



**DAİRESEL TESTERE İLE PROFİL KESME
İŞLEMİNDE MİNİMUM MİKTAR YAĞLAMA
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Emre EROL

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mustafa GÜNAY**

**DAİRESEL TESTERE İLE PROFİL KESME İŞLEMİNDE MİNİMUM
MİKTAR YAĞLAMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Emre EROL

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mustafa GÜNAY**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Eylül 2023**

Emre EROL tarafından hazırlanan “DAİRESEL TESTERE İLE PROFİL KESME İŞLEMİNDE MİNİMUM MİKTAR YAĞLAMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 31/08/2023

| <u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u> | <u>İmzası</u> |
|---|---------------|
| Başkan : Doç. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ (KBÜ) | |
| Üye : Prof. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ) | |
| Üye : Doç. Dr. Ramazan ÇAKIROĞLU (GÜ) | |

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

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Emre EROL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DAİRESEL TESTERE İLE PROFİL KESME İŞLEMİNDE MİNİMUM MİKTAR YAĞLAMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Emre EROL

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

Eylül 2023, 51 sayfa

Dairesel testere ile kesme işlemi, hızlı bir imalat yöntemi olmakla birlikte testere bıçağının ince olmasının yanısıra kesme şartlarının uygun seçilmemesi yüksek titreşimlere neden olarak testere bıçaklarının daha hızlı aşınmasına ve üretilen parçaların yüzey kalitesinin kötüleşmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, ray profilin minimum miktarda yağlama kesme ortamında karbür takma uçlu dairesele testere ile kesilmesinde yüzey pürüzlülüğü (Ra), kesme sıcaklığı (T), enerji tüketimi (Ec) ve diklik toleransı (Pt) gibi işlenebilirlik göstergelerinin değişimi araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında, belirlenen kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme hızı) kullanılarak tam faktöriyel deney tasarımına göre kesme deneyleri yapılmıştır. Her deney dizisi için toplam 250 adet ray kesilerek işlenebilirlik göstergeleri analiz edilmiştir. Rayın ayak kısmında, mantar kısmına göre Ra değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. İlerleme hızı, kesme hızı ve parça sayısı arttıkça yüzey

pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmüştür. En küçük Ra değeri, rayın mantar kısmı için 50. parça, $V=100$ m/dak ve $f=0,08$ mm/dev'de $0,184$ μm olarak ölçülmüştür. Kesme hızının ve ilerleme miktarının artmasıyla kesme sıcaklığının arttığı, ancak minimum miktarda yağlama (MQL) uygulamasının kesme sıcaklığını azaltarak testere bıçağının ömrünü kısmen artırdığı belirlenmiştir. Genel olarak, ilerlemenin artmasıyla artan talaş kesiti yüzünden enerji tüketiminin arttığı belirlenmiştir. Kesme hızı arttığında, kesme süresi azalmasına rağmen testere dişlerindeki aşınma ve/veya kırılmaların artması nedeniyle Ec değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Parça sayısı arttıkça Ec değerlerinde belirli bir oranda artış olurken, optimum enerji tüketimine 120 m/dak kesme hızında ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Dairesel testere, Profil kesme, MMY, Yüzey pürüzlülüğü,
Enerji tüketimi, Optimizasyon

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF MINIMUM QUANTITY LUBRICATION PERFORMANCE IN PROFILE CUTTING PROCESS WITH CIRCULAR SAW

Emre EROL

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

September 2023, 51 pages

Although cutting with a circular saw is a fast manufacturing method, the thinness of the saw blade and improper selection of cutting conditions cause high vibrations, causing faster wear of the saw blades and deterioration of the surface quality of the produced parts. In this study, the variation of machinability indicators such as surface roughness (Ra), cutting temperature (T), energy consumption (Ec) and perpendicularity tolerance (Pt) were investigated when the rail profile was cut with a carbide insert circular saw in a minimum amount of lubrication cutting environment.

Within the scope of the study, cutting tests were carried out according to the full factorial design of experiment by using the determined cutting parameters (cutting speed, feed rate). For each test series, a total of 250 rails were cut and machinability indicators were analyzed. It was determined that Ra values were higher in the foot

part of the rail compared to the cork part. As the feed rate, cutting speed and number of pieces increase, the surface It was observed that the roughness values increased. The smallest Ra value was measured as 0.184 μm at 50th piece, $V=100$ m/min and $f=0.08$ mm/rev for the mushroom part of the rail. It was determined that the cutting temperature increased with the increase in cutting speed and feed rate, but the minimum quantity lubrication (MQL) application partially increased the life of the saw blade by decreasing the cutting temperature. In general, it was determined that the energy consumption increased due to the increasing chip cross-section with the increase of feed. It was determined that when the cutting speed increased, the E_c values increased due to the increase in wear and/or breakage in the saw teeth, despite the decrease in the cutting time. As the number of parts increased, the E_c values increased at a certain rate, while the optimum energy consumption was reached at a cutting speed of 120 m/min.

Key Word : Circular saw, Profile cutting, MQL, Surface roughness, Energy consumption, Optimization

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanması, araőtırılması, yürütölmesi ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Mustafa GÜNAY'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

DeneySEL alıőmalarda yardımlarını esirgemeyen, KARDEMİR A.Ő. ve Ray Profil Haddehanesi Müdürlüğü personeline teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımcı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| KABUL..... | ii |
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | vi |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xiii |
| | |
| BÖLÜM 1 | 1 |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2 | 3 |
| LİTERATÜR ARAŞTIRMASI | 3 |
| BÖLÜM 3 | 9 |
| | |
| KURAMSAL TEMELLER | 9 |
| 3.1. TESTERE İLE KESME | 11 |
| 3.1.1. Testere Çeşitleri | 11 |
| 3.1.2. Dairesel Testerede Kesme Mekanikği | 13 |
| 3.2. KESME SIVILARI | 17 |
| 3.2.1. Kesme Sıvısı Çeşitleri..... | 17 |
| 3.2.2. Kesme Sıvısı Mekanizmaları..... | 19 |
| 3.2.3. Kesme Sıvısı Uygulamaları | 21 |
| 3.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ | 23 |
| 3.3.1. Yüzey Dokusu Parametreleri..... | 24 |
| 3.3.2. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler | 28 |

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| BÖLÜM 4 | 30 |
| MATERYAL VE YÖNTEM | 30 |
| 4.1 MALZEME VE EKİPMANLAR..... | 30 |
| 4.1.1. Deney Malzemesi | 30 |
| 4.1.2. Dairesel Testere Ve Kesici Takım..... | 30 |
| 4.1.3. Kesme Sıvısı | 31 |
| 4.1.4. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü | 32 |
| 4.1.5. Sıcaklık Ölçümü | 33 |
| 4.1.6. Enerji Tüketimi..... | 32 |
| 4.1.7. Tolerans Ölçümü | 34 |
| 4.2. DENEY TASARIMI VE ANALİZİ..... | 34 |
| | |
| BÖLÜM 5 | 35 |
| DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA..... | 36 |
| 5.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ | 36 |
| 5.2. KESME SICAKLIĞI | 38 |
| 5.3. ENERJİ TÜKETİMİ | 40 |
| 5.4. DİKLİK TOLERANSI..... | 42 |
| | |
| BÖLÜM 6 | 45 |
| SONUÇLAR | 45 |
| KAYNAKLAR | 44 |
| ÖZGEÇMİŞ | 51 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 3.1. Talaşlı imalat yöntemleri. | 9 |
| Şekil 3.2. Testere ile kesmede talaş oluşumu..... | 10 |
| Şekil 3.3. a) Testere diş terminolojisi, b) HSS ve karbür uçlu testere. | 11 |
| Şekil 3.4. Dairesel testere yapısı. | 13 |
| Şekil 3.5. a) Takım kesme kenarı, b) Kesme uzunluğu, c) Toplam yol..... | 11 |
| Şekil 3.6. M sistemi ve Ra'nın tanımlaması. | 25 |
| Şekil 3.7. On noktalı yükseklik parametresinin tanımı..... | 26 |
| Şekil 3.8. Rp, Rv, Rpm, Rvm, Rt (Rmax) parametrelerinin tanımlaması..... | 26 |
| Şekil 3.9. Çarpıklık tanımlaması ve genlik dağılım eğrisi..... | 27 |
| Şekil 3.10. Basıklık parametre tanımlaması..... | 28 |
| Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler. | 29 |
| Şekil 4.1. a) Dairesel testere, b) Karbür testere dişi teknik resmi..... | 31 |
| Şekil 4.2. Ray üzerinde pürüzlülük ölçümü gösterimi..... | 33 |
| Şekil 5.1. Ra değişimleri; a) V=100 m/dak, b) V=120 m/dak, c) V=140 m/dak)..... | 37 |
| Şekil 5.2. T değişimleri; a) V=100 m/dak, b) V=120 m/dak, c) V=140 m/dak)..... | 40 |
| Şekil 5.3. Ec değişimleri; a) V=100 m/dak, b) V=120 m/dak, c) V=140 m/dak)..... | 41 |
| Şekil 5.4. Pt değişimleri; a) V=100 m/dak, b) V=120 m/dak, c) V=140 m/dak)..... | 43 |
| Şekil 5.5. Testere dişi görüntüleri. | 44 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| Çizelge 3.1. Kesme sıvısı çeşitleri | 18 |
| Çizelge 3.2. İşlenmiş yüzeylerin geometrik sapmaları. | 24 |
| Çizelge 4.1. Ray çeliği (R260) kimyasal bileşimi ve teknik özellikleri..... | 30 |
| Çizelge 4.2. Kesme yağı teknik özellikleri. | 32 |
| Çizelge 4.3. Deney tasarımı. | 34 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

| | |
|-----|-------------------|
| C | : Karbon |
| Si | : Silisyum |
| Mn | : Mangan |
| P | : Fosfor |
| S | : Kükürt |
| Cr | : Krom |
| Al | : Alüminyum |
| V | : Vanadyum |
| N | : Azot |
| WC | : Tungsten karbür |
| TiN | : Titanyum nitrür |
| V | : Voltaj |
| I | : Akım |

KISALTMALAR

| | |
|------|---|
| DIN | : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları) |
| AISI | : American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü) |
| ISO | : International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı) |
| MQL | : Minimum Quantity Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama) |
| Ra | : Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü |
| Rz | : Maksimum Yüzey Pürüzlülüğü |
| T | : Kesme Sıcaklığı |
| Ec | : Enerji Tüketimi |
| Pt | : Diklik Toleransı |
| V | : Kesme hızı |
| f | : İlerleme hızı |
| TGRA | : Taguchi-Grey Relation Analysis (Taguchi-Gri İlişkisel Analiz) |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Talaşlı imalat, iş parçasından istenmeyen malzemeyi talaş şeklinde çıkarma işlemidir. Talaşlar, bir kesici takımın işlenmekte olan malzeme ile etkileşimi sonucunda oluşturulur. Yedi temel işleme süreci; planyalama, delme, tornalama, frezeleme, testereyle kesme, broşlama ve taşlamadır. Endüstriyel ürünlerin büyük çoğunluğu, dökümlerin veya dövme parçaların temizlenmesi gibi nispeten hassas olmayan işlerden dar toleransları içeren yüksek hassasiyetli işlere ve yüksek kaliteli yüzeylere kadar üretimlerinin bir aşamasında işlemeyi gerektirir. Bu nedenle talaşlı imalat şüphesiz temel imalat proseslerinin en önemlisidir.

Testereyle kesme, testere bıçağı adı verilen belirli bir aralıklı bir dizi dişten oluşan bir takımla iş parçasına dar bir yarığın açıldığı bir işlemdir. Testere, iş parçalarını iki veya daha fazla parçaya ayırmak veya bir parçanın istenmeyen bir bölümünü kesmek için kullanılır. Bu işlemlere genellikle kesme işlemleri denir ve birçok imalat projesi, üretim aşamasının bir noktasında kesme işlemleri gerektirdiğinden, testereyle kesme önemli bir imalat işlemidir. İşin kalınlığına veya çapına göre bir seferde kesilen diş sayısı iki ile on veya daha fazla arasında değişir. Testere sürekli kesim (bant veya döner) veya ileri geri hareket eden tipte olabilir [1].

Son yıllarda, yeni tip testere ve daha iyi bıçak malzemelerinin geliştirilmesiyle testereyle kesme çok daha etkili, çok yönlü ve ekonomik bir süreç haline gelmiştir. Özellikle, daire testere makineleri çelikler, dökme demirler ve dövme demirler gibi yüksek karbon içeriğine sahip metalleri ve alüminyum, bakır, kurşun, kalay, çinko gibi demir dışı malzemeleri kesmek için kullanılmaktadır. Uygun kesme parametreleri seçildiğinde ve bıçak dişlerine elverişli bir soğutma işlemi uygulandığında, soğuk testere ile çapaksız bir kesme işlemi yapılabilir. Böylece,

borular, kanallar, köşebentler ve çubuklar üzerindeki ikincil işlemler ortadan kaldırılarak son derece hassas kesimler ve yakın toleranslar elde edilebilir.

Talaşlı imalat süreçleri, yüksek verimlilik, malzeme tüketiminin azaltılması ve enerji kayıplarının önlenmesine yönelik artan talepler nedeniyle giderek daha bütünsel bir bakış açısı gerektirmektedir. Bu yüzden, çeşitli profil ve çubuklardan yarı mamul parçaların testereyle ön işleme tabi tutulması, maliyetleri azaltmak ve kaynakları korumak için süreç optimizasyonunun odak noktası haline gelmiştir. Bu süreçte, testereyle kesme hızlı bir işlemdir ancak iş parçalarının üretilen yüzey kalitesi kötü ve ham maddenin kesme kayıpları çok fazla olabilmektedir. Ayrıca, testere bıçağının ince olmasının yanısıra kesme şartlarının uygun seçilmemesi yüksek titreşimlere neden olarak testere bıçaklarının daha hızlı aşınmasına neden olmaktadır. Diğer yandan, kesilen parçayı sıkıştırmak ve testere bıçağını öngermek için gereken enerji, kesme işleminden bağımsız bir enerji gereksinimi ve gürültü kirliliğine neden olan hidrolik sistemler tarafından sağlanır. Bu bağlamda, kesme şartlarının tüm yönleriyle optimize edilmesi önemli bir konudur.

Bu çalışmada, ray çeliğinin minimum miktarda yağlama (MQL) kesme ortamı kullanılarak dairesel testere ile kesilmesinde yüzey pürüzlülüğü, diklik toleransı, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi gibi işlenebilirlik göstergelerinin değişimleri incelenmiştir. Seçilen işlenebilirlik göstergeleri üzerinde kesme parametrelerinin (kesme hızı ve ilerleme hızı) etkileri istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, dairesel testere ile çeşitli malzemelerin kesme işlemlerinde son yıllarda yapılan çalışmalardan bazıları özet olarak verilmiştir.

Guo vd., 1045 çeliği, 40Cr ve Q235B metal çubukları Ti(C,N) esaslı sermet yeni soğuk testere freze bıçağıyla keserken, iş parçası çapı, freze bıçağı dönme hızının ve diş başına ilerlemenin kesme sıcaklığı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Diş başına ilerleme ve iş parçası malzemesinin kesme sıcaklığı üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Testereyle kesme işleminde, ısının çoğu, frezeleme bıçağını ve iş parçasını nispeten düşük bir sıcaklıkta tutan talaşlarla birlikte frezeleme bölgesinden uzaklaştırılır. Kesme sırasında ölçülen maksimum sıcaklık yaklaşık 300 °C iken iş parçası sıcaklığı yaklaşık 50 °C'dir. Geleneksel sıcak testere freze bıçağıyla karşılaştırıldığında, aynı koşullar altında, yeni soğuk testere freze bıçağının en yüksek frezeleme sıcaklığı ve toplam tezgah gücünün sırasıyla 1,6 ve 1,7 kat fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yeni soğuk testereyle kesmede maksimum frezeleme sıcaklığı geleneksel sıcak testere freze bıçağına göre yaklaşık 175 °C daha düşüktür [2].

Ucun vd., 1,5 mm et kalınlığında kare şekilli bir çelik profilin kuru ortamda 3 mm kalınlığında bir daire testereyle kesilmesinde testere diskinin yer değiştirme sinyallerini incelemişlerdir. Üç farklı kesme hızı (dairesel hız) ve ilerleme hızında yapılan deneylerde yer değiştirme sinyalleri, lazer tabanlı bir elektronik sistem tarafından ölçülmüş ve bir zaman frekans analizi yapılmıştır. İlerleme hızının artması, daha düşük frekans genlik değerlerinde artışa neden olmuştur. Bu, diskin yanal yer değiştirmelerinin arttığı anlamına gelir. 35 ve 40 m/s gibi dairesel hız değerlerinde genlik değerleri kararsız bir davranış sergilemiştir. Dairesel testerenin profile ilk dokunuşunun başlangıcından itibaren, frekans bileşenlerinin genliklerinin

önemli ölçüde arttığı ve bu durumun testere titreşimlerindeki artışın bir göstergesi olduğu belirtilmiştir. Kesme işleminin sonuna doğru ise düşük frekanslı bileşenler genellikle yüksek frekanslı bileşenlerden daha düşük olur [3].

Bradbury vd., 2,5 mm kalınlığında ve 160 dişli M2 yüksek hızlı çeliği daire testere bıçağının performansını ve aşınma özelliklerini geliştirmenin bir yolu olarak iyon implantasyonunun etkinliğini değerlendirmişlerdir. İmplantasyon işleminde, iyon ışını çok yönlüdür ve bu da karmaşık bir geometri etrafında tek tip bir implante edilmiş iyon tabakası üretmeyi zorlaştırır. Ek olarak, çapak gibi üretim kusurları, kesici kenarın çevresindeki bölgeleri maskeleyerek implantsız bölgelere neden olabilir. Yüksek kesme hızlarında, iyon implante edilmiş segmentlerin aşınmaya dirençli özelliklerinin, işlenmemiş segmentlere göre önemli ölçüde daha iyi olduğu görülmüştür. Ancak, bu işlemin aşınma mekanizmalarını bastırmada fiziksel buhar biriktirme (PVD) ile yapılan TiN kaplama kadar etkili olmadığı belirtilmiştir [4].

Bradbury ve Lewis, yüksek hız çeliği daire testere bıçaklarının performans ve aşınma özelliklerini takım çelikleri (AISI O1 ve 1018) ve nikel bazlı alaşımlar (NimonicPK31 ve Inconel 600L) üzerinde karşılaştırmıştır. Araştırma, bu malzemeleri işlerken ortaya çıkan aşınma mekanizmalarında farklılıklar belirlemiştir. Takım çeliğini işleyen dişlerde, aşınma rejimi, boşluk yüzeyi boyunca hiçbir aşınma belirtisi olmadan kesme kenarı ve talaş yüzeyi bölgesiyle sınırlıydı. Maksimum sıcaklık, takım veya talaş ayrılma noktasında meydana gelir ve bu, krater aşınmasına neden olur. Nikel bazlı alaşımları işlerken maksimum sıcaklığın kesici kenarda ve ayrıca kötü şekilde aşınmış takımların boşluk yüzeyi boyunca meydana geldiği belirtilmiştir. Inconel 600L ve AISI 1080 çeliğini işleyen dişlerde tanımlanan aşınma mekanizmaları, diğer iki malzemeyi işleyen testere dişlerine kıyasla önemli ölçüde daha azdı. Diş veya talaş arayüzeyi boyunca "kayma" koşullarıyla eşanlamlı olan ve bu malzemelerin iyi işlenebilirliğinin göstergesi olan aşındırma ve yapışkan aşınmaya dair kanıtlar bulunmuştur [5].

Salwar vd., 5 µm TiN kaplamalı karbür uçlu daire testere ile kaplamasız karbür uçlu daire testerenin performansını karşılaştırdılar. PVD işlemi, sert lehim kalitesini etkilemeden sert lehimlenmiş karbür uçlara başarıyla uygulanmıştır. Deney

sonuçları, TiN kaplı karbür uçlu daire testerelelerin kaplamasız testerelelere göre çok daha iyi performans ve daha uzun takım ömrü sunduğunu göstermiştir. Simülasyon kesme testleri, azaltılmış kuvvetler ve belirli spesifik enerjisindeki iyileştirme ile gösterildiği gibi, TiN kaplamanın kesme performansını ve ömrünü iyileştirdiğini kanıtlamıştır. İyileştirilmiş yüzey kalitesi ve karbür uçların alt tabaka iyileştirmesinin kombinasyonu, daha iyi talaş oluşumuna ve dolayısıyla daha iyi takım ömrüne yol açmıştır [6].

Svoren vd., deneysel bir tek milli daire testerede ladin kesimi sırasında ilerleme hızı, kesme hızı, takım yapısı ve ortalama talaş kalınlığının kesme gücü ve daire testere bıçağı yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, artan ilerleme hızı ile daire testere bıçağının kesme gücünün ve yüzey sıcaklığının arttığını göstermektedir. Daire testere bıçağının yüzey sıcaklığı dış kenarda en yüksektir ve testere bıçağının merkezine doğru azalır. Aynı ortalama talaş kalınlığı için 21 m/dak ilerleme hızında enerji verimli kesme elde edildi. Klasik daire testere bıçağına kıyasla kaplanmış testere bıçağıyla %8 daha düşük kesme gücü değerleri ölçülmüştür. Araştırmacılar, daire testereyle kesme işleminin akıllı sensörler kullanılarak izlenmesi ile işlenmiş yüzeyde daha yüksek kalite ve uygun maliyetlerin elde edileceğini önermişlerdir [7].

Wang vd., ANSYS/LS-DYNA ile farklı ilerleme hızları ve dönüş hızları ile kayayı kesen esnek daire testere bıçağını incelemiştir. Sayısal simülasyonun sonuçları, esnek bir daire testere bıçağının gerilim dağılım aralığının, ilerleme hızı ve dönüş hızının artmasıyla arttığını göstermiştir. Daire testere bıçağı segmenti ve daire testere bıçağının stres dağılımı, kesme parametreleri ile önemli bir korelasyona sahiptir. Kesme kuvveti, testere bıçağının dönme hızının artmasıyla azalırken ilerleme hızının artmasıyla arttığı belirlenmiştir. Esnek daire testere bıçağıyla sert kaya kesmeye ilişkin araştırma sonuçları, kesme parametrelerinin optimizasyonuna yardımcı olabilir ve kesme verimliliğini artırabilir [8].

Abrao vd., AISI 1045 çeliğin değişen kesme hızı ve ilerleme hızlarında daire testereyle kesilmesinde kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve kanal genişliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Ayrıca, takım malzemesinin (sermet ve tungsten

karbür) ve geometrinin (talaş kırıcı ve ön/son kesme dişleri) etkileri de incelenmiştir. Deneyler sırasında MQL sistem ile 6 ml/dak sıvı debisinde ve 2,5 bar hava basıncında kesme bölgesine %5 konsantrasyonda yarı sentetik kesme sıvısı uygulanmıştır. İtme ve radyal kuvvetlerin genellikle kesme hızı arttıkça azalma ve ilerleme hızıyla artma eğiliminde olduğu görülmüştür. En düşük itme ve radyal kuvvet değerleri, kesme öncesi ve kesme sonrası dişlere sahip bir tungsten karbür testere kullanılarak elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü, en yüksek kesme hızı ve en düşük ilerleme oranı uygulanarak ve sermet lehimli testere kullanılarak elde edilmiştir. Mevcut koşullar altında, alın tornalama ve dilimleme işlemleriyle karşılaştırılabilir pürüzlülük değerleri elde edildi. Ayrıca, sermet lehimli yüksek hız çeliği testere ile en dar yuva genişlikleri elde edilmiştir [9].

Kordestany ve Ma, ince dairesel testere bıçakları kullanan çok milli bir kanal açma makinesinde kuvvet analizi için bir analitik model geliştirmiştir. Model, boru boyunca kanal açma sürecinde ilerleme doğrultusunda ilerleme hızlarındaki farktan kaynaklanan farklı zaman adımlarını hesaba katmıştır. Araştırmada, bıçak geometrisi, kesme hızı ve ilerleme hızının takım ömrü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, kesme işleminin dinamiği çalışmasında stabilite lob diyagramları ile tırlama titreşiminin etkileri değerlendirilmiştir. Stabilite lob diyagramını belirlemek için kullanılan yaklaşımlar, yöntemin takım ve iş parçası malzemelerinin farklı kombinasyonlarını analiz etmek için uygulanabileceğini göstermiştir. Sonlu eleman simülasyonlarından elde edilen kayma açısı değerleri, analitik hesaplamadan elde edilen sonuçlarla uyumluluk sağladı. Bu nedenle, kanal açma işleminin parametrelerini tahmin etmek için geliştirilen analitik modelin belirli bir boru malzemesi için takım seçiminde bir temel oluşturmak üzere gelecekteki herhangi bir durum için uygulanabileceğini göstermiştir [10].

Chang ve Chen, genel amaçlı çelik kesimi için kullanılan kendinden kenetlenmiş sementit karbür kesici uçlara sahip dairesel testere bıçağı tasarımı, imalatı ve performansını araştırmıştır. S45C karbon çeliği ve SCM440 alaşımlı çelikten imal edilen iş parçalarının dilimleme testleri sırasında kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçül müş ve tepki yüzey metodolisi ile modelleri geliştirilmiştir. Tüm testler sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvetleri 560 N'den küçük ölçülmüş

ve bunun orta düzeyde kesme kuvvetlerini tetikleyeceği göstereceği bildirilmiştir. Ra değerlerinin büyük oranda 1-4 µm arasında değiştiği ve iyi yüzey kalitesinin elde edilebileceği vurgulanmıştır. Cevap yüzey yöntemi (RSM) ile geliştirilen modellerin maksimum bileşke kesme kuvvetini ve aritmetik ortalama pürüzlülüğü simüle etmek için güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi belirtilmiştir [11].

Tomkiewicz vd., C35EC, Pb30, 16MnCrSPb5, S355J2+C malzemelerinin dairesel testere ile kesilmesi sırasında oluşan takım aşınmalarına odaklanmıştır. C35EC yüksek karbon çeliğinin kesilmesinde, daire testeredeki karbür bıçakları hızla aşınmış ve birçok bıçak kırılmıştır. Düşük karbon içeriğine sahip çelik kalitelerinde, bıçak yan yüzeylerinde talaş yapışması (BUE) gözlenmiş ve BUE oluşumu bıçaklar için koruma sağlayarak yan taraflardaki aşınmanın genişliğinin daha küçük kalmasına neden olmuştur. Tüm testere bıçakların kenarlarında ve yan taraflarında yoğun aşındırıcı aşınma etkisi görülmüş ve bunun yüksek kesme hızı ve küçük bir işleme tabaka kalınlığı kullanımını sonucu olduğu belirtilmiştir. Kenarlarda ufalanma ve bıçakların kırılması, bıçakların ağır yükünün yanı sıra iş parçasının sertliği ve sert kalıntıların varlığından kaynaklanmıştır. Pb30 ve 16MnCrSPb5 çelik için daire testere bıçaklarında en düşük aşınma oranı elde edilmiştir [12].

Wang ve Zhang, dönme hızının daire testerenin eşdeğer gerilmesi, gerilme dağılımı, doğal frekansı ve titreşim genliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla, 0-2000 rad/s hızlarında statik yapısal analiz sonuçlarına göre lineer burkulma analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, testere bıçağının hem kesme geriliminden hem de santrifüj geriliminden etkilendiğini göstermiştir. Bu nedenle santrifüj gerilimi dönme hızı tarafından belirlenir. Hız düşük olduğunda, gerilim ve deformasyon esas olarak kesme kuvvetinin yüklendiği dış üzerinde yoğunlaşır. Dönme hızı arttıkça, testere bıçağının merkezkaç gerilimi kademeli olarak daha önemli bir rol oynar ve aynı zamanda dış kökü bölgelerinin yakınında stres konsantrasyonu ortaya çıkar. Kritik yük dönme hızına bağlı olarak artar ve kritik yük ne kadar büyükse bükülme deformasyonu o kadar küçüktür. Hem sertlik hem de daha yüksek doğal frekans, dönme hızına bağlı olarak artarken, doğal frekans arttığında titreşim genliği azalır [13].

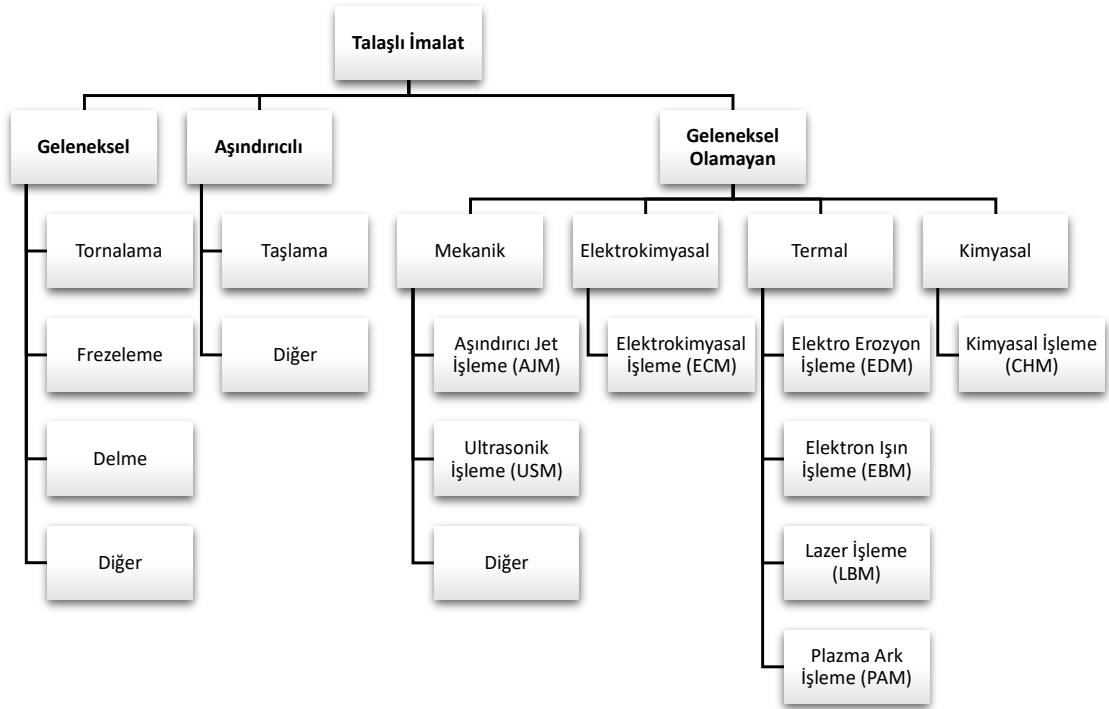
Sasaharaa vd., karbür uçlu daire testere ile karbon fiber takviyeli polimer (CFRP)'nin kuru ortamda kesilmesinde işlenmiş yüzeyin ve takımın belirli özelliklerini araştırmışlardır. Daire testere ince olduğundan testere gövdesi işleme sırasında sıklıkla düzlem dışı titreşim sergiler. Titreşimin işleme karakteristikleri üzerindeki etkisini anlamak için, daire testere gövdesinin her iki tarafında bir çift sönümlenmeli alaşım levhalı ve sönümsüz olarak kesme testleri gerçekleştirilmiştir. İşlenmiş yüzey ve takım aşınması özelliklerinin sönümlenme ile iyileştiği görülmüştür. İlerleme oranı yükseldikçe kesme kuvveti artmış ve işlenmiş yüzey kalitesi kötüleşmiştir. İlerleme hızı arttıkça aşınma sıklığı azaldığından aynı kesme boyu için takım aşınma miktarı azalmıştır. CFRP malzemenin besleme yönü ve lamine yönü boyunca ortalama yüzey pürüzlülüğü sırasıyla 0,5 µm ve 1,1 µm ölçülmüştür. Ek olarak, daire testere ile CFRP kesiminde karbon elyaf oryantasyonu ile takım aşınması arasındaki ilişkiyi değerlendirilmiştir. Kesme kuvveti 0° fiber oryantasyonu durumunda en yüksek iken, ardından ± 45° ve 90° durumları gelmiştir. Yüzey kalitesinin lif oryantasyonundan etkilendiği belirlenmiş olup 0° fiber oryantasyonunda iyi bir yüzey elde edildi. Ayrıca, -45° fiber oryantasyonu durumunda takım yan yan yüzey aşınması en düşük seviyede ölçülmüştür [14].

Karakurt, dairesel elmas testere bıçakla kaya kesmede kesme kuvveti (Fc) için bir optimizasyon çalışması yapmıştır. Çevresel hız, ilerleme hızı, kesme derinliği ve soğutma sıvısının akış hızı kesme parametreleri olarak ele alınmıştır. Bu parametreler ve seviyelerine dayalı olarak L16 ortogonal dizisi uygulanarak deneyler yapılmıştır. Ayrıca regresyon analizi kullanılarak Fc'nin tahmini modeli geliştirilmiştir. Kesme derinliği ve çevresel hız, Fc'yi etkileyen önemli kesme parametresi olarak belirlendi. Fc'yi minimize eden optimum parametreler, daha yüksek çevresel hız (40 m/s), daha düşük ilerleme hızı (40 cm/dak), daha düşük kesme derinliği (0,5 cm) ve daha yüksek soğutma sıvısı akış hızı (200 ml/s) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, önerilen modelin yüksek belirtme katsayısına sahip olması bu modelin pratik uygulamalarda Fc'nin tahmini için etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir [15].

BÖLÜM 3

KURAMSAL TEMELLER

Talaşlı imalat, iş parçasındaki fazla malzemenin çeşitli yöntemlerle uzaklaştırıldığı ve böylece istenen geometri ve/veya yüzeyin elde edildiği bir dizi şekillendirme işlemidir. İmalat sanayisinde, hem nihai ürünün kalitesinin belirlenmesinde hem de maliyet açısından kilit bir süreç olarak görülmektedir [16]. Geleneksel, aşındırıcı ve geleneksel olmayan işleme yöntemleri olarak kategorize edilmektedir (Şekil 3.1).



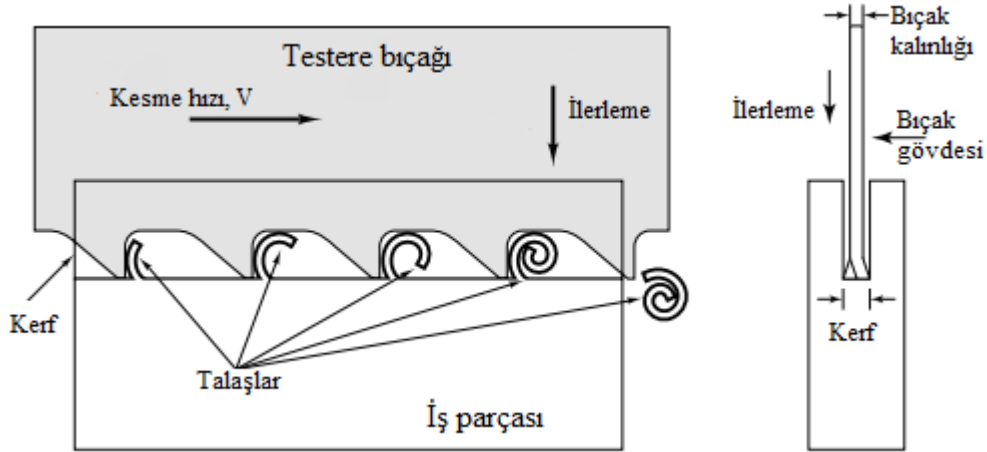
Şekil 3.1. Talaşlı imalat yöntemleri.

Geleneksel talaşlı imalat yöntemi, malzemeyi mekanik olarak kesmek için iş parçasından daha keskin ve daha sert bir kesici kenarın kullanıldığı yöntemdir. Geleneksel işleme yöntemleri, tornalama, frezeleme, delme ve diğer işleme yöntemlerine (testere ile kesme, planyalama, broşlama vb.) ayrılır. Diğer grup ise sert

ve aşındırıcı parçacıkların etkisiyle malzemeyi mekanik olarak uzaklaştıran aşındırıcı talaşlı imalat yöntemidir. Bu grup, taşlama ve diğer aşındırıcı imalat yöntemlerini (honlama, lepleme vb.) içerir. Geleneksel olmayan işleme yöntemlerinde, keskin kesici takımlar ve aşındırıcı parçacıklar olmadan malzemeyi çıkarmak için çeşitli enerji biçimleri kullanılarak makineyle işleme gerçekleştirilir. Bu yöntemler, enerjinin mekanik, elektrokimyasal, termal ve kimyasal formlarından oluşur [17].

3.1. TESTERE İLE KESME

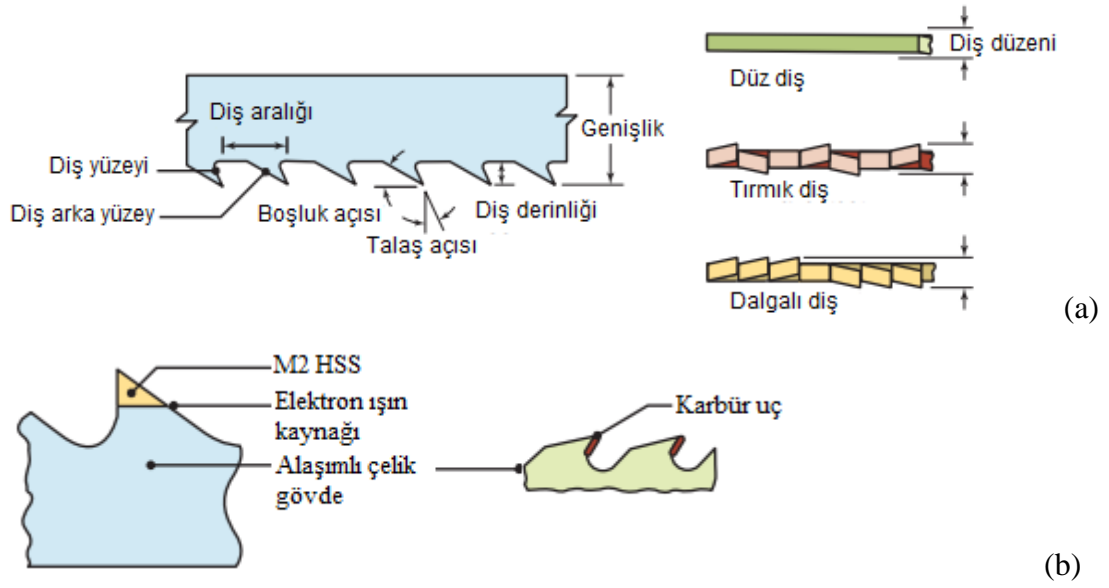
Testereyle kesme, talaşların bir testere "bıçak" üzerinde dar bir çizgide düzenlenmiş küçük kesici kenarlar veya dişler tarafından üretildiği temel bir işleme biçimidir. Her bir diş, iş parçasından geçerken aşamalı olarak bir talaş oluşturur. Talaşlar, dişler işten geçene kadar birbirini izleyen dişler arasındaki boşluklarda tutulur (Şekil 3.2). Talaş şeklindeki malzemenin yalnızca küçük bir miktarının çıkarılmasıyla iş parçasından önemli ölçüde büyük parçalar ayrılabilceğinden, testereyle kesme, malzeme israfı ve güç tüketimi açısından muhtemelen temel işleme proseslerinin en ekonomisidir. Son yıllarda, testere bıçaklarında (tasarım ve malzeme) ve testere makinelerinde büyük iyileştirmeler yapılmış, bu da sürecin doğruluğunu ve kesinliğini artırmıştır [18].



Şekil 3.2. Testere ile kesmede talaş oluşumu

3.1.1. Testere Çeşitleri

Testere bıçakları üç temel konfigürasyonda yapılır. Yaygın olarak demir testeresi bıçağı olarak adlandırılan birinci tip düz, nispeten sert ve sınırlı uzunluktadır ve bir kenarında dişler vardır. Şerit testere adı verilen ikinci tip, yeterince esnektir ve bir kenarında dişler bulunan sürekli bir şerit halinde büyük bir uzunlukta oluşturulabilir. Üçüncü tip, çevresinde dişler bulunan sert bir diskten ibaret olup, bunlara dairesel testere veya soğuk testere denir. Tipik testere dişi ve testere bıçağı konfigürasyonları Şekil 3.3a'da gösterilmektedir [19].



Şekil 3.3. a) Testere dişi terminolojisi, b) HSS ve karbür uçlu testere.

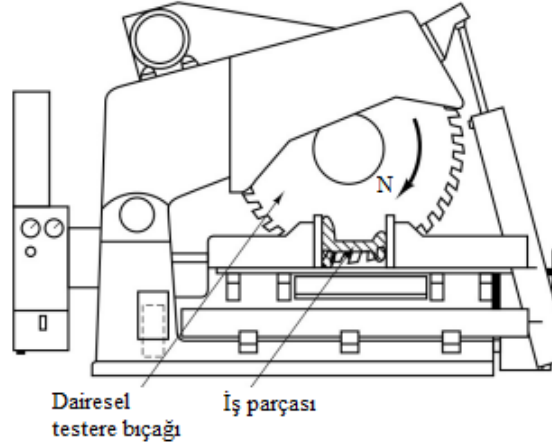
Tüm testere bıçaklarının belirli ortak ve temel özellikleri vardır: 1) malzeme, 2) diş şekli, 3) diş aralığı, 4) diş seti ve 5) bıçak kalınlığı. Küçük demir testeresi bıçakları genellikle tamamen tungsten veya molibden yüksek hız çeliğinden yapılır. Motorla çalışan demir testere için bıçaklar genellikle, bıçağın daha sert ve daha ucuz bir alaşımli çelikten yapılmış ağır ana kısmına elektron ışını ile kaynaklanmış bir yüksek hız çeliği şeridinden kesilmiş dişlerle yapılır. Şerit testere bıçakları sıklıkla benzer yapıda olup, ancak gerekli esnekliği sağlamak için bıçağın ana kısmı nispeten ince, yüksek çekme mukavemetli alaşımli çelikten yapılır. Şerit testere bıçakları ayrıca tungsten karbür dişlere ve TiN kaplamalara sahiptir. Şerit testere bıçakları düz, tırmık, dalga veya kombinasyon setlerinde mevcuttur [18]. Şerit testere sürekli, uzun ve esnek bıçaklara sahiptir. Dikey şerit testere, yatay bir masa üzerinde

desteklenen düz sacların ve diğer parçaların düz ve konturlu kesimi için kullanılır. Ayrıca, kontur yolunu otomatik olarak yönlendirme özelliğine sahip bilgisayar kontrollü şerit testerelerde mevcuttur. Motorlu şerit testereler, sürekli kesme eylemleri nedeniyle elektrikli demir testerelerden daha yüksek üretkenliğe sahiptir. Yüksek hız çeliğinden bıçaklar kullanıldığında, yüksek mukavemetli alaşımlar için kesme hızları yaklaşık 60 m/dk'ya ve karbon çelikleri için 120 m/dk'ya kadar çıkabilir.

Metal kesme için dairesel testerelere, onları sürtünme tipi disk testerelerden ayırmak için genellikle soğuk testereler denir. Sürtünme testereleri talaş yapmaz, bunun yerine metali talaş çıkarma noktasında erime sıcaklığına kadar ısıtır. Soğuk testereler, bir freze makinesinde testere freze çakısı veya bir tornada bir kanal kesici takım ile yapılan yüzeylerle pürüzsüzlük ve doğruluk açısından karşılaştırılabilir yüzeyler üretirken, hızlı bir şekilde keser ve bir freze bıçağı gibi talaşlar üretir. Disk veya dairesel testereler mutlaka düz bıçaklı formlardan biraz farklıdır. Çapı yaklaşık 18 inç'e kadar olan boyutlar ve dişlerin doğrudan bir diske entegre edildiğı bir tasarıma sahiptir (Şekil 3.4). Daha büyük dairesel testereler, parçalı veya yerleştirilmiş dişler kullanır. Dişler ise yüksek hız çeliğinden veya tungsten karbürden yapılmaktadır. Diskin geri kalanı sıradan, daha ucuz ve daha sert çelikten yapılır. Parçalı bıçaklar, diskin çevresine monte edilmiş, genellikle bir dil ve oluk ile donatılmış ve vida veya perçinlerle sabitlenmiş segmentlerden oluşur. Her segment birkaç diş içerir. Tek bir diş kırılırsa, testereyi çalışır duruma getirmek için yalnızca bir parçanın değiştirilmesi gerekir [18].

Testeredeki diş seti, bıçağın iş parçası içinde yapışma veya aşırı sürtünme direnci olmadan serbestçe hareket etmesi için yeterince geniş bir çentik sağlaması ve böylece üretilen ısıyı azaltması açısından önemlidir. Yüksek sıcaklıklar, özellikle sıcaklık yükseldiğinde hızla yumuşayan termo-plastikler için kesilen malzeme üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir. Diş seti ayrıca bıçağın, salınım yapmadan kesilecek deseni takip ederek bir yolu doğru bir şekilde izlemesini sağlar. Testere dişinin iş parçasına takılmasını önlemek için her zaman en az iki veya üç diş iş parçasına dalmalıdır. İnce malzemelerin, özellikle sacların kesilmesinin zor olmasının nedeni budur. Malzeme ne kadar ince olursa, testere dişleri o kadar ince olmalıdır ve

testerenin birim uzunluğu başına diş sayısı o kadar fazla olmalıdır. Diğer yandan, kesme sıvıları genellikle kesim kalitesini ve testerenin ömrünü iyileştirmek için kullanılır.

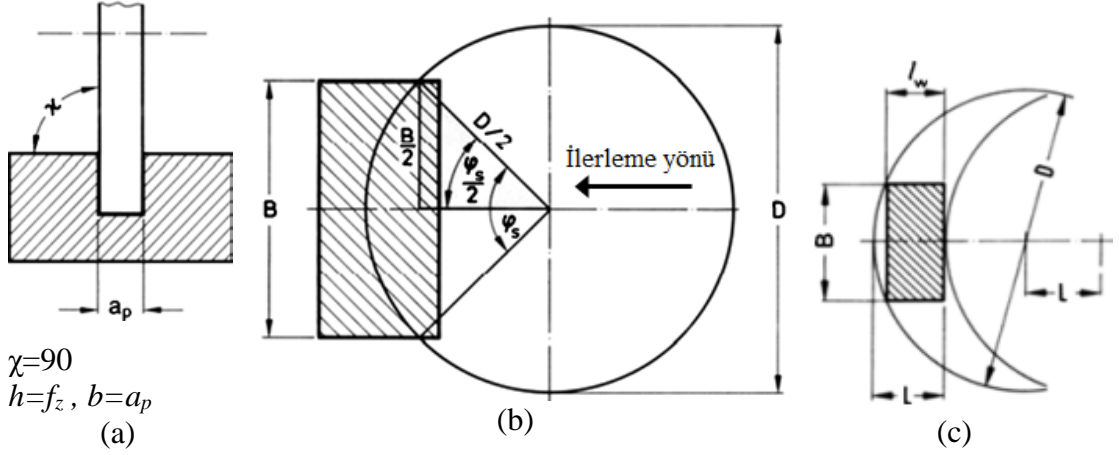


şekil 3.4. Dairesel testere yapısı

3.1.2. Dairesel Testerede Kesme Mekaniki

Dairesel testere ile kesme işlemi, testere bıçağının çok daha ince ve kanal açma freze bıçağına göre daha fazla kesici diş bulundurmasının dışında frezelemede kanal açma veya dilimleme işlemine benzemektedir. Dairesel testereyle kesme ile ilişkili aşındırıcılı kesme ve sürtünmeli testereleme olmak üzere iki operasyon vardır. Aşındırıcılı kesmede, geleneksel testere bıçağı ile kesmenin zor olduğu sert malzemeleri bir aşındırıcı disk ile kesme işlemi gerçekleştirilir [17]. Sürtünmeli testerede yumuşak elik bir bıçak veya disk, 7600 m/dak'ya varan hızlarda iş parçasına sürtünür. Sürtünme enerjisi, iş parçasındaki dar bir bölgeyi hızla yumuşatan ısıya dönüştürülür. Daha yüksek kesme verimliliği için dişlere veya çentiklere sahip olabilen bıçağın hareketi, yumuşatılmış metali kesme bölgesinden eker ve dışarı atar. Diğer yandan, üretilen ısı, kesim yüzeylerinde ısıdan etkilenen bir bölge oluşturduğundan kesilen kenarlar boyunca iş parçası özellikleri olumsuz etkilenebilir. Sürtünmeli testereleme işlemi, sert çelikler ve glendirilmış plastikler için uygundur, ancak bıçağa yapışma eğilimi nedeniyle demir dışı metaller için uygun değildir. Büyük elik kesitlerini kesmek için çapı 1,8 m kadar büyük olan diskler kullanılır [19].

Testere ile kesme, çok kenarlı takımın hem kesme hem de besleme hareketlerini gerçekleştirdiği bir kesme prosedürüdür. Testereyle kesmede, takımın kesme kenarı açısı 90° 'dir (Şekil 3.5a). Sonuç olarak, kesme derinliği (h) diş başına ilerlemeye (f_z) ve kesici genişliği (b) kesme genişliğine (a_p) karşılık gelir.



Şekil 3.5. a) Takım kesme kenarı, b) Kesme uzunluğu, c) Toplam yol

Dairesel teterede diş başına ilerleme;

$$f_z = \frac{A_s \cdot D \cdot \pi}{l \cdot V_c \cdot Z_w \cdot 10^3} = \frac{V_f \cdot D \cdot \pi}{V_c \cdot Z_w \cdot 10^3}$$

$$l = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi_s^\circ}{360^\circ}$$

Adımdaki basınç açısı;

$$\sin\left(\frac{\varphi_s}{2}\right) = \frac{B}{D} \quad (3.1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eğer $D > B$ ise $l \approx B$ alınır [20].

f_z = Diş başına ilerleme, mm

A_s = Özel kesit alanı, mm^2

l = Kesme uzunluğu (yay uzunluğu), mm

V_c = Kesme hızı, m/dak

Z_w = Dairesel testere diş sayısı

D = Testere çapı

n = Devir sayısı, dev/dak

V_f = İlerleme hızı, mm/dak

B = İşparçası genişliği

φ_s = Basınç açısı

Testere ile kesmede işleme zamanı;

$$t_h = A/A_s \text{ veya } t_h = L/V_f \quad (3.2)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

t_h = İşleme zamanı, dak

A = Çevresel kesit alanı, mm²

L = Toplam yol, mm

$$L = l_w + \frac{D}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - B^2} \quad (3.3)$$

l_w = İlerleme yönündeki malzeme kalınlığı, mm

Spesifik kesme kuvveti;

$$k_c = \frac{(1mm)^z}{f_z^z} \cdot k_{c1,1} \cdot K_v \cdot K_{st} \cdot K_{ver} \quad (3.4)$$

k_c = Spesifik kesme kuvveti, N/mm²

z = Malzeme sabiti

$k_{c1,1}$ =h=b=1 mm için kesme kuvveti, N/mm²

K_v = Kesme hızı düzeltme faktörü (Karbür için 1, HSS için 1,15)

K_{st} = Talaş baskısı düzeltme faktörü (1,2)

K_{ver} = Aşınma faktörü (1,3)

Toplam kesme kuvveti;

$$F_c = F_{c_z} \cdot Z_E = a_p \cdot f_f \cdot k_c \cdot Z_E \quad (3.5)$$

F_c = Toplam kesme kuvveti, N

F_{c_z} = Diş başına kesme kuvveti, N

Enerji tüketimi [21];

$$P_i = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \quad (3.6)$$

$$P_t = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot t \quad (3.7)$$

P_i = Anlık enerji tüketimi, W

Pt = Toplam enerji tüketimi, W

V = Voltaj

I = Akım, Amp

t = Kesme süresi, s

3.2. KESME SIVILARI

Kesme sıvısı, öncelikle bir soğutma sıvısı ve ikinci olarak bir yağlayıcı görevi görerek takım/talaş arayüzünde ve işparçası yan bölgelerindeki sürtünme etkilerini azaltır. Kesme sıvıları talaşları da uzaklaştırarak takım gövdelerinin iş parçasına temas ettiği bölgelerde sürtünme ve kuvvetlerin azalmasını sağlar [18]. Uygun bir kesme sıvısı seçmek, takım servis performansını iyileştirmek, işleme kalitesini ve hassasiyetini sağlamak ve üretkenliği artırmak için yağlama, soğutma, temizleme ve pas önlemede iyi bir rol oynayabilir [22]. Kesme sıvısı kullanımı metal işleme sektörüne büyük kolaylıklar getirirken aynı zamanda ekolojik çevreyi ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Ek olarak, kesme sıvısı besleme yönteminin çoğu sürekli akış tipi olup, bu yöntem kaynak israfına neden olmakla birlikte aynı zamanda işçilerin sağlığını da tehlikeye atan yağ buharı üretir [23]. Bu bağlamda, MQL yönteminin işleme süreçlerinde uygulanması, sürekli akış yöntemi ve kuru işlemeye kıyasla hem çevre üzerinde olumlu bir etki hem de kesici takımların ömrünün uzatılmasına ve daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmesine katkı sağlar.

Kesme sıvılarının etkinliği, işleme operasyonunun türü, takım ve iş parçası malzemeleri, kesme hızı ve uygulama yöntemi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Su mükemmel bir soğutma sıvısıdır ve kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıkları etkili bir şekilde azaltabilir. Ancak etkili bir yağlayıcı değildir ve sürtünmeyi azaltmadığı gibi iş parçasında ve takım tezgahı bileşenlerinde korozyona neden olabilir. Diğer yandan, işlemede karşılaşılan sıcaklıkların ve kuvvetlerin seviyesi ve dolayısıyla takım ömrü, kesici kenarda birikme eğilimi, üretilen talaşların kesme bölgesinden uzaklaştırılma kolaylığı ve sıvıların takım-talaş arayüzüne etkili bir şekilde gönderilmesi işleme operasyonunun zorluğuna bağlıdır. Bu bakımdan, talaşlı imalatta önem sıralaması testereyle kesme, ternalama, frezeleme, delme, dişli kesme, diş açma, kılavuz çekme ve dahili broşlama şeklindedir. Bununla birlikte, kesme

sıvılarının soğutma etkisinin zararlı olabileceği işlemler vardır. Kesme sıvıları talaşın daha kıvrımlı hale gelmesine neden olabilir ve böylece ısıyı takım ucuna daha yakın bir yerde toplayarak takım ömrünü kısaltabilir. Çok dişli kesicilerle frezeleme gibi kesintili kesme işlemlerinde, kesme bölgesinin soğuması kesici dişlerin termal döngüsüne yol açar, bu da termal yorulma veya termal şok mekanizmalarıyla termal çatlaklara neden olabilir [19].

3.2.1. Kesme Sıvısı Çeşitleri

Metal işleme alanında kesme sıvısı, nispeten olgun bir uygulama sistemine sahiptir ve çok kategorili bir ürün haline gelmiştir. Kesme sıvıları temel olarak yağ bazlı kesme sıvıları ve su bazlı kesme sıvıları olarak ikiye ayrılır. Ana sınıflandırma Çizelge 3.1'de gösterilmiştir [24].

Yağ bazlı kesme sıvısı, baz yağın tribolojik ve yardımcı katkılarıyla karıştırılmasıyla yapılır ve kullanıldığında su ile seyreltilmesi gerekmez. Yağ bazlı kesme sıvısının baz yağı, mineral yağ ve sentetik yağ olarak ikiye ayrılır. Mineral yağ, petrol gibi fosil yakıtların rafine edilmesinden elde edilen sıvı hidrokarbonların bir karışımıdır. Hammaddesi olan yağın kaynağına göre parafin bazlı ve naftenik bazlı olmak üzere iki türe ayrılabilir. Sentetik yağ esas olarak sentetik hidrokarbonları ve sentetik esterleri içerir. Bunlar arasında mineral yağ bazlı kesme sıvısı, mükemmel yağlama ve pas önleme özelliklerine sahiptir ve en çok kullanılandır. Su bazlı kesme sıvıları emülsiyon tipi, emisentetik tip ve sentetik tip olarak ayrılır. Emülsifiye edilmiş kesme sıvısı, baz yağın su içeren emülsiyonlaştırıcılarla karıştırılmasıyla elde edilen su içinde yağ emülsiyonudur. Mineral yağ içeriği %60'tan fazladır ve süt beyazı görünür. Sentetik kesme sıvısı, ana yapı olarak inorganik tuz ve organik amine alır, ve şeffaf veya hafif renkli sulu bir çözelti oluşturmak için suda çözünmek üzere koruyucular veya köpük gidericiler gibi çeşitli katkı maddeleri eklenir. Yarı sentetik kesme sıvısı, emülsiyon haline getirilmiş kesme sıvısı ve sentetik kesme sıvısı özelliklerine sahip olan su içinde yağ emülsiyonu ve sentetik sıvının bir kombinasyonudur. Emülsifiye edilmiş kesme sıvısından 4-6 kat daha uzun hizmet ömrü vardır.

Çizelge 3.1. Kesme sıvısı çeşitleri

| Tip | Sınıflandırma | İçerik | Avantajlar | Dezavantajlar | Uygulamalar |
|--------------------------|---------------------------------|--|--|--|--|
| Yağ bazlı kesme sıvıları | Mineral yağ bazlı kesme sıvısı | Mineral yağ, aşırı basınç katkı maddeleri vb. | Mükemmel yağlama ve pas önleme performansı. | Kötü soğutma performansı, duman, ateş ve diğer fenomenlerin üretilmesi kolay, atık sıvının işlenmesi zor. | Düşük hız ve düşük basınçlı metal işleme için havacılık, nükleer endüstrisi ve diğer alanlarda yaygın olarak kullanılır. |
| | Sentetik yağ bazlı kesme sıvısı | Sentetik yağ, aşırı basınç katkı maddeleri, vb. | | | |
| Su bazlı kesme sıvıları | Emülsifiye edilmiş kesme sıvısı | Daha yüksek miktarda madeni yağ, emülgatör, pas önleyici vb. | Mükemmel yağlama, pas önleme ve soğutma performansı, atık sıvı arıtma nispeten basittir. | Sudaki aşırı elektrolit içeriği, emülsiyon stabilitesinin azalmasına ve kötü temizlemeye yol açacaktır. | Yüksek hızlı ve düşük basınçlı metal işlemede kullanılır. |
| | Sentetik kesme sıvısı | Köpük gidericiler, yüzey aktif maddeler, suda çözünür aşırı basınç katkı maddeleri, pas önleyiciler, vb. | Mükemmel temizleme performansı, kararlılık ve paslanma önleme performansı, bozulması kolay değildir. | Zayıf işlenebilirlik, yetersiz yağlama, düşük pas önleme performansı, işlenmesi zor atık sıvı. | Genellikle sadece taşlama için kullanılır, nadiren kesme için kullanılır. |
| | Yarı sentetik kesme sıvısı | Az miktarda madeni yağ, yüzey aktif maddeler, aşırı basınç maddeleri, pas önleyiciler vb. | Mükemmel yağlama performansı, pas önleme performansı ve soğutma performansı. | İşlenmesi zor atık sıvı, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve kimyasal oksijen ihtiyacı azaltmak kolay değildir. | Metal işlemede yaygın olarak kullanılan mükemmel kapsamlı performans. |

Yağ bazlı kesme sıvılarıyla karşılaştırıldığında, su bazlı kesme sıvılarında yağlayıcılar, pas önleyiciler ve antioksidanlar gibi katkı maddeleri kullanılır ve daha güçlü bir ısı yayma kapasitesine sahiptir. Su bazlı kesme sıvıları arasında, yarı

sentetik kesme sıvıları, mükemmel kapsamlı performansları nedeniyle metal işleme endüstrisinde giderek en iyi seçim haline gelmiştir. Güçlü makine üreticisi ülkeler, emülsiyon haline getirilmiş kesme sıvılarının geliştirilmesinden sentetik kesme sıvılarına ve ardından yarı sentetik kesme sıvılarına geçmiştir.

Kesme sıvısı, metal işlemede önemli bir rol oynar, ancak aynı zamanda çevreye ve operatörün sağlığına da önemli ölçüde etkisi vardır. Başlıca kusurlar, kullanımları, bakımları ve bertarafı arasındaki maliyetlerle birlikte çevresel ve sağlık etkileridir. Kesme sıvısı, yaşam döngüsü boyunca önemli sağlık ve çevre zararları oluşturdu ve santrifüjleme, kimyasal pıhtılaşma ve elektrokimyasal pıhtılaşma gibi ön arıtma yöntemleri değerlendirildi. Çevre dostu/biyolojik olarak parçalanabilen yağlayıcıların geliştirilmesi, kesme sıvısının yan etkilerini azaltmanın önemli bir yoluydu. Dünyanın her yerinde bulunan yeni tip ve çevre dostu kesme sıvıları, hatta soğuk hava ve gaz ve sıvı nitrojen geliştirmek için birçok araştırma yapılıyordu.

3.2.2. Kesme Sıvısı Mekanizmaları

Metal işlemede takım, talaş ve iş parçası arasında takımın kullanım ömrü ve iş parçasının yüzey kalitesi için son derece zararlı olan sürtünme ısısı oluşmaktadır. Kesme sırasında oluşan talaşlar zamanında giderilmezse işleme kalitesi etkilenir. Ayrıca uzun süreli işlemlerde işlenen parçanın paslanma sorunu dikkate alınmalıdır. Mükemmel performansa sahip bir kesme sıvısının bu sorunları çözmek için yağlama, soğutma, temizleme, pas önleme ve diğer etkilere sahip olması gerekir [24].

Talaşlı imalatta kesme sıvılarının performans değerlendirmesi, temel olarak kesme performansı (takım ömrü veya takım aşınması, kesme kuvvetleri, sıcaklık, talaş oluşumu vb.) ve işlenmiş yüzey kalitesine (yüzey kalitesi, boyutsal doğruluk, yüzey sertliği, artık gerilim vb.) göre değerlendirilir [25].

Yağlama etkisi

Metal işlemede, takım-talaş ve takım-iş parçasında sürtünme oluşacaktır. Kesme sıvısı eklendikten sonra, sürtünmeyi ve aşınmayı azaltmak için iki sürtünme çifti arasında bir yağlama filmi oluşur. Kesme işleminin yüksek sıcaklık ve yüksek basınç

özelliklerinden dolayı, sıvı yağlama durumu oluşturmak zordur ve oluşan yağlama filmi genellikle bir sınır yağlama filmidir [26]. Yağlama filmi, takımın kesme kuvvetini ve aşınmasını etkili bir şekilde azaltabilir, böylece takım ömrü ve iş parçasının kalitesi artırılabilir.

Soğutma etkisi

Takımın ve iş parçasının kesme etkisi ve takım-talaş arasındaki sürtünme nedeniyle kesme bölgesinde yüksek sıcaklık meydana gelir. Bu durumda, kesme ısısı kesme için en elverişsizdir ve kolayca iş parçası yüzeyine zarar verir. Bu olayı önlemek için kesme sıvısının soğutma etkisi gereklidir. Kesme sıvısı kesme alanına girdiğinde, ısının bir kısmı taşınım ısı transferi yoluyla kesme sıvısı tarafından alınır ve kesme sıvısının buharlaşması ısının bir kısmını alır [27]. Geleneksel akıtma besleme yöntemi, büyük miktarda kesme sıvısı püskürterek soğutma etkisini en üst düzeye çıkarır ancak daha fazla kesme sıvısı tüketir. Minimum miktarda yağlama (MQL) besleme yöntemi, soğutma etkisini sağlarken kesme sıvısının buharlaşma hızını artırabilir ve kesme sıvısının tüketimini azaltır.

Temizleme etkisi

Metal işleme sırasında birçok küçük talaş oluşur. Talaşlar kesme alanında uzun süre bırakılırsa takım aşınmasını hızlandırmak ve iş parçasını çizmek kolaylaşır. Bu nedenle işlemenin optimum zamanda yapılması önemlidir. Kesme sıvısı eklendikten sonra, kesme sıvısı kesme alanından akarken kesme sıvısı küçük talaşları yıkayarak ortamdaki uzaklaştırır ve kesme alanını temizler [28]. Kesme sıvısının temizleme etkisi ve soğutma etkisi birbirinden ayrılamaz. Kesme sıvısı, savrulmuş talaşların operatörlerde yanıklara neden olmasını önlemek için temizleme etkisi yaparken talaşların sıcaklığını düşürür.

Pas önleme etkisi

İşlemden sonraki saklama süresi boyunca, iş parçasının hava ortamıyla reaksiyona girerek pas veya korozyona neden olması muhtemeldir. Bu olayı önlemek için, kesme sıvısının pas ve korozyon önleyici etkilere sahip olması önemlidir. Kesme sıvısı, iş parçasının paslanmasını geciktirmek için iş parçasının yüzeyinde fiziksel bir adsorpsiyon filmi veya kimyasal reaksiyon filmi oluşturur. Ayrıca kesme sıvısının

pas önleyici etkisi sadece iş parçası üzerinde kendini göstermez, aynı zamanda takım tezgahı ve kesici takım üzerinde de bakım etkisine sahiptir [24].

Soğutma sıvısı ve yağlayıcı olarak işlevsel etkinliğine ek olarak, kesme sıvıları kullanım ve depolamada kararlı olmalı, iş ve makineler için aşındırıcı olmamalı ve çalışan personel için toksik olmamalıdır. Kesme sıvısı, kullanılmış soğutma sıvısını ve kesme yağlarını saflaştıracak kapalı bir geri dönüşüm sistemi kullanılarak geri kazanılabilir olmalıdır. Kesme sıvıları üç şekilde kirlenir. Tüm bu kirleticiler filtreleme, hidrosiklonlama, pastörizasyon ve santrifüjleme ile ortadan kaldırılabilir [18]. Kesme sıvısı, ağır kirlilik ve zorlu sirkülasyon gibi ciddi zorluklarla karşı karşıyadır. Yağ sisi tedavisi için en iyi yöntem kimyasal sis azaltma yöntemidir. Bunlar arasında, organik buğulanmayı önleyici katkı maddesi, en iyi seçim haline gelen çevre koruma ve hızlı tepki avantajlarına sahiptir. Kimyasal oksijen talebi giderme, verimliliği ve çevre koruma açısından bakıldığında, pıhtılaşma, oksidasyon, biyolojik ve kombine arıtma yöntemlerinin tümü, atık kesme sıvısının arıtılmasında mükemmeldir. Bununla birlikte, karmaşık safsızlıklara sahip atık kesme sıvısı için, kombine arıtma yöntemi verimli bir atık kesme sıvısı arıtma yöntemidir. Ardından, sterilizasyon ve çevre koruma gibi faktörler göz önünde bulundurularak mikroorganizmaların uzaklaştırılması için UV/O₂ sinerjistik sterilizasyonu verimli, düşük riskli bir tekniktir [24].

3.2.3. Kesme Sıvısı Uygulamaları

Kesme işlemi sırasında, özellikle yüksek hızlı işlemede, kesici kenara yakın malzemenin plastik deformasyonu, yüksek sıcaklık ve karmaşık mekanik ve termal gerilimler ile çok büyüktür. Kesme sıvısı, mükemmel soğutma ve yağlama özelliklerinden dolayı işlemede önemli bir rol oynar [29]. İşleme maliyetlerin düşürülmesi gerekliliği ve çevresel farkındalığın güçlenmesi ile birlikte, üretimde kesme sıvılarının kullanımını azaltmak için birçok araştırma yapılmıştır. Kuru kesme ve yarı kuru (veya kuruya yakın) kesme endüstri tarafından tercih ediliyordu. Minimum miktarda yağlama (MQL) işleme gibi yarı kuru işlemede çok az miktarda kesme sıvısı, tribolojik ve kesme performansında önemli bir rol oynamaktadır [30].

Kuru kesme ve MQL'nin kullanılması, atıkların azaltılması, maliyetlerin düşürülmesi ve operasyon ortamının iyileştirilmesini sağlar. Farklı kesme sıvısı uygulama yöntemlerinin kaplanmış karbür takımların aşınmasına etkisi üzerine deneysel bir araştırmada, gözlemlenen aşınma modunun sürtünmeden ziyade termal hususlara bağlı olduğu ve aynı zamanda belirli koşullarda yüksek basınçlı MQL'in takım ömrüne zarar verebileceği belirtilmiştir [31]. Yüksek hızlı frezelemede, yüksek hızlı darbeli jet ile kesme kuvveti ve takım aşınmasının azaldığı, kuru kesme ve klasik soğutma sıvısına göre bu yöntemin yüzey kalitesi ve takım aşınma direnci açısından daha iyi olduğu vurgulanmıştır [32]. Bir araştırmada, çevresel frezeleme sırasında iş parçası yüzeyinde toplanan titreşim sinyalleri, zaman, frekans ve zaman-frekans alanında analiz edilmiştir. Sonuçlar, titreşim sinyallerinin kesme sıvısından önemli ölçüde etkilendiğini ve titreşimi ve kesme sıvısı kullanımını azaltmak için işleme parametrelerinin dikkate alınması gerektiğini göstermiştir [33].

Soğutma sıvısı basıncı ve nozul konumu gibi uygulama parametreleri performanslarını doğrudan etkileyeceğinden, kesme sıvısının uygulanması rastgele değildir. Örneğin, nozul pozisyonu MQL'nin kesme performansı (kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık) üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [34]. MQL talaş yüzeyine uygulandığında takım ömrü kuru kesme ile aynı, ancak takım yan yüzüne uygulandığında takım ömrü artmaktadır. Genel olarak, kesme sıvısı basıncındaki artış takım ömrünü artırır ve iş parçası malzemelerinin yapışma eğilimini azaltır. Yüksek basınçlı soğutma sıvısının uygulanması, daha iyi takım ömrü ve yüzey kalitesi ile sonuçlanır [35].

Kesme sıvısı indirgeme teknolojisinin (kuru kesme, katı yağlama, kriyojenik soğutma, MQL ve NanoMQL) işlem özellikleri karmaşık ve farklıdır. Kuru kesme ve katı yağlama ile karşılaştırıldığında, MQL ve NanoMQL kesme sıcaklığını etkili bir şekilde azaltabilir. Ayrıca, yağlama yağının viskozitesini artırabilir ve yağ filminin kalınlığı takım-iş parçası arayüzeyini tamamen ayrı tutabilir. Düşük sıcaklıkta soğutma ile karşılaştırıldığında, MQL ve NanoMQL mükemmel yağlama performansına ve ekonomisine sahiptir. MQL ile karşılaştırıldığında nano parçacıklar, yağlama sıvısının termal iletkenliğini, geçirgenliğini ve aşınma önleyici özelliklerini önemli ölçüde artırabilir ve NanoMQL'in termal-mekanik seviyesi daha

hızlı düşer, bu da yalnızca takımın aşınmasını yavaşlatmaz, aynı zamanda iş parçasının istenilen yüzey kalitesinde elde edilmesine yardımcı olur.

3.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Teknolojik veya mühendislik yüzeyi, kesme ve taşlama, şekillendirme ve geleneksel olmayan talaşlı imalat işlemleri (elektro deşarj işleme, su jeti, lazer işleme vb.) gibi üretim yöntemleriyle oluşturulan herhangi bir yüzey anlamına gelir. İlgili süreçten sonra mühendislik yüzeyi, yüzey bütünlüğü denilen kavramı oluşturan ilk haline göre yeni özellikler ve karakteristikleri içerir. Bu kavram şunları ifade eder: 1. geometrik özellikler (doku, topografya) ve 2. mikrosertlik, kalıntı gerilmeler, plastik olarak deforme olmuş veya kırılmış katmanlar, korozyon direnci, absorpsiyon, yüzey enerjisi ve diğerleri gibi yüzeyin fiziksel-kimyasal, kristalografik özellikleri ve mekanik özellikleridir.

Yüzey dokusunun ve esas olarak yüzey pürüzlülüğünün karakterizasyonu ve analizinde bazı tanımların bilinmesi gerekir [36]:

- Nominal yüzey: İmalat resminde belirtilen form ve boyutlara sahip iş parçası yüzeyi, yüzey düzensizlikleri dikkate alınmaz.
- Gerçek profil: Mekanik veya optik ölçüm cihazları tarafından oluşturulan yüzey profili gösterimi. Profil ölçümlerinin, genellikle işlemin eksenine normal bir yönle çakışan yüzey pürüzlerinin karakteristik bir yönü doğrultusunda yapıldığına dikkat edilmelidir. Bir kesim yüzeyi, eksene paralel minimum pürüzlülük sergilerken, normal yönde maksimum pürüz yükseklikleriyle karşılaşılır. Bu bağlamda, nominal yüzeyden geometrik sapmalar aşağıdaki kategorilere girer:

1. Makrogeometrik sapmalar: Form hataları ve dalgalılık olarak adlandırılan birinci ve ikinci dereceden sapmalardır.

2. Mikrogeometrik sapmalar: Yüzey mikro formuna (yüzey pürüzlülüğü) karşılık gelen üçüncü ve daha yüksek dereceli sapmalar.

Birçok durumda biçim ve dalgalılık hatalarının sınırlandırılabilceği açıktır. Öte yandan, talaş kaldırma işlemi sırasında kesici takımın etkisinden kaynaklandığı için yüzey pürüzlülüğü kaçınılmazdır. Bu şekilde, pürüzlülük, işlenen malzemenin

işlenebilirliği, takım formu, işleme koşulları, tolerans gereksinimleri (biçim ve boyut), tribolojik olaylar (sürtünme, aşınma) ve genel olarak teknolojik yüzeylerin işleyişi ile ilgili baskın büyüklüktür.

Çizelge 3.2. İşlenmiş yüzeylerin geometrik sapmaları

| Sıralama | Sapma | Sebeup |
|----------|--|---|
| 1. | Form hataları (düzlemsellik, yuvarlaklık, düzlük, silindiriklik vb.) | Takım tezgahı kayma hataları, elastik deformasyonlar, takımın veya iş parçasının hatalı sabitlenmesi, ciddi takım aşınması. |
| 2. | Dalgalılık | İş parçasının veya takımın eksantrik dönüşü, imalat sistemindeki titreşimler (işlem-takım-iş parçası-makine ortamı), takım aşınması, işlenen malzemenin homojen olmaması. |
| 3. | Oluklar | Takım kenarı formu, işlem kinematığı, talaş morfolojisi. |
| 4. | Çatlaklar | Takım ucu aşınması, BUE oluşumu, talaş oluşumu modu, galvanik prosedürler. |
| 5. | Kristal yapı | Kristalleşme modu, kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanan düzensizlikler, aşındırıcı hasar. |
| 6. | Kristal oluşumu | Malzemenin ince yapısındaki fiziksel ve kimyasal değişimler, kafes deformasyonları. |

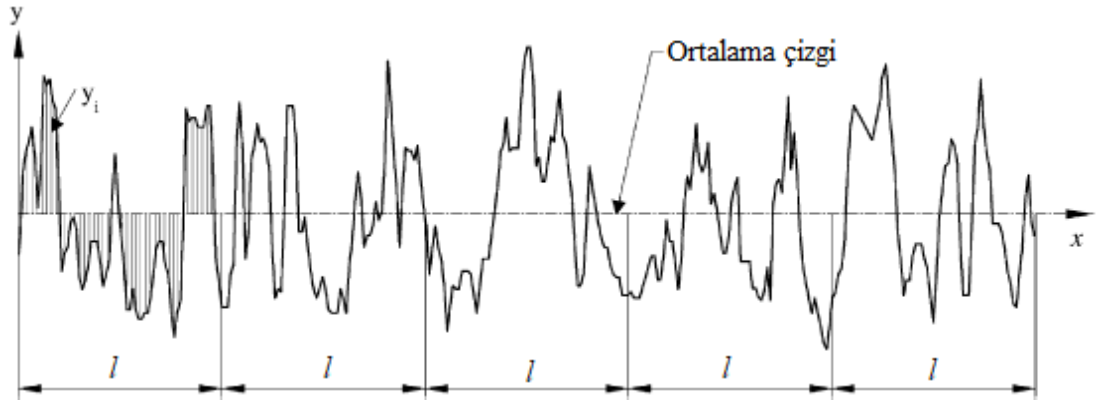
3.3.1. Yüzey Dokusu Parametreleri

Yüzey dokusu parametreleri uluslararası standartlar tarafından benimsenmiş ve çok sayıda araştırmacı tarafından önerilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, bu gerçek, yüzey profillerinin genellikle karmaşık biçimine ve diğer yandan işlevsel uygulamalarda gereken ayrıntılı açıklama ihtiyacına atfedilir. Kısa tanımları ve yorumları ile birlikte sunulan parametreler çoğunlukla “M”yi (ortalama çizgi sistemi) temel alan ISO 13565-2:1997 standardında yer almaktadır. Bu bağlamda, genlik parametreleri, yüzey topografyasını karakterize etmek için en önemli parametrelerdir. Yüzey sapmalarının dikey özelliklerini ölçmek için kullanılırlar.

Aritmetik Ortalama Yüksekliği (Ra): Merkez çizgi ortalaması (CLA) olarak bilinen aritmetik ortalama yükseklik parametresi, genel kalite kontrolü için evrensel

olarak en çok kullanılan pürüzlülük parametresidir. Şekil 3.6'da gösterildiği gibi, pürüzlülük düzensizliklerinin ortalama çizgiden ortalama mutlak sapması olarak tanımlanır. Bu parametrenin tanımlanması ve ölçülmesi kolaydır ve yükseklik değişimlerinin iyi bir genel tanımını verir. Dalga boyu hakkında herhangi bir bilgi vermez ve profildeki küçük değişikliklere duyarlı değildir. Aritmetik ortalama yükseklik parametresinin matematiksel tanımı aşağıdaki gibidir [37]:

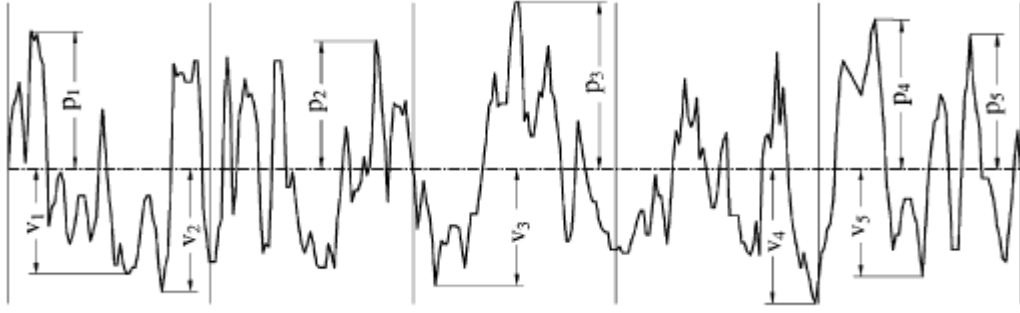
$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$



Şekil 3.6. M sistemi ve Ra'nın tanımlanması [38].

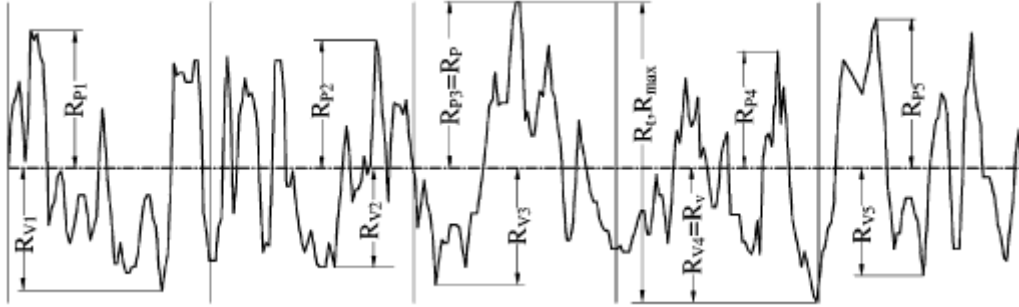
Kök ortalama kare pürüzlülük (Rq): Bu parametre RMS olarak bilinir. Yüzeysel yüksekliklerinin dağılımının standart sapmasını temsil eder, bu nedenle istatistiksel yöntemlerle yüzey pürüzlülüğünü tanımlamak açısından önemlidir. Bu parametre, ortalama çizgiden büyük sapmaya karşı aritmetik ortalama yükseklikten (Ra) daha hassastır.

On nokta yüksekliği (Rz): Bu parametre ara sıra meydana gelen yüksek tepe noktalarına veya derin vadilere karşı Ra'dan daha hassastır. Tanımlama sistemine göre iki yöntemle tanımlanır. Uluslararası ISO sistemine göre profilin değerlendirme uzunluğu boyunca en yüksek beş tepe noktasının ve en düşük beş vadinin ortalaması arasındaki yükseklik farkı olarak tanımlanır. Alman DIN sistemine göre profilin değerlendirme uzunluğu boyunca en yüksek beş tepe noktasının ve en düşük beş vadinin toplamının ortalaması olarak tanımlanır. Şekil 3.7, on noktalı yükseklik parametresinin tanımını göstermektedir.



Şekil 3.7. On noktalı yükseklik parametresinin tanımı.

Tepelerin maksimum yüksekliği (R_p): R_p , Şekil 3.8'deki gibi değerlendirme uzunluğu içinde ortalama çizginin üzerindeki profilin maksimum yüksekliği olarak tanımlanır. Şekilde R_{p3} , R_p parametresini temsil etmektedir.



Şekil 3.8. R_p , R_v , R_{pm} , R_{vm} , R_t (R_{max}) parametrelerinin tanımlaması.

Maksimum vadi derinliği (R_v): R_v , Şekil 3.8'de gösterildiği gibi değerlendirme uzunluğu içinde ortalama çizginin altındaki profilin maksimum derinliği olarak tanımlanır. Şekilde R_{v4} , R_v parametresini temsil eder.

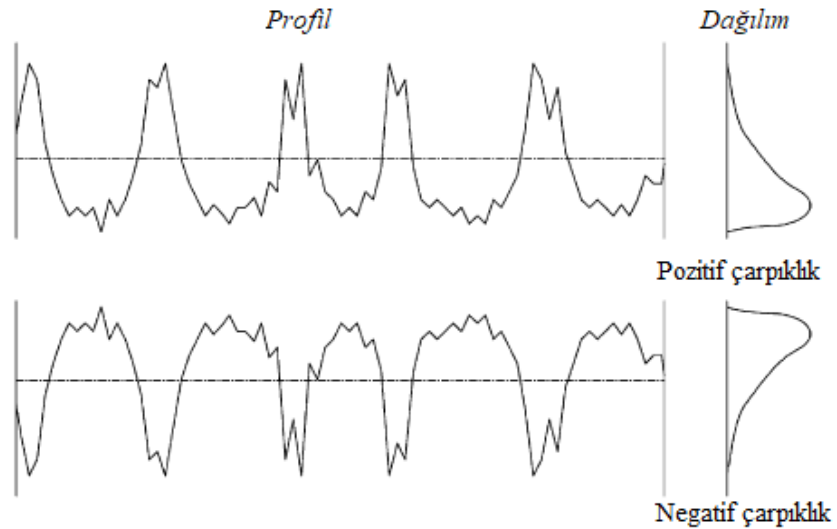
Tepelerin ortalama yüksekliği (R_{pm}): R_{pm} , Şekil 3.8'de gösterildiği gibi, değerlendirme uzunluğunun her örnekleme uzunluğu için elde edilen maksimum tepe noktalarının (R_p) ortalaması olarak tanımlanır.

Vadilerin ortalama derinliği (R_{vm}): R_{vm} , Şekil 3.8'de gösterildiği gibi değerlendirme uzunluğunun her örnekleme uzunluğu için elde edilen maksimum vadi derinliğinin (R_v) ortalaması olarak tanımlanır.

Profilin maksimum yüksekliği (Rt): Bu parametre, yüksek tepe noktalarına veya derin çiziklere karşı çok hassastır. Rmax veya Rt, profilin değerlendirme uzunluğu boyunca en yüksek tepe ile en alçak vadi arasındaki dikey mesafe olarak tanımlanır. Şekil 3.8'den, $R_{max} = R_p + R_v = R_{p3} + R_{v4}$.

Profil sağlamlık faktörü (k): k, vadilerin maksimum derinliği ile profilin maksimum yüksekliği arasındaki oran olarak tanımlanır. Bu parametrenin matematiksel tanımı $k=R_v/R_{max}$ şeklindedir.

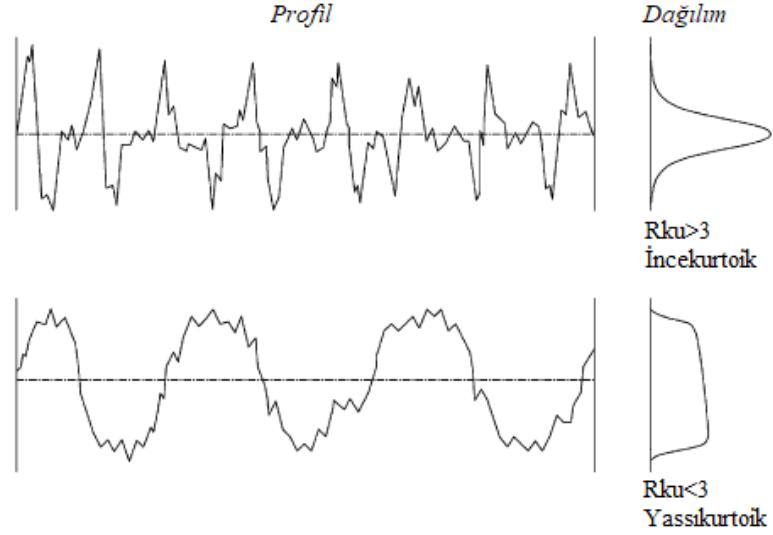
Çarpıklık (Rsk): Bir profilin çarpıklığı, değerlendirme uzunluğu boyunca ölçülen, profil genlik olasılık yoğunluk fonksiyonunun üçüncü merkezi momentidir. Profilin ortalama doğruya göre simetrisini ölçmek için kullanılır. Bu parametre ara sıra meydana gelen derin vadilere veya yüksek zirvelere karşı hassastır. Simetrik bir yükseklik dağılımı, yani vadiler kadar tepe noktası olan, sıfır çarpıklığa sahiptir. Tepeleri kaldırılmış veya derin çizikleri olan profillerde negatif eğrilik vardır. Vadileri doldurulmuş veya yüksek tepe noktalarına sahip profiller pozitif çarpıklığa sahiptir (Şekil 3.9). Çarpıklık parametresi, aynı Ra veya Rq değerlerine sahip ancak farklı şekillere sahip iki profili ayırt etmek için kullanılabilir.



Şekil 3.9. Çarpıklık tanımlaması ve genlik dağılım eğrisi.

Basıklık (Rku): Basıklık katsayısı, değerlendirme uzunluğu boyunca ölçülen, profil genlik olasılık yoğunluk fonksiyonunun dördüncü merkezi momentidir. Profilin

olasılık yoğunluğunun keskinliğini tanımlar. $Rku < 3$ ise, dağılım eğrisinin yassıkurtoik olduğu ve nispeten az sayıda yüksek tepe noktası ve alçak vadiye sahip olduğu söylenir. $Rku > 3$ ise, dağılım eğrisinin incekurtoik olduğu ve nispeten birçok yüksek tepe noktası ve alçak vadiye sahip olduğu söylenir (Şekil 3.10).



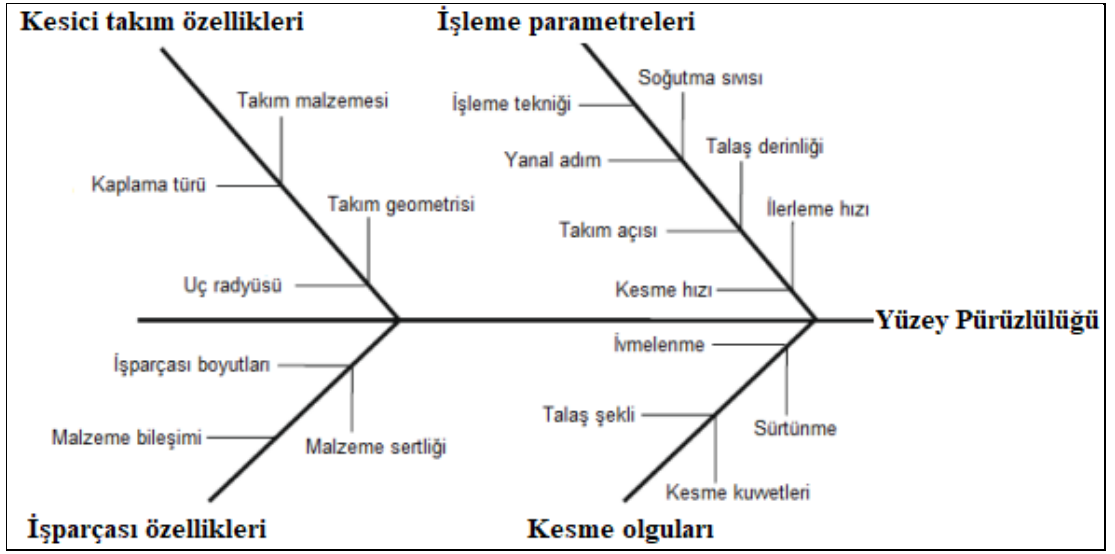
Şekil 3.10. Basıklık parametre tanımlaması.

3.3.2. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler

Yüzey pürüzlülüğü, yaygın olarak kullanılan bir ürün kalitesi indeksidir ve çoğu durumda mekanik ürünler için teknik bir gerekliliktir. Bir parçanın fonksiyonel davranışı için istenilen yüzey kalitesinin elde edilmesi büyük önem taşır. Öte yandan, yüzey pürüzlülüğü oluşum mekanizmasının işleme sürecine bağlı doğası ve ilgili olayları etkileyen çok sayıda kontrol edilemeyen faktör, doğrudan bir çözümü neredeyse imkansız hale getirir [39].

Yüzey pürüzlülüğü üçüncü-altıncı dereceden nominal yüzeyden sapmayı ifade etmekte olup, sapma sırası uluslararası standartlarda tanımlanmıştır. Birinci ve ikinci dereceden sapmalar sırasıyla biçime, yani düzlüğe, daireselliğe vb. ve takım tezgahı hataları, iş parçasının deformasyonu, hatalı kurulumlar ve bağlama, titreşim ve iş parçası malzemesi homojensizliklerinden kaynaklanan dalgalanmaya atıfta bulunur. Üçüncü ve dördüncü dereceden sapmalar, periyodik oluklar ve kesme kenarlarının şekli ve durumu, talaş oluşumu ve işlem kinematigi ile bağlantılı çatlaklar ve

kırılmaları ifade eder. Beşinci ve altıncı dereceden sapmalar, bir tane ve kafes yapısında hareket eden fiziksel-kimyasal mekanizmalara bağlı olan iş parçası malzeme yapısını ifade eder (kayma, difüzyon, oksidasyon, artık gerilim, vb.) [40]. Yüzey pürüzlülüğü esas olarak takım geometrisi ile ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliği gibi işleme parametrelerinin sonucudur, ancak buna ek olarak yüzey pürüzlülüğünü etkileyen çok sayıda faktör vardır (Şekil 3.11) [41].



Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. MALZEME VE EKİPMANLAR

Bu çalışmada, ray çeliğinin MQL kesme ortamı kullanılarak dairesel testere ile kesilmesinde yüzey pürüzlülüğü, geometrik tolerans, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi analiz edilmiştir. Bu amaçla kullanılan malzeme, ekipmanlar, yöntem ve araştırma teknikleri aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

4.1.1. Deney Malzemesi

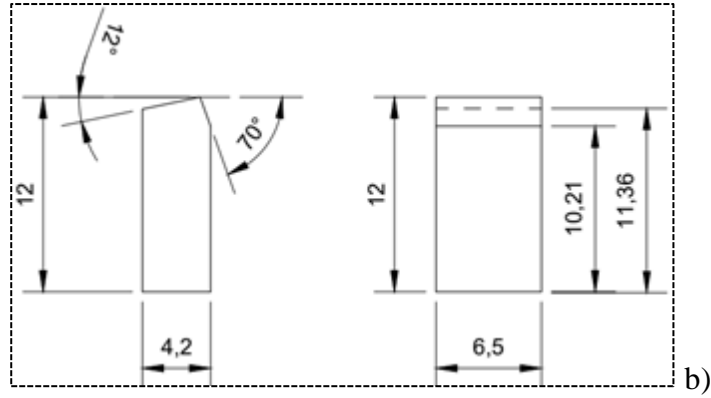
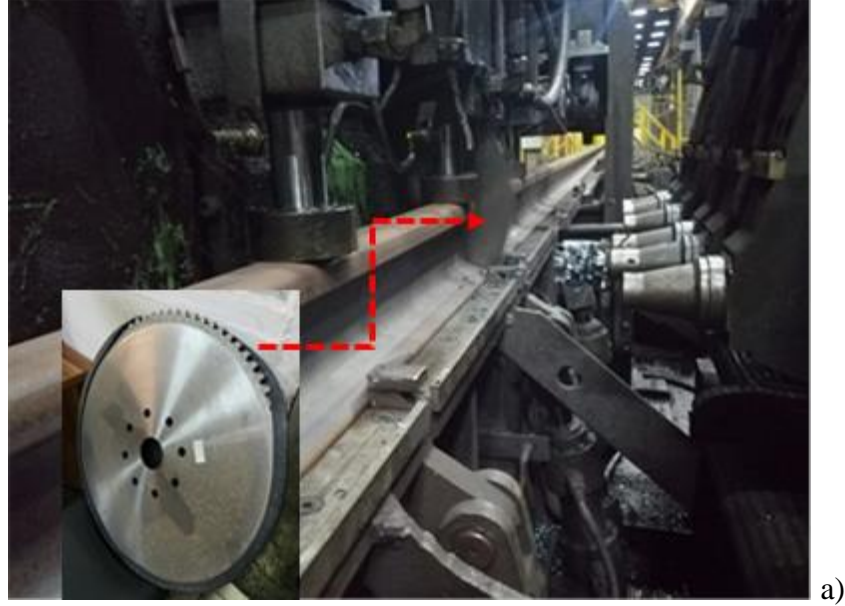
Deneysel iş parçası malzemesi olarak DIN EN13674-1 standardına göre ray çeliği kullanılmış olup, Çizelge 4.1’de iş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi ve teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ray çeliği (R260) kimyasal bileşimi ve teknik özellikleri.

| <i>Kimyasal Bileşim (%)</i> | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|-------------------------------|-------|------|-------|
| C | Si | Mn | P | S | Cr | Al | V | N |
| 0.60- 0.82 | 0.13- 0.60 | 0.60- 1.25 | 0.03 | 0.03 | 0.15 | 0.004 | 0.03 | 0.009 |
| <i>Mekanik Özellikler</i> | | | | | | | | |
| Çekme dayanımı | Uzama | Sertlik | Elastikiyet modülü | Akma dayanımı | Yoğunluk (g/cm ³) | | | |
| 880 MPa | % 10 | 27 HRC | | | 7,8 | | | |

4.1.2. Dairesel Testere Ve Kesici Takım

Deneysel çalışmalar Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. ray üretim tesislerinde bulunan çelik profillerin kesilmesinde kullanılan dairesel testere ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. a) Dairesel testere, b) Karbür testere dişi teknik resmi.

Deneylerde kesici takım olarak karbür takma uçlu dairesel testere bıçağı kullanılmıştır. 80 adet karbür takma ucu içeren dairesel testere gövdesi 660 mm çap, 5 mm kalınlığa sahiptir. Testere dişi 4,2x6,5 mm ebatlarında olup, toplam 9 adet kesici takım (testere bıçağı) kullanılmıştır.

4.1.3. Kesme Sıvısı

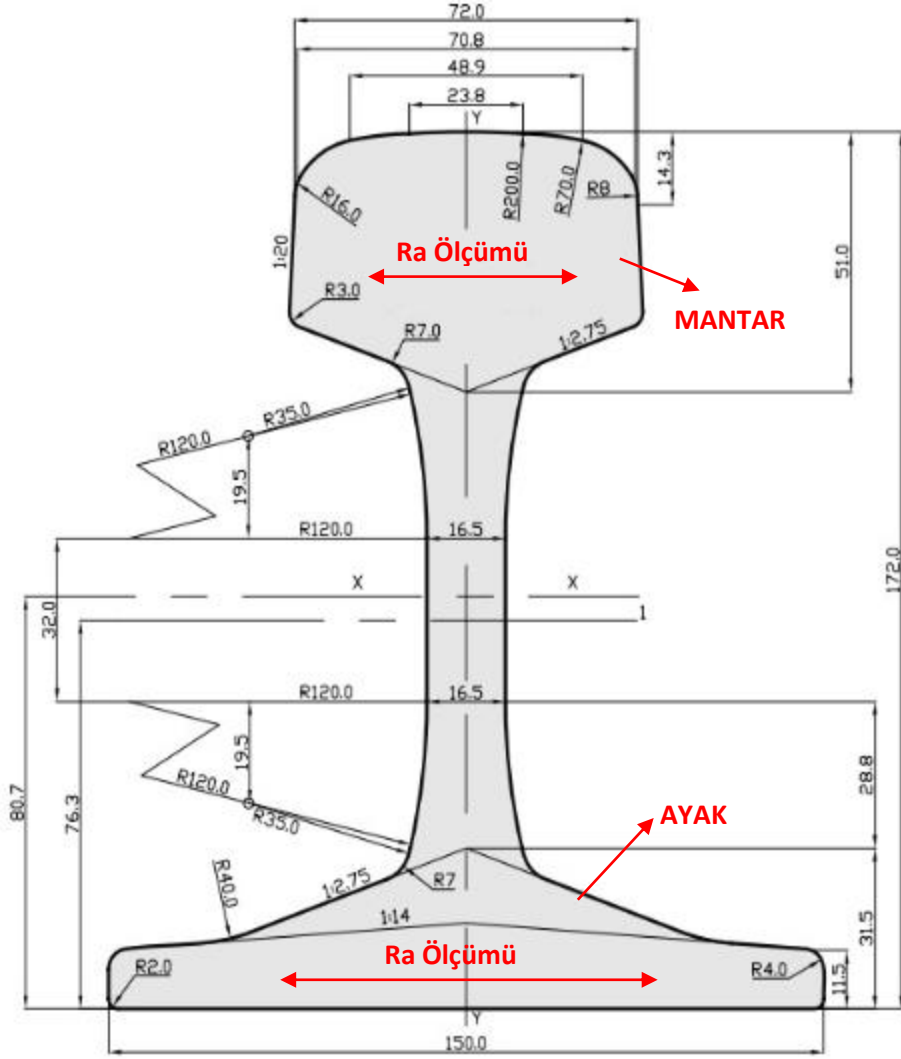
Testereyle kesme işlemleri kesme sıvısı kullanılarak yapılmıştır. Kesme sıvısı olarak Gravis M150 yağı seçilmiş olup, kesme sıvısı minimum miktarda yağlama tekniği ile kesme bölgesine uygulanmıştır. MQL uygulaması 5 bar basınç ile kesici takım üzerine 150 ml/saat akış hızında gönderilmiştir. Kesme yağı teknik özellikleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Kesme yağı teknik özellikleri.

| Özellik | Birimi | Test Metodu | Değer |
|-----------------------------|--------------------|-------------|-------|
| Görünüş | Sıvı | - | - |
| Yoğunluk, @15 °C | g/ml | ASTM D 4052 | 0,896 |
| Renk | Kahverengimsi | ASTM D 156 | - |
| Kinematik viskozite, @40 °C | mm ² /s | ASTM D 445 | 156,4 |
| Parlama noktası, OC | °C | ASTM D 92 | 248 |
| Akma noktası | °C, maks. | ASTM 97 | -21 |
| Çözünürlük, @20 °C | g | ASTM D 1218 | <0,01 |

4.1.4. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

Kesilen deney numunelerin yüzey pürüzlülük ölçümleri Mitutoyo marka SurfTest SJ-210R tipi pürüzlülük ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ray çeliği malzemesinin testere ile işlenmesinde elde edilen yüzey kalitesinin değerlendirilmesi için pürüzlülük kriterleri olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) esas alınmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde $\lambda_c:0,8$ ve $\lambda_s:5,6$ olarak belirlenmiştir [42]. Deney tasarımına göre rayın kesilen yüzeyinden kesme yönüne dik doğrultuda mantar ve ayak kısmı olmak üzere iki bölümden üç adet pürüzlülük ölçümü yapılmış ve bu ölçümlerin aritmetik ortalaması hesaplanarak değerlendirmeler yapılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Ray üzerinde pürüzlülük ölçümü gösterimi

4.1.5. Sıcaklık Ölçümü

Kesme sıcaklığı (T), -32°C $-+1650^{\circ}\text{C}$ aralığında ve $<0,5^{\circ}\text{C}$ hataya sahip bir Mastech MS-6550B temassız lazer pirometre kullanılarak ölçülmüştür. Pirometre lazer odağı olarak testere bıçağı-ray temas noktasının merkezi alınmış olup, pirometreden ölçüm noktasına olan mesafe 500 mm'dir. Kesme sıcaklığının değerlendirilmesinde, her deney şartı için kesme süresi boyunca ölçülen sıcaklığın maksimum değeri dikkate alınmıştır.

4.1.6. Enerji Tüketimi

Testere ile kesme deneylerinde tüketilen enerji miktarı ilgili imalat biriminde var olan IbaAnalyzer programı tarafından kayıt altına alınmaktadır. Dolayısıyla, kesme sırasında tüketilen enerji miktarı bu sistem üzerinden alınmış olup, Bölüm 4.2’de belirtilen kesme şartları ve deney tasarımına göre enerji tüketim (Ec) değerleri belirlenmiştir. Aynı zamanda, IbaAnalyzer programı ile kesme süreleri de kayıt altına alınabilmekte olup, her bir deney dizini için rayların kesilmesinde geçen süreler belirlenmiştir.

4.1.7. Tolerans Ölçümü

Ray çeliğinin kesilmesinde oluşan geometrik tolerans değerleri DIN EN13674-1 standardına göre değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, ray birleştirmelerinde önemli olan diklik toleransı (Pt) dikkate alınmış olup, ilgili standarda göre kesilen ray yüzeyinde enine ve boyuna bu değer 0,6 mm olmalıdır [43]. Çalışma kapsamında, her deney şartı için belirli aralıklarda eğiklik tolerans değerleri dijital kumpas ve gönye ile ölçülmüştür.

4.2. DENEY TASARIMI VE ANALİZİ

Litertürde dairesel testere ile metal kesme işlemleri üzerine sınırlı sayıda akademik araştırma olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple, KARDEMİR A.Ş.’nin ilgili biriminde çalışanların deneyimleri ve kesici takım firmasının önerileri doğrultusunda kesme parametrelerinin seviyeleri seçilmiştir. Kesme parametresi olarak üç farklı kesme hızı (V) ve ilerleme hızı (f) belirlenmiştir. Deneyler, belirlenen işleme parametreleri için tam faktöriyel tasarıma göre gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.3). Deneyler sırasında her deney dizisi için toplam 250 adet ray kesilmiş olup, işlenebilirlik parametreleri (Ra, T, Ec, Pt) 50’şer adet kesme işlemi sonrasında ölçülmüştür. Ayrıca, toplam kesme süresi sonunda kesici takımlarda oluşan aşınma veya plastik deformasyonlar dijital kamera ile analiz edilmiştir.

Çizelge 4.3. Deney tasarımı

| Deney No | Kesme hızı (V, m/dak) | İlerleme hızı (f, mm/diş) |
|----------|-----------------------|---------------------------|
| 1 | 100 | 0,08 |
| 2 | 100 | 0,12 |
| 3 | 100 | 0,16 |
| 4 | 120 | 0,08 |
| 5 | 120 | 0,12 |
| 6 | 120 | 0,16 |
| 7 | 140 | 0,08 |
| 8 | 140 | 0,12 |
| 9 | 140 | 0,16 |

BÖLÜM 5

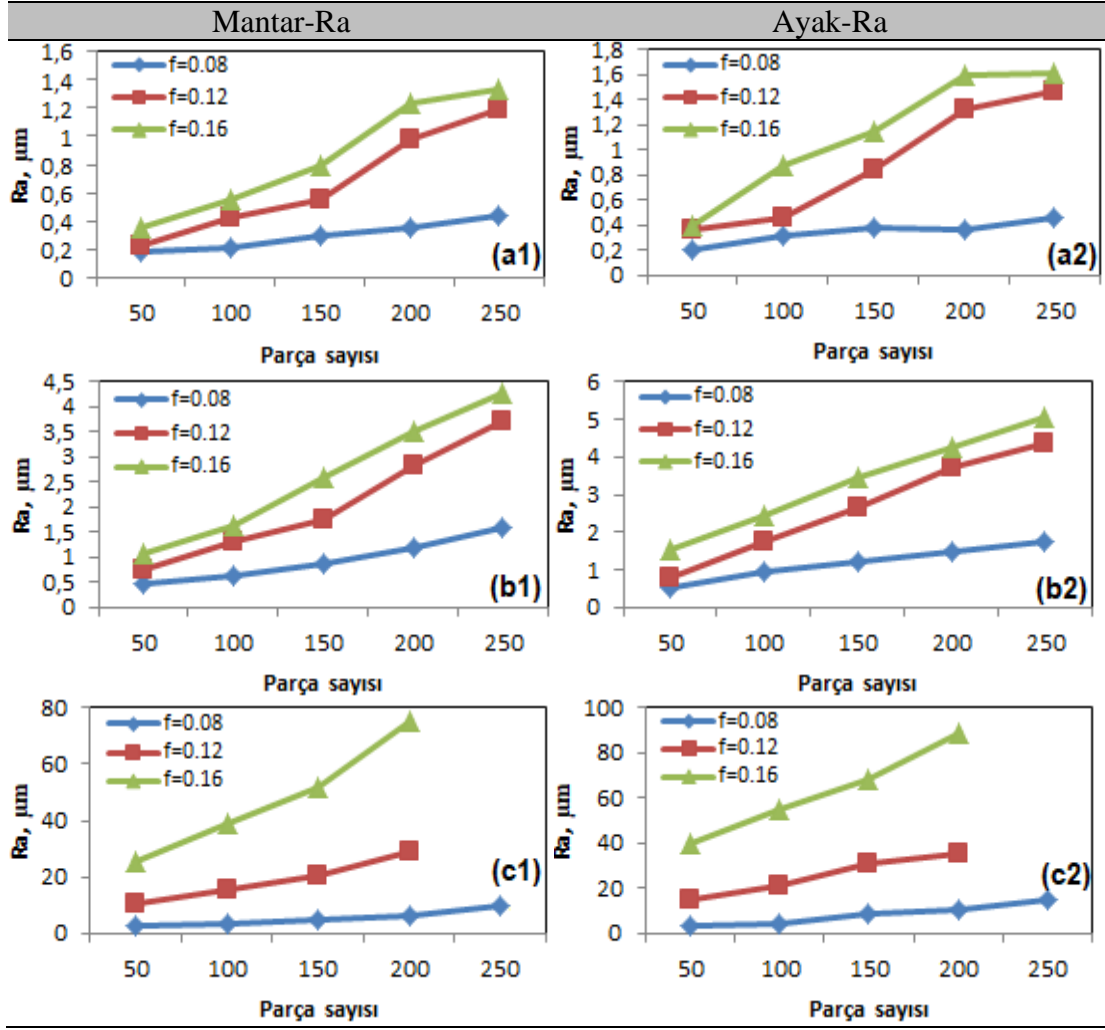
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, ray profilin dairesel testere ile minimum miktar yağlama ortamında kesilmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, enerji tüketimi, kesme sıcaklığı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Testere ile kesme deneyleri, üç farklı kesme hızı ve ilerleme hızı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda ölçülen tüm işleme çıktıları grafikler üzerinden değerlendirilmiştir.

5.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Ray profilin 50'şer adet kesilmesinden sonra oluşan yüzey pürüzlülükleri ray mantarı ve ayağı olmak üzere iki farklı bölgesinden ölçülmüştür. Kesme parametrelerine göre ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Şekil 5.1 incelendiğinde, hem ray mantarı hem de ayağında yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızının artmasıyla arttığı görülmektedir. Aynı zamanda, rayın ayak kısmında Ra değerlerinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bu sonuç, rayın ayak bölgesine doğru artan talaş kesiti yüzünden kesme gücünün artmasına bağlı talaş oluşumuna atfedilebilir. Kesilen yüzey alanı genişlediğinden doğal olarak testere bıçağının kesici diş sayısı artmış ve bunun sonucunda kesme kuvvetlerinin yanı sıra titreşimlerin artması nedeniyle yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Ek olarak, ilerleme hızının artmasıyla artan talaş kesiti bahsedilen problemlerin oluşmasını desteklemiştir. Sonuç olarak, ilerlemenin 0,08 mm/dev'den 0,16 mm/dev'e artmasıyla Ra değerlerinin belirli bir oranda arttığı söylenebilir.



Şekil 5.1. Ra değişimleri; a) V=100 m/dak, b) V=120 m/dak, c) V=140 m/dak)

Kesme hızındaki artışların da, yüzey kalitesini olumsuz yönde etkileyerek Ra değerlerinde artışa neden olduğu görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla artması muhtemel takım titreşimleri Ra'daki artışların esas nedeni olarak tahmin edilmektedir. Diğer yandan, kesme hızının artmasıyla takımlarda meydana gelen aşınma mekanizmalarına bağlı olarak artan kesme gücü yüzey pürüzlülüğündeki artışların diğer sebebidir. Kesilen parça sayısına göre yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde, Ra değerlerinde belirgin bir artışın olduğu açıkça görülmektedir. Bu sonuç, parça sayısının artmasıyla takımlarda oluşan aşınmanın artmasıyla oluşan kesme işlemine atfedilmektedir. Bu sürecin, ilerlemenin ve kesme hızının artmasıyla daha da belirgin bir hale geldiği Şekil 5.1-c1 ve Şekil 5.1-c2'den anlaşılmaktadır. 200-250 parça sayısı aralığındaki kesme işlemi sırasında, 140 m/dak kesme hızında ve yüksek ilerlemelerde testere bıçağındaki bazı dişlerin kırılması neticesinde yüzey

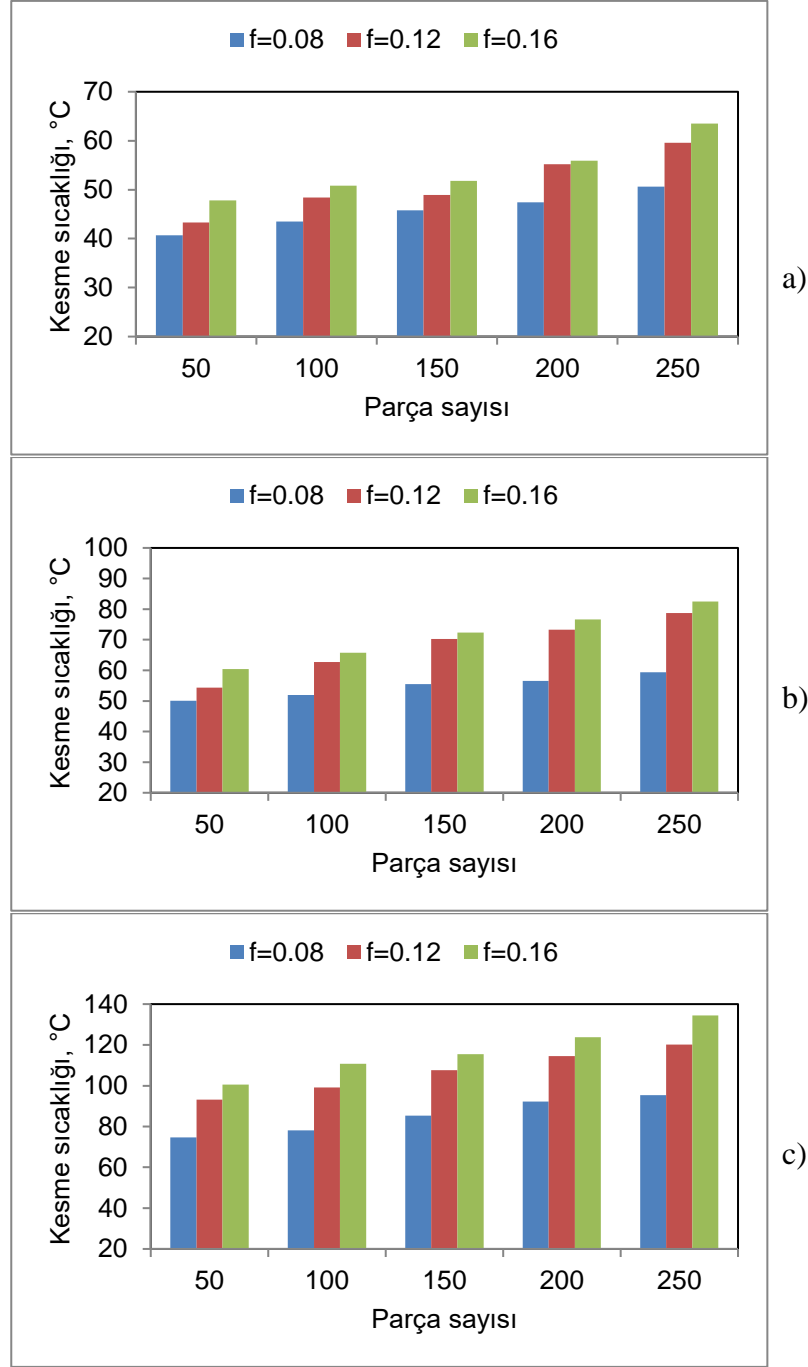
pürüzlülüğü aşırı derecede artmıştır. Bunun sonucunda, Ra ölçüm kriterleri dahilinde pürüzlülük değerleri tespit edilememiştir.

En küçük yüzey pürüzlülüğü, rayın mantar kısmı için 50. parça, $V=100$ m/dak ve $f=0,08$ mm/dev'de $0,184$ μm , rayın ayak kısmı için $0,207$ μm olarak ölçülmüştür. 250. parça kesildiğinde, aynı kesme parametrelerinde Ra değerleri mantar kısmında $0,437$ μm ve ayak kısmında $0,465$ μm olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, en düşük kesme hızında bile parça sayısının artmasıyla artan takım aşınması ve/veya takım kırılmasının yüzey kalitesini önemli derecede bozduğunun bir göstergesidir.

5.2. KESME SICAKLIĞI

Dairesel testere ile ray çeliğinin kesilmesinde ölçülen maksimum kesme sıcaklıklarının (T) kesme parametrelerine göre Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Şekil 5.2 incelendiğinde, testere ile kesmede çok yüksek sıcaklıklar oluşmadığı ve kesme sıcaklığının hem kesme hızı hem de ilerleme hızındaki artışlarla birlikte arttığı görülmektedir. İlerlemedeki artışla artan talaş kesiti, testere bıçağı ile iş parçası (ray) arasındaki temas alanı ve dolayısıyla sürtünmenin artması anlamına gelir. Her ne kadar minimum miktarda yağlama işlemi uygulansa da, testere ile kesme işleminin kesikli talaş kaldırma operasyonu olmasından dolayı takım-talaş arayüzey sürtünmesinin etkili bir şekilde sağlanamadığı düşünülmektedir. Bu durumda, literatürde belirtildiği gibi [44], takım-talaş arayüzeyinde artan sürtünme kesme sıcaklığının artmasına neden olmuştur.



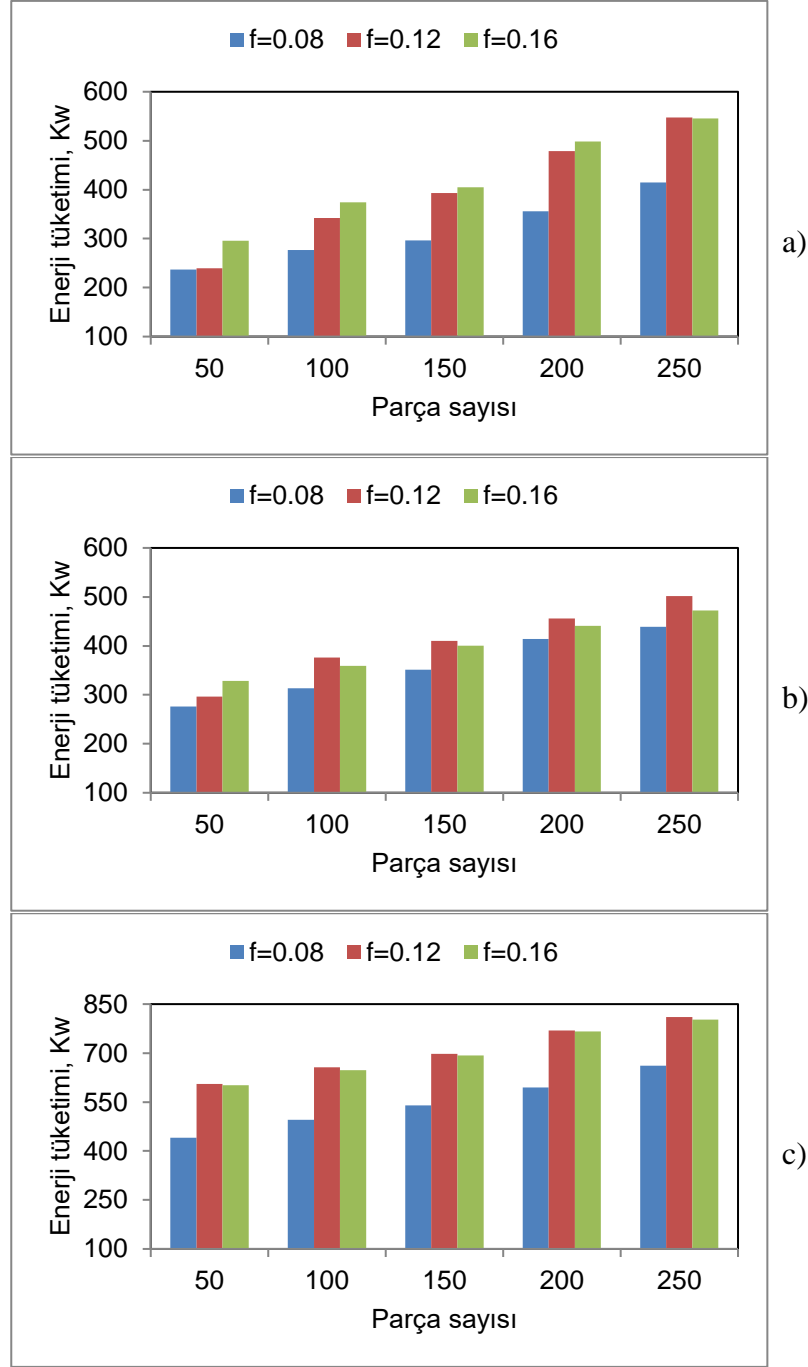
Şekil 5.2. T değişimleri; a) V=100 m/dak, b) V=120 m/dak, c) V=140 m/dak)

Kesme hızının artmasıyla kesme sıcaklığının arttığı açıkça görülmektedir (Şekil 5.2 a-c). Bu sonuç literatürdeki birçok çalışmayla benzerlik göstermekte olup, testere ile kesme işleminde kesme hızının kesme sıcaklığını artıran önemli bir etken olduğuna işaret etmektedir [45, 46]. Aynı zamanda, parça sayısındaki artışla birlikte kesme sıcaklığının arttığı açıkça görülmektedir. En küçük kesme sıcaklığı 50. Parça kesilirken V=100 m/dak ve f=0,08 mm/dev'de 40,4 °C olarak ölçülmüştür. En

yüksek sıcaklık ise 250. parça kesilirken $V=140$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de $134,5$ °C olarak ölçülmüştür. Buradan, testere bıçağı dış malzemesinin bozulmasına neden olacak bir sıcaklık değerine ulaşılmadığı söylenebilir. Ancak, kesilen parça sayısı arttıkça artan aşınma nedeniyle kesme sıcaklıklarının artması, testere bıçağı gövdesine lehimle bağlanan dişlerin yerinden sökülmesini kolaylaştırabilir. Bu durumda, testere bıçağı gövdesindeki diş sayısı azaldıkça testere bıçağı daha darbeli ve salgılı bir kesme sürecine girerek kesme veriminde önemli bir azalma oluşacaktır. Özellikle ray çeliği gibi sert malzemelerin kesilmesinde uygun bir yağlama-soğutma ortamı sağlayan kesme sıvısının kullanılması çok önemlidir. Sonuç olarak, MMY uygulamasının sağladığı soğutma neticesinde testere bıçağı dişlerinin aşınma sürecinin yavaşladığı ve daha fazla ray parçasının kesildiği söylenebilir.

5.3. ENERJİ TÜKETİMİ

Dairesel testere ile ray profilinin kesilmesinde kesme süresi boyunca tüketilen enerjinin (E_c) kesme parametrelerine göre değişimleri Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Bununla birlikte, IbaAnalyzer programı ile kesme anındaki maksimum akım değeri ve her bir ray profilinin kesilmesinde geçen süreler belirlenmiştir. Kesme süreleri; $V=100$ m/dak ve $f=0,08$ mm/dev için 52 s, $f=0,12$ mm/dev için 45 s ve $f=0,16$ mm/dev için 41 s dir. $V=120$ m/dak ve $f=0,08$ mm/dev için 33 s, $f=0,12$ mm/dev için 30 s ve $f=0,16$ mm/dev için 27 s dir. $V=140$ m/dak ve $f=0,08$ mm/dev için 29 s, $f=0,12$ mm/dev için 27 s ve $f=0,16$ mm/dev için 24 s dir. Bu sonuçlara göre, kesme hızının 100-140 m/dak aralığında 20'lik artışlarında sırasıyla kesme sürelerinin %36, %33 ve %34 oranında azaldığı hesaplanmıştır.



Şekil 5.3. Ec değişimleri; a) V=100 m/dak, b) V=120 m/dak, c) V=140 m/dak)

Şekil 5.3 incelendiğinde, parça sayısının artmasıyla enerji tüketiminin belirli bir oranda arttığı açıkça görülmektedir. Bu sonuç, kesilen ray sayısının artmasıyla testere bıçağı dişlerinde oluşan aşınma ve/veya kırılmalar neticesinde testerenin kesme kabiliyetinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Testere dişlerindeki bozulmalar diş başına düşen kesilmemiş malzeme miktarının artmasına ve dolaylı olarak gerekli kesme gücünün artmasına neden olmuştur. Bu bağlamda,

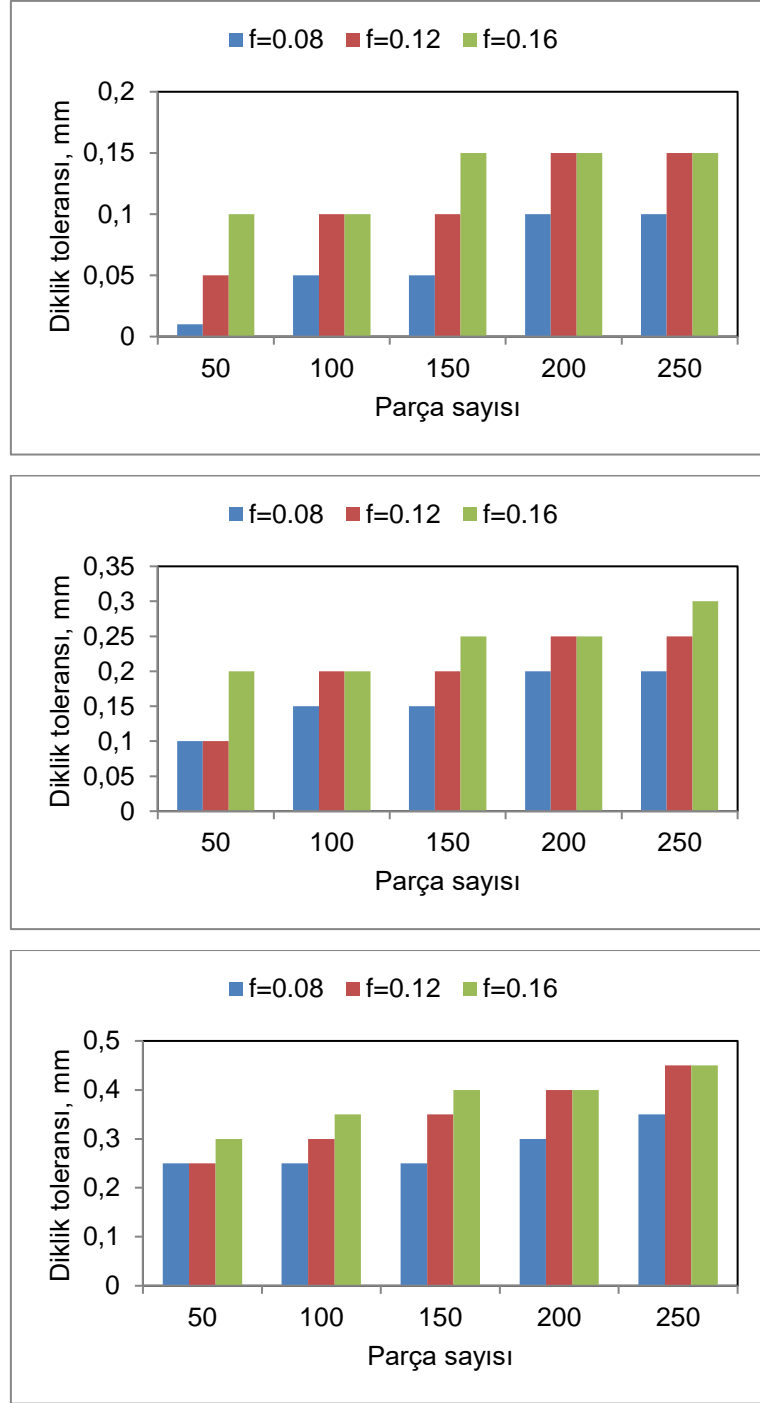
parça sayısı arttıkça artan kesme gücü gereksinimi enerji tüketiminin artmasıyla sonuçlanmıştır.

İlerleme hızına göre E_c değişimleri incelendiğinde, genel olarak ilerlemenin artmasıyla enerji tüketiminin arttığı söylenebilir. Bu sonuç, literatüre benzer olup artan ilerleme hızının talaş kesitini artırmasına ve dolayısıyla talaş kaldırmak için gerekli gücün artmasına atfedilmektedir [7, 8]. Diğer yandan, 0,12 mm/dev ve 0,16 mm/dev ilerleme hızlarında ve özellikle 140 m/dak kesme hızında enerji tüketimi değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 5.3c). Bu sonuç, ilgili deney dizininde ölçülen akım değeri ve kesme süresindeki değişim ile açıklanabilir.

Kesme hızının 100-140 m/dak aralığında 20 m/dak'lık artışlarında, kesme süresi ortalama %34,62 ve %41,89 azalmasına rağmen testere dişlerindeki aşınma ve/veya kırılmaların artması kesme işlemini zorlaştırmıştır. Bu bağlamda, sistemden çekilen akım değerinin artmasıyla enerji tüketimi hesabında kullanılan formül gereği (Eş. 3.6) E_c değerleri artmıştır. Şeki 5.3 dikkatlice incelendiğinde, $V=100$ m/dak'dan $V=120$ m/dak'ya çıkıldığında enerji tüketimindeki azalma ve $V=140$ m/dak'ya çıkıldığında E_c 'deki artışlar görülebilir.

5.4. DİKLİK TOLERANSI

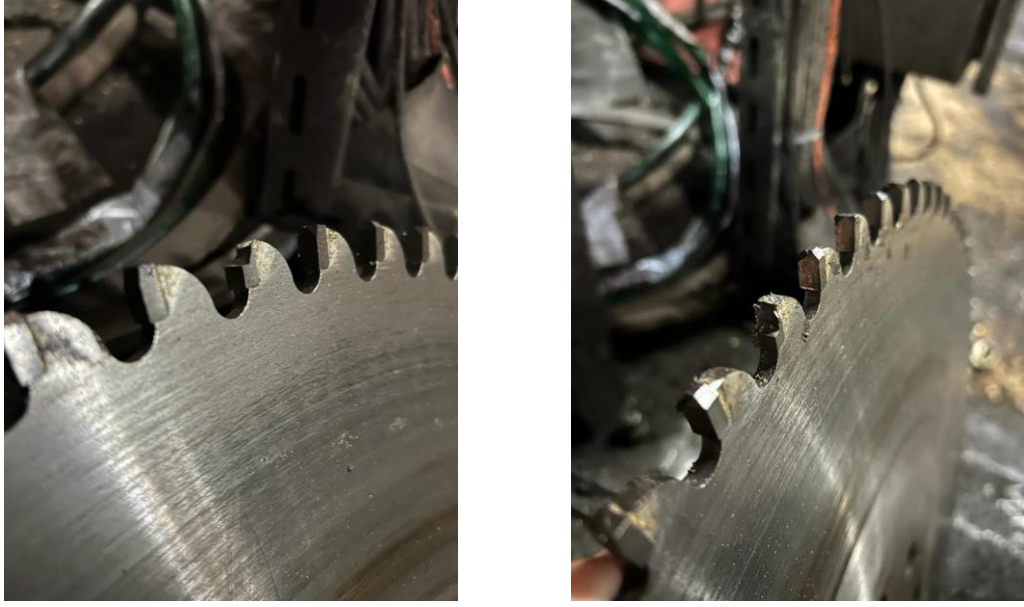
Rayların düğün bileştirilmesi açısından profilin geometrik toleranslarından diklik toleransı (Pt) önemli olup, bu değer ilgili standarda göre 0,6 mm dir. Bu bakımdan, dairesel testere ile rayın seri olarak kesilmesinde oluşan Pt değerinin kesme parametrelerine göre değişimleri Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Pt değerimleri; a) V=100 m/dak, b) V=120 m/dak, c) V=140 m/dak)

Şekil 5.4 incelendiğinde, diklik toleransı değerlerinin DIN EN13674-1 standardında belirtilen değeri geçmediği görülmektedir. Bu bağlamda, seçilen kesme parametrelerinin diklik toleransı açısından uygun olduğu söylenebilir. Ancak, parça sayısı arttıkça Pt değerinin arttığı açıkça görülmekte olup, bu sonuç testere

bıçağındaki farklı yerlerde oluşan aşınma ve/veya diş kırılmalarına atfedilmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Testere dişi görüntüleri

İlerleme hızı ve kesme hızındaki artışların diklik toleransını olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Artan ilerleme ve kesme hızıyla birlikte artması muhtemel titreşimlerin testere bıçağı kesme yönü doğrultusunda sapmalara yol açabileceği düşünüldüğünde, Pt değerindeki artışların normal olduğu söylenebilir. Aynı zamanda, artan ilerlemenin artmasıyla artan talaş kesit alanının yüksek kesme hızında kaldırılmaya çalışılması da kesme işlemini zorlaştırır. Benzer şekilde, bu oluşum testere bıçağının kesme yönü doğrultusunda sapmalara neden olarak Pt değerinin artmasına katkı sağlamıştır. Diğer yandan, kesme parametre seviyelerinin artmasıyla testere dişlerinde oluşan aşınma ve/veya kırılmalar yüzünden testere dişlerine dağılan yük miktarı artacak ve kesme işlemi kararsız bir şekilde devam edecektir. Sonuç olarak, yüzey pürüzlülüğü ve enerji tüketiminde olduğu gibi diklik toleransında da artışlar meydana gelmiştir.

En küçük diklik toleransı, 50.parçada 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 100 m/dak kesme hızı değerinde 0,01 mm ölçülürken en büyük diklik toleransı 250.parçada 0,16 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızında 0,45 mm olarak ölçülmüştür.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu çalışmada, ray profilin minimum miktarda yağlama kesme ortamında karbür takma uçlu dairesel testere ile kesilmesinde yüzey pürüzlülüğü (Ra), kesme sıcaklığı (T), enerji tüketimi (Ec) ve diklik toleransı (Pt) gibi işlenebilirlik göstergelerinin değişimi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, belirlenen üç farklı kesme hızı ve ilerleme hızı kullanılarak kesme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Ray mantar kısmına göre ayak kısmında Ra değerlerinin ortalama %33 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- İlerleme hızı, kesme hızı ve parça sayısı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmüştür. En küçük Ra değeri, rayın mantar kısmı için 50. parça, $V=100$ m/dak ve $f=0,08$ mm/dev'de $0,184$ μ m olarak ölçülmüştür.
- Kesme hızının ve ilerleme miktarının artmasıyla kesme sıcaklığının arttığı, ancak MMY uygulamasının kesme sıcaklığını azaltarak testere bıçağının ömrünü kısmen artırdığı belirlenmiştir.
- İlerlemenin artmasıyla artan talaş kesiti yüzünden enerji tüketiminin arttığı belirlenmiştir. Kesme hızının 20 m/dak'lık artışlarında, kesme süresi önemli oranlarda azalmasına rağmen testere dişlerindeki aşınma ve/veya kırılmaların artması nedeniyle Ec değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.
- Parça sayısı arttıkça Ec değerlerinde belirlenirken artış olurken, optimum enerji tüketimine 120 m/dak kesme hızında ulaşılmıştır.
- İlerleme hızının artmasıyla artan talaş kesiti ve kesme hızının artmasıyla birlikte artması muhtemel titreşimler testere dişlerinde aşınma ve/veya kırılmalara yol açarak kesme işlemini zorlaştırmıştır. Bunun sonucunda testere bıçağı kesme yönü doğrultusunda oluşan sapmalar diklik toleransında artışa neden olmuştur.

- En küçük diklik toleransı, 50.parçada 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 100 m/dak kesme hızı değerinde 0,01 mm ölçülürken en büyük diklik toleransı 250.parçada 0,16 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızında 0,45 mm olarak ölçülmüştür.
- Dairesel testere ile çelik dolu profillerin kesilmesinde orta kesme hızı ve düşük ilerleme hızının kullanılması önerilmekte olup, böylece işlenebilirlik kriterlerinin optimum seviyelerde elde edileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Schneider, G., "Cutting-tool-applications, Chapter 15: Saws and Sawing", *Prentice Hall*, (2002).
2. Shuailiang, G., Lizhi, G. and Jinling, S., "Experimental research on milling temperature of new cold saw blade milling cutter", *Journal of Physics: Conference Series*, 1605, 012140 (2020).
3. Uçun, İ., Hocaoglu, F.O. and Gorgulu, Ş., "Determination of displacements on a cutting disc during sawing process", *Procedia CIRP*, 40:492-497 (2016).
4. Bradbury, S.R., Lewis, D.B. and Sarwar, M., "Assessment of enhancing the performance and wear characteristics of high speed steel circular saw blades through ion implantation", *Surface and Coatings Technology*, 82:193-198 (1996).
5. Bradbury, S.R. and Lewis, D.B., "A Comparison of the performance and wear characteristics of high-speed steel circular saw blades machining Nimonic PK31, AISI O1 Tool Steel, Inconel 600L, and AISI 1018 Carbon Steel", *Journal of Materials Science*, 35:1511-1524 (2000).
6. Salwar, M., Zhang, X. and Gillibrand, D., "Performance of titanium nitride-coated carbide-tipped circular saws when cutting stainless steel and mild steel", *Surface and Coatings Technology*, 94-95:617-621 (1997).
7. Svoren, J., Naščák, L., Barčík, S., Koleda, P. and Stehlík, S., "Influence of circular saw blade design on reducing energy consumption of a circular saw in the cutting process", *Applied Sciences*, 12, 1276 (2022).
8. Wang, Z., Zeng, Q., Lu, Z., Wan, L., Zhang, X. and Liu, Z., "Investigation of cutting performance of a circular saw blade based on ANSYS/LS-DYNA", *Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 67:649-665 (2021).
9. Abrão, A.M., Moreira, M.C., Faria, P.E. and Campos Rubio, J.C., "High-performance circular sawing of AISI 1045 steel with cermet and tungsten carbide inserts", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28(10): 4275-4282 (2014).
10. Kordestany, Y. and Ma, Y., "Force calculation using analytical and CAE methods for thin-blade slotting process", *Cogent Engineering*, 4(1):1412106 (2017).
11. Chang, W.T. and Chen, L.C., "Design and experimental evaluation of a circular saw blade with self-clamped cutting inserts", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83:365–379 (2016).

12. Zawada-Tomkiewicz, A., Zieliński, K. and Żurawski, L., "Analysis of wear mechanisms of circular saw blades", *Mechanic*, 91(10):892-894 (2018).
13. Wang, X. and Zhang, Q., "The Mechanical property analysis of circular saw blades under different rotational speeds", *Advanced Materials Research*, 145:365-370 (2011).
14. Sasaharaa, H., Sukegawa, Y. and Yamada, Y., "CFRP machining capability by a circular saw", *Precision Engineering*, 52:291–299 (2018).
15. Karakurt, İ., "Application of Taguchi method for cutting force optimization in rock sawing by circular diamond sawblades", *Sadhana*, 39(5):1055–1070 (2014).
16. Rohith, R., Shreyas, B.K., Kartikgeyan, S., Sachin, B.A., Umesha K.R. and Nanjundeswaraswamy, T.S., "Selection of Non-Traditional Machining Process", *International Journal of Engineering Research & Technology*, 8(11):148–155 (2019).
17. Groover, M. P., "Fundamentals of Modern Manufacturing", 4. Ed., *John Wiley & Sons*, USA, (2010).
18. Black, J.T., Kohser, Ronald A., "DeGarmo's materials and processes in manufacturing", *John Wiley & Sons*, USA, (2019).
19. Kalpakjian, S. and Schmid, S.R., "Manufacturing Engineering and Technology", 8th Ed., *Pearson Education*, 766-769 (2020).
20. Tschätsch, H., "Applied Machining Technology", 1th Ed., *Springer Berlin*, Heidelberg, 144-170, (2009).
21. Dimitris, M., Ekaterini, V., Nikolaos, M. and George D., "Energy consumption estimation for machining processes based on real-time shop floor monitoring via wireless sensor networks", *Procedia CIRP*, 57:637-642 (2016)
22. Yuliia, Z, Maryna, B, Valeriy, K. and Antonina, M., "Technological and ecological aspects of disposal of spent cutting fluids", *J Ecol Eng.*, 22(4):207-212 (2021).
23. Yuan S.M., Hou X.B., Wang L. and Chen B.C., "Experimental investigation on the compatibility of nanoparticles with vegetable oils for nanofluid minimum quantity lubrication machining", *Tribology Letters*, 66(3):106 (2018).
24. Wu, X., Li, C., Zhou, Z., Nie, X., Chen, Y., Zhang, Y., Cao, H. and Liu, B., "Circulating purification of cutting fluid: an overview", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 117:2565–2600 (2021).
25. Da Silva R.B, Vieira J.M. and Cardoso R.N., "Tool wear analysis in milling of medium carbon steel with coated cemented carbide inserts using different machining lubrication/cooling systems", *Wear*, 271:2459–2465 (2011).

26. Wu, X., Li, C. and Zhou, Z., "Circulating purification of cutting fluid: an overview", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 117, 2565–2600 (2021).
27. Wang, Y.G, Li, C.H, Zhang, Y.B., Yang, M., Li, B.K., Dong, L. and Wang, J., "Processing characteristics of vegetable oil-based nanofluid MQL for grinding different workpiece materials", *Int J Pr Eng Man-GT.*, 5(2):327-339 (2018).
28. Li, B.K., Li, C.H., Zhang, Y.B., Wang, Y.G., Jia, D.Z., Yang, M., Zhang, N.Q, Wu, Q.D., Han, Z.G. and Sun, K., "Heat transfer performance of MQL grinding with different nanofluids for Ni-based alloys using vegetable oil", *Journal of Cleaner Production*, 154:1-11 (2017).
29. Yan, P., Rong, Y. and Wang, G., "The effect of cutting fluids applied in metal cutting process", *Proc IMechE Part B: J Engineering Manufacture*, 1–19, (2015).
30. Srikant, R., Prasad, M. and Amrita, M., "Nanofluids as a potential solution for minimum quantity lubrication: a review", *Proc IMechE, Part B: J Engineering Manufacture*, 228:3–20 (2014).
31. Fratila, D., "Evaluation of near-dry machining effects on gear milling process efficiency", *J Clean Prod.*, 17:839–845 (2009).
32. Jayal, A.D. and Balaji, A.K., "Effects of cutting fluid application on tool wear in machining: interactions with toolcoatings and tool surface features", *Wear*, 267:1723-1730 (2009).
33. Zhong, W., Zhao, D. and Wang, X., "A comparative study on dry milling and little quantity lubricant milling based on vibration signals", *Int J Mach Tool Manuf.*, 50:1057-1064 (2010).
34. Hadad, M. and Sadeghi, B., "Minimum quantity lubricationMQL turning of AISI 4140 steel alloy", *J Clean Prod.*, 54:332–343 (2013).
35. Da Silva, R.B, Machado, A.R, Ezugwu, E.O., "Tool life and wear mechanisms in high speed machining of Ti–6Al–4V alloy with PCD tools under various coolant pressures", *J Mater Process Tech.*, 213:1459– 1464 (2013).
36. Petropoulos, G.P., Pandazaras, C.N. and Davim, J.P., "Surface Integrity in Machining: Surface Texture Characterization and Evaluation Related to Machining", *Springer-Verlag, London*, 37-66, (2010).
37. Gadelmawla, E.S., Koura, M.M., Maksoud, T.M.A., Elewa, I.M. and Solimand, H.H., "Roughness parameters", *Journal of Materials Processing Technology*, 123:133-145 (2002).
38. König, W., "Fertigungsverfahren 3: Abtragen, Generieren und Lasermaterialbearbeitung", 4. Ed., *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg, (2007).

39. Benardos, P.G. and Vosniakos, G.-C., "Predicting surface roughness in machining: a review", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(8):833-844 (2003).
40. DIN4760, Form Deviations; Concepts; Classification System, *Deutsches Institut Fuer Normung*, e.V., (1982).
41. Bajić, D., Celent, L. and Jozić, S., "Modeling of the influence of cutting parameters on the surface roughness, tool wear and cutting force in face milling in off-line process control", *Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 58(11): 673-682 (2012).
42. Günay, M., Modeling and multiple optimization in face milling of hardfacing welding applied steel: Force, roughness, power, *Proc IMechE Part C: J Mechanical Engineering Science*, 236(12): 6652–6664 (2022).
43. DIN EN13674-1, Railway applications; Track-Rail-Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above, *Deutsches Institut Fuer Normung*, (2017).
44. Wang, Y., Wang, Z., Ni, P., Wang, D., Lu, Y., Lu, H., Guo, S. and Chen, Z., "Experimental and Numerical Study on Regulation of Cutting Temperature during the Circular Sawing of 45 Steel", *Coatings*, 13, 758, (2023).
45. Martinez H.V. and Hankele M., "Simulation of the circular sawing process", *10th European LS-DYNA Conference*, Würzburg, Germany, (2015).
46. Mohammadpanah, A., Lehmann, B. and White, J., "Development of a monitoring system for guided circular saws: an experimental investigation", *Wood Material Science & Engineering*, 14:2, 99-106, (2019).

ÖZGEÇMİŞ

Emre EROL, Karabük'te ilk, orta ve lise öğrenimini tamamladı. 2000 yılında Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenime başlayıp 2008 yılında mezun oldu. Mever Makina Firmasında (Karabük) Ağustos 2006-2008 tarihleri arasında Hadde Ekipmanları Tasarımcısı olarak çalıştı. Eylül-Ekim 2008 tarihlerinde Railtur Vagon A.Ş Firmasında (Kayseri) Mekanik Tasarımcı olarak çalıştı. Aralık 2008-Haziran 2009 tarihleri arasında Darıcıoğlu Firması bünyesinde, Kardemir A.Ş sahasında Gaz tankı inşaatı, Elektro Statik Filtre montajı ve Borulama işlerinde Şantiye Şefliği yaptı. Haziran 2009-Ağustos 2009 tarihlerinde Darıcıoğlu Firması bünyesinde, Arcelor Mittal (Annaba, Cezayir) sahasında Elektro Statik Filtre Demontajı-Montajı ve Borulama işlerinde Şantiye Şefliği yaptı. Haziran 2010-Temmuz 2012 tarihleri arasında Tekşen Mühendislik Firmasında (Karabük) Endüstriyel Tesislerin Doğalgaza Dönüşümü Yetkili Mühendisi olarak çalıştı. Temmuz 2012 tarihinde Kardemir A.Ş Ray Profil Haddehanesinde Kalibrasyon Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Ekim 2019 tarihinde Kardemir A.Ş Ray Profil Haddehanesinde İşletme Başmühendisi olmuş ve halen görevine devam etmektedir.

Bilgisayar Bilgisi

SolidWorks, AUTOCAD, Deform3D, MS Office

Hobiler

Satranç, Bilardo, Masa tenisi, Yüzme, Bilişim teknolojileri

Bilimsel Çalışmalar

- Erol E., He 300 Dik Merdane Kasası ve Ekipmanları Tasarımı, 2nd International Iron Steel Symposium, Karabük, Türkiye, 01-03 Nisan, (2015).
- Erol E., Günay M., Korkmaz M., Modelling of Round Rolling Process by Using Finite Element Method, 3rd International Iron Steel Symposium, Karabük, Türkiye, 03-05 Nisan, (2017).