^c Hidrojen çatlamlarına karşı emniyet için, çelik yapım işlemine göre istek ve sipariş zamanında asgari bir kükürt muhtevası konusunda anlaşmaya varılabilir.

Şekil 5.1. ER6-ER7-ER8 Kimyasal Özellik tablosu.

5.2. DENEYDE KULLANILAN TAKIM TEZGÂHI ÖZELLİKLERİ

Deneyleerde, Şekil 5.2'de görseli verilmekte olan VDM 1600 dik torna tezgâhi kullanılmıştır. Tezgahla ilgili teknik özellikler Çizelge 5.1'de verilmiştir.



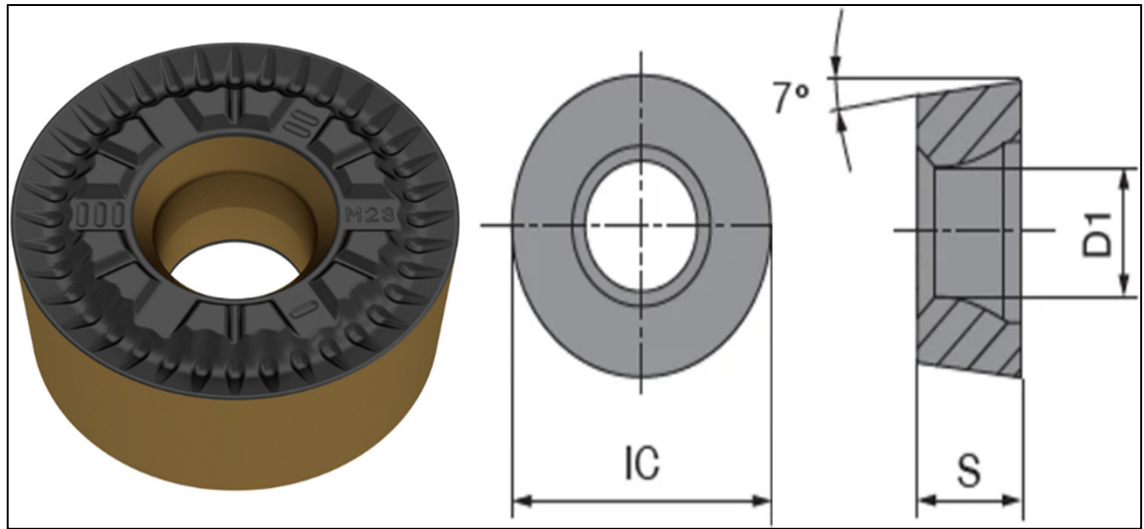
Şekil 5.2. VDM 1600 dik torna tezgâhi.

Çizelge 5.1. VDM 1600 dik torna tezgâhı teknik özellikleri.

Parametreler	Birim	Değer
Dönme çapı	mm	1600
Maksimum dönüş çapı	mm	1800
İş parçası yüksekliği dahil sıkma cihazı	mm	900
Hızlı travers Z eksen	m/dakika	20
Hızlı travers X eksen	m/dakika	20
Çap ön yatağı	mm	800
Mil flanşı	DIN	6353
Mil kafası	size	ZA 1000
Maksimum güç (%40 görev döngüsü)	kW	165
Maksimum tork (%40 görev döngüsü)	Nm	49500
Maksimum hız	rpm	400
İstasyonlar	adet	8
Takım tutucu çapı (DIN 69880)	mm	60
Seçenek Y eksen		x
Boyutlar	m	8.8 x 5.4 x 4.6
Ağırlık	kg	4200

5.3. DENEYDE KULLANILAN KESİCİ TAKIM ÖZELLİKLERİ

VDM 100 dik torna tezgahında kullanılan kesici uç olarak RCMX 3209M0SN-M23 CTC10RW1 kullanılmıştır. Kesici ucun görseli Şekil 5.3'de, teknik verileri ise Çizelge 5.2'de verilmiştir. Her deneyde kesici uç takımları değiştirilmiştir.



Şekil 5.3. 3209M0SN kesici uç görseli.

Çizelge 5.2. 3209M0SN kesici uç teknik verileri.

Parametreler	Birim	Değer
Köşe yarı çapı, RE	mm	16
Kesici kenar yüksekliği, S	mm	9,52
Sabitleme deliği, D1	mm	900
İç teğet daire, IC	mm	20
Talaş kırıcı formu (ceratizit)	-	CBMD-M23
Kaplama/kalite (ceratizit)	-	COATNCTC25RW1

5.4. DENEYDE KULLANILAN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI

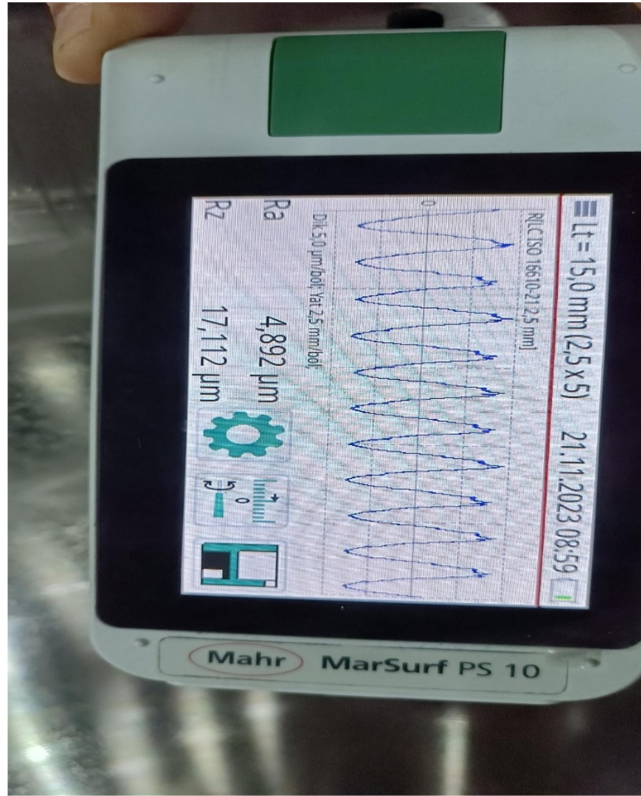
Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için mobil MarSurf PS 10 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Çihaza ait teknik özellikleri Çizelge 5.3'te ve görseli Şekil 5.4'te verilmiştir. Deneyde kullanılan numunelerin üç ayrı noktadan ölçüm alınmış ve ortalaması hesaplanmıştır.



Şekil 5.4. MarSurf PS 10 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı görseli.

Çizelge 5.3. MarSurf PS 10 taşınabilir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı teknik özellikleri.

Parametreler	Birim	Değer
Ölçüm aralığı	μm	Ra=0,05-10,0 Rz=0.1-50.0
Kesme uzunluğu	μm	0,25, 0,8 ve 2.5
İzleme uzunluğu	mm	6
Ölçüm uzunlukları	mm	1,25, 4,0 ve 12,5
Boyutlar	mm	160x77x50
Ağırlık	g	250
Çalışma sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$	0-40



Şekil 5.5. MarSurf PS 10 taşınabilir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı görseli. Deney aşaması.

5.5. KULLANILAN SOĞUTMA SIVISI

CNC torna tezgahlarında Castrol Hysol MB 50 marka soğutma sıvısı kullanılmaktadır. Bu soğutma sıvısı işleme esnasında malzemenin yanmamasını ve yüzey kalitesinin istenilen şekilde çıkarılmasını sağlamaktadır.

5.6. DENEYDE KULLANILAN PENS AMPERMETRE CİHAZI

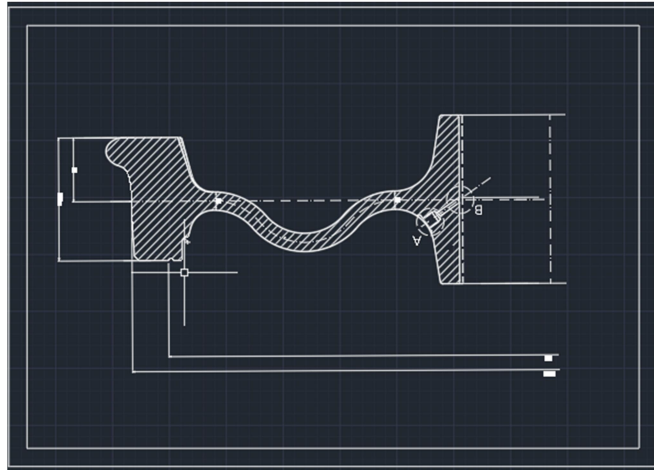
Dikey torna tezgâhı işleme esnasında çektiği enerjinin akımını ölçmek için FLUKE 179 marka pens ampermetre kullanılarak gerekli fazlar ölçülmüştür. Deneyde kullanılan FLUKE 179 marka ölçüm cihazının görseli Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Deneyde kullanılan pens ampermetrenin görseli.

5.7. DENEYDE KULLANILAN TEKER TİPLERİ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

5.7.1. Teker Tipi A

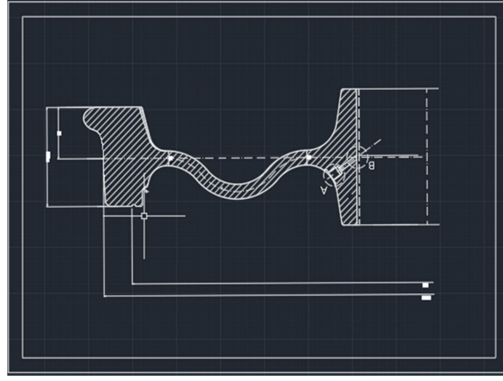


Şekil 5.7. A tipi tekerlek.

Çizelge 5.4. Teker tipi A teknik özellikleri.

Parametreler	Birim	Değer
Tip	-	-----
Çap	mm	920
Kalite	-	ER7
Dingil yükü	ton	22,5
Standart	-	EN 13262
Azami hız	km/h	120
Azami fren enerjisi	kW	50

5.7.2. Teker Tipi B

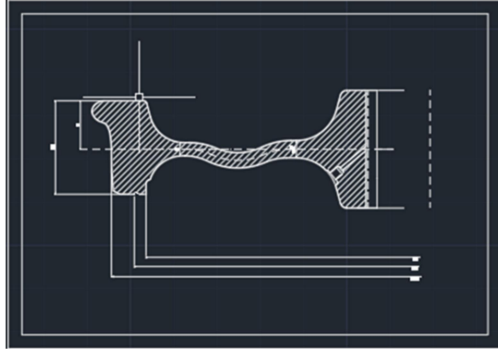


Şekil 5.8. B tipi tekerlek.

Çizelge 5.5. Teker tipi B teknik özellikleri.

Parametreler	Birim	Değer
Tip	-	-----
Çap	mm	920
Kalite	-	ER7
Dingil yükü	ton	20,5
Standart	-	EN 13262
Azami hız	km/h	120
Azami fren enerjisi	kW	50

5.7.3. Teker Tipi C



Şekil 5.9. C tipi tekerlek.

Çizelge 5.6. Teker tipi C teknik özellikleri.

Parametreler	Birim	Değer
Tip	-	-----
Çap	mm	920
Kalite	-	ER7
Dingil yükü	ton	20,5
Standart	-	EN 13262
Azami hız	km/h	120
Azami fren enerjisi	kW	50

5.8. DENEY TASARIMI

Deneysel çalışmada üretim zamanları aynı olan üç farklı tren teker tipi kullanılmıştır. İşlem parametreleri olarak Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği belirlenmiştir. Her bir parametre için üç seviye belirlenmiştir. Deneyde kullanılan dokuz tren tekerinin her biri için ayrı kesici uç kullanılmıştır. Çizelge 5.7 de seviyeler ve değişkenler detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Çizelge 5.7. Farklı seviyeler için parametre değerleri.

Sembol	Parametreler	Seviyeler		
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	İlerleme Hızı (m/dk)	72	96	144
B	Kesme Hızı (dev/dk)	60	80	120
C	Kesme Derinliği (mm)	3	5	7

BÖLÜM 6

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yüzey pürüzlülüğü ve enerji tüketimi optimizasyonu için Taguchi L9 ortogonal dizini seçilmiş, hesaplamalar için MİNİTAB 19 programı kullanılmıştır. S/N oranını bulabilmek için ‘en küçük en iyi’ deney karakteristiği kullanılmıştır. Taguchi L9 deney tasarımı ve bu tasarıma bağlı S/N oranları, Çizelge 6.1’de detaylı bir şekilde sunulmuştur.

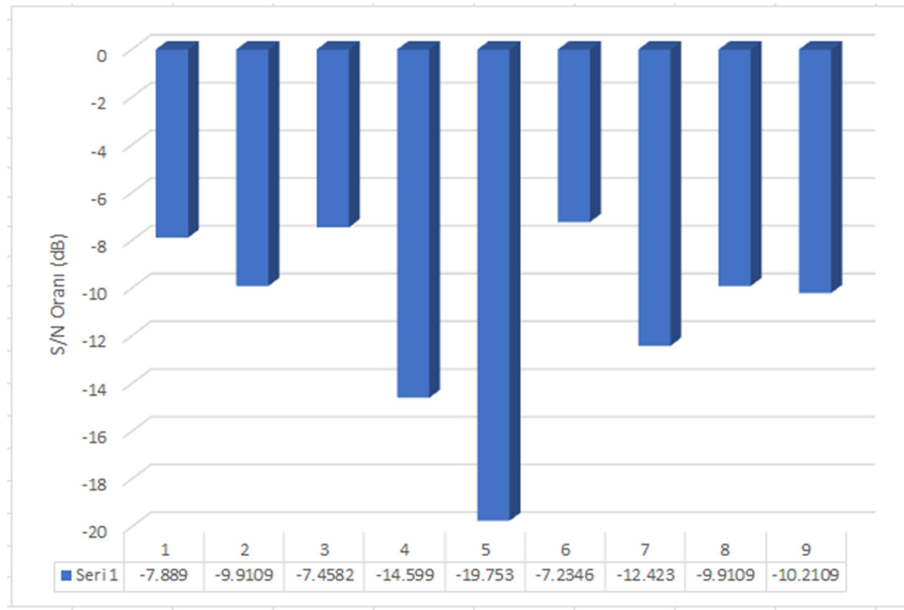
Çizelge 6.1. Taguchi L9 deney tasarımı, yüzey pürüzlülük ve S/N oranı değerleri.

Deney No	A	B	C	Yüzey Pürüzlülüğü Ra (μm)	S/N Oranı (dB)
1	1	1	1	2,48	-7,8890
2	1	2	2	3,13	-9,9109
3	1	3	3	2,36	-7,4582
4	2	1	2	5,37	-14,599
5	2	2	3	9,72	-19,753
6	2	3	1	2,30	-7,2346
7	3	1	3	4,18	-12,423
8	3	2	1	3,13	-9,9109
9	3	3	2	3,24	-10,2109

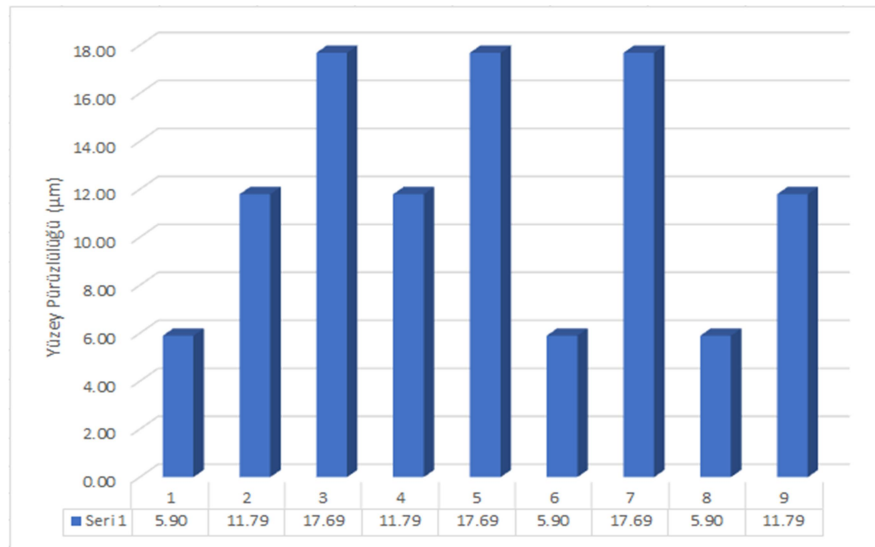
Minitab programı yardımı ile Taguchi yöntemi kullanılarak Çizelge 6.1’de gösterilen S/N oranları hesaplanmıştır. S/N değeri büyük olması yüksek kalite özelliklerinin göstergesidir. Bu doğrultuda 6 no’lu deneyde yüzey pürüzlülüğü (Ra) en düşük, S/N değeri en büyük olduğu görülmektedir.

Şekil 6.1’de verilen grafikte yüzey pürüzlülük değeri en düşük 2,3µm ile 6 no’lu deney, yüzey pürüzlülük değeri en yüksek (R_a), 9,72µm ile 5 numaralı deney ile elde edilmiştir.

6 no’lu deney A2B3C1 işlem sırası ile ilerleme hızı 96 m/dk, kesme hızı 120 dev/dk ve kesme derinliği 3 mm dir. 5 no’lu deney A2B2C3 işlem sırası ile ilerleme hızı 96 m/dk, kesme hızı 80 dev/dk ve kesme derinliği 7 mm dir.



Şekil 6.1. S/N oranı grafiği.



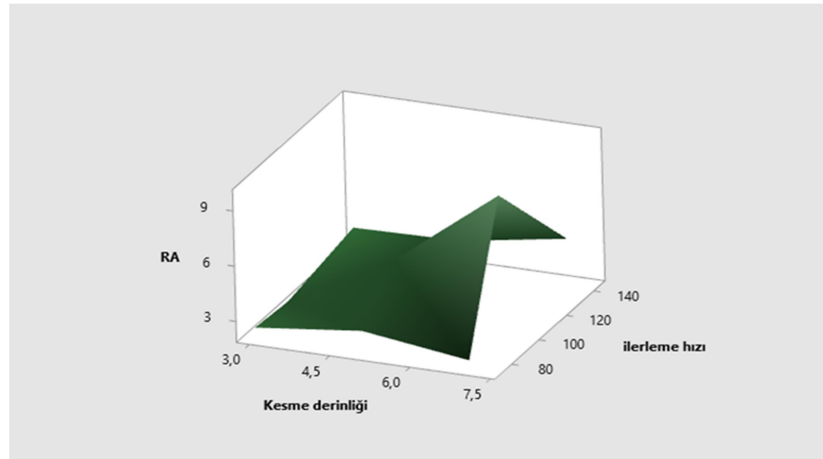
Şekil 6.2. S Yüzey pürüzlülüğü değer grafiği.

Deneysel çalışma sonucunda Çizelge 6.2'de gösterilen S/N yanıt tablosu, yüzey pürüzlülüğü üzerinde her kontrol faktörünün S/N analizini içermektedir.

Çizelge 6.2. Yüzey pürüzlülüğü S/N yanıt tablosu.

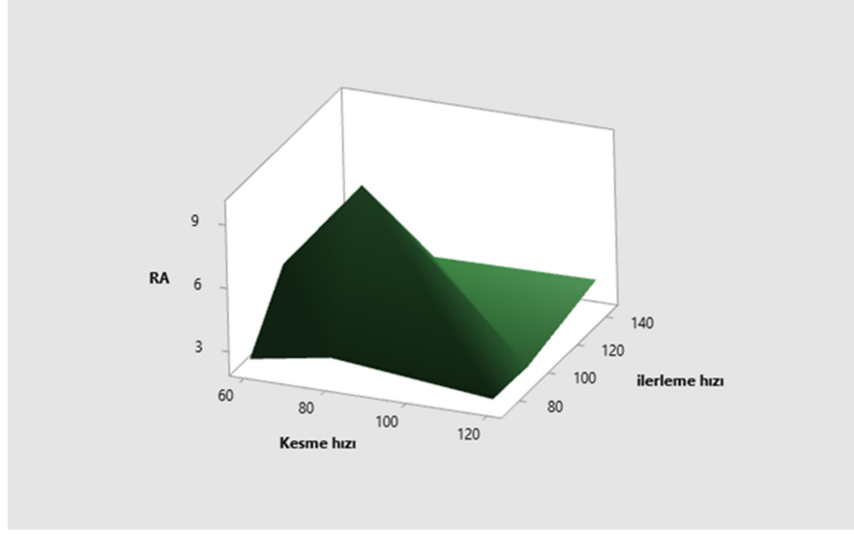
Level	İlerleme Hızı (A)	Kesme Hızı(B)	Kesme Derinliği(C)
1	-8,419	-11,637	-8,345
2	-13,862	-13,192	-11,574
3	-10,848	-8,301	-13,212
Delta	5,443	4,890	4,867
Rank	1	2	3

Şekil 6.3' de yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme derinliği ve ilerleme hızı değişimi gösterilmektedir. Grafikten anlaşıldığı üzere ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü de bir noktaya kadar artmaktadır. Benzer şekilde kesme derinliğinin artması da yüzey pürüzlülüğü değerini bir noktaya kadar arttırmıştır. İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin kesme derinliğinin etkisinden daha baskın olduğu görülmektedir.



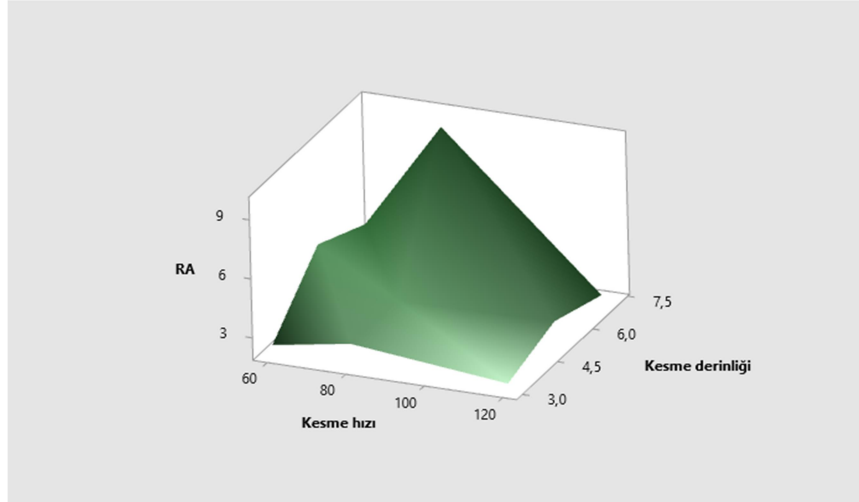
Şekil 6.3. İlerleme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği.

Şekil 6.4'te, kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü değişimine etkisi incelenmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri için ilerleme hızı 96 m/dk, kesme hızı ise 120 dev/dk dır.



Şekil 6.4. İlerleme hızı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği.

Şekil 6.5'te, kesme derinliği ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Grafikten anlaşıldığı üzere, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü belirli bir noktaya kadar artış göstermiştir. Özellikle, kesme hızının 120 devir/dk ve kesme derinliğinin 3mm olduğu değerlerde yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.5. Kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği.

6.1. KESME ENERJİSİ HESABI VE ANALİZİ

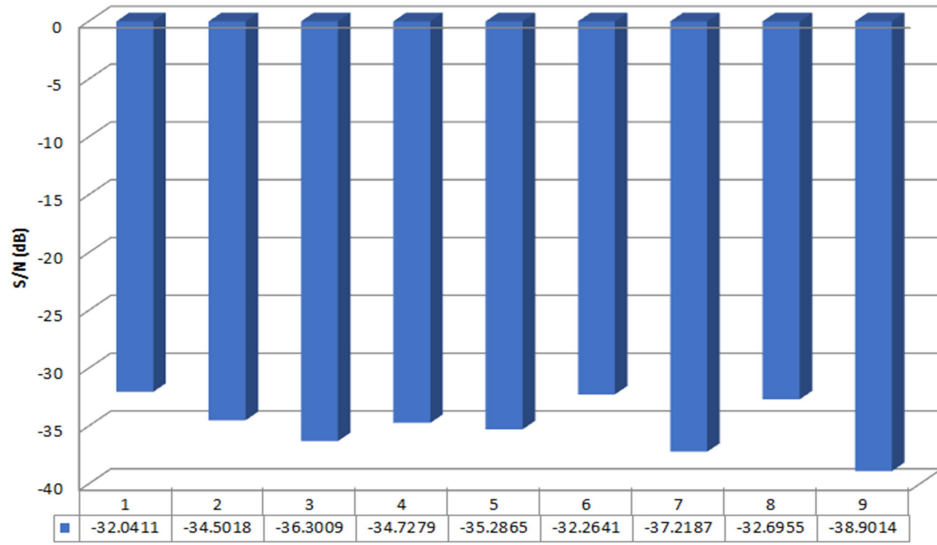
Değişken parametrelerin kesme enerjisine olan etkisini belirlemek amacıyla, CNC dikey torna tezgâhın da işlenen 9 deney numunesinin şebekeden çekilen akım miktarı ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda akıma en fazla etki eden parametre belirlenmiş ve ardından matematiksel hesaplamalar kullanılarak enerji verileri elde edilmiştir. Çizelge 6.3'te, belirlenen akım değerleri ile Minitab19 programı ile hesaplanan S/N oranları sunulmuştur. Elde edilen en düşük akım değeri 40 A olarak belirlenirken, en yüksek akım değeri ise 88,12 A olarak ölçülmüştür.

Çizelge 6.3. Akım ve S/N değerleri.

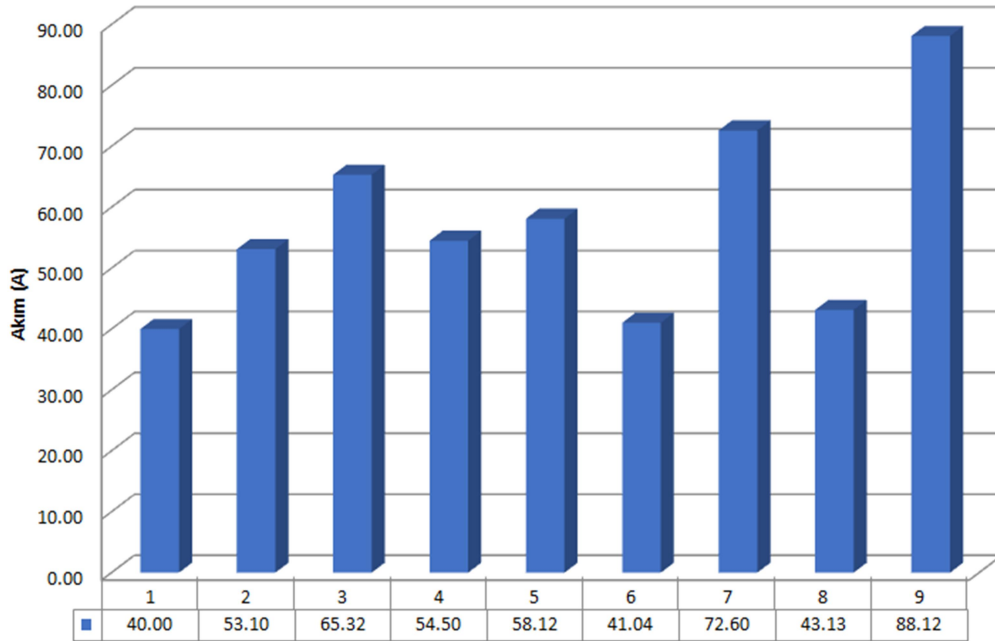
Deney No	A	B	C	Akım I (Amper)	S/N Oranı (dB)
1	1	1	1	40.00	-32,0412
2	1	2	2	53.10	-34,5019
3	1	3	3	65.32	-36,3009
4	2	1	2	54.50	-34,7279
5	2	2	3	58.12	-35,2865
6	2	3	1	41.04	-32,2641
7	3	1	3	72.60	-37,2187
8	3	2	1	43.13	-32,6956
9	3	3	2	88.12	-38,9015

Şekil 6.6'da sunulan grafik, işlem parametrelerine göre oluşturulan S/N oranlarını içermektedir. Taguchi deney tasarımı prensiplerine göre, en büyük S/N oranına sahip olan değer, en kaliteli ürünü ve optimum işlem parametresini ifade etmektedir. Bu bağlamda, en optimum değer, S/N oranının en büyük değere karşılık geldiği 1 numaralı deneyden elde edilmiştir.

Şekil 6.7'de gösterilen grafikte ise en düşük akım değeri (I) 40A değeri ile 1 numaralı deneyden A1B1C1 elde edildiği görülmektedir. Diğer bir bulgu ise, en yüksek akım değeri (I) 88,72A değeri ile 9 numaralı deneyin A3B3C2 işlem parametrelerinden kaynaklandığı belirlenmiştir.



Şekil 6.6. İşlem parametrelerinin S/N oran grafiği.



Şekil 6.7. İşlem parametrelerinin akım değer grafiği.

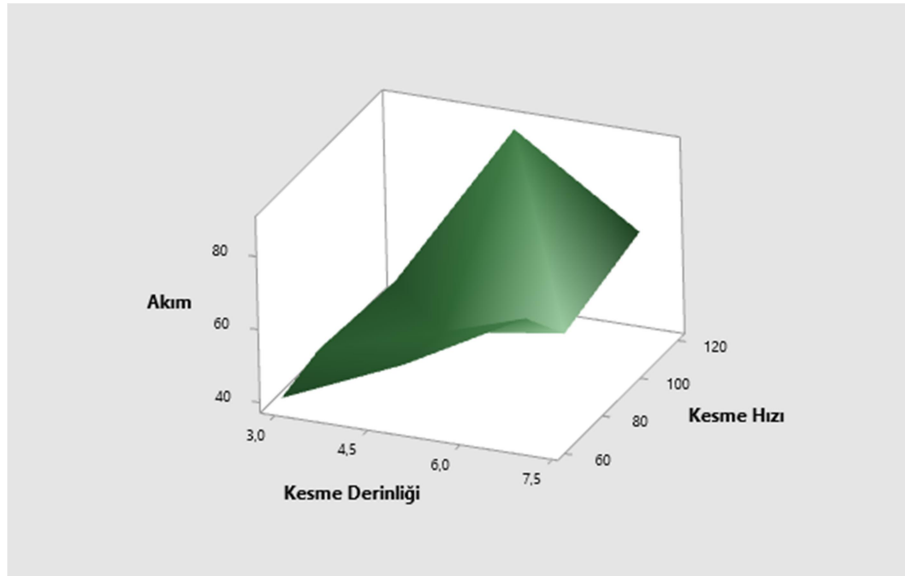
Şekil 6.7 incelendiğinde 40 (A) ile en düşük akım çeken 1 no'lu deneydir. 1 no'lu deneyin verileri kesme hızı 60 dev/dk. İlerleme hızı 72 m/dk ve kesme derinliği 3 mm dir.

Çizelge 6.4'de S/N yanıt tablosu verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi akım üzerinde etken olan faktörlerin sıralanışı kesme derinliği, ilerleme hızı ve kesme hızı şeklindedir.

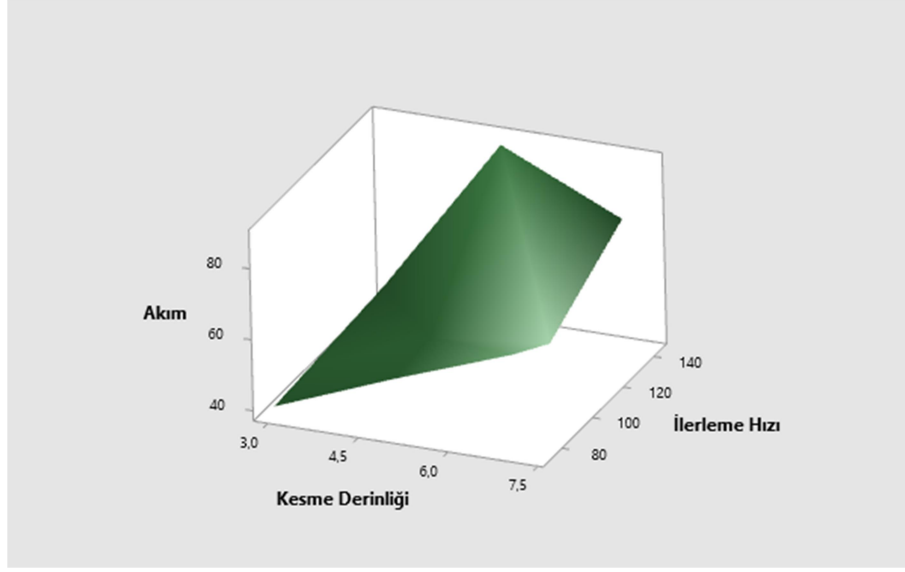
Çizelge 6.4. Akım S/N yanıt tablosu.

Level	İlerleme Hızı	Kesme Hızı	Kesme Derinliği
1	-34,28	-34,66	-32,33
2	-34,09	-34,16	-36,04
3	-36,27	-35,82	-36,27
Delta	2,18	1,66	3,94
Rank	2	3	1

Şekil 6.8'de kesme derinliği ve kesme hızının akım ile değişimi görülmektedir. Grafiğe en düşük akım 40A ile 1. Seviyede, en yüksek akım değeri 88.12 ile 3. seviyede olduğu görülmektedir. Şekil 6.9'da kesme derinliği ve ilerleme hızının akım ile değişimi görülmektedir



Şekil 6.8. Kesme derinliği ve kesme hızının akıma etki grafiği.



Şekil 6.9. Kesme derinliği ve ilerleme hızının akıma etki grafiği.

6.2. ENERJİ HESAPLAMALARI

Tornalama işlemi sırasında harcadığımız enerjiyi hesaplamak için Eşitlik 1'deki formül kullanılır.

$$E=P \times t \quad (3.7)$$

Burada E, enerjiyi (Joule); P, gücü (Watt) ve t, zamanı (saniye) gösterir.

Deneysel çalışmaya göre her bir parça için pens ampermetre yardımı ile sistemden geçen akım hassas bir şekilde ölçülmüş olup, ölçülen değerlere göre $P=V \times I \times \cos \varphi$ formülü yardımı ile şebekeden alınan elektriksel güç hesaplaması yapılmıştır.

$$P=V \times I \times \cos \varphi \quad (3.8)$$

Burada V, gerilimi (Volt); I, akımı (Amper) ve $\cos \varphi$, güç faktörünü gösterir.

$$P_1=380 \times 40 \times 0,8=13680W$$

$$P_2=380 \times 53,1 \times 0,8=16142,4W$$

$$P_3=380 \times 65,32 \times 0,8=19857,28W$$

$$P_4=380 \times 54,5 \times 0,8=16568W$$

$$P_5=380 \times 58,12 \times 0,8=17668,48W$$

$$P_6=380 \times 41,04 \times 0,8=12476,16W$$

$$P_7=380 \times 72,6 \times 0,8=22070,4W$$

$$P_8=380 \times 43,13 \times 0,8=13111,52W$$

$$P_9=380 \times 88,12 \times 0,8=26788,48W$$

Akım miktarının yüksekliği daha çok elektriksel güç harcandığını göstermektedir.

Dikey torna tezgahında işlenen her parça işleme zamanı baz alınarak elektriksel güç değeri yardımı ile torna tezgahlarının işleme sırasında tüketilen enerji miktarlarının Eşitlik 8 ile hesaplanması:

$$E_1=13680 \times 36=492.480J$$

$$E_2=16142,4 \times 36=581.126,4 J$$

$$E_3=19857,28 \times 36=714.862,08 J$$

$$E_4=16568 \times 30=497.040 J$$

$$E_5=17668,48 \times 30=530.044,8 J$$

$$E_6=12476,16 \times 30=374.284,8 \text{ J}$$

$$E_7=22070,4 \times 24=529.689,6 \text{ J}$$

$$E_8=13111,52 \times 24=314.676,48 \text{ J}$$

$$E_9=26788,48 \times 24=642.923,52 \text{ J}$$

Bu deneyde dokuz farklı tren tekerinin üretimi esnasında ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliği parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve enerji tüketimleri üzerinde yapmış olduğu değişimler incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda yüzey pürüzlülük değerleri 2,48 μm , 3,13 μm , 2,36 μm , 5,37 μm , 9,72 μm , 2,3 μm , 4,18 μm , 3,13 μm ve 3,24 μm olarak bulunmuştur . 2,3 μm ile yüzey pürüzlülüğü en düşük 6 no'lu deneyde, 9,72 μm ile en yüksek 5 no'lu deneyde tespit edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğüne en fazla etkisi olan değişken ilerleme hızıdır. Sonrasında kesme derinliği ve kesme hızı gelmektedir.

Her bir deney için sistemden çekilen akım sırayla 40A, 53,1A, 65,32A, 54,5A, 58,12A, 41,12A, 72,6A, 43,13A ve 88,12A 'dir. Bu sonuçlara göre en düşük akım 1 no'lu ölçümde, en yüksek akım 9 no'lu ölçümde olduğu görülmektedir.

Alınan verilere göre S/N yanıt tablosunda kesme derinliği, şebekeden çekilen akımı fazlasıyla etkileyen değişkenlerden biridir. Şebekeden gelen akım sonuçlarına göre enerji tüketimleri 492480J, 581126,4J, 714862,08J, 497040J, 530044,8J, 374284,8J, 529689,6J, 314676,48J ve 642923,52J 'dur. Bu sonuçlara göre en düşük enerji tüketimi 8 no'lu deneyde, en yüksek enerji tüketimi ise 3 no'lu deneyde gerçekleştiği belirlenmiştir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu araştırmanın amacı CNC Dik torna tezgahında işlenen ER 7 kalitesinde malzemenin işleme değişkenleri ile kesme enerjisi ve yüzey kalitesi değerlerindeki değişimi belirlemektir.

Deneyde maliyeti azaltmak, az deneyle optimum sonuçlara ulaşmak ve zamandan kazanmak için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Taguchi yöntemi ile dokuz adet malzeme üzerinde deneyler yapılmış, işleme değişkenlerinin kesme enerjisi ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve en optimum seviyeler bulunmuştur. Deneyin sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Yüzey pürüzlülüğü değeri 2.3 μm ile en az olan deney, 6 no'lu deneydir. Bu deneyde, kesme derinliği 3 (mm), ilerleme hızı 72 (m/dk) ve kesme hızı 120 (dev/dk)'dır
- Yüzey pürüzlülüğü değeri 9,72 μm ile en yüksek olan deney, 5 no' lu deneydir Bu deneyde, kesme hızı 80m/dk, kesme derinliği 7(mm) ve ilerleme hızı 96 (m/dk) dır.
- Yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en çok etken değişken ilerleme hızı, en az etken değişken kesme hızıdır.
- Çalışma sonucunda en düşük akım değeri 40 A, 72 (m/dk) ilerleme hızına, 60 (dev/dk) kesme hızına ve 3 (mm) kesme derinliğine sahip 1 numaralı deneysel çalışmadan elde edilmiştir.
- Çalışma sonucunda en yüksek akım değeri 88,12 A , 144 (m/dk) ilerleme hızına 120 (dev/dk) kesme hızına ve 5 (mm) kesme derinliğine sahip 9 numaralı deneysel çalışmadan elde edilmiştir.
- Kesme derinliği işlem sırasında çekilen akım üzerinde en çok etkisi olan değişkendir. En az etkileyen değişken ise kesme hızıdır.

- Tüketilen enerjinin hesaplanmasında tezgâhların işleme süresi ve çektikleri akım değerleri kullanılmış olup, 8 no'lu deney 314.676,48j ile en düşük enerjinin tüketildiği görülmüştür. 3 no'lu deney ise 714.862,08j ile en çok enerjinin tüketildiği deney olmuştur.
- Elde edilen hesaplama değerleri doğrultusunda, enerji tüketimi üzerinde en belirgin etki eden faktörün ilerleme hızı olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. R. K. Bhushan, Optimization of cutting parameters for minimizing power consumption and maximizing tool life during machining of Al alloy SiC particle composites, *Journal of Cleaner Production*, cilt 32, pp. 242-254, January 2013.
2. C. Y. Niana, W. H. Yangb ve Y. S. Tarngb, «Optimization of turning operations with multiple performance characteristics,» *Journal of Material Processing Technology*, cilt 95, pp. 90-96, October 1999.
3. M. Narin ve S. Akdemir, Enerji Verimliliği ve Türkiye, *Türkiye Ekonomi Kurumu UET-TEK*, Ankara, 2006.
4. S. Hu, F. Liu, Y. He ve T. Hu, An on-line approach for energy efficiency monitoring of machine tools, *Journal of Cleaner Production*, cilt 27, pp. 133-140, 2012.
5. C. Camposeco-Negrete, Optimization of cutting parameters for minimizing energy consumption in turning of AISI 6061 T6 using Taguchi methodology and ANOVA, *Journal of Cleaner Production*, cilt 53, pp. 195-203, 2013.
6. Z. Zhou, C. Zhang, G. Tian, Y. Xie, W. Lin ve Z. Huang, Energy consumption modeling and prediction of the milling process: A multistage perspective, *Journal of Engineering Manufacture*, cilt 232, pp. 1973-1985, 2016.
7. G. Kant ve K. S. Sangwan, Prediction and optimization of machining parameters for minimizing power consumption and surface roughness in machining, *Journal of Cleaner Production*, cilt 83, pp. 151-164, 2014.
8. I. Hanafi, A. Khamlichi, F. M. Cabrera, E. Almansa ve A. Jabbouri, Optimization of cutting conditions for sustainable machining of PEEK-CF30 using TiN tools, *Journal of Cleaner Production*, cilt 33, pp. 1-9, 2012.
9. D. Fratila ve C. Caizar, Application of taguchi method to selection of optimal lubrication and cutting conditions in face milling of AlMg3, *Journal of Cleaner Production*, cilt 19, pp. 640-645, 2011.
10. M. Sarıkaya ve A. Güllü, Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL, *Journal of Cleaner Production*, cilt 65, pp. 604-616, 2014.
11. W. Li, A. Zein, S. Kara ve C. Herrmann, An investigation into fixed energy consumption of machine tools, *Glocalised Solutions for Sustainability in Manufacturing*, pp. 268-273, 2011.

12. E. Bağcı ve B. Özçelik, Analysis of temperature changes on the twist drill under different drilling condition based on Taguchi method during dry drilling of Al 7075-T651, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, cilt 29, no. 7-8, pp. 629-636, 2006.
13. C. Okwudire ve J. Rodgers, Design and control of a novel hybrid feed drive for high performance and energy efficient machining, *CIRP Annals, Manufacturing Technology*, cilt 62, pp. 391-394, 2013.
14. E. Abele, C. Eisele ve S. Schrems, Simulation of the energy consumption of machine tools for a specific production task, *Leveraging Technology for a Sustainable World*, pp. 233-237, 2012.
15. M. Şirvancı, Kalite için Deney Tasarımı, *İstanbul: Literatür Yayınları*, 1997.
16. J. S. Pang, M. M. Ansari, O. S. Zaroog, M. H. Ali ve S. M. Sapuan, Taguchi design optimization of machining parameters on the CNC end milling process of halloysite nanotube with aluminium reinforced epoxy matrix (HNT/Al/Ep) hybrid composite, *HBRC Journal*, cilt 10, pp. 138-144, 2014.
17. İ. Asiltürk ve H. Akkuş, Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the taguchi method, *Measurement*, cilt 44, pp. 1697- 1704, 2011.
18. R. Unal ve E. B. Dean, Taguchi Approach To Design Optimization For Quality And Cost, *Annual Conference of the International Society of Parametric Analysts.*, 1991.
19. R. N. Kacker, Off-Line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method, *Journal of Quality Technology*, cilt 17, no. 4, pp. 176-188, 1985.
20. M. S. Phadke, Quality Engineering Using Robust Design, Prentice Hall, *Englewood Cliffs.*, 1989.
21. R. S. Rao ve G. Padmanabhan, Parametric optimization in electrochemical machining using utility based taguchi method, *Journal of Engineering Science and Technology*, cilt 10, no. 1, pp. 81-96, 2015. 42
22. T. Tabazık ve F. D. Öztürk, Taguchi Yöntemi Kullanılarak Aladağ (Adana) Krom Cevherinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, cilt 1, no. 10, pp. 229-237, 2019.
23. W. Mersni, M. Boujelbene, S. Salem ve A.-S. Alghamdi, Optimization of the surface roughness in ball end milling of titanium alloy Ti-6Al-4V using the taguchi method, *Procedia Manufacturing*, cilt 20, pp. 271-276, 2018.
24. J. E. Ribeiro, M. B. Cesar ve H. Lopes, Optimization of machining parameters to improve the surface quality, *Procedia Structural Integrity*, cilt 5, pp. 355-362, 2017.

25. R. Shetty, R. Pai, S. Rao ve R. Nayak, Taguchi's technique in machining of metal matrix composites, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, cilt 31, 2009.
26. W. H. Yang ve Y. S. Tarn, Design Optimization Of Cutting Parameters For Turning Operations, *Journal of Materials Processing Technology*, cilt 84, pp. 122-129, 1998.
27. M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing*, New Jersey: PrenticeHall Inc., 2010, pp. 523-531.
28. M. Akkurt, Talaş kaldırma bilimi ve teknolojisi CNC takım tezgâhları ve üretim otomasyonu, *İstanbul: Birsen yayınevi*, 2012.
29. A.Pınarbaşı, Al 7075'in CNC frezelenmesinde işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme enerjisine etkisinin taguchi yöntemi ile optimizasyonu, *Tarsus*, 2019

ÖZGEÇMİŞ

Abdulkadir DÖNMEZ, ilk ve ortaokul öğrenimini Karabük'te tamamladı. 2008 yılında Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine ve Otomotiv Öğretmenliği Bölümünden, 2015 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliğinden mezun oldu. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalından başlamış olduğu yüksek lisans programına devam etmektedir.