



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AISI D2 ÇELİĞİNİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA YÖNTEMİ (MQL)
KULLANILARAK FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

HAZIRLAYAN

HARUN CAMCI

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ BİLAL KURŞUNCU

BARTIN-2020



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AISI D2 ÇELİĞİNİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA YÖNTEMİ (MQL)
KULLANILARAK FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Harun CAMCI

JÜRİ ÜYELERİ

- Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU - Bartın Üniversitesi
Üye : Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK - Bartın Üniversitesi
Üye : Doç. Dr. Okan ÜNAL - Karabük Üniversitesi

BARTIN-2020

KABUL VE ONAY

Harun CAMCI tarafından hazırlanan “AISI D2 ÇELİĞİNİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA YÖNTEMİ (MQL) KULLANILARAK FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 17.01.2020 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU (Danışman)

Üye : Prof.Dr. Mustafa Sabri GÖK

Üye : Doç. Dr. Okan ÜNAL

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. H. Selma ÇELİKAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU danışmanlığında hazırlamış olduğum “AISI D2 ÇELİĞİNİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA YÖNTEMİ (MQL) KULLANILARAK FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

17/01/2020

Harun CAMCI

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli danışman hocam Dr.Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU'ya teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum. Yine çalışmalarım boyunca bana yardımını esirgemeyen Bartın Üniversitesi Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca desteğini benden esirgemeyen Bartın Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fakülte Sekreteri Vekili Nazan DEMİR'e teşekkürü bir borç bilir ve minnettarlığımı sunarım. Çalışmam boyunca benden desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Yasin Ensar BIYIK ve Umut ÖZBEY'e teşekkürlerimi sunarım. Yapmış olduğum tez çalışması boyunca kullanmış olduğum çeşitli analizler için bana vaktini ayıran Öğr. Gör. Halil EŞGİN'e teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca da benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen canım aileme ve büyük desteklerinden dolayı kız arkadaşım Cansu AYVALI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Harun CAMCI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AISI D2 ÇELİĞİNİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA YÖNTEMİ (MQL) KULLANILARAK FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Harun CAMCI

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU

Bartın-2020, sayfa: 108

AISI D2 çeliği, talaşlı imalat sektöründe sıklıkla kullanılmakta olan bir takım çeliğidir. Yüksek sertlik özelliğinden dolayı tercih edilmektedir. Talaşlı imalatta, üretim maliyetinin yanında üretilen parçanın yüzey pürüzlülüğü, üretim süresi boyunca meydana gelen kesme kuvvetleri ve kullanılan kesici takımın kesme ömrü de önem arz etmektedir. Günümüzde artan üretim maliyetleri ve üretim sırasında kullanılan soğutma sıvısı artıklarının çevreye vermiş olduğu zararı engellemek için araştırmacılar çevreye zarar vermeyen ve üretim maliyetlerini düşürecek teknolojiler geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Yaptığımız çalışmada AISI D2 takım çeliğini sinterlenmiş karbür kesici takımlar ile belirlemiş olduğumuz uygun kesme parametreleri altında kuru işleme ve minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi kullanılarak frezeleme işlemi yapılmaktadır. Yapılan her frezeleme işlemi sonrasında iş parçasının üzerindeki yedi noktadan Mitutoyo SurfTest SJ-310 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve ortalamaları kayıt altına alınmaktadır. Yapılan her frezeleme işlemi sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri dik işleme merkezinin tablasına bağlı olan Kistler 9757B model kesme kuvveti ölçüm cihazı ile ölçülmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Her frezeleme işlemi sonrasında kesici takımda meydana gelen aşınmayı görüntülemek için Vision SX 45 Stereo Zoom

mikroskop ile aşınma görüntüleri belirlenmiş ve aşınma boyutu ölçülmektedir. Kesici takımlarda oluşan aşınma tipleri de yüksek büyütme ve EDS özelliğine sahip MIAI3 TESCAN model taramalı elektron mikroskobu ile belirlenmektedir. Tezde kullanmış olduğumuz Werte Mikro STN 25 MQL sistemi ile frezeleme işlemi esnasında kullanılacak olan yağlama sıvısı püskürtülmektedir.

Elde edilen yüzey pürüzlülükleri göz önüne alındığında en düşük yüzey pürüzlülük değeri $0,166 \mu\text{m}$ ile $V_f= 125 \text{ m/dak}$ kesme hızı, $f_z= 0,1 \text{ mm/diş}$ ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Takım ömürleri dikkate alındığında en iyi sonuç $11,85 \text{ m}$ ile $V_f= 75 \text{ m/dak}$ kesme hızı, $f_z= 0,05 \text{ mm/diş}$ ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. Frezeleme sonucunda elde edilen en düşük bileşke kesme kuvveti $F_r=59,764 \text{ N}$ ile $V= 75 \text{ m/dak}$ kesme hızı, $0,075 \text{ mm/diş}$ ilerleme ve 100 ml/saat yağlama parametrelerinde elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama yönteminin AISI D2 çeliğinin belirlenen işlem parametreleri ile sinterlenmiş karbür kesici takım kullanılarak işlenmesinde olumlu etkisi görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: AISI D2; frezeleme; kesme kuvveti; kuru işleme; minimum miktarda yağlama; takım çeliği; takım ömrü; yüzey pürüzlülüğü.

Bilim Alanı Kodu: 91438

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY OF AISI O2 TOOL STEEL IN MILLING USING MINIMUM QUANTITY LUBRICATION METHOD (MQL)

Harun CAMCI

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Bilal KURŞUNCU

Bartın-2020, pp: 108

AISI D2 steel is tool steel commonly used in the machining industry. It is preferred because of its high hardness. In machining, the surface roughness of the part produced, the cutting forces during the production period and the cutting life of the cutting tool used are also important besides the production cost. Nowadays, researchers are trying to develop technologies that do not harm the environment and reduce production costs in order to prevent environmental damage caused by increasing production costs and the residues of coolant used during production.

In our study, dry machining and milling using the minimum amount of lubrication (MQL) system are performed under suitable cutting parameters that we have determined with sintered carbide cutting tools of AISI D2 tool steel. After each milling process, the surface roughness values are measured with Mitutoyo Surftest SJ-310 surface roughness meter from seven points on the workpiece and their averages are recorded. The cutting forces that occur during each milling process are measured with the Kistler 9757B model cutting force measuring device, which is connected to the table of the vertical machining center and is recorded. Wear images are determined by Vision SX 45 Stereo Zoom microscope and wear size is measured to monitor the wear occurring in the cutting tool after each milling

process. The wear types of cutting tools are also determined by scanning electron microscope with high magnification and EDS feature MIAI3 TESCAN model. With the Werte Micro STN 25 MQL system used in the thesis, the lubricating fluid to be used during milling process is sprayed.

Considering the surface roughness obtained, the lowest surface roughness value was obtained with 0.166 0,1m cutting speed $V_f = 125$ m / min, $f_z = 0.1$ mm / thread feed rate and 50 ml / hour lubrication amount. In terms of tool life, the best results were obtained with a cutting speed of 11.85 m with a cutting speed of $V_f = 75$ m / min, $f_z = 0.05$ mm / thread feed rate and 50 ml / h lubrication. The minimum resultant shear force obtained by milling was obtained with $F_r = 59,764$ N and $V = 75$ m / min cutting speed, 0.075 mm / thread feed and 100 ml / hour lubrication parameters. It is seen that minimum amount of lubrication method has positive effect on machining of AISI D2 steel by using sintered carbide cutting tool with determined process parameters.

Keywords: AISI D2; milling; shear force; dry processing; minimum quantity lubrication; tool steel; tool life; surface roughness.

Scientific Field Code: 91438

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-------|
| KABUL VE ONAY | i |
| BEYANNAME..... | iii |
| ÖNSÖZ | iv |
| ÖZET | v |
| ABSTRACT | vii |
| İÇİNDEKİLER..... | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xiv |
| TABLolar DİZİNİ | xvii |
| | |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | xviii |
| | |
| BÖLÜM 1 GİRİŞ..... | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÖZETİ | 3 |
| | |
| BÖLÜM 3 KURAMSAL TEMELLER..... | 10 |
| 3.1 Çelikler..... | 10 |
| 3.1.1 Çeliklerin Sınıflandırılması | 11 |
| 3.1.1.1 Karbon Çelikleri | 11 |
| 3.1.1.1.1 Düşük Karbonlu Çelikler | 11 |
| 3.1.1.1.2 Orta Karbonlu Çelikler | 11 |
| 3.1.1.1.3 Yüksek Karbonlu Çelikler | 12 |
| 3.1.1.2 Alaşımli Çelikler..... | 12 |
| 3.1.1.2.1 Düşük Alaşımli Çelikler | 13 |
| 3.1.1.2.2 Orta Alaşımli Çelikler | 13 |
| 3.1.1.2.3 Yüksek Alaşımli Çelikler | 13 |
| 3.1.1.3 Paslanmaz Çelikler | 14 |
| 3.1.1.3.1 Östenitik Paslanmaz Çelikler | 14 |

| | |
|---|----|
| 3.1.1.3.2 Martenzitik Paslanmaz Çelikler | 15 |
| 3.1.1.3.3 Ferritik Paslanmaz Çelikler | 15 |
| 3.1.1.3.4 Dublex Paslanmaz Çelikler..... | 15 |
| 3.1.1.4 Islah Çelikleri | 16 |
| 3.1.1.5 Sementasyon Çelikleri | 16 |
| 3.1.1.6 Nitrürlenebilen Çelikler | 16 |
| 3.1.1.7 Otomat Çelikleri | 17 |
| 3.1.1.8 Takım Çelikleri..... | 17 |
| 3.1.1.8.1 Soğuk İş Takım Çelikleri..... | 17 |
| 3.1.1.8.2 Sıcak İş Takım Çelikleri | 18 |
| 3.1.1.8.3 Yüksek Hız Takım Çelikleri | 18 |
| 3.1.1.9 Takım Çeliklerinin İşlenebilirlikleri | 18 |
| 3.2 Frezeleme | 18 |
| 3.2.1 Frezeleme Yöntemleri | 19 |
| 3.2.1.1 Çevresel Frezeleme | 19 |
| 3.2.1.2 Alın Frezeleme | 20 |
| 3.2.2 Metal Kesme Mekanîği | 21 |
| 3.2.2.1 Dik (Ortogonal) Kesme Mekanîği | 22 |
| 3.2.3 Kesme Kuvvetleri | 23 |
| 3.2.3.1 Birincil Kesme Bölgesi | 24 |
| 3.2.3.2 İkinci Kesme Bölgesi..... | 27 |
| 3.2.4 Mercant Eşitliği..... | 28 |
| 3.2.5 Frezeleme Mekanîği..... | 29 |
| 3.2.6 Talaş Oluşumu | 31 |
| 3.2.6.1 Kesintili Talaş..... | 32 |
| 3.2.6.2 Sürekli Talaş..... | 33 |
| 3.2.6.3 Yığılma Ağızlı Talaş | 34 |
| 3.2.7 Sert Metal İşleme | 35 |
| 3.3 Frezeleme İşlemlerinde Takım Aşınması | 35 |

| | |
|--|-----------|
| 3.3.1 Aşınma..... | 35 |
| 3.3.2 Aşınma Mekanizmaları | 37 |
| 3.3.2.1 Başlangıç Aşınması..... | 37 |
| 3.3.2.2 Asıl Aşınma | 37 |
| 3.3.2.3 Abrziv Aşınma | 38 |
| 3.3.2.4 Difüzyon Aşınması | 39 |
| 3.3.2.5 Adhezyon Aşınması..... | 40 |
| 3.3.2.6 Yorulma Aşınması..... | 41 |
| 3.3.2.7 Oksidasyon Aşınması..... | 41 |
| 3.3.2.8 Erozyon Aşınması..... | 42 |
| 3.3.2.9 Korozyon Aşınması | 43 |
| 3.3.3 Kesici Takım Aşınması | 44 |
| 3.3.4 Kesici Takım Aşınma Tipleri | 44 |
| 3.3.4.1 Serbest Yüzey Aşınması | 44 |
| 3.3.4.2 Krater Aşınması..... | 45 |
| 3.3.4.3 Çentik Aşınması | 46 |
| 3.3.4.4 Plastik Deformasyon..... | 46 |
| 3.3.4.5 Yığma Talaş Aşınması..... | 46 |
| 3.3.4.6 Kırılma | 46 |
| 3.3.4.7 Isıl ve Mekanik Çatlaklar | 47 |
| 3.3.5 Takım Ömrü..... | 47 |
| 3.3.6 Yüzey Pürüzlülüğü..... | 48 |
| | |
| BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOT | 50 |
| | |
| 4.1 Metod..... | 50 |
| 4.1.1 İşleme Parametreleri..... | 50 |
| 4.1.2 Taguchi L9 Deney Tasarımı | 50 |
| 4.1.3 Minimum Quantity Lubrication (MQL) Sistemi | 51 |
| 4.2 Materyal | 51 |

| | |
|---|----|
| 4.2.1 İş Parçası..... | 51 |
| 4.2.2 İşleme Merkezi..... | 52 |
| 4.2.3 Kesici Takım..... | 53 |
| 4.2.4 Takım Tutucu..... | 54 |
| 4.2.5 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı | 54 |
| 4.2.6 Stereo Zoom Mikroskop..... | 55 |
| 4.2.7 Taramalı Elektron Mikroskobu..... | 56 |
| 4.2.8 Dinamometre | 56 |
| | |
| BÖLÜM 5 BULGULAR VE TARTIŞMA | 58 |
| | |
| 5.1 Takım Ömürleri..... | 58 |
| 5.1.1 $f_z = 0,05\text{mm/diş}$ Kesme Adımı İçin Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Takım Ömürlerinin Kıyaslanması | 58 |
| 5.1.2 $f_z = 0,075\text{mm/diş}$ Kesme Adımı İçin Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Takım Aşınma Miktarlarının Kıyaslanması .. | 59 |
| 5.1.3 $f_z = 0,1\text{mm/diş}$ Kesme Adımı İçin Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Takım Aşınma Miktarlarının Kıyaslanması .. | 62 |
| 5.2 Kesme Kuvvetleri..... | 64 |
| 5.2.1 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_R Bileşke Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması | 65 |
| 5.2.2 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_Y Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması | 67 |
| 5.2.3 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_Z Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması | 69 |
| 5.2.4 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_X Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması | 71 |
| 5.3 Yüzey Pürüzlülük Değerleri..... | 73 |
| 5.3.1 Frezeleme İşlemi Sonucunda Elde Edilen Minimum Yüzey Pürüzlülük Değerleri..... | 73 |
| 5.3.2 Takım Ömrü Boyunca Ortalama Yüzey Pürüzlülükleri Kıyaslanması..... | 76 |
| 5.4 Takım Aşınmalarının SEM ve EDS Kullanılarak Analizi | 79 |
| 5.4.1 Kuru Kesme Koşulları Altında Aşınan Kesici Takımların SEM Görüntüleri ve EDS Analizi..... | 79 |

| | |
|--|-----|
| 5.4.2 Minimum Miktarda Yağlama Koşulları Altında Aşınan Kesici Takımların SEM Görüntüleri ve EDS Analizi | 81 |
| 5.5 Tepki Yüzey Metodu (Minitab Programından Elde Edilen Değerler) İle Elde Edilen Sonuçların Analizi | 83 |
| 5.5.1 Yüzey Pürüzlülük Değerleri İçin Gürültü (S/N) Analizi..... | 83 |
| 5.5.2 Tepki Yüzey Metodolojisi İle Yüzey Pürüzlülüğü İçin Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi | 85 |
| 5.5.3 Kesme Kuvveti Değerleri için Gürültü Sinyali (S/N) Analizi..... | 89 |
| 5.5.4 Kesme Kuvveti İçin Deneysel Sonuçların Tepki Yüzey Metodolojisi İle Değerlendirilmesi | 90 |
| | |
| BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER | 95 |
| | |
| KAYNAKLAR | 101 |
| | |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 108 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| Şekil No | Sayfa No |
|--|-------------|
| 3.1: Çevresel Frezeleme ve Alın Frezeleme | 19 |
| 3.2: Aşağı Yönlü Frezeleme ve Yukarı Yönlü Frezeleme | 20 |
| 3.3: Simetrik Frezeleme | 21 |
| 3.4: Asimetrik Frezeleme | 21 |
| 3.5: Dik (Ortogonal) Kesme Geometrisi | 22 |
| 3.6: Dik (Ortogonal) Kesmede Deformasyon Bölgeleri | 23 |
| 3.7: Dik (Ortogonal) İşlemede Kesme Kuvvetleri, Kesme Hızları, Kesme Açıları ve Deformasyon Bölgeleri | 24 |
| 3.8: Frezeleme İşleminde Meydana Gelen Kesme Geometrisi | 29 |
| 3.9: Frezeleme İşlemindeki Talaş Oluşumu | 32 |
| 3.10: Frezeleme İşlemi Sonucu Oluşan Kesintili Talaş Oluşumu | 33 |
| 3.11: Frezeleme İşlemi Sonucunda Oluşan Sürekli Talaş Geometrisi..... | 34 |
| 3.12: Frezeleme İşlemi Sonucunda Oluşan Yığılma Ağzılı Talaş Geometrisi | 34 |
| 3.13: Aşınma Mekanizmasındaki Parametreler | 36 |
| 3.14: Zamanla Değişen Aşınma Zamanları..... | 37 |
| 3.15: İki Elemanlı (a) ve Üç Elemanlı (b) Abrasiv Aşınma Mekanizmaları | 39 |
| 3.16: Abrasiv Aşınma Mekanizması..... | 39 |
| 3.17: Belirli Çevrim Altındaki Bir Yüzeyde Meydana Gelen Çatlak Oluşumları..... | 41 |
| 3.18: Erozyon Aşınmasında Oluşabilecek Aşınma Mekanizmaları | 43 |
| 3.19: Serbest Yüzey Aşınma Süreci..... | 45 |
| 3.20: Frezeleme İşlemi Sonucunda Oluşan Yüzey Pürüzlülükleri | 48 |
| 4.1: Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Sistemi | 51 |
| 4.2: Dik İşleme Merkezi (CNC) | 53 |
| 4.3: Frezeleme İşlemlerinde Kullanılan Kesici Takım (a) ve Boyutları (b)..... | 53 |
| 4.4: Frezeleme İşlemlerinde Kullanılan Takım Tutucu | 54 |
| 4.5: Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı | 55 |
| 4.6: Vision SX 45 Stereo Zoom Mikroskop..... | 55 |
| 4.7: MIAI3 TESCAN Model Taramalı Elektron Mikroskobu | 56 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| Şekil No | Sayfa No |
|--|-------------|
| 4.8: KISTLER 9757B Dinamometre | 57 |
| 5.1: 0,05 mm/diş Kesme Adımında Takım Ömürlerinin Karşılaştırılması..... | 58 |
| 5.2: 75 m/dak Kesme Hızı ve 0,075 mm/diş Kesme Adımında Kesici Takım Aşınma Miktarı..... | 60 |
| 5.3: 100 m/dak Kesme Hızı ve 0,075 mm/diş Kesme Adımında Kesici Takım Aşınma Miktarı..... | 60 |
| 5.4: 125 m/dak Kesme Hızı ve 0,075 mm/diş Kesme Adımında Kesici Takım Aşınma Miktarı..... | 61 |
| 5.5: 75 m/dak Kesme Hızı ve 0,1 mm/diş Kesme Adımında Kesici Takım Aşınma Miktarı | 62 |
| 5.6: 100 m/dak Kesme Hızı ve 0,1 mm/diş Kesme Adımında Kesici Takım Aşınma Miktarı | 63 |
| 5.7: 125 m/dak Kesme Hızı ve 0,1 mm/diş Kesme Adımında Kesici Takım Aşınma Miktarı | 64 |
| 5.8: Vf=75 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Fr Bileşke Kesme Kuvveti Değerleri | 65 |
| 5.9: Vf=100 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Fr Bileşke Kesme Kuvveti Değerleri..... | 66 |
| 5.10: Vf=125 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Fr Bileşke Kesme Kuvveti Değerleri | 66 |
| 5.11: Vf=75 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Fy Kesme Kuvveti Değerleri..... | 67 |
| 5.12: Vf=100 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Fy Kesme Kuvveti Değerleri..... | 68 |
| 5.13: Vf=125 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Fy Kesme Kuvveti Değerleri..... | 69 |
| 5.14: Vf=75 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Fz Kesme Kuvveti Değerleri..... | 70 |
| 5.15: Vf=100 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Fz Kesme Kuvveti Değerleri | 70 |
| 5.16: Vf=125 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Fz Kesme Kuvveti Değerleri | 71 |
| 5.17: Vf=75 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Fx Kesme Kuvveti Değerleri..... | 72 |
| 5.18: Vf=100 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Fx Kesme Kuvveti Değerleri..... | 72 |
| 5.19: Vf=125 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Fx Kesme Kuvveti Değerleri..... | 73 |
| 5.20: Vf=75 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Minimum Yüzey Pürüzlülük Değerleri .. | 74 |
| 5.21: Vf=100 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Minimum Yüzey Pürüzlülük Değerleri. | 75 |
| 5.22: Vf=125 m/dak Kesme Hızında Elde Edilen Minimum Yüzey Pürüzlülük Değerleri. | 76 |
| 5.23: Vf=75 m/dak Kesme Hızında Takım Ömürleri Boyunca Elde Edilen Yüzey Pürüzlülük Değerleri..... | 77 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| Şekil No | Sayfa No |
|---|-------------|
| 5.24: Vf=100 m/dak Kesme Hızında Takım Ömürleri Boyunca Elde Edilen Yüzey Pürüzlülük Değerleri..... | 78 |
| 5.25: Vf=125 m/dak Kesme Hızında Takım Ömürleri Boyunca Elde Edilen Yüzey Pürüzlülük Değerleri..... | 78 |
| 5.26: Vf = 75 m/dak Kesme Hızı, fz = 0,05 mm/diş İlerleme Oranında ve Kuru Koşullarda Aşınmış Kesici Takım Görüntüsü | 80 |
| 5.27: Vf = 100 m/dak Kesme Hızı, fz = 0,05 mm/diş İlerleme Oranında ve Kuru Koşullarda Aşınmış Kesici Takım Görüntüsü..... | 80 |
| 5.28: Vf = 150 m/dak Kesme Hızı, fz = 0,05 mm/diş İlerleme Oranında ve Kuru Koşullarda Aşınmış Kesici Takım Görüntüsü | 81 |
| 5.29: Vf =75 m/dak Kesme Hızı, fz = 0,05 mm/diş İlerleme Oranında ve 50ml/saat Minimum Miktarda Yağlama Koşulunda Aşınmış Kesici Takım Görüntüsü..... | 82 |
| 5.30: Vf =100 m/dak Kesme Hızı, fz = 0,05 mm/diş İlerleme Oranında ve 100ml/saat Minimum Miktarda Yağlama Koşulunda Aşınmış Kesici Takım Görüntüsü..... | 82 |
| 5.31: Vf =125 m/dak Kesme Hızı, fz = 0,05 mm/diş İlerleme Oranında ve 150ml/saat Minimum Miktarda Yağlama Koşulunda Aşınmış Kesici Takım Görüntüsü..... | 83 |
| 5.32: Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri İçin S/N Oranlarının Temel Etki Grafiği..... | 84 |
| 5.33: Deneylerle Elde Edilen Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin ve Model İle Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması | 86 |
| 5.34: Farklı MQL Akış Hızı Koşulları İçin İlerleme Oranı ve Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülük Değerleri Üzerindeki Etkisi | 87 |
| 5.35: Farklı MQL Akış Hızı Değerleri İçin Yüzey Pürüzlülük Değerleri Üzerinde İlerleme Oranı ve Kesme Hızının Etkisinin 3D Yüzey Grafikleri İle Gösterilmesi...88 | |
| 5.36: Kesme Kuvveti Değerleri İçin S/N Oranlarının Temel Etki Grafiği | 89 |
| 5.37: Deneylerle Elde Edilen Kesme Kuvveti Değerlerinin ve Model İle Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması | 92 |
| 5.38: Farklı Minimum Miktarda Yağlama Akış Hızlarında, İlerleme Oranı ve Kesme Hızının Kesme Kuvveti Değerleri Üzerindeki Etkisi | 93 |
| 5.39: Farklı Minimum Miktarda Yağlama Akış Hızları İçin, İlerleme Oranı ve Kesme Hızının Kesme Kuvveti Değerleri Üzerindeki Etkisinin 3D Grafiği..... | 94 |

TABLolar DİZİNİ

| Tablo | Sayfa |
|---|--------------|
| No | No |
| 3.1: Alaşımli Çeliklerde Kullanılan Elementler ve Asgari Yüzdeleri | 13 |
| 4.1:AISI D2 Çeliğinin İşlenebilirliğinin Araştırılmasında Kullanılan Kesme Parametreleri..... | 50 |
| 4.2: AISI D2 Çeliğinin Akma Dayanımı, Çekme Dayanımı ve Uzama Oranı | 52 |
| 4.3 AISI D2 Çeliğinin Kimyasal Kompozisyonu | 52 |
| 5.1: Yüzey Pürüzlülük Değerleri ve S/N Oranları | 84 |
| 5.2: Yüzey Pürüzlülüğü Varyans Tablosunun Analizi [Kısmi Kareler Toplamı Tip III] | 85 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | | |
|----------------------|---|---|
| Φ_c | : | Kesme Açısı |
| σ_s | : | Kayma düzlemindeki normal gerilme |
| <i>Al</i> | : | Alüminyum |
| AISI | : | Amerikan Demir Çelik Enstitüsü |
| <i>Cr</i> | : | Krom |
| <i>dak</i> | : | Dakika |
| <i>dev</i> | : | Devir |
| <i>HRC</i> | : | Rockwel sertliği |
| <i>M</i> | : | Metre |
| <i>ml</i> | : | Mililitre |
| <i>mm</i> | : | Milimetre |
| <i>MQL</i> | : | Minimum miktarda yağlama |
| <i>Mo</i> | : | Molibden |
| <i>MPa</i> | : | Mega paskal |
| <i>N</i> | : | Takım ile talaş arasında oluşan normal kuvvet |
| <i>N</i> | : | Nitrür |
| <i>Ni</i> | : | Nikel |
| <i>Rpm</i> | : | Dönme hızı |
| SAE | : | Otomotiv Mühendisliği Derneği |
| <i>Si</i> | : | Silisyum |
| <i>Ti</i> | : | Titanyum |
| <i>V</i> | : | Vanadyum |
| <i>V_s</i> | : | Kesme hızı |
| <i>V_f</i> | : | Kesme hızı |
| <i>W</i> | : | Tungsten |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

19. yüzyılın başlarında meydana gelen sanayi devriminden sonra gelişmekte olan üretim endüstrisinde talaşlı imalata fazlaca ihtiyaç duyulmuştur. Makine parçalarının imalatında ve endüstrinin birçok yerinde talaşlı imalat kullanılmaktadır. Gelişen teknolojiler sayesinde talaşlı imalat endüstrisi de hızlı bir şekilde büyümektedir. Talaşlı imalat sektörü geliştikçe çevreye olan zararı da artmaktadır. Bu sebeple insana ve çevreye zarar vermeyen teknolojiler geliştirilmeye çalışılmıştır. Çevreye ve insana zarar vermeyen üretim yöntemlerinin tümü sürdürülebilir üretim yöntemleri olarak adlandırılmaktadır (Öndaş, 2006).

Talaşlı imalatın temel amacı, malzeme üzerinden talaş kaldırarak iş parçasını belli şekil ve boyutlara getirmektir (Koca, 2013). Talaşlı imalat freze, tornalama ve delme olarak üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Frezeleme, bu talaşlı imalat yöntemlerinden en çok kullanılmakta olanıdır. Frezeleme, dönen bir kesici takım ve doğrusal hareket yapmakta olan iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemidir (Şimşek, 2010). Kesme işlemleri sırasında meydana gelen sıcaklık ve basınç, kesici takımın aşınmasına, bunun sonucunda iş parçasının yüzeyinde aşınmaya ve belirtilen toleranslar dışında üretime sebep olmaktadır (Koca, 2013).

İmalat sürecinin başarılı sayılması sadece üretim miktarına, üretim zamanına ve üretim maliyetine bağlı değildir. Aynı zamanda insan sağlığı ve çevre kirliliği açısından da olumlu olmalıdır. Minimum miktarda yağlama (MQL) yöntemi, kesme işlemlerinde kullanılan soğutucu sıvı miktarının azaltılmasında ve bunun sonucunda artık soğutucu sıvıların çevreye ve insana olan zararının azaltılmasının yanında üretim süreci boyunca oluşturduğu pozitif özellikler açısından en kapsamlı sürdürülebilir üretim yöntemidir (İlhan, 2014).

Günümüzde talaşlı imalatta kullanılan soğutucu kesme sıvıları kesici takımın ve iş parçasının performanslarını arttırmak amaçlı kullanılmaktadır. Bu kesme sıvıları yağ, su ve kimyasal katkıların karışımından meydana gelmektedir. Kesme sıvıları kesme yağları ve su bazlı kesme sıvıları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Akben, 2009). Metal

malzemelere istenilen şekli vermek için gerekli olan talaş kaldırma işlemleri sırasında kullanılan soğutucu kesme sıvılarının amacı, kesme işlemi esnasında meydana gelen ısıyı ve talaşı ortamdan uzaklaştırmaktır. Bu sıvılar genellikle bünyelerinde çevreye zarar verecek kimyasal maddeler bulundurmaktadırlar. Bu sıvıları kesme işlemleri bittiğinde bertaraf etmek zor ve bu sıvıların geri dönüşümleri ise ekonomik olarak biraz külfetlidir. Bu maddeler aynı zamanda deri ve akciğer kanserine sebep olmaktadır (İlhan, 2014).

İmalat sektöründe, ısıl işlem görmüş ve sertleştirilmiş malzemeler yüksek dayanım özelliğinden dolayı tercih edilmektedir (Şirin, 2010). Genellikle takım çelikleri başka bir çeliğe ve metal malzemelere şekil vermekte kullanılmaktadır. Çalışma şartlarının gereklerini yerine getirmek ve bu özellikleri uzun zaman boyunca karşılamak bu malzemelerin en büyük özelliklerinden biridir (Çiçek vd., 2012). Yüksek miktarda karbon içeren çelik malzemelerden olan AISI D2 çeliği yüksek aşınma direnci, tokluk ve sertleştirme özelliğine sahiptirler (Yıldızlı vd., 2005; Karabatak ve Kara, 2016). AISI D2 takım çeliğinin D3, D4 ve D7 çeliklerine oranla karbon miktarı az olduğundan işlenebilirliği kolaydır (Karabatak ve Kara, 2016). AISI D2 çeliği 54HRC-62HRC sertliğe sahiptir (Şirin vd., 2012). AISI D2 takım çelikleri kesme takımları, makas bıçakları vb. kırılmaya uğrayabilecek malzemelerin imalatında kullanılmaktadır (Arsecularretne vd., 2006).

Bu çalışma da AISI D2 takım çeliğinin işlenmesinde SANDVIK marka R390-11 T3 08M-PM 1010 sinterlenmiş karbür kesici takım kullanılmıştır. Farklı işleme parametreleri ve minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi kullanılarak elde edilen sonuçların deneysel olarak araştırılması amaçlanmaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Dhar ve arkadaşları, çalışmalarında AISI 4340 ıslah çeliğinin kuru, ıslak ve minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi kullanılarak yapılan işleme sonucunda meydana gelen yüzey pürüzlülük değerlerini karşılaştırılmaktadır. Yapılan bu çalışmada kullanılmakta olan işleme parametreleri 110 m/dk hız, 0,16 mm/dev adım ve 1,5 mm kesme derinliğidir. Bu çalışma sonucunda görülen minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi kullanılarak yapılan işlemlerdeki yüzey pürüzlülük değerleri çok az miktarda azalmaktadır. Kuru koşullar altında yapılan işlemler sonucunda oluşan yüksek sıcaklık ve kesici uç üzerinde meydana gelen gerilmelerden dolayı yüzey pürüzlülük değerlerinin çok çabuk arttığı gözlemlenmektedir (Dhar vd., 2006).

Li ve arkadaşları, çalışmalarında SKD 61 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde üç farklı hız (2000 rpm, 3000 rpm, 4000 rpm), üç farklı ilerleme hızı (1 mm/dev, 1,5 mm/dev, 2 mm/dev) ve 0,3 mm kesme derinliği parametreleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kuru ve minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi altında kesici takım ömrü ve iş parçasında oluşan yüzey pürüzlülük değerleri araştırılmaktadır. Minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi ve kuru kesme şartları altındaki işlemlerde ilk 48 metreye kadar yüzey pürüzlülük değerleri 0,2 μm 'nin altındadır. Kuru işlemedeki tüm hızlarda 48 metreden sonraki yüzey pürüzlülük değerleri hızlı bir şekilde artmakta ve 96 metre kesme işleminden sonra kesici takım kırılmaktadır. MQL şartları altında yapılan kesme işlemlerinde ise 168 metrede kırılmaktadır. Bu çalışma sonucunda minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi ile yapılan kesme işlemlerindeki kesici takım ömrü, kuru şartlar altındaki işleme sonucunda meydana gelen kesici takım ömrüne oranla %42'lik bir artış göstermektedir (Li ve Chou, 2010).

Khan ve arkadaşları, çalışmalarında AISI 9310 çeliğini kuru, taşkın soğutma ve minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi kullanılarak yapılan kesme işlemleri sonucunda oluşan yüzey pürüzlülükleri üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Bu çalışmadaki işleme parametreleri 334 m/dak hız, 1mm kesme derinliği ve 0,18 mm/dev kesme adımı kullanılmıştır. Bu çalışmada kesici takım olarak SNMG 120408 TTS kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde yüzey pürüzlülük değerleri yavaş artmaktadır. Ancak kuru ve taşkın sulama şartları altında yapılan kesme işlemleri sonucunda yüzey pürüzlülük değerleri çok büyük değerlerde artışlar göstermektedir. Bu çalışmadan çıkan sonuç ise minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde oluşan yüzey pürüzlülük değerleri, kuru işleme sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine göre daha düşüktür ve parça bütünlüğü sağlanmıştır (Khan vd., 2009).

Kang ve arkadaşları, çalışmalarında 62 HRC sertliğindeki AISI D2 çeliğinin kuru, taşkın soğutma ve minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi altında yapılan kesme işlemleri sonucunda oluşan kesme takım ömrü incelenmektedir. Bu çalışmada kullanılan işleme parametreleri; 1200 rpm hız, 0,01mm/dev kesme adımı ve 0,02mm kesme derinliğidir. Bu çalışmada iki çeşit kesici takım kullanılmaktadır. Bu kesici takımlardan ilki Ti-Al-N ve diğeri ise Ti-Al-N-Si kaplamalı kesici takımlardır. Bu çalışmada takım aşınma üst sınırı olarak kesici takımda oluşan 0,1 mm büyüklüğündeki göğüs aşınması olarak belirlenmiştir. İki kesici takım ile yapılan işlemlerdeki en büyük kesici takım ömrü minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi altında gerçekleştirilen kesme işlemlerinde meydana gelmektedir. Ancak kuru şartlarda işleme yapılan Ti-Al-Si-N kaplamalı kesici takımın kesme ömrü minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi altında işleme yapan Ti-Al-N kaplamalı kesici takımın ömründen daha uzun olduğu görülmektedir. Bu çalışma elde edilen sonuç AISI D2 çeliğinin işlenmesinde Ti-Al-Si-N kaplamalı kesici takımın daha uzun kesme ömrüne sahip olduğudur (Kang vd., 2008).

Gaitonde ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmada pirinç iş malzemenin işlenmesi sonucunda meydana gelen yüzey pürüzlülükleri ve kesme kuvvetleri araştırılmaktadır. Bu çalışmada, işleme parametreleri olarak üç farklı (100 m/dak, 200 m/dak, 400 m/dak) hız, üç farklı (50 ml/saat, 100 ml/saat, 200 ml/saat) yağlama miktarı ve üç farklı (0,05 mm/dev, 0,1 mm/dev, 0,15 mm/dev) kesme adım kullanılmaktadır. Bu çalışma da meydana gelen en düşük yüzey pürüzlülük değeri 200 m/dak hız, 200 ml/saat yağlama ve 0,05 mm/dev kesme adımında meydana gelmektedir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 400 m/dak hız, 50 ml/saat yağlama ve 0,15 mm/dev kesme adımında meydana gelmektedir. En yüksek yüzey pürüzlülük ile en düşük yüzey pürüzlülük arasında 4,5 kat fark bulunmaktadır. En düşük kesme kuvveti ise yüzey pürüzlülüğünün en büyük çıktığı değerlerde meydana

gelmektedir. En büyük kesme kuvveti ise en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinde meydana gelmektedir (Gaitonde vd., 2008).

Khan ve Dhar yapmış oldukları çalışmada AISI 1060 çeliğinin kuru, taşkın soğutma ve minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi ile bitkisel yağ kullanarak yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, takım aşınması ve kesme sıcaklığı araştırılmaktadır. Bu çalışmada dört farklı (72 m/dak, 94 m/dak, 139 m/dak, 164 m/dak) hız, dört farklı (0,1 mm/dış, 0,13 mm/dış, 0,16 mm/dış, 0,20 mm/dış) kesme adımı ve 1,5 mm kesme derinliği kullanılmaktadır. Bu tornalama işleminde minimum miktarda yağlama (MQL) sisteminde kullanılan bitkisel yağın etkisinden dolayı kesme kuvvetlerinde %5 ile %15 arasında azalma meydana gelmektedir. Bu çalışmadaki minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kuru ve taşkın soğutma şartları altındaki işlemlere kıyasla daha düşük çıkmaktadır (Khan ve Dhar, 2006).

Paturi ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmalarında Inconel 718 çeliğinin minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi ve tungsten disülfid katkılı minimum miktarda yağlama (MQL) sisteminde yapılan deneyler sonucunda meydana gelecek olan yüzey pürüzlülükleri araştırılmaktadır. Yapılan çalışmada, en düşük yüzey pürüzlülüğünün meydana geldiği kesme parametreleri 100 m/dak hız, 0,1 mm/dev adım ve 0,05 mm kesme derinliği olarak bulunmaktadır. Minimum miktarda yağlama (MQL) sistemine tungsten disülfid maddesi eklenerek yapılan araştırmalarda meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleri katkısız minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi kullanılarak yapılan kesme işlemleri sonucunda meydana gelen yüzey pürüzlülüklerine oranla %35 daha düşük çıkmaktadır (Paturi vd., 2016).

Ekinovic ve arkadaşları yapmış oldukları çalışma da ST52-3 karbon çeliğinin kuru ve minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi altında tornalanması sonucunda meydana gelen kesme kuvvetleri araştırılmaktadır. Bu çalışma da kesme parametreleri 95 m/dak hız, 1mm kesme derinliği ve 0,142 mm/dev kesme adımı olarak belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda kuru kesme şartlarında elde edilen ortalama kesme kuvveti 626 N ve minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi kullanılarak elde edilen ortalama kesme kuvveti ise 517 N'dur. Kuru kesme koşulları altında elde edilen ortalama kesme kuvveti ve minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi kullanılarak elde edilen kesme kuvvetlerinin arasında yaklaşık olarak %21'den fazla fark bulunmaktadır (Ekinovic vd., 2015).

Joshi ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmada Inconel 600 çeliğinin tornalanması sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüklerini incelemektedirler. Bu çalışmada üç farklı (60 m/dak, 80 m/dak, 100 m/dak) hız, üç farklı (0,8 mm/dev, 0,12 mm/dev, 0,16 mm/dev) kesme adımı ve üç farklı (0,5 mm, 0,75 mm, 0,125 mm) kesme derinliği kullanılmaktadır. Minimum miktarda yağlama (MQL) sistemindeki yağlama miktarı 60 ml/saat ve 5 bar yağlama basıncı ile püskürtülmektedir. Bu çalışmada kuru, minimum miktarda yağlama (MQL) ve minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi içerisine %7 oranında alüminyum ekleme yapılarak işleme yapılmaktadır. Kuru kesme işlemleri sonrasında meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleri 1 µm ile 2,25 µm arasında değişmektedir. Minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi ile yapılan kesme işlemleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülükleri 1 µm ile 2 µm arasında değişmektedir. MQL sistemine nano sıvı eklenerek yapılan kesme işlemlerinde ise yüzey pürüzlülük değerleri 0,5 µm ile 1,5 µm arasında değişmektedir. Bu çalışmadan çıkarılacak sonuç MQL sistemine nano sıvı eklenerek yapılmış olan kesme işlemlerinde yüzey pürüzlülük değerleri daha düşük çıkmaktadır (Joshi vd., 2018).

Kumar ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, AISI 4340 çeliğinin kuru ve MQL şartları altında tornalanması sonucu işlenebilirliğini incelemektedirler. Bu çalışmada kesme parametreleri olarak beş farklı (75 m/dak, 100 m/dak, 125 m/dak, 150 m/dak, 175 m/dak) hız, beş farklı (0,1 mm/dev, 0,125 mm/dev, 0,15 mm/dev, 0,175 mm/dev, 0,200 mm/dev) adım kullanılmaktadır. Bu çalışmada beş farklı (40 HRC, 45 HRC, 50 HRC, 55 HRC, 60 HRC) sertlikteki malzeme kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada MQL ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ile kuru kesme işlemleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri arasında %7 ile %10 arasında fark bulunmaktadır. MQL sistemi kullanılarak yapılan kesme işlemleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kuru kesmeye göre daha düşük çıkmaktadır (Kumar vd., 2017).

Lawal ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada AISI 9310 çeliğini kuru, taşkın soğutma ve MQL sistemi altında tornalanması sonucu elde edilecek olan yüzey pürüzlülükleri araştırılmaktadır. Yapılan çalışmadaki işleme parametreleri 200 m/dak ve 800 m/dak kesme hızları, 0,05 mm/dev ile 0,2 mm/dev kesme adımları kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda MQL sisteminde bitkisel yağ kullanılarak yapılan işlemlerde kuru kesmeye göre yüzey pürüzlülüklerinde %31,6 bir iyileşme meydana gelmektedir. Aynı çalışmada SKD 61 çeliğinin 1 mm/dev, 1,5 mm/dev ve 2 mm/dev kesme adımlarında kuru

kesmeye kıyasla MQL işlemleri sonucunda kesici takımındaki aşınma sırasıyla %67.65, %62.66 ve %54.59 oranında azalma görülmektedir (Lawal vd., 2013).

Elmunafi ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada 47-48 HRC sertliğindeki AISI 420 (%0.38 C, %0.9 Si, %0.5 Mn, %13.6 Cr ve %0.3 V) çeliğinin kuru ve MQL sistemi altındaki işlenebilirliğini incelemektedirler. İşleme parametreleri olarak 100 m/dak, 135 m/dak ve 170 m/dak hız, 0,16 mm/dev, 0,20 mm/dev ve 0,24 mm/dev kesme adımı kullanılmaktadır. MQL sistemindeki sıvı akışının miktarı 50 ml/saat ve püskürme basıncı ise 5 bar'dır. Yapılan çalışmalar sonucunda en yüksek kesici takım ömrü 100 m/dak hız ve 0,16 mm/dev kesme adımında meydana gelmektedir. En düşük takım ömrü ise 170 m/dak hız ve 0,24 mm/dev kesme adımında elde edilmektedir. Kesici takım ömrü 100 m/dak hız ve 0,16 mm/dev kesme parametreleri ve kuru kesme şartlarında 17,7 m işleme yapmaktadır ve MQL sistemi altında 33,7 m kesme işlemi yapmaktadır. Sonuç olarak MQL sisteminin takım ömrüne yapmış olduğu katkının yanında malzemedeki yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinde azalma meydana geldiği görülmektedir (Elmunafi vd., 2015).

Khan ve Maity yapmış oldukları çalışmada ikinci kalite saf titanyum (CP-Ti)'un işlenmesinde kesme hızı ve soğutma yöntemlerinin işlenebilirliğe etkisini incelemektedirler. Kesme parametreleri olarak üç farklı (51 m/dak, 67 m/dak, 87 m/dak) hız, 0,12 mm/dev ilerleme ve 0,5 mm kesme derinliği kullanılmaktadır. Kesme işlemlerinde kuru işleme ve geleneksel soğutma yöntemlerine karşın MQL sistemi kullanılarak yapılan işlemlerde en düşük kesme bölgesi sıcaklığı elde edilmektedir. İş parçasının MQL sistemi kullanılarak tornalanması sonucunda elde edilen kesme kuvveti, geleneksel soğutma ve kuru işlemeye göre sırasıyla %16 ve %46'lık bir azalma görülmektedir. Bu çalışmada en iyi yüzey pürüzlülük değeri ise bitkisel temelli MQL işlemlerinde elde edilmektedir. Bu çalışmada sonuç olarak MQL sisteminin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve kesme bölgesi sıcaklıklarında geleneksel soğutma yöntemleri ve kuru kesmeye göre daha etkili olduğu gözlemlenmektedir (Khan ve Maity, 2018).

Rahim ve arkadaşları, bu çalışmalarında AISI 1045 çeliğini kuru kesme ve MQL sistemi kullanılarak yapılan işlemler sonucunda elde edilecek olan kesme kuvveti ve kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar incelenmektedir. Çalışmada üç farklı (350 m/dak, 450 m/dak, 550 m/dak) hız, üç farklı (0,08 mm/dev, 0,1 mm/dev, 0,12 mm/dev) kesme adımı ve 2 mm kesme derinliği parametreleri kullanılmaktadır. MQL sistemindeki yağlayıcı 0,2 MPa

basınç ile püskürtülmektedir. MQL sistemi ile yapılan kesme işlemleri sonucunda oluşan kesme kuvvetlerinde, kuru kesme işlemleri sonucunda oluşan kesme kuvvetlerine oranla %5 ile %28 arasında bir azalma görülmektedir (Rahim vd., 2015).

Liao ve arkadaşları, NAK 80 çeliğinin kuru, taşkın soğutma ve MQL sistemi altında işlenebilirliği incelemek amacı ile bu çalışmayı yapmaktadırlar. Bu çalışma da üç farklı (150 m/dak, 200 m/dak, 250 m/dak) hız ve üç farklı (0,1 mm/dev, 0,15 mm/dev, 0,2 mm/dev) kesme adımı kullanılmaktadır. MQL ve kuru işleme sonuçlarında oluşan kesici takım ömürlerinde 150 m/dak, 200 m/dak, 250 m/dak hızlarında sırasıyla %14, %20, %44 oranlarında artış görülmektedir. Kesme işlemlerinde meydana gelen en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri, yüksek hızlarda meydana gelmektedir. MQL ile yapılan tüm kesme işlemleri sonucunda oluşan yüzey pürüzlülük değerleri kuru işlemeye göre daha düşük çıkmaktadır (Liao vd., 2007).

Ucun ve arkadaşları, Inconel 718 süper alaşımının mikro işlenmesinde kesici takımdaki kaplama malzemesinin takım aşınması üzerindeki etkisini araştırmaktadırlar. AlCrN kaplamalı takım kullanılarak yaptıkları mikro işlemede kuru koşullar ile minimum miktarda yağlama (MQL) sistem karşılaştırılmaktadır. Takım aşınması testi uygulanırken çapı 768 µm olan takım kullanılmaktadır. Belirlemiş oldukları 1,25 µm/yiv ilerleme oranı ve 0,15 mm kesme derinliğinde kuru şartlarda takım aşınması %8,49 iken, minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi kullanılarak yapılan çalışmalar sonucunda meydana gelen takım aşınması %4,62'dir. Minimum miktarda yağlama yöntemi, kuru işlemeye kıyasla kesici takım ömründe önemli bir ölçüde avantaj sağladığı belirtilmektedir (Ucun vd., 2013).

Kedare ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışma da 15 HRC sertliğindeki çeliğin işlenebilirliğini incelemektedirler. Çalışmada kullanılan kesme parametreleri 160 rpm, 225 rpm ve 300 rpm hızları, 0,1 mm, 0,2 mm ve 0,3 mm kesme derinliği ve 900 ml/saat minimum yağlama miktarı ve 2 lt/dak geleneksel soğutma kullanılmaktadır. Çalışma sonucunda MQL sistemi ile yapılan kesme işlemlerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, geleneksel soğutma ile yapılan kesme işlemlerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine kıyasla daha düşük değerler çıktığı görülmektedir. MQL sisteminde kullanılan kesme sıvısı miktarı, geleneksel soğutmaya kıyasla daha az miktarda olmasından dolayı

MQL yönteminin geleneksel soğutmalı kesme işlemlerine alternatif olabileceğini göstermektedir (Kedare vd., 2014).

Uysal ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmalarında AISI 420 martenzitik çeliğinin kuru, MQL sistemi ve MQL sisteminin içerisine nano partiküller eklenerek oluşturulmuş yağlama sistemi altında meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleri araştırılmaktadır. Bu çalışmada 995 rpm kesme hızı kullanılmaktadır. 20 ml/saat ve 40 ml/saat yağlayıcı akışkan miktarının olduğu MQL yöntemi ile yapılan işlemlerde meydana gelen yüzey pürüzlülükleri sırasıyla kuru işlemeye göre %8,8 ve %22,5 oranlarında azalma göstermektedir. MQL sisteminin içerisine nano partiküller karıştırılarak oluşturulan yağlama sıvısı kullanılarak yapılan işleme sonuçlarında MQL yöntemine göre daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri meydana gelmektedir (Uysal vd., 2015).

Conger ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışma da alüminyum 6061 malzemesinin kuru şartlar altında ve MQL sistemi kullanılarak frezelenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırılmaktadır. Bu çalışma da kesme parametreleri olarak üç farklı hız (200 m/dak, 250 m/dak ve 300 m/dak), 1,5 mm kesme derinliği ve iki farklı (26 ml/saat ve 52 ml/saat) soğutma sıvı debisi kullanılmaktadır. Bu çalışma da soğutma sıvısı frezeleme işlemleri sırasında tek ve çift püskürtücü olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmada 26 ml/saat kesme sıvı debisi ve tek püskürtücü kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, çift püskürtücü kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülüklerine oranla 200 m/dak, 250 m/dak ve 300 m/dak kesme hızlarında sırasıyla %31, %29,8 ve %7 oranında düşüş gözlemlenmektedir. Aynı şekilde 52 ml/saat kesme sıvı debisi kullanılarak yapılan frezeleme işlemlerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri 200m/dak, 250 m/dak ve 300 m/dak kesme hızlarında sırasıyla %13, %13,3 ve %31 oranlarında düşüş elde edilmektedir. Yüzey pürüzlülük değerleri tek püskürtücü kullanılarak kıyaslanmaktadır. Tek püskürtücü kullanılmakta olan frezeleme işlemlerinde kesme sıvı debisi 26 ml/saat'ten 52 ml/saat miktarına yükseltildiğinde yüzey pürüzlülük değerlerinde 200 m/dak, 250 m/dak ve 300 m/dak kesme hızlarında sırasıyla %27,2, %27,1 ve %3,2 oranlarında azalmaktadır. Bir diğer kıyaslama yöntemi ise çift püskürtücü kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleridir. Kesme sıvı debisi 26 ml/saat'ten 52 ml/saat kesme sıvı debisine yükseltildiğinde çift püskürtücü kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri 200 m/dak, 250 m/dak ve 300 m/dak kesme hızlarında sırasıyla %8,2, %9,9 ve %28,1 oranlarında düşüş görülmektedir (Conger vd., 2019).

BÖLÜM 3

KURAMSAL TEMELLER

3.1 Çelikler

Çeliğin tarihi binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Binlerce yıldır demirciler tarafından kullanılmakta ve 17.yy'da kullanımını daha önemli hale gelmiştir. 19.yy'da Bessemer süreci yaşanmıştır ve çeliğin daha az maliyet ile üretilmesine olanak sağlanmıştır (URL1, 2019). Çelik, demir ve karbonun çok özel oranlarda birleştirilmesi ile elde edilmektedir. Bu karışıma manganez, krom, kobalt nikel, vanadyum ve molibden elementleri karıştırılmaktadır. Karbon içeriği, çeliğin hangi ısıl işleminden geçmesi gerektiğini belirlemektedir (Bryson, 2015). Çelikleri sınıflandırdığımızda sade karbonlu çelikler, alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, ıslah çelikleri, sementasyon çelikleri, nitrürlenebilen çelikler ve takım çelikleri olarak yedi ana gruba ayrılmaktadır. Çeliklerin kullanım alanları aşağıda sıralanmaktadır;

- Otomobil sanayi
- Enerji sektörü
- Tarım araçları ve makine gibi endüstriyel ürünler
- Cerrahi implantlar
- İnşaat sektörü
- Boru hatları
- Güvenlik sistemleri
- Yol yapımı
- Vida, cıvata ve çivi
- Madencilik
- Havacılık
- Ağır sanayi (URL-2, 2019; URL-1, 2019).

3.1.1 Çeliklerin Sınıflandırılması

Mühendislik kitapları, çeliklerin sınıflandırılmalarının Otomotiv Mühendisliği Derneği (S.A.E) veya Amerikan Demir Çelik Enstitüsünün (AISI) yetkisi altında olduğunu göstermektedir. Sınıflandırmalar, çeliğin üstün özelliklerini göstermekte ve beş karakterden oluşmaktadır. İlk karakter genel çelik kategorisini göstermekte, ikinci sayı çeliğin özelliklerine etki eden eleman olup olmadığını göstermekte ve son iki rakam ise çelik içerisindeki karbon miktarının yüzdesini göstermektedir (Bryson, 2015).

3.1.1.1 Karbon Çelikleri

Karbon, demiri sertleştirmek için kullanılan en ucuz ve en etkili alaşım elementidir. Düşük, orta ve yüksek karbonlu çelikler üretmek için kullanılan karbon miktarı %0,04 ile %1,7 arasında değişmektedir. Çeliğin mekanik özellikleri karbon miktarına ve uygulanmış olan işleme bağlıdır (Ashby ve Jones, 2013).

3.1.1.1.1 Düşük Karbonlu Çelikler

Düşük karbonlu çelikler, bileşiminde %0,3 oranına kadar karbon içeren çeliklerdir (Singh, 2012). Düşük karbonlu çelikler, üretildikten hemen sonra ısı işlem tabii tutulamaz. Karbon içeriği, ısı işlemin uygulanması için uygun görülmemektedir. Düşük karbonlu çeliklere ısı işlem uygulanması iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada çelik işlem sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta zengin bir karbon atmosferi ile doldurulmuş bir fırına yerleştirilir ve ikinci aşama ise fırında ısıtılan çeliğin oda sıcaklığında soğutulmasıdır (Bryson, 2015). Bu çelikler büyük miktarda levha veya şerit gibi yassı ürünlerden oluşmakta ve çok büyük kısmı soğuk haddelenmiş veya tavlanmış şekilde bulunmaktadır. Yüksek şekillendirilebilme özelliğine sahiptirler. Bu çelikler dövme parçalar, dikişsiz borular, presler ve kazan levhaları için kullanılmaktadır (Singh, 2012).

3.1.1.1.2 Orta Karbonlu Çelikler

Orta karbonlu çelikler, karbon miktarının %0,3 ile %0,6 arasında değişen çelikler olarak gösterilmektedir (Singh, 2012). Bu çelikler yapılarında farklı alaşım elementlerini bulundurmaktadırlar. Bu alaşım elementleri çeliğe aşınma direnci, ısı direnci, derin

sertleşme ve darbe direnci kazandırmaktadır (Bryson, 2015). Bu alaşım elementlerinin başında manganez gelir ve manganez oranı orta karbonlu çeliklerde %0,60 ile %1,65 arasında değişmektedir (Singh, 2012). Orta karbonlu çelikler, hiçbir karbon eklemesi yapılmadan ısıtılarak ısıtılabilir. Orta karbonlu çelikler, ısıtıldıktan sonra sertlikleri 53 HRC-55 HRC sertlik düzeyine çıkabilmektedir (Bryson, 2015). Bu çelikler şaftlar, akslar, dişliler, krank milleri, kavramalar ve dövme parçalarının imalatında kullanılmaktadır (Singh, 2012).

3.1.1.1.3 Yüksek Karbonlu Çelikler

Yüksek karbonlu çelikler, kimyasal bileşimindeki karbon oranı %0,6 ile %2,4 arasında değişen çeliklerdir. Bu çeliklerin ısıtılma yetenekleri yüksektir. Yüksek karbonlu çeliklerin sertlikleri ısıtıldıktan sonra 60 HRC'ye kadar çıkabilmektedir (Bryson, 2015). Bu çelikler genellikle el aletleri, yay malzemeleri ve yüksek mukavemetli parçaların üretilmesinde kullanılmaktadır (Singh, 2012).

3.1.1.2 Alaşımli Çelikler

Alaşımli çelikler, çelik piyasasında az bir payı olmasına rağmen önemli bir sektördür. Alaşımli çelikler düşük alaşımli çelikler, paslanmaz çelikler ve takım çelikleri olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Ashby ve Jones, 2013). Alaşımli çelikler, karbon dışında eklenen diğer alaşım elementleri sayesinde farklı özelliklere sahip olmaktadır. Bu elementlerin alaşımli çeliklere kattıkları özellikler aşağıda gösterilmektedir;

- Çeliğin sertliği artar,
- Düşük veya yüksek sıcaklıklarda yüksek mekanik özellik gösterir,
- Gelişmiş tokluk,
- Gelişmiş aşınma direnci,
- Yüksek korozyon direnci,
- Gelişmiş manyetik geçirgenlik ya da manyetik kalıcılık (Singh, 2012)

Tablo3.1'de alaşımli çeliklerde kullanılacak elementler ve asgari yüzdeleri gösterilmektedir.

Tablo 3.1: Alaşımli çeliklerde kullanılan elementler ve asgari yüzdeleri.

| Element | % | Element | % | Element | % |
|-----------|-----|--------------------|-----|------------------|-----|
| Alüminyum | 0.3 | Kurşun | 0.1 | Silikon | 2.0 |
| Krom | 0.5 | Manganez ve Silika | 2.0 | Sülfür ve Fosfor | 0.2 |
| Kobalt | 0.3 | Molibden | 0.1 | Tungsten | 0.3 |
| Bakır | 0.4 | Nikel | 0.5 | Vanadyum | 0.1 |

3.1.1.2.1 Düşük Alaşımli Çelikler

Düşük alaşımli çelikler, %1,8 oranından az nikel, %6 oranından az krom ve %0,65 oranından az molibden içeren çeliklerdir (Carvill, 1994). Çeliğe nikel, krom ve molibden gibi alaşım elementlerinin eklenmesi ile mekanik özellikleri normal karbonlu çeliklere nazaran daha iyi hale gelmektedir. Düşük alaşımli çeliklerde, alaşım elementlerinin eklenmesinin amacı, ısıl işlemden sonra mekanik özellikleri ve tokluğu optimize etmek için sertleştirmeyi arttırmaktır (Singh, 2012). Gerilme mukavemeti ise $450 Nmm^2$ ile $1000 Nmm^2$ arasında değişmektedir (Carvill, 1994). Düşük alaşımli çelikler genel olarak dört gruba ayrılmaktadır. Bunlar nikel çelikler, nikel-krom çelikler, molibden çelikler ve krom-molibden çeliklerdir. Bu çelikler ısıl işlemlerine göre olarak da su verilmiş ve temperlenmiş, normalize edilmiş ve temperlenmiş veya tavlanmış olarak üç gruba ayrılmaktadır (Singh, 2012).

3.1.1.2.2 Orta Alaşımli Çelikler

Orta alaşımli çelikler, ısıl işlem uygulanarak sertleşmesi sağlanmakta, ancak içeriğindeki karbon miktarı uzun ömürlü bir aşınma yüzeyi sağlayacak kadar yüksek bulunmamaktadır (Bryson, 2015). Bu çelikler %5 ile %12 arasında değişen alaşım elementlerine sahiptirler (Carvill, 1994).

3.1.1.2.3 Yüksek Alaşımli Çelikler

İyi ısı direnci ve yüksek dayanıma sahiptirler. Yüksek alaşımli çelikler, %12 oranından fazla miktarda alaşım elementi içermektedirler (Carvill, 1994).

3.1.1.3 Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler, yüksek veya düşük sıcaklıklarda çelikler ile çalışma imkanını sağlamak amacı ile üretilen çeliklerdir. Paslanmaz çelikler, bileşimlerinde demir ve krom elementi bulundurmaktadırlar (Ashby ve Jones, 2006). Paslanmaz çeliklerin bileşiminde %10'dan yüksek oranda krom elementi bulunmaktadır (Carvill, 1994). Paslanmaz çelikteki krom oranı, çeliğe pas oksidasyonuna direnme kabiliyeti kazandırmaktadır (Bryson, 2015). Paslanmaz çeliğin korozyon direnci pasivasyon ile elde edilmektedir. Pasivasyon, kimyasal işlem ile yüzeyin inaktif veya reaktiflik seviyesinin azalmasını sağlamaktadır (Wegman ve Twisk, 2013). Bazı paslanmaz çelikler, karşılaşılabilecek olan çevresel faktörlere karşı özel olarak başka elementler ile desteklenmektedir. Bu elementler nikel, bakır, titanyum, alüminyum, silikon, molibden, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum elementleridir. Paslanmaz çeliklerin manyetik özelliği yoktur (Singh, 2012). Paslanmaz çelikler elektrik üretim tesislerinde, mimaride, ev aletlerinde ve birçok farklı yerde kullanılmaktadırlar (Llewellyn ve Hudd, 1998).

3.1.1.3.1 Östenitik Paslanmaz Çelikler

Bu çelikler paslanmaz çeliklerin temelini oluşturmaktadırlar. Bu çelikler %16 ile %26 arasında krom, %3,55 ile %37 arasında Ni ve %0,03 ile %0,25 arasında diğer alaşım elementlerini içermektedirler. Bunlar molibden, niyobyum, titanyum, kadmiyum, manganez, tungsten ve tantal elementleridir. Östenitik paslanmaz çelikler, darbelerle karşı oldukça dayanıklıdır (Singh, 2012). Bu çelikler korozyona, iyi kaynaklanabilirliğe, yüksek tokluğa ve yüksek mukavemete sahiptirler (Carvill, 1994). Diğer paslanmaz çeliklere kıyasla iyi sıcaklık dayanımı ve korozyon direnci özellikleri ön plana çıkmaktadır (Singh, 2012). Isıl işlem ile sertleştirilemez ve manyetiklik özelliği yoktur (Bryson, 2015; Carvill, 1994). Bu paslanmaz çelikler gruplara ayrılmıştır ve bu gruplar belli kodlama yöntemi ile belirtilmiştir. Krom-nikel alaşımları olan paslanmaz çelikler üç yüz ile başlayan, krom-nikel-manganez alaşımlarını bünyesinde barındıran paslanmaz çelikler ise iki yüz ile başlayan kodlar ile kodlanmaktadır (Singh, 2012).

3.1.1.3.2 Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, genel olarak tetragonal kristal yapıya sahip Fe-Cr-C alaşımlarıdır. Bu çelikler kimyasal bileşimlerinde %11,5 ile %18 arasında krom ve %1,2'ye kadar karbon elementlerini içermektedirler. Bu çelikler, ferromanyetik özelliklere sahiptir ve ısı işlemi ile sertleştirilebilmektedirler (Singh, 2012). Isıl işleme maruz kalabilme özelliğinden dolayı yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanılmakta ve çekme kuvvetleri arttırılabilmektedir (Bryson, 2015). Bu çelikler, yumuşak ortamlarda yüksek korozyon direnci özelliğine sahiptirler. Az miktarda nikel elementi eklenerek korozyon özelliği daha yüksek seviyelere çıkartılabilmektedir. Vanadyum, silikon, tungsten ve niyobyum gibi diğer elementler eklenebilmektedir (Sing, 2012). Kaynak ve soğuk şekillendirme için uygun değildirler (Carvill, 1994).

3.1.1.3.3 Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler, %14 ile %27 arasında krom elementi içeren düz karbonlu çeliklerdir. Bu çelikler kimyasal kompozisyonlarında %0,02 ile %0,2 arasında karbon içermektedirler (Singh, 2012). Düşük karbon içeriğinden dolayı çatlama olmadan şekillendirme işlemlerine uygundur. Korozyon direnci, martenzitik paslanmaz çeliklerden daha iyi, fakat östenitik paslanmaz çeliklerden daha düşüktür. Orta seviyede mukavemet ve sınırlı kaynaklanabilirlik özelliklerine sahiptirler (Carvill, 1994). Belirli özellikleri iyileştirmek için molibden, alüminyum, silikon, titanyum ve niyobyum elementleri kullanılmaktadır (Singh, 2012).

3.1.1.3.4 Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks paslanmaz çelikler, mikro yapılarında %50 oranında östenit ve ferritik faz içermektedirler. Bu çelikler düşük karbon elementi içerir ve molibden, tungsten, bakır, azot gibi alaşım elementleri kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıklarda yeterli sertliğe sahiptirler. Bu çelikler yüksek mukavemete, iyi tokluğa, yüksek derecede korozyon direncine, kaynaklanabilirliğe ve yüksek şekillendirilebilme özelliğine sahiptirler (Singh, 2012).

3.1.1.4 Islah Çelikleri

Islah çelikleri, makine parçalarının üretiminde kullanılmak üzere, su verme işlemi uygulanarak sertliklerinin artırılması sonucun meydana gelen çeliklerdir (URL-3, 2019). Bu çeliklerin karbon oranı %0,22 ile %0,6 arasında değişmektedir. Bu çelikler sade karbonlu çelik ve alaşım çeliği şeklinde bulunmaktadır. Alaşım çelikleri kimyasal bileşimlerinde Ni, Cr, Mo, V, W gibi elementler bulundurmaktadır (URL-3, 2019). Islah çeliklerinden, yüksek dayanım ve süneklik özellikleri bir arada istenmektedir. Islah çelikleri, üretimde geniş bir kullanım yelpazesine sahiptirler. Islah çelikleri motor parçaları, dövme parçaları, krank milleri, akslar, tahrik parçaları, piston kolları, miller ve dişliler gibi yüksek mukavemet gerektiren parça üretiminde kullanılmaktadırlar (Aydınöğlu, 2002).

3.1.1.5 Sementasyon Çelikleri

Sementasyon çeliklerinde, karbon elementi oranı %0,2'den azdır. Sementasyon çeliklerinden istenilen özellikler, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise yumuşak ve yüksek tokluktur. Sementasyon çeliklerinin bu özellikleri kazanması çeliğin yüzeyine karbon emdirilmesi işlemi ile elde edilmektedir (Aydınöğlu, 2002). Sementasyon işlemi, parça tamamen veya kısmen son şeklini aldıktan sonra yapıldığından dolayı parçanın işlenmesi kolaydır. Sementasyon çelikleri, yüzeyde aynı sertliğe sahip takım çeliği gibi yüksek karbonlu çeliklere oranla daha ucuzdur. Bu çeliklerin en büyük özelliği karbon oranlarından dolayı tokluk özellikleridir. Bu çelikler genellikle yüzeyinde aşınmaya uğrayacağından dolayı yüzeyin sert, ağır yük taşımaya maruz kalacağından dolayı iç tokluklarının yüksek olması istenen parçalar için kullanılmaktadırlar (URL-3, 2019).

3.1.1.6 Nitrürlenebilen Çelikler

Nitrüleme işlemi, çeliğin yüzeyinde azot biriktirmesini sağlamaktır. Bu çeliklerde karbon oranı %0,3 ile %0,4 arasında değişmektedir. Malzemede Cr, Mo, Al, V, Ti elementlerini içermektedir (Aydınöğlu, 2002).

3.1.1.7 Otomat elikleri

Bu elikler piyasada soğuk haddelenmiş şekilde bulunmaktadırlar. Bu çeliklerden kolay talaş kaldırılır ve işlenmiş yzeyleri dzyėun şekilde oluşturmaktadırlar (URL-3, 2019). Talaş kaldırma işleminde kolaylık sağlamak amacı ile çeliklerin bileşimine fosfor, kurşun ve %0,1 oranından fazla kzykrt ilave edilmektedir (Aydınoğlu, 2002). Talaş kırılarak kaldırıldığından dolayı hızlı işlenebilmekte ve bu durum üretim maliyetine azaltmaktadır (URL-3, 2019).

3.1.1.8 Takım elikleri

Takım elikleri genel olarak  başlık altında incelenmektedir. Bu elikler soğuk iş takım çelikleri, sıcak iş takım çelikleri ve yzyksek hız takım çelikleri olarak adlandırılmaktadırlar. Takım çeliklerinden beklenen ozellikler aşağıdaki belirtilmiştir;

- Talaşlı işlenebilirlik,
- Isıl işlemden sonra çeliğin boyutunda bir değişiklik olmaması,
- Parlatılabilme,
- Korozyona ve tufalleşmeye karşı dayanıklılık (Aydınoğlu, 2002)

3.1.1.8.1 Soğuk İş Takım elikleri

Bu elikler kendi ozelliklerini 200^o kadar koruyabilmekte ve bundan dolayı bu çelikler çalışırken ısınan yerlerde kullanılamamaktadır. Alaşımlı ve alaşımsız olmak üzere iki şekilde bulunmaktadırlar. Bu çeliklerden istenilen ozelliklere gzyre içeriklerindeki karbon miktarları değişmektedir. Alaşımsız takım çeliklerinin karbon oranları %0,6 ile %1,4 arasında değişmektedir. elikten, tokluk ve sertlik ozellikleri aynı anda istendiğinde ise karbon oranı %0,95 ile %1,4 arasında değişmektedir. Bu elikler yarı mamzllerin şekillendirilmesi ve ayrılması, toz malzemelerin soğuk presi gibi işlemlerde kullanılmaktadırlar (Aydınoğlu, 2002).

3.1.1.8.2 Sıcak İş Takım Çelikleri

Bu çelikler, 500-550 dereceye kadar özelliklerini kaybetmeden çalışabilmektedirler. Bu özelliklerini bileşimindeki Cr, Mo, V, W elementlerinden almaktadırlar. Bu elementler östenitleme işleminde çeliğin yapısında çözünür ve menevişleme işlemi sırasında da çökerek sert karbürleme oluşturmaktadırlar. Bu çelikler, sıvı halden şekillendirme, ısıtılmış metallerin ve camların şekillendirilmesi işlemlerinde kullanılmaktadırlar (Aydınöğlu, 2002).

3.1.1.8.3 Yüksek Hız Takım Çelikleri

Seri üretim yapan yerlerde kesici takım malzemesi olarak kullanılmaktadırlar (Aydınöğlu, 2002). Bu çeliklerden beklenen özellikler yüksek aşınma direnci, sertlik, taşlanabilirlik ve yüksek tokluk özellikleridir (Şahin, 2019). Bu çeliklerin sembollerinde yüksek hız çeliği olduğunu gösteren HS ibaresi bulunmaktadır (Aydınöğlu, 2002).

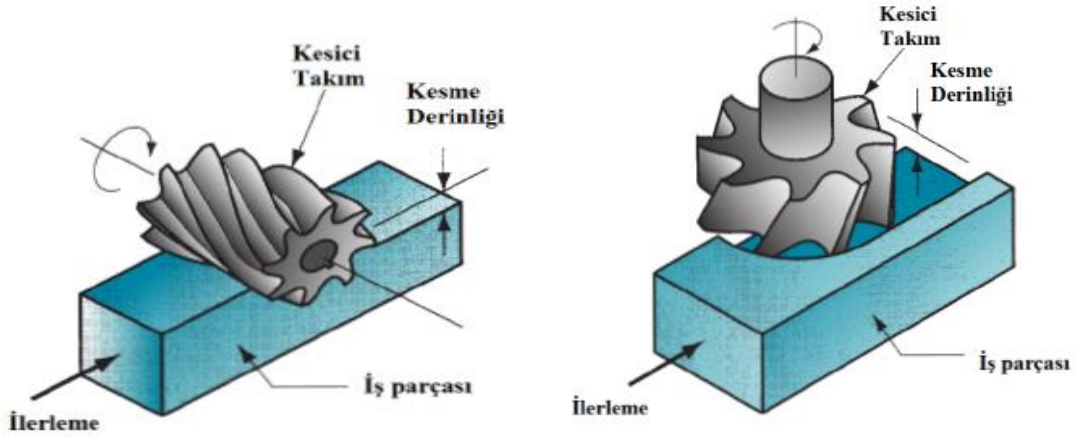
3.1.1.9 Takım Çeliklerinin İşlenebilirlikleri

İşlenebilirlik göstergesi olarak genellikle takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesici takım ömrü gibi faktörler dikkate alınmaktadır. Yüzey kalitesine etki eden faktörler ise ilerleme hızı, malzeme sertliği ve karakteristiliği, kesme hızı, kesme derinliği, kesme zamanı, kesici takımın uç radyüsü, kesici takımın kesme kenar açısı, takım tezgâhının stabilitesi ve iş parçasının bağlanması, titreşim ve kesme sıvısıdır (Zeyveli ve Altuğ, 2011).

3.2 Frezeleme

Frezeleme, bir iş parçasının çoklu kesme kenarlarına sahip döner bir silindirik kesici takım aracılığı ile malzemeye üç boyutlu şekil verme eylemidir (Groover, 2013). Frezeleme, üç boyutlu şekillerin meydana getirilmesinde ve oluşturulan şekil çeşitliliğinden, aynı zamanda yüksek üretim hızlarından dolayı çok yönlü veya yaygın olarak kullanılan işleme yöntemidir (Groover, 2013; Nee, 2015). Frezelemede kesici takıma freze kesicisi denir ve freze takımının kesici uçlarına da diş denir. Bu işlemleri gerçekleştiren makinelere ise freze makinesi denir (Groover, 2013). Döner bir milde bir freze bıçağı tutulurken, tablaya sabitlenmiş olan çalışma parçası farklı eksenlerde hareket ederek şekillendirilir (Altıntaş,

2012). Frezeleme takımının kesici dişleri her seferinde parçaya sınırlı bir dokunuş ile kesim alanından küçük talaşlar kaldırır ve malzemeye istenilen şekli vermektedir (Lacalle vd., 2009). Her bir kesme hareketinde, kesici dişler darbe kuvvetlerine dayanacak şekilde imal edilmektedir (Groover, 2013). Frezeleme işlemleri çevresel frezeleme ve alın frezeleme olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir (Nee, 2015). Frezeleme işlemleri Şekil3.1’de gösterilmektedir.



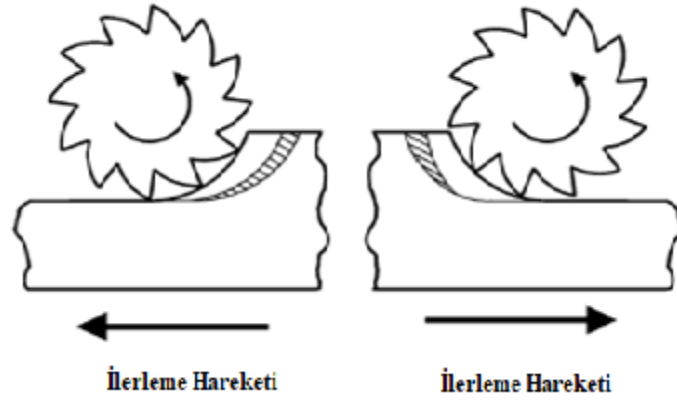
Şekil 3.1: Çevresel frezeleme ve alın frezeleme.

3.2.1 Frezeleme Yöntemleri

3.2.1.1 Çevresel Frezeleme

Çevresel frezeleme, iş parçasının ekseninin yatay durumda bulunması ve silindirik bir freze kesici takımının çevresindeki dişler yardımı ile iş malzemesinden talaş kaldırma işlemi olarak tanımlanmaktadır (Taylan, 2009). Çevresel frezeleme, kesici takımın dönme yönüne göre yukarı yönlü frezeleme ve aşağı yönlü frezeleme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Groover, 2013). Aşağı yönlü ve yukarı yönlü frezelemenin şematik olarak gösterimi Şekil 3.2’de gösterilmektedir (Kurşuncu, 2016). Yukarı yönlü frezeleme, kesici takımın dönüş yönü ile iş parçasının ilerleme yönünün birbirine zıt olduğu frezeleme yöntemidir. Bu frezelemede, kesici takımın oluşturduğu talaş genişliği sıfırdan başlayarak artmaktadır. Bu frezelemede, kesme kuvveti sıfırdan başlayarak artış göstermekte ve bu durum avantaj olarak gösterilmektedir. Bu frezeleme yönteminde, kesici takımın dönüş yönünden dolayı iş parçasını tabladan kopmasını mümkün kılmakta ve bu durum yukarı yönlü frezeleme yönteminin dezavantajı olarak gösterilmektedir. Aşağı yönlü frezeleme, kesici takımın dönme yönü ile iş parçasının ilerleme yönünün aynı doğrultuda olduğu frezeleme

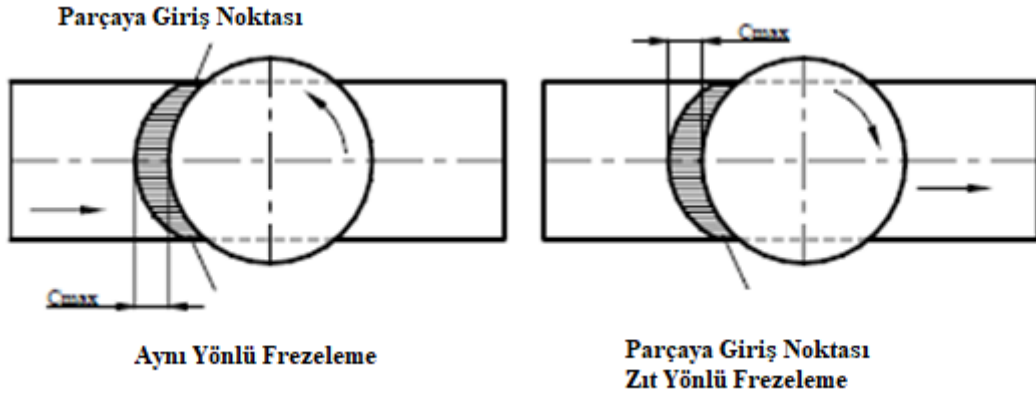
yöntemidir. Bu yöntemde, talaş kalınlığı maksimum seviyeden sıfıra doğru gitmektedir. Kesme kuvveti, bu yöntemde başlangıçta maksimum, talaş kaldırma işleminin bitiminde minimum olmaktadır. Bu durum aşağı doğru kesme yönteminin dezavantajı olarak gösterilmektedir. Bu işleme yönteminde, kesici takımın dönme yönünden dolayı iş parçasının bağlı olduğu tablaya doğru ittiğinden aşağı yönlü frezelemede işlemi güvenilir bir frezeleme yöntemidir. Aşağı yönlü frezeleme işleminde, yukarı yönlü frezeleme işlemine kıyasla daha iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde edilmektedir (Taylan, 2009).



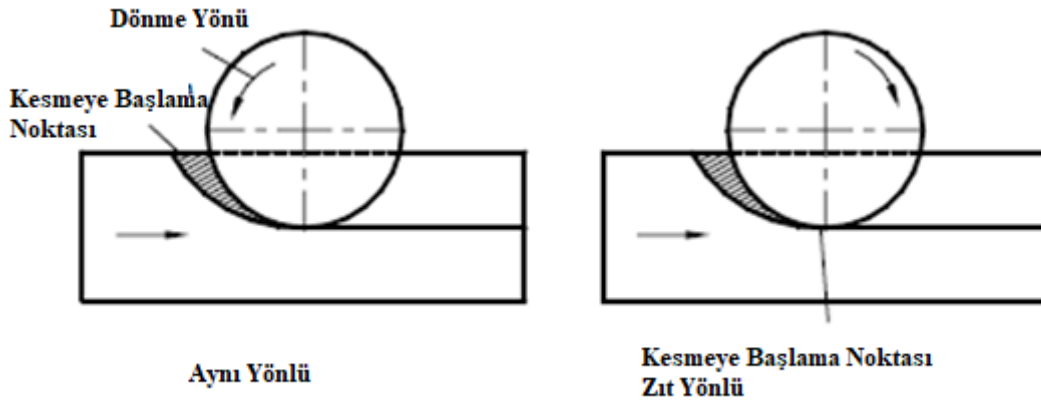
Şekil 3.2: Aşağı yönlü frezeleme ve yukarı yönlü frezeleme.

3.2.1.2 Alın Frezeleme

Alın frezeleme, kesici takımın eksenini ile işlenecek olan parçanın ekseninin birbirine dik olduğu frezeleme yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Groover, 2013). Alın frezeleme, kesici takım çapına göre simetrik veya asimetric frezeleme olarak iki gruba ayrılır. Simetrik ve asimetric alın frezeleme, aynı yönlü ve zıt yönlü frezeleme olarak ikiye ayrılır. Simetrik frezeleme, kesici takımın eksenini ile iş parçası ekseninin kesişmesi durumunda oluşan frezeleme yöntemidir. Asimetric frezeleme ise, kesici takım ve iş parçasının eksenlerinin çakışmaması durumunda gerçekleşen talaş kaldırma işlemidir. Simetrik ve asimetric frezeleme yöntemleri Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterilmektedir (Taylan, 2009).



Şekil 3.3: Simetrik frezeleme.

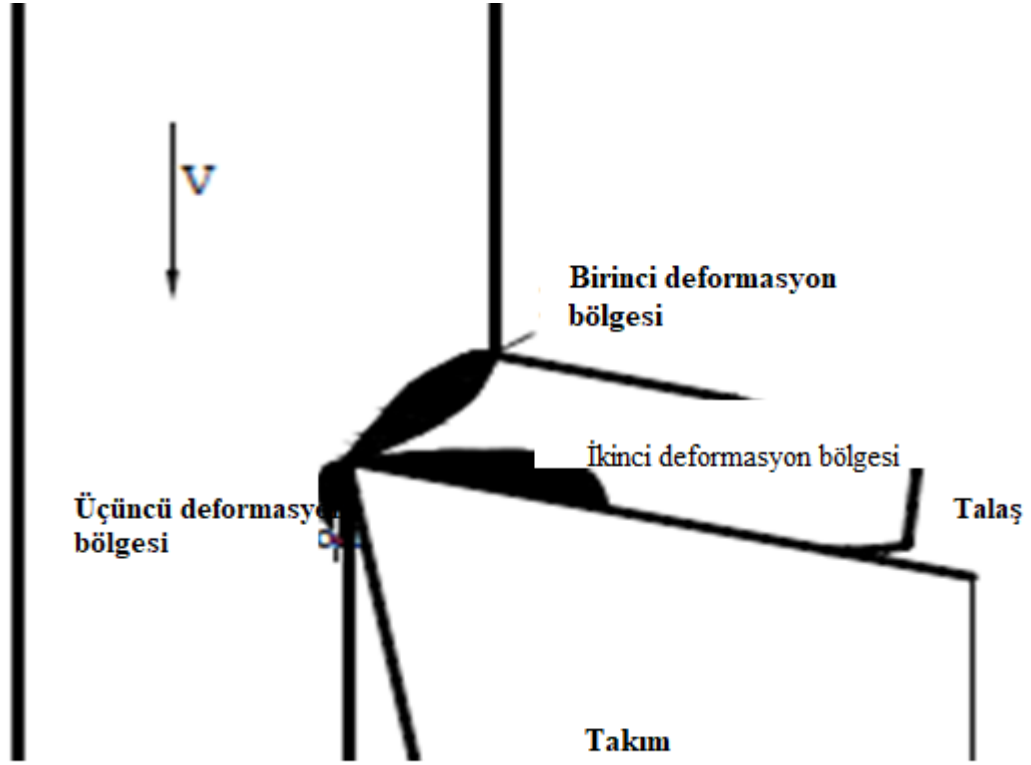


Şekil 3.4: Asimetrik frezeleme.

3.2.2 Metal Kesme Mekanikliği

Metal kesme işlemi, kesici takımın iş parçasına doğru yönlendirilerek iş parçasından talaş kaldırmak suretiyle şekillendirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Talaş kaldırma işlemini bilimsel bir temele oturtmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Ölçüm ve izleme teknolojilerinin gelişmesi ile metal kesme işlemi çok kuvvetli teorik temellere dayandırılmaktadır. Metal işlemenin iyi ya da kötü olduğunu kesici takımdaki deformasyon, sıcaklık ve kesme kuvvetleri göstermektedir. Metal kesmenin temel amacı talaş oluşturma ve oluşan bu talaşın istenilen boyutlarda kırılarak kesme işleminde oluşan ısı enerjisini kesme mekanizmasından uzaklaştırmaktır. Talaşın istenilen uzunlukta ve zamanında uzaklaştırılmaması kesici takıma zarar vermektedir. Sıcaklık kesici takımın malzemesini yumuşatarak kısa zamanda aşınmasına ve kesici takım ömrünün kısalmasına neden olmaktadır. Kesme işleminde oluşan kesme kuvvetleri de işlem için gerekli olan güç ve mukavemeti etkilemektedir. Talaş kaldırma işleminin gerçekleşmesi için gerekli

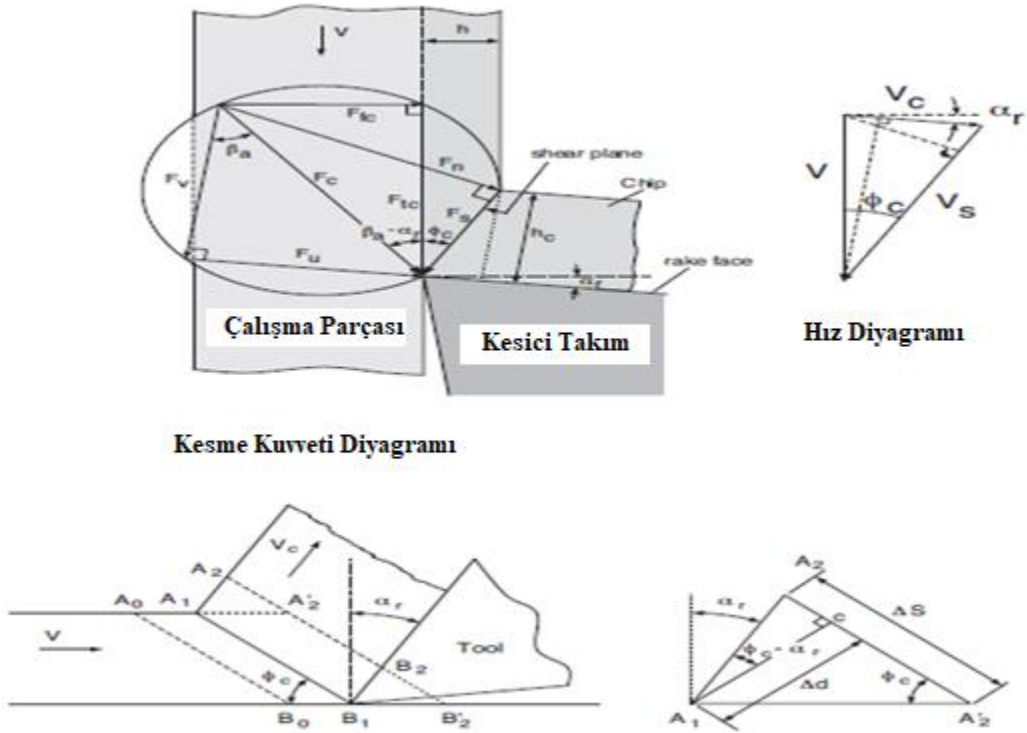
Kesici takımın yan tarafındaki sürtünme bölgesinde ise üçüncü deformasyon bölgesi meydana gelmektedir (Taylan, 2009).



Şekil 3.6: Dik (ortogonal) kesmede deformasyon bölgeleri.

3.2.3 Kesme Kuvvetleri

Ortogonal işlemede, kesme kuvvetleri, kesme açıları, kesme hızları, deformasyon bölgeleri ve şekil değiştirme diyagramları Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Dik (ortogonal) işlemede kesme kuvvetleri, kesme hızları, kesme açıları ve deformasyon bölgeleri.

Geometrilere de görüldüğü üzere, talaşın üzerine uygulanan ortalama kuvvet F_c dir. Talaş kaldırmada meydana gelen tüm kesme kuvvetleri, kesme işleminden veya talaş ile kesici takım arasındaki sürtünme kuvvetinden meydana gelmektedir. Bu kuvvetler arasında bir denge olduğundan dolayı ortaya çıkan kuvvet F_c , besleme kuvveti F_{fc} ve teğetsel kuvvet F_{tc} 'dir. Bu kuvvetler arasındaki bağıntı bir numaralı denklemde gösterilmektedir.

$$F_c = \sqrt{F_{tc}^2 + F_{fc}^2} \quad (1)$$

Buradaki besleme kuvveti (F_{fc}), talaşın işlenmemiş kısmına doğrudur ve teğetsel kuvvet (F_{tc}) ise kesme hızının yönündedir. Kesme işlemlerinde iki kesme bölgesi oluşur ve bu kesme bölgelerindeki kesme mekaniği aşağıda incelenmiştir.

3.2.3.1 Birincil Kesme Bölgesi

Birincil kesme düzlemine etki eden kuvvet (F_s), kesme geometrisinden elde edilir ve iki numaralı denklemdeki gibi ifade edilmektedir.

$$F_s = F_c \cos(\phi_c + \beta_\alpha - \alpha_r) \quad (2)$$

Verilen geometrideki β_α kesici takımın kesici yüzü ile hareketli talaş arasındaki ortalama sürtünme açısıdır ve α_r ise kesici takımın eğim açısıdır. Kesme kuvveti (F_s) aynı zamanda besleme ve teğetsel kuvvetle de formülize edilir. Bu formülasyondaki ϕ_c kesme açısıdır ve kesme yönü ile kesme düzlemi arasındaki açı olarak tanımlanır. Bu formülasyon üç numaralı denklem ile gösterilmektedir.

$$F_s = F_{tc} \cos \phi_c - F_{fc} \sin \phi_c \quad (3)$$

Kesme mekaniği geometrisine bakıldığında, kayma düzlemine etki eden normal kuvvet (F_n) olduğu görülmektedir. Bu normal kuvvet dört ve beş numaralı formülasyonlardaki gibi iki farklı şekilde bulunabilmektedir.

$$F_n = F_c \sin(\phi_c + \beta_\alpha - \alpha_r) \quad (4)$$

$$F_n = F_{tc} \sin \phi_c + F_{fc} \cos \phi_c \quad (5)$$

Kesme geometrisindeki kayma gerilmesi τ_s olarak sembolize edilir ve altı numaralı denklem ile bulunmaktadır.

$$\tau_s = \frac{F_s}{A_s} \quad (6)$$

Kayma düzlemi alanı (A_s) kesme geometrisinden yedi numaralı denklem ile bulunmaktadır. Kayma düzlemi alanının formülasyondaki “b” kesilen talaş genişliğinin ve “h” kesilmemiş talaş kalınlığını göstermektedir. Kesme düzlemi üzerindeki normal gerilme (σ_s) ise normal kuvvetin kesme düzlem alanına oranı olarak gösterilir.

$$A_s = b \frac{h}{\sin \phi_c} \quad (7)$$

$$\sigma_s = \frac{F_n}{A_s} \quad (8)$$

Yukarıdaki kesme hızı geometrisinden de görüldüğü gibi kesme hızı iki ana bileşen olarak gösterilmektedir. Talaş iş malzemesinden (V_s) hızı ile kesilir ve bu kesme hızı dokuz numaralı denklemdeki gibi formülize edilmektedir.

$$V_s = V \frac{\cos \alpha_r}{\cos(\phi_c - \alpha_r)} \quad (9)$$

Kayma düzleminde harcanan kayma gücü on numaralı denklemlerdeki gibi iki farklı şekilde formülize edilmektedir. Formüldeki C_s iş parçasının ısı katsayısıdır, T_r ise ortam sıcaklığıdır, M_c ise metal çıkarma oranı olarak adlandırılır.

$$P_s = F_s V_s \quad P_s = m_c c_s (T_s - T_r) \quad (10)$$

$$m_c = Q_c \rho \quad Q_c = bhV \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (11)$$

Yukarıdaki formülasyondaki ρ sembolü iş parçasını oluşturan malzemenin özgül yoğunluğunu temsil eder.

$$T_s = T_r + \frac{P_s}{m_c c_s} \quad T_s = T_r + \lambda_h (1 - \lambda_s) \frac{P_s}{m_c c_s} \quad (12)$$

On iki numaralı formülde λ_h bir katsayıdır ve $0 < \lambda_h \leq 1$ arasında değişmektedir. λ_s ise iş malzemesine uygulanmış olan ısının oranıdır.

$$\lambda_s = 0.5 - 0.35 \log(R_T \tan \phi_c), \quad for \quad 0.04 \leq R_T \tan \phi_c \leq 10 \quad (13)$$

$$\lambda_s = 0.3 - 0.15 \log(R_T \tan \phi_c), \quad for \quad R_T \tan \phi_c \geq 10 \quad (14)$$

$$R_T = \frac{\rho c_s V h}{c_t} \quad (15)$$

Yukarıdaki C_t iş parçasının malzemesinin ısı iletkenliğidir. Kesme düzlemi uzunluğu L_c on altı numaralı denklemdeki formül ile bulunmaktadır.

$$L_c = \frac{h}{\sin \phi_c} = \frac{h_c}{\cos(\phi_c - \alpha_r)} \quad (16)$$

Kesme açısı, kesme geometrisindeki talaş açısı ile talaş sıkıştırma oranının birbirlerine oranı ile bulunur.

$$r_c = \frac{h}{h_c} \quad (17)$$

3.2.3.2 İkinci Kesme Bölgesi

Talaş yüzeyinde oluşan kesme kuvveti iki bileşene ayrılmaktadır. Normal kuvvet F_v , talaş yüzeyindeki sürtünme kuvveti F_u olarak gösterilmektedir. F_v ve F_u kuvvetleri sırasıyla on sekiz ve on dokuz numaralı formüller yardımı ile bulunmaktadır.

$$F_v = F_{tc} \cos \alpha_r - F_{fc} \sin \alpha_r \quad (18)$$

$$F_u = F_{tc} \sin \alpha_r + F_{fc} \cos \alpha_r \quad (19)$$

Dik kesme analizinde, talaş kesici takım üzerinde ortalama ve sabit bir sürtünme katsayısı (μ_a) ile kayar ve daha sonra malzemeden kopar. Sürtünme katsayısı yirmi numaralı formül ile ifade edilmektedir.

$$\mu_a = \tan \beta_a = \frac{F_u}{F_v} \quad (20)$$

Sürtünme açısı (β_a) yirmi bir ve yirmi iki numaralı formüller ile bulunabilmektedir.

$$\tan(\beta_a - \alpha_r) = \frac{F_{fc}}{F_{tc}} \quad (21)$$

$$\beta_a = \alpha_r + \tan^{-1} \frac{F_{fc}}{F_{tc}} \quad (22)$$

Deforme olmuş talaş, kesici takım üzerinde kayma hızı ile hareket eder ve malzemeden kopar.

$$V_c = r_c V = \frac{\sin \phi_c}{\cos(\phi_c - \alpha_r)} V \quad (23)$$

Kesici takım ile talaş arasındaki sürtünme kuvveti yirmi dört numaralı denklem ile hesaplanmaktadır.

$$P_u = F_u V_c \quad (24)$$

Talaş kaldırma işleminde harcanan toplam güç, kesme ve sürtünme kuvvetlerinde harcanan toplam güce eşittir.

$$P_{tc} = P_s + P_u \quad (25)$$

$$P_{tc} = F_{tc} V \quad (26)$$

Sürtünme kuvveti hem talaşın hem de kesici takımın sıcaklığını arttırmaktadır. Kesme hızı arttığında sürtünme kuvveti de artar ve dolayısıyla sıcaklıkta artar. Aşırı sıcaklık kesici takım malzemesinin yumuşamasına ve kısa sürede aşınmasına sebep olur (Altıntaş, 2012).

3.2.4 Mercant Eşitliği

Metal kesme işlemlerindeki önemli ilişkilerden birini Eugene ve Merchant tarafından geliştirilmiştir (Groover, 2013). 1943 yılına kadar metal kesme mekaniği ile ilgili birçok teori üretilmesine rağmen Merchant'ın teorisi temel alınarak şekillendirilmektedir (Yaşar vd., 2016). Bu teori dikey kesme işlemine dayanmaktadır ancak üç boyutlu işlemleri de kapsamaktadır. Merchant aşağıdaki denklemlerin birbiri ile ilişkilendirilmesi ile elde edilen kayma gerilmesinin tanımlamasıyla başlamıştır.

$$A_s = \frac{t_o w}{\sin \phi} \quad (27)$$

$$\tau = \frac{F_c \cos \phi - F_t \sin \phi}{(t_o w / \sin \phi)} \quad (28)$$

$$F_s = F_c \cos \phi - F_t \sin \phi \quad (29)$$

Kesme işleminde oluşan kayma gerilmesinin, iş parçasını kayma dayanımına eşit olduğu açıdır ve bundan dolayı kayma deformasyonu bu açıda meydana gelir. Diğer kayma

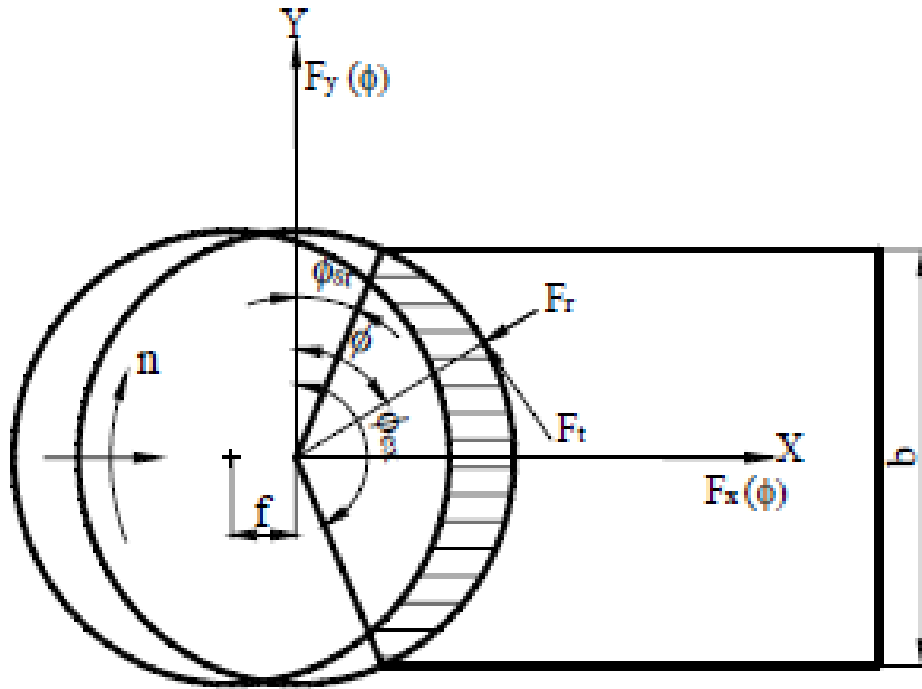
açılarında, kayma gerilimi kayma dayanımından daha düşüktür ve bundan dolayı talaş oluşumu sadece bu açıda meydana gelir. Açı otuz numaralı denklem ile bulunmaktadır.

$$\phi = 45 + \frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{2} \quad (30)$$

3.2.5 Frezeleme Mekanikği

Frezeleme işleminde oluşan kesme geometrisi Şekil3.8’de gösterilmektedir. Frezeleme işlemi, tornalama işleminden farklı olduğundan dolayı kesilen talaş boyutu değişmektedir (Kurşuncu, 2016). Talaş kalınlığının değişimini otuz bir numaralı formül ile bulunmaktadır (Taylan, 2009).

$$h(\phi) = f \sin \phi \quad (31)$$



Şekil 3.8: Frezeleme işleminde meydana gelen kesme geometrisi.

Şekil 3.8’ de gösterilen kesme geometrisinde “f” ilerleme miktarı, “phi” anlık dalma açısıdır. Yüzey frezelemelerde helis açısı sıfır olarak varsayılmaktadır. Tanjant “(F_t(phi))”, radyal (F_r(phi)) ve aksiyal (F_a(phi)) kesme kuvvetleri, değişken kesilmemiş talaş alanı (ah(phi)) ve kenar temas uzunluğunun bir fonksiyonu olarak açıklanır:

$$F_t(\emptyset) = K_{tc}ah(\emptyset) + K_xa \quad (32)$$

$$F_r(\emptyset) = K_{rc}ah(\emptyset) + K_{rc}a \quad (33)$$

$$F_a(\emptyset) = K_{ac}ah(\emptyset) + K_{ac}a \quad (34)$$

Yukarıdaki denklemlerde, Ktc, Krc ve Kac bağıl olarak teğetsel, radyal ve eksenel kayma hareketiyle oluşan kesme kuvveti katsayıları, Kte, Kre ve Kae kenar sabitleridir. Ortalama talaş kalınlığı (ha) aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir:

$$h_a = \frac{\int_{\emptyset_n}^{\emptyset_{ex}} c \sin \emptyset d\emptyset}{\emptyset_{ex} - \emptyset_{st}} = -c \frac{\cos \emptyset_{ex} - \cos \emptyset_{st}}{\emptyset_{ex} - \emptyset_{st}} \quad (35)$$

Fener milinde oluşan ani tork değişimi aşağıdaki bağıntı ile bulunur. Aşağıdaki bağıntıda D freze takım çapıdır. Takımdaki kesme kuvvetlerinin yatay, normal ve eksenel bileşenleri yukarıdaki şekilde gösterilen diyagram türetilir.

$$T_c = F_t \frac{D}{2} \quad (36)$$

Takımdaki veya iş parçasındaki anlık bileşke kesme kuvveti aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$F_x(\emptyset) = -F_t \cos \emptyset - F_r \sin \emptyset \quad (37)$$

$$F_y(\emptyset) = F_t \sin \emptyset - F_r \cos \emptyset \quad (38)$$

$$F_z(\emptyset) = F_a \quad (39)$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (40)$$

Frezeleme işleminde kesici takımın iş parçasına girme açıları mevcuttur. Bu açılar ile talaş kaldırma işlemi için gerekli olan güç hesaplanır. Kesici takımın iş parçasına yanaşma açısı (K), kesici takım ile kesici takımın işlediği parçanın düzlemi arasındaki açıdır. Diğer açılar, gs kesici takımın eğimini, gr efektif talaş açısını, gp ve gf eksenel ve radyal kesme

açılarını göstermektedir. Eğim açısının, pozitif veya negatif olması darbeye maruz kalmasına etki eder. Pozitif açılı kesici takımlar ile talaş kesme işleminde gerekli olan güç negatif açılara göre daha küçüktür (Kurşuncu, 2016).

3.2.6 Talaş Oluşumu

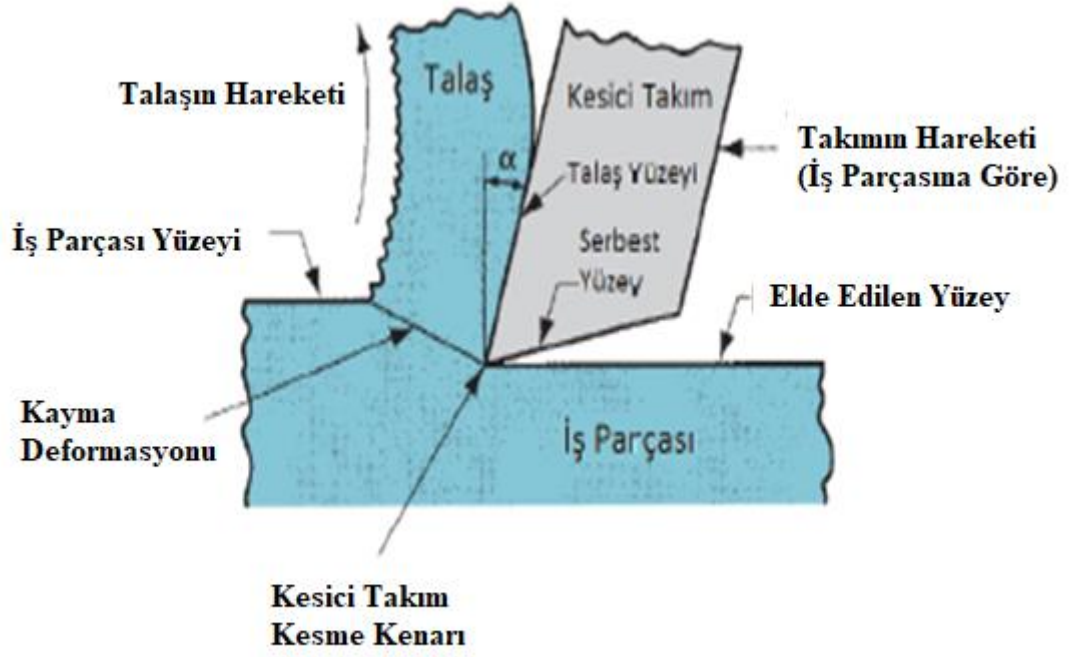
Modern metal kesme işlemleri sonucunda birçok talaş tipi meydana gelmektedir. Sıcaklık ve kesme kuvvetleri, oluşacak olan talaşın şeklini belirlemede büyük rol oynamaktadır. Ham malzemelerin işlenerek değişik talaş tipleri elde etmekte etkili olan parametreler aşağıda gösterilmektedir.

- Talaş kaldırılacak olan malzemenin mekanik özellikleri
- Talaş açısı
- Kesme hızı
- Talaş derinliği
- İlerleme
- Kullanılan kesme sıvısının cinsi ve miktarı
- Kesici takım ile talaş arasındaki sürtünme katsayısı
- Kesme bölgesinde oluşan sıcaklık
- Kesici takım yüzeylerinin yüzey tamlığı (Arık, 2010)

Talaş şekillerinin sınıflandırılması, farklı işleme parametrelerinin etkilemesi sonucu oluşmaktadır. Kesme işlemleri sonucunda üç farklı talaş tipi meydana gelmektedir:

- Kırık (kesintili) talaş
- Yığılma talaş (build-up-edge, BUE)
- Akma (sürekli) talaş

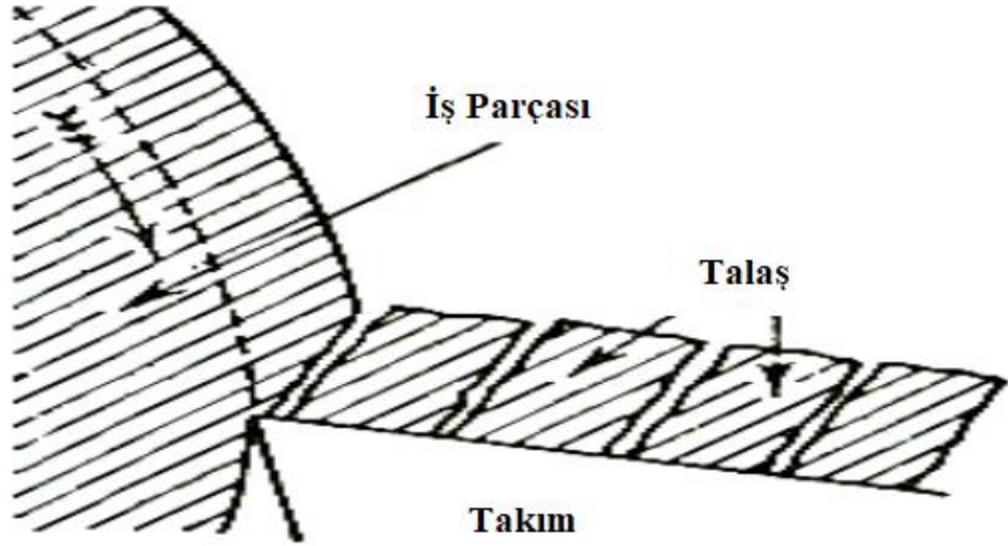
Talaş oluşumunun kesit görünüşü Şekil3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9: Frezeleme işlemindeki talaş oluşumu.

3.2.6.1 Kesintili Talaş

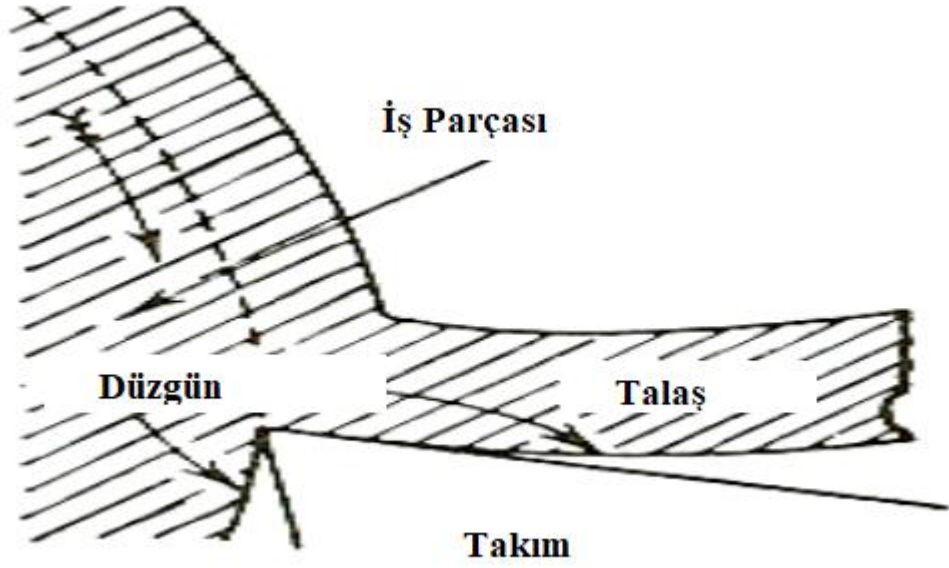
Kesintili talaş, gevrek malzemelerden talaş kaldırılması sonucunda oluşmaktadır. Kesilen talaş kısmı olarak şekillendirilebildiğinden, ilk bozulma bölgesinde kırılma olur ve bu bölgede talaş parçalara ayrılmaktadır. Dökme demir, pirinç, çinko, porselen ve sert plastik gibi kırılğan malzemelerin işlenmesinde meydana gelmektedir (Arık, 2010). Kesme sonucunda istenmeyen bir yüzey pürüzlülüğü meydana gelmektedir (Groover, 2013). Kesintili talaş oluşumunun Şekil3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.10: Frezeleme işlemi sonucu oluşan kesintili talaş oluşumu.

3.2.6.2 Sürekli Talaş

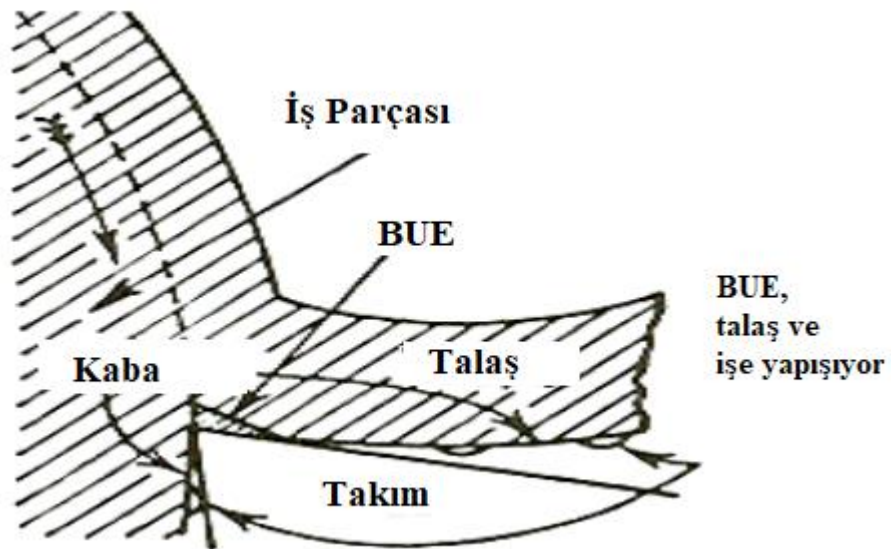
Sürekli talaş, kesici takımın ömrü ve işlemeden sonra oluşan yüzey tamlığı açısından istenilen talaş tipidir. Orta sertlikteki çeliklerin işlenmesi sonucu sürekli talaş tipi elde edilmektedir (Arık, 2010). Bu çeliklerin yüksek hızlarda, düşük ilerleme ve kesme derinliğinin düşük olduğu kesme işlemlerinde meydana gelmektedir (Groover, 2013). İşçi güvenliği ve oluşan talaşın işlenen yüzeyi çizmesi bu talaş tipinin dezavantajları olarak gösterilmektedir (Arık, 2010). Sürekli talaş geometrisi Şekil3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11: Frezeleme işlemi sonucunda oluşan sürekli talaş geometrisi.

3.2.6.3 Yığılma Ağızlı Talaş

Yığılma ağızlı talaş, yumuşak ve sünek malzemelerin düşük veya orta hızlarda işlenmesi sırasında meydana gelmektedir. Yüksek hızlarda, kesici takım kesme işlemine başladıktan sonra yüksek sürtünme katsayısından dolayı kesici takımın ucuna, talaş yüzeyine veya serbest yüzeye yapışır ve orada birikmektedir (Arık, 2010). Bu durumda kesici takımın ömrü kısalmış ve yüzey pürüzlülük değeri yüksek çıkmaktadır (Groover, 2013). Yığılma ağız talaş oluşumu Şekil 3.12 de gösterilmektedir.



Şekil 3.12: Frezeleme işlemi sonucunda oluşan yığılma ağızlı talaş geometrisi.

3.2.7 Sert Metal İşleme

Genel olarak sert metal işlemenin tanımı, 45 HRC sertliğin üzerindeki sertliklere sahip metallerin işlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu işleme, birçok zamanda 58 HRC ile 68 HRC sertlikleri arasındaki metalleri işlemektir. Sert metal işlemede, sertleştirilmiş alaşımli çelikler, takım çelikleri, süper alaşımlar, nitrürlenmiş çelikler, sert krom kaplamalı çelikler ve ısıl işlem görmüş sert metaller işlenmektedir (Davim, 2011). Sert metal işleme, zaman geçtikçe daha kısa üretim zamanları ve yüksek esneklik özelliklerinin önemli hale gelmesi sonucu kullanılmaya başlanmıştır. Bu yenilikçi işleme yöntemi ile esneklik, düşük maliyet ve çevre dostu üretim yapılmasının yanında yüksek yüzey bütünlüğü ve yüzey kalitesinin yüksek olması avantajlı yönleridir (Guo ve Liu, 2002). Sert metal işleme prosesinin gelişmesinde, uygun sert takım tezgâhlarının gelişimi, süper sert kesici takım malzemelerinin gelişimi ve özel şekilde hazırlanan takım tutucular önemli rol oynamaktadır. Sert metal işlemenin bazı avantajları aşağıda gösterilmektedir;

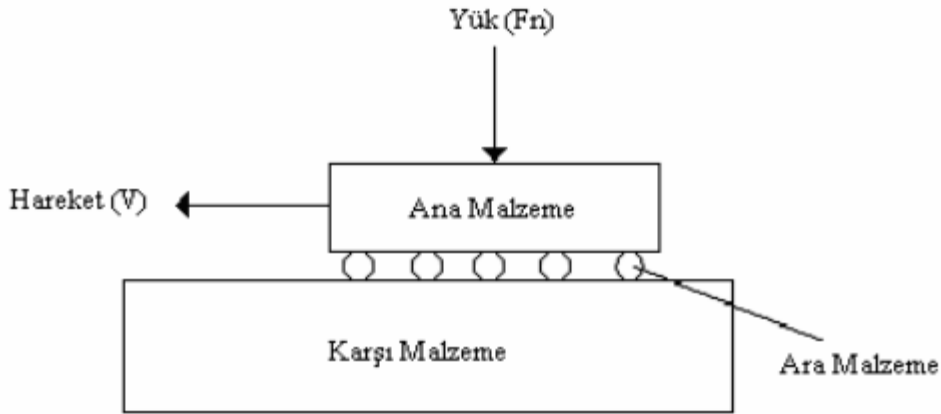
- Karmaşık parça şekillerine kolayca adapte olur
- İş parçasını istenilen formda düzenlemek için farklı işleme yöntemleri gerekmez, sadece sert işleme ile istenilen form elde edilir
- Yüksek talaş kaldırma oranı
- Sert işleme için kullanılan cihazlar yumuşak işleme için de kullanılır
- Düşük takım tezgâhı yatırımı
- Çevre dostu işleme süreçleri
- Birçok durumda soğutucu sıvı kullanılmaz
- Dar bir takım çeşitliliği (Davim, 2011).

3.3 Frezeleme İşlemlerinde Takım Aşınması

3.3.1 Aşınma

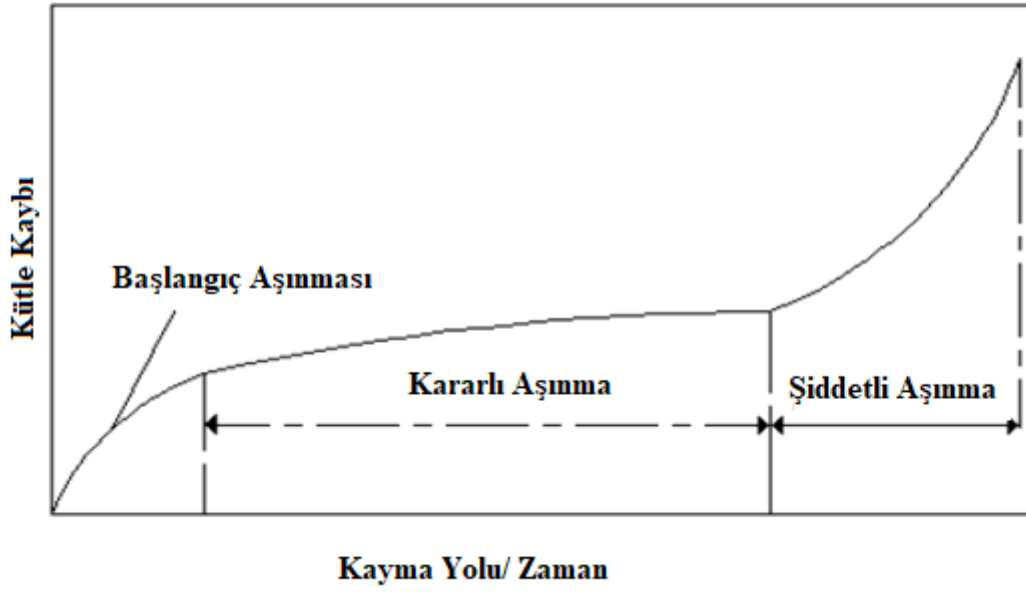
Aşınma, nispi harekete sahip iki katı yüzeyin birbiri ile teması sonucu oluşan mikro kırılmalardan dolayı iş parçasından malzeme ayrılması, kimyasal çözülme veya temas ara yüzünde erime yoluyla iş parçasından malzeme uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır (Halling, 1975 ve Bhushan, 2001). Aşınma, mikro kırılmaların neden olduğu fiziksel

ayırışma ile iş parçasından malzeme uzaklaştırılmasının bir sonucu olarak tanımlanmaktadır (Büyükkelleci, 2008). Tüm aşınma mekanizmalarının katı-katı ara yüzlerde olduğu düşünülmektedir ancak akışkanlar kullanarak da aşınma meydana gelmektedir (Neale, 1995). Aşınmayı etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler; geometrik ve topolojik özellikler, etki eden kuvvet, sıcaklık, kayma hızı, yüzeylerin durumu ve atmosfer şartları olarak gruplandırılmaktadır. Aşınma, önceden tahmin edilebilen ve beklenen bir durumdur. Bundan dolayı birbiri ile temas edebilecek olan parçaların yüzeyleri çeşitli filmler ile kaplanmakta veya temas yüzeyleri yağlayıcı maddeler kullanılarak korunmaktadırlar, ancak uygulanan kuvvetten dolayı koruyucu tabakalar kırılarak parça yüzeylerinin birbirine teması gerçekleşmektedir. Aşınmayı tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir ancak alınacak önlemler ile azaltabilmektedirler (Demirtaş, 2017). Aşınma mekanizmaları, sürtünme sırasında oluşan parametrelerin değişimi göz önünde bulundurularak geliştirilmektedir (Bhushan, 2011). Aşınma mekanizmaları dört ana parametreden oluşmaktadır. Bu parametreler Şekil3.13'te gösterilmektedir.



Şekil 3.13: Aşınma mekanizmasındaki parametreler.

Ana malzeme ve karşı malzemenin ikisine aşınma çifti denilmektedir. Aşınma mekanizmalarındaki ara malzeme, sert taneli, sıvı, gaz ve hava olabilmektedir. Aşınma çifti ve ara malzemelerin tümüne aşınma kombinasyonu denilmektedir. Aşınma olayı, gerçekleşme hızından dolayı zamanla gelişen aşınma ve ani aşınma olarak ikiye ayrılmaktadır. Zamanla değişen aşınma ise kendi içerisinde üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar Şekil3.14'te gösterilmektedir.



Şekil 3.14: Zamanla değişen aşınma zamanları.

3.3.2 Aşınma Mekanizmaları

3.3.2.1 Başlangıç Aşınması

Bu aşınma, malzemede oluşan aşınma mümkün olan en kısa sürede, en zayıf güçte ve normal hızdan düşük hızlarda gerçekleşmektedir. Aşınmayı önlemek amacı ile yüzeyler üzerinde koruyucu tabaka oluşturularak makine parçaları arasındaki sürtünme azaltılmaktadır (Toğuşlu, 2011).

3.3.2.2 Asıl Aşınma

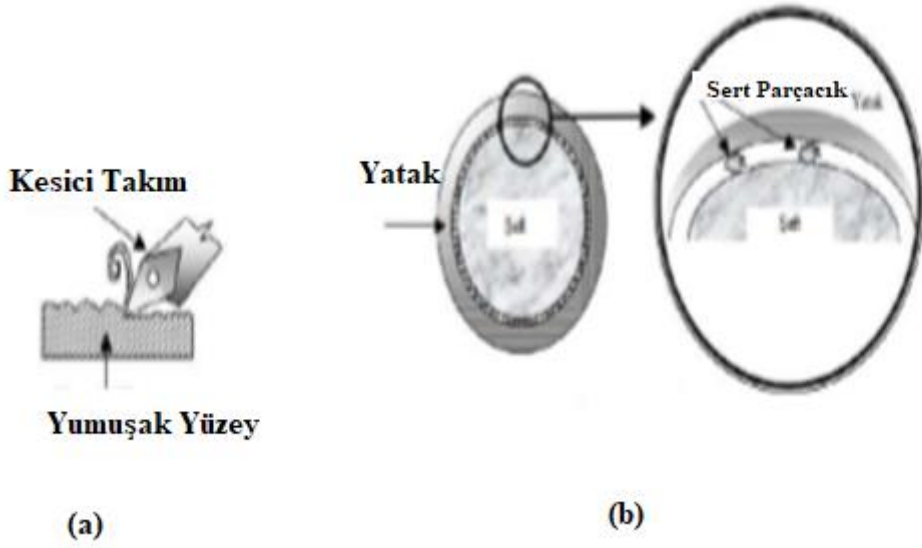
Bu aşamada, makine parçalarının ömürleri belli olmaktadır. Başlangıç aşınmasında malzemeler ne kadar az aşındıysa ve bu aşınma düzgün bir şekilde gerçekleştiyse bu aşamada parçaların ömürleri o kadar uzun olmaktadır. Makine parçaları bu aşamaya gelene kadar aşınmıştır ve ömürlerini tamamlamışlardır. Bu aşamada hızlı bir aşınma olmaktadır. Aniden aşınma, parçalarda hiçbir aşınma olmamış iken bir anda aşınma olmasıdır. Aniden aşınmaya, yanlış malzeme seçimi, yanlış yağlayıcı seçimi ve oluşan ısının dışarı atılamaması neden olmaktadır (Toğuşlu, 2011).

Malzemelerde oluşan aşınmaları minimum seviyeye indirmek için yapılması gereken başlıca kurallar vardır. Bu kurallar;

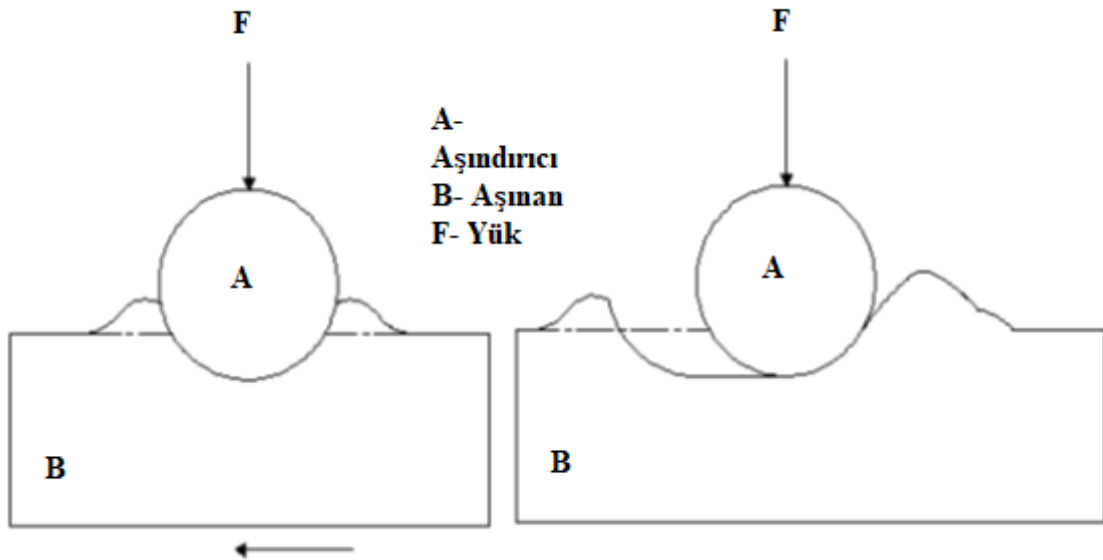
- İki malzemenin birbirine uyguladıkları temas basıncını düşürmek
- Kayma hızının düşük olması
- Yataklama yaparken yüzeylerin pürüzlülükleri düşük malzemeler kullanılması
- Yüksek sıcaklıklardan uzak durulmalıdır
- Sert ve dayanıklı malzemeler kullanılmalıdır
- Sürtünme katsayısı düşük malzemeler kullanılmalıdır
- Yağlayıcı malzemeler kullanılmalıdır (Şafak, 2008).

3.3.2.3 Abraziv Aşınma

Abraziv aşınma, birbirlerine göre bağıl hareket yapan iki malzemenin temas yüzeylerinden birinin diğerine göre sert olması durumunda ara yüzde plastik deformasyon meydana gelmesi ile oluşan aşınma tipidir (Bhushan, 2013 ve Şafak, 2008). Abraziv aşınma mekanizması Şekil3.16'da gösterilmektedir. Abraziv aşınma, genellikle kayma yönüne paralel olarak meydana gelir ve aşınma oluk biçiminde meydana gelmektedir (Bhushan, 2013). Abraziv aşınma, iki durumda meydana gelir. Bu durumlardan ilki, temas eden iki yüzeyin birinin diğerinden çok daha sert olmasıdır. Diğer durum ise iki temas yüzeyi arasına dışardan girebilecek toz, talaş veya malzeme yüzeyleri arasındaki hareketinden dolayı meydana gelmektedir (Şafak, 2008 ve Halling, 1975). Abraziv aşınmaya etki eden parametreler sertlik, aşındırıcı, uygulanan normal kuvvet ve kayma hızı olarak gösterilmektedir (Toğuşlu, 2011). Abraziv aşınma, diğer aşınma türlerine göre daha yaygın olarak görülmektedir (Kurgun, 2014). Abraziv aşınma, iki elemanlı ve üç elemanlı abraziv aşınma olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. İki elemanlı abraziv aşınma, temas eden yüzeylerin birinin diğerinden çok daha fazla sert olması durumunda meydana gelmektedir. Üç elemanlı abraziv aşınma ise temas eden iki yüzey arasına girmiş olan sert parçacıkların hareketi dolayısıyla iki yüzeyde de aşınma meydana getirmektedir (Demirtaş, 2017). İki elemanlı ve üç elemanlı abraziv aşınma mekanizmaları Şekil3.15'te gösterilmektedir.



Şekil 3.15: İki elemanlı (a) ve üç elemanlı (b) abraziv aşınma mekanizmaları.



Şekil 3.16: Abraziv aşınma mekanizması.

3.3.2.4 Difüzyon Aşınması

Difüzyon aşınması, birbiri ile temas halinde olan yüzeylerin arasındaki sürtünmeden dolayı sıcaklık artışı yaşanmakta ve bu sıcaklık artışı kristal kafes içerisindeki atom yoğunluğunun yüksek olan bölgelerden düşük olan bölgelere doğru hareket etmesi sonucunda malzemelerde oluşan aşınma tipi olarak tanımlanmaktadır (Demirtaş, 2017). Bu aşınma mekanizmasındaki en önemli unsur sıcaklıktır (Mamaghani, 2016). Bu aşınmaya uğrayan malzemelerin metalürjik uyumları aşınma miktarını belirlemektedir (Yürekli,

2012). Yüksek kesme hızlarında aşınma maksimum seviyeye çıkmaktadır (Mamaghani, 2016). Sürtünme sırasında uygulanan kuvvet, malzemelerin birbirine temasını sağlar ve temas sağlanan yüzeylerde gerilme yığılmaları görülmektedir. Sıcaklık arttığından dolayı temas bölgelerinde akma ve sürünme meydana gelmektedir. Bunun sonucunda da yüzeyler arasında atom alışverişi gerçekleşmektedir. Bu aşınma, fren balatalarında, uzay araçlarında ve takım tezgâhlarında sıklıkla görülmektedir (Demirtaş, 2017).

3.3.2.5 Adhezyon Aşınması

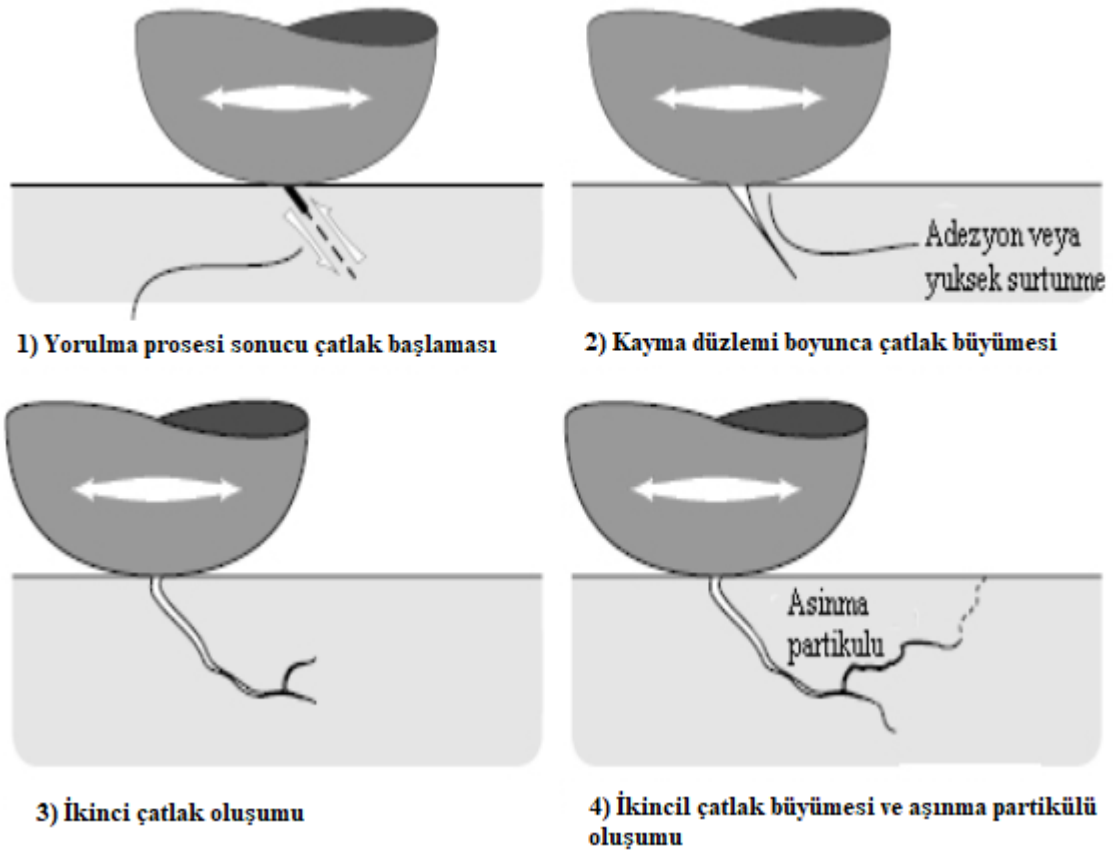
Ahdezyon aşınması, iki nominal düz yüzeyin birbiri ile bağlı hareketi sonucunda yumuşak olan yüzeyden kopan malzemelerin diğer sert yüzeye transferi sonucunda oluşan aşınma tipi olarak tanımlanmaktadır (Bhushon, 2013; Klocke, 2013). Bu aşınmada, temas yüzeyi çok küçük olduğundan dolayı bu temas yüzeylerinde yüksek basınç meydana gelmektedir (Demirtaş, 2017). Temas yüzeylerinde meydana gelen bu basınçtan dolayı, o bölgelerdeki malzemeler akma sınırına ulaşır ve mikro bağlar oluşmaktadır. Hareket devam ettiği için sürekli mikro bağlar koparak aşınma meydana gelmektedir (Şafak, 2008). Malzemelerin sertlikleri birbirine eşit ise iki yüzeyde de aşınma meydana gelmektedir (Demirtaş, 2017). Bazı durumlarda iki yüzey arasında malzeme transferi oluşmaktadır. Bundan dolayı malzemeler yorulmakta ve ilerleyen süreçte kırılma meydana gelmektedir (Bhushan, 2013). Bu aşınma da meydana gelen ciddi aşınmalardan dolayı en ciddi aşınma mekanizması olarak gösterilemektedir. Bu aşınmayı minimum seviyeye düşürmek için yapılması gerekenler;

- Benzer malzeme çiftlerinden korunmak
- Sert malzeme seçmek
- Yağlama yapılmalıdır
- Yüzey temizliğinin kontrol edilmesi
- Yüzey pürüzlülüğü
- Sistemin aşırı ısınmasını engellemek (Demirtaş, 2017; Kurgun, 2014)

Bu aşınma genellikle yataklarda, dişlilerde, kam mekanizmalarında ve demir yollarında meydana gelmektedir (Büyükkelleci, 2008).

3.3.2.6 Yorulma Aşınması

Yorulma aşınması, malzemelerin maruz kaldıkları titreşim yüklerinin zamanla değişmesi sonucunda oluşan aşınma türüdür. Malzeme yüzeyinin maruz kaldığı ve sürekli değişen kuvvetlerden dolayı malzeme yüzeyinin altında mikro çatlaklar meydana gelmekte ve bu mikro çatlaklar zamanla ilerleyerek yüzeye varmakta ve daha sonrasında yüzeyden küçük parçaların kopmasına neden olmaktadır. Bu küçük kopmalardan sonra büyük çukurlar oluşmakta ve buna yorulma aşınması denilmektedir (Karaoğlu, 2006). Bu aşınma türü genellikle rulmanlı yataklarda, dişli çarklarda, demiryolu raylarında, soğuk sıcak haddeleme işlemlerinde görülmektedir (Toğuşlu, 2011).



Şekil 3.17: Belirli çevrim altındaki bir yüzeyde meydana gelen çatlak oluşumları.

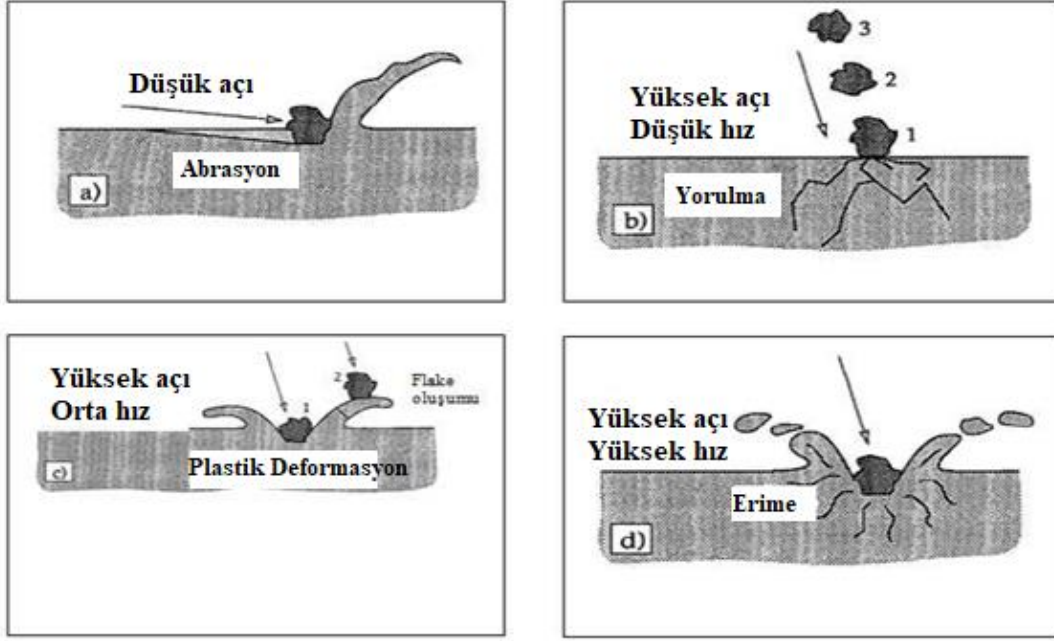
3.3.2.7 Oksidasyon Aşınması

Oksidasyon aşınması, yağlama kullanılmadan metal malzemelerin birbirini üzerinde kayma işlemlerinde hava veya oksijen aracılığı ile oluşan oksit tabakalarının kayma işlemi

devamında metaller üzerinden koparılmasıdır (Bayer, 2004). Atmosferde bulunan oksijen, metallerin sürtünme katsayılarını ve metallerin aşınma oranlarını değiştirmektedir. Farklı yük derecelerinde çeliklerin kuru kaymasında oluşan parçaların kimyasal bileşimlerinde değişiklik görülmekte ve kayma hızından dolayı da aşınma meydana gelmektedir. Sıcak haddeleme ve çelik çekme işlemlerinde görülmektedir.

3.3.2.8 Erozyon Aşınması

Erozyon aşınması, malzeme yüzeyine sıvı veya katı partiküllerin çarpması sonucunda malzemede oluşan aşınma türüdür (Demirtaş, 2017). Bu aşınma abrasif erozyon aşınma ve çarpma erozyon aşınma olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Abrasif erozyon aşınmada aşındırıcı parçacıklar aşınma gerçekleşecek olan malzemenin yüzeyine paralel hareket etmektedir (Toğuşlu, 2011). Bu şekildeki aşınma mekanizmalarında aşınma daha kolay gerçekleşmektedir. Aşındırıcı parçacıklar küçük açı ile geldiğinden dolayı malzeme üzerinde birden fazla noktaya temas etmektedir. Çarpma erozyon aşınması, aşındırıcı parçacıkların aşınma olacak olan malzeme üzerine dik bir şekilde teması sonucunda meydana gelmektedir. Bu aşınmada, aşındırıcı parçacıkların özellikleri, aşınmaya maruz kalan malzemenin özellikleri ve ortam özellikleri önemlilik arz etmektedir (Toğuşlu, 2011). Aşındırıcı parçacıkların hızları önemlidir. Partiküllerin düşük hızlarda hareket etmesi, malzemede plastik deformasyona sebep olur ve yüzey yorgunluğunun istenilen seviyeye ulaştıramamaktadır. Partiküller malzemeye büyük açı ve yüksek hız ile geldiğinde ise malzemede erime görülmektedir (Kurgun, 2014). Bu aşınma tipleri, gaz türbinlerinin kanatlarında, uçakların uçmaları esnasında maruz kaldıkları toz bulutlarından dolayı meydana gelmektedir (Demirtaş, 2017). Erozyon aşınma türleri Şekil3.18'de gösterilmektedir.



Şekil 3.18: Erozyon aşınmasında oluşabilecek aşınma mekanizmaları.

3.3.2.9 Korozyon Aşınması

Korozyon aşınması, malzeme yüzeylerinin korunması için kullanılan ince film kaplamaların zarar görmesi durumunda malzeme yapısındaki elementler ile anfinitesi yüksek olan korozyon elementlerinin kimyasal bileşik oluşturarak malzeme üzerinde oluşturdukları korozyon tabakasının sürtünme işleminin devam etmesi ile malzeme yüzeyinden parça kaldırılması sonucunda oluşan aşınma türüdür (Demirtaş, 2017). Oksijen en önemli korozyon ortamlarından biridir (Bhushan, 2013). Bu aşınma tipinde hem korozyon oluşması hem de sürtünme mekanizmasının devreye girmesi gerekmektedir (Halling, 1975). Korozyon aşınmasında, ana malzemenin içerisinde kırılma meydana gelmez, sadece yüzeyde oluşan korozyon tabakasında kırılma meydana gelmektedir (Demirtaş, 2017). Korozyon aşınması kimyasal korozyon, elektrokimyasal korozyon ve sürtünme oksidasyonu olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Malzemelerin yüksek sıcaklık ve gaz ortamlarında oksitlenmesi sonucu kimyasal korozyon, çözelti ortamında oksitlenmesi sonucu elektrokimyasal korozyon meydana gelmektedir. Sürtünme oksidasyonu ise mekanik aşınma ile korozif aşınmanın bir arada olduğu durumlarda görülmektedir (Toğuşlu, 2011). Korozif aşınma bazı önemli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler aşağıdaki gibidir;

- Temas yüzeylerinin mikro yapısına ve kimyasal bileşimine,

- Temas yüzeylerinin porozite ve rijitliğine,
- Tane sınırlarına
- Temas yüzeylerinde meydana gelen çalışma sertleşmesinin derecesine,
- Malzeme yüzeylerinde bulunan gerilme durumlarına,
- Temas bölgelerinde meydana gelen sıcaklık ve basınç (Kurgun, 2014)

3.3.3 Kesici Takım Aşınması

Kesici takım yüzeyleri, kesme işlemi esnasında hem iş malzemesi hem kaldırılan talaş ile etkileşim içerisinde. Bu etkileşim esnasında oluşan yüksek ısı ve basınçtan dolayı kesici takımda aşınma meydana gelmektedir (Hocheng, 2012). Kesici takım aşınması, işlenecek olan parçanın malzeme cinsine, kesme işlemi parametrelerine, soğutma sıvısına, takım geometrisine ve takım tezgâhının stabilitesine bağlıdır (Abdel ve El-Hofy, 2014). Kesici takım kenarının aşınması kısa ya da uzun zaman içerisinde kesici takımın ömrünü tamamlamasına sebep olmaktadır. Kesici takımda oluşan aşınmalar kısa zamanda ve büyük ölçüde oluyor ise yapılan kesme işlemi için doğru kesici takımın seçilmediğini göstermektedir. Kesici takım aşınması sonucunda, yüzey pürüzlülük değerlerinde, kesme kuvvetlerinde değişiklik görülmesi, kesme işlemi için doğru kesici takımın seçilmediğini göstermektedir. Kesici takım aşınması sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinde, kesme kuvvetlerinde ve kesme sıcaklıklarında artış görülmektedir. Kısacası kesme işleminin veriminin düştüğü görülmektedir (Hocheng, 2012).

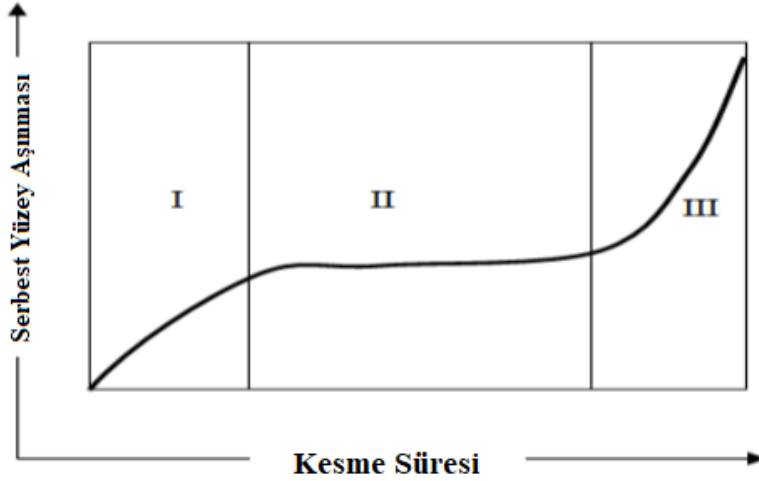
3.3.4 Kesici Takım Aşınma Tipleri

3.3.4.1 Serbest Yüzey Aşınması

Serbest yüzey aşınması, kesici takımın yan yüzeyi ile iş parçası arasındaki sürtünmeden dolayı meydana gelen aşınma tipidir. Serbest yüzey aşınması görülen kesici takımlarda diğer aşınma türlerine göre daha uzun kesici takım ömrü görülmektedir (Kaya, 2009). Bu aşınma, abraziv aşınma mekanizmasından dolayı meydana gelen bir kesici takım aşınma tipidir (Yürekli, 2012). Şekil3.19'da serbest yüzey aşınmasının adımları gösterilmektedir. Birinci bölgede aşınma diğer bölgelere nazaran daha fazla görülmektedir. Bu durum kesici takım ile iş parçası arasındaki boşluğun çok küçük olmasından kaynaklanmaktadır. İkinci

bölgede aşınma durağan bir hareket göstermektedir. Üçüncü bölgede ise kesme işlemindeki sıcaklık ve kesme kuvvetlerinin artması sonucu kesici takımdaki aşınma artış göstermektedir. Üçüncü bölgenin sonundaki kesme işlemlerinde kesici takıma uygulanan kuvvetler artmakta ve kesici takımın ucu kırılmaktadır. Bunu sonucunda kesici takım ömrünü tamamlamış olmaktadır (Kaya, 2009). Serbest yüzey aşınmasının ölçümü kolaydır. 20.yy da serbest yüzey aşınması ölçmek için bir formül geliştirilmiştir. Bu formül kırk bir numaralı formülde gösterilmektedir. Bu formüldeki V_c kesme hızı, t_l ise takım ömrünü göstermektedir. Denklemdaki C ve n sabitleri ise frezeleme, tornalama ve delme işlemlerine göre farklılıklar göstermektedir (Kaya, 2009).

$$V_c t_l^n = C \quad (41)$$



Şekil 3.19: Serbest yüzey aşınma süreci.

3.3.4.2 Krater Aşınması

Krater aşınması, kesici takım sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda talaş yüzeyinde meydana gelen çökmeden dolayı oluşan aşınma tipidir (Kaya, 2009). Bu aşınma türü genellikle abraziv aşınma ve difüzyon aşınması sonucunda meydana gelmektedir (Yürekli, 2012). Bu aşınma türünde, artan sıcaklıktan dolayı kesici takım ile talaş yüzeyi arasında kimyasal bozulma meydana gelmektedir. Bu kimyasal olaydan dolayı kesici takımdaki karbon atomları koparak talaşa geçmektedir. Krater aşınması kesici takım kırılana kadar devam etmektedir. Bu aşınmadaki kesme kuvvetleri sürekli azalmaktadır (Kaya, 2009).

3.3.4.3 Çentik Aşınması

Çentik aşınması, kesici takımın kesme kenarında kesme derinliği kadar büyüklükte oluşan oluk biçiminde aşınma tipidir (Kaya, 2009). Sert malzemelerin işlenmesinde görülmektedir. Çentik aşınmasının ilerlemesinden dolayı yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır (Yürekli, 2012).

3.3.4.4 Plastik Deformasyon

Plastik deformasyon, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklıktan dolayı ortaya çıkan kesici kenar aşınmasıdır. Kesici kenarda şişlik oluşması sıcaklığın artması, kesici kenar geometrisinin bozulması, talaş akışının değişmesi ve bu parametreler kritik bir seviyeye geldiğinde ise takımın kırılmasına sebep olmaktadır. Kesici takım geometrisi bu durumu önlemedeki en önemli faktördür (Yürekli, 2012).

3.3.4.5 Yığılma Talaş Aşınması

Yığılma talaş aşınması, kesme işlemi esnasında artan sıcaklık ve kesme hızından dolayı meydana gelen kesici takım aşınmasıdır (Yürekli, 2012). Kesme işlemi esnasında iş parçasından kopan parçalar kesici takımın kesme ucuna yapışmaktadır. Bu durum olumsuz bir durum olarak gösterilmektedir. Kesici uca talaş yapışması, yapılan kesme işleminin sonucunda oluşan parçanın yüzey pürüzlülüğünün yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Ancak bu aşınmaya sebep olan parametreler bilindiğinden dolayı önlenmesi diğer aşınmalara göre daha kolay olmaktadır (Mamaghani, 2016). Bu aşınma da kesici takım ve iş parçasının benzerlikleri yığıntı talaş oluşumunda önemli rol oynamaktadır (Yürekli, 2012).

3.3.4.6 Kırılma

Kırılma diğer aşınma mekanizmaları sonucunda oluşmaktadır ve kesici takımın ömrünü tamamladığı anlamına gelmektedir (Yürekli, 2012). Kesme parametreleri ve kesici uç geometrisinin düzgün seçilmesi ile kesici takımın ömrü uzatılması mümkündür (Kurşuncu, 2016).

3.3.4.7 Isıl ve Mekanik Çatlaklar

Kesme işlemi sırasında ortaya çıkan ısı enerjisinin dağılımı sonucunda oluşan aşınma türüdür. Bu çatlaklar, kesici kenarlarda dik bir şekilde meydana gelmekte ve kesici takım malzemesi zorlanmaktadır. Zorlanma belli bir süre devam etmekte ve belli süre sonra kesici takım kırılmaktadır. Özellikle bu çatlaklar frezeleme işlemlerinde görülmektedir. Mekanik çatlaklar, kesme işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin ani değişimleri sonucunda meydana gelmektedir. Çatlaklar kesici kenara paralel olarak meydana gelmektedir (Mamaghani, 2016). Kesme işleminde oluşan kesme kuvvetleri bir anda kesici takımı kırarak kuvvette olmasa dahi kesme kuvvetlerinde sürekli değişim olmasından dolayı kırılma meydana gelmektedir (Yürekli, 2012).

3.3.5 Takım Ömrü

Kesici takım ömrü, kesici takımların istenilen toleranslar çerçevesinde talaş kaldıramaması ve istenilen yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilemediği seviyeye gelene kadar kesici takımın kesme işleminde geçirdiği zamana takım ömrü denilmektedir (Mamaghani, 2016). Kesici takımların kötü sonuç verebileceği üç durum mevcuttur. Bu durumlar kırılma hataları, sıcaklık hatası ve kademeli aşınmadır. Kırılma ve sıcaklık hataları kesici takımın aniden kırılmasına sebep olduğundan dolayı istenmeyen durumlar arasında gösterilmektedir. Kademeli aşınma ise kesici takım ömrünü yavaş yavaş tamamlaması olarak tanımlanmaktadır. Bundan dolayı kesici takımın kademeli aşınmaya maruz kalması daha avantajlı görülmektedir (Mamaghani, 2016; Küçük, 2017). Kesici takımın ömrünü arttırmak için uygun kesme hızları seçilerek kesme işlemi sırasında oluşan ısının kesme sisteminden uzaklaştırılması gerekmektedir (Küçük, 2017). Kesici takımın ömrünü önceden tahmin etmek için kullanılan bazı yöntemler mevcuttur. Taylor yöntemi diğer yöntemler arasında en çok kullanılan yöntem olarak göze çarpmaktadır (Mamaghani, 2016).

$$\frac{v_c}{v_r} = \left(\frac{T_r}{T}\right)^n v_c T^n = v_r T_r^n \quad (42)$$

$$V_c \cdot f_z^x \cdot a_r^y \cdot T_{VB}^n = C_{VB} \cdot VB^m \quad (43)$$

Yukarıdaki denklemlerde;

N:kesici takım malzemesi için belirtilen bilimsel sabit,

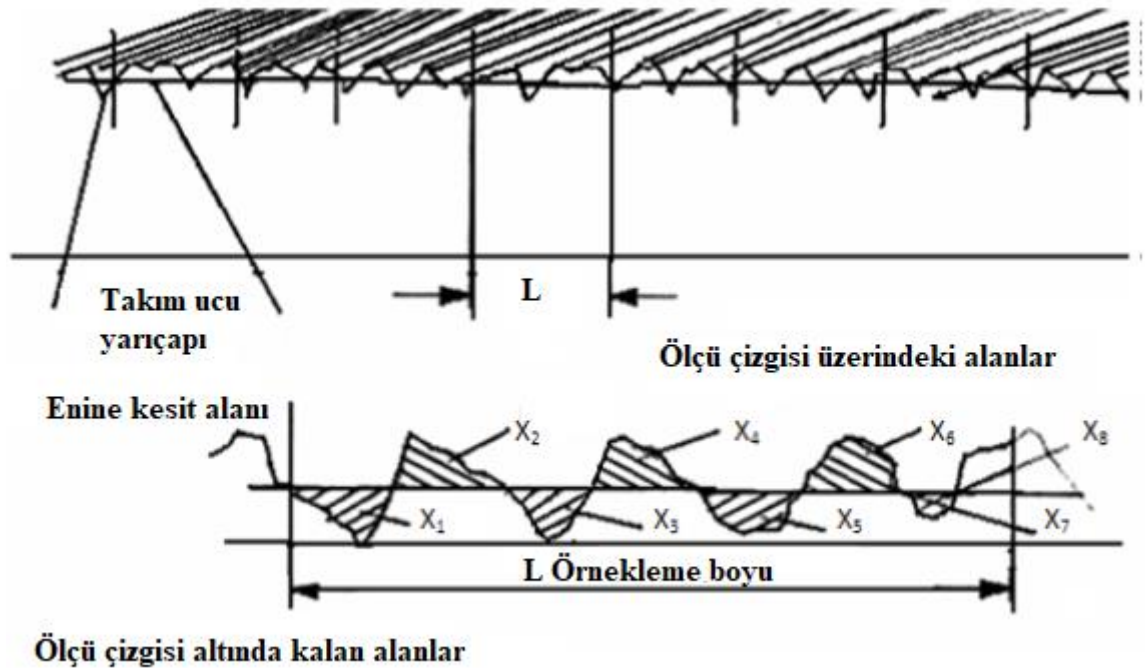
Vc: Kesme hızıdır,

T: Takım ömrü,

Vr: Bilinen takımın ömrünü Tr'ye ulaştıran referans hızıdır (Davim, 2011).

3.3.6 Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, kesme işlemi sırasında kesici takım ile kesilen malzeme arasındaki fiziksel, kimyasal, ısıl faktörler ve kesme mekanizmasının titreşimlerinden dolayı yüzeyde meydana gelen dikey sapmaların aritmetik ortalaması olarak tanımlanmaktadır (Groover, 2013; Arık, 2010; Şah, 2018). Yüzey pürüzlülüğünü gösteren üç boyutlu resim Şekil3.20'de gösterilmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün hesaplanması ise kırk dört ve kırk beş numaralı denklemlerde gösterilmektedir.



Şekil 3.20: Frezeleme işlemi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülükleri.

$$R_a = \frac{1}{L} \int |x| dx \quad (44)$$

$$R_a = \frac{|x_0| + \dots + |x_n|}{n} \quad (45)$$

Bu denklemdeki X_0 ve X_n yüzey pürüzlülüklerinin değerleri ve “n” ise işlenen yüzeydeki pürüzlülük sayısı olarak gösterilmektedir (Özay, 2009). Yüzey pürüzlülüğüne etki eden sebepler aşağıda gösterilmektedir;

- Takım tezgâhlarının yeterli rijitlikte olmaması
- İlerleme hızındaki düzensizlikler
- Malzemenin yapısal bozukluğu
- Takım tutucu ve takım ucunun rijit olmaması
- Kesici takımın tasarımı
- Takım geometrisi
- Kesme parametreleri
- Takımların yanlış konumlandırılması ve malzemenin bağlanma hataları (Şah, 2018).

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

4.1 Metod

4.1.1 İşleme Parametreleri

Yapmış olduğumuz çalışmada işleme parametreleri olarak üç farklı hız, üç farklı adım ve üç farklı yağlama miktarı kullanılmıştır. Bu işleme parametrelerini minitab taguchi deney tasarımında L9 deney tasarımına göre düzenleyerek en uygun 9 kesme deneyini belirlemiş ve bu deney tasarımına göre deneylerimizi tamamlamış bulunmaktayız.

Tablo 4.1: AISI D2 çeliğinin işlenebilirliğinin araştırılmasında kullanılan kesme parametreleri.

| Hız | Adım | Yağlama |
|-----|-------|---------|
| 75 | 0,050 | 50 |
| 75 | 0,075 | 100 |
| 75 | 0,1 | 150 |
| 100 | 0,050 | 100 |
| 100 | 0,075 | 150 |
| 100 | 0,1 | 50 |
| 125 | 0,05 | 150 |
| 125 | 0,075 | 50 |
| 125 | 0,1 | 100 |

4.1.2 Taguchi L9 Deney Tasarımı

Deney tasarımı, hedeflenen veya araştırılan sonuçları ve bu sonuçlardan meydana gelebilecek olan sapmaları doğru bir şekilde analiz etmek için kullanılan deney grubunu en etkili şekilde tasarlayarak daha az deney ile doğru sonucu bulmakta kullanılmaktadır.

Normal şartlarda deney tasarımı olmadan bizim yapmamız gereken deney sayısı yirmi yedidir. Ancak Taguchi'nin deney tasarım matrislerinde ortogonal dizinler kullanması yirmi yedi deneyin dokuz deneyde yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu deney tasarımlarını kullanmak araştırmacılara zaman ve maddi açıdan pozitif anlamda etkiler sağlamaktadır (Erdem vd., 2010).

4.1.3 Minimum Quantity Lubrication (MQL) Sistemi

MQL sistemi üzerinde ayarlanabilir düğmeler, kullanılacak yağ miktarını ve yağlayıcı sıvının akacak olduğu zaman aralıklarını ayarlanabildiği bir sistemdir. Yağlayıcı sıvının tek seferde püskürtülecek miktarını ayarlamak mümkündür. MQL sistemi Şekil4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi.

4.2 Materyal

4.2.1 İş Parçası

Isıl işlem görmüş ve sertleştirilmiş malzemeler, yüksek mukavemetlerinden dolayı imalat sektöründe tercih edilmektedir (Şirin vd., 2012). Genellikle takım çelikleri, diğer çelikler ve metal malzemeleri şekillendirmek için kullanılır. Çalışma koşullarının gerekliliklerini yerine getirmek ve bu özellikleri uzun süre boyunca karşılamak, bu malzemelerin en

önemli özelliği olarak öne çıkmaktadır (Yıldızlı vd., 2005). Yüksek karbonlu çelik bir malzeme olan AISI D2 çeliği, yüksek aşınma direnci, tokluk ve sertleşme kabiliyetine sahiptir (Şirin, 2010 ve Çiçek vd., 2012). AISI D2 takım çeliği, D3, D4 ve D7 çeliklerine kıyasla düşük karbon içeriğine sahiptir. Bu özellikte malzemenin işlenmesini kolaylaştırır. 54HRC-62HRC sertliğe sahip AISI D2 farklı yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir (Sharma vd., 2014; Koshy vd., 2002; Arsecularatne vd., 2006; Karabatak vd., 2016).

İş parçası malzemesi olarak 152x103x80mm boyutlarındaki AISI D2 çeliği kullanılmaktadır. Sertlik 57 HRC olarak ölçülmüştür. İş parçası malzemesinin bazı mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimi sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: AISI D2 çeliğinin akma dayanımı, çekme dayanımı ve uzama oranı.

| Akma Dayanımı | Çekme Dayanımı | Elastiklik (%) |
|---------------|----------------|----------------|
| 1532 MPa | 1736 MPa | 16 |

Tablo 4. 3 AISI D2 çeliğinin kimyasal kompozisyonu.

| C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | V |
|-------|------|------|-------|--------|-------|------|-------|
| 1,575 | 0,32 | 0,30 | 0,024 | 0,0020 | 11,70 | 0,74 | 0,960 |

4.2.2 İşleme Merkezi

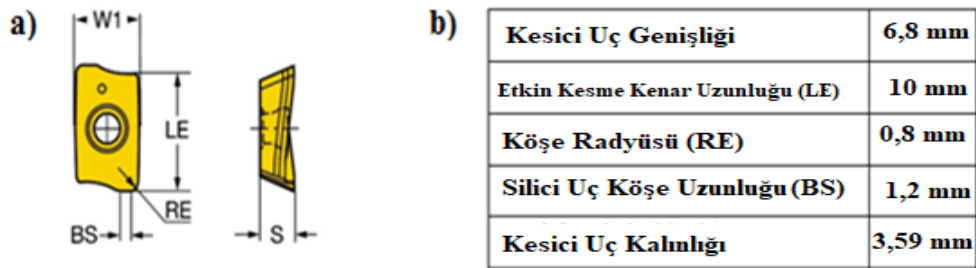
Frezeleme işlemleri üç eksenli Falco VMC 850 CNC dikey işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Dik işleme merkezi Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Dik işleme merkezi (CNC).

4.2.3 Kesici Takım

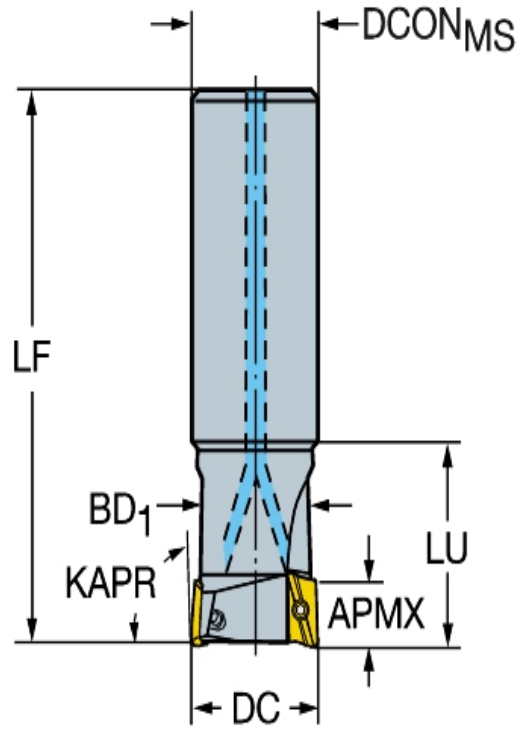
Bu tez çalışmasında, AISI D2 çeliğinin frezelemesi işleminde sinterlenmiş karbür kesici takımların ömrünü artırmak ve kesme performansını iyileştirmek amacıyla testler yapılmaktadır. Çalışmalarda Sandvik marka (R390-11 T3 08M-PM 1010) sinterlenmiş karbür kesici takımlar kullanılmaktadır. Ticari olarak üretilen karbür kesici takım üzerinde kaplama malzemesi olarak PVD yöntemi ile TiAlN ince film kaplanmaktadır. Kesici takım 10 mm maksimum kesme derinliğine ve 0,8 mm açısına sahiptir. Şekil4.3'te kesici takımın boyutları gösterilmektedir.



Şekil 4.3: Frezeleme işlemlerinde kullanılan kesici takım (a) ve boyutları (b).

4.2.4 Takım Tutucu

Frezeleme işleminde Sandvik firmasından temin edilen R390-025A25-11L kodlu takım tutucu kullanılmaktadır. 120 mm takım boyu ve 25 mm kesme çapına sahip takım tutucu üzerinde kesici takım montajının yapılacağı 2 adet kesme kenarına sahiptir. Bu özelliklerin yanı sıra 32 mm kullanılabilir uzunluğa sahip olan takım tutucu 5,5 mm maksimum kesme derinliğine ve 1 mm maksimum dalma derinliğine sahiptir. Şekil 4.4'te takım tutucu geometrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.4: Frezeleme işlemlerinde kullanılan takım tutucu.

4.2.5 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

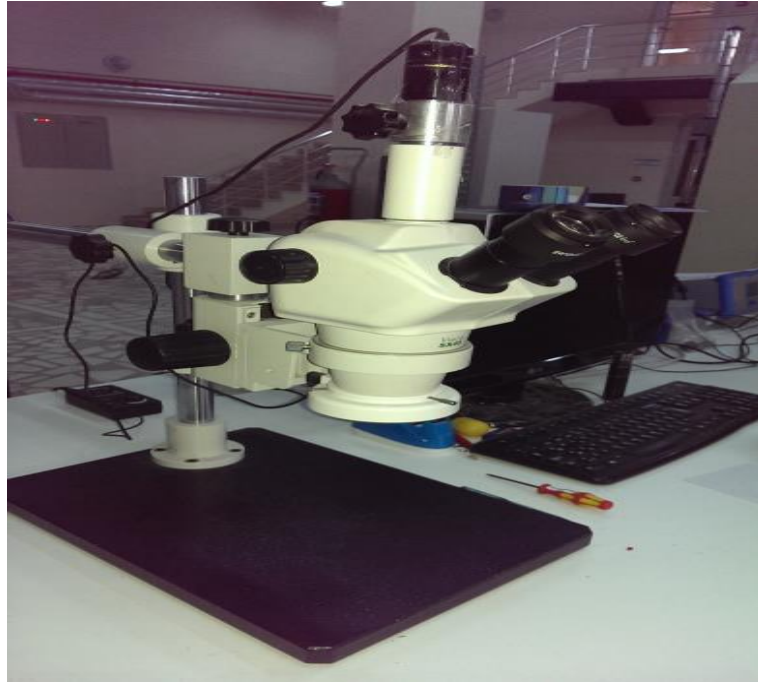
Kullanış olduğumuz yüzey pürüzlülük cihazı, Mitutoyo SurfTest SJ-310 marka ve modeli pürüzlülük ölçüm cihazıdır. Kullanmış olduğumuz pürüzlülük cihazı geniş ölçüm özellikleri, kolay kullanım, çeşitli analiz özellikleri, portatif ve kompakt özellikleri ile donatılmış bir yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazıdır. Şekil 4.5'te yüzey pürüzlülük cihazı görülmektedir.



Şekil 4.5: Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.

4.2.6 Stereo Zoom Mikroskop

Kesici takımlarda frezeleme işlemleri yapıldıktan sonra oluşan aşınma miktarlarını görüntülemek için Vision Sx 45 Stereo Zoom Mikroskobu kullanılmıştır. Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Vision SX 45 stereo zoom mikroskop.

4.2.7 Taramalı Elektron Mikroskobu

Kesici takımın aşınma görüntüleri ve aşınma mekanizması EDS özelliğine sahip taramalı elektron mikroskobu ile belirlenmektedir. Taramalı elektron mikroskobu yüksek büyütme oranına sahiptir. Kullanılan taramalı elektron mikroskobunun markası MIAI3 TESCAN'dır. Taramalı elektron mikroskobunun görüntüsünü Şekil 4.7'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7: MIAI3 TESCAN model taramalı elektron mikroskobu.

4.2.8 Dinamometre

Talaş kaldırma işlemleri sırasında oluşan kesme kuvvetlerini ölçmek için KISTLER marka dinamometre ile kullanılmıştır. Dik işleme merkezine monte edilen aparatı ile kesme kuvvetleri elde edilmektedir. Elde edilen kesme kuvvetleri DynoWare yazılımı ile dijital ortamda kesme kuvveti grafikleri elde edilmektedir. Şekil 4.8'de kesme kuvvetleri ölçümünde kullanılan cihazlar ve aparatları gösterilmektedir.



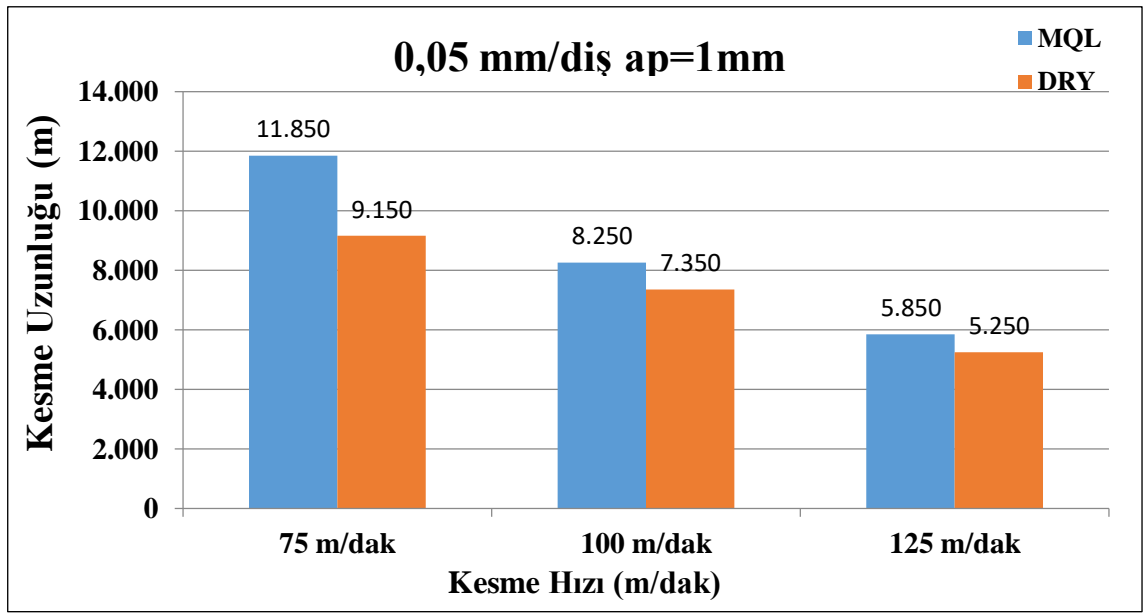
Şekil 4.8: KISTLER 9757B dinamometre.

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Takım Ömürleri

5.1.1 $f_z = 0,05$ mm/diş Kesme Adımı İçin Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Takım Ömürlerinin Kıyaslanması



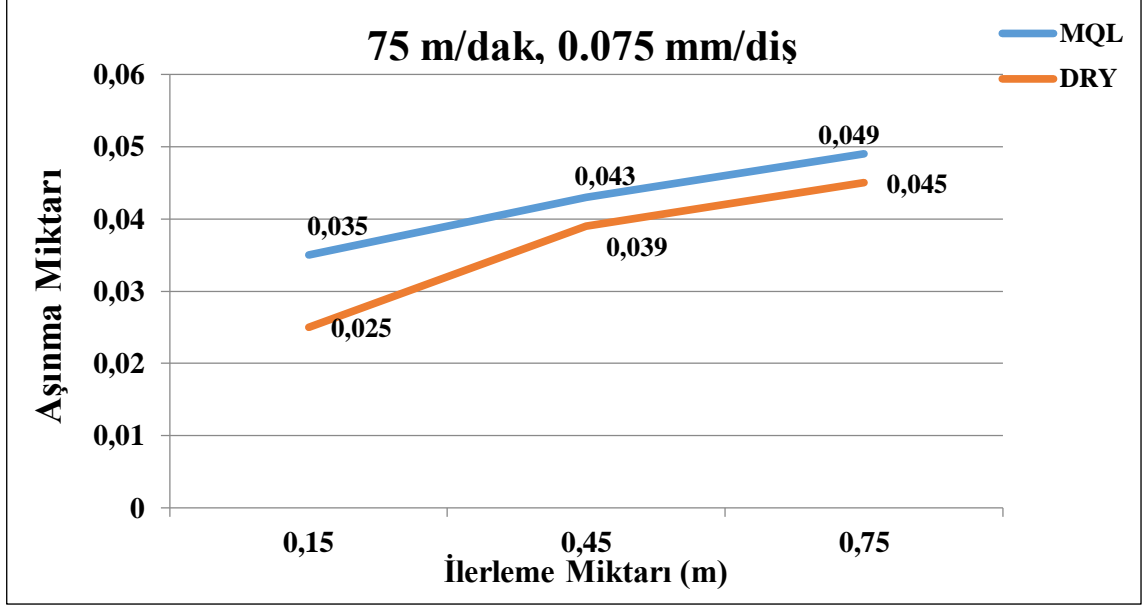
Şekil 5.1: 0,05 mm/diş kesme adımında takım ömürlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.1’de $f_z=0,05$ mm/diş kesme adımında, 75 m/dak, 100 m/dak ve 125 m/dak kesme hızlarında MQL sistemi ve kuru kesme şartları altında elde edilen kesme ömürleri gösterilmektedir. MQL sistemi ile kesme sıvısı kullanıldığında, kaplamalı karbür kesici takım ile yüksek kesme koşullarında daha iyi sonuç verdiği görülmektedir (Elmunafi, 2015). Tüm kesme hızlarında MQL şartları altında yapılan işlemlerde kuru kesmeye oranla takım ömürlerinde artış görülmektedir. En iyi takım ömrü 11.85 m ile 75m/dak kesme hızı, 0,05mm/diş adım ve 50ml/saat yağlama parametrelerinde elde edilmektedir. Kesici takımların 75-100-125 m/dak kesme hızında kuru koşullar altındaki kesme işlemlerinde elde edilen kesme uzunlukları sırasıyla 9.15 m, 7.35 m ve 5.25 m’dir. Aynı kesme hızlarında MQL koşulları altında elde edilen kesme uzunlukları ise sırasıyla 11.85 m, 8.25 m ve 5.85 m’dir. 75m/dak, 100m/dak ve 125m/dak kesme hızlarında MQL şartları

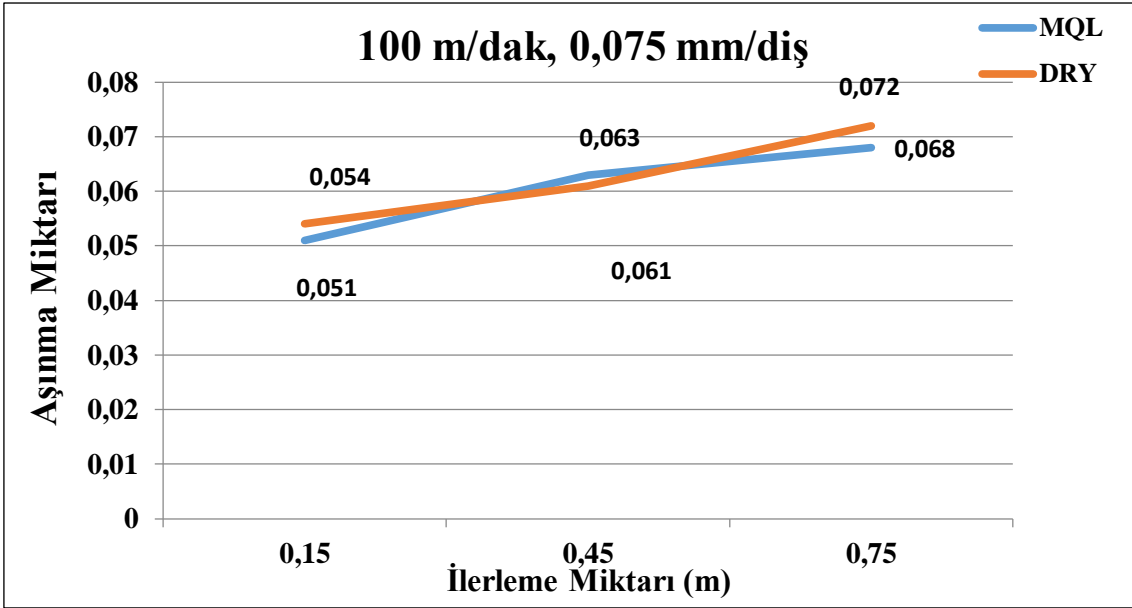
altında elde edilen kesme takım ömürleri kuru kesmeye oranla sırasıyla %29,5, %12,24 ve %11,42 artış göstermektedir. Tüm kesme parametrelerinde MQL etkisiyle takım ömürlerinde kuru kesme koşullarına oranla artış görülmektedir (Liao vd., 2007).

5.1.2 $f_z = 0,075$ mm/diş Kesme Adımı İçin Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Takım Aşınma Miktarlarının Kıyaslanması

Şekil 5.2'de $f_z = 0,075$ mm/diş kesme adımında, 75 m/dak kesme hızı ve 0,5mm kesme derinliği parametreleri kullanılarak MQL sistemi kullanılarak ve kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemleri sırasında ilk beş paso işleme sonucunda kesici takımda meydana gelen aşınma miktarları gösterilmektedir. MQL sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemlerinin ilk pasosunda kesici takımda meydana gelene aşınma miktarı kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen aşınma miktarından fazla olduğu görülmektedir. Ancak kuru kesme koşulları altında elde edilen takım aşınma miktarlarındaki artış oranı MQL sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemlerinde görülmekte olan takım aşınma oranlarından yüksektir. Bu sonuçta bize MQL sistemi kullanılarak yapılan freze işlemleri sonucunda elde edilen kesici takım ömürlerinin, kuru kesme koşulları altında yapılan freze işlemleri sonucunda elde edilen kesici takım ömürlerinden yüksek olduğu görülmektedir.



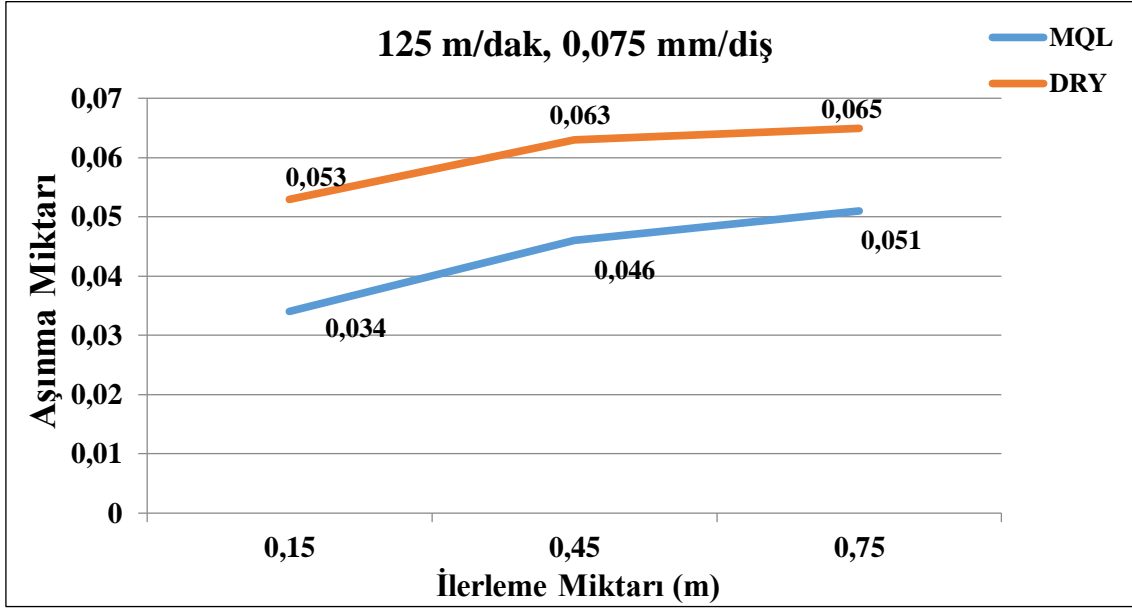
Şekil 5.2: 75m/dak kesme hızı ve 0,075mm/diş kesme adımında kesici takım aşınma miktarı.



Şekil 5.3: 100m/dak kesme hızı ve 0,075mm/diş kesme adımında kesici takım aşınma miktarı.

Şekil 5.3'de $f_z = 0,075$ mm/diş kesme adımında, 100 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliği parametreleri kullanılarak MQL sistemi kullanılarak ve kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemleri sırasında ilk beş paso işleme sonucunda kesici takımda meydana gelen aşınma miktarları gösterilmektedir. MQL sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemlerinin ilk pasosunda meydana gelene aşınma miktarı kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemlerine kıyasla daha küçüktür. Kuru kesme koşulları altında

yapılan frezeleme işlemleri sırasında üçüncü ve beşinci pasolardaki aşınma miktarları sürekli artmaktadır ancak MQL sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemlerinde aşınma miktarları sabit kalmaktadır. Bu verilerde göstermektedir ki MQL sistemi ile yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen kesici takım ömrü kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemlerinde elde edilen kesici takım ömürlerine kıyasla daha fazla bulunmaktadır.

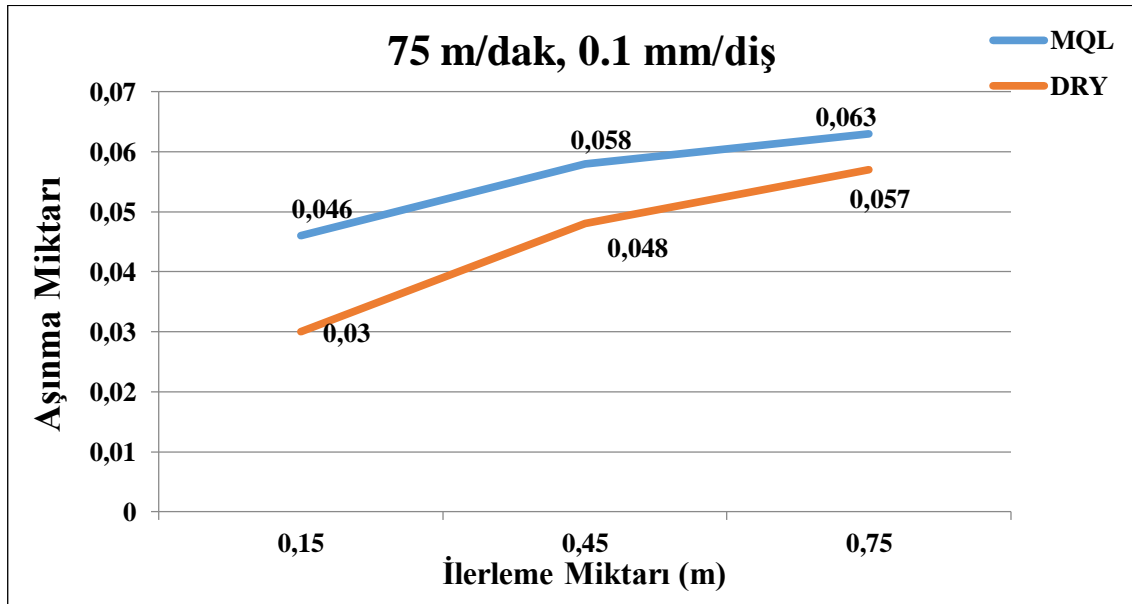


Şekil 5.4: 125m/dak kesme hızı ve 0,075mm/diş kesme adımında kesici takım aşınma miktarı.

Şekil 5.4'te $f_z = 0,075$ mm/diş kesme adımında, 125m/dak kesme hızı ve 0,5mm kesme derinliği parametrelerinde MQL sistemi kullanılarak ve kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemleri sırasında ilk beş paso işleme sonucunda kesici takımda meydana gelen aşınma miktarları gösterilmektedir. MQL sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda ilk paso da elde edilen kesici takım aşınma miktarı kuru kesme koşulları altında elde edilen kesici takım aşınma miktarına kıyasla daha düşüktür. Kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemleri sırasında her işleme pasosunda elde edilen takım aşınma miktarları arasındaki artış miktarı MQL sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemlerine oranla daha yüksektir. Elde etmiş olduğumuz veriler MQL sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen kesici takım ömürlerinin, kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen kesici takım ömürlerine oranla daha yüksek olduğunu göstermektedir.

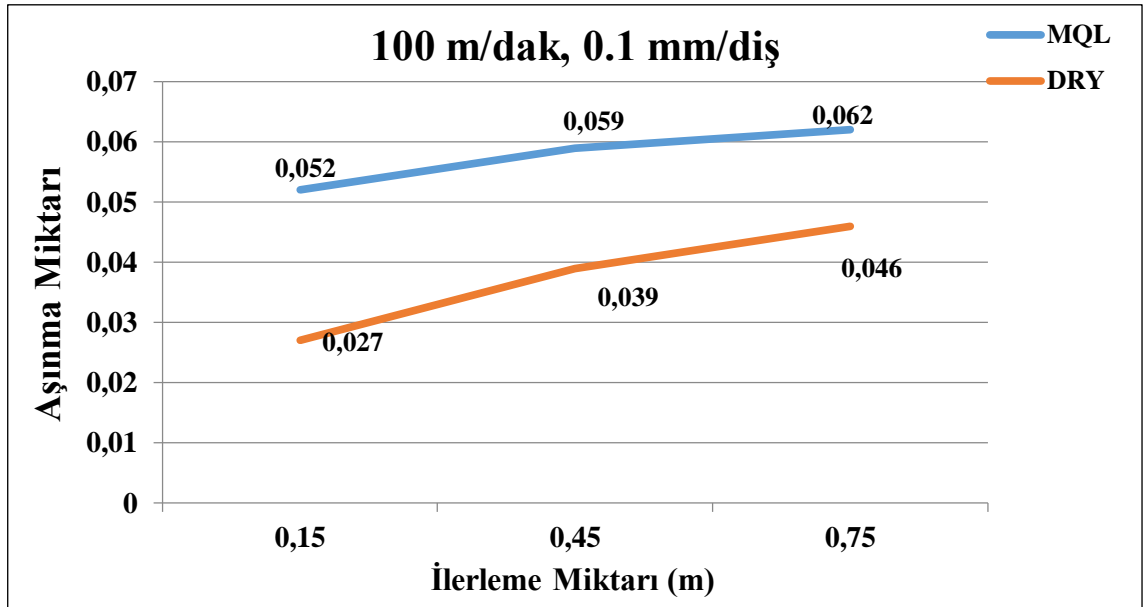
5.1.3 $f_z = 0,1 \text{ mm/diş}$ Kesme Adımı İçin Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Takım Aşınma Miktarlarının Kıyaslanması

Şekil 5.5'te $f_z = 0,1 \text{ mm/diş}$ kesme adımında, 75m/dak kesme hızı ve 0,5mm kesme derinliği parametrelerinde MQL sistemi kullanılarak ve kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemleri sırasında ilk beş paso işleme sonucunda kesici takımda meydana gelen aşınma miktarları gösterilmektedir. MQL sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda ilk pasoda elde edilen kesici takım aşınma miktarı kuru kesme koşullarına oranla daha yüksektir. Bunun sebebi kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemi sırasında kesici takımın ucuna talaş yapışarak kesici takımın aşınmasını engellemiş olabilmektedir. Birinci ve üçüncü pasolar arasında MQL sistemi kullanılarak elde edilen kesici takım aşınma miktarında %50 oranında artış görülmektedir ancak kuru kesme koşulları altında ise %66,66 oranında artış görülmektedir. Elde etmiş olduğumuz sonuçlar frezeleme işlemleri sonucunda MQL sistemi kullanılarak elde edilen kesici takım ömrünün kuru kesme koşulları altındaki kesici takım ömrüne kıyasla daha uzun olduğu görülmektedir.



Şekil 5.5: 75m/dak kesme hızı ve 0,1mm/diş kesme adımında kesici takım aşınma miktarı.

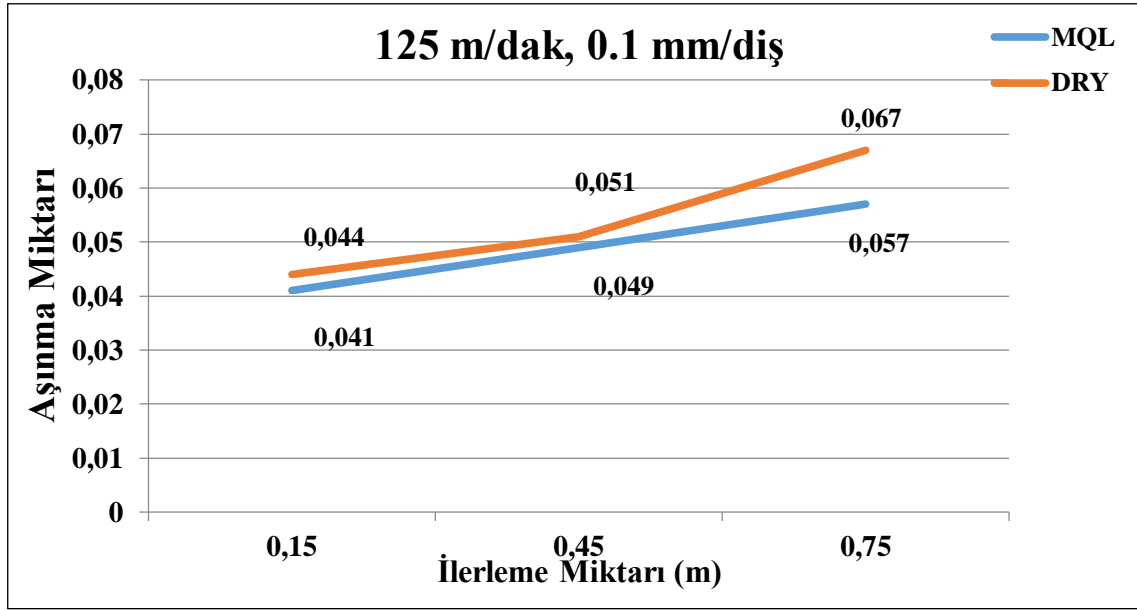
Şekil 5.6'da $f_z = 0,1$ mm/diş kesme adımında, 100m/dak kesme hızı ve 0,5mm kesme derinliği parametrelerinde MQL sistemi kullanılarak ve kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemleri sırasında ilk beş paso işleme sonucunda kesici takımda meydana gelen aşınma miktarları gösterilmektedir. MQL sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda ilk pasoda meydana gelen aşınma miktarı üçüncü pasoya kadar %20 oranında artış göstermiştir ancak daha sonra belirli bir seviyede sabit kalmaktadır. Kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen kesici takım aşınma miktarları ise sürekli olarak artış göstermektedir. Elde etmiş olduğumuz bu sonuçlar ise kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilecek olan kesici takım ömrünün MQL sistemi kullanılarak elde edilen kesici takım ömrüne oranla daha düşük olacağı öngörülmektedir.



Şekil 5.6: 100m/dak kesme hızı ve 0,1mm/diş kesme adımında kesici takım aşınma miktarı.

Şekil 5.7'de $f_z=0,1$ mm/diş kesme adımı, 125m/dak kesme hızı ve 0,5mm kesme derinliği parametreleri altında MQL sistemi kullanılarak ve kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemleri sonucunda kesici takımlarda elde edilen aşınma miktarları gösterilmektedir. MQL sistemi kullanılarak elde edilen aşınma miktarları birinci paso ve beşinci paso arasındaki artış miktarı %37 olarak hesaplanmaktadır. Aynı şekilde kuru kesme koşulları altında elde edilen kesici takım aşınma miktarı ise % 44,44 oranında artış göstermektedir. Artış miktarları bu oranla devam edeceği kabul edildiği takdirde kesici

takımın MQL sistemi kullanılarak elde edilecek kesme ömrü kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemlerine kıyasla daha uzun olacağı görülmektedir.



Şekil 5.7: 125m/dak kesme hızı ve 0,1mm/diş kesme adımında kesici takım aşınma miktarı.

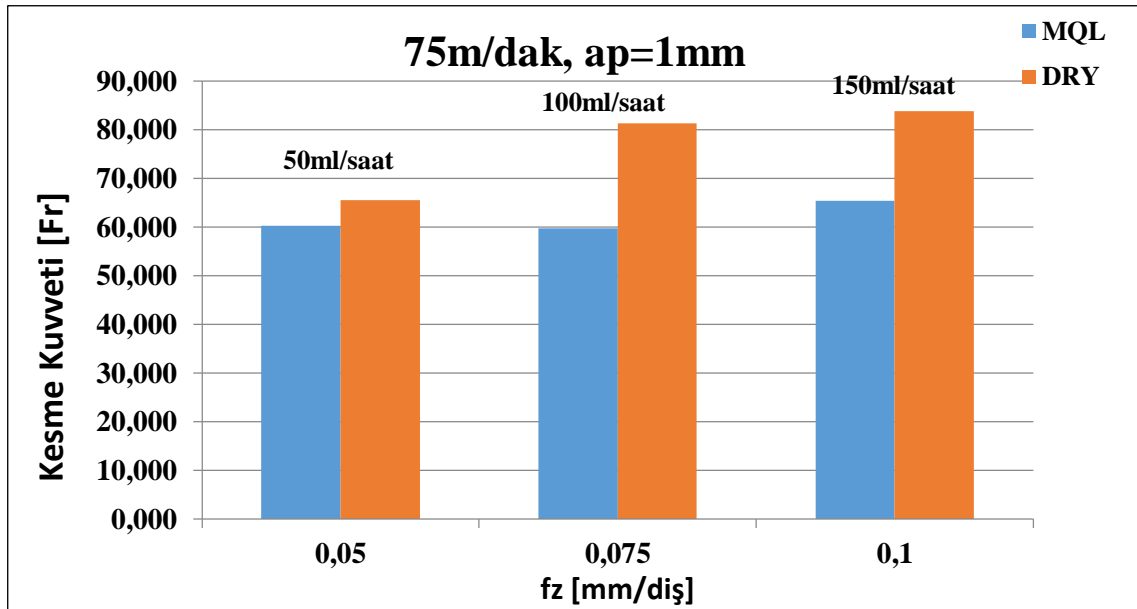
5.2 Kesme Kuvvetleri

Kesme kuvvetleri, frezeleme işlemi sırasında freze tablasına bağlanan dinamometre ile ölçülmektedir. Kesici takım ile kullanmış olduğumuz iş parçası arasındaki açı 107^0 olarak hesaplanmıştır. Kesme işlemlerinde kullanılan kesme hızlarına göre belirli veri sayıları hesaplanmıştır. 75 m/dak kesme hızı için 19 değer, 100 m/dak kesme hızı için 14 değer ve 125 m/dak kesme hızı için 11 değer hesaba katılmaktadır. Bu hesaplamaların yapılmasının sebebi kesici takımın iş parçasına temas ettiği ilk noktadan sonra tam bir tur atması sonucunda kesme kuvveti değerlerinin ortalamalarının hesaplanmasıdır. Frezeleme işlemi sonucunda F_y , F_x ve F_z kuvvetleri bulunmakta ve bu değerler kullanılarak aşağıdaki formül yardımı ile ortalama kesme kuvveti bulunmaktadır.

$$F_R = \sqrt{F_y^2 + F_z^2 + F_x^2} \quad (46)$$

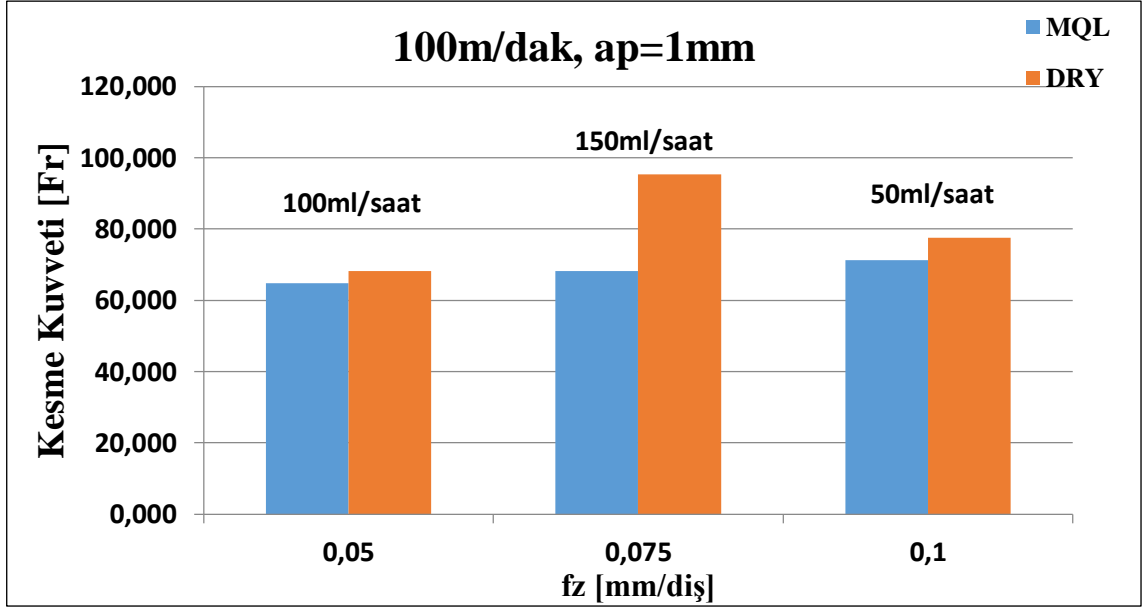
5.2.1 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_R Bileşke Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması

Şekil 5.8’de 75 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde, üç farklı kesme adımı ve üç farklı yağlama miktarlarına göre elde edilen F_R bileşke kesme kuvvetleri görülmektedir. 75 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde en düşük ortalama kesme kuvveti değeri, 0,075 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama yöntemiyle talaş kaldırmada elde edilen F_R bileşke kuvveti değerleri 75 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde kuru koşullarda talaş kaldırmaya kıyasla sırasıyla 0,05-0,075-0,1 mm/diş ilerleme oranı için %8, %26 ve %22’lik azalma göstermektedir.

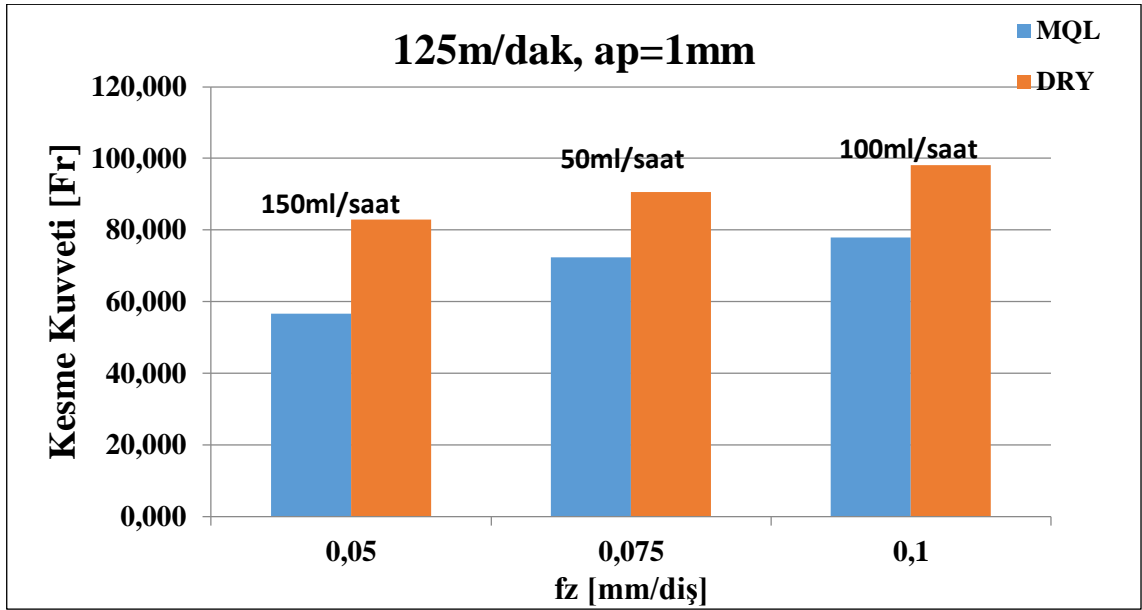


Şekil 5.8: $V_f=75$ m/dak kesme hızında elde edilen F_R bileşke kesme kuvveti değerleri.

Şekil 5.9’da 100 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_R bileşke kesme kuvvetleri görülmektedir. 100 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde en düşük kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama yöntemiyle talaş kaldırmada elde edilen F_R bileşke kuvveti değerleri 100 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde 0,05 mm/diş ilerleme oranı için %5, 0,1 mm/diş ilerleme oranı için % 28 ve 0,15 mm/diş ilerleme oranı için % 8’luk azalma göstermektedir.



şekil 5.9: Vf=100 m/dak kesme hızında elde edilen Fr bileşke kesme kuvveti değerleri.

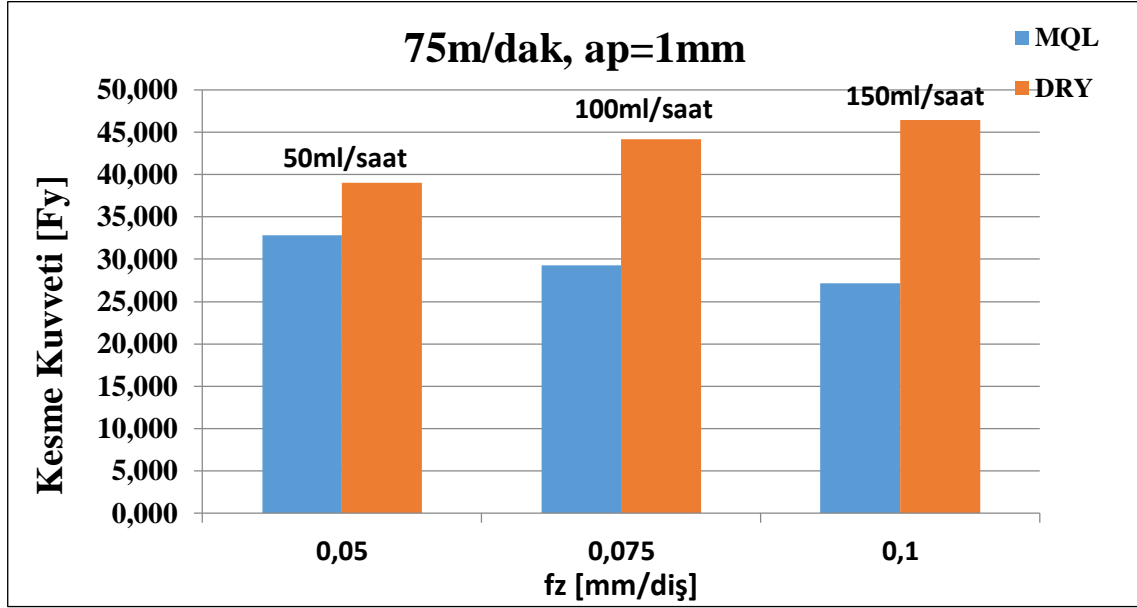


şekil 5.10: Vf=125 m/dak kesme hızında elde edilen Fr bileşke kesme kuvveti değerleri.

şekil 5.10'da 125 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_R bileşke kesme kuvvetleri görülmektedir. Minimum miktarda yağlama yöntemi ile 125 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde elde edilen en düşük kesme kuvveti 0,05 mm/diş kesme adımı ve 150 ml/saat yağlama da elde edilmiştir. 125 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm kesme derinliğinde meydana gelen kesme kuvveti değerleri 0,05 mm/diş ilerleme oranı için kuru koşullara kıyasla % 32'lik azalma göstermektedir. İlerleme oranı 0,075 mm/diş ve yağlama oranı 50 ml/saat

olan deneyde F_R bileşke kesme kuvvetinde %20'lik azalma görülürken, ilerleme oranı 0,1 mm/diş ve yağlama miktarı 100 ml/saat olan deneyde kesme kuvvetinde %20'lik bir azalma görülmektedir.

5.2.2 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_Y Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması

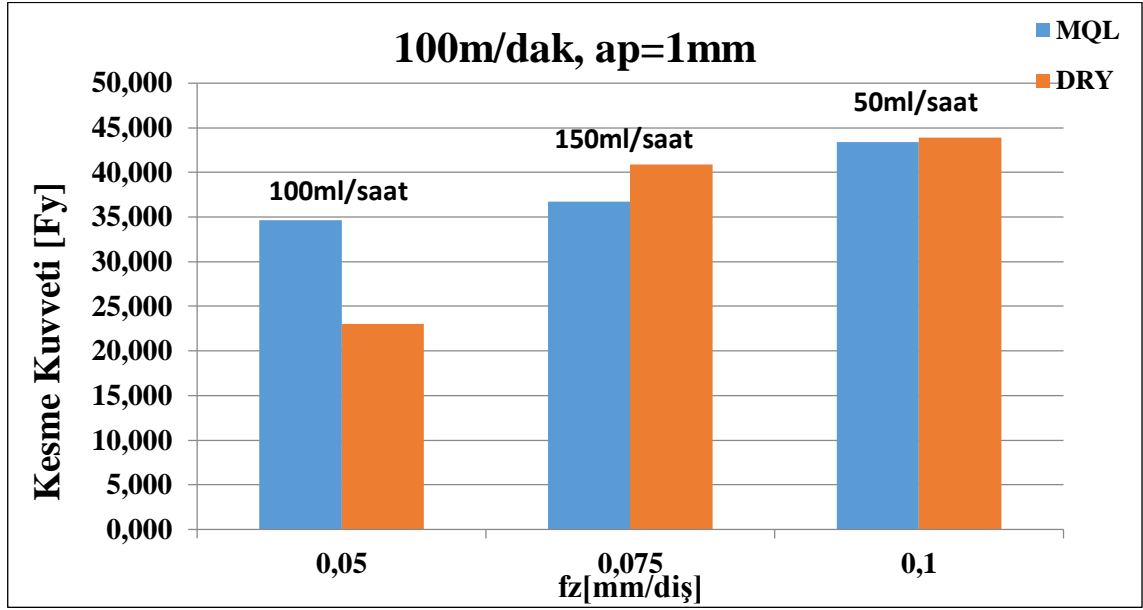


Şekil 5.11: $V_f=75$ m/dak kesme hızında elde edilen F_Y kesme kuvveti değerleri.

Şekil 5.11'de 75 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde, değişen ilerleme hızları ve minimum miktarda yağlama miktarlarına göre elde edilen F_Y kesme kuvvetleri görülmektedir. 75 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde en düşük kesme kuvveti değerleri, 0,1 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama sistemi ile talaş kaldırmada elde edilen F_Y kesme kuvveti değerleri 75 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve 0,05 mm/diş, 0,075 mm/diş ve 0,1 mm/diş kesme adımlarında sırasıyla %16, %34 ve %42 oranlarında kuru koşullarda talaş kaldırmaya göre daha düşük F_Y kesme kuvvetlerini göstermektedir.

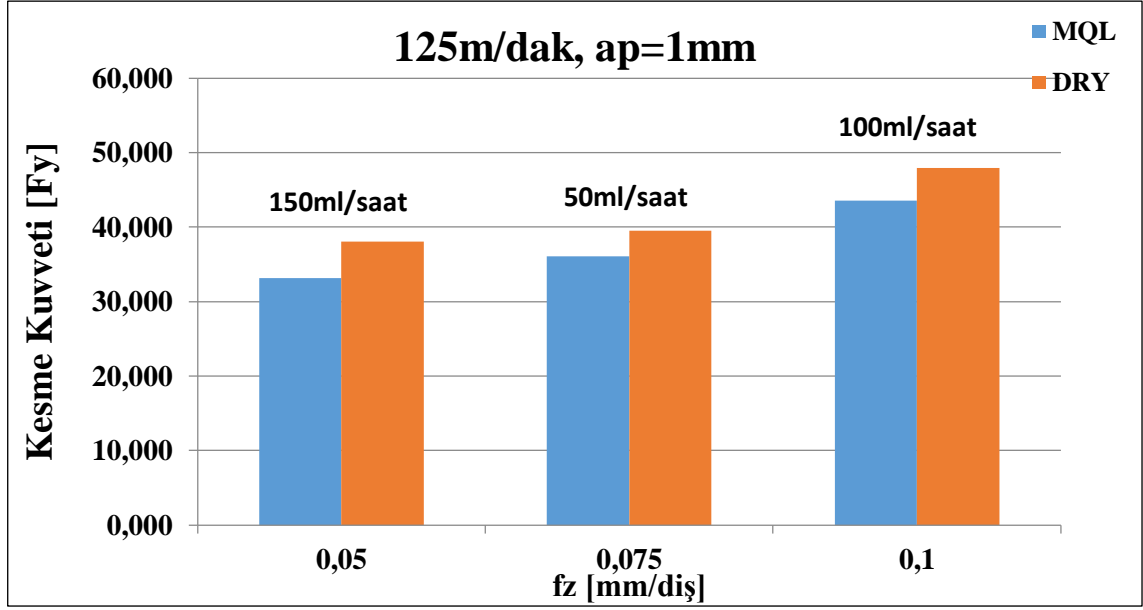
Şekil 5.12'de 100 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve minimum miktarda yağlama miktarlarına göre elde edilen F_Y kesme kuvvetleri görülmektedir. 100 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde en düşük kesme kuvveti değerleri, 0,05mm/diş ilerleme oranı ve kuru kesme şartları altında meydana gelmiştir. Minimum miktarda yağlama yöntemiyle talaş kaldırmada elde edilen F_Y kesme kuvveti

değerleri 100 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde 0,075 mm/diş ve 0,1 mm/diş kesme adımında kuru kesme koşullarına kıyasla daha düşük çıkmıştır. 100 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve 0,05 mm/diş kesme adımında MQL sistemi altında yapılan işlemlerde elde edilen F_y kesme kuvvetleri kuru koşullar altında yapılan işlemlerde elde edilen F_y kesme kuvvetlerine oranla daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.12: $V_f=100$ m/dak kesme hızında elde edilen F_y kesme kuvveti değerleri.

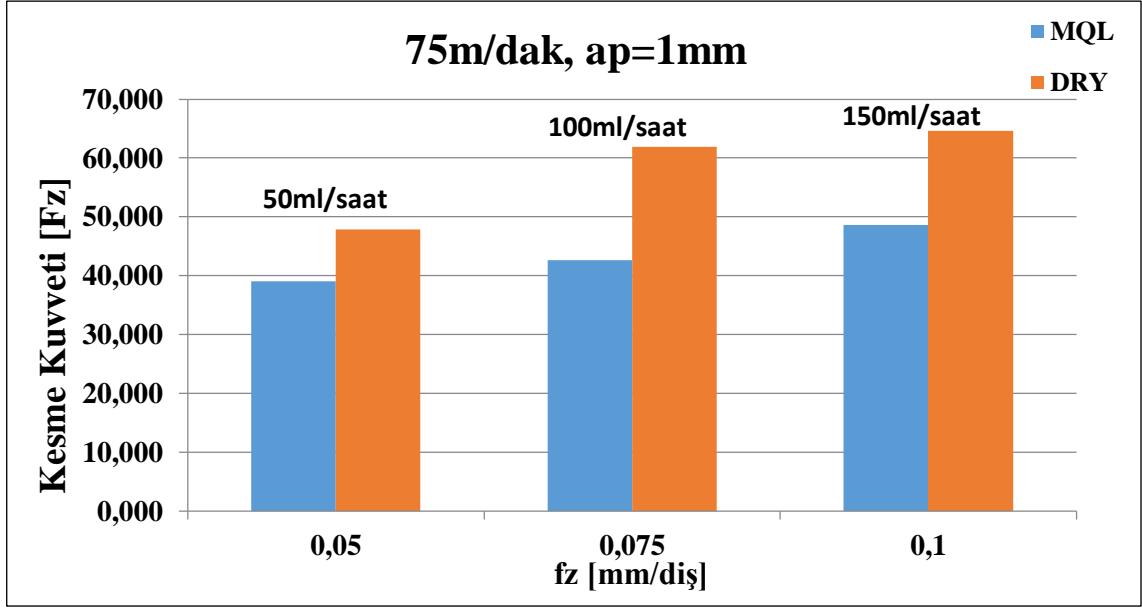
Şekil 5.13'de 125 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde, değişen ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_y kesme kuvvetleri görülmektedir. 125 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde en düşük kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama etkisi ile ilerleme oranı 0,075 mm/diş ve yağlama miktarı 50 ml/saat olan deneyde F_y kesme kuvvetinde %9 oranında azalma gözlemlenmiştir. İlerleme oranı 0,1 mm/diş ve yağlama miktarı 100 ml/saat olan deneyler sonucunda F_y kesme kuvveti değerlerinde yaklaşık %10'luk bir azalma görülmektedir.



Şekil 5.13: Vf=125 m/dak kesme hızında elde edilen Fy kesme kuvveti değerleri.

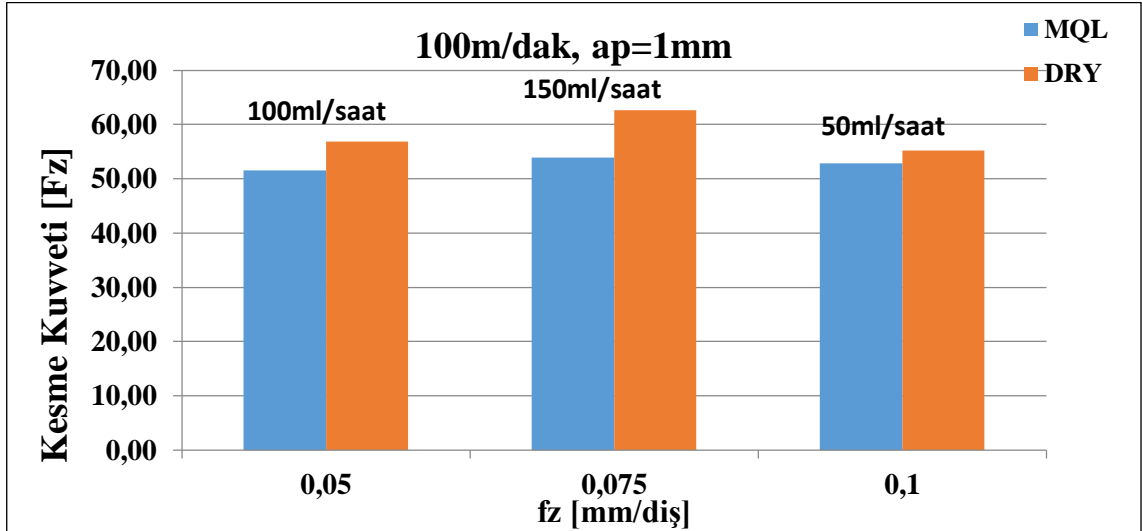
5.2.3 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Fz Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması

Şekil 5.14'de 75 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen Fz kesme kuvvetleri görülmektedir. 75 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde en düşük Fz kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Tüm ilerleme oranlarında minimum miktarda yağlama altında yapılan deneyler sonucunda elde edilen Fz kesme kuvveti değerleri kuru koşullar altında yapılan deneyler sonucunda elde edilen Fz kesme kuvveti değerlerinden düşük değerler göstermektedir.

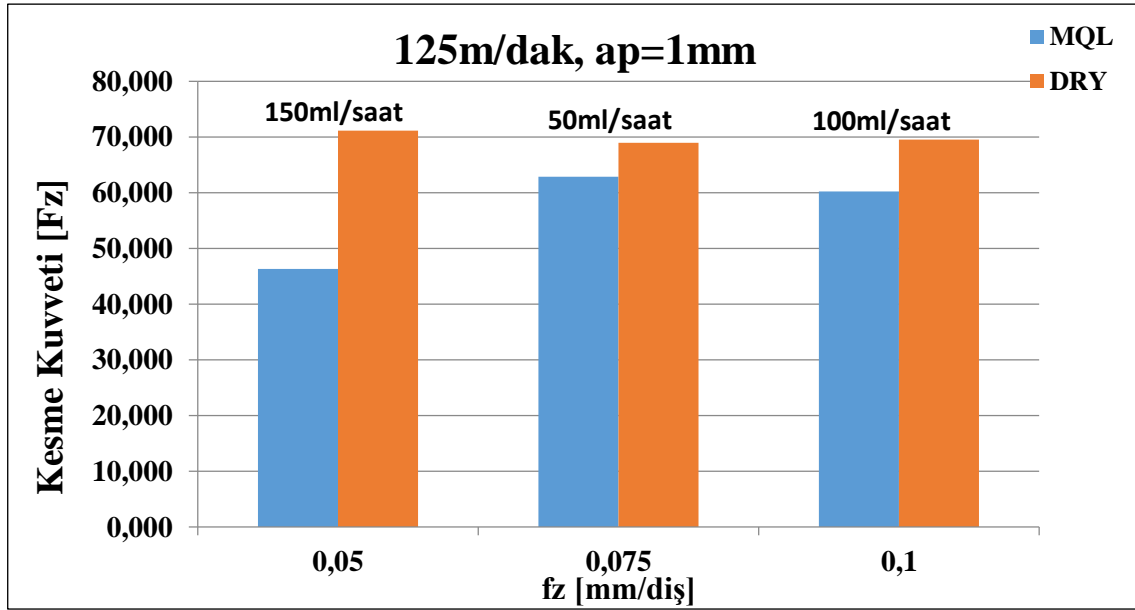


Şekil 5.14: $V_f=75$ m/dak kesme hızında elde edilen F_z kesme kuvveti değerleri.

Şekil 5.15’de 100 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_z kesme kuvvetleri görülmektedir. 100 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde en düşük F_z kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Tüm ilerleme oranlarında minimum miktarda yağlama altında yapılan deneyler sonucunda elde edilen F_z kesme kuvveti değerleri kuru koşullar altında yapılan deneyler sonucunda elde edilen F_z kesme kuvveti değerlerinden düşük değerler göstermektedir.



Şekil 5.15: $V_f=100$ m/dak kesme hızında elde edilen F_z kesme kuvveti değerleri.

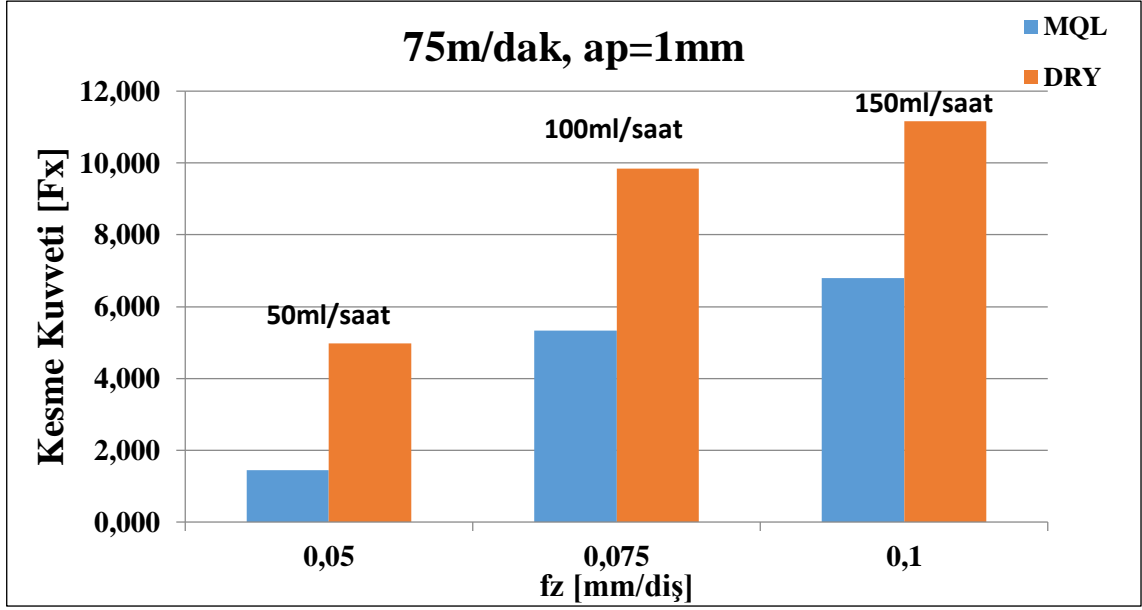


Şekil 5.16: Vf=125 m/dak kesme hızında elde edilen Fz kesme kuvveti değerleri.

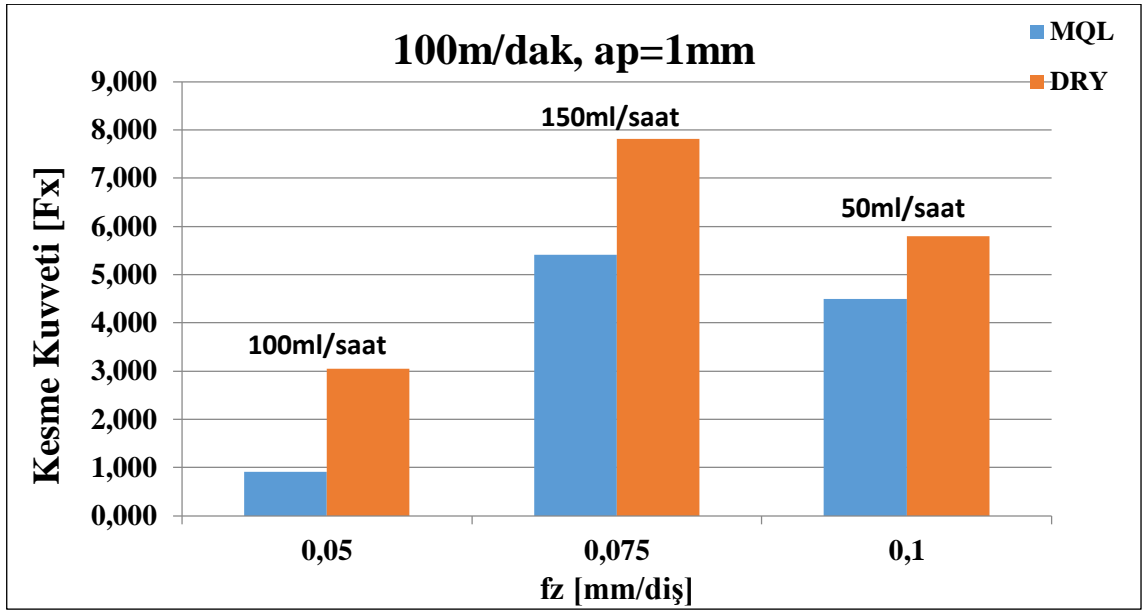
Şekil 5.16’da 125 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde, değişen ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen Fz kesme kuvvetleri görülmektedir. 125 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde en düşük Fz kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama etkisi ile ilerleme miktarı 0,075 mm/diş ve yağlama miktarı 50 ml/saat olan deneyde Fz kesme kuvvetinde yaklaşık olarak %9’luk bir azalma görülmektedir. İlerleme miktarı 0,1 mm/diş ve yağlama miktarı 100 ml/saat olan deneyler sonucunda Fz kesme kuvveti değerlerinde yaklaşık olarak %14 bir azalma görülmektedir.

5.2.4 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Fx Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması

Şekil 5.17’de 75 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde, değişen ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen Fx kesme kuvvetleri görülmektedir. 75 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde en düşük Fx kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. İlerleme oranı 0,075 mm/diş ve yağlama miktarı 100 ml/saat olan deneyde %46 bir azalma görülmektedir. İlerleme oranı 0,1 mm/diş ve yağlama miktarı 150ml/saat olan deneyde ise Fx kesme kuvvetinde %39’luk bir azalma görülmektedir.



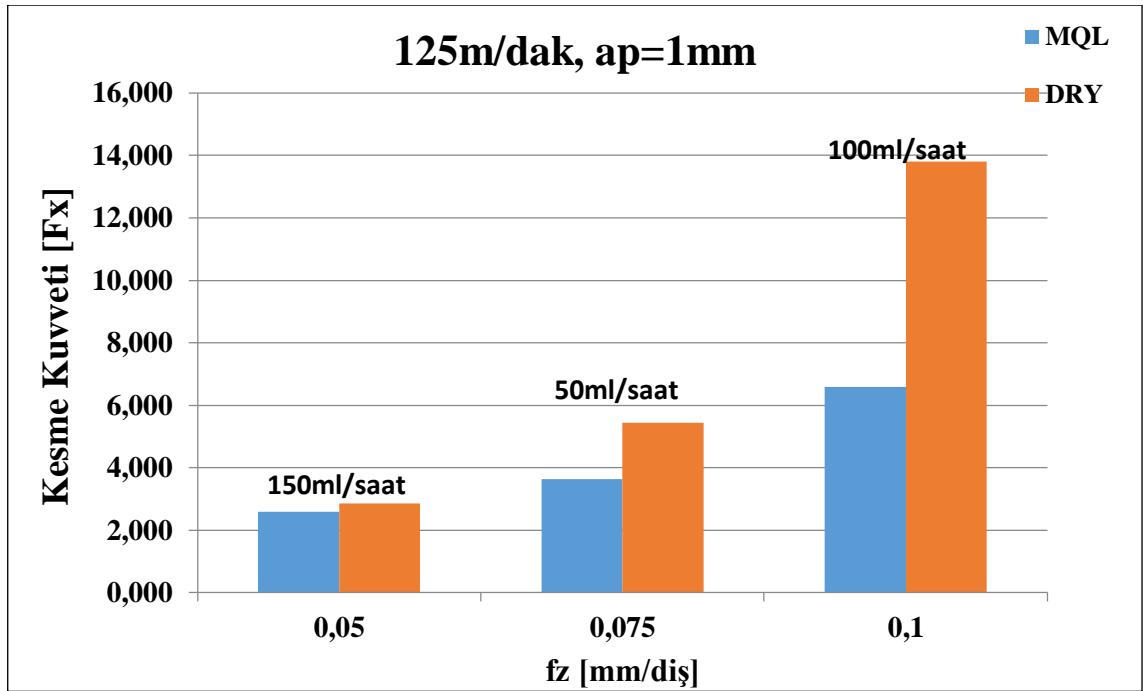
Şekil 5.17: Vf=75 m/dak kesme hızında elde edilen Fx kesme kuvveti değerleri.



Şekil 5.18: Vf=100 m/dak kesme hızında elde edilen Fx kesme kuvveti değerleri.

Şekil 5.18’de 100 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde, değişen ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_x kesme kuvvetleri görülmektedir. 100 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde en düşük F_x kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. İlerleme oranı 0,075 mm/diş ve yağlama miktarı 150 ml/saat olan deneyde yaklaşık olarak %31’lik bir azalma görülmektedir. 0,1 mm/diş kesme adımı ve 50ml/saat yağlama miktarındaki deneyde ise yaklaşık olarak %22’lik bir azalma görülmektedir.

Şekil 5.19’da 125 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_X kesme kuvvetleri görülmektedir. 125 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde en düşük F_X kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. İlerleme oranı 0,075 mm/diş ve yağlama miktarı 50 ml/saat olan deney sonucunda elde edilen F_X kesme kuvvetlerinde %33’lük azalma görülmektedir. 0,1mm/diş kesme adımı ve bir miktar 100ml/saat yağlama deneylerinde elde edilen F_X kesme kuvvetinde %52’lik bir azalma görülmektedir.



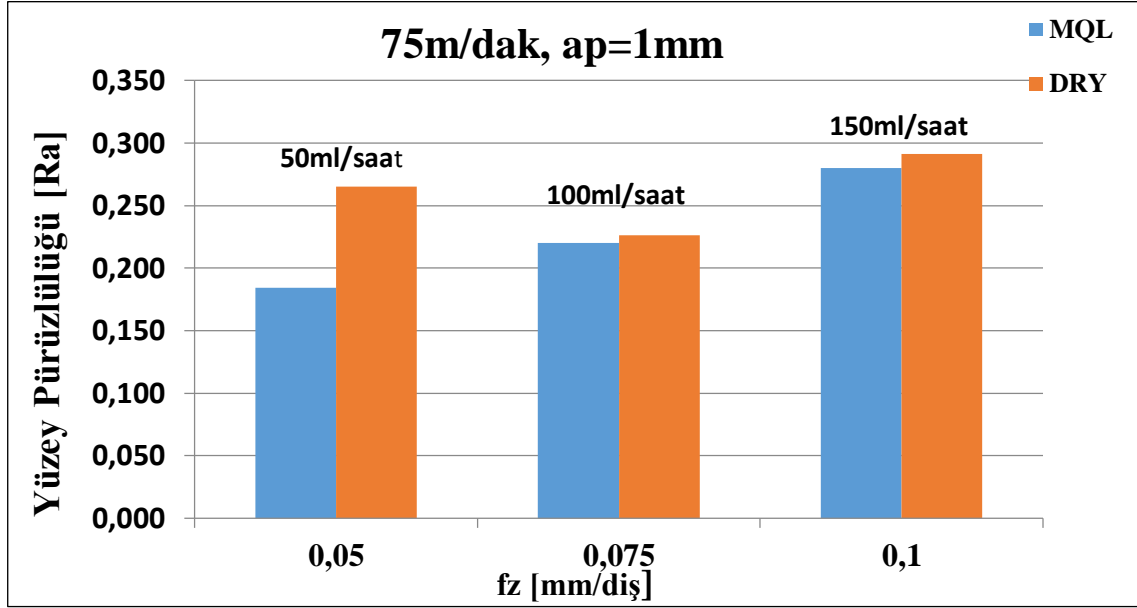
Şekil 5.19: $V_f=125$ m/dak kesme hızında elde edilen F_X kesme kuvveti değerleri.

5.3 Yüzey Pürüzlülük Değerleri

5.3.1 Frezeleme İşlemi Sonucunda Elde Edilen Minimum Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Şekil 5.20’de 75 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve farklı işleme adımlarında elde edilmiş minimum yüzey pürüzlülük değerleri gösterilmektedir. 75 m/dak kesme hızı, 1mm kesme derinliği ve 0,05 mm/diş ilerleme şartları altında kuru kesmede elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri 0,265 μm iken MQL şartları altında elde edilen en küçük yüzey pürüzlülük değeri 0,184 μm ’dir. Aynı hız ve kesme derinliğinde 0,075 mm/diş adımda ise kuru şartlarda elde edilen en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,226 μm , MQL şartları altında elde

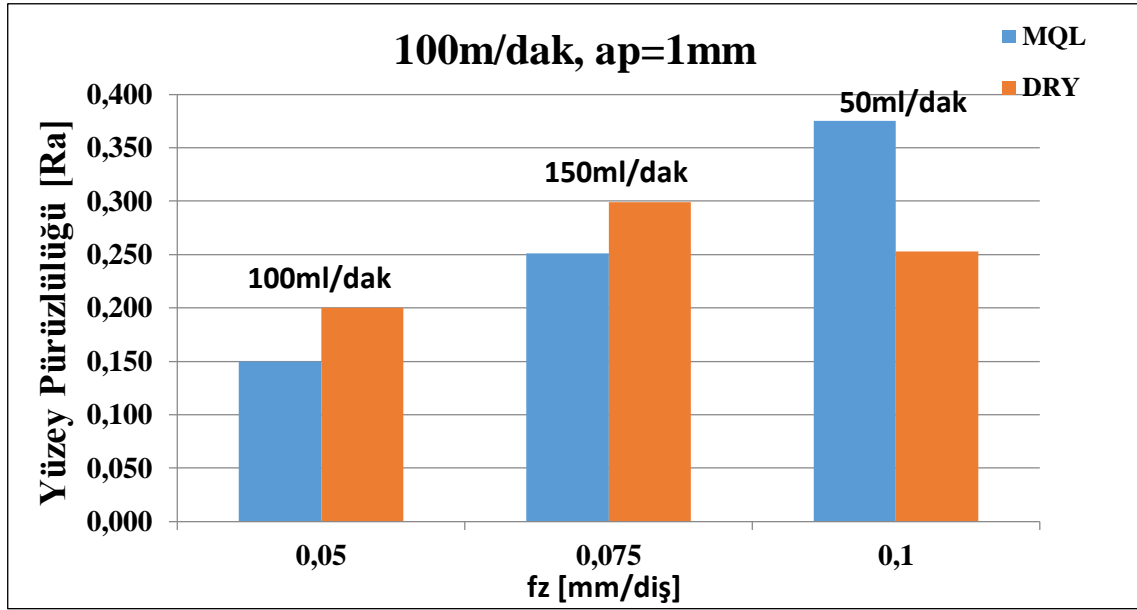
edilen değer 0,220 μm 'dir. 75 m/dak hız, 1mm kesme derinliği ve 0,1 mm/diş kesme adımı parametreleri kullanılarak yapılan işlemlerde ise kuru şartlarda elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 0,291 μm , MQL şartları altında elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 0,280 μm 'dir. Deney sonuçlarından da görülmektedir ki MQL şartları altında yapılmış olan kesme işlemlerinde meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleri kuru kesme koşulları altında yapılan işlemlere oranla daha düşük değerlere sahiptir.



Şekil 5.20: Vf=75 m/dak kesme hızında elde edilen minimum yüzey pürüzlülük değerleri.

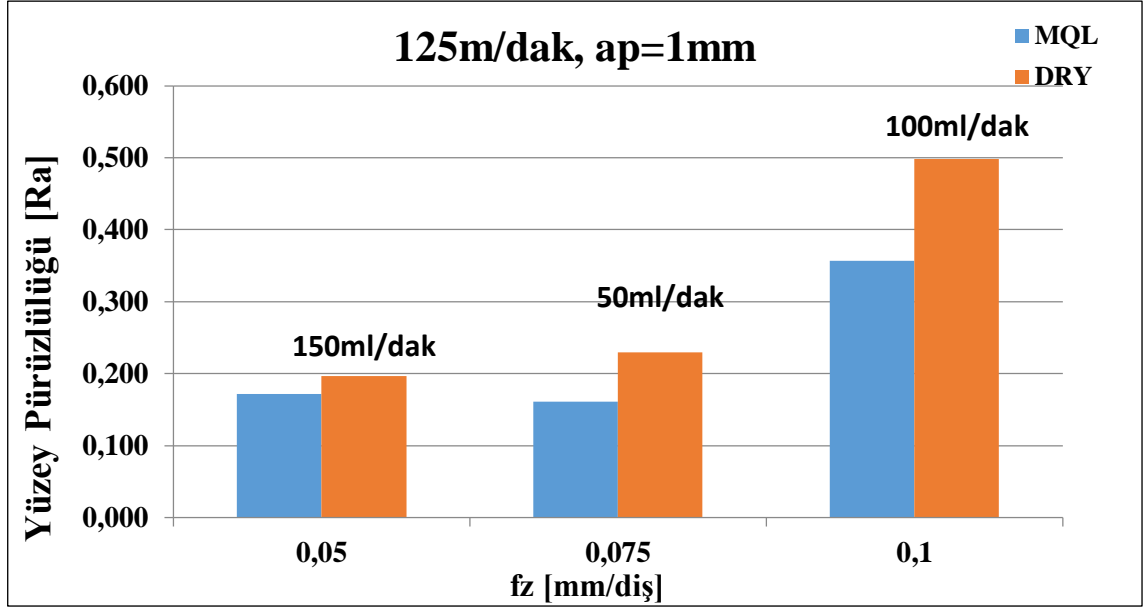
Şekil 5.21'de 100 m/dak kesme hızı, 1mm kesme derinliği ve farklı kesme adımları sonucunda elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değerleri gösterilmektedir. Bir deney hariç MQL şartları altında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kuru işlemede elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine göre düşük çıkmaktadır. 0,05 mm/diş kesme adımında yapılan deneylerde kuru işleme şartları altında elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri 0,200 μm ve MQL şartları altında elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 0,150 μm 'dir. 0,075mm/diş kesme adımında kuru şartlar altında elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 0,299 μm ve MQL şartları altında elde edilen değer ise 0,251 μm 'dir. 0,1mm/diş kesme adımında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kuru şartlar altında 0,253 μm ve MQL şartları altında elde edilen değer ise 0,375 μm 'dir. 125m/dak kesme hızı için 150 ml/saat minimum miktarda yağlama miktarı ve 0,1 mm/diş ilerleme oranında 0,146 μm ile en düşük pürüzlülük değeri elde edilmiştir. Bunun yanı sıra diğer yüzey pürüzlülükleri 0,05 mm/diş ilerleme oranı için 0,221 μm , 0,15 mm/diş ilerleme oranı için

0,196 μm elde edilmiştir. Tüm ilerleme oranlarında minimum miktarda yağlama ektisi ile yüzey pürüzlülüklerinde belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 5.21: Vf=100 m/dak kesme hızında elde edilen minimum yüzey pürüzlülük değerleri.

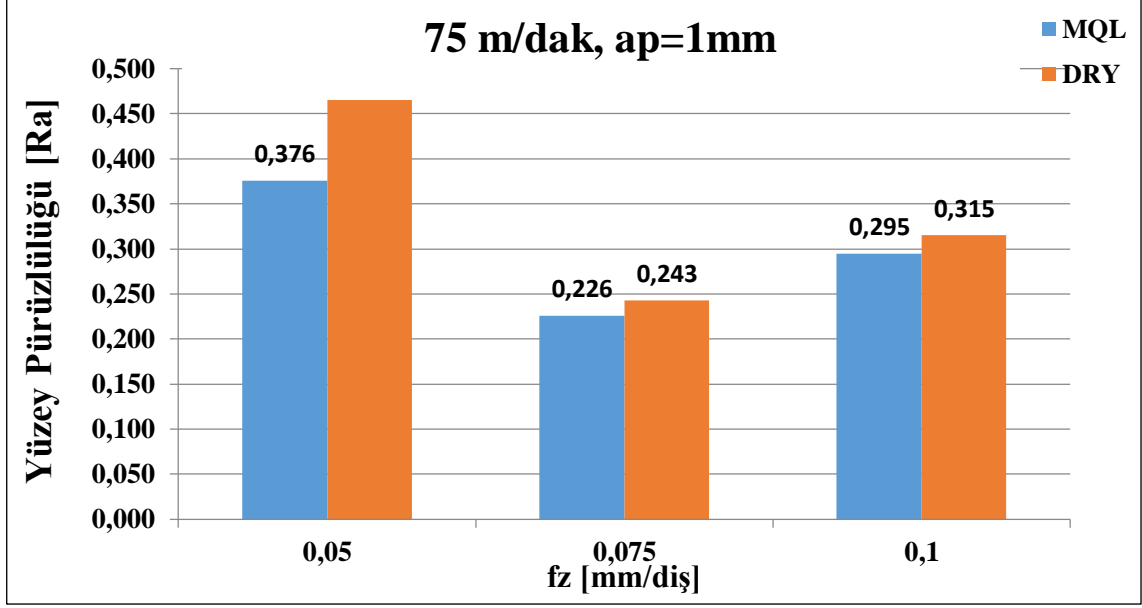
Şekil 5.22’de 125 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve farklı kesme adımları kullanılarak yapılan deneyler sonucunda elde edilmiş minimum yüzey pürüzlülük değerleri gösterilmektedir. MQL kesme koşulları altında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kuru kesmeye kıyasla daha düşük çıkmaktadır. 125 m/dak kesme hızı, 1mm kesme derinliği ve 0,05mm/diş kesme adımı kullanılarak kuru işleme koşullarında elde edilen en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,197 μm ve MQL şartları altındaki en düşük yüzey pürüzlülük değeri 0,172 μm ’dir. 125 m/dak kesme hızı, 1mm kesme derinliği ve 0,075 mm/diş kesme adımı şartları altında kuru işlemede elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 0,230 μm ve MQL şartları altında elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 0,161 μm ’dir. 125 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/diş kesme adımında kuru kesme koşulları altında elde edilen en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,498 μm ve MQL şartları altında elde edilen yüzey pürüzlülük değeri ise 0,357 μm ’dir.



Şekil 5.22: Vf=125 m/dak kesme hızında elde edilen minimum yüzey pürüzlülük değerleri.

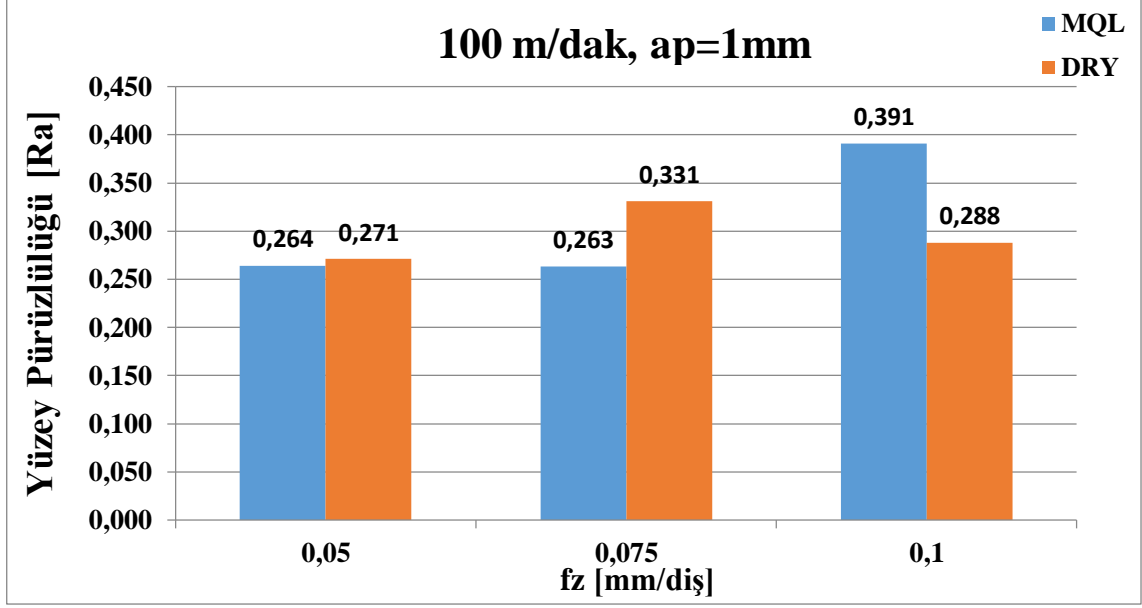
5.3.2 Takım Ömrü Boyunca Ortalama Yüzey Pürüzlülükleri Kıyaslanması

Şekil 5.23'de 75 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde MQL ve kuru şartları altında kesici takım ömrü boyunca elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri gösterilmektedir. En düşük hıza sahip olan bu deneyde en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,075 mm/diş adım ve 100 ml/saat yağlama sonucunda elde edilmektedir. Kesme adımları 0.05-0.075-0.1 kesme adımları altında yapılan deneyler sonucunda MQL şartları sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülükleri değerleri kuru kesme koşulları altında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinde sırasıyla %19.13, %7 ve %6.5 oranlarında azalma görülmektedir.

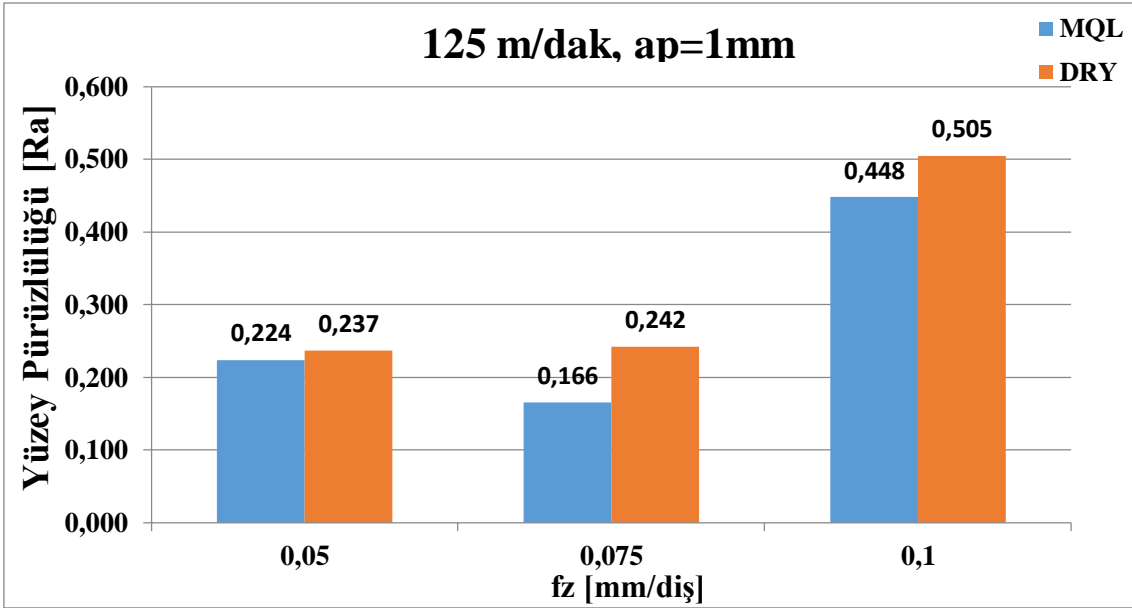


Şekil 5.23: Vf=75 m/dak kesme hızında takım ömürleri boyunca elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.

Şekil 5.24’de 100 m/dak kesme hızı ve 1mm kesme derinliğinde MQL ve kuru şartlar altında yapılan işlemlerde kesme takımı boyunca meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleri gösterilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda en iyi sonuç 0,05 mm/diş adım ve 100ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. MQL etkisi ile yüzey pürüzlülükleri 0,05-0,075 mm/diş kesme adımlarında sırasıyla yaklaşık olarak %3, %21 azalma görülmektedir. 0,1 mm/diş kesme adımında ise kesme işlemi sırasında kesilen talaşın kesici takım üzerine yapışarak yüzeyde pürüzlülükler yarattığından dolayı MQL şartları altında elde edilen yüzey pürüzlülük değeri kuru işlemedeki yüzey pürüzlülük değerine göre yüksek çıkmaktadır. 0,1 mm/diş kesme adımında MQL şartlarında elde edilen yüzey pürüzlülük değeri kuru işlemeye oranla %35 yüksek çıkmaktadır.



Şekil 5.24: Vf=100 m/dak kesme hızında takım ömürleri boyunca elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.



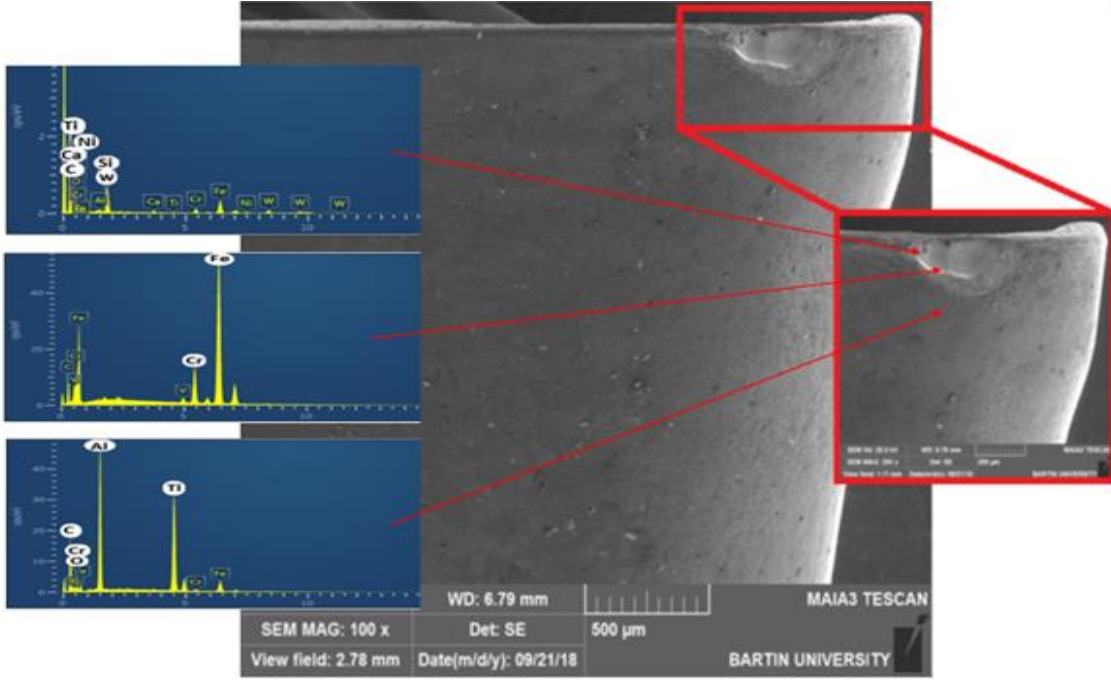
Şekil 5.25: Vf=125 m/dak kesme hızında takım ömürleri boyunca elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.

Şekil 5.25’de 125 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde farklı kesme adımlarında yapılan işlemler sonucunda kesici takım ömrü boyunca meydana gelen yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması görülmektedir. Yapılan deneylerde elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri 0,075 mm/diş ilerleme ve 50ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. MQL etkisi ile 0,05-0,075-0,1 mm/diş kesme adımlarında sırasıyla %6, %32, %12 azalma göstermektedir.

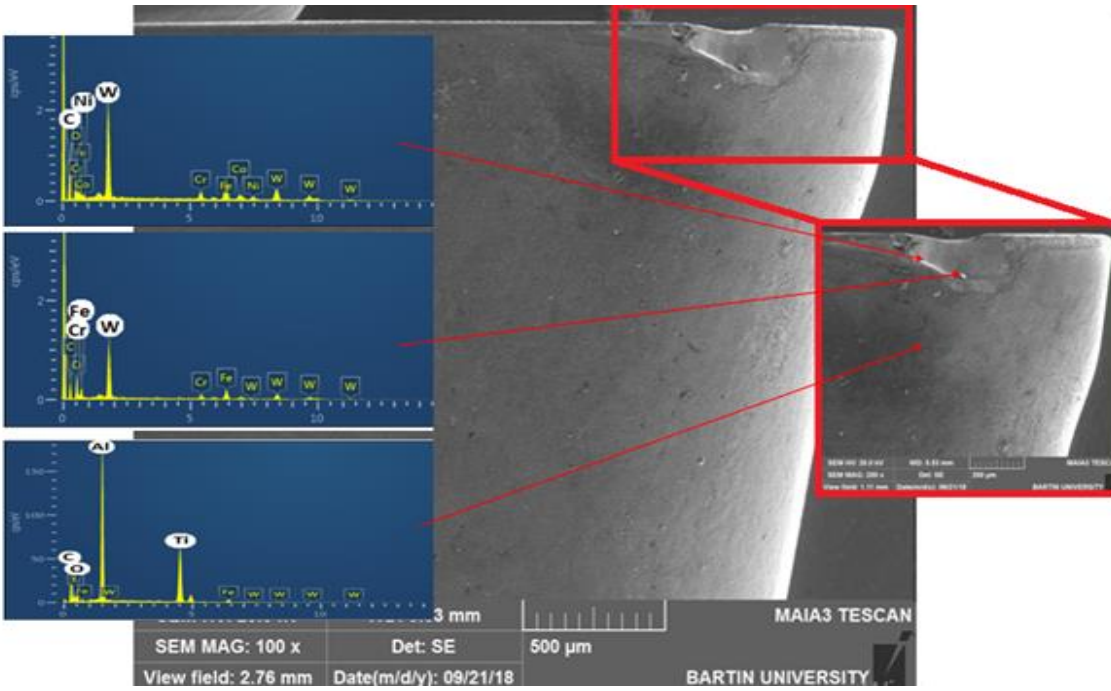
5.4 Takım Aşınmalarının SEM ve EDS Kullanılarak Analizi

5.4.1 Kuru Kesme Koşulları Altında Aşınan Kesici Takımların SEM Görüntüleri ve EDS Analizi

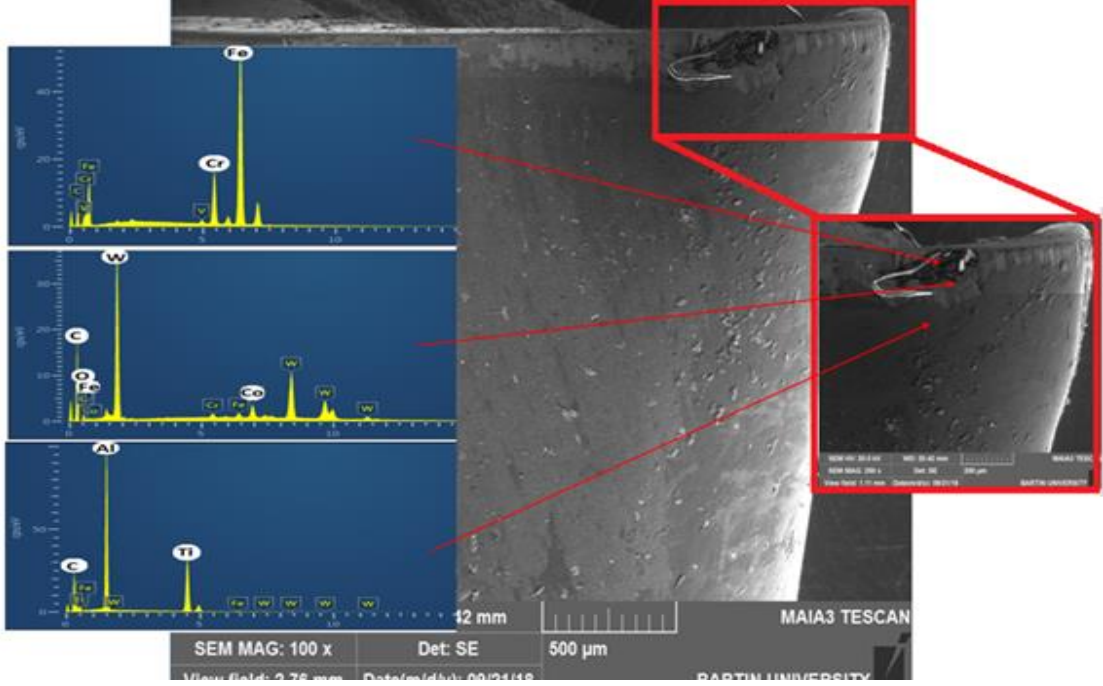
Yapılan frezeleme işlemleri sonucunda kesici takımlarda meydana gelen aşınma mekanizmaları EDS ve SEM analiz yöntemi kullanılarak incelenmektedir. Şekil 5.26'da kuru koşullar altında 75 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 0,5 mm kesme derinliği parametreleri kullanılarak yapılmış olan frezeleme işlemleri sonucunda karbür kesici takımında meydana gelen aşınma mekanizmalarının SEM ve EDS analizleri gösterilmektedir. Şekil 5.27'de kuru koşullar altında 100 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 0,5 mm kesme derinliği parametreleri kullanılarak yapılmış olan frezeleme işlemi sonucunda karbür kesici takımında meydana gelen aşınma mekanizmalarının SEM ve EDS analizleri gösterilmektedir. Şekil 5.28'de ise kuru koşullar altında 125 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/diş kesme adımı ve 0,5 mm kesme derinliği parametreleri kullanılarak yapılan frezeleme işlemi sonucunda karbür kesici takımında meydana gelen aşınma mekanizmalarının SEM ve EDS analizleri gösterilmektedir. Tüm görüntülerde ortak olarak görülen serbest yüzey aşınmasıdır. Serbest yüzey aşınması, kesici takımın yan yüzeyi ile iş parçası arasındaki sürtünmeden dolayı meydana gelen aşınma tipidir. Serbest yüzey aşınması görülen kesici takımlarda diğer aşınma türlerine göre daha uzun kesici takım ömrü görülmektedir (Kaya,2009). Bu aşınma türü tamamen iyileştirilememektedir. Görüntülerde görülen bir diğer aşınma tipi ise bölgesel aşınmadır. Bu aşınma türü talaş kaldırma esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin değişmesinden dolayı meydana geldiği düşünülmektedir (Park vd., 2015). SEM ve EDS analizlerinde görünen diğer aşınma mekanizmaları ise abraziv ve adhezif aşınmadır. Şekil 5.28'de frezeleme işlemi sırasında meydana gelen yüksek sıcaklıktan dolayı kopan iş malzemesinin kesici takımın ucuna yapışır ve daha sonraki frezeleme işlemlerinde kesici takımında çentik aşınmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.26: $V_f = 75$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve kuru koşullarda aşınmış kesici takım görüntüsü.



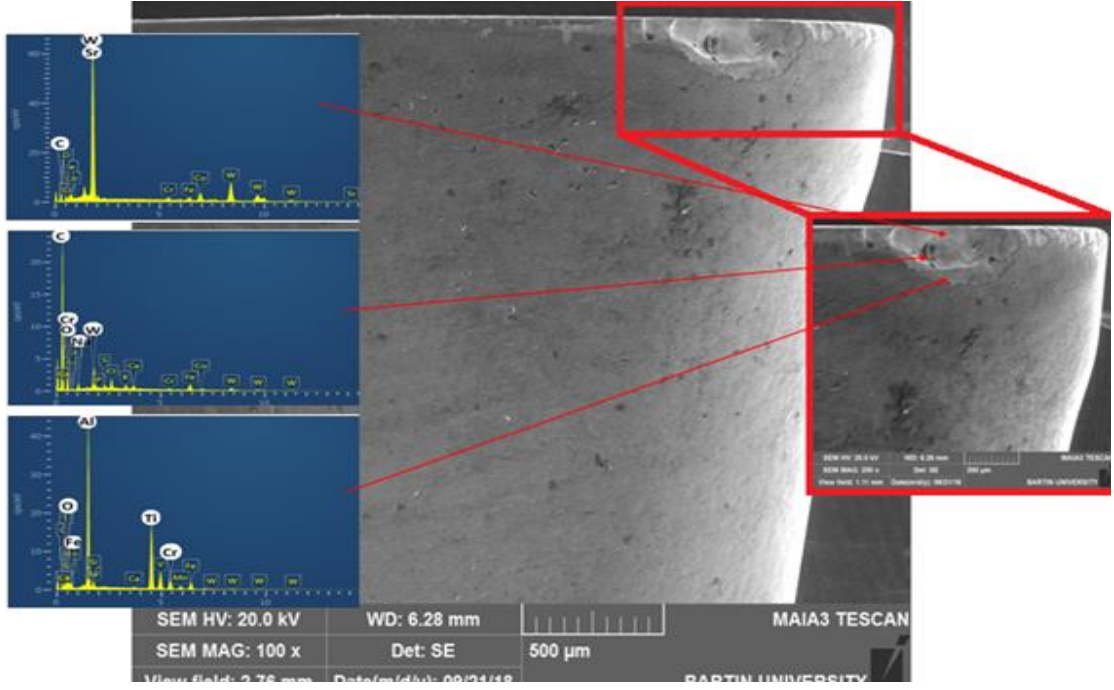
Şekil 5.27: $V_f = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve kuru koşullarda aşınmış kesici takım görüntüsü.



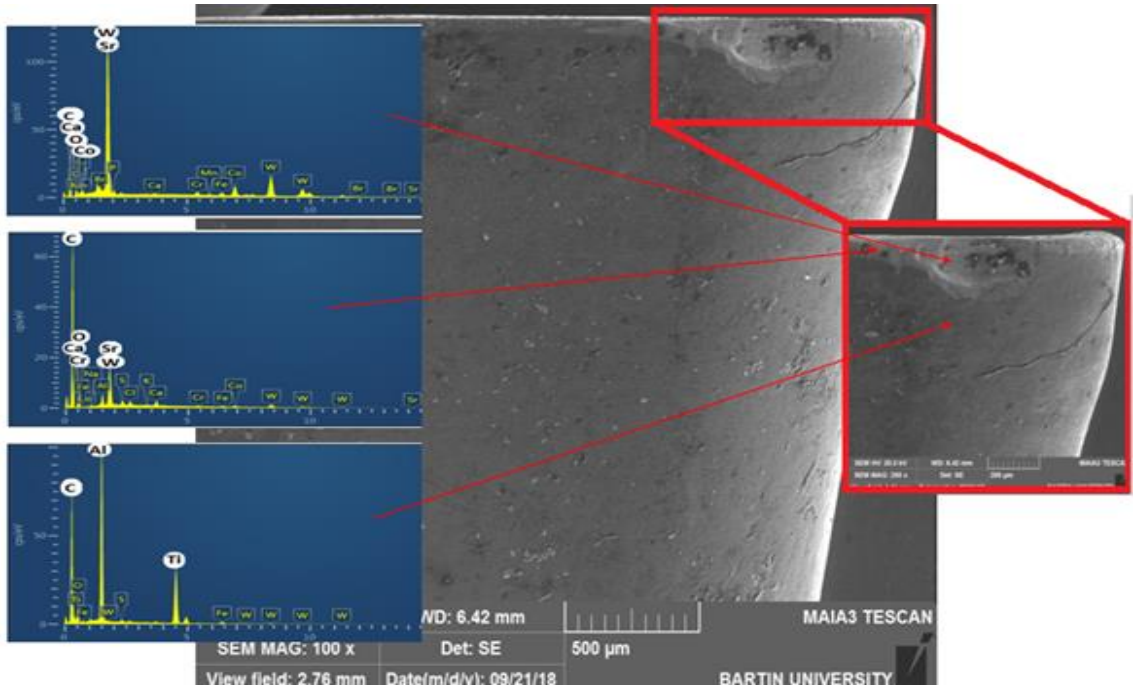
Şekil 5.28: $V_f = 150$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve kuru koşullarda aşınmış kesici takım görüntüsü.

5.4.2 Minimum Miktarda Yağlama Koşulları Altında Aşınan Kesici Takımların SEM Görüntüleri ve EDS Analizi

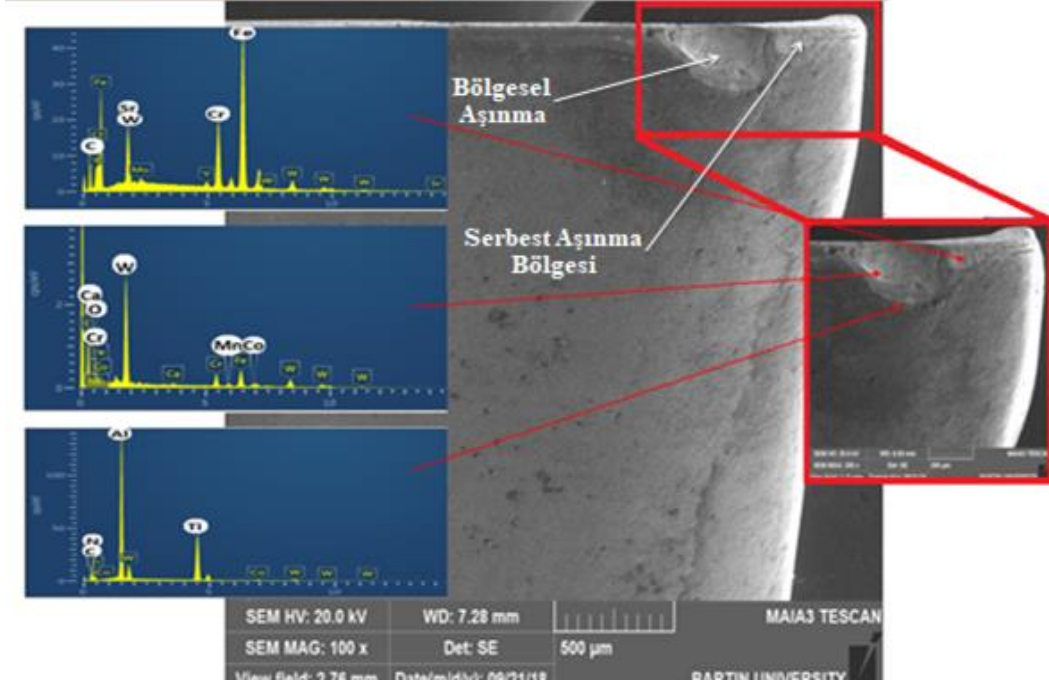
Şekil 5.29'da 75 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/diş ilerleme miktarı, 0,5 mm kesme derinliği ve 50 ml/saat yağlama miktarı parametreleri kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen kesici takımın SEM ve EDS analizleri gözlemlenmektedir. Şekil 5.30'da 100 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/diş ilerleme miktarı, 0,5 mm kesme derinliği ve 100 ml/saat yağlama miktarı parametreleri kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda meydana gelen kesici takımdaki aşınma türleri gösterilmektedir. Şekil 5.31'de ise 125 m/dak kesme hızı, mm/diş ilerleme miktarı, 0,5 mm kesme derinliği ve 150 ml/saat yağlama miktarı parametreleri kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda kesici takımda meydana gelen aşınma mekanizmaları gösterilmektedir. Frezeleme yapılan bölgelerde meydana gelen yüksek sıcaklıktan dolayı iş parçasından kopan malzeme kesici takımın yan yüzeyine yapışır ve daha sonradan yapılan frezeleme işlemlerinde kesici takıma yapışan iş parçası kırılarak kesici takımın kenarında çentik aşınması meydana getirmektedir. MQL sistemi kullanarak yapılan frezeleme işlemlerinde çentik aşınması, kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemlerine oranla daha az etki etmektedir.



Şekil 5.29: $V_f = 75$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve 50ml/saat minimum miktarda yağlama koşulunda aşınmış kesici takım görüntüsü.



Şekil 5.30: $V_f = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve 100ml/saat minimum miktarda yağlama koşulunda aşınmış kesici takım görüntüsü.



Şekil 5.31: $V_f=125$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve 150ml/saat minimum miktarda yağlama koşulunda aşınmış kesici takım görüntüsü.

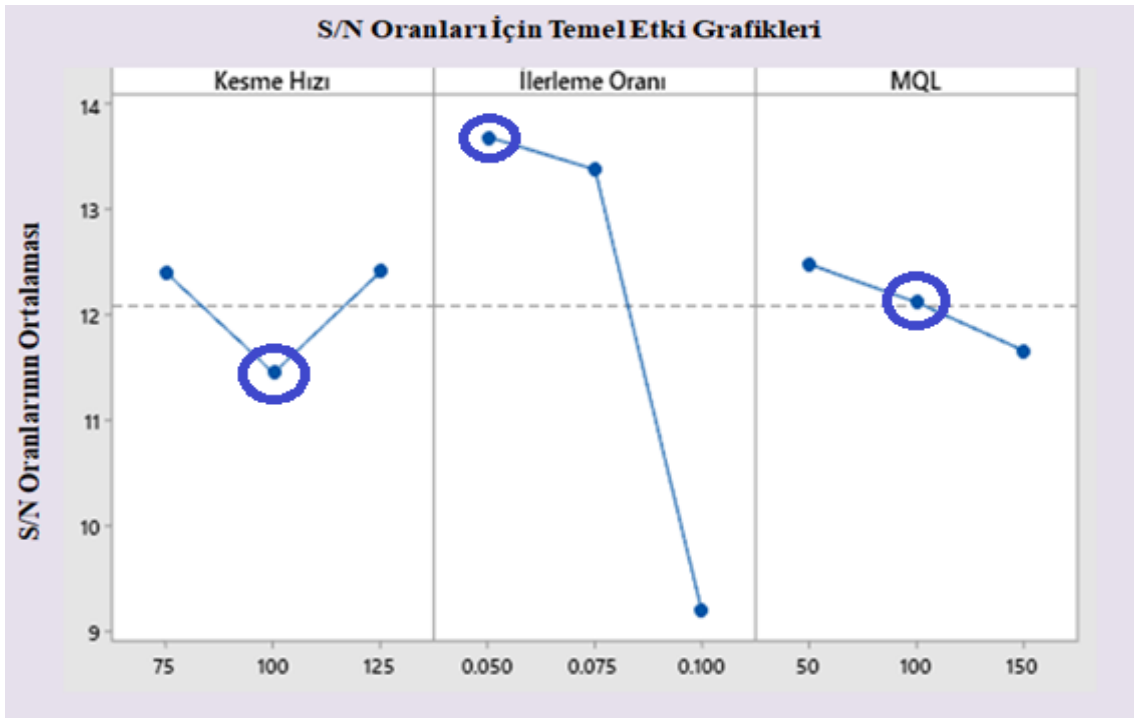
5.5 Tepki Yüzey Metodu (Minitab Programından Elde Edilen Değerler) İle Elde Edilen Sonuçların Analizi

5.5.1 Yüzey Pürüzlülük Değerleri İçin Gürültü (S/N) Analizi

Frezeleme işlemi sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N oranları Tablo 5.1’de gösterilmektedir. En iyi yüzey pürüzlülük değerlerini gösteren grafikler ise Şekil 5.32’de gösterilmektedir. Tablo 5.1’de görüldüğü gibi 100 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarı optimum kesme parametreleri olarak gösterilmektedir.

Tablo 5.1: Yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N oranları.

| Kontrol Faktörleri | | | | | |
|--------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------|---|----------------|
| Test No | V_c , Kesme Hızı (m/dak) | f_z , İlerleme Oranı (mm/diş) | Q , MQL (ml/saat) | Yüzey Pürüzlülüğü R_a , (μm) | S/N Oranı (dB) |
| 1 | 75 | 0,05 | 50 | 0,207 | 13,681 |
| 2 | 75 | 0,075 | 100 | 0,226 | 12,918 |
| 3 | 75 | 0,1 | 150 | 0,296 | 10,584 |
| 4 | 100 | 0,05 | 100 | 0,187 | 14,582 |
| 5 | 100 | 0,075 | 150 | 0,263 | 11,601 |
| 6 | 100 | 0,1 | 50 | 0,391 | 8,149 |
| 7 | 125 | 0,05 | 150 | 0,230 | 12,781 |
| 8 | 125 | 0,075 | 50 | 0,166 | 15,598 |
| 9 | 125 | 0,1 | 100 | 0,361 | 8,845 |



Şekil 5.32: Yüzey pürüzlülüğü değerleri için S/N oranlarının temel etki grafiği.

5.5.2 Tepki Yüzey Metodolojisi İle Yüzey Pürüzlülüğü İçin Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

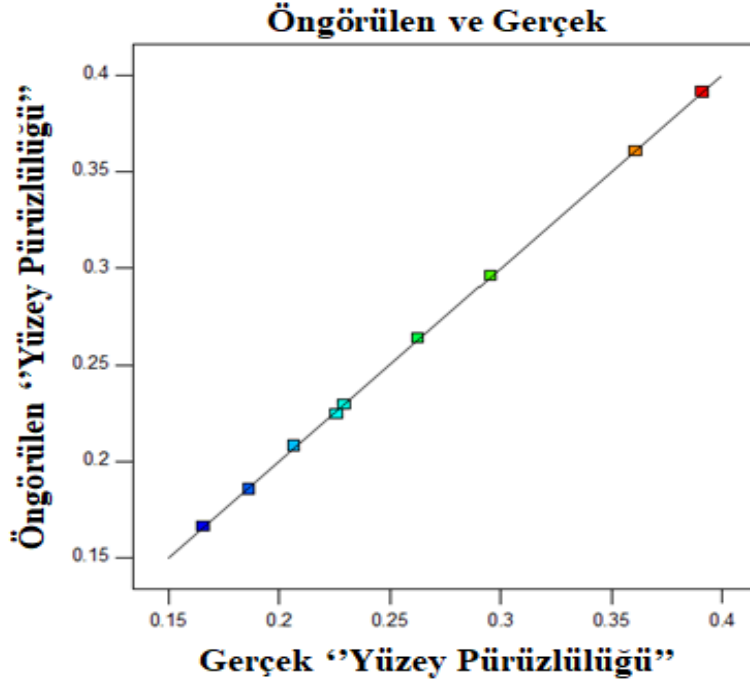
Yüzey pürüzlülük değerleri için varyans tablosunun analizi Tablo 5.2’de gösterilmektedir. 373,79 Model F değeri modelin önemli olduğunu göstermektedir. Gürültü nedeniyle bu değerlerin ortaya olasılığı %0,27 dir. 0,0500’den küçük “Prob>F” değerleri model terimlerinin önemli olduğunu göstermektedir. Bu durumda ilerleme oranı ve minimum miktarda yağlayıcı akış hızı önemli model terimleridir. R karesi 0,9991 değeri toplam varyasyonların %99,91’inin model tarafından doğru tahmin edildiğini göstermektedir.

Tablo 5.2: Yüzey pürüzlülüğü varyans tablosunun analizi [Kısmi kareler toplamı tip III].

| Kaynak | Kareler Toplamı | df | Ortalama Kare | F Değeri | p-değeri | |
|------------------|-----------------|-------------|---------------|----------|--------------------|--------|
| | | | | | Prob > F | |
| Model | 0,048 | 6 | 7,970E-003 | 373,79 | 0,0027 | Önemli |
| A-Kesme Hızı | 1,319E-004 | 1 | 1,319-0,004 | 6,19 | 0,1307 | |
| B-İlerleme Oranı | 0,036 | 1 | 0,036 | 1693,75 | 0,0006 | |
| C-MQL Akış Hızı | 9,547E-005 | 1 | 9,547E-005 | 4,48 | 0,1686 | |
| AC | 8,090E-003 | 1 | 8,090E-003 | 379,41 | 0,0026 | |
| A^2 | 2,143E-003 | 1 | 2,143E-003 | 100,50 | 0,0098 | |
| B^2 | 1,294E-003 | 1 | 1,294E-003 | 60,66 | 0,0161 | |
| Kalan | 4,265E-005 | 2 | 2,132E-005 | | | |
| Cor Total | 0,048 | 8 | | | | |
| Std. Dev. | 4,618E-003 | R-Kare | 0,9991 | | | |
| Ana | 0,26 | Adj R-Kare | 0,9964 | | | |
| C.V. % | 1,79 | Pred R-Kare | 0,9851 | | | |

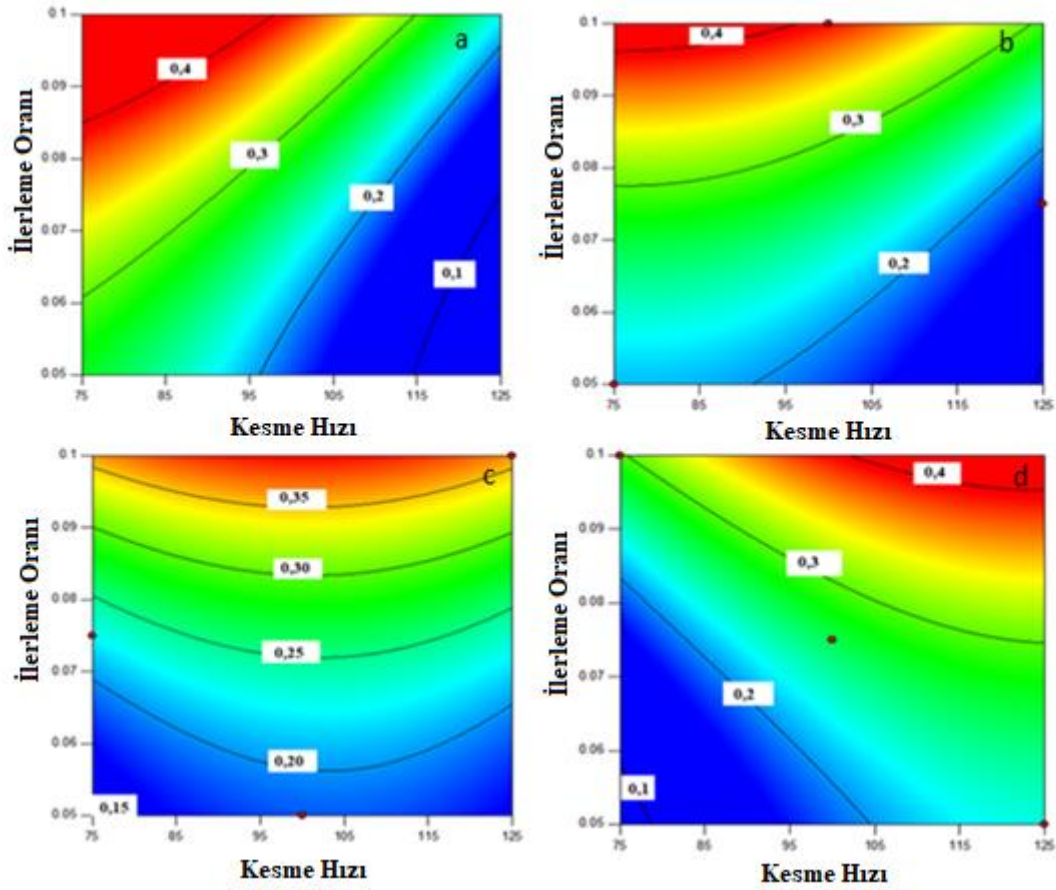
ANOVA’dan elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri için gerçek faktörler açısından cevap yüzey denklemleri şöyle verilmiştir.

$$R_a = +0,19 + 5,238E-003 \times V_c - 0,019 \times f_z - 0,028 \times Q + 0,020 \times V_c f_z + 0,060 \times f_z Q$$



Şekil 5.33: Deneylerle elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin ve model ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

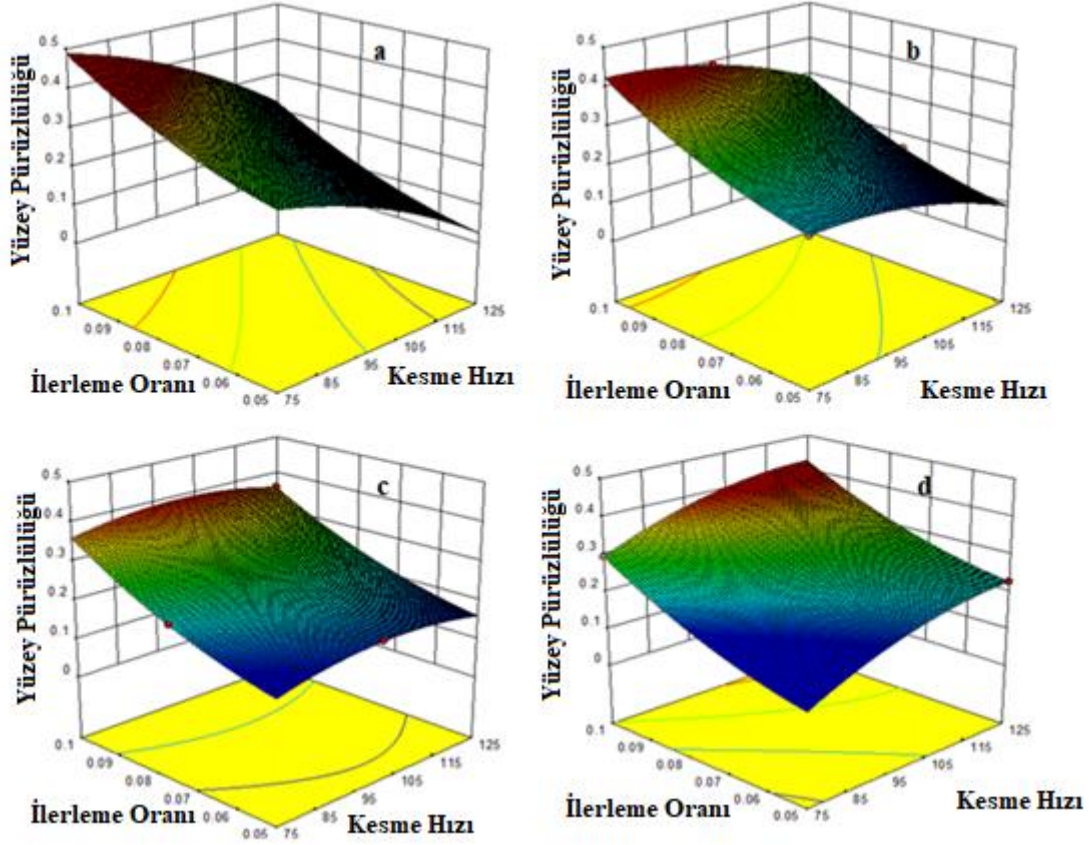
Şekil 5.33'de deneylerle hesaplanan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin model ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması gösterilmektedir. Buna göre modelden elde edilen verilerin deneysel verilerle çakıştığı görülmektedir. Elde edilen model ile hesaplanan değerlerin gerçek değerlerle karşılaştırılması sonucunda üçüncü test parametresi yüzey pürüzlülüğü sonucu %0,09 ile en düşük hata yüzdesi, en yüksek hata yüzdesi ise %1,26 ile ilk test parametresinde elde edilmektedir.



Şekil 5.34: Farklı MQL akış hızı koşulları için ilerleme oranı ve kesme hızının yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etkisi.

Şekil 5.34'te kuru kesme koşulları ve minimum miktarda yağlama sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemlerinde ilerleme oranı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin modeli gösterilmektedir. Şekil 5.34-a grafiğinde kuru kesme koşulları, Şekil 5.34-b grafiğinde 50 ml/saat yağlama, Şekil 5.34-c grafiğinde 100 ml/saat yağlama ve Şekil 5.34-d grafiğinde 150 ml/saat yağlama miktarında yapılan frezeleme işlemleri sırasında ilerleme oranının ve kesme hızının yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etkisinin incelendiği model gösterilmektedir. Kuru koşullarda (Şekil 5.34-a), ilerleme miktarının artması yüzey pürüzlülük değerini arttırmaktadır. Kuru koşullarda en düşük yüzey pürüzlülük değeri yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme oranında meydana gelmektedir. 50 ml/saat yağlama miktarında (Şekil 5.34-b), en yüksek yüzey pürüzlülük değeri düşük kesme hızları ve yüksek ilerleme oranında meydana gelmektedir. Kesme hızı arttıkça ve ilerleme oranı azaltıkça yüzey pürüzlülük değeri azalmaktadır. 100 ml/saat yağlama miktarında (Şekil 5.34-c), kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin çok az olduğu görülmektedir. Frezeleme işlemlerinde ilerleme oranının artması sonucu yüzey pürüzlülük değeri de artmaktadır. 150 ml/saat yağlama miktarında (Şekil 5.34-d), en yüksek yüzey

pürüzlülük değeri yüksek kesme hızı ve yüksek ilerleme oranında meydana gelmektedir. Kesme hızı ve ilerleme oranının azalması sonucunda yüzey pürüzlülük değeri de azalmaktadır. En düşük yüzey pürüzlülük değeri düşük kesme hızı ve düşük ilerleme oranında elde edilmektedir.



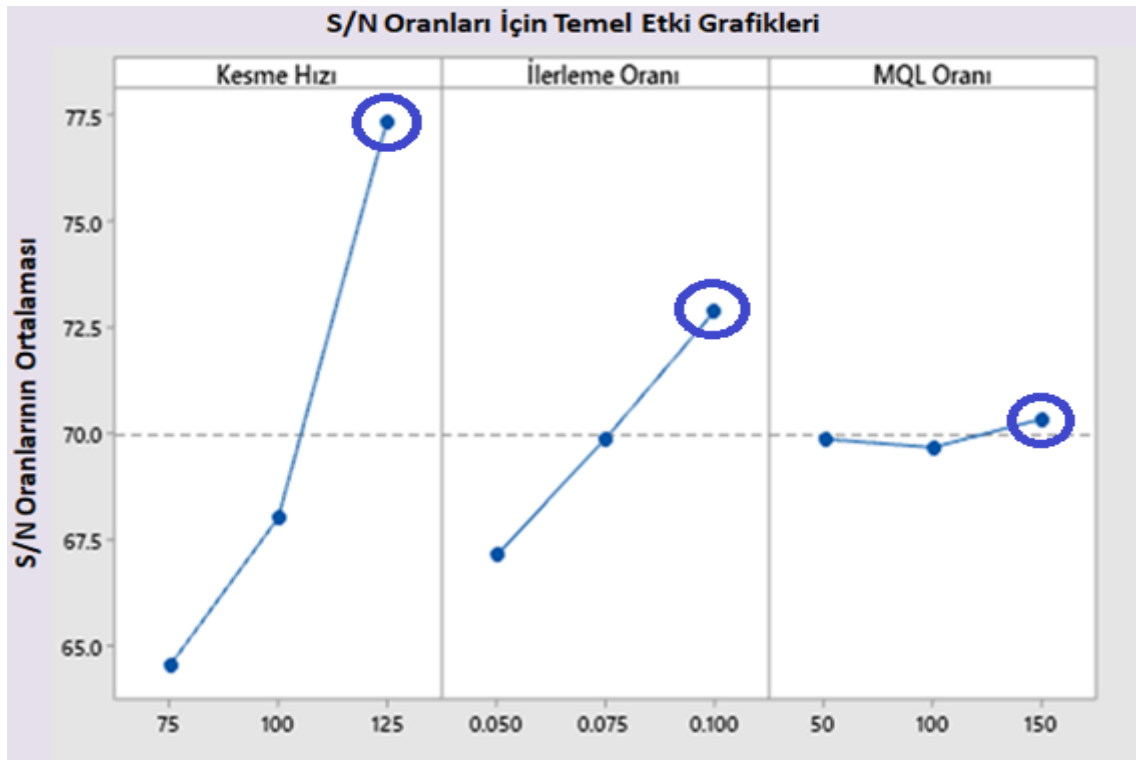
Şekil 5.35: Farklı MQL akış hızı değerleri için yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde ilerleme oranı ve kesme hızının etkisinin 3D yüzey grafikleri ile gösterilmesi.

Şekil 5.35'te ilerleme oranı ve kesme hızının yüzey pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin 3D yüzey grafikleri ile gösterilmektedir. Şekil 5.35-a kuru kesme koşulları, Şekil 5.35-b 50 ml/saat yağlama, Şekil 5.35-c 100 ml/saat yağlama ve Şekil 5.35-d 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine, ilerleme oranı ve kesme hızının etkileri gösterilmektedir. Kuru kesme koşulları ve 50 ml/saat yağlama miktarı parametreleri kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleri kesme hızı ve ilerleme oranının azalması sonucunda yüzey pürüzlülük değeri azalmaktadır. 100 ml/saat yağlama miktarı sonucunda meydana gelen yüzey pürüzlülük değeri ilerleme oranının azalması sonucu düşmektedir. 150 ml/saat yağlama

miktarında kesme hızı ve ilerleme oranının azalması sonucunda yüzey pürüzlülük değeri azalmaktadır.

5.5.3 Kesme Kuvveti Değerleri için Gürültü Sinyali (S/N) Analizi

Tablo 5.3, ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri ve meydana gelen S/N oranları gösterilmektedir. Şekil 5.36'da, en uygun kesme kuvveti seviyelerini göstermektedir. Şekil 5.36'da 125 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/diş ilerme miktarı ve 150 ml/saat yağlama miktarı en düşük kesme kuvveti değerlerini üreten en uygun parametreler olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.36: Kesme kuvveti değerleri için S/N oranlarının temel etki grafiği.

Tablo 5.3: Kesme kuvveti sonuçları ve S/N oranı değerleri.

| Kontrol Faktörleri | | | | | |
|---------------------------|---|--|--------------------------------------|---|-----------------------|
| Test No | V_c, Kesme Hızı (m/dak) | f_z, İlerleme Oranı (mm/diş) | Q, MQL (ml/saat) | Yüzey Pürüzlülüğü R_a, (μm) | S/N Oranı (dB) |
| 1 | 75 | 0.050 | 50 | 59.725 | -35.5231 |
| 2 | 75 | 0.075 | 100 | 56.116 | -34.9817 |
| 3 | 75 | 0.100 | 150 | 77.718 | -37.8104 |
| 4 | 100 | 0.050 | 100 | 74.766 | -37.4741 |
| 5 | 100 | 0.075 | 150 | 66.458 | -36.4509 |
| 6 | 100 | 0.100 | 50 | 62.819 | -35.9618 |
| 7 | 125 | 0.050 | 150 | 66.855 | -36.5027 |
| 8 | 125 | 0.075 | 50 | 87.071 | -38.7975 |
| 9 | 125 | 0.100 | 100 | 78.141 | -37.8576 |

5.5.4 Kesme Kuvveti İçin Deneysel Sonuçların Tepki Yüzey Metodolojisi İle Değerlendirilmesi

Tablo 5.4'te kesme kuvveti değerleri için varyans tablosunun analizi ve bir model gösterilmektedir. 649,43 modelinin F değeri, modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Gürültü nedeniyle bu kadar büyük bir F değerinin ortaya çıkma olasılığı %0,15'dir. 0,0500'den düşük "Prob>F" değerleri model terimlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu durumda ilerleme oranı ve ilerleme oranının karesi önemli model terimleridir. R-kare 0,9995, toplam varyasyonların %99,95'inin model tarafından doğru tahmin edildiği anlamına gelmektedir. 4'ten büyük bir oran arzu edilmektedir.

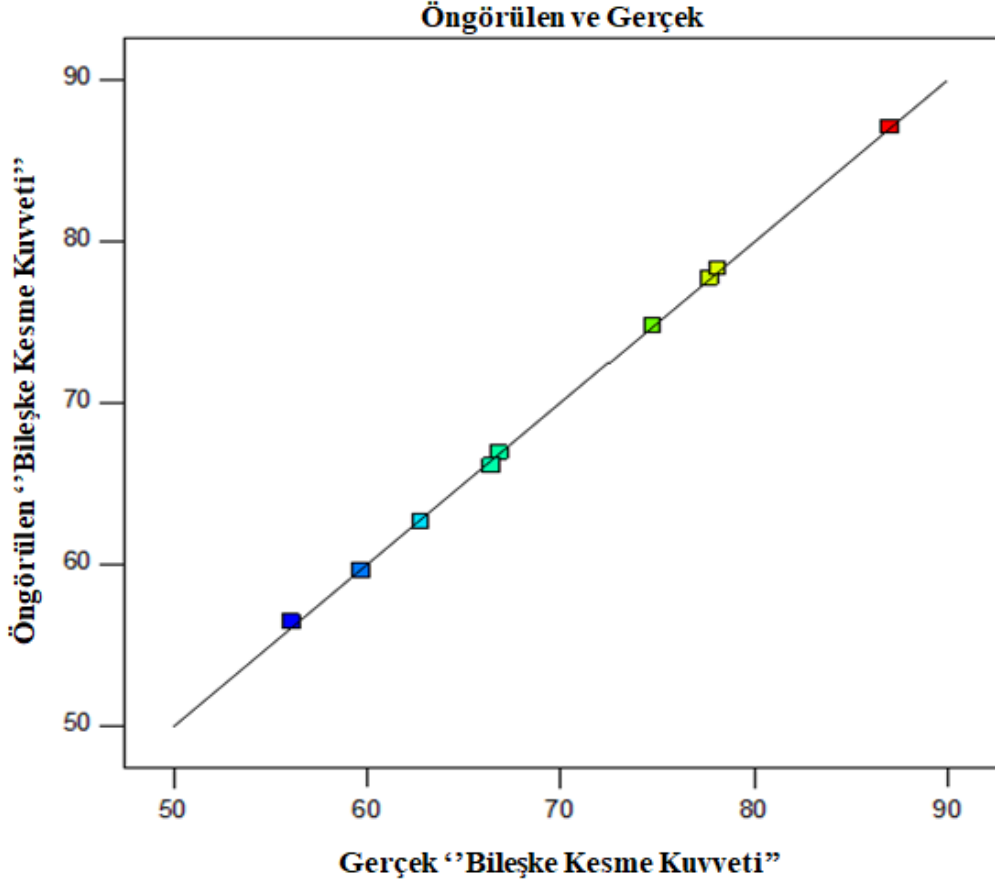
Tablo 5.4: Elde edilen kesme kuvveti için varyans tablosunun analizi [Kısmi kare toplamı - tip III]

| Kaynak | Kareler | df | Ortalama | F Değer | p-değer | |
|------------------|---------|-------------|----------|---------|----------|--------|
| | Toplamı | | Kare | | Prob > F | |
| Model | 811.89 | 6 | 135.32 | 649.43 | 0.0015 | Önemli |
| A-Kesme Hızı | 307.19 | 1 | 307.19 | 1474.31 | 0.0007 | Önemli |
| B-İlerleme Oranı | 27.94 | 1 | 27.94 | 134.11 | 0.0074 | Önemli |
| C-MQL Akış hızı | 0.33 | 1 | 0.33 | 1.60 | 0.3329 | |
| AB | 222.22 | 1 | 222.22 | 1066.52 | 0.0009 | Önemli |
| AC | 74.30 | 1 | 74.30 | 356.60 | 0.0028 | Önemli |
| B ² | 55.13 | 1 | 55.13 | 264.59 | 0.0038 | Önemli |
| Kalan | 0,42 | 2 | 0,21 | | | |
| Cor Total | 812,31 | 8 | | | | |
| Std. Dev. | 0,46 | R-kare | 0,9995 | | | |
| Ana | 69,96 | Adj R-kare | 0,9979 | | | |
| C.V. % | 0,65 | Pred R-kare | 0,9803 | | | |

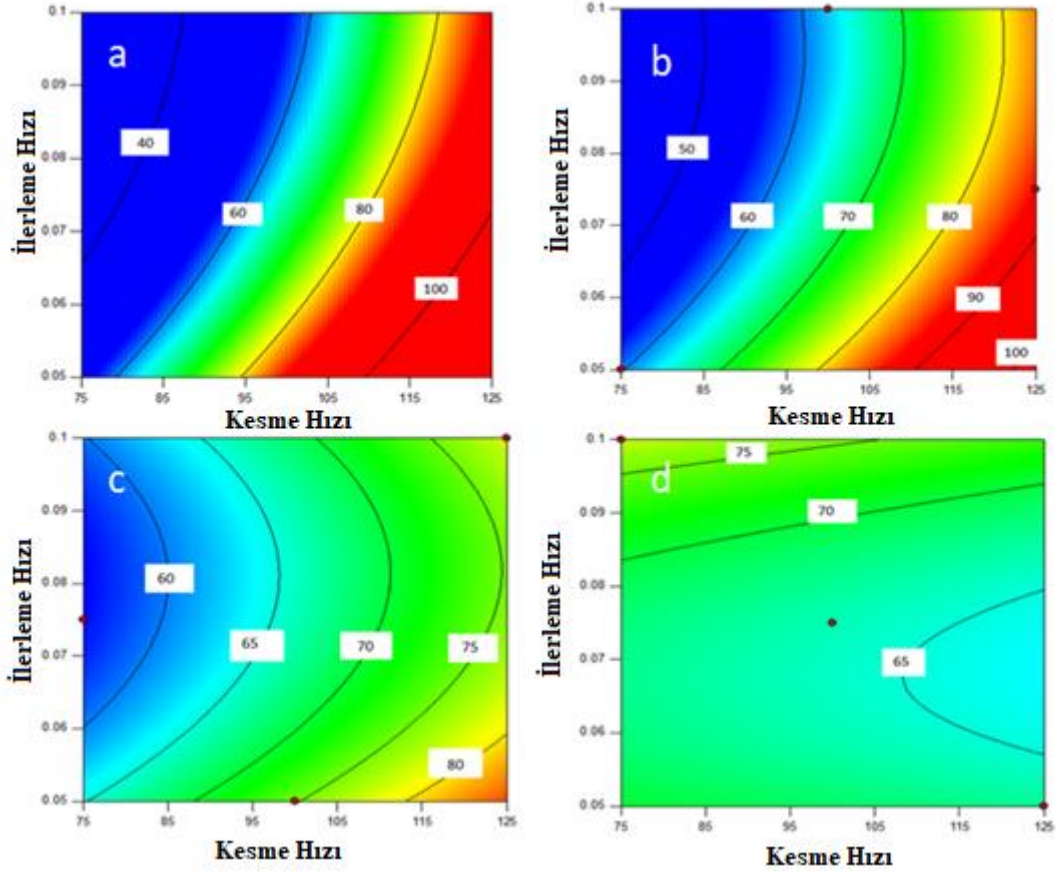
ANOVA'dan elde edilen yüzey sonucu kesme kuvveti değerleri için gerçek faktörler açısından cevap yüzey denklemleri şöyle verilmiştir:

$$F_r = +100,479 - 0,672xV_c + 1409,905x_fz - 0,406xQ + 3,058xV_cx_fz + 3,693E-003xV_cxQ - 5153,375*f_z^2$$

Şekil 5.37, deneylerle hesaplanarak elde edilen kesme kuvveti değerlerinin ve model ile elde edilen sonuçların karşılaştırılmasını gösterir. Buna göre, elde edilen modelin sonuçlarının ve gerçek sonuçların çoğunlukla birbirine yakın olduğu görülmektedir. Elde edilen model ile hesaplanan değerlerin gerçek değerlerle karşılaştırılması sonucunda, ilk test parametresi neticesinde elde edilen kesme kuvveti sonucu %0,15 ile en düşük hata yüzdesi, en yüksek hata yüzdesi %0,75 değeri olarak görülmektedir.

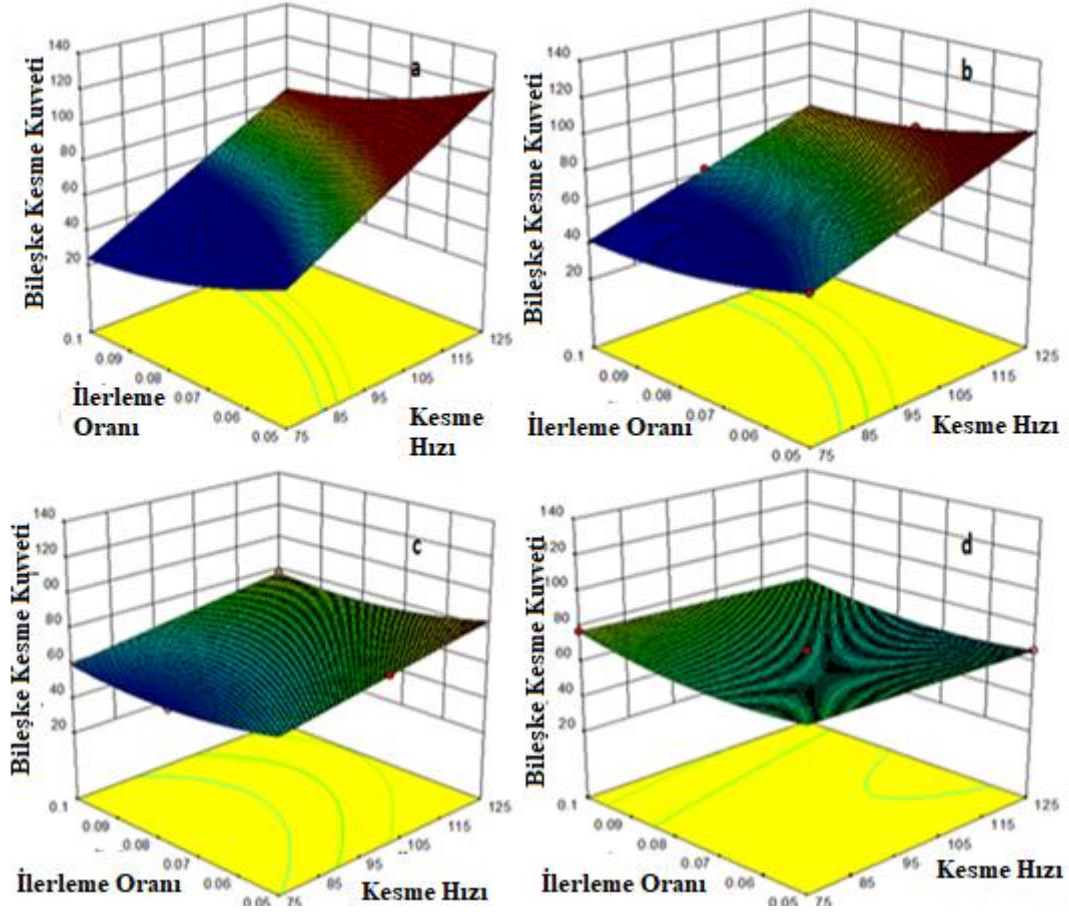


Şekil 5.37: Deneylerle elde edilen kesme kuvveti değerlerinin ve model ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması.



Şekil 5.38: Farklı minimum miktarda yağlama akış hızlarında, ilerleme oranı ve kesme hızının kesme kuvveti değerleri üzerindeki etkisi.

Şekil 5.38’de kuru kesme koşulları ve farklı yağlama miktarlarında ilerleme oranı ve kesme hızının kesme kuvvetlerine etkisi gösterilmektedir. Şekil 5.38-a kuru kesme koşulları, Şekil 5.38-b 50 ml/saat yağlama, Şekil 5.38-c’de 100 ml/saat yağlama ve Şekil 5.38-d’de 150 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilen kesme kuvvetlerine ilerleme oranı ve kesme hızının etkisi gösterilmektedir. Kuru koşullarda (Şekil 5.38-a), 50 ml/saat yağlama (Şekil 5.38-b) ve 100 ml/saat yağlama (Şekil 5.38-c) şartları altında kesme hızının artması ve ilerleme oranının azalması sonucunda kesme kuvveti değeri artmaktadır. 150 ml/saat yağlama (Şekil 5.38-d) miktarında ise kesme hızının azalması ve ilerleme oranının artması sonucu kesme kuvveti artmaktadır.



Şekil 5.39: Farklı minimum miktarda yağlama akış hızları için, ilerleme oranı ve kesme hızının kesme kuvveti değerleri üzerindeki etkisinin 3D grafiği.

Şekil 5.39’da kuru kesme koşulu, 50 ml/saat, 100 ml/saat ve 150 ml/saat yağlama miktarlarında yapılan frezeleme işlemlerinde ilerleme ve kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkileri oluşturulan üç boyutlu model ile gösterilmektedir. Kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen en yüksek bileşke kesme kuvveti yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme oranında meydana gelmektedir. En düşük kesme kuvveti ise en düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme oranında elde edilmektedir. 50 ml/saat yağlama miktarı kullanılarak yapılan frezeleme işlemlerinde ise en büyük bileşke kesme kuvveti yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme oranında meydana gelmektedir. en düşük kesme bileşke kesme kuvveti ise düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme oranında elde edilmektedir. 100 ml/saat yağlama miktarı kullanılarak elde edilen en yüksek bileşke kesme kuvveti, yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarında meydana gelmektedir. 150 ml/saat yağlama miktarı kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen en yüksek bileşke kesme kuvveti ise düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme oranında elde edilmektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında üretim sanayinde sıklıkla kullanılan AISI D2 çeliğinin karbür kesici takımlar ile frezelemede minimum miktarda yağlama sisteminin işlenebilme kabiliyetine etkisi incelenmektedir. Yapılan çalışmada kesici takımın işleme özellikleri, kesici takımın kesme ömrü ve kesici takımda meydana gelen aşınma tipleri araştırılmaktadır. Yapmış olduğumuz çalışmada kesme parametrelerinin en uygun deney sayısını vermesi için Taguchi L9 ortogonal deney dizinine koyulmuştur ve deney serileri belirlenmiştir. Deney parametreleri olarak kesme hızı, kesme adımı, kesme derinliği ve MQL miktarı belirlenmiştir. Bu deney parametreleri Taguchi L9 ortogonal deney dizinine yerleştirilerek deney deseni elde edilmiştir. Deney parametreleri olarak 75-100-125 m/dak kesme hızları, 0,05-0,075-0,1 mm/diş kesme adımları, 50-100-150 ml/saat yağlama miktarları ve sabit 1mm kesme derinliği kullanılmaktadır. Kesici takımın ömrünü tamamlaması kriteri olarak kesici takımda meydana gelecek olan 0,25 mm aşınma olarak belirlenmiştir. Kullanılan iş parçası 150 mm genişliğindedir. Her bir talaş kaldırma işleminden sonra iş malzemesi ve kesici takım talaş ve yağdan temizlenmektedir. İş malzemesinin frezeleme işlemi yapılmış yüzeyin üzerinden 7 farklı noktadan yüzey pürüzlülük değerleri alınmakta ve ortalamaları o talaş kaldırma pasosunun değeri olarak yazılmaktadır. Her talaş kaldırma işleminden sonra kesici takımda oluşan aşınma mikroskop yardımı ile kayıt altına alınmaktadır. Frezeleme işlemi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin ölçümü de dik işleme merkezinin tablasına bağlanan dinamometre ile ölçülüp dijital ortamda kayıt altına alınmaktadır. Bu deney sonuçlarına bakılarak AISI D2 çeliğinin MQL sistemi ve kuru koşullar altında işlenmesi sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri, kesici takım ömürleri ve iş parçasında oluşan yüzey pürüzlülük değerleri incelenmektedir.

AISI D2 takım çeliğinin işlenmesi sonucunda ortaya çıkan en iyi takım ömürleri kıyaslanmaktadır. AISI D2 çeliğinin MQL sistemi ve kuru şartlar altında frezelemesi sonucunda elde edilen en iyi takım ömrü 11,85 m olarak bulunmaktadır. Bu değer MQL sistemi kullanılarak, 0,05 mm/diş kesme adımı, 75 m/dak kesme hızı ve 50 ml/saat

yağlama miktarı parametreleri kullanılarak elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri kullanılarak yapılan kuru şartlar altındaki frezeleme işlemlerinde elde edilen takım ömrü 9,15 m olarak bulunmaktadır. MQL sistemi kullanılarak elde edilen kesici takım ömrü ile kuru koşullar altında elde edilen takım ömrü arasında ortalama %30'luk bir artış görülmektedir. Bu sonucun bize göstermiş olduğu ise MQL sisteminin takım ömrüne pozitif anlamda bir katkısı olduğudur. AISI D2 çeliğinin 100m/dak kesme hızında elde edilen en iyi takım ömrü ise 8,25 m'dir. Bu sonuç MQL sistemi kullanılarak 0,05 mm/diş kesme adımı, 1 mm kesme derinliği ve 100 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri altında kuru kesme koşullarında elde edilen kesici takım ömrü ise 7,35 m'dir. 100 m/dak kesme hızında MQL sistemi ile kuru kesme koşulları arasında ortalama %12'lik bir artış gözlemlenmektedir. AISI D2 çeliğini 125 m/dak kesme hızında elde edilen en iyi kesici takım ömrü ise 5,850 m'dir. Bu kesici takım ömrü MQL sistemi kullanılarak 0,05 mm/diş kesme adımı, 1 mm kesme derinliği ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri kullanılarak yapılan kuru kesme işlemlerinde elde edilen en iyi takım ömrü 5,25 m olarak elde edilmiştir. 125 m/dak kesme hızında MQL sistemi kullanılarak elde edilen takım ömrü kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemi sonucunda elde edilen takım ömrüne oranla %11 artmaktadır. MQL sistemi ile yapılan tüm kesme işlemlerinde takım ömrü kuru işleme sonucunda elde edilen kesici takım ömürlerine oranla yüksek çıkmaktadır. Bu sonuçlara bakılarak MQL sisteminin kesici takımın kesme ömrüne pozitif anlamda katkısı olduğu görülmektedir.

AISI D2 çeliğinin frezelenmesi sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülük değerleri kıyaslanmaktadır. AISI D2 çeliğinin frezelenmesi sonucunda elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri $Ra=0,150 \mu\text{m}$ 'dir. Bu değer MQL şartları altında 100 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve 100 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. 75 m/dak kesme hızında elde edilen en küçük yüzey pürüzlülük değeri ise $Ra=0,184 \mu\text{m}$ 'dir. Bu değer MQL sistemi altında 0,05 mm/diş kesme adımı ve 50 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri kullanılarak kuru kesme koşulları altında elde edilen yüzey pürüzlülük değeri ise $Ra=0,265 \mu\text{m}$ 'dir. MQL sistemi kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kuru kesme işlemlerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oranla yaklaşık olarak %31'lik bir azalma görülmektedir. 100m/dak kesme hızı ve MQL sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise $Ra=0,150 \mu\text{m}$ 'dir. Bu değer 0,05 mm/diş kesme adımı ve 100ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri kullanılarak

yapılan kuru işlemler sonucunda elde edilen en küçük yüzey pürüzlülük değeri ise $Ra=0,200 \mu\text{m}$ 'dir. MQL sistemi kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kuru kesme işlemlerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oranla yaklaşık olarak %25'lik bir azalma görülmektedir. 125 m/dak kesme hızı ve MQL sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise $Ra=0,161 \mu\text{m}$ 'dir. Bu değer 0,075 mm/diş kesme adımı ve 50 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri kullanılarak yapılan kuru işlemler sonucunda elde edilen en küçük yüzey pürüzlülük değeri ise $Ra=0,230 \mu\text{m}$ 'dir. MQL sistemi kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kuru kesme işlemlerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oranla yaklaşık olarak %30'luk bir azalma görülmektedir. Tüm kesme parametrelerinde görüldüğü gibi MQL sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen minimum yüzey pürüzlülük değerleri kuru şartlar altında yapılan frezeleme sonucunda elde edilen minimum yüzey pürüzlülüklerine oranla daha düşüktür. Bu sonuçlar göstermektedir ki MQL sistemi frezeleme sonucunda iş parçasında meydana gelen yüzey pürüzlülük değerlerine pozitif yönde katkıda bulunmaktadır.

AISI D2 çeliğinin işlenmesi sonucu ortaya çıkan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri kıyaslandığında MQL sistemi kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kuru işlemeye oranla düşük çıkmaktadır. 75 m/dak kesme hızındaki frezeleme işlemleri sonucunda meydana gelen en düşük yüzey pürüzlülük değeri $Ra=0,226 \mu\text{m}$ olarak belirlenmekte ve bu yüzey pürüzlülük değeri 0,075 mm/diş kesme adımı ve 100 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri ile kuru kesme koşulları altında elde edilen yüzey pürüzlülük değeri ise $Ra=0,243 \mu\text{m}$ 'dir. 100 m/dak kesme hızındaki frezeleme işlemleri sonucunda meydana gelen en düşük yüzey pürüzlülük değeri $Ra=0,263 \mu\text{m}$ ile 0,75 mm/diş kesme adımı ve 150 ml/saat yağlama miktarında meydana gelmektedir. Aynı kesme parametreleri ile kuru koşullar altında elde edilen yüzey pürüzlülük değeri ise $Ra=0,331 \mu\text{m}$ 'dir. 125 m/dak kesme hızındaki frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise $Ra=0,166 \mu\text{m}$ ile 0,075 mm/diş kesme adımı ve 50 ml/saat yağlama miktarında meydana gelmektedir. Aynı kesme parametreleri kullanılarak kuru kesme koşulları altında elde edilen yüzey pürüzlülük değeri ise $Ra=0,242 \mu\text{m}$ 'dir. Elde edilen sonuçlardan da görülmektedir ki MQL sisteminin kuru kesme koşullarına oranla talaş kaldırma işlemi yapılan iş malzemesinin yüzey pürüzlülük değerlerinde katkısı bulunmaktadır.

AISI D2 çeliğinin MQL sistemi ve kuru koşullar altında işlenmesi sonucunda ortaya çıkan ortalama kesme kuvveti değerleri kıyaslanmaktadır. AISI D2 çeliğinin frezelenmesi sonucunda elde edilen en küçük ortalama kesme kuvveti değeri $F_R = 56,613$ N'dur. Bu değer 125 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği, 0,05 mm/diş kesme adımı ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Bu kesme parametreleri kullanılarak yapılan kuru frezeleme işleminde elde edilen ortalama kesme kuvveti ise $F_R = 82,876$ N'dur. MQL sistemi ile yapılan frezeleme işlemi sonucunda elde edilen ortalama kesme kuvveti değeri ile kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemi arasında yaklaşık olarak %36 oranında azalma görülmektedir. 75 m/dak kesme hızı ile yapılan frezeleme işlemlerinde elde edilen en küçük ortalama kesme kuvveti $F_R = 60,219$ N ile 0,05 mm/diş kesme adımı ve 50ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri kullanılarak yapılan kuru kesme işlemlerinde ise elde edilen ortalama kesme kuvveti $F_R = 65,512$ N'dur. MQL sistemi ile yapılan frezeleme işlemi sonucunda elde edilen ortalama kesme kuvveti değeri ile kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemi arasında yaklaşık olarak %8 oranında azalma görülmektedir. 100 m/dak kesme hızında yapılan frezeleme işlemlerinde elde edilen en küçük ortalama kesme kuvveti $F_R = 64,786$ N'dur. Bu değer 0,05 mm/diş kesme adımı ve 100 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri kullanılarak yapılan kuru talaş kaldırma işlemleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti değeri $F_R = 68,225$ N'dur. MQL sistemi ile yapılan frezeleme işlemi sonucunda elde edilen ortalama kesme kuvveti değeri ile kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemi arasında yaklaşık olarak %5 oranında azalma görülmektedir. AISI D2 çeliğinin kuru ve MQL sistemi ile frezelenmesi sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri kıyaslandığında görülmektedir ki MQL sistemi frezeleme işleminde meydana gelen kesme kuvvetlerinin azalmasında önemli bir paya sahiptir.

AISI D2 çeliğini frezeleme işlemlerinde elde edilen ortalama kesme kuvvetini F_y , F_x , F_z kuvvetleri oluşturmaktadır. Frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen en küçük F_y kesme kuvveti değeri 23,040 N'dur ve bu değer 100 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği, 0,05 mm/diş kesme adımı kullanılarak yapılan kuru işlemlerde meydana gelmektedir. Bu parametreler kullanılarak MQL şartları altında yapılan kesme işlemlerinde elde edilen F_y kesme kuvveti ise 34,66 N'dur. 75 m/dak kesme işleminde elde edilen en küçük F_y kesme kuvveti 27,170 N'dur ve bu değer 0,1 mm/diş kesme adımı ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri altında kuru işleme yöntemi ile yapılan frezeleme işlemlerinde ise elde edilen en küçük F_y kesme kuvveti 46,426 N'dur.

125 m/dak kesme hızında elde edilen en küçük F_y kesme değeri ise 33,153 N'dur ve bu değer 0,05 mm/diş kesme adımı ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri ile kuru kesme koşulları altında elde edilen F_y kesme kuvveti ise 38,023 N'dur.

Ortalama kesme kuvveti elde edilirken F_x kesme kuvveti de bulunmaktadır. AISI D2 çeliğinin frezelenmesi sonucu elde edilen en küçük F_x kesme kuvveti 0,908 N'dur ve bu değer 100 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği, 0,05 mm/diş kesme adımı ve 100 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri kullanılarak yapılan kuru kesme işlemleri sonucunda elde edilen F_x kesme kuvveti ise 3,051 N'dur. 75 m/dak kesme hızında elde edilen en düşük F_x kesme kuvveti 1,441 N'dur ve bu değer 0,05 mm/diş kesme adımı ve 50 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri kullanılarak kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme sonucunda elde edilen F_x kesme kuvveti ise 4,972 N olarak belirlenmiştir. 125 m/dak kesme hızındaki frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen en düşük F_x kesme kuvveti 2,601 N'dur ve bu değer 0,05 mm/diş kesme adımı ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri kullanılarak yapılan kuru işlemede sonucunda elde edilen F_x kesme kuvveti ise 2,863 N'dur.

Ortalama kesme kuvveti elde edilirken F_z kesme kuvvetide bulunmaktadır. AISI D2 çeliğinin frezelenmesi sonucu elde edilen en küçük F_z kesme kuvveti 39,009 N'dur ve bu değer 75 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği, 0,05 mm/diş kesme adımı ve 50 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri kullanılarak kuru kesme koşulları altında elde edilen F_z kesme kuvveti ise 47,847 N dur. 100 m/dak kesme hızında elde edilen en düşük F_z kesme kuvveti 51,496 N ile 0,05 mm/diş kesme adımı ve 100 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri ile kuru kesme koşulları altında frezeleme sonucu elde edilen F_z kesme kuvveti ise 56,891 N olarak belirlenmiştir. 125 m/dak kesme hızındaki frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen en düşük F_z kesme kuvveti 46,325 N'dur ve bu değer 0,05 mm/diş kesme adımı ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmektedir. Aynı kesme parametreleri ile kuru koşullar altında yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen F_z kesme kuvveti ise 71,127 N'dur.

Yapılan bu çalışmada bulunan takım ömrü değerleri, kesme kuvvetleri değerleri, minimum ve ortalama yüzey pürüzlülük değerlerine bakıldığında MQL sistemi altında yapılan frezeleme işlemlerinde elde edilen sonuçların kuru kesme koşulları altında yapılan frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen sonuçlara kıyasla olumlu bir şekilde değiştiği görülmektedir. MQL sisteminin frezeleme işleminde sürdürülebilirlik açısından kuru kesme koşullarına kıyasla daha faydalı olduğu görülmektedir.

Öneriler:

1. Minimum miktarda yağlama sisteminde farklı sıvılar kullanılarak farklı kesici takımlar ile işleme yapılabilir.
2. Minimum miktarda yağlama yöntemi farklı imalat işlemlerinde de kullanılabilir.
3. Minimum miktarda yağlama sisteminde kullanılan yağlayıcı malzemenin miktarı değiştirilerek işleme yapılabilir.
4. Minimum miktarda yağlama sisteminde farklı kesici takımlar kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdel, H. ve El-Hofy, G. (2014). Fundamentals of Machining Processes: Conventional and Nonconventional Processes, Ed.; Abdel, H. ve El-Hofy, G; CRC Press Ltd., Florida, s. 87-95.
- Akben, U. (2009). Minimum Miktarda Yağlama (MMY) ile Kesmenin Takım Aşınması Ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 113 s.
- Altıntaş, Y. (2012). Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations and Cnc Design, Ed.; Altıntaş, Y; Cambridge University Press, New York, s. 32-325.
- Arık, İ. (2010). Farklı Adımlı Kesici Ağzılara Sahip Freze Çakılarının Tırlama Titreşimleri Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Konya, 96 s.
- Arsecularatne, J.A., Zhang, L.C., Montross, C. ve Mathew, P. (2006). On machining of hardened AISI D2 steel with PCBN tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 171: pp. 244-252.
- Ashby, M.F. ve Jones, D.R.H. (2013). Engineering Materials 2, Ed.; Ashby, M.F ve Jones, D.R.H; Elsevier Ltd., Oxford, s. 4-6.
- Aydinoğlu, B. (2002). Az Alaşımlı Krom-Molibden Çeliklerinin Yapı Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalı, İstanbul, 82 s.
- Bayer, R.G. (2004). Mechanical Wear Fundamentals and Testing, Ed.; Bayer, R.G.; Marcel Dekker; New York, s.16-21.
- Bhushan, B. (2001). Modern Tribology Handbook, Ed.; Bhushan, B; CRC Press, Ohio, s. 459-475.
- Bhushan, B. (2013). Principles and Applications of Tribology, Ed.; Bhushan, B; A John Wiley & Sons Ltd., New York, s. 459-475.
- Bryson, W.E. (2015). Heat Treatment, Ed.; Bryson, W.E; Hanser Publications, Munich, s. 150-170.
- Büyükkelleci, Ü. (2008). Yeni Bir Aşınma Test Cihazı Tasarımı Ve Bazı Metallerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 50 s.
- Carvill, J. (1994). Mechanical Engineer's Data Handbook, Ed.; Carvill, J; Elsevier Ltd., Oxford, s.218-265.

- Conger, D.B., Emiroğlu, U., Uysal, A. ve Altan, E. (2019). An experimental study on cutting forces and surface roughness in MQL milling of aluminum 6061. *International Scientific Journal Machines. Technologies. Materials.* 13(2): 86-89.
- Çiçek, A., Ekici, E., Uygur, İ., Akıncıoğlu, S. ve Kıvak, T. (2012). AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde derin kriyojenik işlemin takım ömrü üzerindeki etkilerinin araştırılması. *SDÜ Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4 (1): 1-9.
- Davim, J.P. (2011). *Machining of Hard Materials*, Ed.; Davim, J.P; Springer Science & Business Media, Aveiro, s. 5-8.
- Demirtaş, S. (2017). İçten Yanmalı Motorda Üst Ölü Noktada Meydana Gelen Aşınma Mekanizmalarının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 73 s.
- Dhar, N.R., Kamruzzaman, M. ve Ahmed, M. (2006). Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 172(2): 299-304.
- Ekinovic, S., Prcanovic, H. ve Begovic, E. (2015). Investigation of influence of MQL machining parameters on cutting forces during MQL turning of carbon steel St52-3. *Procedia Engineering* 132: 608-614.
- Elmunafi, M.H.S., Kurniawan, D. ve Noordin, M.Y. (2015). Tool life of coated carbide cutting tool when turning hardened stainless steel under minimum quantity using castor oil. 2. *International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference*, 4-6 Şubat 2015, Bali Indonesia, s. 563-567.
- Erdem V., Belevi, M. ve Koçhan, C. (2010). Taguchi metodu ile plastik enjeksiyon parçalarda çarpılmanın en aza indirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 12 (2): pp. 18-29.
- Gaitonde, V.N., Karnik, S.R. ve Davim, J.P. (2008). Selection of optimal MQL and cutting conditions for enhancing machinability in turning of brass. *Journal of Materials Processing Technology* 204: 459-464.
- Groover, Mikell P. (2013). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials*, Ed.; Groover, M. P; John Wiley & Sons., Danvers, s. 566-571.
- Guo, Y.B. ve Liu, C.R. (2002). Mechanical properties of hardened AISI 52100 steel in hard machining processes. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 124 (1): 1-9.
- Halling, J. (1978). *Principles of Tribology*, Ed.; Halling, J.; The Macmillan International Ltd., London, s.100-103.
- Hocheng, H. (2012). *Machining Technology for Composite Materials*, Ed.; Hocheng, H; Woodhead Publishing Limited, Oxford, s. 123-137.

- İlhan, M. (2014). Talaş Kaldırma İşlemlerinde Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Uygulamasının Kesme Hızı ve Yağlama Debisinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 75 s.
- Joshi, K.K., Behera, R.K. ve Anurag. (2018). Effect of minimum quantity lubrication with Al₂O₃ nanofluid on surface roughness and its prediction using hybrid fuzzy controller in turning operation of inconel 600. *Materials Today: Proceedings*, 5: 20660-20668.
- Kang, M.C., Kim, K.H., Shin, S.H., Jang, S.H., Park, J.H. ve Kim, C. (2008). Effect of minimum quantity lubrication in high-speed end-milling of AISI D2 cold-worked die steel (62HRC) by coated carbide tools. *Surface & Coatings Technology*, 202: pp. 5621-5624.
- Karabatak, M. ve Kara, F. (2016). AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün deneysel optimizasyonu. *Politeknik Dergisi*, 19(3): 349-355.
- Karaoğlu, Y. (2006). Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 82 s.
- Kaya, B. (2009). Sensör ve Karar Entegrasyonu ile Frezeleme İşlemleri İçin Çevrimiçi Bir Takım Durum Gözlem Sisteminin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 133 s.
- Kedare, S.B., D.R. Borse, ve P.T. Shahane. (2014). Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on surface roughness of mild steel of 15HRC on universal milling machine. *Procedia Materials Science*, 6: pp. 53-150.
- Khan, A. ve Maity, K. (2018). Influence of cutting speed and cooling method on the machinability of commercially pure titanium (CP-Ti) grade II. *Journal of Manufacturing Processes*, 31: 650–661.
- Khan, M.M.A. ve Dhar, N.R. (2006). Performance evaluation of minimum quantity lubrication by vegetable oil in terms of cutting force, cutting cone temperature, tool wear, job dimension and surface finish in turning AISI-1060 steel. *Journal of Zhejiang University Science A ISSN: 1790-1799*.
- Khan, M.M.A., Mithu, M.A.H. ve Dhar N.R. (2009). Effect of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid. *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 5573-5583.
- Klocke, F. (2013). *Manufacturing Processes 4*, Ed.; Klocke, F; Springer-Verlag, Berlin, s. 421-442.

- Koca, S. (2013). 55 HRC Sertliğindeki Isıl İşlem Görmüş DIN1.2344 ESR Kalıp Çeliğinin Yüksek İlerleme Frezelemesinde Takım Aşınması-Kalıntı Gerilmesi İlişkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, 105 s.
- Koshy, P., Dewes, D.K. ve Aspinwall, D.K. (2002). High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel (58 HRC). *Journal of Materials Processing Technology*, 127: 266-273.
- Kumar, S., Singh, D. ve Kalsi, N.S. (2017). Analysis of surface roughness during machining of hardened AISI 4340 steel using minimum quantity lubrication. *Materials Today: Proceedings*, 4: 3627-3635.
- Kurgun, S. (2014). Molibden Kaplı Piston Segmanlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 84 s.
- Kurşuncu, B. (2016). Inconel 718 Süper Alaşımının Frezelenmesinde Kriyojenik Isıl İşlem Görmüş Farklı İnce Film Kaplamalı Karbür Kesici Takımların Kesme Performansının Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demiral Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 223 s.
- Küçük, Z. (2017). Taguchi Deney Tasarım Yöntemi Kullanılarak Teğetsel ve Ortogonal Tornalama-Frezeleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı, Elazığ, 62 s.
- Lacalle, L.N.L., Campa, J.F ve Lamikiz, A. (2009). Machine Tools for High Performance Machining, Ed.; Lacalle, L.N.L., Campa, J.F ve Lamikiz, A; Springer-Verlag, New York, s. 213-303.
- Lawal, S.A., Choudhury, I.A. ve Nukman, Y. (2013). A critical assessment of lubrication techniques in machining processes: A case for minimum quantity lubrication using vegetable oil-based lubricant. *Journal of Cleaner Production*, 41: 210-221.
- Lee, R.R. (1999). Pocket Guide to Flanges, Fittings and Piping Data, Ed.; Lee, R.R; Elsevier Science & Technology Books, Oxford, s.104-110.
- Li, K.M. ve Chou, S.Y. (2010). Experimental evaluation of minimum quantity lubrication in near micro-milling. *Journal of Materials Processing Technology*, 210: pp. 2163-2170.
- Liao, Y. S., H. M. Lin, ve Y. C. Chen. (2007). Feasibility study of the minimum quantity lubrication in high-speed end milling of NAK80 hardened steel by coated carbide tool. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47 (11): 1667–1676.
- Llewellyn, D.T. ve Hudd, R.C. (1998). Steels: Metallurgy and Applications, Ed.; Llewellyn, D.T ve Hudd, R.C; Elsevier Ltd., Oxford, s. 291-341.

- Mamaghani, S.A. (2016). Frezeleme İşleminde Eş Yönlü ve Zıt Yönlü Talaş Kaldırmanın PVD Kaplanmış Sert Metal Uçlardaki Aşınma Türlerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 150 s.
- Neale, M.J. (1995). The Tribology Handbook, Ed.; Neale M.J; CRC Press Ltd., Florida, s. 150-75.
- Nee, A.Y. (2015). Handbook of Manufacturing Engineering and Technology, Ed.; Nee, A.Y; Springer-Verlag, New York, s. 830-850.
- Öndaş, A. (2016). Sert Tornalama İşleminde Minimum Miktarda Yağlama Yönteminin Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 85 s.
- Özay, Ç. (2009). Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yönteminde İşleme Parametrelerinin Teorik ve Deneysel Olarak Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 124 s.
- Park, Kyung Hee, Gi Dong Yang, ve Dong Yoon Lee. (2015). Tool wear analysis on coated and uncoated carbide tools in inconel machining. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 16 (7): 1639–45. <https://doi.org/10.1007/s12541-015-0215-x>.
- Paturi, U.M.R., Maddu, Y.R., Maruri, R.R. ve Narala, K.K.R. (2016). Measurement and analysis of surface roughness in WS2 solid lubricant assisted minimum quantity lubrication (MQL) turning of inconel 718. *Procedia CIRP*, 40: 138-143.
- Rahim, E. A., Ibrahim, M.R., Rahim, A.A., Aziz, S ve Mohid, Z. (2015). Experimental investigation of minimum quantity lubrication (MQL) as a sustainable cooling technique. 12. *Global Conference on Sustainable Manufacturing*, 2015: 351-354.
- Sharma, J. ve Sidhu, B.S. (2014). Investigation of effects of dry and near machining on AISI D2 steel using vegetable oil. *Journal of Cleaner Production*, 66: pp. 619-623.
- Singh, R. (2012). Applied Welding Engineering: Processes, Codes and Standards, Ed.; Singh, R; Elsevier Ltd., Oxford, s.53.
- Stachowiak, G.w. ve Batchelor, A.W. (2000). Engineering Tribology, Ed.; Stachowiak, G.W ve Batchelor, A.W; Butterworth-Heinemann, Oxford, s. 96-97.
- Şafak, H.E. (2008). Yüzeyi PVD Yöntemiyle Kaplanmış Metallerde Tribolojik Özelliklerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 113 s.
- Şah, A. (2018). Frezeleme İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne ve Kesme Enerjisine Etkisinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin, 42 s.

- Şimşek, B.T. (2010). Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının ve Takım Tutucuların Frezelemedeki Performansının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, 163 s.
- Şirin, E. (2010). AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Frezede İşlenebilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 92 s.
- Şirin, E., Turgut Y. ve Korkut, İ. (2012). Farklı sertlikteki AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezeleme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkisi. *Politeknik Dergisi*, 15(1): 9-14.
- Taylan, F. (2009). Sert Malzemelerin Frezelenmesinde Takım Aşınma Davranışlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 223 s.
- Toğuşlu, Ç. (2011). Cam Fiber ve Grafit Takviyeli Naylon 6 Matrisli Kompozit Malzemelerin Bazı Mekanik Özellikleri ve Aşınma Mekanizmalarının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 72 s.
- Ucun, İ., Aslantas, K. ve Bedir, F. (2013). An experimental investigation of the effect of coating material on tool wear in micro milling of inconel 718 super alloy. *Wear*, 300(1-2): 8–19.
- URL-1 (2019). <https://www.thebalance.com/metal-profile-steel-2340175>, Çeliklerin Özellikleri Hakkında, (02.15.2019).
- URL-2 (2019). <https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/steel/214-uses-of-steels>, Çeliklerin Kullanımı Hakkında, (02.15.2019).
- URL-3 (2019). <https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/steel/214-uses-of-steels>, 18 Farklı Çeliğin Kullanım Alanları Hakkında, (02.15.2019).
- Uysal, Alper., Demiren, F. ve Altan, E. (2015). Applying minimum quantity lubrication (MQL) method on milling of martensitic stainless steel by using nano MoS₂ reinforced vegetable cutting fluid. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195: 2742-2747.
- Wegman, R.F. ve Twisk, J.V. (2013). Surface Preparation Techniques for Adhesive Bonding, Ed.; Wegman, R.F ve Twisk, J.V; Elsevier Ltd., Oxford, s.67-72.
- Yaşar, S. ve Yılmaz, A.O. (2016). Kayaç kesme teorilerinin tarihsel gelişimi: Kama uçlu kesimler. *Yer Altı Kaynakları Dergisi*, 10: 31-41.
- Yıldızlı, K., Nair, F., Karamış, M. ve Akşit, İ. (2005). AISI 2379 D2 tipi soğuk iş takım çeliğinin farklı ısıl işlem ortamlarındaki sertleşme davranışı. *3.Demir Çelik Kongresi*, 1-4 Eylül 2005, Zonguldak, s. 191-196.

- Yürekli, Y. (2012). Frezeleme İşleminde Eş Yönlü ve Ters Yönlü Talaş Kaldırmanın CVD/PVD Kaplanmış Sert Metal Uçların Ömrüne Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 111 s.
- Zeyveli, M. ve Altuğ, M. (2011). DIN 1.2767 Soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin istatistiksel analizi. 6. *International Advanced Technologies Symposium*, 16-18 Mayıs 2011, s. 192-196.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Harun CAMCI
Doğum Yeri ve Tarihi : Şişli/İSTANBUL 25.02.1992

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım
Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine
Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyet/Yayımlar : Kurşuncu, B., Camcı, H. (2018). Proceeding boks of
fourth international conference on advances in
mechanical engineering: ICAME 2018, 19-21 Aralık
2018.

İletişim

E-Posta Adresi : haruncamc@gmail.com
Tel : +90 538 638 3810
Tarih : 17/01/2020 (Tez Savunma Tarihi)