



**PASLANMAZ ÇELİKLERİN FREZELENMESİNDE MİNİMUM
MİKTARDA YAĞLAMA ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

Tuğba YILDIZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2019

Tuğba YILDIZ tarafından hazırlanan “PASLANMAZ ÇELİKLERİN FREZELENMESİNDE MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL OLARAK AŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Abdülmecit GÜLDAŞ

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Şener KARABULUT

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 29 / 05 / 2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Tuğba YILDIZ

29/ 05 / 2019

PASLANMAZ ÇELİKLERİN FREZELENMESİNDE MİNİMUM MİKTARDA
YAĞLAMA ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Tuğba YILDIZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2019

ÖZET

Bu çalışmada, korozyon direnci, süneklik ve yüksek çekme dayanımı nedeniyle imalat sanayinde yaygın olarak kullanılan AISI 304 ve AISI 316L paslanmaz çeliklerin işleme davranışları incelenmiştir. Deneyler, kaplamalı ve kaplamasız karbür frezeler kullanılarak kuru ve minimum miktar yağlama (MMY) şartları altında üç eksenli bir CNC dik işleme takım tezgahı ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda, 45-60-75 m/dak üç farklı kesme hızı, 0,014- 0,03- 0,046 mm/dev ilerleme oranları ve 1,5 mm sabit kesme derinliği kullanılmıştır. Frezeleme parametrelerinin, kesme şartlarının, kaplamalı ve kaplamasız karbür parmak frezelerin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve varyans analizi (ANOVA) kullanılarak deneysel ölçümler değerlendirilmiştir. Test sonuçları, kesici takım tipinin, AISI 304 kuru frezeleme şartlarında yüzey pürüzlülüğü ve bileşke kesme kuvveti üzerinde en etkili faktör olduğunu, ilerleme oranının ise AISI 316L numunenin frezelemesinde en önemli kesme parametresi olduğunu göstermiştir. Kaplamasız karbür takımların, AISI 304'ün işlenmesi sırasındaki kaplamalı karbür takımlara kıyasla daha yüksek ilerleme hızlarında ve kesme hızlarında kabul edilebilir bir kesme performansı göstermediği görülmüştür. Test ölçümleri, minimum miktarda yağlama (MMY) koşulu altında yapılan deneylerde iş parçası yüzey kalitesinin dikkate değer bir biçimde iyileştiğini ve her iki test numunesinin frezelemesinde bileşke kesme kuvvetinin azaldığını göstermiştir.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : Minimum Miktarda Yağlama, Frezeleme, AISI 304, AISI 316L, Paslanmaz çelik, Yüzey pürüzlülüğü, Kesme kuvveti

Sayfa Adedi : 123

Danışman : Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

INVESTIGATION AS THE STATISTICAL OF EFFECT OF MINIMUM QUANTITY
LUBRICATION IN MILLING OF STAINLESS STEELS

(M. Sc. Thesis)

Tuğba YILDIZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2019

ABSTRACT

In this study, it was investigated the machining behavior of AISI 304 and AISI 316L stainless steels which are widely used in the manufacturing industry due to their corrosion resistance, ductility, and high tensile strength. The experiments were carried out by a three-axis CNC vertical machine tool under dry and minimum quantity lubrication (MQL) cutting environments using coated and uncoated carbide end mills. Three different cutting speeds of 45-60-75 m/min, feed rates of 0,014 - 0,03 - 0,046 mm/rev and 1.5 mm constant depth of cut were used during the experimental studies. The effects of milling parameters and cutting conditions on surface roughness and cutting forces using an uncoated and coated carbide end mills were investigated and experimental measurements were evaluated by using analysis of variance (ANOVA). The test results showed that the type of the cutting tool was the most effective factor on surface roughness and thrust cutting force under dry milling condition of AISI 304 while the feed rate was the most significant parameter in the milling of AISI 316L specimen. It was observed that the uncoated carbide tools were not indicated an acceptable cutting performance at higher feed rates and cutting speed compared with the coated carbide tools during machining of the AISI 304. The test measurements reveal that the quality of the machined surface was remarkably improved and the thrust cutting force was decreased in the milling of both test specimens under minimum quantity lubrication (MQL) condition.

Science Code : 91438

Key Words : Minimum Quantity Lubrication, Milling, AISI 304, AISI 316L,
Stainless Steel Surface Roughness, Cutting Force

Page Number : 123

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hakan DİLİPAK

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında, değerli vakitlerini ayırarak, bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren ve çalışmanın iyi bir şekilde sonuçlanmasına yardımcı olan, Tez Danışmanım ve değerli danışman Hocam Sayın. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK'a en içten dileklerimle saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca benden maddi-manevi desteklerini hiç esirgemeyen, çalışmalarım süresince her zaman yanımda olan, sevgileri ile bana güç veren aileme gönülden teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bilgi, tecrübe ve görüşleriyle her zaman bana yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ, Prof. Dr. Abdülmecit GÜLDAŞ, Dr. Gültekin UZUN, Arş. Gör. Bahattin YILMAZ ve isimlerini burada tek tek zikredemediğim tüm İmalat Mühendisliği Bölümü hocalarına saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Gerçekleştirilen bu tez çalışması, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimi tarafından desteklenmiştir. Tez çalışmasında göstermiş oldukları desteklerden dolayı Bilimsel Araştırma Projeler Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. Frezeleme Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar.....	5
2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar	6
2.3. Kesme Kuvveti Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar	8
2.4. Kesme Sıvıları (MMY) Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar.....	8
2.5. İşlenebilirlik Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar	11
3. KURAMSAL TEMELLER	15
3.1. Frezeleme	15
3.1.1. Parmak Freze	17
3.1.2. Frezelemede talaş kaldırmayı etkileyen faktörler	19
3.1.3. Frezelemede talaş kaldırma parametreleri	19
3.1.4. Frezeleme işlemimde oluşan kuvvetler	21
3.1.5. Yüzey pürüzlülüğü	24
3.1.6. Kesme sıvıları	27

	Sayfa
3.2. Paslanmaz Çelikler	37
3.2.1. Paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması	38
3.2.2. AISI 304 ve AISI 316L paslanmaz çelikler	40
3.3. İstatistiksel Analiz	42
3.2.1. Varyans analizi	42
3.2.1. Regresyon analizi	43
4. MATERYAL VE METOD	45
4.1. İş Parçası Malzemesi	45
4.2. Takım Tezgahı	46
4.3. Kesici Takım	47
4.4. Kesme Parametreleri	48
4.5. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi	49
4.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi	51
4.7. MMY Sistemi	52
4.7.1. MMY sistem debisinin belirlenmesi	54
4.8. İstatistiksel Analiz	55
4.8.1. Varyans analizi	55
4.8.2. Regresyon analizi	56
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	59
5.1. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	59
5.1.1. AISI 304 malzemesinin kuru ve MMY sistemi ile işlenmesi neticesinde elde edilen deney sonuçlarının değerlendirilmesi.....	59
5.1.2. AISI 316L malzemesinin kuru ve MMY sistemi ile işlenmesi neticesinde elde edilen deney sonuçlarının değerlendirilmesi.....	66
5.2. Deney Sonuçlarının İstatistiksel Analizi	72

Sayfa

5.2.1. Varyans (ANOVA) ve regresyon analizi ile deney sonuçlarının değerlendirilmesi.....	73
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	103
KAYNAKLAR	105
EKLER.....	111
ÖZGEÇMİŞ	135

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. MMY işleminde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri.....	34
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan AISI 304 çeliğinin kimyasal kompozisyonu	40
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan AISI 304 çeliğinin mekanik özellikleri.....	41
Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan AISI 316L çeliğinin kimyasal kompozisyonu	42
Çizelge 3.5. Deneylerde kullanılan AISI 316L çeliğinin mekanik özellikleri	42
Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan AISI 304 malzemesinin kimyasal içeriği.....	46
Çizelge 4.2. Deneyde kullanılan AISI 316L malzemesinin kimyasal içeriği	46
Çizelge 4.3. Johnford VMC–550 CNC dik işleme merkezi teknik özellikleri	47
Çizelge 4.4. Kesme parametreleri	48
Çizelge 4.5. Amplifier teknik özellikleri.....	49
Çizelge 4.6. Dinamometre teknik özellikleri	50
Çizelge 4.7. Yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri	52
Çizelge 4.8. Kullanılan yağın özellikleri.....	54
Çizelge 4.9. Bağımlı değişkenlerin bağımsız değişkenler üzerindeki etki oranları	54
Çizelge 5.1. İstatistiksel analiz notasyonları	72
Çizelge 5.2. AISI 304 malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları.....	73
Çizelge 5.3. AISI 304 kuru işleme kesme kuvveti için regresyon analizi	78
Çizelge 5.4. AISI 304 malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranlar	78
Çizelge 5.5. AISI 304 malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları	81
Çizelge 5.6 AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları	81
Çizelge 5.7. AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme	

Çizelge	Sayfa
parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları.....	83
Çizelge 5.8. AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları.	84
Çizelge 5.9. AISI 316L paslanmaz çeliğinin kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile kuru şartlar altında frezelenmesinde elde edilen kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları	87
Çizelge 5.10. AISI 316L paslanmaz çeliğinin kuru şartlar altında işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları	88
Çizelge 5.11. AISI 316L malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları	91
Çizelge 5.12. AISI 316L paslanmaz çeliğinin kuru şartlar altında işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları	92
Çizelge 5.13. AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları	94
Çizelge 5.14. AISI 316L paslanmaz çeliğinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları	95
Çizelge 5.15. AISI 316 MMY sistemi kullanılarak yüzey pürüzlülüğü için regresyon analizi AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları	97
Çizelge 5.16. AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları.....	98

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Talaş kaldırma işlemlerinde, frezeleme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması	1
Şekil 1.2. Talaş kaldırma süresinde, frezeleme süresinin diğer talaş kaldırma süreleriyle karşılaştırılması	2
Şekil 3.1. Frezeleme işlemi a) Zıt yönlü frezeleme b) Aynı yönlü frezeleme	16
Şekil 3.2. Dik frezelerde malafa tertibatı	17
Şekil 3.3. Parmak Freze ile bağlama pabucu kanalının boşaltılması	18
Şekil 3.4. helisel kanallı parmak frezeler	18
Şekil 3.5. Parmak Frezeleme Çakısı	19
Şekil 3.6. Alın frezelemede oluşan kuvvetler	23
Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülüğü.....	25
Şekil 3.8. Yüzey Şekilleri	25
Şekil 3.9. Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi	26
Şekil 3.10. İyi ve Kötü Islatma	28
Şekil 3.11. Kesme sıvısının etkisi	28
Şekil 3.12. Yüzey kalitesi-sıcaklık ilişkisi.....	29
Şekil 3.13. Kesme sıvılarının etkileri.....	32
Şekil 3.14. Talaş kaldırma işlemlerinde maliyet şeması.....	33
Şekil 3.15. MMY sistemi püskürtmesinin şematik gösterimi.....	34
Şekil 3.16. “SKF Digital Super System”	35
Şekil 3.17. “SKF Temel Sistem”, harici MMY sistemi pnömatik şeması.....	36
Şekil 4.1. Deney düzeneği genel görünümü ve unsurların isimleri	45
Şekil 4.2. İş parçası ve boyutları	46
Şekil 4.3. Kullanılan parmak frezenin boyutları	48

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4 İşleme esnasında iş parçası ve takımın pozisyonu.....	48
Şekil 4.5. Dinamometrenin pozitif yöndeki eksen ve moment yönleri.....	50
Şekil 5.1. AISI 304 malzemenin kuru şartlar altında kesme hızı ve ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi	60
Şekil 5.2. AISI 304 malzemenin kuru şartlar altında kesme hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi.....	62
Şekil 5.3. AISI 304 malzemenin MMY sistemi ile kesme hızı ve ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi	63
Şekil 5.4. AISI 304 malzemenin kuru şartlar altında kesme hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi.....	65
Şekil 5.5. AISI 304 malzemenin MMY sistemi ile kesme hızı ve ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi	67
Şekil 5.6 AISI 316L malzemenin kuru şartlar altında kesme hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi.....	68
Şekil 5.7. AISI 316L malzemenin MMY sistemi kullanılarak kesme hızı ve ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi.....	70
Şekil 5.8. AISI 316L malzemenin MMY sistemi kullanılarak kesme hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	71
Şekil 5.9 AISI 304 malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği kesme kuvveti için ana etki grafiği	75
Şekil 5.10. AISI 304 çeliğinin kuru şartlarda kaplamasız takımlar ile frezelenmesinde kesme kuvvetlerinin dynoware programındaki grafik görüntüleri.	76
Şekil 5.11. AISI 304 malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkileşim grafiği	77
Şekil 5.12. AISI 304 malzemesinin kuru kesme şartlarında işlenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin gösterildiği yüzey pürüzlülüğü için ana etki grafiği	79
Şekil 5.13. AISI 304 malzemesinin kesme parametrelerinin kuru şartlar altında yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileşim grafiği	80
Şekil 5.14. AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisini gösteren kesme kuvveti için ana etki grafiği	82

Şekil	Sayfa
Şekil 5.15. AISI 304 malzemesinin kesme parametrelerinin MMY sistemi kullanılarak kesme kuvveti üzerindeki etkileşim grafiği	83
Şekil 5.16. AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin gösterildiği yüzey pürüzlülüğü için ana etki grafiği	85
Şekil 5.17. AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini gösteren etkileşim grafiği	86
Şekil 5.18. AISI 316L paslanmaz çeliğinin kuru şartlar altında işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği kesme kuvveti için ana etki grafiği	89
Şekil 5.19. AISI 316L paslanmaz çeliğinin kuru şartlar altında kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisini gösteren etkileşim grafiği	90
Şekil 5.20. AISI 316L malzemesinin kuru kesme şartlarında işlenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin gösterildiği yüzey pürüzlülüğü için ana etki grafiği	93
Şekil 5.21. AISI 316L malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileşim grafiği.....	93
Şekil 5.22. AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği kesme kuvveti için ana etki grafiği	96
Şekil 5.23. AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkileşim grafiği	97
Şekil 5.24. AISI 316L paslanmaz çeliğinin MMY sistemi kullanılarak frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği ana etki grafiği	99
Şekil 5.25. AISI 316L paslanmaz çeliğinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki değişiminin gösterildiği etkileşim grafiği	100

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Johnford VMC–550 CNC dik işleme merkezi.....	47
Resim 4.2. Amplifier görüntüsü.....	49
Resim 4.3. Mahr Perhometer-M1 yüzey pürüzlülük cihazı	52
Resim 4.4. MMY sistemi	53
Resim 4.5. MMY sisteminin kullanıldığı tezgâh	53
Resim 5.1. Deneysel çalışma öncesi ve sonrası iş parçası	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
a	Talaş derinliği (mm)
B	İş parçasının genişliği (mm)
d	Çap (mm)
f	İlerleme Hızı (mm/dev)
Fb	Bileşke kuvvet
Fc	Asıl Kesme Kuvveti (N)
fn	Devir başına ilerleme miktarı (mm/rev)
m	Metre
mm	Milimetre
min	Minute (dakika)
N	Kesme kuvveti (Newton)
Q	Debi (ml/dk)
r	Takım burun yarıçapı (mm)
Ra	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
rev	Devir
Ri	İdeal Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
Rt	Maksimum yüzey pürüzlülüğü (μm)
Ss	Soğutma sıvısı,
Tc	Kesici takım ömrü (s)
V	Kesme Hızı (m/min)

Kısaltmalar	Açıklamalar
AISI	Amerikan Demir ve Çelik Endüstrisi
BUE	Talaş Yapışması
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Denetim

Kısaltmalar**Açıklamalar****HSS**

Yüksek Hız Çeliği

ISO

Uluslar Arası Standartlar Teşkilatı

MMY

Minimum Miktarda Yağlama

MQC

Minimum Miktarda Soğutma

MQCL

Minimum Miktarda Soğutma Ve Yağlama

ML

Minimum Miktarda Yağlama

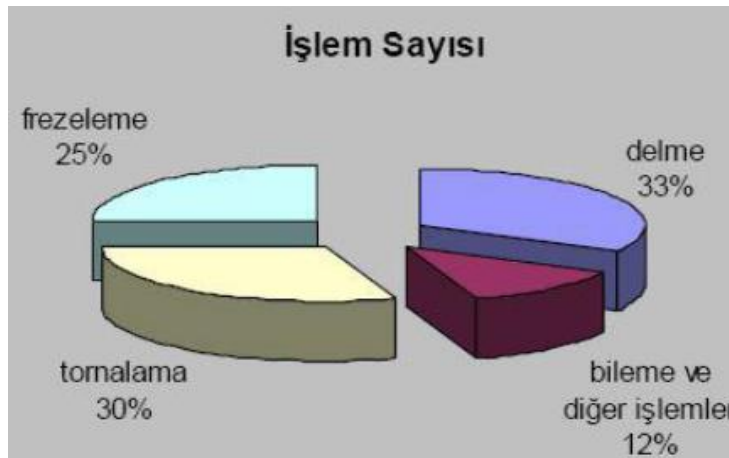
1. GİRİŞ

Talaşlı imalat, teknolojik gelişmelere paralel olarak günümüzde temel üretim yöntemi özelliğini korumaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte talaşlı imalat, sürekli yeni ve modern işleme tekniklerinin geliştirilmesiyle daha da önem kazanarak tercih edilebilirliği artmıştır.

Endüstrideki gelişmeler ve yenilikler paslanmaz çeliklerin kullanımını her geçen gün daha da artırmıştır. Özellikle; endüstrilerde kullanılan depolama tankları, basınçlı kaplar, ısı değiştiricileri ve paslanmaz borular gibi malzemelerin üretiminde çok çeşitli türlerde paslanmaz çelik kullanılmaktadır.

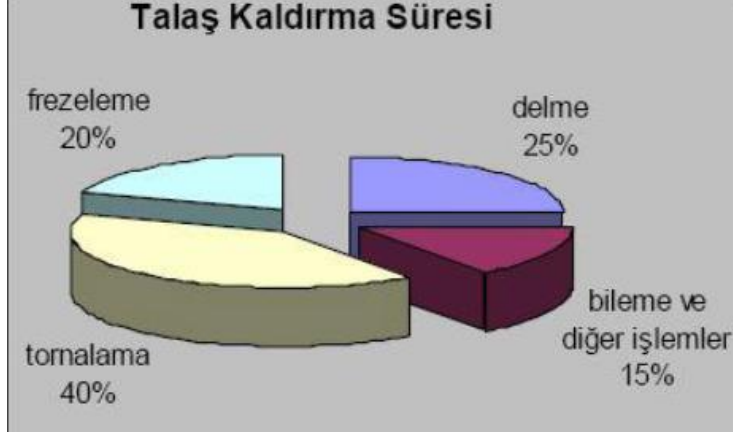
Artan küresel rekabet koşulları, işletmeleri yüksek kaliteli ve düşük maliyetli ürünler üretmeye zorlamıştır. Bu durum işletmelerin, talaşlı imalatta istenen kalitede üretim yapabilmek için uygun işleme parametrelerini seçmesini zorunlu hale getirmiştir. Uygun parametrelerin seçilmemesi durumunda kesici takımlarda hızlı aşınma, kırılma ve deformasyonlar gibi durumlar meydana gelerek, işin yüzey kalitesini bozmakta ve zaman kayıplarına neden olarak maliyeti ve kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir.

Talaşlı imalatta üretiminde sıfır hata ve zaman tasarrufunu iyi yönetmek için çeşitli işlemler yapılır. İmalat işlemlerinden biri de frezelemedir. Frezeleme, Şekil 1.1’de görüldüğü üzere talaş kaldırma işlemlerinin yaklaşık %25’ini içermektedir.



Şekil 1.1. Talaş kaldırma işlemlerinde, frezeleme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması [1].

Talaş kaldırmanın kesici takımlarla yapılmasında harcanan zamanın %20'si frezeleme işlemi olarak tezgâhta geçirilmektedir (Şekil 1.2), [1].



Şekil 1.2. Talaş kaldırma süresinde, frezeleme süresinin diğer talaş kaldırma süreleriyle karşılaştırılması [1].

Teknolojik gelişmelere paralel olarak farklı kesme sıvıları üretilerek talaşlı imalatla kullanılmıştır. Söz konusu sıvılar; işlem gören malzeme ve imalat şartlarına göre uygun katkılı olması ve kesme hızına bağlı olarak düşük hızlarda yağlama, yüksek hızlarda ise soğutma özelliği göstermesi ve çıkan talaşın uzaklaştırılması gibi fonksiyonları bakımından önem arz etmektedir.

Kesme sıvıları; talaşlı imalat işlemini daha verimli hale getirmesinin yanı sıra çevre ve insan sağlığı üzerinde negatif etkileri de bulunmaktadır. Kesme sıvılarının insan sağlığına olan olumsuz etkilerinin minimum düzeye indirilmesi amacıyla minimum yağlayıcılar kullanılmaya başlanmıştır. Minimum Miktarla Yağlama (MMY) sistemleri, kullanılan kesme sıvısı miktarını önemli miktarda azaltarak olumsuz etkilerin ortadan kaldırılmasına yardımcı olmuştur.

İşleme maliyetinin azaltılması, takım ömrünün artırılması ve iş parçalarında daha iyi yüzey kalitesi elde edebilmesi için frezeleme ve minimum miktarda yağlama alanında araştırmaların yapılması zorunlu hale gelmiştir.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında AISI 304 ve AISI 316 L östenitik paslanmaz çeliklerin karbür kaplamalı ve kaplamasız kesici takım olan parmak freze çakıları kullanılarak frezelenmesi operasyonunda; kuru işleme ve MMY sistemi kullanılarak, kesme

parametrelerinden, kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliğinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmıştır.

Kesme parametreleri olarak; üç farklı kesme hızı (45-60-75 m/min), üç farklı ilerleme oranı (0,014-0,03-0,046 mm/rev) ve sabit talaş derinliği (1,5 mm) değerleri seçilmiştir. Seçilen bu değerlerle yapılan deneyler sonucunda kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkileri varyans analizi ile araştırılmıştır. Ayrıca deney verileri kullanılarak yapılan regresyon analizi ile yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti için matematiksel bir model oluşturulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Talaşlı imalat işlemlerinde kesici takımın, iş parçasından talaş kaldırması sırasında oluşan olumsuz şartları en aza indirerek istenilen maliyette ve kalitede imalat yapabilmek önemlidir. İmalatın en iyi şekilde gerçekleşebilmesi için, kesme parametreleri değiştirilerek, en ideal kesme şartları belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda, talaşlı imalat yapan firmaların kullandığı kesici takımlar, kesme sıvıları ve paslanmaz çelikler hakkında akademik alanda birçok araştırmalar yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir.

Çalışma konusunu kapsayan akademik anlamda yapılan çalışmalar detaylı olarak incelenerek beş başlık altında değerlendirilmiştir. Sırasıyla; frezeleme üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, yüzey pürüzlülüğü üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, kesme kuvveti üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, minimum miktarda yağlama üzerine gerçekleştirilen çalışmalar ve işlenebilirlik üzerine gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiştir.

2.1. Frezeleme Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar

Dilipak ve Yılmaz çalışmalarında; takım tezgâhında oluşan titreşimlere, kesme kuvvetlerine ve yüzey kalitesine işleme parametrelerinin etkilerini araştırmak amacıyla AISI 1050 malzemesini frezelemişlerdir. Çalışmada işleme parametreleri olarak 132-220308 m/min kesme hızı, 0,05-0,1-0,15-0,2 mm/diş ilerleme oranı, 1-1,5 mm kesme derinliği ve 1-2-4 adet kesici uç kullanmışlardır. Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan titreşim, kesme kuvvet ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Kesme hızında meydana gelen artışın, titreşim ivme seviyesini olumsuz, kesme kuvveti ve yüzey kalitesini ise olumlu olumlu olarak etkilediğini gözlemişlerdir. Ayrıca, titreşim ivme seviyelerindeki artışın, yüzey pürüzlülük değerlerini de artırdığını gözlemlemişler ve titreşimin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün de olumsuz yönde etkilendiğini ifade etmişlerdir [2].

Fedai ve Ünüvar, yapmış oldukları çalışmada; işleme parametrelerinin takıma yansıyan kesme kuvvetleri ve takım aşınmasına işleme parametrelerinin etkilerini deneysel olarak araştırmak amacıyla, Östenitik paslanmaz çelikleri (AISI 316L) frezelemişlerdir. Frezelemede; kesme kuvveti üzerindeki en yüksek etkiyi; talaş derinliğinin, en düşük etkiyi ise kesme hızının sağladığını, hız değişiminin ise kuvvet üzerinde çok az etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca düşük kesme hızı değerlerinde talaş yığılması (BUE) oluşumuna

bağlı olarak takımlarda kırılma ve çentiklenme oluştuğunu ifade etmişlerdir. Buna ek olarak kesme kuvveti, kesme derinliği ve ilerlemedeki artış nedeniyle meydana gelen takım ucunun kırılmasının da takım ömrü üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Kesme şartlarının aynı olması durumunda ise hızda meydana gelen değişimlerin kuvvet üzerinde etkisinin az olduğu ve hızdaki artışla küçük oranda kuvvette azalma olduğu gözlemlenmiştir [3].

2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar

Dilipak ve Gezgin yaptıkları çalışmada; yüzey pürüzlülüğüne kesici uç sayısının, kesme hızının ve ilerleme miktarının etkilerini araştırmak amacıyla soğuk iş takım çeliğini (AISI D3) CNC dik işleme tezgâhında kaplamalı karbür kesici takımlar kullanarak frezelemişler. Çalışmalarını, 80 m/min, 120 m/min ve 180 m/min kesme hızı ve 0,08 mm/z, 0,12 mm/z ve 0,18 mm/z ilerleme miktarı ile freze başlığında 1, 2, 3 ve 6 sayıda kesici uç kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Değişken kesme parametrelerinde yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Deney sonucunda yüzey pürüzlülüğün kesicideki uç sayısı ve ilerlemenin miktarındaki artışa bağlı olarak arttığını, fakat kesme hızının diğer parametreler kadar etkili olmadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkili parametrelerin sırasıyla; kesici uç sayısı, ilerleme miktarı ve kesme hızının olduğunu gözlemlenmiştir [4].

Kuram; tek katmanlı (TiCN, AlTiN, TiAlN) ve çift katmanlı (TiCN+TiN ve AlTiN+TiN) kaplanmış karbür takma uçların performanslarını karşılaştırmak amacıyla, AISI 304 paslanmaz çeliğini kullanarak frezeleme deneyleri yapmıştır. EDX analizi sonucuna göre; TiCN+TiN kaplamalı kesici takımların düşük sürtünme katsayısına sahip oldukları için parçaya etkileyen sürtünme kuvvetini azalttığını ve yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediğini ifade etmiştir. Diğer taraftan, AlTiN kaplamalı kesici takımların düşük sertliğe sahip olmaları nedeniyle kesici uç üzerinde kırılma ve malzeme yapışması meydana geldiği görülmüştür. AlTiN kaplamalı kesici takımlar ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğünde ve kesici takım yüzey aşınmasında artış meydana geldiği ifade edilmiştir. Ayrıca çift katmanlı kaplamalı takımların tek katmanlı kaplamalı takımlara göre daha iyi yüzey pürüzlülüğü sonuçları elde edildiği görülmüştür [5].

Tekaslan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; iş parçası üzerinde işlemeye bağlı oluşan yüzey pürüzlülüklerini incelemek amacıyla, östenitik paslanmaz çelik (AISI 304) malzemeyi farklı kesme parametreleri ile tornalayarak optimum kesme parametrelerini belirlemişlerdir. Deneylerinde kesme hızında 50 m/min' den 75 m/min'e artışında yüzey pürüzlülüğünde iyileşme, 75 m/dak dan sonra ilerlemedeki artış da yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği gözlenmiştir. Deney sonucunda en yüksek yüzey kalitesi elde edilen kesme parametreleri; 75 m/dak kesme hızı, 0,15 mm/d ilerleme ve 1,5 mm talaş derinliği olarak belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin kesme hızından daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir [6].

Patole ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; tornalamada nano akışkan kesme sıvısının MMY metodu kullanılarak yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin araştırılması amacıyla AISI 4340 çeliğini farklı kesme parametreleri ile nano akışkan kesme sıvısını MMY metodu kullanarak tormalamışlardır. Yapmış oldukları deneyler sonucunda; 75 m/min kesme hızında, 0,04 mm/rev ilerleme hızında ve 0,5 mm talaş derinliğinde en iyi yüzey pürüzlülüğü değerini elde etmişlerdir. Gerçekleştirdikleri çalışma sonuçlarına göre, nano akışkan kesme sıvısı ile kullanılan MMY yönteminin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini iyileştirdiğini ifade etmişlerdir [7].

Çakmak ve Sarıdemir yaptıkları çalışmada; AISI 4140 çeliğinin işlenmesinde kesici uç ve geometrisinin talaş kırmaya ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmak amacıyla; AISI 4140 çeliği farklı uç geometrisine sahip kaplamalı uçlar ile tormalamışlardır. Yapmış oldukları deneyde kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme hızı değişkenlerini kullanarak talaş tiplerini kıyaslamışlardır. İş parçası malzemesi üzerinde ölçtükleri yüzey pürüzlülük değerlerini yorumlamışlardır. Sonuç olarak artan ilerleme hızında kesikli talaş oluştuğu ve yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir [8].

Çetin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; AISI 650 çeliğinin kaplamasız sermet takımla frezelemesinde yüzey pürüzlülüğüne kesme parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. 6150 ıslah çeliğini CNC dik işleme tezgahında soğutma sıvısı kullanmadan frezelemişlerdir. Deney numunesini farklı kesme parametreleri değerlerinde işleyerek yüzey pürüzlülüğünü ölçmüşlerdir. Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü olumlu yönde etkilenirken, yüksek kesme hızlarında takım aşınması meydana geldiği için olumsuz sonuçlar vermiştir. İlerleme hızı ve talaş derinliğinin artması ile yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Ayrıca talaş

derinliği, talaşın kesit alanındaki büyümeden dolayı kesit ucundaki sıcaklık ve basınca bağlı olarak kesici uçtaki plastik deformasyon oluşmuştur. Oluşan bu plastik deformasyonun da yüzey pürüzlülüğünü artırdığını tespit etmişlerdir [9].

2.3. Kesme Kuvveti Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar

Çetin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla, frezeleme işlemlerini beş farklı kesme hızında (220, 240, 260, 280, 300 m/min), üç değişik ilerlemede (0,10; 0,16; 0,18 mm/diş), iki değişik kesme derinliğinde (0,5; 1 mm) ve kuru kesme şartlarında yaparak, optimum kesme parametreleri belirlenmeye çalışmışlardır. Her deneyin bitişinde yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için numune üzerindeki aynı doğrultuda 3 değişik noktadan değerler almışlar ve en düzgün yüzey pürüzlülük değerini, 0,5 mm kesme derinliğinde, 280 m/min kesme hızında, 0,10 mm/diş ilerlemede şartlarında 0,137 µm değerinde tespit etmişlerdir. Ayrıca kesme hızının artmasına rağmen, yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır. Diğer taraftan kesme hızlarındaki yükselmelere bağlı olarak tekrardan yüzey pürüzlülüğünde artışların ve bu artışa takım aşınmasının sebep olduğunu görmüşlerdir [9].

Aydın ve arkadaşları yaptıkları çalışmada: östenitik paslanmaz çeliklerden AISI 304'ün farklı kesme parametrelerindeki işlenebilirliğini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğini soğutma sıvısı kullanmadan tornalamışlardır. Deney sonucunda elde ettikleri verilere göre; düşük kesme hızındaki artış kesme kuvvetini artırırken, yüksek kesme hızındaki artış kesme kuvvetini azaltmıştır. Ayrıca kesme hızının artışı ile kesme bölgesi sıcaklığı da artmıştır. Artan sıcaklığın etkisi ile TiN kaplamalı tungsten karbür takımın kesici kenarının burun kısmında ve talaş yüzeyinde aşınma meydana gelmiştir. Buna ek olarak kesme malzemesinin artan sıcaklığın etkisi ile kesme yüzeyinden ayrıldığını gözlemlemişlerdir [10].

2.4. Kesme Sıvıları (MMY) Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar

Uysal yaptığı çalışmada, sıcaklık değişiminin araştırılması amacıyla; MMY metodu kullanılarak AISI 430 Ferritik paslanmaz çeliği frezelemiştir. Frezeleme işleminde WC(tungsten karbür) kesici takım ve MWCNT (çok duvarlı nanotüp) katkılı ticari bitkisel kesme sıvısı kullanmıştır. Kesme parametreleri olarak; sabit kesme hızı (100 m/min), sabit

ilerleme hızı (180 mm/min) ve sabit talaş derinliği (0,5 mm) değerlerini kullanmıştır. MMY yöntemini 5 bar sabit basınç ve iki farklı MMY debisi değerlerinde (20ml/h ve 40 ml/h) uygulamıştır. Çalışmada MWCNT karışım oranlarının ve MMY debisinin frezelemede oluşan kesme sıcaklığına etkileri incelendiğinde, MWCNT katkısının ve MMY debisinin artmasına bağlı olarak kesme sıcaklığını azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca artan MMY debisi ile ortama daha fazla yağ-hava karışımı girmesine bağlı olarak yağlama ve soğutma veriminin arttığı, böylece kesme sıcaklığının azalttığı sonucuna ulaşmıştır [11].

Yıldırım ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; delme ve taşlama operasyonlarında MMY sistemi, kuru kesme ve geleneksel soğutma metodunun incelenmesini amaçlamışlardır. Yapılan bu çalışma sonucunda; MMY sisteminin geleneksel soğutmaya yakın işlenebilirlik özelliği gösterdiğini, ancak kesme kuvveti, takım aşınması, kesme bölgesinde oluşan ısıyı uzaklaştırması, takım ömrünü iyileştirmesi ve daha düzgün yüzeler elde edilmesinden dolayı kuru işlemeye nispeten daha tercih edilebilir bir yöntem olduğunu tespit etmişlerdir. MMY sistemi, üretim maliyeti, çevre ve işçi sağlığı dikkate alındığında soğutma ve yağlama açısından daha öne çıktığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, MMY sistemi ve ıslak işleme takım ömrü açısından birbirine yakın sonuçlar elde etmişlerdir [12].

Kurşuncu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, kesme parametrelerini sabit tutarak MMY tekniği (kesme sıvısı olarak ticari bor yağı kullanarak) ve kuru kesme şartlarının performans karşılaştırması amacıyla, AISI O2 Soğuk iş takım çeliğine TiAlN kaplamalı kesici takım kullanarak frezeleme işlemi uygulamışlardır. Sonuç olarak en yüksek takım ömrüne MMY yöntemiyle gerçekleştirilen frezeleme işleminde ulaşmışlardır. Bununla birlikte yüzey pürüzlülük ve kesme kuvvetleri değerlerinin kuru frezeleme işlemine nazaran önemli oranda iyileştiği belirlemişlerdir. MMY sisteminin uygulanması ile kesme işlemi sırasında meydana gelen titreşimler azaldığını da tespit etmişlerdir [13].

Uysal ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; AISI 420 ve AISI 304 paslanmaz çeliklere kuru işleme ve MMY yöntemleri ile sırasıyla frezeleme işlemleri yapmışlardır. Frezeleme operasyonunda yüzey pürüzlülüğü ve düzenli talaş formları açısından en iyi sonucu TiN kaplamalı kesici takımlar kullanılarak MMY yöntemi ile işlenen AISI 420 martenzitik çeliğinin verdiğini gözlemlemişlerdir. Kesme parametrelerini sabit tutarak 3 farklı yöntem ile (kuru, bitkisel içerikli MMY ve nano akışan içerikli MMY) frezelemişlerdir. Deney sonucunda 40 ml/h akış hızında nano MOS2 katkılı MMY yönteminin yüzey pürüzlülüğü

ve takım aşınmasını azaltabileceğini tespit etmişlerdir [14].

Kuram ve arkadaşları yaptıkları çalışmada: bitkisel bazlı kesme sıvısının frezelemedeki performansını incelemek amacıyla: AISI 304 paslanmaz çeliğini farklı 3 kesme sıvısı, farklı 3 kesme hızı, farklı 3 ilerleme hızı ve sabit talaş derinliği parametreleri ile frezelemişlerdir. Yapmış oldukları deneyde işleme boyunun artması ile takım ömrünün azaldığını göstermişlerdir. Ayrıca en iyi yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü değerlerini CCF-II (EP) kesme sıvısının verdiğini tespit etmişlerdir [15].

Yiğit ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; MMY ile işlemede CUO nanoakışkanın etkisinin araştırılması amacıyla, AI 7075 alaşım MMY yöntemi ile frezelenmiştir. Deney sonucunda 50 ml/h MMY debisi ile nano akışkan sıvısı kullanıldığında en iyi yüzey kalitesi ve aşınma değerlerine ulaşmışlardır. Nano akışkan kullanımı sayesinde sürtünme azaldığı için aşınma değerleri oldukça iyileşmiştir. Ayrıca nano akışkan kullanımının akışkanın ısı iletkenliği açısından iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir [16].

Kedare ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; MMY performansının araştırılması amacıyla 15 HRC çeliğini soğutucu akışkanlar ile MMY yöntemi kullanarak frezelemişlerdir. Deney sonucunda MMY metodu ile yapılan çalışmanın geleneksel işlemeye oranla kesme sıcaklığını düşürüp soğutma etkisini artırarak yüzey kalitesini artırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca maliyeti azaltması ve daha çevre dostu bir yöntem olması sebebiyle MMY yönteminin geleneksel soğutma yerine kullanılmasını tavsiye etmişlerdir [17].

Xuefeng ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; Elektrostatik minimum miktarda yağlama (EMQL) performansını değişken kesme parametreleri ile değerlendirmek amacıyla AISI 304 paslanmaz çeliğini dik işleme tezgahında EMQL metodu ile frezelemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre; EMQL metodu kuru, geleneksel ve MMY metotlarına göre daha etkili olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca 5 kv voltaj geriliminde en düşük kesme kuvveti ve takım aşınması, en yüksek takım ömrü ve yüzey kalitesi sağladığını göstermişlerdir [18].

Muthusamy ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; su bazlı soğutma ve nano partikül içerikli soğutma (TiO₂/EG) tekniği ile AISI 304 paslanmaz çelik malzemeyi işleme neticesinde takım aşınmasını araştırmışlardır. İşlemede TiN kaplamalı karbür uçlar kesme takımı olarak, kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği de kesme parametreleri olarak kullanmışlardır.

Yan kenar aşınmasını 0.3 mm olarak tespit etmişlerdir. Nanopartikül içerikli soğutma (TiO₂/EG) yöntemiyle parmak frezelemede kesici uçta oluşan ana aşınma mekanizmaları oksidasyon ve abrasiv aşınma olarak belirlenmiştir [19].

2.5. İşlenebilirlik Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar

Çaydaş ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; AISI 52100 rulman çeliğinin işlenebilirliğini araştırmak amacıyla, farklı kesme parametreleri kullanarak MMY ve kuru işleme yöntemini kullanarak tornalamışlardır. Çalışmalarını karbür ve seramik takımlar kullanarak sabit kesme derinliği ve ilerleme oranında, değişken kesme hızı değerlerinde gerçekleştirmişlerdir. Deney sonucunda kuru işlemede kesme hızı arttıkça takım ömrünün ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığını gözlemlemişlerdir. MMY yöntemi ile yapılan işlemde takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü de daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca seramik uçlu takımlarında takım ömrü üzerinde olumlu sonuçları olduğunu tespit etmişlerdir [20].

Özbek ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini araştırmak amacıyla kaplamasız tungsten karbür takım ile tornalamışlardır. İşlemi kuru kesme şartlarında gerçekleştirmişlerdir. Tornalamada, ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkilerinin arttığını gözlemlemişler. Deney sonucunda kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değeri AISI 316 çeliğinde AISI 304 çeliğine oranla daha yüksek çıktığını tespit etmişlerdir. Ayrıca her iki çelik malzeme sınıfı için de ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca çalışma sonunda AISI 316 çeliğinin AISI 304 çeliğine kıyasla işlenebilirliğinin zor olduğu belirlenmiştir. [21].

Tekaüt ve Demir yaptıkları çalışmada; AISI H13 ve AISI D2 çeliklerini dik işleme merkezinde kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delmişlerdir. Deneylerinde kesme bölgesinde oluşan sıcaklığı matkapların soğutma kanallarına yerleştirdikleri ısıl çiftler yardımıyla ölçmüşlerdir. Çalışma sonucunda kesme hızı ve ilerleme miktarındaki artış kesme bölgesindeki sıcaklığı azaltmıştır. AISI H13 malzemesinde oluşan sıcaklık değerinin D2 malzemesinin işlenmesinde oluşan sıcaklıktan daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durum iki malzeme arasındaki kimyasal ve yapısal farklılıklardan kaynaklanmıştır. Ayrıca kaplamalı matkaplar düşük ısı iletim katsayısına sahip olduğu için sıcaklığı kaplama

bölgesine vermiştir. Bu nedenle kaplamasız matkaplarla daha düşük sıcaklıklar elde etmişlerdir [22].

San Juan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; ters yönlü ve eş yönlü frezeleme yapılarak talaş üzerindeki kesme kuvveti ve sıcaklıkları incelemek amacıyla AISI 316L çeliğini soğutma sıvısı kullanmadan frezelemişlerdir. Deneyde elde ettikleri veriler göre; kesme kuvveti talaşın kalınlığına ve frezelemenin çeşidine bağlı olarak değişiklik gösterdiğini tespit etmişler. Ayrıca aşınma ve yüzey işlemede kesme kuvvetine bağlı olduğunu. Fakat sıcaklığı etkileyen en önemli etkenin sürtünme olduğunu tespit etmişlerdir [23].

Literatürde yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, malzemenin yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve Minimum Miktarla yağlama ile ilgili olarak birçok çalışmanın yapıldığı görülmüştür.

Östenitik paslanmaz çelik malzemeler düşük ısı iletkenlik ve yüksek korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı imalatla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada; östenitik paslanmaz çeliklerde AISI 304 ve AISI 316 L karbür kaplamalı kesici takımlar ile parmak freze çakısı kullanılarak frezelenmiştir. İşleme şartlarını yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından daha da iyileştirmek amacıyla bundan önce yapılmış olan çalışmalardan elde edilen sonuçlarda dikkate alınarak yapılan deneylerle kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği (kesme parametreleri)'nin etkileri değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Yapılan literatür araştırmasında, AISI 304 ve 316L paslanmaz çeliklerinin işlenebilirlikleri üzerine birçok çalışmanın mevcut olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca MMY sisteminin kullanımına yönelik yapılan çalışmalarda MMY sisteminin kuru işlemeye kıyasla yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerlerini azalttığı belirtilmiştir. Fakat literatürdeki çalışmalar arasında paslanmaz çeliklerin farklı kesme parametrelerinde kuru ve MMY sistemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerlerinin değişimleri üzerine bir çalışma yapılmamıştır. Gerçekleştirdiğimiz deneysel çalışmada yukarıda belirtilen bütün parametreleri kullanarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerlerini azaltmaya yönelik literatürden farklı bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde kesme kuvvetlerini azaltmayı, daha kaliteli yüzeyler elde etmeyi ve insan ve çevre sağlığı açısından daha nitelikli üretim yapılması hedeflenerek çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

3. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde, frezeleme, paslanmaz çelikler, istatistiksel analiz ile ilgili temel bilgilere yer verilmiştir.

3.1. Frezeleme

Talaşlı imalat yöntemleri geometrik boyut ve yüzey kalitesindeki üstünlüklerden dolayı günümüzde birçok parçanın imal edilmesinde tercih edilmektedir. Talaşsız imalat yöntemleri çok kısa bir sürede gerçekleşmesine rağmen, yüzey ve boyut hassasiyeti bakımından, parçada istenilen kaliteyi sağlayamamaktadır. Bu sebeple talaşlı imalatın dışında imal edilen malzemelerin yüzeylerinin belli kısmı veya geneli yeniden talaş kaldırma yöntemleri ile işlenmektedir. Talaş kaldırmada kullanılan bu tezgâhlardan biride frezedir.

Frezeleme, kesme hareketi takımın kendi etrafında dönmesi ve parçanın ilerleme hareketi yapması ile gerçekleşen bir işlemdir. Kendinin ekseni etrafında dönen ve birçok kesici ağız bulunan bir kesici takım yardımıyla, doğrusal olarak hareket eden altından/yanından geçen iş numunesi üzerinden talaş kaldırılma işlemine “frezeleme” denir. Bu işlemlerin yapıldığı tezgaha freze tezgahı, freze tezgahında kullanılmakta olan kesicilere de “çakı” denir [24].

Talaşlı imalat, frezelemeyle; farklı kanallar açma, yüzeyden talaş kaldırma, dişli açma, delikleri genişletme, büyük adımlı vidalar açma, açılı ve helisel açılı yüzeyler elde etme, birçok çeşit delik delme işlemleri çabuk ve istenen özelliklerde yapılabilir [25].

Frezelemede talaş kaldırma işlemi, kullanılan kesici takımın tipine, frezeleme yönüne ve freze yapılan parçanın yüzey şekillerine göre isimlendirilirler. “Genel olarak frezeleme işlemi:

- i. Silindirik vals freze çakısı ile çevresel frezeleme
 - a) Aynı yönlü çevresel frezeleme
 - b) Zıt yönlü çevresel frezeleme
- ii. Takma uçlu alın freze çakısı ile düzlem yüzeylerin frezelenmesi
 - a) Simetrik frezeleme
 - b) Asimetrik frezeleme

iii. Form ve biçim freze çakısı ile frezeleme

a) Modül freze çakısı ile frezeleme

b) Değişik geometrilere sahip iç bükü ve dış bükü yüzeylerin frezelenmesi

iv. Saplı freze çakısı ile frezeleme

a) Parmak uçlu freze çakısı ile frezeleme

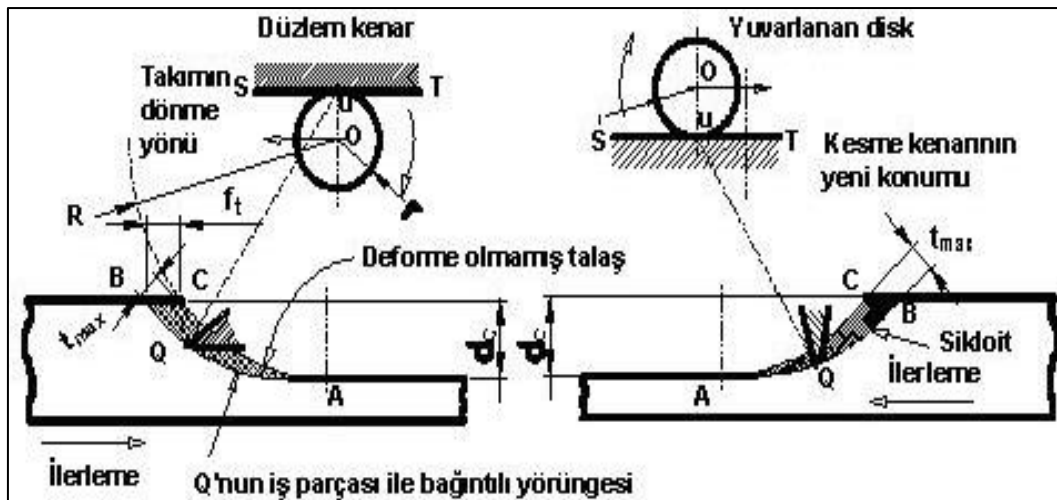
b) Küresel uçlu freze çakısı ile frezeleme

olarak dört ana başlık altında toplanmaktadır” [26].

Frezeleme işleminde aynı ve zıt yönlü olarak iki yöntem kullanılmaktadır.

- Zıt yönlü frezeleme; İşlem yapan takımın ilerleme yönünün, işlem gören iş parçasının ilerleme yönüyle farklı olmasıdır (Şekil 3.1.a).
- Aynı yönlü frezeleme; İşlem yapan takımın ilerleme yönünün, işlem gören iş parçasının ilerleme yönüyle aynı olmasıdır (Şekil 3.1.b).

Talaş kalınlığı sıfırdan başlayıp en yükseğe doğru artar, zıt yönlü frezelemede, iş parçasını tabladan ayırmaya çalışan yüksek kesme kuvvetleri meydana gelir. Kesici uçun işlenecek parçaya ilk girişinde talaş kaldıramaması nedeniyle parçayı kesmez, ezer. Buna bağlı olarak yüksek sürtünmeye bağlı olarak sıcaklık yükselir. Bu nedenle işlem gören yüzeyde deformasyona bağlı sertleşme meydana gelir ki bu durum takım ömrünü negatif yönde etkilemektedir. Oluşan kuvvetler parçayı tabladan kaldırmaya çalışacağından parça bağlama işlemlerinde önlem alınması gerekir [27].



Şekil 3.1. Frezeleme işlemi a) Zıt yönlü frezeleme b) Aynı yönlü frezeleme [28].

3.1.1. Parmak freze

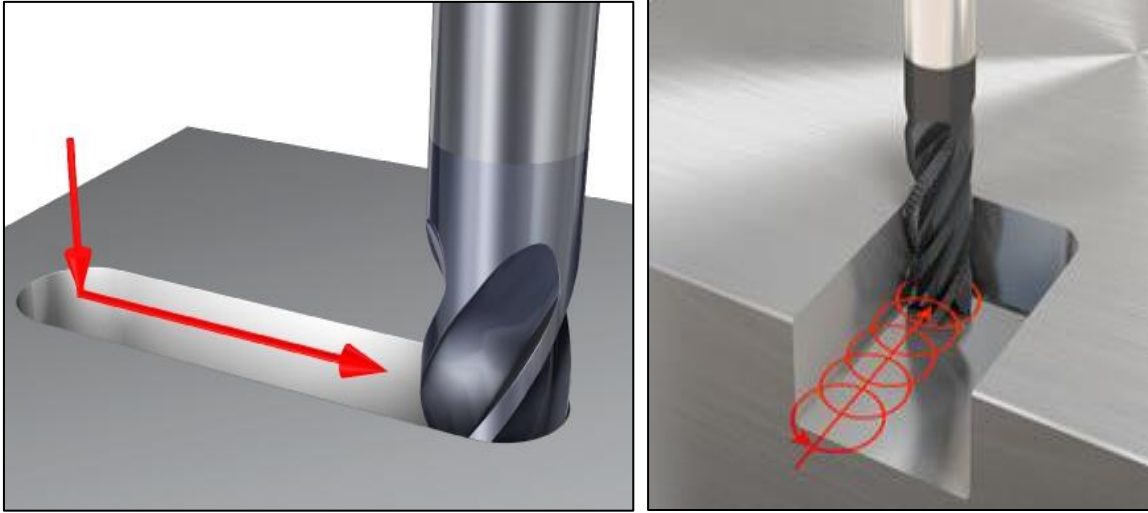
Talaşlı imalatta; parça yüzeylerinin freze tezgâhlarında işlenmesi önemli bir yer tutmaktadır. Frezeleme işlemlerinde kullanılan kesici takımlardan parmak frezeler; kanalların ve kama kanallarının açılması ve delme işlemleri ile cep oluşumu işleme gibi operasyonların yanı sıra yüzeylerin son aşama işlemlerinde oldukça yoğun olarak kullanılmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde parça imalatı, türbin bıçakları imalatı ve kalıp imalatı gibi alanlarda kullanılacak ön sertleştirilmiş çelikleri ve parmak frezeleme ile üretimleri içermektedir. Üretimlerde istenilen toleranslar çok dar aralıklara sahip olması nedeniyle boyutsal hataların en aza indirilmesi zorunluluk arz etmektedir [29, 30].

Parmak frezelerin freze tezgahına özel aparatların (pens mandrenleri ve mors kovanları) aracılığı ile bağlanırlar (Şekil 3.2.). Kesici ağızları düşey olarak, dikine ilerleme yapabilecek şekilde bilendirler. Eğer kanalın baş tarafları kapalı ise, Burada “İki ağızlı” Parmak freze seçilmesi daha uygundur. Ancak çok ağızlı parmak freze kullanılması durumunda, kanalın iki baş tarafına, matkapla uygun derinlikte delik delinerek işleme devam edilir (Şekil 3.3.) Çok ağızlı parmak frezeler, eksenleri doğrultusunda ilerleme yaptıklarında kırılmaya daha meyillidirler.



Şekil 3.2. Dik frezelerde malafa tertibatı [31].



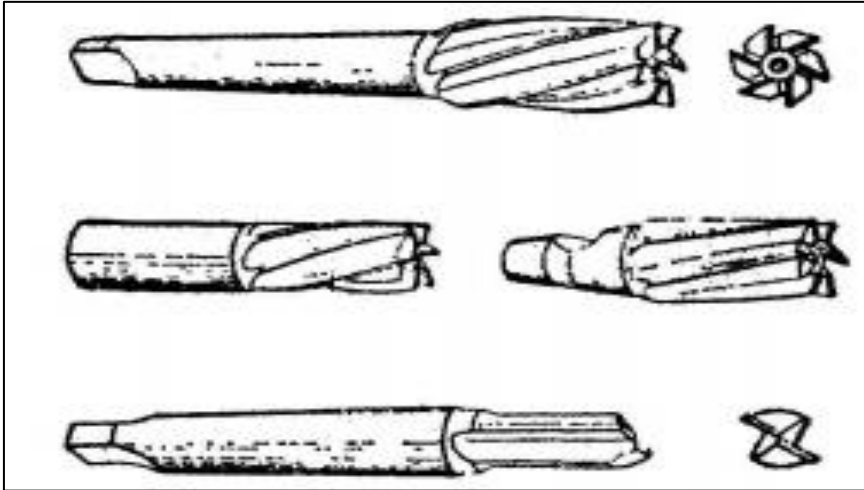
Şekil 3.3. Parmak freze ile bağlama pabucu kanalının boşaltılması [32].

Parmak frezede kesme işlemini yapan dişli kısımların şekilleri “düz veya helis” kanallıdır. Frezelerin freze malafalarına bağlanabilmeleri için sapları ile birlikte imal edilirler. Parmak frezede diş şekilleri şekil 3.4.’deki gibidir.



Şekil 3.4. Helisel kanallı parmak frezeler [32].

Çok amaçlı, çeşitli tipteki frezeler (Şekil 3.5). kama kanalları ve derin kanal dik yüzeylerinin frezelenmesi ile kalıp parçaları işlerinde kullanılır. Düşey ilerlemelerde, alın dişleri arasındaki talaş boşluğa dolacağından ilerlemenin durmaması için ilerlemenin 0,5-1mm. den fazla olmamalıdır. Aksi durumda zorlanma olması halinde kırılmalar meydana gelebilir. Bir olumsuzluk yaşanmadan iyi sonuç alabilmek için daima yan yüzeyden ilerleme yapılır. Köreldiklerinde ise diş derinliği bitene kadar büyük çaplılar çevreden ve alından bilenirler. Küçük çaplılar ise alından bilinmeyip yüzeyi çukurlaştırılarak yandan kesme işlemlerinde biraz daha kullanılması sağlanır [33].



Şekil 3.5. Parmak frezeleme çakısı [33].

Bu kapsamda, parmak frezeleme işlemi teknolojik ilerlemelere paralel olarak sürekli gelişmektedir.

3.1.2 Frezelemede talaş kaldırmayı etkileyen faktörler

Talaş kaldırma işlemine etki eden faktörlerin bilinmesi ve birbirine etkilerinin dikkate alınması gereklidir. Talaş kaldırmayı etkileyen başlıca faktörler aşağıda belirtilmiştir [34].

- Kesici takım ömrü, T_c (s)
- Kesme hızı, V_c (m/dak)
- Talaş derinliği, a_a (mm)
- İlerleme hızı, F (mm/dak)
- Kesme açıları
- Titreşim durumu, V_i
- Soğutma sıvısı, S_s
- Takım/iş parçası malzeme çifti
- Takım burun yarıçapı, r (mm) dir.

3.1.3. Frezelemede talaş kaldırma parametreleri

Kesme hızı

“Bir freze takımının, çevresindeki kesen bir dişin (noktanın) bir dakikada metre cinsinden

keserek aldığı yol kesme hızıdır. Kesme hızı Eş 3.1’de verilen formül ve birimlerle ifade edilir.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ (m/dak)} \quad (3.1)$$

V_c = Kesme hızı(m/dak),

n = Devir sayısı(dev/dak) ve

D = Freze takımının çapı (mm) dir.

Uygun kesme hızının seçilmesi takım ömrü ve işleme zamanı açısından önem arz etmektedir. Kesici takımın düşük kesme hızlarında kullanılması işleme süresini artırarak zaman kaybına neden olmakta, aşırı hızlarda kullanıldığında ise meydana gelen sürtünme ve ısıdan dolayı takım daha erken aşınarak daha sık değiştirildiğinden yine zaman kaybı olmaktadır. Bu sebeple, işlenen malzemeler özelliklerine uygun kesme hızının seçimi önemlidir. Farklı metallerin sertliği, yapısı ve işlenebilirliği değiştiğinden, değişik kesici takım ve iş malzemesi için farklı kesme hızları tercih edilmelidir. Malzemeleri işlemek için uygun kesme hızının belirlenmesinde; İş parçası malzemesi, Tezgâh ve bağlama elemanlarının rijitliği, Kesici takım malzemesi, Takım çapı, Talaş derinliği, Gerekli bitirme yüzeyi, faktörler dikkate alınmaktadır” [35].

İlerleme hızı

İlerleme hızı; kesmek üzere döndürülen freze takımının altından, iş parçasının bir dakikada milimetre cinsinden aldığı yola denir. İlerleme hızı Eş.3,2’deki bağıntı ile hesaplanır [35].

$$F = f_z \cdot z \cdot n \text{ (mm/dak)} \quad (3.2)$$

F = Tabla ilerleme hızı (mm/dak),

f_z = Diş başına ilerleme (mm/z),

z = Frezenin kesici diş sayısı ve

n = Devir sayısı (dev/dak) dır.

Diş başına ilerleme (f_z , mm/z) frezeleme işleminde önemli bir büyüklüktür. Freze başlığı çok uçlu olmasından dolayı her ucun yeterli bir talaşı kaldırabilmesi için uygun bir ilerleme değerinin olması gerekir. Diş başına ilerleme bir dişin kesici kenarının parçaya girişi ile bir

sonraki dişin kesici kenarının parçaya girişi arasında geçen sürede tablanın ilerlediği mesafe olarak tanımlanır. Bu nedenle; bu değer takımında bulunan uç sayısı ve ilerleme hızına bağlı olarak değişir. Uygun ilerleme miktarının seçilmemesi, yüzey kalitesini, kesiciyi ve imalat sayısına bağlı olarak maliyeti etkileyecektir.

Kesme derinliği

Kesme derinliği; takımın işlem gören parçanın iç kısmına doğru dikey yöndeki ilerleme miktarıdır. Kesme derinliğinin uygun seçilmemesi halinde işleme zamanı ve maliyet olumsuz etkilenecektir. Yeterli kesme derinliği elde edilememesinde, operasyonun tamamlanabilmesi için tekrardan paso gerekirse zaman kaybına sebep olur [35].

Kesme kuvvetleri

Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetlerini etkileyen faktörlerden birisi de takım-talaş arasındaki temas uzunluğudur. Örneğin; iki fazlı ve kesikli talaş çıkaran malzemeleri işlemede, kesici takım ve talaş arasında daha az temas uzunluğunun olması sebebiyle çok küçük kuvvetler meydana gelmektedir. Kesme hızının arttırılmasıyla, kayma açısı artmakta, daha ince talaş oluşmakta ve temas uzunluğu azaldığı için kesme kuvvetleri de oldukça düşmektedir. Sınırlı temas uzunluğuna sahip takımlar kullanılarak, takım-talaş arasındaki temas uzunluğunun sınırlandırılmasıyla kesme kuvvetlerinde belirli düşüşler sağlanabilmektedir. Talaş açısının uygun bir değeri olup, bu değerin daha fazla artışı kesici ucun dayanımını azaltarak aşınmayı artırır. Artan aşınma ile birlikte boşluk yüzeyi temas alanı artacağından oluşan kesme kuvvetleri de artacaktır. Talaşlı imalatta takım tezghlarının pek çoğu için kesme kuvveti, talaş kesiti ile işlenen malzemenin özgül kesme direncinin çarpımı esasına dayanır ve buna bağlı kesme gücü bu esasa göre belirlenir. Bu hesaplamada, talaş geometrisi de büyük önem taşımaktadır [36].

3.1.4. Frezeleme işleminde oluşan kuvvetler

Frezeleme işlemlerinde oluşan kuvvetler;

- Frezeleme yöntemi,
- Kesici takım ve iş parçası malzemesi,
- Takım ve iş parçası geometrisi,

- İş mili sehim,
- Kesici kenarlar arası mesafe,
- Eğim açısı,
- İlerleme miktarı,
- Kesme derinliği ve
- Aşınma gibi faktörlere bağlı olarak gelişir [37].

Frezeleme işlemlerinde birçok kesici uç aynı anda talaş kaldırma işlemi yaptığından kuvvetler, bir kesici uca karşılık gelen ortalama talaş kaldırma kuvveti (F_{zz}) ve onun bileşenleri; ortalama kesme kuvveti (F_{cz}), ortalama radyal kuvvet (F_{rz}) ve ortalama ilerleme kuvveti (F_{fz}) olarak ifade edilmektedir.

İşlem gören numuneden aynı anda talaş kaldıran kesici uç sayısı Eş. 3.3 ile hesaplanır.

$$Z_e = Z \cdot \frac{\phi_s}{360}, \quad (3.3)$$

Frezele (kesici takıma) ait ortalama kesme kuvvetleri Eş. 3.4 - 3.6 ile hesaplanmaktadır (Turgut, 2007).

$$F_c = Z_e \cdot F_{cz} \quad (3.4)$$

$$F_f = Z_e \cdot F_{fz} \quad (3.5)$$

$$F_r = Z_e \cdot F_{rz} \quad (3.6)$$

Helisel silindirik frezelemede F_c , F_r , F_f kuvvetlerine ilaveten eksenel kuvvet (F_a) meydana gelir. Eksenel kuvvet; (Eş. 3.7)

$$F_a = F_c \cdot \tan \lambda \quad (3.7)$$

ile ifade edilir. Düz silindirik frezelerde eksenel kuvvet oluşmamaktadır. Alın frezelemede kesme kuvvetlerinin durumu Şekil 3.9’da görülmektedir. Kesici uca dik olarak alınan N-N kesitindeki ortalama talaş kaldırma kuvvetinin (F_z) bileşenleri, ortalama kesme kuvveti (F_c) ve normal kuvvettir (F_n). F_n normal kuvvetin bileşenleri ise ilerleme kuvveti (F_f) ve radyal kuvvettir (F_r). Ayrıca bir kesici uca düşen ortalama kesme kuvveti (F_{cz}); (Eş. 3.8)

$$F_{cz} = A_s . k_s = B . h_m . k_s, \quad (3.8)$$

ve kesici takıma düşen toplam ortalama kesme kuvveti (F_c); (Eş. 3.9)

$$F_c = Z_e . F_{cz} = Z_e . B . h_m . k_s \quad (3.9)$$

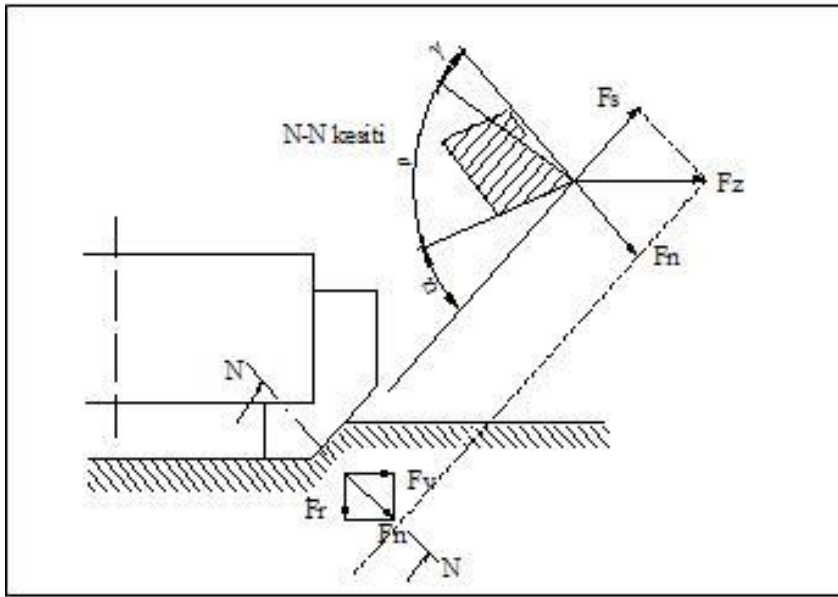
bağıntıları ile bulunur.

Z_e : Talaş kaldırmayı aynı anda yapan kesici uç sayısı,

B : Kesme genişliği,

h_m : Ortalama talaş kalınlığı,

k_s : Özgül kesme kuvveti'dir.



Şekil 3.6. Alın frezelemede oluşan kuvvetler [38].

Teorik olarak hesaplamalarda, ortalama radyal kuvvet (F_r) ve ortalama ilerleme kuvveti (F_f) deneylere dayanan aşağıdaki bağıntılara göre bulunabilmektedir [38].

Simetrik frezelemede; (Eş. 3.10-3.12)

$$F_f = (0,3 \dots 0,4) F_c \quad (3.10)$$

$$F_r = (0,85 \dots 0,95) F_c \quad (3.11)$$

$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (3.12)$$

Zıt yönlü asimetrik frezelemede; (Eş. 3.13-3.15)

$$F_f = (0,6 \dots 0,9) F_c \quad (3.13)$$

$$F_r = (0,45 \dots 0,7) F_c \quad (3.14)$$

$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (3.15)$$

Aynı yönlü asimetrik frezelemede; (Eş. 3.16-3.18)

$$F_f = (0,15 \dots 0,3) F_c \quad (3.16)$$

$$F_r = (0,9 \dots 1) F_c \quad (3.17)$$

$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (3.18)$$

3.1.5. Yüzey pürüzlülüğü

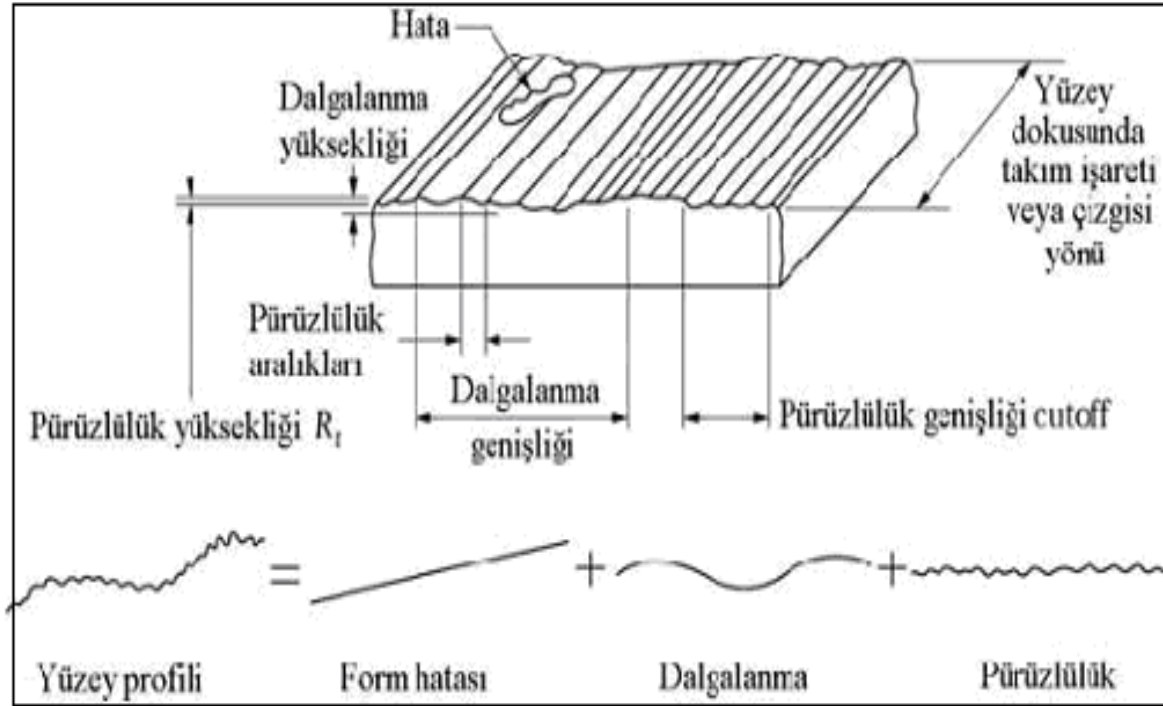
Genellikle talaş kaldırma işlemlerinin bütününde iş parçalarında istenilen geometriyi ve hassas bir bitirme yüzeyini oluşturma hedeflenir.

Talaş kaldırmada istenilen, malzemelere bir şekil vermekle birlikte, boyutsal olarak teknik resimde gösterilene toleranslar dahilinde uygun olarak imal etmektedir.

Talaşlı imalatta işlem gören malzemenin yüzey pürüzlülüğü; malzeme yapısının, işleme şartları ve yönteminin bir göstergesidir.

Talaş kaldırarak şekillendirme sırasında; seçilen yönteme, kesici cinsine ve işleme şartlarına bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısı faktörlerin ve kesici-iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde genellikle istenmese de işleme izleri oluşabilmektedir. Oluşan bu izlere talaş kaldıran takımın malzeme üzerinde bıraktığı izdir. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmaları meydana getiren bu duruma “yüzey pürüzlülüğü” denmektedir.

Yüzey pürüzlülüğü Şekil 3.7.’ de, yüzey şekilleri de Şekil 3.8.’ de verilmiştir.



Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülüğü [39, 40].

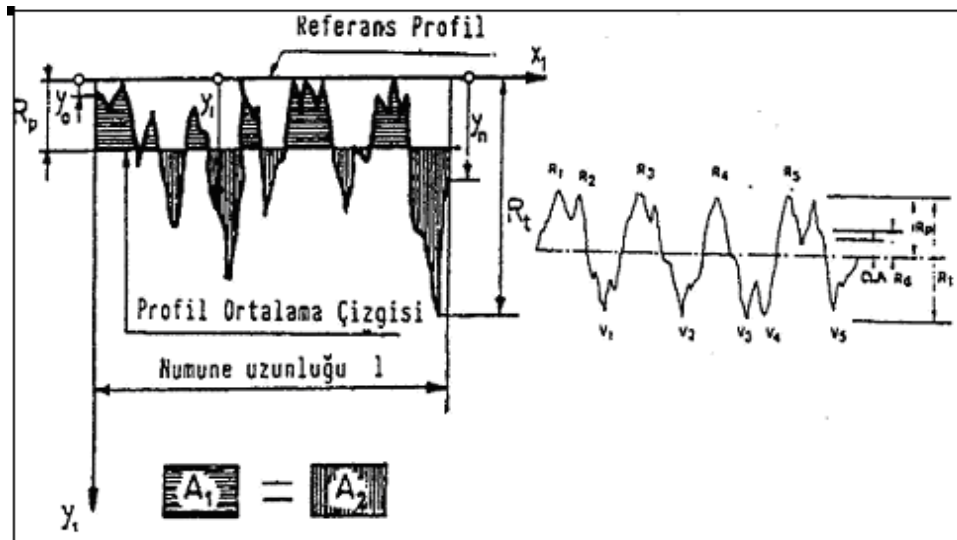
Perspektif görünüş	Kesit görünüş	Yüzey adı	Düzensiz	Pürüzlü
		Dalgalı pürüzlü	Fena	Fena
		Düz pürüzlü	iyi	Fena
		Dalgalı pürüzsüz	Fena	iyi
		Düz pürüzsüz	iyi	iyi

Şekil 3.8. Yüzey şekilleri [40].

Talaş kaldırma işlemi ile işlenen yüzeylerde dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey sapması meydana gelmektedir. Yüzey kalitesini yüzey pürüzlülüğü tayin eder. Standartlara

göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlere göre yapılır. Bu kriterlere göre yüzeydeki pürüzler, yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir.

Yüzey pürüzlülüğü yüzey pürüzlülüğünün derinliği (R_t), yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği (R_p) ve yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değeri (R_a) gibi kıstaslara göre değerlendirilir. (R_t) referans profile göre en derin pürüzün değeri, (R_p) referans profil ile profilin ortalama çizgisi arasındaki mesafe, (R_a) ise ortalama çizgiye göre pürüz yüksekliklerinin veya derinliklerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Pratikte yüzey kalitesi genellikle (R_p)veya (R_a)'nın değerleri ile ifade edilir (Şekil 3.9), [41].



Şekil 3.9. Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi [42].

Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler

Yüzey pürüzlülüğüne birden fazla faktörün etkisi bulunmaktadır. En önemlileri:

- İşlenen malzemede bağlamadan dolayı oluşan deformasyon,
- İlerleme mekanizmasındaki düzensizlikler,
- İşlenen malzemedeki yapı bozuklukları,
- Kırılgan malzemelerin işlenmesi sırasında düzensiz talaş akışı,
- Kolay şekillendirilebilir malzemeler düşük kesme hızlarında işlendiği zaman, işlenen

malzeme yüzeyindeki yırtılmalar,

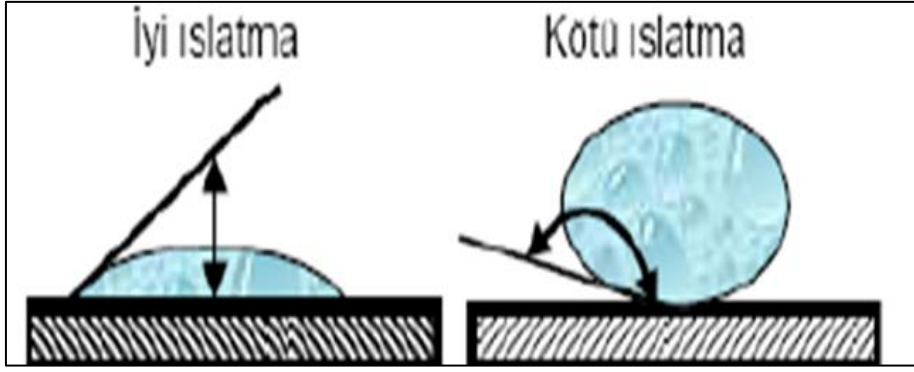
- Talaş akışının sebep olduğu bozukluk,
 - Kesme hızında meydana gelen düzensizlikler,
 - İlerleme hızında meydana gelen düzensizlikler,
 - Kesme esnasındaki talaş derinliği,
 - Kesici takımın soğutulma ve yağlanma koşulları,
 - İşlenen malzemenin kimyasal bileşimi ve metalurjik (atomik) yapısı,
 - Kesicinin tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi,
 - Takım tezgahının tipi, rijitliği ve çalışma şartları,
 - Kalıp ve bağlama aparatları,
 - İşlenen malzemeden talaş kaldırma şekli,
 - Yatak ve takımlarda oluşacak geometrik bozukluklar,
- olarak ifade edilebilir [43].

3.1.6. Kesme sıvıları

Metal işlemede, kesme sıvısının kullanılması, ilk olarak 1894 yılında F. Taylor tarafından denenmiştir. Taylor, deneylerinde kesme bölgesine büyük miktarda su göndererek, takım ömründe bir kayıp olmadan kesme hızını %33 arttırmayı başarmıştır [44].

Kesme sıvısı, takım tezgâhı ve kesici takımın performansını etkiler. İyi bir kesme sıvısı; düzgün bir yüzey elde etmeye yardımcı olur, çalışma ortamını etkiler ve mekanik masrafların düşmesine neden olur. Kesme sıvısı; iş parçası ve takım arasında yastık görevi yapacak yağlayıcı tabaka oluşturmalı ve ortamda oluşan yüksek ısıyı uzaklaştırmalıdır.

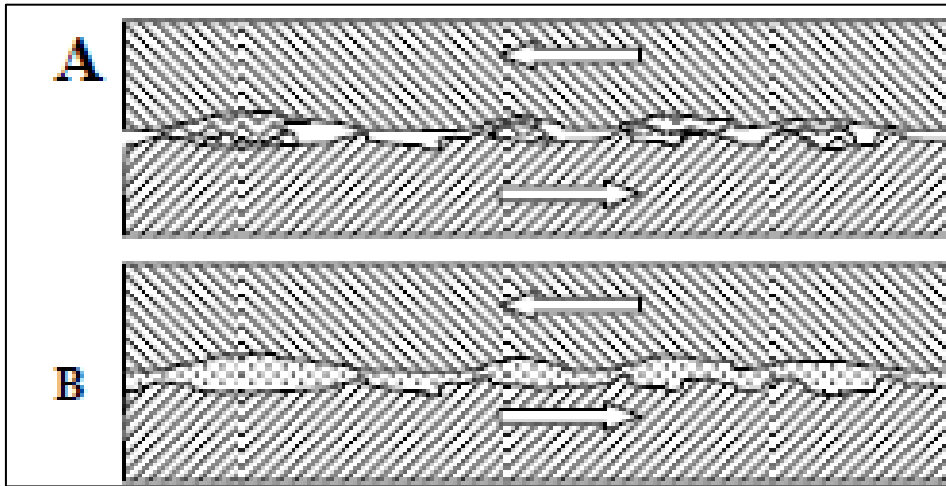
Kesme sıvısının operasyonda sağladığı avantajların yanında, olumsuz etkileri de olmaktadır. Bu olumsuz etkiler kesici takım, iş parçası, makine parçaları çevre ve insan sağlığı üzerinde gözlenebilmektedir. Çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkiler, üzerinde çalışılması gereken en hassas konulardır. Ayrıca bu konular kimya, çevre ve tıp bilimlerinin konuları arasında da yer almaktadır.



Şekil 3.10. İyi ve Kötü Islatma [46].

Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi kesme sıvısı işlem göreceği yüzeyi iyice ıslatarak yayılmalıdır. Kesme sıvısının ıslatma özelliği iyi olmaması durumunda tespih tanesi şeklinde durur. Sıvının, ıslatma özelliğinin iyi olması durumunda, sıvı yüzeye yayılarak, sistemin enerjisi azalarak sıvı ile metal arasındaki yüzeysel gerilimi sıfırlar [45].

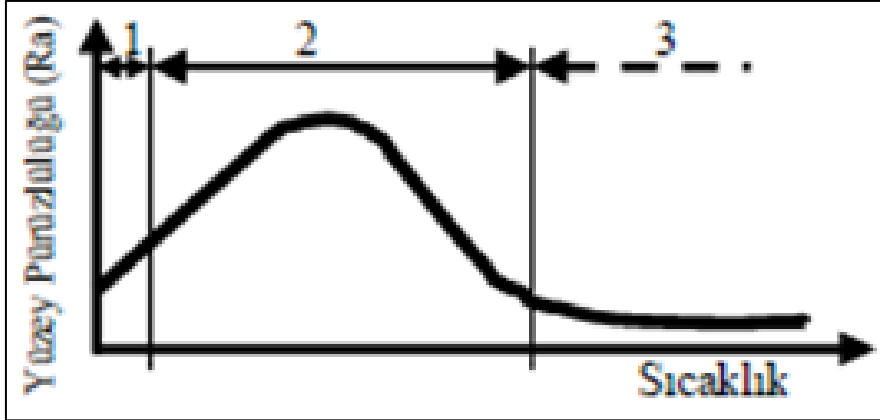
Şekil 3.11.A.'da görüleceği gibi, iyi yüzey yağlamasının olmadığında kaydırılırsa her iki yüzeydeki pürüzler birbirlerine sürtünerek aşınıp koparlar. Şekil 3.11.B.'de görüldüğü gibi kesme sıvısı ile yağlanması durumunda, yağlama özelliğine bağlı olarak, iş parçası ve takım yüzeyleri birbirlerinden ayrılarak aralarındaki aşınma ve oluşan sıcaklık azalır. Kesme bölgesinde oluşan sıcaklık takım aşınmasını çok etkilemektedir. Sağlanacak etkili bir soğutma ile takımın kesici kenarının ve destek elemanlarının ömrü artırılabilir [27, 46].



Şekil 3.11. Kesme sıvısının etkisi

Şekil 3.12'de kesici kenar sıcaklığının yüzey pürüzlülüğüne olan etkisinin gelişimi

verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde en kötü yüzey kalitesi yüzey yığma kenar oluşumu nedeniyle (2) no'lu bölgede gerçekleşmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde düzgün yüzey kalitesi düşük sıcaklıkların olduğu (1) yüzeyde gerçekleşmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünde en iyi yüzey kalitesi ise, serbest kesme bölgesinde (3) oluşmuştur [27, 46].



Şekil 3.12. Yüzey kalitesi-sıcaklık ilişkisi

“İşlenmiş yüzey, talaşlardan ve işleme esnasında serbest kalan diğer parçacıklardan zarar görmemelidir. Bu nedenle oluşan talaşı etkili bir biçimde uzaklaştırmak için kesme sıvısı kullanılır. Bu, özellikle derin delik delmede önemlidir; aksi takdirde talaş vb. parçalar destek elemanlarının oluşturduğu basınç ile işlenmiş yüzeye yapışırlar. Talaş oluşumu, belirli malzemelerde kesme sıvısı basıncı yüksek bir delme sistemi kullanılarak kolaylaştırılır. Benzer bir şekilde yüksek kesme sıvısı basıncı, büyük yığıntı talaş (BUE) oluşumunun önüne geçilmesi demektir” [27, 47].

Kimyasal bileşenlerine göre kesme sıvıları

Kesme sıvıları kimyasal bileşimlerine göre değerlendirildiğinde;

Neat (saf) kesme yağları

Bu yağlar, ağırlıklı olarak bünyelerinde yağ mineralleri bulunan ve karışımında su ilavesi olmayan, talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan kesme sıvılarıdır (El Baradie, 1996). Karışımındaki yağ %70 ile %85 oranında olup, emülsiyon karışımına katılarak elde edilirler. Saf kesme yağları; petrol, hayvansal yağların bir veya birkaçının karışımından oluşurlar (Popke, Emmer, & Steffenhagen, 1999). Bu saf kesme yağlar, diğer karışım yağlara göre az

yağlama özelliğine sahip olsa da fiyat açısından daha uygundur [48].

Yağ katkılı emülsiyonlar

Bu sıvılar, sıvı yağın yağlama özelliği ile suyun soğutma özelliği bir araya getirilerek elde edilmiştir. Karışımın yağ miktarı %60 ile %85 oranında olup, su ve emülsiyon karışımı ilave edilerek kullanıma hazırlanır [48, 49].

Sentetik yağlar

Bu yağlar endüstri sektöründe yıllarca kullanılan bir yağ olup içeriğinde hiç bir madensel yağ katkısı bulunmamaktadır. Yapay olarak üretilirler. Normal yağ, su karışımı ile karşılaştırma yapıldığında da yüksek sıcaklıklara ve yüksek basınca karşı dirençlidir [48, 50].

Yarı sentetik yağlar

Bu yağlar; % 5 - %50 arasında madensel yağ ve su emülsiyon karışımından oluşur. Yarı sentetik yağlar temelde kimyasal, aktif yüzey akışkan ve emülsiyondan oluşması nedeniyle her farklı sıvının karakteristiğini taşırlar. Bu kesme sıvıları özellik olarak iyi soğutma ve korozyon önleme özelliği gösterir. Ancak karışımında yağ bulunmadığı için yağlayıcılık özelliği düşüktür. Diğer yağ içeren kesme sıvılarına göre daha az problemli olsa da köpük ve buharlaşma oluşumuna neden olabilmektedir [51].

Kesme ve yağlama sıvılarının çevreye ve insan sağlığına etkileri

Talaşlı imalatatta kullanılan kesme sıvıları yağlama ve/veya soğutma özelliklerinden faydalanmak amacıyla kullanılır. Ancak bu kesme sıvılarının kullanımı sonucunda çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkileri meydana gelebilmektedir.

“Kesme sıvılarının neden olduğu sağlık problemlerinin şiddeti; maruz kalma süresi ve seviyesi, kirliliğin çeşidi, derecesi ve sıvının tipi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır” [52].

“Kesme sıvılarının kullanımı sonucu dermatit (dermatitis), folliculitis, cilt kanseri ve solunum rahatsızlıkları gibi istenmeyen etkiler meydana gelebilmektedir” [53]. Bu

durumlardan korunmak için kesme sıvılarla temasın önlenmesi gerekmektedir.

Kesme sıvıların bakımlarını zamanında ve uygun biçimde yaparak, uygulamadaki maliyetleri düşürülmekte ve ömrü uzatılabilmektedir. Kesme sıvılarının bakımları uygun olarak ve zamanında yapılmadığı takdirde; su buharlaşması, bakteri oluşumu, kirlilik ve yağ ile reaksiyona girerek yapısında bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bu bozulmalar iş parçası, kesici takım, tezgâh ve çevreyi ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedir.

Minimum miktarda yağlama (MMY) sistemi

MMY sisteminin ana amacı, az miktardaki yağlama-soğutma sıvılarının işlem bölgesine püskürtülmesiyle kesmeye olumlu yönde katkı sağlamasıdır. Talaşlı imalat işlemlerinde, kesici takım ve iş parçasının göreceli hareketleri, işlem gören parçanın bir kısmında gerilim meydana getirir. Talaş kaldırma işlemi sırasında iş parçası ve kesici takım ara yüzeyinde oluşan sürtünme ve bunun sonucu oluşan plastik deformasyon neticesinde yüksek sıcaklık oluşur [54].

Talaş kaldırma için kullanılan mekanik enerjinin hemen hemen hepsine yakını ısı enerjisine dönüşür. Oluşan ısı takım, talaş ve iş parçası olmak üzere üç bölgede toplanır. Soğutma sıvısı kesme bölgesinde toplanan bu ısıyı ve takım ile talaş teması ara yüzeyindeki sürtünmeyi minimize etmek (yağlama yapmak) amacıyla kullanılır. İş parçası fazla ısı alması, ısı birikmesi sebebiyle malzemenin atomik özellikleri bozulabileceği gibi genişmeden dolayı işlenen parçanın ölçü hassasiyeti de azalır. Bu ısı iş parçası yüzeyine zarar verebilir. Kesici takım fazla ısı alırsa kesici uç kısa zaman diliminde bozulabilir. Bu durum takım ömrünün azalmasına, işlem maliyeti ve zamanının artmasına neden olur. Soğutma sıvısı kullanılması durumunda ise talaş takım iş parçası ara yüzeylerinde oluşan ısının taşınması ve tahliyesi daha kolay olabilmektedir. Uygun bir soğutma sıvısı ile oluşan bu ısının %50'ye yakını kesme sırasında talaşla birlikte dışarı atılır [27, 34]. MMY sistemi yağlama-soğutma sıvılarının kesme bölgesine püskürtülmesi şeklinde olmaktadır. Ancak püskürtülen miktarın 10 µm'den daha büyük olması gerekmektedir. Olmaması durumunda sıvı haldeki parçacıklar sağlık sorunları oluşturabilir [55]. MMY yönteminde genelde bitkisel yağ kullanılırken; minimum miktarda soğutma yönteminde ise su bazlı kesme sıvısı kullanılmaktadır [56].

Talaşlı imalat, bitkisel yağ kullanılarak yapılan yöntem MMY, su bazlı kesme sıvısı

kullanılarak yapılan yöntem ise minimum miktarda soğutma olarak isimlendirilir [57]. MMY'deki bu akış hızı, geleneksel sulu kesmeye oranla çok daha az olmasından dolayı MMY'de kullanılan kesme sıvısı çok daha az miktarlarda olmaktadır.

Şekil 3.13'de kesme sıvılarının kesici takım, iş parçası, tezgah ve çevre üzerine olan etkileri belirtilmiştir. Burada çevrenin dışındaki etkilerin olumlu olduğu anlaşılmaktadır. Çevre ve insan sağlığına olan etkileri en aza indirebilmek için MMY sistemi kullanılmaktadır [49].

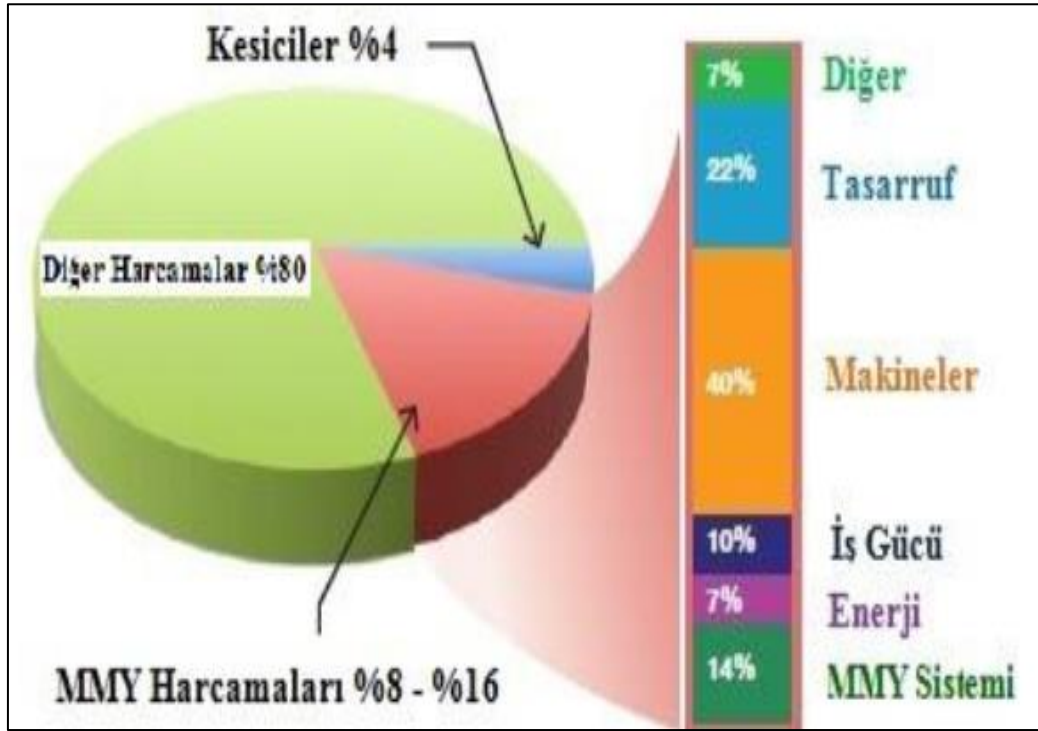


Şekil 3.13. Kesme sıvılarının etkileri [58].

“Avrupa otomotiv endüstrisinde yapılan araştırmalara göre imalat sürecinde kullanılan kesici takım maliyeti toplam üretim maliyetinin yüzde 2 ila 4’üne denk gelirken kesme sıvısı maliyeti toplam üretim maliyetinin yüzde 8 ila 16’sını oluşturmaktadır” [59, 60].

Toplam maliyetin dağılımını veren Şekil 3.14.’deki verilere bakıldığında; toplam maliyetin % 4 ünü kesici takım maliyetleri, %14 ünü ise kesme sıvısı maliyetlerinin olduğu görülür. Bu nedenle işleme maliyetlerinin azaltılmasında MMY sisteminin kullanılması çok önemlidir. Ayrıca MMY sistemi kullanımı takım ömrünü uzatmakta ve kesme sıvı kullanım

miktarında düşürme meydana getirmektedir [49].



Şekil 3.14. Talaş kaldırma işlemlerinde maliyet şeması [60].

Yağlar kesme ve soğutma sıvısı olarak kullanıldığında, yağlama etkisi ön plana çıkmaktadır. Yağların görevleri iş parçası, talaş ve kesici takım arasında sürtünmeyi azaltarak yapışmayı önlemek ve daha az miktarda sürtünme ısısının oluşmasını sağlamaktır. Bu uygulamada, kuru işlemeye göre daha düşük ısı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, takım ömründe bir artma meydana geldiği gibi daha iyi bir yüzey pürüzlülüğü sağlanır. Ayrıca ısıda meydana gelen azalma işlem gören malzemenin de değişimi engellenir [49].

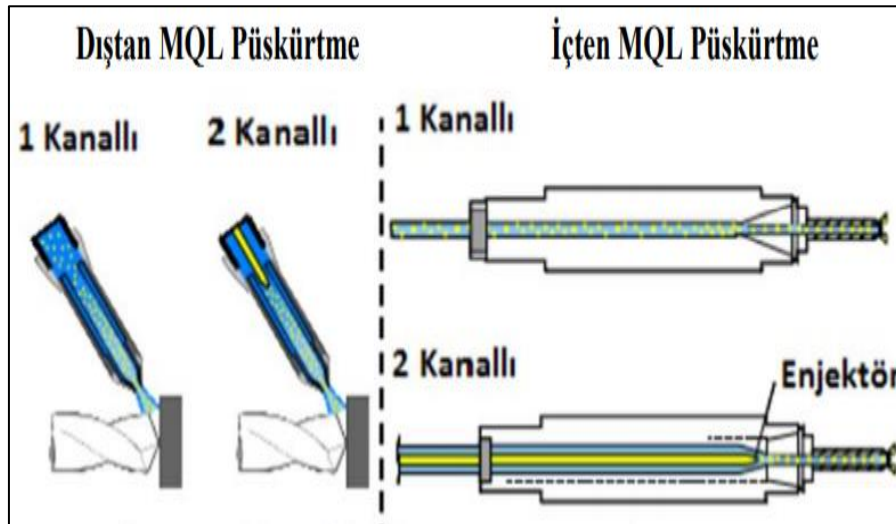
Çizelge 3.1'de MMY'de kullanılan, yağlayıcı-soğutucuların karakteristik özelliği ve sistemin uygulama alanları ile ilgili bilgi verilmiştir. Burada görüleceği gibi iki çeşit sıvı kullanılmaktadır.

Bazı sistemlerde su, emülsiyon ve karışımlarının yüksek basınçlı yöntemi kullanılarak soğutma işlemleri yapılmaktadır. Buna kısaca MMY işlemi denmektedir. [49].

Çizelge 3.1. MMY işleminde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri [61].

MMY sıvılarının Karakteristik Özelliği		MMY Sıvılarının Uygulama Alanları	
Sentetik Esterler	Yağlı Alkoller	Sentetik Esterler	Yağlı Alkoller
Kimyasal bileşenli, bitkisel yağlar	Doğal hammadde veya mineral yağlardan yapılan, uzun zincirli alkoller	İşleme Teknolojileri İçin	
➤ İyi biyoparçalanabilirlik ➤ Suya zararı azdır ➤ Toksikolojik olarak zararsızdır		-Öncelikli olarak sürtünmeyi azaltmak -Yüksek yüzey kalitesi -Yapışmaya elverişli iş parçası - kullanımlarında -Düşük kesme hızı ve yüksek yükleme alanları - uygulamalarında -Rayların desteklenmesi ve yağlanması	-Öncelikli olarak ısı transferi - uygulamalarında -Gri döküm demir ve alüminyum döküm alaşımlarının, kesme, tornalama ve frezeleme işlemlerinde
-Düşük viskozitede, yüksek parlama ve kaynama noktası -İyi derecede yağlama özelliği -Düşük soğutma özelliği -Artıklar buharlaşır	-Yüksek viskozitede, daha düşük parlama ve kaynama noktası		

MMY sisteminde yağlama dıştan (harici) ve içten (dahili) olmak üzere iki farklı yoldan uygulanabilmekte olup şematik gösterimi Şekil 3.15.'de verilmiştir



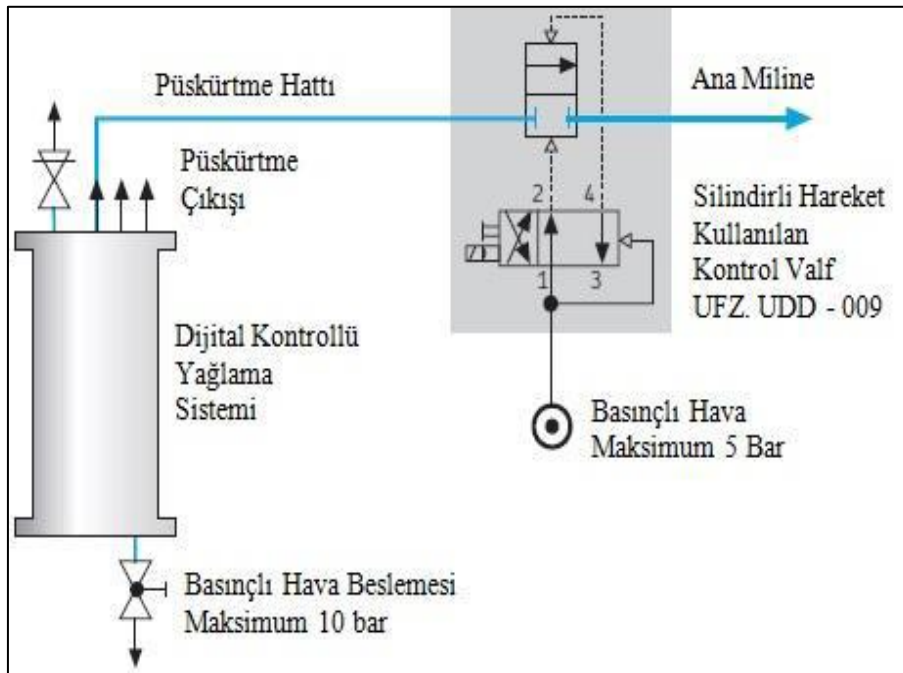
Şekil 3.15. MMY sistemi püskürtmesinin şematik gösterimi [62].

Dıştan MMY sisteminde; sabit nozullarla dışarıdan püskürtme şeklinde olurken, içten MMY sisteminde ise kesici takım içerisine açılmış kanallarla püskürtme şeklinde gerçekleşmektedir [63]. Ayrıca kendi içinde tek ve çift kanallı olan gerek içten MMY sistemlerinin gerekse de dıştan MMY sistemlerinin belirli konularda birbirlerinden

üstünlükleri bulunmaktadır. Yağ-hava karışımı dışarıda hazırlanarak püskürtülen sistemler tek kanallı, yağ ve hava ayrı kanallarla nozul içine veya kesici takım içine getirildikten sonra karıştırılarak püskürtülen sistemlere de çift kanallı denilmektedir [64].

Dahili minimum miktarda yağlama sistemi

Sistem, “MMY ekipmanı tarafından muhafaza edilen bir hava yağ karışımının direk olarak ya iş milinin içinden yol alarak ya da taret dediğimiz kesicilerin bulunduğu başlığa uygulanması ile gerçekleştirilebilir” [65]. Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de dahili sistem MMY sisteminin pnömatik şeması verilmiş olup, hava ve yağ karışımının iş miline nasıl entegre edildiği belirtilmiştir. Dahili sistem, homojen olarak karışmasını sağlayan bir muhafaza sistemine sahip, damla büyüklüğü $\sim 0,5\mu\text{m}$ olan ve basınçlı havanın yağ ile karışımının dışarı aktarılmasını sağlayan nozul sistemlidir.

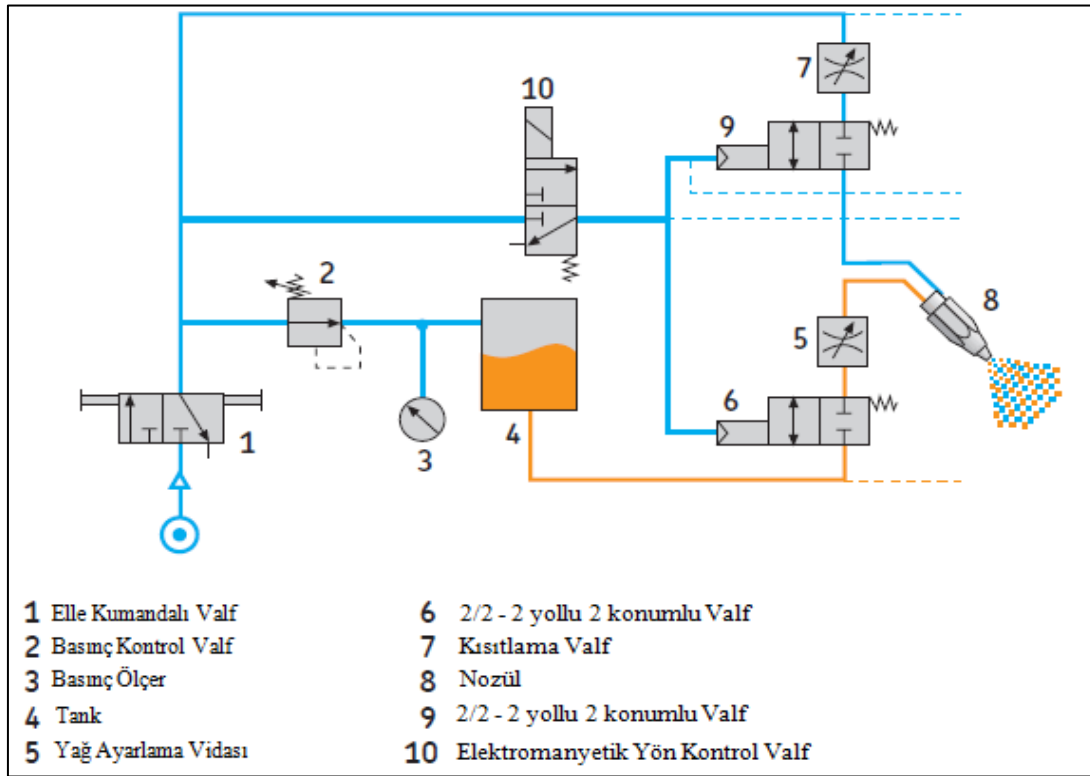


Şekil 3.16. SKF Digital super system” [65].

Dahili sistemin, tüm talaşlı imalat yöntemine uygun olması, talaşın kaldırıldığı alanda uygulanabilmesi, hareketli kısmının olmaması, kesici takımlara uygun entegrasyon olması, küçük kesici ve yüksek kesme hızına elverişli olması gibi avantajları mevcuttur.

Harici minimum miktarda yağlama sistemi

Bu yağlama sisteminde yağ ve hava karışımı, kesici ve işlem gören parçasının işlem bölgesine dışarıdan (harici) olarak uygulanmasıdır. Bu sistemler; kesme sıvısı ve havanın muhafaza edildiği düzenleyici ünitelerden bir hat ile spray nozulünden dışarı basınçlı hava kesme sıvısının verilmesiyle uygulanmaktadır. Şekil 3. 16 ve Şekil 3.17’de MMY sisteminin pnömatik devre şeması görülmektedir.



Şekil 3.17. “SKF Temel Sistem”, harici MMY sistemi pnömatik şeması [65].

Harici sistemin avantajları;

- Konvansiyonel makinelere kolayca uyum sağlayabilmesi
- Hızlı tepki vermesi,
- Kapattıktan sonra nozulden damlama olmaması,
- Yüksek süreç güvenilirliğine sahip olması,
- Geniş püskürtme aralığında olması (300 mm’ ye kadar),
- İş parçası ve talaş üzerinde yağlayıcı kalmaması,
- İyi bitirme yüzeyi sağlaması,
- Güvenli ve çevresel kirliliğin az olması,

- Uzun kesici ömrü sayesinde maliyetinin ucuza gelmesidir.

Metal şekillendirme ve talaş kaldırma işlemlerinde yağlama veya soğutma için kullanılan kesme sıvıları, talaş kaldırma esnasında çıkan talaşı ve ısıyı uzaklaştırmaya yardımcı olurken, birçok zararlı etkileri de vardır.

Talaşlı İmalatta kullanılan kesme sıvılarının takım ömrü artırması, yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkilemesi, çevreye ve insan sağlığına karşı korumacı olabilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre kullanılan kesme sıvısı miktarlarında azalma ve insan sağlığına yansıyan olumsuzlukların en aza indirilmesi amacıyla minimuma indirilmesi amacıyla Minimum Miktarda Yağlama sistemleri geliştirilmiştir.

3.2. Paslanmaz Çelikler

“Çağımız endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına giren paslanmaz çelikler esas itibari ile demir, krom, karbon ve çoğu zamanda nikel içeren alaşımlardır. Demir alaşımlarının korozyon dayanımlarını arttırmak için geliştirilmiş bir türü olan paslanmaz çeliklerin, uygulama alanlarının her geçen gün artarak devam etmesinin temel nedeni korozif ortamlarda, mekanik özelliklerini yitirmeden gösterdikleri yüksek korozyon dirençleridir. Paslanmaz çelikler en az %12 Cr içerir” [66].

“Paslanmaz çeliklerde korozyon direnci artan krom miktarına bağlı olarak yükselmektedir. Krom içeren çelikler yüzeyleri bir krom oksit tabakası ile örtülü olmadıkları sürece korozyona ve özellikle oksidasyona karşı çok hassastırlar. İşte bu bakımdan paslanmaz çeliğin korozyon direncinin oluşması için en az %12 Cr içermesi ve ortamda da oksijen bulunması gerekir” [67, 68, 69, 70]. Kromun çeliklere olan diğer bir tesiri de çeliklerin ısı altındaki dayanımını oldukça artırmasıdır. Bu tesir kendini bilhassa çekme ve sürünme mukavemetlerinde gösterir [66].

Bir metalin işlenebilirliği, onun mikro-yapısı ile ilgilidir. Yapıda sert parçacıkların bulunması kesici takım ömrünü düşürür, yapıdaki iri kristaller takım ömrünü artırır. Alaşım elementlerinin takım ömrüne etkisi farklıdır. Örneğin karbon miktarı azaldıkça işlenebilme özelliği düşer. Çünkü süneklik artmakta ve malzeme takım ucuna yapışarak körlenmeyi

hızlandırmaktadır. Diğer taraftan da karbon oranı arttırıldıkça malzemenin sertliği arttığından, takım aşınması hızlanmış olur. Bu nedenle, çelikler için maksimum işleme kabiliyeti % 0,2 C içerikli çelik olmaktadır. Buna ilaveten; otomat çeliklerin işlenebilirliği genellikle Sülfür, Kurşun, Sodyum, Mangan ilave edilerek ve soğuk çekmeyle değiştirilebilmektedir. Bu değişikliklerle; takım ömrünün arttırılması, daha iyi yüzey kalitesi ve kesme işlemi için daha düşük güç sarfiyatı gibi avantajlar elde edilir [71].

3.2.1. Paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması

Bütün paslanmaz çelikler esas olarak demir alaşımlarıdır ve pasifleşme özelliği gösterirler. Bu çeliklerde pasifleşmeyi sağlayan asıl metal “krom” dur. Alaşımı oluşturan diğer bileşenler paslanmaz çeliğin diğer yapısal özelliklerini geliştirmek içindir. Eğer yüzeyde pasif film oluşmaz ise paslanmaz çeliklerde aynen diğer demir alaşımları gibi korozyona uğrayabilir. Kristal yapısına ve mukavemetlenme mekanizmasına bağlı olarak 4 çeşit paslanmaz çelik vardır [72].

Martensitik paslanmaz çelikler

Bu yapıdaki alaşımlar % 0,1-1 oranlarında C ve %12-17 oranlarında ise Cr içermektedir. Martensitik paslanmaz çelikleri diğer paslanmaz çeliklerden ayıran en önemli özellikleri; karbon yüzdesinin düşük olması ve ısıtma işlemleri ile sertleşebilmelerinin mümkün olmasıdır. Bu çelikler karbon çelikleri gibi su verme sonucu faz dönüşümü yaparak çok sert bir yapı oluştururlar. Ayrıca korozyon dirençleri, yumuşak çeliklere oranla çok yüksek olmasına rağmen, östenitik paslanmaz çeliklere göre daha azdır. Diğer alaşım maddelerinin az miktarda eklenmesi tokluğu, dayanımı ve korozyon direncini artırır [66, 67, 73].

Martensitik çeliklerin en çok kullanılanları 41 ve 420’dir. Bu çelikler, magnetik olup daha çok ısıtma işlem mukavemeti gerektiren ve korozyona maruz yerlerde kullanılırlar [69].

Ferritik paslanmaz çelikler

Demir ve krom alaşımından oluşan çeliklerdir. % 0,12 civarında karbon, %11-30 civarında Cr ihtiva eder. Bu çeliklere işlenebilirlik ve korozyon dirençlerini arttırmak için diğer alaşım elementleri az miktarlarda katılır. Bu çelikler az miktarlarda karbona sahip oldukları için,

normal olarak östenit yapıdan ferritik yapıya dönüşemez. Bu sebeple ısıtıl işlemin uygulanamadığı malzemeler olarak bilinmektedir. Karbon ve azot miktarlarının mümkün olduğunca az tutulması, süneklik, korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik özelliklerini artırır [67, 69, 74].

Antimagnetik olan östenitik grup AISI normunda 300 serisi olarak yer alır. Pek çok tip ihtiva eden bu grup içinden hemen her tatbikat için uygun vasıflı malzeme seçilebilir. Uygulama alanı en geniş olan tipler; 303, 304, 309, 310 ve 316 dır [69].

Dubleks (çift fazlı) paslanmaz çelikler

Çift fazlı bir içyapıya sahip, ferrit taneleri içinde östenit veya östenit taneleri içinde ferrit içeren bu tür paslanmaz çeliklerin östenitik paslanmaz çeliklere nazaran en önemli üstünlükleri akma mukavemetlerinin iki kat daha büyük olmaları ve çok daha iyi korozyon dirençleri göstermeleridir.

Modern dubleks paslanmaz çelikler -50 °C ile 280 °C sıcaklıkları arasında mekanik özelliklerini çok iyi korurlar. Kaynak edilebilirlikleri ve karşılaştırılabilir fiyatları da buna eklenirse günümüzün vazgeçilmez bir paslanmaz çelik türüdür [66].

Östenitik paslanmaz çelikler

Bu çelikler, paslanmaz çeliklerin yaygın kullanım alanı olan ve bileşiminde % 12-25 Cr - % 8-25 Ni içerir. Mühendislik uygulamalarında yüksek korozyon dirençlerinden ve şekillendirilme özelliğinden dolayı üstün bir pozisyona ve bu nedenle pek çok mühendislik uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir [66].

“Östenitik paslanmaz çelikler genellikle nemli ortamlarda kullanılırlar. Artan krom ve molibden içerikleri agresif çözeltilere karşı korozyon dirençlerini artırıcı rol oynar. Yüksek nikel içeriği gerilmeli korozyon çatlamasına karşı riski azaltır. Östenitik paslanmaz çelikler katılan alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak genel korozyona, çukurcuk ve aralık korozyonuna dirençleri yükselir. Bu olay çeliğin klor içeren ortamlarda kullanılması durumunda daha da önemlidir. Çukurcuk ve aralık korozyonuna dirençleri artan molibden ve krom ile artar” [73].

3.2.2. AISI 304 ve AISI 316L paslanmaz çelikler

Çalışma kapsamında kullanılan paslanmaz çelik türü, östenitik paslanmaz çeliklerden en yoğun olarak kullanılan AISI 304 ve AISI 316L kalite paslanmaz çeliklerdir.

AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik

Paslanmaz çeliklerden, AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik, yüksek çekme mukavemeti ve korozyon direnci gibi özelliklere sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı endüstrinin birçok alanında kullanılırlar. Bu malzemelerin düşük ısı iletkenliği, sünek bir yapıya sahip olması ve işlenirken deformasyon sertleşmesi hızının yüksek olmasından dolayı talaş kaldırma işlenmeleri de zor olmaktadır [74]. Bu nedenle talaş kaldırma esnasında oluşan ısının atılması ve kesici takımın kolayca yüzeyde kayabilmesi için ya soğutma sıvısı kullanmak ya da soğutma sıvısı kullanmadan kesme parametrelerinin ve kesici takımın uygun seçimi gereklidir [75].

İmalat açısından bakıldığında; imalatın sürekliliği, zaman tasarrufu ve daha fazla üretim için en önemli koşuldur. Talaşlı imalatta sürekliliği etkileyen en etkin faktörlerden biri de talaşın düzenli olarak kırılmasının sağlanmasıdır. Aksi halde, imalat sürecinde zaman zaman aksamalar olacak ve bununda maliyeti tüm imalata yansıtacaktır. Bu bakımdan, talaşın düzenli kırılmasının sağlanması, üzerinde durulması gereken bir olaydır.

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (Ek-1), Çizelge 3.2.'de, mekanik özellikleri (Ek-1), ise Çizelge 3.3.'te verilmiştir [66].

Çizelge 3.2 Çalışmada kullanılan AISI 304 çeliğinin kimyasal kompozisyonu.

AISI 304 (% ağırlık)								
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	N2
0,024	1,40	0,42	0,020	0,036	18,08	8,07	0,37	0,0790

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan AISI 304çeliğinin mekanik özellikleri.

Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwel)
Tavlı	651	241	46	57	193 HB

Östenitik paslanmaz çelik olarak Krom-Nikel çeliği sınıfında olan AISI 304’ün korozyon direnci daha iyi olup, mükemmel soğuk çekme, yüksek süneklik ve sıvama özellikleri mevcuttur. Tavlama sonrası manyetik değildir. Soğuk işlem sonrası hafif manyetik özellik gösterir. Düşük karbon oranı kaynak işlemleri sırasında malzemenin ısıdan etkilenen bölgesinde daha az karbür çökmesine neden olur ve korozyon olasılığı düşer [66].

AISI 304 yüksek karbonlu (0,08) ve düşük karbonlu (L) (0,03) olmak üzere iki şekilde üretilir. Düşük karbonlu olan kaynak uygulamaları için tercih edilir. Yalnızca soğuk işlem uygulayarak sertleştirilir. Tavllanmış durumda manyetik değildir. Talaş kaldırabilme özelliği düşüktür. Şekil verme özelliği iyidir. Bütün kaynak çeşitleri en yüksek korozyon direnci için malzeme tavllanmış durumda yapılmalıdır [76].

AISI 316L tipi östenitik paslanmaz çelik

“AISI 316L östenitik paslanmaz çelikler, 304’ten sonra en bilinen paslanmaz çeliktir, en büyük farklılığı molibden (Mo) ihtiva etmektedir. Molibden (Mo) 316’ya korozif ortamlarda, 304’ten daha iyi dayanmasını sağlar, özellikle yüzey ve içyapısında çatlak ve çukur oluşumlarına karşı başarılıdır. Şekillenme ve kaynak kabiliyeti yüksektir. Endüstri, mimari, ulaşım gibi sektörlerde değişik amaçlarla kullanılır. İnce kesitlerde kaynak sonrası tavlama gerektirmez 316L, 316’nın düşük karbonlusudur. Diğer çeliklere oranla yüksek korozyon direnci, iyi kaynak kabiliyeti ve hijyen oluşuyla kullanım alanları giderek artmaktadır” [77].

AISI 316L çeliği, kombi ve şofben gibi Doğalgaz-LPG ile çalışan cihazların atık gaz bacalarında, şömine havalandırmalarında, baca bağlantılarında, baca kılıfı olarak bina içinde ve dışında kullanılabilir. Ayrıca tuzlu suya dayanıklı olduğu için gemi sanayisinde

de geniş kullanıma sahiptir. AISI 316 L çeliğin kimyasal yapı değerleri (Ek-1), Çizelge 3.4.'te ve mekanik özellikleri (Ek-1), Çizelge 3.5.'de verilmiştir [76].

Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan AISI 316L çeliğinin kimyasal kompozisyonu.

AISI 316 L (% ağırlık)								
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	N2
0,028	1,50	0,31	0,021	0,033	16,68	10,07	2,03	0,0720

Çizelge 3.5. Deneylerde kullanılan AISI 316L çeliğinin mekanik özellikleri.

Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwel)
Tavlı	615	310	54	64	175 HB

3.3. İstatistiksel Analiz

Paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde minimum miktarda yağlama etkisinin araştırılması ve modellenmesine önemli katkılar sağlamıştır. Parmak frezeleme ile MMY arasında nasıl bir ilişki olduğu önemlidir.

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinin incelenmesi için varyans analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan regresyon analizi ile model oluşturularak, ara değerler için kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri tahmin edilmiştir.

3.3.1. Varyans analizi

Varyans analizi (Analysis of Variance, ANOVA), üç ya da daha fazla grup ortalaması arasında istatistiksel olarak farklılık olup olmadığını test etmek için kullanılan bir yöntemdir.

Amaç, deneyi etkileyen faktör veya faktörlerin etkisinin belirlenmesidir.

Bu metot 1930'lu yıllarda Fisher tarafından geliştirildiği için isminin baş harfinden dolayı F testide denmektedir. Varyans analizinde, deneysel tasarımda bütün noktalarda (çeşitli faktörlerin çeşitli seviyelerinin kombinasyonlarında) değişkenliğin aynı olduğu farz edilmektedir. Fakat mühendislik tasarımlarında bu doğru olmayabilir. Lochner ve Matar (1990)'a göre deneysel tasarım kullanımının en önemli sebebi, sonuçlardaki değişkenliği minimize edecek faktör seviyelerinin kombinasyonunu bulmaktır [78].

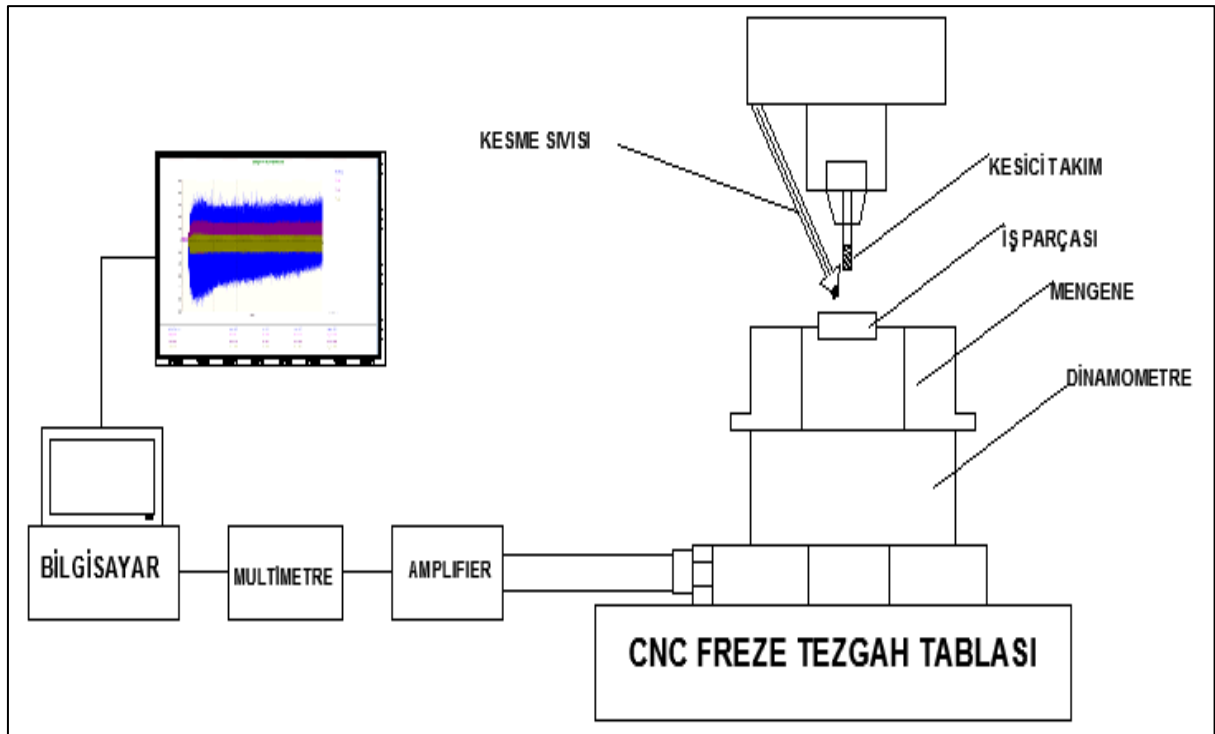
3.3.2. Regresyon analizi

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla yapılmaktadır.

Regresyon analizi ile bağımsız (yordayıcı) değişkenin, bağımlı (yordanan) değişkeni ne şekilde etkilediği, bağımlı değişken üzerindeki değişimin ne kadarının bağımsız değişken nedeniyle ortaya çıktığı, bağımsız değişkenin alacağı değerlere göre, bağımlı değişkenin değerinin ne olacağı belirlenmeye çalışılır. Bir yordayıcı değişkenin, bir yordanan değişkenle ilişkisinin incelendiği regresyon analizine, basit doğrusal regresyon denilmektedir. Basit doğrusal regresyon bize normal ölçekle veri toplanmış dağılmış, hakkında aralıklı/oranlı iki değişken arasında test etme doğrusal ilişki olup olmadığını verir. Değişkenlerden biri tahmin, biri sonuç değişkenidir.

4. MATERYAL VE METOD

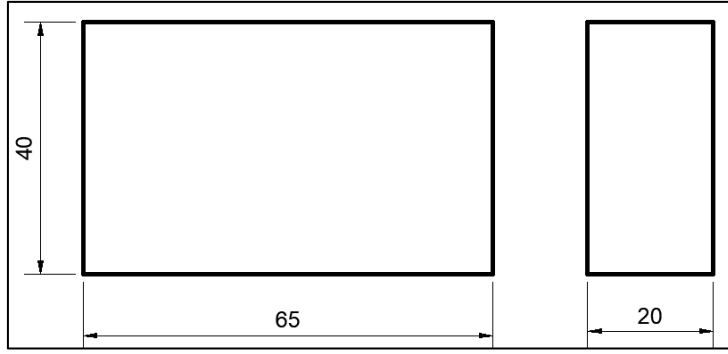
Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, AISI 304 ve AISI 316L paslanmaz çelik malzemelerin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneyler kuru şartlar ve MMY sistemi altında, kaplamalı ve kaplamasız karbür parmak frezeler ile gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deney düzeneği genel görünümü ve unsurların isimleri

4.1. İş Parçası Malzemesi

Deneysel çalışmalarda kullanılan AISI 304 ve AISI 316L östenitik paslanmaz çelikler üretici firmadan 40 mm x20 mm x65 mm ölçülerinde temin edilmiştir. Malzemelerin kimyasal kompozisyonu AISI 304 için Çizelge 4.1., AISI 316L için Çizelge 4.2’de ve sertifika bilgileri EK-1’de verilmiştir. İş parçasının teknik resmi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. İş parçası ve boyutları

Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan AISI 304 malzemesinin kimyasal içeriği

AISI 304 (% ağırlık)								
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	N2
0,024	1,40	0,42	0,020	0,036	18,08	8,07	0,37	0,0790

Çizelge 4.2. Deneyde kullanılan AISI 316 L malzemesinin kimyasal içeriği

AISI 316 L (% ağırlık)								
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	N2
0,028	1,50	0,31	0,021	0,033	16,68	10,07	2,03	0,0720

4.2. Takım Tezgâhı

Talaş kaldırma deneyleri, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Araştırma laboratuvarında bulunan Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın fotoğrafı Resim 4.1’de ve tezgâhın teknik özellikleri ise Çizelge 4.3’de verilmiştir.



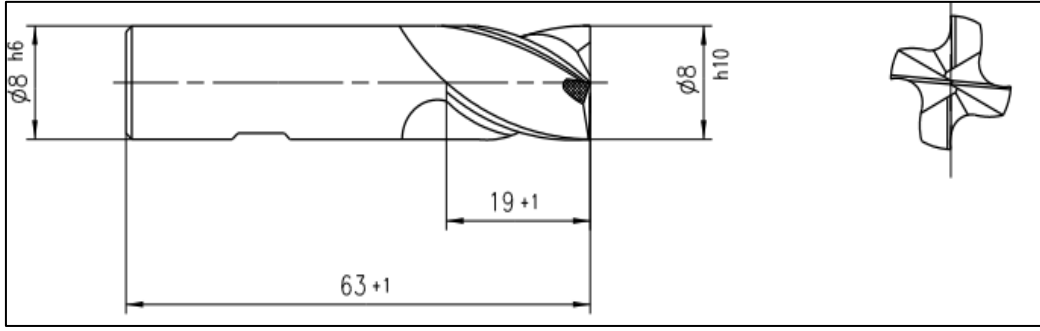
Resim 4.1. Johnford VMC-550 CNC dik işleme merkezi

Çizelge 4.3. Johnford VMC-550 CNC dik işleme merkezi teknik özellikleri

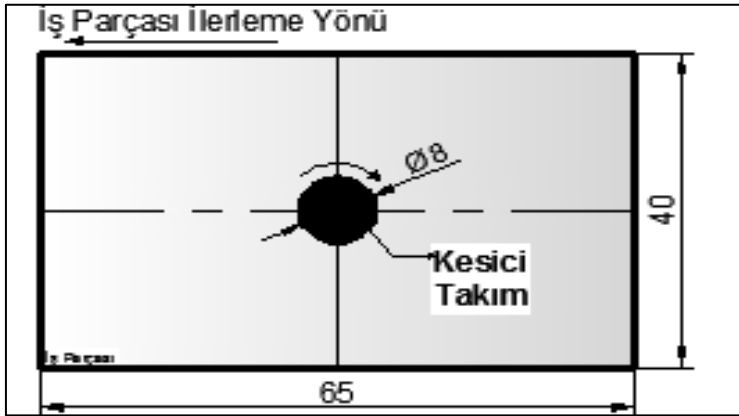
Tezgah gücü (Kw)	10
Maksimum devir sayısı (dev/dak)	8000
X eksen (mm)	600
Y eksen (mm)	500
Z eksen (mm)	600
Hassasiyet (mm)	0.001
Kontrol paneli	Fanuc

4.3. Kesici Takım

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada, Makina Takım firmasının kaplamasız KSM B00553900423 kodlu ve AlCrNa pro kaplamalı KSM B17553900423 kodlu takımları kullanılmıştır. Kesici takımlar değişken 25-28 derece helis açılı DIN normuna göre tam boy ve işleme boyları belirlenmiş 4 ağızlı 8 mm çapında parmak freze çakılarıdır. Her bir deney yeni kesici takım kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan parmak frezenin boyutları Şekil 4.3' de, işleme esnasında iş parçası ve takımın pozisyonu ise Şekil 4.4' te verilmiştir.



Şekil 4.3. Kullanılan parmak frezenin boyutları



Şekil 4.4. İşleme esnasında iş parçası ve takımın pozisyonu

4.4. Kesme Parametreleri

Deneysel çalışmalarda kesme parametreleri belirlenirken, tedarikçi firmanın teknik verilerinden ve tecrübelerinden faydalanılmıştır. Kesme parametreleri olarak; farklı üç kesme hızı, farklı üç ilerleme hızı ve sabit talaş derinliği kullanılmıştır. Aynı parametreler AISI 304 ve AISI 316L için ayrı ayrı uygulanmıştır. Bütün deneyler kuru olarak ve MMY uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Toplamda 72 adet deney yapılmıştır. Her deney için yeni bir kesici takım kullanılmıştır. Bu parametreler Çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kesme parametreleri

Parametre	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesme hızı, V (m/min)	45	60	75
İlerleme hızı, f (rev/min)	0,014	0,06	0,046
Talaş derinliği, a (mm)	1,5		
Kesici takım	Kaplamalı takım	Kaplamasız takım	
İşleme şartı	Kuru işleme	MMY	
Malzeme	AISI 304	AISI 316L	

4.5. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Deneysel çalışmada iş parçası malzemesi mengene yardımıyla Kistler 9272 B üç bileşenli piezoelektrik dinamometreye bağlanmıştır. Dinamometrenin bağlı olduğu bilgisayarda daha önce yüklenmiş olan Kistler kalibrasyon programı ile Amplifier'dan (yükseleç) aktarılan verilerin sıfır konumuna getirilmesi ile dinamometre kalibrasyonu yapılmıştır. Deneyler esnasında dinamometrenin aldığı veriler Amplifier'e oradan da veri okuma kartı ve program sayesinde bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayarda bulunan dynoware programı ile kuvvet grafikleri elde edilmiştir. Amplifier görüntüsü Resim 4.2'de, Amplifier teknik özellikleri Çizelge 4.5'de verilmiştir.



Resim 4.2. Amplifier görüntüsü

Çizelge 4.5. Amplifier teknik özellikleri

Amplifier Teknik Özellikleri	Tip 5070A
Kanal sayısı	8
Açıklama	19" rack
Bağlantı	Fischer 9 pol. Neg
Ölçüm aralığı	$\pm 200 \dots 200000$ pC
Frekans aralığı	$\sim 0 \dots > 45$ kHz
Çıktı sinyali	± 10 V
Güç	100...240 V
Arayüz	RS-232C

Deneyler esnasında oluşan kesme kuvvet değerleri, her bir deney için ayrı bir grafik olarak Dynoware programında kaydedilmiştir. Daha sonra kaydedilen bu kesme kuvvetine ait grafikler incelenerek her bir eksen (F_x , F_y , F_z) için ortalama en büyük kesme kuvveti değerleri bulunmuştur. Bu işlem, her deney için oluşturulan grafik üzerinden beş farklı bölgenin en büyük kesme kuvveti değerleri alınarak yapılmıştır.

Daha sonra bu beş kuvvetin aritmetik ortalaması hesaplanarak tek tek eksenler için kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu ortalama kuvvet değerlerinden Eşitlik 1’de verilen denklem kullanılarak bileşke kuvvet hesaplanmıştır.

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (4.1)$$

F : Bileşke kesme kuvveti, N;

F_x : “X” ekseninde ölçülmüş ortalama kesme kuvveti, N

F_y : “Y” ekseninde ölçülmüş ortalama kesme kuvveti, N

F_z : “Z” ekseninde ölçülmüş ortalama kesme kuvveti, N

4.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Deneylerde kullanılan iş parçalarının yüzeyinde oluşan pürüzlülüğün ölçülmesinde MAHR-Perthometer-M1 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. İş parçasının yüzey pürüzlülük değerini ölçmek için; cihazın ölçme hızı 150 $\mu\text{m/s}$, ölçme kuvveti 0,7 mN, örnekleme uzunluğu 5,6 mm, kesme uzunluğu ise 0,8 mm olarak belirlenmiştir.

İş parçalarını işlenen yüzeyleri üzerinde yapılan ölçümler deney numunesi yüzeyine paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. İşlenen yüzeyin üç farklı yerinden ölçüm yapılarak bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

Yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.7’de, cihazın görünümü Resim 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri

Model ve Özellikler	Mahr Perhometer-M1
İğne uç yarıçapı	2 μm
Ölçme aralığı	100-150 μm
Tarama hızı	0.5 m/s
Tarama kuvveti	0.75mN
Profil çözünürlüğü	12mm
Filtre	Gaussian
Ölçülebilen parametreler	Ra. Rz. Rmax
Örnekleme uzunluğu	0.25-0.8-2.5 mm
Ölçme uzunluğu	1.75-5.6-17.5 mm



Resim 4.3. Mahr Perhometer-M1 Yüzey pürüzlülük cihazı

4.7. MMY Sistemi

Deneylerde soğutma sıvısı olarak dıştan MMY sistemine uygun SKF marka UFB20-Basic cihazı kullanılmıştır. Bu sistemin en büyük avantajı birçok tezgâh tipine uygun çalışma yapılabilmesidir.

MMY sisteminin kullanıldığı cihazın görünümü Resim 4.4’de, MMY sistemine uygun olarak hazırlanan tezgâhın görünümü ise Resim 4.5.’de verilmiştir.



Resim 4.4. MMY sistemi



Resim 4.5. MMY sisteminin kullanıldığı tezgâh

MMY sisteminin uygulanmasında SKF firmasının çelik malzemeler için “Lubrioil” ve alüminyum malzemeler için “LubriFluid-F100” olmak üzere iki çeşit yağı mevcuttur. Deneylerde iş parçası malzemeleri çelik olduğu için yağlayıcı olarak Lubrioil türü kullanıldı. Kullanılan yağın özellikleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kullanılan yağın özellikleri

MMY Sistem Yağı ve Standartlara Göre Özellikleri		DIN 51757	DIN 51562	DIN ISO 2592
Yağ Cinsi	İçerik	Yoğunluk 20°C’de (g/m ³)	Viskozite 40°C’de (mm ² /s)	Yanma Noktası (C°)
Lubrioil	Ester yağ asidi	0,92	47	265

4.7.1. MMY sistem debisinin belirlenmesi

MMY sistemi, işleme yapılan tezgaha uygun olarak adapte edildikten sonra deney parametresi olan kesme sıvısının hangi debilerde uygulanacağını ve ml/min cinsinden ne kadar kullanıldığını bulabilmek için bazı araştırma ve hesaplamalar yapılmıştır. Debi miktarı; bir beher, içerisine konulan yağ karışımı, hassas terazi ve ölçüm yöntemleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Beher içerisine bir dakikalık süre içerisinde MMY sisteminden gelen yağ ve hava karışımı alınmış ve beher içerisine alınan yağ ve hava karışım miktarı hassas terazi ile ölçülerek ml/min cinsinden debi miktarı tespit edilmiştir [49].

MMY sisteminde ölçüm sonucunda elde edilen değerler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

- a- 0 tur (kapalı konum)= 1 dakikada 0,2514 gr → 0,25 ml/min,
- b- 3 tur açık olduğunda = 1 dakikada 0,4656 gr → 0,45 ml/min,
- c- 6 tur açık olduğunda = 1 dakikada 0,8792 gr → 0,90 ml/min,
- d- 9 tur açık olduğunda = 1 dakikada 3,258 gr → 3,25 ml/min,
- e- 12 tur açık olduğunda = 1 dakikada 16,289 gr → 16,25 ml/min [50].

Yukarıda verilen değerlerin ortalama değeri olan 1 dakikada 0,90 ml/min debi miktarı kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, çalışma boyunca MMY debisi sabit tutulmuştur.

4.8. İstatistiksel Analizler

Elde edilen deneysel sonuçlar üzerinde varyans analizi yapılarak kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları belirlenmeye çalışılmıştır.

Tez çalışması kapsamında toplam 72 adet deney yapılmış ve bu deneyler 4 grup halinde analiz edilerek yorumlanmıştır. Bu gruplar aşağıda verilmiştir.

- 1) AISI 304 malzemesinin kuru işlenmesi neticesinde elde edilen deney sonuçları üzerinde varyans ve regresyon analizi,
- 2) AISI 304 malzemesinin minimum miktarda yağlama ile işlenmesi neticesinde elde edilen deney sonuçları üzerinde varyans ve regresyon analizi,
- 3) 3) AISI 316L malzemesinin kuru işlenmesi neticesinde elde edilen deney sonuçları üzerinde varyans ve regresyon analizi.
- 4) AISI 316L malzemesinin minimum miktarda yağlama ile işlenmesi neticesinde elde edilen deney sonuçları üzerinde varyans ve regresyon analizi.

4.8.1. Varyans analizi

Varyans analizi, üç ya da daha fazla grup ortalaması arasında istatistiksel olarak farklılık olup olmadığını test etmek için kullanılan bir yöntemdir. Amaç, deneyi etkileyen faktör veya faktörlerin etkisinin belirlenmesidir. Varyans analizinde, deneysel tasarımda bütün noktalarda (çeşitli faktörlerin çeşitli seviyelerinin kombinasyonlarında) değişkenliğin aynı olduğu farz edilmektedir.

Gerçekleştirdiğimiz varyans analizinde MINITAB yazılımı kullanılarak ANOVA testi (varyans analizi) uygulanmıştır. Analizde; takım tipi, kesme hızı ve ilerleme oranı bağımsız değişkenler, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ise bağımlı değişkenler olarak belirlenmiştir. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etki oranları belirlenmiştir. Analiz sonuçları tablo haline getirilerek bu sonuçlardan grafikler elde edilmiştir. Oluşturulan bu grafikler ile yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetinin üzerindeki etkiler detaylı bir biçimde belirlenmiştir. Varyans analizleri ile yapılan değerlendirmeler daha detaylı ve güvenilir olmuştur. Yapılan bütün analizler %95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir.

Varyans analizinde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisinin araştırılmasında etki oranı tablosu oluşturulur. Bu tabloda; kaynak olarak bağımsız değişkenler, serbestlik dereceleri, kareler toplamı ve kareler ortalaması verileri ile P anlamlılık değeri ve yüzde dağılımı değerleri üzerinden yorumlar yapılır. P anlamlılık değeri 0,05'ten büyük olan parametreler bağımlı değişken üzerinde anlam ifade etmezlerken, P değeri 0,05'ten küçük olan parametreler bağımlı değişken üzerinde bir anlam ifade etmektedir. P anlamlılık değerinin sıfır olduğu değerde olduğu bağımsız değişken bağımlım değişken üzerinde % 100 anlam ifade ediyor anlamına gelmektedir.

Yüzde ifadesinde ise; her bir kesme parametresinin bağımlı değişken üzerindeki yüzde cinsinden etkisini ifade eder. Fakat P anlamlılık değeri 0,05'ten büyük olan değerlerinin yüzdelik dilimdeki etki oranları değerlendirilmez çünkü bu etki oranları anlam ifade etmezler.

Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkilerinin belirlendiği kareler toplamı ve kareler ortalaması değerlerinin formülü aşağıda verilmiştir.

a. Kareler toplamının bulunması;

$$KT = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{\sum N} \quad (4.2)$$

b. Kareler ortalamasının bulunması;

$$KO = \frac{KT}{SD} \quad (4.3)$$

4.8.2. Regresyon analizi

Regresyon analizi, birden fazla değişken arasındaki ilişkiyi tespit etmek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili kestirmeler veya tahminler yapabilmek için kullanılan bir metottur.

Regresyon analizi, biri bağımlı diğeri bağımsız değişken olmak üzere bir doğru denklemi sunmaktadır. Bu denklemin değişkenlerden birinin değeri değiştiğinde diğeri hakkında yorum yapılabilmesini sağlar.

Basit regresyon testi aşağıda verilmiştir.

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad (4.4)$$

Burada

$Y \Rightarrow$ bağımlı (sonuç) değişkeni ,

$X \Rightarrow$ bağımsız (sebebe) değişkeni temsil eder.

$\alpha \Rightarrow$ sabit olup $X=0$ olduğunda Y 'nin aldığı değerdir.

$\beta \Rightarrow$ regresyon katsayısı olup, X 'de meydana gelecek bir birimlik değişimin Y deki etkisini gösterir.

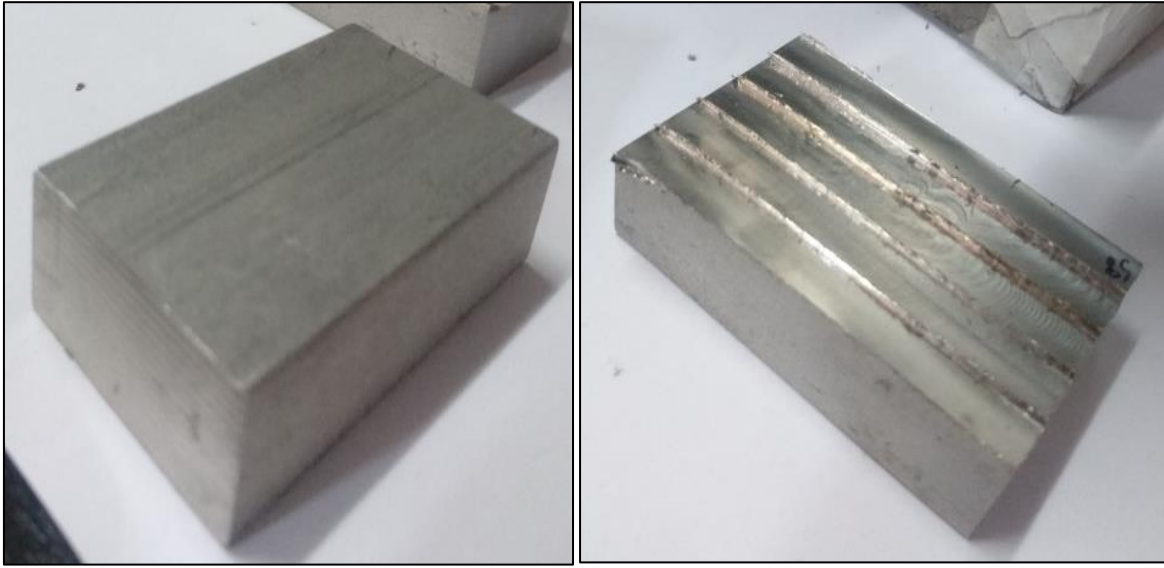
$\varepsilon \Rightarrow$ tesadüfi hata terimidir.

Bu sonuçlardan elde edilen P değeri $0,027 < 0,05$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir. H_0 hipotezinin reddedilmesi demek kurulan regresyon modelinin geçerli olduğunu belirtir.

Gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre yapılan regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişkenler; kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği, bağımlı değişkenler ise kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüdür. Deney verileri kullanılarak yapılan regresyon analizi ile yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti için matematiksel bir model oluşturulmuştur.

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada AISI 304 ve AISI 316 L paslanmaz çelikleri kuru işleme ve MMY sistemi kullanılarak CNC freze tezgâhında işlenmiştir. Deneylerde parmak freze çakıları ile iş parçalarının yüzeylerinde kanallar açılarak, işleme esnasında ortaya çıkan kuvvetler ile kanalın yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Toplam 72 adet deney yapılmıştır. Deney numunesi ve deney sonunda oluşan iş parçasının bir fotoğrafı Resim5.1’de verilmiştir.



Resim 5.1 Deneyel çalışma öncesi ve sonrası iş parçası

Deneylerden elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri, Excel ortamında aktarılmış ve grafikler haline dönüştürülmüştür. Gerçekleştirilen 72 deney dört ana başlık altında incelenmiştir.

5.1. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

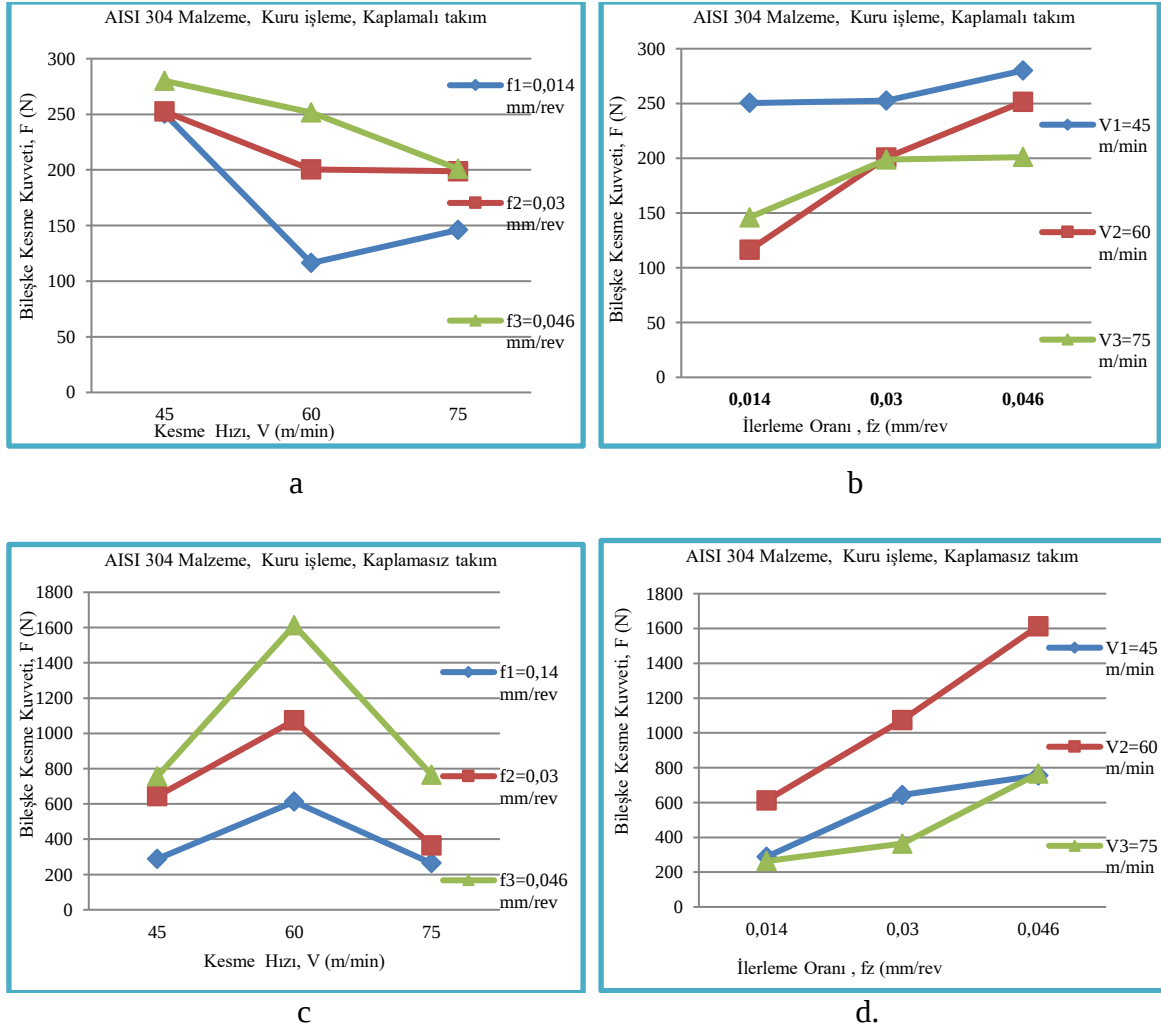
5.1.1. AISI 304 malzemesinin kuru ve MMY sistemi ile işlenmesi neticesinde elde edilen deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Deneylerde elde edilen bileşke kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ile çizilen excel grafikleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

AISI 304 malzemesinin kuru işlenmesi neticesinde elde edilen deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Kesme kuvveti açısından değerlendirme

AISI 304 malzemesinin kuru kesme şartlarında kaplamalı takım ile işlenmesindeki deneylerde elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 5.1'de verilmiştir. Kesme hızının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi Şekil 5.1.a'da, ilerleme oranının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi Şekil 5.1.b'de verilmiştir. AISI 304 malzemesinin kuru kesme şartlarında kaplamasız takım ile işlenmesi neticesinde elde edilen sonuçlardan; Kesme hızının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi Şekil 5.1.c'de ilerleme oranının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi Şekil 5.1.d'de verilmiştir.



Şekil 5.1. AISI 304 malzemenin kuru şartlar altında kesme hızı ve ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi. Şekil 5.1.a; AISI 304 malzemenin kuru işleme ve kaplamalı takım ile işlenmesinde kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi, Şekil 5.1.b; AISI 304 malzemenin kaplamalı takım ile kuru işleme şartlarında işlenmesinde ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi, Şekil 5.1.c; AISI 304 malzemenin kuru kesme şartlarında kaplamasız takım ile işlenmesinde kesme

hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi, Şekil 5.1.d.; AISI 304 malzemenin kaplamasız takım ile kuru kesme şartlarında işlenmesinde ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi verilmiştir.

Şekil 5.1'deki grafikler incelendiğinde; AISI 304 malzemesinde, ilerleme oranının artmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin de arttığı gözükmemektedir. Ayrıca, kesme hızı açısından değerlendirildiğinde, kesme hızının artmasına bağlı olarak kesme kuvveti değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Fakat ilerleme oranının 0,03 mm/rev ve 0,046 mm/rev'e çıkarılması ile kesme hızındaki artış kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmuştur.

AISI 304 malzemesinin kuru işlenmesinde; en küçük kesme kuvvet değeri; $V=60$ m/min, kesme hızı $f=0,014$ mm/rev ve ilerleme oranıda 144 N olarak ölçülmüştür.

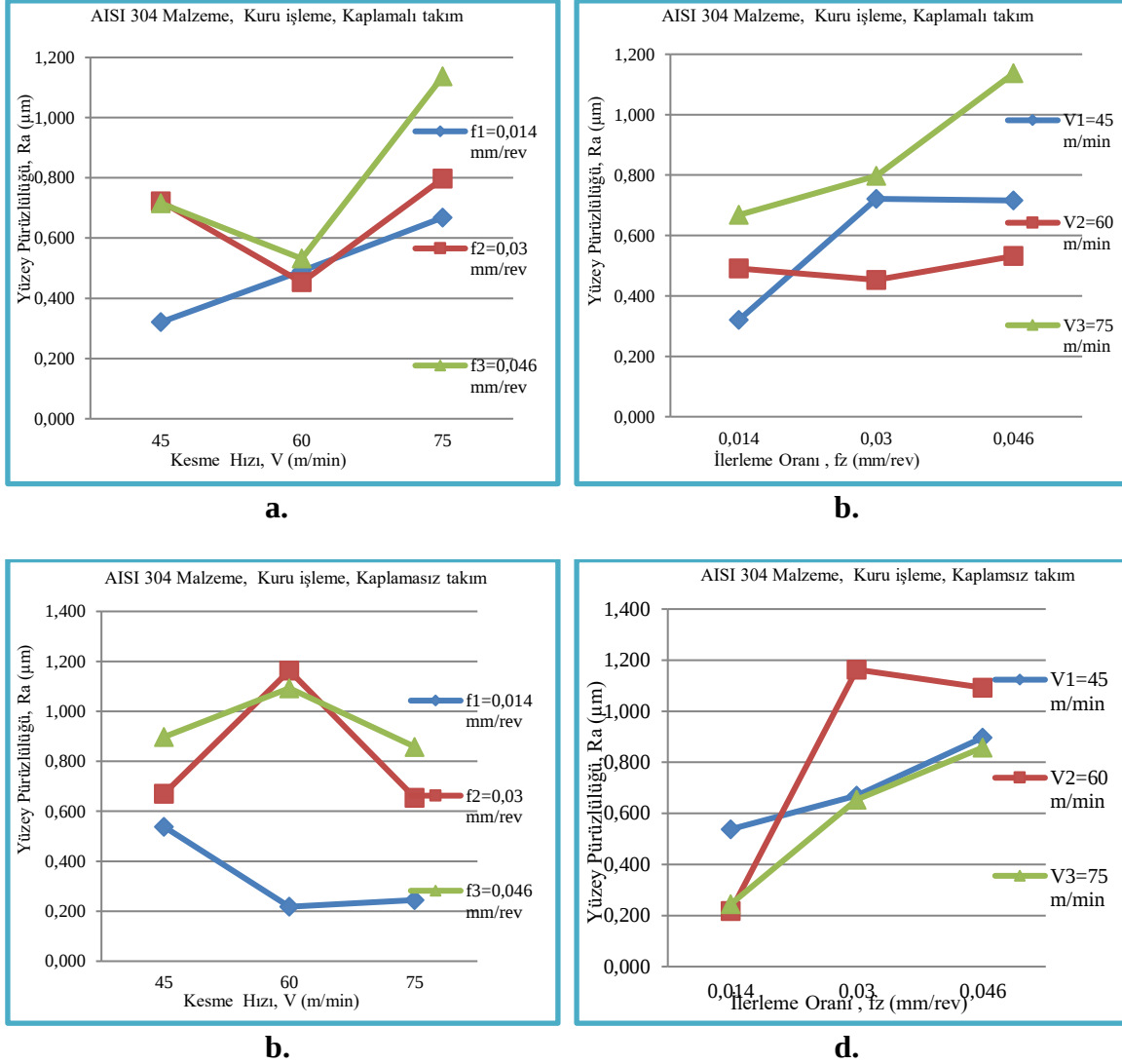
AISI 304 malzemesinin kuru işlenmesinde en yüksek kesme kuvvet değeri; $V=60$ m/min kesme hızı, $f=0,046$ mm/rev ilerleme değerlerinde 1614 N olarak ölçülmüştür.

Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirme

AISI 304 malzemenin kuru işleme şartlarında, kaplamalı takım ve kaplamasız takım ile ayrı ayrı yapılan işlemlerin sonuçlarına ait veriler Şekil 5.2'deki grafikler halinde verilmiştir.

AISI 304 malzemesinin kuru kesme şartlarında kaplamalı takım ile işlenmesi neticesinde elde edilen; Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 5.2.a'da, ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 5.2.b'de verilmiştir.

AISI 304 malzemesinin kuru kesme şartlarında kaplamasız takım ile işlenmesi neticesinde elde edilen; Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 5.2.c'de, ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi ise Şekil 5.2.d'de verilmiştir.



Şekil 5.2. AISI 304 malzemenin kuru şartlar altında kesme hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi. Şekil 5.2.a; AISI 304 malzemesinin kaplamalı takım ile kuru işleme şartlarında işlenmesinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, Şekil 5.2.b; AISI 304 malzemenin kuru işleme şartlarında, kaplamalı takım ile işlenmesinde ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi, Şekil 5.2.c; AISI 304 malzemenin kaplamasız takım ile kuru kesme şartlarında işlenmesinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, Şekil 5.2.d; AISI 304 malzemenin kuru kesme şartlarında kaplamasız takım ile işlenmesinde ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi.

Şekil 5.2’de verilen grafikler incelendiğinde, genel olarak kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Ancak ilerleme oranının değişmesiyle yüzey pürüzlülük değerleri de değişmektedir. İlerleme oranı değerlerinin artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinin de arttığı görülmektedir.

AISI 304 malzemesi için en küçük yüzey pürüzlülük değeri $V=60$ m/min kesme hızı, $f=0,014$ mm/rev ilerleme oranında $0,218 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

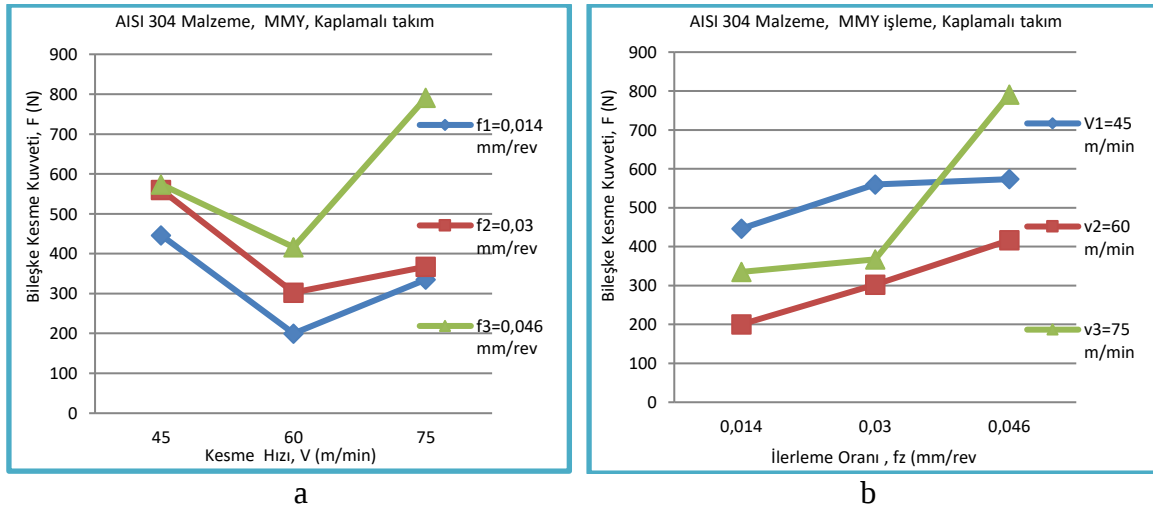
AISI 304 malzemesi için en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise, $V=60$ m/min kesme hızı, en yüksek ilerleme değeri, olan $f=0,03$ mm/rev değerlerinde $1,163 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

AISI 304 Malzemesinin MMY Sistemi ile İşlenmesi Neticesinde Elde Edilen Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

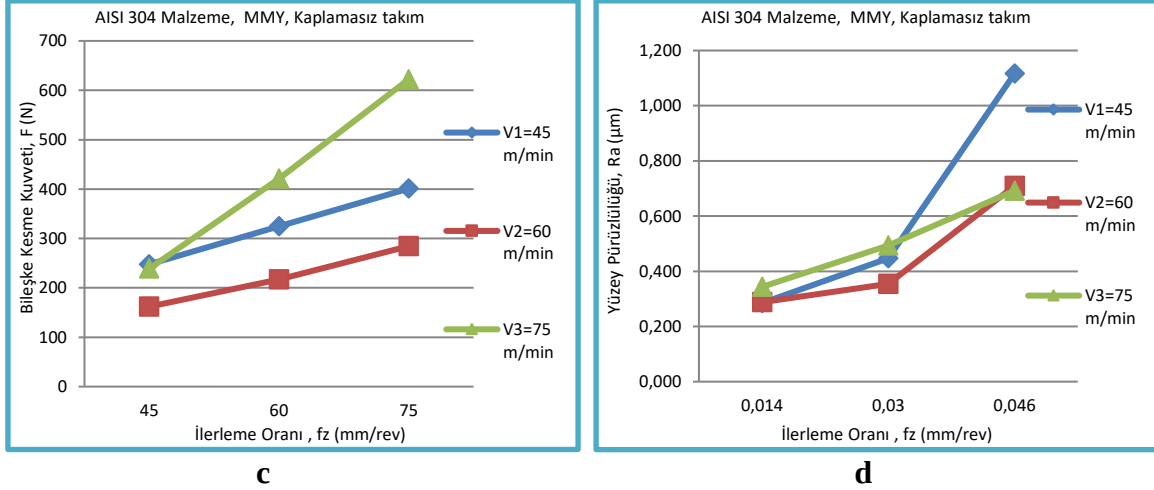
Kesme kuvveti açısından değerlendirme

AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesi ile elde edilen deneylere ait grafikler Şekil 5.3'de verilmiştir. AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı takım ile işlenmesi durumunda; Kesme hızının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi Şekil 5.3.a'da, ilerleme oranının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi Şekil 5.3.b'de verilmiştir.

AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak kaplamasız takım ile işlenmesi neticesinde elde edilen; Kesme hızının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi Şekil 5.3.c'de ilerleme oranının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi Şekil 5.3.d'de verilmiştir.



Şekil 5.3 AISI 304 malzemenin MMY sistemi ile kesme hızı ve ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi



Şekil 5.3 (devam) AISI 304 malzemenin MMY sistemi ile kesme hızı ve ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi, Şekil 5.3.a; AISI 304 malzemenin MMY sistemi ve kaplamalı takım ile işlenmesinde kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi, Şekil 5.3.b; AISI 304 malzemenin kaplamalı takım ile MMY sistemi şartlarında işlenmesinde ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi, Şekil 5.3.c; AISI 304 malzemenin MMY sistemi ve kaplamasız takım ile işlenmesinde kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi, Şekil 5.3.d.; AISI 304 malzemenin kaplamasız takım ile MMY sistemi şartlarında işlenmesinde ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi.

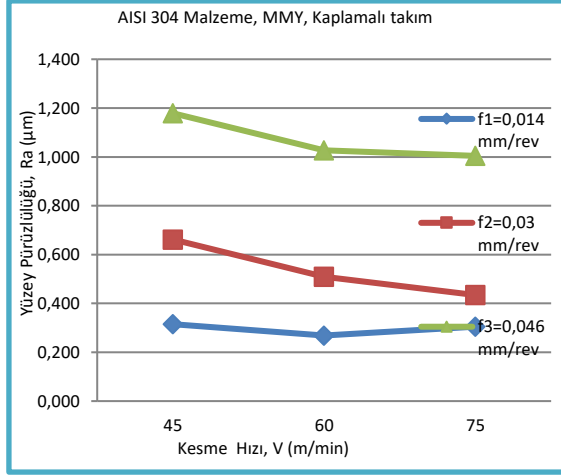
Şekil 5.3'te verilen grafikler incelendiğinde, kaplamalı takımlar ile yapılan deneylerde, kesme hızı değerlerinin artmasının kesme kuvvet değerlerini azalttığı tespit edilmiştir. Ancak, kaplamasız takımlar ile yapılan deneylerde kesme hızı değerlerinin artması neticesinde kesme kuvveti değerlerinin arttığı görülmüştür. İlerleme oranı açısından değerlendirildiğinde; kesme kuvvet değerleri hem kaplamalı hem de kaplamasız takımlarda ilerleme oranı değerinin artmasına bağlı olarak artmıştır.

AISI 304 malzemesi için en küçük kesme kuvvet değeri $V=60$ m/min kesme hızı, $f=0,014$ mm/rev ilerleme oranında 162 N olarak ölçülmüştür. AISI 304 malzemesi için en yüksek kesme kuvvet değeri ise, $V=75$ m/min kesme hızı, en yüksek ilerleme değeri, olan $f=0,046$ mm/rev değerlerinde 791 N olarak ölçülmüştür.

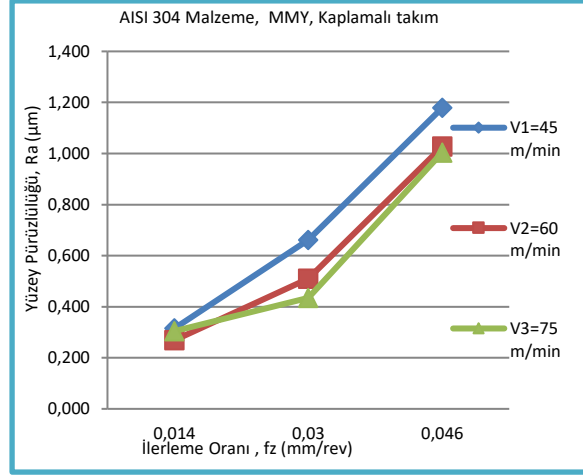
Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirme

AISI 304 malzemesinin MMY sisteminin kaplamalı takımda kullanılmasıyla işlenmesi neticesindeki deneylere ait grafikler Şekil 5.4'de verilmiştir. Şekil 5.4.a'da, Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, Şekil 5.4.b.'de yüzey pürüzlülüğüne ilerleme oranının

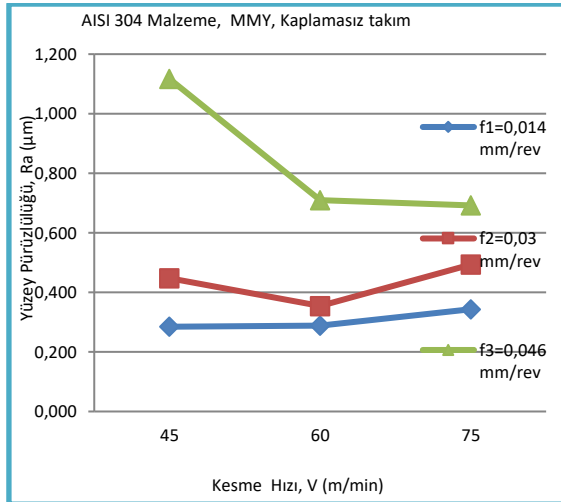
etkisi verilmiştir. AISI 304 malzemesinin işlenmesinde, kaplamasız takım ve MMY sisteminin kullanılmasıyla yapılan deneylerde elde edilen grafiklerden; Şekil 5.4.c'de kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, Şekil 5.4.d'de ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi verilmiştir



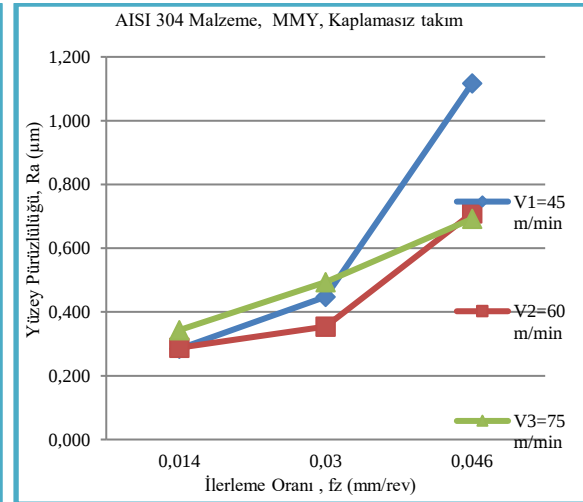
a.



b.



c.



d.

Şekil 5.4. (devam) AISI 304 malzemenin MMY sistemi kullanılarak kesme hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, Şekil 5.4.a; AISI 304 malzemenin MMY sistemi ve kaplamalı takım ile işlenmesinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, Şekil 5.4.b; AISI 304 malzemenin kaplamalı takım ile MMY sistemi şartlarında işlenmesinde ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, Şekil 5.4.c; AISI 304 malzemenin MMY sistemi ve kaplamasız takım ile işlenmesinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, Şekil 5.4.d.; AISI 304 malzemenin kaplamasız takım ile MMY sistemi şartlarında işlenmesinde ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi verilmiştir.

Şekil 5.4'deki grafikler incelendiğinde, genel olarak kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Ancak ilerleme oranının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır.

AISI 304 malzemesi için en küçük yüzey pürüzlülük değeri $V=60$ m/min kesme hızı, $f=0,014$ mm/rev ilerleme oranında $0,269 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

AISI 304 malzemesi için en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise, $V=45$ m/min kesme hızı, en yüksek ilerleme değeri, olan $f=0,046$ mm/rev değerlerinde $1,179 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

5.1.2. AISI 316L malzemesinin kuru ve MMY sistemi ile işlenmesi neticesinde elde edilen deney sonuçlarının değerlendirilmesi

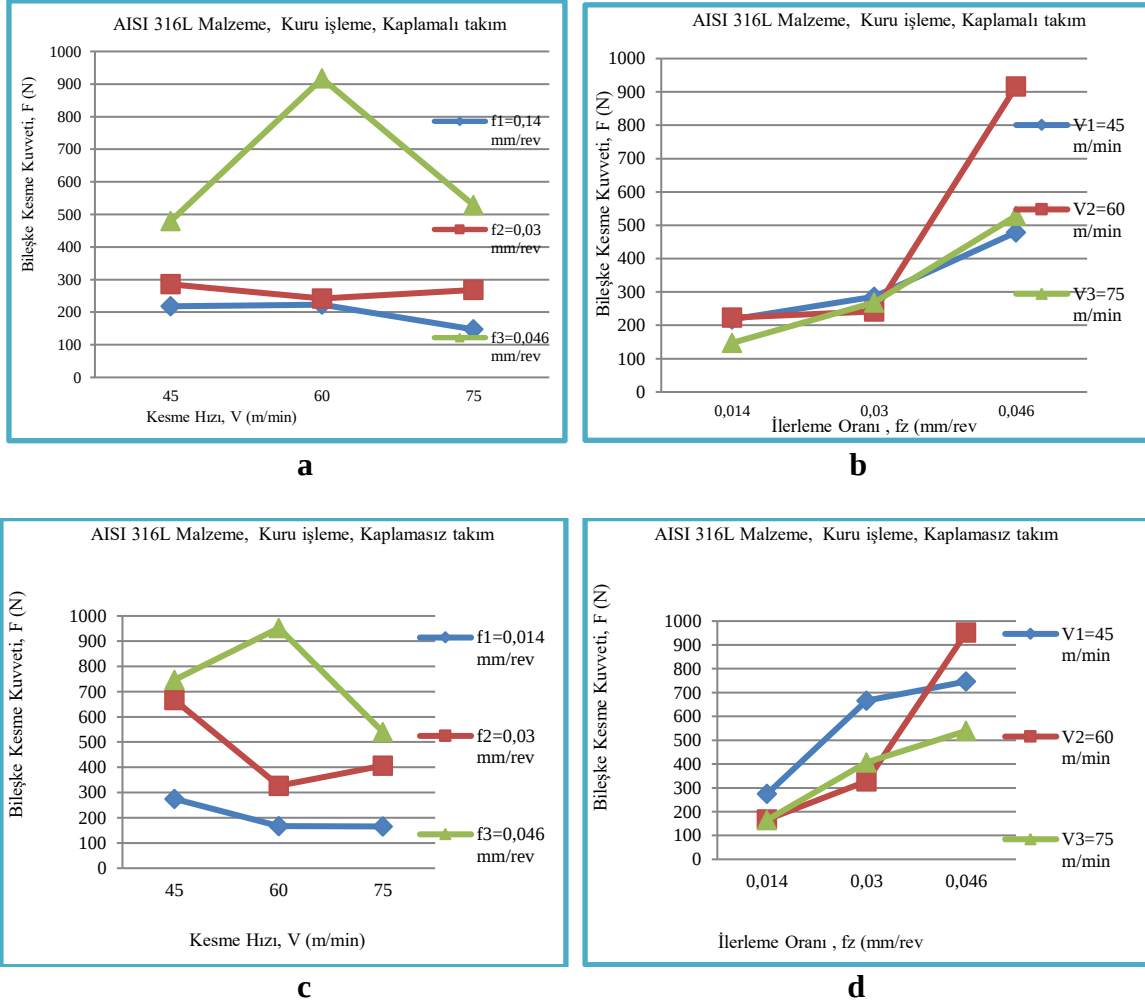
Gerçekleştirilen deneysel çalışma neticesinde ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ile çizilen excel grafikleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

AISI 316L malzemesinin kuru işlenmesi neticesinde elde edilen deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Kesme kuvveti açısından değerlendirme

AISI 316L malzemesinin kuru kesme şartlarında kaplamalı takım ile işlenmesi neticesinde elde edilen; Kesme hızının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi Şekil 5.5.a'da ilerleme oranının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi Şekil 5.5.b'de verilmiştir.

AISI 316L malzemesinin kuru kesme şartlarında kaplamasız takım ile işlenmesi neticesinde elde edilen; Kesme hızının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi Şekil 5.5.c'de ilerleme oranının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi Şekil 5.5.d'de verilmiştir.

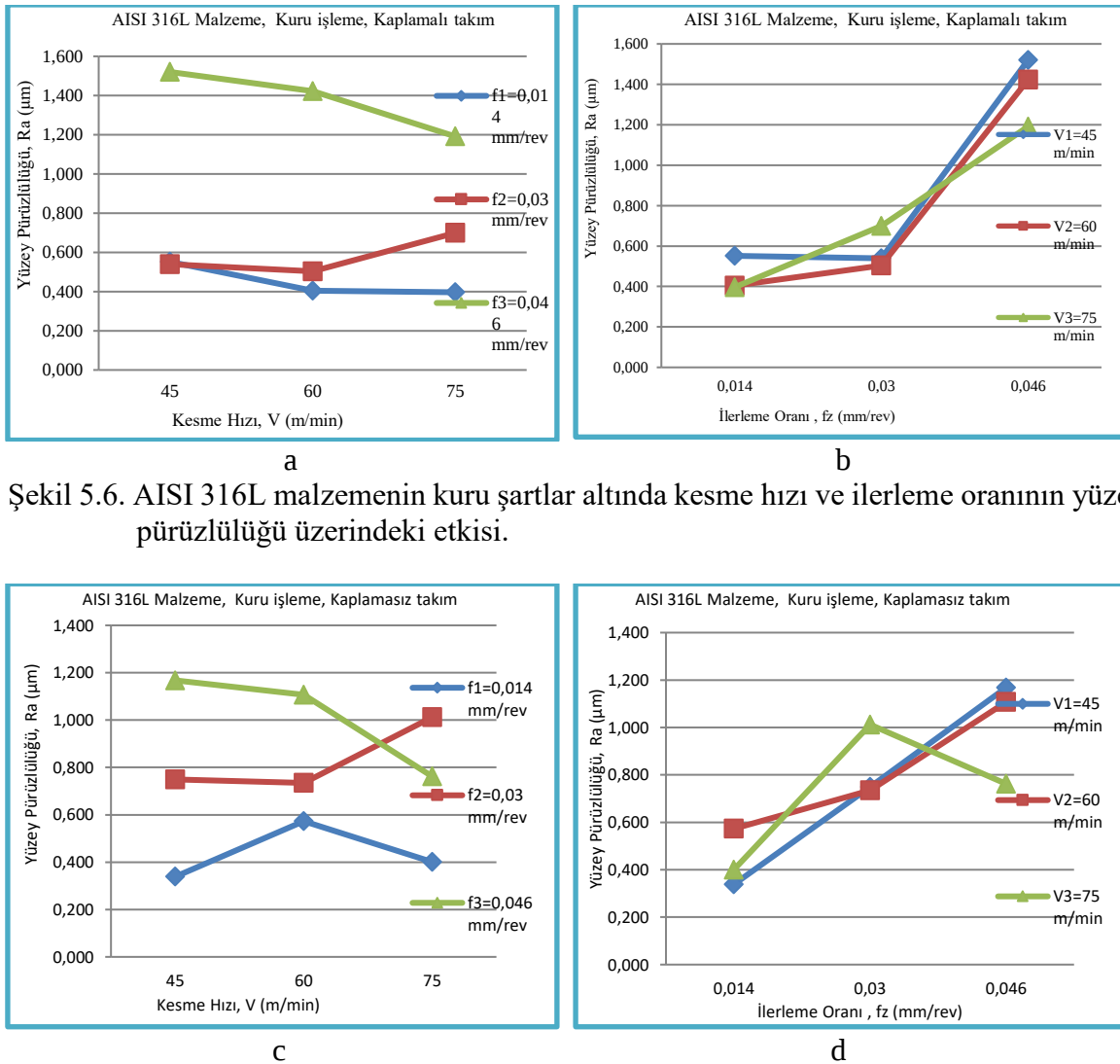


Şekil 5.5. AISI 316 L malzemenin kuru şartlar altında kesme hızı ve ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi, Şekil 5.5.a; AISI 316L malzemenin kuru işleme ve kaplamalı takım ile işlenmesinde kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi, Şekil 5.5.b; AISI 316L malzemenin kaplamalı takım ile kuru işleme şartlarında işlenmesinde ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi, Şekil 5.5.c; AISI 316L malzemenin kuru kesme şartlarında kaplamasız takım ile işlenmesinde kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi, Şekil 5.5.d.; AISI 316L malzemenin kaplamasız takım ile kuru kesme şartlarında işlenmesinde ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi verilmiştir.

Şekil 5.5'deki grafikler incelendiğinde, kesme hızının artması ile kesme kuvvetleri azalmış fakat $V=60$ m/min kesme hızı değerinden sonra bir artış gözlemlenmiştir. İlerleme oranı artışı ise kesme kuvvet değerlerini artırmıştır. AISI 316L malzemesi için en küçük kesme kuvvet değeri $V=75$ m/min kesme hızı, $f=0,014$ mm/rev ilerleme oranında 146 N olarak ölçülmüştür. AISI 316L malzemesi için en yüksek kesme kuvvet değeri ise, $V=60$ m/min kesme hızı, en yüksek ilerleme değeri, olan $f=0,046$ mm/rev değerlerinde 952 N olarak ölçülmüştür.

Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirme

Deneylere ait grafikler Şekil 5.6'da verilmiştir. AISI 316L malzemesinin kuru kesme şartlarında kaplamalı takım ile işlenmesi neticesinde elde edilen; Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 5.6.a'da ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 5.6.b'de verilmiştir. AISI 316L malzemesinin kuru kesme şartlarında kaplamasız takım ile işlenmesi neticesinde elde edilen; Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 5.6.c'de ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. AISI 316L malzemenin kuru şartlar altında kesme hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi.

Şekil 5.6. (devam) AISI 316L malzemenin kuru şartlar altında kesme hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi. Şekil 5.6.a; AISI 316L malzemesinin işlenmesinde, kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, kaplamalı takım ile kuru işleme şartlarında, Şekil 5.6.b; AISI 316L malzemenin kuru işleme şartlarında, kaplamalı takım ile işlenmesinde ilerleme oranının

yüzey pürüzlülüğüne etkisi, Şekil 5.6.c; AISI 316L malzemenin kaplamasız takım ile kuru kesme şartlarında işlenmesinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, Şekil 5.6.d; AISI 316L malzemenin kuru kesme şartlarında işlenmesinde ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (kaplamasız takım) verilmiştir.

Şekil 5.6'daki grafikler incelendiğinde, kesme hızı yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Fakat ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır.

AISI 316L malzemesi için en küçük yüzey pürüzlülük değeri $V=45$ m/min kesme hızı, $f=0,014$ mm/rev ilerleme oranında $0,339$ μm olarak ölçülmüştür.

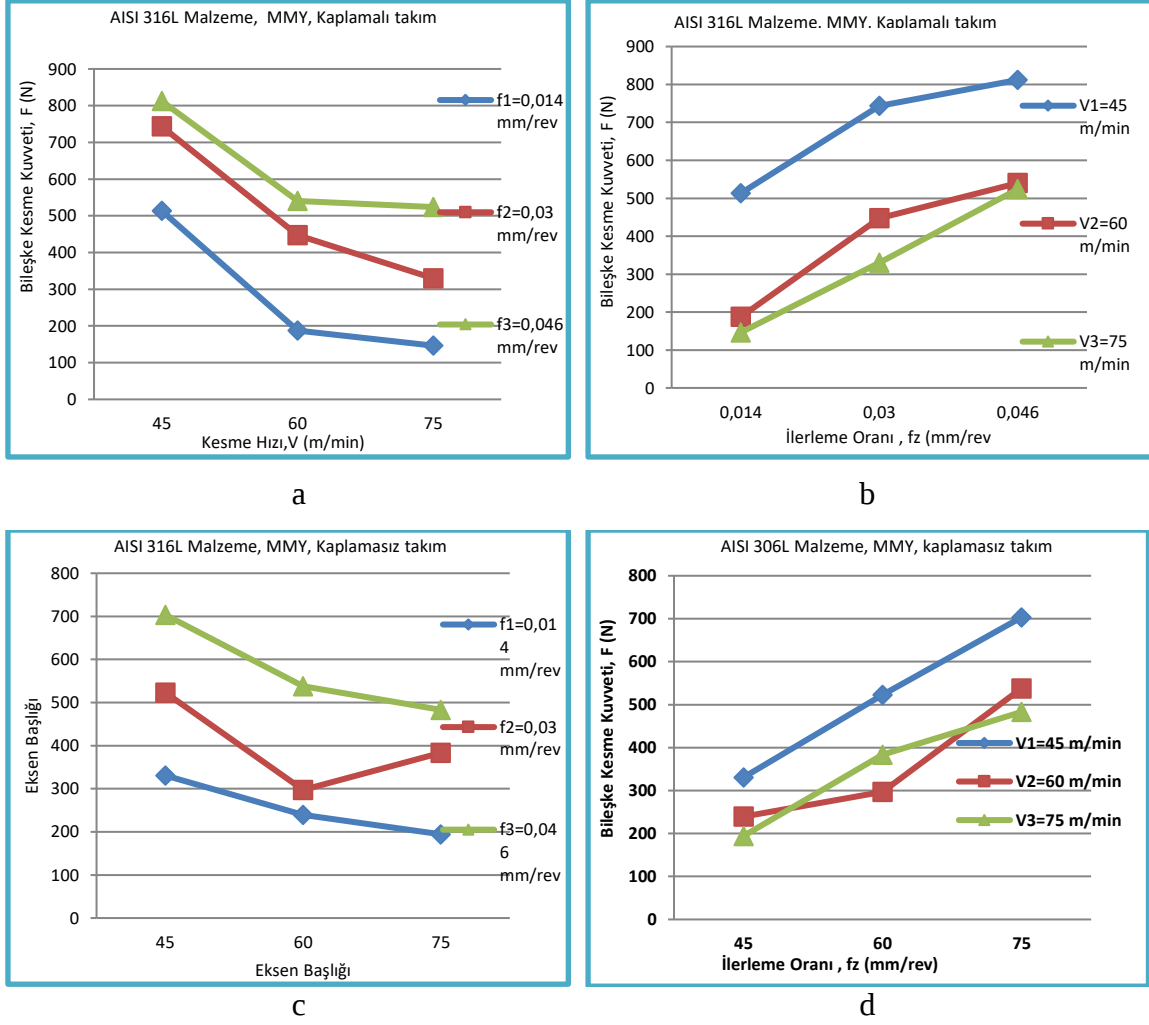
AISI 316L malzemesi için en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise, $V=45$ m/min kesme hızı, en yüksek ilerleme değeri, olan $f=0,046$ mm/rev değerlerinde $1,520$ μm olarak ölçülmüştür

AISI 316L malzemesinin MMY sistemi ile işlenmesi neticesinde elde edilen deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Kesme kuvveti açısından değerlendirme

AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı takım ile işlenmesindeki deneylerde elde edilen grafikler Şekil 5.7'de verilmiştir. Şekil 5.7.a'da kesme hızının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi, Şekil 5.7.b'de ilerleme oranının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi verilmiştir.

AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak kaplamasız takım ile işlenmesi neticesinde elde edilen grafikler yine Şekil 5.7'de verilmiş olup; Şekil 5.7.c'de Kesme hızının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi, Şekil 5.7.d'de ilerleme oranının bileşke kuvvet üzerindeki etkisi verilmiştir.



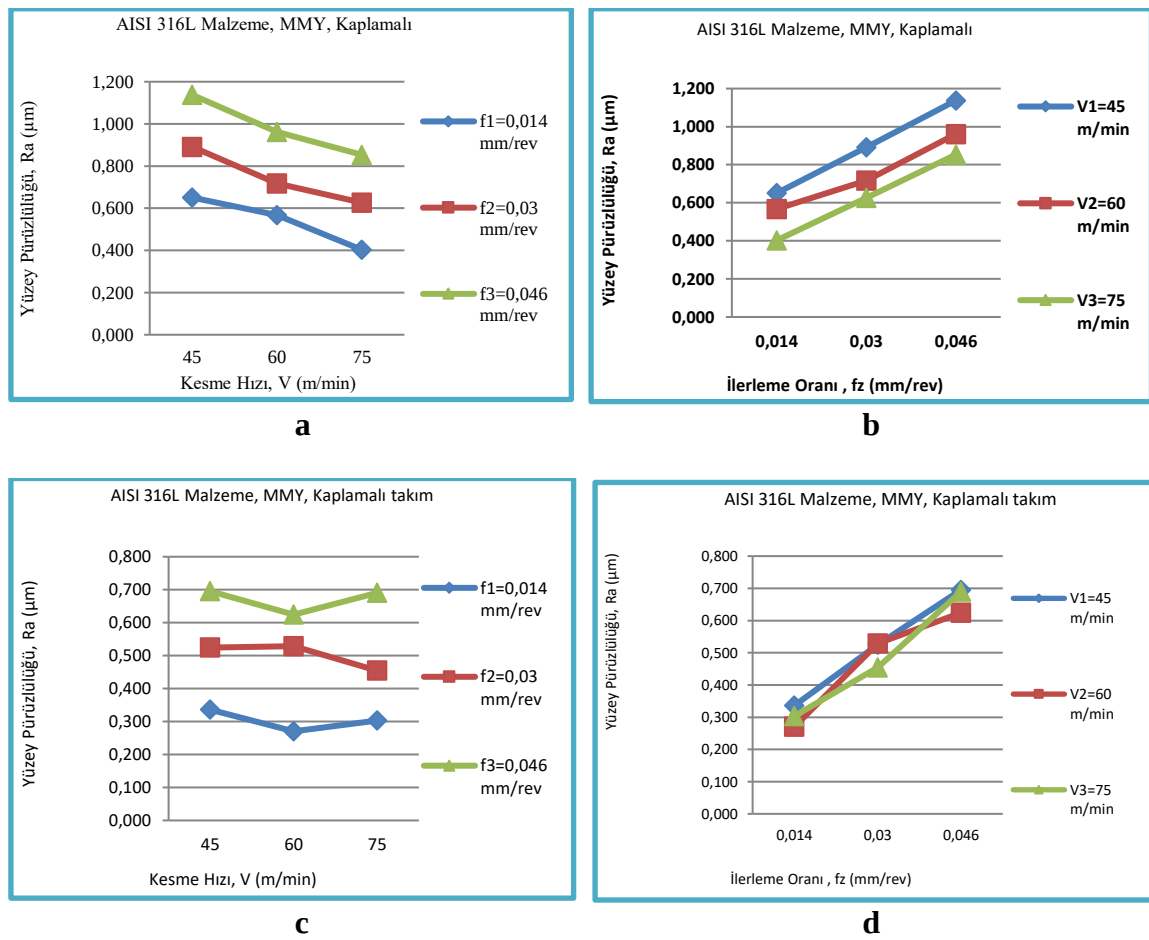
Şekil 5.7. AISI 316L malzemenin MMY sistemi kullanılarak kesme hızı ve ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi. Şekil 5.7.a; AISI 316L malzemenin işlenmesinde; MMY sistemi ve kaplamalı takım kullanılması durumunda kesme hızının kesme kuvvetine etkileri, Şekil 5.7.b; AISI 316L malzemenin kaplamalı takım ile MMY sistemi şartlarında işlenmesinde ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi, Şekil 5.7.c; AISI 316L malzemenin MMY sistemi kullanılarak kaplamasız takım ile işlenmesinde kesme hızının, kesme kuvveti üzerinde oluşan etkileri, Şekil 5.7.d.; AISI 316L malzemenin kaplamasız takım ile MMY sistemi şartlarında işlenmesinde ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisi verilmiştir.

Şekil 5.7’de verilen grafikler incelendiğinde, kesme hızının artmasına bağlı olarak kesme kuvvetleri azalmıştır. İlerleme oranının artması ile de kesme kuvvet değerleri artmıştır.

AISI 316L malzemesi için en küçük kesme kuvvet değeri $V=60$ m/min kesme hızı, $f=0,014$ mm/rev ilerleme oranında 146 N olarak ölçülmüştür. AISI 316L malzemesi için en yüksek kesme kuvvet değeri ise, $V=45$ m/min kesme hızı, en yüksek ilerleme değeri, olan $f=0,046$ mm/rev değerlerinde 1042 N olarak ölçülmüştür.

Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirme

AISI 316L malzemesinin işlenmesinde MMY sisteminin kaplamalı takım kullanılmasıyla Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri Şekil 5.8.a'da, ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 5.8.b'de verilmiştir. AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak kaplamasız takım ile işlenmesi neticesinde elde edilen; Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 5.8.c'de, ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi de Şekil 5.8.d'de verilmiştir



Şekil 5.8. (devam) AISI 316L malzemenin MMY sistemi kullanılarak kesme hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi. Şekil 5.8.a; AISI 316L malzemenin MMY sistemi ve kaplamalı takım ile işlenmesinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, Şekil 5.8.b; AISI 316L malzemenin kaplamalı takım ile MMY sistemi şartlarında işlenmesinde ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, Şekil 5.8.c; AISI 316L malzemenin MMY sistemi ve kaplamasız takım ile işlenmesinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, Şekil 5.8.d.; AISI 316L malzemenin kaplamasız takım ile MMY sistemi şartlarında işlenmesinde ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi verilmiştir.

Şekil 5.8’de verilen grafikler incelendiğinde, kaplamasız takımlar ile yapılan deneylerde kesme hızının artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerleri azalırken, kaplamasız takımlarda bu durum tam tersi olmuştur. Fakat hem kaplamalı hem de kaplamasız takımlar ile yapılan deneylerde ilerleme oranının artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerleri artmıştır.

AISI 316L malzemesi için en küçük yüzey pürüzlülük değeri $V=60$ m/min kesme hızı, $f=0,014$ mm/rev ilerleme oranında $0,27\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

AISI 316L malzemesi için en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise, $V=45$ m/min kesme hızı, en yüksek ilerleme değeri, olan $f=0,046$ mm/rev değerlerinde $1,138\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

5.2. Deney Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Deneylerde elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etki oranlarının belirlenmesi amacıyla Varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir.

Deneylerden elde edilen veriler üzerinde regresyon analizi gerçekleştirilerek, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetinin tahmini için matematiksel modeller oluşturulmuştur. Deneyler üzerinde yapılan bütün varyans ve regresyon analizleri % 95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan parametrelerin gerçekleştirilen istatistiksel analizler için notasyonları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. İstatistiksel analiz notasyonları

Notasyon	Açıklama	Çeşit
t	Takım tipi	Kaplamalı -kaplamasız
v	Kesme hızı, m/min	45-60-75
f	İlerleme oranı, rev/min	0,014-0,03-0,046

5.2.1. Varyans (ANOVA) ve regresyon analizi ile deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Gerçekleştirilen çalışmada kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranlarının analizi dört grup halinde detaylı olarak yapılmıştır. Ayrıca yapılan regresyon analizleri neticesinde matematiksel bir model oluşturulmuştur.

AISI 304 malzemesinin kuru kartlarda işlenmesinin değerlendirilmesi

Kesme kuvveti açısından değerlendirme

AISI 304 malzemesinin kuru şartlarda kaplamalı ve kaplamasız takımlarla işlenmesinde elde edilen veriler üzerinde varyans analizi yapılmıştır. Elde edilen varyans analiz tablosu Çizelge 5.2’de verilmiştir. Analizlerde t, v ve f bağımsız değişkenler ve Fb ise bağımlı değişkendir. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etki oranları tabloda yüzde dağılımı olarak verilmiştir.

Çizelge 5.2. AISI 304 malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları

Varyans Analizi						
Kaynak	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	Yüzde Dağılımı
Takım	1	1104776	1104776	17,64	0,001	%42,71
Kesme hızı, V	2	340417	170208	2,72	0,106	%13,16
İlerleme oranı, f	2	390268	195134	3,12	0,081	%15,09
Hata	12	751462	62622			%29,05
Toplam	17	2586924				%100,00
S = 250,244 R-Sq = 70,95 R-Sq(adj) = 58,85%						
SD:Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı,KO: Kareler ortalaması, P:Anlamlılık<0,05						

Bağımlı değişkenin oluşmasında, P anlamlılık değeri 0.05’in altında olan bağımsız değişkenlerin etkili olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda Çizelge 5.’deki varyans analizi tablosu incelendiğinde sadece takımın kesme kuvveti üzerinde anlamlı olduğu görülmektedir. Diğer iki değişken olan kesme hızı ve ilerleme oranı için P anlamlılık değeri 0.05 in üstünde olduğu görülmektedir. Yüzde dağılımları incelendiğinde ise takım tipinin kesme kuvvetinin açıklanmasında %42.71 oranında etkili olduğu görülürken hata oranının

ise %29.05 olduğu görülmektedir. Kesme kuvveti üzerinde anlamlı olmadığı görülen kesme hızının etki oranı %13.16 ve ilerleme oranının etki oranı %15.09 olarak tespit edilmiştir.

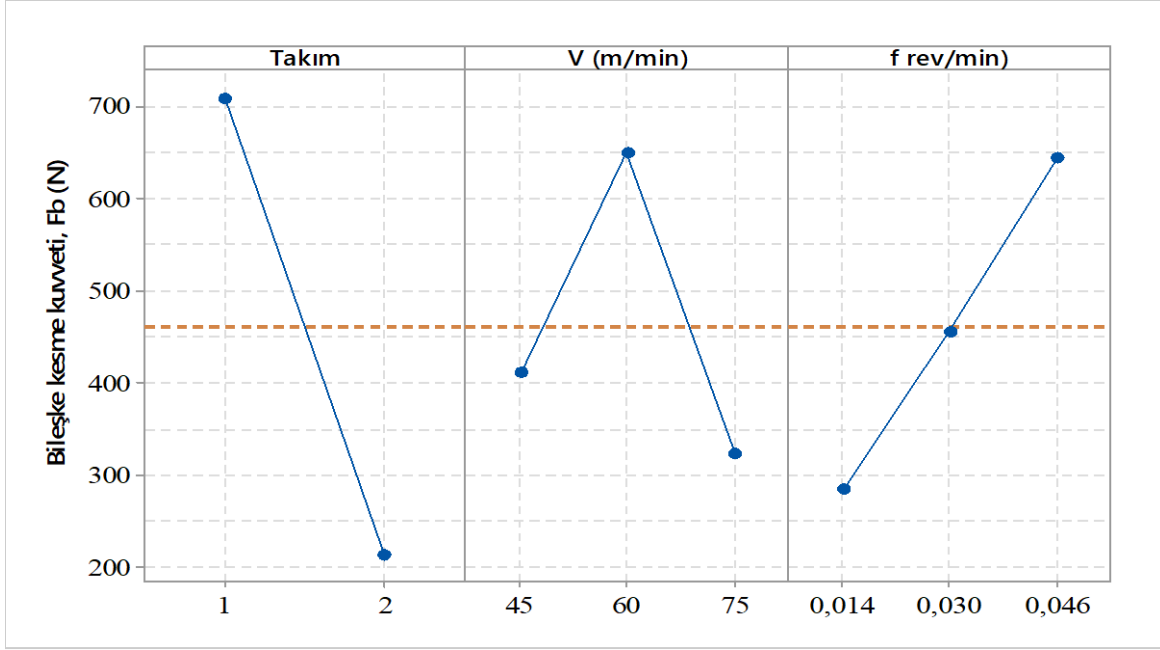
Kesme kuvveti üzerinde kesici takımın en etkili olmasının sebebi, talaş kaldırma esnasında talaş yapışmasının oluşmasıdır. Talaş yapışması oluşması neticesinde kesme işlemi zorlanmış ve böylece kesme kuvveti değerlerinin büyümesine sebep olmuştur. Talaş yapışmasının tespit edildiği deneyler aşağıda sırasıyla incelenmiştir.

İlerleme oranı değerinin en yüksek olduğu (0,046 rev/min) 3, 6 ve 9 numaralı deneylerde kaplamalı takımlarda talaş yapışması gözlemlenmiştir. Ek-3’de verilen takıma ait fotoğraflarda bu talaş yapışması görülmektedir. (Her deney sonucundan takım fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen bu fotoğraflar Ek-3’de verilmiştir.) Talaş kaldırma işlemi esnasından talaş yapışması oluşması neticesinde takım işleme yapmakta zorlanmış ve kesme kuvveti değerleri de artmıştır. İlerleme oranının artması ile talaş kesitindeki büyümeden dolayı, talaşın takım ile olan teması arttığı ve bu durum da kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olduğu farklı çalışmalarda da ifade edilmektedir [80].

Kesme hızının en küçük değerinde gerçekleştirilen deney 11 ve 12’de kesici takımın kaplamasız olmasına bağlı olarak takımda oluşan ısı ortamdan uzaklaştırılamamış ve düşük kesme hızının etkisi ile oluşan sürtünmeden dolayı takımda talaş yapışması (BUE) meydana gelmiştir [80].

Deney 16, 17 ve 18 kaplamasız takımlar ile en yüksek kesme hızı değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Kesme hızının yüksek olması ile yüksek miktarda ısı oluşmuş bundan dolayı, takım kaplamasız olduğu için kesici takımın aşınma direnci azalarak ısıyı ortamdan uzaklaştıramamış ve sürtünmenin de etkisi ile takımda oluşan aşınmalardan dolayı talaş yapışması (BUE) meydana gelmiştir [80].

Kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerinin daha iyi görülebilmesi amacıyla Ana etki grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 5.9’da AISI 304 malzemesinin kuru kesme şartlarında işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği kesme kuvveti için ana etki grafiği görülmektedir.



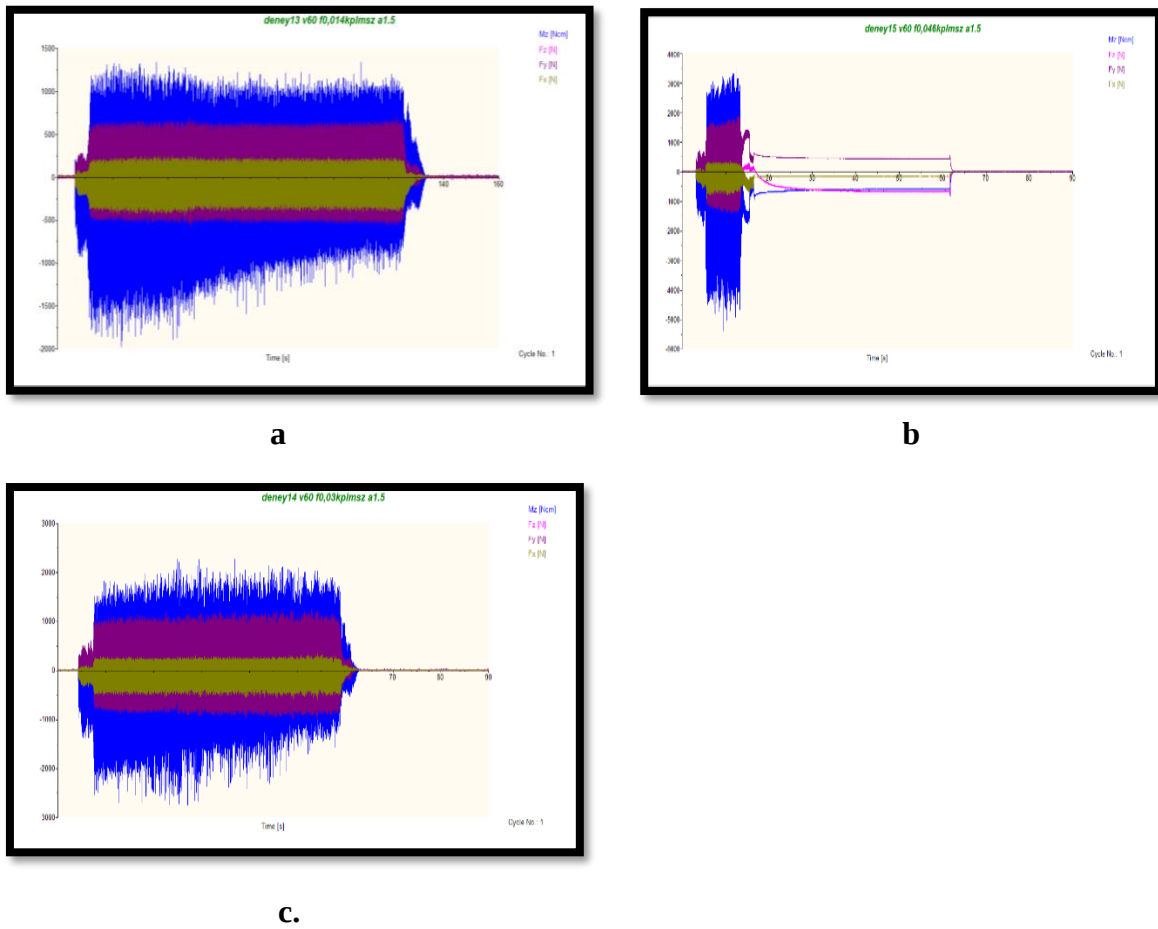
Şekil 5.9. AISI 304 malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği kesme kuvveti için ana etki grafiği

Şekil 5.9'daki ana etki grafiği incelendiğinde, kesme kuvveti üzerinde etkili parametrenin takım olduğu net bir şekilde görülmektedir. Grafikte ilerleme oranı da etkili gibi gözükse de P anlamlılık değerinin 0.05 ten büyük olması, bu etkinin önemli olmadığını göstermektedir. Kesme hızının ise kararsız bir sonuç verdiği görülmektedir. Bunun sebebi, kesme hızının 60 m/min olduğu deneylerin hemen başında kesici takımda kırılmalar meydana gelmiştir (Ek-2). Bu kırılmalar kesme kuvveti değerinde ani artışlara sebep olmuştur. Kesme kuvvetinin aniden arttığını gösteren dynoware programından alınan grafikler Şekil 5.10'da verilmiştir.

Şekil 5.9'daki ana etki grafiği incelendiğinde, kesme kuvveti üzerinde etkili parametrenin takım olduğu net bir şekilde görülmektedir. Grafikte ilerleme oranı da etkili gibi gözükse de P anlamlılık değerinin 0.05 ten büyük olması, bu etkinin önemli olmadığını göstermektedir. Kesme hızının ise kararsız bir sonuç verdiği görülmektedir. Bunun sebebi, kesme hızının 60 m/min olduğu deneylerin hemen başında kesici takımda kırılmalar meydana gelmiştir (Ek-2). Bu kırılmalar kesme kuvveti değerinde ani artışlara sebep olmuştur. Kesme kuvvetinin aniden arttığını gösteren dynoware programından alınan grafikler Şekil 5.10'da verilmiştir. Takım kırılmasının gözlemlendiği çalışmaların detaylı incelemesi aşağıda verilmiştir.

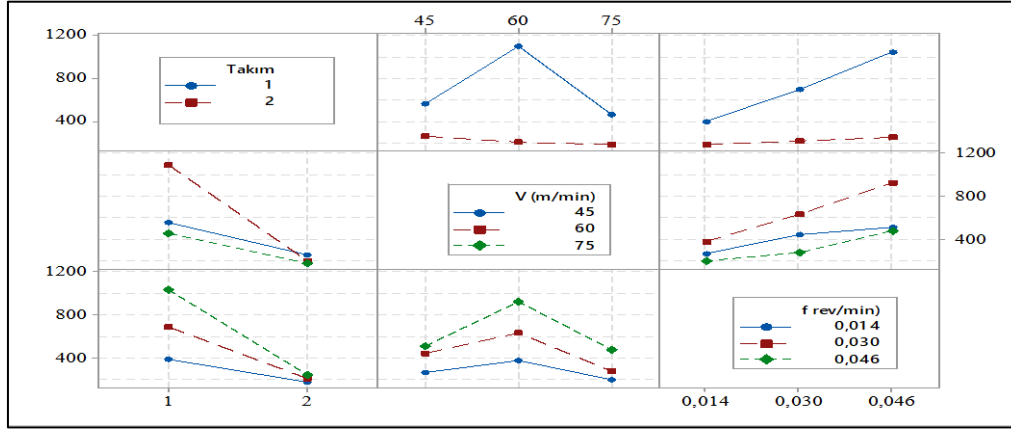
Gerçekleştirilen 13, 14 ve 15 numaralı deneylerde kaplamasız takımlar kullanılmıştır. Kesme hızının 60 m/min olduğu bu deneylerde takım kırılmasından dolayı kesme kuvvetleri yüksek çıkmıştır. Şekil 5.9 ve Şekil 5.11’de kesme hızının 60 m/min olduğu bölgedeki yüksek kesme kuvveti açıkça görülmektedir.

Gerçekleştirilen 17 ve 18 numaralı deneyler 75 m/min kesme hızı değerinde ve kaplamasız takımlar ile yapılmıştır. Yüksek kesme hızına bağlı olarak bu deneylerde hem takım kırılması hem de talaş yapışması gözlemlenmiştir.



Şekil 5.10. AISI 304 çeliğinin kuru şartlarda kaplamasız takımlar ile frezelenmesinde kesme kuvvetlerinin dynoware programındaki grafik görüntüleri. Şekil 5.10.a. 13 numaralı deneyin dynoware programı kullanılarak elde edilen kesme kuvveti grafiği, Şekil 5.10.b. 14 numaralı deneyin kesme kuvveti değerine ait dynoware programındaki grafik görüntüsü, Şekil 5.10.c. 15 numaralı deneyinin dynoware programı kullanılarak kesme kuvveti grafiğinin elde edilmesi.

Şekil 5.11’de AISI 304 paslanmaz çeliğin kuru işleme şartlarında frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki değişiminin gösterildiği etkileşim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.11. AISI 304 malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkileşim grafiği

Şekil 5.11’deki etkileşim grafiğinde ayrı ayrı her parametrelerin kesme kuvveti üzerindeki etkileri görülmektedir. Bu etkileşim grafikleri incelendiğinde kaplamalı takımın kaplamasız takıma oranla hem kesme hızı hem de ilerleme oranı değerlerinin düşük olduğu görülmektedir.

Burada dikkati çeken 60 m/min kesme hızı değerlerinde kesme kuvvetinin en yüksek değerlerine ulaşmış olmasıdır. Bunun sebebi ise yukarıda açıklandığı üzere, 60 m/min kesme hızı değerlerinde kesici takımda kırılmaların meydana gelmiş olmasıdır. İlerleme oranı değerlerinin artmasıyla kesme kuvveti değerlerinin arttığı da net bir şekilde görülmektedir.

Gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen deney sonuçları üzerinde regresyon analizleri gerçekleştirilerek kesme kuvvetinin tahmini için matematiksel model oluşturulmuştur.

AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin kuru işleme şartlarında frezelenmesinde, kaplamalı ve kaplamasız takım, 3 farklı ilerleme hızı ve 3 farklı kesme hızı değerleri için oluşturulan regresyon analizi tablosu Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3. AISI 304 kuru işleme kesme kuvveti için regresyon analizi

Regresyon Analizi					
Term	Coef	SE Coef	T-Değeri	P-Değeri	VIF
Notasyon	1044	408	2,56	0,023	
Takım	-495	130	-3,8	0,002	1
Kesme hızı, V	-2,95	5,32	-0,56	0,587	1
İlerleme oranı, f	11,267	49,85	2,26	0,04	1

Çizelge 5.4’de kesme parametrelerinin ve sabitlerin etkilerinin gösterildiği Tablo vardır. Bu tablodaki değerler neticesinde elde edilen denklem Eşitlik 5.1’de verilmiştir.

$$F_b = 1044 - 495 t - 2,95 v + 11267 f \quad (5.1)$$

Deneyle esnasında takım kırılmasının meydana gelmesi sonuçların tutarsız olmasına sebep olmuştur. Bu durum elde edilen denklemin güvenilirliğini düşürmüştür.

Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirme

AISI 304 malzemesinin kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile kuru şartlar altında işlenmesinde kesme parametrelerinin etki oranları Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. AISI 304 malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları.

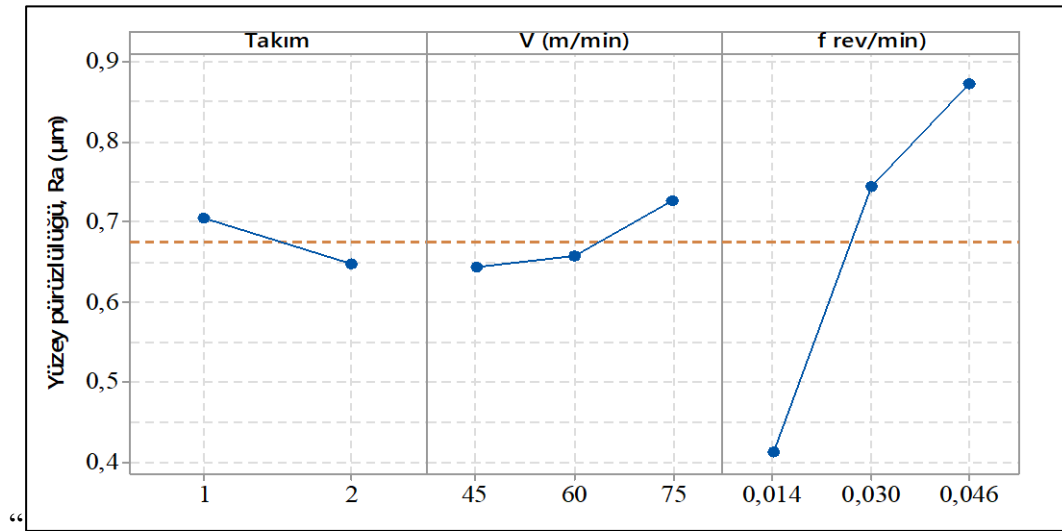
Varyans Analizi						
Kaynak	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	Yüzde dağılımı
Takım	1	0,01396	0,01396	0,25	0,624	1,02%
Kesme hızı, V	2	0,02349	0,01175	0,21	0,811	1,71%
İlerleme oranı, f	2	0,67153	0,33576	6,1	0,015	49,02%
Hata	12	0,66097	0,05508			48,25%
Toplam	17	1,36996				100,00%

S = 0,234693 R-Sq = 51,75% R-Sq(adj) = 31,65% P:Anlamlılık<0,05 SD: Serbestlik derecesi,
KT: Kareler toplamı, KO: Kareler ortalaması

Varyans analiz tablosu olan Çizelge 5.4 incelendiğinde, ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametre olduğu görülmektedir. P anlamlılık değeri açısından bakıldığında ilerleme oranı yüzey pürüzlülüğünün açıklanmasında anlamlı olmuştur. Fakat kesme hızı ve takım tipi yüzey pürüzlülüğü üzerinde bir anlam ifade etmemektedir.

Yüzdelik dağılım olarak incelendiğinde ise ilerleme oranı % 49,02 değerinde etkili olurken, hata payı % 48,2 çıkmıştır. Diğer parametrelerin yüzdelik dilimi ise; takım tipi % 1,02, kesme hızı ise % 1,71 değerindedir.

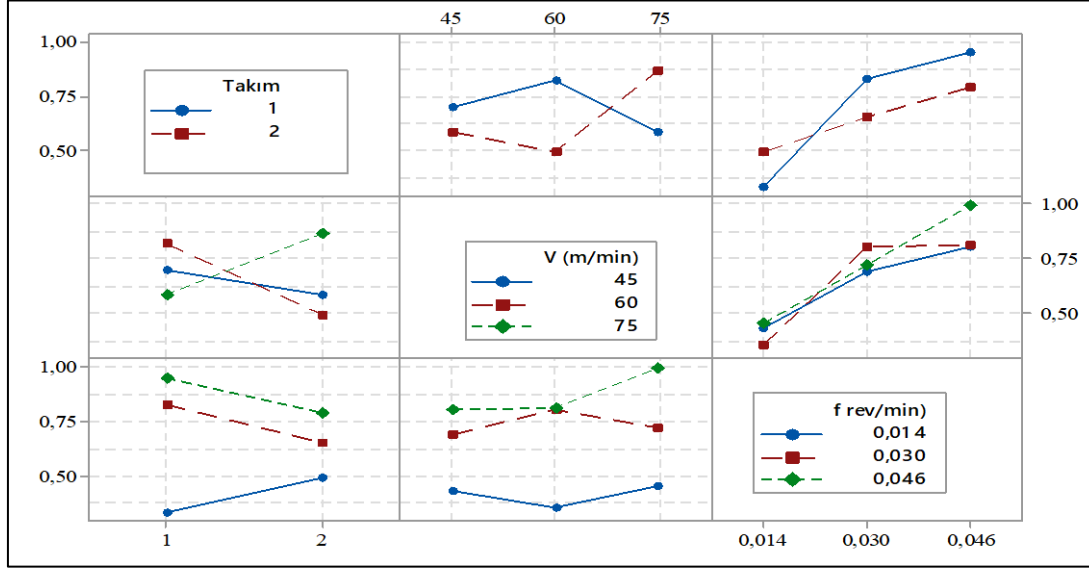
Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etkisini gösteren Ana etki grafiği oluşturulmuştur. Şekil 5.12’de AISI 304 malzemesinin kuru kesme şartlarında işlenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin gösterildiği yüzey pürüzlülüğü için ana etki grafiği görülmektedir.



Şekil 5.12. AISI 304 malzemesinin kuru kesme şartlarında işlenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin gösterildiği yüzey pürüzlülüğü için ana etki grafiği

Şekil 5.12’deki grafiğe bakıldığında yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme oranının ciddi bir etkisinin olduğu görülmektedir. İlerleme oranının artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır. AISI 304 malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde ilerleme oranının artmasıyla meydana gelen takım kırılmaları ve talaş yapışmaları nedeniyle yüzey pürüzlülük değerleri artış göstermiştir. Takım kırılmasının görüldüğü deneyler ayrıntılı olarak kesme kuvvetinin değerlendirildiği bölümde verilmiştir.

Şekil 5.13’de AISI 304 paslanmaz çeliğin kuru işleme şartlarında frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğündeki değişimi gösteren etkileşim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.13. AISI 304 malzemesinin kesme parametrelerinin kuru şartlar altında yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileşim grafiği

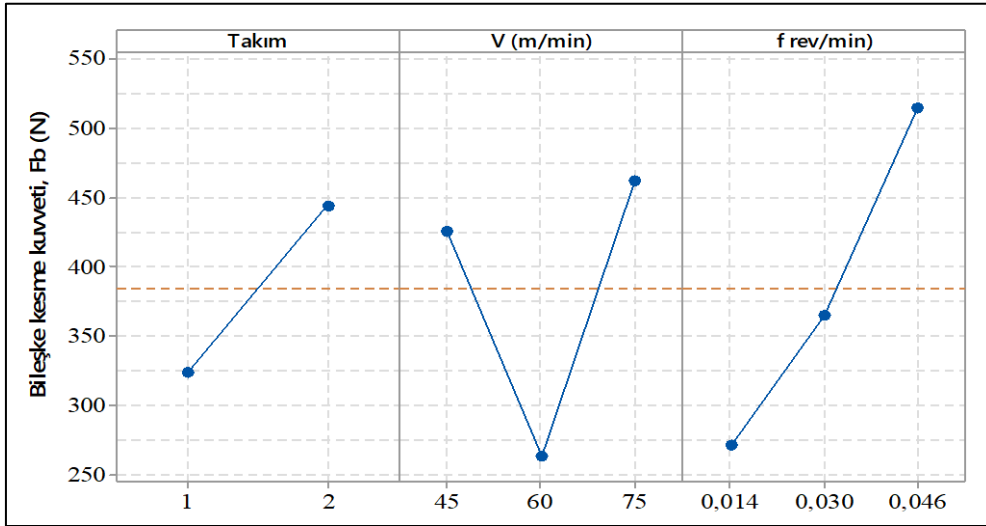
Etkileşim grafiğinin verildiği Şekil 5.13’de yüzey pürüzlülüğü üzerindeki parametrenin ayrı ayrı etkileri belirtilmektedir. Grafikte 60 m/min kesme hızı değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün çok yüksek çıktığı görülmektedir. Sebebi bu değerde kesici takımda meydana gelen kırılmaların yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemesidir. Ayrıca talaş yapışması gözlemlenen deneylerde de yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır.

Genel olarak AISI 304 malzemesinin kuru şartlar altında işlenmesinde ilerleme oranının artmasına bağlı olarak ve kesme hızının da artması ile takım yapışması (BUE) gözlemlenmiştir. Takım kesme işlemini yapmakta zorlanmış ve yüzey pürüzlülüğü değerleri artış göstermiştir [6].

Deneylerden elde edilen veriler üzerinde regresyon analizi yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin matematiksel bir modeli tahmini olarak oluşturulmuştur. AISI 304 malzemenin kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile işlenmesindeki kesme parametreleri için oluşturulmuş regresyon analizinin tablosu Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Varyans analizi tablosu olan Çizelge 5.6 incelendiğinde; P anlamlılık değeri tüm parametreler için 0.05'in altında çıkmıştır. Bütün parametreler kesme kuvveti üzerinde anlam taşımaktadır. Yüzde dağılımı olarak incelendiğinde kesme kuvvetinin açıklanmasında; Takım tipinin etkisi % 13,64, kesme hızının etkisi % 28,61, ilerleme oranının etkisi ise % 38,42 olmuştur. Hata oranı ise % 19,32 olarak tespit edilmiştir.

Kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerinin daha iyi görülebilmesi amacıyla Ana etki grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 5.14'de AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği kesme kuvveti için ana etki grafiği görülmektedir.



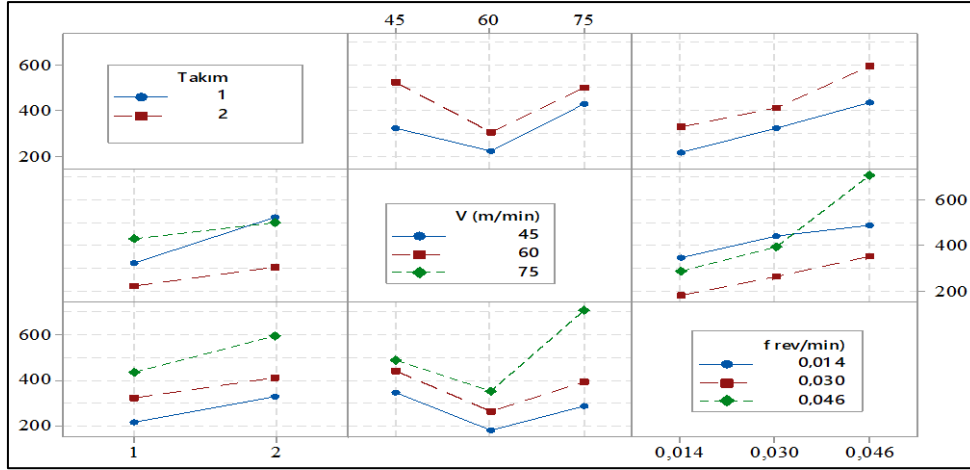
Şekil 5.14. AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisini gösteren kesme kuvveti için ana etki grafiği

Şekil 5.14'deki etki grafiği incelendiğinde; kesme kuvveti üzerinde, kesme kuvveti değeri daha yüksek çıkmıştır.

Kesme hızı açısından, kesme hızının artması ile kesme kuvvetleri azalmış fakat kesme hızı 75 m/min'e ulaştığında kesme kuvvetleri artış göstermiştir. Bunun sebebi, kullanılan MMY sisteminin soğutma değil yağlayıcı özelliğinin olmasından dolayı kesme hızının artışına bağlı olarak ortaya çıkan ısının ortamdan uzaklaştırılamamasıdır.

İlerleme oranının artması ile kesme kuvvet değerleri artış göstermiştir.

Şekil 5.15’de AISI 304 paslanmaz çeliğin MMY sistemi kullanılarak frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki değişiminin etkileşim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.15. AISI 304 malzemesinin kesme parametrelerinin MMY sistemi kullanılarak kesme kuvveti üzerindeki etkileşim grafiği

Kesme kuvveti üzerinde her parametrenin etkisinin görüldüğü etkileşim grafiği Şekil 5.15’de verilmiştir. Bu etkileşim grafikleri incelendiğinde kaplamasız takımın kaplamalı takıma oranla hem kesme hızı hem de ilerleme oranı değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Kesme hızı ve ilerleme oranının artması ile kesme kuvvet değerleri artmıştır. MMY sistemi ile gerçekleştirilen deneylerde grafiklerin kuru işlemeye göre daha tutarlı olmasının sebebi; talaş yapışması ve talaş kırılması sorunlarının giderilmiş olmasıdır. Buna bağlı olarak kuru kesmeye kıyasla MMY sisteminde kesme kuvvetleri azalmıştır.

Deneysel çalışmanın sonuçları üzerindeki regresyon analizi yapılarak kesme kuvvetinin değerinin tahmininde matematiksel bir model oluşturulmuştur. Elde edilen bu modele ait regresyon tablosu Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları.

Regresyon Analizi					
Term	Coef	SE Coef	T-Değeri	P-Değeri	VIF
Constant	-97	187	-0,52	0,612	
Takım	119,2	59,6	2	0,065	1
Kesme hızı, V	1,23	2,43	0,51	0,62	1
İlerleme oranı, f	7598	22,81	3,33	0,005	1

Çizelge 5.7’de kesme parametrelerinin ve sabitlerin etkilerinin gösterildiği tablo vardır. Bu tablodaki değerler neticesinde elde edilen denklem eşitlik 5.3’de verilmiştir.

$$F_b = -97 + 119,2 t + 1,23 + 7598 f \quad (5.3)$$

AISI 304 malzemesinin kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile MMY sistemi kullanılarak frezelenmesinde gerçekleştirilen deneylerde regresyon analizinin güvenilir olduğu deneyler üzerinde uygulanan matematiksel model ile tespit edilmiştir. Regresyon analizinin matematiksel modelinin uygulandığı deneylerden bir örnek aşağıda verilmiştir. Çalışmalar arasındaki 34 numaralı deney incelendiğinde; Çizelge 5.7’de verilen eşitliğin deney 34’e uygulandığı model aşağıda verilmiştir (Örnek çalışmanın belirlenmesinde deney sonucu ve analiz verisi arasındaki farkın en az olduğu çalışma seçilmiştir).

$$F_b = -97 + 119,2 * 1 + 1,23 * 75 + 7598 * 0,014 = 220,822 \text{ N}$$

Deneylerde 34 numaralı deney için kesme kuvveti 239 olarak ölçülmüştür. Regresyon analizi ile dinamometre verisinde ölçülen fark ise 18 N olmuştur. Deney sonuçlarının analiz ile örtüştüğü ve buna bağlı olarak güvenilirliğin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirme

AISI 304 malzemesinin kaplamalı/kaplamasız takımlarla MMY sistemiyle işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki oranları çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları.

Varyans Analizi						
Kaynak	DF	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	Yüzde dağılımı
Takım	1	0,05278	0,05278	4,32	0,06	3,22%
Kesme hızı, V	2	0,0705	0,03525	2,89	0,095	4,31%
İlerleme oranı, f	2	1,36685	0,68342	55,97	0	83,52%
Hata	12	0,14653	0,01221			8,95%
Toplam	17	1,63665				100,00%

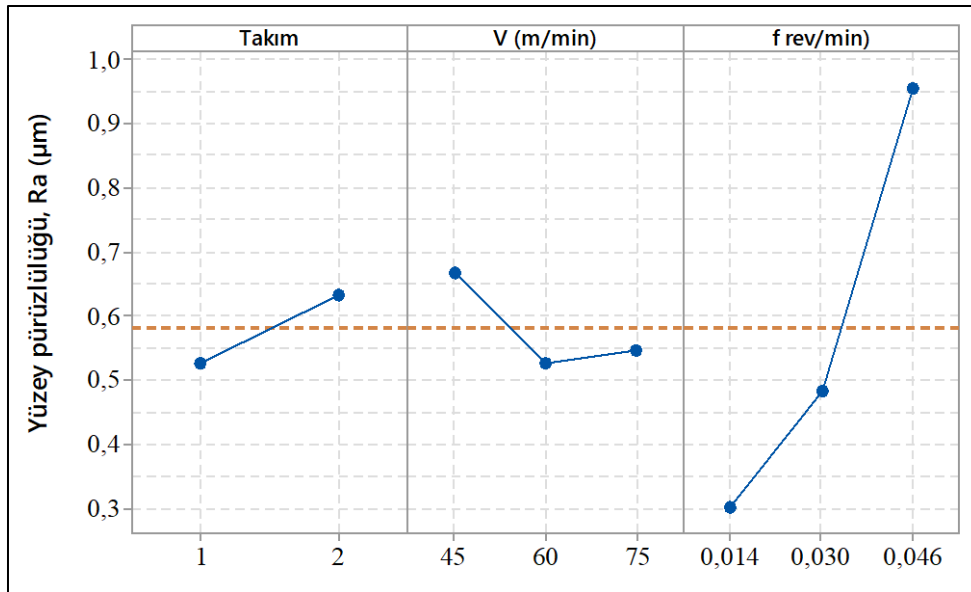
S = 0,110502 R-Sq = 91,05% R-Sq(adj) = 87,32%

SD:Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, KO: Kareler ortalaması, P:Anlamlılık<0,05

AISI 304 malzemesinin bağımlı değişkelerinin bağımsız değişkenleri üzerindeki etki oranının analizi olan Çizelge 5.8'deki varyans analizi tablosu incelendiğinde; P anlamlılık değeri bakımından takım tipi (0,06) ve kesme hızı (0,095) değerleri 0,05'ten büyük oldukları için bir anam ifade etmezken ilerleme oranı 0 değerinde çıkmıştır. İlerleme oranı değerinin sıfır çıkması yüzey pürüzlülüğü üzerinde % 100 anlam ifade ettiğini göstermektedir.

Yüzde dilim olarak incelendiğinde; Takım tipi % 3,22, kesme hızı % 4,31 oranında yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olmuştur. İlerleme oranı ise % 83,52 değerinde tespit edilmiş ve etkisinin büyüklüğü açıkça görülmüştür. Gerçekleştirilen varyans analizinde hata payı ise % 8,95 olarak belirlenmiştir.

AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin belirlendiği ana etki grafiği Şekil 5.16'da verilmiştir.



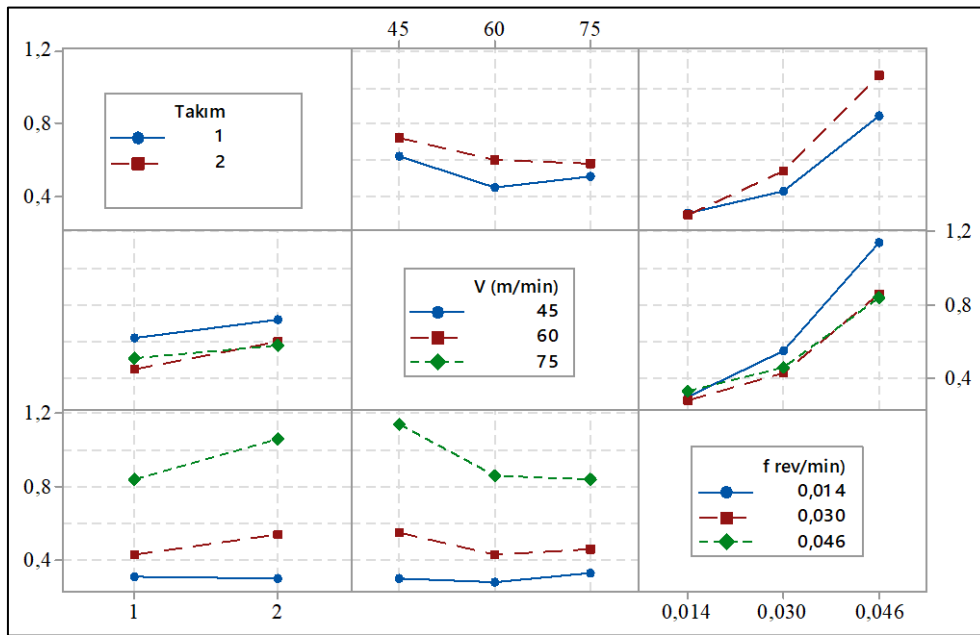
Şekil 5.16. AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin gösterildiği yüzey pürüzlülüğü için ana etki grafiği

Şekil 5.1'deki ana etki grafiği incelendiğinde; Kaplamalı takımlar ile gerçekleştirilen deneylerin kaplamasız takıma göre daha yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri verdiği görülmektedir. Aynı zamanda kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü bir miktar düşmüş fakat kesme hızının 75 m/min olduğu değerde artış göstermiştir.

Yukarıda da ifade edildiği üzere MMY sisteminin soğutma özelliğinin çok az olmasından dolayı kesme hızı artınca yüzey pürüzlülük değerleri bir miktar artmıştır. P anlamlılık değeri ifadesinden anlaşıldığı ve grafikten de görüldüğü üzere ilerleme oranının atması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri artmıştır.

Genel olarak bakıldığında MMY sistemi kullanımı ile kuru işlemeye kıyasla talaş yapışması durumları giderildiği için yüzey pürüzlülüğü azalmış, yağlama etkisi ile yüzey kalitesi iyileşmiştir.

Şekil 5.17'de AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini gösteren etkileşim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.17. AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini gösteren etkileşim grafiği

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin ayrı ayrı gösterildiği Şekil 5.17'de; Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü azalmış ancak ilerleme oranı ve kesme hızının birlikte artması ile ortaya yüksek miktarda ısı çıktığı ve takım işlemede zorlandığı için yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır. Bu durum MMY sisteminin soğutma özelliğinden çok yağlama özelliği olmasına bağlanabilir.

Bununla beraber MMY sisteminin yağlayıcı özelliğinden dolayı sürtünmeler azalmış ve talaş yapışması engellenmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü açısından kaplamasız takımlar ile yapılan deneyler kaplamalı takımlar ile yapılan deneylerden daha iyi sonuç vermiştir. Fakat kuru işlemede bu durum tam tersi olmuştur.

Gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen deney sonuçları üzerinde regresyon analizleri gerçekleştirilerek kesme kuvvetinin tahmini için matematiksel model oluşturularak regresyon analizi tablosu Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. AISI 304 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları

Regresyon Analizi					
Term	Coef	SE Coef	T-Değeri	P-Değeri	VIF
Notasyon	0,048	0,2	0,24	0,812	
Takım	-0,1083	0,0637	1,7	0,111	1
Kesme hızı, V	-0,0041	0,0026	-1,57	0,14	1
İlerleme oranı, f	20,44	2,44	8,39	0	1

Çizelge 5.9’da kesme parametrelerinin ve sabitlerin etkilerinin gösterildiği tablo vardır. Bu tablodaki değerler neticesinde elde edilen denklem Eşitlik 5.4’de verilmiştir.

$$Ra=0,048+ 0,1083 t0,00407 v+ 20,44 f \quad (5.4)$$

Regresyon analizinin deney sonuçlarına uygulanması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin deney verilerinin analize çok yakın çıktığı görülmüştür. Bu durum da regresyon analizi güvenilirliğini artırmıştır. Regresyon analizinin uygulandığı sonuçlar üzerinden bir örnek aşağıda verilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmalar arasından 20 numaralı deney incelendiğinde; Çizelge 5.9’da verilen eşitliğin deney 20’ye uygulandığı model aşağıda verilmiştir. (Örnek çalışmanın belirlenmesinde deney sonucu ve analiz verisi arasındaki farkın en az olduğu çalışma seçilmiştir.)

$$Ra = 0,048 + 0,1083 *2- 0,00407 *45 + 20,44 *0,03 = 0,694 \mu m$$

Deneylerde 34 numaralı deney için kesme kuvveti 0,662 μm olarak ölçülmüştür. Regresyon analizi ile dinamometre verisinde ölçülen fark ise -0,033 μm olmuştur. Deney sonuçlarının analiz ile örtüştüğü ve buna bağlı olarak güvenilirliğin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

AISI 316 malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinin değerlendirilmesi

Kesme kuvveti açısından değerlendirme

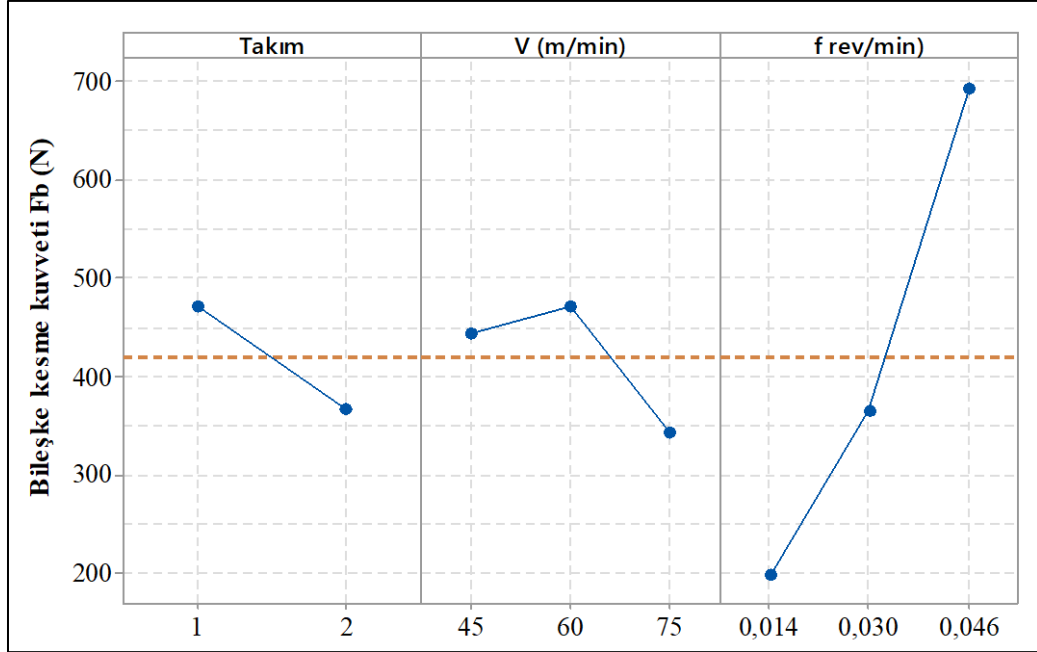
AISI 316L paslanmaz çeliğinin kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile kuru şartlar altında frezelenmesinde elde edilen kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranlarını gösteren varyans analizi Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. AISI 316L paslanmaz çeliğinin kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile kuru şartlar altında frezelenmesinde elde edilen kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları

Varyans Analizi						
Kaynak	DF	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	Yüzde dağılımı
Takım	1	48701	48701	2,35	0,151	4,38%
Kesme hızı, V	2	55432	27716	1,34	0,299	4,98%
İlerleme oranı, f	2	759648	379824	18,34	0	68,29%
Hata	12	248523	20710			22,34%
Toplam	17	1112304				100,00%
S = 143,911 R-Sq = 77,66% R-Sq(adj) = 68,35%						
SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, KO: Kareler ortalaması, P: Anlamlılık < 0,05,						

Çizelge 5.10'daki varyans analizi tablosu incelendiğinde sadece ilerleme oranının kesme kuvveti üzerinde anlamlı olduğu görülmektedir. Diğer iki değişken olan kesme hızı ve ilerleme oranı için P anlamlılık değeri 0.05 in üstünde olduğu görülmektedir. Yüzde dağılımları incelendiğinde ise ilerleme oranının kesme kuvvetinin açıklanmasında % 68,29 oranında etkili olduğu görülürken hata oranının ise % 22,34 olduğu görülmektedir. Kesme kuvveti üzerinde anlamlı olmadığı görülen takım tipinin etki oranı % 4,38 ve kesme hızının etki oranı % 4,98 olarak tespit edilmiştir.

Kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerinin daha iyi görülebilmesi amacıyla Ana etki grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 5.18’de AISI 316L malzemesinin kuru kesme şartlarında işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği kesme kuvveti için ana etki grafiği görülmektedir



Şekil 5.18. AISI 316L paslanmaz çeliğinin kuru şartlar altında işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği kesme kuvveti için ana etki grafiği

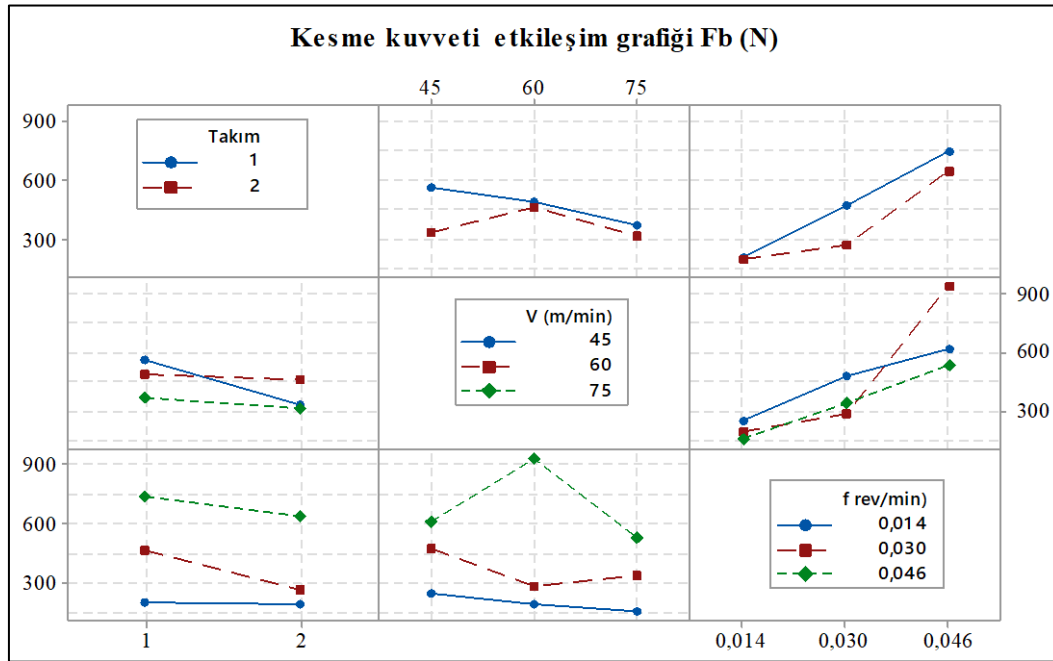
Ana etki grafiği verilen Şekil 5.18 incelendiğinde; kesme kuvveti üzerindeki en etkili parametrenin ilerleme oranı olduğu görülmektedir. Daha önce belirtildiği üzere ilerleme oranı artışı ile talaş kesit alanı büyümekte ve takım talaş mesafesi artmaktadır. Buna bağlı olarak ilerleme oranı artışı talaş yapışmasına sebebiyet vermekte ve kesme kuvvetleri de artmaktadır.

Kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği bölgede kesme hızının 60 m/min değerine kadar arttığı sonra literatüre uygun olarak azaldığı görülmektedir. Bu durum bazı deneylerde ortaya çıkan talaş yapışması sorununa bağlanabilir. Talaş yapışmasının gözlemlendiği deneyler aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Deney 42, 45 ve 50 ‘de ilerleme oranının artmasına bağlı olarak takımda talaş yapışması oluşmuştur. Bu durum sabit talaş derinliğinde artan ilerleme oranının talaş kesit alanını

artırdığına, bununla beraber artan kesme kuvvetinin de etkisi ile talaş yapışmasına zemin hazırladığına atfedilebilir [81]. Talaş yapışmasının fotoğrafları EK-3’de detaylı olarak verilmiştir.

Şekil 5.19’da AISI 316L paslanmaz çeliğinin kuru işleme şartlarında frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki değişiminin gösterildiği etkileşim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.19. AISI 316L paslanmaz çeliğinin kuru şartlar altında kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisini gösteren etkileşim grafiği

Şekil 5.19’deki etkileşim grafiğinde her bir parametrenin kesme kuvveti üzerindeki etkileri ayrı ayrı gösterilmektedir. Bu etkileşim grafikleri incelendiğinde; kaplamalı takımın kaplamasız takıma oranla hem kesme hızı, hem de ilerleme oranı değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Burada dikkati çeken durumun, 60 m/min kesme hızı değerlerinde kesme kuvvetinin en yüksek değerlerine ulaşmış olmasıdır.

Bu durum, yukarıda da açıklandığı üzere, 60 m/min kesme hızı değerlerinde kesici takımda kırılmaların meydana gelmiş olmasının bir sonucudur. Ayrıca, ilerleme oranı değerlerinin

artmasıyla kesme kuvveti değerlerinin arttığı da net bir şekilde görülmektedir. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen deney sonuçları üzerinde regresyon analizleri gerçekleştirilerek kesme kuvvetinin tahmini için matematiksel model oluşturulmuştur.

AISI 316L paslanmaz çelik malzemesinin kuru işleme şartlarında frezelenmesinde, oluşturulan regresyon analizi tablosu Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11. AISI 316L paslanmaz çeliğinin kuru şartlar altında işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları

Regresyon Analizi					
Notasyon	Coef	SE Coef	T-Değeri	P- Değeri	VIF
Değer	317	216	1,47	0,164	
Takım	-104	68,8	-1,51	0,153	1
Kesme hızı, V	-3,41	2,81	-1,21	0,245	1
İlerleme orsını, f	15455	2634	5,87	0	1

Çizelge 5.11’de kesme parametrelerinin ve sabitlerin etkilerinin gösterildiği Tablo vardır. Bu tablodaki değerler neticesinde elde edilen denklem Eşitlik 5.6’da verilmiştir.

$$F_b = 317 - 104,0 t - 3,41 v + 15455 f \quad (5.5)$$

Gerçekleştirilen çalışmada deneyler esnasında meydana gelen talaş yapışmasından dolayı sonuçlar tutarsız olmuştur. Bu durum elde edilen denklemin güvenilirliğini düşürmüştür

Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirme

AISI 316L malzemesinin kaplamalı/kaplamasız takımlar ile kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları Çizelge 5.12’dedir.

Çizelge 5.12. AISI 316L malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları

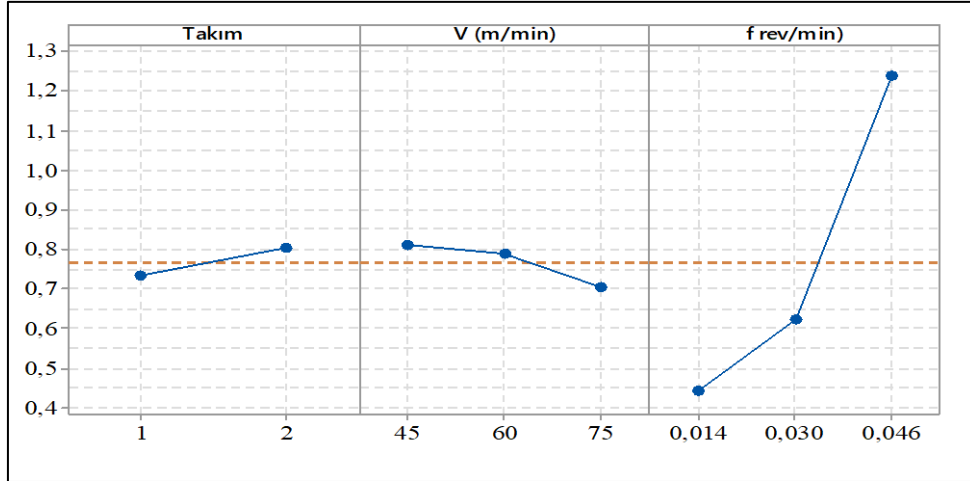
Varyans Analizi						
Kaynak	DF	KT	KO	F- Değeri	P- Değeri	Yüzde dağılımı
Takım	1	0,02161	0,02161	1,08	0,318	0,91%
Kesme hızı (V)	2	0,03924	0,01962	0,98	0,402	1,65%
İlerleme oranı (f)	2	2,07151	1,03576	51,96	0	87,35%
Hata	12	0,23922	0,01994			10,09%
Toplam	17	2,37158				100,00%
S = 0,141192 R-Sq = 89,91% R-Sq(adj) = 85,71%						
SD:Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, P:Anlamlılık<0,05, Per:Yüzde dağılımı						

Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkilerinin belirlendiği Çizelge 5.13'te verilen varyans analizi tablosu incelendiğinde, sadece ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlam ifade ettiği görülmektedir. P anlamlılık değeri olarak takım tipinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi 0,318 ve kesme hızının etkisi ise 0,402 olmuştur. İlerleme oranı etkisi değeri 0 çıkmıştır. Daha öncede belirtildiği üzere P anlamlılık değerinin sıfır dolması ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesin etkisi olduğunu göstermektedir.

Yüzde dilim olarak; takım tipinin etkisi % 0,91, kesme hızının etkisi % 1,65 ve ilerleme oranının etkisi ise % 87,35 olmuştur. Hata payı ise % 10,09 olarak tespit edilmiştir.

Kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerinin daha iyi görülebilmesi amacıyla Ana etki grafikleri oluşturulmuştur.

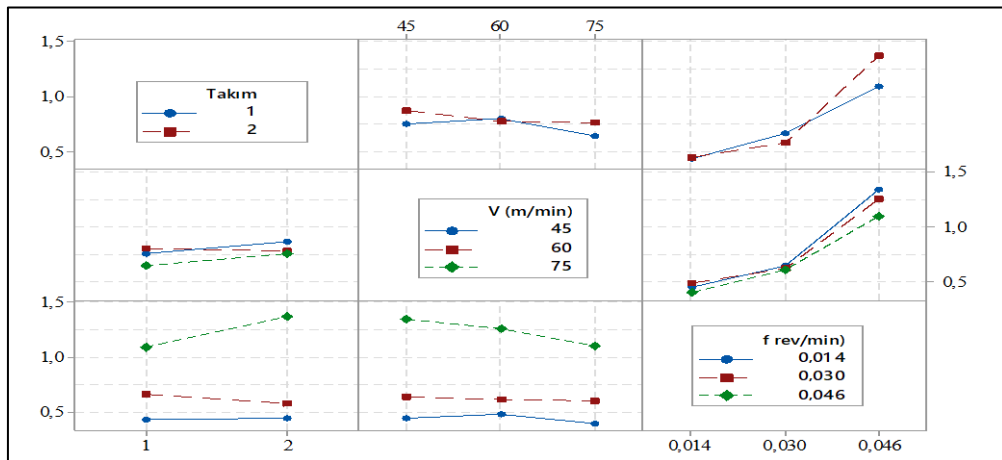
Şekil 5.20'de AISI 316L malzemesinin kuru kesme şartlarında işlenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin gösterildiği yüzey pürüzlülüğü için ana etki grafiği görülmektedir



Şekil 5.20. AISI 316L malzemesinin kuru kesme şartlarında işlenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin gösterildiği yüzey pürüzlülüğü için ana etki grafiği.

Şekil 5.20'deki ana etki grafiği incelendiğinde, ilerleme oranı yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametre olmuştur. Kaplamalı takımlar ile yapılan çalışmalarda yüzey pürüzlülüğünün kaplamasız takımlara nispeten daha az olduğu tespit edilmiştir. İlerleme oranının artması ile yüzey pürüzlülük değeri de artış göstermiştir. Kesme hızının artması ile talaş oluşumu kolaylaşmış ve yüzey pürüzlülüğü değerleri azalmıştır. Bu durum ile literatürü destekler nitelikte bir sonuç elde edilmiştir [82].

Şekil 5.21'de AISI 316L paslanmaz çeliğin kuru işleme şartlarında frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin etkileşim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.21. AISI 316L malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileşim grafiği

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme kuvvetlerinin ayrı ayrı etkileşiminin gösterildiği Şekil 5.21 incelendiğinde; Yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametrenin ilerleme oranı olduğu görülmektedir. Fakat kesme hızının 75 m/min değerinde olduğu ve ilerleme oranının 0,046 değerinde olduğu deneylerde grafiklerde tutarsızlıklar tespit edilmiştir. Bu durum yukarıda belirtildiği üzere talaş yapışması gerçekleşen deneylerden kaynaklanmaktadır. İlerleme ve kesme hızının artması ile takıma talaş yapışması gerçekleşmiş ve takım kesme işlemini yapmakta zorlanmıştır. Böylece yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır [4].

Gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen deney sonuçları üzerinde regresyon analizleri gerçekleştirilerek kesme kuvvetinin tahmini için matematiksel model oluşturulmuştur. AISI 316L paslanmaz çeliğinin kuru şartlar altında kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile frezelenmesinde regresyon analizi tablosu Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Çizelge 5.13. AISI 316L paslanmaz çeliğinin kuru şartlar altında işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları

Regresyon Analizi					
Notasyon	Coef	SE Coef	T-Değeri	P- Değeri	VIF
Değer	0,137	0,259	0,53	0,606	
Takım	0,0693	0,0826	0,84	0,416	1
Kesme hızı, V	-0,0036	0,00337	-1,06	0,306	1
İlerleme oranı, f	24,77	3,16	7,83	0	1

Çizelge 5.13'de kesme parametrelerinin ve sabitlerin etkilerinin gösterildiği Tablo vardır. Bu tablodaki değerler neticesinde elde edilen denklem Eşitlik 5.6'da verilmiştir.

$$Ra=0,137+ 0,0693 t- 0,00359 v+ 24,77 f \quad (5.6)$$

AISI 316L malzemesinin kuru şartlar altında kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi varyans analizi ile ölçülmüştür. Regresyon analizi ile de matematiksel bir model oluşturulmuştur. Fakat bazı deneylerde meydana gelen talaş yapışmasından dolayı deney sonuçları tutarsız olmuş ve regresyon analizinin güvenilirliğini düşürmüştür.

AISI 316 malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinin değerlendirilmesi

Kesme kuvveti açısından değerlendirme

AISI 316L malzemesinin kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları Çizelge 5.14’de verilmiştir.

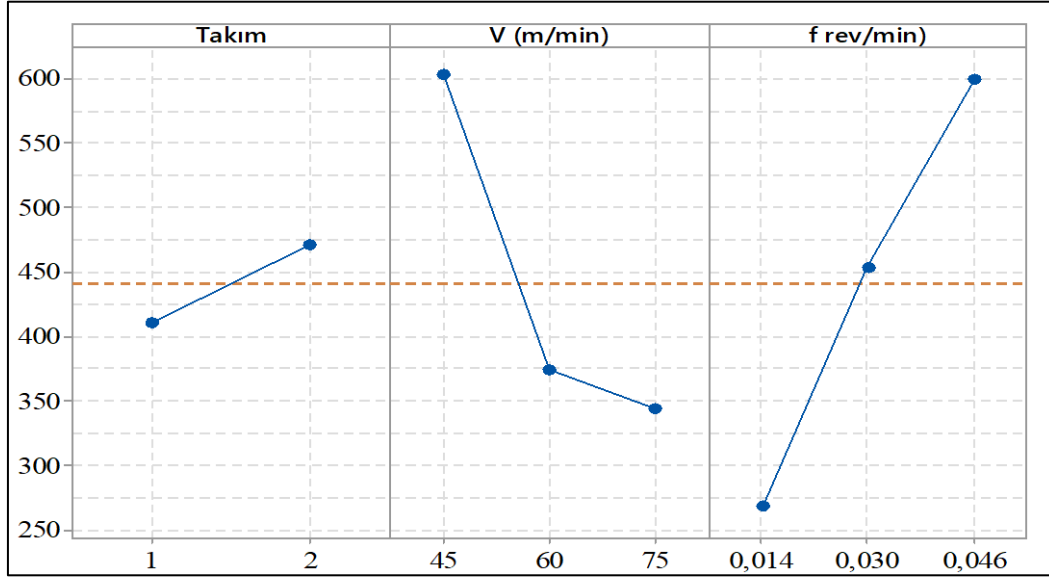
Çizelge 5.14. AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları.

Varyans Analizi						
Kaynak	DF	KT	KO	F-Değeri	P- Değeri	Yüzdelik
Takım	1	3157	3157	0,39	0,545	0,46%
Kesme hızı, V	2	391634	195817	24,05	0	57,31%
İlerleme oranı, f	2	190888	95444	11,72	0,002	27,93%
Error	12	97709	8142			14,30%
Total	17	683388				100,00%
S = 90,2353 R-Sq = 85,70% R-Sq(adj) = 79,74%						
SD:Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, P:Anlamlılık<0,05, Per:Yüzde dağılımı						

Çizelge 5.14’deki varyans analizi tablosu incelendiğinde, kesme hızı ve ilerleme oranının kesme kuvveti üzerinde etkili olduğu görülmektedir. P anlamlılık değeri açısından kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkileri; Takım tipini etkisi 0,545, kesme hızının etkisi 0, ilerleme oranının etkisi ise 0,002 olmuştur. Bu değerlerden anlaşılabileceği üzere takım tipi yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlam ifade etmemiştir.

Kesme hızı yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla anlam taşıyan değerdir. Kesme hızından sonra yüzey pürüzlülüğü üzerindeki anlam ifade eden diğer parametre ise ilerleme oranıdır. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini yüzde dağılımı olarak incelersek; Takım tipinin etkisi % 0,46, kesme hızının etkisi % 57,31 ve ilerleme oranının etkisi ise % 27,93 olarak çıkmıştır. Hata payı ise % 14,30 olarak tespit edilmiştir. Yüzde dağılımından da anlaşılabileceği gibi takım tipinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi çok azdır ve bir anlam ifade etmemektedir.

Şekil 5.22’de AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği kesme kuvveti için ana etki grafiği görülmektedir.

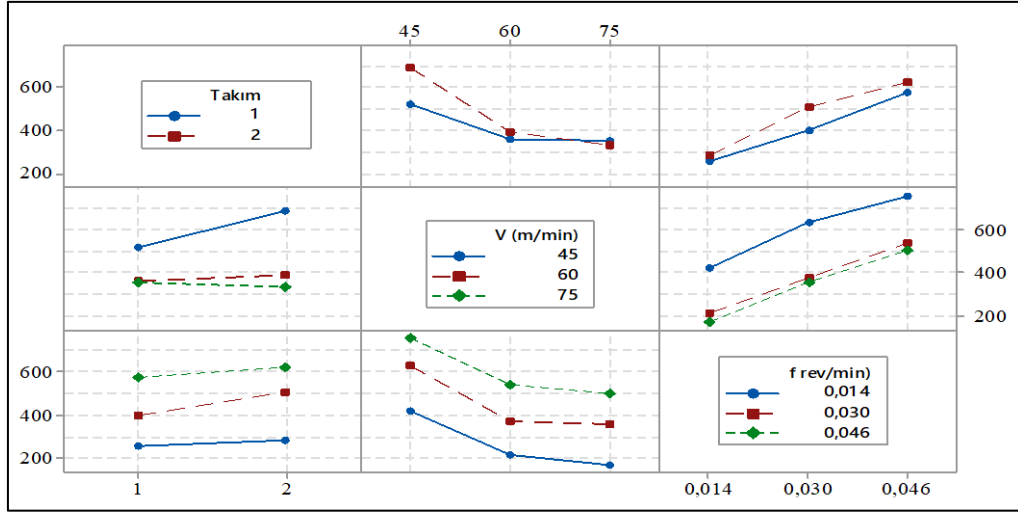


Şekil 5.22. AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği kesme kuvveti için ana etki grafiği.

Şekil 5.22’de verilen ana etki grafiği incelendiğinde, kesme kuvveti üzerinde kesme hızı ve ilerleme oranının etkili olduğu görülmektedir.

İlerleme oranının artması ile kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir sonuçtur. Fakat kesme hızının 75 m/min olduğu bölgede grafik kararsız davranış göstermiştir. Bunun sebebi kesme hızının artması ile ortaya çıkan yüksek miktardaki ısıdır. Bu durum daha öncede ifade edildiği gibi kesme sıvısının soğutma etkisinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Buna karşın MMY sisteminin kullanılması ile kesme kuvvet değerleri kuru işlemeye kıyasla azalmıştır.

Şekil 5.23’de AISI 316L paslanmaz çeliğinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takılar ile frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki değişiminin gösterildiği etkileşim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.23. AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkileşim grafiği

Şekil 5.23’de verilen etkileşim grafiği incelendiğinde; kesme hızının artması ile kesme kuvveti bir miktar azalmış fakat kesme hızının 75 m/min olduğu bölgede kesme kuvvetlerinin arttığı açıkça görülmektedir. İlerleme oranı açısından ise daha önce ifade edildiği üzere ilerleme oranı artınca kesme kuvvet değerleri artış göstermiştir. Genel olarak bakıldığında ise kesme kuvvet değerleri kuru işleme kadar yüksek çıkmamıştır. MMY sisten-minin kullanılması ile kesme kuvvet değerleri azalmıştır. Talaş yapışması sorunu giderilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen deney sonuçları üzerinde regresyon analizleri gerçekleştirilerek kesme kuvvetinin tahmini için matematiksel model oluşturulmuştur.

AISI 316L paslanmaz çelik malzemesinin MMY sistemi kullanılarak frezelenmesinde, kaplamalı ve kaplamasız takım, 3 farklı ilerleme hızı ve 3 farklı kesme hızı değerleri için oluşturulan regresyon analizi tablosu Çizelge 5.15 ‘de verilmiştir

Çizelge 5.15. AISI 316L paslanmaz çeliğinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları

Regresyon Analizi					
Notasyon	Coef	SE Coef	T- Değeri	P- Değeri	VIF
Değer	560	117	4,77	0	
Takım	61	37,4	1,63	0,125	1
Kesme hızı, V	-8,69	1,53	-5,69	0	1
İlerleme oranı, f	10357	1433	7,23	0	1

Çizelge 5.15’de kesme parametrelerinin ve sabitlerin etkilerinin gösterildiği Tablo vardır. Bu tablodaki değerler neticesinde elde edilen denklem Eşitlik 5.7’de verilmiştir.

$$F_b = 560 + 61,0 t - 8,69 v + 10357 f \quad (5.7)$$

AISI 316L malzemesinin kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile MMY sistemi kullanılarak frezelenmesinde gerçekleştirilen deneylerde regresyon analizinin güvenilir olduğu deneyler üzerinde uygulanan matematiksel model ile tespit edilmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler regresyon analizindeki matematiksel modele uygulanmış ve sonuçların deney sonuçları ile tutarlı olduğu tespit edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirme

AISI 316L paslanmaz çeliğinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları Çizelge 5.16’da verilmiştir.

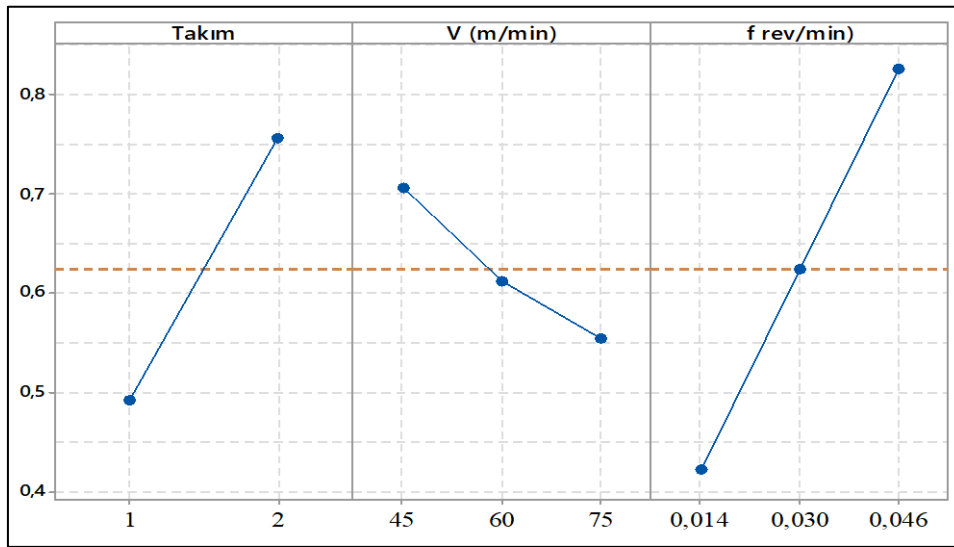
Çizelge 5.16. AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları

Varyans Analizi						
Kaynak	DF	KT	KO	F-Değeri	P- Değeri	Yüzde dağılımı
Takım	1	0,31481	0,31481	70,18	0	33,81%
Kesme hızı, V	2	0,0697	0,03485	7,77	0,007	7,49%
İlerleme oranı, f	2	0,49275	0,24638	54,93	0	52,92%
Hata	12	0,05383	0,00449			5,78%
Toplam	17	0,93109				100,00%
S = 0,0669745 R-Sq = 94,22% R-Sq(adj) = 91,81%						
SD:Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, P:Anlamlılık<0,05, Per:Yüzde dağılımı						

AISI 316L paslanmaz çeliğinin kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranlarının verildiği Çizelge 5.17 incelendiğinde; P anlamlılık değeri olarak, takım tipinin ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi 0’dır.

Kesme hızının etkisi ise 0,007'dir. Bu durum bütün parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı olduğunu göstermektedir. Kesme parametrelerinin yüzdelik dilim olarak incelenmesinde; takım tipinin etkisi % 33,81, kesme hızının etkisi % 7,49 ve ilerleme oranının etkisi ise % 53,92 olmuştur. Hata payı ise % 5,78 olarak tespit edilmiştir.

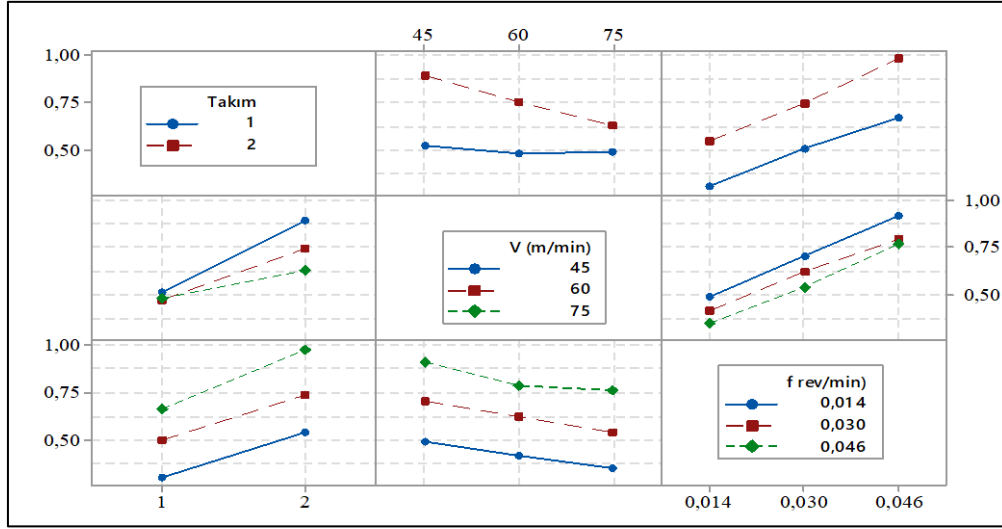
Şekil 5.24'de AISI 316L paslanmaz çeliğinin MMY sistemi kullanılarak frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği ana etki grafiği verilmiştir.



Şekil 5.24. AISI 316L paslanmaz çeliğinin MMY sistemi kullanılarak frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin gösterildiği ana etki grafiği

Şekil 5.24 incelendiğinde; yüzey pürüzlülüğü açısından, kaplamalı takım ile işlemede yüzey pürüzlülük değeri artmış, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerleri azalmış ve ilerleme oranının artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değeri artmıştır. MMY sisteminin kullanılması ile grafikler kararlı sonuçlar vermişlerdir.

Şekil 5.25'de AISI 316L paslanmaz çeliğinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki değişiminin gösterildiği etkileşim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.25. AISI 316L paslanmaz çeliğinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki değişiminin gösterildiği etkileşim grafiği

Şekil 5.25'deki etkileşim grafiğinde, kaplamalı takımların kaplamasız takımlara oranla yüzey pürüzlülük değerini artırdığı tespit edilmiştir. Bütün kesme hızı değerlerinde ilerleme oranının artması ile yüzey pürüzlülük değeri artmıştır. Grafiğe bütünsel olarak bakıldığında zaman kararlı bir grafik görülmektedir. MMY sisteminin kullanılmasının yüzey kalitesini artırarak, takım kırılması ve talaş yapışması sorunlarının önüne geçildiği açıkça görülmektedir. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen deney sonuçları üzerinde regresyon analizleri gerçekleştirilerek kesme kuvvetinin tahmini için matematiksel model oluşturulmuştur.

AISI 316L paslanmaz çelik malzemesinin MMY sistemi kullanılarak frezelenmesinde, kaplamalı ve kaplamasız takım, 3 farklı ilerleme hızı ve 3 farklı kesme hızı değerleri için oluşturulan regresyon analizi tablosu Çizelge 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. AISI 316L malzemesinin MMY sistemi kullanılarak işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları

Regresyon Analizi					
Notasyon	Coef	SE Coef	T- Değeri	P- Değeri	VIF
Değer	0,1492	0,0928	1,61	0,13	
Takım	0,2645	0,0296	8,93	0	1
Kesme hızı, V	-0,005	0,00121	-4,16	0	1
İlerleme oranı, f	12,66	1,13	11,17	0	1

Çizelge 5.7’de kesme parametrelerinin ve sabitlerin etkilerinin gösterildiği Tablo vardır. Bu tablodaki değerler neticesinde elde edilen denklem Eşitlik 5.8’de verilmiştir.

$$Ra=0,1492+ 0,2645 t- 0,00503 v+ 12,66 f \quad (5.8)$$

AISI 316L paslanmaz çelik malzemesinin MMY sistemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takımlar kullanılarak frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.18’de verilen regresyon analizi ile oluşturulan matematiksel modelde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar deney verileri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Böylece MMY sisteminin yüzey kalitesini artırıp yüzey pürüzlülük değerlerini artırdığı sonucuna varılmıştır. İşlenebilirlik açısından değerlendirildiğinde MMY sisteminin kuru işlemeye nispeten daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada endüstride yoğun olarak kullanılan paslanmaz çeliklerden AISI 304 ve AISI 316L iş parçası malzemesi olarak seçilmiştir. Deneylerde, kuru kesme şartları ve MMY sistemi kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak; üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme oranı ve sabit talaş derinliği değerleri belirlenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmada kesme parametreleri ve MMY sisteminin, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara göre;

- AISI 304 malzemesinin kuru şartlarda işlenmesinde kesme kuvveti üzerindeki en etkin parametre kesici takımın tipi olmuştur. Kaplamasız kesici takımlar ile yapılan deneylerde artan ilerleme oranının etkisi ile oluşan fazla ısı ve sürtünmeden dolayı takım işleme yapmakta zorlanmış, takım kırılması, yan kenar aşınması ve talaş yapışması (BUE) oluştuğu için kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır.
- AISI 304 paslanmaz çeliğinde en düşük kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri kaplamasız takımlar ile MMY sisteminin kullanıldığı deneylerde elde edilmiştir.
- AISI 316L paslanmaz çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki en etkili parametre ilerleme oranı olmuştur. İlerleme oranının artması ile talaş kesit alanındaki büyümeden dolayı, talaş takım teması artmış ve buna bağlı olarak talaş yığılması (BUE) gözlemlenmiştir. Fakat kesme hızının artması ile talaş oluşumu kolaylaşarak, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerleri azalmıştır.
- Genel olarak AISI 304 ve AISI 316L iş parçası malzemeleri için, ilerleme oranının artması ile kesme kuvvet değerleri artış göstermiştir. Buna bağlı olarak talaş yapışması (BUE) meydana gelmiştir. Ayrıca yüzey kalitesi bozulmuş ve yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmıştır.
- AISI 304 ve AISI 316L paslanmaz çelik malzemelerinin her ikisi için de kullanılan MMY sisteminin yağlayıcı özelliği sayesinde, kesici takım ve iş parçası arasındaki sürtünme giderilmiş ve talaş birikmesi (BUE) oluşumu engellenmiştir. Böylece MMY

sisteminin kullanılması ile daha kaliteli yüzeyler elde edilirken kesme kuvvetleri de azalmıştır.

- Bu çalışmada yapılan incelemeler neticesinde AISI 304 ve AISI 316L malzemeleri MMY sistemi ile işlemeye kuru işlemekten daha elverişli olduğu sonucuna varılmıştır. MMY sisteminde kaplamalı kesici takımlar, kaplamasız kesici takımlar ile işlemeye oranla daha yüksek yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerleri vermiştir. Fakat bu durum kuru işleme için tam tersi olmuştur.
- AISI 304 ve AISI 316L kıyaslanacak olursa; kuru işleme şartlarında malzeme yapısındaki molibden ihtivasından dolayı AISI 316L frezelenmeye daha müsaittir. Bunun sebebi; Molibden (Mo) AISI 316L malzemesinin, frezeleme esnasında ortaya çıkan yüksek ısıya karşı hassasiyetini azaltırken, aşınma direncini artırır. Bundan dolayı Molibden oranı fazla olan AISI 316L malzemesi işlendiğinde, AISI 304 malzemesine oranla daha az kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir.

AISI 304 ve AISI 316L paslanmaz çeliklerinin kuru şartlar altında ve MMY sistemi kullanılarak, belirlenen kesme parametrelerinde işlenmesinde elde edilen sonuçlar yukarıda verilmiştir. Bu sonuçların geliştirilmesi ve çalışmanın daha genişletilebilmesi için;

- AISI 304 malzemesi kuru şartlarda işlenirken ortaya çıkan sıcaklık ölçülerek sıcaklığın nedenleri ve giderilmesine yönelik çalışmalar yapılabilir.
- AISI 304 ve AISI 316L paslanmaz çeliklerinin her ikisi de kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti açısından farklı sonuçlar vermişlerdir. Kesici takım kaplama çeşitleri artırılarak kaplama çeşidinin işlenebilirlik üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- MMY sistemi kullanımı ile işleme esnasında oluşan talaş yapışmasının (BUE) önüne geçilmiş fakat soğutma etkisi az olduğu için yüksek işleme sıcaklığına bağlı kesme kuvveti artışının ve yüzey pürüzlülüğünün önüne geçilememiştir. Yağlama ve soğutma sıvısı bir arada kullanılarak bu malzemelerin işlenebilirlikleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Tonshoff, H., Spintig, W., Konig, W. ve Neises, A. (1994). *Machining of Holes Developments in Drilling Techonolgy*. Annal of the CRIP, 551-560.
2. Dilipak, H., ve Yılmaz, V. (2012)., AISI 1050 Çeliğinin Karbür Takımlarla Frezelenmesinde Oluşan Titreşimlerin İncelenmesi ve İstatistiksel Analizi. *Gazi Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 285-294.
3. Fedai, Y. ve Ünüvar, A. (2015). 316L Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Frezelenmesinde İşlem Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri Ve Takım Aşınması Üzerindeki Etkileri . 6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu. Sabancı Üniversitesi, İstanbul:
4. Dilipak, H. ve Gezgin, A. (2010). *AISI D3 Çeliğinin Frezelenmesinde Kesici Uç Sayısı, Kesme Hızı ve İlerleme Miktarının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması*. Politeknik Dergisi Cilt:13 Sayı: 1, 29-32.
5. Kuram, E. (2016). *AISI 304 Paslanmaz Çeliğinin Frezelenmesinde Farklı Kaplama Malzemelerinin Takım Aşınmasına, Kesme Kuvvetlerine ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri*. Politeknik Dergisi, Cilt: 19 Sayı:4, 433-443.
6. Tekaslan, Ö., Gerger, N. ve Şeker, U. (2008). *AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüklerinin Araştırılması*. BAÜ FBE Dergisi Cilt:10, Sayı:2 , 3-12.
7. Patole, P. B. ve Kulkarni, V. V. (2016). *Optimization of Process Parameters based on Surface Roughnessand Cutting Force in MQL Turning of AISI 4340 using Nano Fluid*. Selection and Peer-review under responsibility of International Conference on Processing of Materials, Minerals and Energy . Andra Pradesh India:
8. Çakmak, S. ve Sarıdemir, S. (2016). *AISI 4140 Çeliğinin İşlenmesinde Kesici Uç Geometrisinin Talaş Kırmaya Ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi*. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4 , 765-771.
9. Çetin, M., Bilgin, M., Ulaş, H. B. ve Tandıroğlu, A. (2011). *Kaplamasız Sermet Takımla AISI 6150 Çeliğinin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi*. Electronic Journal of Vocational Colleges, 168-176.
10. Aydın, M., Uçar, M. ve Cengiz, A. (2010). *AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kuru Tornalanabilmesine Kesme Parametrelerinin Etkisi*. 2. Ulusal Tasarım İmalat Ve Analiz Kongresi. Balıkesir.
11. Uysal, A. (2017). *Ferritik Paslanmaz Çeliğin Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Katkılı Kesme Sıvısı Kullanılarak Minimum Miktarda Yağlama Yöntemi İle Frezelenmesinde Kesme Sıcaklığının İncelenmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34349. Beşiktaş, İstanbul:
12. Yıldırım, Ç. V. ve Kıvak, T. (2015). *Minimum Miktarda Yağlama Tekniğinin Delme Ve Taşlama Operasyonlarındaki Uygulamaları Üzerine Bir Derleme*. 6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Sabancı Üniversitesi, İstanbul'
13. Kurşuncu, B. ve Yaraş, A. *AISI O2 Çeliğinin Frezelenmesinde Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Sisteminin Kesme Performansına Etkisi* . Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi Cilt 5 Sayı 2 , 125-128(2017)..
14. Uysal, A., Demiren, F. ve Altan, E. *Applying Minimum Quantity Lubrication (MQL) Method on Milling of Martensitic Stainless Steel by Using Nano Mos2 Reinforced*

- Vegetable Cutting Fluid. Procedia - Social and Behavioral Sciences* 195 , 2742 – 2747. (2015).
15. Kuram, E., Özcelik, B. ve Şimşek, B. T. (2013). The Effect of Extreme Pressure Added Vegetable Based Cutting Fluids on Cutting Performance in Milling .Emerald Industrial Lubrication and Tribology Volume 65 · Number 3 ·181–193,
 16. Yiğit, R., Yıldırım, S. ve Çelik, E. (2014). *Investigation of the Effect of CuO Nanofluid in Minimum Quantity Lubrication Machining*. AKÜ FEMÜBİD 14 (447-452).
 17. Kedare, S. B., Borse, D. R. ve Shahane, P. T. *Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Surface Roughness of Mil(2014).d Steel of 15HRC on Universal Milling Machine*. 3rd International Conference on Materials Processing and Characterization (ICMPC 2014).
 18. Xuefeng, X., Shuiquan, H., Minghuan, W. ve Weiqiang, Y. (2017). *Study on process parameters in endmilling of AISI-304 stainless steel under electrostatic minimum quantity lubrication conditions* . Int J Adv Manuf Technol, 979-989.
 19. Muthusamay, Y., Kadirgama, K., Rahman, M. M., Ramasamy, D. ve Sharma, K. V. (2016). *Wear analysis when machining AISI 304 with ethylene glycol/TiO2 nanoparticle-based coolant*Int. J Adv Manuf Technol , 327-340.
 20. Çaydaş, U., Kuncan, O. ve Çelik, M. (2017). *AISI 52100 Rulman Çeliğinin İşlenebilirliğinin Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Ömrü Ve Sıcaklık Kriterlerine Göre Araştırılması*. Politeknik Dergisi, 20 (2) , 409-417.
 21. Özbek, N. A., Çicek, A. Gülesin, M. ve Özbek, (2017). *O. AISI 304 ve AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi* . Politeknik Dergisi, 20 (1) , 43-49.
 22. Tekaüt, İ. ve Demir, H. (2015). *AISI H13 ve AISI D2 Çeliklerinin Delinmesi Esnasında Kesme Bölgesinde Oluşan Sıcaklığa Kesici Takım Kaplamasının Ve İşleme Parametrelerinin Etkisi*. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 30, No 2, 289-296.
 23. San-juana, M., Martina, O., Tiedraa , M. P., Santosa, F. J., Lopeza, R. ve Cebriana, J. A. (2015). *Study of cutting forces and temperatures in milling of AISI 316L* . The Manufacturing Engineering Society International Conference, MESIC 2015 Procedia Engineering 132 , 500-506.
 24. Akkurt, M. (1992). "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları. Ankara: Birsen Yayınevi. 214-221.
 25. Kulaksız, Ö., Çakır, Ö. ve Ulusoy, O. (1995). *Metal Meslek Bilgisi* (İkinci baskı). Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları.
 26. Çiftçi, K. (2005). *Mikroalaşımli Çeliklerin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Talaşlı İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul: 7-25.
 27. Çakır M.C. (2000). *Modern talaşlı imalat yöntemleri*. Bursa: Vipaş Aş. 262-269.
 28. Sağlam H. (2000). *Frezelemede Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Çok-Elementli Kuvvet Ölçümlerine Dayalı Takım Durumu İzleme*. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya: 1-93.
 29. Trent, E.M. ve Wright, P.K. (2000). *Metal Cutting*. London: Butterworths Press. 1-171.

30. Zhou, J., Anderson, M. ve Stahl, J. (2004). *Identification of cutting errors in precision hard turning process*. Journal of Materials Processing Technology, 153-154, 746-750.
31. İnternet: Bülent , T. (2012). Bilecik Üniversitesi Web Sayfası: <http://web.bilecik.edu.tr/bulent-turan/files/2012/01/Freze.pdf>. Son erişim Tarihi: 12.05.2019.
32. İnternet: Makina Eğitimi. (2017). www.makinaegitimi.com/: <https://www.makinaegitimi.com/parmak-freze-cakilari-hakkinda-bilgi/> Son Erişim Tarihi: 12.05.2019.
33. Tosun, E. (2006). *Frezeleme İşlemlerinde Genetik Algoritma Yaklaşımı İle Kesme Koşullarının Optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilimdalı. Konya:
34. Şahin, Y. (2000). *Talaş Kaldırma Prensipleri I*. (Birinci baskı) Ankara: Nobel Yayın Dağıtım. Ankara, 163-381.
35. Şahin, Y. (2003). *İmal Usulleri*. Gazi Yayınevi. Ankara, 269-280.
36. Shaw, M. C. (1989). *Metal Cutting Principles*. Oxford Universty press.
37. Turgut, Y. (2007). *Bağlama Kalıplarında Bağlama Kuvvetlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Emniyet Katsayılarının Deneysel Olarak İncelenmesi*. Ankara: Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü.
38. Akkurt, M. (1996). *Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgâhları*. İstanbul: Birsan Yayınevi 214-221.
39. Akkuş, H. (2010). *Tornalama İşlemlerinde Yüzey Pürüzlülüğünün İstatistiksel Ve Yapay Zeka Yöntemleriyle Tahmin Edilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü.
40. İnternet: Demircioğlu, T. K. (2006). Balıkesir Üniversitesi. [www.balikesir.edu.tr: http://w3.balikesir.edu.tr/~tkerem/yuzeypuruzluluguanlatim.pdf](http://w3.balikesir.edu.tr/~tkerem/yuzeypuruzluluguanlatim.pdf). Son Erişim Tarihi: 12.05.2019
41. İnternet: Hitit Üniversitesi. (2004). (www.mf.hitit.edu.tr): <http://www.mf.hitit.edu.tr/mak/belgeler/islenebilirlik.doc>. Son Erişim tarihi: 12.05.2019.
42. Akkurt, M., (1999), *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*. Ankara: Birsan Yayınevi. 214-221.
43. İnternet: Atakök, G. (2006). *Kesme Kuvvetleri, Sıcaklık, Titreşim, Ses ve Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi*. Optik-Koordinat Ölçme, Tersine Mühendislik. [www.marmara.edu.tr: http://www.marmara.edu.tr/~gatakok/gurcan/olcme2.pdf](http://www.marmara.edu.tr/~gatakok/gurcan/olcme2.pdf). Son Erişim Tarihi:12.05.2019
44. Avila, R. ve Abrao, A. (2001). *The Effect of Cutting Fluids on the Machining of Hardened AISI 4340 Stel*. Journal of Meterial Prosesing Techology. 21-26.
45. Demir, H., Ulaş, H. B. ve Zeyveli, M. (2009). *Talaşlı Üretimde Kullanılan Kesme Sıvılarından İstenen Özellikler*. Karabük: 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09).
46. Sandvik, C. (1997). *Modern Metal Cutting a pratical handbook*. Sweden.
47. Denilevsky, V. (1987). *İmalat Mühendisliği*. Ankara: TMMOB makina mühendisleri odası. Yayın no:21.

48. El Baradie, M. A. (1996). *Cutting Fluids:Part II. Recyclining and Clean Machining*. Journal of Materials Processing Technology, 56, 1-4, 798-806.
49. İlhan, M. (2014). *Talaş Kaldırma İşlemlerinde Minimum Miktarda Yağlama (Mql) Uygulamasının Kesme Hızı Ve Yağlama Devisinin Yüzey Pürüzlülüğü Ve Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).
50. Şık, E. (2009). *Bitkisel Tabanlı Yağlardan Metal Kesme Sıvısı Eldesi ve Karakterizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli:
51. Turchin, H. ve Byers, J. P. (2000). *Effect of oil contamination on Metalworking Fluid Mist*. Lubr Eng, 56, 21-25.
52. Anaç, N. ve Ay, İ. (2004). *Soğutma sıvılarının insan sağlığına etkileri*. Metal Makina-sayı 149.
53. Yücel, E., Günay, M., Ayyıldız, M., Erkan, Ö. ve Kara, F. (2011). *Talaşlı imalatta kullanılan kesme sıvılarının insan sağlığına etkileri ve sürdürülebilir kullanımı*. Elazığ: 6. International Advanced Technologies Symposium (IATS'1).
54. Grzesik, W. (2008). *Advanced Machining Processes of Metallic Materials*. Theory , Modeling and Applications, Elsevier Science and Technology.
55. Çiftçi, İ. (2005). *Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesici Takım Kaplamasının Ve Kesme Hızının Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi*, 205-209, (2005). J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.eersitesi, Vol 20, No 2,, 205-209.
56. Weinert, K., Inasaki, I., Sutherlant, J. W. ve wakabayashi, T. (2004). *Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication*. CIRP Annals – ManufacturingTechnology 53(2) , (s. 511-537).
57. Roberts, G., Krauss, G. ve Kennedy, R. (1998). Toolsteels 5th edition.
58. Erdel, B. P. (2003). *High-speed Machining*. SME press.
59. Astakhov, V. P. (2008). *Ecological Machining: Near-DryMachining*. In: Davim JP (ed) Machining: fundamentalsandrecent advances. Springer, London.
60. Walker, T. (2013). *A Guide To Machining With Minimum Quantity Lubrication*. The MQL Handbook.
61. Weinert, K., Inasaki, I., Sutherland, J. W. ve Wakabayashi, T. (2004). *Dry machining and minimum quantity lubrication*. CIRP Annals - Manufacturing Technology 53 (2), 511-537.
62. Klocke, F. ve Gerschwiler, K. (2003). *Minimalmengenschmierung-Systeme, Medien, Einsatzbeispiele und ökonomische Aspekte derTrockenbearbeitung*. Trockenbearbeitung von Metallen. Proc. of the VDI-Seminar, (s. 1-20). Stuttgart.
63. Klocke, F. ve Eisenblatter, G. (1997). *Dry Cutting*. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 519-526.
64. Suzuki, S., (2001). *Developments in Oil Supplying Systems for MQL Cutting*, Journal of Japanese Society of Tribologists, 538-543.
65. İnternet: SKF. (2014). SKF Lubrilean Catalogue, MQL for Dry Machining Proces. 5 11, 2019 tarihinde SKF Firması Web sitesi: <https://www.skf.com/binary/83-32233/1-5102-EN.pdf>. Son erişim tarihi: 12.05.2019.

66. Bakırcıoğlu, B., (2013). *Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği Üzerinde Farklı Kesici Kenar Formlarının Etkisinin Karşılaştırmalı Olarak Araştırılması*. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
67. Çakır, M. C. (1999). *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*. Vipaş A.Ş., Bursa:
68. Kurt, U. (1988). *Paslanmaz Çelik Kaynak Özelliklerinin İncelenmesi*. Ankara: Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2-33.
69. Güventürk, F. (1990). *Çelik El Kitabı*. İzmir: Güven Çelik San. ve Tic. Ltd. Şti.Yayınları.
70. Kaluç, E., ve Tülbentçi, K. (1995). *Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği*, Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi.
71. Şahin, Y. (2001). *Talaş Kaldırma Prensipleri 2*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara:
72. Belejchak, P. (1997). *Machining Stainless Steel. Advanced Materials ve Processes*.
73. Askeland, D. R. ve Erdoğan, M., (2000). *The Science and Engineering of Materials*. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
74. Korkut, İ., Kasap, M., Çiftçi, İ. ve Şeker, U. (2004). *Determination of Optimum Cutting Parameters during Machining of AISI 304 Austenitic Stainless Steel*. Materials ve Desing, V25, 4, 303-305.
75. Aydın, M., Uççar, M., ve Cengiz, A., (2010), “ AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kuru Tornalanabilmesine Kesme Parametrelerinin Etkisi”, 2. Ulusal Tasarım İmalat Ve Analiz Kongresi, Balıkesir.
76. Töre, C., (2007). *Mekanik Tasarımda Çelik ve Özellikleri*. Makina Mühendisleri Odası, Ankara
77. Lopez de Lacalle, L. N., Angulo, C., Lamikiz, A., ve Sanchez, J. A., (2006)., *Experimental and numerical investigation of the effect of spray cutting fluids in high speed milling*. Journal of Materials Processing Technology, 11-15.
78. Lochner, J., ve Matar, J., (1990). *Designing for Quality*. ASQC Quality Press. 190.
79. Özçatalbaş, Y. (2014). *Mühendislik Malzemelerinin İşlenebilirliği*, Yüksek Lisans Ders Notu, Gazi Üniversitesi, Ankara.
80. Yılmaz, B., Karabulut, Ş. ve Güllü, A. (2016, 3-5 Kasım). *AISI 304 Paslanmaz Çeliğin Tornalanması Esnasında Kullanılan Dinamik Talaş Kırıcının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkilerinin Araştırılması*. 7. Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul.
81. Eniksen E.,(1999). *Influence from Production Parametrics on The Surface Raughness of Air Machined Short Fibre Rainforced Thermo Plastic*", International Journal of Machine Tools and Manufacture.
82. Günay, M., (2013). *AISI 316L çeliğinin işlenmesinde takım radyüsü ve kesme parametrelerinin taguchi yöntemiyle optimizasyonu*. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 28, No 3, 437-444,

EKLER

K-1.AISI 304 ve AISI 316L Çeliklerinin kimyasal ve mekanik özellikleri

CHANDAN STEEL LIMITED
(GOVT. OF INDIA RECOGNISED EXPORT HOUSE)
ISO 9001 : 2008 CERTIFICATE No. 04 100 011023-03

ADM. OFFICE: 184, SUSHI RAGAR, P. S. PATKAR MARG, AURANGABAD 430 007, INDIA
Tel: 91-22-66290600. Fax: 91-22-66290633/34
Website : www.chandansteel.net
Email : csb@chandansteel.net
L/c. No.:
L/c. Date:

WORKS: Plot No. 35, G. I. D. C., Umbergaon
Dist. Valsad, Gujarat - 396 171.
Tel: 91-265-308 9999 Fax: 91-260 308 9872
E-mail : exports@chandansteel.net

F824 QC 09 / 02/10.12.2012

MILL TEST CERTIFICATE

Consignee TOHAN METAL İNŞ GIDA SAN VE TİC.LTD.ŞTİ OSTİM OSB MAH.1202/1 SOKAK NO:84 YENİHALLE/ANKARA				Test Certificate No. : EXP/00735 - 13/2015-2016 Date of Issue : 30.09.2015 P.O. No. : C150729BT SC.No. & Date : 15-16/00453, Dt.28.08.2015 Invoice No. & Date : EXP/00735/2015-16 Dt.30.09.2015							
PRODUCT DESCRIPTION STAINLESS STEEL FLAT BARS [HRAP]				LENGTH		Net Wt.					
				Ordered	Actual	1100 Kgs.					
				6.0 - 6.10 Mtrs.	6.0 - 6.10 Mtrs.						
Heat No.	Grade	Size	Tolerance	Process Route							
CH-3104	AISI 316L	mm/inches 40X20 MM	ASTM A484	Electric Melting, A.O.D. Refining, Continuous Casting							
CHEMICAL COMPOSITION (Weight %)											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Ti	N
Min.	-	-	-	-	-	16.00	2.00	10.00	-	-	-
Max.	0.030	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00	3.00	14.00	-	-	-
Results	0.027	0.46	1.66	0.042	0.008	16.52	2.07	10.02	-	-	-
MECHANICAL PROPERTIES											
Specified Value	Yield Strength N/mm ² /MPa (Rp0.2)	Tensile Strength N/mm ² /MPa (Rm)	Elongation %	Reduction of Area %	Hardness (HB)						
Min.	170	445	30	50	-						
Max.	-	-	-	-	-						
Results	310	615	54	64	174-177						
Remarks: 1. Hot Rolled, Shot-Blasted and Pickled. 2. Solution annealed at 1050 °C. 3. Cold Bend Test Satisfactory. 4. PMI test done 100% & found Satisfactory. 5. The material is fully killed and calcium treated. 6. Material is free from radio-active contamination. 7. Each Flat has Marked with Heat No. CH-3104, Grade - 316L and Size - 60 x 20 mm. 8. The material conforms to ASTM A276-13 & ASTM A484 / 484M - 13a Specification. 9. The material is manufactured /melt in Chandan Steel Mill and is of Indian Origin. BUNDLE NO: 25 & 26 COLOUR : GREY											


B. S. RAUTELA
 MANAGER - QUALITY ASSURANCE

It is hereby certified that the above results are true and correct in every details and are meeting the requirements of specification & purchase order.

Page 13 of 16

CHANDAN STEEL LIMITED
 GIDA SAN VE TIC. LTD. STI
 OSTİM OSB MAH.1202/1 SOKAK NO:84
 YENİHALLE/ANKARA
 Tel: 91-22-66290600 Fax: 91-22-66290633/34
 Email: csb@chandansteel.net

EK-2. AISI 304 ve AISI 316L eliklerin deney sırasına göre talaş görüntüleri



1



2



3



4



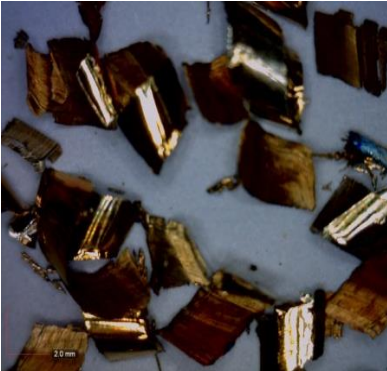
5



6



7



8



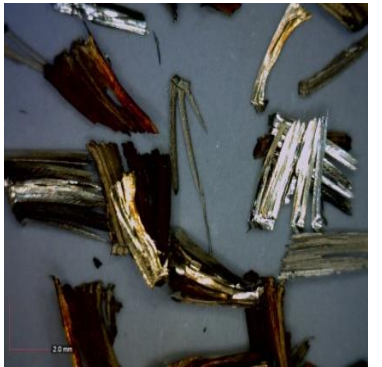
9



10

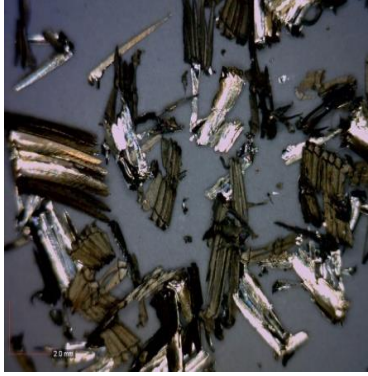


11



12

EK-2. (devam) AISI 304 ve AISI 316L eliklerin deney sırasına gre talaş görüntüleri



13



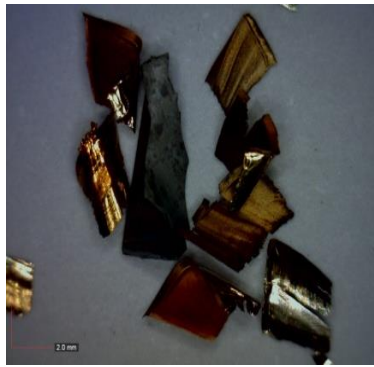
14



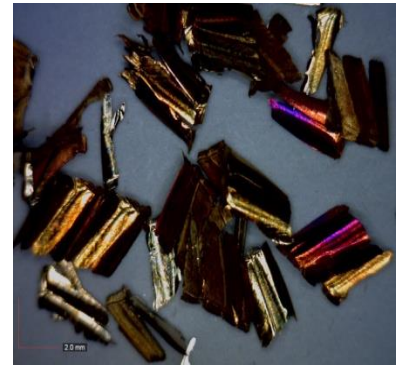
15



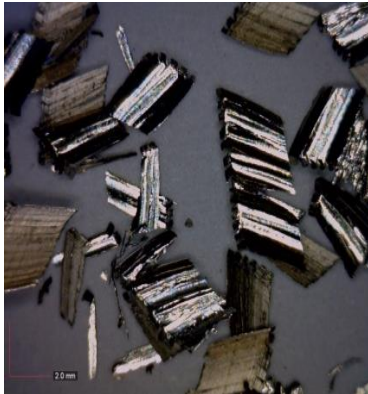
16



17



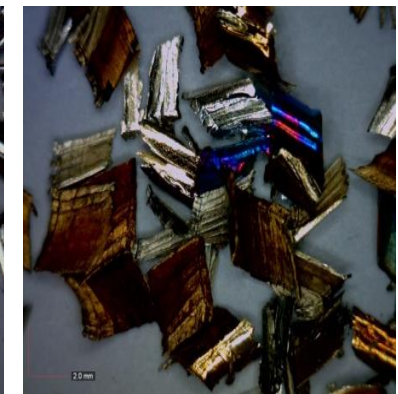
18



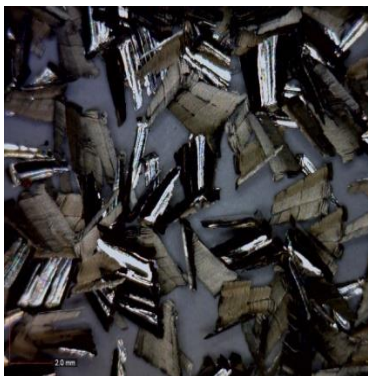
37



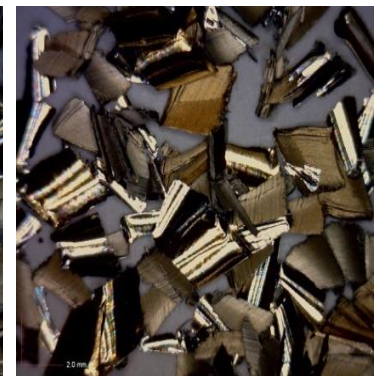
38



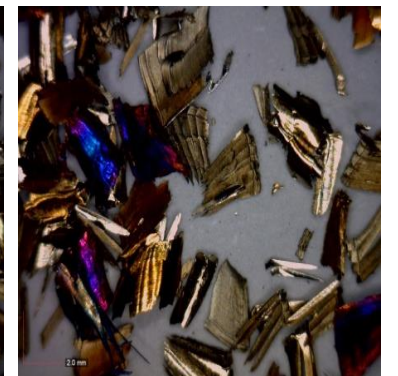
39



40

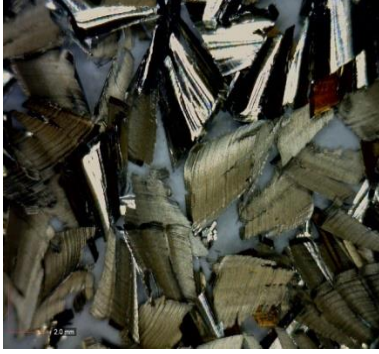


41

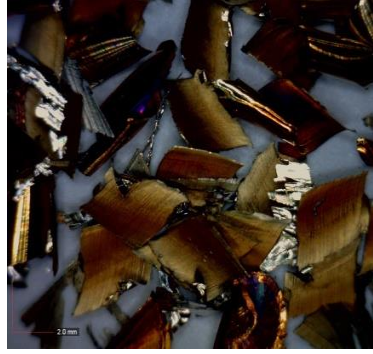


42

EK-2. (devam) AISI 304 ve AISI 316L eliklerin deney sırasına gre talaş görüntüleri



43



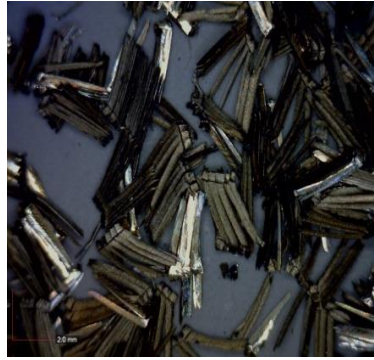
44



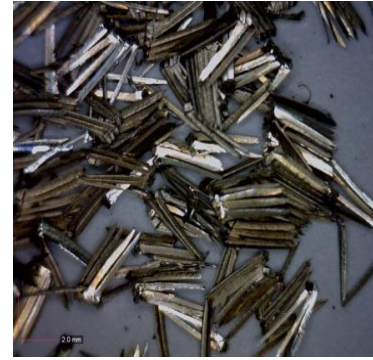
45



46



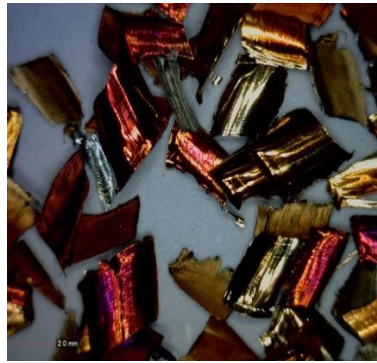
47



48



49



50



51



52



53

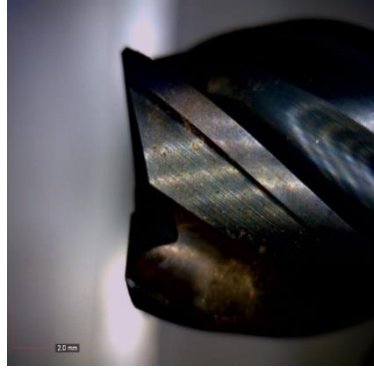


54

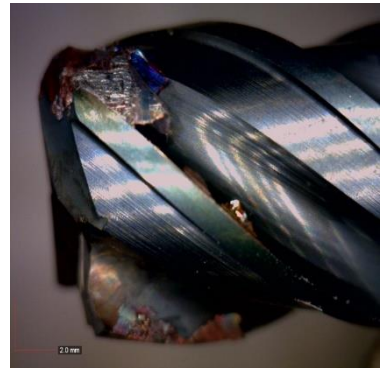
EK-3. AISI 304 ve AISI 316L eliklerin deney sırasına gre takım görüntüleri



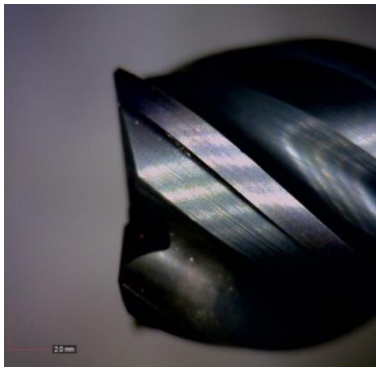
1



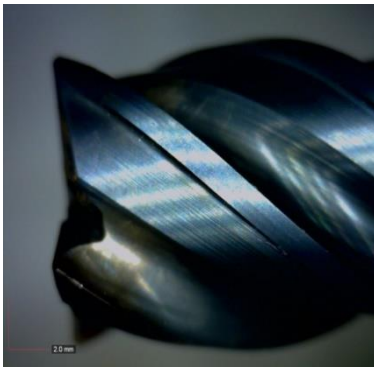
2



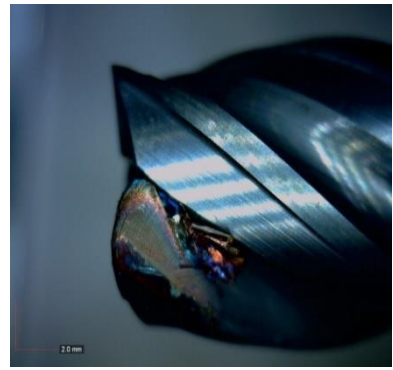
3



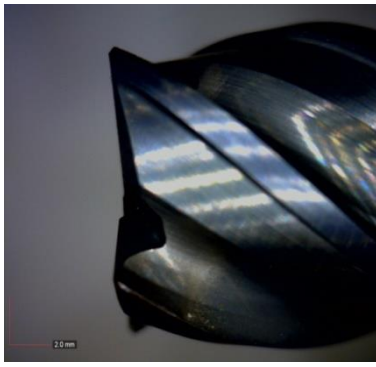
4



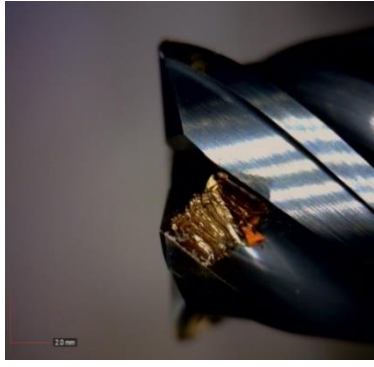
5



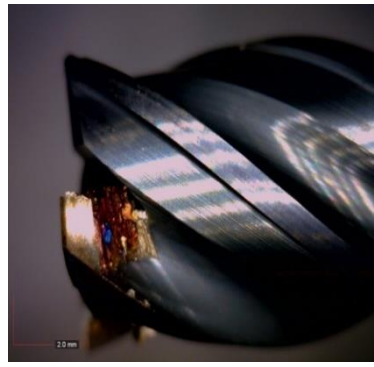
6



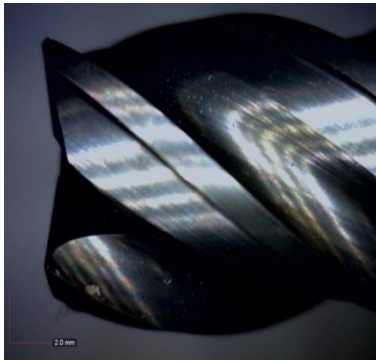
7



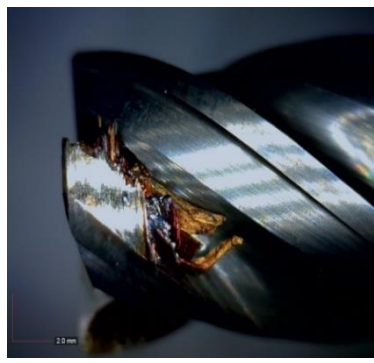
8



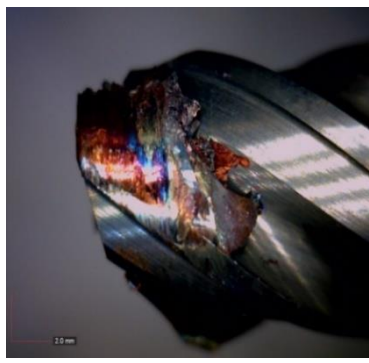
9



10

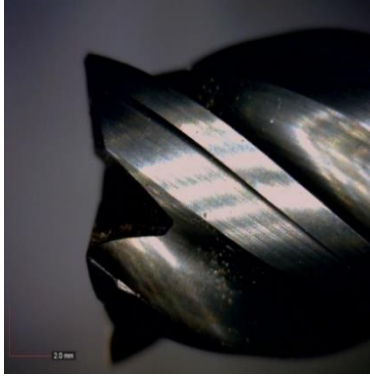


11

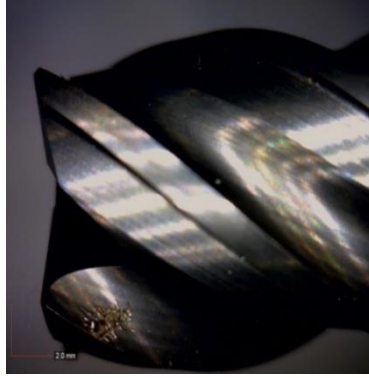


12

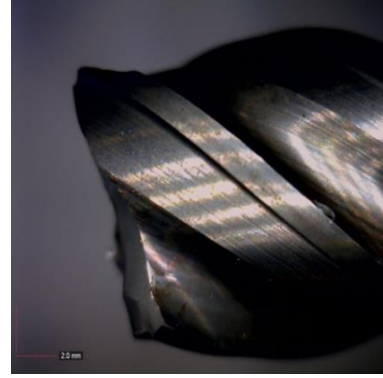
EK-3. (devam) AISI 304 ve AISI 316L çeliklerin deney sırasına göre takım görüntüleri



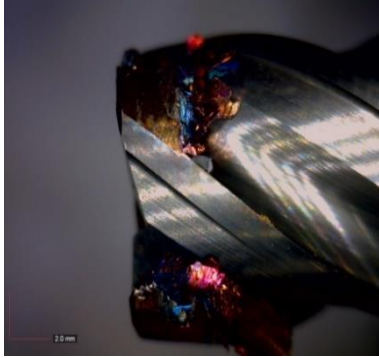
13



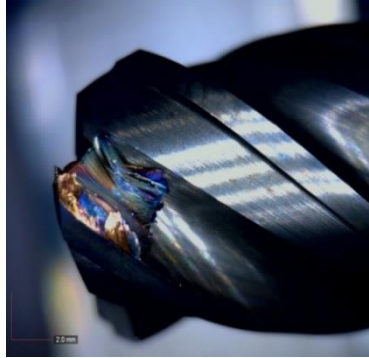
14



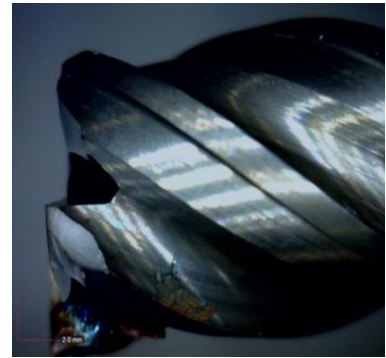
15



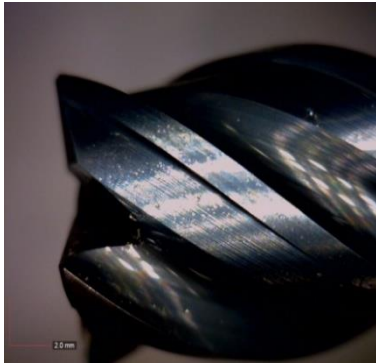
16



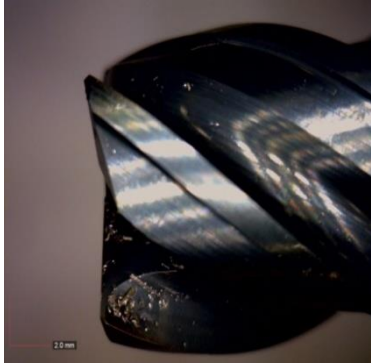
17



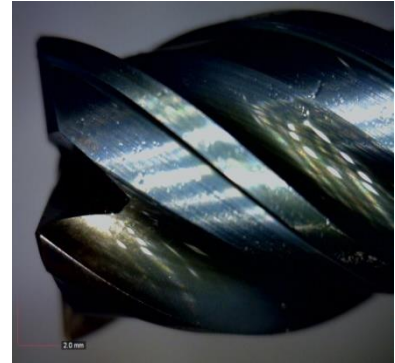
18



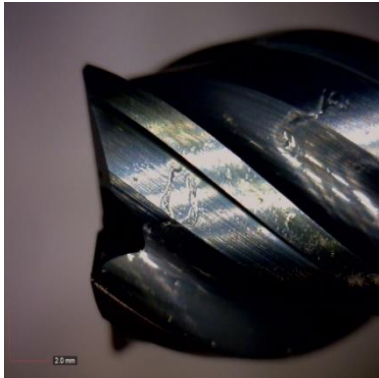
19



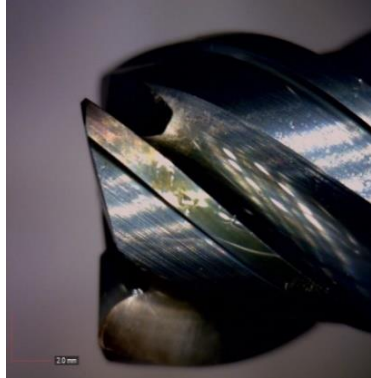
20



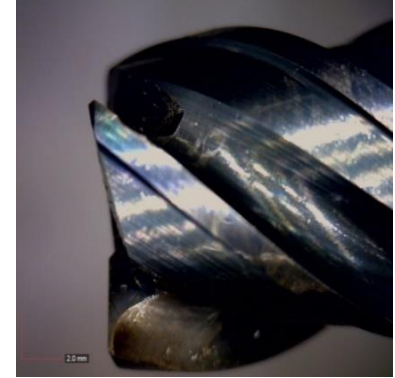
21



22

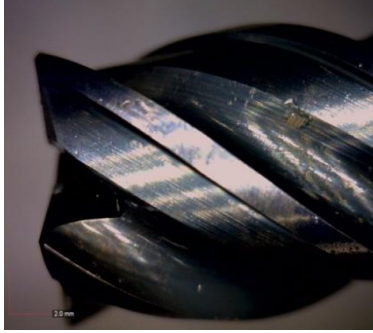


23

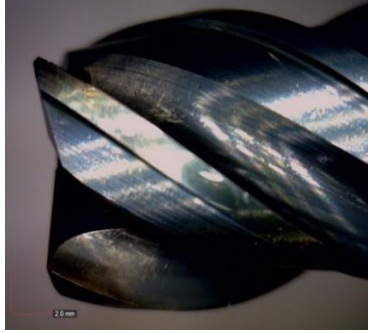


24

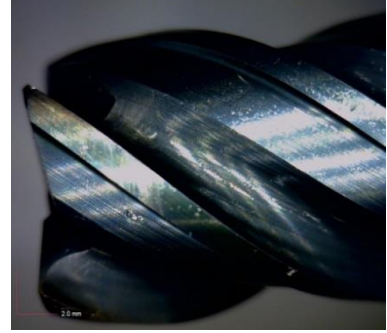
EK-3. (devam) AISI 304 ve AISI 316L çeliklerin deney sırasına göre takım görüntüleri



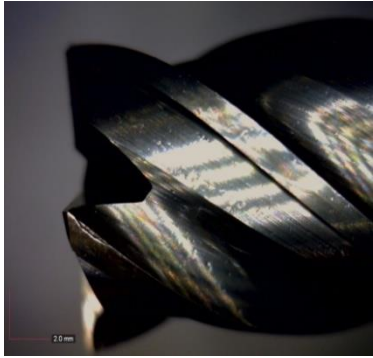
25



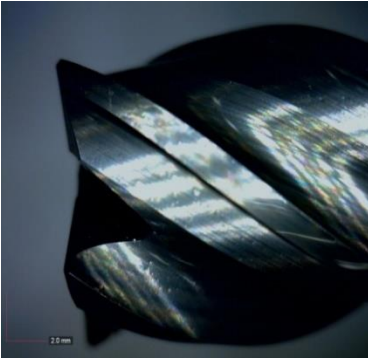
26



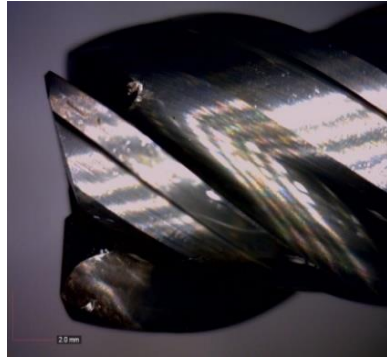
27



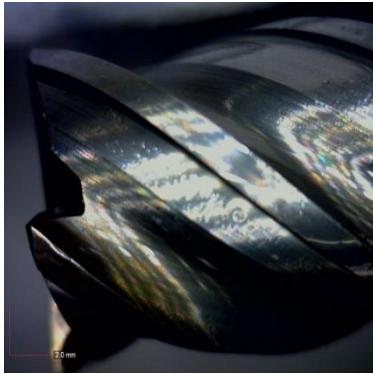
28



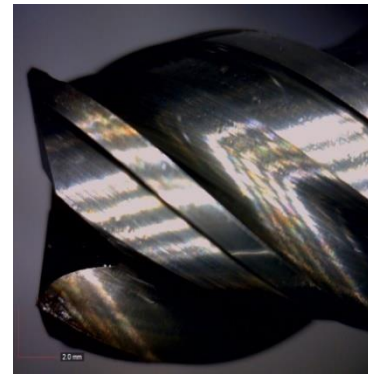
29



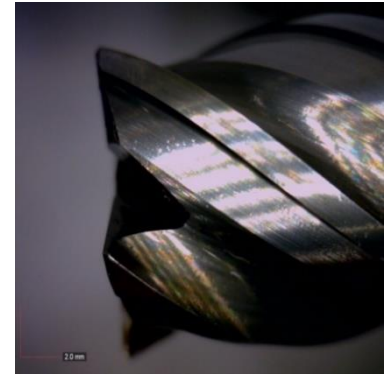
30



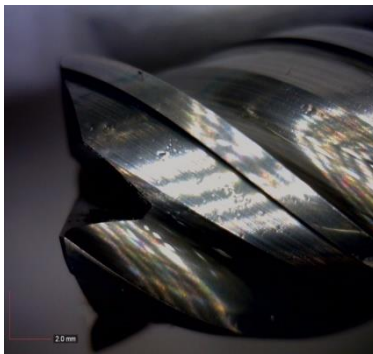
31



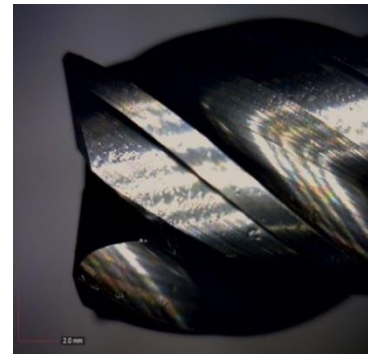
32



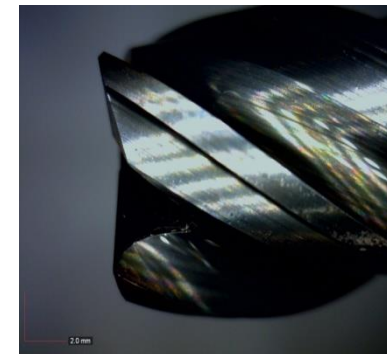
33



34

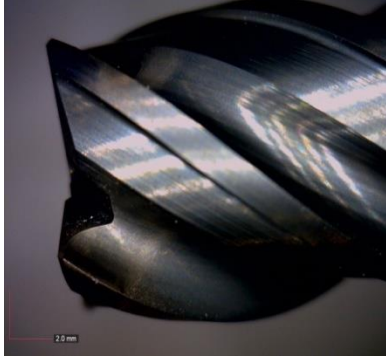


35



36

EK-3. (devam) AISI 304 ve AISI 316L eliklerin deney sırasına gre takım görüntüleri



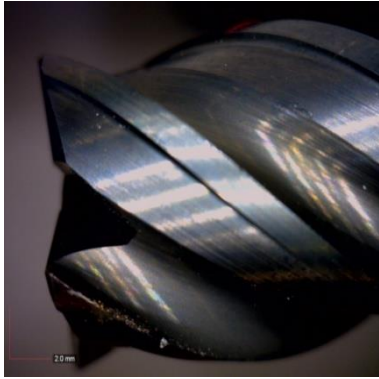
37



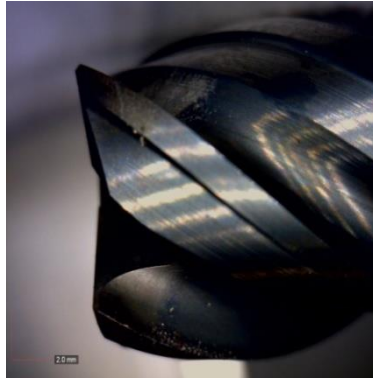
38



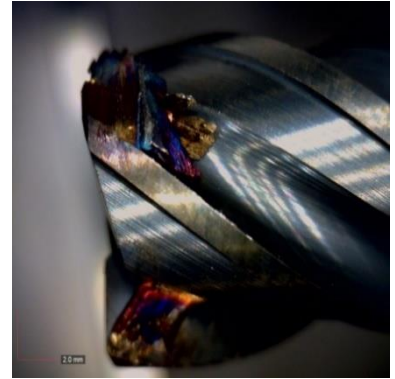
39



40



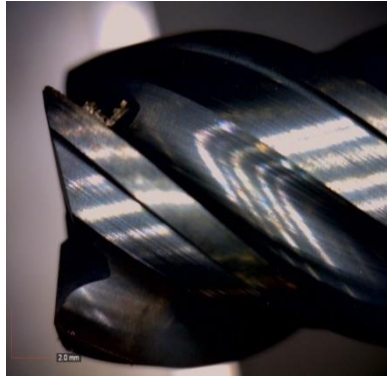
41



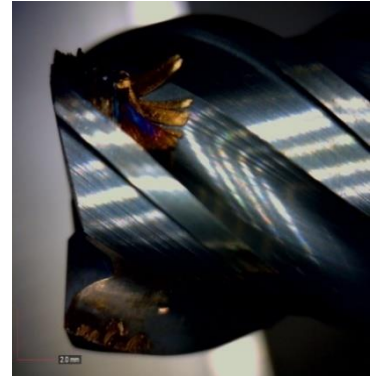
42



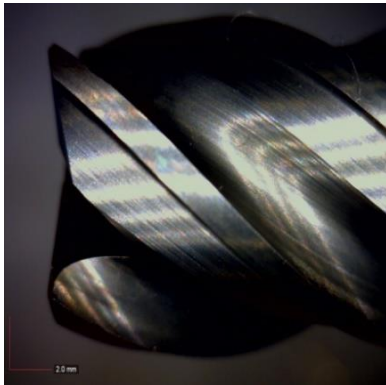
43



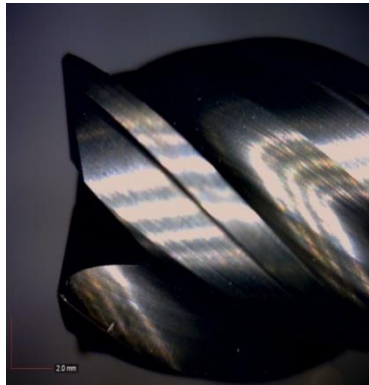
44



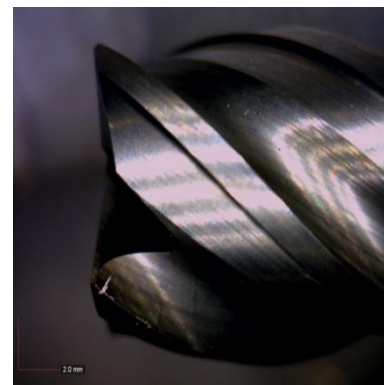
45



46

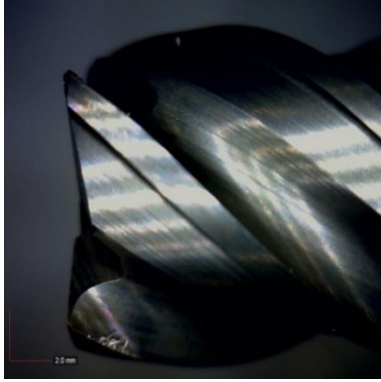


47

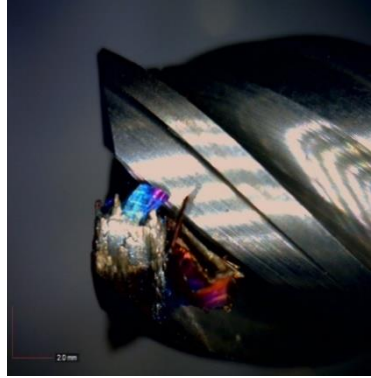


48

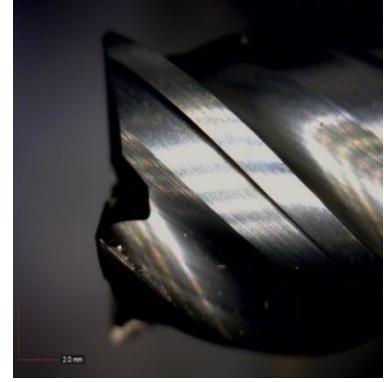
EK-3. (devam) AISI 304 ve AISI 316L eliklerin deney sırasına gre takım görüntüleri



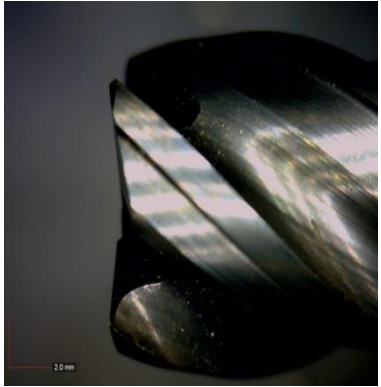
49



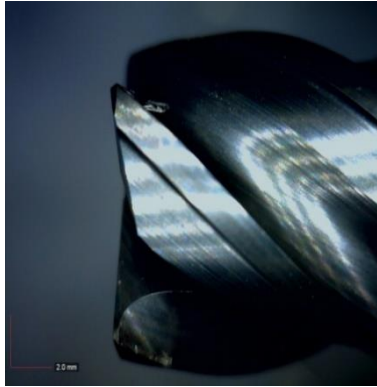
50



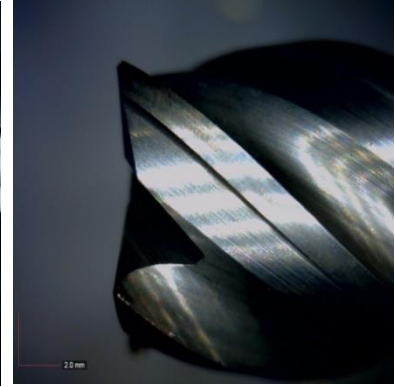
51



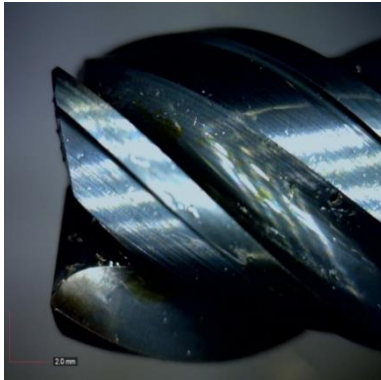
52



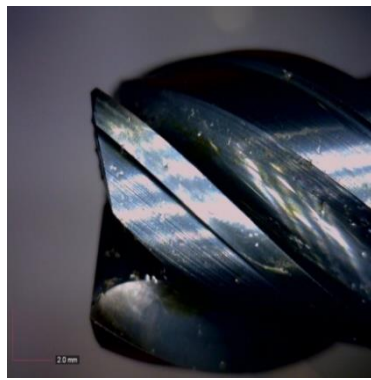
53



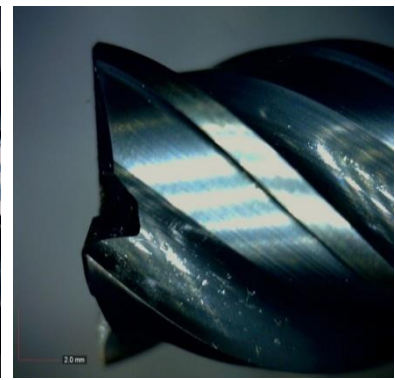
54



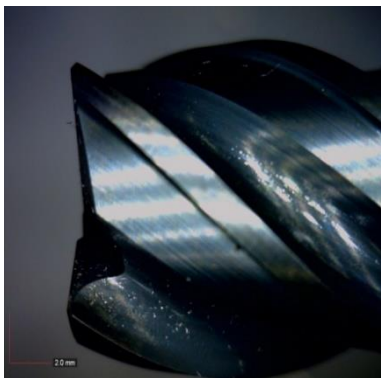
55



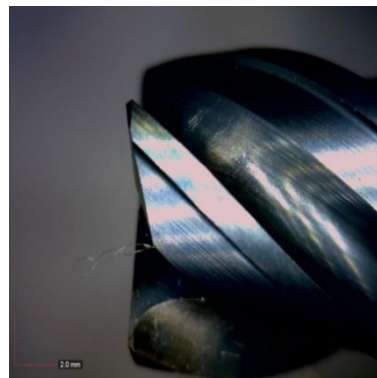
56



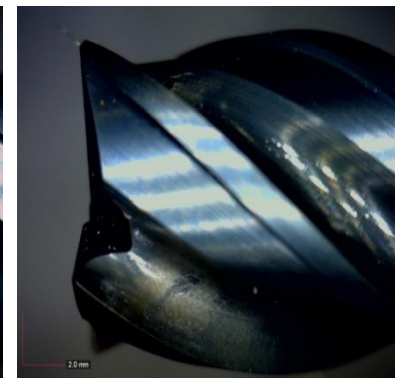
57



58

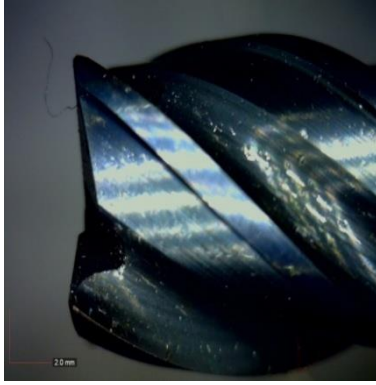


59

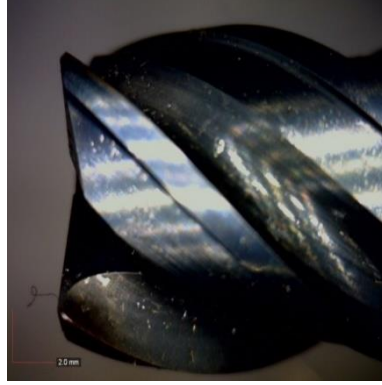


60

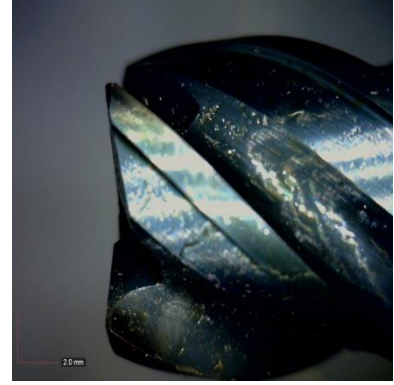
EK-3. (devam) AISI 304 ve AISI 316L eliklerin deney sırasına gre takım görüntüleri



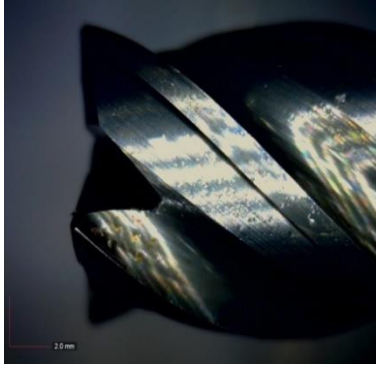
61



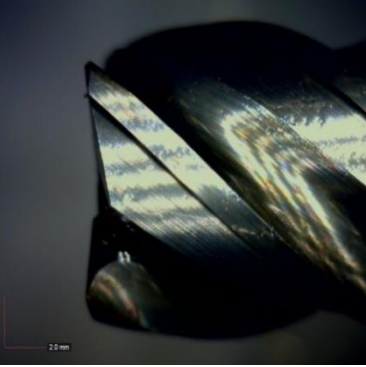
62



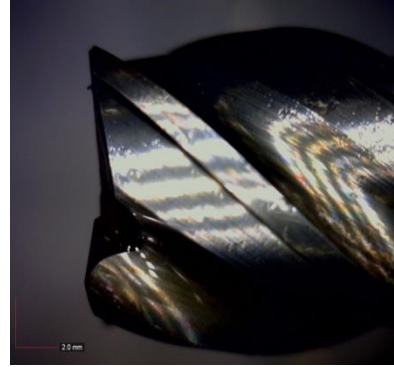
63



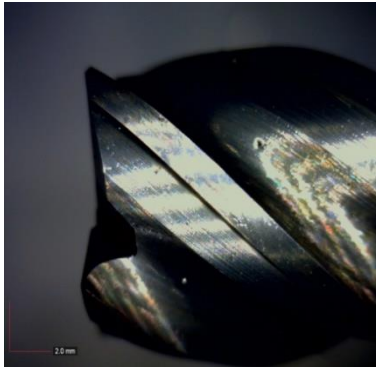
64



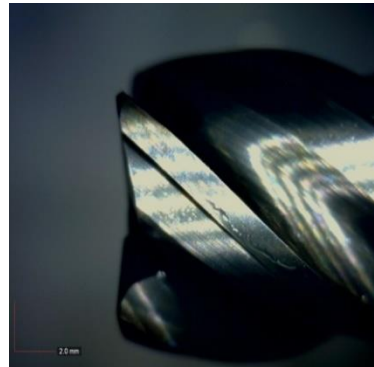
65



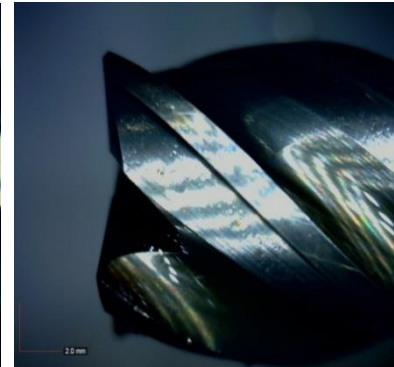
66



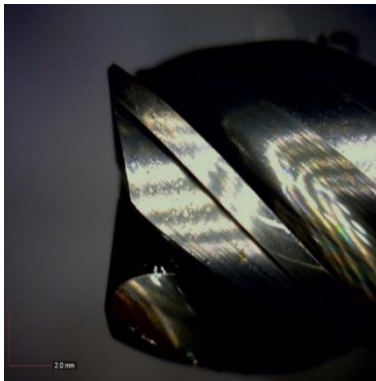
67



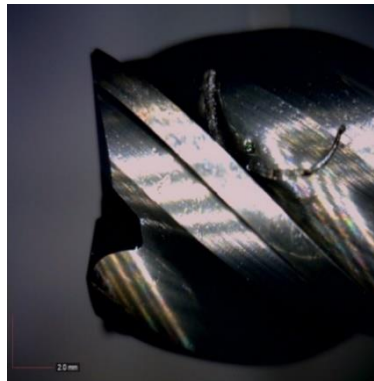
68



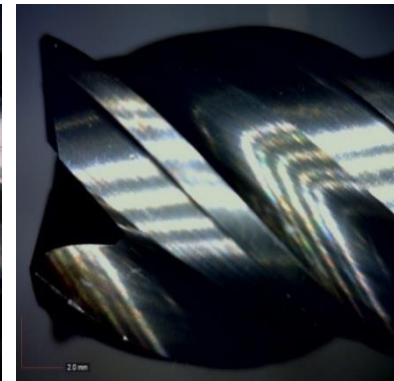
69



70



71

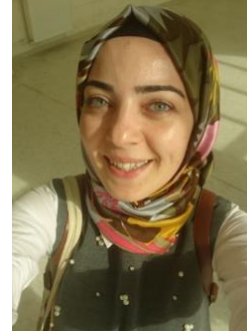


72

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YILDIZ Tuğba
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 18.06.1991 Sivas
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (553) 594 32 67
 e-mail : tugbayldzmakine79@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İmalat Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Bozok Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2013
Lise	Ali Naili Erdem Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Ankara Büyükşehir Belediyesi Etüd ve Proje Müdürlüğü (BELKA)	Makina Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Yıldız. T. ve Dilipak H. (2019). “Paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin araştırılması” 3. Uluslararası Bilimsel Çalışmalarda Yenilikçi Yaklaşımlar Sempozyumu, ISAS 2019, Ankara

Hobiler

Yüzme, kitap okuma, tarihi eserleri gezme ve sinema



GAZİ GELECEKTİR...