



T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Batuhan AYUR

**BİR TRAKTÖR PARÇASININ FARKLI
ORTAMLARDA FREZELENMESİNDE EN
UYGUN KESME KOŞULLARININ CRITIC-
VIKOR YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANIYE – 2025

**T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİR TRAKTÖR PARÇASININ FARKLI ORTAMLARDA
FREZELENMESİNDE EN UYGUN KESME
KOŞULLARININ CRITIC-VIKOR YÖNTEMİYLE
BELİRLENMESİ**

Batuhan AYUR

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANIYE
NİSAN – 2025**

TEZ ONAYI

BİR TRAKTÖR PARÇASININ FARKLI ORTAMLARDA FREZELENMESİNDE EN UYGUN KESME KOŞULLARININ CRITIC-VIKOR YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Batuhan AYUR tarafından Doç. Dr. Yusuf FEDAİ ve Dr. Öğr. Üyesi Emre ÖZER danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Yusuf FEDAİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Prof. Dr. Abdul Kadir EKŞİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, ÇÜ

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Suat ÖNAL
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan DEMİR
Enstitü Müdürü, **Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

Bu Çalışma OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: OKÜBAP-2023-PT2-009

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Batuhan AYUR



ÖZET

BİR TRAKTÖR PARÇASININ FARKLI ORTAMLARDA FREZELENMESİNDE EN UYGUN KESME KOŞULLARININ CRITIC-VIKOR YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Batuhan AYUR
Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Yusuf FEDAI
Dr. Öğr. Üyesi Emre ÖZER

Nisan 2025, 78 sayfa

Talaş kaldırma işlemleri endüstriyel alanda en yaygın kullanılan üretim yöntemleri arasındadır. Kesme parametrelerinin optimizasyonu işlemin verimliliği ve ürün kalitesi üzerinde etkilidir. Sürdürülebilir yöntemlerden biri olan minimum miktarda yağlama (MMY) işlemi çevre dostu bir yaklaşım olup, kullanılan yağ miktarını çok düşük oranlara indirmektedir. Bu çalışmada, AISI 1040 çeliği ile bu çelikten dövme yöntemiyle üretilmiş olan traktör direksiyon kolunun kuru ve MMY ortamlarında frezeleme işleminde işlenebilirliği incelenmiştir. 0,1, 0,15 ve 0,2 mm/diş ve 150, 200 ve 250 m/dk olmak üzere 3'er farklı ilerleme ve kesme hızları kullanılarak 36 koşulda frezeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bütün koşullarda 1 mm kesme derinliği sabit tutulmuştur ve kesme sıvısı olarak da saf ve doğal yer fıstığı yağı kullanılmıştır. Frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğü, titreşim, ses, sıcaklık ve güç ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonunda, MMY ortamında elde edilen işlenebilirliğin kuru ortama göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, CRITIC yöntemiyle kriter ağırlıkları yüzey pürüzlülüğü, titreşim, ses, sıcaklık ve güç için sırasıyla 0,3636, 0,1478, 0,2377, 0,1329 ve 0,1178 olarak hesaplanmıştır. Sonrasında, VIKOR yöntemiyle çok yanıtli optimizasyon uygulanmıştır. En iyi işlenebilirlik değerleri ise 28. deney koşulu olan dövme malzemesinde, MMY ortamında, 0,1 mm/diş ilerlemede ve 150 m/dk kesme hızında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Traktör Direksiyon Kolu, AISI 1040 Çeliği, Frezeleme, Minimum Miktarda Yağlama, Dövme

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE OPTIMUM CUTTING PARAMETERS IN MILLING A TRACTOR COMPONENT IN DIFFERENT ENVIRONMENTS USING THE CRITIC-VIKOR METHOD

Batuhan AYUR
M.Sc., Department of Mechanical Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yusuf FEDAI
Asst. Prof. Dr. Emre ÖZER

April 2025, 78 pages

Chip removal processes are among the most widely used production methods in the industrial field. Optimization of cutting parameters impacts process efficiency and product quality. As one of the sustainable methods, the minimum quantity lubrication (MQL) process is an environmentally friendly approach and reduces the amount of oil used to very low rates. In this study, the machinability of AISI 1040 steel and a tractor steering arm forged from this steel was investigated in the milling process in dry and MQL environments. Milling operations were carried out in 36 conditions using three different feeds and cutting speeds of 0.1, 0.15 and 0.2 mm/tooth and 150, 200 and 250 m/min. A cutting depth of 1 mm was kept constant in all conditions, and pure and natural peanut oil was used as the cutting fluid. The surface roughness, vibration, sound, temperature and power measurements were made during the milling process. At the end of the study, it was determined that the machinability obtained in the MQL environment was better than in the dry environment. In addition, the criteria weights for surface roughness, vibration, noise, temperature and power were calculated as 0.3636, 0.1478, 0.2377, 0.1329 and 0.1178, respectively, using the CRITIC method. Then, multi-response optimization was applied using the VIKOR method. The best machinability values were obtained in the 28th experimental condition, which is forging material, in the MQL environment at 0.1 mm/tooth feed and 150 m/min cutting speed.

Key Words: Tractor Steering Arm, AISI 1040 Steel, Milling, Minimum Quantity Lubrication, Forging



Çok kıymetli aileme...

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütölmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocalarım Doç. Dr. Yusuf FEDAI ve Dr. Öğr. Üyesi Emre ÖZER'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Gökhan BAŞAR'a ve Makine Mühendisi Musa ERYILMAZ'a da teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışma finansal olarak Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından desteklenmiştir. Çalışmalarımı tamamlayabilmem için laboratuvarında bana imkân sağlayan Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi'ne de çok teşekkür ederim. Ayrıca, Ketsan Motorlu Araçlar Yedek Parça San. ve Tic. Ltd. Şti firmasına ve Ketenler Dövme ve Kalıp San. Tic. Ltd. Şti firmasına vermiş oldukları destekten dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. TALAŞLI İMALAT.....	5
2.1. Minimum Miktar Yağlama	5
2.2. Tornalama İşlemi.....	6
2.3. Frezeleme İşlemi	6
2.4. Taşlama İşlemi	7
2.5. Delme İşlemi	8
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	9
4. MALZEME VE YÖNTEM.....	15
4.1. İş Parçası Malzemesi.....	15
4.2. BSK Tezgâhı.....	16
4.3. Kesici Takım ve Takım Tutucu	17
4.4. Kuru ve MMY Koşullarında Frezeleme İşlemi.....	18
4.5. Deney Tasarımı ve Kullanılan Kesme Parametreleri	21
4.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi	25
4.7. Titreşimin Ölçülmesi	26
4.8. Sesin Ölçülmesi	26
4.9. Sıcaklığın Ölçülmesi.....	27
4.10. Güç ve Enerjinin Ölçülmesi.....	27
4.11. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	28
4.12. CRITIC Yöntemi	29
4.13. VIKOR Yönteminin Temelleri	31
4.14. VIKOR Yönteminin Özellikleri.....	33
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
5.1. Yüzey Pürüzlülüğü.....	35
5.2. Titreşim.....	39
5.3. Ses.....	43
5.4. Sıcaklık	47

5.5. Güç ve Enerji Tüketimi.....	50
5.6. CRITIC Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	59
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	78



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Çalışmalarda kullanılan AISI 1040 imalat çeliğinin kimyasal bileşimi (Calik, vd., 2014; Ekşi, 2020)	15
Çizelge 4.2. Çalışmalarda kullanılan AISI 1040 imalat çeliğinin mekanik özellikleri (Calik, vd., 2014; Ekşi, 2020)	16
Çizelge 4.3. Çalışmalarda kullandığımız kesici takım ucun mekanik özellikleri	17
Çizelge 4.4. Werte marka mikro stn 15 model minimum miktar yağlama cihazının teknik özellikleri.....	19
Çizelge 4.5. Deneyde kullanılan malzemelerin farklı kesme parametreleri ve seviyeleri	21
Çizelge 4.6. Deney koşulları	22
Çizelge 4.7. Hesaplanan parametrelerin değerleri	23
Çizelge 4.8. Dailyaid marka DR100 model yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri.....	25
Çizelge 5.1. Deney sonrası ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri ve ortalamaları.....	36
Çizelge 5.2. Deneyde ölçülen maksimum, minimum ve ortalama titreşim değerleri.....	42
Çizelge 5.3. Deneylerde ölçülen maksimum, minimum ve ortalama ses değerleri.....	43
Çizelge 5.4. Yüzey frezeleme işlemi esnasında ısıdan etkilenen bölgelerin en yüksek sıcaklık değerleri	47
Çizelge 5.5. Deneylerde ölçülen güç değerleri	51
Çizelge 5.6. Deneylerde hesaplanan talaş kaldırma hızı, işleme süresi, enerji tüketimi ve özgül enerji tüketimi değerleri	56
Çizelge 5.7. Karar matrisi	60
Çizelge 5.8. İlişki katsayısı matrisi	61
Çizelge 5.9. ρ_{jk} matrisi	61
Çizelge 5.10. C_j , σ_j , w_j değerleri	62
Çizelge 5.11. Kriter özellikleri ve ağırlıkların eklendiği veri seti.....	63
Çizelge 5.12. En iyi ve en kötü kriter değerlerinin belirlenmesi	64
Çizelge 5.13. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi S_i ve R_i tablosu.....	65

Çizelge 5.14. Q_i değerlerinin hesaplamasında kullanılacak $S^*, S-, R^*$ ve $R-$ parametrelerinin değerleri	66
Çizelge 5.15. Hesaplanan S_i, R_i ve Q_i değerler	67
Çizelge 5.16. Sıralama sonuçları.....	68
Çizelge 5.17 Koşulların denetlenmesi	69



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Talaş kaldırma işlemi (Ayur ve Fedai, 2022)	1
Şekil 1.2. Elektrikli traktör (ZY Elektrikli Traktör, 2025).....	2
Şekil 1.3. Sıcak dövme işlemi (Pusat Metal, 2025)	3
Şekil 1.4. Kesme sıvısıyla havanın birleştiği lüle (Ayur ve Fedai, 2022).....	4
Şekil 2.1. MMY şematik gösterimi (Çağan, vd., 2018).....	5
Şekil 2.2. Delik delme işlemi şematik gösterimi (Batman, 2019)	8
Şekil 4.1. Traktör direksiyon kolu ve Ø60mm AISI 1040 imalat çeliği	15
Şekil 4.2. SPINNER MVC1000 marka dik işleme tezgâhı.....	16
Şekil 4.3. Kesici takım ucunun 3 boyutlu görünümü ve Korloy marka kesici uç.....	17
Şekil 4.4. Kesici takım tutucunun 3 boyutlu görünümü ve Smoxh marka kesici takım tutucusu	18
Şekil 4.5. Werte marka mikro stn 15 model minimum miktar yağlama cihazı	19
Şekil 4.6. Minimum miktar yağlama cihazının lülesinin kesici takıma göre yerleştirilmesi.....	20
Şekil 4.7. OilO marka yer fıstığı yağı (5L)	20
Şekil 4.8. Dailyaid marka DR100 model yüzey pürüzlülük cihazı ve AISI 1040 imalat malzemesi ölçümü.....	25
Şekil 4.9. PCE marka VT 1300 model titreşim ölçme cihazı ve ölçümü.....	26
Şekil 4.10. PCE marka 322A ses seviye ölçme cihazı ve ölçümü	26
Şekil 4.11. Testo marka 881 model termal kamera cihazı	27
Şekil 4.12. HIOKI marka 3390 model güç analiz cihazı ve ölçümü	27
Şekil 5.1. AISI 1040 İmalat çeliği malzemesine ait parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) kuru işleme ortamında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) grafiği.....	35
Şekil 5.2. AISI 1040 İmalat çeliği malzemesine ait parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) grafiği.....	37
Şekil 5.3. Dövme malzemesine ait parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) grafiği	38
Şekil 5.4. Dövme malzemesine ait parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) grafiği.....	38

Şekil 5.5. AISI 1040 imalat çeliği malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen ortalama titreşim grafiği	39
Şekil 5.6. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen ortalama titreşim grafiği	40
Şekil 5.7. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan(kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen ortalama titreşim grafiği	40
Şekil 5.8. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen ortalama titreşim grafiği	41
Şekil 5.9. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen ortalama ses grafiği.....	44
Şekil 5.10. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen ortalama ses grafiği.....	45
Şekil 5.11. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen ortalama ses grafiği.....	45
Şekil 5.12. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan(kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen ortalama ses grafiği.....	46
Şekil 5.13. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru ortamda iş parçasında oluşan en yüksek sıcaklık.....	48
Şekil 5.14. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY ortamda iş parçasında oluşan en yüksek sıcaklık.....	48
Şekil 5.15. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru ortamda iş parçasında oluşan en yüksek sıcaklık.....	49
Şekil 5.16. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY ortamda iş parçasında oluşan en yüksek sıcaklık.....	50
Şekil 5.17. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen güç grafiği.....	52
Şekil 5.18. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen enerji grafiği	52
Şekil 5.19. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen güç grafiği.....	53
Şekil 5.20. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen enerji grafiği	53

Şekil 5.21. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen güç grafiği.....	54
Şekil 5.22. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen enerji grafiği	54
Şekil 5.23. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen güç grafiği.....	55
Şekil 5.24. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen enerji grafiği	55
Şekil 5.25. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında hesaplanan özgül enerji tüketimi grafiği	57
Şekil 5.26. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında hesaplanan özgül enerji tüketimi grafiği	58
Şekil 5.27. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında hesaplanan özgül enerji tüketimi grafiği	58
Şekil 5.28. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında hesaplanan özgül enerji tüketimi grafiği	59

SİMGELER ve KISALTMALAR

<i>A</i>	Yaklaşma mesafesi	(m)
<i>AIK</i>	Ark iyon kaplama	(-)
<i>AISI</i>	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü	(-)
<i>BSK</i>	Bilgisayarlı Sayısal Kontrol	(-)
<i>ÇKKV</i>	Çok kriterli karar verme	(-)
<i>D</i>	Freze çakısı çapı	(m)
<i>d</i>	Kesme derinliği	(m)
<i>E</i>	Enerji	(J)
<i>GİA</i>	Gri ilişki analizi	(-)
<i>f</i>	İlerleme	(m·diş ⁻¹)
<i>f_r</i>	İlerleme hızı	(m·s ⁻¹)
<i>L</i>	Parça uzunluğu	(m)
<i>MMY</i>	Minimum miktarda yağlama	(-)
<i>N</i>	Dönme hızı	(devir·s ⁻¹)
<i>n_t</i>	Freze çakısındaki diş sayısı	(-)
<i>P</i>	Güç	(W)
<i>R_a</i>	Yüzey pürüzlülüğü	(m)
<i>R_{MR}</i>	Talaş kaldırma hızı	(m ³ ·s ⁻¹)
<i>SE</i>	Özgül enerji	(J·m ⁻³)
<i>T_m</i>	İşleme süresi	(s)
<i>V</i>	Kesme hızı	(m·s ⁻¹)
<i>VSD-C</i>	Vickers sertlik değeri C	(-)
<i>w</i>	Frezeleme genişliği	(m)
<i>WC</i>	Tungsten karbür	(-)
<i>H</i>	Bir pasoda alınan toplam talaş hacmi	(m ³)



1. GİRİŞ

Teknoloji sürecinin ilerlemesi ve günümüz teknolojiyle kesici takımların geliştirilmesi sayesinde geleneksel talaşlı imalat, bilim dünyası ve üreticiler tarafından yoğun bir ilgi görmektedir (Akkuş, 2021). Talaşlı imalat; havacılık, otomotiv sektörü, savunma sanayi ve daha birçok sektörlerde bu zamana kadar kullanılmıştır ve günümüzde de yaygın olarak kullanılmaya devam edilmektedir (Asal, vd., 2021).

Temel olarak geleneksel talaşlı işleme, aşındırıcı ve geleneksel olmayan işleme olarak sınıflandırılır. Geleneksel talaşlı işleme ile keskin kesici takımlar kullanılarak iş parçasından kayma deformasyonu ile talaş kaldırılarak yeni yüzey alanları açığa çıkar ve istenilen ürün elde edilmiş olur. Şekil 1.1’de talaş kaldırma işlemindeki ayrıntılar gösterilmiştir (Çelik, 2019; Kabave, 2019).



Şekil 1.1. Talaş kaldırma işlemi (Ayur ve Fedai, 2022)

Talaş kaldırma işlemi, plastik ve elastik şekil değiştirmeye dayanan sürtünme, ısı, talaşın büzülmesi ve kopması, operasyon yüzeyinin sertleşmesi, kesici takım aşınması vb. gibi durumların olduğu karmaşık bir yapı olduğu bilinmektedir. İş parçasının üstünden talaşın kaldırılması için, kesici takımın iş parçasına bir kuvvet uygulanması gerekmektedir. Bu durumdan anlaşılıyor ki kesici takımın sert bir yapıda olması ve talaş kalkması için de keskin bir yapıya sahip olması gerekmektedir (Özlu, 2019).

Traktörler; tarımda ve ziraat işlerinde kullanılan paletli veya tekerlekli; kabinli ya da kabinsiz motor gücüyle hareket eden bir araçtır. Traktör; çeken veya çeki motoru anlamına gelmektedir. Genellikle traktör tek başına bir anlam ifade etmez yani bir iş yapmazlar da denilebilir. Traktörler çekilme, asılma, kaldırma gibi çeşitli işlerde

traktörden hareket alabilen zirai aletlerin ve makinelerin beraber oluşturduğu birliktelikle iş yapabilmektedir. Fakat çekme işlemiyle beraber kayış-kasnak, kuyruk mili çıkışları, askı tertibatı ve hidrolik kumanda tertibatı, yükleme, klima kontrollü kabin, elektrik kontrollü direksiyon sistemi, hidrolik diskli frenler, otomatik şanzıman gibi gelişmiş teknolojinin kattıkları yenilikler sayesinde günümüz traktörlerin eski traktörlere nazaran birçok fayda ve etkinliği arttığını gözlemlenmektedir (Traktör ve yardımcı ekipmanlar kitabı, 2024).

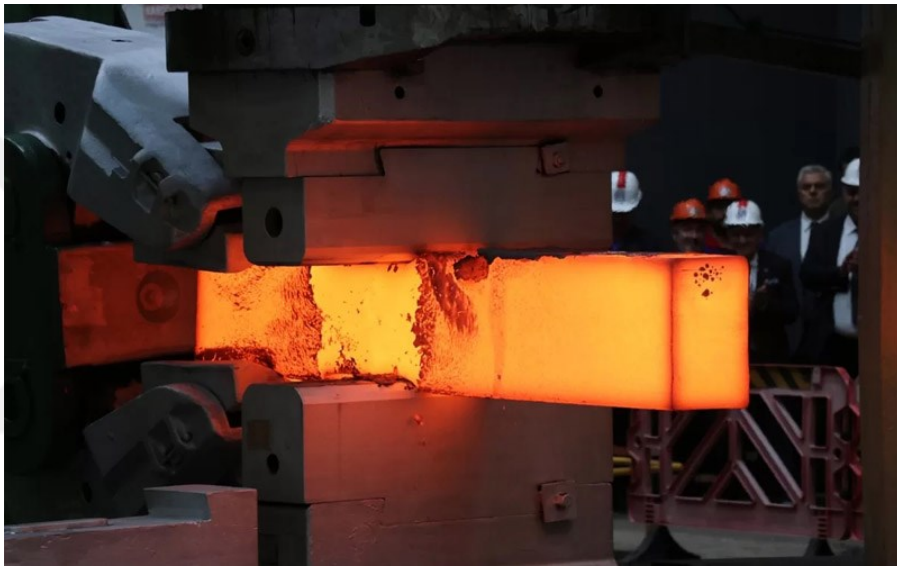


Şekil 1.2. Elektrikli traktör (ZY Elektrikli Traktör, 2025)

Gerek çiftçilerimiz için gerekse tarım endüstrisi ve imalatı için devrim niteliğinde bir buluş olan traktörler, tarımda insan gücü yerine iş gücünü azaltan ve toprak kalitesindeki artan verimlilikte tarım endüstrisi için vazgeçilmez bir dayanaktır. Traktörler çok zorlu koşullarda ve tarım arazilerinde bile çiftçilerimizin işlerini sühulet hale getiren makinelerdir (Onomu, vd., 2020; Puška, vd., 2022).

Gelişen teknolojiyle mücadelenin her alanda çoğaldığı günümüz şartlarında, firmaların bu mücadele şartlarında ayakta kalabilmeleri için üretimin en verimli yolla yapılması mecburiyet haline gelmiştir. Endüstri alanında sıcak dövme işlemiyle imal edilen parçalar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sıcak dövme işlemi genellikle yüksek şekillendirme enerjisi isteyen ürünlerin üretiminde kullanılan imalat çeşitlerinden biridir (Eriklili, 2019).

Sıcak dövme işlemi; ısıtılmış malzemeye darbe ya da basınç altında kontrollü bir plastik şekil değişimi sağlayarak malzemeye istenilen şekli vererek gerek tane boyutunu küçültme gerekse de mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla uygulanan bir plastik şekil verme yöntemidir. Dövme işlemi, insanlık tarihinde kullanılan en eski şekillendirme sanatlarından birisidir. Tarihte taş devrinden metal devrine geçişle beraber dövme sanatı aktif hale gelmiş ve 18. yüzyılın sonlarına doğru el sanatı olarak gelişme göstermiştir. Bu tarihten sonra artık teknolojinin gelişmesiyle beraber insan gücünün yerini makinelerin almasıyla, dövme sanatının faaliyet gösterdiği atölyeler endüstrileşme yoluna girmişlerdir (Yığıtarıslan, 2009).



Şekil 1.3. Sıcak dövme işlemi (Pusat Metal, 2025)

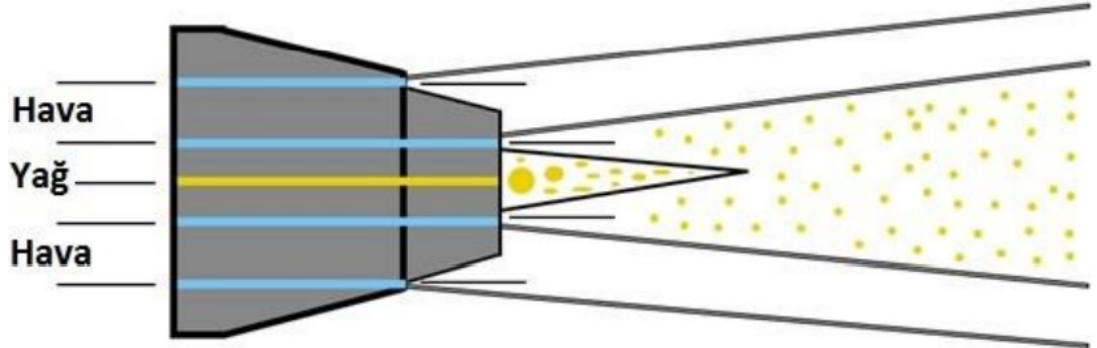
Yeni bir soğutma/yağlama yöntemi olan minimum miktar yağlama (MMY) teknolojisi uygun talaş kaldırma, yağlama, soğutma, düşük kirlilik ve diğer üstün özellikleriyle işleme sürecinde yaygın olarak kullanılmaktadır. MMY işlemi uygulama alanının frezeleme, tornalama, delik delme, kesme ve testereyle kesme işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bazı işleme koşullarında MMY'nın geleneksel yağlama yöntemini mükemmel bir düzeyde değiştirebileceği ve aynı zamanda ekonomik faydalar sağlayacağı belirlenmiştir (Su, vd., 2016).

MMY, hassas toleranslarda, yüksek hızlarda ve basınçlarda çalışırken geleneksel yağlama veya soğutma sıvısı kullanımına ihtiyaç duymamaktadır. Kuru bir işleme

ortamı genellikle hızlı ve aşırı derecede aşınmış takımlara, bozuk yüzeylere ve daha yüksek maliyetlere yol açar (Su, vd., 2016).

MMY'nın sert çelik, titanyum alaşım, süper alaşım vb. işlenmesi zor malzemelerin yüksek hızda kesiminde geleneksel soğutma/yağlama ve kuru kesime kıyasla daha iyi işleme performansı sergilediği sonucu belirlenmiştir (Lv, vd., 2021). MMY tekniği, soğutma/yağlama sıvısının tüketimini çok büyük ölçüde azaltma konusundaki benzersiz yeteneği nedeniyle aşırı derecede önem kazanmakta ve dünyada dikkat çekmeye başlamıştır. Günümüzde birçok araştırmacı tornalama, frezeleme, taşlama, delme ve kesme gibi çeşitli işleme yöntemleri için nano yağlayıcılarla birlikte MMY yöntemlerinin potansiyel yararlarını değerlendirmek için uzun süreden beri çalışmalarını sürdürmektedirler (Kulkarni, vd., 2020).

Şekil 1.2'de MMY sisteminin en son elemanı olan lüleyi göstermektedir. Lüle, cihazdan gelen yağ ve havanın karışmadan farklı borular ile birleştiği ve iş parçası ile kesici takıma doğru basınçlı bir şekilde gönderen son elemandır.



Şekil 1.4. Kesme sıvısıyla havanın birleştiği lüle (Ayur ve Fedai, 2022)

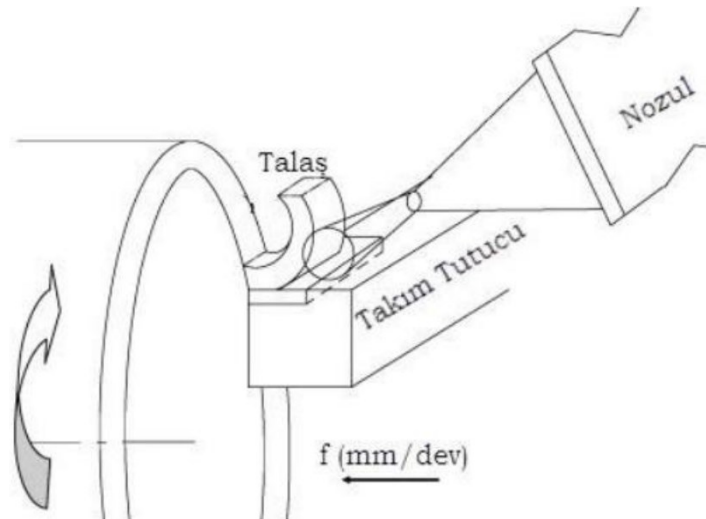
Gelişen teknolojiyle birlikte MMY sıvılarının içerisine nano parçacıklar katılması soğutma etkisini arttırmaktadır. Yapılan çalışmalara göre, nano parçacıklar şu anda çok çeşitli malzemelerden yapılmakta ve yeni nesil nano parçacıkların en yaygın olanları seramik, titanyum, çinko, alüminyum ve demir oksittir. Soğutucu akışkana nano partiküllerin eklenmesi, soğutucu akışkanın termo fiziksel özelliklerinde ve ısı transfer özelliklerinde iyileştirmeler sağladığı gözlemlenmiştir. Bu sayede, soğutma işlemin performansını iyileştirdiği belirlenmiştir (Coumaressin, 2014).

2. TALAŞLI İMALAT

Talaşlı imalat, istenilen boyut ve yüzey kalitesi elde etmek için iş parçası üzerinden kesici takım kullanılarak istenmeyen malzemeyi kaldırma işlemidir. Makine imalat sanayisinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Başar, 2021). Tornalama, frezeleme, delme ve taşlama temel talaşlı imalat yöntemleridir. Talaşlı imalat işlemlerinin başarısı iş parçasının işlenebilirliği ile ilgilidir. İşlenebilirlik, bir malzemenin uygun takım ve kesme koşullarında işlenmesinin kolaylığını ifade etmektedir. İşlenebilirliğin değerlendirilmesinde en önemli kriterler; takım ömrü, güç ve kuvvet, yüzey pürüzsüzlüğü ve talaş boşaltma kolaylığıdır (Fedai vd., 2018; Groover, 2015).

2.1. Minimum Miktar Yağlama

Minimum miktarda yağlama (MMY), basınçlı hava ile kesme bölgesine pulvarize olarak yağ püskürterek bir yağ tabakası oluşturmaktadır. Bu sayede kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmenin azaltılması sonucunda kesici takımın ve iş parçasının daha az ısınmasını sağlayan bir tekniktir. Bu yöntemin amacı, oluşan ısının büyük bir kısmının talaşla kesici takımın ve iş parçasının ısınmasını engelleyerek dışarı atılmasını sağlamasına izin vermektedir (Ayur ve Fedai, 2022).



Şekil 2.1. MMY şematik gösterimi (Çağan, vd., 2018)

Bitkisel yağlar, doğal çevre dostu olduklarından dolayı MMY sisteminde yaygın olarak kullanılmaktadır. MMY yönteminde kullanılan sıvı miktarı yalnızca uygulamaya ve sıvının türüne bağlı değildir. Genellikle saatte 10 ila 150 ml arasında değişmektedir. İşlem sırasında yağ neredeyse tüketildiği için havaya karışmaz (Carou, 2015; Said, 2019; Sharma, 2016; Sultana, 2022; Urmı, 2022).

2.2. Tortalama İşlemi

Tortalama işlemi tipik olarak aksenel dönebilen parça oluşturabilmek için iş parçasından talaş kaldırarak yapılan imalattır. Tortalama işlemi sırasında kendisi torna makinesine bağlı olan aynaya sabitlenen önceden kendi şekline sahip malzeme parçası yüksek hızda döndürülür. Bu işlemi yapmak için tek noktalı kesici takım kullanılmaktadır. Bazı işlemler vardır ki punda deliği açılarak iki eksen boyunca hareket ettirilerek çok hassas biçimde işlemler yapılabilmesi mümkündür (Said, vd., 2019).

İş parçası ve kesici takım arasında sürekli bir temas olduğundan dolayı takım iş parçası ara yüzeyinde çok fazla ısı oluşturmaktadır. İlerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği, iş parçası cinsi ve kesici takım cinsi çok çeşitli parametrelere sahiptir. Bunun yanında üç önemli talaş kaldırma değişkeni mevcuttur. Bunlar; yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklıktır. Uygun çalışma koşulları, iş parçası başına minimum işleme maliyeti, maksimum üretim hızı, maksimum üretim hızı ve mükemmel yüzey kalitesi elde etmek için yüksek kesme hızı, düşük kesme derinliği, düşük ilerleme ve bunlara uygun soğutma yağlama sıvısıyla beraber en iyi koşulları sağlamak mümkündür (Rifat, vd., 2017; Sultana, vd., 2022; Urmı, vd., 2022).

2.3. Frezeleme İşlemi

Frezeleme işlemi malzemenin istenmeyen yerini keserek düz, kavisli veya düzensiz yüzeylerin işlendiği en yaygın olarak kullanılan işleme yöntemlerinden birisidir. Bu işleme türünde iş parçası birden fazla kesici kenarı olan dönen bir kesiciye karşı beslenir ve istenen şekli oluşturmak için malzeme bu iş parçasından küçük talaşlar şeklinde kesilirler. Çeşitli ek parçalarla frezeleme simetrik olmayan parçaları da

işleyebilmektedir. Ayrıca bunun yanında iş parçasına delik açma, diş açma, yuva yapma, oluklu kılavuzlar ve raybaya sahip birçok malzeme üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Rifat, vd., 2017).

Freze makineleri genel olarak yatay ve dikey freze olarak sınıflandırılırlar. Frezeleme işleminin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi için kesme yağı veya soğutma sıvısı kullanılması şarttır. Kesme sıvısı, sıvı tankından pompa sistemi ile tezgâha tutturulmuş olan lüleye gelerek iş parçası ile kesici takımın bulunduğu yere doğru püskürtülmektedir. Soğutucu/yağlayıcı sıvısı sürtünmeden kaynaklı oluşan ısıyı, tezgâh üzerinde biriken talaşı, kesici takım ömrünü ve tezgâhta oluşabilecek paslanmalara karşı koruyucu görevi üstlenmektedir (Rifat, vd., 2017; Said, vd., 2019; Urmi, vd., 2022).

2.4. Taşlama İşlemi

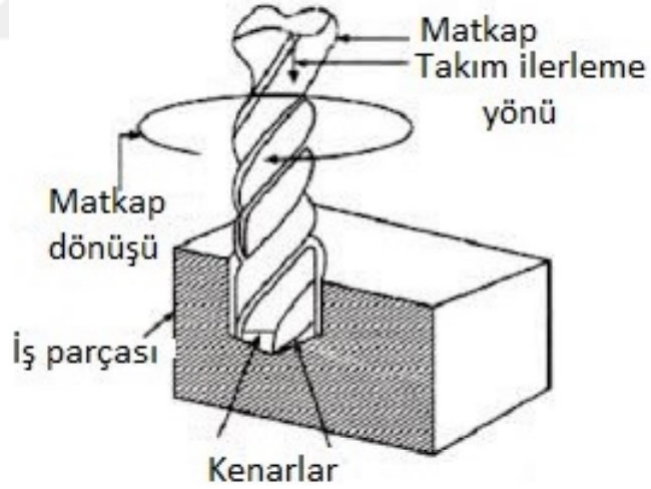
Taşlama, yakın boyut toleransları ve ince yüzey kusurları gerektiren bileşenler için bitirme işleme prosesi olarak günümüz sanayisinde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Taşlama işlemi sonrası elde edilen hassasiyet ve yüzey kalitesi tornalama ya da frezelemeden on kata kadar daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Taşlama işleminde bir bağlayıcı içinde bir arada tutulan bir araya gelen aşındırıcı taneciklerden oluşan döner bir çark çalışma yüzeyi ile kontrollü bir şekilde temas gerçekleştirilir. İşlem sırasında sürtünmeden kaynaklı oluşan ısı yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu işlemde kullanılan soğutma/yağlama sıvıları çark ve iş parçası arasında oluşan ısıyı azaltmakta ve yüzey kalitesini iyileştirmeye yaramaktadır. Böylelikle çarkı ve iş parçasını yanma, faz dönüşümleri, istenmeyen artık çekme gerilmeleri, termal etkilerden ve çarpımalardan korumaktadır (Sharma, vd., 2016; Urmi, vd., 2022).

Araştırmacılar taşlama işlemi esnasında oluşan talaşı uzaklaştırılmadığı takdirde çark ile iş parçasının birbiriyle nüfuz etmediğini gözlemlemişlerdir. Geleneksel olarak kullanılan soğutma/yağlama yönteminin insan ve çevre sağlığı açısından zararlı olarak görülüp minimum miktarda yağlamanın daha çevre dostu ve daha az maliyetli olduğunu gözlemlemişlerdir (Rifat, vd., 2017; Said, vd., 2019).

2.5. Delme İşlemi

Delme işlemi, bütün talaşlı imalat yöntemlerinin neredeyse %75'ini oluşturan en yaygın işleme tipidir. Bu işlemde kullanılan iki veya daha fazla simetrik kesme kenarına sahip spiral oluklu bir takım ile beraber metalik veya metalik olmayan malzemelerde istenilen çaplarda delikler açılabilmektedir (Rifat, vd., 2017).

Torna tezgâhında delme işlemi, dönen iş parçasına sabit bir matkabı zorlayarak yapılır (Usta, vd., 2017). Freze tezgâhında delme, sabit iş parçasına delme aletleri yardımıyla yapılır (Bozdoğan, vd., 2012). İşlem sırasında dönen keskin uçlar tarafından talaşlar oluşturulur ve helisel olukların vida hareketiyle talaşlar deliklerden çıkarılır. Talaş meydana gelip yüzeye doğru çıkarıldığı esnada takım ucunda ısı ve yüksek sıcaklık meydana gelir ve bu sıcaklık matkap ucuna zarar vererek matkabın kalitesini düşürüp ucunun körelmesine neden olmaktadır. Bu nedenden dolayı soğutma/yağlama sıvısı kullanımına dikkat edilmesi gerekmektedir (Rifat, vd., 2017; Said, vd., 2019; Sharma, vd., 2016; Urmı, vd., 2022).



Şekil 2.2. Delik delme işlemi şematik gösterimi (Batman, 2019)

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde tez çalışması ile ilgili literatürde daha önce yapılan çalışmalar ele alınıp incelenerek kısa değerlendirmeler yapılmıştır.

Ahmed ve arkadaşları, yaptıkları bu çalışmada AISI Paslanmaz Çeliğin işlenebilirliğini arttırmak için bir soğutma sistemine dayalı iş parçasını soğutma işlemini göstermektedir. Bu yöntem kesilen bölgenin sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması oluşumu ve iş parçası mikro yapısındaki değişimleri kuru işlemeyle karşılaştırılmaktadır. Yapılan çalışmada önerilen yöntemin verimli olduğu daha iyi bir yüzey kalitesi sağladığı ve pürüzlülüğü %9 oranında azalttığı kesilen parça sıcaklığını da %24 ila %60 oranında düşürdüğü ve belirli işleme koşullarında kesici takımın aşınmasını en aza indirdiğini bizlere göstermektedir (Ahmed, vd., 2023).

Asal ve arkadaşları, yaptıkları bu çalışmada yapay zekâ tekniklerine başvurularak freze işleminin yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmeye dayalı matematiksel model oluşturulmuştur. Deneyde iş malzemesi olarak kalıp çeliği kullanılmıştır. Koşul olarak minimum miktar yağlamada ve kuru kesim koşulları altında yapılmıştır. Kesme hızları 80, 130 ve 180 mm/dk olarak belirlenmiştir. Ayrıca ilerleme hızları 0,5, 0,8 ve 1 mm/diş olarak kullanılmış olup toplam 27 deney yapıldı ve çıkan sonuçlar MATLAB programı ve MMY yönteminin yüzey pürüzlülüğüne etkileri kullanılarak ANFİS programında modellenmiştir. MİNİTAP programında regresyon analizi yapılarak matematiksel model oluşturmuştur. ANFİS ve regresyon analizinde çıkan sonuçlar karşılaştırıldı ve sonuç olarak ANFİS modeli %100 doğru veriler sağlar iken regresyon modeli %70 doğruluk elde ettiği gözlemlendi (Asal, vd., 2021).

Goindi ve arkadaşları çalışma yaptıkları bu makalede MMY ile işlemede çalışan personel sağlığı tehlikeleri ve çevre kirliliğine yol açan nedenleri olduğu bilinen kesici sıvılarına ek katkı olarak geniş ölçüde araştırılması yapılmıştır. Bunun yanında sadece MMY işleminde kullanılan yağlayıcıların belirli sınırdaki olduğu biliniyor ve sürdürülebilirliği çok etkili başka yağlayıcı araştırmasını yapmaktadırlar. Araştırılan iyonik sıvılar fizibilitesi ve etkilerini araştırmalarını ve metal kesme işleminde karşılaşılan zor koşullarda yağlayıcı olarak etkili mekanizmalı sıvıları araştırmayı

sağladı. Araştırmalarda kullandıkları sade karbonlu çelik MMY’da ve kuru frezelemede bitkisel yağ çeşidi olarak kanola yağına katkı maddesi eklenerek iyonik sıvı olarak değerlendirilmiştir. 150 ve 200 m/min olarak iki kesme hızı parametresi kullanılmış ve ilerleme olarak da 0,1 ve 0,3 mm/diş olmak üzere iki parametre kullanılmıştır. MMY cihazının debisi ise 39-72 ml/saat aralığında değişiklik göstermektedir. Sonuç olarak iyonik sıvı varlığını az bir şey de hissettirse işleme sürecini önemli bir şekilde etkilediği kanaatine varılmıştır. Ayrıca kuvvetleri azaltmada da önemli derecede etkili olmuştur. Bu nedenle enerji kullanımını da azaltacağı için sürdürülebilir sonuçlar elde edilir (Goindi, vd., 2017).

Kang ve arkadaşları, yaptıkları bu çalışmada Ti0.75AL0.25N ve Ti0.69AL0.23Si0.08N kaplamalı karbür freze takım uçlarının performansını inceledi. Deneyi yaparken MMY ve kuru koşulları kullanarak karşılaştırdılar. İş malzemesi olarak 62 VSD-C sertliğinde kalıp çeliği kullandılar. Çalışmalarda Amorf Si₃N₄ nano kompozit küçük tanecikli (Ti, Al, Si) kristalitler olarak karakterize edilen Superhard Ti-Al-Si-N Filmler, WC-Co substratlarında ark iyon kaplama (AIP), hibrit kaplama sistemi ve MMY yöntemiyle başarılı bir şekilde gerçekleşmiş oldu. Kaplamalı takım uçların aşınmasını yüksek hızlı kesim koşulları altında değerlendirildi. Dönme hızı 12000 devir/dk, ilerleme 0,01 mm/diş ve kesme derinliği 2 mm olarak çalışmalarını yaptılar. Kuru işlemeye kıyasla MMY yöntemiyle yapıldığında kaplamalı bir takımın yüksek sertlikte bir malzemeyi yüksek hızlarda işlemesi fizibiliteyi kanıtlamaktadır (Kang, vd., 2008).

Mulyadi ve Mativenga, yaptıkları bu çalışmada iş parçası kesici takım tarafından işlenirken lüle konumunun takım aşınması üzerindeki etkisi incelendi. Bu çalışmada MMY kullanarak işlemedeki faydaları en üst dereceye çıkarmak için lülenin konumu ve yönü hakkında bizlere bilgi sağlamaktadır. MMY kullanarak yapılan işlemlerde tekrarlanabilirliği ve aynı zamanda lüleleri rastgele geliş güzel bir şekilde kesme bölgesine ayarlayan BSK kullanıcıları için daha uzun takım ömrünü destekleyebilmek için büyük öneme sahiptir. Deneyde H13 takım çeliği kullanıldı. Deneydeki seçilen parametreler de kesme hızı 700 m/dk ve ilerleme de 0,05 mm/diş olarak alındı. MMY’da kullanılan bitkisel yağın akış hızı ise 29,9 ml/saat olarak ayarlandı. Bu

çalışma esnasında işleme performanslarını arttırmak adına iş mili dönüş hızının lüle konumu üzerindeki etkileri açıklanmaktadır (Mulyadi ve Mativenga, 2013).

Sales ve Becker, yaptıkları bu çalışmada AISI 4140 çeliğinin TiAlN kaplamalı karbür uçlar ile bitkisel yağ bazlı kesme sıvısı MMY yöntemi kullanarak frezelemede uygulanan kesme sıvısının performansını ölçmek olup akış hızı 0 ila 200 ml/saat arasında ve her seferinde 50 ml/saat arttırılarak takım tutucunun içerisinden işlenen parçaya doğru bitkisel yağ bazlı kesme sıvısı püskürtülmektedir. Deneyde kesme hızı 250 m/dk ve ilerleme de 0,1 mm/diş olarak alınmıştır. Yağlama/soğutma işlemi yapıldığı için AISI 4140 çeliğin frezele işleminde güzel performans ortaya koyuldu. Kesme sıvısındaki akış hızındaki artış ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin dereceli olarak azalması bizlere takım ömrünün uzadığını gösterdi. Dolayısıyla takım aşınmasında iyileşmeler kaydedildi (Sales ve Becker, 2009).

Şap, yapmış olduğu bu çalışmada piyasada ucuz ve hali hazırda bir malzeme olmasından kaynaklı ST52 çeliğini frezeleme koşullarında işlemiştir. İşleme esnasında sürdürülebilirliği sağlamak adına MMY kullanıldı. Deneyde 120, 180 ve 240 m/dk olmak üzere üç kesme parametresi kullanıldı. Aynı zamanda üç farklı ilerleme 0,12, 0,18 ve 0,24 mm/diş kullanıldı. Frezeleme işleminde kesme derinliği deney boyunca sabit tutularak 0,5 mm olarak alınmıştır. Tekrar sayılarını azaltmak için TAGUCHI L9 ortogonal dizisi kullanıldı. Deney sonuçlarında MMY ortamını kuru ortamla kıyasladığımızda MMY ortamda yüzey pürüzlülüğü %62,37 olurken takım aşınması %9,95 ve sıcaklığında verimi %13,82 arttırıldı (Şap, 2023).

Şirin, bu çalışmada AISI 316L paslanmaz çeliğin MMY yöntemleri altında işlenebilirliği araştırılmıştır. Yapılan deneyde alın frezeleme işleminde üç farklı kesme hızı değeri kullanıldı. Bunlar 120, 150 ve 180 m/dk'dır. Deneyde sabit ilerleme hızı olarak 0,1 mm/devir olarak alındı. Alın frezeleme işlemi yapılırken sabit kesme derinliği olarak da 0,5 mm olarak alındı. Alınan parametrelerle beraber işlenebilirlik performans kriterleri olarak yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve maksimum kesme sıcaklığı seçildi. Deneyler yapıldıktan sonra en düşük kesme sıcaklığı MMY koşulu altında dakikada 120 m/dk kesme hızında 101,1 °C sıcaklığıyla gerçekleşmiş oldu. En düşük yüzey pürüzlülük değeri MMY koşulu altında dakikada 150 m/dk kesme hızında

0,237 μm değeriyle gerçekleşmiş oldu. Deney sonuçları değerlendirme altına alındığında MMY kesme koşulu diğer koşullara kıyasla önemli gelişmeler sağladığı görüldü (şirin, 2021).

Uysal ve diğerleri bu çalışmalarında martenzitik paslanmaz elik sanayi sektöründe kullanım alan bakımından birçok geniş ve önemli bir yere sahiptir. rnek olarak hidroelektrik santrallerinde, havacılık alanlarında, otomotiv alanlarında, spor malzeme endüstrisinde, bilyalarda, rulmanlarda, hatta diş ve cerrahi aletler vb. için faydalı bir öneme sahiptir. Martenzitik paslanmaz çelikler mukavemetleri ve sertleri çok yüksek bir malzeme oldukları için ve aynı zamanda aşınmaya karşı dirençleri yüksek bir malzeme olduğu için malzemenin son şeklini aldırarak çok kolay değildir. Bu yüzden frezeleme tornalama veya delme gibi işlemlere ihtiyaç duyar. Bununla kalmayıp aynı zamanda martenzitik paslanmaz çelikler pek evre dostu olmayıp maliyeti yüksek kesme sıvılarıyla işlenmektedir. Bu deneyde AISI 420 martenzitik paslanmaz elik ve kaplanmamış tungsten karbür (WC) kesici takım MMY cihazıyla beraber bitkisel kesme sıvısı kullanılmıştır. Deneyde sabit kesme hızı 995 devir/dk, sabit ilerleme 180 mm/diş ve 20-40 ml/saat aralığında değişen MMY cihazı kullanıldı. Deney esnasında takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü gözlemlendi. Deney sonucunda MMY kullanımı yüzey pürüzlülüğünde azalma ve takım aşınmasında gecikme olduğu gözlemlenmiş oldu. Ayrıca kesme hızının ve ilerleme hızının sabit olduğu değerler altında 40 ml/saat olan MMY akış hızında en güzel sonuçlar elde edildi (Uysal vd., 2015).

Baldin ve diğer arkadaşları bu çalışmada MMY yöntemiyle uygulanan iki bitkisel bazlı ve bir mineral bazlı yağın performanslarını incelemiş ve ardından AISI 1045 eliğinin TiAlN kaplı çimentolu karbür uçlarla frezelenmesi sırasında kuru kesim ile karşılaştırılmıştır. Çalışma parametreleri olarak kesme sıcaklığı, işleme kuvvetleri, g tüketimi, iş parçası yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve takım aşınma mekanizmaları seçmişlerdir. Deneylerde iki kesme hızı (150 ve 200 m/dk) ve iki ilerleme hızı (0,07 ve 0,14 mm/diş) ve kesimin sabit derinlikleri 1 mm kullanılarak yapılmıştır. Sıcaklık, bir kızılötesi kamera kullanılarak ölçülmüştür. G, bir Fluke 435 enerji analizörü ve bir kistler dinamometresi ile işleme kuvveti bileşenleri ile izlenmiştir. Aşınmış uçlar, takım aşınma mekanizmasını analiz etmek için bir taramalı elektron mikroskobu

(SEM) altında incelendi. Kesme sıvılarının MMY yöntemi destekli uygulaması, kesme sıcaklığını önemli ölçüde düşürdü ve takımların ömrünü uzattı (Baldin, vd., 2023).

Hassanpour ve arkadaşları bu çalışmalarında 4340 alaşımlı çeliğin MMY kullanılarak sert frezelenmesinde kesme parametreleri ile işlenmiş yüzey bütünlüğü arasındaki ilişkilerini araştırmışlardır. Varyans analizi, ikinci dereceden polinom modellerinin yüzey pürüzlülüğünü ve mikro sertliği tahmin etmek için uygun olduğunu göstermiştir. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin katkısı; ilerleme hızı %49,2 kesme hızı %23,1 ve kesme derinliği %14,1 olarak belirlenmiştir. Kesme hızının artmasının yüzey kusurlarının azaltılmasında önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Mikro sertlik üzerinde karşılaştırmalı olarak en fazla etkiyi %73,1 ile ilerleme hızı ve %14,4 ile kesme hızı oluşturmuştur (Hassanpour, vd., 2016).

Vishal ve arkadaşları bu çalışmada, piyasada bulunan sebze bazlı bir kesme sıvısı kullanılarak çevre dostu MMY tekniği uygulanmaktadır. H13 çeliğinin işlenmesi sırasında gelişen yüzey özellikleri, talaş morfolojisi ve kesme sıcaklığının yoğunluğu üzerine bir araştırma yapılmıştır. Ayrıca, frezeleme için kullanılan PVD-titanyum-alüminyum azot / titanyum-azot kaplı karbür uçların takımında aşınma, 30, 45, 60 ve 75 m/dk'lık verilen kesme hızları ve 0,08, 1 ve 1,2 mm/devir ilerleme oranı için gözlemlendi ve sabit kesme derinliği 1 mm'dir. Bitkisel yağ bazlı MMY'dan elde edilen sonuçlar, kuru ve yağ işleme ile karşılaştırıldığında kesme sıcaklığında %52-57 ve %38-45 azalma ve ortalama yüzey pürüzlülüğünde %53-64 ve %22-40 aralığında bir azalma gözlemlendi (Vishal, vd., 2019).

Yan ve arkadaşları bu çalışmada, dövme çeliğin (50CrMnMo) uç frezelemesinde farklı yağlama modlarının, yani yağlama, kuru kesme ve MMY tekniğinin kullanıldığı geleneksel yolun işlenebilirlik üzerindeki etkisi araştırılmıştır. MMY parametreleri, besleme yönüne göre lüle yönünü, lüle yükselme açısını, lüle ucundan kesme bölgesine olan mesafeyi, yağlayıcı akış hızını ve hava basıncını içerir. Araştırma sonuçları, MMY tekniğinin, geleneksel taşkın kesme sıvısı beslemesi ve kuru kesme koşullarına kıyasla takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini düşürdüğünü göstermektedir. Talaş morfolojisi ve renk araştırmalarına dayanarak, MMY tekniği kesme sıcaklığını bir dereceye kadar düşürür. 120 °'lik nispi lüle besleme konumu,

60 °'lik açılı yüksekliği ve lüle ucundan 20 mm'deki kesme bölgesine olan mesafe, uzun takım ömrü ve azaltılmış yüzey pürüzlülüğü değerleri sağlar (Yan, vd., 2011).

Yusof ve Harun yapılan deneyde iki farklı yağlama koşulu altında gerçekleştirilmiştir. Değişken kesme parametrelerine sahip kuru ve MMY'dır. Her iki koşulda da takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü, işlenmiş yüzeyler mikro yapısı ve yüzey pürüzlülüğü gözlemlenmiş olup elde edilen sonuçlardan MMY'nın kuru işlemeyle karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur. 0,5 mm'lik takım, en düşük yüzey pürüzlülüğü ve en az aşınma oluşumu ile kullanılacak en optimum takım çapı olarak seçilmiştir. İş parçası için, kesme sıcaklığının mikro yapı üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olduğu ve işlenmiş yüzeyin ve daha büyük çaplı aletin yüzey pürüzlülüğünün aslında daha yüksek yüzey pürüzlülüğü ile sonuçlandığı gözlemleniler (Yusof ve Harun, 2017).

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. İş Parçası Malzemesi

Deneyde kullandığımız malzemelerimiz bir traktörde direksiyondan aldığı hareketi tekerlere iletim sağlayan parçalardan biri olan ve traktörün ön tekerlerinin sağa ve sola dümenleyerek dönmesine yardımcı olan ara eleman çolak koldur. Diğer karşılaştıracığımız malzeme ise sanayide çok sık karşımıza çıkan ve hemen hemen her imalat endüstrisinde kullanılan AISI 1040 imalat çeliğidir. Şekil 4.1’de AISI 1040 imalat çeliğinin ve dövme malzemelerinin resimleri gösterilmektedir. Çizelge 4.1 ve 4.2’de ise AISI 1040 imalat çeliğinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Traktör direksiyon kolu ve Ø60mm AISI 1040 imalat çeliği

Çizelge 4.1. Çalışmalarda kullanılan AISI 1040 imalat çeliğinin kimyasal bileşimi (Calik, vd., 2014; Ekşi, 2020)

Bileşenler	Karbon (C)	Manganez (Mn)	Fosfor (P)	Kükürt (S)	Silisyum (Si)
Yüzde Oranı	%0,37 – %0,44	%0,60 – %0,90	%0,04	%0,05	%0,15 – %0,30

Çizelge 4.2. Çalışmalarda kullanılan AISI 1040 imalat çeliğinin mekanik özellikleri (Calik, vd., 2014; Ekşi, 2020)

Mekanik Özellikleri	Değeri
Çekme Mukavemeti	580 – 700 MPa
Akma Mukavemeti	320 – 530 MPa
Sertlik	13 VSD-C
Isıl Genleşme Katsayısı	12 $\mu\text{m}/\text{M}\cdot\text{°C}$
Termal İletkenlik	51 W/M·K
Yoğunluk	7,8 g/cm ³

4.2. BSK Tezgâhı

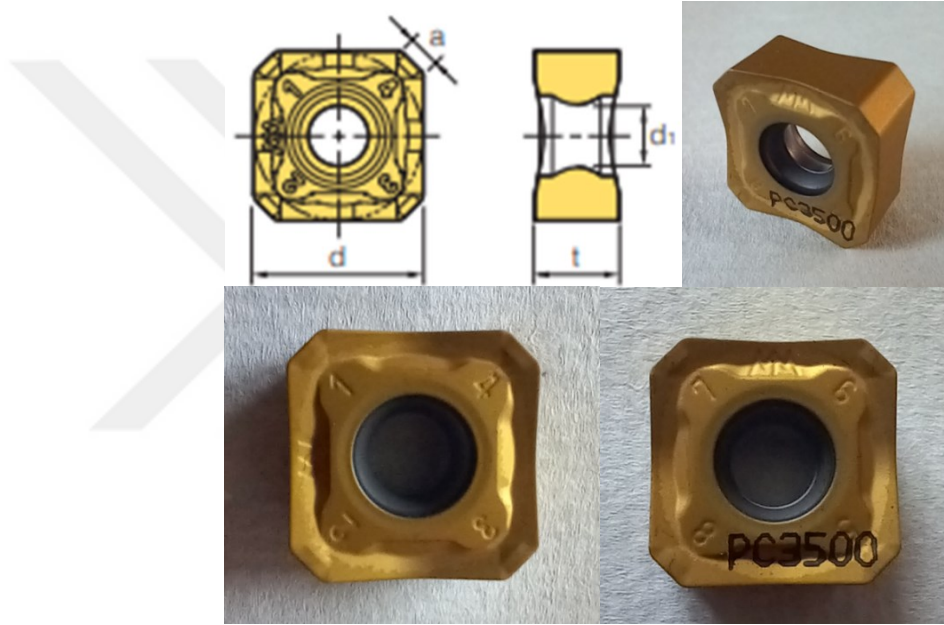
Yapılan deneyler, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü İmalat Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde SPINNER MVC1000 Marka BSK Freze Tezgâhı, BSK ekran kontrol ünitesi SIEMENS 840D kullanılmıştır. Tezgâhın gücü 15 kW, en yüksek devir sayısı 10000 dev/dk ve işletim sistemi Fanuc'tur. Şekil 4.2'de deneylerimizin gerçekleştirildiği BSK dik işleme tezgâhı gösterilmektedir.



Şekil 4.2. SPINNER MVC1000 marka dik işleme tezgâhı

4.3. Kesici Takım ve Takım Tutucu

Kesici ucumuz KORLOY marka SNMX1206ANN-MM numaralı CVD kaplamalı bir tarama elmasıdır. Elmasın bizlere sağlamış olduğu oldukça sert kesici uçlarla kaba yüzey işlemede takımın kırılmaması, yüksek kesme derinliklerine son teknoloji tasarım sayesinde kesme süresini kısaltması ve kullanım kolaylığı ile kesici uçların değiştirilme süresinin kısılması bize yarar sağlamaktadır. Şekil 4.3'te deneylerde kullandığımız kesici uçlarımızın 3 boyutlu görünümü ve görseli gösterilmektedir. Çizelge 4.3'te ise kesici elmasın mekanik özellikleri gösterilmiştir.



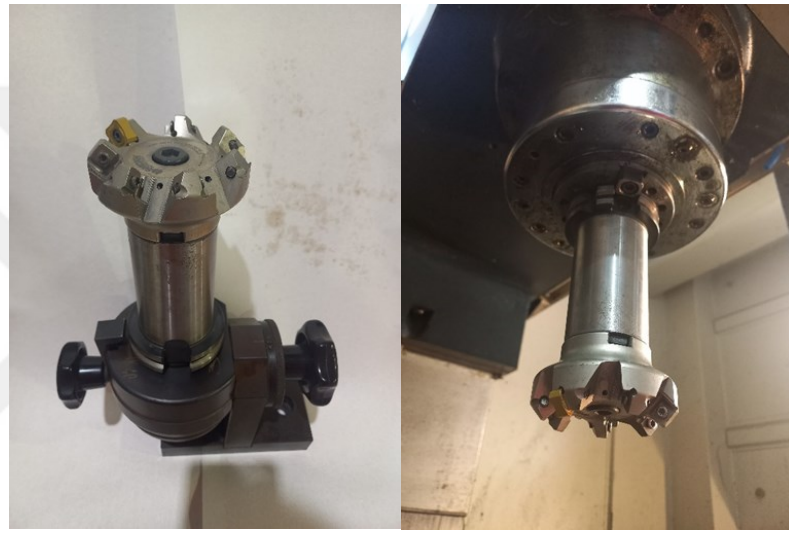
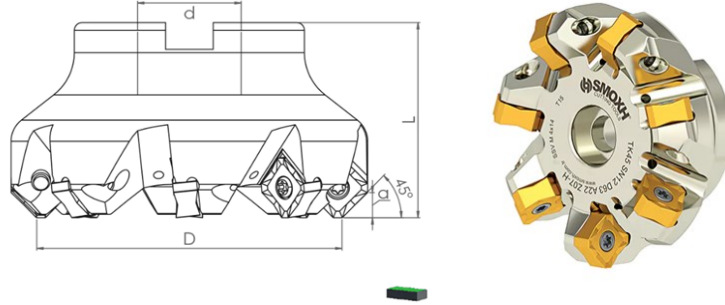
Şekil 4.3. Kesici takım ucunun 3 boyutlu görünümü ve Korloy marka kesici uç

Çizelge 4.3. Çalışmalarda kullandığımız kesici takım ucun mekanik özellikleri

a_p	2 mm
f_n	0,2 mm/devir
v_c	215 m/dk

Yapılan deneyde yedi kesici takım bağlanabilen kesici takım tutucusu kullanılmıştır. Şekil 4.4'te gösterilen kesici takım tutucusuna her farklı deney için farklı kesici uç elması kullanılarak deneylerimiz gerçekleştirilmiştir. Kesici takım tutucusu SMOXH marka 45° yüzey frezeleme TK45L SN12 D63 A22 ZO7-H* numaralı takım tutucu

kullanılmıştır. Şekil 4.4'te deneylerde kullandığımız kesici takımın yan görünümü ve tezgâha bağlı olan görseli gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Kesici takım tutucunun 3 boyutlu görünümü ve Smoxh marka kesici takım tutucusu

4.4. Kuru ve MMY Koşullarında Frezeleme İşlemi

Hem dövme malzemesi deneyleri yapılırken hem de AISI 1040 imalat çeliği deneyleri yapılırken kuru ve MMY frezeleme yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. MMY işlemi belirli miktar basınçlı havayla kesme bölgesine çok ince taneli sıvının püskürtülmesiyle ince bir katman oluşturarak kesici takım ile iş parçası arasında oluşan sürtünmenin azalması neticesinde kesici takım ve iş parçasının daha az ısınmasını sağlamaya yarayan bir tekniktir. Bu tür yöntemler kullanılarak takım ömrünü uzatabilir ve kaliteli yüzeyler de elde edilir (Carou, 2015; Said, 2019; Sharma, 2016; Sultana, 2022; Urmi, 2022).

Deneylerde kuru işlemlerinde ise kesici takım ve iş parçası üzerine herhangi bir soğutucu madde ya da yağlayıcı madde verilmez. Yapılan deneylerde Şekil 4.5'te gösterilen SBH Firmasına ait Werte Marka Mikro STN 15 Model çift kanallı mikro yağlayıcı cihazı kullanılmıştır. MMY sisteminin kullanıldığı tüm deneylerde 100ml/s hacimsel debi yağlama uygulanmıştır. Çizelge 4.4'te cihazın teknik özellikleri verilmiştir.

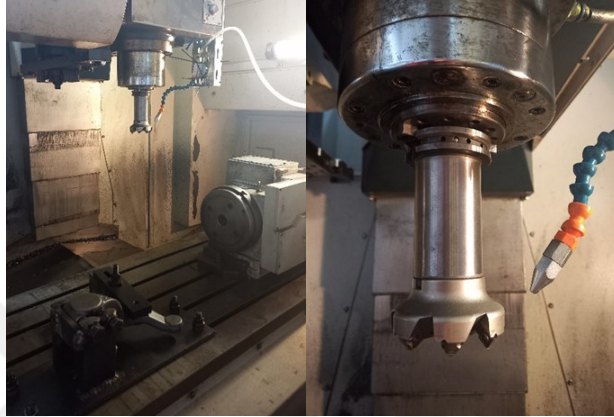


Şekil 4.5. Werte marka mikro stn 15 model minimum miktar yağlama cihazı

Çizelge 4.4. Werte marka mikro stn 15 model minimum miktar yağlama cihazının teknik özellikleri

Teknik Özellikleri	Değerleri
Çalışma Voltajı	24V AC/DC
Çalışma Basıncı	4 – 6 bar
Yağ Miktarı Min	0,0012 ml
Yağ Miktarı Max	0,028 ml
Yağlama Aralığı	0,1s – 10 s
Yağlama Süresi	0,1s – 10 s
Rezervuar	1,5 L
Viskozite Aralığı	2 – 30 cst

Werte Marka Mikro STN 15 Model çift kanallı mikro yağlayıcı cihazımızın üzerinde 2 adet lüle bulunmaktadır. Biz bütün deneylerimizde tek lüle kullandık. Lüle kesici takıma 3 cm uzaklıkta ve 45° açıyla konumlandırılmaktadır. Kompresör basıncımızı ve akışkanımızın debisini sabit tutarak kesici takım ve iş parçası üzerine doğru sabit bir şekilde püskürtme işlemi yaparak deneylerimiz gerçekleşmiştir. MMY cihazının yağlama ucu Şekil 4.6'da gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 4.6. Minimum miktar yağlama cihazının lülesinin kesici takıma göre yerleştirilmesi

Literatür araştırması yapıldığında birçok araştırmacı klasik soğutucular yerine bitkisel bazlı soğutucu yağlardan (kanola yağı, rafine palmiye yağı, soya yağı, yer fıstığı yağı, mısır yağı, mineral bazlı yağlar) faydalandığı görülmektedir. Bunun en temel nedenleri arasında çalışma esnasında bir takım faydalar sağladığı bilinmektedir. Bizim yapmış olduğumuz çalışmalarımızda soğutucu/yağlayıcı olarak Şekil 4.7'deki OİLO Marka soğuk sıkım yer fıstığı yağı kullanılmıştır.



Şekil 4.7. OİLO marka yer fıstığı yağı (5L)

4.5. Deney Tasarımı ve Kullanılan Kesme Parametreleri

Deneysel tasarım bir çeşit yapılan çalışmalarını gerek iyileştirme gerek zaman tasarrufu gerekse daha az malzeme sarfiyatıyla deney verilerinin optimize değerlerini bulma yollarından biridir. Bazı deneyler karmaşık yapıda ya da çok fazla verilerden dolayı karmaşık yapıda gözükseler de bu yöntemler sayesinde kolay yoldan sonuca ulaşılabilir.

Deneylemizde kesme hızı (V) ve ilerleme (f) parametreleri dövme malzemesi ve AISI 1040 imalat çeliği iş parçamızın yüzey frezeleme işleminde uygulanmış ve her iki farklı iş parçası için deney esnasında yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık, titreşim, tezgâhın gücü ve ses değerleri ölçülmüştür. Şekil 4.5'te deneyde kullanılan malzemelerin farklı kesme parametreleri ve seviyeleri gösterilmiştir. Çizelge 4.6'da da deney koşulları değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5. Deneyde kullanılan malzemelerin farklı kesme parametreleri ve seviyeleri

Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	İlerleme (mm/diş)	Kesme Hızı (m/dk)
AISI 1040 İmalat Çeliği	KURU	0,10	150
		0,15	200
		0,20	250
	MMY	0,10	150
		0,15	200
		0,20	250
Dövme Malzemesi	KURU	0,10	150
		0,15	200
		0,20	250
	MMY	0,10	150
		0,15	200
		0,20	250

Çizelge 4.6. Deney koşulları

Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/diş)
AISİ 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	150	0,1
		2	200	0,1
		3	250	0,1
		4	150	0,15
		5	200	0,15
		6	250	0,15
		7	150	0,2
		8	200	0,2
		9	250	0,2
	MMY	10	150	0,1
		11	200	0,1
		12	250	0,1
		13	150	0,15
		14	200	0,15
		15	250	0,15
		16	150	0,2
		17	200	0,2
		18	250	0,2
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	150	0,1
		20	200	0,1
		21	250	0,1
		22	150	0,15
		23	200	0,15
		24	250	0,15
		25	150	0,2
		26	200	0,2
		27	250	0,2
	MMY	28	150	0,1
		29	200	0,1
		30	250	0,1
		31	150	0,15
		32	200	0,15
		33	250	0,15
		34	150	0,2
		35	200	0,2
		36	250	0,2

Çizelge 4.7. Hesaplanan parametrelerin değerleri

Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	V	f	f_r	N	T_m	R_{MR}
AISI 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	150	0,1	75,8	757,9	0,83	58,53
		2	200	0,1	101,1	1010,5	0,62	78,04
		3	250	0,1	126,3	1263,1	0,50	97,55
		4	150	0,15	113,7	757,9	0,55	87,80
		5	200	0,15	151,6	1010,5	0,42	117,06
		6	250	0,15	189,5	1263,1	0,33	146,33
		7	150	0,2	151,6	757,9	0,42	117,06
		8	200	0,2	202,1	1010,5	0,31	156,08
		9	250	0,2	252,6	1263,1	0,25	195,11
	MMY	10	150	0,1	75,8	757,9	0,83	58,53
		11	200	0,1	101,1	1010,5	0,62	78,04
		12	250	0,1	126,3	1263,1	0,50	97,55
		13	150	0,15	113,7	757,9	0,55	87,80
		14	200	0,15	151,6	1010,5	0,42	117,06
		15	250	0,15	189,5	1263,1	0,33	146,33
		16	150	0,2	151,6	757,9	0,42	117,06
		17	200	0,2	202,1	1010,5	0,31	156,08
		18	250	0,2	252,6	1263,1	0,25	195,11
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	150	0,1	75,8	757,9	0,83	58,53
		20	200	0,1	101,1	1010,5	0,62	78,04
		21	250	0,1	126,3	1263,1	0,50	97,55
		22	150	0,15	113,7	757,9	0,55	87,80
		23	200	0,15	151,6	1010,5	0,42	117,06
		24	250	0,15	189,5	1263,1	0,33	146,33
		25	150	0,2	151,6	757,9	0,42	117,06
		26	200	0,2	202,1	1010,5	0,31	156,08
		27	250	0,2	252,6	1263,1	0,25	195,11
	MMY	28	150	0,1	75,8	757,9	0,83	58,53
		29	200	0,1	101,1	1010,5	0,62	78,04
		30	250	0,1	126,3	1263,1	0,50	97,55
		31	150	0,15	113,7	757,9	0,55	87,80
		32	200	0,15	151,6	1010,5	0,42	117,06
		33	250	0,15	189,5	1263,1	0,33	146,33
		34	150	0,2	151,6	757,9	0,42	117,06
		35	200	0,2	202,1	1010,5	0,31	156,08
		36	250	0,2	252,6	1263,1	0,25	195,11

Dövme malzemesinin ve AISI 1040 imalat çeliğinin yüzey frezeleme işleminde kullanılan ilerleme ve kesme hızlarına karşılık gelen dönme hızı (devir/dk) ve ilerleme hızı (mm/dk) sırasıyla denklem (4.1) ve (4.2) sayesinde hesaplanmıştır. Talaş kaldırma hızı (mm³/dk) ve işleme süresi (dk) ise denklem (4.3) – (4.5) sayesinde belirlenmiştir (Groover, 2010). Hesaplanan değerler Çizelge 4.7'ye kaydedilmiştir. Deney esnasında ve sonrasında ses, yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık, titreşim, güç ve enerji tüketiminden elde edilen sonuçlar analiz edilip değerlendirilmiştir.

$$N = \frac{V}{\pi \cdot D} \quad (4.1)$$

N = Dönme hızı (devir/dk)

V = Kesme hızı (mm/dk)

D = Freze çakısı çapı (mm)

$$f_r = N \cdot n_t \cdot f \quad (4.2)$$

f_r = İlerleme hızı (mm/dk)

n_t = Freze çakısındaki diş sayısı (1 adet)

f = İlerleme (mm/diş)

$$A = 0,5(D - \sqrt{D^2 + w^2}) \quad (4.3)$$

A = Yaklaşma mesafesi (mm)

w = Frezeleme genişliği (mm)

$$T_m = \frac{L+2A}{f_r} \quad (4.4)$$

T_m = İşleme süresi (dk)

L = Parça uzunluğu (mm)

$$R_{MR} = w \cdot d \cdot f_r \quad (4.5)$$

R_{MR} = Talaş kaldırma hızı (mm^3/dk)

d = Kesme derinliği (mm)

4.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

AISI 1040 imalat çeliği malzemesi ve dövme malzemelerin yüzey frezeleme işlemi bittikten sonra her deney sonrası tekrarlanarak parça üzerinden 4 farklı noktadan alınan ölçümler sırasıyla not edilmiştir. Dailyaid Marka DR100 Model yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmadan önce cihaz kalibresi yapıp deney numunelerinin üzerine basınçlı hava tutulduktan sonra dövme malzemelerinin ve AISI 1040 imalat çeliklerinin parça yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Cihazın görseli Şekil 4.8’de verilmiştir. Cihazın teknik özellikleri ise Çizelge 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Dailyaid marka DR100 model yüzey pürüzlülük cihazı ve AISI 1040 imalat malzemesi ölçümü

Çizelge 4.8. Dailyaid marka DR100 model yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değerler
Ölçüm Uzunluğu	2,5 mm
R_a Ölçüm Aralığı	0,05-15 μm
Algılayıcı Çapı	10 μm
Algılayıcı Açısı	90°
Duyargaç Kılavuz Kafa Basıncı	0,5 N

4.7. Titreşimin Ölçülmesi

Deney çalışmaları yapılırken PCE Marka VT 1300 Model titreşim ölçme cihazı ve AISI 1040 imalat çeliği malzemesi ve dövme malzemelerinin tam ortasından ve frezelenen yüzeyin yaklaşık 1 cm altından ölçüm gösterilmiştir. Deneyde kullanılan cihazın görseli Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. PCE marka VT 1300 model titreşim ölçme cihazı ve ölçümü

4.8. Sesin Ölçülmesi

Yaptığımız bütün deneylerimizde hem dövme malzemede hem de AISI 1040 imalat çeliği malzemesinde PCE Marka 322A Model ses seviye ölçme cihazı kullanılmıştır. Yapılan her işlerde ortamın sesi ölçülmüştür. Cihazın tezgâhtaki konumu ve görseli şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. PCE marka 322A ses seviye ölçme cihazı ve ölçümü

4.9. Sıcaklığın Ölçülmesi

Yapılan her bir deney esnasında dövme malzemesi ve AISI 1040 imalat çeliği malzemelerinden oluşan ısıdan etkilenen alan Testo Marka 881 Model termal görüntüleyici kamera ile ölçülmüştür. Cihazın görseli Şekil 4.11’de gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Testo marka 881 model termal kamera cihazı

4.10. Güç ve Enerjinin Ölçülmesi

Dövme malzemesinde ve AISI 1040 imalat çeliğinde yüzey frezeleme deneylerinde HIOKI Marka 3390 Model güç analiz cihazı ile yüzey frezeleme işlemi esnasında freze tezgâhının kullandığı güç ölçülmüştür ve elde edilen veriler kaydedilmiştir. Cihazın görseli ve BSK dik işleme tezgâhına olan bağlantıları ve konumu Şekil 4.12’de gösterilmektedir.



Şekil 4.12. HIOKI marka 3390 model güç analiz cihazı ve ölçümü

Enerji tüketimi (kJ) ile özgül enerji tüketimi (J/mm³) denklem (4.6) ve (4.7) yardımıyla hesaplama işlemi yapılmıştır.

$$E = P \cdot T_m \quad (4.6)$$

E = Enerji (J)

P = Güç (W)

T_m = İşleme süresi (s)

$$SE = \frac{E}{H} \quad (4.7)$$

SE = Özgül enerji (J/mm³)

H = Bir pasoda alınan toplam talaş hacmi (mm³)

4.11. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri, karar süreçlerinde birden fazla ve çoğunlukla birbirine zıt kriterin dikkate alındığı problemlerin çözümüne yönelik yaklaşımlar sunmaktadır. Bu yöntemler, belirli bir hedef doğrultusunda birçok alternatifi, bir dizi kritere göre değerlendirir ve en iyi seçimi yapmaya olanak sağlar. ÇKKV, birden fazla kriterin aynı anda dikkate alınması gerektiği durumlarda karar vericilere büyük avantaj sağlar (Hwang ve Yoon, 1981). Mühendislik, ekonomi, işletme ve birçok alanda karar alma süreçlerinde geniş bir uygulama alanına sahiptir (Triantaphyllou, 2000).

Hwang ve Yoon (1981), tarafından geliştirilen TOPSIS gibi yöntemler, alternatiflerin en iyi ve en kötü çözümlerle olan uzaklıklarını dikkate alarak sıralama yapmaktadır. VIKOR ise, uzlaşma çözümleri bulmayı amaçlayan bir ÇKKV yöntemidir ve alternatifler arasındaki dengeyi sağlama yeteneği ile bilinmektedir (Opricovic ve Tzeng, 2004). Ayrıca Gri İlişki Analizi (GİA), özellikle belirsizliklerin ve eksik verilerin bulunduğu karar problemlerinde etkin bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Julong, 1989).

Ağırlıklandırma yöntemleri, ÇKKV süreçlerinde her bir kriterin karar üzerindeki önemini belirlemek için kullanılır. Karar vericiler, her bir kriterin problem için taşıdığı öneme göre ağırlıklar belirler. Farklı ağırlıklandırma yöntemleri, kriterlerin göreceli önemini belirlerken farklı yaklaşımlar sunmaktadır.

Literatürler incelendiğinde ağırlıklandırma yöntemleri, subjektif, objektif veya karma yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır. Subjektif yöntemler, karar vericinin tecrübelerine ve bilgisine dayalı olarak ağırlık belirler iken objektif yöntemler, veriye dayalı matematiksel yöntemlerle ağırlıkları belirler. Karma yöntemler ise her iki yaklaşımı birleştirerek yapılmaktadır (Wang ve Luo, 2010). Objektif ağırlıklandırma yöntemlerinde, ağırlık belirlemek için karar matrisi elemanları kullanılır. Bu yöntemlerde, ağırlıkları belirlemek için her bir kritere ilişkin farklı alternatiflerin performanslarındaki değişimlerinden yararlanılır (Keshavarz-Ghorabae, vd., 2021).

Entropy, CRiteria Importance Through Inter-criteria Correlation (CRITIC), Standart sapma (Standard Deviation-SD), Method based on the Removal Effects of Criteria (MERECE), Criterion Impact LOSs (CILOS), Integrated Determination of Objective CRiteria Weights (IDOCRIW), Entegre Veri Odaklı Ağırlıklandırma Sistemi (Integrated Data Driven Weighting System (IDDWS), Eşit ağırlık (Mean weight (MW)) gibi yöntemler objektif kriter ağırlıklandırma yöntemlerine birer örnektir.

4.12. CRITIC Yöntemi

CRITIC yöntemi, ÇKKV problemlerdeki karar aşamasında yer alan kriterlerin önem ağırlıklarının objektif olarak belirlenmesi için önerilmiştir. CRITIC yöntemi, kriterlerin standart sapmalarının ve kriterler arası korelasyonun birlikte kullanılarak gerçekleştirilen öznel bir ağırlıklandırma yöntemidir.

CRITIC yöntemi dört adımdan oluşmaktadır (Akçakanat, vd, 2018);

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması ve normalize edilmesi;

$$X_j^{maks} = J$$

Kriterin alternatifleri arasındaki maksimum değeri gösterir iken,

$$X_j^{min} = J$$

Kriterin alternatifleri arasındaki minimum değeri göstermektedir.

$i = 1,2,3 \dots, m$ alternatifler,

$j = 1,2,3 \dots, n$ kriterler ise;

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{min}}{x_j^{maks} - x_j^{min}} \quad (4.8)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{maks} - x_{ij}}{x_j^{maks} - x_j^{min}} \quad (4.9)$$

Maksimum nitelikli (fayda) kriterler için eşitlik (4.8), minimum nitelikli (maliyet) kriterler için ise eşitlik (4.9) kullanılır yani; karar matrisinin x_{ij} elemanlarına normalizasyon işlemi uygulanarak r_{ij} değerleri elde edilir.

Adım 2: Kriterler arası ilişki derecesinin belirlenmesi;

Normalizasyon sonucu elde edilen r_{ij} değerleri kullanılarak eşitlik (4.10) yardımıyla j kriteri ile k kriteri arasındaki korelasyon değerleri P_{jk} hesaplanır.

$$P_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)(r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad (j, k = 1,2,3 \dots n) \quad (4.10)$$

Adım 3: C_j Değerlerinin hesaplanması;

$\sigma_j = j$ Kriterin standart sapma değeri olmak üzere,

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}{m}}$$

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - P_{jk}) \quad (j = 1, 2, 3 \dots n) \quad (4.11)$$

Adım 4: Kriter ağırlıklarının hesaplanması;

Son adımda ise her j kriterinin C_j değeri, tüm kriterlerin değerlerinin toplamına oranlanarak ağırlık değerleri hesaplanmaktadır.

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n (C_k)} \quad (j, k = 1, 2, \dots n) \quad (4.12)$$

4.13. VIKOR Yönteminin Temelleri

VIKOR yönteminin temelinde, alternatifler ışığında ve değerlendirme kriterleri kapsamında bir uzlaşık çözümün tespit edilmesi vardır. Bu uzlaşık çözüm, ideal çözüme en yakın çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Uzlaşık çözüm ifadesiyle, alternatifler için çok kriterli sıralama indeksi oluşturularak, belirli koşullar kapsamında ideal çözüme en yakın kararın verilmesi anlaşılmaktadır. Her alternatifin, karar verme kriterleri bazında değerlendirildiği varsayımı altında, ideal alternatife yakınlık değerleri karşılaştırılarak uzlaşık sıralamaya ulaşılır. Yöntem ayrıca, karar verici grubun sonuç üzerinde etkili olabilmesine de imkân vermektedir. Maksimum grup faydasının ve buna bağlı olarak karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının sonuca etki ettirilebilmesi söz konusudur. VIKOR yönteminin adımları şu şekilde özetlenebilir (Aslan, vd, 2023);

1. Adım: Her bir kriter için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerler belirlenir. Eğer i kriteri oluşturulan model açısından “fayda” anlamında bir değerlendirme kriteri ise,

$j = 1, 2, \dots, n$ için;

$$f_i^* = \max f_{ij} \quad (4.13)$$

$$f_i^- = \min f_{ij} \quad (4.14)$$

Eğer i kriteri maliyet kriteri ise;

$$f_i^* = \min f_{ij} \quad (4.15)$$

$$f_i^- = \max f_{ij} \quad (4.16)$$

Şeklinde ifade edilebilir.

2. Adım: Her bir alternatif için S_j ve R_j değerleri hesaplanır.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (4.17)$$

$$R_j = \max [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad (4.18)$$

Bu denklemlerde w_i değeri her bir kriterin ağırlığını temsil etmektedir.

3. Adım: Aşağıdaki eşitlik kullanılarak $Q_j, j = 1, 2, \dots, J$ değerleri hesaplanır.

$$Q_j = v(S_j - S^*) / (S^- - S^*) + (1 - v)(R_j - R^*) / (R^- - R^*) \quad (4.19)$$

Burada;

$$S^* = \min S_j \quad \text{ve} \quad S^- = \max S_j \quad (4.20)$$

$$R^* = \min R_j \quad \text{ve} \quad R^- = \max R_j \quad (4.21)$$

Denklemleriyle ifade edilmektedir.

Denklemden görülen v değeri maksimum grup faydasının ağırlığını temsil ederken $(1 - v)$ değeri ise karşı tarafın yani minimum pişmanlığın ağırlık değerini ifade etmektedir.

4. Adım: Elde edilen S, R ve Q değerleri sıralanır. En küçük Q değerine sahip alternatif ya da değerlendirme birimi, alternatifler grubu içerisindeki en iyi seçenek olarak ifade edilir.

5. Adım: Elde edilen sonucun geçerli olması için iki koşul sağlanmalıdır. Ancak bu şekilde, minimum Q değerine sahip alternatif, en iyi olarak nitelendirilebilir. Bu koşullar, şu şekilde ifade edilebilir.

Koşul 1 (Kabul Edilebilir Avantaj): En iyi ve en iyiye en yakın seçenek arasında belirgin bir fark olduğunun kanıtlanmasını içeren koşuldur. Bu koşul altında sağlanması gereken denklem aşağıdaki gibidir.

$$Q(P1) - Q(P2) \geq DQ \quad (4.22)$$

Burada $P1, Q$ değerine göre yapılan sıralamada ikinci sırada bulunan alternatiftir. DQ değeri ise J alternatif sayısı iken, $DQ = 1/(J - 1)$ formülü ile hesaplanır.

Koşul 2 (Kabul Edilebilir İstikrar): Elde edilen uzlaşık çözümün istikrarlı olduğunun kanıtlanması açısından şu koşulun sağlanması gerekir: En iyi Q değerine sahip $P1$ alternatifi, S ve R değerlerinin de en az bir tanesinde en iyi skoru elde etmiş olmalıdır. Belirtilen iki koşuldan bir tanesi sağlanamazsa uzlaşık çözüm kümesi şu şekilde önerilir;

Eğer Koşul 2 sağlanmıyorsa $P1$ ve $P2$ alternatifleri,

Eğer Koşul 1 sağlanmıyorsa $P1, P2, \dots, PM$ alternatifleri dikkate alınarak eşitsizlik şu şekilde ifade edilir;

$$Q(PM) - Q(P1) < DQ$$

Uzlaşık çözüm kümesi dahilinde Q değerlerine göre sıralama yapılır. En iyi alternatif, minimum Q değerine sahip alternatiflerden biridir.

4.14. VIKOR Yönteminin Özellikleri

ÇKKV yöntemlerinden VIKOR yönteminin bazı önemli özellikleri aşağıda verilmiştir (Aslan, vd, 2023).

- VIKOR yaklaşımı ile karar vericilerin fikir ayrılıkları uzlaşarak çözülebilir olmalıdır.
- Karar verici, ideal çözüme en yakın çözümü kabul etmeye istekli olmalıdır.
- Fayda ile her kriter fonksiyonu arasında doğrusal bir ilişki vardır.
- Alternatifler, belirlenen tüm kriterler için değerlendirilir.
- Karar vericinin tercihleri ağırlıklar ile ifade edilir.
- VIKOR yöntemi, karar vericinin etkileşimli katılımı olmadan başlar fakat karar verici nihai çözümü onaylamaktan sorumludur. Karar verici, bu nihai çözüme kendi tercihlerini de dahil edebilir.
- VIKOR yöntemi, özellikle sistem tasarımının başında karar vericinin deneyimli olmadığı veya tercihini belirtmeyi bilmediği durumlarda etkili bir yöntemdir.

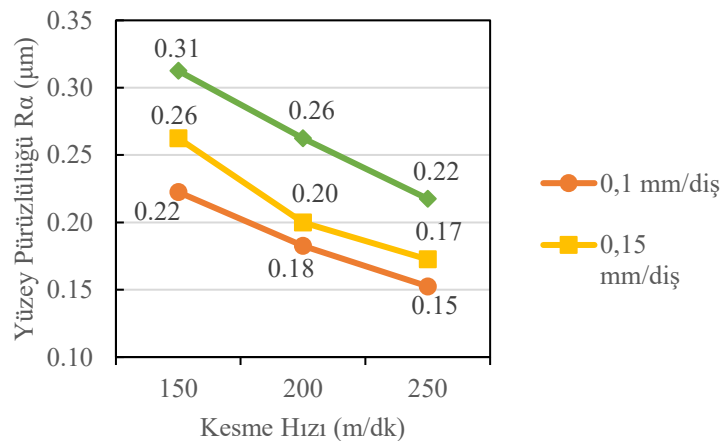
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada AISI 1040 imalat çeliği malzemesi ve dövme malzemesini yüzey frezeleme işlemi yapılarak yüzey pürüzlülüğü, titreşim, sıcaklık, ses, güç ve enerji değerleri hesaplanarak kararları analiz edilmiştir. Seçim için ÇKKV yöntemlerinden VIKOR yöntemi kullanılmıştır.

5.1. Yüzey Pürüzlülüğü

Geleneksel ve geleneksel olmayan imalat yöntemlerinde; malzemenin yapısı, kesici takım kalitesi, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, soğutma sıvısı ve tezgâhın merkezinin iyi olması gibi pek çok faktör, yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir. Bu faktörlerden birinin değişmesi ile yüzey pürüzlülüğü de değişebilmektedir. Ancak değişmeye neden olan faktörlerin etkenleri birbirinden farklı ve bağımsız olabileceği gibi, birbirleriyle alakalı da olabilir (Drozda, vd., 1983).

Yapılan deneylerde dövme malzemesi ve AISI 1040 imalat çeliğın işleme yönüne dik olacak şekilde frezeleme işlemi yapılan yüzeyin 4 farklı noktasından yüzey pürüzlülüğü R_a (μm) ölçümü yapılmış ve cihazın göstermiş olduğu değerler Çizelge 5.1’de verilmiştir. Kuru ve MMY işleme durumlarındaki deneylerin yüzey pürüzlülük grafikleri ise sırasıyla Şekil 5.1-5.4’te verilmiştir.



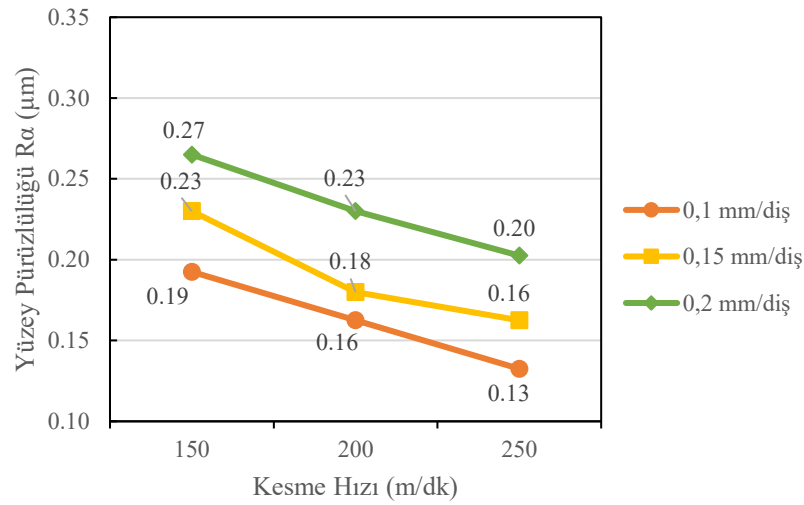
Şekil 5.1. AISI 1040 İmalat çeliği malzemesine ait parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) kuru işleme ortamında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) grafiğı

Çizelge 5.1. Deney sonrası ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri ve ortalamaları

Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	V	f	Yüzey Pürüzlülüğü (R_a , μm)				
					1	2	3	4	Ort.
AISI 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	150	0,1	0,23	0,21	0,2	0,25	0,22
		2	200	0,1	0,2	0,18	0,17	0,18	0,18
		3	250	0,1	0,17	0,15	0,13	0,16	0,15
		4	150	0,15	0,29	0,25	0,24	0,27	0,26
		5	200	0,15	0,22	0,19	0,18	0,21	0,20
		6	250	0,15	0,19	0,17	0,15	0,18	0,17
		7	150	0,2	0,34	0,3	0,29	0,32	0,31
		8	200	0,2	0,28	0,24	0,26	0,27	0,26
		9	250	0,2	0,24	0,21	0,2	0,22	0,22
	MMY	10	150	0,1	0,21	0,19	0,17	0,2	0,19
		11	200	0,1	0,18	0,17	0,14	0,16	0,16
		12	250	0,1	0,15	0,11	0,13	0,14	0,13
		13	150	0,15	0,26	0,22	0,21	0,23	0,23
		14	200	0,15	0,2	0,16	0,17	0,19	0,18
		15	250	0,15	0,18	0,14	0,15	0,18	0,16
		16	150	0,2	0,29	0,25	0,24	0,28	0,27
		17	200	0,2	0,25	0,22	0,21	0,24	0,23
		18	250	0,2	0,23	0,18	0,19	0,21	0,20
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	150	0,1	0,22	0,16	0,19	0,2	0,19
		20	200	0,1	0,17	0,14	0,12	0,15	0,15
		21	250	0,1	0,19	0,16	0,14	0,18	0,17
		22	150	0,15	0,25	0,21	0,22	0,24	0,23
		23	200	0,15	0,21	0,17	0,16	0,19	0,18
		24	250	0,15	0,22	0,2	0,18	0,21	0,20
		25	150	0,2	0,31	0,26	0,27	0,29	0,28
		26	200	0,2	0,26	0,22	0,23	0,25	0,24
		27	250	0,2	0,28	0,23	0,24	0,26	0,25
	MMY	28	150	0,1	0,19	0,15	0,14	0,17	0,16
		29	200	0,1	0,14	0,1	0,12	0,13	0,12
		30	250	0,1	0,17	0,13	0,14	0,17	0,15
		31	150	0,15	0,23	0,2	0,2	0,22	0,21
		32	200	0,15	0,18	0,15	0,16	0,18	0,17
		33	250	0,15	0,21	0,17	0,18	0,19	0,19
		34	150	0,2	0,27	0,23	0,25	0,26	0,25
		35	200	0,2	0,24	0,21	0,2	0,23	0,22
		36	250	0,2	0,25	0,21	0,22	0,24	0,23

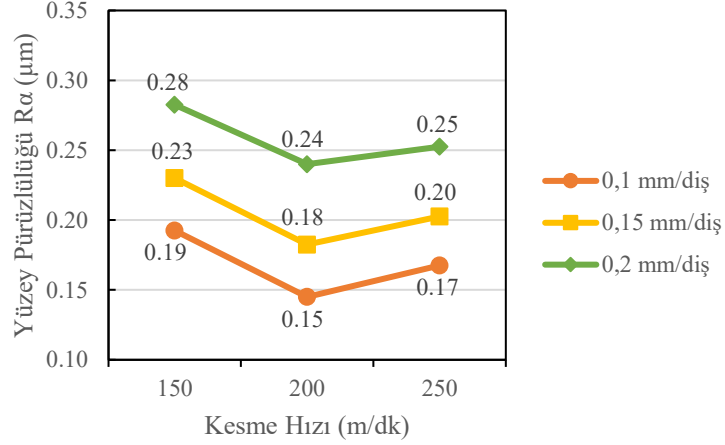
AISI 1040 İmalat çeliği malzemesine ait kuru işleme ortamındaki deney sonucunda yüzey pürüzlülüğü değerleri, deneylere göre geniş bir aralıkta değişim göstermiştir. En düşük pürüzlülük değeri 0,15 μm (deney no: 3) olarak ve 0,1 mm ilerleme, 250 m/dk

kesme hızı ile ölçülürken, en yüksek değer 0,31 μm (deney no: 7) olarak ve 0,2 mm ilerleme, 150 m/dk kesme hızı ile kaydedilmiştir. Bu bulgu literatürdeki çalışmalarla uyumludur. Kuru işleme ortamlarında daha yüksek yüzey pürüzlülüğü değerlerinin elde edildiğini ve bunun kesme bölgesinde yeterli soğutma ve yağlama eksikliğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kesme bölgesindeki sıcaklık artışı ve sürtünme kuvvetlerinin artması, yüzeyde daha fazla deformasyon ve dolayısıyla daha yüksek pürüzlülüğe yol açmaktadır.



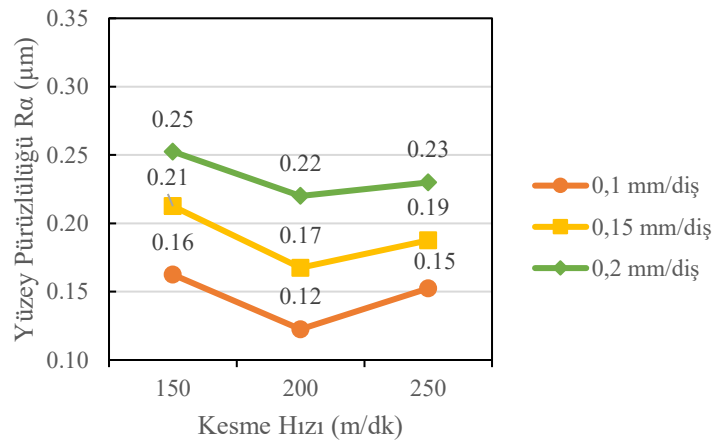
Şekil 5.2. AISI 1040 İmalat çeliği malzemesine ait parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) grafiği

AISI 1040 İmalat çeliği malzemesine ait MMY işleme ortamı ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü değerleri, kuru kesmeye kıyasla daha düşük ve daha tutarlı sonuçlar vermiştir. En düşük pürüzlülük değeri 0,13 μm (deney no: 12) olarak ve 0,1 mm ilerleme, 250 m/dk kesme hızı ile belirlenirken, en yüksek değer 0,27 μm (deney no: 16) olarak ve 0,2 mm ilerleme, 150 m/dk kesme hızı ile olmuştur. Literatürde MMY'nın, özellikle yüzey kalitesini iyileştirme açısından önemli avantajlar sağladığı bilinmektedir. Dhar ve diğerleri MMY'nın kesme sıvısının minimum miktarda kullanılmasıyla hem soğutma hem de yağlama sağladığını ve bu sayede daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edildiğini göstermiştir (Dhar, vd., 2006). Bu çalışmalarda, MMY'nın yüzey kalitesine olan katkısının kesme sıcaklığını ve sürtünmeyi azaltarak gerçekleştiği ifade edilmiştir.



Şekil 5.3. Dövme malzemesine ait parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) grafiği

Dövme malzemesine ait kuru işleme ortamındaki deney sonucunda yüzey pürüzlülüğü değerleri, deneylere göre geniş bir aralıkta değişim göstermiştir. En düşük pürüzlülük değeri 0,15 μm (deney no: 20) olarak ve 0,1 mm ilerleme, 200 m/dk kesme hızı ile ölçülürken, en yüksek değer 0,28 μm (deney no: 25) olarak ve 0,2 mm ilerleme, 150 m/dk kesme hızı ile kaydedilmiştir. Bu bulgu, literatürdeki çalışmalarla uyumludur. Kuru işleme ortamlarında daha yüksek yüzey pürüzlülüğü değerlerinin elde edildiğini ve bunun kesme bölgesinde yeterli soğutma/yağlama eksikliğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kesme bölgesindeki sıcaklık artışı ve sürtünme kuvvetlerinin artması, yüzeyde daha fazla deformasyon ve dolayısıyla daha yüksek pürüzlülüğe yol açmaktadır.

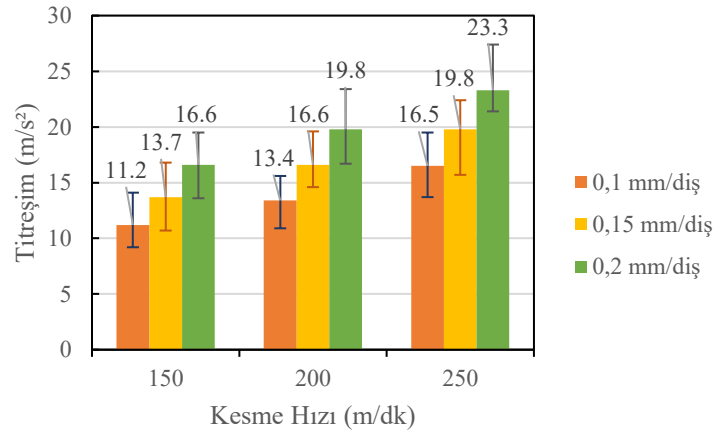


Şekil 5.4. Dövme malzemesine ait parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) grafiği

Dövme malzemesine ait MMY işleme ortamı ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü değerleri, kuru kesmeye kıyasla daha düşük ve daha tutarlı sonuçlar vermiştir. En düşük pürüzlülük değeri 0,12 μm (deney no: 29) olarak ve 0,1 mm ilerleme, 200 m/dk kesme hızı ile belirlenirken, en yüksek değer 0,25 μm (deney no: 34) olarak ve 0,2 mm ilerleme, 150 m/dk kesme hızı ile olmuştur. Literatürde MMY'nın, özellikle yüzey kalitesini iyileştirme açısından önemli avantajlar sağladığı bilinmektedir (Dhar, vd., 2006). MMY'nın kesme sıvısının minimum miktarda kullanılmasıyla hem soğutma hem de yağlama sağladığını ve bu sayede daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edildiğini göstermiştir. Bu çalışmalarda, MMY'nın yüzey kalitesine olan katkısının kesme sıcaklığını ve sürtünmeyi azaltarak gerçekleştiği ifade edilmiştir.

5.2. Titreşim

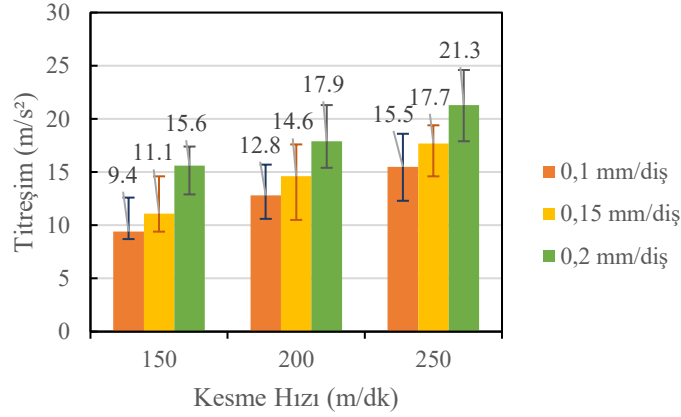
Deneylerde AISI 1040 imalat çeliği ve dövme malzemesi iş parçası üzerinden alınan titreşim m/s^2 değerlerinin maksimum, minimum ve ortalama değerleri Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. Tüm kesme koşullarında gerçekleşen deneylerin ortalama değer grafikleri de sırasıyla Şekil 5.5-5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. AISI 1040 imalat çeliği malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen ortalama titreşim grafiği

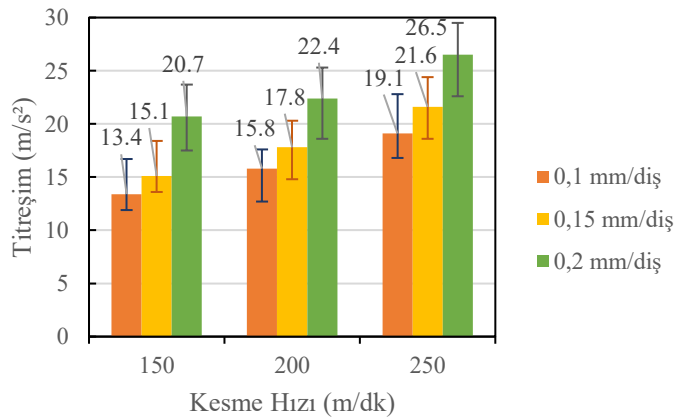
AISI 1040 imalat çeliği malzemesine ait kuru işleme ortamında elde edilen titreşim verileri, minimum 9,2 m/s^2 , maksimum 27,4 m/s^2 ve ortalama 18,3 m/s^2 değerlerine ulaşmıştır. Bu yüksek değerler, özellikle yüksek kesme hızlarında (örneğin

250 m/dk'da 23,3 m/s²) iş parçasında aşırı deformasyon ve takım aşınmasına yol açmıştır. Li, vd. (2018), kuru kesme işlemlerinde yüksek titreşimlerin, yüzey kalitesinin düşmesine ve iş parçasının toleranslarının bozulmasına yol açtığını bildirmiştir.



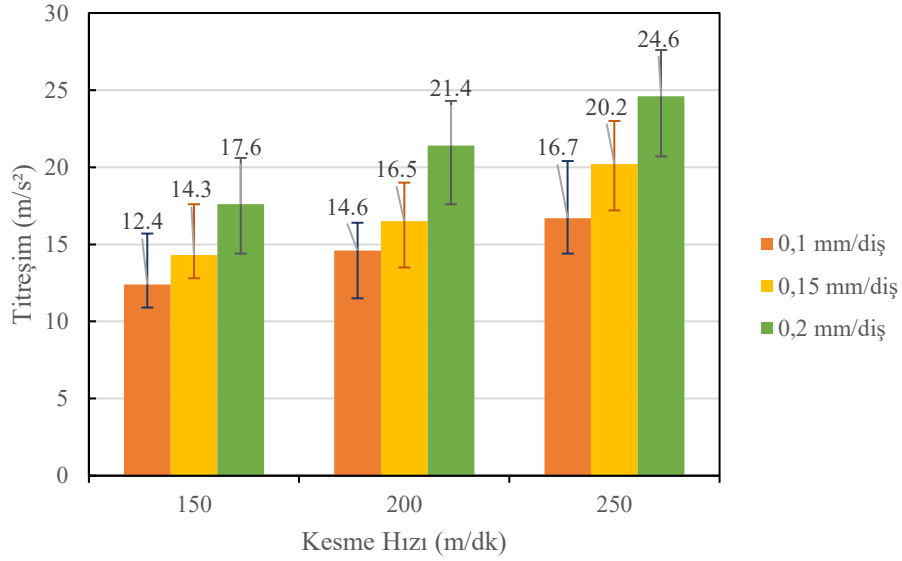
Şekil 5.6. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen ortalama titreşim grafiği

AISI 1040 imalat çeliği malzemesine ait MMY uygulamalarında da titreşim değerleri daha düşük seviyelerde kalmıştır. Minimum 8,7 m/s², maksimum 24,6 m/s² ve ortalama 16,65 m/s² gibi değerler elde edilmiştir. En yüksek titreşim değeri, 24,6 m/s² ile 250 m/dk kesme hızında ölçülmüştür. MMY sisteminin, titreşimleri kontrol etme kapasitesinin arttığını ve böylece kesme sırasında daha az aşınma ve daha iyi yüzey kalitesi sağladığı görülmektedir.



Şekil 5.7. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen ortalama titreşim grafiği

Dövme malzemesine ait kuru işleme ortamında elde edilen titreşim verileri, minimum 11,9 m/s², maksimum 29,5 m/s² ve ortalama 20,7 m/s² değerlerine ulaşmıştır. Bu yüksek değerler, özellikle yüksek kesme hızlarında (örneğin 250 m/dk'da 26,5 m/s²) iş parçasında aşırı deformasyon ve takım aşınmasına yol açmıştır. Li, vd. (2018), kuru kesme işlemlerinde yüksek titreşimlerin, yüzey kalitesinin düşmesine ve iş parçasının toleranslarının bozulmasına yol açtığını bildirmiştir.



Şekil 5.8. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen ortalama titreşim grafiği

Dövme malzemesine ait MMY uygulamalarında da titreşim değerleri daha düşük seviyelerde kalmıştır. Minimum 10,4 m/s², maksimum 28,5 m/s² ve ortalama 19,45 m/s² gibi değerler elde edilmiştir. En yüksek titreşim değeri, 28,5 m/s² ile 250 m/dk kesme hızında ölçülmüştür. MMY sisteminin, titreşimleri kontrol etme kapasitesinin arttığını ve böylece kesme sırasında daha az aşınma ve daha iyi yüzey kalitesi sağladığı görülmektedir.

Deney esnasında hem dövme malzemesinde hem de AISI 1040 imalat çeliğinin işleme esnasında ölçülen titreşim değerleri Çizelge 5.2'de deneyde ölçülen maksimum, minimum ve ortalama değer olarak verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deneyde ölçülen maksimum, minimum ve ortalama titreşim değerleri

Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	V	f	Titreşim (m/s^2)		
					Min	Max	Ortalama
AISİ 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	150	0,1	9,2	14,1	11,2
		2	200	0,1	10,9	15,6	13,4
		3	250	0,1	13,7	19,5	16,5
		4	150	0,15	10,7	16,8	13,7
		5	200	0,15	14,6	19,6	16,6
		6	250	0,15	15,7	22,4	19,8
		7	150	0,2	13,6	19,5	16,6
		8	200	0,2	16,7	23,4	19,8
		9	250	0,2	21,4	27,4	23,3
	MMY	10	150	0,1	8,7	12,6	9,4
		11	200	0,1	10,6	15,7	12,8
		12	250	0,1	12,3	18,6	15,5
		13	150	0,15	9,4	14,6	11,1
		14	200	0,15	10,5	17,6	14,6
		15	250	0,15	14,6	19,4	17,7
		16	150	0,2	12,9	17,4	15,6
		17	200	0,2	15,4	21,3	17,9
		18	250	0,2	17,9	24,6	21,3
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	150	0,1	11,9	16,7	13,4
		20	200	0,1	12,7	17,6	15,8
		21	250	0,1	16,8	22,8	19,1
		22	150	0,15	13,6	18,4	15,1
		23	200	0,15	14,8	20,3	17,8
		24	250	0,15	18,6	24,4	21,6
		25	150	0,2	17,5	23,7	20,7
		26	200	0,2	18,6	25,3	22,4
		27	250	0,2	22,6	29,5	26,5
	MMY	28	150	0,1	10,4	15,3	12,4
		29	200	0,1	12,7	18,5	14,6
		30	250	0,1	13,4	19,7	16,7
		31	150	0,15	12,2	17,3	14,3
		32	200	0,15	14,1	19,4	16,5
		33	250	0,15	18,7	23,4	20,2
		34	150	0,2	15,3	19,4	17,6
		35	200	0,2	18,4	24,8	21,4
		36	250	0,2	21,9	28,5	24,6

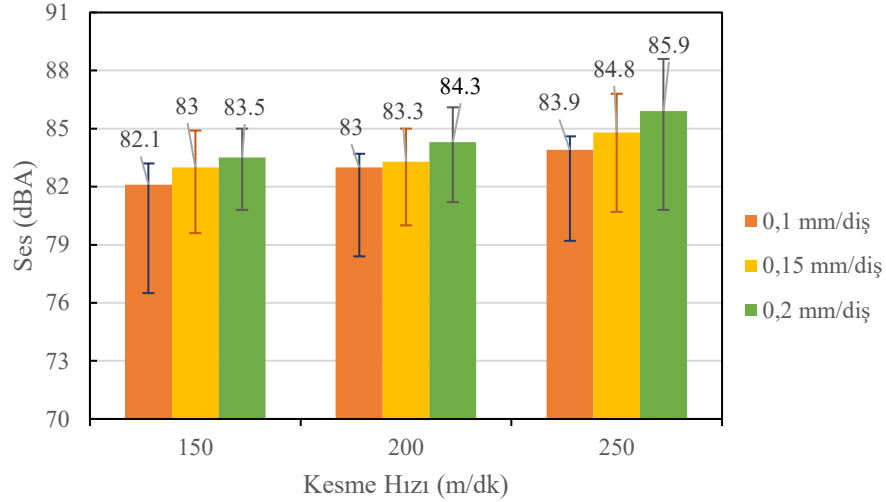
5.3. Ses

Yapılan çalışmalar esnasında dövme malzemesi ve AISI 1040 imalat çeliği için kuru ve MMY ortamlarda ayrı ayrı ölçülen minimum, maksimum ve ortalama değerleri Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Deneylerde ölçülen maksimum, minimum ve ortalama ses değerleri

Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	V	f	Ses (dBA)		
					Min	Max	Ortalama
AISI 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	150	0,1	76,5	83,2	82,1
		2	200	0,1	78,4	83,7	83
		3	250	0,1	79,2	84,6	83,9
		4	150	0,15	79,6	84,9	83
		5	200	0,15	80	85	83,3
		6	250	0,15	80,7	86,8	84,8
		7	150	0,2	80,8	85	83,5
		8	200	0,2	81,2	86,1	84,3
		9	250	0,2	80,8	88,6	85,9
	MMY	10	150	0,1	77,8	85	82,4
		11	200	0,1	82,2	87	83,9
		12	250	0,1	83,1	87,9	85,3
		13	150	0,15	82,7	86,6	84,1
		14	200	0,15	83,3	87,1	85
		15	250	0,15	83,9	88,1	85,9
		16	150	0,2	83,5	87,1	84,5
		17	200	0,2	84,3	87,4	85,4
		18	250	0,2	85,5	88,4	86,7
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	150	0,1	79,6	85,7	83,1
		20	200	0,1	80,6	86,1	84,4
		21	250	0,1	81,5	86,4	85,3
		22	150	0,15	80,8	86,3	83,8
		23	200	0,15	82	87,2	84,8
		24	250	0,15	82,8	87,7	85,9
		25	150	0,2	81	87,5	84,9
		26	200	0,2	83,2	88,5	85,6
		27	250	0,2	85,1	89,2	86,6
	MMY	28	150	0,1	80,9	86,3	83,6
		29	200	0,1	81,8	86,9	84,8
		30	250	0,1	82,1	87,3	85,5
		31	150	0,15	81,2	86,5	83,7
		32	200	0,15	82,7	87,8	85,3
		33	250	0,15	83,4	88,3	86,0
		34	150	0,2	80,2	86,9	84,4
		35	200	0,2	81,3	87,2	85,4
		36	250	0,2	82,2	88,4	87,2

AISI 1040 imalat çelik malzemenin ve dövme malzemenin MMY ortamda ve kuru ortamda deney esnasında alınan ses seviye grafikleri Şekil 5.9-5.12’de gösterilmektedir.

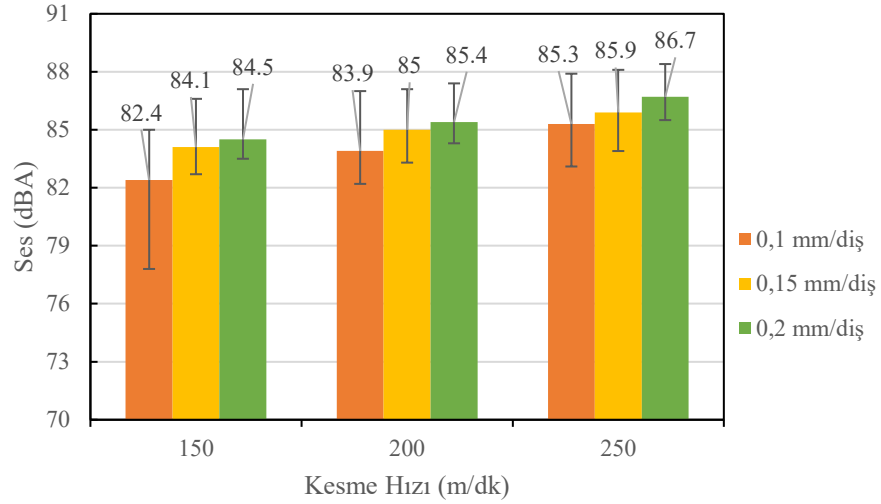


Şekil 5.9. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen ortalama ses grafiği

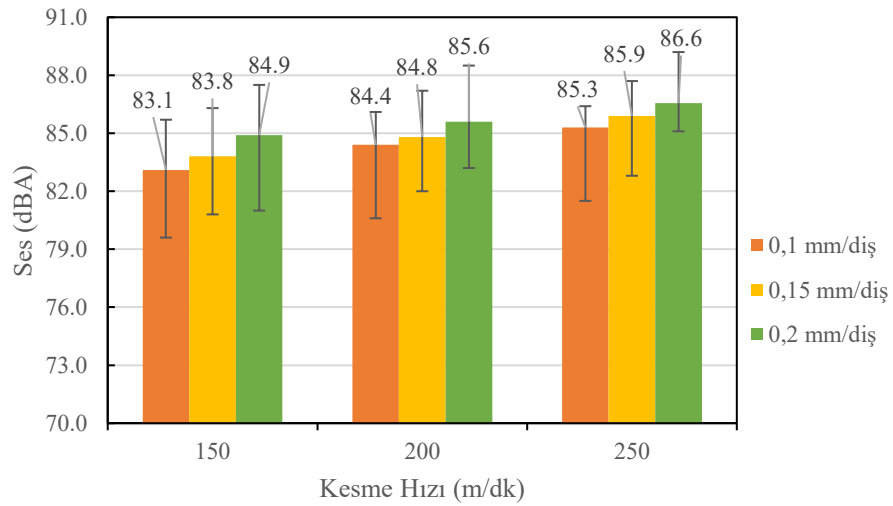
AISI 1040 imalat çeliği malzemesine ait yapılan çalışmalarda elde edilen ses seviyeleri, işleme ortamına bağlı olarak bir takım değişiklikler göstermektedir. Kuru işleme ortamında, özellikle yüksek kesme hızlarında, ses seviyelerinin çok daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Deney no 9’da maksimum 88,6 dBA ses seviyesine ulaşılmış olup, bu değer diğer tüm ortamlar arasında en yüksek seviyeyi temsil etmektedir. Kuru işleme ortamındaki bu yüksek ses seviyeleri, iş parçası ile kesici takım arasındaki sürtünmenin artması ve kesme kuvvetlerinin yükselmesi ile ilişkilendirilebilir. Kuru işleme işlemleri genellikle daha yüksek gürültü seviyeleri ile karakterize edilir ve işleme kalitesini olumsuz etkiler. Ayrıca kuru işleme işlemlerinde ses seviyelerinin genellikle daha yüksek olduğu ve bu durumun işleme sırasında olumsuz bir çalışma ortamı oluşturduğunu bizlerde deney esnasında gözlemlemiş olduk.

AISI 1040 imalat çeliği malzemesine ait MMY ortamında ise ses seviyelerinin kuru işleme ortamına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Deney no 10’da 77,8 dBA ile en düşük ses seviyelerinden biri elde edilmiştir. MMY’nın kesme bölgesine yeterli

miktarda soğutma/yağlama sağlayarak sürtünmeyi azaltması ve böylece ses seviyelerini düşürdüğü söylenebilir. Bazı çalışmalar MMY'nın daha sessiz bir işleme ortamı yarattığını ve bu sayede iş yeri güvenliği ve ortam kalitesini artırdığını belirtmektedir (Moretti, vd., 2020).



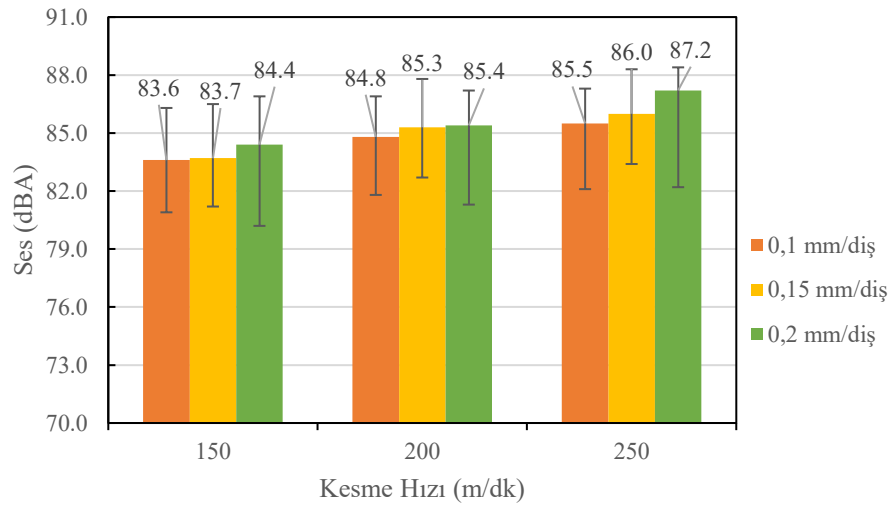
Şekil 5.10. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen ortalama ses grafiği



Şekil 5.11. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen ortalama ses grafiği

Dövme malzemesine ait yapılan çalışmalarda elde edilen ses seviyeleri, işleme ortamına bağlı olarak da bir takım değişiklikler göstermektedir. Kuru işleme

ortamında, özellikle yüksek kesme hızlarında, ses seviyelerinin çok daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Deney no 27’de maksimum 89,2 dBA ses seviyesine ulaşılmış olup, bu değer diğer tüm ortamlar arasında en yüksek seviyeyi temsil etmektedir. Kuru işleme ortamındaki bu yüksek ses seviyeleri, iş parçası ile kesici takım arasındaki sürtünmenin artması ve kesme kuvvetlerinin yükselmesi ile ilişkilendirilebilir. Kuru işleme işlemleri genellikle daha yüksek gürültü seviyeleri ile karakterize edilir ve işleme kalitesini olumsuz etkiler. Ayrıca kuru işleme işlemlerinde ses seviyelerinin genellikle daha yüksek olduğu ve bu durumun işleme sırasında olumsuz bir çalışma ortamı oluşturduğunu bizlerde deney esnasında gözlemlemiş olduk.



Şekil 5.12. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan(kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen ortalama ses grafiği

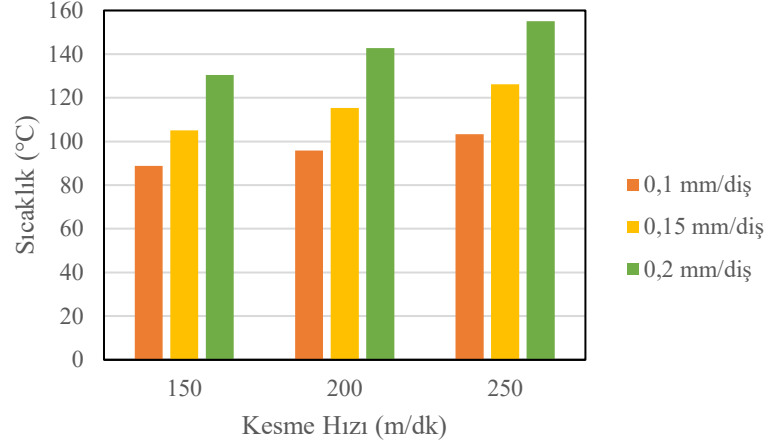
Dövme malzemesine ait MMY ortamında ise ses seviyelerinin kuru işleme ortamına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Deney no 34’de 80,2 dBA ile en düşük ses seviyelerinden biri elde edilmiştir. MMY’nın kesme bölgesine yeterli miktarda soğutma/yağlama sağlayarak sürtünmeyi azaltması ve böylece ses seviyelerini düşürdüğü söylenebilir. Bazı çalışmalar MMY’nın daha sessiz bir işleme ortamı yarattığını ve bu sayede iş yeri güvenliği ve ortam kalitesini artırdığını belirtilmektedir (Moretti, vd., 2020).

5.4. Sıcaklık

AISI 1040 imalat çeliği malzemesi ve dövme malzemeleri işlenirken ki çalışmalar esnasında kesici takım iş parçasının sonuna geldiğinde termal kamerayla sıcaklıktan etkilenen bölgenin dereceleri belirlenmiştir. Isıdan etkilenen bölgelerden ölçülen iş parçasında oluşan en yüksek sıcaklıklar ise Çizelge 5.4’te verilmiştir.

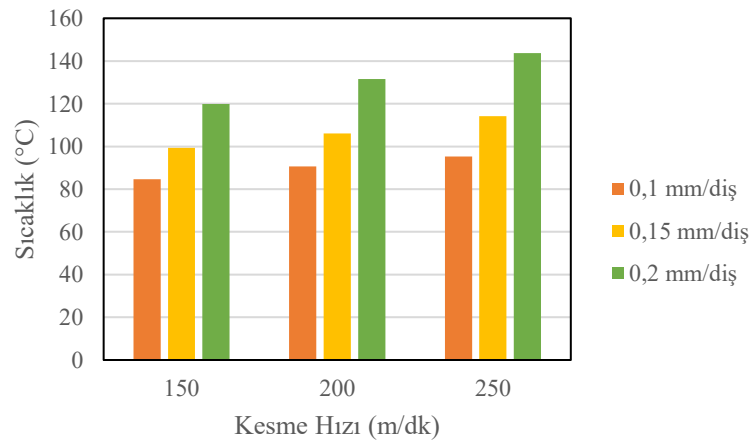
Çizelge 5.4. Yüzey frezeleme işlemi esnasında ısıdan etkilenen bölgelerin en yüksek sıcaklık değerleri

Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	V	f	Sıcaklık(°C)
AISI 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	150	0,1	88,8
		2	200	0,1	95,8
		3	250	0,1	103,3
		4	150	0,15	105,1
		5	200	0,15	115,3
		6	250	0,15	126,2
		7	150	0,2	130,4
		8	200	0,2	142,8
		9	250	0,2	155,1
	MMY	10	150	0,1	84,7
		11	200	0,1	90,7
		12	250	0,1	95,3
		13	150	0,15	99,4
		14	200	0,15	106,1
		15	250	0,15	114,2
		16	150	0,2	119,9
		17	200	0,2	131,5
		18	250	0,2	143,7
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	150	0,1	112,4
		20	200	0,1	121,9
		21	250	0,1	130,5
		22	150	0,15	133,4
		23	200	0,15	143,9
		24	250	0,15	154,4
		25	150	0,2	157,7
		26	200	0,2	168,3
		27	250	0,2	180,4
	MMY	28	150	0,1	102,5
		29	200	0,1	110,7
		30	250	0,1	119,9
		31	150	0,15	121,7
		32	200	0,15	130,9
		33	250	0,15	140,3
		34	150	0,2	142,7
		35	200	0,2	153,8
		36	250	0,2	164,2



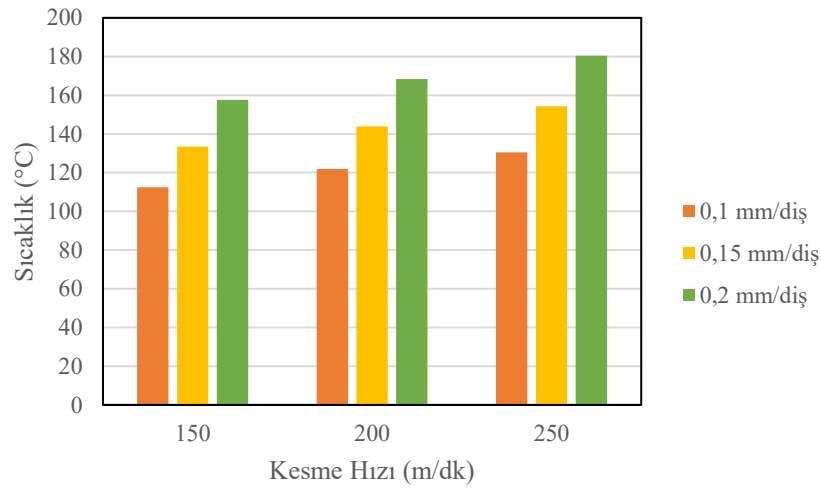
Şekil 5.13. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru ortamda iş parçasında oluşan en yüksek sıcaklık

AISI 1040 imalat çeliği malzemesine ait kuru işleme ortamında, sıcaklık değerleri diğer yöntemlere kıyasla en yüksek seviyelere ulaşmıştır. Deneylerde kaydedilen en yüksek sıcaklık değeri 155,1 °C ile deney no 9'da elde edilmiştir. Kuru kesme sırasında, kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmenin artması nedeniyle doğal olarak kesim bölgesinde sıcaklığın yükseldiği gözlemlenmiştir. Li, vd. (2018), çalışmasında da gözlemledikleri gibi, kuru işleme, yüksek sıcaklıklar nedeniyle takım aşınmasını hızlandırmakta ve yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bununla kalmayıp, kuru kesme işlemlerinde yüksek sıcaklıkların termal hasara neden olabileceğini ve takım ömrünü kısaltabileceği de ortaya konulmuştur. Deneyde çıkan sonuçlarla da bizlerde bunu gözlemledik (Talib, vd., 2017).



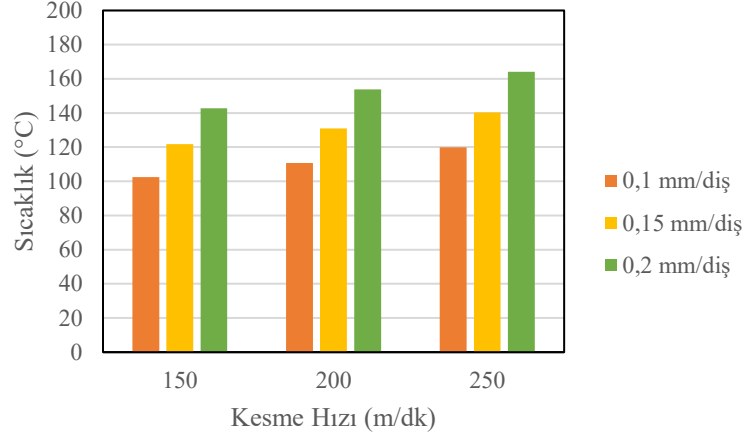
Şekil 5.14. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY ortamında iş parçasında oluşan en yüksek sıcaklık

AISI 1040 imalat çeliği malzemesine ait MMY ile yapılan işlemler, kesme bölgesine minimum miktarda yağın püskürtülmesiyle oluşan sıcaklıkların kontrol altında tutulmasına olanak sağlamıştır. MMY, kuru işleme ortamına göre sıcaklığı önemli ölçüde azalttığı gözlemlendi ve en yüksek sıcaklık değeri 143,7 °C olarak deney no 18’de ölçülmüştür. Srikant, vd. (2015), çalışmalarında da MMY’nin sıcaklıkları düşürerek hem yüzey kalitesini iyileştirdiği hem de kesici takımın ömrünü uzattığı vurgulanmıştır. Ayrıca MMY’nin hem çevre dostu hem de sıcaklık kontrolü açısından etkili bir yağlama/soğutma yöntemi olduğunu belirtilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar, MMY’nin kesme sırasında sürtünmeyi azaltarak daha düşük sıcaklıklarda daha verimli işlem olanağı sağladığını bizlere göstermektedir.



Şekil 5.15. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru ortamda iş parçasında oluşan en yüksek sıcaklık

Dövme malzemesine ait kuru işleme ortamında, sıcaklık değerleri diğer yöntemlere kıyasla en yüksek seviyelere de ulaşmıştır. Deneylerde kaydedilen en yüksek sıcaklık değeri 180,4 °C ile deney no 24’de elde edilmiştir. Kuru kesme sırasında, kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmenin artması nedeniyle doğal olarak kesim bölgesinde sıcaklığın yükseldiği gözlemlenmiştir. Li, vd. (2018), çalışmasında da gözlemledikleri gibi, kuru işleme, yüksek sıcaklıklar nedeniyle takım aşınmasını hızlandırmakta ve yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bununla kalmayıp, kuru kesme işlemlerinde yüksek sıcaklıkların termal hasara neden olabileceğini ve takım ömrünü kısaltabileceği de ortaya konulmuştur. Deneyde çıkan sonuçlarla da bizlerde bunu gözlemledik (Talib, vd., 2017).



Şekil 5.16. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY ortamında iş parçasında oluşan en yüksek sıcaklık

Dövme malzemesine ait MMY ile yapılan işlemler, kesme bölgesine minimum miktarda yağın kesme bölgesine püskürtülmesiyle oluşan sıcaklıkların kontrol altında tutulmasına olanak sağlamıştır. MMY, kuru işleme ortamına göre sıcaklığı önemli ölçüde azalttığı gözlemlendi ve en yüksek sıcaklık değeri 164,2 °C olarak deney no 36'de ölçülmüştür. Srikant, vd. (2015), çalışmalarında da MMY'nın sıcaklıkları düşürerek hem yüzey kalitesini iyileştirdiği hem de kesici takımın ömrünü uzattığı vurgulanmıştır. Ayrıca MMY'nın hem çevre dostu hem de sıcaklık kontrolü açısından etkili bir yağlama yöntemi olduğunu belirtilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar, MMY'nın kesme sırasında sürtünmeyi azaltarak daha düşük sıcaklıklarda daha verimli işlem olanağı sağladığını bizlere göstermektedir.

5.5. Güç ve Enerji Tüketimi

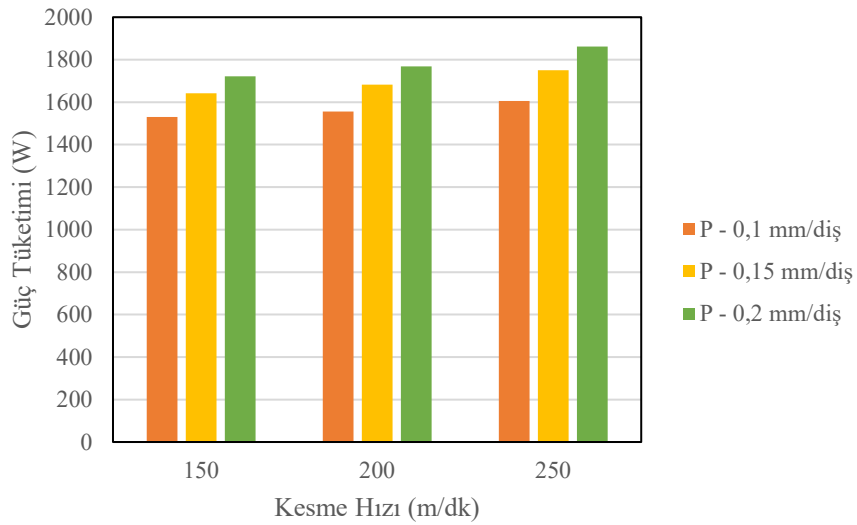
Kesme işlemi sırasında güç ve enerji tüketimi, talaş kaldırma işleminin maliyet boyutu ve enerji verimliliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Yaptığımız bu deneysel çalışmalarda, kuru ve MMY ortamlarındaki güç tüketimi değerleri karşılaştırılmış olup frezeleme deneylerinde güç analiz cihazı ile frezeleme işlemi esnasında dik işleme tezgâhının kullanmış olduğu güç ve enerji değerleri ölçülmüştür. Güç analiz cihazının maşaları dik işlem tezgâhının gerekli kablolarına bağlanmıştır. Güç analiz cihazından elde edilen ham verilerden özel bir yazılım aracılığı ile harcanan toplam güç hesaplanmıştır. Denklemlerle enerji hesaplanmıştır. Ölçülen güç değerleri ile hesaplanan enerji değerleri Çizelge 5.5'de gösterilmiştir ve Şekil 5.17-5.24'de ise kuru

ve MMY işleme ortamlarında gerçekleşen frezeleme deneylerinin güç ve enerji grafikleri ayrı ayrı verilmiştir.

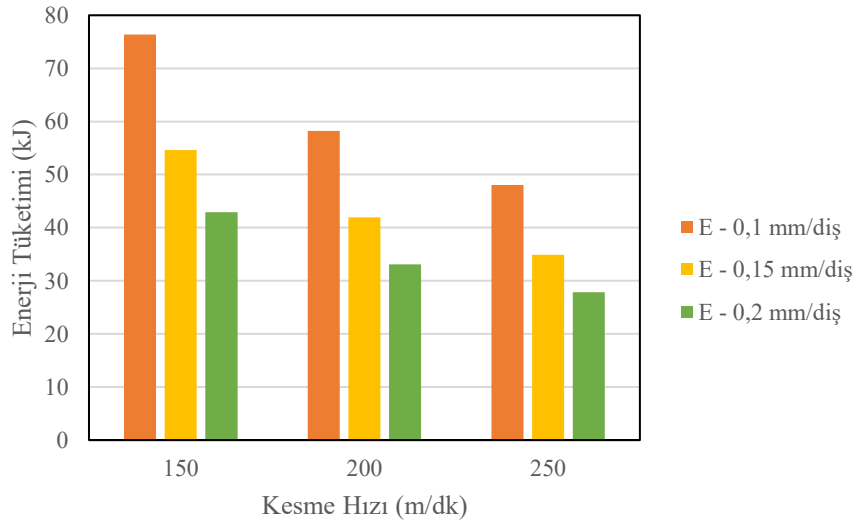
Çizelge 5.5. Deneylerde ölçülen güç değerleri

Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	V	f	Güç (W)	Enerji (kJ)
AISİ 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	150	0,1	1531	76,36
		2	200	0,1	1556	58,21
		3	250	0,1	1605	48,03
		4	150	0,15	1642	54,60
		5	200	0,15	1682	41,95
		6	250	0,15	1750	34,91
		7	150	0,2	1721	42,92
		8	200	0,2	1769	33,09
		9	250	0,2	1862	27,86
	MMY	10	150	0,1	1510	75,31
		11	200	0,1	1531	57,27
		12	250	0,1	1570	46,98
		13	150	0,15	1600	53,20
		14	200	0,15	1631	40,67
		15	250	0,15	1687	33,66
		16	150	0,2	1664	41,50
		17	200	0,2	1703	31,85
		18	250	0,2	1785	26,71
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	150	0,1	1588	79,20
		20	200	0,1	1621	60,64
		21	250	0,1	1675	50,13
		22	150	0,15	1717	57,09
		23	200	0,15	1767	44,07
		24	250	0,15	1849	36,89
		25	150	0,2	1815	45,26
		26	200	0,2	1883	35,22
		27	250	0,2	1999	29,91
	MMY	28	150	0,1	1544	77,01
		29	200	0,1	1571	58,77
		30	250	0,1	1613	48,27
		31	150	0,15	1650	54,86
		32	200	0,15	1688	42,10
		33	250	0,15	1759	35,09
		34	150	0,2	1730	43,14
		35	200	0,2	1783	33,35
		36	250	0,2	1866	27,92

AISI 1040 imalat çeliği malzemesine ait yapılan kuru işleme çalışmalarında elde edilen güç ve enerji tüketimi sonuçları, kuru ve yağlama yöntemleri arasında çok farklar ortaya çıktığı gözlemlendi. Genel anlamda kuru kesme koşullarında en yüksek güç ve enerji tüketimi değerleri gözlenmiştir. Kuru kesme sırasında ölçülen en yüksek güç 1862 W, en yüksek enerji tüketimi ise 76,36 kJ olarak kaydedilmiştir. Kuru işleme, kesme bölgesinde yüksek sürtünme ve ısı birikmesine yol açtığından, yüksek enerji tüketimine neden olmaktadır. Şekil 5.17 ve 5.18’de sonuç grafikleri verilmiştir.

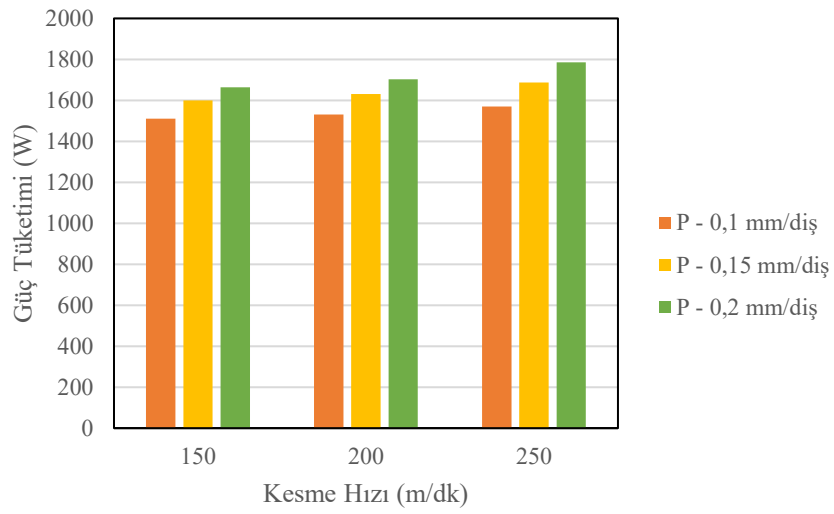


Şekil 5.17. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen güç grafiği

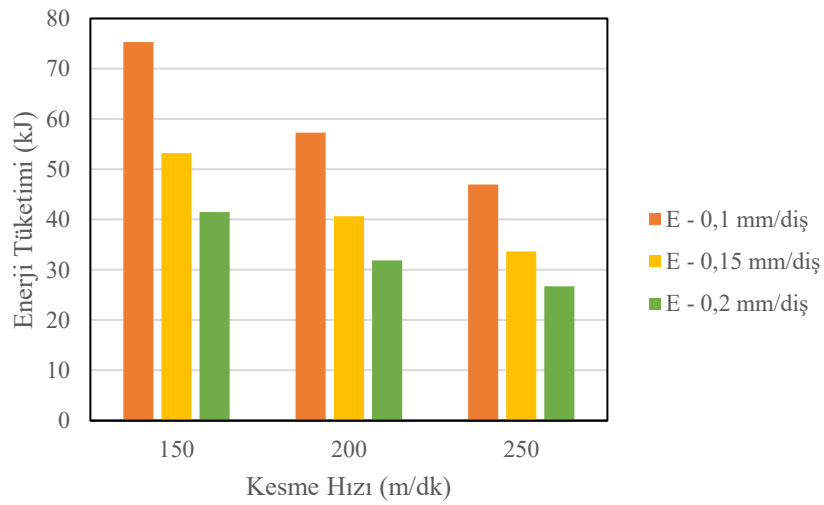


Şekil 5.18. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen enerji grafiği

AISI 1040 imalat çeliği malzemesine ait MMY ile yapılan kesme işlemlerinde, güç ve enerji tüketimi kuru kesmeye göre daha aşağı seviyelerde kalmıştır. Bu durum, MMY'nın kesme alanında soğutma/yağlamada etkili rol oynadığını gözlemledik. MMY'da en düşük güç tüketimi 1510 W, enerji tüketimi ise 26,71 kJ olarak belirlenmiştir. MMY'nın sağladığı etkili soğutma/yağlama özellikleri, sürtünmeyi azaltarak enerji verimliliğini artırmaktadır. MMY'nın kullanımının enerji verimliliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda iş parçasının yüzey kalitesini de önemli ölçüde iyileştirdiğini belirtilmiştir. Şekil 5.19 ve 5.20'de sonuç grafikleri verilmiştir.

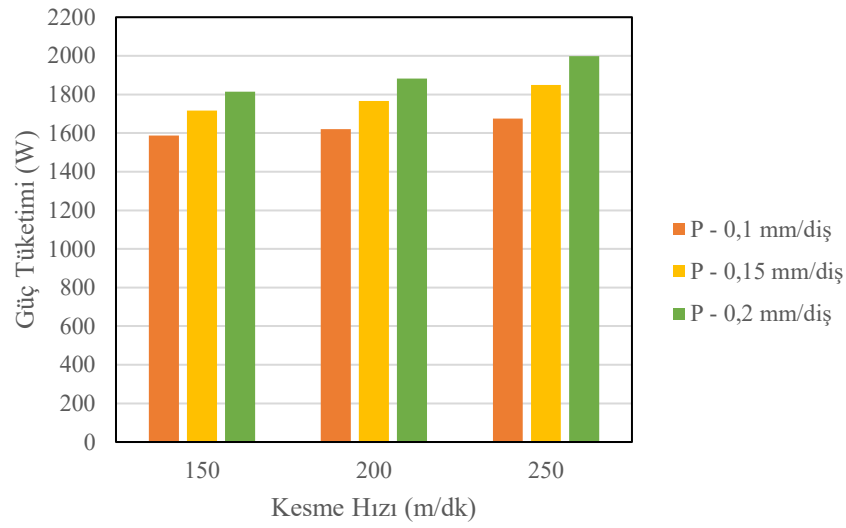


Şekil 5.19. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen güç grafiği

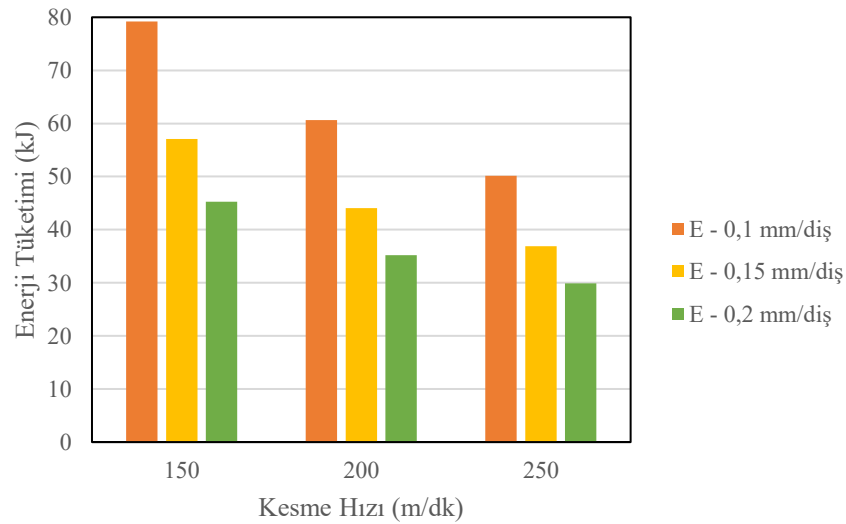


Şekil 5.20. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen enerji grafiği

Dövme malzemesine ait yapılan kuru işleme çalışmalarda elde edilen güç ve enerji tüketimi sonuçları, kuru ve yağlama yöntemleri arasında çok farklar ortaya çıktığı gözlemlendi. Genel anlamda kuru kesme koşullarında en yüksek güç ve enerji tüketimi değerleri gözlenmiştir. Kuru kesme sırasında ölçülen en yüksek güç 1999 W, en yüksek enerji tüketimi ise 79,2 kJ olarak kaydedilmiştir. Kuru işleme, kesme bölgesinde yüksek sürtünme ve ısı birikmesine yol açtığından, yüksek enerji tüketimine neden olmaktadır. Şekil 5.21 ve 5.22’de sonuç grafikleri verilmiştir.

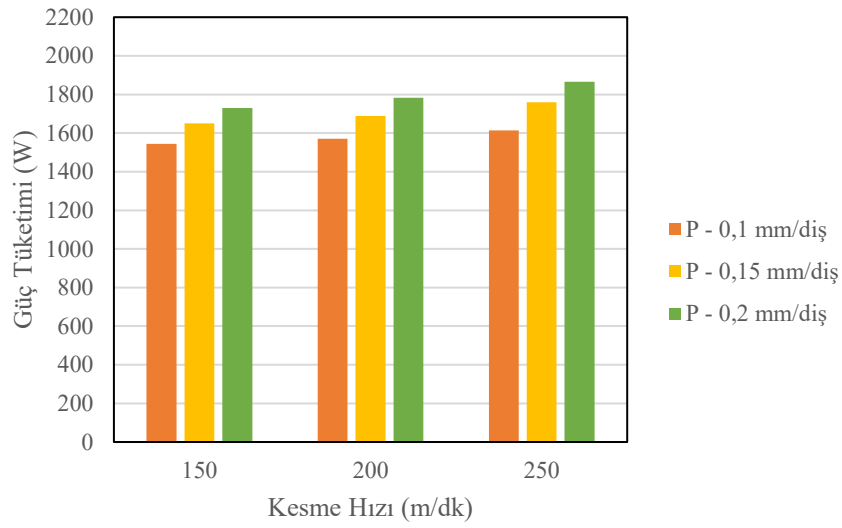


Şekil 5.21. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen güç grafiği

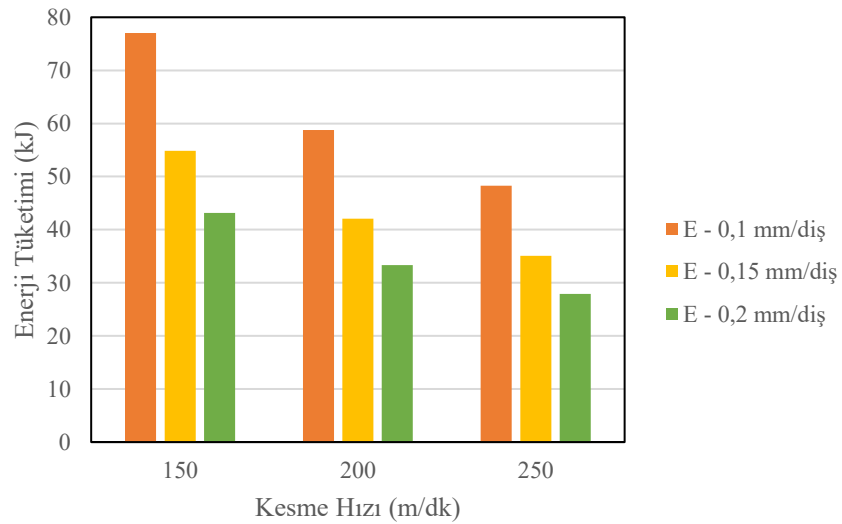


Şekil 5.22. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında ölçülen enerji grafiği

Dövme malzemesine ait MMY ile yapılan kesme işlemlerinde, güç ve enerji tüketimi kuru kesmeye göre daha aşağı seviyelerde kalmıştır. MMY’da en düşük güç tüketimi 1544 W, enerji tüketimi ise 27,92 kJ olarak belirlenmiştir. MMY'nın sağladığı etkili soğutma/yağlama özellikleri, sürtünmeyi azaltarak enerji verimliliğini artırmaktadır. MMY'nın kullanımının enerji verimliliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda iş parçasının yüzey kalitesini de önemli ölçüde iyileştirdiğini belirtilmiştir. Şekil 5.23 ve 5.24’te sonuç grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.23. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen güç grafiği

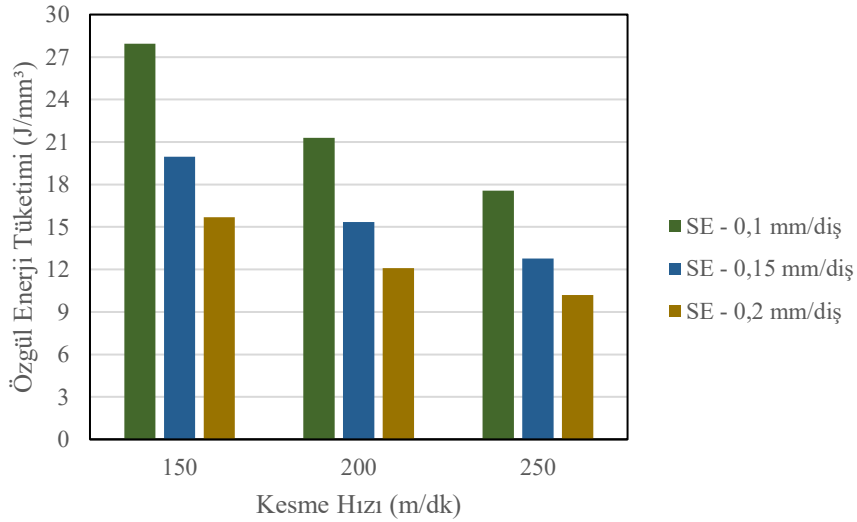


Şekil 5.24. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında ölçülen enerji grafiği

Çizelge 5.6. Deneylerde hesaplanan talaş kaldırma hızı, işleme süresi, enerji tüketimi ve özgül enerji tüketimi değerleri

Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	V	f	R_{MR} (mm^3/s)	T_m (s)	Enerji (kJ)	Özgül Enerji (J/mm^3)
AISI 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	150	0,1	58,53	49,9	76,36	27,93
		2	200	0,1	78,04	37,4	58,21	21,29
		3	250	0,1	97,55	29,9	48,03	17,57
		4	150	0,15	87,80	33,3	54,60	19,97
		5	200	0,15	117,06	24,9	41,95	15,34
		6	250	0,15	146,33	20,0	34,91	12,77
		7	150	0,2	117,06	24,9	42,92	15,70
		8	200	0,2	156,08	18,7	33,09	12,10
		9	250	0,2	195,11	15,0	27,86	10,19
	MMY	10	150	0,1	58,53	49,9	75,31	27,55
		11	200	0,1	78,04	37,4	57,27	20,95
		12	250	0,1	97,55	29,9	46,98	17,18
		13	150	0,15	87,80	33,3	53,20	19,46
		14	200	0,15	117,06	24,9	40,67	14,88
		15	250	0,15	146,33	20,0	33,66	12,31
		16	150	0,2	117,06	24,9	41,50	15,18
		17	200	0,2	156,08	18,7	31,85	11,65
		18	250	0,2	195,11	15,0	26,71	9,77
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	150	0,1	58,53	49,9	79,20	28,97
		20	200	0,1	78,04	37,4	60,64	22,18
		21	250	0,1	97,55	29,9	50,13	18,33
		22	150	0,15	87,80	33,3	57,09	20,88
		23	200	0,15	117,06	24,9	44,07	16,12
		24	250	0,15	146,33	20,0	36,89	13,49
		25	150	0,2	117,06	24,9	45,26	16,56
		26	200	0,2	156,08	18,7	35,22	12,88
		27	250	0,2	195,11	15,0	29,91	10,94
	MMY	28	150	0,1	58,53	49,9	77,01	28,17
		29	200	0,1	78,04	37,4	58,77	21,49
		30	250	0,1	97,55	29,9	48,27	17,66
		31	150	0,15	87,80	33,3	54,86	20,07
		32	200	0,15	117,06	24,9	42,10	15,40
		33	250	0,15	146,33	20,0	35,09	12,84
		34	150	0,2	117,06	24,9	43,14	15,78
		35	200	0,2	156,08	18,7	33,35	12,20
		36	250	0,2	195,11	15,0	27,92	10,21

Enerji tüketimi (kJ) ile özgül enerji tüketimi (J/mm^3) denklemler yardımıyla hesaplama işlemi yapılmıştır. Çizelge 5.6’da hesaplanan değerler gösterilmiştir. Tüm kesme koşullarında ortaya çıkan özgül enerji tüketimlerinin grafikleri ise Şekil 5.25-5.28’de gösterilmiştir.



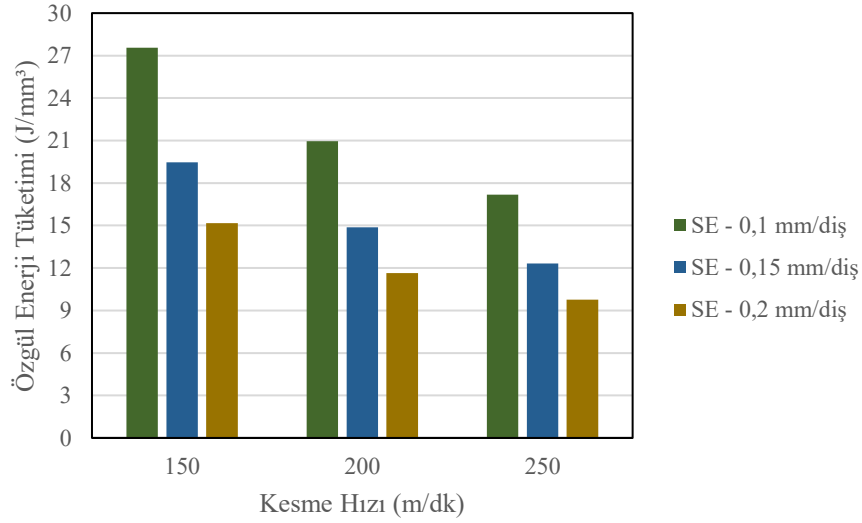
Şekil 5.25. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında hesaplanan özgül enerji tüketimi grafiği

AISI 1040 imalat çeliği malzemesine ait kuru işleme Şekil 5.25’teki grafik ve denklemler ile hesaplanan veriler incelemeye alındığında kuru ortamda yüksek talaş kaldırma oranlarında (Deney no: 9 ve R_{MR} : 195,11 mm^3/s) özgül enerji tüketimi azalmakta olup (10,19 J/mm^3) buda bizlere talaşın daha verimli ve daha düzgün bir şekilde kaldırıldığı durumlarda enerji tüketiminin optimize edilebileceğini bizlere göstermektedir.

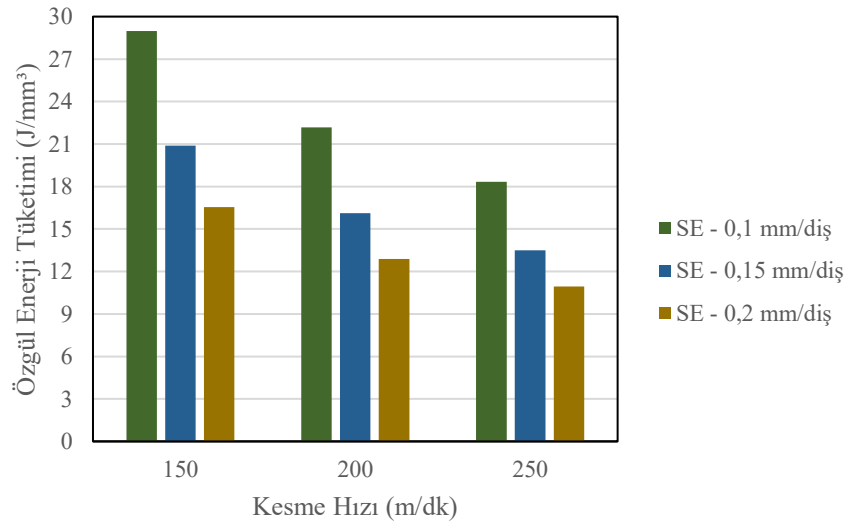
AISI 1040 imalat çeliği malzemesine ait MMY ortamındaki yüksek talaş kaldırma oranlarında (Deney no: 18 ve R_{MR} : 195,11 mm^3/s) ise özgül enerji tüketimi 9,77 J/mm^3 ’e düşmüştür. Bu sonuç bizlere MMY’nın yüksek verimli talaş kaldırma süreçlerine katkı sağladığını bizzat kanıtlamaktadır.

Dövme malzemesine ait kuru işleme Şekil 5.27’deki grafik ve denklemler ile hesaplanan veriler incelemeye alındığında, kuru ortamda yüksek talaş kaldırma oranlarında (Deney no: 27 ve R_{MR} : 195,11 mm^3/s) özgül enerji tüketimi azalmakta

(10,94 J/mm³), buda talaşın daha verimli ve daha düzgün bir şekilde kaldırıldığı durumlarda enerji tüketiminin optimize edilebileceğini bizlere göstermektedir.

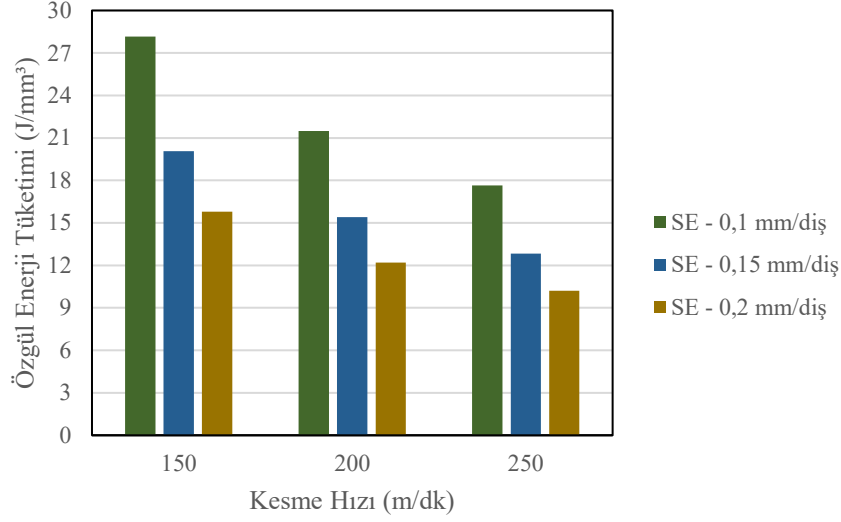


Şekil 5.26. AISI 1040 imalat çeliği parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında hesaplanan özgül enerji tüketimi grafiği



Şekil 5.27. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) Kuru işleme ortamında hesaplanan özgül enerji tüketimi grafiği

Dövme malzemesine ait MMY ortamındaki yüksek talaş kaldırma oranlarında (Deney no: 36 ve R_{MR} : 195,11 mm³/s) ise özgül enerji tüketimi 10,21 J/mm³'e düşmüştür. Bu sonuç bizlere MMY'nın yüksek verimli talaş kaldırma süreçlerine katkı sağladığını bizzat kanıtlamaktadır.



Şekil 5.28. Dövme malzemesi parametreleri farklı alınan (kesme hızı ve ilerleme) MMY işleme ortamında hesaplanan özgül enerji tüketimi grafiği

5.6. CRITIC Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Ağırlıklandırma yöntemlerinden objektif olanlarında, kriter ağırlıklarını belirlemek amacıyla karar matrisinin elemanları kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde, ağırlıkları saptamak için genellikle her kritere ilişkin farklı alternatiflerin performanslarındaki çeşitlerinden yararlanılmaktadır (Keshavarz-Ghorabae, vd., 2021). Bu çalışmada objektif ağırlıklandırma yöntemlerinden yaygın olarak tercih edilen CRITIC yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin çözüm aşamaları aşağıda verilmiştir.

1.Adım: Tam faktöriyel deney tasarımına göre yapılan deneylerdeki karar matrisi elemanları maliyet yönlü kriter denklemiyle minimize edilerek normalizasyon yapılmış ve Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

CRITIC ağırlıklandırma yöntemiyle yapılan analiz sonucunda, farklı kriterler arasındaki ilişkiler ve her bir kriterin göreceli önemi belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü (Ra), titreşim, ses, sıcaklık (T), ve güç gibi kriterler üzerinde yapılan değerlendirmeler, her bir parametrenin standart sapması (σ_j), korelasyon katsayıları (ρ_{jk}) ve ağırlık katsayıları (w_j) belirlenerek sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5.7. Karar matrisi

Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	V	f	Yüzey Pürüzlülüğü	Titreşim	Ses	Sıcaklık	Güç
AISİ 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	150	0,1	0,474	0,895	1,000	0,957	0,957
		2	200	0,1	0,684	0,766	0,824	0,884	0,906
		3	250	0,1	0,842	0,585	0,648	0,806	0,806
		4	150	0,15	0,263	0,749	0,824	0,787	0,730
		5	200	0,15	0,579	0,579	0,765	0,680	0,648
		6	250	0,15	0,737	0,392	0,472	0,566	0,509
		7	150	0,2	0,000	0,579	0,726	0,522	0,569
		8	200	0,2	0,263	0,392	0,569	0,393	0,470
		9	250	0,2	0,474	0,187	0,256	0,264	0,280
	MMY	10	150	0,1	0,632	1,000	0,941	1,000	1,000
		11	200	0,1	0,789	0,801	0,648	0,937	0,957
		12	250	0,1	0,947	0,643	0,374	0,889	0,877
		13	150	0,15	0,421	0,901	0,609	0,846	0,816
		14	200	0,15	0,684	0,696	0,432	0,776	0,753
		15	250	0,15	0,789	0,515	0,256	0,692	0,638
		16	150	0,2	0,211	0,637	0,530	0,632	0,685
		17	200	0,2	0,421	0,503	0,354	0,511	0,605
		18	250	0,2	0,579	0,304	0,100	0,383	0,438
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	150	0,1	0,632	0,766	0,804	0,711	0,840
		20	200	0,1	0,842	0,626	0,550	0,611	0,773
		21	250	0,1	0,737	0,433	0,374	0,521	0,663
		22	150	0,15	0,421	0,667	0,667	0,491	0,577
		23	200	0,15	0,684	0,509	0,472	0,381	0,474
		24	250	0,15	0,579	0,287	0,256	0,272	0,307
		25	150	0,2	0,158	0,339	0,452	0,237	0,376
		26	200	0,2	0,368	0,240	0,315	0,126	0,237
		27	250	0,2	0,316	0,000	0,127	0,000	0,000
	MMY	28	150	0,1	0,789	0,825	0,706	0,814	0,930
		29	200	0,1	1,000	0,696	0,472	0,728	0,875
		30	250	0,1	0,842	0,573	0,335	0,632	0,789
		31	150	0,15	0,526	0,713	0,687	0,613	0,714
		32	200	0,15	0,737	0,585	0,374	0,517	0,636
		33	250	0,15	0,632	0,368	0,237	0,419	0,491
		34	150	0,2	0,316	0,520	0,550	0,394	0,550
		35	200	0,2	0,474	0,298	0,354	0,278	0,442
		36	250	0,2	0,421	0,111	0,000	0,169	0,272

2.Adım: Değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiyi ölçmek adına doğrusal korelasyon katsayıları (ρ_{jk}) denklem (4.18) yardımıyla hesaplanarak Çizelge 5.8 ve 5.9'da sırasıyla gösterilmiştir.

Çizelge 5.8. İlişki katsayısı matrisi

	Yüzey Pürüzlülüğü	Titreşim	Ses	Sıcaklık	Güç
Yüzey Pürüzlülüğü	1	0,273204	-0,05397	0,454585	0,490631
Titreşim	0,273204	1	0,821671	0,919351	0,934935
Ses	-0,05397	0,708057	1	0,708057	0,703658
Sıcaklık	0,454585	0,919351	0,708057	1	0,962112
Güç	0,490631	0,934935	0,703658	0,962112	1

Çizelge 5.9. ρ_{jk} matrisi

	Yüzey Pürüzlülüğü	Titreşim	Ses	Sıcaklık	Güç
Yüzey Pürüzlülüğü	0	0,726796	1,053966	0,545415	0,509369
Titreşim	0,726796	0	0,178329	0,080649	0,065065
Ses	1,053966	0,291943	0	0,291943	0,296342
Sıcaklık	0,545415	0,080649	0,291943	0	0,037888
Güç	0,509369	0,065065	0,296342	0,037888	0

Yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık ($\rho = 0,454$) ve güç ($\rho = 0,490$) ile pozitif bir ilişkiye sahiptir. Bu durum, yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ve güç tüketimi ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Literatürde, yüzey pürüzlülüğünün işleme kalitesi ve parçanın performansı üzerinde en belirleyici kriterlerden biri olduğu belirtilmektedir. Türkmenoğlu, vd. (2020), Ra'nın yüzey kalitesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğunu ve yüksek Ra değerlerinin iş parçasının kullanım ömrünü azaltabileceğini göstermişlerdir. Bu da CRITIC analizindeki bulguları destekler niteliktedir.

Titreşim, ses ($\rho = 1,053966$) ve güç ($\rho = 0,509369$) ile güçlü bir korelasyon göstermektedir. Bu, titreşim seviyesindeki artışların güç tüketimini ve gürültü seviyesini doğrudan etkilediğini göstermektedir. Titreşim, genellikle işleme kararlılığı ve işleme sürecinin verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Montgomery ve Altintas (1991), yüksek titreşim seviyelerinin işleme kalitesini düşürdüğünü ve iş parçasında istenmeyen deformasyonlara neden olabileceğini göstermiştir. Ses, titreşim ve sıcaklık ile orta dereceli bir ilişki bulunurken, yüzey pürüzlülüğü ile daha zayıf bir ilişkiye sahiptir.

3.Adım: Bu adımda toplam bilgi (C_j) denklem (4.19), standart sapma (σ_j) Denklem (4.20) ve değerlendirme kriter ağırlıkları (w_j) denklem (4.21) yardımıyla hesaplanarak Çizelge 5.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.10. C_j , σ_j , w_j değerleri

	Yüzye Pürüzlülüğü	Titreşim	Ses	Sıcaklık	Güç
σ_j	0,234641	0,232273	0,238913	0,254534	0,237297
C_j	0,665336	0,270471	0,43496	0,243308	0,215624
w_j	0,363631	0,147823	0,237722	0,132977	0,117847

Çalışmada hesaplanan kriter ağırlıklarına bakıldığında; yüzye pürüzlülüğü (Ra) %36,3 ile en yüksek ağırlığa sahip parametre olarak bulunmuştur. Bu, yüzye kalitesinin işleme süreçlerindeki kritik rolünü vurgulamaktadır. %23,7 ile ses ikinci en önemli parametre olarak belirlenmiştir. Ses seviyesi, işleme sürecinde hem kaliteyi hem de operatör güvenliğini etkileyen bir faktördür. Titreşim %14,7 ağırlığa sahipken, sıcaklık (T) %13,2 ve %11,7 ile güç ağırlığı en düşük ağırlık parametresi olarak bulunmuştur. Güç tüketimi, enerji verimliliği gibi etkenler üzerinde önemi yüksek olsa da, diğer parametrelerle kıyaslanınca daha düşük öneme sahiptir.

VIKOR yönteminin başlangıcında her bir karar kriterinin öneminin belirlenmesi gerekmektedir. Çizelge 5.11'de ve 5.12'de deney için istenilen kriterleri, bunların ortalamaları ve aynı zamanda en iyi ve en kötü kriter değerleri verilmiştir.

Kriterlerin birimden arındırılması için gerçekleştirilen normalizasyon işlemi, lineer normalizasyon işlemi esaslarına dayanmakta olup Denklem (5.1) yardımı ile hesaplanmıştır.

$$r_{ij} = (f_j^* - x_{ij}) / (f_j^* - f_j^-) \quad (5.1)$$

Her bir alternatif için ortalama ve en kötü grup skorlarını gösteren S_j ve R_j değerlerinin hesabı Denklem (4.17) ve Denklem (4.18) yardımı ile yapılarak normalize matris ağırlıklandırılmıştır.

Çizelge 5.11. Kriter özellikleri ve ağırlıkların eklendiği veri seti

Ağırlıklar(W_j)			%36,36	%14,78	%23,77	%13,29	%11,78
Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	Yüzey Pürüzlülüğü	Titreşim	Ses	Sıcaklık	Güç
			Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.
AISI 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	0,22	14,1	83,2	88,8	1531
		2	0,18	15,6	83,7	95,8	1556
		3	0,15	19,5	84,6	103,3	1605
		4	0,26	16,8	84,9	105,1	1642
		5	0,20	19,6	85	115,3	1682
		6	0,17	22,4	86,8	126,2	1750
		7	0,31	19,5	85	130,4	1721
		8	0,26	23,4	86,1	142,8	1769
		9	0,22	27,4	88,6	155,1	1862
	MMY	10	0,19	12,6	85	84,7	1510
		11	0,16	15,7	87	90,7	1531
		12	0,13	18,6	87,9	95,3	1570
		13	0,23	14,6	86,6	99,4	1600
		14	0,18	17,6	87,1	106,1	1631
		15	0,16	19,4	88,1	114,2	1687
		16	0,27	17,4	87,1	119,9	1664
		17	0,23	21,3	87,4	131,5	1703
		18	0,20	24,6	88,4	143,7	1785
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	0,19	16,7	85,7	112,4	1588
		20	0,15	17,6	86,1	121,9	1621
		21	0,17	22,8	86,4	130,5	1675
		22	0,23	18,4	86,3	133,4	1717
		23	0,18	20,3	87,2	143,9	1767
		24	0,20	24,4	87,7	154,4	1849
		25	0,28	23,7	87,5	157,7	1815
		26	0,24	25,3	88,5	168,3	1883
		27	0,25	29,5	89,2	180,4	1999
	MMY	28	0,16	15,3	86,3	102,5	1544
		29	0,12	18,5	86,9	110,7	1571
		30	0,15	19,7	87,3	119,9	1613
		31	0,21	17,3	86,5	121,7	1650
		32	0,17	19,4	87,8	130,9	1688
		33	0,19	23,4	88,3	140,3	1759
		34	0,25	19,4	86,9	142,7	1730
		35	0,22	24,8	87,2	153,8	1783
		36	0,23	28,5	88,4	164,2	1866

Çizelge 5.12. En iyi ve en kötü kriter değerlerinin belirlenmesi

Ağırlıklar(W_i)			%36,36	%14,78	%23,77	%13,29	%11,78
Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	Yüzey Pürüzlülüğü	Titreşim	Ses	Sıcaklık	Güç
			Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.
AISİ 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	0,22	14,1	83,2	88,8	1531
		2	0,18	15,6	83,7	95,8	1556
		3	0,15	19,5	84,6	103,3	1605
		4	0,26	16,8	84,9	105,1	1642
		5	0,20	19,6	85	115,3	1682
		6	0,17	22,4	86,8	126,2	1750
		7	0,31	19,5	85	130,4	1721
		8	0,26	23,4	86,1	142,8	1769
		9	0,22	27,4	88,6	155,1	1862
	MMY	10	0,19	12,6	85	84,7	1510
		11	0,16	15,7	87	90,7	1531
		12	0,13	18,6	87,9	95,3	1570
		13	0,23	14,6	86,6	99,4	1600
		14	0,18	17,6	87,1	106,1	1631
		15	0,16	19,4	88,1	114,2	1687
		16	0,27	17,4	87,1	119,9	1664
		17	0,23	21,3	87,4	131,5	1703
		18	0,20	24,6	88,4	143,7	1785
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	0,19	16,7	85,7	112,4	1588
		20	0,15	17,6	86,1	121,9	1621
		21	0,17	22,8	86,4	130,5	1675
		22	0,23	18,4	86,3	133,4	1717
		23	0,18	20,3	87,2	143,9	1767
		24	0,20	24,4	87,7	154,4	1849
		25	0,28	23,7	87,5	157,7	1815
		26	0,24	25,3	88,5	168,3	1883
		27	0,25	29,5	89,2	180,4	1999
	MMY	28	0,16	15,3	86,3	102,5	1544
		29	0,12	18,5	86,9	110,7	1571
		30	0,15	19,7	87,3	119,9	1613
		31	0,21	17,3	86,5	121,7	1650
		32	0,17	19,4	87,8	130,9	1688
		33	0,19	23,4	88,3	140,3	1759
		34	0,25	19,4	86,9	142,7	1730
		35	0,22	24,8	87,2	153,8	1783
		36	0,23	28,5	88,4	164,2	1866
f_i^+ (Min)			0,12	9,4	82,1	84,7	1510
f_i^- (Maks)			0,31	26,5	87,21	180,4	1999

Çizelge 5.13. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi S_i ve R_i tablosu

Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	Yüzey Pürüzlülüğü	Titreşim	Ses	Sıcaklık	Güç	S_i	R_i
			Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.		
AISİ 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	0,191385	0,01556	0	0,005697	0,005061	0,217703	0,191385
		2	0,114831	0,034578	0,041869	0,015424	0,011086	0,217788	0,114831
		3	0,057415	0,061377	0,083738	0,025845	0,022895	0,25127	0,083738
		4	0,267939	0,037172	0,041869	0,028346	0,031811	0,407137	0,267939
		5	0,153108	0,062241	0,055825	0,042519	0,041451	0,355145	0,153108
		6	0,095692	0,089904	0,125607	0,057665	0,057839	0,426707	0,125607
		7	0,363631	0,062241	0,065129	0,063501	0,05085	0,605353	0,363631
		8	0,267939	0,089904	0,102346	0,080731	0,062418	0,603338	0,267939
		9	0,191385	0,12016	0,17678	0,097822	0,08483	0,670977	0,191385
	MMY	10	0,133969	0	0,013956	0	0	0,147926	0,133969
		11	0,076554	0,029392	0,083738	0,008337	0,005061	0,203081	0,083738
		12	0,019138	0,052732	0,148867	0,014729	0,01446	0,249926	0,148867
		13	0,210523	0,014696	0,093042	0,020426	0,02169	0,360377	0,210523
		14	0,114831	0,044952	0,134911	0,029736	0,02916	0,35359	0,134911
		15	0,076554	0,07175	0,17678	0,040991	0,042656	0,408731	0,17678
		16	0,287077	0,053597	0,11165	0,048911	0,037113	0,538349	0,287077
		17	0,210523	0,073479	0,153519	0,065029	0,046512	0,549063	0,210523
		18	0,153108	0,102871	0,213997	0,081982	0,066274	0,618231	0,213997
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	0,133969	0,034578	0,046521	0,03849	0,018798	0,272356	0,133969
		20	0,057415	0,055325	0,106998	0,05169	0,02675	0,29818	0,106998
		21	0,095692	0,083853	0,148867	0,06364	0,039764	0,431816	0,148867
		22	0,210523	0,049274	0,079086	0,06767	0,049886	0,456439	0,210523
		23	0,114831	0,072615	0,125607	0,08226	0,061936	0,457248	0,125607
		24	0,153108	0,105464	0,17678	0,096849	0,081697	0,613899	0,17678
		25	0,306216	0,097684	0,130259	0,101435	0,073504	0,709097	0,306216
		26	0,229662	0,11238	0,162824	0,116164	0,089891	0,71092	0,229662
		27	0,2488	0,147823	0,207484	0,132977	0,117847	0,85493	0,2488
	MMY	28	0,076554	0,025934	0,069782	0,024733	0,008194	0,205197	0,076554
		29	0	0,044952	0,125607	0,036127	0,014701	0,221387	0,125607
		30	0,057415	0,063106	0,158171	0,048911	0,024823	0,352426	0,158171
		31	0,172246	0,042359	0,074434	0,051412	0,033739	0,37419	0,172246
		32	0,095692	0,061377	0,148867	0,064196	0,042897	0,413029	0,148867
		33	0,133969	0,093362	0,181432	0,077257	0,060008	0,546028	0,181432
		34	0,2488	0,070886	0,106998	0,080592	0,053019	0,560296	0,2488
		35	0,191385	0,103735	0,153519	0,096016	0,065792	0,610447	0,191385
		36	0,210523	0,131398	0,237722	0,110467	0,085794	0,775905	0,237722

Q_i değerlerinin hesaplanması adımımda kullanılan S^*, S^-, R^* ve R^- parametreleri aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır.

$$S^* = \min_i S_i$$

$$S^- = \max_i S_i$$

$$R^* = \min_i R_i$$

$$R^- = \max_i R_i$$

Çizelge 5.14. Q_i değerlerinin hesaplamasında kullanılacak S^*, S^-, R^* ve R^- parametrelerinin değerleri

S^*	0,147926
S^-	0,85493
R^*	0,076554
R^-	0,363631

$q = (0,00; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00)$ parametresine göre grup faydası değerleri için denklem (4.19) yardımı ile Q_i değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 5.15'te verilmiştir. Her bir alternatif için Q değerleri hesaplandıktan sonra bu değerler baz alınarak tüm alternatifler sıralanmıştır.

Yapılan sıralamaların uzlaşık çözümü yansıtıp yansıtmadığını belirlemek üzere Kabul Edilebilir Avantaj ve Kabul Edilebilir İstikrar koşullarını sağlayıp sağlamadıklarına bakılır. Bu ifadelere göre yapılan hesaplama ve değerlendirmelerin sonuçları Çizelge 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.15. Hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerler

Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	S_i	R_i	q=0,00	q=0,25	q=0,50	q=0,75	q=1,00
					Q_i	Q_i	Q_i	Q_i	Q_i
AISİ 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	0,217703	0,191385	0,4	0,324674	0,249347	0,174021	0,098694
		2	0,217788	0,114831	0,133333	0,124703	0,116074	0,107444	0,098814
		3	0,25127	0,083738	0,025024	0,055311	0,085598	0,115884	0,146171
		4	0,407137	0,267939	0,666667	0,591658	0,51665	0,441642	0,366633
		5	0,355145	0,153108	0,266667	0,273274	0,27988	0,286487	0,293094
		6	0,426707	0,125607	0,170869	0,22673	0,282591	0,338452	0,394313
		7	0,605353	0,363631	1	0,911748	0,823497	0,735245	0,646993
		8	0,603338	0,267939	0,666667	0,661036	0,655405	0,649774	0,644143
		9	0,670977	0,191385	0,4	0,484953	0,569907	0,65486	0,739813
	MMY	10	0,147926	0,133969	0,2	0,15	0,1	0,05	0
		11	0,203081	0,083738	0,025024	0,038271	0,051519	0,064766	0,078013
		12	0,249926	0,148867	0,251894	0,224989	0,198083	0,171177	0,144271
		13	0,360377	0,210523	0,466667	0,425124	0,383581	0,342038	0,300495
		14	0,35359	0,134911	0,203279	0,225183	0,247087	0,268991	0,290895
		15	0,408731	0,17678	0,349125	0,354065	0,359006	0,363947	0,368887
		16	0,538349	0,287077	0,733333	0,688055	0,642777	0,597499	0,552221
		17	0,549063	0,210523	0,466667	0,491844	0,517021	0,542199	0,567376
		18	0,618231	0,213997	0,478765	0,525376	0,571986	0,618597	0,665208
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	0,272356	0,133969	0,2	0,193999	0,187998	0,181997	0,175997
		20	0,29818	0,106998	0,106049	0,132667	0,159286	0,185904	0,212522
		21	0,431816	0,148867	0,251894	0,289306	0,326717	0,364129	0,40154
		22	0,456439	0,210523	0,466667	0,459092	0,451517	0,443942	0,436367
		23	0,457248	0,125607	0,170869	0,23753	0,30419	0,37085	0,43751
		24	0,613899	0,17678	0,349125	0,426614	0,504103	0,581592	0,659081
		25	0,709097	0,306216	0,8	0,798433	0,796865	0,795298	0,793731
		26	0,71092	0,229662	0,533333	0,599077	0,664821	0,730565	0,796309
		27	0,85493	0,2488	0,6	0,7	0,8	0,9	1
	MMY	28	0,205197	0,076554	0	0,020251	0,040502	0,060754	0,081005
		29	0,221387	0,125607	0,170869	0,154128	0,137387	0,120646	0,103905
		30	0,352426	0,158171	0,284305	0,285541	0,286777	0,288013	0,289249
		31	0,37419	0,172246	0,333333	0,330008	0,326683	0,323358	0,320032
		32	0,413029	0,148867	0,251894	0,282663	0,313431	0,344199	0,374967
		33	0,546028	0,181432	0,36533	0,414768	0,464206	0,513645	0,563083
		34	0,560296	0,2488	0,6	0,595816	0,591632	0,587447	0,583263
		35	0,610447	0,191385	0,4	0,46355	0,527099	0,590649	0,654198
		36	0,775905	0,237722	0,561411	0,643114	0,724818	0,806521	0,888225

Çizelge 5.16. Sıralama sonuçları

Malzeme Cinsi	Kesme Koşulu	Deney No	$Q_i(q=0,00)$	$Q_i(q=0,25)$	$Q_i(q=0,50)$	$Q_i(q=0,75)$	$Q_i(q=1,00)$
AISI 1040 İMALAT ÇELİĞİ	KURU	1	21	17	11	8	4
		2	5	4	5	4	5
		3	2	3	3	5	8
		4	32	28	24	21	16
		5	15	13	12	12	13
		6	6	11	13	15	19
		7	36	36	36	33	28
		8	32	32	31	30	27
		9	21	25	27	31	32
	MMY	10	9	6	4	1	1
		11	2	2	2	3	2
		12	12	9	9	7	7
		13	24	21	20	16	14
		14	11	10	10	11	12
		15	18	19	19	18	17
		16	34	33	30	28	23
		17	24	26	25	24	25
		18	27	27	28	29	31
DÖVME MALZEMESİ	KURU	19	9	8	8	9	9
		20	4	5	7	10	10
		21	12	16	18	19	20
		22	24	23	21	22	21
		23	6	12	15	20	22
		24	18	22	23	25	30
		25	35	35	34	34	33
		26	28	30	32	32	34
		27	30	34	35	36	36
	MMY	28	1	1	1	2	3
		29	6	7	6	6	6
		30	16	15	14	13	11
		31	17	18	17	14	15
		32	12	14	16	17	18
		33	20	20	22	23	24
		34	30	29	29	26	26
		35	21	24	26	27	29
		36	29	31	33	35	35

Çizelge 5.17 Koşulların denetlenmesi

Q(A²)	0,203279	0,225183	0,247087	0,363947	0,368887
Q(A¹)	0,466667	0,425124	0,642777	0,597499	0,552221
Q(A²) - Q(A¹)	-0,26339	-0,19994	-0,39569	-0,23355	-0,18333
DQ(1/36)	0,027778	0,027778	0,027778	0,027778	0,027778
KOŞUL 1	SAĞLAMADI	SAĞLAMADI	SAĞLAMADI	SAĞLAMADI	SAĞLAMADI
KOŞUL 2	SAĞLADI	SAĞLADI	SAĞLADI	SAĞLADI	SAĞLADI



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, AISI 1040 imalat ve dövme çeliklerinin yüzey frezeleme işlemi, kuru ve MMY koşullarında, üç farklı kesme hızı ve ilerleme değeri kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Yüzey pürüzlülüğü açısından, MMY kullanımı, kuru kesme ortamına kıyasla belirgin bir iyileşme sağlamıştır. MMY, kesme bölgesinde sağladığı etkin yağlama sayesinde sürtünmeyi azaltarak yüzey kalitesini artırmıştır. Bu durum, MMY uygulamalarında yüzey pürüzlülüğü değerlerinin anlamlı ölçüde düşmesine neden olmuştur. Ayrıca, ilerleme ile yüzey pürüzlülüğü arasında pozitif bir ilişki gözlenmiştir; ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğü de artış göstermiştir. Kesme hızı ve kesici takım devrinin belirli bir noktaya kadar artırılması yüzey pürüzlülüğünü azaltırken, bu sınırın aşılması durumunda pürüzlülük değerlerinin tekrar yükseldiği tespit edilmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü bakımından en düşük değer, AISI 1040 imalat çeliğinde MMY ortamında, 250 m/dk kesme hızı ve 0,1 mm/diş ilerleme ile 0,13 µm olarak ölçülürken; dövme çelikte aynı ilerleme ve kesme ortamında, 200 m/dk kesme hızında 0,12 µm olarak kaydedilmiştir.
- Titreşim analizleri, MMY ortamında gerçekleştirilen işlemlerde, kuru kesmeye kıyasla daha düşük titreşim seviyeleri ortaya koymuştur. AISI 1040 imalat çeliğinde en düşük titreşim değeri, MMY ortamında 150 m/dk kesme hızı ve 0,1 mm/diş ilerlemede 9,4 m/s² olarak ölçülürken, dövme çelikte bu değer 12,4 m/s² olmuştur. Bu durum, MMY uygulamasının kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltarak daha stabil bir kesme ortamı sağladığını göstermektedir.
- Gürültü seviyeleri bakımından, MMY koşullarında en yüksek ses değerleri, 250 m/dk kesme hızı ve 0,2 mm/diş ilerleme ile AISI 1040 ve dövme çelik için sırasıyla ortalama 86,7 dBA ve 87,2 dBA olarak tespit edilmiştir. Kuru kesme ortamında ise, MMY cihazının çıkardığı sesin etkisiyle daha düşük gürültü seviyeleri elde edilmiştir. Her iki kesme ortamında da elde edilen ses düzeylerinin, iş sağlığı ve güvenliği açısından herhangi bir risk oluşturmadığı değerlendirilmiştir.

- Sıcaklık ölçümleri bakımından, en düşük sıcaklık değerleri, AISI 1040 çeliğinde MMY ortamında, en düşük kesme hızı ve ilerleme koşullarında 84,7 °C olarak kaydedilmiştir. Dövme çelikte ise aynı kesme parametreleri altında sıcaklık 112,4 °C olarak ölçülmüştür. Öte yandan, en yüksek sıcaklık değerleri kuru kesme ortamında, en yüksek kesme hızı ve ilerleme kombinasyonunda elde edilmiş olup; AISI 1040 imalat çeliğinde 155,1 °C, dövme çelikte ise 180,4 °C olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, MMY uygulamasının kesme bölgesindeki sürtünmeyi azaltarak ısınmayı önemli ölçüde engellediğini ve böylece daha düşük sıcaklık seviyeleri sağladığını ortaya koymaktadır.
- Enerji tüketimi açısından, MMY yöntemi, kuru kesme ortamına kıyasla önemli düzeyde avantaj sağlamıştır. MMY ile gerçekleştirilen işlemlerde güç tüketimi 1510–1999 W aralığında ölçülürken, enerji tüketimi 26,71 kJ seviyelerine kadar düşmüştür. Ayrıca, talaş kaldırma oranındaki artışla birlikte özgül enerji tüketiminin azaldığı ve bunun enerji verimliliğine doğrudan katkı sağladığı belirlenmiştir.

Bu bulgular, MMY yönteminin kuru kesme ortamına göre çok daha verimli, enerji açısından tasarruflu ve sürdürülebilir bir üretim süreci sunduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- “Traktör ve Yardımcı Ekipmanlar Kitabı” Erişim adresi:
https://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller/Trakt%C3%B6r%20ve%20Yardımcı%20Ekipmanlar.pdf, Erişim Tarihi:
08.08.2024.
- Ahmed, S., Sagor, S.I., Akbar, N.I., Mahmud, M.M., Mostofa, M. G., The influence of a newly developed refrigeration cycle based workpiece cooling method in milling AISI 304 stainless steel, *Results in Engineering*, 20, 101616, 2023.
- Akçakanat, Ö., Aksoy, E., Teker, T., CRITIC ve MDL temelli EDAS yöntemi ile Tr-61 bölgesi bankalarının performans değerlendirmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(32), 1-24, 2018.
- Akkuş, H., Yaka, H., Experimental and statistical investigation of the effect of cutting parameters on surface roughness, vibration and energy consumption in machining of titanium 6Al-4V ELI(grade 5) alloy, *Measurement*, 167, 108465, 2021.
- Asal, Ö., Dilipak, H., Yalçınkaya, A., Ünal, Ş. Modeling with ANFIS of surface roughness using minimum quantity lubrication technique in milling process, *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(2), 162-170, 2021.
- Aslan, A., Hüseyinoğlu, M., Budak, C., İşe alım süreçlerinde aşamalı olarak TOPSIS ve VIKOR yöntemleri uygulanarak iş gören seçimi yapılması, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 14(1), 113-122, 2023.
- Ayur, B., Fedai, Y., Talaşlı imalatta kullanılan soğutucu akışkan tipleri ve soğutma yöntemlerinin incelenmesine yönelik yeni yaklaşımlar, (Editör: Şaşmaz, M.), *Enerji odaklı tasarımlar ve teknikler*, İksad yayınevi, Türkiye, 191-231, 2022.
- Batman, Ö., 2011-T6 alüminyum alaşımının delik delme işleminde kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 78, 2019.
- Baldin, V., da Silva, L.R.R., Davis, R., Jackson, M.J., Amorim, F.L., Houck, C.F., Machado, Á.R., Dry and MQL milling of AISI 1045 steel with vegetable and mineral-based fluids, *Lubricants*, 11(4), 175, 2023.

- Bozdoğan, M., CNC freze tezgahında havuz işlemede takım yolu ve kesme parametrelerinin yüzey kalitesine etkilerinin incelenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 66, 2012.
- Calik, A., Sahin, O., Ucar, N., Specimen geometry effect on the mechanical properties of AISI 1040 steel, *Zeitschrift für Naturforschung A*, 63(7-8), 448-452, 2014.
- Carou, D., Rubio, E.M., Davim, J.P., A note on the use of the minimum quantity lubrication (MQL) system in turning, *Industrial Lubrication and Tribology*, 67(3), 256-261, 2015.
- Coumaressin, T., Palaniradja, K., Performance analysis of a refrigeration system using nano fluid, 4(4), 459-470, 2014.
- Çağan, S.Ç., Buldum, B.B., Özkul, İ., Hafif metallerde minimum miktarda yağlama (MQL) sisteminin kullanımı, *El-Cezeri*, 5(2), 582-590, 2018.
- Çelik, E., AISI 2507 süper dubleks paslanmaz çeliğin tornalanmasında hibrit soğutma/yağlama tekniklerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkisi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Düzce, 110, 2019.
- Dhar, N.R., Kamruzzaman, M., Ahmed, M., Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel, *Journal of materials processing technology*, 172(2), 299-304, 2006.
- Drozda T.J., Wick, C., *Tool and manufacturing engineering handbook Vol 1: Machining*, Society of Manufacturing Engineers, USA, 4, 1983.
- Ekşi, S., Effect of different heat treatments on mechanical properties of AISI steels, *Sakarya University Journal of Science*, 24(3), 472-479, 2020.
- Eriklili, S., 1040 çelik süspansiyon parçasının dövme üretim prosesinde çıkan hataların belirlenmesi ve iyileştirmesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Niğde, 113, 2019.
- Goindi, G.S., Sarkar, P., Jayal, A.D., Chavan, S.N., Mandal, D., Investigation of ionic liquids as additives to canola oil in minimum quantity lubrication milling of plain medium carbon steel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 881-896, 2018.
- Groover, M.P., *Fundamentals of modern manufacturing materials, processes, and systems*, Wiley, USA, 2010.

- Hassanpour, H., Sadeghi, M.H., Rasti, A., Shajari, S., Investigation of surface roughness, microhardness and white layer thickness in hard milling of AISI 4340 using minimum quantity lubrication, *Journal of Cleaner Production*, 120, 124-134, 2016.
- Kılınçarslan, S.K., Nano gümüş ve organik borat katkılı kesme sıvılarının frezeleme işlemindeki performansının incelenmesi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 99, 2019.
- Kang, M.C., Kim, K.H., Shin, S.H., Jang, S.H., Park, J.H., Kim, C., Effect of the minimum quantity lubrication in high-speed end-milling of AISI D2 cold-worked die steel (62 HRC) by coated carbide tools, *Surface and Coatings Technology*, 202(22-23), 5621-5624, 2008.
- Kulkarni, H.B., Nadakatti, M.M., Kulkarni, S.C., Kulkarni, R.M., Investigations on effect of nanofluid based minimum quantity lubrication technique for surface milling of Al7075-T6 aerospace alloy, *Materials Today: Proceedings*, 27, 251-256, 2020.
- Li, C., Wang, Y., Zhang, Y., Yang, M., Li, B., Dong, L., Wang, J., Processing characteristics of vegetable oil-based nanofluid MQL for grinding different workpiece materials, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 5, 327-339, 2018.
- Lv, T., Xu, X., Yu, A., Hu, X., Oil mist concentration and machining characteristics of SiO₂ water-based nano-lubricants in electrostatic minimum quantity lubrication-EMQL milling, *Journal of Materials Processing Technology*, 290, 116964, 2021.
- Moretti, G.B., de Moraes, D.L., Garcia, M.V., Grinding behavior of austempered ductile iron: A study about the effect of pure and diluted MQL technique applying different friability wheels, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108, 3661-3673, 2020.
- Mulyadi, I.H., Mativenga, P.T., Random or intuitive nozzle position in high-speed milling using minimum quantity lubricant, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 228(1), 21-30, 2014.

- Puška, A., Nedeljković, M., Šarkoćević, Ž., Golubović, Z., Ristić, V., Stojanović, I., Evaluation of agricultural machinery using multi-criteria analysis methods, *Sustainability*, 14(14), 8675, 2022.
- Onomu, A.R., Aliber, M., Agbugba, I.K., Tractor services challenges and current demand trends by smallholder farmers in Nigeria, *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 4(58), 379-391, 2020.
- Özlu, B., Çelik, U., Demir, H., Serbest formlu ince cidarlı AA 5083-H111 alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini deneysel ve istatistiksel değerlendirilmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2), 512-522, 2023.
- “Pusat Metal” Erişim adresi: <https://www.pusatmetal.com.tr/karbon-dovme-celik.html/>, Erişim tarihi: 10.04.2025.
- Rifat, M., Rahman, M.H., Das, D., A review on application of nanofluid MQL in machining, In *AIP conference proceedings*, AIP Publishing, 1919(1), 2017.
- Said, Z., Gupta, M., Hegab, H., Arora, N., Khan, A.M., Jamil, M., Bellos, E., A comprehensive review on minimum quantity lubrication (MQL) in machining processes using nano-cutting fluids, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105, 2057-2086, 2019.
- Sales, W., Becker, M., Barcellos, C.S., Landre Jr, J., Bonney, J., Ezugwu, E.O., Tribological behaviour when face milling AISI 4140 steel with minimum quantity fluid application, *Industrial Lubrication and Tribology*, 61(2), 84-90, 2009.
- Sharma, A.K., Tiwari, A.K., Dixit, A.R., Effects of minimum quantity lubrication (MQL) in machining processes using conventional and nanofluid based cutting fluids: A comprehensive review, *Journal of Cleaner Production*, 127, 1-18, 2016.
- Srikant, R.R., Cedar Falls, I.A., Prasad, M.R., Tool wear prediction in machining AISI 1040 steel under MQL, *South Asian Journal of Engineering and Technology (SAJET)*, 2(1), 1-5, 2015.
- Sultana, N., Dhar, N.R., A critical review on the progress of MQL in machining hardened steels, *Advances in Materials and Processing Technologies*, 8(4), 3834-3858, 2022.
- Şap, S., Effects on machinability of minimum quantity lubrication strategy during milling of ST52 steel, *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 12(1), 82-90, 2023.

- Şirin, E., Şirin, Ş., Investigation of the performance of ecological cooling/lubrication methods in the milling of AISI 316L stainless steel, *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 2(1), 75-84, 2021.
- Talib, N., Sasahara, H., Rahim, E.A., Evaluation of modified jatropha-based oil with hexagonal boron nitride particle as a biolubricant in orthogonal cutting process, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92, 371–391, 2017.
- Urmi, W.T., Rahman, M.M., Safiei, W., Kadirgama, K., Maleque, M.A., Effects of minimum quantity lubrication technique in different machining processes-A comprehensive review, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 90(2), 135-159, 2022.
- Usta, M., Kayır, Y., GGG40 Malzemesinin CNC Torna Tezgahında Karbür Matkaplarla Delinmesinde Sıcaklık ve Delme Kuvvetlerin Araştırılması, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 231-238, 2017.
- Uysal, A., Demiren, F., Altan, E., Applying minimum quantity lubrication (MQL) method on milling of martensitic stainless steel by using nano MoS₂ reinforced vegetable cutting fluid, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2742-2747, 2015.
- Vishal, R., Nimel Sworna Ross, K., Manimaran, G., Gnanavel, B.K., Impact on machining of AISI H13 steel using coated carbide tool under vegetable oil minimum quantity lubrication, *Materials Performance and Characterization*, 8(1), 527-537, 2019.
- Xie, W., Su, M., Zheng, Z., Wang, Y., Gong, L., Xie, F., Chen, J., Nanoscale insights into the hydrogenation process of layered α -MoO₃, *ACS Nano*, 10(1), 1662-1670, 2016.
- Yan, L., Yuan, S., Liu, Q., Influence of minimum quantity lubrication parameters on tool wear and surface roughness in milling of forged steel, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 25(3), 419-429, 2012.
- Yiğitarşlan, E., Sıcak dövme işleminde karşılaşılan hatalar, önlenmesi ve maliyete etkisi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 120, 2009.

Yusof, M.Q.M., Harun, H.N.S.B., Bahar, R., Experimental investigation of minimum quantity lubrication in meso-scale milling with varying tool diameter, In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 290(1), 012035, 2018.

“ZY Elektrikli Traktör” Erişim adresi: <https://www.zyelektrikli.com/traktor-ozellikleri>, Erişim Tarihi: 10.04.2025.



ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Batuhan AYUR

2. Ünvanı : Makine Mühendisi

3. Öğrenim Durumu : Lisans

Derece	Bölüm / Program	Okul / Üniversite	Bitirme Yılı
Lise	Sayısal	Osmaniye Özel Bil Temel Lisesi	2016
Lisans	Makine Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2021

4. Yazılan uluslararası kitaplar veya kitaplarda bölümler:

“Ayur, B., Fedai, Y., Talaşlı imalatta kullanılan soğutucu akışkan tipleri ve soğutma yöntemlerinin incelenmesine yönelik yeni yaklaşımlar, (Editör: Şaşmaz, M.), Enerji odaklı tasarımlar ve teknikler, İksad yayınevi, Ankara, 191-231, 2022.



T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI BENZERLİK RAPORU FORMU
(SAVUNMA SONRASI)

FORM
TEZLİ YL-24

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

Adı ve Soyadı	Batuhan AYUR
Öğrenci Numarası	2212709115
Ana Bilim/ Ana Sanat Dalı	Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman Unvanı, Adı-Soyadı	Doç. Dr. Yusuf FEDAİ Dr. Öğr. Üyesi Emre ÖZER
Tez Başlığı (Türkçe)	BİR TRAKTÖR PARÇASININ FARKLI ORTAMLARDA FREZELENMESİNDE EN UYGUN KESME KOŞULLARININ CRITIC-VIKOR YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Özet ve Abstract c) Giriş, d) Ana bölümler, e) Sonuç ve f) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam 78 sayfalık kısmına ilişkin, 25/04/2025 tarihinde Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 15'tir.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar dâhil.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar hariç,
- 4- 5 Kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Çalışması Benzerlik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

15.04.2025
Batuhan AYUR

Danışman Onayı
UYGUNDUR

Doç. Dr. Yusuf FEDAİ
(İmzası)

Enstitü Onayı
UYGUNDUR

Öğr. Gör. İlkay AĞIR
(İmzası)

AÇIKLAMALAR

- Lisansüstü tezler, savunma öncesinde benzerlik raporu ile birlikte Enstitüye teslim edilir.
- Benzerlik raporu ile ilgili olarak etik kurallar dâhilindeki benzerlik oranları ilgili Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenir. (Enstitü Yönetim Kurulu tarafından tezin, intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için TURNITIN'den alınan raporda "benzerlik oranı"nın, "alıntılar hariç" en fazla %10, "alıntılar dahil" % 30'u geçmemesi şeklinde kabul edilmiştir).