

**T.C.  
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ATOMİZE EDİLMİŞ SOYA YAĞI EMÜLSİYONLARININ  
KESME PERFORMANSINA ETKİSİ**

**Selim BACAĞ**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi. Ömer KARABIYIK**

**ISPARTA - 2020**



© 2020 [Selim BACAK]

## TEZ ONAYI

### ATOMİZE EDİLMİŞ SOYA YAĞI EMÜLSİYONLARININ KESME PERFORMANSINA ETKİSİ

**Selim BACAĞ** tarafından hazırlanan bu tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

#### İmza

**Danışman** **Dr. Öğr. Üyesi Ömer KARABIYIK**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Üye** **Prof. Dr. Ulvi ŞEKER**  
Gazi Üniversitesi



**Üye** **Doç. Dr. Fatih TAYLAN**  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



**Üye** **Doç. Dr. Gültekin BASMACI**  
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



**Üye** **Dr. Öğr. Üyesi. Nihat YILMAZ**  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ....../...../.....  
tarih ve ...../..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Yusuf UÇAR**  
Enstitü Müdürü

## ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

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 çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezime ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

23/12/2019

**Selim BACAK**



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	6
2.1. Bitkisel Yağ ile İlgili Çalışmalar ve Çevresel Yaklaşım .....	7
2.2. Püskürtme Sistemi ve Bitkisel Yağ Kullanımı .....	12
2.3. Kaynak Araştırmasının Değerlendirilmesi.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	19
3.1. Kesme .....	19
3.1.1. Kesme modelleri .....	20
3.1.2. Kesme kuvvetleri .....	20
3.2. Takım Ömrü .....	23
3.3. Takım Aşınması .....	23
3.3.1. Aşınma mekanizmaları .....	24
3.3.1.1. Abrasif (aşındırıcılarla) aşınma mekanizması.....	24
3.3.1.2. Difüzyon (atomik yer değiştirme) aşınma mekanizması .....	24
3.3.1.3. Oksidasyon aşınma mekanizması .....	25
3.3.1.4. Yorulma ile aşınma mekanizması .....	25
3.3.1.5. Adhezyon (yapışma) aşınma mekanizması .....	25
3.3.2 Takım aşınma çeşitleri .....	26
3.4. Yüzey Pürüzlülüğü.....	26
3.4.1. Yüzey kalitesini etkileyen faktörler .....	27
3.5. Kesme Sıvıları.....	28
3.5.1. Kesme sıvılarının görevleri .....	28
3.5.2. Kesme sıvılarının sınıflandırılması .....	28
3.5.2.1. Kesme yağları.....	28
3.5.2.2. Su esaslı kesme sıvıları .....	29
3.5.2.2.1. Çözülebilir yağlar .....	29
3.5.2.2.2. Yarı sentetik kesme sıvıları .....	30
3.5.2.2.3. Sentetik kesme sıvıları .....	30
3.6. Temas Açısı.....	31
3.7. Ultrasonik Ses Üretimi ve Kullanım Alanları .....	31
3.7.1. Alçak frekanslı ses (Infrasonik) .....	32
3.7.2. Yüksek frekanslı ses (Ultrasonik) .....	32
3.7.3. Çok yüksek frekanslı ses (Megasonik) .....	32
3.7.4. Ultrasonik sesin üretilmesinde kullanılan transdüserler .....	32
3.8. Varyans Analizi.....	33
3.9. Belirlilik Katsayısı ( $R^2$ ).....	34
3.10. Materyal .....	35
3.10.1. CNC torna tezgâhı.....	35
3.10.2. Dinamometre ve amplifikatör .....	36
3.10.3. Yüzey pürüzlülük cihazı.....	37
3.10.4. Stereo zoom mikroskop .....	37

3.10.5. Tarama elektron mikroskobu (TEM) .....	37
3.10.6. Veri toplama kartı .....	38
3.10.7. Refraktometre.....	38
3.10.8. Ultrasonik atomizer.....	38
3.10.9. Temas açısı ölçüm cihazı .....	39
3.10.10. Soya yağı.....	40
3.10.11. AISI 4140 Islah çeliği .....	40
3.10.12. Kaplamasız karbür takımlar .....	41
3.10.13. Ticari kesme sıvısı.....	42
3.11. Yöntem.....	43
3.11.1. Deney tasarımı ve kesme parametrelerinin belirlenmesi .....	43
3.11.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi.....	45
3.11.3. Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi .....	45
3.11.4. Deney sonuçları için ANOVA analizi.....	45
3.11.5. Takım aşınması ölçümleri .....	46
3.11.6. Temas açısının ölçümü.....	47
3.11.7. Deney şeması .....	47
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	49
4.1. Temas Açısı Bulguları.....	49
4.2. Kesme Kuvveti Bulguları.....	50
4.3. Yüzey Pürüzlülüğü Bulguları.....	56
4.4. Takım Ömrü ve Aşınması Bulguları .....	60
4.5. Kesme Kuvveti İçin Varyans Analizi (ANOVA) .....	72
4.6. Takım Ömrü İçin Varyans Analizi (ANOVA).....	75
4.7. Yüzey Pürüzlülüğü İçin Varyans Analizi (ANOVA) .....	77
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	80
KAYNAKLAR .....	83
ÖZGEÇMİŞ .....	90

## ÖZET

### Doktora Tezi

## ATOMİZE EDİLMİŞ SOYA YAĞI EMÜLSİYONLARININ KESME PERFORMANSINA ETKİSİ

Selim BACAĞ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ömer KARABIYIK

Tez çalışmasında, sürdürülebilir üretim kapsamında bir kesme sıvısı üretilmiştir. Bu kesme sıvısı doğaya ve insana zararlı etkileri olan sentetik ve yarı sentetik yağlardan oluşmuş kesme sıvılarına alternatif bir kesme sıvısıdır. Su ve soya yağı karışımından oluşan sıvı ultrasonik atomizasyon yöntemi ile pülverize edilip, 4 bar'lık basınçlı hava ile püskürtülerek kullanılmıştır. Çalışmada Ç 4140 çeliğini, kaplamasız karbür kesici uç (SECO WNMG080404-M1) kullanılarak CNC torna tezgâhında işlenebilirlik üzerine etkilerini araştırmak amaçlanmıştır. Üç ayrı kesme hızı (150, 200, 250 m/dak), üç ilerleme miktarı (0.1, 0.15, 0.2 mm/dev) ile dört kesme sıvısı (%1, %5, %10 soya yağı-su karışımı ve ticari kesme sıvısı) ve kuru kesme şartlarında deneyler yapılarak kıyaslama yapılmıştır. Tüm deneylerde kesme derinliği 1 mm, kesme uzunluğu 100 mm olarak uygulanmıştır.

Deneyler sonucunda kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması değerleri incelenmiştir. Tüm parametrelerde en iyi sonuçlar %10 soya yağı – su karışımının ultrasonik atomizer kullanılarak püskürtülmesi sonucunda çıkmıştır. Kesme kuvvetlerinde, yüzey pürüzlülüğünde azalma ve takım ömründe artış sağlanmıştır. En kötü değerler ise kuru kesme şartında yapılan deneylerde oluşmuştur.

Elde edilen değerlerin ANOVA yöntemi ile analizi yapılmış, sonuçlar 3B yüzey grafikleri ile değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirildikten sonra, yüzdelik etki oranları, regresyon analizi denklemleri ve optimizasyon değerleri önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilir üretim, Bitkisel kesme sıvısı, Ultrasonik atomizer, Takım aşınması, Kesme kuvveti, Yüzey pürüzlülüğü.

2020, 90 Sayfa

## **ABSTRACT**

**Ph.D. Thesis**

### **THE EFFECT OF ATOMIZED SOYBEAN OIL EMULSIONS ON CUTTING PERFORMANCE**

**Selim BACAĞ**

**Isparta University of Applied Sciences  
The Institute of Graduate Education  
Department of Manufacturing Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ömer KARABIYIK**

In the thesis, a cutting fluid is produced with in the scope of sustainable production. This cutting fluid is an alternative to cutting fluids consisting of synthetic and semi-synthetic oils which are harmful to nature and human. Water and soybean oil mixture is pulverized by ultrasonic atomization method and used by sprayed with 4 bar pressure compressed air. The aimed of in this study, to investigate the effects of Ç 4140 steel on machinability on CNC turning machine with uncoated carbide cutting tool (SECO WNMG 080404-M1). Three cutting speeds (150, 200, 250 m/min), Three feed rate (0.1, 0.15, 0.2 mm/rev), four coolants (1%, 5%, 10% soybean oil-water mix and commercial coolant) were compared by doing experiments under dry shear conditions. In all experiments, the cutting depth was 1 mm and the cutting length was 100 mm.

At the end of the experiments, cutting force, surface roughness and tool wear values were examined. The best results for all parameters were obtained by spraying 10% soybean oil-water mixture using ultrasonic atomizer. A decrease in cutting forces, surface roughness and an increase in tool life were observed. The worst values were obtained in dry shear tests.

The results were analyzed by ANOVA method and the results were evaluated with 3B surface graphics. After the analysis results were evaluated, percentage effect rates, regression analysis equations and optimization values were suggested

**Key words:** Sustainable production, Vegetable cutting fluid, Ultrasonic atomizer, Tool wear, Cutting force, Surface roughness.

**2020, 90 pages**



## TEŞEKKÜR

Bu alıőmada, beni ynlendiren, yardımlarımı aldığım Danışman hocam Dr. ğr. yesi mer KARABIYIK ve Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e teőekkrlerimi sunarım. Desteklerini esirgemeyen mesai arkadaőlarım, deneyleri gerçekleőtirdiđim Süleyman Demirel Üniversitesi YETEM Merkezi, Tasarım ve İmalat Teknolojileri personeline

4994-D1-17 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Baőkanlıđı'na teşekkür ederim.

Tezim süresince desteklerini, ilgilerini her zaman hissettiğim aileme, okuma hevesi hiç bitmeyen ve birçok konuda kendisinden feyz aldığım abime, uzunca zamandır tamamlamam için bekleyen ve sabreden eőime, az zamanda çok yol katettiren her daim yanımda olan manevi desteklerini esirgemeyen dostlarım, çocuklarım sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

**Selim BACAK**  
ISPARTA, 2020

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Kesme kuvvetlerinin bileşenleri .....	21
Şekil 3.2. Talaş kesitinin takım yanaşma açısı ile ilişkisi .....	21
Şekil 3.3. Dik kesme geometrisi [(a) düz parçalarda dik kesme, (b) Silindirik parçalarda dik kesme] .....	22
Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülük grafiği .....	27
Şekil 3.5. Su damlasının yüzeye tutunmasına göre değişen temas açısı .....	31
Şekil 3.6. Ultrasonik transdüser .....	33
Şekil 3.7. Ultrasonik atomizer şeması .....	39
Şekil 3.8. 50kHz ultrasonik atomizer .....	39
Şekil 3.9. Temas açısı ölçüm cihazı .....	40
Şekil 3.10. SECO Kaplamasız karbür kesici takım özellikleri .....	42
Şekil 3.11. Deney şeması .....	48
Şekil 3.12. Deney düzeneği .....	48
Şekil 4.1. Kesme akışkanlarının temas açısı değerlerinin ortalamaları .....	50
Şekil 4.2. Temas açısı ölçüm görüntüleri .....	50
Şekil 4.3. 150 m/dak Kesme hızında ilerleme miktarı ve kesme sıvısındaki değişimlere bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerindeki değişim .....	52
Şekil 4.4. 200 m/dak Kesme hızında ilerleme miktarı ve kesme sıvısındaki değişimlere bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerindeki değişim .....	52
Şekil 4.5. 250 m/dak Kesme hızında ilerleme miktarı ve kesme sıvısındaki değişimlere bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerindeki değişim .....	52
Şekil 4.6. Kesme kuvvetinin, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı gösterimi .....	55
Şekil 4.7. 150 m/dak Kesme hızındaki ortalama yüzey pürüzlüğü grafiği .....	57
Şekil 4.8. 200 m/dak Kesme hızındaki ortalama yüzey pürüzlüğü grafiği .....	57
Şekil 4.9. 250 m/dak Kesme hızındaki ortalama yüzey pürüzlüğü grafiği .....	57
Şekil 4.10. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve ilerlemeye bağlı gösterimi .....	60
Şekil 4.11. 150 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği .....	63
Şekil 4.12. 150m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği .....	63
Şekil 4.13. 150 m/dak. kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği .....	63
Şekil 4.14. 200 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme miktarında takım ömrü grafiği .....	64
Şekil 4.15. 200 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme miktarında takım ömrü grafiği .....	64
Şekil 4.16. 200 m/dak kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği .....	65
Şekil 4.17. 250 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği .....	65
Şekil 4.18. 250 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği .....	66
Şekil 4.19. 250 m/dak Kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği .....	66
Şekil 4.20. Takım ömrünün kesme hızı ve ilerlemeye bağlı gösterimi .....	67
Şekil 4.21. V=150 m/dak f=0,2 mm/dev (a) %10 soya yağı – su, (b) ticari kesme sıvısı, (c) kuru kesme şartlarındaki aşınma görüntüleri .....	69

Şekil 4.22. $V=200$ m/dak $f=0,2$ mm/dev (a) %10 soya yağı – su, (b) ticari kesme sıvısı, (c) kuru kesme şartlarındaki aşınma görüntüleri .....	70
Şekil 4.23. $V=250$ m/dak $f=0,2$ mm/dev (a) % 10 soya yağı – su, (b) ticari kesme sıvısı, (c) kuru kesme şartlarındaki aşınma görüntüleri .....	71
Şekil 4.24. Kesme hızı 200 ve 250 m/dak $f=0,2$ mm/dev’de meydana gelen kesici uç kırılmalarına örnekler .....	72
Şekil 4.25. Esas kesme kuvvetine ( $F_c$ ) ait artık analizi .....	74
Şekil 4.26. Esas kesme kuvveti optimizasyon .....	74
Şekil 4.27. Takım ömrüne (T) ait artık analizi .....	76
Şekil 4.28. Takım ömrü optimizasyonu .....	77
Şekil 4.29. Yüzey pürüzlülüğüne ( $R_a$ ) ait artık analizi .....	78
Şekil 4.30. Yüzey pürüzlülüğü optimizasyonu .....	79



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Deneyleerde kullanılan makine ve teçhizat .....	35
Çizelge 3.2. CNC torna tezgâhı özellikleri .....	36
Çizelge 3.3. Kistler 9257 B dinamometrenin teknik özellikleri.....	36
Çizelge 3.4. Kistler 5070A amplifikatör teknik özellikleri.....	36
Çizelge 3.5. Hommel Werke T 500 yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri...	37
Çizelge 3.6. OLYMPUS SZ 61 stereo zoom mikroskop teknik özellikleri .....	37
Çizelge 3.7. TEM cihazı teknik özellikleri .....	37
Çizelge 3.8. Veri toplama kartı özellikleri .....	38
Çizelge 3.9. Refraktometre cihazının teknik özellikleri.....	38
Çizelge 3.10. KSV CAM 101 teknik özellikleri .....	40
Çizelge 3.11. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu .....	41
Çizelge 3.12. AISI 4140 çeliğinin ısıl özellikleri .....	41
Çizelge 3.13. AISI 4140 çeliğinin mekanik özellikleri .....	41
Çizelge 3.14. B-Cool 655 kesme sıvısının özellikleri.....	42
Çizelge 3.15. Deney deseni.....	44
Çizelge 4.1. Temas açısı ölçümleri .....	49
Çizelge 4.2. Deneysel çalışmada elde edilen kesme kuvveti değerleri.....	51
Çizelge 4.3. Elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri .....	56
Çizelge 4.4. Elde edilen takım ömrü değerleri.....	61
Çizelge 4.5. Esas kesme kuvveti için ANOVA bulguları $P<0,05$ .....	73
Çizelge 4.6. Takım ömrü için ANOVA bulguları $P<0,05$ .....	75
Çizelge 4.7. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA bulguları $P<0,05$ .....	77

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	Talaş derinliği (mm)
b	Talaş genişliği (mm)
h	Talaş kalınlığı (mm)
f	İlerleme (mm/dev)
Fc	Esas kesme kuvveti (N)
Ff	İlerleme kuvveti (N)
Fr	Radyal kuvvet (N)
re	Takım ucu yarıçapı (mm)
L	Numune uzunluğu (mm)
Ra	Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değeri ( $\mu\text{m}$ )
Rmax	Maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı ( $\mu\text{m}$ )
Rt	Maksimum tepe yüksekliği ( $\mu\text{m}$ )
R <sup>2</sup>	Belirtme sayısı
Kr	Kesici Takım Yanaşma Açısı, ( $^{\circ}$ )
VB	Kesici takım aşınması (mm)
V	Kesme hızı (mm/dak)
T	Takım ömrü (dakika)
3B	3 Boyutlu
AISI	Amerikan Çelik ve Demir Enstitüsü (American Institute of Steel and Iron)
ANOVA	Varyans analizi (Analysis Of Variance)
BUE	Kesici Kenarda Malzeme Birikmesi (Built-Up Edge)
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Denetim (Computer Numerical Control)
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapour Deposition)
ISO	Uluslararası Standardlar Organizasyonu (International Organization for Standardization)
ML	Minimum Miktarda Yağlama (Minimum Quantity Lubrication)
MQCL	Minimum Miktarda Soğutma Yağlaması (Minimum Quantity Cooling Lubrication System)
SEM	Tarama Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
S/N	Sinyal/Gürültü oranı (Signal to Noise Ratio)

## 1. GİRİŞ

Metal işleme sektörü tüm dünyada sanayi sektörünün temelini oluşturmaktadır. Güçlü bir ekonomiye sahip olmak isteyen ülkeler sanayi ve teknoloji alanında kendilerini güçlendirmek için sürekli olarak araştırma içindedirler. Metal işleme sektörünü oluşturan temel kuramlara bakıldığında soğutma sıvıları gerek takım ömrü gerek işlenebilirlik gerekse çevresel ve ekonomik sonuçlarından dolayı önemli bir yere sahiptir. Talaşlı üretim sırasında uygun şartlarda yapılan bir soğutma işlemi, iş parçası işleme süresinden, takım ömrüne, kesme sıvısı imha maliyetine gibi birçok konuda tasarruf sağlayabilmektedir.

Yağlama özelliğine sahip akışkanlar, makine ve parçalarını yağlamak için endüstrinin birçok alanında kullanılır. Metal işlemede kullanılan kesme akışkanları 200 yıla yakın bir süredir kullanılan yağlayıcı çeşitlerindedir (Giralto vd., 2007). Talaşlı üretimde, talaşların nasıl ortaya çıktığı ve kesme akışkanının görevinin neler olduğu ile ilgili birçok araştırma mevcuttur (Çakır ve Kılıçkap, 2001; Çakır vd., 2004). Metallerin işlenmesi esnasında, malzemedan talaşın koparak kesici uçla takım arasında sıkışması sebebiyle kesme hızından dolayı yüksek ısı meydana gelmektedir. Malzeme ile takım ucu arasında oluşan kuvvet, basınç, sıcaklık ve gerilme gibi etkenler, işleme süresi sonunda; kesici takımda, aşınma ve yıpranmalara, uç kısmında kırılmalara ve malzeme ile kesici takım arasında büyük sıcaklık ve sürtünme meydana gelmesine yol açmaktadır. Talaşlı imalatta eğer kesme sıvısı kullanılıyorsa, sıvı içerisindeki katkı maddeleri, iş parçası yüzeyi ile reaksiyona girerek takım ucu ile arasına yağlayıcı bir katman örtüsü oluşturur. Böylelikle aşınmayı ve sürtünmeyi önlemiş olurlar (Pawlak vd., 2005). Bu katman, takım ve malzeme arasındaki sürtünme oranını azalttığından enerji korunumunu sağlar ve kesici takım üzerindeki aşınmayı minimum seviyede tutmaya çalışır, dolayısıyla kesici takımın ömrünü artırır ve iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde edilmesini sağlar. (Çakır ve Kılıçkap, 2001; Çakır vd., 2004; Cerit, 1994; Singh ve Gupta, 2006).

Talaşlı üretimdeki kesme sıvılarının karışımları su içindeki madeni yağ, sentetik sıvıdan veya bitkisel yağdan meydana gelmiştir. Su içermeyen yağ içerikli sıvılar genellikle çok iyi yağlama sağlarken, su bazlı sıvılar daha iyi soğutma sağlamaktadır.

Endüstrideki çoğalan imalat oranıyla, su bazlı sıvılar daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Misra ve Sköld, 2000, Çakır ve Kılıçkap, 2001; Çakır vd., 2004).

Su, kesme sıvılarında kullanılan en önemli akışkan ve soğutma aracı olsa da, tek başına bir kesme sıvısı olamaz. Çünkü suyun pas oluşumunu engelleme özelliği yoktur. Suyun yağ ile karışımı sonucu elde edilecek homojen çözelti, soğutma sıvısı özelliği kazanır ve istenilen yağlamayı sağlar. Metal kesme sıvıları ilk önce mineral ve hayvansal yağlar kullanılarak oluşturulmaktaydı. Gelişen teknoloji ile insan sağlığının çok önem kazandığı son yıllarda metal kesme sıvıları yeni yöntemlerle geliştirilmeye başlandı. AR-GE çalışmaları öncelikli olarak biyo bozunabilir kesme sıvılarının üretimi ve atıkları imha etme metotları üzerine yoğunlaşmış durumdadır (Akagawa, 1997).

Bitkisel yağ kullanımı, talaşlı imalatta alternatif olarak düşünülen yağlar kategorisine girmiştir. Çeşitli bitkisel yağların su ve bazı katkı maddeleri ile karıştırılmasıyla oluşturulan karışımların soğutma sıvısı olarak kullanılması sonucu, olumlu geribildirimlerin de gelmesiyle, araştırmacılar bitkisel yağ ile hazırlanabilecek soğutma sıvısı karışımlarına yönelmişlerdir.

Soğutma sıvılarının yağlama ve soğutma özelliklerini barındırması, insan sağlığını da etkilememesi beklenmektedir. Yüksek hızda yapılan talaşlı imalat işlemlerinde, çalışılan tezgâh açık alanda ise, bu alandaki havalandırma tertibatı yeterli değilse veya çalıştırılmıyorsa, çalışan personelin kimyasal etkilere maruz kalması yüksek oranlarda olmakta, bu durum ise solunum yoluyla oluşan hastalıklara zemin hazırlamaktadır. Kesme sıvılarının cilde teması ile isilik, şişme, kızarıklık ve cilt tahrişi gibi belirtiler ortaya çıkabilecek rahatsızlıklardır.

ISO 14000 çevre yönetmeliğinde yapılan değişiklikle mineral yağ bazlı metal kesme sıvılarının tüketimi düşmüştür. (Singh ve Gupta, 2006). Metal endüstrisi geri dönüşüm sorunlarını çözmek veya en aza indirmek için alternatif kesme sıvılarının geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapmaktadır. Hayvansal yağlar metal kesme sıvısı için kullanıldığında yüksek sıcaklıklarda kokma sorunu oluşmuş, sıvının tezgâhta bekleme süresi arttığında ise hızlı bozulmalar meydana gelmiştir. Petrokimya ürünü metal kesme sıvılarının doğada ayrışmasının uzun yıllar alması ekolojik dengeyi

olumsuz etkilemektedir. Aynı zamanda bu tarz sıvıların çalışma esnasında insan cildine teması tahrişlerin ve kızarıkların olmasına sebep olmaktadır. Gerçek anlamda en iyi çözelti, bütünüyle biyolojik olan ve ayrışabilen kesme sıvılarıdır. Çevre dostu olarak bilinen bitkisel bazlı kesme sıvısı karışımlarına talep gün geçtikçe artmaktadır (Glen ve Van Antwerpen, 1998). Bitkisel bazlı kesme sıvıları doğada ayrışma oranı yüksek olan, toksik olmayan, sentetik ve yarı sentetik yağlara göre daha ucuz olması nedeniyle caziptirler.

Bitkisel bazlı kesme sıvıları, bir kesme sıvısında bulunması gereken; yağlayıcılık, yüksek viskozite, yüksek parlama noktası ve düşük uçuculuk gibi temel özellikleri sağlamaktadır. Bu avantajlar temel olarak polar ester yapısına ve hidrokarbonlardan türetilmiş ham petrolle kıyaslandığında daha yüksek molekül ağırlığına bağlıdır (D'Sousa vd., 1991; Campanella vd., 2010; Maleque vd., 2003).

Dünyadaki yağlı tohumlara bakıldığında ekonomik değere sahip en önemlileri soya, ayçiçeği, kanola, mısır, zeytin, pamuk, aspir, susam ve hint yağlarıdır. En fazla yağ elde edilen bitkilere bakıldığında ise soya fasulyesi 31.2 milyon ton ile ilk sırada yer almaktadır. Çalışmada soya yağının tercih edilme sebeplerinden biri de, kimyasal özelliklerinin uygunluğu yanında üretiminin çok olmasından ötürü maliyetlerinin düşük olmasıdır.

Çalışmada kullanılacak soya yağının özellikleri incelenecek olursa, soya fasulyesinin %20 oranında yağ içeren tohumlarından üretilmektedir. Soya yağı, %4-11 linolenik, %44-62 oranında da linolenik asit içeriği içermesinden dolayı linolenik yağlar kategorisinde bulunmaktadır. Ayrıca %9-20 oranında toplam doymuş yağ asidine sahiptir. Soya yağının içeriğinde triterpenler, steroller ve tokoferoller gibi yağın sabunlaşmasını engelleyen maddeler bulunur. Rafine soya yağının tokoferol içeriğine karşın, %11'e yaklaşan linolenik asit miktarı soya yağının oksitlenmeyi karşı direncini azaltmaktadır. Fakat ham soya yağının oksidatif stabilitesi rafine soya yağına istinaden daha yüksektir.

Bu çalışmada literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak suya %1, %5 ve %10 oranların da soya yağı eklenip, herhangi bir katkı maddesi eklenmemiştir. Karıştırılan kesme sıvısı ultrasonik atomizer olarak adlandırılan cihaz yardımıyla sis buharı haline



getirilip CNC torna tezgâhında kesme sıvısı olarak püskürtülmüştür. Sistemin, kesme kuvveti, yüzey pürüzlüğü, takım aşınması gibi parametreler üzerlerindeki etkileri incelenmiştir. Bu sonuçlar ticari kesme sıvısı ve kuru kesme şartlarında yapılan deney sonuçları ile de kıyaslanmıştır. Ayrıca sonuçların her karışım oranı için ayrı ayrı değerlendirilmeleri ve karşılaştırılmaları yapıldıktan sonra, ANOVA yöntemi ile de istatistiksel analizi değerlendirilmiştir. Sistemin çevre dostu ve ekolojik dengeye zararsız oluşu, firmalar için imha maliyeti olmaması, insan sağlığına zarar veren etkilerden uzak kalması ve kesme parametrelerine olumlu etkisi gibi pozitif yönleri sebebiyle, başarılı olduğu görülebilmektedir.

Tezin birinci bölümünde, tez çalışmasında yapılacak işlemler ile ilgili genel bilgiler verilmekte olup, ikinci bölümde tez konusu ile ilgili olarak yayınlanmış literatür araştırılarak elde edilen makalelerden bölümler sunulmuştur. Üçüncü bölümde kuramsal temeller başlığı altında toplanıp, talaşlı imalat ile ilgili kısa bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde materyal ve metot yer almıştır. Deneylerde materyal olarak kullanılan malzemeler tanıtılmıştır. Kesici takım ucu, elektron tarama mikroskobu, dinamometre, soya yağı, stereo zoom mikroskop, yüzey pürüzlülük cihazı, CNC torna tezgâhın teknik özellikleri, temas açısı ölçüm cihazı ve ultrasonik atomizer ile ilgili bilgilendirilmiştir. Takım aşınması ölçümleri ve kesme kuvvetlerinin ölçümlerinin nasıl yapıldığından, yüzey pürüzlülük değerlerinin bulunma yöntemi ve temas açısının ölçümü gibi konular anlatılmıştır.

Tezin beşinci bölümü deney sonuçlarından elde edilen verilerinin incelendiği araştırma bulguları bölümüdür. Bu bölümde öncelikle temas açısı ölçümlerinden bahsedilmiştir. İkinci olarak kesme kuvveti sinyalleri irdelenmiştir. Üçüncü olarak her kesme işlemi sonunda malzeme yüzeyinden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Dördüncü olarak ise takım aşınması değerlerine bakılmıştır. Takım aşınması olarak ne tür aşınmalara rastlanıldığı, gibi sorular incelenmiştir. Son olarak da ANOVA analizi yapılarak sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilip, optimizasyon parametreleri oluşturulmuştur.

Tezin son bölümü olan sonuçlar kısmında, araştırma bulgularında verilerine ulaşılan, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülük, kesici takım aşınması değerleri ve ultrasonik atomizer ile püskürtülen kesme sıvıları değerlendirilmiş, varyans analizleri yapılarak kesme parametrelerinin ve karışım oranlarının etkileri istatistiksel olarak ortaya konmuştur. Tez konusu ile ilgili yapılabilecek diğer çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Talaşlı imalat, iş parçalarından malzeme kopartılarak amaca uygun şekilde tasarlanıp üretilen ürün olarak ifade edilir. Talaş kaldırma işlemlerinde tüm parçaların boyutsal standartlarda olmaları istenirken bunu etkileyen de birçok problem ortaya çıkmaktadır. Talaşlı imalat işlemleriyle üretilen parça kalitesini artırmaya ve ürün maliyetini düşürmeye yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar 1800'lü yılların başında Avrupa'da başlayan Endüstri Devrimi'nden bu yana devam etmektedir. Yapılan bu çalışmalar talaşlı imalatın bütün alanlarında (kesici takımlar, iş parçası malzemeleri ve takım tezgâhları) uygulanarak iddialı gelişmeler sağlanmıştır. Parçaların kesici takımlarla işlenmesi sırasında parçanın kalitesini etkileyen en önemli parametre, kesici takımların parçada oluşturduğu yüzey pürüzlülük değeridir. Birçok firma tarafından yüzey kalitesini iyileştirme adına AR-GE birimlerinde önemli harcamalar yapılmaktadır (Özyılmaz, 2011).

Kesme sıvısı kullanımı, fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı işleme sürecinde ortaya çıkan ısı ve mekanik zararları en aza indirmektedir. Kesme sıvısı kullanımı, soğutma işlemi gerçekleştirilmenin yanında yağlama yaparak sürtünmeyi azaltma ve kesme esnasında çıkan talaşı kesme bölgesinden uzaklaştırma gibi görevleri de üstlenmektedir. Bu sayede kesici takım ömrünü uzatmaya ve yüzey kalitesini artırmaya yardımcı olur (Yıldırım vd. 2015). Ancak, kesme sıvısı kullanımının üretim maliyetleri ve çevre/insan sağlığı açısından bazı zararlı etkileri olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır. Bir otomobil firmasının yapmış olduğu çalışma sonucunda kesme sıvısı maliyetinin üretim maliyetler içerisinde yaklaşık %13'lük bir paya sahip olduğu görülmektedir (Razak vd. 2010). Yapılan bir başka çalışmaya göre talaşlı imalat endüstrisinde kesici takım maliyeti toplam üretim maliyetinin %4 ila %8'ine denk gelirken kesme sıvısı kullanımı soğutma sistemi, depolama ve atık kontrolü gibi nedenlerden dolayı toplam üretim maliyetinin %7'si ile %17'si arasında değişen bir orana denk gelmektedir (Çalışkan vd. 2013).

Diğer taraftan, ABD'de her yıl 100 milyon galondan fazla kesme sıvısı kullanılırken yaklaşık 12 milyon işçi bu kesme sıvılarının potansiyel tehlikeleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Bütün bu nedenler sıralandığında, kesme sıvısı kullanımının gerek üretim maliyetleri üzerindeki etkisi gerekse de çevre ve insan sağlığına olan zararlı etkisinden

dolayı son dönemlerde hem araştırmacılar hem de sanayi kuruluşları kesme sıvısı kullanımını azaltmak için çaba harcamaktadırlar (Yıldırım vd. 2015).

Kesme sıvısının miktarını azaltarak soğutma-yağlama yapmak için günümüzde kuru, yüksek hızda işleme ve minimum miktarda yağlama (MMY) olmak üzere üç temel yöntem kullanılmaktadır (Kissler vd. 2000). Kuru işleme, çevre dostu bir üretim olmasının yanında soğutma-yağlama yöntemi açısından son derece düşük bir maliyete sahiptir. Ancak, yüksek işleme veriminin istendiği ağır kesme koşullarında olumsuz etkileri çok daha fazladır (Suda 2001). Bu nedenden dolayı, talaşlı imalatta kullanım oranı her geçen gün artan ve imalat sürecine, teknolojik, çevresel ve ekonomik olarak olumlu yönde katkıları olduğu bilinen MMY sistemi imalat sanayinde tercih edilmektedir (Boubekri vd. 2012). İşleme sırasında püskürtülen kesme yağı miktarı çok küçük olduğu için kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın da etkisiyle tamamen buharlaşmaktadır. Bu buharlaşma da işçi sağlığı ve çevreye olumsuz bir etki yapmamakta ve talaşlar da neredeyse tamamen kuruduğu için geri dönüşümü kolaylaştırmaktadır (Stephenson vd. 2006).

## **2.1. Bitkisel Yağ ile İlgili Çalışmalar ve Çevresel Yaklaşım**

Choi vd. (1997), Dibutil 3,5-di-t-butil 4-hidroksi benzil fosfonat (DBP) içeren zeytin ve soya fasulyesi yağları, hidrojen temizleme ve koruyucu film oluşumunun ikili fonksiyonunu gösterdiğini belirtip bu tarz yağların kesme sıvısı olarak kullanımının kesici takım aşınmasını azaltıcı yönde etkilediğini vurgulamışlar.

Coromant (1997), Soğutma sıvıları ile çalışılırken; cilt temasının olması, maske, eldiven ve uygun iş kıyafeti kullanılmaması durumunda, özellikle el ve kollara soğutma sıvılarının temas etmesi sonucu cilt hastalıkları ortaya çıktığını ve tahriş, deri üzerinde kızarıklık, isilik gibi cilt rahatsızlıkları görülebildiği sonucunu elde etmiştir.

Birova vd. (1998), mineral yağların petrolün rafine edilerek, sentetik ve yarı sentetik yağların ise laboratuvar ortamında üretilerek ekolojik düzene hava, su ve toprak vasıtasıyla karışan kesme sıvıları, içerisinde bulunan hidrokarbonlar ile canlılara zarar vermektedir. Özellikle talaşlı üretimde yüksek sıcaklıktan dolayı buharlaştığı, kesme

sıvılarının havaya karışması ve partiküller olarak ortama yayılması, akciğer ve solunum yolları rahatsızlıklarına sebebiyet verdiği ifadesinde bulunmuşlardır.

Çakır (2000), yaptığı incelemelerde; atık kesme yağı ve emülsiyonlu kesme sıvılarını ayrıştırmak için demir sülfat ve asit gibi kimyasalların kullanıldığını belirlemiştir. Asitlerin kanalizasyon şebekesine gönderilmeden önce etkisiz hale getirilmesi gerektiğini, ayrıştırma yapılan yağın ayrıştırılana kadarki maruz kaldığı çeşitli işlemlerden dolayı kirlendiğini, bu yağlarında özel atık fırınlarında yakılabileceğini belirtmiştir. İş yerlerinin büyük bir çoğunluğu için atık kesme sıvılarını imha etmenin ekonomik olmadığını, bu nedenle birçok firmanın atık sıvı ve yağlar için uzmanlaşmış özel kuruluşlardan destek aldığını dile getirmiştir.

Julieb vd. (2003), yaptıkları araştırmalarda, son beş yılda, çeşitli bitkisel yağlara dayalı çevre dostu kesme sıvıları geliştirmek için hızla çalışmaların devam etmekte olduğunu ve bildirilen eserlerin çoğunun soya fasulyesi, ayçiçeği ve kolza yağı ile alakalı olduğunu dile getirmişlerdir. John vd. (2004) ise, bitkisel yağların, su emülsiyonları içindeki formülasyonu için bir yöntem açıklamışlar ve soya yağını, kükürt, ozon ve oksijen ile düzenleyerek emülsiyonlar hazırlamışlardır. Ozon ve kükürt modifiyeli yağların modifiye edilmemiş bitkisel yağlara oranla viskozitelerinde bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Hâlbuki yapılan çalışmalarda yüksek hızlardaki çalışmalarda, MQL sisteminde düşük viskoziteli yağların daha verimli soğutma sağladığı hakkında bilgilendirmişlerdir.

Childers (2004), yaptığı çalışmasında, diş açma işleminde soya yağını kullanmış ve petrol ürününde elde edilen metal kesme sıvılarına göre soya yağının daha iyi yağlayıcı olduğunu öne sürmüştür. Soya yağının mikro emülsiyonunun, mineral yağının mikro emülsiyonuna göre daha iyi performans gösterdiğini belirtmiştir.

Jacob John vd. (2004), yaptığı çalışmada metal işleme sıvıları olarak kullanılmak üzere iyonik ve iyonik olmayan yüzey aktif maddelerine yer vererek bitkisel yağlardan emülsiyonlar hazırlamıştır. Soya fasulyesi yağının su ile karışabilirliğini ve korozyon önleme özelliklerini inceledikten sonra, soya yağının modifiye edilerek etkili bir metal kesme sıvısı olabileceğini ve korozyonu önlediği kanısına varmıştır.

Belluco ve Chiffre (2004), yaptıkları çalışmada HSS-Co matkap kullanılarak AISI 316L östenitik paslanmaz çeliği delmek için 6 farklı kesme sıvısı kullanmıştır. Bu kesme sıvılarının, kesici takım ömrü, kesici takım aşınması, kesme kuvveti ve talaş şekline olan etkilerini incelemişlerdir. Bitkisel bazlı kesme sıvılarının kullanılmasıyla takım ömründe %77 artış ve itme kuvvetinde %7 azalma sağlandığı sonucuna varmışlardır.

Birova vd. (2006), yaptıkları çalışmada, talaşlı üretimde kullanılan, petrol ürünü emülsiyonlar yerine bitkisel bazlı bir emülsiyon geliştirmişlerdir. Bitkisel bazlı emülsiyonun talaşlı üretimde denendiğinde yağlama yeteneğinin daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır.

Dal (2009), yaptığı çalışmada bitkisel esaslı yağlardan metaller için kesme sıvısı elde edilmesi konusunda ayçiçeği yağı, kanola yağı ve ham soya yağını kullanarak kesme sıvısı oluşturmaya çalışmıştır. Bu karışımlar sonucu oluşturulan kesme sıvıları delme ve frezeleme işlemlerinde talaş kaldırma esnasında denemiştir. Ortaya çıkan sonuçların performans değerleri göstermiştir ki, bitkisel yağ karışımı kesme sıvılarının talaşlı imalatta kullanılması mümkün olduğunu dile getirmiştir.

Özçelik vd. (2009), ayçiçek yağından imal edilen bitkisel kesme yağları ile yarı sentetik ve mineral esaslı ticari kesme yağlarını, 304 paslanmaz malzeme üzerinde, DCMT 11T304-SM IC907 kesici uç ile delme deneyine maruz bırakıp sonuçları incelemişlerdir. Deneyler sonucunda, numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek kullanılan kesme yağlarının performansları karşılaştırmışlardır. En iyi yüzey pürüzlülük değerlerini bitkisel esaslı kesme yağları ile elde etmişlerdir.

Xavior ve Adithan (2009), AISI 304 paslanmaz çeliğinin karbür kaplamalı kesici takımlarla işlenmesinde, bitkisel ve ticari kesme sıvılarının kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelenmişlerdir. Anova analizinin de uygulandığı deneylerde, sonuçlar incelendiğinde kesme sıvılarının yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına pozitif etkileri olduğu görülmüştür. Hindistan cevizi yağı karışımlarının kullanıldığı deneyler ticari yağların kullanıldığı deneylere oranla takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini düşürmede daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Dolapçı (2010), literatürdeki yaptığı araştırmada, rafine soya yağı ve ham soya yağı ile yapılan metal kesme sıvıları ile ilgili fazla çalışma bulunmadığını, soya yağının bu tarz çalışmalarda denenebileceğini dile getirmiştir.

Shashidrhara vd. (2010), tribolojik olarak bitkisel yağları incelediklerinde, bitkisel yağların kozmetik ve gıda sektörünün haricinde de metal işleme sektöründe de kullanılabilirliğini ve özellikle tornalama işlemlerinde kullanılan bitkisel yağ emülsiyonlarının yüzey pürüzlüğü ve kesici takım ömrü konusunda yüksek performansa sahip olduklarını söylemişlerdir.

Kuram vd. (2010), yaptıkları çalışmada, AISI 304 paslanmaz çeliği frezeleme işleminde talaş kaldırmış, bu işlemde kanola ile birlikte ayçiçeği yağından elde edilmiş farklı iki kesme sıvısı ile yarı sentetik kesme sıvısının bazı kesme parametreleri (talaş derinliği ve takım aşınması) üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Taguchi deney yöntemi kullanılarak yapılan deneylerde, bitkisel kesme sıvılarının kesme kuvvetlerini ve kesici takım aşınmalarını azaltma açısından piyasada ticari olarak kullanılan klasik kesme sıvılarından daha iyi sonuç verdiği belirtmişlerdir.

Zhang vd. (2012), yaptıkları çalışmada soya yağının kesme sıvısı olarak kullanılabilirliğini gösterebilmek amacı ile yüksek karbonlu ve krom alaşımlı E52100 çeliğini kaplamalı karbür uç kullanarak tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Kuru kesme, yarı sentetik ticari kesme sıvısı ve %5 soya yağı karışımli kesme sıvılarını ayrı ayrı püskürtmüşlerdir. Bu sıvıların takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü etkilerine bakılmış, en iyi değerlerin soya yağı karışımli sıvının püskürtülmesi sonucu alındığını ifade etmişlerdir.

Debnath, vd. (2014), yaptıkları derlemede bitkisel yağ kullanılan çevreci kesme sıvılarının talaşlı işleme sektöründeki yerini, MQL ve kriyojenik soğutma ile uygulama teknikliklerindeki kazanımları ile ilgili bilgi vermişlerdir. Çeşitli bitkisel yağlar (Soya yağı, ayçiçek yağı, vb.) ve bunların talaşlı işlemedeki performanslarını kullanarak biyo-bazlı kesme sıvılarının üretimi ve kullanım alanlarındaki gelişmeleri de gözden geçirmişlerdir. Ayrıca biyo-bazlı kesme sıvılarının, mineral bazlı kesme sıvılarına oranla neden olduğu ekolojik problemleri önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir.

Jayaram vd. (2014), bitkisel yağların metal işleme sektöründe kesme sıvısı olarak kullanılabilirliği ile ilgili yaptıkları incelemeler sonucunda özellikle ayçiçek ve soya yağının yüksek oleik asite sahip olduklarını belirtmişler. Bu yağların yüksek taşıma kapasiteleri (yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve yüksek hız altında yırtılmaya karşı gösterdiği direnç) ve termo oksidatif özellikleri olduğundan diğer bitkisel yağlara oranla daha az modifiye gerektiren ve kesme sıvısı özelliği taşıyan yağlar olduğunu ifade etmişler.

Srikant ve Ramana (2015), yaptıkları çalışmada AISI 1040 çeliğinin tornalanması işleminde susam yağı ve hindistan cevizi yağı kullanarak yeni sürdürülebilir kesme sıvısı üretmeye çalışmışlar ve bu sıvının petrol bazlı normal kesme sıvısı ile kesme sıcaklığı, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü bakımından kıyaslamalarını yaptıklarında normal kesme sıvısına göre benzer performans sergilediğini yüksek kesme kuvvetinde ise normal kesme sıvısının performansının daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Bhowmik vd. (2015), yaptıkları çalışmada üç farklı kesme sıvısından ikisini bitkisel yağlı olarak tercih etmişlerdir. Hindistan cevizi yağı ile ayçiçek yağından oluşan bu sıvıları kıyaslamak amaçlı mineral yağlı kesme sıvısı ile AA1050 alüminyum alaşımını, tungsten karbür kesici takım ile CNC torna tezgâhın da tornalama deneyleri yapmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü parametresini inceledikleri deneylerde en iyi pürüzlülük değerini kesme derinliği artıkça ayçiçek yağının kullanıldığı deneylerde, tezgâh kafa devrine göre yapılan kıyaslamalarda hindistan cevizinin kullanıldığı deneylerde, ilerleme miktarına göre yapılan kıyaslamada ise mineral yağın kullanıldığı deneylerde elde ettikleri açıklamışlardır.

Yıldırım vd. (2016), AISI 4340 tornalanmasında alümina kaplamalı karbür uçlar kullanarak dört farklı kesme hızında, sabit kesme derinliğinde ve dört farklı ilerleme miktarında deneyler yaparken soğutma sıvısı olarak bitkisel ve mineral yağlar kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü bakımından kıyaslama yapıldığında, en iyi değeri bitkisel kesme yağının kullanımında elde ettiklerini bunun sebebi olarak da bitkisel yağın mineral yağa oranla daha yüksek viskozitesi olması ile ilişkilendirdiklerini açıklamışlardır.



Jeevan ve Jayaram (2018), yaptıkları çalışmada AA6061 çeliğini tornalama işleminde pongamia yağı ve hint fıstığı yağından oluşan çevreci kesme sıvısı oluşturup mineral yağ ile birlikte üç ayrı kesme sıvısının kesme kuvveti, yüzey pürüzlüğü, takım aşınması bakımından etkilerini kıyaslamışlardır. Kaplamasız karpür takım ile yapılan işlemede, en iyi yüzey pürüzlülüğü düşük kesme hızında pongamia yağında, yüksek kesme hızında ise hint fıstığı yağında çıkarken, kesme kuvvetindeki ve takım aşınmasındaki en iyi değerlerin pongamia ve hint fıstığı yağından çıktığını belirtmişlerdir. Dolayısı ile bu iki yağın potansiyel biyolojik olarak çözünebilir olduğunu ve çevreci kesme sıvısı olabileceğini ifade etmişlerdir.

## **2.2. Püskürtme Sistemi ve Bitkisel Yağ Kullanımı**

Khan ve Dhar (2006), düşük alaşımlı AISI 9310 çeliği ve SNMG120408TTS kesici takımını kullanılarak yaptığı tornalama işleminde, bitkisel esaslı yağ ile MQL yöntemini deneyerek, kuru işleme ile karşılaştırmışlardır. MQL (minimum yağlama yönteminin) aşınmayı azaltarak paso sayısını artırdığını dolayısıyla kesici takım ömründe artışlara ve daha iyi bir yüzey kalitesi ortaya çıkardığını sonucuna ulaşmışlardır.

Sharma vd. (2009), talaşlı üretimde verimliliği daha üst seviyelere taşıyabilmek için kullanılan soğutma tekniklerini detaylı olarak incelemişlerdir. Modern malzemelerin imalatında kesme bölgesindeki yağlama ve soğutma fonksiyonunu kavrayabilmek, kesme bölgesinde ısı oluşumunun azaltılması ile modern malzemelerin verimli ve ekonomik işlenmesini sağlamayı amaçlamıştır. Minimum miktarda yağlama, yüksek basınçta soğutma, kriyojenik soğutma, basınçlı hava soğutması ve katı yağlayıcılar kullanma yöntemlerini denemişlerdir. Bu yöntemlerin kesme bölgesinde sürtünmeyi ve ısıyı azaltarak verimliliği arttırdığını görmüşlerdir.

Chandra vd. (2012), Ti-6AL-4V malzemesinin tornalama işleminde ACF nozul sisteminden kesme sıvısını atomizer ile püskürterek yaptıkları tornalama işleminde, kesme kuvvetini, takım ömrünü ve talaş özelliklerini incelemişlerdir. ACF sistemi ile püskürtülen kesme sıvısının normal sisteme göre %40-%50 aralığında avantaj sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Raza vd. (2014), yaptıkları çalışmada Titanyum Ti-6Al-4v parçasını, kaplanmamış karbür kesici takım ile tornalama işleminde işlerken, MQL, MQCL, kuru işleme, kriyojenik gibi soğutma çeşitlerini denemişlerdir. Soğutma sistemlerinin kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlüğü üzerindeki etkilerini yapılan deneyler ile incelemişlerdir. 90 ve 120 m/dak kesme hızında, 0.1 ve 0.2 mm/dev ilerleme miktarında, 0.8 mm sabit kesme derinliğindeki parametrelerde yapılan deneylerde, MQL ve MQCL sistemlerinde bitkisel yağ olarak kolza tohumundan üretilmiş yağ kullanmışlardır. MQCL soğutma sisteminden alınan yüzey pürüzlüğü ve takım aşınması değerleri MQL sistemine göre daha iyi olmasına rağmen kriyojenik soğutma sisteminden alınan sonuçların her iki sisteme göre daha verimli olduğunu açıklamışlardır.

Kumarl vd. (2014), EN-31 alüminyumu SNMG120408 karbür kesici takım ile tornalama işleminde kesme hattındaki sıcaklık değişimlerini ölçmüşler ve MQL sisteminde soya yağı kullanarak hem soğutma hem de yağlama yapmışlardır. Konvansiyonel kesme hızlarının kesme hattına yeteri kadar ulaşamadığından soğutma ve yağlama sağlayamadıklarını dile getirmişlerdir. Üç farklı nozul mesafesindeki MQL sistemin sıcaklık farklılıklarını değerlendirmişlerdir. Ayrıca deneyler sonucunda soya yağı kullanılan MQL sisteminin sağlık tehlikesini azalttığını ve çevreyi koruduğunu da ifade etmişlerdir.

Geoff vd. (2014), mikro frezeleme işlemi esnasında kesme sıvısı olarak bitkisel yağları farklı oranlarda karıştırıp ultrasonik atomizasyonla talaşlı imalata göndermişler ve ticari kesme sıvısı ile yaptıkları kıyaslamada kesme kuvveti, takım aşınması gibi parametrelerde daha verimli sonuçlara ulaşmışlardır.

Shokoohi vd. (2015), yaptıkları tornalama deneyinde AISI 1045 çeliğini kaplamasız HSS kesici takım ile işlemişler, ön soğutma, MQL ve kuru işleme şartlarını ayçiçek yağından geliştirilmiş kesme sıvısı kullanarak yüzey pürüzlüğü ve güç indeksi bakımından incelemişlerdir. MQL sistemin yüzey pürüzlülüğünde daha iyi sonuç verirken az miktarda bitkisel yağ ve su karışımı ön soğutma yapılmış deneyin güç indeksinin daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bitkisel yağ ve su karışımı emülsiyonun geliştirilerek parlama noktasının artırılabilceğini bu sayede ise daha yüksek işleme hızlarında çalışılabilceğini ifade etmişlerdir.

Sarikaya vd. (2015) tornalama işleminde Haynes 25 süper alaşımını, kaplamasız karbür kesici takım ile talaş kaldırırken kesme sıvısı olarak MQL sisteminde bitkisel yağ, sentetik ester mineral yağ ve sadece mineral yağ püskürtmüşlerdir. Üç farklı kesme hızında, sabit ilerleme miktarı ve kesme derinliğindeki tornalama deneyleri sonucunda takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini kıyaslamışlardır. En iyi sonuçlar bitkisel yağın MQL sistem ile püskürtülmesinde ortaya çıktığını açıklamışlardır.

Elmunafi vd. (2015), çalışmalarında sertleştirilmiş AISI 420 paslanmaz çeliği, kaplamalı karbür kesici takımlar ile tornalama işleminde kuru ve MQL tekniği kullanarak işlemişlerdir. Bitkisel yağlarında kesme sıvısı olarak kullanılabilirliğini öne çıkarmak için MQL tekniğinde hint yağı kullanmışlar, MQL sisteminin, kuru kesme ile kıyaslanması sonucu çıkan deney sonuçlarına bakıldığında yüzey pürüzlüğünde, takım ömründe ve kesme kuvvetlerinde MQL sisteminde kullanılan bitkisel yağın kuru kesmeye oranla daha iyi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır.

Ekinovic vd. (2015), yaptıkları çalışmada, MQL ile soğutma sisteminde bitkisel yağ ve su damlacıkları kullanmışlardır. St52-3 karbon çeliğini, K10 kaplamasız sementit karbür takımlar ile tornalama işleminde denemişlerdir. Tornalama parametrelerine bakıldığında, devir  $V=95$  m/dak, derinlik 1 mm, ve ilerleme miktarı  $f=0.142$  mm/dev olarak kullanılmıştır. Çalışma sonunda MQL sisteminde kullanılan bitkisel yağ su karışımının daha iyi soğutma ve yağlama sağladığı görülmüştür. Kesme kuvveti üzerinden karşılaştırıldığında MQL sistemin, soğutma sıvısı kullanılmadan yapılan tornalamaya göre %17 daha düşük kesme kuvveti olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durumun tezgâhın daha az elektrik üretmesine yani sürdürülebilirliğine katkı sağladığı görülmüştür.

Yu Sul vd. (2016), AISI 1045 çeliğini; kuru kesme yaparak ve MQL soğutma sistemi kullanarak tornalama işleminde işlemişlerdir. Kullandıkları iki farklı ürünü incelediklerinde bitkisel tabanlı ürünlerin faydalı olduğunu MQL soğutma sistemi ile üretime dahil edildiklerinde yüzey pürüzlülüğüne, kesici takım ömrüne, kesme kuvvetlerine olumlu etkilerinin olduğunu açıklamışlardır.

Johal vd. (2017), AISI 4340 çeliğini, kaplamasız karbür kesici takımını ile 70, 120, 190 dev/dak kesme hızları ile 0.07, 0.15, 0,22 mm/dev ilerleme miktarında ve 1mm sabit kesme derinliğinde tornalamışlardır. Yağlama ve MQL sistemi ile tornalama işlemi yapılmış. Bitkisel yağ olarak çevre dostu ve imha edilmesi kolay olan soya yağı kullanmışlardır. Bu iki yağlama sistemini denerlerken kesici takım işleme sürelerindeki farklılık ve yüzey pürüzlüğü değerlerini incelemişlerdir. Deney sonucunda 50 ml/s yağlama oranındaki MQL sisteminin işleme maliyeti, sağlık, güvenlik ve çevre açısından performansının, bitkisel yağların kullanılmasıyla, mineral yağlara kıyasla daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünde ve kesici takım ömründe MQL sistemin kullanılmasıyla, kuru koşullara göre daha etkili olduğunu açıklamışlardır.

Darshan vd. (2017), yaptıkları çalışmada orta karbonlu C45 çeliğini torna tezgahın da kesme hızı 80 m/dak 120 m/dak ve ilerleme miktarı 0.16 mm/dev olarak işlemiştir. Deneyleerde kuru kesme ve MQL sistemi kıyaslanmış, bitkisel yağ olarak kanola yağı kullanmışlardır. Her iki kesme hızı değerinde de yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık değerleri ve takım aşınma değerleri MQL sistem de kuru kesmeye oranla daha iyi çıkmıştır. Aynı zamanda kullanılan yağ ve sistem çevre dostu olarak nitelendirmişlerdir.

Senevirathne vd. (2017), AISI 9310 çeliğinin tornalanması işlenmesinde MQL sisteminde bitkisel yağ olarak hurma yağını kullanmışlar ve geleneksel soğutma yöntemi ile kıyaslamasını yaparak kesme sıcaklığı, yüzey kalitesi, takım aşınması ve talaş oluşumu ile ilgili sonuçları incelemişlerdir. MQL sistem kesme sıcaklığını düşürürken diğer tüm özellikler de MQL sistemin geleneksel yöntemle göre mantıklı bir şekilde iyileştirme yaptığını vurgulamışlardır.

Reyuru vd. (2017), yaptıkları çalışmada, Ti-6Al-4V malzemesinin tornalamasında sürdürülebilir yağlayıcıların kullanılabilirliğini incelemişlerdir. PVD kaplamalı karbür takımların kullanıldığı çalışmada; kuru kesme , %5 soya yağı su karışımı, soya yağı ile mikro grafit tozu karışımı, soya yağı su ve mikro grafit tozu karışımı ve soya yağı, MQL sistem ile tornalama işlemine dâhil edilip takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti değerleri incelenmiştir. Tüm karışımların değerlere etkisine bakıldığında, yüzey pürüzlülüğünde soya yağı ve su karışımı daha etkili olurken, kesme kuvvetinde soya yağı su ve grafit tozundan oluşan karışımı, takım aşınması da ise soya

yağı ile mikro grafit tozu karışımı en etkili karışımlar olduğunu vurgulamışlar. Sonuç olarak soya yağı karışımlarının sis halinde püskürtülmesi sonucu istenen değerlere ulaşmış olduklarını açıklamışlardır.

Mia vd. (2018), AISI 1060 çeliğinin CVD kaplamalı karbür kesici takım ile tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünü ve kesme sıcaklığını ölçmeye yönelik deneyler yapmışlar ve farklı soğutma sistemlerinin bu parametrelere etkisini incelemişlerdir. Kuru kesme, MQL sistemi ve basınçlı hava ile yağlama yöntemleri deneylerde denemiş ve bitkisel yağ olarak zeytinyağı kullanmışlardır. En düşük kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlüğü değerleri MQL sistemi ile yapılan deneylerde çıkmış; bu sistemin sürdürülebilir, çevreci ve insan sağlığına daha duyarlı olduğu ifade edilmiştir.

Kaur vd. (2018), SAE 1018 karbon çeliğini kaplamalı karbür kesici takım ile tornalama yaparken MQL sisteminde kanola, ayçiçek ve soya yağını kullanmışlardır. İki farklı kesme hızında yapılan deneyler sonucunda kullanılan bitkisel yağların iyi bir alternatif olabileceğini, kanola yağının kesici takım aşınmasında daha etkili olurken, ayçiçek yağının yüzey pürüzlülüğünde öne çıktığını ayrıca kullanılan tüm yağların çevre dostu ve tezgah operatör sağlığına yararlı olduğu vurgularını yapmışlardır.

Agrawal vd. (2018) CNC torna tezgâhın da 100 mm uzunluğunda ve 40 mm çapındaki M2 yüksek hız çeliğini, kaplamalı karbür kesici takım ile işlemişlerdir. Soğutma sıvısı olarak MQL sistemde aloevera yağı ile pamuk tohumu yağı karışımından oluşan sıvı ile konvansiyonel kesme sıvısının performanslarını karşılaştırmışlardır. Yüzey pürüzlüğü bakımından değerlendirildiğinde, bitkisel yağlar içeren çevreci kesme sıvısının konvansiyonel kesme sıvısına oranla %6.7 oranında daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri çıkarttığı ayrıca takım aşınmasını da %0.14 oranında azalttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Singh vd. (2018), yaptıkları araştırmada saf kanola yağı ve grafen kullanarak MQL sistemdeki yağlama etkilerini incelemişlerdir. Kaplamasız karbür takım ile AISI 4340 sertleştirilmiş çeliğin tornalanması sırasında MQL soğutma sisteminde kullanılan bitkisel yağlar tek jet nozul ve çift jet nozul ile püskürtülerek takım aşınması, kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkilerini araştırarak kuru işleme şartlarındaki elde edilen değerler ile kıyaslamışlardır. Sonuç olarak her üç parametre üzerindeki

incelemeler MQL soğutma sisteminin kuru işleme şartlarına göre %48 -108 arasında iyileştirme yaptığını, çift jet nozul ile püskürtmenin ise tek jet nozula göre %8-42 arasında avantaj sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonuçlar sürdürülebilir tornalama işlemlerinde sertleştirilmiş çelikler için MQL sistemi ile bitkisel yağların kullanılabilmesini göstermektedir.

Ghughe vd. (2019) yaptıkları çalışmada, tornalama işlemine kesme sıvısı olarak bitkisel yağları MQL sistemi ile dahil etmişler ve mineral özlü blascout marka ticari kesme sıvısının takım ömrüne etkisini kıyaslamışlardır. 120 mm uzunluğunda ve 60 mm çapındaki AISI 4130 çeliğini kaplamasız karbür kesici takım ile işleme esnasında bitkisel yağ olarak soya yağı, ayçiçek yağı, hindistan cevizi yağı ve yer fıstığı yağı kullanmışlardır. Deneyler sonucunda en iyi takım ömrü soya yağının kullanıldığı deneylerde ortaya çıktığını ve diğerlerine göre %5-16 arasında iyileştirme sağladığını vurgulamışlardır.

### **2.3. Kaynak Araştırmasının Değerlendirilmesi**

Günümüzde talaşlı imalat sektöründe kullanılan kesme yağları sentetik ve yarı sentetik yağlardan oluşan petrol ürünleridir. Sıcak çalışma ortamlarında soğutma amaçlı kullanılan bu yağlar yanmanın etkisiyle buhar haline gelerek işçi sağlığı ve güvenliğine aykırı olarak çalışılan işyerlerinde insan sağlığında ciddi hasarlara yola açabilmektedir. Bu ürünler kullanım ömürlerini doldurduktan sonra bilinçsiz tüketiciler tarafından doğaya karıştırılarak ekolojik dengeye de zarar vermektedir. Diğer bir taraftan ise kullanım ömürleri dolan kesme yağları özel fırınlarda yakılarak imha edilmesi gerekmektedir. Bu işlemler firmalar için ciddi maliyetlere yol açtığından sanayinin ekonomik döngüsüne de negatif yönde etki etmektedir.

Kesme yağlarından beklenen temel özellikler düşünüldüğünde ilk olarak yağlama, soğutma ve kaynağı önleme fonksiyonları öne çıkar. Günümüzde kesme sıvısı kullanımını minimuma indirebilmek için çeşitli yöntemler denenmektedir. Kuru kesmenin yetmediği işlemlerde yağlama ve soğutma amaçlı kullanılan kesme sıvılarında mineral ve sentetik sıvılara alternatif olarak bitkisel yağların denendiği literatür araştırmasında da görülmüştür. Bitkisel yağların toprakta parçalanabilir olması, insan sağlığına zarar vermemesi, daha iyi yağlayıcı özellik sağlaması, yüksek

viskozite ve yüksek parlama noktasına sahip olması gibi avantajları bulunmaktadır. Fakat yüksek ısılarda bozunması, oksidasyon kararsızlığında karşılaşılan dezavantajları olunmuştur.

Araştırmalarda ağırlıklı olarak kullanılan bitkisel yağlar arasında soya yağı yerini almaktadır. Bu çalışmada soya yağı sadece su ile belli oranlarda karıştırılarak denenmemiş, MQL sisteme benzer ultrasonik atomizer cihazı kullanılarak farklı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik atomizere gönderilen sıvının (karışımın) sürekli olarak sabit boyutlarda sis damlacıklarına dönüşebilmesi ve sabit barda tutulan basınçlı hava ile kesici uça püskürtülmesi ile kesme sıvılarından beklenen temel özelliklerin karşılanması ve verimliliğinin daha üst seviyelere çıkarılması denenmiştir. Ultrasonik atomizer ile sis damlası haline getirilen sıvı partiküllerinin kesici takıma daha çok yapışması ve bu sayede ıslanabilirliğinin artırılması hedeflenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, kesici takım ömrü gibi parametreler, CNC tornalama işleminde talaş kaldırma işlemine maruz bırakılarak araştırılmış, tüm sıvı karışımları için temas açısı değerleri ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan bitkisel kesme sıvılarının, ticari kesme sıvısı ve kuru kesme şartlarındaki karşılaştırmaları yapılmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Kesme

Kesme; kesici takım ile malzemenin bir bıçak gibi ayrılmasıdır. Takım kesici kenarı, iki yüzeyin belirli bir açı altında kesişmesiyle oluşur. Bilenerek oluşturulmuş kesici kenar, malzeme gövdesi içerisinde simetrik olarak zorlanır ve aynı zamanda gövde içinde kesici kenara paralel hareket ettirilir. Kesilen malzeme gövdesi, kesici takım yüzeyleri tarafından iki parçaya ayrılmaya zorlanır. Bilenmiş kesici kenar, gövdenin çok az bir kuvvetle ve parçaların daha az pürüzlü kesilmesini sağlayacaktır. Kesme teknolojisinde görülen temel hususlar şunlardır;

- Kesici kenarı oluşturan her iki yüzey, yeni ortaya çıkarılan iki yüzeyi (talaşın alt yüzeyi ve iş parçasının işlenen yüzeyi) birbirinden ayırmaya zorladığından talaşın gövdeden ayrıldığı yerde yüksek ısı meydana gelir ve takım ile iş yüzeyinde aşınmalar olur.
- İş parçasından belirli bir talaşı kaldırmak için “kesici kenarın” gövde içerisine daldırılması gerekir. İş parçası ve takımın yüklenen gerilmelere dayanabilmesi (oluşan yükleri/kuvvetleri taşıyabilmesi) için belirli bir kesitte olmalı ve işlenen yüzeyin takım yan yüzeyine temas etmemesi için takıma boşluk açısı verilmelidir.
- Pratik işlemede takım kesici kenarını oluşturan açı  $55^{\circ}$ - $90^{\circ}$  arasında değişmektedir. Genellikle kaldırılan talaş, en az  $60^{\circ}$ ’lik bir açıyla işten uzaklaştırılır. Bu şekilde kaldırılan talaşın tamamında bir plastik deformasyon oluşur (gelişen teknikler, metal kesmenin plastik bir akma işlemi olduğunu ortaya koymaktadır). Bu yüzden talaşın oluşması ve takımın talaş yüzeyi boyunca hareketi için büyük bir enerji gerekir.
- Talaş kaldırarak işlemin temel amacı, yeni iş yüzeyinin (istenilen parça geometrisinin) oluşturulmasıdır. Talaşın oluşması ve hareketi enerji tüketiminin de temelini ortaya koyar. Bu sebeple takım ömrü ve kaldırılan metal oranıyla ilgili pratik problemler yalnızca takım-talaş yüzeyi boyunca hareket eden talaşın ve işlenen malzemenin davranışları incelenerek ortaya konur (Şeker,1997).



### 3.1.1. Kesme modelleri

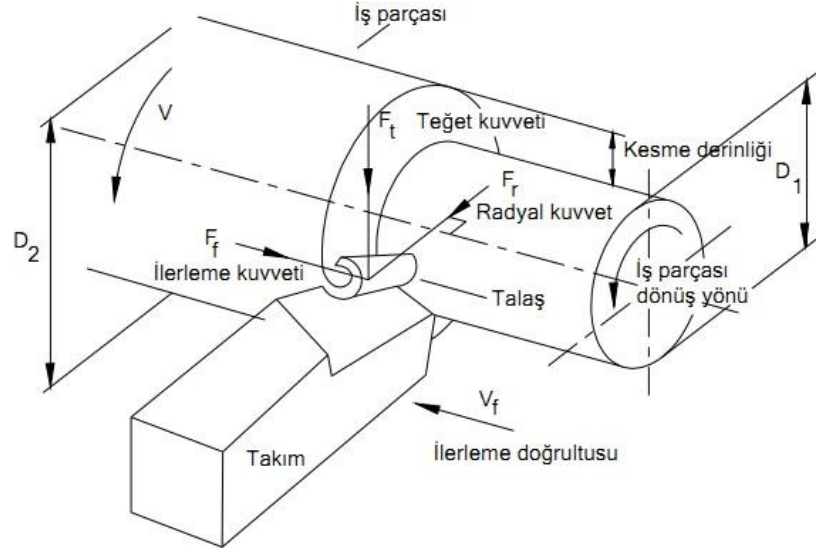
Kesme mekaniği dik ve eğik kesme olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Eğik kesme üç boyutlu bir davranış göstermektedir. Dik kesme ise iki boyutlu analiz yapma kolaylığı sağlar. Genelde iki boyutlu kuvvet analizleri yapmak daha kolay olduğundan, kesme kuvvetinin ölçümü için yapılan çalışmaların birçoğunda dik kesme alınarak incelemeler yapılmıştır.

Uygulamalı mekanik kuramlara göre metallerden talaş kaldırmayı analiz etmek amacıyla aşağıda verilen yaygın kabuller kullanılmaktadır:

- Kesme yüzeyi, kesme kenarından yukarıya doğru uzanan düzlemdir.
- Takımın keskinliği en iyi düzeydedir ve takımın boşluk açısı boyunca parça ile kesici yüzeyleri arasında temas bulunmamaktadır.
- Kesme kenarı hareketin yönüne dik olarak uzatılan bir doğrudur ve işin hareketi ile bir düzlem meydana getirir.
- Talaş her iki yüzeye akmaz.
- Talaş derinliği sabit kalır.
- Talaşın genişliği iş parçasının kesilen genişliğinden daha büyüktür.
- İş parçası takıma göre daha düzenli ve bağıl olarak hareket eder.
- Sürekli talaş, sıvanma oluşmadan ortaya çıkar.

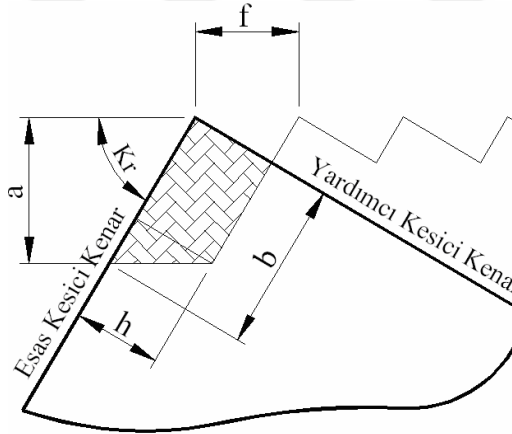
### 3.1.2. Kesme kuvvetleri

Kuvvet ilişkilerini çıkarabilmek için, çıkan talaş serbest olarak iş parçasından izole edilmiş gibi dengede düşünülerek incelemesi yapılır. Talaş ve kesici takımın talaş yüzeyi arasındaki kuvvet, kayma düzlemi boyunca talaş ve iş parçası arasındaki kuvvetle aynı olmak zorundadır. (Şekil 3.1). Kesici takım yüzeyinden alınan kuvvet bileşenleri, takım yüzeyindeki sürtünme katsayı değerinin ve sürtünme kuvvetinin de hesaplanmasına imkan verir (Shaw, 1984).



Şekil 3.1. Kesme kuvvetlerinin bileşenleri (Altıntaş, 2000)

Talaşlı üretimde takım tezgâhlarının çoğu için kesme kuvveti, talaş kesiti ile işlenen parçanın özgül kesme direnç değeri çarpımıdır ve buna bağlı olarak esas kesme kuvveti  $F_c$ , bu esasa göre hesaplanır. Hesaplamalarda, talaş geometrisi de büyük önem arz taşımaktadır. Talaş kesitini belirleyen en önemli etken ( $K_r$ ), kesici takımın yanaşma açısıdır (Şekil 3.2), (Brunis, 1975).



$f$  = İlerleme, mm/diş, mm/min.  
 $a$  = Talaş Derinliği, mm.  
 $K_r$  = Kesici Takım Yanaşma Açısı.  
 $b$  = Talaş genişliği, mm  
 $h$  = Talaş Kalınlığı, mm

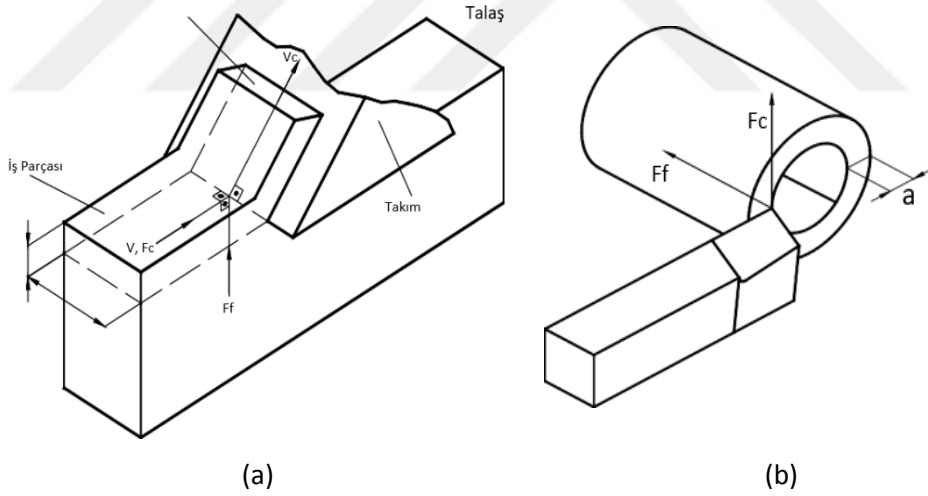
Şekil 3.2. Talaş kesitinin takım yanaşma açısı ile ilişkisi (Brunis, 1975).

Yapılan pek çok deneysel araştırmanın ortaya çıkardığı sonuçlara göre, talaş kaldırma esnasındaki asıl kesme kuvveti  $F_c$ 'yi etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Bunların başlıcaları:

- Talaş açısı etkeni,
- Kesme hızı etkeni,
- Takım aşınma etkeni,

- Takım malzemesi etkeni.

Kesme işlemleri, çok çeşitli ve karmaşık geometrili olmasına rağmen iki boyutlu dik kesme yöntemi, metaller için talaş kaldırma işlemi sırasındaki oluşan mekaniğini anlatmakta kullanılır. Dik kesme işleminde iş parçası ile kesici takımın kesme kenarı arasında kalan açı dik açıdır ve bu yerleşim ile talaşlı imalat işlemi yapılır. Kompleks, üç boyutlu eğik yüzeylerin kesme işlemleri mekaniği, çoğu zaman dik kesme işlemine uygulanmış geometrik dönüşüm modelleriyle irdelenmiştir. Şekil 3.3’de dik kesme geometrisi verilmiştir. Dik kesme mekaniğinde, kesme hızı ( $V$ ), kesme genişliği ( $b$ ) ve paso miktarı ( $a$ ) olarak tanımlanır. Kesici takım kesme kenarı, iş parçasına dik olan düz bir takımla talaş malzemedan kesilerek ayrılır. Dik kesmede kesme işlemi kesme kenarı uzunluğunca aynı şekilde kesme yapıyor olarak düşünülür. Böylelikle iş parçasının kenarına yayılma olmadan şekil değiştirme işlemi tasarlanmış olur. Bundan dolayı, ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) ve esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) olarak isimlendirilen kesme kuvvetleri, kesilmemiş talaş kalınlığı doğrultusunda güç sarf ederler.



Şekil 3.3. Dik kesme geometrisi [(a) düz parçalarda dik kesme, (b) Silindirik parçalarda dik kesme] (Taylan, 2009)

### **3.2. Takım Ömrü**

Talaş kaldırma işlemini ekonomik yapan koşullardan en önemlisi kesici takım ömrüdür. En basit açıklamayla takım ömrü; iki bileme arasındaki çalışma süresi olarak ifade edilir. Ancak teknolojik gelişmelere paralel olarak değiştirilebilir. Kesici uçların, HSS ve lehimli sert metal takımların yerini alması sonucunda takım ömrü tanımı farklılık göstermiştir. Takım ömrü, iş parçasına ait sınırlayıcı parametrelerin belirlenen sınırlar içerisinde kalması şartıyla, kesici kenarın iş parçasını işlemesi için gerekli olan zamandır.

Genel olarak takımın ömrü, kesici takım ucunun ya da kenarının kırılması ile son bulur. Ancak takım malzemesindeki gelişmeler sayesinde takım-iş parçası çifti ve işleme parametrelerinin doğru seçilmesi durumunda bu tip hasarlara hiçbir zaman izin verilmez. Talaşlı üretimde kullanılan kesicilerin ömrü ve ekonomikliği, üretilen parçanın kalitesi ile ortaya çıkacak toplam maliyet hesabından dolayı önemlidir. Talaşlı üretimdeki bu ekonomikliği ve uzun takım ömrünü elde etmenin yolu uygun kesme parametrelerinden geçmektedir.

Kesici takım ömrü ve aşınmasını etkileyen faktörler kesme işleminin gerçekleştirildiği kesme parametrelerdir. Kesici takımın kırılması talaş yüzeyindeki ve serbest yüzeydeki aşınmaya bağlıdır. Talaş kaldırma esnasında doğru kesici takımın seçilmiş olması en iyi verimliliği sağlar. Özellikle talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım geometrisi ve malzemesi oldukça önem arz eder. Ancak takım doğru seçilmiş olsa dahi işleme şartları özellikle kesme parametreleri ve işlemin rijitliğini ilgilendiren şartlar standart dışı ise en uygun takım ömrü elde edilemez. Bağlama aparatlarının rijit olmaması titreşimlere sebep olmakta ve takım kesici kenar ömrünü, belirlenen süreden önce tüketmesini sağlamaktadır. Bu tür hasarlar genel olarak önceden tahmin edilmeyen ve kesici takım uç ve ağzında ortaya çıkan kırılmalar şeklindedir.

### **3.3. Takım Aşınması**

Takım aşınması, kesici takımın kesme işlemini gerçekleştirdiği kenar üzerine gelen çeşitli yüklerin etkisi ile meydana gelen malzeme kaybı ve kesicideki geometrik

değişiklidir. Aşınmaya sebep olan yük faktörleri kesici kenar ömrünü ve geometrisini değiştirmeye çalışır. Bu faktörler;

- Mekanik,
- Termal,
- Kimyasal, aşındırıcı faktörler olarak gruplandırılabilir.

Talaş kaldırma esnasında kesici kenar yük faktörlerinin etkisiyle, temel aşınma mekanizmalarının bazıları talaş kaldırma işlemini etkiler.

### **3.3.1. Aşınma mekanizmaları**

#### **3.3.1.1. Abrasif (aşındırıcılarla) aşınma mekanizması**

Abrasyon aşınma en yaygın aşınma mekanizmasıdır ve genellikle iş parçası malzemesinin sert parçacıkları bu aşınmaya neden olur. Sert parçacıklar iş parçası yüzeyi ile takım arasına geldiğinde taşlama işlemine benzer bir durum oluşur. Kesici kenarın abrasif aşınmaya karşı direnci, büyük oranda sertliğine bağlıdır. Sert ve küçük parçaları sürekli olarak preslenmesi ile oluşan takım malzemesi, abrasif aşınmaya karşı dayanabilir fakat talaşlı işleme sırasında oluşan diğer kuvvet faktörleri aşınmaya neden olabilir. Abrasif aşınma şekli eğer kesici takım talaş yüzeyinde oluşmuş ise krater (çukur) olarak adlandırılır (Coromat, 1994).

#### **3.3.1.2. Difüzyon (atomik yer değiştirme) aşınma mekanizması**

Difüzyon aşınmasında, talaş kaldırma işlemi esnasında ortaya çıkan kimyasal bileşik oluşturma eğilimi daha yüksektir. Kesici takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki elementlerin birleşmeye yönelimi difüzyon aşınmanın oluşma şeklini belirleyecektir. Kullanılan kesici takım malzemesinin sertliği değerinin bu süreçte çok fazla önemi yoktur. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişki, aşınma mekanizmasının büyüklüğünü belirler. Takım-iş parçası materyallerinin yapısında bulunan bazı elementler birbirlerine karşı yüksek birleşme eğilimine sahipken bazıları birbirlerine karşı asaldır. Tungsten karbür ve çelik difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasına neden olan birbirine karşı bir birleşme eğilimine sahiptirler. Bunun sonucunda, kesici takımın talaş yüzeyinde bir çukur

(krater) oluşması ihtimali vardır. Çukur oluşması genellikle sıcaklığa bağlı bir etkidir bu nedenle yüksek kesme hızlarında sıcaklık artışı daha çok olduğundan etkisi de daha fazla olmaktadır. Ferrit ve karbonun iki-yollu transferi ile atomik değişim, meydana gelir (Şeker,1997).

### **3.3.1.3. Oksidasyon aşınma mekanizması**

Malzemelerin birçoğu için oksitlenme farklı olmakla birlikte metal malzemelerin oksitlenmesi için yüksek ısı ve havanın bulunması oksidasyon oluşumu anlamına gelir. Tungsten ve Kobalıtta gözenekli oksit filmi şeklinde oksidasyonlar meydana gelir. Bununla birlikte Alüminyum Oksitler daha güçlü ve serttir. Oksidasyon bazı kesici takım malzemelerinde aşınmayı artırabilir. Özellikle kesici kenarla parçanın ara yüzeyinde, talaşın kesici takım talaş yüzeyinden ayrıldığı hat üzerinde, hava, talaş kaldırma sürecine katılır. Oksidasyon kesici kenarda tipik çentiklerin meydana gelmesine neden olur. Ancak bu tarz aşınma şekli daha eskiden görülen, günümüzün işleme şartlarında pek yaygın olmayan bir durumdur (Şeker,1997).

### **3.3.1.4. Yorulma ile aşınma mekanizması**

Yorulma aşınma tipi, daha çok termo-mekanik bir kombinasyondur. Isı değişimleri ve kesme kuvvetlerinin sürekli farklılaşması kesici takımda çatlak oluşumlarına ve kırılmalara neden olur. Bazı kesici takım malzemelerinin yorulma mekanizması diğerlerine göre daha hassastır. Aynı zamanda, kesici kenarın mekaniksel dayanımı çok fazla olduğunda sadece mekanik yorulma da meydana gelebilir. Bu durum sert veya işlenmesi zor, yüksek dayanıma sahip malzemelerin oldukça yüksek ilerleme değerleri ile işlenmesinden olmakla beraber, kesici takım malzemesinin yeteri kadar sert olmayışından da kaynaklanabilir. Bununla birlikte bazı durumlarda plastik aşınmanın hâkimiyeti de söz konusudur (Şeker,1997).

### **3.3.1.5. Adhezyon (yapışma) aşınma mekanizması**

Adhezyon aşınması takım-talaş ara yüzeyinde, düşük sıcaklıklarda ortaya çıkar. Kısa (kırık) talaş ve uzun talaş (akma talaş) veren iş parçası malzemelerinin (çelik, dökme demir alüminyum gibi) hepsinde adhezyon aşınması görülebilir. Bu sistem çoğu

zaman kesici kenar ile talaş arasında, kenarın üzerine yığılmış talaşın (BUE) ortaya çıkmasına sebep olur. Dinamik bir yapıya sahiptir. Tekrarlanan talaş katmanları talaş yüzeyinde üst üste kaynak olarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası halini alır. Kısa boşluklar halinde oluşan BUE tabakası kopup uzaklaşır ve tekrar yüzeyde birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçaların kırılmasına veya kopmasına neden olabilir. Sünek çelikler gibi malzemeler, diğer malzemelere göre daha kolay kaynama yaparlar. Daha yüksek işleme sıcaklıklarına ulaşıldığında bu durum için koşullar önemli ölçüde ortadan kalkar. Yapışan tabaka, takım geometrisini değiştirdiğinden dolayı kesme kuvvetlerini de değiştirir (Şeker,1997).

### **3.3.2. Takım aşınma çeşitleri**

Takım aşınması tipleri ve sebep olan aşınma mekanizmalarının bilinmesi, kesici takım ve iş parçası malzemesi için doğru işlem şartlarının belirlenmesi, verimliliği optimize etmek ve işlem operasyonlarını değerlendirmek için çok önemlidir. Oluşan aşınma tipleri ve sebep olan aşınma mekanizmaları şu şekilde sınıflandırılmıştır (Motorcu, 2006).

- i. Yan kenar aşınması: Abrasif aşınma mekanizması ile,
- ii. Krater aşınması: Abrasif aşınma ve difüzyon aşınma mekanizması ile,
- iii. Plastik deformasyon: Yorulma aşınma mekanizması ile,
- iv. Termal çatlaklar: Isıl-termal yorulma mekanizması ile,
- v. Çentik aşınması: Oksidasyon, adhezyon ve mekanik aşınma ile,
- vi. Yığılma-sıvanma: Adhezyon aşınması ile.
- vii. Mekanik yorulma çatlakları: Mekanik yorulma mekanizması ile,
- viii. Çıtlama (Çentiklenme): Yorulma mekanizması ile,
- ix. Kesici ucun kırılması: Plastik deformasyon ile,

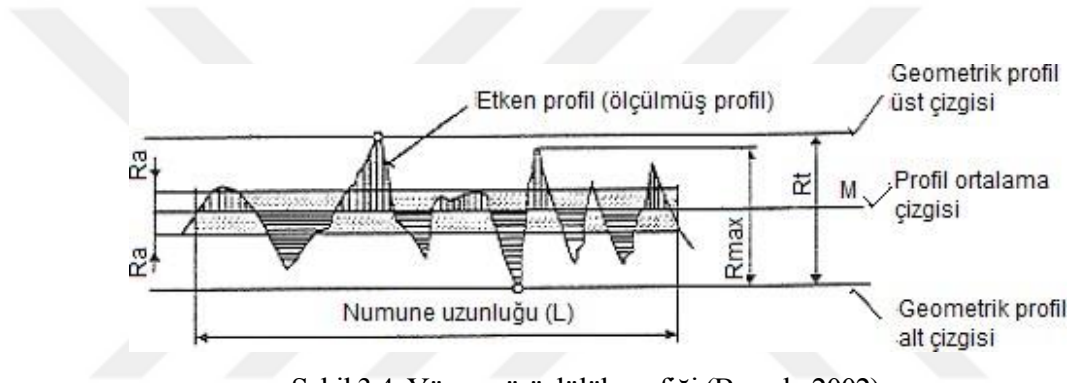
### **3.4. Yüzey Pürüzlülüğü**

Talaş kaldırma işlemindeki amaç, yapım resminde belirtilen toleranslar içerisinde iş parçalarını istenilen şekle, ölçüye ve yüzey kalitesine getirmektir. Tolerans değerleri üretilen parçanın çalıştığı yerdeki kabul edilebilecek hata paylarıdır. Bu değerlerde yüzey kalitesine etki etmektedir. Tolerans değerleri fazla olan bir parçanın yüzey kalitesi de kabadır. Fakat tolerans değerleri ne kadar düşük olursa o kadar yüksek

yüzey kalitesi elde edilir. Yüzey kalitesi, işlem gören parça yüzeyindeki kesici takımın uygulama esnasında bıraktığı izler ve baskılardan oluşan düzgünsüzlük olarak tanımlanır. İş parçasının yüzey kalitesini gösteren bozukluklar;

- Küçük yüzeysel hatalardan oluşan adına yüzey pürüzlülüğü denilen mikro geometrik bozukluklar,
- Parçanın ideal şeklinden sapmalarını gösteren ve form düzgünsüzlüğü de denilen makro geometrik bozukluklardır (Bayrak, 2002).

Yüzey pürüzlülüğü denilen değer bir takım çıkıntı ve girintilerden oluşmuştur (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülük grafiği (Bayrak, 2002).

Bu yöntemle göre pürüzler, yüzeylere dik olan kesite göre belirlenir. Kesitte numune uzunluğu boyunca pürüzlerin şeklini gösteren profilin ortalama çizgisine göre ortalama sapmaları hesaplanır. Profil ile ortalama çizgisinin üst ve alt kısmında kalan alanların toplamı birbirine eşit olmak üzere bu çizginin yeri belirlenir. Yüzey pürüzlüğü  $R_a$  ile gösterilir ve profilin aritmetik ortalama yüksekliğidir (Bayrak, 2002).

### 3.4.1. Yüzey kalitesini etkileyen faktörler

Genellikle yüzey kalitesine etki eden etkenler şu şekilde özetlenebilir. Bunlar;

- Kesme parametreleri,
- Kesici takım geometrisi,
- Takım tezgâhının rijitsel kaçıklıkları,
- Takım tutucusunun veya katerinin rijit olmaması,
- Takımı konumlama ve bağlama sırasındaki hatalar,



- Takımın aşınmasından oluşan hatalar.

### **3.5. Kesme Sıvıları**

#### **3.5.1. Kesme sıvılarının görevleri**

Talaşlı imalat sürecinde kesme sıvılarının asıl görevi soğutma ve yağlama ile sıcaklığı kontrol altında tutmakta ve başka önemli işlevleri de yerine getirmektedirler. Bu işlevler şu şekilde sıralanabilir,

- Takımı ve iş parçasını soğutmak,
- Takım-talaş ve takım-iş parçası ara yüzeyini yağlamak,
- Çıkan talaşı uzaklaştırmak,
- Kaynak oluşumunu engellemek,
- Güç sarfiyatını düşürmek,
- Korozyonu engellemek,
- Takım ömrünü ve verimliliğini artırmak,
- Çıkan talaş biçimini değiştirmek (Groover, 2002).

#### **3.5.2. Kesme sıvılarının sınıflandırılması**

Kesme sıvıları kimyasal bileşimlerine göre kesme yağları ve su esaslı kesme sıvıları olarak ikiye ayrılabilir. Su esaslı kesme sıvıları ise kendi içinde; çözülebilir yağlar, yarı sentetik ve sentetik kesme sıvıları olarak sınıflandırılabilir (Stephenson ve Agapiou, 2006).

##### **3.5.2.1. Kesme yağları**

Yağlayıcıların kesme sıvısı olarak kullanılma amaçları takım-talaş ve takım-iş parçası ara yüzeylerindeki sürtünme oranını azaltmaktır. Yağlayıcı sıvılar aynı zamanda yüzey kalitesini artırmak, kesme kuvvetlerini azaltmak, ısıyı düşürmek ve takım ömrünü uzatmak içinde kullanılır. (Groover, 2002; Trent, 2000).

Kesme yağları, su katılmamış mineral, hayvansal, bitkisel ve sentetik yağlardır. Düşük maliyetlerinden dolayı petrol esaslı mineral yağlar, hafif çözücüler, nötr yağlar ve ağır yağlar sıkça kullanılan yağlardandır. Kesme yağları kararlıdır ve iyi bir pas koruyuculuğu sağlar. Yüksek hızdaki işlemlerde uygulanabilirliği düşüktür çünkü duman ve yangın oluşumu riski vardır ve cilt hastalıklarına ve başka sağlık sorunlarına yol açabilirler. Genel olarak düşük kesme hızlarındaki işlemlerde soğutucu özelliği daha az önemli olduğu için kesme yağları kullanılır (Bienkowski, 1993). Kesme yağları, soğutucu özelliklerinden çok yağlayıcı özellikleriyle etkilidirler. Taşlama ve honlama gibi işlemlerde su bazlı sıvılara göre daha iyi yüzey kalitesi ve daha düşük yüzey hasarı sağladıkları için yaygın olarak kullanılırlar. Genel olarak düşük kesme hızlarındaki işlemlerde soğutucu özelliği daha az önemli olduğu için kesme yağları kullanılır (Stephenson ve Agapiou, 2006).

### **3.5.2.2. Su esaslı kesme sıvıları**

Su esaslı kesme sıvıları sulu emülsiyonlar ve su içinde yağ çözümleridir. Kesme yağlarına göre daha düşük bir yağlama yapar ancak daha iyi bir soğutma ve talaş uzaklaştırma işi sağlarlar. Su, mineral yağlara göre iki-üç kat daha hızlı bir soğutucudur ve iki kattan fazla ısı tutar. Genellikle yüksek kesme hızları gerektiren işlemlerde kullanılırlar. Çözülebilir, yarı sentetik ve sentetik yağlar olmak üzere üçe ayrılırlar (Silliman ve Perich,1992).

#### **3.5.2.2.1. Çözülebilir yağlar**

Çözülebilir yağlar (emülsiyonlar ya da suda çözünen yağlar) %60-90 petrol veya mineral yağ, emülsiyon yapıcılar ve diğer katkıları içerir. Bir miktarı suyla karıştırılarak kesme sıvısı oluşturulur. Su yağ oranı 30:1 değerindedir (Silliman, ve Perich,1992). Çözülebilir yağlar, su ve yağ karışımları oldukları için iyi bir soğutma ve yağlama özelliği gösterirler. Ayrıca tezgâhın hareketli parçalarının üzerinde bir yağ filmi bırakarak, makine yağı ve kızak yağının emülsiyon oluşturmasını engellerler. Bu özelliklerinin yanında pas önleme özelliğine de sahiptir. Mikrobik saldırılara duyarlılıkları, duman oluşumuna yatkınlıkları, cilt hastalığı oluşturma riskleri ve atık problemi bu sıvıların olumsuz yanlarıdır (Stephenson ve Agapiou, 2006; Weinert vd.,2004).

### **3.5.2.2.2. Yarı sentetik kesme sıvıları**

Yarı sentetik kesme sıvıları çözülebilir yağlarla çeşitli kimyasalların bir karışımıdır. %2 ila %30 oranında küçük taneli mineral yağ barındırırlar (Bienkowski, 1993). Geriye kalan yüzdelik kısımda emülsiyonlar ya da su oluşturur. Korozyon engelleyici, yüksek basınç katkısı ile bakteri ve mantar önleyiciler de diğer katkılardır. Yarı sentetikler, çözülebilir yağlara göre çok daha yüksek oranda emülsiyon yapıcı barındırırlar ve bunun sonucunda daha ufak emülsiyon taneleri oluşur. 0.1 µm'den daha küçük olan emülsiyon taneleri ışığın kırılmasını azalttıklarından dolayı saydam renkte sıvı oluşturmaktadırlar. Ufak tanelerin avantajı ise yağlayıcılığı artırmalarıdır. Yarı sentetik sıvıların ıslatma özellikleri fazladır, ısıyı hızlıca uzaklaştırabilirler bu sıvıların emülsiyon tanelerinin küçük olması ve düşük mineral yağ içermelerinden dolayı bakteri oluşumuna karşı da dirençlidir. Ancak içerisinde kullanılan suyun sertlik oranı kararlılığı etkiler ve çökelti oluşumuna sebep olabilir. Kimyasal katkılar barındırdığından dolayı köpürme daha basit oluşur ve çözülebilir yağlara göre daha düşük bir yağlayıcılık oranları vardır (Stephenson, 2006; Cerit, 1996)

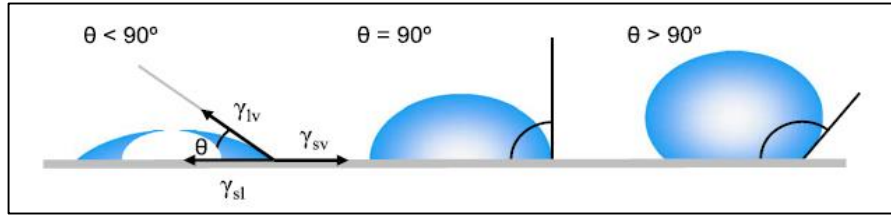
### **3.5.2.2.3. Sentetik kesme sıvıları**

Sentetik kesme sıvıları, su bazlı kesme sıvısı içerisine sadece kimyasal maddeler eklenerek oluşturulur. Petrol veya mineral yağ içermezler (Sluhan, 1994). İçerisinde; kimyasal yağlayıcılar, pas önleyici katkılar, yüksek basınç katkıları ve bakteri önleyiciler bulundurulur. Bu sıvıların soğutma yetenekleri ve korozyon engelleme özellikleri yüksektir. Ayrıca sentetik sıvıların kullanılması, iyi bir yüzey kalitesi sağlar. Soğutma yeteneklerinin iyi olması sebebiyle yüksek sıcaklıkların olduğu yüksek kesme hızlarında kullanımları yaygındır. Duman ve köpüğün oluşmamasından dolayı bu sıvılar bazı durumlarda çözülebilir yağlar yerine tercih edilirler. Fakat içeriğinde yağ olmadığı için yağlayıcılıkları düşüktür. Islatmayı ve yağlayıcılığı sağlamak amacıyla eklenen katkı maddeleri, makine kızak yağı ve diğer başka yağlarla emülsiyon oluşumuna sebep olarak sert kalıntıların oluşumuna neden olabilir (Lowa, 2003).

### 3.6. Temas Açısı

Yüzey özelliklerini belirlemede kullanılan yöntemlerden biri de yüzeyin su tutma (hidrofob), su emme (hidrofil) gibi özelliklerinin belirlenmesidir. Malzemelerin hidrofob ya da hidrofil olduğunun belirlenmesi temas açısı ölçümü ile mümkün olmaktadır. Son yıllarda, malzemeler üzerine çeşitli fonksiyonları yerine getirmek amacıyla farklı özellik ve bileşenlerde birçok kaplama uygulaması gerçekleştirilmektedir. Bu kaplamaların birçoğu farklı karakterde olup, kullanıldıkları uygulamaya göre farklı ihtiyaçlara cevap verebilmektedir. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılan kaplamalar suya karşı farklı şekillerde davranış gösteren kaplamalardır (Cengiz, 2010).

Sıvının katı bir yüzey ile temas etmesi sonucunda bir açı oluşur. Bu açı değeri temasın olduğu katının ve temas eden sıvının özelliklerine göre değişkenlik gösterir. Temas açısı katı yüzeyin ıslanabilirlik kabiliyetini ifade eder. Bu açının büyüklüğü kohezyon ve adezyon kuvvetlerinin büyüklüğüne bağlıdır. Eğer temas açısı 90 dereceden büyükse hidrofobik (ıslatmaz,) eğer temas açısı 90 dereceden düşükse hidrofilik (ıslatma), temas açısı 140 dereceden büyükse süper hidrofobik, eğer temas açısı  $0^{\circ}$  çok yakınsa süper hidrofilik (Şekil 3.5) olarak ifade edilir (Aydar, 2014).



Şekil 3.5. Su damlasının yüzeye tutunmasına göre değişen temas açısı (Aydar, 2014)

### 3.7. Ultrasonik Ses Üretimi ve Kullanım Alanları

Atmosferde kulağımızın algıladığı periyodik basınç değerine ses denir. Ses hava, sıvı, gaz ortamlarında meydana bir maddedeki moleküllerin titreşmesidir. Ses kaynaktan aldığı enerjilerle titreşerek yayılır. Titreşen cisimler esnek olduğundan ötürü ses dalgalarını oluştururlar ve ses dalgalarını iletebilirler.

Ses mekanik bir dalga olduğundan yayılması için bir ortama ihtiyaç duymaktadır. Ses dalgaları ortamlarda sıkışma ve genleşme şeklinde olmak üzere boyuna ilerleyen dalgalardır. Sesin bir frekansı, boyu, periyodu ve hızı yoktur. Bir saniye içerisindeki sesin titreşim sayısına sesin frekansı adı verilir. Birimi ise Hertz (Hz) dir. Dalga boyu bir ses dalgasının oluşması için sesin aldığı yola denir. Sesin hızı normal şartlarda havada 340, tahtada 4000-6000, suda 3000-5000, çelikte ise 8000 m/s'dir (Çiçekdağı, 2011). Sesin frekans sayısına göre adlandırılması aşağıdaki gibidir.

### **3.7.1. Alçak frekanslı ses (Infrasonik)**

Ses beri ya da infrases olarak nitelendirilen ses frekansları, 16 ile 20 Hz arasında olurlar. Böylece insan kulağının duyamayacağı kadar düşük, fakat hava basıncı değişiklikleriyle meydana gelen ses dalga frekanslarından daha büyüktür. İnsan kulağının teorik olarak 20 Hz ile 20000 Hz arasını duyduğu söylene de, en iyi 250 Hz ile 3000 Hz arasındaki konuşma frekansı bölgesini duyabilir.

### **3.7.2. Yüksek frekanslı ses (Ultrasonik)**

Ses öte ya da ultra Ses, insan kulağının duyamayacağı yüksek frekanstaki seslere verilen isimdir. Frekansı 20 kHz'in üzerindedir.

### **3.7.3. Çok yüksek frekanslı ses (Megasonik)**

Mega ses ya da megasonik 800 kHz'ten büyük olan MHz mertebesinde ölçülen çok yüksek frekanslı seslere verilen addır.

### **3.7.4. Ultrasonik sesin üretilmesinde kullanılan transdüserler**

Sıvı ortamda ultrasonik kaviteasyon üretmek için kullanılan ultrasonik transdüserler, elektrik enerjisini mekanik titreşimlere dönüştüren ve tam tersi biçimde mekanik titreşimleri elektrik enerjisine çeviren güç dönüştürücüleridir. Transdüserin içindeki en önemli aktif element elektrik enerjisini akustik enerjiye, akustik enerjiyi de elektrik enerjisine dönüştürür. Bu aktif element en basit şekliyle, karşılıklı iki yüzüne elektrot

eklenmiş polarize bir malzeme parçasıdır. Polarize malzeme ise bazı molekülleri pozitif yüklü, bazı molekülleri de negatif yüklü olan malzemelerdir.

Piezoelektrik transdüserler (Şekil 3.6) malzemeye elektrik alanı uygulandığında polarize molekülleri, elektrik alanına göre kendilerini dize ederler. Bu durum malzemenin moleküler veya kristal yapısında uyarılmış ikiz kutuplar olmasına sebep olur. Moleküllerin sıralanması malzemenin boyutunu değiştirir ve bu olguya da Electro striksiyon adı verilir. Ayrıca kalıcı olarak polarize edilmiş Quartz (SiO<sub>2</sub>) ya da baryum titan (BaTiO<sub>3</sub>) gibi malzemeler, mekanik bir kuvvet etkisiyle boyut değiştirdiğinde elektrik alanı oluşturur. Bu olgu da piezoelektrik tesir olarak bilinir (Çiçekdağı, 2011).



Şekil 3.6. Ultrasonik transdüser (Url-1)

### 3.8. Varyans Analizi

Varyans analizi (Analysis of Variance: ANOVA) belirlenen bir işlem için hangi değişkenlerin ne kadar etkin olduğunu istatistiksel olarak ortaya koyan analiz şeklidir. Varyans analizinde amaç, incelenen faktörlere, seçilen parametrelerin ne oranda etkilediklerini ve çıktılarını ne derece farklılaştırabildiklerini ortaya koyabilmektir. ANOVA, herhangi bir girdi parametresinin, bir dizi deneysel sonuçtan, işleme prosesi için deney tasarımı ile etkisinin belirlenmesi için yararlı olabilir ve deneysel verileri yorumlamak için kullanılabilir. Herhangi bir yüksek boyutlu işlevin, bir terim alt kümesine ayrılabilmesi bir yaklaşım gösterilebilir (Çetin, 2010):

$$f(x) = f_0 + \sum_{i=1}^n f_i(X_i) + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n f_{i,j}(x_i, x_j) + f_{1,2} \dots \dots, n(X) \quad (3.1)$$

Burada;

n: Girdilerin sayısı,

fo: Bir sabit (bias terimi) ve sağ taraftaki diğer terimler tek değişkenli, iki değişkenli, vb., giriş parametrelerinin fonksiyonel kombinasyonlarını temsil eder.

### 3.9. Belirlilik Katsayısı ( $R^2$ )

Belirlilik katsayısı, kullanılan X değişkenlerinin Y'deki toplam varyasyonu açıklayabilme oranını verir ve  $0 < R^2 < 1$ 'dir. Bu katsayı:

$$R^2 = \text{Reg.K.T.}/\text{G.K.T.} = 1 - (\text{H.K.T.}/\text{G.K.T.}) \quad (3.2)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada; Reg.K.T. : varyans analiz çizelgesindeki regresyon kareler toplamını, H.K.T. : hata kareler toplamını, G.K.T. : genel kareler toplamını göstermektedir. (Montgomery ve Peck, 2011). Modele giren değişkenler yönünden bir problem yoksa pratikte iyi bir ölçüdür.  $R^2$ 'nin karekökü Y ile X değişkenleri arasındaki çoklu korelasyon katsayısını verir.

### 3.10. Materyal

Deneysel çalışmalarda kullanılan kesici takım, malzeme, ölçüm cihazları, bitkisel yağ ve CNC torna tezgâhı bu bölümde anlatılmıştır. İş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi, boyutları, kuvvet sinyallerinin ölçümü için dinamometre, karışım oranını kontrol için refraktometre, yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı, yeni bir sistem olarak denenen ultrasonik atomizer cihazı, aşınma fotoğraflarının ve boyutlarının bulunmasında faydalanılan stereo zoom mikroskop ve tarama elektron mikroskop cihazlarının teknik özellikleri bu bölümde belirtilmiştir. Ayrıca deneylerin yapımında kullanılan makine ve teçhizatın kullanım amaçları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan makine ve teçhizat

Cihaz Adı / Modeli	Kullanım Amacı
CNC Torna Tezgâhı / ALEX ANL-75	İşleme deneylerinin gerçekleşmesinde
Kistler 9222A Dinamometre, Kistler Data Kablosu, Kistler 5070A11100 Amplifikatör, DAQ 6062E veri toplama kartı, Cut-Pro bilgisayar yazılımı	İşleme deneyleri sırasında oluşan kesme kuvveti ( $F_c$ ), ilerleme kuvveti ( $F_f$ ), ve radyal kuvvet ( $F_r$ ) ölçülmesi ve verilerin bilgisayara aktarılması
Yüzey Pürüzlülük Ölçme Cihazı / Hommel Werke T 500	İşlenmiş yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin ( $R_a$ ) ölçülmesi
Stereo Zoom Mikroskop/ OLYMPUS SZ 61	Kesici takım aşınmalarının ölçümü
Tarama Elektron Mikroskobu / Tescan Vega/LSU	Aşınma fotoğraflarının incelenmesi
Ultrasonik Atomizer / Hangzhou 50kHz T8700 ve Analog Generatör	Deneylerde kullanılan soya yağı ve suyun atomizasyonu
Refraktometre / ATC	Karışım oranını belirlenmesi
KSV CAM 101	Temas açısının ölçümü

#### 3.10.1. CNC torna tezgâhı

Tornalama işlemleri CAD/CAM araştırma ve uygulama merkezi bünyesinde bulunan ALEX ANL-75 markalı CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Çizelge 3.2. CNC torna tezgâhı özellikleri

Tezgâh Özellikleri	Birimi
X eksen	350 mm
Z eksen	520 mm
Tezgâh gücü	15 kW
Maksimum devir sayısı	4000 dev/dak
Hassasiyet	0.001 mm
Maksimum takım sayısı	12

### 3.10.2. Dinamometre ve amplifikatör

Kesme kuvveti sinyallerinin analizi, talaşlı imalatta, kesme şartlarının izlenmesinde en çok tercih edilen bir yöntemdir. Kesme kuvveti sinyallerinin ölçülmesinde Kistler firmasına ait 9257B modeli dinamometre, (Çizelge 3.3), kesme kuvveti sinyallerinin yükseltilmesi ve uygun kanal düzenin ayarlanabilmesi için ise Kistler 5070A11100 tipi amplifikatör (Çizelge 3.4) kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Kistler 9257 B dinamometrenin teknik özellikleri

Kuvvet aralığı (Fx, Fy, Fz)	5...10
Tepki verme	(N) 0,01
Hassasiyet	Fx, Fy -7,5 (pC/N)
Hassasiyet	Fz -3,5 (pC/N)
Doğrusallık	%1 FSO
Histerezis	%0,5 FSO
Doğal frekans	f0(x,y,z) 3,5 (kHz)
Çalışma sıcaklığı	(0°...70 °C)
Kapasitans	220 (pF)
20 °C'deki yalıtım direnci	1013 (Ω)
Topraklama sınıfı	108 (Ω)
Koruma sınıfı	IP 67
Ağırlık	7,3 kg

Çizelge 3.4. Kistler 5070A amplifikatör teknik özellikleri

Kanal sayısı	8
Açıklama	19" rack
Bağlantı	Fischer 9 pol. Neg
Ölçüm aralığı	±200.....200000pC
Frekans aralığı	0.....>45 kHz
Frekans aralığı	±10
Çıktı sinyali	200.....240 V
Arayüz	RS-232C

### 3.10.3. Yüzey pürüzlülük cihazı

Deneyleerde farklı parametrelerde elde edilen yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde 0,01 µm hassasiyette ölçüm yapabilen, elmas uçlu Hommel Werke firmasının T 500 yüzey pürüzlülük test cihazı kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Hommel Werke T 500 yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri

Yüzey pürüzlülüğü parametreleri	$R_a, R_z, R_{max}$
Hafıza	Maksimum 125 ölçüm
Ölçüm uzunluğu (ISO 4287’ye göre)	$L_t = 1.5 \text{ mm}, 4.8 \text{ mm}, 15 \text{ mm}$
Ölçüm hızı	$v_t = 0.15 \text{ mm/s}, 0.5 \text{ mm/s}, 1 \text{ mm/s}$
Hassasiyet sınıfı	Sınıf 1, DIN 4772’ye göre

### 3.10.4. Stereo zoom mikroskop

Takım aşınmalarının gözlemleyebilmek ve görüntüleri dijital ortama atabilmek için en küçük 6,7 en büyük 90 büyültme yapabilen, ring aydınlatmalı, hareketli tablası olan, 1.3 mega pixel çözünürlüklü kamera ve ölçüm programı olan OLYMPUS SZ 61 modeli Stereo Zoom mikroskop kullanılmıştır. Cihaz teknik özellikleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. OLYMPUS SZ 61 stereo zoom mikroskop teknik özellikleri

Büyütme	0.67x...4.5x
Büyütme oranı	6.7:1
Çalışma uzunluğu	110 mm
Video kamera uyumluluğu	2MP 0.5x kameraya sahip

### 3.10.5. Tarama elektron mikroskobu (TEM)

Takım aşınma fotoğraflarının incelenmesinde, 4x’den 1.000.000x’e kadar büyültme aralığı olan, FEI QUANTA FEG 250 TEM cihazından faydalanılmıştır. Çizelge 3.7’de cihaz ile teknik ilgili bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.7. TEM cihazı teknik özellikleri

Çözünürlük	1.4 nm
Büyütme aralığı	4 - 1000000×
Detektörler	EDS, SE, DBS, LFD

### 3.10.6. Veri toplama kartı

Dinamometreden alınan kesme kuvveti sinyalleri sinyal düzenleyiciden geçtikten sonra National Instrument DAQ 6062E tipi veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılmıştır. Çizelge 3.8’de kartın teknik özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 3.8. Veri toplama kartı özellikleri

16 bit analog sinyali 1.25MS/s veri girişi için kullanabilme
Analog çıkış
8 dijital giriş/çıkış kanalı
24 adet bit sayıcı
70’den fazla sinyal izleyebilme imkânı

### 3.10.7. Refraktometre

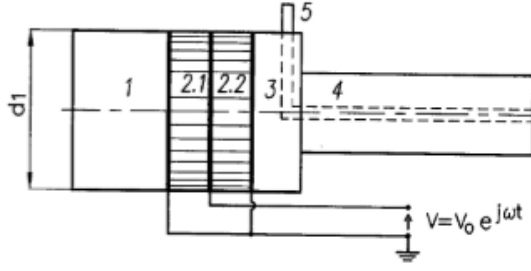
Karışım oranını belirlemek için ATC 0-32 Brix ölçer refraktometre kullanılmıştır. Çizelge 3.9’da cihazın teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.9. Refraktometre cihazının teknik özellikleri

Ölçüm Aralığı	0 ... 32 °Bx
Çözünürlük	0.2 °Bx
Boyut	27 x 40 x 160 mm
Ağırlık	150 gr

### 3.10.8. Ultrasonik atomizer

Ultrasonik atomizer cihazı yüzey üzerinde akustik rezonans oluşturan bir cihaz olduğundan içinde bulunan piezoelektrik elemanı sayesinde temas eden akışkanı eşit boyutta damlacıklara ayırmak için kullanılmıştır. Damlacıkların boyutu piezoelektriğin yaydığı ses dalgaların sıklığı ile doğru orantılı olarak değişmektedir (Geoff, 2014). Ultrasonik atomizerin bağlı olduğu jeneratörde üç kademe akım değeri bulunmaktadır. Cihaz teknik özelliğinden ötürü tek bir frekansa sahiptir. Damlacık boyutları frekans farklılıklarıyla değişebilmektedir. Akım farklılıkları atomizerden çıkan zerrecik miktarını değiştirmektedir. Tüm deneylerde tek bir amper değeri (3. Kademe) kullanılmış, zerrecik miktarı saatte 2 lt. olarak deneylere dahil edilmiştir. Ultrasonik atomizerin teknik şeması Şekil 3.7’de gösterilmiştir



- 1- Destek parçası
- 2.1- Piezoelektrik elemanı
- 2.2- Piezoelektrik elemanı
- 3- Mekanik Transformatör
- 4- Atomizer borusu
- 5- Sıvının atomizere gireceği kanal

Şekil 3.7. Ultrasonik atomizer şeması (Geoff, 2014)

50 kHz lik ultrasonik atomizer (Şekil 3.8) su ve yağ karışımını 28 mikron ( $\mu\text{m}$ ) büyüklüğünde sis damlası haline getirerek dışarıya vermiştir. Tercih edilen ultrasonik atomizer modelinde mevcut olan hava girişi sayesinde kompresör ile bağlantısı yapılmış 4 bar'lık hava ile sis damlacıkları basınçlı olarak tornalama işleminde kesici takım yüzeyine püskürtülmüştür.



Şekil 3.8. 50kHz ultrasonik atomizer

### 3.10.9. Temas açısı ölçüm cihazı

Katı, sıvı ve havadan oluşan üçlü faz sisteminde, sıvının katı yüzeyinde oluşturduğu statik haldeki açı, temas açısı olarak tanımlanır. Bu açının artması durumunda katı yüzeyi, sıvı tarafından ıslatılmamakta dolayısıyla yüksek temas açısı, katının daha

hidrofobik olduğu anlamına gelmektedir. Temas açısı çoğunlukla ( $\theta$ ) ile değerlendirilir (Fuerstenau vd., 1991).



Şekil 3.9. Temas açısı ölçüm cihazı

Deneylede ıslanabilirliğin bir göstergesi olan hidrofilik veya hidrofobik özelliğin ölçümünün gerçekleştirilmesi için KSV CAM 101 cihazı kullanılmıştır. (Şekil 3.9). Cihaz ile ilgili teknik veriler Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10. KSV CAM 101 teknik özellikleri

Temas açısı ölçüm aralığı	0 – 180 derece
Hata payı	+/- 0.1 derece
Maksimum örnekleme boyutu	Sınırsız x 150 x 150 mm (l x w x h)
Çerçeve aralığı	0.1 s
Kamera	CCD, 50mm optik

### 3.10.10. Soya yağı

Soya yağı, %18-20 oranında yağ içeren soya fasulyesi tohumlarından elde edilir. Soya yağı, linolenik yağlar arasında yer almaktadır. Soya yağının içeriğinde triterpenler, steroller ve tokoferoller gibi yağın sabunlaşmayan bileşenleri değişik oranlarda bulunur. Yüksek orandaki tokoferol içeriğine karşın, yüzde 4-11 arasında değişen linolenik asit miktarı soya yağının oksidatif stabilitesini düşürmektedir. (Karahan, 2010). Deneylede kesme sıvısı olarak hazırlanan karışımda kullanılan soya yağının oranları %1, %5 ve %10 dur. Düşük viskoziteli sıvıların soğutma kapasitesi daha yüksektir. Soya yağının viskozitesi 40 °C de 32.93 cm<sup>2</sup>/saniye iken 100 °C de 8.08 cm<sup>2</sup>/saniye dir. Ayrıca yağın parlama noktası 240 °C, dir.

### 3.10.11. AISI 4140 Islah çeliği

AISI 4140 çeliği, düşük alaşımlı Cr-Mo’li ıslah çeliklerinin en yaygın kullanılan alanına sahip olup, krom-molibden çeliği olarak bilinmektedir. AISI 4100 serisi çeliği,

düşük alaşımlı yapı çelikleri, dövme kalite çelikler, orta karbonlu çelik ve alaşımlı çelik olarak da isimlendirilir. Kullanım alanları arasında, otomobil ve uçak yapımı, krank mili, aks mili, dişli çark ve bandaj vb. parçaları sayabiliriz. Ayrıca, soğuk çekme mil ve çubukları, makine çelikleri, yaylar, türbin motorları, turbo jeneratörlerin fren halka ve kolları, gemi zincir ve demirleri yapımında, demiryolu tekerlekleri ve millerinde, starter dişlilerinde ve birçok yerde kullanılmaktadırlar (Url-2, 2018). Deneyleerde, kullanım alanın çok olan bir malzeme üzerinde fayda sağlanabilmesi sanayideki birçok sektöründe maliyetlerinde olumlu etkilere sebep olacaktır. Çizelge 3.11, 3.12, 3.13'te AISI 4140 çeliğine ait kimyasal kompozisyonlar, mekanik, ısı işleme özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.11. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu (Url-2)

Element	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo
%	0.38-	0.75-	0.035	0.04	0.15-	0.80-	0.15-
Ağırlık	0.45	1.00	(max)	(max)	0.30	1.10	0.25

Çizelge 3.12. AISI 4140 çeliğinin ısı özellikleri (Url-2)

Özellikler	Koşullar	
	T(°C)	İşlem
Isıl Genleşme (10 <sup>-6</sup> /C)	12,3	20-100
Isıl İletkenlik (W/m-K)	42,7	100
Özgül Isı (j/kg-K)	473	150-200

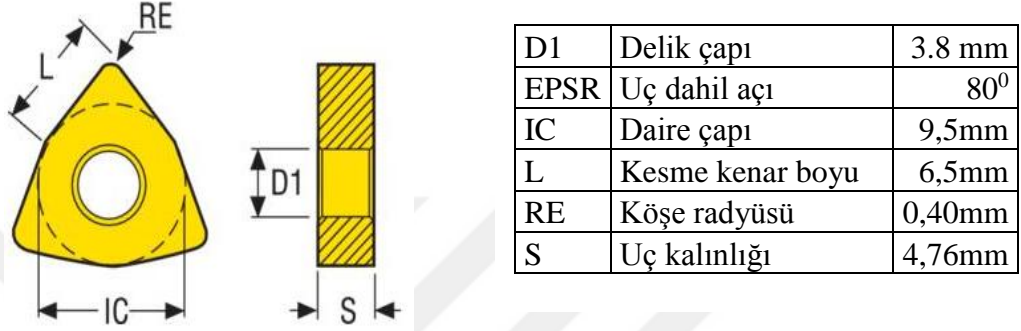
Çizelge 3.13. AISI 4140 çeliğinin mekanik özellikleri (Url-2)

Özellikler	Koşullar		
	T(°C)	İşlem	
Yoğunluk (x1000kg/m <sup>3</sup> )	7,7-8,03	25	
Poison Oranı	0,27-0,30	25	
Elastisite Modülü (GPa)	190-210	25	
Çekme Dayanımı (Mpa)	655	25	
Akma Dayanımı (Mpa)	417,1		
% Uzama	25,7		
% Kesit Daralması	56,9		
Sertlik (HB)	197	25	815 °C 'de tavllanmış
Darbe Dayanımı (J)	54,5	25	815 °C 'de tavllanmış

### 3.10.12. Kaplamsız karbür takımlar

Karbür takımlar talaşlı imalatta en sık kullanılan takım malzemeleridir. Seçilen geometrideki her kesici uçta, 3 ön yüzeyde, 3 arka yüzeyde olmak üzere toplam 6 adet

kesici kenar bulunmaktadır. Ekonomikliğinin yanında takım ömründe elde edilecek iyileşmenin yansması bu geometride seçilen kesici uç için daha çok olacaktır. Deneyleerde kesici takım olarak SECO WNMG080404-M1 geometrisinde kaplamasız karbür takım tercih edilmiştir. Her parametre için takım aşındıktan sonra yeni parametrede deneyleere başlangıç, yeni kesici kenar ile yapılmıştır. Deneyleerde kullanılan SECO marka kesici takım ile ilgili veriler Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. SECO Kaplamasız karbür kesici takım özellikleri

### 3.10.13. Ticari kesme sıvısı

Ticari kesme sıvısı olarak CNC torna tezgâhında Blaser marka B-Cool 655 kodlu, kesme sıvısı kullanılmıştır. Çizelge 3.14’de kesme sıvısı ile ilgili kimyasal ve fiziksel verilerin gösterildiği ürün; su ile karışabilen, klorsuz, düşük mineralli yağa sahip bir kesme sıvısıdır (Url-3, 2018).

Çizelge 3.14. B-Cool 655 kesme sıvısının özellikleri

Mineral yağ içeriği	%24
Su içeriği	%21
20°C de Yoğunluğu	1.01 g/ cm <sup>3</sup>
40°C de Viskozitesi	59.5 mm <sup>2</sup> /s
Alevlenme noktası	160 °C
Rengi	Yeşilimsi kahverengi

### **3.11. Yöntem**

Gerçek deneysel çalışmalara başlamadan önce, sistemin çalışmasını kontrol etmek amacıyla bir takım ön deneyler yapılmıştır. Ön deneyler yapılmasındaki amaç, deneysel çalışmalar sırasında karşılaşılabilecek muhtemel olan sorunları önceden belirlemek, ortaya çıkabilecek problemlere çözüm yollarını bulmaktır.

#### **3.11.1. Deney tasarımı ve kesme parametrelerinin belirlenmesi**

Kesici takımın işleme parametre değerleri katalogdan belirlenirken, ISO 3685 deney standardının belirlenen malzeme ve kesici takım için önerilen devir sayısı ve ilerleme miktarı aralıklarında olmasına dikkat edilmiştir. Üç farklı ilerleme miktarı (0.10, 0.15, 0.20 mm/dev) ile üç farklı kesme hızı (150, 200, 250 m/dak) seçilerek, dört farklı kesme sıvısı (%1, %5, %10 soya yağı - su, ticari kesme sıvısı) ve kuru kesme ile 45 deney tasarlanmıştır. Her deney kendi içinde kesici uç aşınana kadar tekrarlanmıştır. Kesme derinliği tüm deneylerde 1 mm, kesme uzunluğu ise 100 mm olarak yer almışlardır. Çizelge 3.15’de deney deseni gösterilmiştir.



Çizelge 3.15. Deney deseni

Deney No:	V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	Kesme Sıvısı
1	150	0,10	1	%1 Karışım
2	150			%5 Karışım
3	150			%10 Karışım
4	150			T. Kesme Sıvısı
5	150			Kuru Kesme
6	200	0,10	1	%1 Karışım
7	200			%5 Karışım
8	200			%10 Karışım
9	200			T. Kesme Sıvısı
10	200			Kuru Kesme
11	250	0,10	1	%1 Karışım
12	250			%5 Karışım
13	250			%10 Karışım
14	250			T. Kesme Sıvısı
15	250			Kuru Kesme
16	150	0,15	1	%1 Karışım
17	150			%5 Karışım
18	150			%10 Karışım
19	150			T. Kesme Sıvısı
20	150			Kuru Kesme
21	200	0,15	1	%1 Karışım
22	200			%5 Karışım
23	200			%10 Karışım
24	200			T. Kesme Sıvısı
25	200			Kuru Kesme
26	250	0,15	1	%1 Karışım
27	250			%5 Karışım
28	250			%10 Karışım
29	250			T. Kesme Sıvısı
30	250			Kuru Kesme
31	150	0,20	1	%1 Karışım
32	150			%5 Karışım
33	150			%10 Karışım
34	150			T. Kesme Sıvısı
35	150			Kuru Kesme
36	200	0,20	1	%1 Karışım
37	200			%5 Karışım
38	200			%10 Karışım
39	200			T. Kesme Sıvısı
40	200			Kuru Kesme
41	250	0,20	1	%1 Karışım
42	250			%5 Karışım
43	250			%10 Karışım
44	250			T. Kesme Sıvısı
45	250			Kuru Kesme

### 3.11.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

Kesme kuvveti sinyallerinin ölçümünde dinamometre, sinyal yükseltici, amplifikatör, veri toplama kartı ve ara bağlantı elemanları kullanılmıştır. Bilgisayar yazılımı olarak da Cut-Pro programı kullanılmıştır.

Kesme uzunluğu 100 mm olarak belirlenerek 3 ekseninde ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) kesme kuvveti sinyalleri alınmıştır.  $F_x = F_c$  (esas kesme kuvveti),  $F_y = F_r$  (radyal kuvvet),  $F_z = F_f$  (ilerleme kuvveti) olarak belirlenmiştir. Cut-Pro yazılımından ham olarak alınan sinyaller Matlab programı ile işlenip aritmetik ortalamaları alınarak nihai kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Hesaplamalar yapılırken kesici takımın malzemeye ilk değdiği ve çıkış yaptığı sinyaller aritmetik ortalama kısmına dâhil edilmemiştir. Ayrıca bazı kesme hızı ve ilerleme miktarlarında meydana gelen tırlama sinyalleri belirlenip hesaplama haricinde tutulmuştur.

### 3.11.3. Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi

Kesme işlemi tamamlandıktan sonra, tornalanmış yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri Hommel Werke firmasına ait yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür. Silindirik iş parçası üzerindeki 3 ayrı bölgeden, kesme uzunluğu 0,8 mm ve örnekleme ölçümleri uzunluğu 17,5 mm olarak yapıldı. Tüm ölçümler yaklaşık olarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak, nihai yüzey pürüzlülüğü değeri hesaplanmıştır. Değerlerin, takım aşınmasından etkilenmesini en aza indirmek için her yeni takımın ilk talaş kaldırma işleminden sonra ölçümler alınmıştır.

### 3.11.4. Deney sonuçları için ANOVA analizi

Deneyler sonucunda kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen kesme kuvvetleri, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerleri için Design Expert istatistiksel yazılım programını kullanılarak ANOVA analizi yapılmıştır. İncelenen faktörlerin çıktı faktörlerine ne oranda etkili olduklarını, farklı seviyelerin, çıktı değerlerine etkileri, ayrıca yapılan deney sonuçlarının istatistiksel olarak güvenilirliği incelenmiştir.

ANOVA analizinde öncelikle sinyal/gürültü oranının toplam değişkenliğini belirten SST değeri (toplam karelerin toplamı) hesaplanmıştır.

$$SST = \sum_{i=1}^n (\eta_i - \eta_m) \quad (3.1)$$

Burada;

$\eta_i$ : Ölçülen değer üzerinden hesaplanan sinyal gürültü oranını,

$\eta_m$ : Ölçülen değer üzerinden hesaplanan sinyal gürültü oranlarının ortalamasını,

n: Toplam deney sayısını ifade etmektedir.

SST'yi oluşturan her faktörün ve hata payı faktörünün toplamıdır. Her faktörün kareleri;

$$SSA(SSB, SSC, \dots) = \sum_{i=1}^{k_a} |na_i \cdot x(na_i - \eta_m)|^2 \quad (3.2)$$

Şeklinde hesaplanır. Burada;

$k_a$ : Faktörünün seviye sayısını,

$na_i$  = a faktörünün i seviyesindeki deney sayısını,

$\eta_m$  = Ortalama S/N oranını ifade etmektedir (Demirok, 2008).

İstatiksel analizler sonucu esas kesme kuvveti, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün regresyon formülleri çıkarılmıştır.

### 3.11.5. Takım aşınması ölçümleri

Seçilen kesme parametrelerine göre yapılan deneylerde elde edilen takım aşınması ölçümlerinde stereo zoom mikroskoptan faydalanılmıştır. AISI 4140 ıslah çeliğinin işlenmesinde kullanılan kesici takım için ISO 3685'de belirtilen VB ortalama = 0.3 mm aşınma değeri esas alınmıştır ve bu değere ulaşıncaya kadar talaşlı üretime devam edilmiştir. Her deney parametresindeki tornalama işleminden sonra kesici uç, kalibrasi sürekli olarak kontrol edilen mikroskopla inceleme altına alınıp aşınma değerleri ölçülmüştür. VB ortalama değeri 0.3 mm değerine ulaştığında mevcut

parametre için deney sonuçlandırılmış kesici takım ucu değiştirilerek yeni deneylere başlanmıştır.

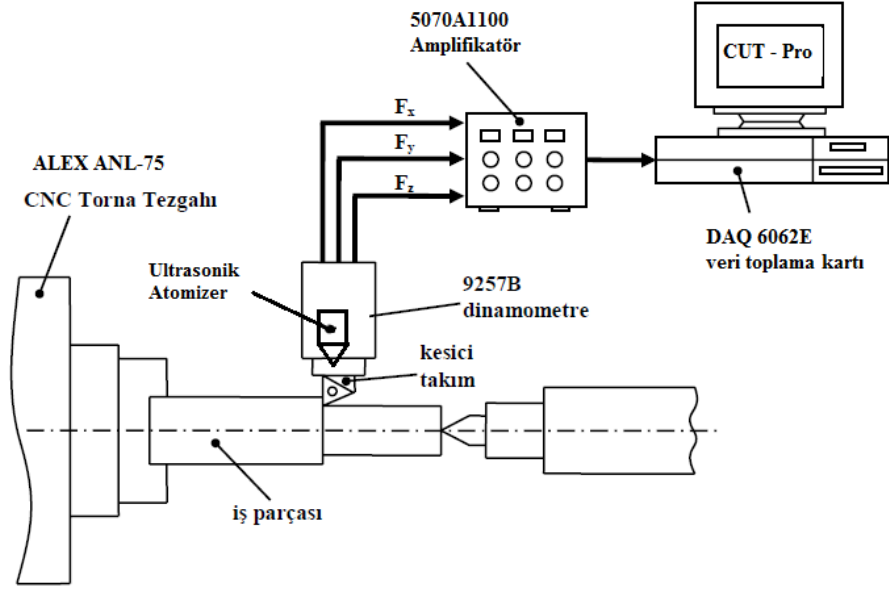
### **3.11.6. Temas açısının ölçümü**

Temas açısı ölçümleri KSV CAM 101 model ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Cihaz bilgisayar kontrollü olup kullanıcı tarafından programlanan video yardımıyla yüzey-ara yüzey gerilimi ve temas açısı ölçümü yapabilmektedir.

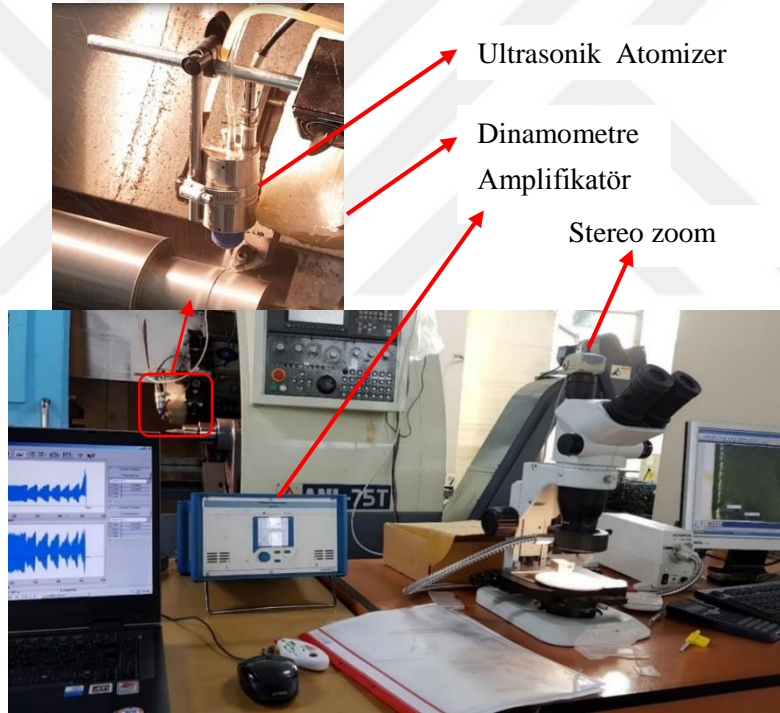
Temas açısı ölçümünde, malzeme örnek sehpa üzerine konulmuş, yüzeyin düzgün olması için sehpa açısız olarak ayarlandıktan sonra cihazın şırıngasında bulunan sıvıdan kesici takım yüzeyi üzerine damla bırakılmıştır. Mineral yüzeyi-sıvı ve havadan oluşan üçlü faz dengeye geldikten sonra kameradan görüntüler alınmıştır. Cihazın yakaladığı görüntülerden damlanın sıvı üzerinde yayılma durumuna göre elde ettiği açı yazılımında bulunan Young-Laplace eşitliğinde yerine konmuş, sıvının katı yüzey üzerinde oluşturduğu temas açısını  $\theta_{sol}$  ve  $\theta_{sağ}$  olmak üzere derece olarak vermiştir. Temas açısını hesaplarken bu iki değer ortalama alınarak elde edilmiştir. Bu ölçüm tüm soya yağı-su karışım oranları ile birlikte mineral esaslı ticari kesme sıvısı ve ayrıca kıyaslama amaçlı olarak su için de yapılmıştır. Temas açısı sonuçları ortalama olarak verilmiştir.

### **3.11.7. Deney şeması**

Deneylein yapılabilmesi için CNC torna tezgahına bağlanan iş parçası ve kesici takıma, dışarıdan ultrasonik atomizer sistemi uygulaması yapılmıştır. Kompresörden gelen hava sayesinde, iş parçası ile kesici takım sürtünme bölgesine sis buharı şeklinde su, yağ ve hava karışımı püskürtülmüştür. Şekil 3.11 ve 3.12'de deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.11 Deney şeması



Şekil 3.12 Deney düzeneği

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

AISI 4140 ıslah çeliğinin, tornalanması ile yapılan işleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti, takım ömrü ve yüzey pürüzlülük değerleri; kesme hızı, ilerleme miktarı ve işleme şekline göre oluşturulan grafikler kullanılarak değerlendirilip yorumlanmıştır. Elde edilen değerlerin ANOVA analizi yapılarak istatistiki yönden de incelemesi yapılmış ve optimizasyon değerleri belirlenmiştir.

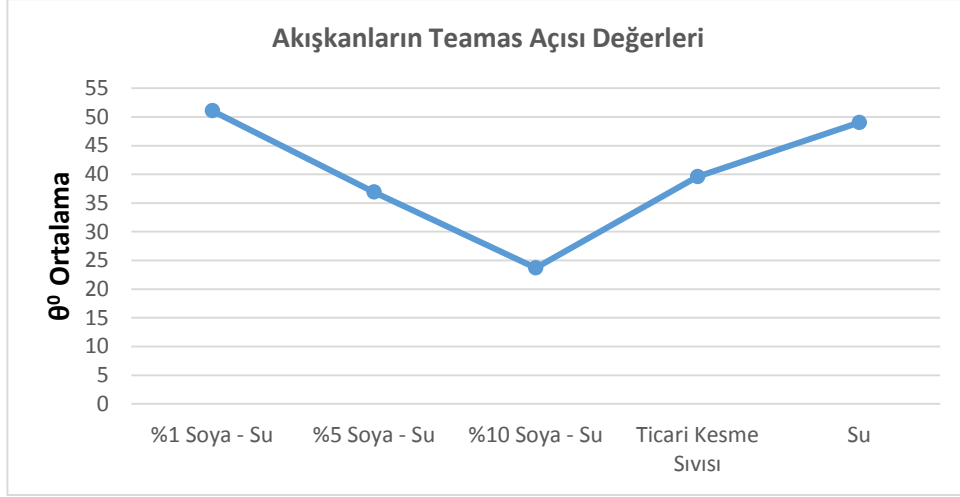
##### 4.1. Temas Açısı Bulguları

Deneysel çalışmada kullanılan tüm sıvılara ek olarak, suyun da temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Sıvılar kesici uç üzerine damlatılıp sağ ve sol teta açıları ( $\theta$ ) ölçülmüştür. Her iki açının ortalama değerleri hesaplanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.1’de tablo halinde verilmiştir.

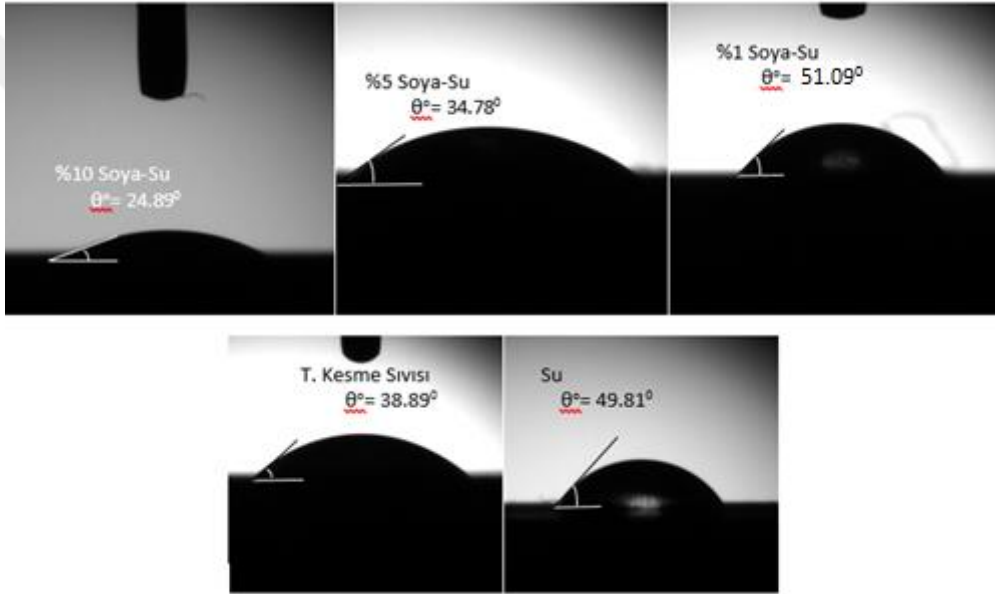
Çizelge 4.1. Temas açısı ölçümleri

Akışkanlar	$\theta^\circ$ Sağ	$\theta^\circ$ Sol	$\theta^\circ$ Ortalama
%1 Soya-Su	51.9	50.29	51.095
%5 Soya-Su	39.11	34.78	36.945
%10 Soya-Su	22.50	24.89	23.70
Ticari Kesme Sıvısı	40.34	38.89	39.615
Su	48.26	49.81	49.03

Ölçümler sonucu ortalama teta açıları ( $\theta^\circ$ ) incelendiğinde en iyi ıslanabilirlik sergileyen sıvının %10 soya yağı-su karışımı olduğu görülmüştür. Şekil 4.2’de, sıvıların kesici uç üzerindeki yayılımlarının kamera görüntüleri görülmektedir. %5 soya yağı-su ve %10 soya yağı-su karışımının diğer sıvılara göre daha küçük teta ( $\theta^\circ$ ) açılara sahip oldukları ve ıslatma kabiliyetlerinin daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Kesme akışkanlarının temas açısı değerlerinin ortalamaları



Şekil 4.2. Temas açısı ölçüm görüntüleri

## 4.2. Kesme Kuvveti Bulguları

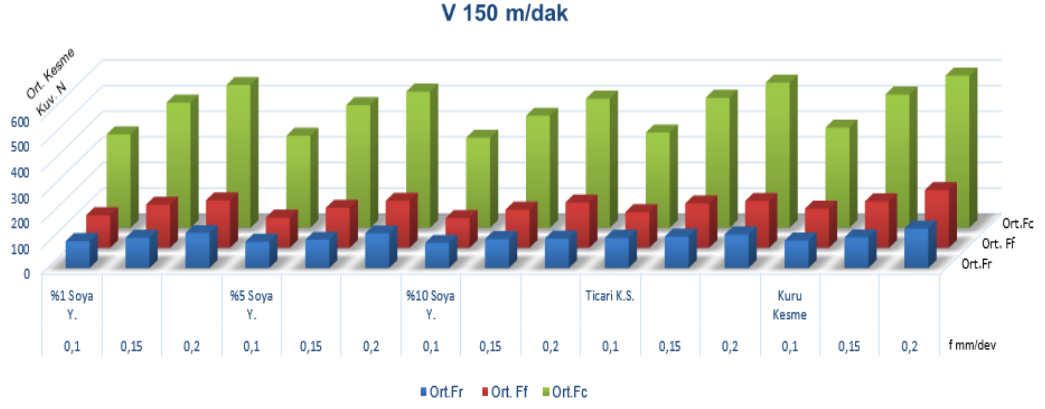
Ultrasonik atomizer uygulamalarının kesme kuvveti üzerindeki etkilerini yorumlamak için işleme şekline (%1, %5, %10 soya yağı-su, mineral esaslı ticari kesme sıvısı, kuru kesme) ve kesme hızına bağlı olarak talaş kaldırma sırasında ölçülen kuvvet bileşenlerinin ( $F_c$ ,  $F_f$  ve  $F_r$ ) ortalama değerleri, ilerleme değerlerine bağlı olarak Çizelge 4.2'de verilmiştir

Çizelge 4.2. Deneysel çalışmada elde edilen kesme kuvveti değerleri

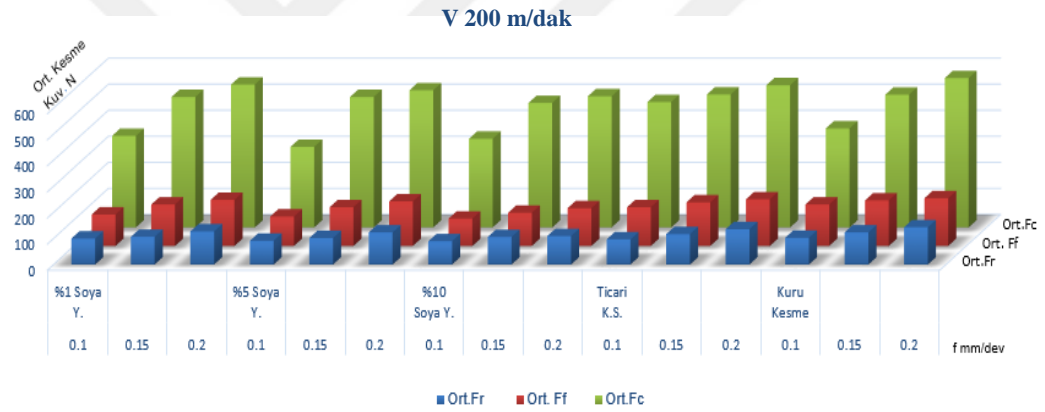
Kesme Hızı (V) m/dk	İlerleme Oranı (f) mm/dev	Kesme Sıvısı	Ort. F <sub>r</sub> N	Ort. F <sub>f</sub> N	Ort. F <sub>c</sub> N
150	0.1	%1 Soya Y.-Su	104.870	127.340	364.410
	0.15		118.190	168.610	488.290
	0.2		136.580	185.270	557.030
	0.1	%5 Soya Y. -Su	103.050	118.170	359.120
	0.15		116.210	156.210	478.560
	0.2		134.870	183.780	531.090
	0.1	%10 Soya Y.- Su	98.120	116.210	351.210
	0.15		113.560	149.130	436.960
	0.2		115.400	177.060	503.870
	0.1	Ticari K.S.	117.680	139.570	371.400
	0.15		122.730	173.430	507.320
	0.2		131.100	183.100	565.960
	0.1	Kuru Kesme	107.12	153.21	390.62
	0.15		129.41	181.57	520.07
	0.2		154.04	225.73	593.12
200	0.1	%1 Soya Y.-Su	99.670	120.900	351.220
	0.15		106.29	159.21	500.48
	0.2		127.110	177.180	548.030
	0.1	%5 Soya Y.- su	91.180	113.110	349.170
	0.15		101.750	148.960	500.410
	0.2		123.190	171.180	526.190
	0.1	%10 Soya Y.- Su	89.540	105.190	340.260
	0.15		105.860	127.610	477.480
	0.2		109.330	144.810	503.310
	0.1	Ticari K.S.	96.710	148.960	481.160
	0.15		116.540	167.370	510.160
	0.2		135.710	179.200	545.490
	0.1	Kuru Kesme	102.42	159.19	489.9
	0.15		123.08	174.77	559.39
	0.2		143.08	183.12	572.98
250	0.1	%1 Soya Y.-Su	90.040	118.200	355.190
	0.15		94.630	153.760	486.210
	0.2		121.680	168.120	556.290
	0.1	%5 Soya Y.-Su	89.510	148.190	349.510
	0.15		87.650	159.420	499.190
	0.2		118.390	166.730	531.580
	0.1	%10 Soya Y.-Su	71.960	143.900	344.900
	0.15		97.160	150.380	463.420
	0.2		104.140	180.930	495.910
	0.1	Ticari K.S.	90.060	151.690	457.480
	0.15		95.260	164.100	525.190
	0.2		136.030	177.110	543.010
	0.1	Kuru Kesme	99.35	159.18	482.03
	0.15		106.42	173.91	560.32
	0.2		139.11	179.41	613.12



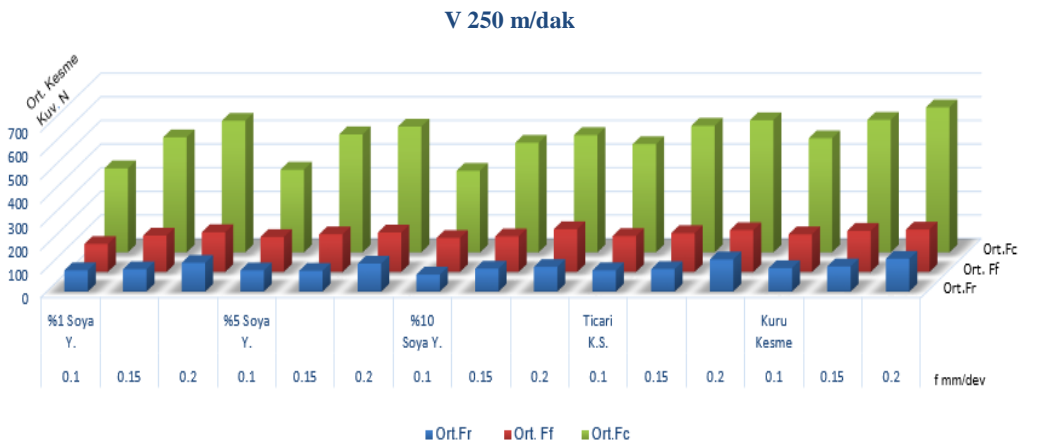
Çizelgedeki değerler kullanılarak Şekil 4.3-4.5’de ki grafikler elde edilmiştir. Grafiklerde her üç eksen kuvvet bileşeninin, kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme sıvısına göre değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 150 m/dak Kesme hızında ilerleme miktarı ve kesme sıvısındaki değişimlere bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerindeki değişim



Şekil 4.4. 200 m/dak Kesme hızında ilerleme miktarı ve kesme sıvısındaki değişimlere bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerindeki değişim



Şekil 4.5. 250 m/dak Kesme hızında ilerleme miktarı ve kesme sıvısındaki değişimlere bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerindeki değişim

Deney verileri ve grafikler kesme sınırları bakımından incelendiğinde soya yağı-su karışımlarının ultrasonik atomizer ile püskürtülmesinden alınan ölçümlerin, ticari kesme sıvısına ve kuru kesme şartlarına göre daha iyi çıktığı, kesme kuvvetlerinde %5-%14 arasında azalma görüldüğü gözlemlenmiştir. Buna sebep, püskürtülen sıvının talaş-takım ara yüzeyine daha iyi nüfuz etmesi, yağlama görevinin yanı sıra soğutma kabiliyetinin de olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca ultrasonik atomizer ile püskürtülen karışımlardaki soya yağı oranı (%1, %5, %10) arttığında kesme kuvvetlerinde azalma meydana gelmiştir. Artan karışım oranındaki yağ miktarının, kesme bölgesindeki sürtünme kuvvetini azalttığı düşünülmektedir. Kesme kuvvetleri için kullanılan hesaplama üçgenlerinden yola çıkarak elde edilen denklemlerden hesaplanan sürtünme katsayıları, 200 m/dak kesme hızında, 0.1 ilerleme deki soya yağı su karışımları için hesaplanmıştır. %1 karışım için  $\mu=0.42$ , %10 karışım için  $\mu=0.39$  çıkmıştır. Hesaplamalar sonucu karışım oranının artması sürtünme kuvvetini azalttığına göstergesidir.

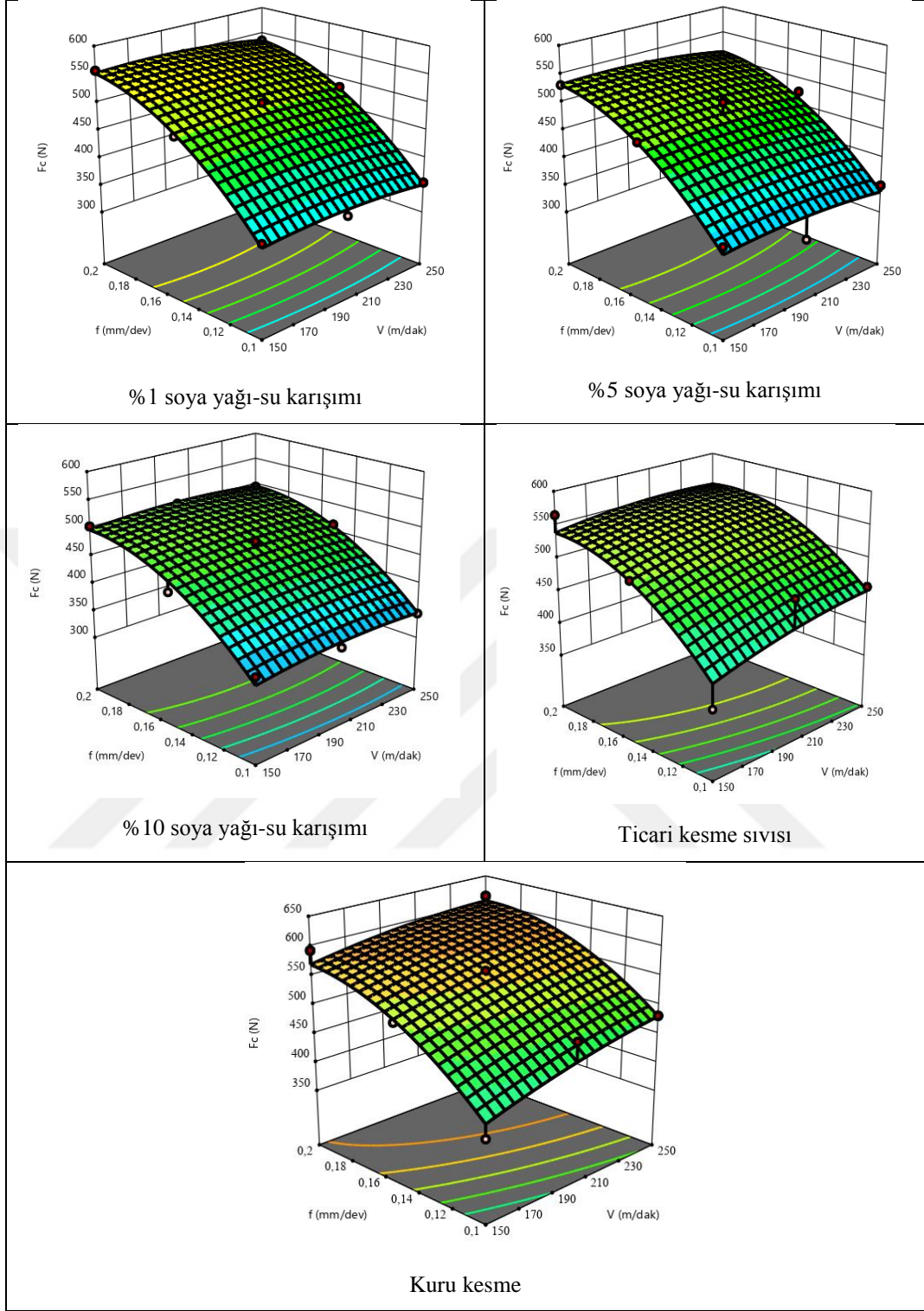
En küçük kesme hızı (150 m/dak) ve ilerleme miktarında (0.1 mm/dev) incelenen soya yağı oranlarındaki değişimlerin esas kesme kuvvetine etkisi, %2 ile %5 arasında çıkmıştır. Pülverize olarak püskürtülen sıvıların sıcak bölgede hızlı bir soğutma sağladığı, mikron boyutundaki zerreciklerin çabuk buharlaşması kesme bölgesindeki ısının hızlı bir şekilde azalmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

Grafiklere bakıldığında tüm işleme koşulları için kesme hızının artışıyla kesme kuvvetlerinin genel olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla kesici takım-talaş ara yüzündeki sürtünme azaldığından dolayı esas kesme kuvvetleri azalmıştır (Dhar vd., 2007). Kesme hızında % 25-33 civarındaki artışa oranla kesme kuvvetindeki azalma daha düşük olmuştur. Fakat bu azalma 250 m/dak kesme hızında dalgalı bir şekilde ortaya çıkmış, bazı parametrelerde artışlar görülmüştür. Yüksek kesme hızında, kesme bölgesindeki ısının hızlı artış göstermesi, kesici uçta aşınmanın çabuk başlaması, ultrasonik sistemden püskürtülen yağ ve suyun hızlı buharlaşması sonucunda yağlama ve soğutma görevini yeteri kadar yerine getirememiştir. Bu sistemin sağladığı avantajların, yüksek kesme hızlarında etkili olmadığı görülmektedir.

Deneyleerde kesme kuvvetlerinin ilerleme miktarına bağlı olarak değişimleri incelendiğinde, ilerleme miktarının artışıyla kesme kuvvetlerinde artışlar görülmüştür. Bu duruma sebep kaldırılan talaş hacminin artmasının yanında kesici ucun plastik deformasyon oranının artmasıyla kesme kuvvetlerinin de artması olarak görülmektedir (Saini vd., 2014).

Şekil 4.6’da, elde edilen kesme kuvvetleri değerlerinin, Şekil 4.3-4.5’den farklı olarak kesme hızı ve ilerleme miktarına göre değişimleri 3B yüzey grafikler ile gösterilmiştir. Kesme sıvıları ve kuru kesme şartı için etkileşimler ayrı grafiklerde değerlendirilmiştir. Literatürde belirtildiği gibi, kesme hızının kesme kuvvetlerine etkisinin ilerleme miktarının etkisinden daha az olduğu görülmektedir (Çetin, 2010).





Şekil 4.6. Kesme kuvvetinin, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı gösterimi

Kuru kesme şartlarında yapılan deneylerde tırlama problemi yaşanmıştır. Özellikle yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarlarında tırlama daha erken başlamıştır. Kesme sıvıları ile yapılan deneylerde ise tırlama daha geç başlamıştır. Kesme sıvılarının kullanımı kesici uç aşınmasını geciktirmesinden dolayı tırlamaya başlangıç sürelerini de geciktirmiştir. Sabit ilerleme miktarı ve kesme derinliği ile kesme hızı

parametresinde yapılan değişiklikle, kesme hızları 80 m/dak 100m/dak ve 120 m/dak'ya düşürölüp kuru kesme şartlarında deneyler yapılmış ve tırlamanın ortadan kalktığı görölmüşür. Takım tezgâhında ki tüm rijitlikler kontrol edildikten sonra meydana gelen tırlama etkisini azaltmak için izlenecek yöntemlerden biride kesme hızını kademeli olarak azaltmaktır (Karaca, 2008).

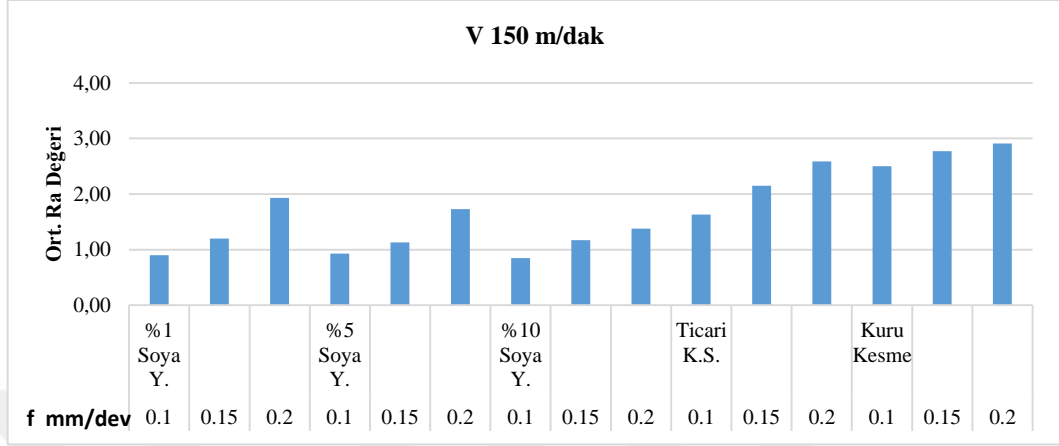
### 4.3. Yüzey Pürüzlülüğü Bulguları

Kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme sıvısı ve kuru kesme şartlarında yapılan deneylere bağlı olarak işlenmiş yüzeylerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlölük değerleri Çizelge 4.3'te ki tabloda verilmiştir.

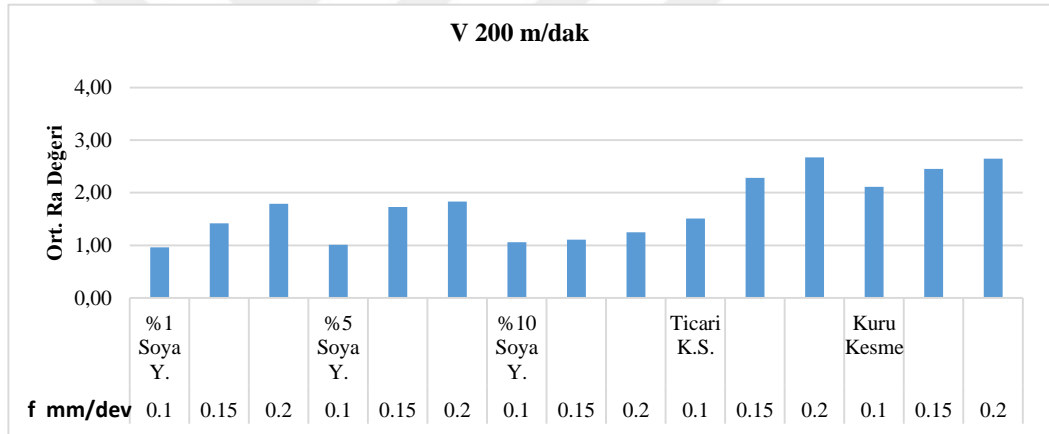
Çizelge 4.3. Elde edilen ortalama yüzey pürüzlölük (Ra) değerleri

Kesme Hızı (V) m/dk.	İlerleme miktarı (f) mm/dev.	Kesme Sıvıları	Ort. Ra Değeri
150	0.1	% 1 Soya Y.	0.90
	0.15		1.20
	0.2		1.93
	0.1	% 5 Soya Y.	0.93
	0.15		1.13
	0.2		1.73
	0.1	% 10 Soya Y.	0.85
	0.15		1.17
	0.2		1.38
	0.1	Ticari K.S.	1.63
	0.15		2.15
	0.2		2.59
	0.1	Kuru Kesme	2.5
	0.15		2.77
	0.2		2.91
200	0.1	% 1 Soya Y.	1.10
	0.15		1.15
	0.2		1.86
	0.1	% 5 Soya Y.	0.98
	0.15		1.10
	0.2		1.36
	0.1	% 10 Soya Y.	0.81
	0.15		1.16
	0.2		1.29
	0.1	Ticari K.S.	1.59
	0.15		2.27
	0.2		2.42
	0.1	Kuru Kesme	1.95
	0.15		2.33
	0.2		2.79
250	0.1	% 1 Soya Y.	1.12
	0.15		1.42
	0.2		1.79
	0.1	% 5 Soya Y.	1.10
	0.15		1.23
	0.2		1.26
	0.1	% 10 Soya Y.	1.06
	0.15		1.11
	0.2		1.32
	0.1	Ticari K.S.	1.51
	0.15		2.28
	0.2		2.67
	0.1	Kuru Kesme	2.00
	0.15		2.30
	0.2		2.70

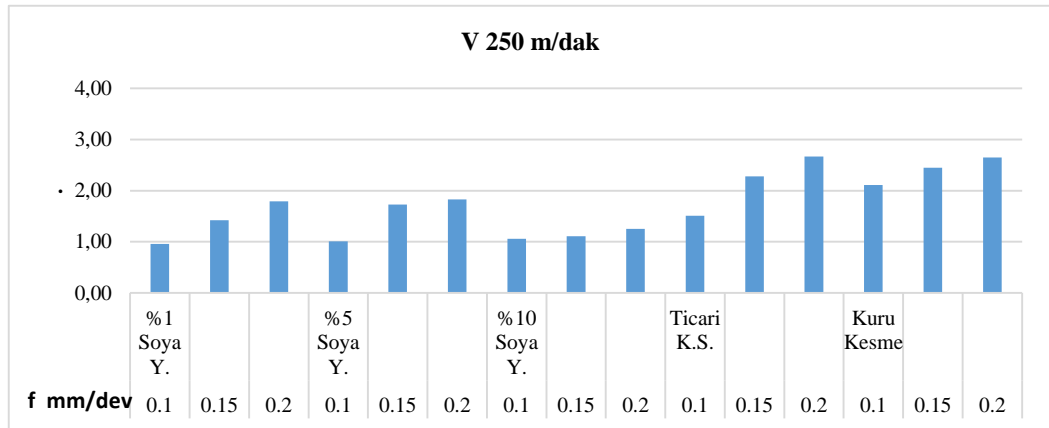
Elde edilen veriler doğrultusunda işleme şekline, kesme hızına ve ilerleme miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişimler Şekil 4.7-4.9'da grafiklerle gösterilmiştir.



Şekil 4.7. 150 m/dak Kesme hızındaki ortalama yüzey pürüzlüğü grafiği



Şekil 4.8. 200 m/dak Kesme hızındaki ortalama yüzey pürüzlüğü grafiği



Şekil 4.9. 250 m/dak Kesme hızındaki ortalama yüzey pürüzlüğü grafiği

Grafikler ve Çizelge 4.3'teki veriler incelendiğinde farklı ilerleme miktarına sahip yüzey pürüzlülük değerleri kıyaslanmış, ilerlemedeki artış ile yüzey pürüzlülük değerlerinde de artış olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, yüzey pürüzlülüğü için ilerlemenin etkili bir parametre olduğunun göstergesidir. Literatürde de belirttiği gibi, ilerleme miktarının artması kesici takımın, iş parçası eksenine doğrultusunda artan hareketi sonucu, kaldırması gereken talaşı tam kaldıramayıp parçacıklar bırakmasına neden olduğundan, yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olmaktadır (Koçak, 2011). Ayrıca ilerlemenin artmasıyla artan talaş kesit alanı, talaşın tamamıyla şekillenmesine engel olup yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir.

Yüzey pürüzlülüğü üzerindeki diğer etkili parametre, kesme hızıdır. Kesme hızının artışı ile yüzey pürüzlülük değerlerinde düşüşlerin olduğu görülmektedir. Düşüşler 200 m/dak kesme hızında yoğun olarak gözlemlenmiştir. Sonuç literatür ile de uyumlu çıkmıştır.

Kesme hızının artışı ile kesme bölgesindeki ısı artışına bağlı olarak malzemenin talaş kaldırma işleminde daha kolay deforme olması ve talaşın daha kolay uzaklaşmış olduğu (Uluğ, 2014), yüzey pürüzlülüğündeki düşüşe sebep olarak düşünülmektedir. Ancak 250 m/dak kesme hızında gerçekleştirilen deneylerde kesme hızının yükselmesi ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin düşmesi beklenirken 200 m/dak kesme hızına kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Buna sebep; işlenen malzemenin içsel bozukluğu, talaş akışının sebep olduğu bozukluklar ve kesici takımın yıpranmasının erken başlamasının etkileri olarak düşünülmektedir. Oluşan sürekli talaşın artan kesme hızıyla kontrolsüz davranış sergilemesinin artması ve talaşın bazı deneylerde malzeme üzerine sarması sonucunda iş parçası yüzeyinin deformasyona uğradığı düşünülmektedir. Aynı zamanda kesme hızının artmasıyla birim zamanda daha çok talaş kaldırmak zorunda kalan kesici takımdaki aşınmalar ve titreşimlerin artması yüzey pürüzlülük değerlerinin düzensizliğinin sebebi olarak değerlendirilmiştir.

Kesme sıvıları talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğüne etki eden diğer bir parametredir. Kuru ve ıslak kesim deneyleri arasındaki ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin farklılığı bu yaklaşımı net olarak ifade etmektedir. Şekil 4.6-4.8 deki grafiklerde yer alan farklı oranlardaki soya yağı-su karışımlarının ultrasonik atomizer ile püskürtülerek tornalama işlemine eklenmesi, mineral esaslı ticari kesme sıvısı

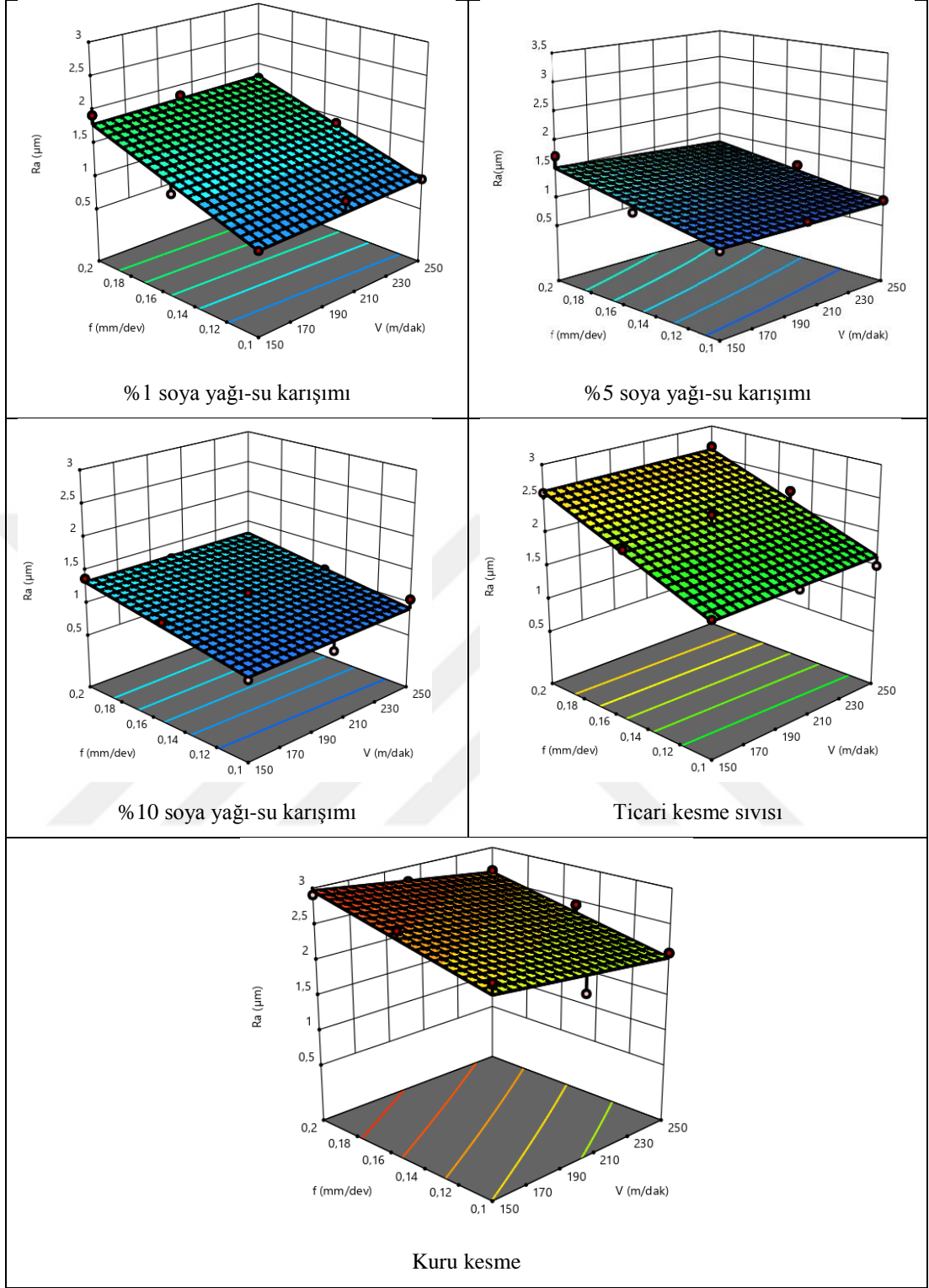
kullanarak yapılan deneylere oranla daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri ortaya çıkarmıştır. Buna sebep olarak, kesici uç üzerinde oluşan ince film tabakası sürtünmeyi azaltarak daha iyi yağlama yaptığı düşünülmektedir. Ayrıca yağ karışım oranı arttıkça yağlama özelliği arttığından, ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde de iyileşme gözlenmiştir. Bu değişim ortalama %11-%27 arasında oluşmuştur. Artan ilerleme ve kesme hızı ile, karışım oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi daha da belirginleşmiştir. %10 karışım oranı, %5 ve %1 karışım oranlarına göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü sağlamıştır. Kuru kesme deneylerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek olması, talaş bölgesindeki artan sıcaklığın etkisi, sürtünmenin fazla olması ve kesici takımın aşınmaya erken başlaması olarak açıklanabilir.

Yüksek kesme hızı ve yağ karışım oranının kombinasyonu sonucu deneylerde beklenenin aksine daha kötü yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Kesme hızındaki artışa bağlı artan sıcaklık sebebiyle oluşan erken buharlaşma, püskürtülen sıvının yağlama özelliğini de ortadan kaldırmış ve kesici uçta erken deformasyona sebep olmuştur. Bu sonuç 250 m/dak da kesme hızındaki takım ömrü süreleri ile kıyaslandığında (bkz. Şekil 4.15-4.17) doğrular niteliktedir. Literatürde de yer aldığı gibi, artan kesme hızıyla daha kontrolsüz davranış sergileyerek iş parçası yüzeyini deformasyona uğratmasının yanı sıra kesme hızının artmasıyla birim zamanda daha çok malzeme kaldırmaya maruz kalan kesici takımdaki titreşimlerin artması yüzey pürüzlülüğü değerlerinde düzensiz değişimlere neden olmuştur (Çakır vd., 2016).

En düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri en düşük ilerleme miktarında (0,1 mm/dev), 200 m/dak kesme hızında en yüksek karışım oranında (%10 soya yağı-su) ultrasonik atomizer ile püskürtülmesiyle elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri ise 0,2 mm/dev ilerlemede, en düşük kesme hızında (150 m/dak) kuru kesme şartında elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ultrasonik atomizerin düşük kesme hızlarında ve yüksek karışım oranında sıvılar ile kullanılması önerilebilir.

Şekil 4.10 da elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, şekil 4.7-4.9'dan farklı olarak kesme hızı ve ilerleme miktarına göre değişimlerini gösteren 3B yüzey grafikleri verilmiştir. Her kesme sıvısı ve kuru kesme şartı için etkileşimler ayrı grafiklerde gösterilmiştir.





Şekil 4.10. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve ilerlemeye bağlı gösterimi

#### 4.4. Takım Ömrü ve Aşınması Bulguları

Deneyler neticesinde elde edilen takım ömrü değerleri Çizelge 4.4'te tablo halinde verilmiş, bu veriler doğrultusunda kesme hızı ve ilerleme değerlerine bağlı olarak hazırlanan aşınma-takım ömrü grafikleri Şekil 4.11-4.19 arasında gösterilmiştir.

Püskürtülen soya yağı-su karışımların kesici takım ömrüne etkileri, mineral esaslı ticari kesme sıvısı ve kuru kesme şartları ile yapılan talaşlı imalattaki sonuçlar ile kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.4. Elde edilen takım ömrü değerleri

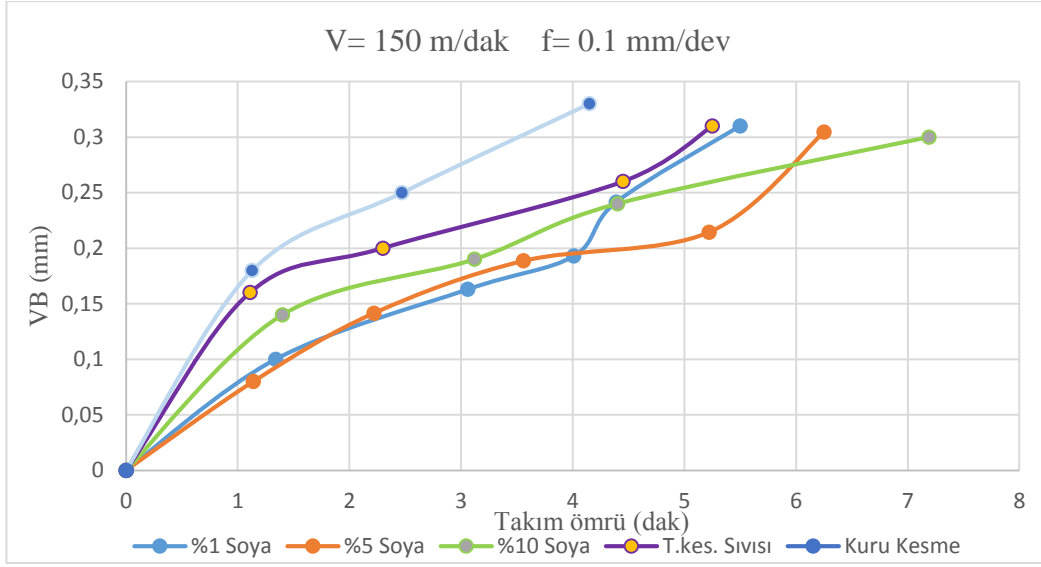
Kesme Hızı (V) m/dk.	İlerleme Oranı (f) mm/dev.	Kesme Sıvıları	Kesici Takım Ömrü (dak)
150	0.1	% 1 Soya Y.	5,50
	0.15		3,27
	0.2		2,32
	0.1	% 5 Soya Y.	6,25
	0.15		4,03
	0.2		3,04
	0.1	% 10 Soya Y.	7,29
	0.15		5,09
	0.2		4,07
	0.1	Ticari K.S.	5,25
	0.15		3,1
	0.2		2,18
	0.1	Kuru Kesme	4,15
	0.15		2,58
	0.2		1,59
200	0.1	% 1 Soya Y.	1,5
	0.15		1,34
	0.2		1,21
	0.1	% 5 Soya Y.	2,2
	0.15		2
	0.2		1,37
	0.1	% 10 Soya Y.	2,49
	0.15		2,2
	0.2		1,48
	0.1	Ticari K.S.	1,54
	0.15		1,3
	0.2		1,2
	0.1	Kuru Kesme	1,4
	0.15		1,2
	0.2		1,07
250	0.1	% 1 soya.	1,05
	0.15		0,55
	0.2		0,32
	0.1	% 5 Soya Y.	1,13
	0.15		0,57
	0.2		0,43
	0.1	% 10 Soya Y.	1,27
	0.15		1,03
	0.2		0,5
	0.1	Ticari K.S.	0,54
	0.15		0,41
	0.2		0,33
	0.1	Kuru Kesme	0,51
	0.15		0,33
	0.2		0,3

Şekil 4.11-4.13 grafikleri incelendiğinde 150 m/dak kesme hızında takım aşınmasının diğer kesme hızlarına (200 m/dak, 250m/dak) göre daha yavaş olduğu, takımda meydana gelen serbest yüzey aşınmasının daha düzgün olduğu belirlenmiştir. Buna sebep olarak düşük kesme hızında kesme sıcaklıklarının da düşük olduğu, dolayısıyla

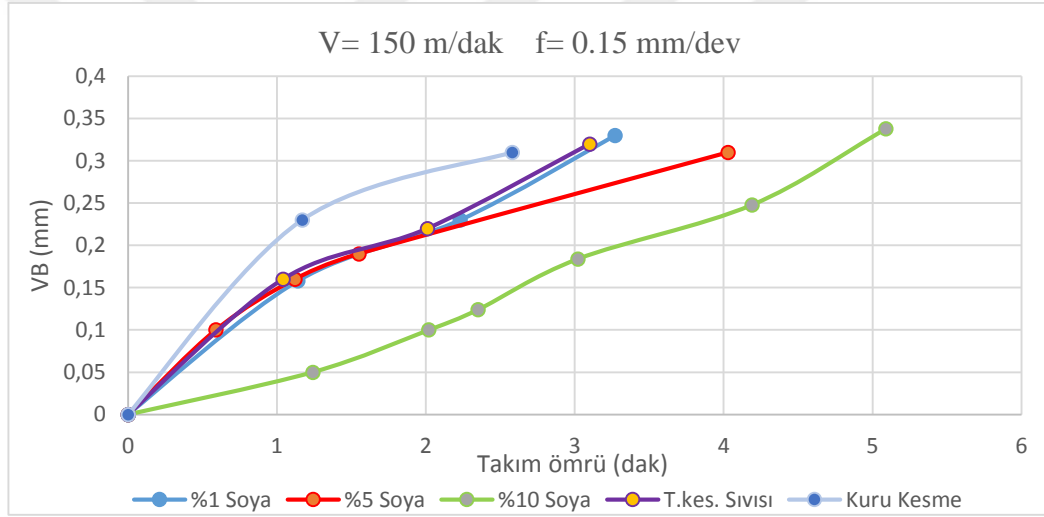
kullanılan kesme sıvılarının soğutma görevini daha iyi yaptığı yorumlanabilir. Kesme hızını (%10 soya yağı-su karışımı için), 150 m/dak dan 200 m/dak'ya çıkarıldığında takım ömründe %65, 200 m/dak dan 250 m/dak çıkarıldığında ise %51 oranında kısalma tespit edilmiştir. Buna sebep, literatürde belirtildiği gibi kesme hızının artmasıyla artan ısı ve basıncın, aşınma mekanizmalarının etkisini artırarak kesici takımın ömrünü kısalttığı söylenebilir (Çakır,1999).

Diğer taraftan ilerlemenin artmasıyla kesici takımda aşınmanın meydana geldiği fakat bu aşınmanın kesme hızı artışıdaki aşınmadan daha yavaş bir şekilde olduğu görülmüştür.

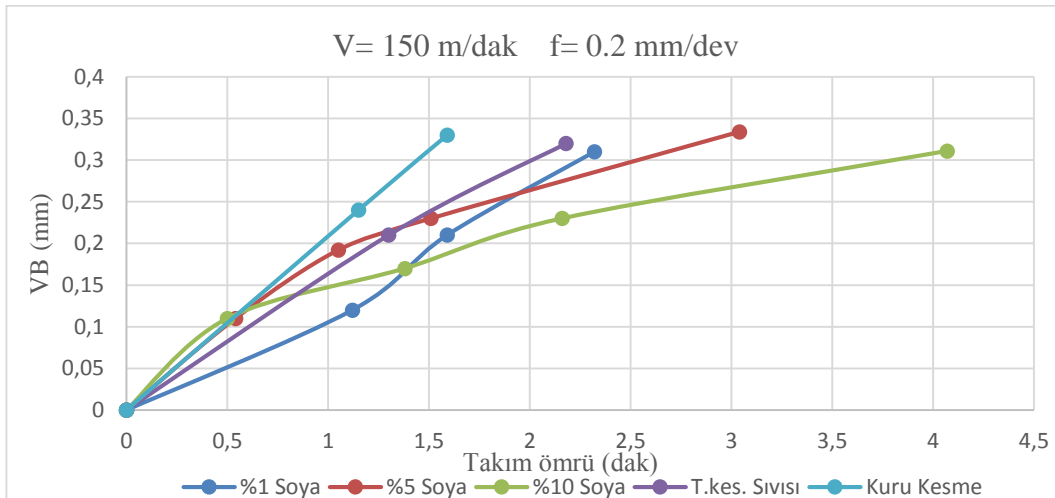
Kesme sıvılarının etkisine bakıldığında  $V=150$  m/dak'da ki tüm ilerleme miktarlarında mineral esaslı ticari kesme sıvısına oranla artış sağladığı görülmüştür. Buna sebep olarak ultrasonik atomizer ile püskürtülen soya yağı-su karışımlarının partiküllerinin kesici takıma daha iyi nüfuz edip ticari kesme sıvısına oranla daha yüksek yağlama yaptığı düşünülmektedir. 0.1 mm/dev ilerleme miktarında %10 soya yağı-su karışımından elde edilen takım ömrü 7 dakikanın üzerinde olmuştur. Aynı ilerleme miktarında, ticari kesme sıvısı ile yapılan talaşlı imalattaki takım ömrü süresi 4 dakika civarı çıkmıştır. Karışım oranı ve debi artışlarının genel olarak ortalama yan yüzey aşınmasını azalttığı ve takım ömrünü uzattığını, bunun nedenin MQL sisteminin kesici takım-talaş ara yüzünde sürtünmeyi azaltması olduğunu vurgulanmıştır (Sarıkaya ve Güllü, 2015). Benzer durum Ultrasonik atomizer ile püskürtülen karışımlardaki yağ oranının artması ile benzerlik görülmüştür. %10 yağ oranına sahip kesme sıvısından alınan değerler diğer karışıma oranlarına göre daha olumlu çıkmıştır.



Şekil 4.11. 150 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği

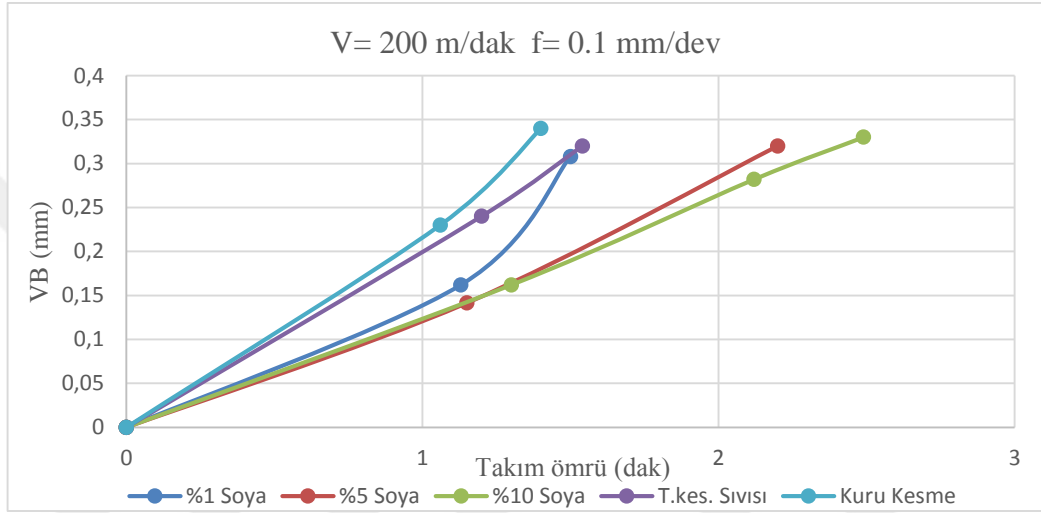


Şekil 4.12. 150m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği

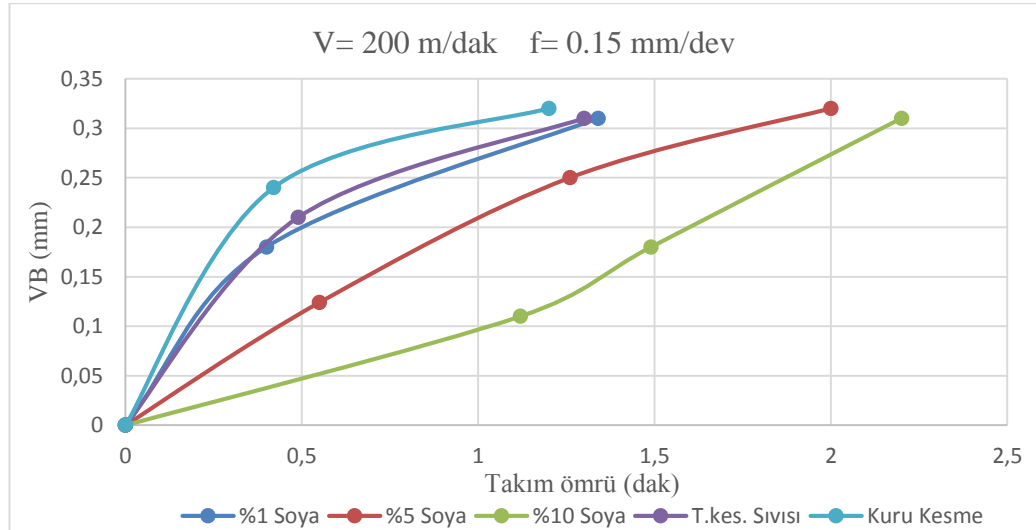


Şekil 4.13. 150 m/dak. kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği

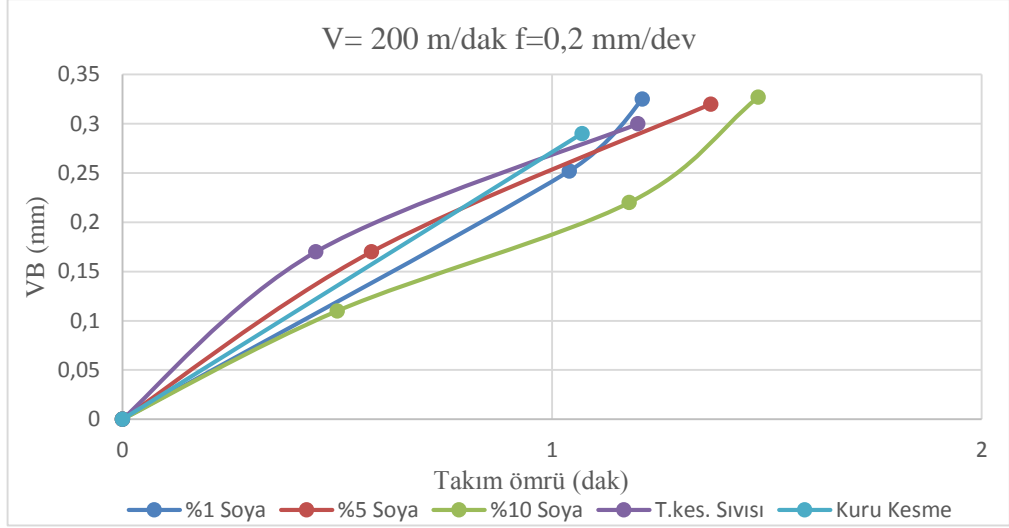
Kesme hızı 200 m/dak'da ki deneyler incelendiğinde 150 m/dak kesme hızındaki değerlerine oranla daha düşük takım ömürlerine sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca tüm ilerleme miktarlarında takım ömründe azalma olmasına karşın en büyük azalama 0.2 mm/dev ilerleme miktarında olmuştur (Şekil 4.14-4.16). En düşük takım ömrü kuru kesme şartında 0.2 mm/dev ilerleme miktarında 1.07 dakika olmuştur. En iyi takım ömrü ise %10 soya yağı-su karışımında 0.1 mm/dev ilerleme miktarında 2.49 dakika olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.14. 200 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme miktarında takım ömrü grafiği

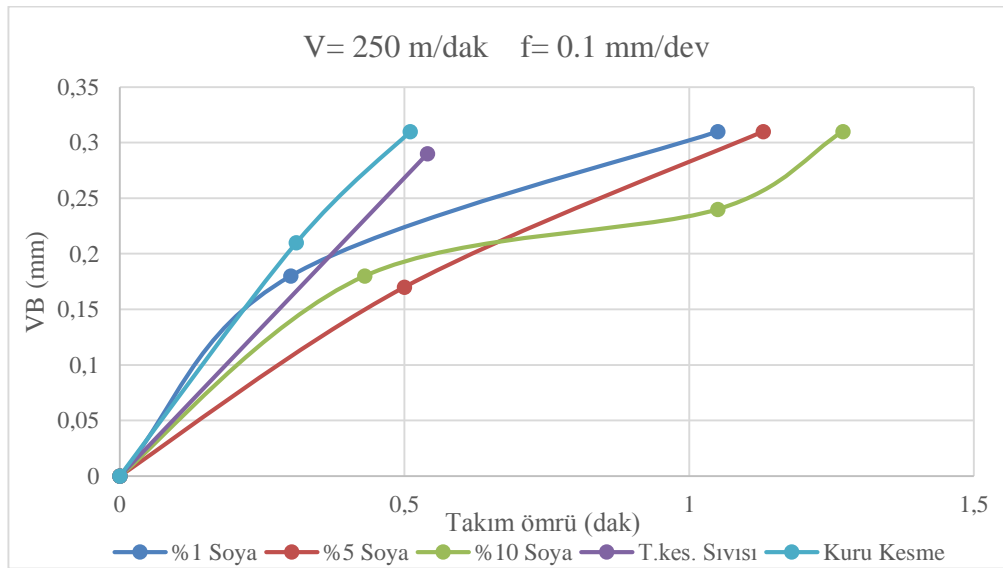


Şekil 4.15. 200 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme miktarında takım ömrü grafiği

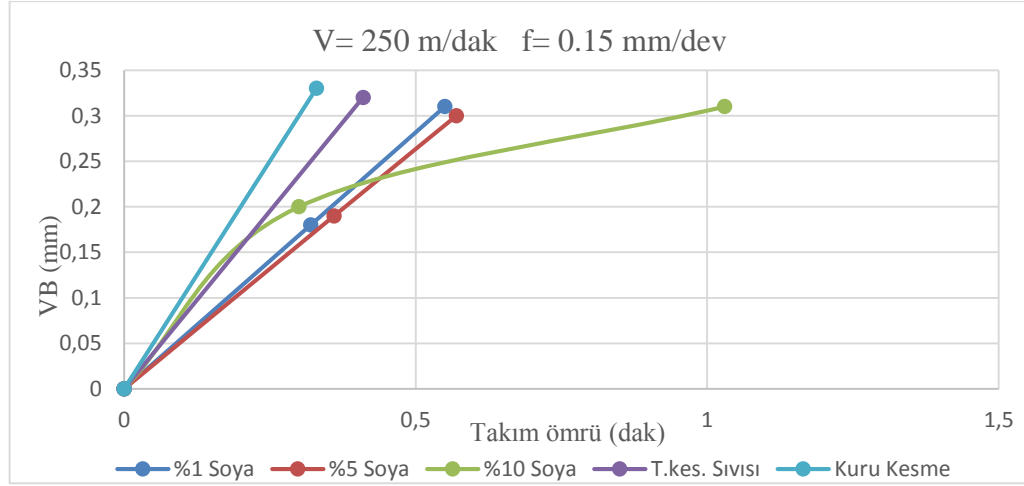


Şekil 4.16. 200 m/dak kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği

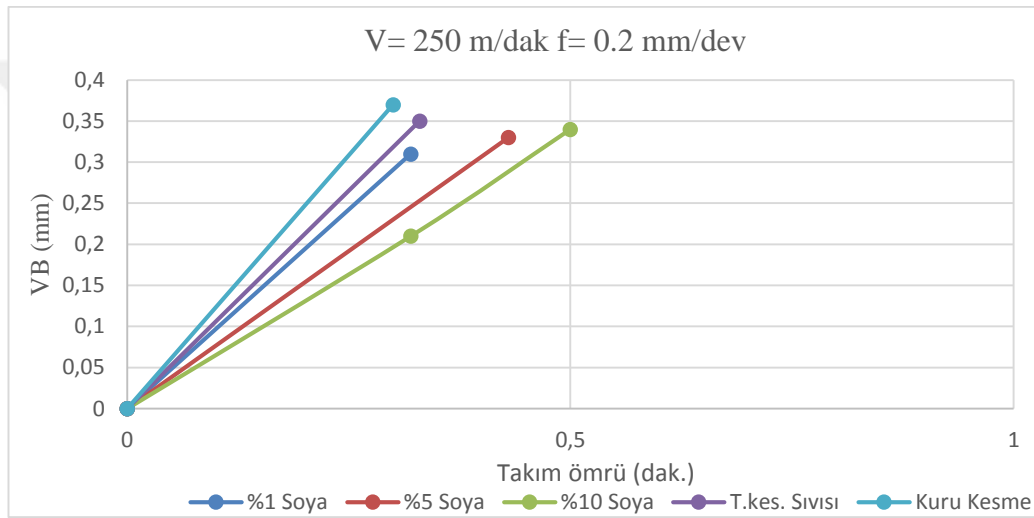
İlerleme oranındaki artışlar takım üzerine gelen gerilmeleri doğrudan artırdığından bu durum kaplamasız karbür takımlar ile yapılan deneylerin birçoğunda kesici takımların 0.3 mm yan serbest yüzey aşınma kriterine çok çabuk ulaşmasına sebep olmuştur. 250 m/dak kesme hızında yapılan deneylerde takım ömrü süreleri daha da azalmıştır (Şekil 4.17-4.19). Kesici takımlarda sadece yan serbest yüzey aşınması değil burun kırılmaları da ortaya çıkmıştır. En uzun takım ömrü 0.1 mm/dev ilerleme ile %10 soya yağı-su karışımında 1.27 dakika iken en kısa takım ömrü kuru kesme ile yapılan işlemede 0.2 mm/dev'de 0.30 dakika olmuştur. Takım ömrünü en kötü etkileyen kesme hızı parametresi ise 250 m/dak dır.



Şekil 4.17. 250 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği



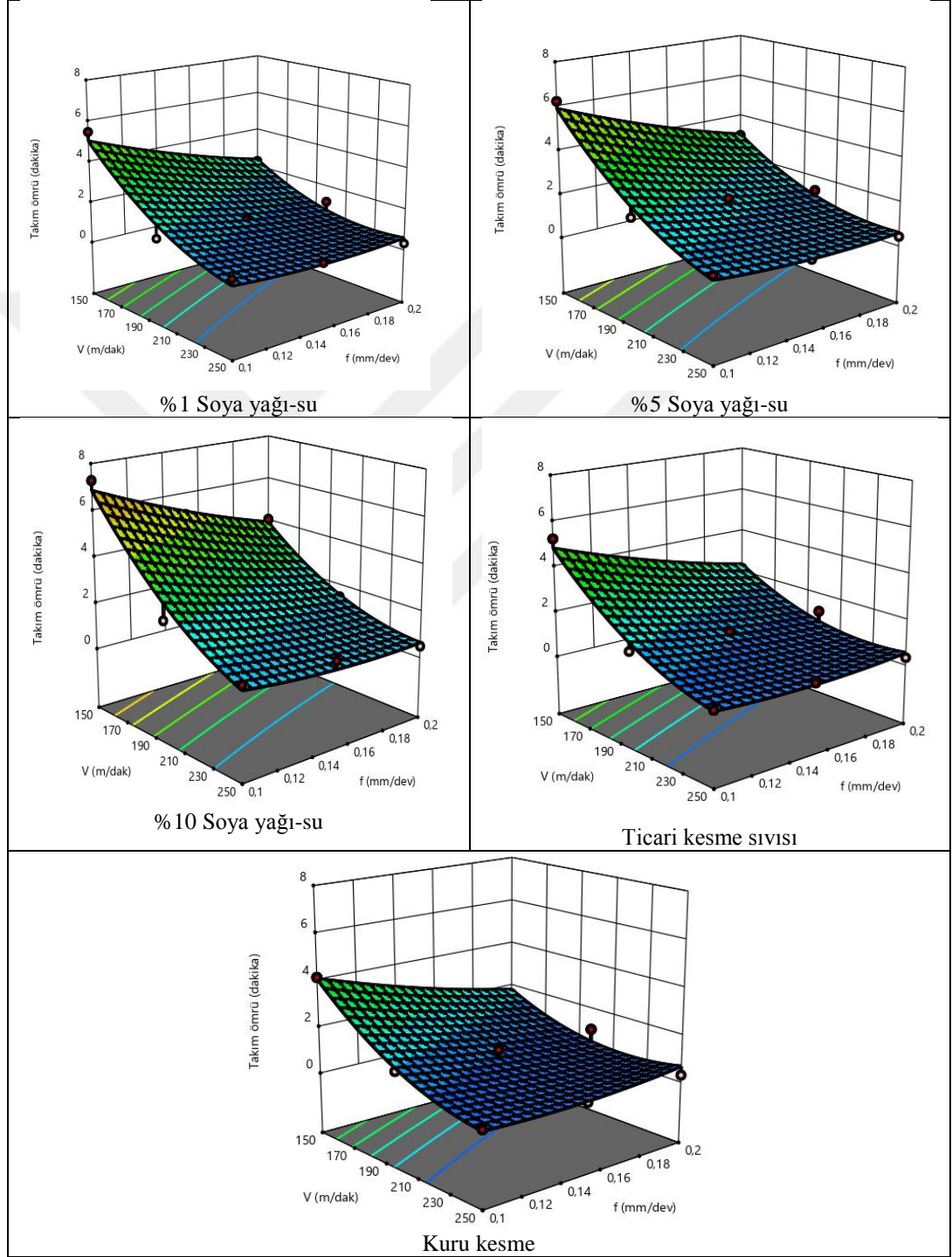
Şekil 4.18. 250 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği



Şekil 4.19. 250 m/dak Kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme miktarındaki takım ömrü grafiği

Tüm grafikler (Şekil 4.10-4.18) incelendiğinde kesme hızı ile ilerleme miktarındaki artışlar, takım ömrünü olumsuz şekilde etkilemiştir. En iyi sonuçlar 150 m/dak kesme hızında 0,1 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde olmuşken, en kötü sonuçlar 250 m/dak kesme hızındaki 0,2 mm/dev ilerleme miktarında alınmıştır. Kesme sıvısı takım ömrünü etkileyen önemli bir etkidir. Ultrasonik atomizer ile püskürtülen soya yağı ve su karışımının tüm kesme hızlarında olumlu etkisi olduğu görülmüştür. Mikron boyutundaki partiküllerin kesici takım üzerinde ince bir film tabakası oluşturarak sürtünmeyi azalttığı, kesme bölgesindeki sıcaklığı hızlı şekilde düşürerek takım ömrünü uzattığı düşünülmektedir. Ancak bu tespit 250 m/dak kesme hızında gerçekleşen deneylerde geçerli olmamış kesme sıvıları soğutma ve yağlama etkisini yerine getiremediği için takım aşınması hızlı olmuştur. Aynı kesme hızındaki kesme kuvveti ve yüzey pürüzlüğü değerleri ile takım ömrü sonuçları incelendiğinde oluşan olumsuz etkileşimler birbirini destekleyen niteliktedir.

Şekil 4.20’de elde edilen takım ömrü değerlerinin, kesme hızı ve ilerleme miktarına göre değişimlerini gösteren 3B yüzey grafikleri verilmiştir. Her kesme sıvısı ve kuru kesme şartı için etkileşimler ayrı grafiklerde gösterilmiştir.



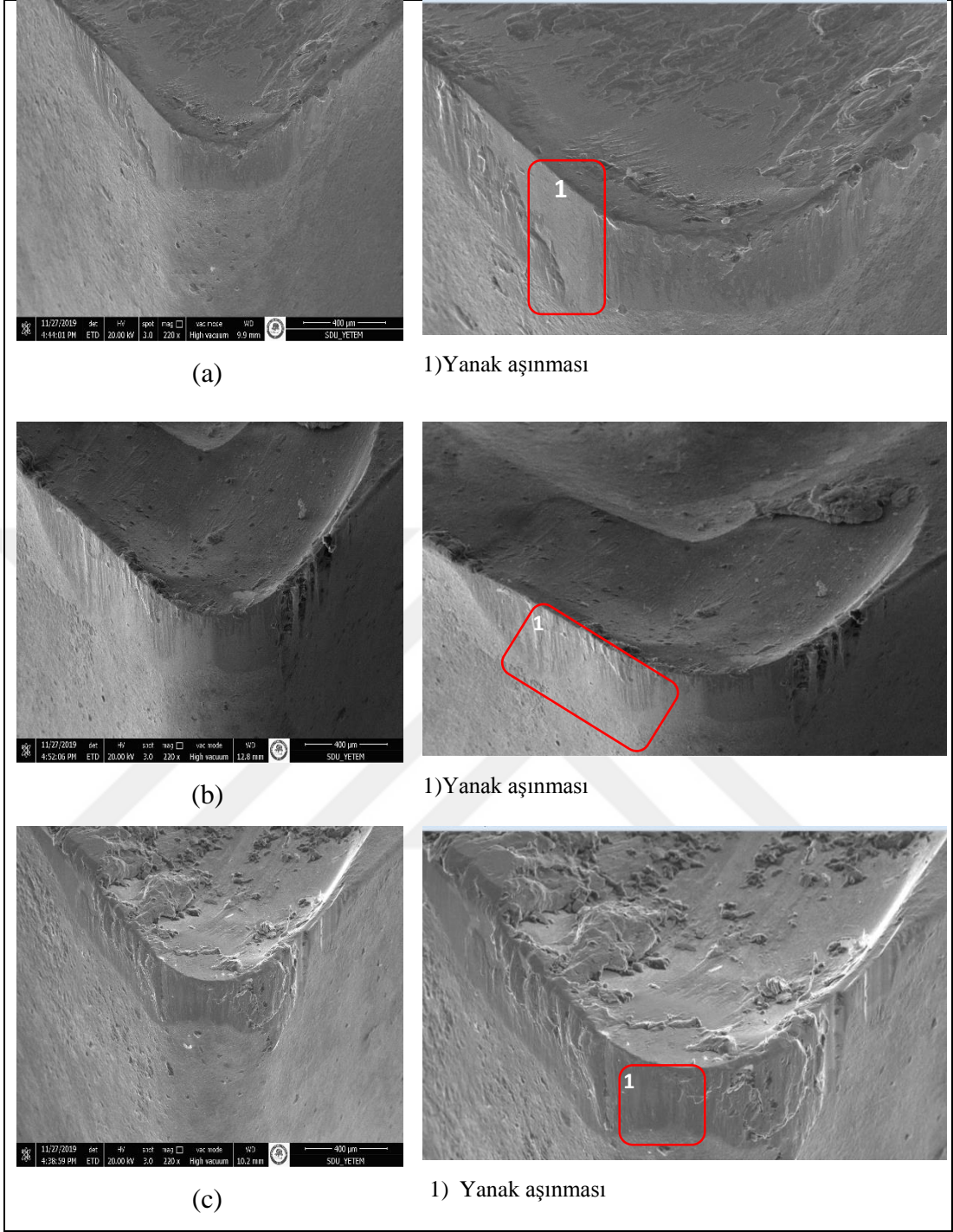
Şekil 4.20. Takım ömrünün kesme hızı ve ilerlemeye bağlı gösterimi



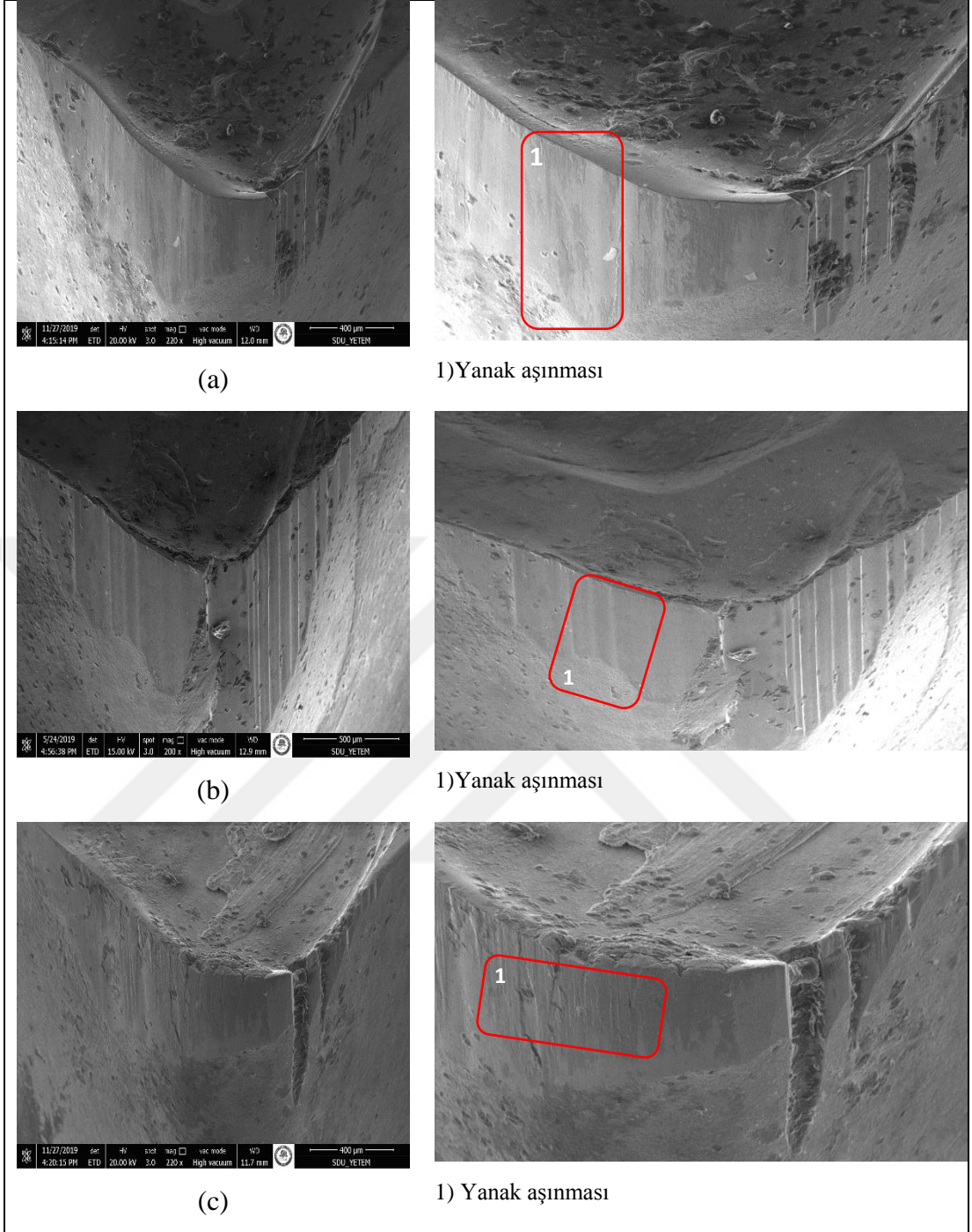
Şekil 4.21-4.24'te, deneylerde yer alan kesici uçların SEM fotoğraflarında aşınma çeşitleri gösterilmiştir. Kesme hızı 150, 200, 250 m/dak ve 0.2 mm/dev ilerleme parametrelerinde %10 soya yağı-su karışımı ile beraber, ticari kesme sıvısı ve kuru kesme şartlarında yapılan deneylerde kullanılan kesici uç görüntüleri değerlendirilmiştir. Tarama elektron mikroskobu ile fotoğrafları çekilen kesici uçların tümünde serbest yan yüzey aşınmasının ile kesici takım ucunda küçük kırılmalar olarak adlandırılan chipping görülmüştür.

Şekil 4.21 ve 4.22 de yanak aşınmaları görülmekte, şekil üzerindeki aşınma farklılıkları işleme şekillerinden kaynaklanmaktadır. Yanak aşınması kesici kenarın yan yüzeylerinde oluşan genellikle abrasif aşınma mekanizmasından kaynaklanan bir aşınma tipidir. Bu tip aşınma karşılaşılan en normal aşınma tipidir (Şeker, 1997).

Kesme hızı 250 m/dak'da ki deneylerde, kesici takım uçlarında serbest kenara uzamış yanak aşınmaları ile beraber kesici takım ucunda küçük kırılmalar (chipping) meydana gelmiştir. Aşırı kesme kuvvetleri veya düşük sistem rijitliği nedeniyle meydana gelen titreşim de kenar çentiklemesine neden olur. Kenar çentiklemesi nedeniyle işlenen yüzeyin kalitesi düşer, serbest yüzey aşınması artar ve sonuçta takım kırılabilir. (Özdemir, 2003). Ultrasonik atomizer uygulamasının, kuru ve mineral esaslı ticari kesme sıvısına göre ortalama yan yüzey sıcaklığını azaltarak daha uzun takım ömrü elde etmesi kesici ucun yan yüzey aşınmasını düşürmesi ile ilgili olarak ilişkilendirilebilir.

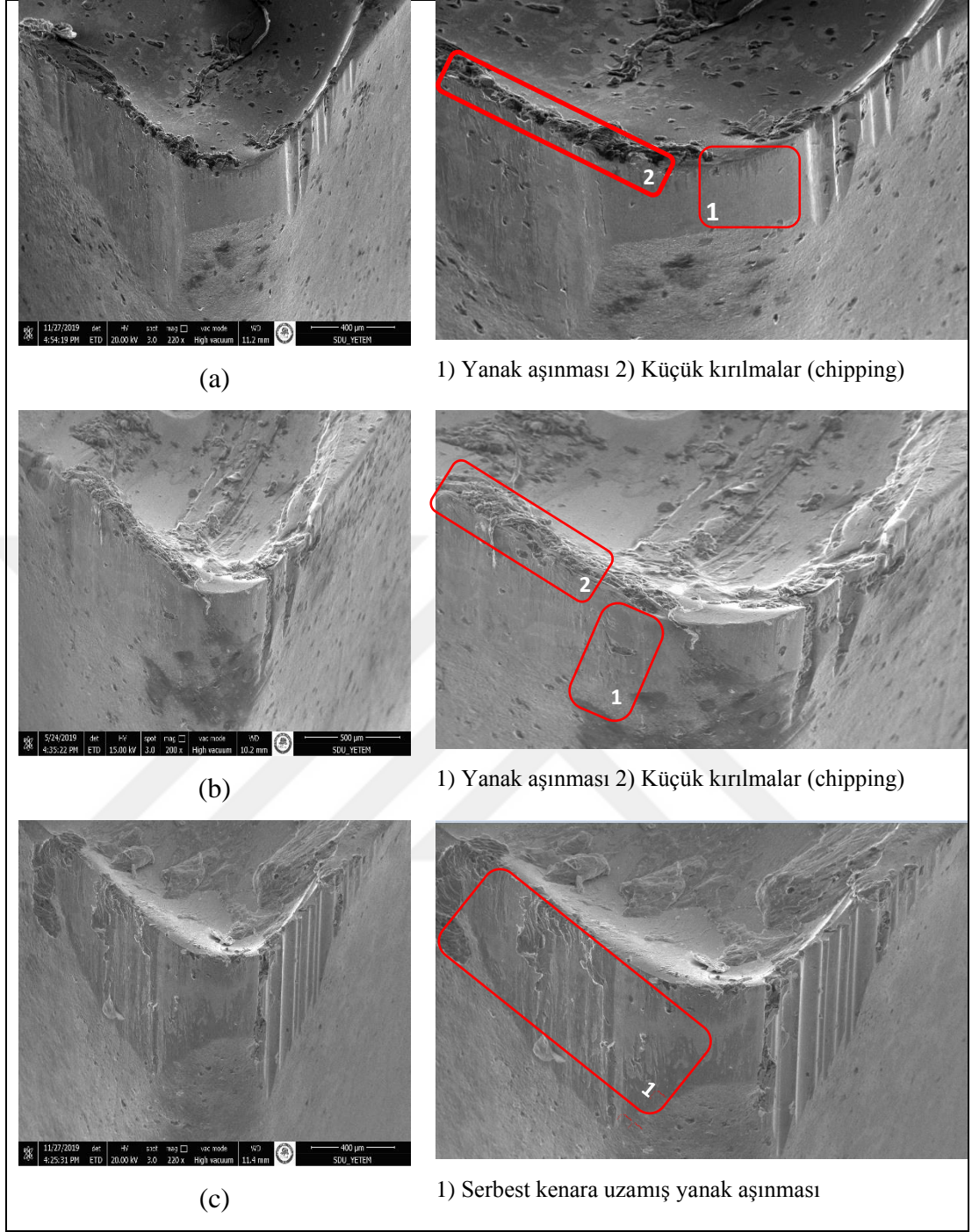


Şekil 4.21.  $V=150$  m/dak  $f=0,2$  mm/dev (a) %10 soya yağı – su, (b) ticari kesme sıvısı, (c) kuru kesme şartlarındaki aşınma görüntüleri



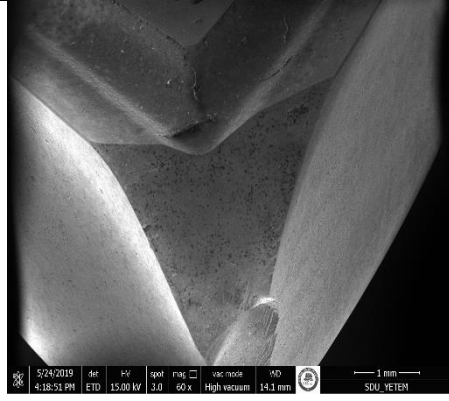
Şekil 4.22.  $V=200$  m/dak  $f=0,2$  mm/dev (a) %10 soya yağı – su, (b) ticari kesme sıvısı, (c) kuru kesme şartlarındaki aşınma görüntüleri



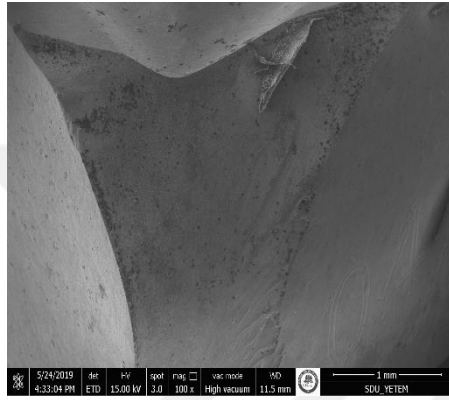


Şekil 4.23.  $V=250$  m/dak  $f=0,2$  mm/dev (a) % 10 soya yağı – su, (b) ticari kesme sıvısı, (c) kuru kesme şartlarındaki aşınma görüntüleri

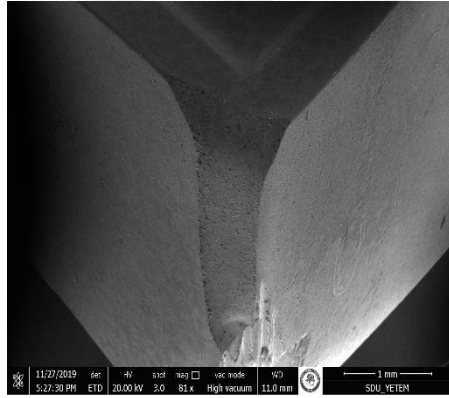
Şekil 4.24'te ise kesici takımın SEM fotoğrafında kırılma takım aşınması görülmektedir. Kesici kenarın dayanımının zayıflaması, sıcaklık ve kuvvet yükselmeleri sonu bu aşınmanın olduğu düşünülmektedir.



200 m/dak. kesme hızında, 0,2 mm/dev ilerleme miktarında kuru kesme şartında meydana gelen kesici uç burnu kırılması.



250 m/dak kesme hızında, 0,2 mm/dev ilerleme miktarında kuru kesme şartında meydana gelen kesici uç burnu kırılması.



250 m/dak. kesme hızında, 0,2 mm/dev ilerleme miktarında %1 soya yağı-su kesme sıvısı kullanılarak yapılan deneyde meydana gelen kesici uç burnu kırılması.

Şekil 4.24. Kesme hızı 200 ve 250 m/dak  $f=0,2$  mm/dev'de meydana gelen kesici uç kırılmalarına örnekler

#### 4.5. Kesme Kuvveti İçin Varyans Analizi (ANOVA)

ANOVA çizelgesi, genellikle çıktı sonuçlarını en çok etkileyen giriş parametrelerini bulmak için hazırlanmaktadır. P değerinin 0,05'ten az olduğu ANOVA çizelgesinde bulunan kaynaklar, ilgili çıkış cevabı için önemli bir parametre olarak ele alınmıştır. Esas kesme kuvveti için ANOVA analizi, Çizelge 4.5'te sunulmuştur. Analizde,

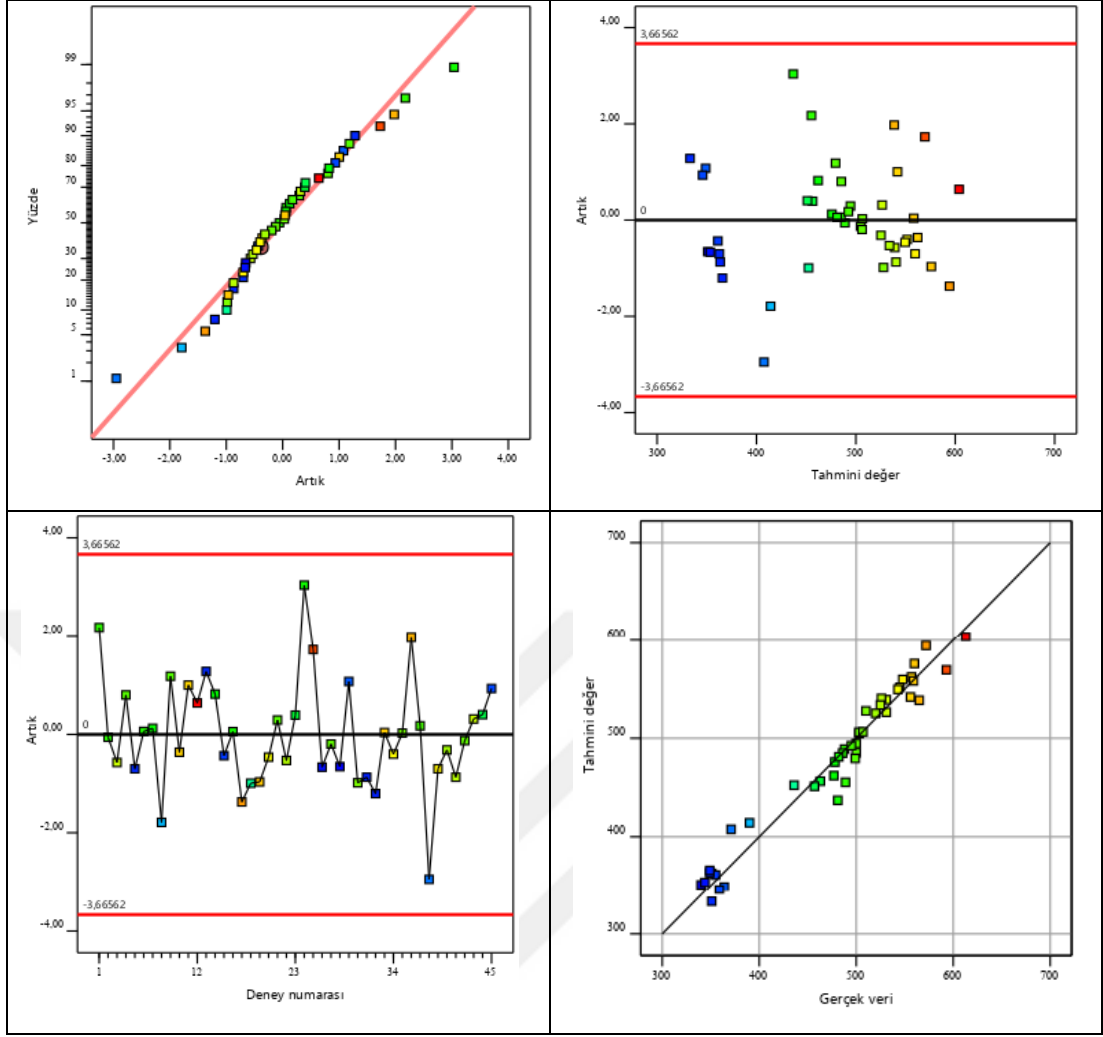
kesme hızı, ilerleme miktarı ve deneylerde kullanılan dört adet sıvının yanında kuru kesme şartlarındaki etkileşimlerine bakılmış, P değerinin 0.05 den az olarak çıkması bazı değişkenlerin esas kesme kuvvetine etki ettiğini göstermiştir. İlerleme miktarı (f), işleme şekli (C) ve f'in bileşkesi (f<sup>2</sup>) esas kesme kuvvetini etkileyen parametreler olarak görülmektedir.

Çizelge 4.5. Esas kesme kuvveti için ANOVA bulguları P<0,05

Kaynak	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	R <sup>2</sup> Değeri	S/N Oranı	% Dağılım
<b>Model</b>	259500	17	15263.73	37.26	< 0.0001	0.95	18.357	
V	2000.83	1	2000.83	4.88	0.0358			%0.7
f	183900	1	183900	448.99	< 0.0001			%67.9
C-İşleme Şekli	51251.64	4	12812.91	31.28	< 0.0001			% 18.9
V*f	1328.45	1	1328.45	3.24	0.0829			
V*C	3038.67	4	759.67	1.85	0.1476			
f*f	11177.88	1	11177.88	27.29	< 0.0001			%4.1
Hata	11060.33	27	409.64					%4
<b>Toplam</b>	270500	44						

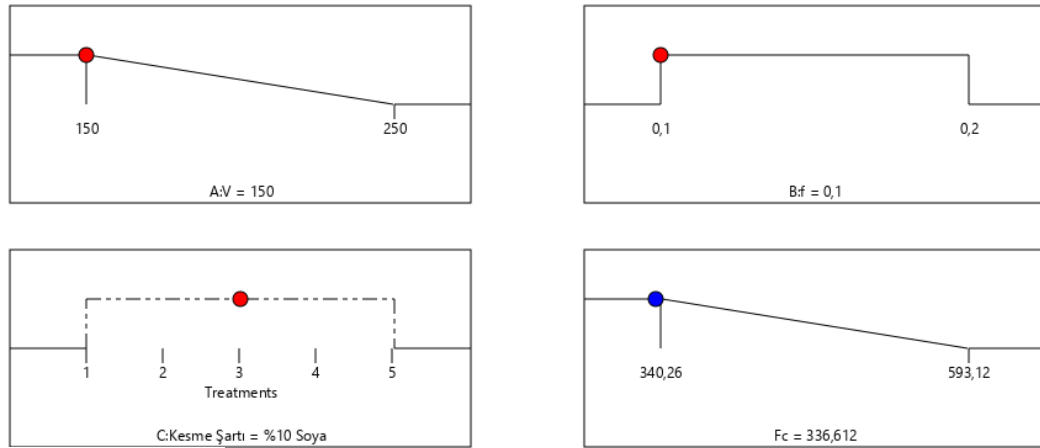
Analiz sonucunda geliştirilen istatistiksel modelin belirlilik katsayısının R<sup>2</sup>= 0,95 olarak bulunması, modelin uygunluğunun yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca 4 ten büyük olması arzu edilen S/N gürültü oranı 18.357 çıkmıştır. S/N oranı, kayıp fonksiyonunun dönüştürülmüş şeklidir aynı zamanda süreç değişkenliğinin de bir ölçütüdür. Taguchi'ye göre sürecin optimizasyon edilmesi S/N oranı ile sağlanır (Bhattachary, 2003). Esas kesme kuvvetine, ilerlemenin etkisi %67.9, işleme şeklinin etkisi %18.9, f bileşkesinininki ise %4.1 olarak çıkmıştır. Modelin hata yüzdesi ise %4 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.25'te oluşturulan esas kesme kuvveti modeli için yapılan artık analiz sonuçlarından elde edilen grafikler modelin uygun olduğunu göstermektedir. Artıklar, deneysel değerler ile oluşturulan modelden elde edilen tahmini verilerin kıyaslamasıdır. Bu yöntem, modelin uygunluğu hakkında bilgi vermek amaçlı yapılmaktadır (Zarepour, 2007).



Şekil 4.25. Esas kesme kuvvetine ( $F_c$ ) ait artık analizi

Şekil 4.26'da esas kesme kuvveti ölçümlerinde en iyi değerlerin alındığı % 10 soya yağı-su karışımında yapılmış optimizasyon değerleri verilmektedir.



Desirability = 0,950

Şekil 4.26. Esas kesme kuvveti optimizasyon

Optimizasyonun beklenen sonuç aralığı 0,95 çıkmıştır. Optimizasyon sonucu %10 soya yağı-su karışımı için geliştirilen model, eşitlik 4.1’de verilmiştir.

$$F_c = -299.78889 + 1.75033 \times V + 6217.33333 \times f - 3.26 \times V \times f - 0.003053 \times V^2 - 13373.33333 \times f^2 \quad (4.1)$$

#### 4.6. Takım Ömrü İçin Varyans Analizi (ANOVA)

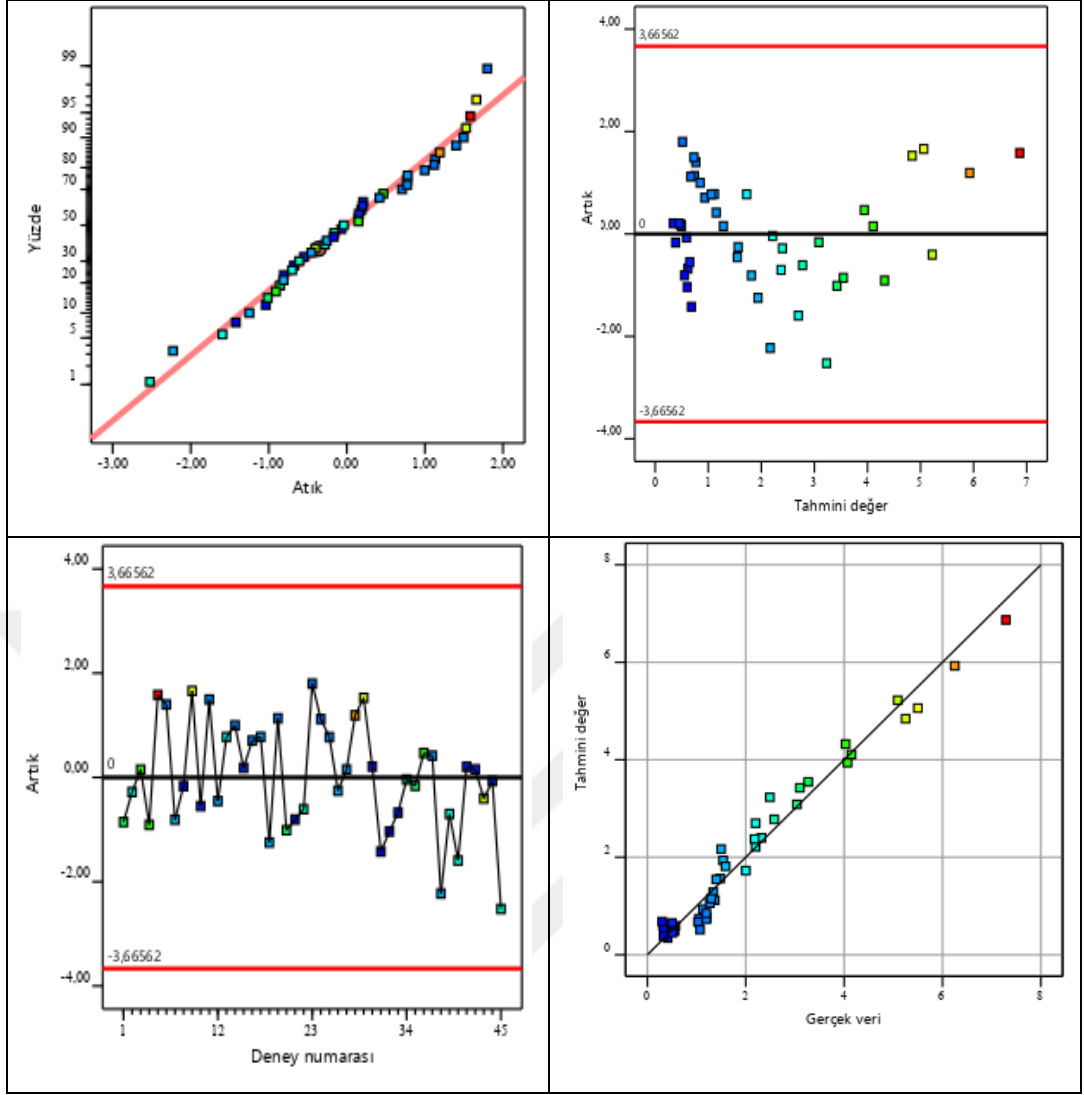
Çizelge 4.6’da verilen ANOVA analizi sonuçlarına göre takım ömrü (T) üzerindeki V, f, ve işleme şekli (C) etkileşimleri ile Vf, VC, V<sup>2</sup> bileşkelerinin de etkileşimleri verilmektedir. P değeri 0.05’ten küçük olması şartına göre incelendiğinde kesme hızının, ilerleme miktarının ve işleme şeklinin takım ömrüne etkisinin yüzdesel oranda daha çok olduğu görülmektedir. Analiz sonucu ortaya çıkan R<sup>2</sup> değerinin 0.96 olması modelin uygun olduğunu göstermektedir. S/N gürültü oranı ise 26.234 çıkmıştır.

Çizelge 4.6. Takım ömrü için ANOVA bulguları P<0,05

Kaynak	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	R <sup>2</sup> Değeri	S/N Oranı	% Dağılım
Model	127.33	17	7.49	48.40	< 0.0001	0.96	26.234	
V	84.81	1	84.81	548.01	< 0.0001			%64.4
f	14.23	1	14.23	91.94	< 0.0001			%10
C- İşleme şekli	10.24	4	2.56	16.54	< 0.0001			%7.7
Vf	7.96	1	7.96	51.46	< 0.0001			%6
VC	3.98	4	0.9960	6.44	0.0009			%3
V <sup>2</sup>	5.37	1	5.37	34.69	< 0.0001			%4
Hata	4,18	27	0,1548					%3,17
<b>Toplam</b>	<b>131,51</b>	<b>44</b>						

Şekil 4.6’da oluşturulan takım ömrü modeli için yapılan artık analiz sonuçları görülmektedir. Analiz sonuçlarından elde edilen grafikler modelin uygun olduğunu göstermektedir.

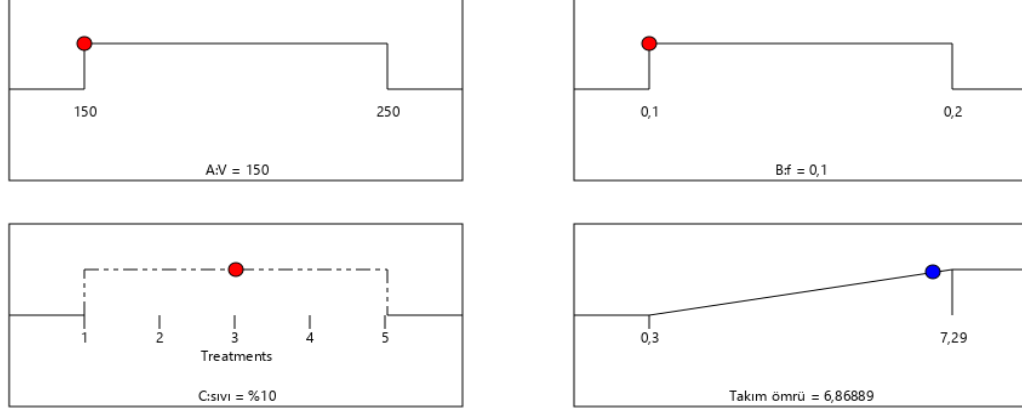




Şekil 4.27. Takım ömrüne (T) ait artık analizi

Kesme sıvısındaki bitkisel yağ oranı arttıkça takım ömründe iyileşmeler ortaya çıkmıştır. Ticari kesme sıvısına göre oluşan farklılığın bir başka sebebi de ultrasonik atomizer ile püskürtülen bitkisel yağ-su karışımının daha iyi yağlama yapmış olması, sis damlacıkları şeklinde gönderilen akışkanın sürtünmeyi azaltma etkisinin püskürtme ile daha etkili olduğu düşünülmektedir.

Takım ömrü optimizasyonu için en uygun değerler kesme hızının 150 m/dak, ilerleme miktarının 0.1 mm/dev ve kesme sıvısının %10 soya yağı-su karışımının kullanıldığı değerler olarak analiz edilmiştir (Şekil 4.28).



Desirability = 0,940

Şekil 4.28. Takım ömrü optimizasyonu

Optimizasyonun beklenen sonuç değeri 0,94 çıkmıştır. %10 soya yağı-su karışımı için geliştirilen model, eşitlik ise eşitlik 4.2’de verilmiştir.

$$T = +34.75289 - 0.200587 \times V - 89.06667 \times f + 0.2524 \times V \times f + 0.000293 \times V^2 + 73.06667 \times f^2 \quad (4.2)$$

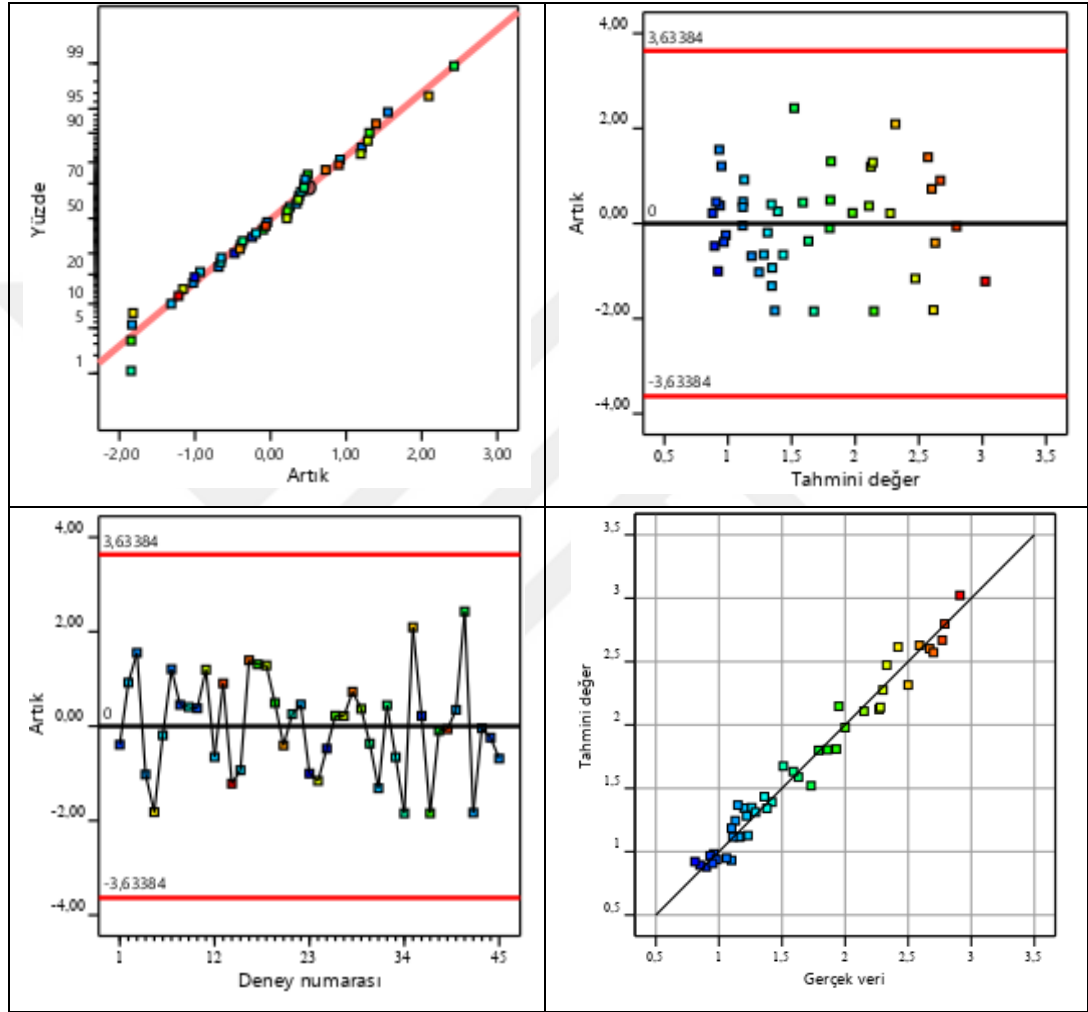
#### 4.7. Yüzey Pürüzlülüğü İçin Varyans Analizi (ANOVA)

Çizelge 4.7’ de verilen varyans analizi sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme miktarı (f) ve işleme şeklinin (C) etkileşimleri ile bu iki faktörün bileşkelerinin de etkisi olduğu görülmektedir. Analiz sonucu ortaya çıkan R<sup>2</sup> değerinin 0,97 olması modelin uygun olduğunun göstergesidir.

Çizelge 4.7. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA bulguları P<0,05

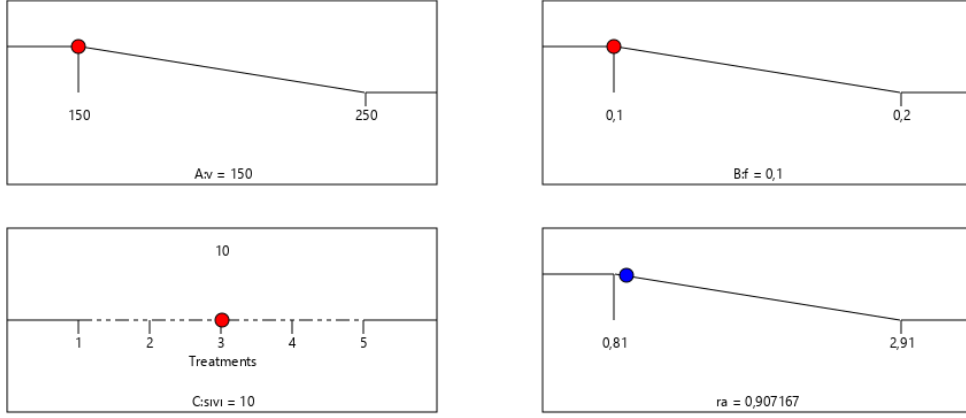
Kaynak	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	R <sup>2</sup> Değeri	S/N Oranı	% Dağılım
<b>Model</b>	17,42	15	1,16	67,63	< 0.0001	0.97	22.428	
V	0,0572	1	0,0572	3,33	0,0783			
f	13,45	1	3,45	201,17	< 0.0001			%75
C-İşleme Şekli	0.332	4	3,33	193,91	< 0.0001			%18.5
V*C	0,3604	4	0,0500	2,91	0,0386			%2,1
Hata	0,4980	29	0,0172					%2,7
<b>Toplam</b>	17,92	44						

Yüzey pürüzlülüğü için yapılan analizin S/N gürültü oranı 22.76 çıkmıştır. Faktörlerin yüzdeler etkileşimlerine bakıldığında ilerleme, yüzey pürüzlülüğüne %75, işleme şekli ise %18.5 etkilerken, kesme hızı ve işleme şekli bileşkesinin %1.1 olarak etkilediği ortaya çıkmıştır. Modelin hata yüzdesi ise %2.7 çıkmıştır. Şekil 4.29’ da oluşturulan model için yapılan artık analiz sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.29. Yüzey pürüzlülüğüne (Ra) ait artık analizi

Kesme hızı 150 m/dak olduğu, ilerlemenin 0.10 mm/dev ve kesme sıvısının %10 soya yağı ve su karışımının kullanıldığı değerler yüzey pürüzlülüğü optimizasyonu için en uygun değerler olarak analiz edilmiştir (Şekil 4.30).



Desirability = 0,984

Şekil 4.30. Yüzey pürüzlülüğü optimizasyonu

Optimizasyonun beklenen sonuç değeri 0.984 çıkmıştır. Optimizasyon sonucu %10 soya yağı-su karışımı için geliştirilen model, eşitlik 4.3'te verilmiştir.

$$Ra = + 0.196333 + 0.001677 \times V + 6.18 \times f - 0,0114 \times V \times f \quad (4.3)$$

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, AISI 4140 ıslah çeliğinin CNC torna tezgâhında talaş kaldırma işlemindeki performansı incelenmiştir. Aşınmanın daha iyi gözlemlenebilmesi için kaplamasız karbür kesici takım kullanılmıştır. Kesme sıvısı olarak soya yağı ve su karışımı üç farklı oranda (%1, %5, %10) karıştırılarak ultrasonik atomizer ile sis buharı haline getirilip 4 bar'lık hava basıncı ile püskürtülmüştür. Ticari kesme sıvısı ve kuru kesme şartlarında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ile kıyaslaması yapılmıştır. Çalışma kapsamında kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, temas açısı ve kesici uç aşınmaları incelenmiş, parametrelerin ANOVA analizleri ve optimizasyonları yapılmıştır. ANOVA analizi sonucu kesme parametrelerinin deney çıktılarına etkinlik dereceleri istatistiksel olarak ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen bulgular;

- Deneyleerde kullanılan kesme sıvılarının temas açıları ölçölüp kesici uç üzerindeki ıslatma kabiliyetleri değlerlendirilmiştir. Kesme sıvılarını kıyaslamak için su üzerinde de ölçümler yapılmıştır. En küçük  $\theta^\circ$  açısı %10 soya yağı – su karışımında  $23.7^\circ$  çıkmıştır.
- Kesme kuvvetlerinde, kesme hızının artmasıyla az da olsa kuvvet değlerlerinde düşüşler meydana gelmiştir. İlerleme hızındaki artış ise kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmuştur.
- Kesme sıvılarının, kesme kuvvetlerine etkisi, ilerleme ve kesme hızı kadar olmasa da, deneyleerde ultrasonik atomizer ile püskürtölen soya yağı-su karışımı sıvıların, ticari kesme sıvısına ve kuru kesme şartına oranla kesme kuvvetlerinde düşüş sağladığı görölmüştür.
- Soya yağı su karışımındaki soya yağı oranı arttıkça kesme kuvvetlerinde azalma meydana geldiği görölmüştür.
- Deneyleerde kesme sıvılarının kullanılması, kesme kuvvetlerinde %5-%14 arasında azalmaya sebep olmuştur.
- Deneyleerde en yüksek  $F_c$  kuvvetinin, kuru kesme şartlarında 250 m/dak kesme hızındaki 0.2 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneyde 613.12 N olarak ortaya çıktığı görölmüştür. En küçük  $F_c$  kuvveti ise 200 m /dak kesme hızında %10 soya-su karışımli akışkanın kullanıldığı 0.1 mm/dev ilerleme hızlı deney de 340.26 N olarak ölçölmüştür.

- Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular, artan kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etkisi olduğunu desteklemiştir.
- En düşük yüzey pürüzlülük değeri; 0.1 mm/dev ilerlemede, 200 m/dak kesme hızında, %10 soya yağı-su karışımında, 0.81 µm olarak ölçülmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri de; 0.2 mm/dev ilerlemede, 150 m/dak kesme hızında, kuru kesme şartlarında 2.91µm olarak tespit edilmiştir.
- Kesme sıvılarında kullanılan soya yağı karışım oranının artması ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarında olumlu etki sağlamıştır.
- Takım ömrünü etkileyen parametrelerden en önemlisi kesme hızıdır. Kesme hızının artması kesici takımı hızlı bir şekilde aşındırarak takım ömrünü düşürmektedir. Kaplamasız karbür kesici takımlarla yapılan deneylerde, kesici takımlar 0.3 mm yan serbest yüzey aşınma ortalama değerine ulaştıktan sonra ömrünü tamamlamıştır. Deneylerde en iyi takım ömrü, kesme hızı 150 m/dak ile 0.1 mm/dev ilerleme miktarının kullanıldığı ve kesme sıvısı olarak %10 soya yağı-su karışımının ultrasonik atomizer ile püskürtüldüğü deneyden elde edilmiştir. Kesici takım ömrü bu parametrede en yüksek değeri olan 7.29 dakikaya ulaşmıştır.
- 250 m/dak ile 0.2 mm/dev ilerlemenin mineral esaslı ticari kesme sıvısı ve kuru şartlardaki deneylerinde en kötü takım ömrü sonuçları alınmıştır (sırasıyla 0.3 dk. ve 0.33 dk.). İlerlemenin artması da takım ömrünü etkileyen bir parametredir. Deneylerde sadece kesme hızı değil, ilerleme arttıkça da takım ömrü azalmıştır. Soya yağı karışımının atomize edilerek kullanılmasından oluşan takım ömründeki olumlu etkiler, ilerleme ve kesme hızının artması sonrasında azalmıştır.
- Kesici uç aşınmaları incelendiğinde, yanak aşınması, küçük kırılmalar (chipping) olduğu görülmüştür. Yüksek hız ve ilerleme değerlerinde yanak yüzey aşınmasının haricinde kesici uçta kırılmalar da meydana gelmiştir.
- ANOVA ve Regresyon analiz sonuçları birbiri ile örtüşmektedir. Esas kesme kuvveti için yapılan analizde ilerleme, işleme şekli ve ilerleme bileşkesinin etkileşimlerinin anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu parametrelerin sırasıyla %67.9, %18.9, %4.1 oranlarında esas kesme kuvvetine etki ettikleri hesaplanmıştır. Modelin R<sup>2</sup> değeri 0.95 çıkmıştır.

- Yüzey pürüzlülüğü için yapılan ANOVA analizinde ilerleme, işleme şekli ve bu iki parametrenin bileşkesinin ortalama Ra değerine etki ettiği görülmüştür.  $R^2$  değeri 0.97 çıkan modelin parametrelerinin yüzdelerle etkileşimleri sırasıyla %75, %18.5 ve %2.1 çıkmıştır.
- Takım ömrü için yapılan ANOVA analizinde kesme hızı, ilerleme, işleme şekli,  $V_f$ ,  $V^2$ , VC (C= işleme şekli) bileşkelerinin takım ömrüne etki ettiği görülmüştür.  $R^2$  değeri 0.96 çıkan modelin yüzdelerle etkileşimleri sırasıyla %64.4, %10, %7.7 çıkmıştır. Bileşkelerin yüzdelerle etkileşimleri ise sırasıyla %6, %3, %4 olmuştur.
- Artık analizinin yapılması ile modelin uygunluğu desteklenmiştir.

Soya yağı bitkisel yağlar içerisinde kimyasal özellikleri bakımından talaşlı üretime uygun bir yağ olarak literatürde yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında katkı maddesi katılmadan da ultrasonik atomizer ile soya yağı-su karışımının talaşlı imalatta uygulanabilirliği görülmüştür.

Ultrasonik atomizerli sistemin soya yağı kullanarak yapılan uygulamasının işlenebilirliğe etkisini görmek amacıyla yapılan bu çalışmanın sonuçlarını, ileriye götürebilmek için öneriler getirilebilir;

- Farklı kesme derinlikleri seçilerek, ultrasonik atomizer sistemi ile beraber işlenebilirliğe etkisi incelenebilir.
- Farklı kaplama ve talaş formundaki kesici uçlar kullanılarak, işlenebilirliğe etkileri bakılabilir.
- Tornalama işlemiyle gerçekleştirilen bu çalışmanın yanında frezeleme, delme gibi diğer talaş kaldırma işlemlerinde de kullanılarak etkisi incelenebilir.
- Çalışmada olumlu sonuçlar %10 soya yağı-su karışımının kullanıldığı deneylerde görülmüştür, farklı bitkisel yağlar veya yüzde karışım oranları deneyerek talaşlı imalattaki etkileri incelenebilir.
- Mikro talaşlı imalatta basınçlı hava kullanılmadan ultrasonik atomizer sistem denenebilir.

## KAYNAKLAR

- Agrawal, S. & Nilesh G. S. (2017). *Experimental study of non edible vegetable oil as a cutting fluid in machining of M2 Steel using MQL*. Procedia Manufacturing, 207-212.
- Altıntaş, Y. (2000). *Manufacturing Automation*. Cambridge University Pres., Vancouver, 275 s.
- Aydar A. Y. & Bağdatlıoğlu N. (2014). *Yemelik Yağların Yüzey Gerilimi ve Temas Açılarının Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler*. Akademik Gıda 12(1), 108-114.
- Bayrak, M. (2002). *Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Belluco, W. & Chiffre, L. D. (2004). *Performance evaluation of vegetable-based oils in drilling austenitic stainless steel*. Journal of Materials Processing Technology, 148, 171–176.
- Bhattachary, B. & Munda, J. (2003). *Experimental investigation on the influence of electrochemical machining parameters on machining rate and accuracy in micromachining domain*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 43, 1301—1310.
- Bhowmik, P., Ujjwal, K. & Gaurav, A. (2015). *Vegetable Oil Based Cutting Fluids—Green and Sustainable Machining – I*. (JMSME) Volume 2, Number 9; April-June, pp. 1-5.
- Bienkowski, K. (1993). *Cutting fluids & Lubricants*. The Truth, Manufacturing Engineering, 90-96.
- Birova, A., Pavloviova, A. & Cvengro, J. (2006). *Lubricating oils based on chemically modified vegetable oils*. Journal of Synthetic Lubrication, 291.
- Birova, A., Pavloviova, A. & Cvengro, J. (1998). *Fundamentals of Machining and Machine Tools*. (2nd ed.), Taylor & Francis, New York, p.122.
- Brockhoff, T. & Walter, A. (1998). *Fluid minimization in cutting and grinding Abrasives*, pp. 38-92.
- Brunis D. H. & Drager H. J. (1975). *Talashlı Metal İşlemede Takımlar ve Takım Tezgahları*. Çev. Doç.Dr. Murat DİNÇMEN, Carl Hanser Yayınevi, Münih-Viyana, 28-31, 38-43.119.
- Campanella, A. & Byers, J.P. (1994). *Metalworking Fluids*, Marcel Dekker. New York.



- Carrilero, M.S., Bienvenido, R., Sanchez, J.M., Alvarez, M., Gonzalez, A. & Marcos, M. (2002). *A SEM and EDS Insight into the BUL and BUE Difference in the Turning Processes of AA 2024 Al-Cu Alloy*. International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol. 42, pp. 215-220.
- Cengiz, O. (2010). *Temas Açısı Ölçüm Cihazı Tasarımı*. İstanbul Teknik Üniversitesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tez, 83s, İstanbul
- Cerit, A. M. (1994). *Makine Mühendisliği El Kitabı, Üretim ve Tasarım, Cilt 2*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No 170, sayfa 280.
- Cerit, A. M. (1996). *Makina Mühendisliği El Kitabı – Üretim ve Tasarım Cilt 2*, p.280, TMMOB, Ankara.
- Chandra, N, Shiv G. Kapoor, Richard E. Devor, Anil K. Srivastava & John I. (2012). *Design and evaluation of an atomization-based cutting fluid spray system in turning of titanium alloy*. Journal of Manufacturing Processes, USA, P. 452-459,
- Childers, J. (2004). *The Chemistry of Metalworking Fluids. Metal working Fluids*. New York, Marcel Dekker, 165-190Coromat, S.1994.Technical Editorial Dept., Modern Metal Cutting, Tofters Tryckeri AB, I-32-32, II-3-5, IV-5.
- Choi S, Ahn, B. G., Kwon, O.K. & Chun, Y.J. (1997). *Tribology International. 1997 – Elsevier Tribological behavior of some antiwear additives in vegetable oils Tribol Int*, 30, pp. 677-683.
- Coromant S. (1997). *Modern metal cutting-a practical handbook*. Co. Inc., Sweden.
- Çakır, M.C. (2000). *Modern talaşlı imalat yöntemleri*. Vipaş Yayınları, Bursa. 449-464 s.
- Çakır, C. (1999). *Modern talaşlı imalatın esasları*. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları, Bursa, 140:1-110.
- Çakır, M.C. (2001). *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*. Vipaş Yayın No: 34, Rota Offset Matbaacılık, 535 s. Bursa.
- Çakır, O., Kıyak, M. & Atlan, E. (2004). *Comparison of Gases Applications to Wet and Dry Cuttings in Turning*, Journal of Materials Processing Technology, 153, 35-42.
- Çakır, A., Yağmur, S., Kavak, N., Küçüktürk, G. & Şeker, U. (2016). *The effect of minimum quantity lubrication under different parameters in the turning of AA7075 and AA2024 aluminium alloys*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 84, 2515-2521.
- Çalışkan, H., Kurbanoglu, C., Panjan, P., Cekad, M. & Kramar, D. (2013), *Wear behavior and cutting performance of nanostructured hard coatings on cemented carbide cutting tools in hard milling*. Tribology International, vol. 62, pp. 215-222.

- Çetin, M.S. (2010). *Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Tornalamadaki Performansının Araştırılması*. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,190s.Gebze.
- Çiçekdağı, F. (2011), *Ultrasonik Ses Dalgalarının Oluşturduğu Akustik Kaviteyi Etkileyen Değişkenler Ve Kavite Enerjisi Ölçümü*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,101s.İstanbul
- D'Sousa, V., deMan, L. & deMan, J.M., 1991. *Polymeric behaviour of high-melting glycerides from hydrogenated canola oil*, Journal of the American Oil Chemists' Society 68 907–911.
- Debnath S., Moola M. R. & Qua S. Y. (2014). *Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review*. Journal of Cleaner Production 83, 33e47
- Demirok, S. (2008). *Çeliklerin Farklı Sertlik Oranlarında İşlenebilirliklerinin Araştırılması*. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80s, Gebze.
- Dhar, N., R., Ahmed, N.,T. & Islam, S. (2007). *An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel*. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 47, 748- 753.
- Dolapçı, F. (2010). *Bitkisel kesme sıvılarının bileşim – özellik bağıntılarının modellenmesi*. Gebze Yüksek teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze.
- Ekinovic S., Prcanovi, H. & Begovic, E. (2015). *Investigation of influence of MQL machining parameters on cutting forces during MQL turning of carbon steel St52-3*. Procedia Engineering 132, 608 – 614
- Elmunafi M. H. S., Kurniawan, D. & Noordin M.Y., (2015). *Use of Castor Oil as Cutting Fluid in Machining of Hardened Stainless Steel with Minimum Quantity of Lubricant*. Procedia CIRP 26, 408 – 411
- Fuerstenau, D.W., Diao, J. & Williams, M.C. (1991). *Characterization of the Wettability of Solid Particles by Film Flotation 1*. Experimental Investigation, Colloids and Surfaces, 60, 127-144.
- Geoff, B., Chan- Seo, G., Yanqiao, Z.& Martin B.G. J. (2014). *Use of vegetable oil in water emulsion achieved through ultrasonic atomization as cutting fluids in micro-milling*, Journal of Manufacturing Processes, P. 405-413, USA
- Ghughe N. (2019). *Response Surface Methodology And Artificial Neural Network To Evaluate Tool Wear In Minimum Quantity Lubrication-Turning For Different Cutting Fluids*. Wear, February 2019.
- Giraltos, P., Maga, D. & Klokovkin, V. Kopes, (2007). *Ecological Aspects of Cutting Fluids&Minimization of the Ecological Impacts of Cutting Fluids*.
- Groover, M.P. (2002). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials Processing and Systems*. Wiley, New York, (2nd ed.), pp. 558-560.

- H.Zarepour, A.F., Tehrani, D. & Karimi, S. Amini, (2007). *Statistical analysis on electrode wear in EDM of tool steel DIN 1.2714 used in forging dies*. Journal of Materials Processing Technology, Article in press.
- Heins, H., J. (1997). *Dry machining-A promising option*. American Machinist, vol. 126, no. 8, pp. 92-93.
- Jacob J., Mrinal B. & Peter C. R. (2004). *Emulsions containing vegetable oils for cutting fluid application*. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 237, 141–150.
- Jayaram, S.R. & Shashidhara, Y.M. (2014). *Vegetable oils as a potential cutting fluid – An evolution Cooling techniques for improved productivity in turning*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 49, 435-453.
- Jeevan T. P. & Jayaram S. R. (2018). *Performance Evaluation of Jatropha and Pongamia Oil Based Environmentally Friendly Cutting Fluids for Turning AA 6061*. Advances in Tribology Volume 2018, Article ID 2425619, 9 pages
- Johal R. S., Anmol S. L., Ankush G., Ghanshyam P. & Amarvir J. (2017). *Performance evaluation of uncoated carbide inserts during turning of hardened steel*. International Journal of Academic Research and Development, Volume 2; Issue 6; November 2017; Page No. 206-211
- John I., Chandra N, Shiv G. Kapoor, Richard E. Devor & Anil K. Srivastava, (2004). *Design and evaluation of an atomization-based cutting fluid spray system in turning of titanium alloy*. Journal of Manufacturing Processes, P. 452-459, USA
- Jurko, J. & Panda, A. (2012). *Application of vegetable oil-based metalworking fluids in machining ferrous metals-A review*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 52, no. 1, pp. 1 12.
- Kaur S. & Rutash M., (2009). *Influence of vegetable based oil as cutting fluid on surface roughness and tool wear during turning operation of SAE 1018 Mild steel*. September 2009, Wear, 267 (9-10):1723-1730.
- Khan, M. M. A. & Dhar, N.R. (2006). *Performance evaluation of minimum quantity lubrication by vegetable oil in terms of cutting force, cutting zone temperature, tool wear, job dimension and surface finish in turning AISI-1060 steel*”, Journal of Zhejiang University Science A., 7 (11) 1790–1799.
- Koçak, H. (2011). *GGG 90 küresel grafitli dökme demirin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması açısından değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-11

- Kumar, A., Gurpreet S. & Simranpreet S. G. (2014). *Impact Of Varying The Nozzle Stand - Off Distance On Cutting Temperature In Turning Of En-31 Steel With Minimum Quantity Lubrication*. International Journal of Research in Engineering and Technology, e-ISSN: 2319-1163 | p-ISSN: 2321-7308
- Kuram, E., Özçelik, B., Demirbaş, E. & Şık, E. (2010). *Optimization of surface roughness in drilling using vegetable based cutting oils developed from sun flower oil*, Ind. Lubri. Tribol.
- Liu, Z., An, Q., Xu, J., Chen, M. & Han, S. (2013). *Wear performance of (nc-ALTiN)/(a-Si3N4) coating and (nc-AlCrN)/(a-Si3N4) coating in high-speed machining of titanium alloys under dry and minimum quantity lubrication (MQL) conditions*, Wear, 305, 249-259.
- Maleque, H.A., Mousjuki, H.H. & Sapuan, S.M., (2003). *Vegetable-based biodegradable lubricating Oil additives*, Ind. Lubrication and Technology 55, 3, 137-143.
- Mia M., Munish K. G., Gurraj S., Grzegorz K. & Danil Yu P. (2018). *An approach to cleaner production for machining hardened steel using different cooling-lubrication conditions*. Journal of Cleaner Production, 187, 1069e1081
- Misra, S.K. & Sköld, R.O. (2000). *Lubrication studies of aqueous mixtures of inversely soluble components*, Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects 170, 91-106.
- Montgomery, D.C. & Runger, G.C. (2011). *Applied Statistics and Probability for Engineers*.
- Motorcu, A. R. (2006). *Ç 1050, Ç 4140 ve Ç 52100 çeliklerinin işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 11-14
- Ngoi B. K. A. & Sreejith, P. S. (2000). *Dry machining: Machining of the future*. Journal of Materials Processing Technology, vol. 101, pp. 287-291, 2000
- Özyılmaz, A. (2011). *Piston Kanallarının İşlenmesinde Yüzey Kalitesinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Özdemir, U. & Erten M. (2003). *Talaşlı İmalat Sırasında Kesici Takımda Meydana Gelen Hasar Mekanizmaları Ve Takım Hasarını Azaltma Yöntemleri*. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Ocak 2003, cilt 1 sayı 1 (37-50).
- Pawlak, Z., Klamecki, B.E., Rauckyte, T., Shpenkov, G.P. & Kopkowski, A. (2005). *The Tribochemical and Micellar Aspects of Cutting Fluids*, Tribology International, 38, 1-4.
- Raza S. W., Salman P. & İbrahim D. (1985). *Tool Wear Patterns When Turning of Titanium Alloy Using Sustainable Lubrication Strategies*. International journal of precision engineering and manufacturing vol. 15, no. 9, pp. 1979-1985.

- Razak, N. H., Rahman, M. M., Noor, M.M. & Kadirgama K. (2010). *A Review Of Minimum Quantity Lubricant On Machining Performance. National Conference in Mechanical Engineering Research and Postgraduate Students, FKM Conference Hall , UMP, Kuantan, Pahang, Malaysia ; pp. 72 -85.*
- Rustoy, E., Baldessari, A. & Baltanas, M.A. (2010). *Lubricants from chemically modified vegetable oils.* *Bioresource Technology*, 101, 245-254.
- Sarikaya M. & Güllü A. (2015). *Multi-response optimization of minimum quantity lubrication parameters using Taguchi-based grey relational analysis in turning of difficult-to-cut alloy Haynes 25.* *Journal of Cleaner Production*, 91.
- Sarikaya, M. & Güllü, A. (2014). *Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL,* *Journal of Cleaner Production*, 65, 604-616.
- Saini, A., Dhiman, S., Sharma, R. & Setia, S. (2014). *Experimental estimation and optimization of process parameters under minimum quantity lubrication and dry turning of AISI-4340 with different carbide inserts.* *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28 (6), 2307-231.
- Senevirathne S. & Punchihewa, H. K. G. (2016). *Effect of Minimum Quantity Lubrication Aerosol Temperature on Tool Life in Machining AISI P20 and D2 Steels Using Coated Tungsten Carbide Tool Inserts.* In 2nd International Moratuwa Engineering Research Conference, MERCon, 186-91.
- Shashidhara, Y.M. & Jayaram, S.R. (2010). *Vegetable oils as apotential cutting fluid – An evolution.* 1998. *Development of cutting fluids in machining.* *Lubrication Engineering*; 54 (8): 31-34.
- Shaw, Milton C. (1984). *Metal Cutting Principles,* Clarendon Pres- Oxford, 18-21, 240-247.
- Shokoohi Y., Ehsan K. & B.H. Rassolian, S. (2015). *Machining and ecological effects of a new developed cutting fluid in combination with different cooling techniques on turning operation.* *Journal of Cleaner Production*, Volume 94, 1 May 2015, Pages 330-339
- Shrikant U. G. & Niles G. P. (2018). *Experimental Investigations into Turning of Hardened AISI 4340 Steel using Vegetable based Cutting Fluids under Minimum Quantity Lubrication.* *Procedia Manufacturing* 20 (2018) 18–23
- Silliman, J.D. & Perich, R. (1992). *Cutting and Grinding Fluids: Selection and Application. Second Edition,* p.216, Dearborn, Michigan.
- Singh, A.K. & Gupta, A.K. (2006). *Metalworking fluids from vegetable oils.* *Journal of Synthetic Lubrication*, 23, 167-176.
- Sluhan, C.A. (1994). *Selecting the Right Cutting and Grinding Fluids.* *Tooling & Production (May 1994)*, 40-50.

- Stephenson, D.A. & Agapiou, J.S. (2006). *Metal Cutting Theory and Practice*. (2nd ed.), pp. 767-783, Taylor & Francis, New York.
- Stephenson, D.A., Agapiou, J.S., (2006). *Metal Cutting Theory and Practice*, CRC Taylor and Francis., USA.
- Şeker, U. (1997). *Takım tasarımı ders notları*. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 5–11, 33–44, 47–72.
- Taylan, F. (2009). *Sert malzemelerin frezelenmesinde takım aşınma davranışlarının belirlenmesi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Trent, E.M. & Wright, P.K. (2000). *Metal Cutting*, (4th ed.), pp. 311-314, Butterworth Heinemann, Oxford.
- Url-1 (2018). *Ultrasonic Cleaner Parts*. <http://www.digitalultrasonicgenerator.com/sale-10631533-50w-40khz-piezo-electric-ultrasonic-transducer-pzt-4-for-ultrasonic-cleaner-parts.html>. (Son Erişim Tarihi: 12.01.2018)
- Url-2 (2018). *Bitirme*. <http://www.cemilsenocak.com/bitirmem/4140.htm>. (Son Erişim Tarihi: 03.04.2018)
- Url-3 (2018). *Cut Fluids*. <http://www.its.foxvalleytech.com/MachShop1/coolant/cutfluids.htm>. (Son Erişim Tarihi: 20.06.2018)
- Uluğ, D. (2014). *Kaplmalı ve kaplamasız sementit karbür takımlar için taylor takım ömrü modeli 'ndeki "n" üstel değerinin deneysel olarak araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Weinert, K., Inasaki, I., Sutherlands J.W. & Wakabayashi, T. (2004). *Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication*, Annals of CIRP, 53, 511–537.
- Xavior, M.A. & Adithan M. (2009). *Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel*. Journal of Materials Processing Technology, 209, 900–909
- Yıldırım, Ç., V., Kıvak, T. & Erzincanlı, F. (2015). *Minimum Miktarda Yağlama Tekniğinin Tornalama ve Frezeleme İşlemlerindeki Uygulamaları Üzerine Bir Derleme*. 2. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu (IISS'15), Karabük, Türkiye.
- Yu S., Le G., Bi L., Zhiqiang L. & Dandan C. (2016). *Performance evaluation of nanofluid MQL with vegetable-based oil and ester oil as base fluids in turning* Int J Adv. Manuf. Technolgy, 83:2083–2089.
- Zhang, S., J. F., Li, J. F. & Wang, Y. W., (2012). *Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions*. Journal of Cleaner Production, vol. 32, pp. 81 -87.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selim BACAĞ  
Doğum Yeri ve Yılı : Antalya, 1980  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : selimbacak@isparta.edu.tr



### Eğitim Durumu

Lise : Antalya Lisesi, 1998  
Lisans : Gazi Teknik Eğitim Fakültesi, Kalıpcılık Öğretmenliği, 2002  
Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 2006

### Mesleki Deneyim

SDÜ Teknik Bilimler MYO 2003-..... (halen)