



**FREZELEME İŞLEMİNDE EŞ YÖNLÜ VE ZİT YÖNLÜ TALAŞ
KALDIRMANIN PVD KAPLANMIŞ SERT METAL UÇLARDAKİ AŞINMA
TÜRLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Sanaz ATTARI MAMAGHANI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2016

Sanaz ATTARI MAMAGHANI tarafından hazırlanan “FREZELEME İŞLEMİNDE EŞ YÖNLÜ VE ZİT YÖNLÜ TALAŞ KALDIRMANIN CVD/PVD KAPLANMIŞ SERT METAL UÇLARDAKİ AŞINMA TÜRLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Yusuf USTA

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan : Prof.Dr. Rahmi ÜNAL

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye : Prof.Dr. Can ÇOĞUN

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 24/04/2016

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

.....

Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Sanaz ATTARI MAMAGHANI

24/05/2016

FREZELEME İŞLEMİNDE EŞ YÖNLÜ VE ZIT YÖNLÜ TALAŞ KALDIRMANIN
PVD KAPLANMIŞ SERT METAL UÇLARDAKİ AŞINMA TÜRLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Sanaz ATTARI MAMAGHANI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Nisan 2016

ÖZET

Bu çalışmada, günümüzde yaygın olan talaşlı şekillendirme yöntemlerinden frezeleme işleminde, CNC takım tezgâhı kullanılarak eş yönlü ve zıt yönlü talaş kaldırmada kullanılan kesici uçların aşınma türleri incelenmiştir. Kesici takım aşınması, takım ömrünü, kesme kuvvetlerini ve en önemlisi yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir. Farklı kesme parametreleri kullanılarak yapılan kesme işlemleri sonucunda kesici uçlarda oluşan aşınma türleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik mikroskobu yardımı ile tespit edilmeye çalışılmıştır. İş parçası olarak AISI 304 paslanmaz çelik ve kesici takım olarak da ISCAR firmasınca üretilmiş PVD kaplamalı H490 ANKX 120508 PNTR - IC830 uçlar kullanılmıştır. Eş yönlü, zıt yönlü ve slot frezeleme işlemleri 30, 55 ve 80 m/dk kesme hızlarında ve 0,05, 0,08 ve 0,11 mm/dev ilerleme oranlarında yapılmıştır. Her deney için yeni bir kesici ağız kullanılarak toplam 42 deneyin sonunda en çok görünen aşınma tipleri gruplanmıştır. Yapılan incelemelerde %83 gibi büyük bir oranla yan yüzey aşınması tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : Takım aşınması, PVD kaplaması, eş yönlü frezeleme, zıt yönlü frezeleme
Sayfa Adedi : 150
Danışman : Doç. Dr. Yusuf USTA

INVESTIGATION ON TYPE OF WEAR ON PVD COATED INSERTS USED ON UP
AND DOWN MILLING

(M. Sc. Thesis)

Sanaz ATTARI MAMAGHANI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

April 2016

ABSTRACT

In this study, the wear propagation on up milling and down milling which has been used for CNC machine tools was studied. Tool wear affects the tools life, cutting forces and especially the surface roughness. Cutting tools wears under different cutting parameters were investigated by Scanning Electron Microscope (SEM) and optical microscope. The AISI 304 stainless steel work pieces and H490 ANKX 120508 PNTR - IC830 with PVD coated inserts made by ISCAR were used to explore the type of the tools wear. Up milling, down milling and slot milling tests were carried out using cutting speeds of 55, 30 and 80 m/min with the feed rates of 0.05, 0.08 and 0.11 mm/rev. The cutting inserts (after 42 experiments) were examined by scanning electron microscope (SEM) and optical microscope. The results showed that mostly flank wear has been seen by 83% for all type of the milling.

Science Code : 91438

Key Words : Tool wear, PVD coating, up milling, down milling

Page Number : 150

Supervisor : Assoc. Prof . Dr. Yusuf USTA

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmalarım süresince her türlü yardımı esirgemeyen, her zaman yanımda olan aynı zamanda tez çalışmalarımın yürütülmesinde değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlanma fırsatı bulduğum çok kıymetli hocam Doç. Dr. Yusuf USTA'ya sonsuz teşekkür ve şükranlarımı en içten dileklerle sunarım.

Beni bugünlere kadar getiren ve bugünleri yaşıyor olmama hiçbir fedakârlıktan kaçınmaksızın her türlü desteği veren canım babam ve anneme, her zaman moral kaynağı olan ablam ve değerli arkadaşlarım Mehmet UNSAL, Ravşan AZİZ, Dilan ŞİMŞEK ve Kamran FARSHCHI'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ VE KAPLAMALAR	5
2.1. Takım Malzemeleri	5
2.1.1. Kesici takımlarda aranan özellikler.....	5
2.1.2. Kesici Sinterlenmiş karbür	6
2.1.3. Sermet	6
2.1.4. Seramik	7
2.1.5. Kübik bor nitrür (CBN).....	8
2.1. 6. Çok kristalli elmaslar (PCD)	8
2.2. Kesici Takım Kaplamaları	9
2.2.1. Fiziksel Yöntemler: (PVD Vakum-Buharlaşma, katot plazma yöntemi).....	10
2.2.2. Kimyasal Yöntemler: (CVD Chemical-Vapor-Deposition yöntemi)	15
3. TALAŞLI İMALAT	21
3.1. Talaşlı İmalatın Kısa Tarihçesi.....	22
3. 2. Talaş Kaldırma Mekanizması.....	23

	Sayfa
3.2.1. Talaş çeşitleri	25
3.3. Talaşlı İmalatta Kesme Kuvvetleri.....	27
3.4. Talaş Kaldırma Türleri ve Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler	29
3.4.1. Talaş kaldırma türleri.....	29
3.4.2. Talaş kaldırmayı etkileyen faktörler	29
4. FREZELEME İŞLEMİNDE TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ	33
4.1. Frezelemede Talaş Kaldırma Parametreleri.....	33
4.1.1. Kesme hızı	33
4.1.2. İlerleme hızı.....	34
4.1.3. Frezelemede kesme derinliği.....	34
4.2. Frezeleme Yöntemleri.....	35
4.2.1. Çevresel frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma	35
4.2.2. Alın frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma	37
5. KESİCİ TAKIM ÖMRÜ VE AŞINMA TIPLERİN İNCELENMESİ ...	39
5.1. Takım Ömrü.....	39
5.2. Kesici Takım Aşınması.....	41
5.2.1. Takım aşınmasını etkileyen faktörler	41
5.2.2. Talaş kaldırma sırasında oluşan aşınma mekanizmaları	42
5.2.3. Aşınma Tipleri	44
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	49
6.1. Deneylerde Kullanılan İş Parçası Malzemesi	49
6.2. Kesici Takımlar ve Takım Tutucular	49
6.2.1. Freze kafası	50

	Sayfa
6.2.2. Takım tutucu malafa	51
6.2.3. CNC Tezgâh.....	51
6.2.4. SEM Mikroskobu ve Takımcı Mikroskobu	52
6.2.5. Deney özellikleri	53
7.DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	55
7.1. SEM ile Yapılan İncelemeler.....	56
7.2. Frezeleme Tipi ve Hız ve İlerleme Değerlerin Göz Önüne Alınarak Aşınma Tiplerinin İncelenmesi	76
7.2.1. Değişken kesme hızlarına göre aşınma türlerin incelenmesi	76
7.2.2. Değişken dış başına ilerleme miktarlarına göre aşınma türlerin incelenmesi.....	78
7.3. İlerleme Miktarı, Kesme Hızı ve Frezeleme Tipi ile Aşınma Miktarları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi	83
7.3.1. Frezeleme tipi ile yan yüzey aşınması arasındaki ilişkisinin incelenmesi.....	86
7.3.2. Kesme hızı ile yan yüzey aşınması arasındaki ilişkisinin incelenmesi.....	88
7.3.3. İlerleme miktarı ile yan yüzey aşınması arasındaki ilişkisinin incelenmesi.....	88
7.3.4. Frezeleme tipine göre ilerleme miktarı ve kesme hızı ile yan yüzey aşınma arasındaki ilişkisinin incelenmesi	89
7.3.5. Frezeleme tipi ile talaş çekiçlemesi (uzunluk) arasındaki ilişkisinin incelenmesi.....	94
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	101
EKLER.....	104
ÖZGEÇMİŞ	149

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. TiN kaplamalarının genel özellikleri	13
Çizelge 2.2. CrN kaplamalarının genel özellikleri.....	14
Çizelge 2.3. TiAlN kaplamalarının genel özellikleri	15
Çizelge 2.4. Değişik kaplama türleri için uygun reaksiyon bileşenleri ve reaksiyon sıcaklıkları.....	16
Çizelge 3.1. Standart takım açıları.....	31
Çizelge 6.1. AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin sertifika bilgileri.....	49
Çizelge 6.2. Deneylerin özellikleri	54
Çizelge 7.1. Uçların aşınma türlerinin incelenmesi	56
Çizelge 7.2. Slot frezeleme tipinde aşınma türleri kesme hızına göre sınıflandırılması.	76
Çizelge 7.3. Eş yönlü frezelemede aşınma türleri kesme hızına göre sınıflandırılması	77
Çizelge 7.4. Zıt yönlü frezelemede aşınma türleri kesme hızına göre sınıflandırılması	77
Çizelge 7.5. Slot frezelemede aşınma türleri dış başına ilerleme miktarına göre sınıflandırılması	78
Çizelge 7.6. Eş yönlü frezelemede aşınma türleri dış başına ilerleme miktarına göre sınıflandırılması	79
Çizelge 7.7. Zıt yönlü frezelemede aşınma türlerinin ilerleme miktarına göre sınıflandırılması	79
Çizelge 7.8. Bağımlı ve bağımsız değişkenler ve düzeyleri	84
Çizelge 7.9. Yapılan testlerde veri bilgileri	86
Çizelge 7.10. Farklı frezeleme tiplerinde yan yüzey aşınmasının ortalama, varyans ve diğer istatistiksel bilgileri.....	87
Çizelge 7.11. Normallik testi	87

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.12. Kruskal-Wallis'in H testi.....	88
Çizelge 7.13. Normallik testi	89
Çizelge 7.14. Homojenlik testi	90
Çizelge 7.15. One Way ANOVA testi	90
Çizelge 7.16. One Way ANOVA testi için anlamlılık farkının kaynağı	90
Çizelge 7.17. 30 ve 80 kesme hızı ile 55 kesme hızı deneylerinin bir grupta yerleşmesi	91
Çizelge 7.18. Normallik testi	92
Çizelge 7.19. Homojenlik testi	92
Çizelge 7.20. One Way ANOVA testi	92
Çizelge 7.21. One Way ANOVA testi için anlamlılık farkının kaynağı	96
Çizelge 7.22. 0.05 ve 0.011 ilerleme miktarı ile 0.08 ilerleme miktarı deneylerinin bir grupta yerleşmesi.....	97

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. PVD yöntemlerin sınıflandırılması.....	10
Şekil 2.2. TiN kaplı matkap ucu ve çakı.....	13
Şekil 2.3. Katodik ark yöntemi ile TiAlN kaplanmış delici takım uçları	15
Şekil 2.4. Bir CVD ünitesinin prensip şeması	16
Şekil 2.5. CVD yöntemlerin sınıflandırılması	17
Şekil 2.6. Atmosferik basınçlı yöntem.....	17
Şekil 2.7. Alçak basınçlı yöntemi	18
Şekil 2.8. Metal- Organik yöntemi	18
Şekil 2.9. Plazma destekli yöntem	19
Şekil 2.10. Lazer yöntemi	19
Şekil 3.1. Dik kesme modeli	24
Şekil 3.2. Plastik deformasyon bölgeleri	25
Şekil 3.3. Kesikli talaş biçimi	26
Şekil 3.4. Sürekli talaş biçimi	26
Şekil 3.5. Yığıntı talaş biçimi (BUE).....	27
Şekil 3.6. Tornalama işlemi esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni	28
Şekil 3.7. Standart kesme açılarının gösterilmesi	32
Şekil 4.1. Kesme derinliği (a_e). (a) yatay frezeleme (b) dikey frezeleme.....	34
Şekil 4.2. Çevresel frezeleme. (a) eş yönlü frezeleme (b) Zıt yönlü frezeleme.....	36
Şekil 4.3. Alın frezeleme yöntemi. (a) simetrik alın frezeleme, (b) asimetrik alın frezeleme.....	38
Şekil 5.1. Kesme hızı takım ömrü ilişkisi, (a) Lineer ilişki, (b) Logaritmik ilişki	40

Şekil	Sayfa
Şekil 5.2. Taylor takım ömrü modelinde n katsayısı hesaplama yöntemi	41
Şekil 5.3. Tipik aşınma bölgeleri	43
Şekil 5.4. Aşınma tiplerin sınıflandırılması, 1) Serbest yüzey aşınması, 2) Krater aşınması, 3) Plastik deformasyon, 4) Çentik oluşumu, 5) Isıl çatlaklar, 6) Mekanik yorulma çatlakları, 7) Kesici kenardan parçacık kopmaları, 8) Kesici ucun kırılması, 9) Yığılma kenar oluşumu	45
Şekil 6.1. Deneyde kullanılan ISCAR marka H490 ANKX 120508PNTR-IC830 PVD kaplamalı sert metal uç	50
Şekil 6.2. Deneyde kullanılan takma uçlu freze kafası	50
Şekil 6.3. Deneyde kullanılan takma uçlu freze kafası özellikleri.....	51
Şekil 6.4. Takım tutucu malafa	51
Şekil 6.5. CNC tezgâh.....	52
Şekil 6.6. Taramalı elektron, SEM mikroskobu	52
Şekil 6.7. Optik mikroskobu	53
Şekil 7.1. Takım aşınma tipleri (a) Serbest yüzey aşınması (b) Krater aşınması (c) Plastik deformasyon (d) Tanecik kopması (e) Çentik aşınması (f) Termal çatlaklar (g) Talaş yığılması (B.U.E)	55
Şekil 7.2. Slot frezelemede aşınma türlerin yüzdesi	80
Şekil 7.3. Eş yönlü frezelemede aşınma türlerin yüzdesi	81
Şekil 7.4. Zıt yönlü frezelemede aşınma türlerin yüzdesi	82
Şekil 7.5. Talaş çekiçlemesinde bağımsız değişkenlerin tanımı.....	84
Şekil 7.6. Zıt yönlü frezelemede yan yüzey aşınmasının kesme hızına göre değişimini gösteren grafik.....	91

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
a_p	Frezeleme derinliği
CNC	Bilgisayarlı Nümerik Kontrol
d	Freze kafası çapı (sert metal uç takılı halde)
dev/dk	Devir/dakika
f	İlerleme
f_z	Diş başına ilerleme
N	Devir
T	Takım ömrü
V_c	Kesme hızı
V_f	Tabla ilerlemesi
z	Freze kafasında takılı sert metal uç sayısı
BUE	Built Up Edge

1. GİRİŞ

Tüm takımlar işleme esnasında aşınır. Kaba veya ince işleme, kesici ucun sertliği ve kaplama türü, işlenen parçanın sertliği ve diğer işleme faktörlerine göre takım aşınma miktarı ve dolayısıyla takım ömrü tanımlanır. Takım ömrünü yükseltebilmek amacıyla, bu çalışmada çeşitli faktörlerin farklı aşınma türleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi, iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesi ile gerçekleşir. Bu işlem esnasında kesici takımların yüzeylerinde farklı aşınmalar gerçekleşir. Kesici takımlarda oluşan aşınmalar kesici takım ömrü, yüzey pürüzlünü ve kesme kuvvetlerin etkiler. Frezeleme işleminde kesme hızı, ilerleme hareketi, kesme derinliği ve kesme genişliği, kesme parametreleri olarak tanımlanır. Farklı aşınma türlerine göre kesme parametrelerinde değişiklik yapılarak takım ömrünü arttırmak mümkündür. Takımlardaki aşınma yan yüzeylerde ya da üst yüzeyde oluşur. Dolayısıyla her bir yüzeydeki aşınmanın türü ve ölçeği ayrı ayrı bilinmeli, buna göre kesme parametrelerinde değişikliğe gidilmelidir.

Takım ömrü ve işleme parametreleri ile ilgili olarak literatürde çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Z. Tekiner ve S. Yeşilyurt tarafından yapılan çalışmada, AISI 304 için en uygun kesim koşullarının belirleme amacı ile 150 mm uzunluğunda ve talaş derinliği 2,5 olmak üzere, üç farklı ilerleme hızı (0,2 – 0,25 – 0,3 mm/dev), 120, 135, 150, 165, 180 m/dk kesme hızlarında tornalama testleri yapılmıştır. Deneyler sırasında, sesler bir mikrofon tarafından kaydedilmiş, en iyi kesme hızı ve ilerleme hızı, yan yüzey aşınması, talaş şekli, işlenmiş numunenin yüzey pürüzlülüğü ve tezgahın güç tüketimi incelenip ve göz önüne alınarak, ideal kesme parametreleri 165 m/dk kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerleme hızı olarak tespit edilmiştir [1].

A. Ebrahimi ve M.M. Moshksar yaptıkları çalışmada, 30MnVS6-QT, AISI 1045 ve AISI 5140 çeliklerin farklı kesme şartları altında işlenebilirlikleri incelenmiştir. İstatistik analizleri ve SEM yardımı ile kesme kuvvetlerinin, mikro çatlaklar ve diğer faktörler üzerinde etkisi araştırılmıştır. Bu araştırmanın sonunda AISI 1045 ve AISI 5140 çeliklerin, QT çelikleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek işlenebilirlik ve takım ömrüne sahip olduğu tespit edilmiştir [2].

U. Özdemir ve M. Erten tarafından yapılan çalışmada, takım ömrünü etkileyen takım hasar mekanizmaları (aşınma, plastik deformasyon veya kırılma) incelenmiştir. Talaş kaldırma sırasında takım çok yüksek gerilme ve sıcaklıklara maruz kaldığında, takımda elastik ve plastik şekil değişimleri ile şiddetli bir aşınma meydana gelip ve takım ömrünü önemli ölçüde azaltmaktadır. Çalışmada takım ömrü; kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, iş parçasının malzemesi, takım malzemesi, takım geometrisi, talaş kaldırma yöntemi ve diğer kesme şartları gibi birçok faktör gözetlenip ve takım aşınması ve takım ömrü üzerindeki etkileri incelenmiştir [3].

C. Özek ve arkadaşlarının çalışmasında AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin tornalama işleminde işlenebilirlik karakteristikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde, kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği gibi parametreler değiştirilerek, parametrelerin yüzey pürüzlülüğü, takım yanak aşınması ve takım-talaş ara yüzey sıcaklığına olan etkileri incelenmiştir. Deneyler neticesinde, kesme hızının artmasıyla, takım-talaş ara yüzey sıcaklığının ve takım yanak aşınmasının azaldığı; ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği belirlenmiştir [4].

İ. Çiftçi tarafından yapılan çalışmada, AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesinde kesici takım olarak çok katlı kaplanmış sementit karbür şeklinde bir takım kullanılmıştır. Deneyler, soğutma sıvısı kullanılmadan dört farklı kesme hızında, ilerleme hızı ve talaş derinliği sabit tutularak yapılmıştır. Aşınmış kesici takımlar tarama elektron mikroskobu (SEM) yardımı ile incelenmiş ve aşınmanın kesici takım üzerinde işlenmemiş iş parçası yüzeyi ile temasta olduğu bölgede, iş parçası yüzeyi ile teması kestiği bölgede ve burun bölgesinde olduğu ve küçük çatlaklar şeklinde olduğu gözlemlenmiştir [5].

R.A Mahdavinejad ve S. Saeedy tarafından yapılan çalışmada, AISI 304 paslanmaz çelik için farklı kesme hızları ve ilerleme oranlarında, soğutma sıvısı ve sıvısız testler yapılmıştır. Deneylerin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü parametreleri, tasarım (DOE) ve varyans analizi (ANOVA) programı ile incelemiştir. Bu inceleme sonucunda yan yüzey aşınmasında en etkili faktör kesme hızı olduğu ve 175 m/dk'ya kadar yükseldiğinde yan yüzey aşınmasının azalmakta olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca soğutma sıvısının takım ömrünü uzattığı gözetlenmiştir [6].

H.M. Ertunç ve İ. Sevim'in yaptıkları çalışmada kesici takımlardaki meydana gelen aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Bu çalışmada, literatürde matkap ucunun aşınmasının gözlenmesi üzerine yapılan çalışmalar tanıtılmış; kullanılan direkt ve indirekt ölçme teknikleri ile sensor füzyonu konusundaki çalışmalar özetlenmiştir. Toplanan sensor sinyallerinin işlenerek kesici takımın aşınma safhasını belirlemek için önerilen metotlar sıralanmış ve daha ayrıntılı bilgi için referansları verilmiştir [7].

S. Thamizhmanii ve S. Hasan tarafından yapılan çalışmada, CBN ve PCBN kesici takımlardaki aşınma türlerini incelemek amacı ile tornalama testleri 100, 125, 150, 175 ve 200 m/dk kesme hızları, 0,10 – 0,20 ve 0,30 mm/dev ilerleme hızı ve 1,00 mm kesme derinliği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dinamometre ile kesme kuvvetleri ölçülmüş ve taramalı elektron mikroskobu ile kesici takımların aşınmaları incelenmiştir. Bu araştırmalar sonucunda düşük kesme kuvvetlerinin daha az serbest yüzey aşınmasına neden olduğu ve daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edildiği gözlemlenmiştir. Kesici takımın ucunun geometrisi, kesme kuvvetlerini etkilemekte olup ve bunun üzerine incelemeler yapmışlardır [8].

K.A. Abou-El-Hossein ve Z. Yahya tarafından yapılan çalışmada, AISI 304 paslanmaz çelik takımında muhtemel aşınma türleri ile ilerleme ve kesme hızlarının takım ömrü ve aşınma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre takım aşınması, kesme hızı ile direkt orantılı olup ve ilerleme oranı arttıkça takım aşınması azalmaktadır [9].

T. Nithyanandhan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, farklı parametrelerin yüzey pürüzsüzlüğü ve talaş kaldırma oranı (MRR) üzerindeki etkisi, varyans (ANOVA) analiz yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmaya göre ilerleme ve kesici takımın burun kısmının çapı yüzey pürüzlülüğünde en önemli faktörler olarak tespit edilmiştir. Yan yüzey takım aşınması için en uygun kesme sıcaklığı kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Diğer kesme parametreleri en uygun kesme sıcaklığına göre ayarlanmıştır. Kesme parametreleri optimize ederek takım ömrü ve verimlilik artırılmıştır [10].

Kaynak kitaplar ve literatürler incelendiğinde eş yönlü, zıt yönlü ve slot frezeleme tipleri için farklı kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı) kullanılarak, imalat aşamasında kesici takımlarda oluşan farklı aşınma türlerinin incelenmemesi görülmüş ve

bu nedenle bu çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir. Literatürde ve endüstriyel uygulamalarda eş yönlü frezelemenin daha uzun takım ömrünü sağladığı bilinmektedir. Ancak bunun rakamsal olarak hangi değerlerde olduğu talaş kaldırma tipinin hangi tipte takım aşınmalarına neden olduğuna dair çalışmalara kolayca rastlanamamaktadır.

Bu çalışmada farklı kesme parametreleri kullanılarak bir CNC tezgahı yardımı ile klasik bir yöntem olarak tanımlanan zıt yönlü frezeleme ile modern kesme şekli olarak tanımlanan aynı yönlü frezelemede farklı deneyler yapılmıştır. Deneylerde PVD kaplamalı kesici uçlar ve iş parçası olarak paslanmaz çelik kullanılmıştır. Daha önce yapılan çalışmada söz konusu üç tipteki talaş kaldırmanın takım ömrüne etkileri ortaya konulmuştur [31]. Bu çalışmada ise söz konusu deneylerden elde edilen aşınmış kesici takımlar, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik mikroskobu yardımı ile incelenmiş ve frezeleme tipi ve kesme parametrelerine göre gözetlenen aşınma türleri incelenip sınıflandırılmıştır.

Çalışmanın sonunda kesme parametreleri ve aşınma türleri arasındaki ilişki açıklanarak yorumlar yapıp sonuçlar elde edilmiştir.

2. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ VE KAPLAMALAR

2.1. Takım Malzemeleri

Günümüzde ticari olarak mevcut takım malzemelerinin takım ömrüne, talaş kaldırma miktarına, yüzey hassasiyetine ve takım maliyetine bağlı olarak değişmektedir.

Kullanılan takım malzemeleri esas olarak üç gruba ayrılabilir.

- i) demir içeren malzemeler
- ii) demir içermeyen malzemeler
- iii) metal olmayan malzemelerdir [11].

Talaş kaldırma işleminde belirli bir malzeme için uygun takım seçimi bunların mekanik özellikleri ile belirlenir. Uygun takım malzemesinin seçiminde takımın kesme işlemi ve fonksiyonu üzerine nasıl etki edeceğinin belirlenmesi için bu malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin anlaşılmasını gerekmektedir [11].

Talaş kaldırılma işleminde, ya tornalama ve delme işleminde olduğu gibi tek noktalı takımlarla sürekli kesme işlemi, ya da frezeleme işleminde olduğu gibi çok uçlu takımlarla fasılalı kesme yapılır. Sürekli kesme işleminde uçta yüksek sıcaklıklar oluşurken, aralıklı kesme işleminde daha düşük sıcaklık oluşmasına rağmen uçlar, ısı ve mekanik yüklemelere maruz kalır ve nispeten kesme kuvvetleri yüksek olur. Yüksek kesme hızları, kesicinin uç bölgesinde yüksek sıcaklıklar oluşturmaya rağmen işleme zamanı dikkate alınmalıdır. Bir kesici takımın yüksek sıcaklıklarda kesme yeteneğini muhafaza etmesi için yüksek sıcaklık sertliğine sahip olması gerekir [11].

2.1.1. Kesici takımlarda aranan özellikler

Bir kesici takımda bulunması gereken özellikler şöyle özetlenebilir:

- Yüksek basma ve eğilme mukavemeti,
- Yüksek sertlik ve aşınma direnci,
- Yüksek sıcaklıkta aşınmaya karşı dayanıklılık,

- Yüksek ısı iletim yeteneğine sahip olması,
- Darbe etkisine karşı کافی derecede tok olması,
- Ucuz olması [11].

2.1.2. Sinterlenmiş karbür

Sinterlenmiş karbürler, sert karbür parçacıklarının ve parçacıklar arasında bulunan bir bağlayıcının sinterleme yoluyla bir araya getirilmesi sonucu elde edilir. Bu malzeme yüksek hız çelikleri ile beraber en fazla kullanılan takım malzemesidir. Sinterlenmiş karbürler bir bağlayıcı içerisindeki farklı karbürlerden oluşmuş bir toz metalurjisi ürünüdür. Bu karbürler çok sert olan tungsten karbür (WC), titanyum karbür (TiC), tantalum karbür (TaC) ve niyobyum karbür (NbC)'dür. Bağlayıcı olarak genellikle kobalt (Co) kullanılır [12].

Sinterlenmiş karbür uçların kaliteleri genellikle aşağıdaki özelliklere bağlı olarak belirlenir:

- Sert parçacıkların tipi ve büyüklükleri,
- Bağlayıcının tipi ve oranı,
- Üretim teknikleri,
- Kalite [12].

2.1.3. Sermet

Sermet, sert partikül olarak tungsten karbür yerine titanyum karbür (TiC), titanyum karbonitrür (TiCN) ve/veya titanyum nitrür (TiN) gibi titanyum esaslı karbürlerin kullanıldığı sinterlenmiş karbürlerin genel adıdır. Sermet ismi seramik-metal kelimelerinden oluşur. Bunun nedeni metal bağlayıcı içerisindeki seramik parçacıklarıdır. Bir toz metalurjisi ürünü olan Sermetlerin sinterlenmiş karbür ve tüm sert metallerin sermet olduğu tartışılabilir, ancak pratik olarak sermet tungsten karbüre değil titanyum karbüre dayalı sinterlenmiş karbürleri içeren bir malzeme grubudur. Oldukça kırılğan bir takım malzemesi olmalarına karşın sermetler oldukça zor talaş kaldırma işlemlerinde daha iyi bir tokluk sağlamak amacıyla geliştirilmişlerdir. Bu takım malzemeleri sadece

eliklerde orta ince işlemlerde kullanılmak için geliştirilmiş malzemeler olmayıp frezeleme işlemlerinde ve paslanmaz çeliklerin tornalanmasında da kullanılmaktadırlar. Sermetler:

- Yüksek serbest yüzey ve krater aşınma direncine sahip,
- Yüksek kimyasal kararlılık ve kızıl sertliğe sahip,
- Yığma kenar oluşumuna düşük eğilimli,
- Oksidasyon aşınmasına düşük eğilimli

malzemelerdir [12].

2.1.4. Seramik

Seramik kesici takımlar sert, yüksek kızıl sertliğe sahip, iş parçası malzemesi ile reaksiyona girmeyen takımlardır. Seramik esaslı kesici takımlar dört farklı kategoriye ayrılmaktadır:

- Saf oksit esaslı seramikler
- Katkılı alüminyum oksit esaslı seramikler
- Alüminyum oksit esaslı takviyeli seramikler
- Silisyum nitrür esaslı seramikler

Saf oksit esaslı seramikler düşük ısıl iletkenlik özelliğine sahip ve bu nedenle kesme koşullarını doğru belirlenmemesi halinde talaş kaldırma esnasında kesici kenarın çatlamasına neden olur. Az miktarda zirkonyum oksit ilavesi saf seramiğin özelliklerini iyileştirir ve tokluğunu arttırır. Katkılı alüminyum oksit esaslı seramiklerde ısıl şoklara karşı daha dirençli bir malzemedir. Bu tip seramikler ısıl iletkenlikleri iyileştirildiği için çatlaklara karşı daha az duyarlıdırlar. Bu tip seramiklerin içerisindeki metal fazı oranı % 20 - % 40 değerleri arasında olup titanyum karbür (TiC) ve titanyum nitrürden (TiN) oluşur [12]. Alüminyum oksit esaslı takviyeli seramikler yeni geliştirilmiş bir malzemedir. Bu tip seramikler 1 mikron çapında 20 mikron uzunluğunda kılcal kristal liflerle takviye elendiğinden dolayı lif takviyeli seramikler olarak da adlandırılırlar. Bu lifler silisyum karbürden yapılmış olup son derece dayanıklıdırlar. Bu güçlendirme işlemi ile tokluk, mukavemet ve ısıl darbe direnci arttırılmış, yüksek kızıl sertlik ve aşınma direnci

sağlanmıştır [11,12]. Silisyum nitrür esaslı seramikler sertlik, yüksek ısıya dayanıklılık ve kimyasal kararlılıklarının yanında tokluğunun artmış olması, düşük ısı genleşme katsayıları (alüminyum oksit esaslı seramikler ve sinterlenmiş karbürler göre) en büyük avantajlarındandır. Bu takımlar gri dökme demirin 450 m/dk'lık kesme hızının üzerindeki kesme hızlarında işlenebilmesine imkan vermektedir [12].

2.1.5. Kübik bor nitrür (CBN)

Kübik bor nitrür (CBN) elmastan sonra ikinci en sert kesici takım malzemesidir. Çok yüksek sertlik, çok yüksek kızıl sertlik (2000°C), mükemmel aşınma direnci ve işleme esnasında genellikle iyi kimyasal kararlılık gibi özellikleri sayesinde mükemmel bir kesici takım malzemesidir [11,12].

CBN kesici takımlar çok yüksek basınç ve sıcaklıklar altında özel seramik bağlayıcı malzemelerin karışımının sinterlenerek yapıldığı kesici takım malzemeleridir. Dövme çelik, sertleştirilmiş çelik, dökme demir, yüzeyi sertleştirilmiş is parçaları ve ısı dirençli alaşımlar CBN takımların yaygın olarak kullanıldığı malzemelerdir. CBN kesici uçlar sert çeliklerin hassas toleranslar gerektiren işlemleri ve ince işlemler için idealdirler. 0,3 µm bir Ra değeri ve $\pm 0,01$ mm'lik toleranslar CBN uçlarla yapılan tornalama işlemlerinde elde edilen değerlerdir. CBN kesici takımlar, sertlikleri 48 HRC'nin üzerinde olan sert iş parçası malzemelerinde uygulanmaktadır [12].

2.1.6. Çok kristalli elmaslar (PCD)

Bilinen en sert malzeme tek kristalli doğal elmadır. Hemen hemen doğal elmas kadar sert bir malzeme ise sentetik çok kristalli elmadır (PCD). PCD kesici uçların yüksek sertliği çok yüksek aşınma direncine sahip olmasını sağlar ve bu özelliklerinden dolayı taşlama işleminde kullanılan tasların bilenmesinde de kullanılır. Elmas kristallerinin yüksek basınç ve sıcaklık altında bir araya getirilmesiyle oluşturulurlar. Herhangi bir yönde olası bir çatlak yayılmasının önlenmesi için yapı içerisine kristaller geliş güzel biçimde dağıtılmışlardır. Böylelikle sertliğinin ve aşınma direncinin her yönde yüksek olması sağlanmıştır. Küçük PCD kesici kenarların sinterlenmiş karbür uçlarla beraber kullanılmasıyla yapıya mukavemet ve darbe direnci kazandırılmış olur. Bu da sinterlenmiş bir takım ömrünün yaklaşık yüz katına tekabül eder. PCD'lerin zayıf yönleri şöyledir:

- Kesme bölgesi sıcaklıkları 600° C'yi aşmamalıdır.
- Afinite nedeniyle demir esaslı malzemelerde kullanılmamalıdır.
- Tok, yüksek çekme mukavemetine sahip malzemeler için kullanılmamalıdır [12].

Bu zayıf yönlerinden dolayıdır ki talaşlı imalat işlemlerinden büyük çoğunluğunda kullanılamamaktadır. Bunlara rağmen PCD'ler özellikle yüksek hassasiyet ve yüzey kalitesi gerektiren demir olmayan malzemeler için mükemmel bir kesici takım malzemesidir. PCD'nin yapısının çok kırılgan olması nedeniyle PCD ile yapılan işlemlerin çok kararlı koşullar, rijit tezgah, takımlar ve çok yüksek kesme hızları gerektirir. İnce ve yarı ince tornalama ve delik işleme tipik PCD işlemleridir. Düşük ilerlemeler, düşük talaş derinlikleri, darbeli talaş kaldırma işlemlerinden ve şoklardan kaçınılması son derece önemlidir [11, 12].

2.2. Kesici Takım Kaplamaları

Makina parçalarının ömürleri ve takımların kullanım süreleri aşınma nedeni ile sınırlıdır. Günümüzde aynı parçanın gittikçe daha büyük sayıda üretilme talepleri, yaygınlaşan otomasyona karşılık aşınma nedeni ile metal işleme makinelerinin durma süreleri fiyat faktörünü devamlı olarak arttırmaktadır. Bu nedenle aşınmanın önlenmesi her geçen gün ekonomik anlamda daha büyük önem kazanmaktadır. Aşınmanın, ülkenin gayri safi milli hasılasında %5'in üzerinde kayıplara neden olduğu bilinmektedir. Takım ömürlerini uzatmak için yeni nesil takım çelikleri üretilmektedir. Takımlarda kullanılan malzemeleri daha pahalı olan yenileri ile değiştirmek yerine, yalnızca yüzeyin aşınma özelliklerini geliştirmek ise soruna ekonomik ve pratik bir yaklaşımdır. Bu alanda sert seramik film kaplamalar ile son yıllarda büyük bir aşama sağlanmıştır. Bu teknolojilerde kullanılan nitrür, karbür, oksit vb. sert seramik kaplamaların, aşınmaya karşı dayanıklı oldukları uzun süredir bilinmektedir. Bu malzemelerin gevrek ve çok kırılgan oluşları, dolu malzeme olarak kullanımlarını engellemektedir. Ayrıca fiyatları da oldukça yüksektir. Bu tür malzemeler sert seramik film olarak çelikler ve sert metaller üzerine kaplandıklarında yüzey sertliği çok yüksek, kütsel olarak tokluğu yeterli kesici takımların üretilmesi mümkün olmaktadır. Takım çeliklerinin sert seramik malzemelerle kaplanma teknikleri araştırılmıştır [11].

Kaplama tabakasının oluşumu sert melalin gaz fazından yüklenmesi ile olur, bunun yöntemleri ise:

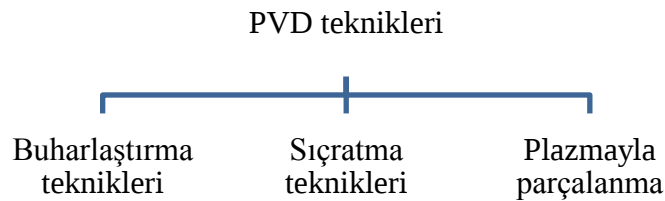
- i) Fiziksel Yöntemler: (PVD Vakum-Buharlaştırma, katot plazma yöntemi)
- ii) Kimyasal Yöntemler: (CVD Chemical-Vapor-Deposition yöntemi) [11].

2.2.1. Fiziksel yöntemler: (PVD vakum-buharlaştırma, katot plazma yöntemi)

Bir malzemenin (M) çeşitli altlık malzemeleri üzerine ince film ve kaplama şeklinde biriktirilmesi bu M malzemesinin buharının oda sıcaklığına yakın bir sıcaklıktaki altlık malzeme üzerinde yoğunlaştırılması ile gerçekleştirilebilir. Element veya bileşik şeklindeki M maddesi bir kaynağa yerleştirilerek ya yüksek sıcaklıklara ısıtılarak (buharlaştırılma) ya da yeterince yüksek enerjili iyonlar bombardıman edilerek (sıçratma) buhar haline geçirilir. Katı haldeki kaynak malzemesinin yüzeyinden buhar fazına geçecek parçacıkların yüzeyden ayrılması için gerekli olan enerji buharlaştırılma tekniğinde ısı enerjisiyle, sıçrama tekniğinde ise bombardıman iyonlarının çarpma enerjisi transferiyle sağlanmaktadır. Kaynağın buharlaştırılması ve bu fazın bir altlık yüzeyinde yoğunlaştırılması faz dönüşümlerini ve kütle transferi içeren fiziksel temel oluşumları kapsayan bir mekanizmadır [13].

PVD yöntemlerin sınıflandırılması

PVD yöntemlerinin sınıflandırılmasında en belirgin gruplama kaynak ya da hedef malzemesinin ne şekilde buhar haline göre yapılmaktadır. Uç genel gruba bölünmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. PVD yöntemlerin sınıflandırılması [13].

Buharlaştırma tekniği

Buharlaştırma yoluyla kaplama üretimi temel olarak dört fiziksel adımda gerçekleşmektedir: a) kaynağa yerleştirilmiş katı veya sıvı malzemenin buharlaştırılması, b) buhar parçacıklarının kaynaktan altlığa nakli, c) buhar parçacıklarının altlık yüzeyinde yoğunlaşması ve d) yüzeyde yoğunlaşan tabakanın atomlarının yer değiştirmesi [13].

Sıçratma tekniği

Sıçratma işleminde sıçratılmak ve altlık yüzeyine yoğunlaştırılmak istenen malzeme (M) enerjik iyon bombardımanının hedefi olarak kullanılmaktadır. İyon bombardımanı sırasında iyon-madde etkileşimi sonucu eğer yeterli derecede yüksek enerji maddeye transfer edilebilirse, madde yüzeyinden M atomları ortama sıçratılabilir. Bu sıçratma işlemi parçacıkların hedef malzemesi kafesine çarpmaları anındaki moment transferinin ortaya çıkardığı bir durumdur [13].

Plazmayla parçalanma

Yüksek moleküler bir gaz atmosfer ortamında kararlı bir plazma oluşturulması ve plazma nedeniyle bu gazın bileşenlerine ve türevlerine parçalanarak altlık yüzeyine yoğunlaşması temeline dayanmaktadır. Yöntemin uygulanma basıncının belirlenmesinde ana kistas serbest gaz parçacıklarının altlık ve kaplama ile çarpışma prosesinin parçacıkların hacimsel çarpışma prosesinden daha etkin olmasıdır [13].

PVD tekniği ile yapılan kaplamaların özellikleri

PVD kaplamalı olan kesici takımlar:

- Isıl işlem görmüş takım çeliklerinin 180 - 1600°C arasında kaplanabilmesi ve parçalarda sertlik kaybı olmaması.
- Kaplanan tabakalarda çok yüksek tutunma kuvvetlerinin oluşması ve yüzeyden pul pul dökülmemesi.
- Sık dokulu kristal tabaka yapısının oluşması.

- Çok ince (1 – 5 μm) kaplama yapılabilmesi ve parça toleransının muhafaza edilmesi.
- Kompleks geometrik parçaların döner mekanizmalarla homojen özelliklerde kaplanabilmesi.
- Köşelerin ve keskin uçların keskinliğinin bozulmadan kaplanabilmesi.
- Takımların ve kalıpların bilendikten sonra tekrar kaplanabilmesi.
- Kaplamaların sökülerek tekrar kaplama yapılabilmesi [14] özelliğine sahiplerdir.

PVD teknikleri diğer kaplama teknikleri ile kıyaslandığında

- Düşük sıcaklıklarda çalışma (taban metalinin fazla ısınma tehlikesinin olmaması),
- İstenmeyen yönlü birikmenin olmaması (kaplama kalınlığının homojen olması),
- Çevre kirliliğine yol açmaması,
- En yaygın ve gelişmeye açık yöntem olması gibi avantajlarının olduğu görülmektedir [14].

PVD tekniği ile yapılan kaplama türleri

PVD ince film kaplama tekniği olarak 1800lü yıllardan beri bilinmekte, ancak son 50 senedir kendisine endüstride bir yer bulabilmiştir. PVD tekniği dört farklı kaplama türünden oluşmaktadır:

- Titanyum Nitrür Kaplamalar (TiN).
- Niobyum nitrür kaplamalar (NbN).
- Krom Nitrür Kaplamalar (CrN).
- Titanyum-Alüminyum Nitrür Kaplamalar (TiAlN) [15].

Titanyum Nitrür Kaplamalar (TiN)

kaplamalar, yüksek sertlikleri, düşük aşınma oranları ve görünüşlerinden dolayı yıllardır, aşınma önleme ve dekoratif amaç ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaplama yüzeyine dik olarak, tane boyutu uzunluğunda, kaplama kalınlığı oluşur. Kaplama kalınlığı (tane boyutu) genellikle 0,1 μm civarındadır ve eşeksenli olarak görülür. Şekil 2.2’de PVD yöntemi ile kaplanmış kesici uçlar görülmektedir [15].



Şekil 2.2. TiN kaplı tornalama ucu [37]

Ti_2N içeren TiN filmlerinin, aşınmaya çok dayanıklı oldukları tespit edilmiştir. Ancak saf Ti_2N yapısı elde etmek, proses parametreleri dikkate alındığında neredeyse imkânsızdır. TiN kaplamalarının bazı dezavantajları da vardır. TiN kaplamaları öncelikle sınırlı bir oksidasyon direncine sahiptirler. TiN kaplamaların $550^{\circ}C$ civarında okside oldukları belirlenmiştir. TiN kaplamalarının genel özellikleri Çizelge 2.1’de verilmektedir [15].

Çizelge 2.1. TiN kaplamalarının genel özellikleri [15]

Renk	Altın sarısı
Sertlik	2000 - 2300 HV
Kalınlık	2 - 5 μm
Kaplama sıcaklığı	200 - $500^{\circ}C$
Sürtünme katsayısı	0,6
Termal oksidasyon derecesi	500 - $600^{\circ}C$
Yüzey pürüzlülüğü (Ra)	0,2 μm

Niobyum nitrür kaplamalar (NbN)

NbN ilk olarak, mekanik özelliklerinden çok süper iletkenlik özelliğinden dolayı araştırma konusu olmuştur. Bu amaçla yapılan deneylerde, NbN filmlerinin süper iletkenliğinde artış elde edilmiştir. Niobyum nitrür filmlerin aşınma direnci ve mikro sertlikleri, mikro yapı ile incelenmiştir. Geçiş metalleri ile oluşturulan ikili nitrürler, sertlik ve tokluk gibi mekanik özelliklerde iyi bir karakteristik sergilerler. Bu bileşiklerin bazıları, yüksek kimyasal dirençte göstermektedirler. Bu özellikleri sayesinde, niobyum nitrür (NbN) kaplamalar, türbin motorları ve uçak motorlarının iç kısımlarında oluşan ağır şartlarda yatak parçalarının korunmasını sağlamaktadır. Daha sonraları ise yaklaşık 50 GPa sertliğine sahip TiN/NbN kaplama elde edilmiştir [15].

Krom Nitrür Kaplamalar (CrN)

CrN kaplamalar, genellikle metal şekillendirme takımlarında kullanılan kaplamalardır. CrN kaplamalarının oksidasyon sıcaklığı TiN kaplamalara göre yaklaşık 100 C daha yüksektir. TiN kaplamaya göre yüksek tokluk değeri ve çok az bir miktar (%5-10) daha düşük sertliğe sahiptirler. CrN kaplamaların sertlikleri genellikle 23 GPa'nın üzerindedir. PVD yönteminde kullanılan kaplama malzemelerinin incelendiği bazı çalışmalara göre, CrTiN filminin oksidasyon direncinin TiN ve CrN'den çok daha iyi olduğunu gözlemlerken, TiZrN filminin oksidasyon direncinin TiN ve ZrN'den çok daha kötü olduğunu tespit etmişlerdir. TiZrN filminin oksidasyon direncinin ise TiN ve CrN'den daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Çizelge 2.2'de CrN kaplamalarının genel özellikleri verilmektedir [15].

Çizelge 2.2. CrN kaplamalarının genel özellikleri [15]

Renk	Gümüş
Sertlik	2000 - 2200 HV
Kalınlık	3 - 10 μm
Kaplama ısısı	200 - 500°C
Sürtünme katsayısı	0,45
Termal oksidasyon derecesi	700 - 750°C
Yüzey pürüzlülüğü (Ra)	0,2 μm

Titanyum-Alüminyum Nitrür Kaplamalar (TiAlN)

TiAlN filmler özellikle delme uygulamalarındaki kesme performansları sebebiyle tercih edilen kaplamalardır. TiAlN filmlerinin sertlikleri 2100-2300 HV civarındadır ancak delme uygulamalarında kullanılmalarının sebebi Al katkısıyla oksidasyon direncinin artırılmasıdır. TiN kaplamalar 550°C civarında okside olmaya başlarken, TiAlN kaplamalarda bu sıcaklık 800°C'dir. Düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip TiAlN kaplanmış kesici takımlarda üretilen ısının büyük bir kısmı talaş ile dışarı atıldığından talaş oluşumu iyidir. TiAlN kaplanmış takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde 2-3 kat daha iyi takım ömrü elde edilmiştir. Seramik kaplı kesici takımlarda önemli oranlarda takım ömrü artışı sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak işleme ve işleme hızlarında %10-100 oranlarında artış sağlanmakta, işleme kısaltmakta ve yüzey kalitesinde iyileşmeler olmaktadır. Şekil 2.3'de TiAlN kaplanmış parmak frezeler görülmektedir [15].



Şekil 2.3. Katodik ark yöntemi ile TiAlN kaplanmış parmak frezeler [15]

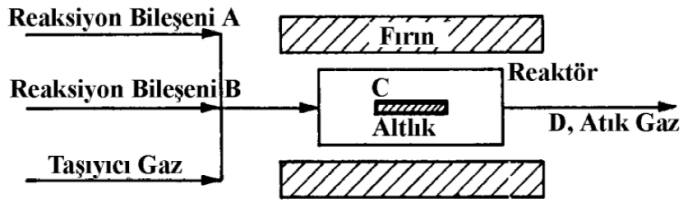
Kuru talaş kaldırma işlemlerinde TiAlN kaplamalı kesici takımlarda, yüksek aşınma direnci ve termal kararlılık görülmüştür. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü, taşlama kalitesine yakındır. TiAlN kaplamalı kesici takımlarda aşınma miktarına bağlı olarak, sürtünme kuvvetlerindeki artış oranı, diğer kesicilere göre en az olmaktadır. Yapılan deneylerde talaş kaldırma performansı en yüksek kesici takımın TiAlN kaplamalı kesici takım olduğu görülmüştür. Çizelge 2.3’ de TiAlN kaplamalarının genel özellikleri verilmektedir [15].

Çizelge 2.3. TiAlN kaplamalarının genel özellikleri [15]

Renk	Mor - Siyahi
Sertlik	3300 HV
Kalınlık	2 - 5 μm
Kaplama ısısı	200 - 500°C
Sürtünme katsayısı	0,37
Termal oksidasyon derecesi	800 - 900°C
Yüzey pürüzlülüğü (Ra)	0,2 μm

2.2.2. Kimyasal yöntemler: (CVD chemical-vapor-deposition yöntemi)

Kısaca CVD olarak adlandırılan kimyasal buhar yoğunlaştırma tekniği ile yüzey kaplamaları üretimi, bir gaz fazdan kimyasal reaksiyonlar sonucu elde edilen yeni fazın yüzey çöktürülmesi esnasına dayanmaktadır. CVD teknikleriyle metal, oksit, nitrür, karbür, borür ve benzeri kaplamaların üretilmesi mümkündür. Şekil 2.4’ de bir CVD ünitesinin temel prensibi verilmektedir [13].



Şekil 2.4. Bir CVD ünitesinin prensip şeması [13]

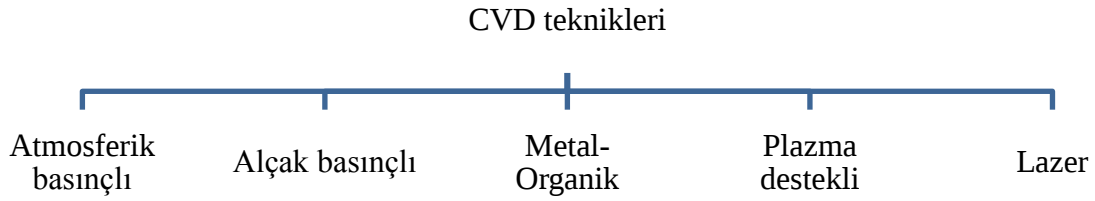
Arzulanan kaplamanın oluşması için gerekli kimyasal reaksiyonlara katılmak üzere metal bileşiklerinin gaz fazında ortamda mevcut olması gereklidir. Bu tür uygulamalara uygun gaz fazındaki metal bileşiklerinin ne önemlileri florür, klorür ve bromürlerdir. Bu bileşiklerin oda sıcaklığında gaz formunda ya da sıvı halde bulunması gerekmektedir. Çizelge 2.4’de çeşitli kaplama türleri için uygun reaksiyon bileşenleri sıralanmıştır. Verilen sıcaklık değerleri metal atomlarını sağlayan maddenin kaplamaya sağlamaya yeterli derecedeki buhar basıncı oluşturmak için gerekli sıcaklıktır [13].

Çizelge 2.4. Değişik kaplama türleri için uygun reaksiyon bileşenleri ve reaksiyon sıcaklıkları [13]

Kaplama Türü	Reaksiyon Sıcaklığı (°C)	Reaksiyon Bileşenleri
TiC	1000	$CH_4, H_2, TiCl_4$ (30°C)
VC	1050	CH_4, H_2, VCl_2 (1050°C)
SiC	800	CH_4, H_2, SiH_4 (g°C)
W_2C	600	C_6H_6, H_2, WF_6 (30°C)
TiN	950	$N_2, H_2, TiCl_4$ (30°C)
Si_3N_4	1200	$NH_3, H_2, SiCl_4$ (g)
HfN	1000	$N_2, H_2, HfCl_4$ (250°C)
TiB_2	1000	$BCl_3, H_2, TiCl_4$ (30°C)
Al_2O_3	1000	$CO_2, H_2, AlCl_3$ (150°C)
Cr	850	$H_2, CrCl_2$ (900°C)
W	900	H_2, WF_6 (30°C)
C	1400	C_2H_6 veya C_3H_8

CVD yöntemlerin sınıflandırılması

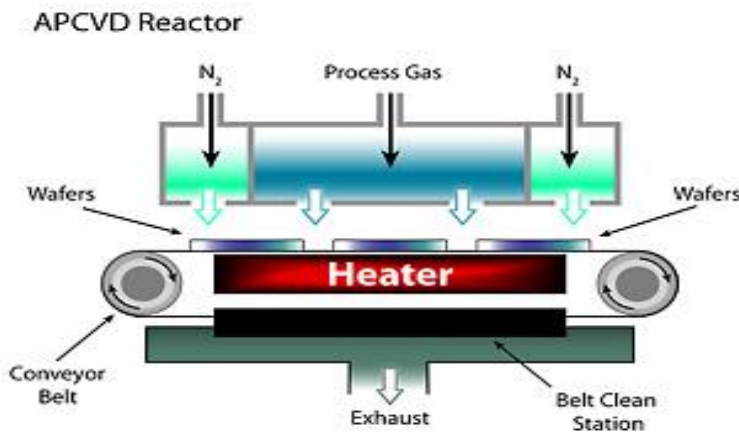
CVD kaplama tekniklerinde yüzey takasının yoğunlaşma işlemi temel olarak sıcaklık, basınç, gaz bileşimi ve gaz akış parametreleri tarafından kontrol edilmektedir [15]. CVD yöntemlerinin sınıflandırılmasında en belirgin gruplama beş genel gruba bölünmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. CVD yöntemlerin sınıflandırılması [16]

Atmosferik basınçlı

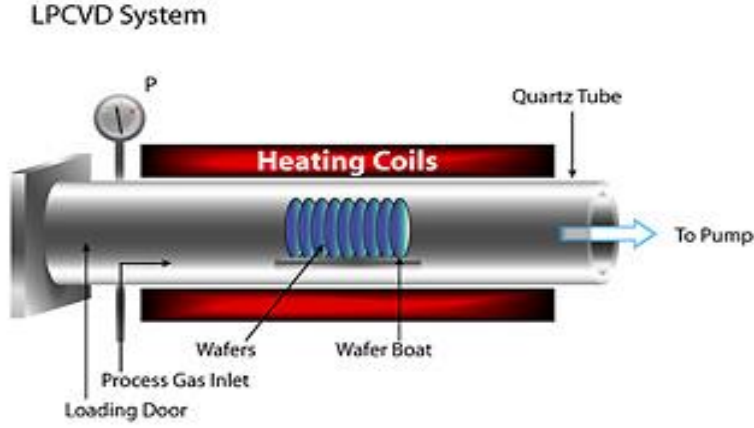
Bu yöntem atmosferik basınç ve çok yüksek sıcaklıklarda (800-1000 °C) çalışmaktadır. Atmosferik basınçlı yöntemde film kalınlığı homojenliği muhafaza edilemez. Yüzeyde pürüzler ulaşabilir ve yüzey verimi nedeniyle çökelme düşüktür. Şekil 2.6’da atmosferik basınçlı yöntemi gösterilmektedir [16].



Şekil 2.6. Atmosferik basınçlı yöntem [16]

Alçak basınçlı

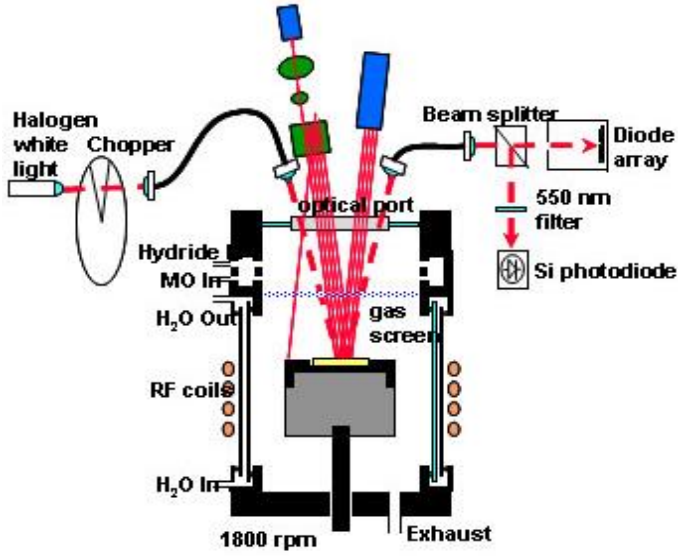
Geniş hacimli uygulamalarda kullanılarak çok düşük basınçlarda (0.25 Torr) çalışmaktadır. Alçak basınç sayesinde dik olarak hedef malzemeye çok yakın pozisyonda tutulabilir. Enerji mekanizmanın ısısından elde edilmektedir ve yüksek sıcaklıklarda çalışması mümkündür. Şekil 2.7’de alçak basınçlı yöntemi gösterilmektedir [16].



Şekil 2.7. Alçak basınçlı yöntemi [16]

Metal-Organik

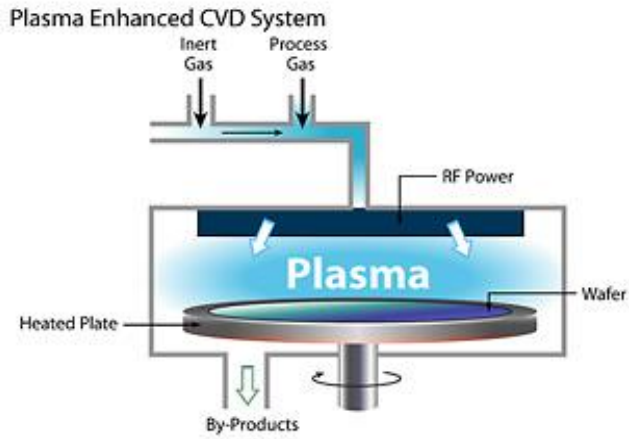
Bu yöntemle keskin ara yüzeyler ve birkaç atom kalınlığında çok tabakalı yapılar üretebilmektedir. Şekil 2.8’de Metal- Organik yöntemi gösterilmektedir [16].



Şekil 2.8. Metal- Organik yöntemi [16]

Plazma destekli

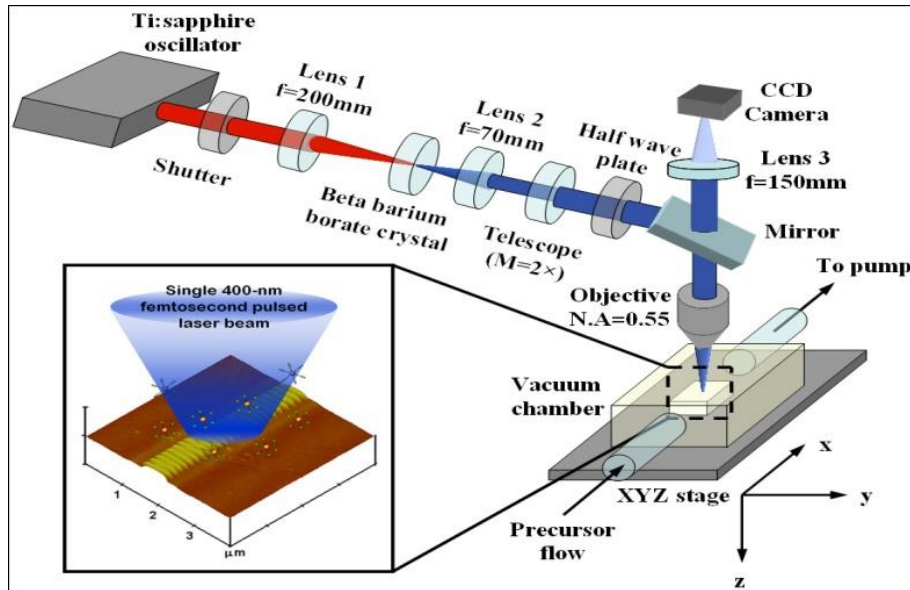
Elektromanyetik enerji ile 100 kHz frekans (düşük frekans), 13,6 MHz (radyo frekansı) ve 2.56 GHz (mikrodalga), 1-100 Pa basınç aralığında çalışmaktadır. Şekil 2.9’da plazma destekli yöntemi gösterilmektedir [16].



Şekil 2.9. Plazma destekli yöntem [16]

Lazer

Bu yöntemle ince filmlerin geniş hacimli yüzeylere kaplanması mümkündür. Tabakalar 100 Pa-1000 Pa basınç aralığında oluşturulmaktadır. Şekil 2.10' de lazer yöntemi gösterilmektedir [16].



Şekil 2.10. Lazer yöntemi [16]

CVD tekniği ile yapılan kaplamaların özellikleri

CVD kaplamalı olan kesici takımlar:

- Üretimi ekonomik, aynı anda sayıca çok parça kaplama

- Karmaşık şekiller ve iç yüzeyleri üzerinde tabakaların uygulanabilirliği (uniform)
- Yüksek film kalitesi
- Yüksek saflıkta filmler
- Yüksek yoğunluklu

Filmler üretmektedir [16].

3. TALAŞLI İMALAT

Bilinen ve günümüz teknolojisinde uygulanan tüm imalat yöntemlerini talaşlı şekillendirme ve talaşsız şekillendirme olmak üzere iki ana grup altında toplayabiliriz; bu iki grup arasındaki fark sadece işlenerek elde edilen ürünün biçim ve kalitesi değildir, teknolojik olarak talaşlı şekillendirme yöntemi döküm, kaynak ve plastik şekil verme yöntemlerinden ayrılır. Makine parçalarının imalinde çok nadir hallerde talaşsız şekillendirme ile bir parçanın son şekli istenen boyut ve şekil hassasiyeti elde edilebilir. Buna karşın, talaşlı şekillendirme ile makina parçalarında gerekli olan yüksek ölçü hassasiyeti, yüzey düzgünlüğü ve şekil tamlığı elde edilebilir [12].

Talaşlı üretim işlemi en önemli imalat yöntemlerinden biridir. Döküm, dövme, haddeme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesi için çoğunlukla talaşlı imalat işlemleri gereklidir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını (yarı mamul; döküm, dövülmüş, haddelenmiş) istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhı (torna, freze, matkap) ve kesici takım kullanılarak talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır [12].

Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi, iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesi ile gerçekleşir. Bu yöntem çoğunlukla metalleri şekillendirmek için uygulansa da diğer malzemeler (plastikler, kompozit malzemeler, kaya ve cam) de aynı yöntemle şekillendirilebilir. Aşağıdaki hususlar dikkate alındığında, talaşlı üretim işleminin en önemli imalat yöntemlerinden birisi olduğu anlaşılır [12]:

- Çok çeşitli malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir. Polimer ve polimer esaslı kompozit malzemeler de talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir.
- Talaşlı imalat işlemi ile düz ve dairesel yüzeyler gibi düzenli geometriler oluşturulabilir. Birkaç talaşlı imalat işlemi sırayla uygulanarak hemen hemen bütün karmaşık geometriler elde edilebilir.
- Talaşlı imalat işlemiyle iş parçası ölçüleri çok yakın toleranslarda elde edilebilir. Aynı zamanda çok iyi yüzey kalitesi de bu yöntemle elde edilebilir.

Talaşlı üretim işlemi dersi okuyanların bilmeleri gereken önemli terimler kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğidir. Kesme hızı, (V) kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/dk olarak ifade edilir. İlerleme hızı (f), iş parçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafe olup birimi mm/dev'dir. Kesme derinliği (a), iş parçasından kaldırılan malzemenin derinliği olup iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresinin çarpımıyla çoğunlukla metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma hızı bulunur [12].

3.1. Talaşlı İmalatın Kısa Tarihçesi

1750'li yıllardan önce mühendislik yapılarında en çok kullanılan malzemeler ahşaptır. Çoğunlukla ağaçtan yapılan tornalar ve diğer bazı takım tezgâhları ahşap parçaları şekillendirmek için kullanılmıştır. Top namlularının iç kısımlarının işlenmesi ve metal parçalardan imal edilen cıvatalar da olmuştur ancak bunlar istisnadır. Buhar türbinlerinin imalatı, talaşlı imalat işlemindeki ilk önemli gelişmeye neden olmuştur. Çünkü buhar türbinlerinin üretilmesi için çok büyük metal silindirlerin daha önceleri elde edilemeyen hassasiyetlerde imal edilmesi gerekli olmuştur [17].

İlk buhar türbinleri işlenmesi çok zor olmayan malzemelerden imal edilmiştir. Sertleştirilmiş karbon çeliği takımlar kullanılarak gri dökme demir, dövülmüş demir, pirinç ve bronz gibi malzemeler kolaylıkla işlenebilmiştir. Takım çeliklerinin ısıtılıp işlenmesi geçen zamanla birlikte ustaların tecrübeleriyle gelişmiştir ve o günün şartlarına göre oldukça iyi kesici takımlar ısıtılıp işlenmesi sonucu elde edilebilmiştir. Ancak, kesici takımların anlık olarak kırılması ve kesici ucun deformasyonundan kaçınmak için kesme işlemi yalnızca düşük kesme hızlarında yapılabilmektedir. Örneğin, büyük bir silindirin içini ve alnını tornalamak yaklaşık olarak 27 gün sürmüştür [17].

1860'lı yıllarla birlikte var olan bir malzemedeki gerekli şekillerin nasıl elde edilebileceği problemi çoğunlukla halledilmiştir. Bu dönemde iş parçası malzemelerinde fazla bir değişiklik olmamıştır. Sertleştirilmiş ve menevişlenmiş yüksek karbonlu çeliklerin işlenmesindeki problemler devam etmiştir. Takım çeliklerinin kalitesi ve homojenliği yüzyılın tecrübesiyle iyileştirilmiştir ancak karbon çeliği takımların bu dönemdeki en

gelişmiş durumlarında bile kesme hızları düşük tutulduğu için üretimdeki yavaşlık gerçek bir problem olmuştur [17].

Metal kesme işlemi teknolojisi, talaşlı imalat işlemi ile ilgisi olan bütün endüstri dallarından yapılan katkılarla artırılmıştır. Karbon takım çeliklerinin yerine yüksek hız ve sementit karbür kesici takımlar kullanılarak kesme hızları önemli derecede artırılmıştır. Bu işlemler sonucu da makine takım imalatçıları kesici takımdan en üst düzeyde yararlanılacak şekilde kesici takım tasarlamaya başlamışlardır. Bunun sonucu olarak da otomatik makinelerle ve bilgisayarlı sayısal kontrollü makinelerle işçilik maliyetleri azalmıştır. Takım tasarımcıları ve talaşlı imalat uzmanları kesici takım ömrünü ve kesme hızlarını artırmak için kesici takım geometrilerini optimize etmişlerdir. Aynı zamanda, soğutma sıvısı imal edenler de yeni soğutma sıvıları ve yağlayıcılar geliştirerek takım ömrünü ve yüzey kalitesini iyileştirmeye çalışmışlardır [17].

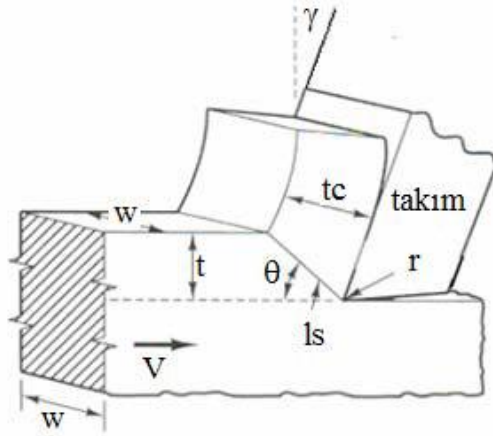
3.2. Talaş Kaldırma Mekanikliği

Talaş kaldırma işlemi, takım ile parça arasındaki izafi hareketlerin bir sonucudur. Takım ile parça arasında kesme, ilerleme ve yardımcı olmak üzere üç türlü hareket vardır. Kesme hareketi esas talaş kaldırma hareketidir. İlerleme hareketi, parçanın uzunluğu veya genişliği boyunca belirli bir kısmının işlenmesini sağlayan harekettir [12].

Yardımcı hareketler ise, takımın parçaya yaklaşma hareketi, ilerleme hareketi bittikten sonra takımın başlangıç noktasına geri getirme gibi çeşitli ayar hareketlerini kapsar. Genellikle kesme hareketi dönme veya doğrusal, ilerleme ve yardımcı hareketler ise doğrusal hareketlerdir. Bu hareketlerin parça veya takım tarafından yapılması, çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini meydana getirir [12].

Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu için talaş kaldırma mekanizmasının tanımlanmasında genellikle iki boyutlu ortogonal (dik) kesme modeli kullanılır. Bu model basit olmasının yanı sıra talaşlı imalat mekanizmasını yeterli doğrulukta tanımlar. Dik kesme işleminde, kesici takım kenarı iş parçası-takım hareket yönüne göre dik olarak hareket eder. Bu modele göre, iş parçasının kesici takımını zorlamasıyla kayma düzleminde iş parçasının kayma gerilmesi değerinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir.

Talaşlı kaldırma işleminin mekaniği ve talaş oluşumu üzerine yapılan analizlerde genellikle iş parçası olarak metaller dikkate alınmıştır [12].



- t: Deforme olmamış talaş kalınlığı
- ls: Kayma düzlemi uzunluğu
- tc: Deforme olmuş talaş kalınlığı
- θ : Kayma düzlemi açısı
- w: İş parçası genişliği
- r: Kesici takım uç radyüsü
- V: iş parçası ilerleme hızı
- γ : kesici takım talaş açısı

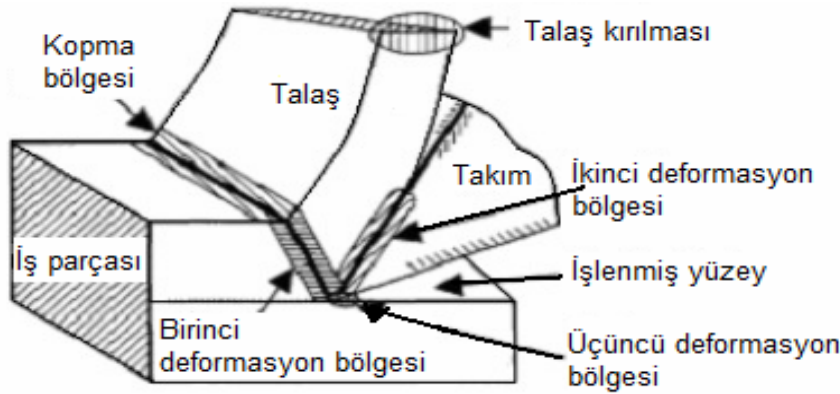
Şekil 3.1. Dik kesme modeli [18]

Talaş oluşum mekaniği, tornalama, frezeleme, delme gibi işlemlerde bazı farklılıklar gösterse de esasta aynı prensiplerden meydana gelmektedir. Aslında oluşan talaş, bir kayma işleminin sonucu olarak dar bir bölgede meydana gelmektedir. Talaş oluşumu plastik deformasyonun önemli derecede rol oynadığı bir işlemdir. Talaşlı imalat işleminde talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşir [18].

Dik kesme işlemi sırasında oluşan işleme sürecinde üç deformasyon bölgesi oluşmakta olup bunlar Şekil 3.1’de görülmektedir. Birincisi, iş parçasının kesici takım önünde hareketiyle oluşan kayma düzleminde meydana gelen deformasyon yani birinci deformasyon bölgesidir. İş parçası ve kesici takım arasındaki nispi hareket sonucu iş parçasında oluşan gerilme, iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğratarak talaş oluşumunu gerçekleştirir [12].

İkincisi, sürtünme kuvveti ve takım-talaş teması boyunca meydana gelen basınçtan kaynaklanan takım-talaş ara yüzeyindeki deformasyondan kaynaklanan, ikinci deformasyon bölgesidir. Birinci deformasyon bölgesinde oluşan talaş kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken basınca bağlı oluşan yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır. İşleme sürecinin anlaşılmasında ikinci deformasyon bölgesinin önemi büyüktür. Takım-talaş ara yüzeyindeki bu bölgenin kalınlığı kesme işleminin analizinde önemli bir faktördür. Bu bölgenin kalınlığı gerilme, gerinim ve sıcaklıktan çok fazla etkilenir. Bu nedenle ikinci deformasyon bölgesi, maksimum kayma

gerilmesi, maksimum kayma gerinim oranı ve talaştaki sıcaklığın en yüksek olduğu yer olarak varsayılmaktadır. Üçüncüsü ise, işlenen yüzey ile kesici takım yan yüzeyinin teması sonucunda oluşan sürtünmenin etkisiyle meydana gelen deformasyondur ki bu da üçüncü deformasyon bölgesi olarak adlandırılmaktadır [12].



Şekil 3.2. Plastik deformasyon bölgeleri [18]

3.2.1. Talaş çeşitleri

Talaş kaldırma işlemlerinde oluşan talaşlar çok çeşitli olmasına rağmen literatürde genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

- Kesikli talaş
- Sürekli talaş
- Sıvanmalı sürekli talaş
- Talaş sıvanması (BUE) [18].

Kesikli talaş

Sürekli talaş, gevrek malzemelerin düşük kesme hızlarında, yüksek ilerleme miktarlarında ve talaş derinliğinin fazla verildiği işlemlerde meydana gelmektedir. Sünek malzemeler işlendiğinde tezgah titreşim veya takım ortalaması mevcutsa yine kesikli talaşlar oluşur [18].



Şekil 3.3. Kesikli talaş biçimi [18]

Sürekli talaş

Sürekli talaş, genellikle sünek malzemelerin, yüksek kesme hızlarında ve düşük ilerleme miktarında işlenmesinde ortaya çıkan talaş şeklidir. Sürekli talaşla çok iyi yüzey kalitesi sağlandığından verimli kesme işlemi için ideal olmaktadır [18].



Şekil 3.4. Sürekli talaş biçimi [18]

Sıvanmalı sürekli talaş

Düşük karbonlu imalat çeliği ve birçok yüksek karbonlu alaşım çelikleri, YHÇ ile düşük kesme hızlarında ve soğutma sıvısı kullanılmadan işlendiği zaman sıvanan- sürekli bir talaş meydana gelir [18].

Kötü yüzey kalitesine ilaveten, sıvanmalı-sürekli talaş kesici takım ömrünü de azaltır. Kesici takım körlenmeğe başladığı zaman, bu iş parçası üzerinde basma veya sürtünme hareketi meydana getirir ki genelde iş yüzeyini sertleştirir [18].

Talaş sıvanması (BUE)

Yığıntı talaş (BUE - BuiltUpEdge), genellikle sünek malzemelerin orta ve düşük kesme hızlarında işlenmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Takım ile talaş arasındaki sürtünme, işlenen yüzey üzerine talaş yapışmalarına neden olur (Şekil 3.5). İş parçası malzemesinin, kesici takımın ucunda birikmesi ile geçici bir talaş yığıntısı oluşur. Bu birikme çoğaldıkça kararsız hale gelir ve kesme gerilmelerinin de tesiri ile kırılarak kesici takımın ucundan ayrılır. BUE işlenen yüzeyi kötü yönde etkileyen faktörlerden bir tanesidir ve kesici ucun geometrisini değiştirerek kaba bir bitirme yüzeyine neden olur [18].



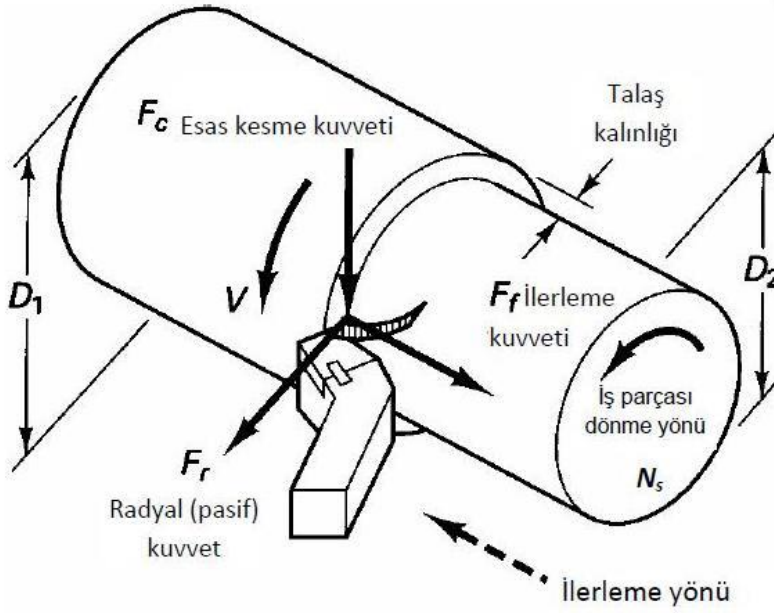
Şekil 3.5. Yığıntı talaş biçimi (BUE) [18]

3.3. Talaşlı İmalatta Kesme Kuvvetleri

Kesici takım üzerine etki eden kuvvetler talaşlı imalat işleminde dikkate alınması gereken hususlardan biridir. Talaşlı imalat işleminin bilimsel olarak incelenmesi, kesme kuvvetlerinin bilinmesini gerektirir. Kesme kuvvetlerinin kesici takım ömrü ve işlenen yüzeyin kalitesi üzerinde de önemli etkileri vardır. Kesme kuvvetleri, işlenen malzemenin cinsi, kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği) ve kesici takım geometrisine göre değişir [12].

Kesme kuvvetlerinin tahmin edilebilmesi için çeşitli hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak, talaşlı imalat işleminde kuvvetlerin ve gerilmelerin yönlerinin ve büyüklüklerinin doğru olarak bilinmemesi, malzeme özelliklerinin farklı olması ve bunun gibi çeşitli bilinmeyen etkenler nedeniyle yeterli doğrulukta kesme kuvvetlerinin hesaplama yöntemleriyle belirlenmesi mümkün değildir. Bu nedenle kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

üzerinde çalışmalar yapılmış ve 20. Yüzyılın başlarından itibaren bu alanda çalışmalara ağırlık verilerek çeşitli dinamometreler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu dinamometreler ile kesme kuvvetleri yeterli doğrulukta ölçülebilmektedir. Geliştirilen bütün dinamometrelerdeki esas, yük altında kesici takımın elastik saptmasıdır. Şekil 4.7’de tornalama esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni görülmektedir.



Şekil 3.6. Tornalama işlemi esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni [12].

Burada:

F_c : Kesme kuvveti, kesici uca dik olarak takım talaş yüzeyine etki eder. Bu genellikle üç kuvvet bileşeninin en büyüğüdür.

F_f : İlerleme kuvveti, kesici takım üzerine, iş parçası eksenine paralel etki eder.

F_r : Radyal (pasif) kuvvet, kesici takımı iş parçasından uzaklaştırmaya çalışan kuvvet olup kesici takım ekseninde etki eder. Genellikle en küçük (özel durumlar hariç) kuvvet bileşenidir [12].

Bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel toplamı ile elde edilir ve Eş. 3.1 yardımıyla hesaplanır:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_r^2 + F_f^2} \quad (3.1)$$

Talaş kaldırmada gerekli olan kuvvetlerin, haddeme, dövme gibi diğer metal işleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, oldukça küçük olduğu görülür. Bunun sebebi ise kaldırılan metal tabakasının ince olmasıdır [12].

3.4. Talaş Kaldırma Türleri ve Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler

3.4.1. Talaş kaldırma türleri

Talaş kaldırma işlemleri, takım tezgahları ile iş parçası ve kesici takım konumuna bağlı olarak şöyle sınıflandırılabilir:

- İş parçası dairesel hareket yapıyor ise tornalama işlemi, iş parçası doğrusal hareket yapıyorsa bu da vargelleme işlemi olarak adlandırılmaktadır.
- İş parçası sabit ise yine ya kesici takım dairesel hareket yapıyorsa bunlara frezeleme, delik delme ve taşlama örnek gösterilebilir. Kesici takım doğrusal hareket gerçekleştiriyorsa bu tür işlemlerde planyalama ve tığ çekme örnek gösterebilir [19].

Talaş kaldırma işlemi sırasında, kesici takımın kesme kenarı takımın hareket yönüne dik veya eğik bulunmasına göre iki türlü kesme işlemi yapılır:

- Dik kesme işlemi
- Eğik kesme işlemi [19].

3.4.2. Talaş kaldırmayı etkileyen faktörler

Talaş kaldırma işleminde, kesici takım iş parçası üzerine belirli kuvvetle bastırıldığında ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği zaman, takım ucunun temas ettiği malzeme katmanında, önce elastik daha sonra da plastik şekil değişiklikleri oluşarak malzeme tabakasında akmalar başlar. Gerilmeler malzemenin kopma sınırını geçtiği anda talaş olarak adlandırılan belirli bir yüzey tabakası, iş parçası boyunca parçadan ayrılır. Bu tabakanın parçadan ayrılış biçimi, iş parçası malzemesinin mekanik özelliklerine ve kesme şartlarına bağlı olarak değişik bir şekilde gerçekleşir. Talaş kaldırma işlemini etkileyen faktörler şöyle özetlenebilir [19]:

Kesme hızı

Kesme hızı, talaş kaldırma esnasında, kesici takımın dönen iş parçası üzerinden dakikadaki metre cinsinden aldığı yol olup, tornalama ile talaş kaldırma işleminde kesme hızı:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ (mm/dak)} \quad (3.2)$$

Olarak ifade edilir. V: kesme hızı (mm/dk), D: işlenecek iş parçası çapı (mm), n: iş parçasını işlemek için kullanılan tezgaha verilmesi gereken devir sayısını (dev/dk) göstermektedir [19].

Talaş derinliği

Kesici takımın bir geçişte parça üzerinden kaldırdığı malzeme tabakasına talaş derinliği denir. Talaş derinliğin en büyük alınması gerekir, gereğinden fazla verilen talaş derinliği kesici ucun aşınmadan kırılmasına neden olur [20].

İlerleme miktarı

Kesici takımın iş parçası eksenini boyunca doğrusal olarak bir dakikada mm cinsinden aldığı yoldur.

İlerlemeye etki eden faktörler:

- Talaş derinliği,
- Talaş kaldırma işleminin türü,
- Elde edilecek yüzeyin kalitesi,
- Kullanılan kesme sıvısı [20].

Kesme açıları

Kayma açısı, serbest açısı, kayma açısı ve talaş açıları kesici takım geometrisi oluşturan açılardır. En önemlisi kayma açısı olup, kayma açısı düzlemi ile takımın hareket yönü

arasındaki açıdır. Kayma açısı değiştiği zaman talaş kalınlığı değiştirdiği için bunun önemi büyüktür [19].

Kesme açıları ISO standardına göre talaş açısı, boşluk açısı, kesici kenar meyil açısı ve toplam kenar açısı olarak Çizelge 3.1 ve Şekil 3.7’ de göstermektedir [19].

Titreşim durumu

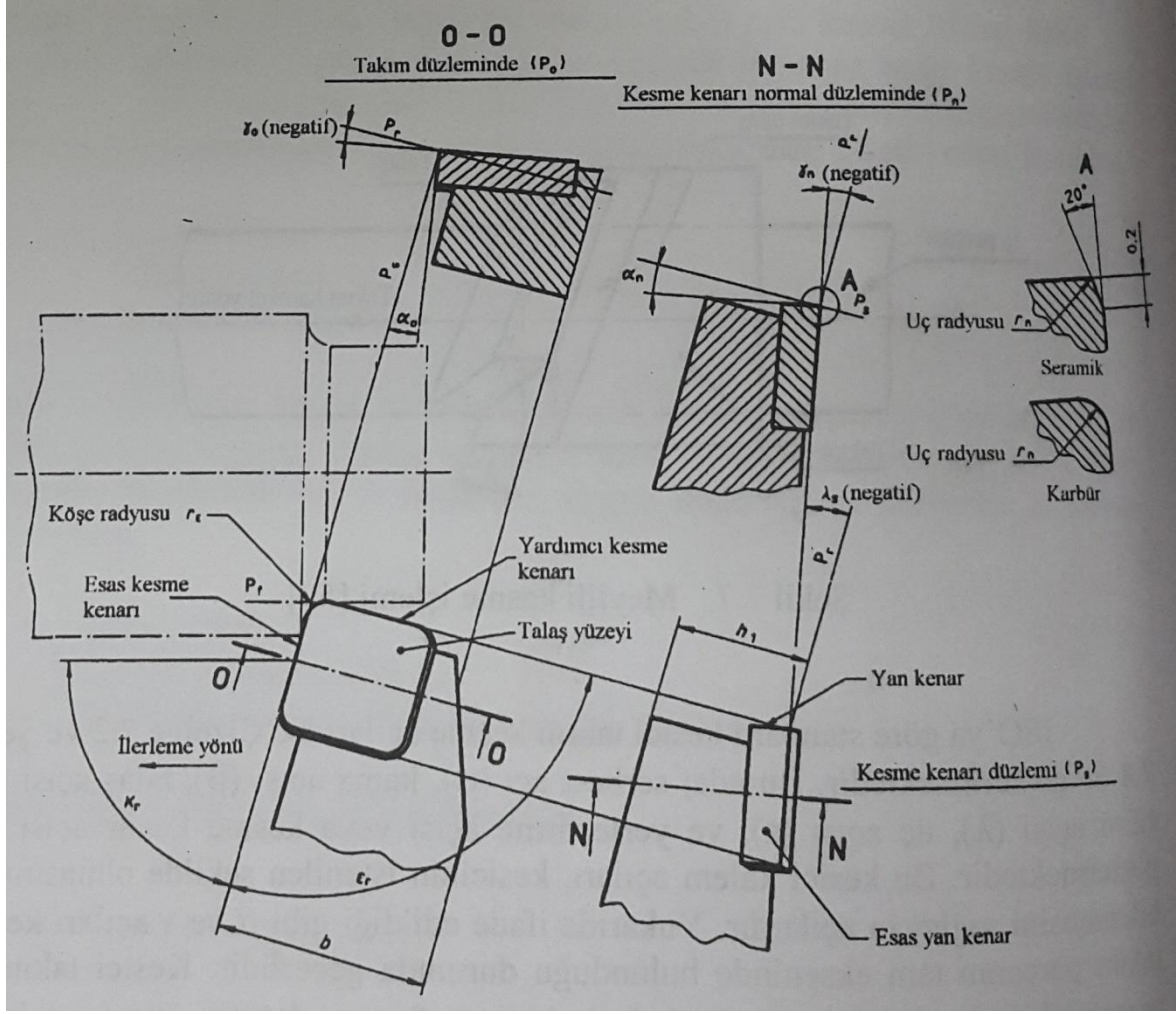
Titreşimin kesici takım ömrüne ve ilenen yüzey kalitesine, kesici takım ile iş parçasında sürekli oluşan bir rölatif titreşimin mevcut olması nedeniyle, kötü etkisi vardır. Talaş kaldırma esnasında, genellikle zorlanmış titreşim ve kendiliğinden doğan titreşim olmak üzere iki tüt titreşim ortaya çıkmaktadır. Zorlanmış titreşim, tezgahın mekanik hareketlerinden dolayı ileri gelirken kendiliğinden doğan titreşim ise talaş kaldırma olayından dolayı meydana gelen titreşimdir [19].

Soğutma sıvısı

Kesme sıvısı; metallerde talaş kaldırma işleminde, öncelikle kesici ve iş parçasını soğutmak amacıyla kullanılan çeşitli kimyevi maddelerin bir karışımı olan sıvı olarak tanımlanabilir. Talaş kaldırma işleminde, takım temas noktasında sürtünme ve talaşın deformasyonu sonucu yüksek sıcaklık oluşmaktadır. Bu sıcaklık nedeni ile kesici ısınmakta, aşınması artmakta ve buna bağlı olarak takım ömrü azalmaktadır. Kesme sıvısı, bu olumsuzlukları azaltmak için takımın soğumasını sağlamaktadır. Ayrıca işlenen iş parçasının yüzey kalitesini iyileştirir ve çıkan talaşları uzaklaşmasına yardımcı olur [21].

Çizelge 3.1. Standart takım açıları [19]

Kesici takım Cinsi	Talaş açısı (γ)	Boşluk açısı (α)	Kesici kenar meyil açısı (λ_s)	Kesme açısı (κ_f)	Toplam kenar açısı (ϵ_f)
YHÇ takımı	25	8	0	75	90
Karbürlü Takım	7	5	0	75	90
Seramik Takım	-7	7	-7	75	90



Şekil 3.7. Standart kesme açılarının gösterilmesi [19]

4. FREZELEME İŞLEMİNDE TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ

Dönen çok uçlu bir takım ile iş parçasının doğrusal hareketi sonucunda gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemi, frezeleme işlemidir. Frezeleme genellikle düzlem yüzeylerin dik köşelerin ve kanalların işlenmesi amacıyla kullanılan bir işlemdir. Frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma işlemi diğer talaş kaldırma işlemlerinden farklı olarak, kesici takımda bulunan kesici ağız sayısının birden fazla olması ve kesici takımların çeşitliliği ve ayrıca farklı kesme parametreleri bakımında oldukça karmaşık bir talaş kaldırma işlemidir [19].

4.1. Frezelemede Talaş Kaldırma Parametreleri

Frezeleme işleminde temel olarak üç farklı parametre tanımlanmaktadır:

- Kesme hızı,
- İlerleme hızı,
- Kesme derinliği.

4.1.1. Kesme hızı

Frezelemede kesme hızı, kesici üzerindeki bir noktanın dakikada kat ettiği mesafedir ve birimi m/dk'dır (Eş. 4.1). Kesicinin malzemesine, iş parçasının malzemesine, işleme metoduna (örneğin kaba veya ince işleme), tezgâh ve iş parçasının rijitliğine bağlı olarak seçilir. Kesme yönü, talaş kalınlığı ve bunlara bağlı olarak kesme kuvveti, talaş kaldırma esnasında devamlı değişir [22].

$$V = \pi \cdot D \cdot N / 1000 \quad (4.1)$$

Burada D parametresi Freze çapı, N takımın dakikadaki dönme (dev/dk) göstermektedir.

4.1.2 İlerleme hızı

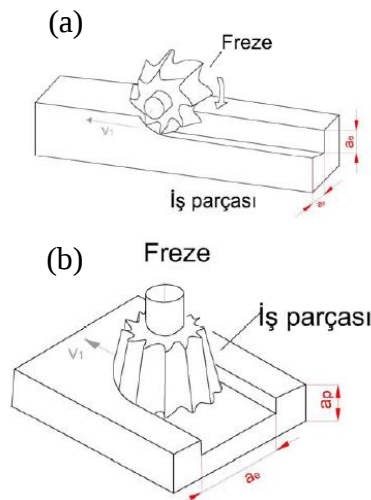
Kesme hızı ve ilerleme hızı birbirine çok yakın şekilde bağlıdır. İlerleme hızı; kesmek üzere döndürülen freze takımının altından, iş parçasının bir dakikada milimetre cinsinden aldığı yoldur. İlerleme hızı aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır [23].

$$F = f_z \cdot Z \cdot N \quad (4.2)$$

Burada; F ilerleme hızı mm/dk cinsinden, f_z ağız başına ilerleme, Z frezenin kesici diş sayısı ve N devir sayısının göstermektedir. Kesici uç başına ilerleme ise (f_z – mm / kesici uç) frezeleme işleminde önemli bir büyüklüktür. Freze çok uçlu bir takımdır ve her ucun yeterli talaşı kaldırabilmesi için uygun ilerleme değerine gereksinimi vardır. Kesici uç başına ilerleme; bir kesici kenarın parçaya girişi ile bir sonraki kesici kenarın parçaya girişi arasında geçen sürede, tablanın ilerlediği mesafe olarak tanımlanır. Bu nedenle bu büyüklük, takımındaki kesici uç sayısına (Z) ve ilerleme hızı veya devir başına ilerlemeye bağlı olarak ifade edilir [23].

4.1.3. Frezelemede kesme derinliği

Talaş derinliği, takımın iş parçası içine dikey olarak aldığı yoldur. Genellikle a_e ile gösterilir. Talaş derinliğinin uygun seçilmemesi işleme zamanını ve maliyeti etkilemektedir. Yeterli talaş derinliğinin verilmemesi durumunda, işlemi tamamlamak için birden fazla paso gerekecek ve dolayısıyla bu da daha fazla zaman kaybına neden olacaktır [22].



Şekil 4.1. Kesme derinliği (a_e). (a) yatay frezeleme (b) dikey frezeleme [22]

4.2. Frezeleme Yöntemleri

Freze tezgâhında talaş kaldırma işlemi, kullanılan kesici takımın çeşidine ve frezeleme yönüne göre adlandırılırlar. Genel olarak frezeleme işlemi ile talaş kaldırma yöntemini iki ana başlık altında incelenebilir:

Çevresel frezeleme

- a) Eş yönlü çevresel frezeleme
- b) Zıt yönlü çevresel frezeleme

Alın frezeleme

- a) Simetrik frezeleme
- b) Asimetrik frezeleme [24].

4.2.1. Çevresel frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma

Çevresel frezeleme yöntemi, freze çakıların çevresindeki kesici uçların, talaş kaldırma işlemidir. Talaşlar kıvrık, virgül biçiminde ve talaş kesiti sürekli değişmektedir. Kesici takım iş miline uzun malafalar yardımı ile bağlanır. Kesici takımın dönme eksenini ile talaş kaldırılacak yüzey paralel konumundadır. Kesici takımın dönmesiyle ve iş parçasının X, Y ve Z ekseninde belirlenen yönde ilerletilmesiyle talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmektedir [25]. Çevresel frezelemede, freze çakısının kesme yönü ve iş parçasının ilerleme yönüne bağlı iki farklı gruba ayrılmaktadır:

Eş yönlü frezeleme

Eş yönlü frezelemede, freze çakısının kesme yönü ve iş parçasının ilerleme yönü aynı yöndedir. Freze çakısının iş parçasına batması esnasında, talaş kalınlığı en yüksektir. Virgül şeklinde talaşın meydana gelmesi esnasında talaş kalınlığı ile beraber kesme kuvveti de azalır. Bu nedenle; son şekil verme frezeleme işleminde saplı freze çakıları ile iyi bir yüzey elde edilir. İş parçasını, her dişin kaldıracağı belirli miktarda talaşa üstten girerek, çok talaştan az talaşa doğru bir kesme yapar. Kesme sırasında dişler, talaşı üstten kavradığından, işi bağlı olduğu tablaya (mengene, masa, bağlama kalıbı vb.) doğru bastırmaya çalışır. İşin sökülmemesi bakımından iyidir. Normal ilerleme yapılırken, kesici

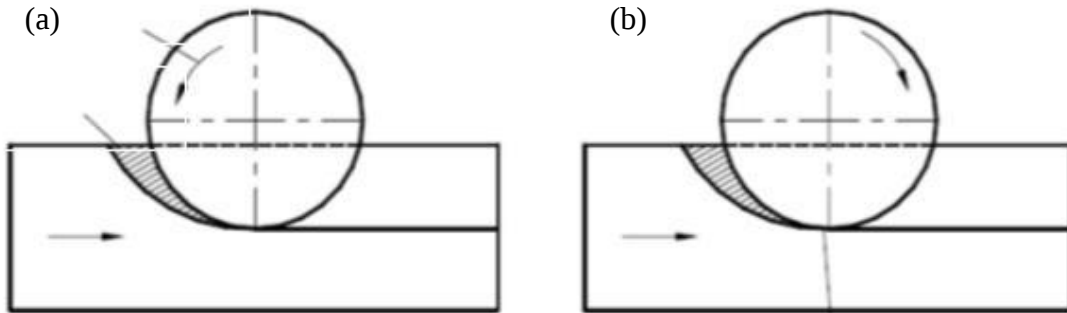
dişlerin kaldıracacağı bir devirdeki miktar bellidir. Bu miktarı dişler, işin yüzeyinde en büyük değerden, işlenmiş yüzeyde sıfır olacak biçimde kaldırır [25].

Freze çakısı, çok talaştan az talaşa giderken başlangıçta bağlı olduğu mili esnetmeye çalışırsa da, talaş azalarak bittiğinden, düzgün olarak dönen çakı, pürüzsüz bir yüzey çıkarır. Eş yönlü frezeleme işlemi, zıt yönlü frezelemeye göre daha ekonomiktir. Fakat eş yönlü frezeleme yapabilmek için, freze tezgahlarının boşluğu olmayan tabla miline sahip olması gerekir [25]. Şekil 4.2 (a) eş yönlü çevresel frezeleme yöntemini göstermektedir.

Zıt yönlü frezeleme

Zıt yönlü frezelemede, freze çakısının kesme yönü iş parçasının ilerleme yönüne karşı yönlendirilmiştir. Talaş meydana gelmeden önce kayar ve kesici ağız iş parçasının yüzeyinde kazıma yapar. Bundan dolayı; freze çakısının kesici ağızlarının serbest yüzey aşınması tipik bir aşınma şeklidir. Kesici ağızların malzemeyi kavrama yolu üzerinde talaşın kalınlığı ve kesme kuvveti büyür. Virgül şeklinde bir talaş meydana gelir [25].

Bu metotla frezeleme esnasında çakı iş parçasını boyuna itmeye ve tabladan yukarıya doğru kaldırmaya çalışır. Kesme sırasında talaş kalınlığı parçanın üst yüzeyine doğru, düzgün olarak artacağından freze çakısında bir zorlanma meydana gelir. Freze çakısındaki bu zorlanma malafa milini esnetmeye çalışır. Dolayısı ile iş parçasının yüzeyi, ilk bakışta görülmeyecek kadar dalgalı olur. İş parçasının bağlı bulunduğu aparattan yukarıyı zorlamaması için, emniyetli bir şekilde sıkılması gerekir [25]. Şekil 4.2 (b) zıt yönlü çevresel frezeleme yöntemini göstermektedir.



Şekil 4.2. Çevresel frezeleme: (a) eş yönlü frezeleme (b) Zıt yönlü frezeleme [26]

4.2.2. Alın frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma

Freze çakısının, alın ve çevresindeki kesici ağızların birlikte kesmesi ile yapılan frezeleme işlemine “alın frezeleme” denir. Elde edilen yüzeyler çakının dönme eksenine diktir. Burada kesme işleminin büyük bir kısmı, çevredeki kesici ağızlar tarafından yapılır. Alın yüzeydeki kesici ağızlar ise ince talaş işleme etkisi gösterirler. Silindirik alın freze çakıları ve takma uçlu alın freze çakıları ile düzlem yüzeyler işlenmeden önce iş mili diklik kontrolünün yapılması gerekmektedir [25].

Silindirik alın freze çakıları, yüksek hız çeliğinden (HSS) bir bütün olarak imal edildiği gibi sert maden takma uçlu kesiciler sinterleme yöntemi ile imal edilir. Sinterleme yöntemi ile imal edildikten sonra, kaplama yöntemleri ile kaplanarak daha yüksek kesme hızlarına ulaşmak mümkün olmaktadır. Sert maden kesici uçlar tutucu shaftın etrafına mekanik sıkmalı veya lehimleme yöntemi ile takılırlar. Alın freze çakıları ile düzlem yüzeylerden simetrik ve asimetrik yöntemle talaş kaldırılır [25].

Simetrik frezeleme yöntemi

Simetrik frezeleme yöntemi kesici takımın dönme eksenini ile iş parçasının ilerleme yönündeki eksenini çakıştırmak suretiyle talaş kaldırma işlemidir. Yani kesici takım talaş kaldırırken iş parçasının tam ortasında hareket ettirilmelidir. Alın frezeleme çakısı ile Şekil 4.3 (a)’da görüldüğü gibi simetrik frezeleme yapılmaktadır [25].

Asimetrik frezeleme yöntemi

Kesici takımın dönme eksenini ile iş parçasının ilerleme yönündeki eksenini çakışmıyor ise bu frezeleme yöntemine “asimetrik frezeleme yöntemi” denir. Şekil 4.3 (b)’de görüldüğü gibi alın freze çakısı ile asimetrik olarak talaş kaldırılmaktadır. Simetrik ve asimetrik olarak talaş kaldırılabilmesi için, kesici takımın çapı frezelenecek iş parçasının genişliğinden daima büyük olmalıdır [25].

5. KESİCİ TAKIM ÖMRÜ VE AŞINMA TİPLERİN İNCELENMESİ

5.1. Takım Ömrü

Takımdaki standart bir aşınma miktarı veya takımın kullanılamaz duruma gelmeden önce standart kesme şartları altında kaldırılan talaş miktarı ya da talaş kaldırma süresi, takım ömrü denir. Kesici kenarın ne zaman aşındığının belirlenmesi için doğru tanımların yapılması gerekmektedir. Kesme işleminin şekli ve takım malzemesi, kesme parametreleri dışında aşınma zamanını etkileyen temel unsurdur. Takım ömrünün tamamlaması, ucun kırılması değil ucun aşınmasıdır. Kesici takım istenilen yüzey kalitesi ve ölçü tamlığını kabul edilebilir sınırlarda tutamıyorsa, daha fazla talaş kaldırma işleminde kullanılamaz. Bu noktada takım ömrünü tamamlamış sayılır. Uygun takım ömrünün belirlenmesi için, kesici takımda meydana gelecek aşınma mekanizmaları ve tiplerinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir [27].

Takım ömrü genelde T ile gösterilir ve dakika ile ölçülür. Takım ömrü yapılacak işleme göre kabul edilen aşınma kriterine bağlıdır. Aşınma kriteri birçok faktöre bağlı olduğundan belirli bir standardı yoktur. Örneğin etkin faktörü yüzey kalitesi olarak alırsak, çok küçük aşınma değerleri bile istenilen yüzey kalitesinin elde edilmesine mani olabilir. Yüzey kalitesinin önemli olmadığı kaba talaş veya ön boşaltma işlemlerindeki etkin faktör ise enerji artması, titreşim veya takım kırılması olabilir [28].

Takım ömrü esas itibarıyla aşınma olayına bağlı olduğundan aşınmaya etki eden faktörler; takım malzemesi, iş malzemesi, takım, talaş geometrisi, kesme hızı, soğutma sıvısı gibi faktörler takım ömrünü de etkilemektedir. Ancak bunlardan en önemlisi kesme hızıdır [29].

Doğru kesme hızı genellikle, bu amaçla ortaya konulmuş kesme parametresi-takım ömrü ilişkisine dayalı modellerden yola çıkarak belirlenir. Takım ömrü tayin etmede en yaygın kullanılan modeller: - Taylor Modeli - Gilbert Modeli - Krinenberg modeli Genellikle ortaya koyan bilim adamının ismiyle anılan bu modeller daha sonraki yıllarda bazı bilim adamlarınca geliştirilmiştir. 20.yy başlarında ortaya atılan Taylor Modeli, günümüzde de

takım ömrü tayininde en fazla kullanılan modeldir ve pek çok standarda da referans teşkil etmektedir [30].

Bu modelde Taylor takım ömrünü (T), kesme hızı (V) ve ilerleme (f)'nin bir fonksiyonu olarak ifade etmiştir [e].

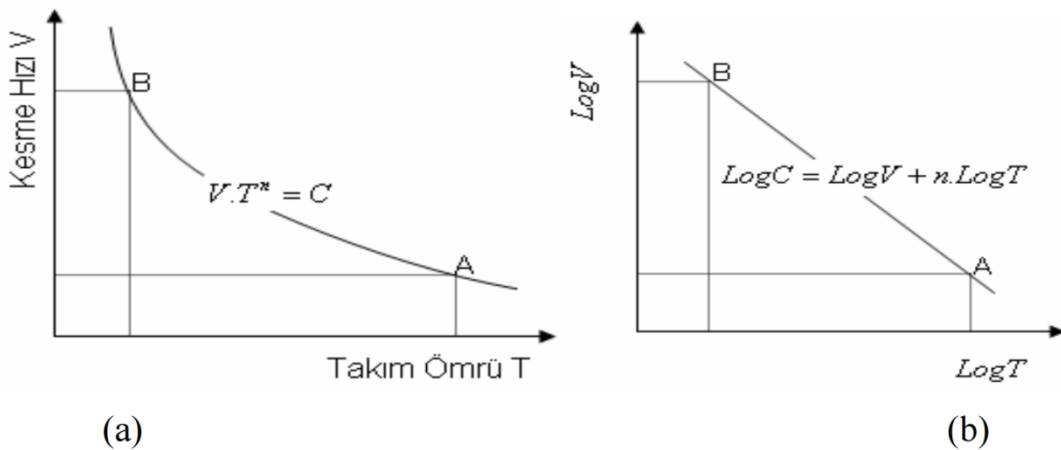
$$T = \frac{\text{sabit}}{f \cdot V} \quad (5.1)$$

Daha sonraki yıllarda bu eşitlik daha yaygın olarak bilinen aşağıdaki formunu almıştır.

$$VT^n = C \quad (5.2)$$

Burada n, öncelikle takım malzemesine bağlı, fakat aynı zamanda iş parçası malzemesinden, kesme şartlarından ve ortamdan etkilenen bir katsayı, C ise özellikle ilerlemeyi ihtiva eden tüm girdi parametrelerine bağlı bir sabittir. Aynı zamanda C takım ve parça malzemesine bağlı olan bir dakikalık ömre karşılık gelen kesme hızıdır [31].

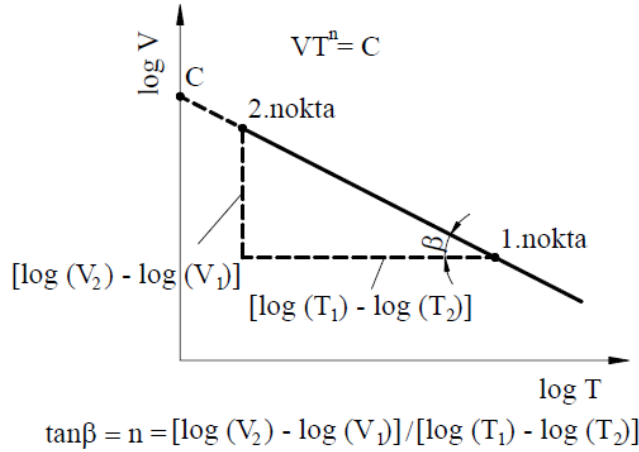
Kesme hızının artması, takım talaş ara yüzünde sürtünmenin dolayısıyla sıcaklığın artmasına neden olacaktır. Bunun sonucunda takım aşınması daha çabuk gerçekleşecek ve takım ömrü azalacaktır. Şekil 5.1'de takım ömrü kesme hızı ilişkisi gösterilmiştir [29].



Şekil 5.1. Kesme hızı takım ömrü ilişkisi, (a) Lineer ilişki, (b) Logaritmik ilişki [29].

Takım ömrü ile kesme hızı arasında ters bir ilişki söz konusudur. Artan kesme hızı takım ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Grafik logaritmik olarak ölçeklendirildiğinde, belirli bir eğime sahip düz doğru elde edilir. Bu doğrunun eğimi n katsayısına karşılık

gelmektedir. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi, bu grafikten (n) değerini hesaplamak mümkündür [29].



Şekil 5.2. Taylor takım ömrü modelinde n katsayısı hesaplama yöntemi [29]

5.2. Kesici Takım Aşınması

Talaş kaldırma işlemin esnasında değişik çalışma koşulları altında iş parçası/takım ara yüzeyinde aşırı sürtünme ve mekanik gerilmelerden dolayı yüksek sıcaklıklara meydana gelir. Talaş kaldırmada bu ısının yaklaşık %80’ i talaşla birlikte dışarıya atılırken %10 iş parçasına fakat takım ucunda kalan yaklaşık %10’luk oran ise oldukça yüksek sıcaklıklar meydana gelir [19].

Kesici takımlar talaş kaldırma işlemleri sırasında aşınır ve kesici kenar ömrü dakika olarak ifade edilir. Kesme kuvvet, kayma hızı, sıcaklık, yağlama durumu, malzeme cinsi ve sertliğinden aşınmayı etkiler. Bu etkilerin bazılarının baskın olması farklı aşınma mekanizmalarını ortaya çıkarmaktadır. Bazı durumlarda, birkaç aşınma mekanizması birlikte etkili olmaktadır [32].

5.2.1. Takım aşınmasını etkileyen faktörler

Takım aşınması, kesiciden koparılan küçük parçacıkların kaybı olduğundan, işlenen yüzey üzerinde de doğrudan kötü etkiye sahip bulunmaktadır. Bu durumda kesici takım kesme işleminden ziyade iş parçasını zorlamakta, sıvama veya iş parçası yüzeyinin sertleşmesine

yol açmakta, dolayısıyla takım körlenmektedir. Bunun belirli kriterlere bağlı olarak etkili kesme zamanını tayin etmek için belirlenmesi gerekir. Bu nedenle kritik değerlerin ne olduğunun bilinmesi ve nelere bağımlı olduğunun anlaşılması gerekir. Bunlar:

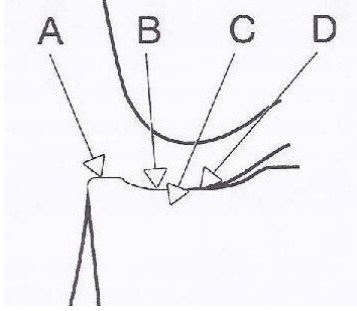
- Takım malzemesi
- İş parçası malzemesi
- Kesme hızı
- İlerleme miktarı
- Talaş derinliği
- Talaş geometrisi
- Takım geometrisi
- Soğutma sıvı vb.

Olarak özetlenebilir. Takım aşınması üzerinde en büyük etki kesme hızı ve en az etkiyi talaş derinliği sahiptir [19].

5.2.2. Talaş kaldırma sırasında oluşan aşınma mekanizmaları

Takım hasarı; aşınma, plastik deformasyon ve kırılma nedeniyle meydana gelir. Takım aşınması, takımın etkilendiği bölge veya aşınmayı meydana getiren fiziksel mekanizmaya göre sınıflandırılırlar. Aşınma mekanizması da büyük ölçüde takım malzemesine bağlıdır. Takımlar; talaş oluşumu sırasında meydana gelen yükleri karşılayamadıklarında, plastik deformasyona uğrarlar veya kırılırlar [33].

Aslında takım aşınması kesici kenar üzerine etkiyen yük faktörlerinin bir sonucudur. Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma takım, iş parçası malzemesi ve işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır. Temel aşınma faktörleri ve bu faktörlerin etki ettiği bölgeler Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Şekilde (A) mekanik, (B) ısı, (C) kimyasal, (D) abraziv aşınmaları temsil etmektedir [34].



Şekil 5.3. Tipik aşınma bölgeleri [34].

Abraziv aşınma

Genellikle iş malzemesine ait sert parçacıklar nedeniyle ortaya çıkar. Bu durum, iş parçası yüzeyi ile takım arasına giren sert parçacıkların neden olduğu taşlama işlemine benzer bir durumdur. Bu aşınma tipi kesici ucun serbest yüzeyinin aşınmasına yol açar. Sert parçacıkların sıkıştırılması ile elde edilen takım malzemesi abraziv aşınmaya dayanacaktır, ancak bu malzemenin diğer tip yüklere de dayanabilmesi için gereken önlem alınmalıdır [34].

Difüzyon aşınması

Bu aşınma tipi kesme işlemi esnasında daha çok kimyasal yükten etkilenir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ile takım-iş parçası malzemesi arasındaki afinite difüzyon aşınması mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olur. Takım malzemesi sertliğinin bu tip aşınma üzerine etkisi yoktur. Bu aşınma mekanizması önemli ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Aşınma yüksek kesme hızlarında en büyük değerine ulaşır [34].

Oksidasyon aşınması

Yüksek sıcaklıkların ve havanın varlığı birçok metal için oksidasyon demektir. Tungsten ve kobalt gözenekli oksit film tabakaları oluştururlar, ancak bu tabakalar talaş ile yüzeyden uzaklaştırılabilirler. Alüminyum oksit gibi bazı oksitler ise son derece dayanıklı ve serttir. Bu nedenle bazı takım malzemeleri için kesici kenarın aşınması söz konusudur. Oksidasyon aşınması bugün talaşlı imalat alanında pek yaygın olmayan bir aşınma tipidir [34].

Yorulma aşınması

Termo-mekanik bir kombinasyonun sonucudur. Sıcaklıktaki dalgalanmalar ve takıma etkiyen kesme kuvvetlerinin sıfır ile maksimum değerler arasında değişmesi kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına yol açar. Aralıklı kesme işlemi ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve talaş ile temasta olan kesici kenarda şok etkisine neden olur [34].

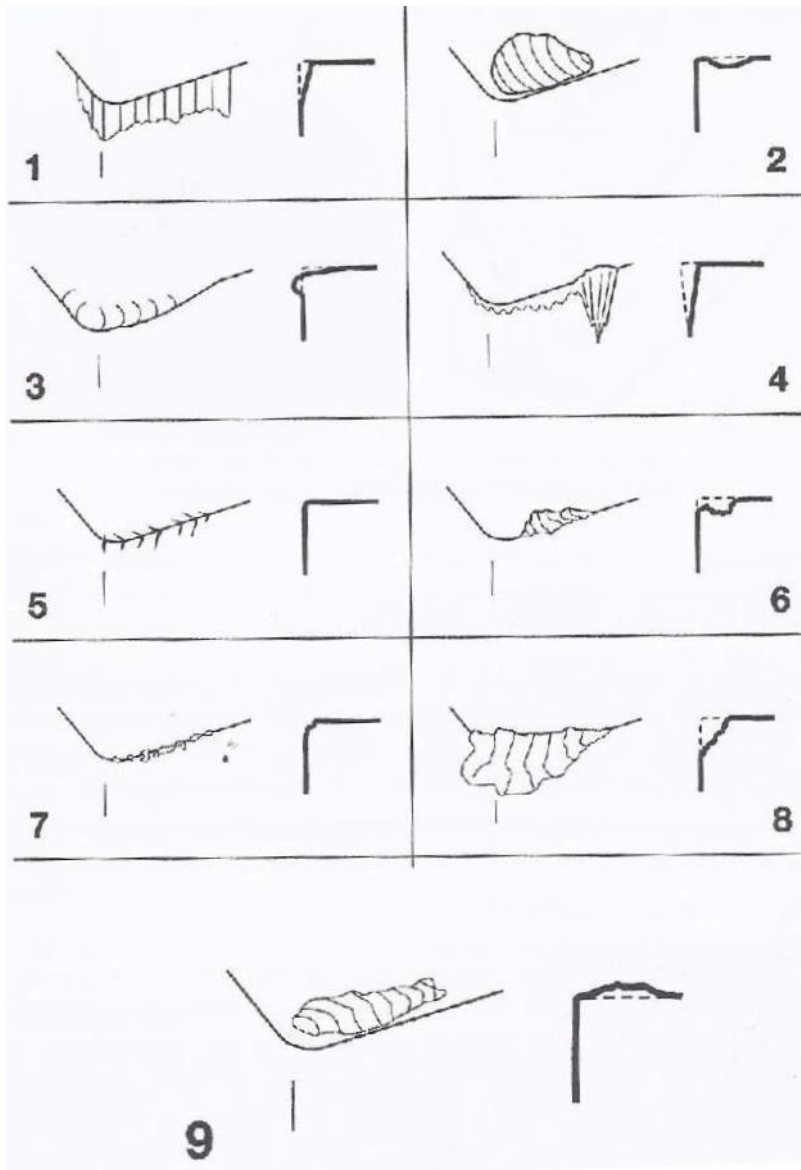
Adeziv aşınma

Düşük işleme sıcaklıklarından dolayı ortaya çıkar. Bu aşınma mekanizması genellikle kenar ile talaş arasında yığma kenar oluşumuna neden olur. Yığma kenar oluşumu talaş tabakaların sürekli olarak kesici kenar üzerine kaynak olup kenarın bir parçası haline gelmeleri işlemidir. Bu kenarın çok fazla büyümesi ve bir noktada kopması, kesici kenar üzerinden bir kısım malzemenin de yığma kenar ile uzaklaşmasına neden olur [34].

5.2.3. Aşınma tipleri

Aşınma tipleri Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Bu aşınma tipleri arasında:

- Serbest yüzey aşınması
- Krater aşınması
- Plastik deformasyon
- Çentik oluşumu
- Isıl çatlaklar
- Mekanik yorulma çatlakları
- Tanecik kopması
- Kesici ucun kırılması
- Yığma kenar oluşumu [34]
- Talaş çekiçlemesi [38].



Şekil 5.4. Aşınma tiplerin sınıflandırılması, 1) Serbest yüzey aşınması, 2) Krater aşınması, 3) Plastik deformasyon, 4) Çentik oluşumu, 5) Isıl çatlaklar, 6) Mekanik Yorulma çatlakları, 7) Tanecik kopması, 8) Kesici ucun kırılması, 9) Yığılma kenar oluşumu [34].

Serbest yüzey aşınması

Bu aşınma kesici kenarın serbest yüzeyinde meydana gelir. Abrasiv tip bir aşınma mekanizmasından kaynaklanır. Talaşın oluşumu sırasında ve sonrasında ana kesici kenar,

yardımcı kesici kenar ve köşe radyüsü veya paralel kenar iş parçası ile temastadır. Bu temas nedeniyle oluşan serbest yüzey aşınması en yaygın aşınma tiplerinden biridir [34].

Krater aşınması

Talas yüzeyinde abraziv ve difüzyon aşınma mekanizmaları nedeniyle oluşur. Krater, talaş kaldırma esnasında sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinde taslama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmeleri sonucunda veya takım ile talaş malzemesi arasında, talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle ortaya çıkar [34].

Plastik Deformasyon

Plastik deformasyon kesici kenar üzerinde yüksek sıcaklıklar ve yüksek basıncın bir kombinasyonu sonucunda oluşur. Yüksek kesme hızı, yüksek ilerleme değerleri ve sert iş parçası malzemeleri işi ve basınç demektir. Kesici kenarın bu şekilde deformasyona uğraması daha yüksek sıcaklıkların oluşumuna, geometri deformasyonuna ve talaş akışının değişimine neden olacaktır [34].

Yardımcı kenarda çentik oluşumu

Tipik bir adezyon aşınmasıdır. Çentik kesici kenar ile malzemenin ayrıldığı noktada oluşur. Aşınma kesmenin sonunda, havanın kesme bölgesiyle temas ettiği bölgede oluşması nedeni ile bölgeseldir [34].

Isı çatlaklar

Bu aşınma tipi ile genellikle ısı dağılımı nedeniyle ortaya çıkan yorulma aşınmasıdır. Özellikle frezelemede söz konusu olan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmaya neden olur. Bu aşınma sonucunda kesici kenara dik çatlaklar meydana gelir ve takım malzemesi kenarda dışa doğru zorlanır. Sonucunda ani kırılma ve ucun kullanılmaz hale gelmesi söz konusudur [34].

Mekanik yorulma çatlakları

Bu çatlaklar kesme kuvvetlerindeki ani değişimler sonucunda ortaya çıkarlar. Mekanik yükün kendi başına çatlak oluşturacak büyüklükte olmamasına rağmen mekanik yükteki sürekli değişim çatlakla neden olur. Bu çatlaklar kesici kenara paraleldir [34].

Tanecik kopması

Kesici kenarın aşınmaktan çok kırılması nedeniyle oluşur. Takıma etkiyen yükün sürekli olarak üst ve alt değerler arasında değişmesi nedeniyle bir yorulma oluşur ve bunun sonucunda takım malzemesi takım yüzeyinden kopar. Darbeli kesme işlemi en sık görülen nedenlerinden biridir [34].

Kesici kenarın kırılması

Kesici kenarın ömrünü tamamlamasına neden olan bir aşınma tipidir. Kenardaki büyük miktarlardaki kırılma mümkün olduğunca kaçınılması gereken, en tehlikeli aşınma türüdür [34].

Yığılma kenar

Sıcaklık dolayısıyla kesme hızına bağlı bir aşınma türüdür. Takım yüzeyine kaynak olan malzemeden dolayı ortaya çıkan, takım yüzeyinden parçacık kopmasına neden olan yığılma kenar istenmeyen bir durumdur. Düşük sıcaklıklar ve yüksek basınçlar iş parçası malzemesinin takım yüzeyine kaynak olmasına neden olur. Yığılma kenar oluşumuna sebebiyet veren sıcaklık ve kesme hızları bilindiğinden bu tip aşınmanın kolaylıkla önüne geçilebilir [34].

Talaş çekiçlemesi

Kesme kenarın kesme yapmayan bölümü, talaş darbeleriyle zarar görür. Kesici ucun hem üst tarafı hem de desteği zarar görür. Bu aşınma tipi talaşların kesme kenarına karşı çevrilmesinden kaynaklanan bir aşınma türüdür [38].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bir önceki çalışmada klasik tezgâhlardan gelen zıt yönlü frezeleme ile modern bir kesme şekli olan eş yönlü frezeleme arasındaki takım ömrü farkı aşınma miktarları ölçülmek suretiyle sayısal ve güvenilir değerlerle ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla bir CNC tezgâhta eş yönlü ve zıt yönlü frezeleme işlemleri değişik kesme hızı ve ilerlemelerde gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında ise bir önceki çalışmada ortaya çıkan uçlardaki aşınma tipleri incelenmektedir.

6.1. Deneylerde Kullanılan İş Parçası Malzemesi

Deneyde 40×40 mm kesitli kare profilli AISI 304 soğuk çekilmiş paslanmaz çelik çubuklar kullanılmıştır. OÇİzelge 6.1’de kullanılan malzemenin sertifikasından çeşitli teknik özellikleri verilmiştir [31].

Çizelge 6.1. AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin sertifika bilgileri [31]

% C	% Mn	% Si	% S	% P	% Cr	% Ni	% Cu	% Mo	% Co	% N ₂
0,0330	1,500	0,440	0,0230	0,0360	18,17	8,040	0,570	0,330	0,140	0,08000

%0,2 akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	% Uzama	% Alan daralması	Sertlik (HB)
632,0	734,0	41,0	71,0	212,0

6.2. Kesici Takımlar ve Takım Tutucular

Deneylerde ISCAR marka H490 F90AX D040-4-16-09 kodlu takma uçlu freze kafası, buna uygun malafa ve yine ISCAR marka H490 ANKX 120508PNTR kodlu IC830 kalite sınıflı PVD kaplamalı sert metal uçlar kullanılmıştır.

Şekil 6.1’de deneylerde kullanılan PVD kaplamalı paslanmaz çelik kesmeye uygun tasarlanmış 4 kesme kenarına sahip sert metal kesme uç görülmektedir. Her kesici kenarın numaralandırılmış olması deneylerde kolaylık sağlamıştır [31].



Şekil 6.1. Deneyde kullanılan ISCAR marka H490 ANKX 120508PNTR-IC830 PVD kaplamalı sert metal uç [31].

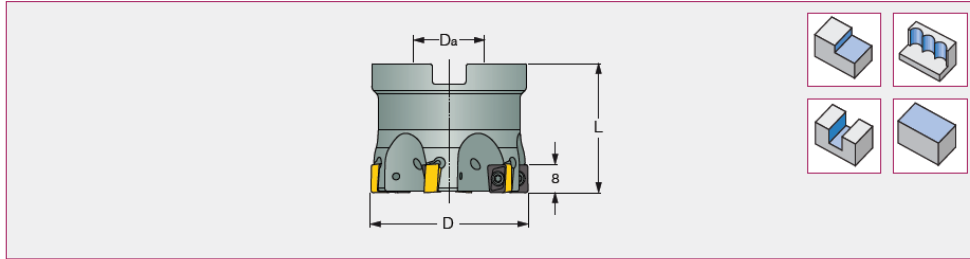
6.2.1. Freze kafası

Deneylerde kullanılan takma uçlu, 4 kanallı (ağızlı) freze kafası Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.2. Deneyde kullanılan takma uçlu freze kafası [31].

Dış çap 40 mm ve malafa çapı 16 mm olan freze kafasının özellikleri de Şekil 6.3’te gösterilmiştir [31].

H490 F90AX...-09**H490 F90AX...-09** Face Mills with Double-Sided Inserts, Diameter Range 32-63 mm

Designation	D	Z	L	D _a	Arbor Style	Inserts
H490 F90AX D032-4-16-09	32	4	35	16	A	•
H490 F90AX D032-5-16-09	32	5	35	16	A	•
H490 F90AX D040-4-16-09	40	4	40	16	A	•
H490 F90AX D040-6-16-09	40	6	40	16	A	•
H490 F90AX D050-6-22-09	50	6	40	22	A	•
H490 F90AX D050-7-22-09	50	7	40	22	A	•
H490 F90AX D063-8-22-09	63	8	40	22	A	•
H490 F90AX D063-9-22-09	63	9	40	22	A	•

Şekil 6.3. Deneyde kullanılan takma uçlu freze kafası özellikleri

6.2.2. Takım tutucu malafa

Şekil 6.4'te görülen konik saplı takım tutucu malafa deneylerde freze kafasının CNC tezgaha takılması için kullanılmıştır.



Şekil 6.4. Takım tutucu malafa [31].

6.2.3. CNC Tezgâh

Gazi Üniversitesi Müh. Fak laboratuvarlarında NC ya da CNC freze tezgâhı bulunmadığından bu hizmet piyasadan ücreti karşılığında alınmıştır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. CNC tezgâh [31].

6.2.4. SEM ve tıkmıcı mikroskobu

Deneylerde, Şekil 6.6’da görülen, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarlarında bulunan [JEOL JSM-6060 LV](#) SEM kullanılmış olup, ölçümler yapılmış fotoğraflar çekilmiştir.



Şekil.6.6. Deneylerde kullanılan SEM.

Ayrıca şekil 6.7’de görülen ve Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Toz Metalurjisi laboratuvarında bulunan optik takımcı mikroskobu ile inceleme yapıp, SEM sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.7. Optik takımcı mikroskobu

SEM’de toplam 42 adet numuneden 3 farklı fotoğraf çekilmiştir. Çekilen fotoğraflarda 20 Kv, x40, 500 μ m değerleri kullanılarak ucun tüm yüzeyi ve 20 kV, x300, 50 μ m değeri ile de ucun sağ ve sol yönündeki aşınmalar fotoğraflanmıştır. Ancak SEM’de siyah beyaz bir görüntü elde edildiğinden, bazı numunelerde aşınma türlerinin incelenmesi mümkün olmamıştır. Bu nedenle takımcı mikroskobu yardımı ile daha detaylı incelemeler yapılmıştır.

6.2.5. Deney özellikleri

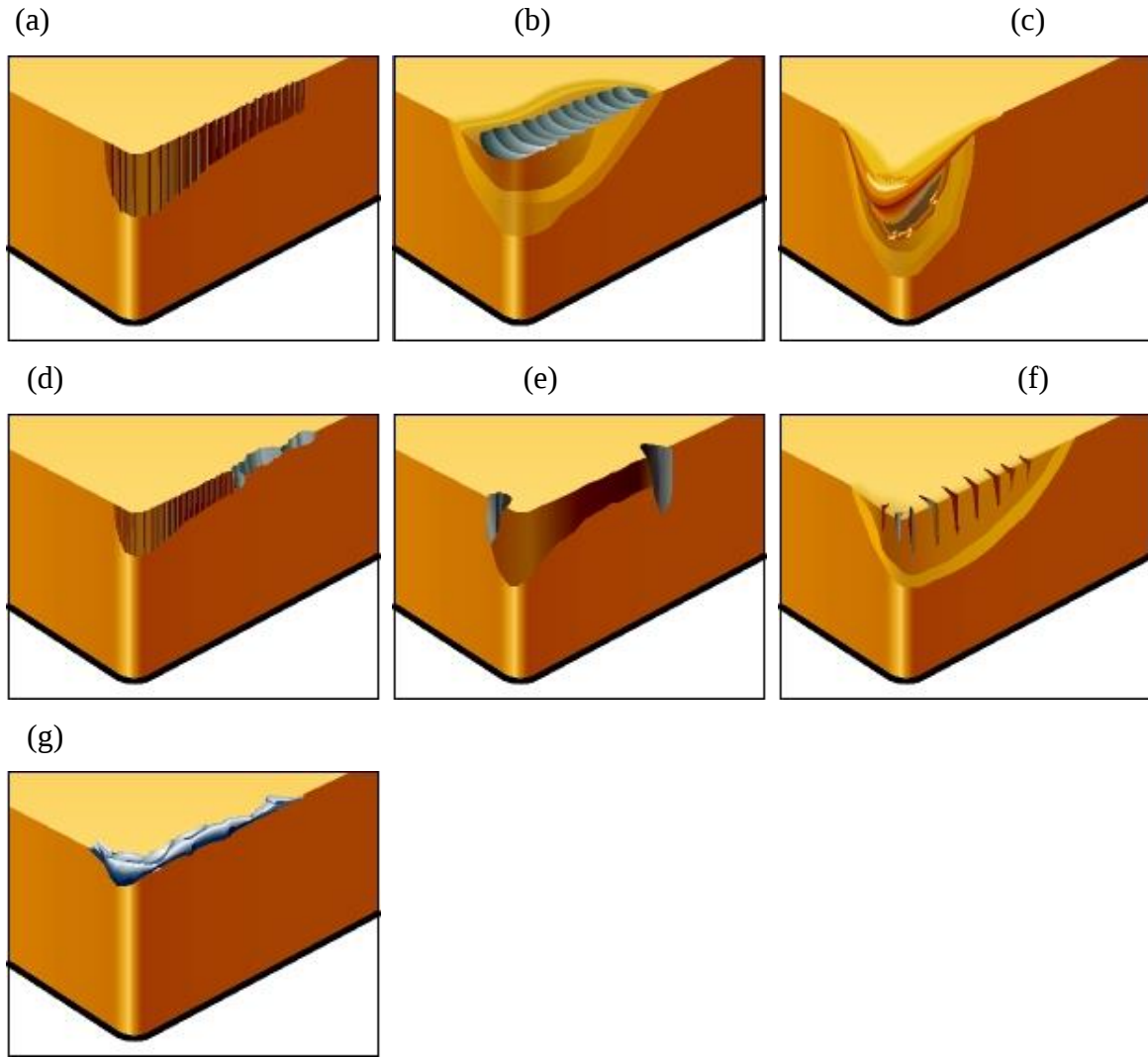
Deneyde kullanılacak olan değişkenlerden Kesme Hızı V_c , İlerleme f_z parametrelerinin değer aralığının doğru bir şekilde tespit edilmesi deneyin başarısı ve doğru sonuçların alınması açısından önemli görülmüştür. Deneylerde gereksiz tekrarlardan kaçınmak ve parametrelerin etkilerini daha net bir şekilde belirleyebilmek için deney tasarımı (design of experiment-DOE) yapılmış, böylece 3 parametre, her bir parametre için 3 değer ve her şartta 3 tekrar için toplam 81 deney yerine 42 deney yapılması ön görülmüştür. Bir önceki çalışmada yapılan bu deneylerin özellikleri 0Çizelge 6.2’de gösterilmektedir [31].

Çizelge 6.2. deneylerin özellikleri [31]

Deney sırası	Tekrar numarası	Type (Eş-Zıt-Slot)	Vc (Kesme Hızı)	fz (Diş başı ilerleme)
1	3	Eş yönlü	55	0,05
2	3	Slot	30	0,11
3	3	Slot	80	0,05
4	3	Zıt yönlü	55	0,05
5	3	Slot	30	0,05
6	3	Zıt yönlü	30	0,08
7	3	Slot	55	0,08
8	3	Eş yönlü	30	0,08
9	3	Eş yönlü	55	0,11
10	3	Zıt yönlü	80	0,08
11	3	Slot	55	0,08
12	3	Slot	80	0,11
13	3	Zıt yönlü	55	0,11
14	3	Eş yönlü	80	0,08
15	2	Slot	30	0,05
16	2	Slot	30	0,11
17	2	Eş yönlü	80	0,08
18	2	Eş yönlü	55	0,05
19	2	Slot	55	0,8
20	2	Zıt yönlü	55	0,05
21	2	Eş yönlü	55	0,11
22	2	Slot	80	0,05
23	2	Zıt yönlü	30	0,08
24	2	Zıt yönlü	55	0,11
25	2	Zıt yönlü	80	0,08
26	2	Slot	80	0,11
27	2	Eş yönlü	30	0,08
28	2	Slot	55	0,08
29	1	Slot	30	0,05
30	1	Slot	80	0,11
31	1	Slot	55	0,08
32	1	Zıt yönlü	80	0,08
33	1	Slot	80	0,05
34	1	Zıt yönlü	55	0,05
35	1	Eş yönlü	55	0,11
36	1	Zıt yönlü	55	0,11
37	1	Zıt yönlü	30	0,08
38	1	Eş yönlü	55	0,05
39	1	Slot	55	0,08
40	1	Eş yönlü	80	0,08
41	1	Eş yönlü	30	0,08
42	1	Slot	30	0,11

7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Bir önceki çalışmada yapılan frezeleme işlemlerinde ortaya çıkan aşınmış sert metal uçların üzerlerinde oluşan aşınma tipleri SEM’de incelenmiştir. Şekil 7.1 daha önce de 5. bölümde verilmiş olan aşınma tipleri görülmektedir. Mevcut olan 42 deneyin aşınma tipleri incelenmiştir.



Şekil 7.1 Takım aşınma tipleri (a) Serbest yüzey aşınması (b) Krater aşınması (c) Plastik deformasyon (d) Tanecik kopması (e) Çentik aşınması (f) Termal çatlaklar (g) Talaş yığılması (B.U.E.) [36]

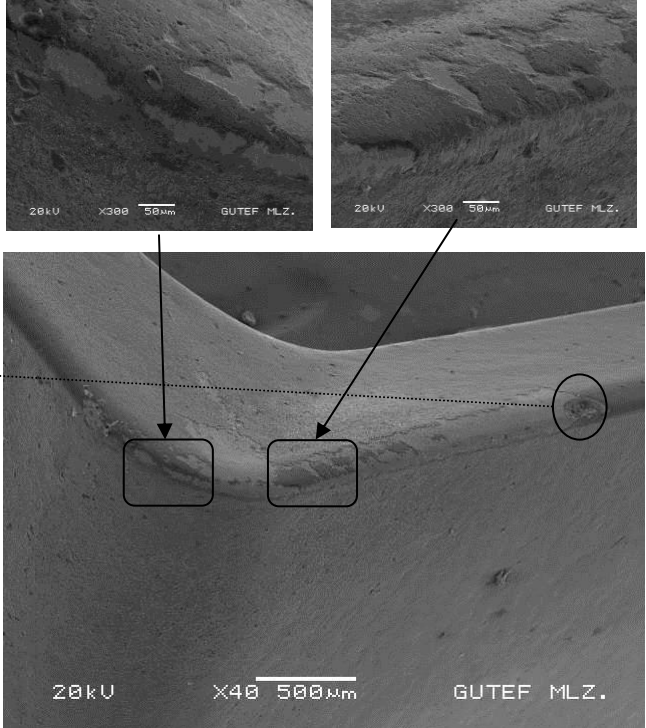
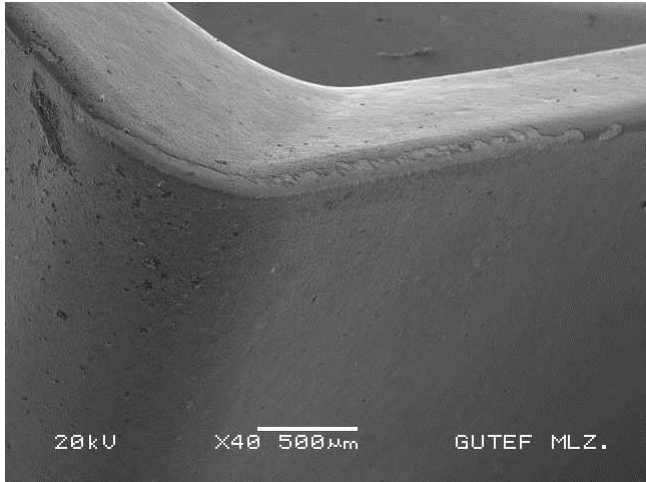
7.1. SEM’de yapılan incelemeler

Kesici uçların aşınma türlerinin incelenmesi Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarlarında bulunan SEM yardımıyla yapılmıştır. Mevcut her bir uçtan 3 veya 4 resim çekilmiştir. Resimlerden birisinde 40X, diğer resimlerde 300X büyütme kullanılmıştır. Çizelge 7.1’de toplam 42 ucun SEM resimleri ve tespit edilen aşınma türleri görülmektedir.

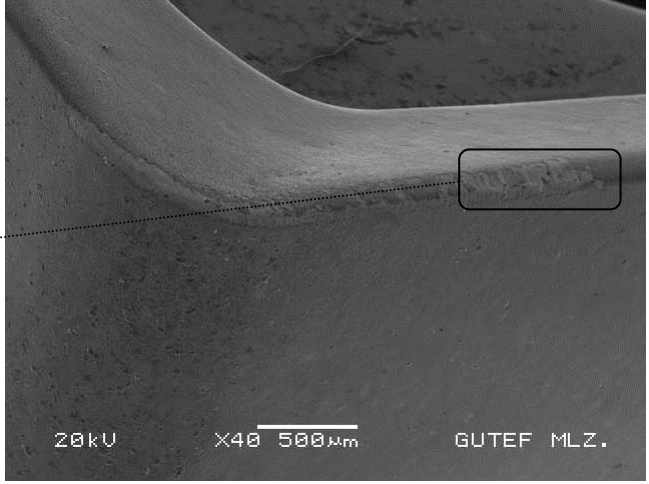
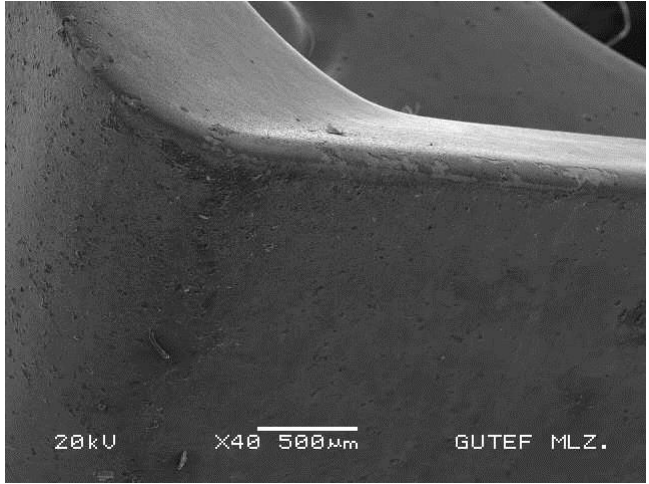
Çizelge 7.1. Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

Deney no	Aşınma türü	SEM resimleri ve optik mikroskop görüntüleri
1	• Yan yüzey aşınması • Uçta kırılma	

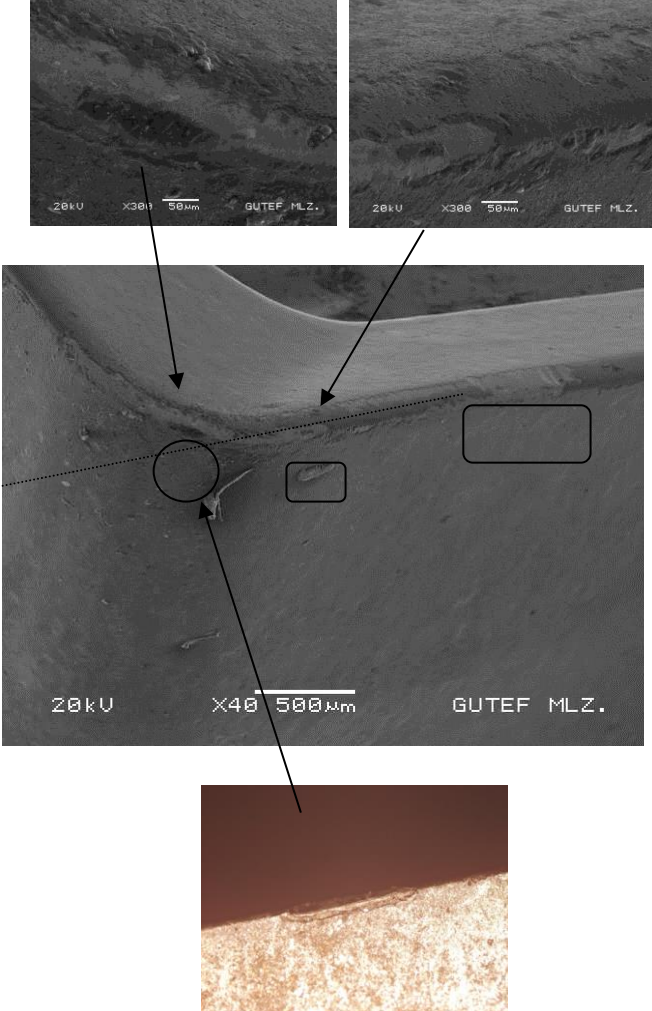
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

2	• Yan yüzey aşınması • Tanecik kopması	
3	• Yan yüzey aşınması	

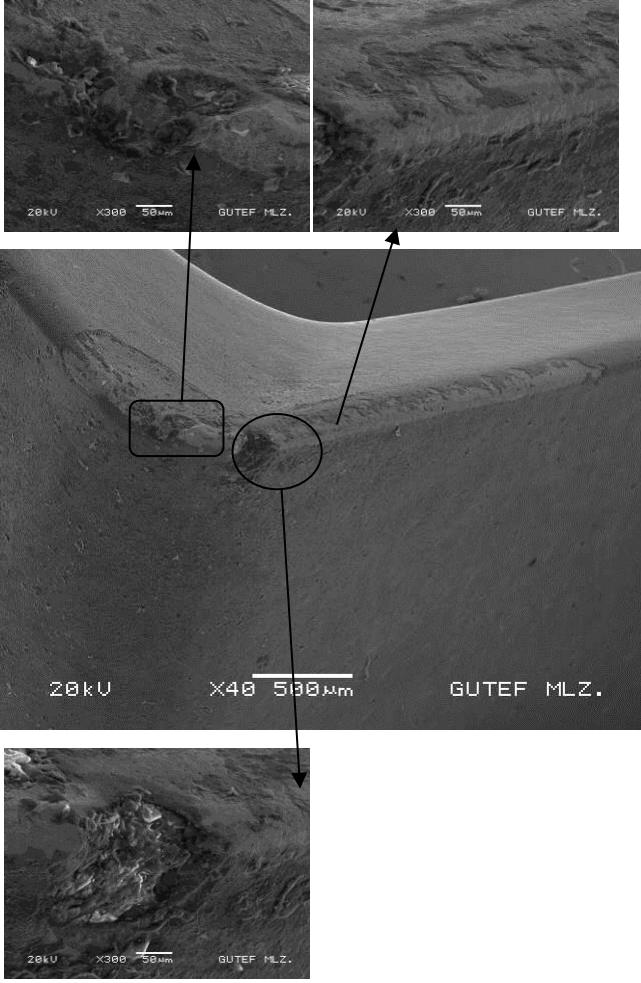
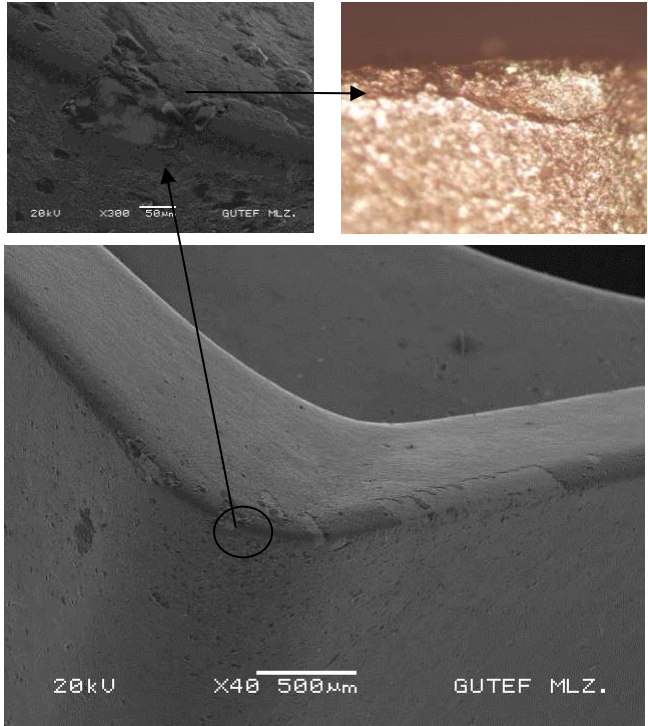
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

4	• Yan yüzey aşınması • Talaş çekiçlemesi	
5	• Yan yüzey aşınması	

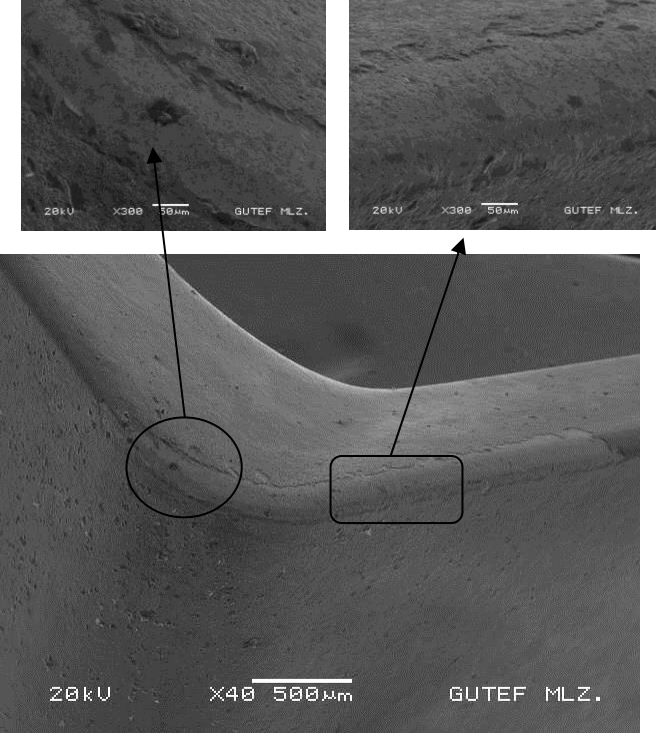
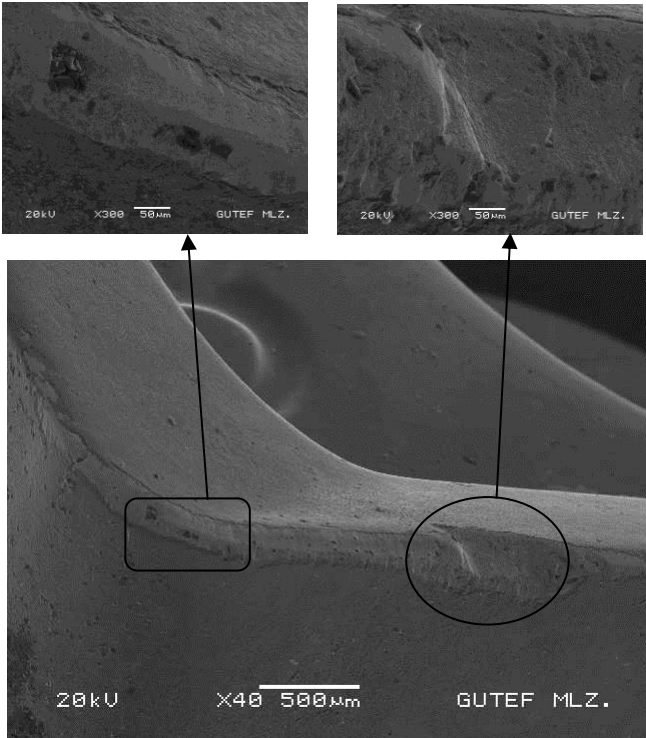
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

6	• Talaş çekiçlemesi • Uçta kırılma	 20kV X300 50µm GUTEF MLZ. 20kV X300 50µm GUTEF MLZ. 20kV X40 500µm GUTEF MLZ.
---	--	--

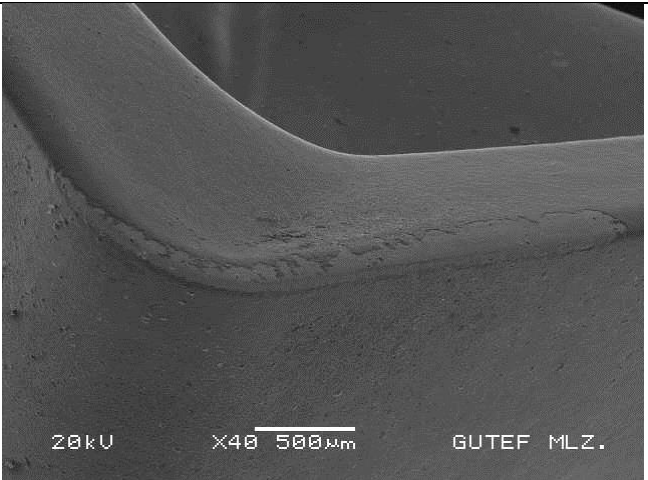
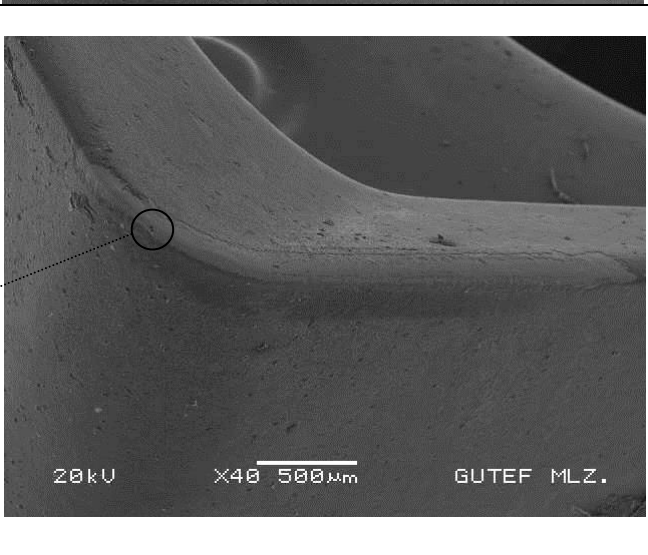
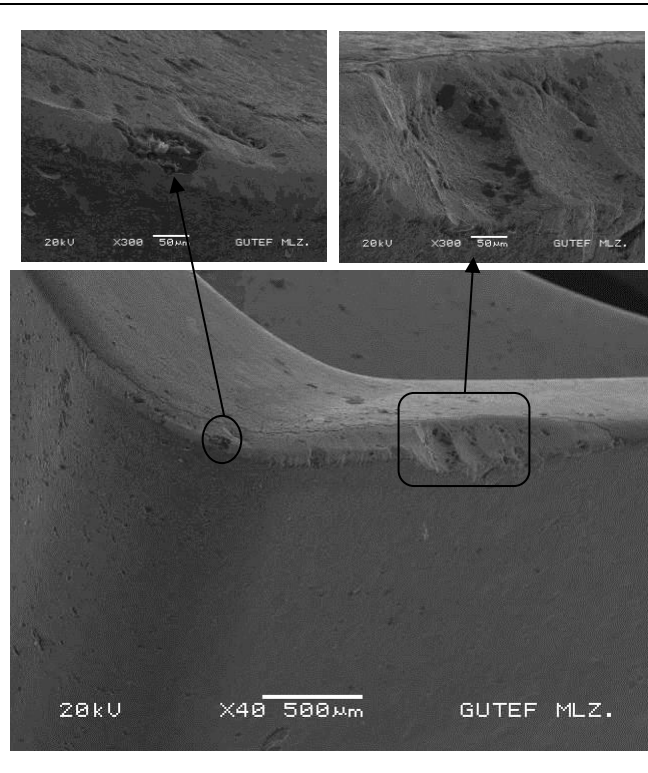
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

7	• Uçta kırılma • Yan yüzey aşınması	
8	• Yan yüzey aşınması • Kırılma	

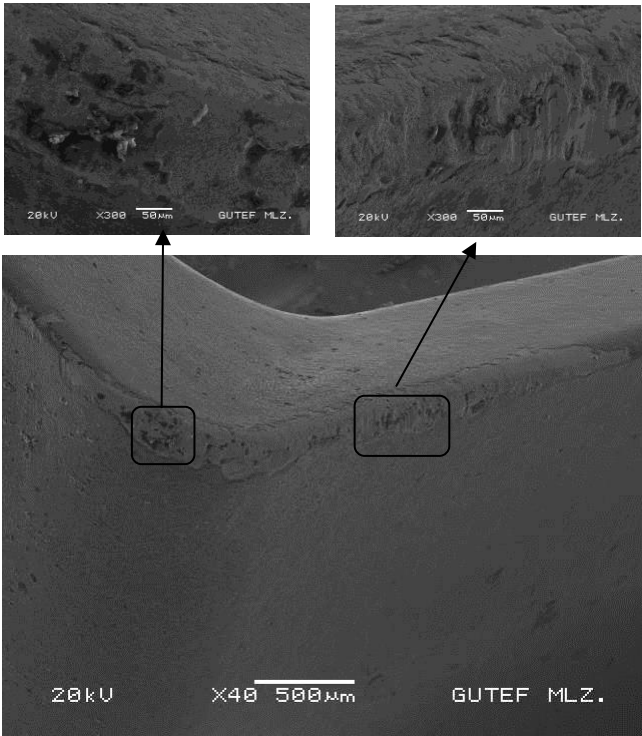
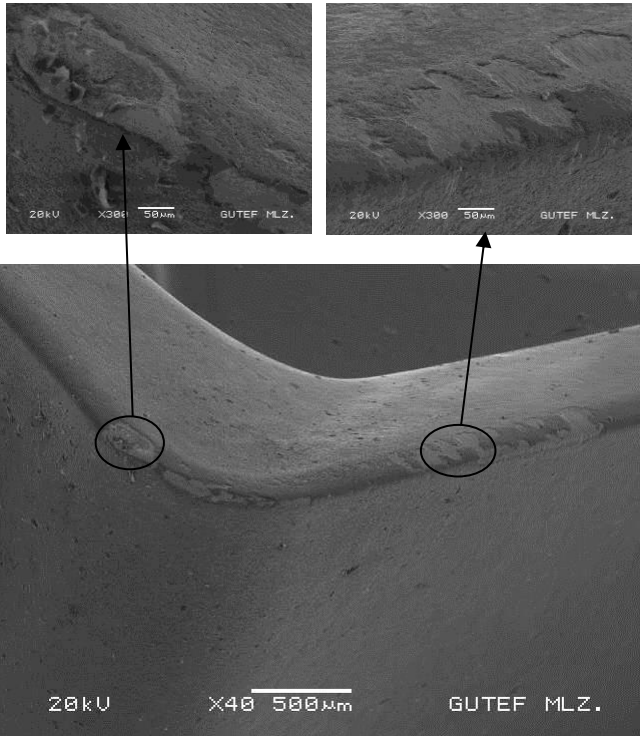
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

9	• Yan yüzey aşınması • Tanecik kopması	
10	• Yan yüzey aşınması • Tanecik kopması • Talaş çekiçlemesi	

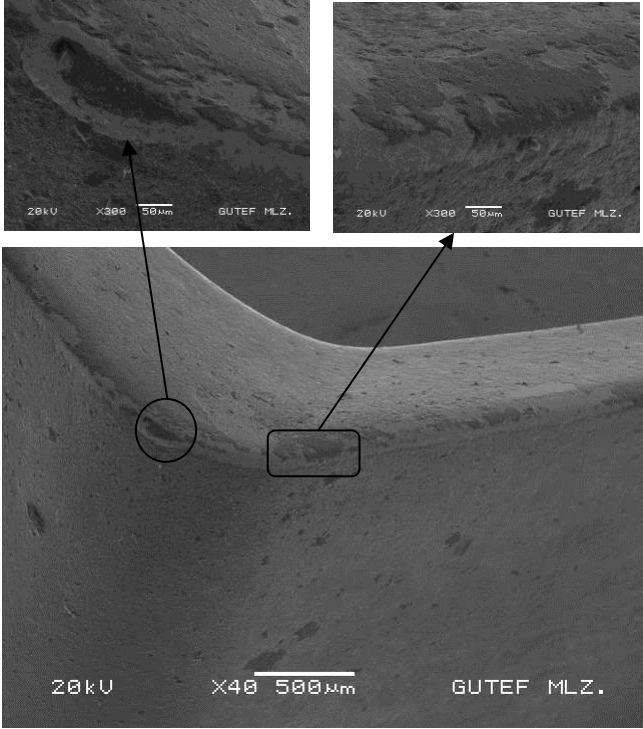
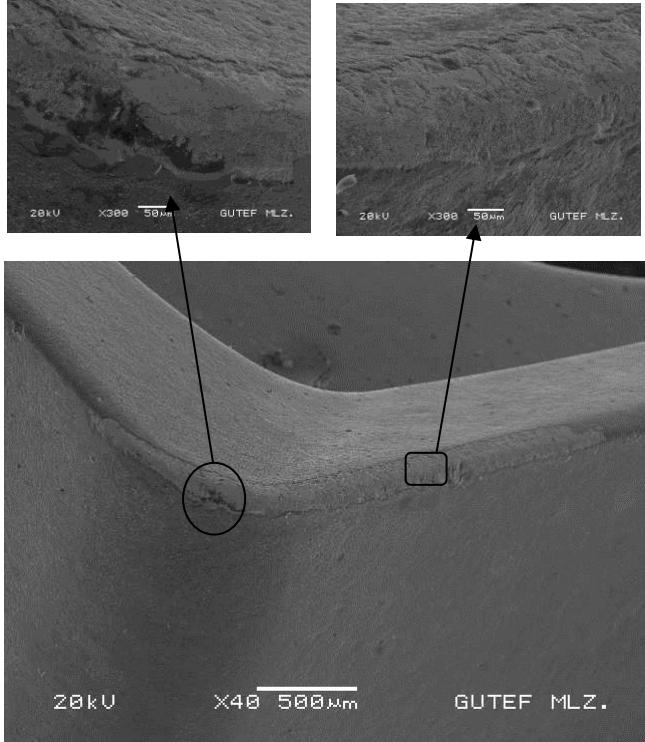
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

11	• Yan yüzey aşınması	
12	• Yan yüzey aşınması • Tanecik kopması	
13	• Yan yüzey aşınması • Talaş çekiçlemesi • Uçta kırılma	

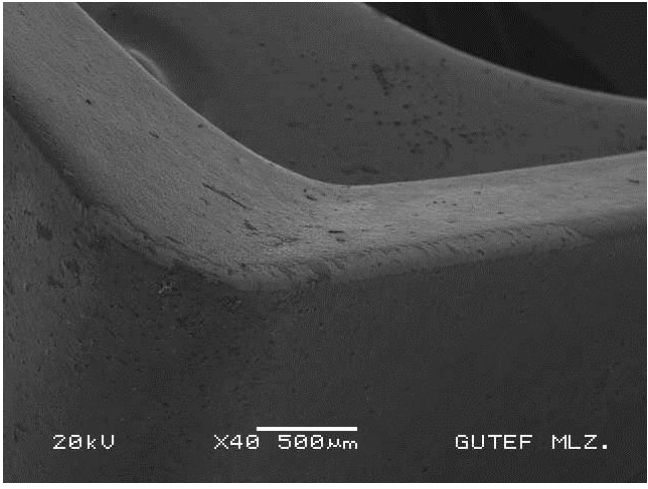
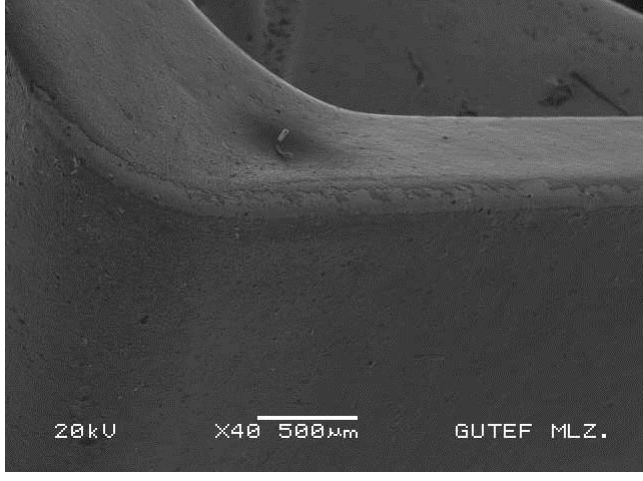
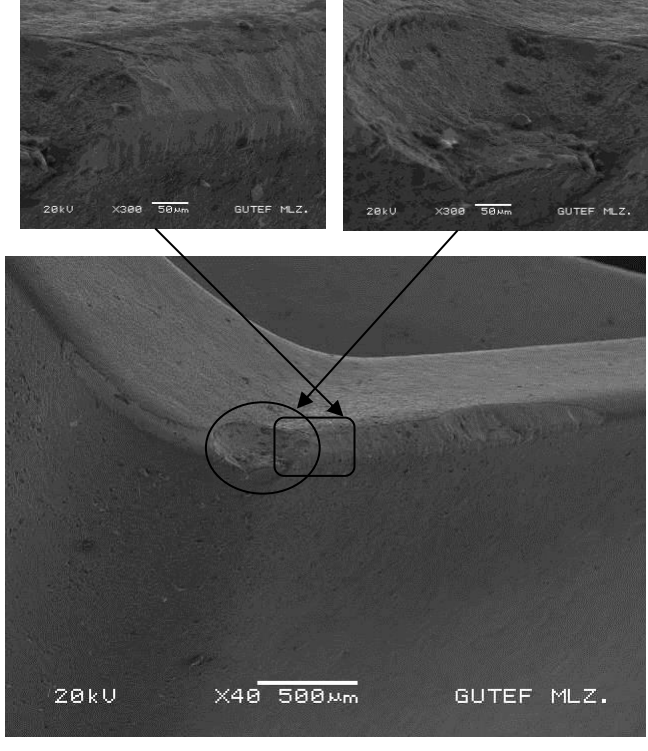
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

14	• Uçta kırılma • Tanecik kopması • Yan yüzey aşınması	
15	• Yan yüzey aşınması • Talaş çekiçlemesi • Uçta Kırılma	

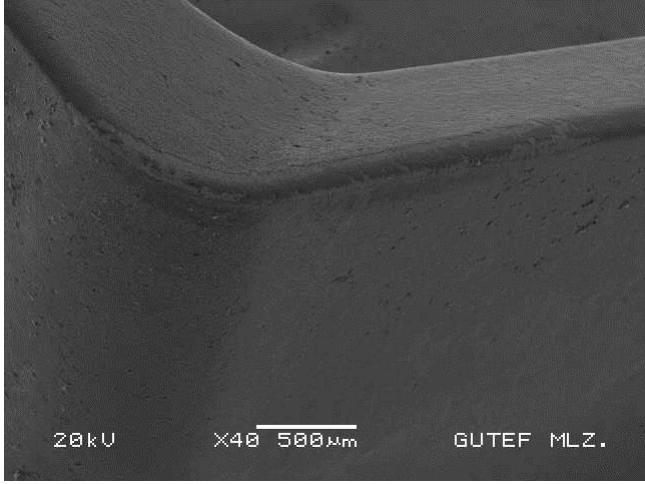
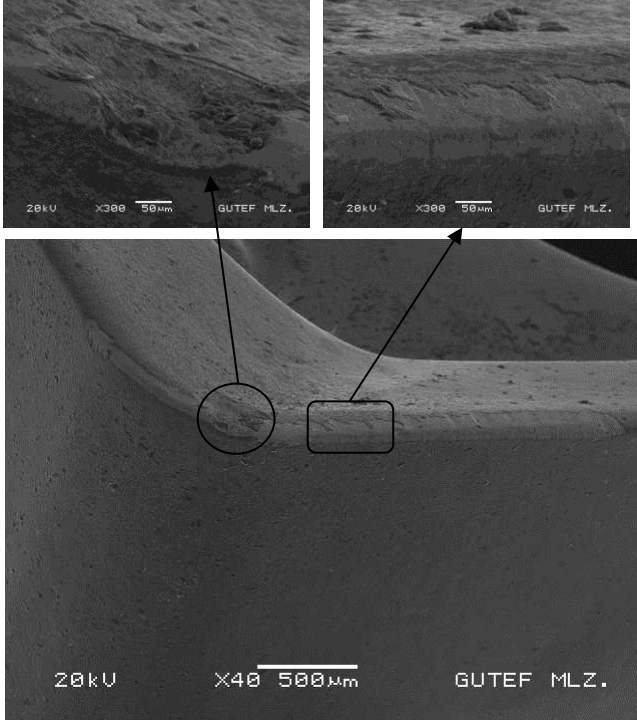
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

16	• Yan yüzey aşınması • Uçta kırılma	
17	• Uçta kırılma • Yan yüzey aşınması	

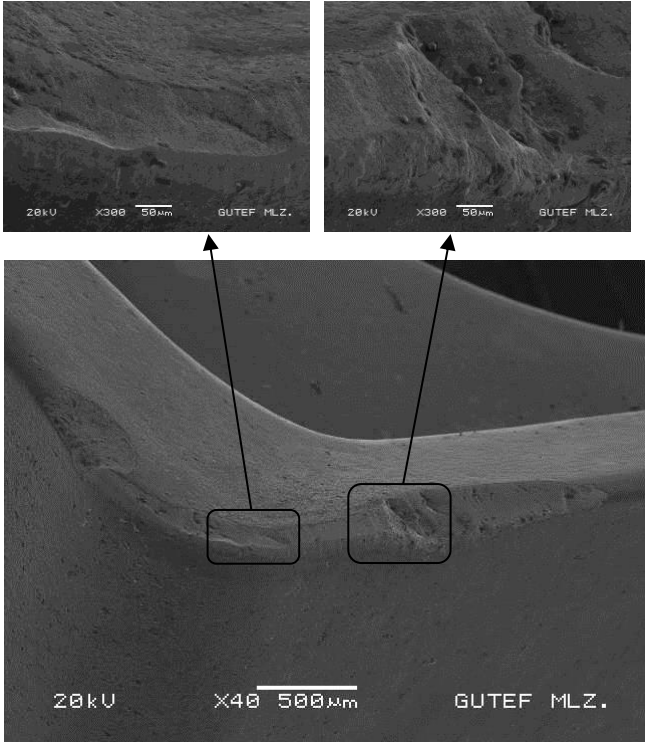
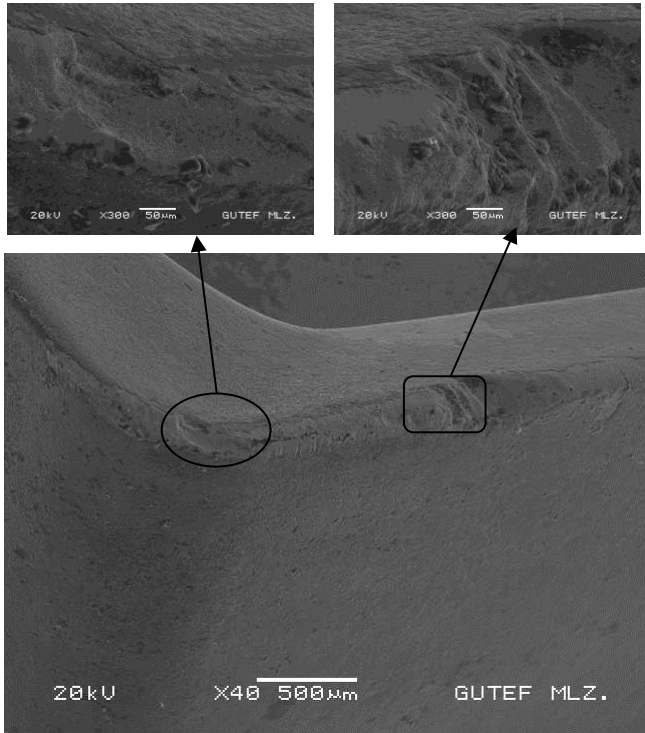
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

18	• Yan yüzey aşınması	
19	• Yan yüzey aşınması	
20	• Uçta kırılma • Talaş çekişmesi • Yan yüzey aşınması	

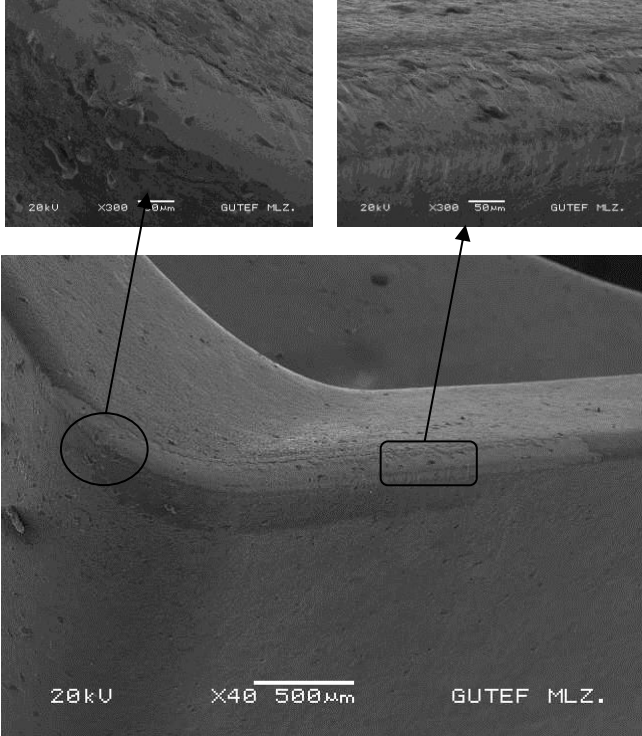
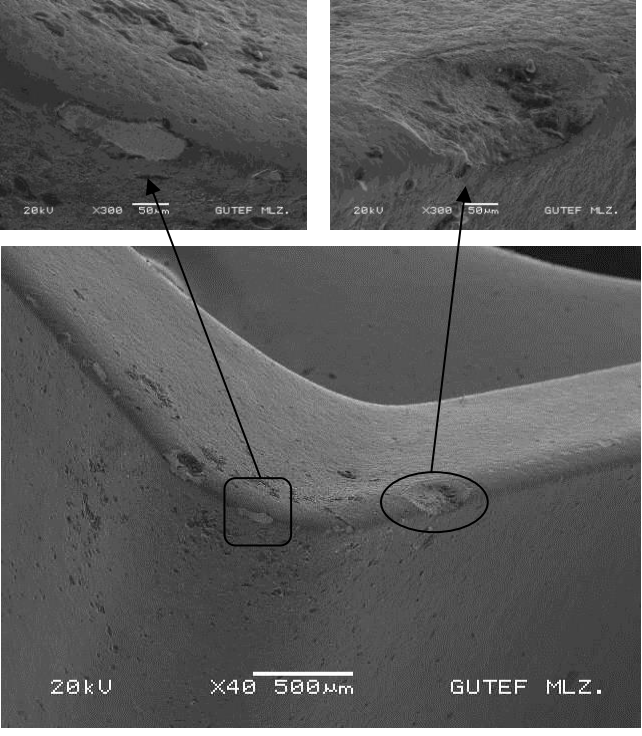
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

21	• Yan yüzey aşınması	
22	• Uçta kırılma • Talaş çekiçlemesi • Yan yüzey aşınması	

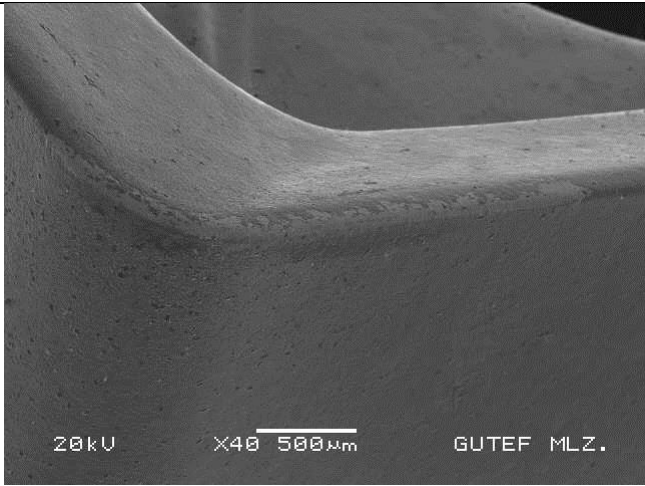
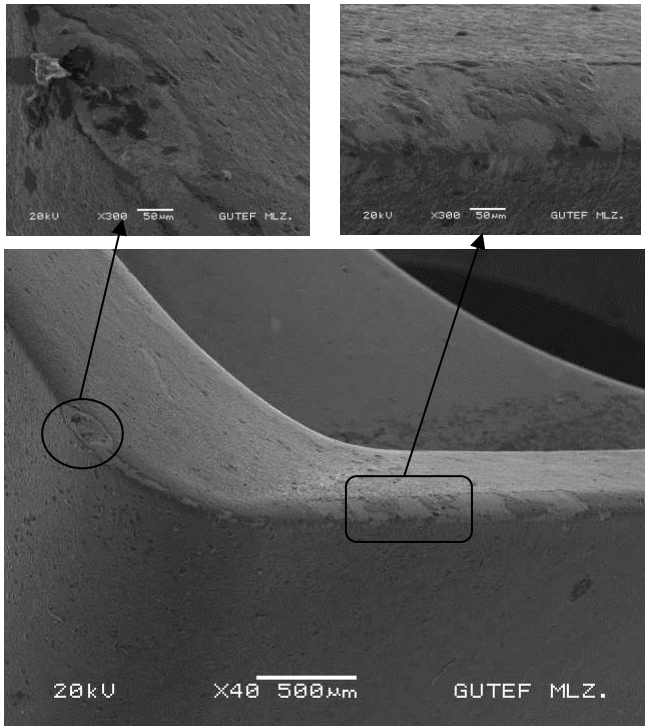
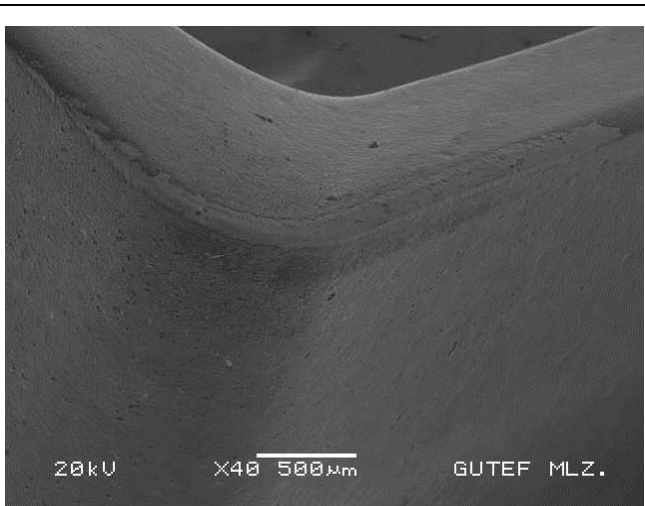
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

24	• Yan yüzey aşınması • Kırılma • Talaş çekiçlemesi	
25	• Uçta kırılma • Yan yüzey aşınması • Talaş çekiçlemesi	

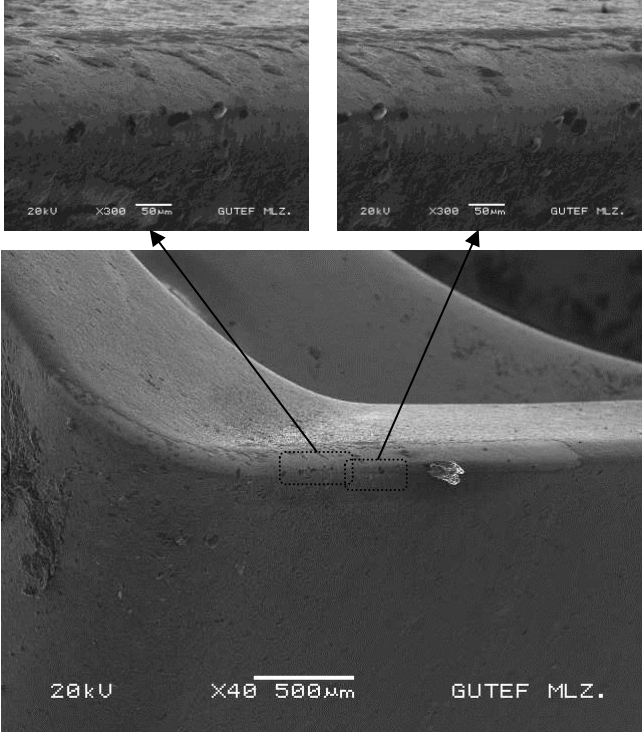
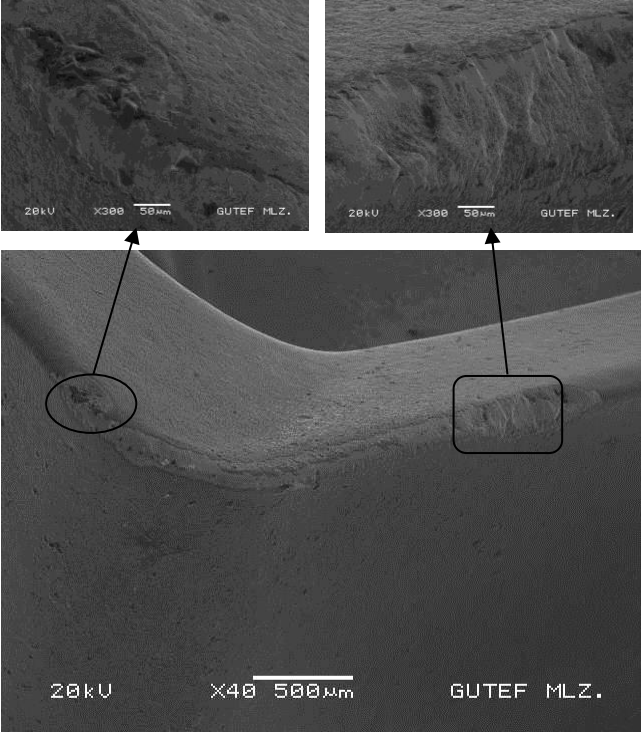
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

26	• Yan yüzey aşınması • Uçta kırılma	
27	• Kırılma	

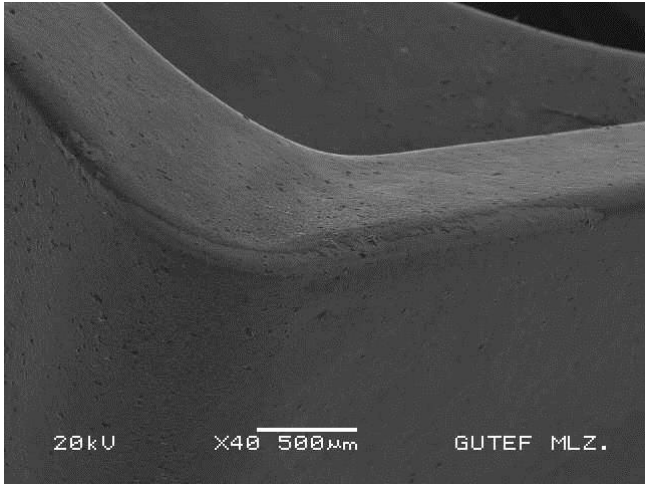
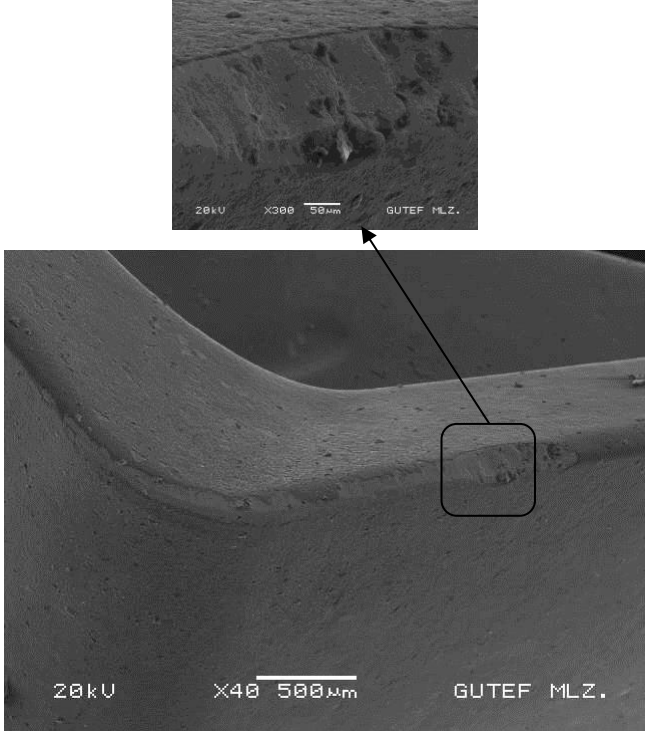
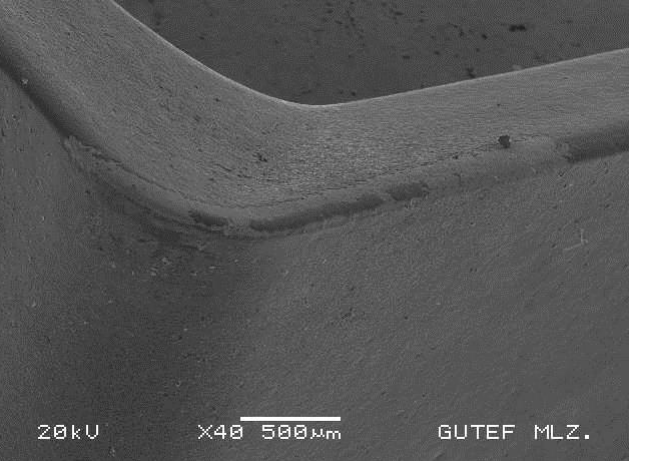
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

28	• Yan yüzey aşınması	
29	• Kırılma • Yan yüzey aşınması	
30	• Yan yüzey aşınması	

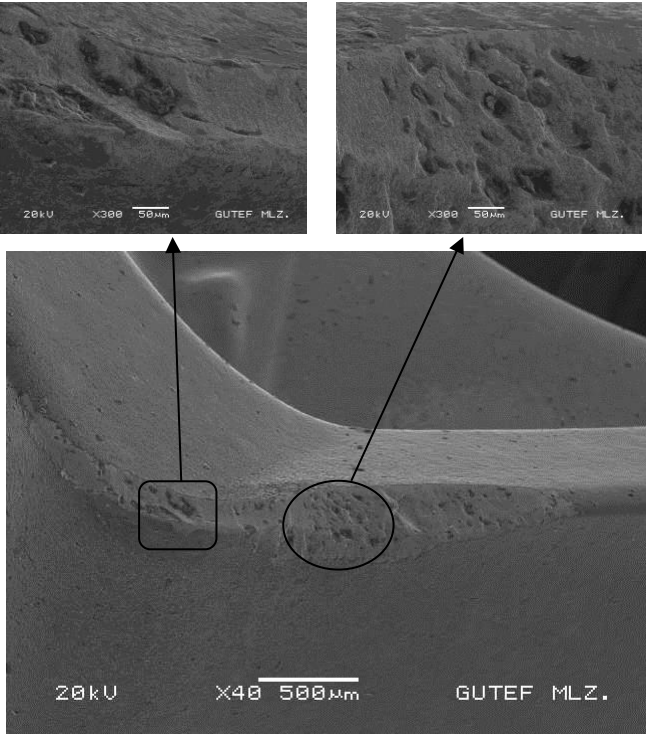
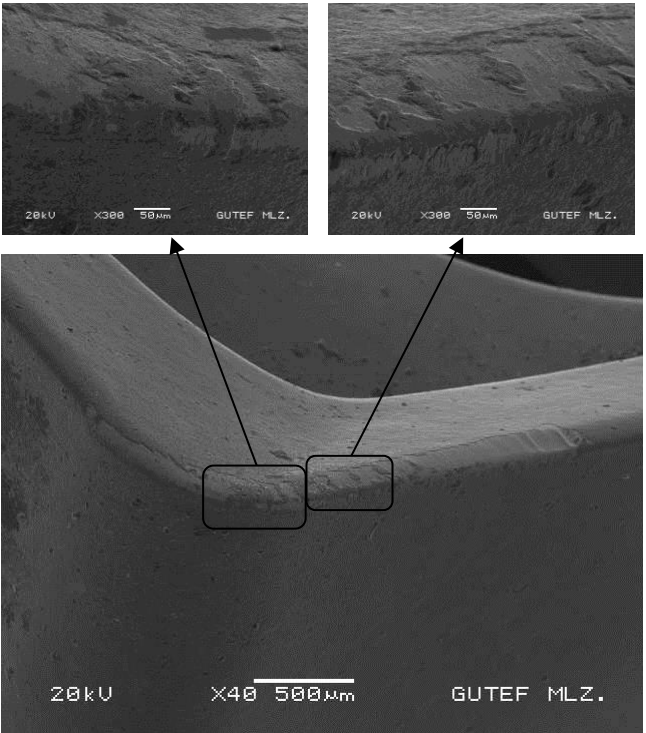
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

31	• Yan yüzey aşınması • Tanecik kopması	
32	• Yan yüzey aşınması • Kırılma • Talaş çekiçlemesi	

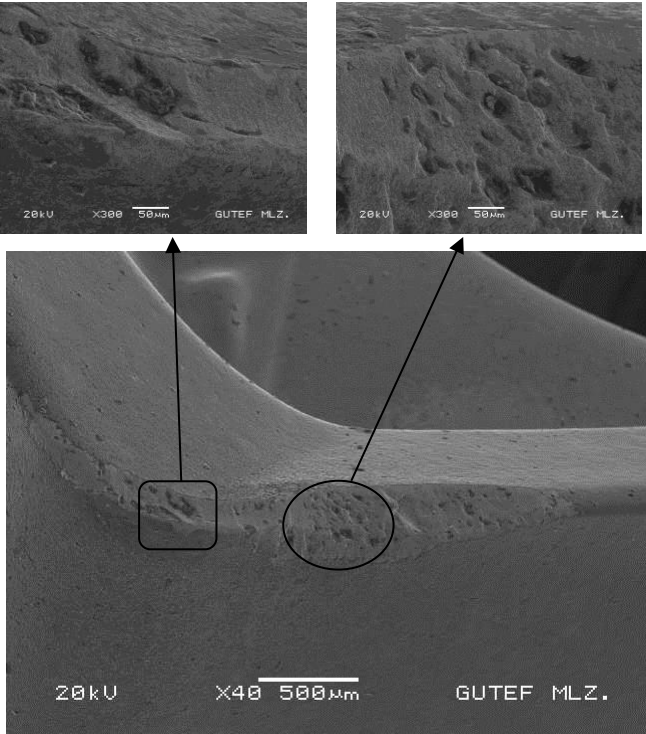
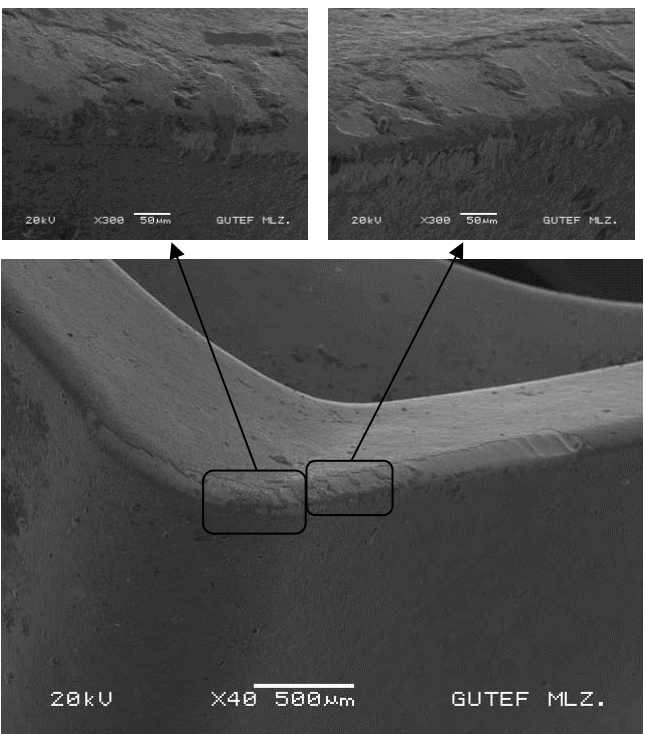
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

33	• Yan yüzey aşınması	
34	• Talaş çekiçlemesi • Yan yüzey aşınması	
35	• Yan yüzey aşınması	

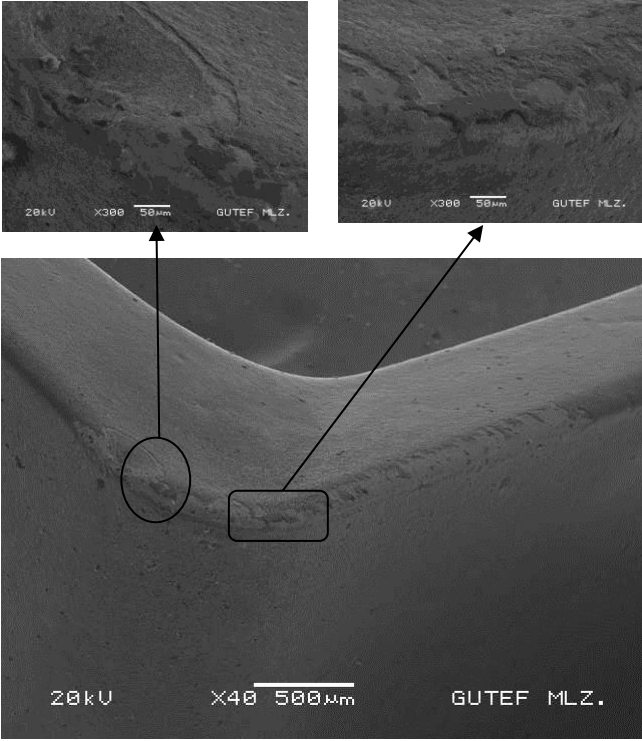
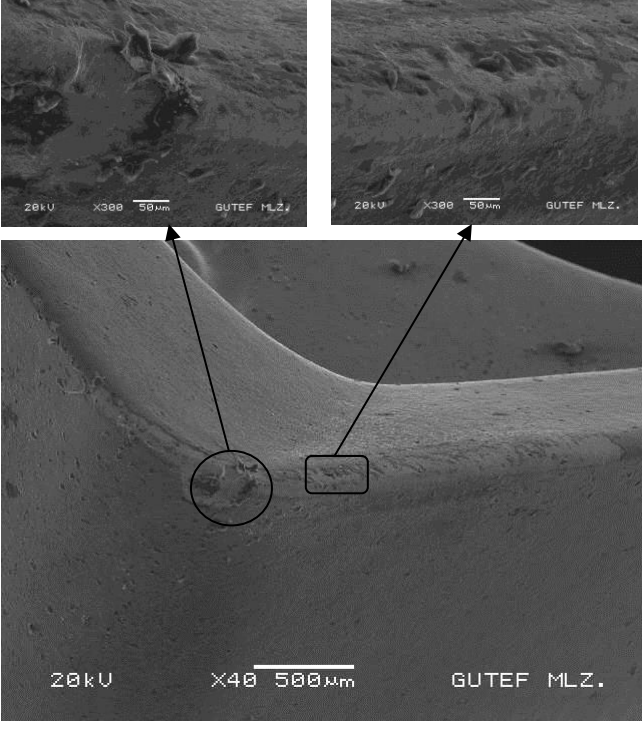
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

36	• Talaş çekişmesi • Uçta kırılma	
37	• Yan yüzey aşınması • Talaş çekişmesi	

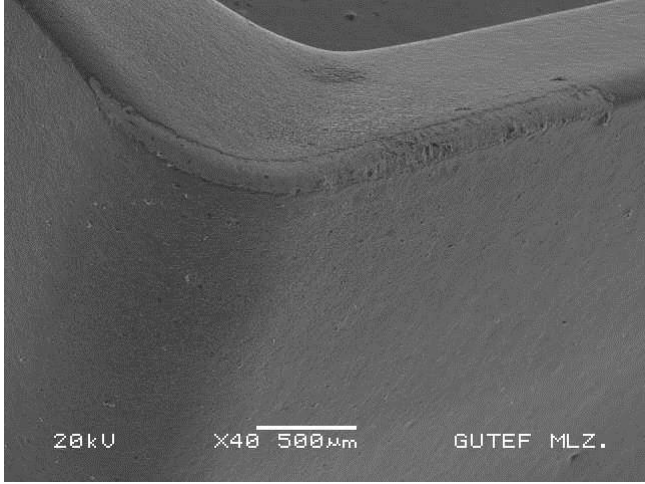
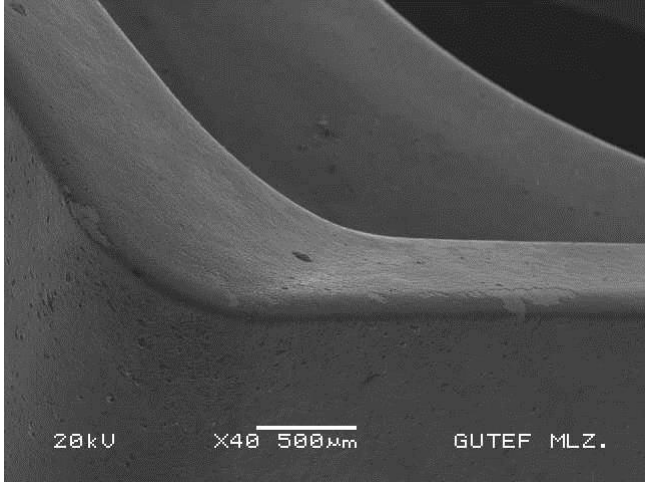
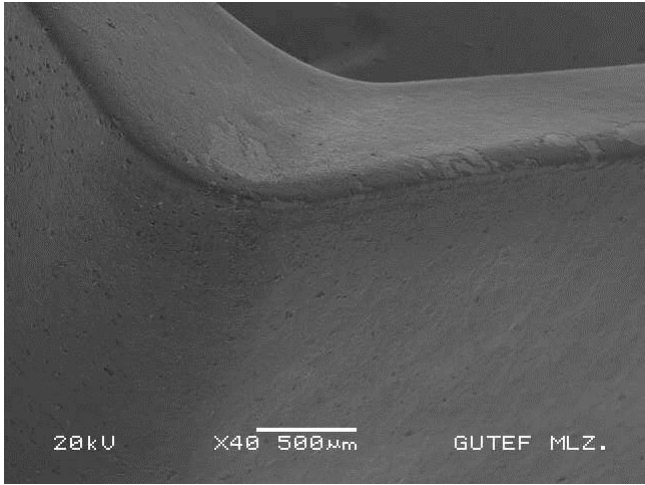
Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

36	• Talaş çekiçlemesi • Uçta kırılma	
37	• Yan yüzey aşınması • Talaş çekiçlemesi	

Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

38	• Yan yüzey aşınması • Kırılma	
39	• Uçta kırılma • Yan yüzey aşınması	

Çizelge 7.1. (devam) Uçların aşınma türlerinin incelenmesi

40	Yan yüzey aşınması	
41	Yan yüzey aşınması	
42	Yan yüzey aşınması	

7.2. Frezeleme Tipi ve Hız ve İlerleme Değerlerin Göz Önüne Alınarak Aşınma Tiplerinin İncelenmesi

Çizelge 7.1’de görülen ve fotoğraflara bakılarak yapılan aşınma tipleri gruplanarak, her bir talaş kaldırma tipi ve kesme parametresi için tablolar oluşturulmuştur. İlk aşamada kesme hızları göz önüne alınarak farklı frezeleme tipleri için tablolar oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise diş başına ilerleme miktarı dikkate alınarak farklı frezeleme tipleri için tablolar oluşturularak kesici uçlarda oluşan aşınma türleri incelenmiştir.

7.2.1. Değişken kesme hızlarına göre aşınma türlerin incelenmesi

Çizelge 7.2 slot frezeleme tipinde kesici uçların aşınma türlerin göstermektedir. Slot frezeleme tipinde kesme hızı ve diş başına ilerleme miktarından bağımsız olarak tüm deneylerde yan yüzey aşınmasına rastlanmıştır. En çok gözetlenen ikinci kesici uç kırılması olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 7.2. Slot Frezeleme Tipinde Aşınma Türleri Kesme Hızına Göre Sınıflandırılması

Uç Numarası	Aşınma Tipi	Vc	Fz
5	1	30	0,05
15	1, 8, 10	30	0,05
29	1, 8-1	30	0,05
2	1, 7	30	0,11
42	1	30	0,11
16	1, 8	30	0,11
7	1, 8	55	0,08
11	1	55	0,08
19	1	55	0,08
28	1	55	0,08
39	1, 8	55	0,08
31	1, 7	55	0,08
3	1	80	0,05
22	1, 8, 10	80	0,05
33	1	80	0,05
12	1, 7	80	0,11
30	1	80	0,11
26	1, 8	80	0,11

- 1: Yan yüzey aşınması
- 2: krater
- 3: Plastik deformasyon
- 4: çentik oluşumu
- 5: ısıl çatlaklar
- 6: mekanik yorulma çatlakları
- 7: Tanecik kopması
- 8: uç bölgesinde kırılma
- 8-1: kırılma
- 9: yığma kenar oluşumu
- 10: Talaş çekiçlemesi

Çizelge 7.3 eş yönlü frezelemede kesici uç aşınma tiplerin göstermektedir. Slot frezeme tipi gibi eş yönlü frezelemede yan yüzey aşınması en çok rastlanan aşınma türüdür. Kırılma ve kesici uç kırılması sıra ile gözetlenen aşınma türleridir. Çizelge 7.4 zıt yönlü frezelemede kesici uçlarda sıra ile talaş çekiçlemesi, yan yüzey aşınması ve uçta kırılma gözetlenmiştir.

Çizelge 7.3. Eş yönlü frezeleme tipinde aşınma türleri kesme hızına göre sınıflandırılması

Uç Numarası	Aşınma Tipi	Vc	Fz
8	1, 8-1	30	0,08
27	8-1	30	0,08
41	1	30	0,08
1	1,8	55	0,05
18	1	55	0,05
38	1, 8-1	55	0,05
9	1,7	55	0,11
21	1	55	0,11
35	1	55	0,11
14	1, 7, 8	80	0,08
17	1, 8	80	0,08
40	1	80	0,08

- 1: Yan yüzey aşınması
- 2: krater
- 3: Plastik deformasyon
- 4: çentik oluşumu
- 5: ısı çatlaklar
- 6: mekanik yorulma çatlakları
- 7: Tanecik kopması
- 8: uç bölgesinde kırılma
- 8-1: kırılma
- 9: yığılma kenar oluşumu
- 10: Talaş çekiçlemesi

Çizelge 7.4. Zıt yönlü frezeleme tipinde aşınma türleri kesme hızına göre sınıflandırılması

Uç Numarası	Aşınma Tipi	Vc	Fz
6	8, 10	30	0,08
23	1, 8, 10	30	0,08
37	1, 10	30	0,08
4	1, 10	55	0,05
20	1, 8, 10	55	0,05
34	1, 10	55	0,05
13	1, 8, 10	55	0,08
24	1, 8, 10	55	0,08
36	8, 10	55	0,08
10	1, 7, 10	80	0,08
25	1, 8, 10	80	0,08
32	1, 8-1, 10	80	0,08

- 1: Yan yüzey aşınması
- 2: krater
- 3: Plastik deformasyon
- 4: çentik oluşumu
- 5: ısı çatlaklar
- 6: mekanik yorulma çatlakları
- 7: Tanecik kopması
- 8: uç bölgesinde kırılma
- 8-1: kırılma
- 9: yığılma kenar oluşumu
- 10: Talaş çekiçlemesi

7.2.2. Değişken dış başına ilerleme miktarlarına göre aşınma türlerin incelenmesi

Bu bölümde farklı frezemle tiplerinde ilerleme miktarına göre aşınma türleri incelenmiştir. Çizelge 7.5’de görüldüğü gibi slot frezeleme tipinde, dış başına ilerleme ve kesici uç aşınma türleri arasında bir bağlantı yoktur ancak Çizelge 7.6’da görüldüğü gibi eş yönlü frezelemede dış başına ilerleme arttıkça kesici uç kırılması azalmaktadır ve kesici uç kırılması ve dış başına ilerleme miktarı ters orantılıdır.

Çizelge 7.5. Slot frezelemede aşınma türlerinin ilerleme miktarına göre sınıflandırılması

Uç Numarası	Aşınma Tipi	Vc	Fz
5	1	30	0,05
15	1, 8, 10	30	0,05
29	1, 8-1	30	0,05
3	1	80	0,05
22	1, 8, 10	80	0,05
33	1	80	0,05
7	1, 8	55	0,08
11	1	55	0,08
19	1	55	0,08
28	1	55	0,08
39	1, 8	55	0,08
31	1, 7	55	0,08
2	1, 7	30	0,11
42	1	30	0,11
16	1, 8	30	0,11
12	1, 7	80	0,11
30	1	80	0,11
26	1, 8	80	0,11

1: Yan yüzey aşınması
2: krater
3: Plastik deformasyon
4: çentik oluşumu
5: ısı çatlaklar
6: mekanik yorulma çatlakları
7: Tanecik kopması
8: uç bölgesinde kırılma
8-1: kırılma
9: yığma kenar oluşumu
10: Talaş çekiçlemesi

Çizelge 7.6. Eş yönlü frezelemede aşınma türlerinin ilerleme miktarına göre sınıflandırılması

Uç Numarası	Aşınma Tipi	Vc	Fz	
1	1, 8	55	0,05	1: Yan yüzey aşınması
18	1	55	0,05	2: krater
38	1, 8-1	55	0,05	3: Plastik deformasyon
8	1, 8-1	30	0,08	4: çentik oluşumu
27	8-1	30	0,08	5: ısıl çatlaklar
41	1	30	0,08	6: mekanik yorulma çatlakları
14	1, 7, 8	80	0,08	7: Tanecik kopması
17	1, 8	80	0,08	8: uç bölgesinde kırılma
40	1	80	0,08	8-1: kırılma
9	1-7	55	0,11	9: yığma kenar oluşumu
21	1	55	0,11	10: Talaş çekiçlemesi
35	1	55	0,11	

Çizelge 7.7’de görüldüğü gibi zıt yönlü frezelemede diş başına ilerleme miktarı kesici uç kırılması ile bir bağlantısı yoktur.

Çizelge 7.7. Zıt yönlü frezelemede aşınma türlerinin ilerleme miktarına göre sınıflandırılması

Uç Numarası	Aşınma Tipi	Vc	Fz	
4	1, 10	55	0,05	1: Yan yüzey aşınması
20	1, 8, 10	55	0,05	2: krater
34	1, 10	55	0,05	3: Plastik deformasyon
6	8, 10	30	0,08	4: çentik oluşumu
23	1, 8, 10	30	0,08	5: ısıl çatlaklar
37	1, 10	30	0,08	6: mekanik yorulma çatlakları
13	1, 8, 10	55	0,08	7: Tanecik kopması
24	1, 8, 10	55	0,08	8: uç bölgesinde kırılma
36	8, 10	55	0,08	8-1: kırılma
10	1, 7, 10	80	0,08	9: yığma kenar oluşumu
25	1, 8, 10	80	0,08	10: Talaş çekiçlemesi
32	1,8-1, 10	80	0,08	

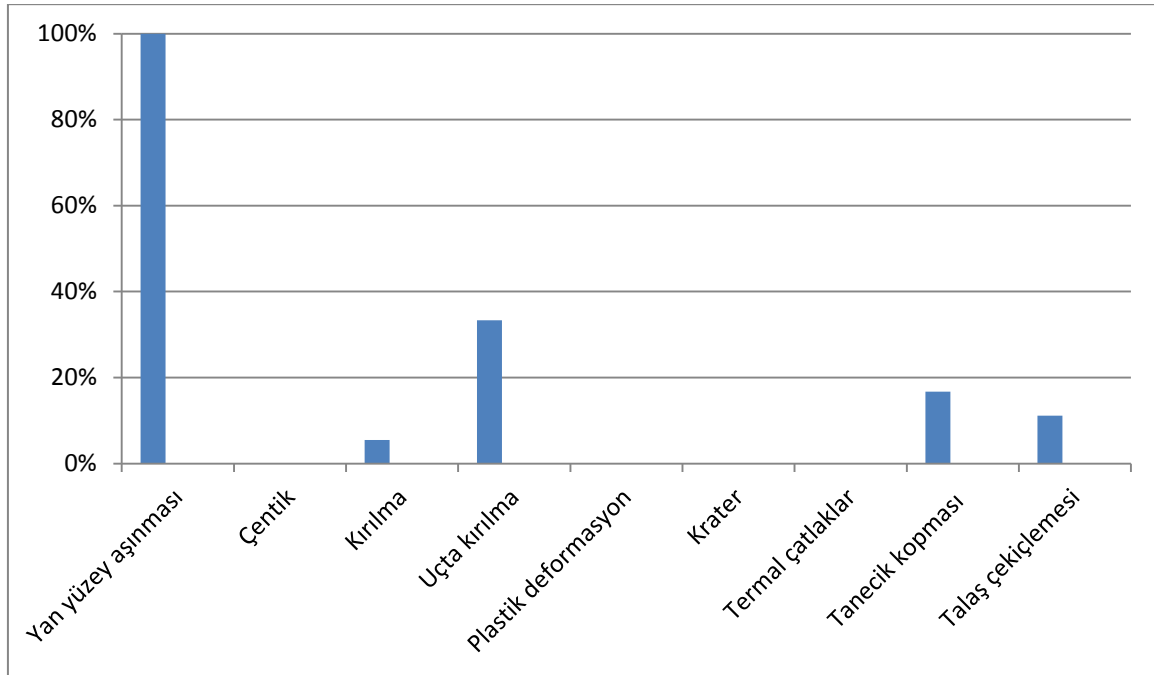
Elde edilen önemli sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıdaki gibi maddeler halinde özetlenebilir.

Slot frezeleme için:

1. Slot frezelemede tüm deneylerde yan yüzey aşınması görülmektedir.
2. Slot frezelemede % 38,8 oranında kırılma tespit edilmiştir ancak % 33,3 kesici takımın uç bölgesinde ve % 5,5 başka bölgelerde görülmektedir.
3. Düşük diş başı ilerleme miktarlarında tanecik kopması görülmemektedir.
4. Slot frezelemelerde farklı ilerleme ve kesme hızlarında toplam 18 deneyden:

- Yan yüzey aşınması: %100
- Kırılma :% 5,5
- Uçta kırılma : % 33,3
- Tanecik kopması: % 16,7
- Talaş çekişmesi: % 11,1

görülmektedir (Şekil 7.2).



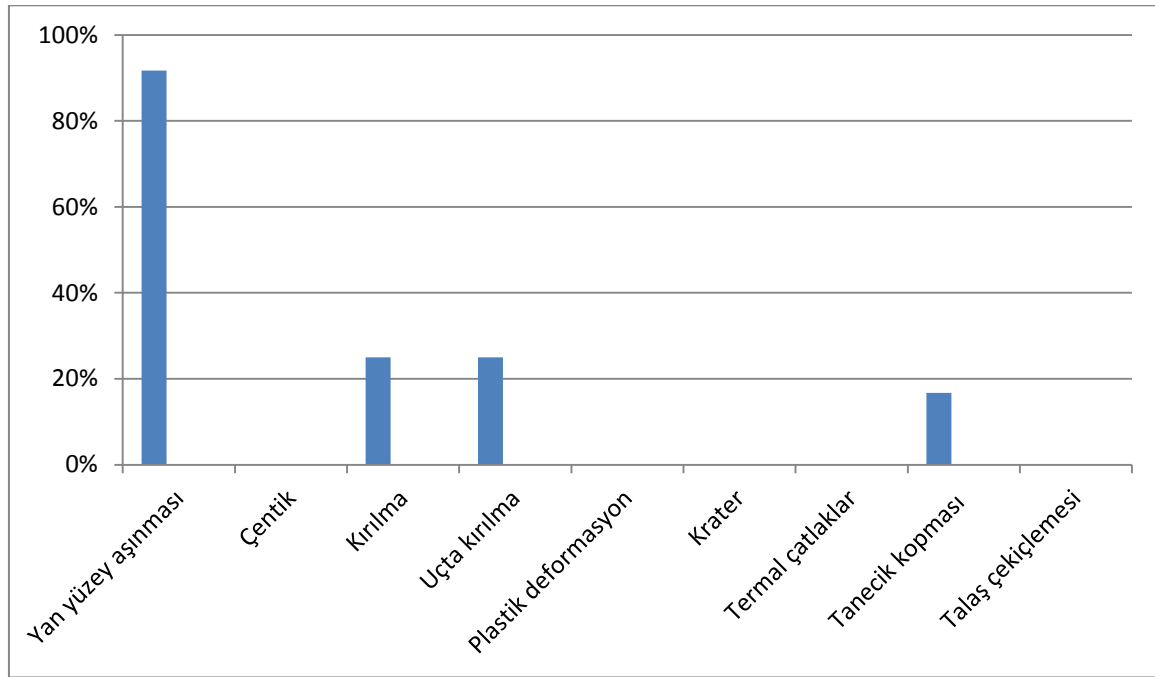
Şekil 7.2. Slot frezelemede aşınma türlerin yüzdesi

Eş yönlü frezeleme için:

1. Eş yönlü frezelemede en çok yan yüzey aşınması görülmektedir.
2. Eş yönlü frezelemede % 50 oranında kırılma tespit edilmiştir ancak % 25 kesici takımın uç bölgesinde ve % 25 başka bölgelerde görülmektedir.
3. Diş başına ilerleme miktarı arttıkça kesici uç kırılması azalmaktadır.

4. Düşük diş başı ilerleme miktarlarında tanecik kopması görülmemektedir.
5. Eş yönlü frezelemelerde farklı ilerleme ve kesme hızlarında toplam 12 deneyden:
 - Yan yüzey aşınması: % 91,7
 - Kırılma :% 25
 - Uçta kırılma : % 25
 - Tanecik kopması: % 16,7

görülmektedir (Şekil 7.3).

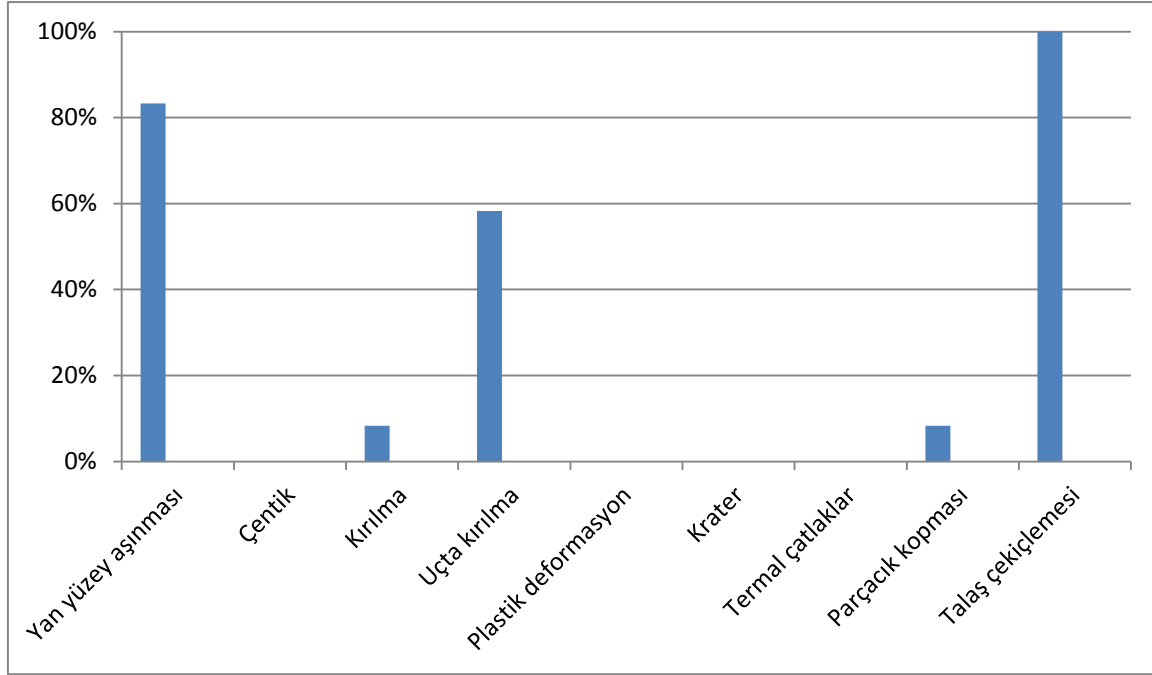


Şekil 7.3. Eş yönlü frezelemede aşınma türlerin yüzdesi

Zıt yönlü frezeleme için:

1. Zıt yönlü frezelemede tüm deneylerde talaş çekiçlemesi görülmektedir.
2. Zıt yönlü frezelemede ikinci olarak yan yüzey aşınması % 83,3 oranla görülmektedir.
3. Zıt yönlü frezelemede % 66,6 oranında kırılma tespit edilmiştir ancak % 58,3 kesici takımın uç bölgesinde ve % 8,3 başka bölgelerde görülmektedir.
4. Zıt yönlü frezelemelerde farklı ilerleme ve kesme hızlarında toplam 12 deneyden:
 - Yan yüzey aşınması: % 83,3
 - Kırılma :% 8,3
 - Uçta kırılma : % 58,3
 - Tanecik kopması: % 8,3
 - Talaş çekiçlemesi: % 100

görülmektedir (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. Zıt yönlü frezelemede aşınma türlerin yüzdesi

Bu çalışmada kesici takım uçlarında yan yüzey aşınması, talaş çekiçlemesi, kırılma ve takımdan tanecik kopması gözetlenmiştir. Yan yüzey aşınması genelde çok yüksek kesme hızları veya yetersiz aşınma direncinden kaynaklanan bir aşınma türüdür ve kötü yüzey kalitesi veya tolerans dışı ölçü oluşumuna sebep olur. Kesici uçta görülen talaş çekiçlemesi, kesme kenarın kemse yapmayan bölümü, talaş darbeleri ile zarar görür. Kesici takımın hem üst tarafı hem de desteği zarar görebilir. Talaşların kesme kenarına karşı çevirimlesin den kaynaklanan bir aşınma türüdür. Kırılma kesici ucun çok kırılgan olduğundan dolayı, aşırı yük, geometrinin çok zayıf veya kesici ucun ölçüsünün çok küçük olduğundan dolayı meydana gelen bir aşınma türüdür. Bu aşınma türü kesici takım, altlık ve iş parçasında zarar veren bir aşınma türüdür. Kesici uçtan kopan parçacıklar, kırılma gibi kalitenin çok kırılgan ve geometrinin çok zayıf olduğundan kaynaklanır ayrıca talaş yığılmasından da kaynaklanabilir. Kötü yüzey kalitesi ve aşırı derecede yan yüzey aşınması bu aşınma türünden kaynaklanan sonuçlardır [38].

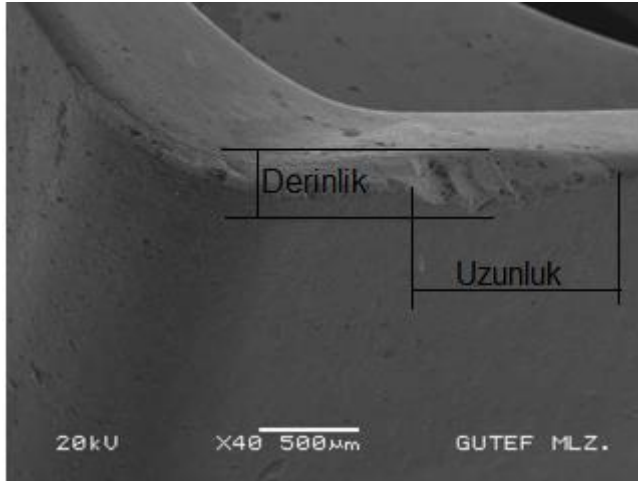
7.3. İlerleme Miktarı, Kesme Hızı ve Frezeleme Tipi ile Aşınma Miktarları İlişkinin İncelenmesi

Çalışmada deneysel verilerle elde edilen aşınma tipleri ve miktarları yardımıyla bunlara etken olan parametreler analizinin yapılmasına (ANOVA) ihtiyaç duyulmuştur. Böylece aşınma miktarını en aza indirmek istendiğinde hangi kesme parametrelerinde değişiklikler yapılabileceğine daha kolayca karar verilebilecektir. ANOVA belirli bir bağımlı değişken bakımından, bağımsız değişkenin (faktör) düzeyler arasında anlamlı bir fark olup olmadığını testini içeren parametrik bir istatistiksel yöntemdir. Parametrik bir yöntem olması verinin bazı varsayımları sağlaması anlamına gelir. Bu varsayımlar bağımsız değişkenin düzeylerinin varyanslarının homojen (eşit) olması, aynı zamanda verinin normal dağılıma sahip olması demektir. Literatürde homojen varyans varsayımı için kullanılan bir çok test vardır. Bu tez çalışmasında varyans homojenliği için LEVENE testi uygulanacaktır [40].

Normal dağılım varsayımı için ise literatürde sıkça kullanılan Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk [40] testleri kullanılacaktır. Eğer bu varsayımlar sağlanmazsa ANOVA testi yerine literatürdeki parametrik olmayan karşılığı Kruskal-Wallis'in H testi kullanılacaktır [40].

İki grup arasında ilgili değişken bakımından anlamlı bir fark olup olmadığı parametrik testlerden olan "T testi" ile incelenebilir. T testi parametrik olduğu için normallik varsayımının yine sağlanması gerekir. Eğer normallik varsayımı sağlanmazsa T testinin parametrik olmayan karşılığı Mann-Whitney'in U testi kullanılır [40].

Şekil 7.5'de talaş çekiçleme aşınma türü için tanımlanmış iki farklı aşınma ölçeği gösterilmiştir. Talaş çekiçlemesinde derinlik ve uzunluk değerleri 42 deney için takımçı mikroskop yardımı ile ölçülmüştür.



Şekil 7.5. Talaş çekilemesinde bağımsız değişkenlerin tanımı

Yapılan toplam 42 deneyde yan yüzey aşınması ve talaş çekileme miktarı, frezeleme tipi, kesme hızı ve ilerleme miktarına göre değişmektedir. Bir önceki bölümde sadece hangi tür aşınma hangi şartlarda incelenmesi incelenmiştir. Bu bölümde ise değişimin miktarını ölçmek amacı ile Toz Metalurjisi Laboratuvarı'nda bulunan takım mikroskobu kullanarak yan yüzey aşınma miktarı ve talaş çekilemesinin en ve boy uzunlukları ölçülmüştür (Çizelge 7.8).

Çizelge 7.8. Bağımlı ve bağımsız değişkenler ve düzeyleri

Deney No	Tip	Vc	fz	Yan yüzey aşınması	Talaş çekilemesi uzunluk	Talaş çekilemesi derinlik
1	Eş yönlü	55	0,05	0,12	-	-
2	Slot	30	0,11	0,06	-	-
3	Slot	80	0,05	0,05	-	-
4	Zıt yönlü	55	0,05	0,05	0,73	0,07
5	Slot	30	0,05	0,10	-	-
6	Zıt yönlü	30	0,08	0,03	0,18	0,06
7	Slot	55	0,08	0,07	-	-
8	Eş yönlü	30	0,08	0,04	-	-
9	Eş yönlü	55	0,11	0,04	-	-
10	Zıt yönlü	80	0,08	0,07	0,95	0,20
11	Slot	55	0,08	0,04	-	-
12	Slot	80	0,11	0,03	-	-
13	Zıt yönlü	55	0,11	0,05	1,19	0,21
14	Eş yönlü	80	0,08	0,13	-	-
15	Slot	30	0,05	0,02	-	-

Çizelge 7.8. (devam) Bağımlı ve bağımsız değişkenler ve düzeyleri

16	Slot	30	0,11	0,04	-	-
17	Eş yönlü	80	0,08	0,05	-	-
18	Eş yönlü	55	0,05	0,04	-	-
19	Slot	55	0,08	0,05	-	-
20	Zıt yönlü	55	0,05	0,07	0,85	0,06
21	Eş yönlü	55	0,11	0,07	-	-
22	Slot	80	0,05	0,04	0,72	0,05
23	Zıt yönlü	30	0,08	0,45	0,49	0,06
24	Zıt yönlü	55	0,11	0,06	1,25	0,14
25	Zıt yönlü	80	0,08	0,10	0,87	0,13
26	Slot	80	0,11	0,50	-	-
27	Eş yönlü	30	0,08	-	-	-
28	Slot	55	0,08	0,06	-	-
29	Slot	30	0,05	0,05	-	-
30	Slot	80	0,11	0,05	-	-
31	Slot	55	0,08	0,03	-	-
32	Zıt yönlü	80	0,08	0,05	0,83	0,11
33	Slot	80	0,05	0,07	-	-
34	Zıt yönlü	55	0,05	0,05	0,70	0,10
35	Eş yönlü	55	0,11	0,05	-	-
36	Zıt yönlü	55	0,11	-	1,88	0,19
37	Zıt yönlü	30	0,08	0,04	1,20	0,05
38	Eş yönlü	55	0,05	0,06	-	-
39	Slot	55	0,08	0,09	-	-
40	Eş yönlü	80	0,08	0,07	-	-
41	Eş yönlü	30	0,08	0,01	-	-
42	Slot	30	0,11	0,04	-	-

Çalışmada yan yüzey aşınması, talaş çekiçlemesi uzunluk ve talaş çekiçlemesi derinlik olarak uç farklı bağımsız değişken ve kesme hızı, ilerleme miktarı ve frezeleme tipi olarak 3 farklı bağımlı değişken istatistiksel çalışmalarda değerlendirmeye alınmıştır.

İstatistiksel çalışmalar boyunca ilk aşamada frezeleme tipi ile yan yüzey aşınması, kesme hızı ve ilerleme miktarı arasında ilişkinin olup olmadığı, her biri için ayrı bir test yapılarak kontrol edilmiştir. İkinci aşamada ise frezeleme tipine göre uç farklı gruba ayırarak yan yüzey aşınması ile bağımlı değişkenler arasındaki ilişki kontrol edilmiştir. Aynı aşamalar talaş çekiçlemesi uzunluk ve derinlik için de yapılmıştır.

Ayrıca tez boyunca tüm testlerde Olgu İşleme Özeti, Veri tanımla vb. çizelgeler SPSS programı yardımı ile hesaplanmıştır. Ancak bu çizelgeler örnek amacı ile sadece birinci testte verilmektedir. Diğer testler ile ilgili gerekli çizelgeler ekte özetlenmiştir.

7.3.1. Frezeleme tipi ile yan yüzey aşınması arasındaki ilişkisinin incelenmesi

İlk aşamada yan yüzey aşınmasının bağımsız değişkenler ile yani frezeleme tipi ile ilişkisi incelenmiştir. ANOVA testi parametrik bir test olduğundan dolayı parametrik bir test yapıp yapılmadığını araştırmak amacı ile normallik varsayımını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmesi gerekmektedir. Parametrik bir test yapılabiliyorsa ikinci aşama homojen varyans varsayımı kontrol edilip en son olarak ANOVA testi yapılmalıdır.

Çizelge 7.9’da görüldüğü gibi toplam 42 deney yapılmıştır ve bu deneylerde kayıp veri yoktur. Böylece eş yönlü frezeleme tipinde toplam 12 deney, slot frezelemede 18 deney ve zıt yönlü frezeleme tipinde 12 deney bu testte değerlendirmeye alınmıştır.

Çizelge 7.9. Yapılan testlerde veri bilgileri

Olgu İşleme Özeti							
	Tip	Olgular					
		Geçerli		Kayıp		Toplam	
		N	Yüzde	N	Yüzde	N	Yüzde
Yan yüzey aşınması	Es yönlü	12	100,0%	0	0,0%	12	100,0%
	Slot	18	100,0%	0	0,0%	18	100,0%
	Zıt yönlü	12	100,0%	0	0,0%	12	100,0%

Çizelge 7.10’da eş yönlü, zıt yönlü ve slot frezeleme tipi için ortalama median ve diğer istatistiksel bilgiler hesaplanmıştır. Slot ve Zıt yönlü frezeleme tipinde yan yüzey aşınma değerinin ortalaması yakın ve 0,08 değeri civarındadır ancak eş yönlü frezeleme tipinde ise 0,05 değeri civarındadır. Eş yönlü frezeleme tipinde diğer frezeleme tiplerine göre varyans değeri daha küçüktür yani eş yönlü frezeleme tipinde oluşan yan yüzey aşınma değerleri diğer frezeleme tiplerine göre yakın değerlere (daha az dağılmış değerlere) sahiptir.

Çizelge 7.10. Farklı frezeleme tiplerinde yan yüzey aşınmasının ortalama, varyans ve diğer istatistiksel bilgileri

Veri tanımlama tablosu				
	Tip		Değerler (mm)	Std. Hata
Yan yüzey aşınması	Eş yönlü	Ortalama	0,059	0,011
		Median	0,055	
		Varyans	0,002	
	Slot	Ortalama	0,080	0,025
		Median	0,052	
		Varyans	0,012	
	Zıt yönlü	Ortalama	0,087	0,033
		Median	0,055	
		Varyans	0,014	

Verilerin aralarında anlamlı bir fark olup olmadığı tespiti için Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testi uygulanmaktadır. Bunların tespitinde significant ve α (anlamlılık) değerleri karşılaştırılmaktadır [40].

Çizelge 7.11e göre eş yönlü frezeleme tipinde Kolmogorov-Smirnov testinde $\text{Sig}=0,200 > \alpha=0,05$ ve Shapiro-Wilk testinde $\text{Sig}=0,464 > \alpha=0,05$ olduğundan normal dağılım varsayımı sağlanmaktadır. Ancak slot ve zıt yönlü frezelemede her iki testte $\text{Sig}=0,000 < \alpha=0,05$ olduğundan normal dağılım varsayımı sağlanmamaktadır. Bu durumda ANOVA yerine parametrik olmayan karşılığı Kruskal-Wallis'in H testi yapılacaktır.

Çizelge 7.11. Normallik testi

Normallik testi							
	Tip	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Yan yüzey aşınması	Eş yönlü	0,176	12	0,200	0,937	12	0,464
	Slot	0,353	18	0,000	0,417	18	0,000
	Zıt yönlü	0,374	12	0,000	0,536	12	0,000

Kruskal-Wallis'in H testinde $\text{Sig}=0,958 > \alpha=0,05$ olduğundan, düzeyler arasında yan yüzey aşınma değerleri üzerinden anlamlı bir fark statiksel olarak bulunamamıştır (Çizelge 7.12). Matematiksel olarak görülen fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Buna göre yan yüzey aşınma miktarı ve frezeleme tipi arasında istatistiksel olarak bir ilişkiye rastlanamamıştır ve yan yüzey aşınma miktarı ile frezeleme tipi arasında bir bağlantı yoktur.

Çizelge 7.12. Kruskal-Wallis'in H testi

Test Statistics ^{a,b}	
	Yan yüzey aşınması
Asymp. Sig.	0,958

7.3.2. Kesme hızı ile yan yüzey aşınması arasındaki ilişkisinin incelenmesi

Kesme hızı ve yan yüzey aşınma miktarı arasındaki ilişki bulmak amacı ile ilk aşamada normallik testi yapılmıştır. 55 değerindeki kesme hızı için Kolmogorov-Smirnova testinde $\text{Sig}=0,157 > \alpha=0,05$ ve Shapiro-Wilk testinde $\text{Sig}=0,316 > \alpha=0,05$ 'tir. Ancak 30 ve 80 kesme hızları için her iki testte $\text{Sig}=0,000 < \alpha=0,05$ olduğundan normal dağılım varsayımı sağlanmamaktadır. Bu yüzden ANOVA yerine parametrik olmayan karşılığı Kruskal-Wallis'in H testi yapılacaktır.

Kruskal-Wallis'in H testinde $\text{Sig}=0,103 > \alpha=0,05$ olduğundan, düzeyler arasında yan yüzey aşınma değerleri üzerinden anlamlı bir fark istatistiksel olarak bulunamamıştır. Yani yan yüzey aşınma miktarı ve kesme hızı arasında istatistiksel olarak bir ilişkiye rastlanamamıştır ve yan yüzey aşınma miktarı ile kesme hızı arasında bir bağlantı olmadığı istatistiksel olarak görülmemektedir. Ancak iyi bilinmektedir ki yan yüzey aşınması kesme hızı ile doğrudan ilişkilidir; yani istatistiksel olarak bulunan bu sonucun güvenilirliği yoktur. Bu durum için söylenebilecek gerekçe, deneylerde aşınma miktarlarının toplamda çok az olması, dolayısıyla farkı gösterecek ölçülere gelmemiş olmasıdır. Bu nedenle 7.3.4 bölümünden sonra frezeleme tipi ayrılarak yeniden yan yüzey aşınmasının kesme hızı ile ilişkisi incelenmiştir.

7.3.3. İlerleme miktarı ile yan yüzey aşınması arasındaki ilişkisinin incelenmesi

İlerleme miktarı ve yan yüzey aşınma miktarı arasındaki ilişki bulmak amacı ile ilk aşamada normallik testi yapılmıştır. 0,05 İlerleme miktarı için Kolmogorov-Smirnova testinde $\text{Sig}=0,200 > \alpha=0,05$ ve Shapiro-Wilk testinde $\text{Sig}=0,166 > \alpha=0,05$ 'tir (α anlamlılık düzeyi). Ancak 0,08 ve 0,11 ilerleme miktarı için her iki testte $\text{Sig}=0,000 < \alpha=0,05$ olduğundan normal dağılım varsayımı sağlanmamaktadır bu yüzden ANOVA yerine parametrik olmayan karşılığı Kruskal-Wallis'in H testi yapılacaktır.

Kruskal-Wallis'in H testinde $\text{Sig}=0,904 > \alpha=0,05$ olduğundan, düzeyler arasında yan yüzey aşınma değerleri üzerinden anlamlı bir fark istatistiksel olarak bulunamamıştır ve yan yüzey aşınma miktarı ve ilerleme miktarı arasında istatistiksel olarak bir ilişkiye rastlanamamıştır. Yani yan yüzey aşınma miktarı ile ilerleme miktarı arasında bir bağlantı istatistiksel olarak kurulamamıştır. Halbuki ilerleme miktarı arttıkça yan yüzey aşınmasının da artması beklenmektedir. Burada bir bağ kurulamamasının gerekçesi yukarıdaki gibi deneyler sırasında aşınma miktarlarının çok az olması, farkı gösterecek ölçülere gelmemiş olması olarak gösterilebilir.

7.3.4. Frezeleme tipine göre ilerleme miktarı ve kesme hızı ile yan yüzey aşınma arasındaki ilişkisinin incelenmesi

Yukarıdaki testlerde de görüldüğü gibi deneylerin tümünde frezeleme tipi göz ardı edildiği zaman anlamlı bir ilişki bulunamamaktadır. Bu nedenle aynı testler frezeleme tipine göre ayırt edilmiş uçlar için yapılmıştır ve farklı frezeleme tiplerinde kesme hızı ve ilerleme miktarının aşınma türleri ile ilişkisi incelenmiştir.

Zıt yönlü frezeleme tipi için kesme hızı ile yan yüzey aşınma arasındaki ilişkinin incelenmesi

İlk aşamada normallik testi yapılmıştır. Shapiro-Wilk testi için $\text{Sig}=0,407, 0,146, 0,463 > \alpha=0,05$ olduğundan, normallik varsayımı sağladığı için parametrik bir test olan ANOVA testi yapılabilir (Çizelge 7.13).

Çizelge 7.13. Normallik testi

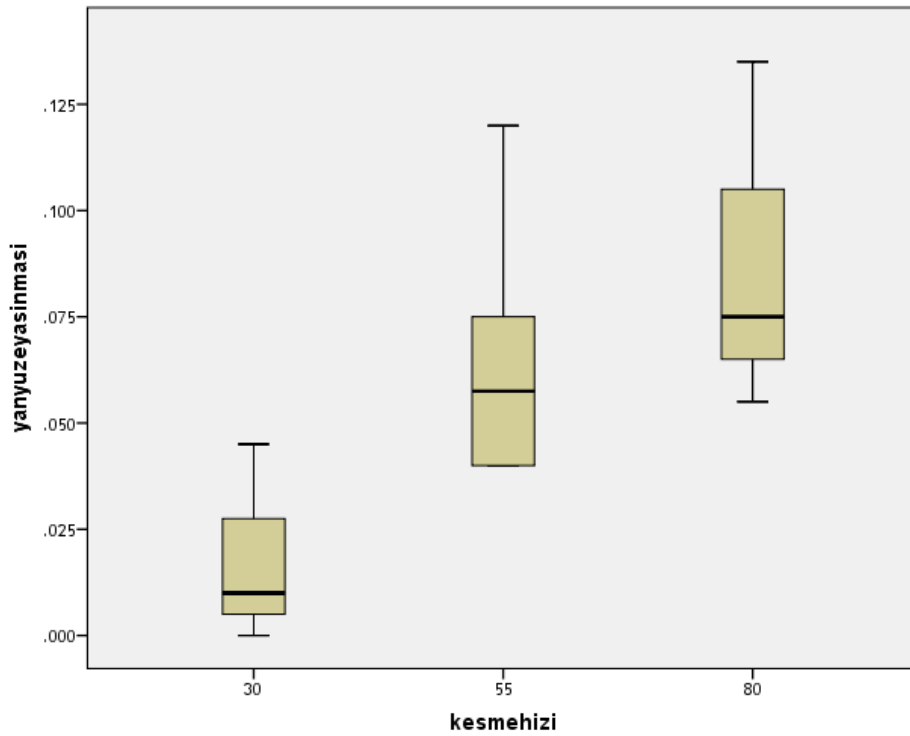
Normallik testi							
	Kesme hızı	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Yan yüzey aşınması	30	0,304	3	.	0,907	3	0,407
	55	0,233	6	0,200*	0,846	6	0,146
	80	0,292	3	.	0,923	3	0,463

İkinci aşamada ise homojenlik testi yapılmaktadır. Çizelge 7.14'de görüldüğü gibi $\text{Sig}=0,600 > \alpha=0,05$ olduğundan varyansların homojenliği (yan yüzey aşınması değerleri

Ortalama farklılıkları dikkate alınarak 80 m/dk'da 30 m/dk kesme hızına daha yüksek derecede yüzey aşınmasına sebep olduğu görülmektedir. Ancak 55 m/dk değeri için 30 ve 80 m/dk arasında anlamlı bir farka rastlanmamıştır. Bu nedenle 55 m/dk kesme hızı 30 veya 80 m/dk ile bir grup yapılabilir ama 30 ve 80 değerlerine sahip kesme hızları bir grup yapılamaz (Çizelge 7.17). Bu testin sonucunda özet olarak yüksek kesme hızlarında yüksek derecede yan yüzey aşınması görülmektedir. Şekil 7.6 zıt yönlü frezelemede yan yüzey aşınmasının kesme hızına göre değişimini göstermektedir.

Çizelge 7.17. 30 ve 80 kesme hızı ile 55 kesme hızı deneylerinin bir grupta yerleşmesi

Yan yüzey aşınması			
Kesme hızı	N	alpha = 0,1	
		1	2
30	3	0,018	
55	6	0,065	0,065
80	3		0,088
Sig.		0,175	0,604



Şekil 7.6. Zıt yönlü frezelemede yan yüzey aşınmasının kesme hızına göre değişimini gösteren grafik

Slot frezeleme tipi için kesme hızı ile yan yüzey aşınma arasındaki ilişkinin incelenmesi

İlk aşamada normallik testi yapılmıştır. Çizelge 7.18’de görüldüğü gibi Shapiro-Wilk testi için $\text{Sig}=0,281, 0,982, 0,643 > \alpha=0,05$ ve Kolmogorov-Smirnov testi için $\text{Sig}=0,188, 0,200, 0,200 > \alpha=0,05$ olduğundan, düzeyler arasında yan yüzey aşınma değerleri üzerinden normallik varsayımı sağladığı için parametrik bir test olan ANOVA testi yapılabilir.

Çizelge 7.18. Normallik testi

Normallik testi							
	Kesme hızı	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Yan yüzey aşınması	30	0,272	6	0,188	0,883	6	0,281
	55	0,140	6	0,200*	0,988	6	0,982
	80	0,239	6	0,200*	0,938	6	0,643

İkinci aşamada ise homojenlik testi yapılmaktadır. Çizelge 7.19’da görüldüğü gibi $\text{Sig}=0,600 > \alpha=0,05$ olduğundan varyansların homojenliği (yan yüzey aşınması değerleri bakımından kesme hızı düzeylerinin varyansların eşitliği) istatistiksel olarak desteklenmiştir. O nedenle One Way ANOVA kullanılabilir.

Çizelge 7.19. Homojenlik testi

Varyansların homojenliğin destekleyen test			
Yan yüzey aşınması			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
0,528	2	15	0,600

One Way ANOVA testinin sonuçları Çizelge 7.20’de görülmektedir. $\text{Sig}=0,888 > \alpha=0,10$ olduğundan slot frezelemede yan yüzeyleri aşınması değerleri bakımından kesme hızı düzeyleri arasında $\alpha=0,10$ anlamlılık düzeyinde anlamlı bir fark olduğu istatistiksel olarak desteklenmemiştir ve slot frezelemede yan yüzey aşınması ile kesme hızına bağlı bir bağlantıya istatistiksel olarak rastlanmamıştır.

Çizelge 7.20. One Way ANOVA testi

ANOVA					
Yan yüzey aşınması					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Gruplar arasında	0,000	2	0,000	0,120	0,888

Eş yönlü frezeleme tipi için kesme hızı ile yan yüzey aşınma arasındaki ilişkinin incelenmesi

İlk aşamada normallik testi yapılmıştır. Shapiro-Wilk testi için $Sig=0,637, 0,987, 0,780 > \alpha=0,05$ olduğundan, düzeyler arasında yan yüzey aşınma değerleri üzerinden normallik varsayımı sağladığı için parametrik bir test olan ANOVA testi yapılabilir. İkinci aşamada ise homojenlik testi yapılmaktadır. $Sig=0,554 > \alpha=0,05$ olduğundan varyansların homojenliği (yan yüzey aşınması değerleri bakımından kesme hızı düzeylerinin varyansların eşitliği) istatistiksel olarak desteklenmiştir. O nedenle One Way ANOVA kullanılabilir.

One Way ANOVA testinde $Sig=0,126 > \alpha=0,10$ olduğundan eş yönlü frezelemede yan yüzeyleri aşınması değerleri bakımından kesme hızı düzeyleri arasında $\alpha=0,10$ anlamlılık düzeyinde anlamlı bir fark olduğu istatistiksel olarak desteklenmemiştir ve eş yönlü frezelemede yan yüzey aşınması ile kesme hızına bağlı bir istatistiksel bağlantıya rastlanmamıştır.

Zıt yönlü frezeleme tipi için ilerleme miktarı ile yan yüzey aşınma arasındaki ilişkinin incelenmesi

İlk aşamada normallik testi yapılmıştır. Shapiro-Wilk testi için $Sig=0,463, 0,662, 0,843 > \alpha=0,05$ olduğundan, düzeyler arasında yan yüzey aşınma değerleri üzerinden normallik varsayımı sağladığı için parametrik bir test olan ANOVA testi yapılabilir. İkinci aşamada ise homojenlik testi yapılmaktadır. $Sig=0,439 > \alpha=0,05$ olduğundan varyansların homojenliği (yan yüzey aşınması değerleri bakımından ilerleme miktarı düzeylerinin varyansların eşitliği) istatistiksel olarak desteklenmiştir. O nedenle One Way ANOVA kullanılabilir.

One Way ANOVA testinde $\text{Sig}=0,798 > \alpha=0,10$ olduğundan yan yüzeyleri aşınması değerleri bakımından ilerleme miktarı düzeyleri arasında $\alpha=0,10$ anlamlılık düzeyinde anlamlı bir fark olduğu istatistiksel olarak desteklenmemiştir ve zıt yönlü frezelemede yan yüzey aşınması ile ilerleme miktarına bağlı istatistiksel bir bağlantıya rastlanmamıştır.

Slot frezeleme tipi için ilerleme miktarı ile yan yüzey aşınma arasındaki ilişkinin incelenmesi

İlk aşamada normallik testi yapılmıştır. Shapiro-Wilk testi için $\text{Sig}=0,787, 0,982, 0,566 > \alpha=0,05$ olduğundan, düzeyler arasında yan yüzey aşınma değerleri üzerinden normallik varsayımı sağladığı için parametrik bir test olan ANOVA testi yapılabilir. İkinci aşamada ise homojenlik testi yapılmaktadır. $\text{Sig}=0,164 > \alpha=0,05$ olduğundan varyansların homojenliği (yan yüzey aşınması değerleri bakımından ilerleme miktarı düzeylerinin varyansların eşitliği) istatistiksel olarak desteklenmiştir. O nedenle One Way ANOVA kullanılabilir. One Way ANOVA testinin sonucunda $\text{Sig}=0,710 > \alpha=0,10$ olduğundan yan yüzeyleri aşınması değerleri bakımından ilerleme miktarı düzeyleri arasında $\alpha=0,10$ anlamlılık düzeyinde anlamlı bir fark olduğu istatistiksel olarak desteklenmemiştir ve slot frezelemede yan yüzey aşınması ile ilerleme miktarına bağlı istatistiksel bir bağlantıya rastlanmamıştır.

Eş yönlü frezeleme tipi için ilerleme miktarı ile yan yüzey aşınma arasındaki ilişkinin incelenmesi

Bu testte 0,08 ve 0,11 ilerleme miktarında $\text{Sig}=0,490, 0,144 > \alpha=0,05$ (α anlamlılık düzeyi) olduğundan normal dağılım varsayımı sağlanmaktadır. Ancak 0,05 düzeyde $\text{Sig}=0,000 < \alpha=0,05$ olduğundan normal dağılım varsayımı sağlanmamaktadır. Bu yüzden ANOVA yerine parametrik olmayan karşılığı Kruskal-Wallis'in H testi yapılacaktır.

$\text{Sig}=0,902 > \alpha=0,05$ olduğundan, düzeyler arasında yan yüzey aşınma değerleri üzerinden anlamlı bir fark istatistiksel olarak bulunamamıştır; matematiksel olarak görülen fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Eş yönlü frezelemede yan yüzey aşınma miktarı ve ilerleme miktarı arasında istatistiksel olarak bir ilişkiye rastlanamamıştır.

7.3.5. Frezeleme tipi ile talaş çekiçlemesi (uzunluk) arasındaki ilişkisinin incelenmesi

Talaş çekiçlemesinde uzunluk miktarı ile bağımsız değişkenler yani frezeleme tipi arasındaki ilişkisi incelenmiştir. Önceki testlerdeki gibi normallik varsayımını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Zıt yönlü frezeleme tipinde $\text{Sig}=0,695 > \alpha=0,05$ olduğundan normal dağılım varsayımı sağlanmaktadır. Ancak slot ve eş yönlü düzeylerde $\text{Sig}=0,000 < \alpha=0,05$ olduğundan normal dağılım varsayımı sağlanmamaktadır. Bu yüzden ANOVA yerine parametrik olmayan karşılığı Kruskal-Wallis'in H testi yapılacaktır.

Kruskal-Wallis'in H testinde $\text{Sig}=0,000 < \alpha=0,05$ olduğundan, düzeyler arasında talaş çekiçlemesinde uzunluk değerleri üzerinden anlamlı bir fark istatistiksel olarak bulunmuştur. Bu çalışmada talaş çekiçlemesi tipindeki aşınmaya bir uç hariç sadece zıt yönlü frezeleme tipinde rastlanmıştır ve diğer frezeleme tiplerinde bu tür aşınma tipi gözlemlenmemiştir. Bu nedenle çalışmanın devamında sadece zıt yönlü frezelemenin talaş çekiçlemesinin uzunluk ve derinlik ile ilişkisi araştırılmıştır.

Zıt yönlü frezeleme tipi için ilerleme miktarı ile talaş çekiçlemesi (uzunluk) arasındaki ilişkinin incelenmesi

Shapiro-Wilk testi için $\text{Sig}=0.430, 0.706, 0.151 > \alpha=0.05$ olduğundan, normallik varsayımı sağladığından dolayı parametrik bir test olan ANOVA testi yapılabilir. Homojenlik testinde $\text{Sig}=0.155 > \alpha=0.05$ olduğundan varyansların homojenliği (talaş çekiçlemesinde uzunluk değerleri bakımından ilerleme miktarı düzeylerinin varyansların eşitliği) istatistiksel olarak desteklenmiştir. O nedenle One Way ANOVA kullanılabilir.

One Way ANOVA testinin sonucunda $\text{Sig}=0,035 < \alpha=0,10$ olduğundan talaş çekiçlemesinde uzunluk değerleri bakımından ilerleme miktarı düzeyleri arasında $\alpha=0,10$ anlamlılık düzeyinde anlamlı bir fark olduğu istatistiksel olarak desteklenmiştir.

One Way ANOVA testinde anlamını yorumlamak için çoklu karşılaştırma T testi yapılmıştır. Bu testin sonucunda talaş çekiçlemesinde uzunluklar bakımından ilerleme miktarı arasında bulunan farklılığın asıl sebebi ilerleme miktarı 0,05 ile 0,11 düzeyleri ve 0,08 ve 0,11 farkları arasından kaynaklanmaktadır. 0,11 ilerleme miktarı daha yüksek derecede talaş çekiçlemesine sebep olmaktadır. Yani ilerleme miktarı arttıkça talaş çekiçlemesinde de uzunluk değeri artırmaktadır. Bu farklılık ortalama değerler dikkate

alındığında 0,11 ilerleme miktarında 0,05 ve 0,08 ilerleme miktarına göre daha fazla görülmektedir (Çizelge 7.21).

Çizelge 7.21. One Way ANOVA testi için anlamlılık farkının kaynağı

Çoklu Karşılaştırmalar						
Bağımlı değişken: uzunluk						
(I) ilerleme miktarı	(J) ilerleme miktarı	Ortalama farkları (I-J)	Std. Hata	Sig.	90% Güven aralığı	
					Min Sınır	Max Sınır
0,05	0,08	0,005	0,230	1,000	-0,535	0,547
	0,11	-0,681*	0,266	0,072	-1,306	-0,056
0,08	0,05	-0,005	0,230	1,000	-0,547	0,535
	0,11	-0,687*	0,230	0,037	-1,228	-0,146
0,11	0,05	0,681*	0,266	0,072	0,056	1,306
	0,08	0,687*	0,230	0,037	0,146	1,228

*. Anlamlı bir farklılık significant değeri 0,1'dedir.

Zıt yönlü frezeleme tipi için ilerleme miktarı ile talaş çekiçleme (derinlik) arasındaki ilişkinin incelenmesi

Shapiro-Wilk testi için $Sig=0,726, 0,144, 0,688 > \alpha=0,05$ olduğundan, normallik varsayımı sağladığı için parametrik bir test olan ANOVA testi yapılabilir. $Sig=0,254 > \alpha=0,05$ olduğundan varyansların homojenliği (talaş çekiçlemesinde derinlik değerleri bakımından ilerleme miktarı düzeylerinin varyansların eşitliği) istatistiksel olarak desteklenmiştir. O nedenle One Way ANOVA kullanılabilir.

One Way ANOVA testinde $Sig=0,054 < \alpha=0,10$ olduğundan talaş çekiçlemesinde derinlik değerleri bakımından ilerleme miktarı düzeyleri arasında $\alpha=0,10$ anlamlılık düzeyinde anlamlı bir fark olduğu istatistiksel olarak desteklenmiştir.

One Way ANOVA testinde anlamını yorumlamak Çizelge 7.22 yardımı ile mümkündür. Talaş çekiçlemesinde derinlikler bakımından ilerleme miktarı arasındaki bulunan farklılığın asıl sebebi ilerleme miktarı 0,05 ile 0,11 düzeyleri farkları arasından kaynaklanmaktadır. 0,11 ilerleme miktarı 0,05 ilerleme miktarı daha yüksek derecede talaş çekiçlemesine sebep olmaktadır. 0,08 değerinde ilerleme miktarı 0,05 değeri veya 0,11 değeri ile bir grup yapılabilir ama 0,05 ve 0,11 değerleri ile bir grup yapılamaz.

Çizelge 7.22. 0,05 ve 0,011 ilerleme miktarı ile 0,08 ilerleme miktarı deneylerinin bir grupta yerleşmesi

Derinlik			
İlerleme miktarı	N	Subset for alpha = 0,1	
		1	2
0,05	3	0,0783	
0,08	6	0,1033	0,103
0,11	3		0,183

Zıt yönlü frezeleme tipi için kesme hızı ile talaş çekiçlemesi (uzunluk) arasındaki ilişkinin incelenmesi

İlk aşamada normallik testi yapılmıştır. Shapiro-Wilk testi için Sig=0,575, 0,255, 0,637> $\alpha=0.05$ olduğundan, düzeyler arasında talaş çekiçlemesinde uzunluk değerleri üzerinden normallik varsayımı sağladığı için parametrik bir test olan ANOVA testi yapılabilir. İkinci aşamada ise homojenlik testi yapılmaktadır. Sig=0,141> $\alpha=0,05$ olduğundan varyansların homojenliği (talaş çekiçlemesinde uzunluk değerleri bakımından kesme hızının düzeylerinin varyansların eşitliği) istatistiksel olarak desteklenmiştir. O nedenle One Way ANOVA kullanılabilir. One Way ANOVA testinde Sig=0,307> $\alpha=0,10$ olduğundan talaş çekiçlemesinde uzunluk değerleri bakımından kesme hızı düzeyleri arasında $\alpha=0,10$ anlamlılık düzeyinde anlamlı bir fark olduğu istatistiksel olarak desteklenmemiştir ve zıt yönlü frezeleme ve talaş çekiçlemesi uzunluğu arasında kesme hızına bağlı olarak bir bağlantıya rastlanmamıştır.

Zıt yönlü frezeleme tipi için kesme hızı ile talaş çekiçleme (derinlik) arasındaki ilişkinin incelenmesi

55 ve 80 m/dk kesme hızlarında Sig=0,577, 0,384> $\alpha=0,05$ (α anlamlılık düzeyi) olduğundan normal dağılım varsayımı sağlanmaktadır. Ancak 30 düzeyde Sig=0,000< $\alpha=0,05$ olduğundan normal dağılım varsayımı sağlanmamaktadır. Bu yüzden ANOVA yerine parametrik olmayan karşılığı Kruskal-Wallis'in H testi yapılacaktır.

Sig=0,060> $\alpha=0,05$ olduğundan, düzeyler arasında talaş çekiçlemesinin derinlik değerleri üzerinden anlamlı bir fark istatistiksel olarak bulunamamıştır. Talaş çekiçlemesinin derinlik

miktarı ve kesme hızının arasında statiksel olarak bir ilişkiye rastlanamamıştır ve talaş çekiçlemesinin derinlik miktarı ile kesme hızı miktarı arasında bir bağlantı yoktur.

Toplam 42 deneyde, frezeleme tipi göz ardı edildiği zaman bir bağlantı yan yüzey aşınması ve talaş çekiçlemesi ile bağımlı değişkenler (kesme hızı, ilerleme miktarı) arasında görülmemektedir. Ancak frezeleme tipi ayırt edilip incelendiği zaman zıt yönlü frezeleme tipinde literatürde görüldüğü gibi kesme hızı arttıkça yan yüzey aşınması artmaktadır. Talaş çekiçlemesinde ise zıt yönlü frezeleme tipinde ilerleme miktarı artıkça uzunluk ve derinlik olarak her iki faktör artmaktadır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı kesme hızı ve diş başına ilerleme miktarları seçilerek toplam 42 deney yapılmıştır. Kesme deneylerinin 18i slot frezeleme, 12si eş yönlü ve 12si zıt yönlü şeklindedir. Deneylerde tespit edilen farklı aşınma türleri

- Yan yüzey aşınması: % 92,9
 - Talaş çekiçlemesi: % 33,3
 - Kırılma: % 11,9
 - Uçta kırılma: % 38,1
 - Tanecik kopması: : % 14,3
- şeklindedir.

ANOVA testlerin sonunda yapılan tüm statiksel deneyler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Frezeleme tipi, kesme hızı ve ilerleme miktarı ile yan yüzey aşınması arasında; slot ve eş yönlü frezeleme tipi için kesme hızı ile yan yüzey aşınma arasında; zıt yönlü, slot ve eş yönlü frezeleme tipi için ilerleme miktarı ile yan yüzey aşınma arasında; frezeleme tipi ile talaş çekiçlemesi (uzunluk) arasında ve zıt yönlü frezeleme tipi için kesme hızı ile talaş çekiçlemesi (uzunluk) ve talaş çekiçlemesi (derinlik) arasında istatistiksel bağlantıya rastlanmamıştır. Zıt yönlü frezeleme tipleri hariç diğer frezeleme tiplerinde aşınma miktarı çok küçük olduğundan dolayı literatürdeki bilgilerle uyumlu sonuçlara istatistiksel olarak ulaşılmamıştır.
- Zıt yönlü frezeleme tipide yüksek kesme hızlarında (80) artmış yan yüzey aşınması görülmektedir (ortalama= 0,088mm).
- Zıt yönlü frezeleme tipi için 0,11 mm/dev ilerleme miktarı en çok talaş çekiçlemesine (uzunluk ve derinlik) sebep olmaktadır.

Sonuç olarak zıt yönlü frezeleme tipinde yan yüzey aşınması ile kesme hızı arasında bir bağlantı olup ve kesme hızı arttıkça yan yüzey aşınması artmaktadır. Zıt yönlü frezelemede talaş çekiçlemesi (uzunluk ve derinlik) kesme hızından bağımsız olup ilerleme miktarı ile orantılı olarak artmaktadır.

Bir sonraki çalışmada sadece zıt yönlü frezeleme tipi dikkate alınarak ve yeni deneyler daha düşük ve daha yüksek ilerleme miktarı ve kesme hızı ile yapılp mevcut deneylere

eklenerek yan yüzey aşınmasının ve talaş çekiçlemesinin bağımlı faktörler ile ilişkisi incelenebilir.

Yan yüzey aşınması % 92,9 oran ile bu çalışmada en çok görülen kesici takım aşınma tipidir. Bu çalışmada kullanılan kesici takım PVD yöntemi ile AlTiN+TiN kaplamalıdır. Bir sonraki çalışmada H490 ANKX 120508PNTR/IC5100 kesici uç kullanılarak aynı deneyler yapılabilir. Önerilen kesici uç PVD yöntemi ile TiCN+ Al_2O_3 ile kaplanmıştır.

Talaş çekiçlemesi kesme kenarın keme yapmayan bölümünde meydana gelen aşınma türüdür ve en çok bu çalışmada zıt yönlü frezelemede görülmüştür. Zıt yönlü frezelemede iş parçasının ilerleme yönü takımın dönüş yönüne terstir. Bu tür frezeleme tipinde başlangıçta oluşan sıfır talaş kalınlığından, kesici uç kesici uç parçayı bastırıldığında parçayı kesmez, ezer, dolayısıyla aşırı sürtünmeye ve talaşların kesme kenarına doğru eğilmesine neden olur [19]. Talaş çekiçlemesini zıt yönlü frezelemede önlemek amacı ile farklı bir kesici uç geometrisi seçerek deneyler bir sonraki çalışmada baştan yapılabilir.

Uçlarda aşınmaların ardından kırılmalar görülmektedir. Bir kesici ucun kırılmaya mukavemeti tokluk miktarı ile ölçülmektedir. Uçta kırılma, kesici takımın çok kırılgan olduğu, aşırı yük olduğu, geometrinin zayıf olduğu ve kesici uçun ölçüsü çok küçük olduğundan dolayı meydana gelir [38]. Bu çalışmada aşırı yük sorununu çözmek amacı ile ilerleme ve/veya talaş derinliğini azaltarak kesici uç kırılmasını azaltmak mümkündür.

Tanecik kopması kötü yüzey kalitesi ve aşırı serbest yüzey aşınmasına neden olur. Kesici ucun kalitesi çok kırılgan veya uç geometrisi çok zayıf olduğundan kaynaklanan bir aşınma türüdür. Tanecik kopmasını önlemek amacı ile daha güçlü pozitif bir geometri seçerek veya ilerleme miktarını azaltarak bu problemi önlemek mümkündür (eş yönlü frezelemede görüldüğü gibi ilerleme miktarı arttıkça tanecik kopması da çoğalmaktadır) [38].

Bu çalışmada frezeleme tipine bağlı olarak aşınma miktarı farklı tiplerde değişmekte olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin slot frezeleme tipinde diğer frezeleme tiplerine göre kesici takımlarda gözlemlenen talaş çekiçlemesi daha azdır. İlerdeki çalışmada farklı aşınma türlerinin, frezeleme tipine ve kesme parametrelerine göre ölçülüp çalışılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Tekiner, Z., Yeşilyurt, S. (2003). Investigation of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless steel. *Materials and Design*, 25(6), 507–513.
2. Ebrahimi, A., Moshksar M.M. (2009). Evaluation of machinability in turning of microalloyed and quenched-tempered steels: Tool wear, statistical analysis, chip morphology. *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (2), 910–921.
3. Özdemir, O., Erten, M. (2003). Talaşlı imalat sırasında kesici takımda meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri. *Havacılık ve uzay Teknolojiler Dergisi*, 1(1) , 37-50.
4. Özek, C., Haşçalık, A., Çaydaş, U., Karaca F., Ünal, Ü. (2006). Turning of AISI 304 austenitic stainless steel. *Journal of Engineering and Natural Science*, Sigma 2006/2, 117-121.
5. Çiftçi, İ. (2004). AISI 304 Östenitik paslanmaz çeliğin kaplanmış sementit karbür kesici takımla işlenmesi esnasında oluşan takım aşınması. *Teknoloji dergisi*, 7(3), 489-495.
6. Mahdavinejad, R.A., Saeedy. S.(2011). Investigation of the influential parameters of machining of AISI 304 stainless steel. *Sādhanā*, 36 (6), 963–970.
7. Abou-El-Hossein, K.A., Yahya, Z. (2005). High speed end milling of AISI 304 stainless steel using new geometrically developed carbide inserts. *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163, 596-602
8. Ertunç, H., Sevim, İ. (2001). Kesici takımların aşınmasını gözlememe üzerine yapılan çalışmalar. *Journal of engineering science*, 7(1), 55-62.
9. Thamizhmanii, S., Hasan, S. (2010). Relationship between flank wear and cutting force on the machining of hard martensitic stainless steel by super hard tools. *paper presented at the Proceedings of the world congress on engineering*, III WCE , London, U.K.
10. Nithyanandhan, T., Manickaraj, K., Kannakumar, R. (2014). Optimization of cutting forces, tool wear and surface finish in machining of AISI 304 stainless steel material using Taguchi's method. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 1(4), 488-493
11. Şahin, Y. (2000). *Talas Kaldırma Prensipleri* (Cilt – I), Akara: Nobel yayın dağıtım, 335-426.

12. Çakır, M. C. (2000). *Modern Talaşlı imalatın Esasları*, Bursa: Uludağ Üniversitesi.
13. Keleşoğlu, E. (2011). *Sert kaplamalar üretim teknikleri ve özellikleri*. İstanbul: Ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi.
14. Mattox, Donald, M. (1998). *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing: Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control*. Westwood: N.J. Noyes Publications.
15. Mattox, Donald, M. (2003). *The Foundations of Vacuum Coating Technology*. Norwich, N.Y.: Noyes Publications/William Andrew Pub.
16. Varol, Z. (2014). *Kimyasal buhar biriktirme*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
17. Şeker, U., Günay, M. (2008). *İM 322-Kesici Takım Tasarımı*. Ders Notları, Ankara: Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi.
18. Alsaran, A. (2014). *Talaşlı imalat*. Ders notları, Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü.
19. Şahin, Y. (2000). *Talaş kaldırma prensipleri*. Ankara: Nobel yayın dağıtım, 335-426.
20. AKTAŞ, A. (2012). *İmalat işlemleri*. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi, II. Ders Notları.
21. Halil, D., Hasan, B. U., Metin, Z. (2009). *Cutting fluids used in metal cutting and their effects on human health*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)' inde sunuldu, Karabük, Türkiye.
22. Şahin, Y. (2003). *İmal usulleri*. Ankara: Gazi Yayınevi, 63-75, 269-280.
23. Çakır, M.C. (2000). *Modern talaşlı imalat yöntemleri*, Bursa: Vipaş A.Ş. Yayınları, 219-289.
24. Vural, M. (2012). *Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları*, Ders notları, Ankara: İTÜ Makina Fakültesi.
25. Şirin, E. (2010). *AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Frezede İşlenebilirliğinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
26. Özcan, E. (2001). *CNC tezgâhlarda kullanılan kesici takımlarda takım aşınmasının kesme performansına dinamik etkileri*. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
27. Gökkaya, H., Sur, G., Dilipak, H. (2004). PVD ve CVD kaplamalı sementit karbür kesici takımların işleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Teknoloji Dergisi*, 7(3), 473-478.

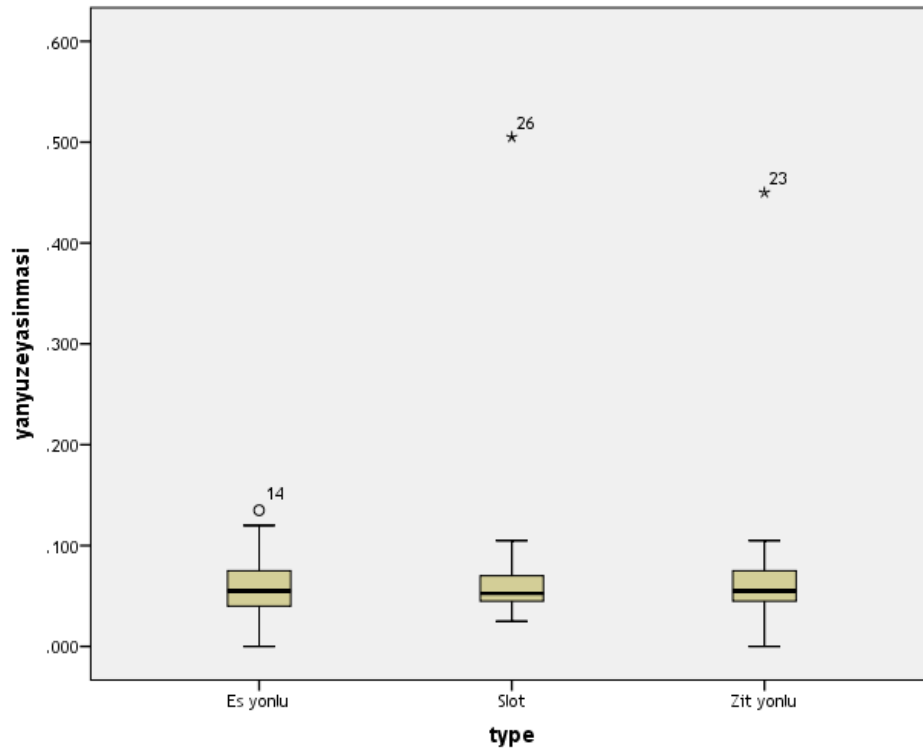
28. Ertaç, A.O. (2008). *İşlenmesi güç malzemelerin talaşlı üretiminde kesici performanslarının araştırılması*. Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
29. Şeker, U. (1997). *Takım tasarım*, Ders notları, Ankara: Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 59-102.
30. Uluğ, D., (2012). *Kaplamalı ve kaplamasız sementit karbür takımlar için taylor takım ömrü modelindeki “n” üstel değerinin deneysel olarak araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
31. Yileri, Y. (2012). *Frezeleme işleminde eş yönlü ve ters yönlü talaş kaldırmanın CVD/PVD kaplanmış sert metal uçların ömrüne etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
32. Özcan, E. (2001). *CNC tezgâhlarda kullanılan kesici takımlarda takım aşınmasının kesme performansına dinamik etkileri*. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 168.
33. Ufuk, Ö., Muzaffer, E. (2003). Talaşlı imalat sırasında kesici takımda meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri. *Havacılık ve uzay teknolojileri dergisi*, 1(1), 37-50.
34. M. Cemal. (2006). *Modern talaşlı imalat esasları*, Ankara: Nobel yayınevi, 1.bölüm.
35. İnternet: AISI304/304L–DIN1.4301/1.4306-1.4307.
URL: <http://www.webcitation.org/6hn5OyGkK> , Son Erişim Tarihi: 05.08.2015.
36. İnternet: Tool wear. URL: <http://www.webcitation.org/6hn5T66PN> , Son Erişim Tarihi: 17.10.2015.
37. Hamit, A. (2011). *Kesici takım uçları*, Ders notları, Adana: Çukurova Üniversitesi.
38. Sandvik Coromant. (2012). *Tools Catalogue, Sweden*.
39. Sabri, K., Niyazi, E., Urgan, M., Taptık, Y., Çimenoglu, H. (1997) . *Hasar analizi seminer notları*, TMMOB metalurji mühendisleri odası, İstanbul.
40. Şeker, K. *SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri*, (5. Baskı), Ankar: Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti.

EKLER

EK-1. Farklı frezeleme tiplerinde yan yüzey aşınmasının miktarın ortalama, varyans ve diğer istatistiksel bilgiler

Descriptives					
	type			Statistic	Std. Error
Yan yüzey aşınması	Eş yönlü	Mean		0,05917	0,011296
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	0,03431	
			Upper Bound	0,08403	
		5% Trimmed Mean		0,05824	
		Median		0,05500	
		Variance		0,002	
		Std, Deviation		0,039129	
		Minimum		0,000	
		Maximum		0,135	
		Range		0,135	
		Interquartile Range		0,035	
		Skewness		0,594	0,637
		Kurtosis		0,356	10,232
	Slot	Mean		0,08000	0,025447
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	0,02631	
			Upper Bound	0,13369	
		5% Trimmed Mean		0,05944	
		Median		0,05250	
		Variance		0,012	
		Std, Deviation		0,107962	
		Minimum		0,025	
		Maximum		0,505	
		Range		0,480	
		Interquartile Range		0,028	
		Skewness		40,002	0,536
		Kurtosis		160,535	10,038
	Zıt yönlü	Mean		0,08708	0,033814
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	0,01266	
			Upper Bound	0,16151	
		5% Trimmed Mean		0,07176	
		Median		0,05500	
		Variance		0,014	
		Std, Deviation		0,117134	
Minimum		0,000			
Maximum		0,450			
Range		0,450			
Interquartile Range		0,032			
Skewness		30,167	0,637		
Kurtosis		100,554	10,232		

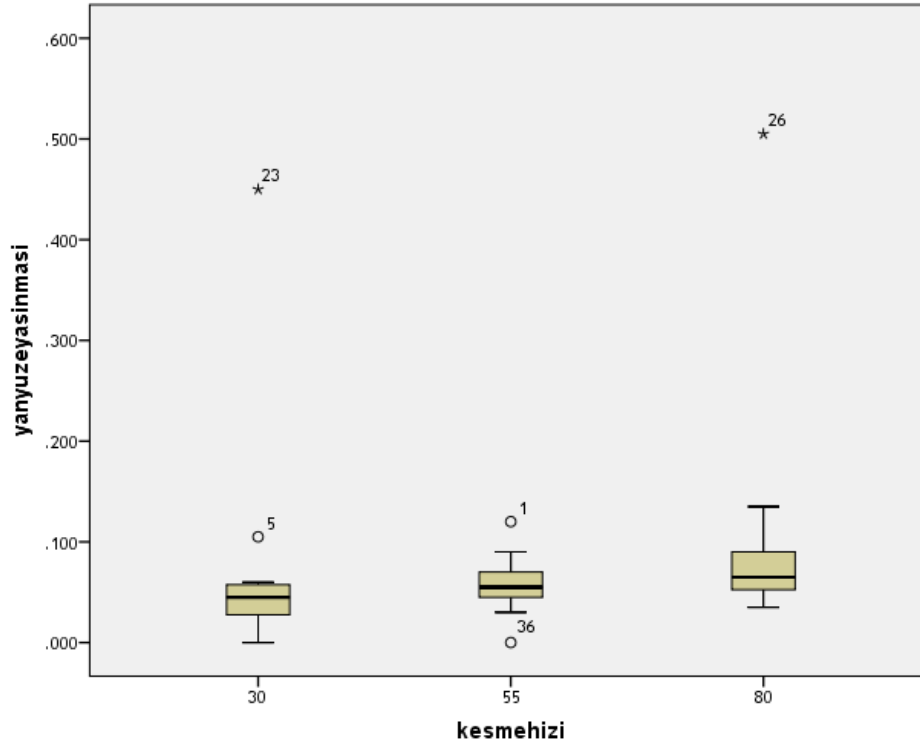
EK-2. Yan yüzey aşınmasının, frezeleme tipine göre değişimi gösteren grafik



EK-4. Kesme hızı ve yan yüzey aşınması arasındaki Kruskal-Wallis'in H testi

	Yan yüzey aşınması
Chi-Square	4,545
df	2
Asymp. Sig.	0,103

EK-5. Yan yüzey aşınmasının, kesme hızına göre değişimi gösteren grafik



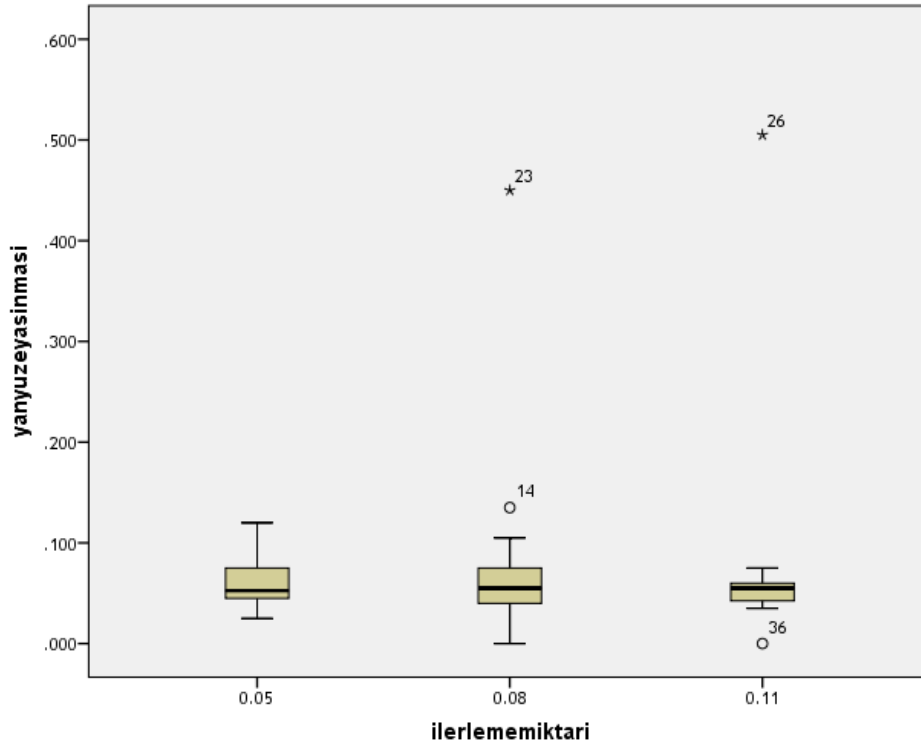
EK-6. İlerleme miktarı ve yan yüzey aşınması arasındaki Normallik testi

	İlerleme	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	miktarı	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Yan yüzey aşınması	0,05	0,197	12	0,200*	0,901	12	0,166
	0,08	0,294	18	0,000	0,563	18	0,000
	0,11	0,449	12	0,000	0,454	12	0,000
*. This is a lower bound of the true significance.							

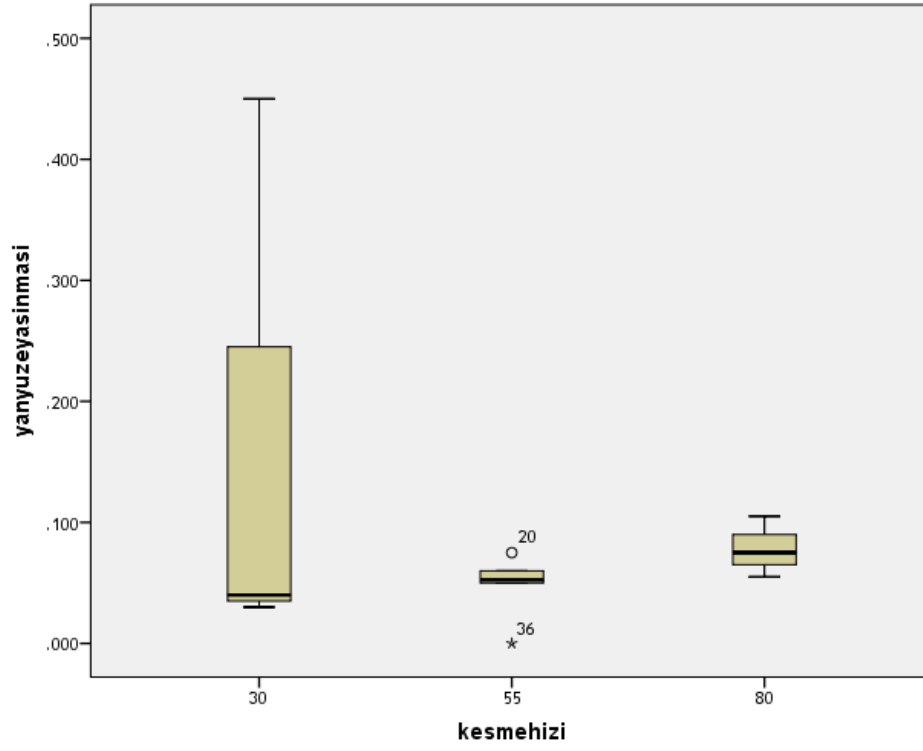
EK-7. İlerleme miktarı ve yan yüzey aşınması arasındaki Kruskal-Wallis'in H testi

Test Statistics ^{a,b}	
	Yan yüzey aşınması
Chi-Square	0,201
df	2
Asymp. Sig.	0,904

EK-8 Yan yüzey aşınmasının, İlerleme miktarına göre değişimi gösteren grafik



EK-9. Slot frezeleme tipi için kesme hızı ile yan yüzey aşınma arasındaki değişimi gösteren grafik



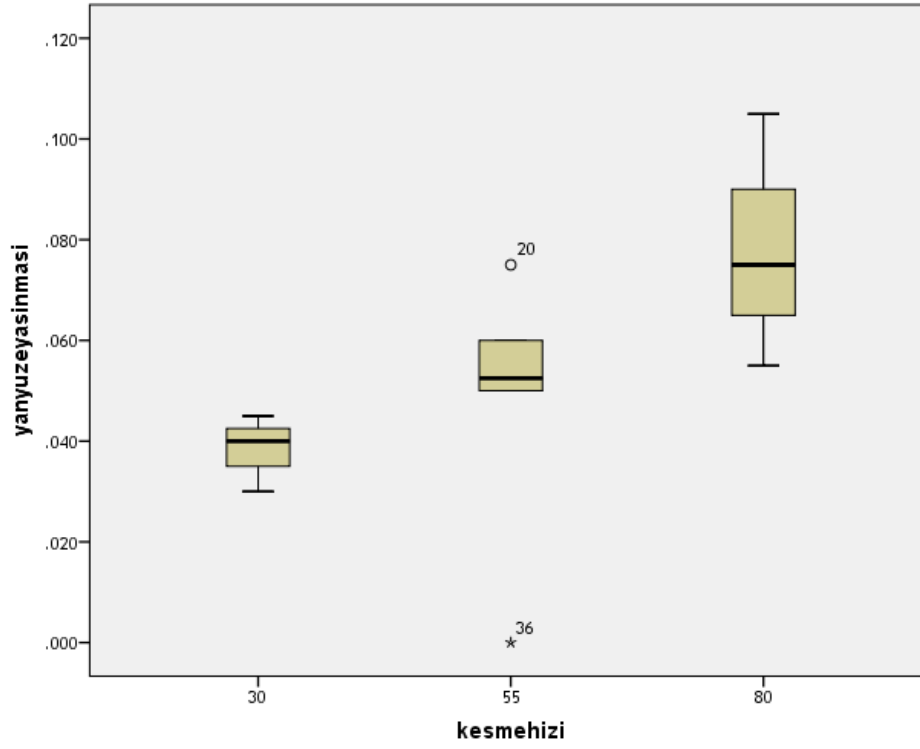
EK-11. Eş yönlü frezeleme tipi için yan yüzey aşınma miktarı ile kesme hızı arasındaki homojenlik testi

Test of Homogeneity of Variances			
Yan yüzey aşınması			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
0,632	2	9	0,554

EK-12. Eş yönlü frezeleme tipi için yan yüzey aşınma miktarı ile kesme hızı arasındaki ANOVA testi

ANOVA					
Yan yüzey aşınması					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0,003	2	0,001	2,632	0,126
Within Groups	0,005	9	0,001		
Total	0,007	11			

EK-13. Eş yönlü frezelemede yan yüzey aşınmasının kesme hızına göre değişimini gösteren grafik



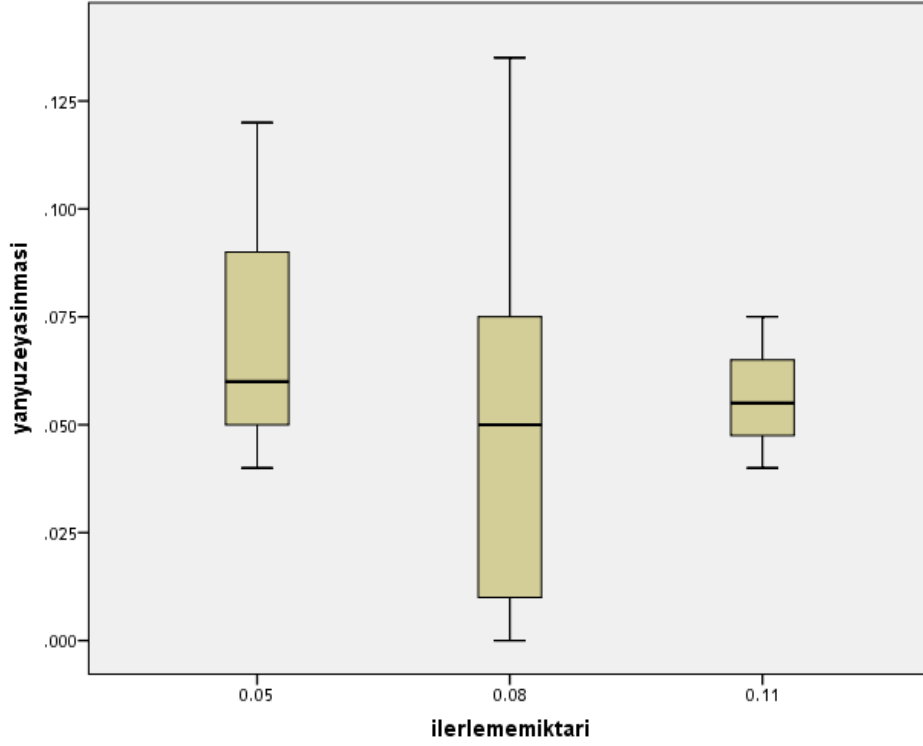
EK-15. Zıt yönlü frezeleme tipi için yan yüzey aşınma miktarı ile ilerleme miktarı arasındaki homojenlik testi

Test of Homogeneity of Variances			
Yan yüzey aşınması			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
0,905	2	9	0,439

EK-16. Zıt yönlü frezeleme tipi için yan yüzey aşınma miktarı ile ilerleme miktarı arasındaki ANOVA testi

ANOVA					
Yan yüzey aşınması					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0,001	2	0,000	0,232	0,798
Within Groups	0,016	9	0,002		
Total	0,017	11			

EK-17. Zıt yönlü frezelemede yan yüzey aşınmasının ilerleme miktarına göre değişimini gösteren grafik



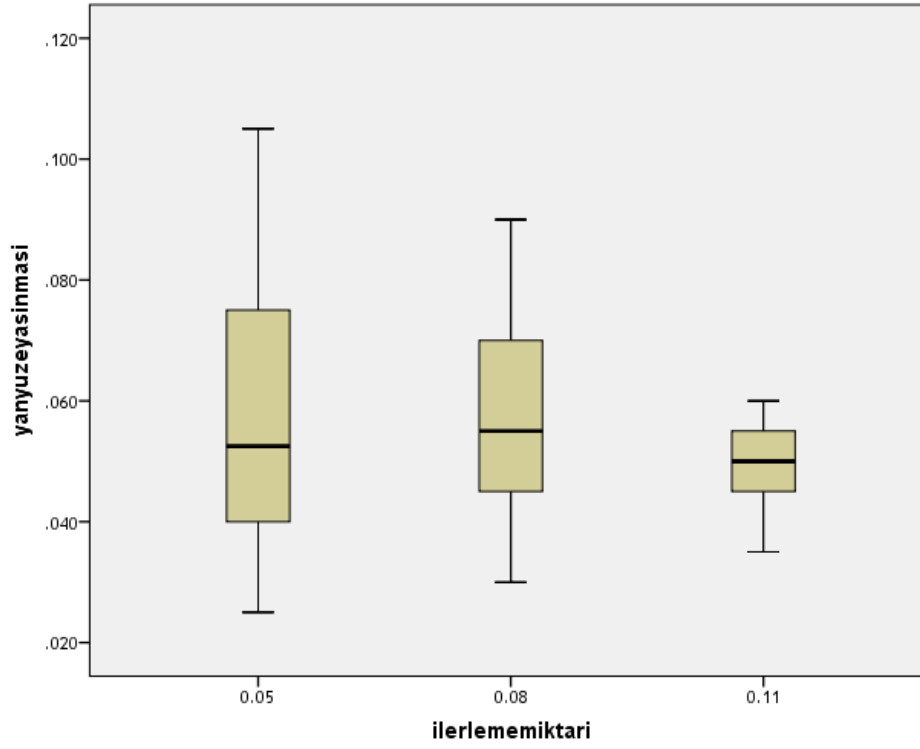
EK-19. Slot frezeleme tipi için yan yüzey aşınma miktarı ile ilerleme miktarı arasındaki homojenlik testi

Test of Homogeneity of Variances			
Yan yüzey aşınması			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,042	2	15	0,164

EK-20. Slot frezeleme tipi için yan yüzey aşınma miktarı ile ilerleme miktarı arasındaki ANOVA testi

ANOVA					
Yan yüzey aşınması					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0,000	2	0,000	0,351	0,710
Within Groups	0,007	15	0,000		
Total	0,007	17			

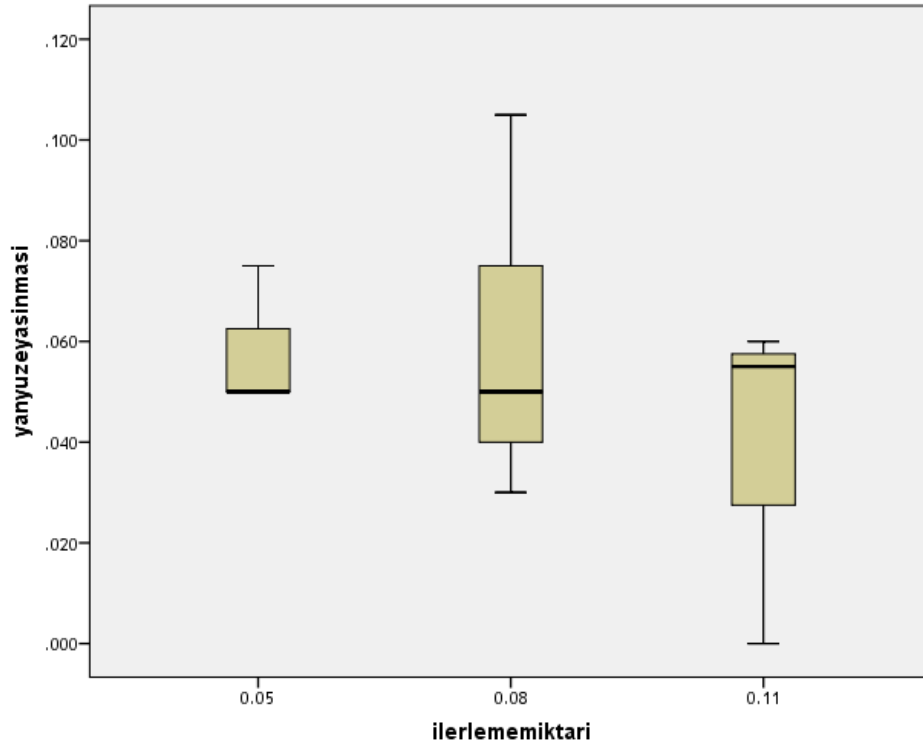
EK-21. Slot frezelemede yan yüzey aşınmasının ilerleme miktarına göre değişimini gösteren grafik



EK-23. Eş yönlü frezeleme tipi için yan yüzey aşınma miktarı ile ilerleme miktarı arasındaki Kruskal-Wallis'in H testi

Test Statistics ^{a,b}	
	Yan yüzey aşınması
Chi-Square	0,207
df	2
Asymp. Sig.	0,902
a. Kruskal Wallis Test	
b. Grouping Variable: ilerleme	

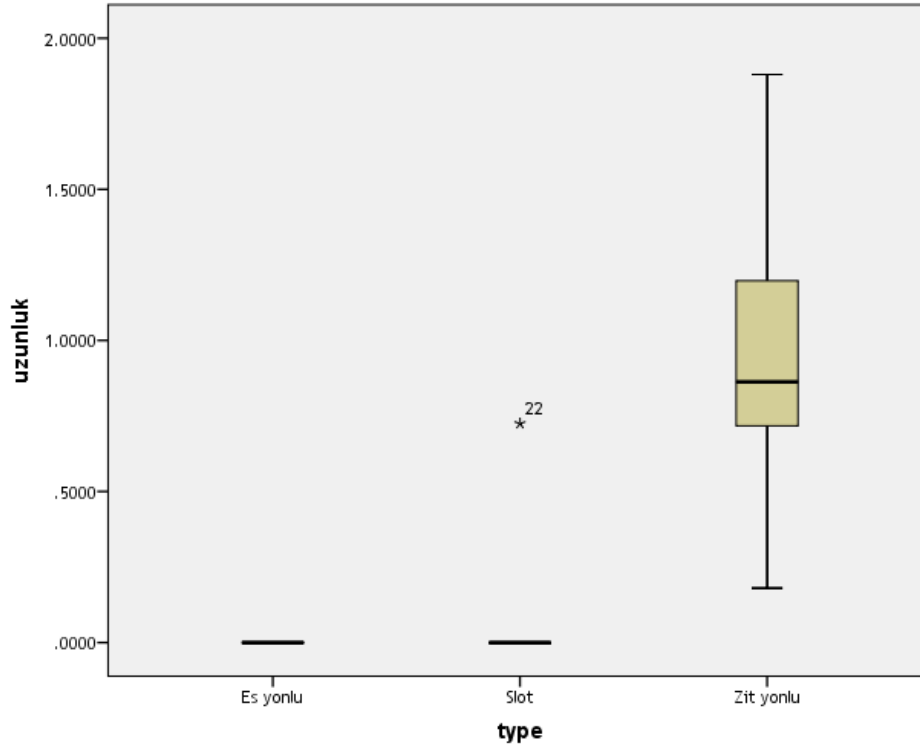
EK-24. Eş yönlü frezelemede yan yüzey aşınmasının ilerleme miktarına göre değişimini gösteren grafik



EK-26. Talaş çekilmesi (uzunluk) ile frezeleme tipi arasındaki Kruskal-Wallis'in H testi

Test Statistics ^{a,b}	
	uzunluk
Chi-Square	36,264
df	2
Asymp. Sig.	0,000
a. Kruskal Wallis Test	
b. Grouping Variable: type	

EK-27. Talaş çekilmesinde uzunluk miktarı ile frezeleme tipi arasındaki ilişkiyi gösteren grafik



EK-28. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinde uzunluk miktarı ile ilerleme miktarı arasındaki normallik testi

Tests of Normality							
	İlerleme	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	miktarı	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Uzunluk	0,05	0,300	3	0,0	0,913	3	0,430
	0,08	0,253	6	0,200*	0,946	6	0,706
	0,11	0,357	3	0,0	0,815	3	0,151
*. This is a lower bound of the true significance.							
a. Lilliefors Significance Correction							

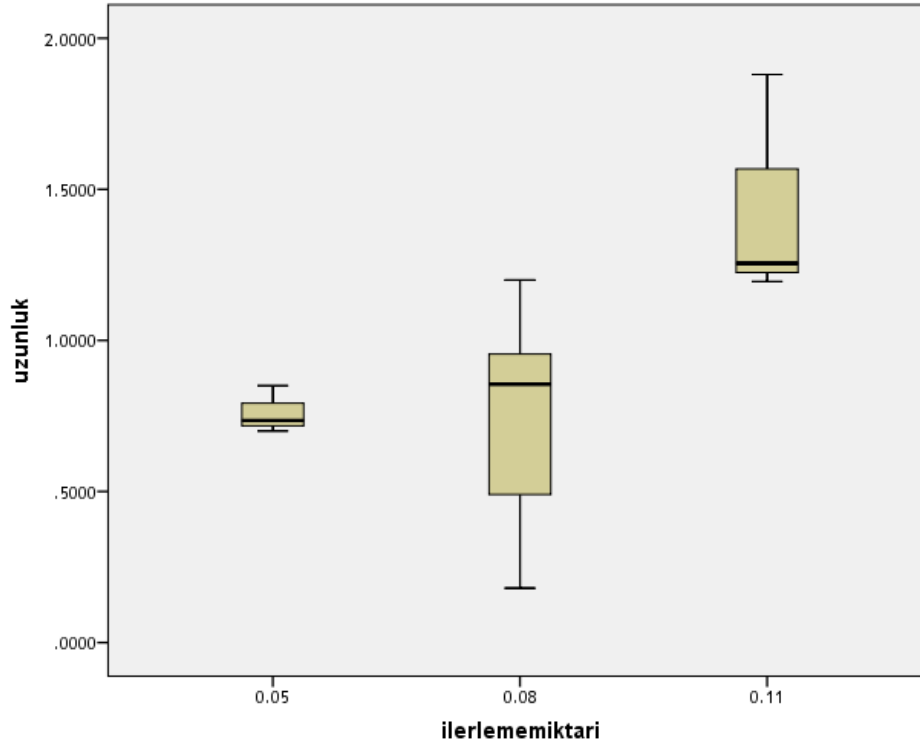
EK-29. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinde uzunluk miktarı ile ilerleme miktarı arasındaki homojenlik testi

Test of Homogeneity of Variances			
Uzunluk			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,308	2	9	0,155

EK-30. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinde uzunluk miktarı ile ilerleme miktarı arasındaki ANOVA testi

ANOVA					
Uzunluk					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,058	2	0,529	4,958	0,035
Within Groups	0,960	9	0,107		
Total	2,017	11			

EK-31. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinde uzunluk miktarı ile ilerleme miktarı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik



EK-33. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinin derinlik ile ilerleme miktarı arasındaki homojenlik testi

Test of Homogeneity of Variances			
Derinlik			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,604	2	9	0,254

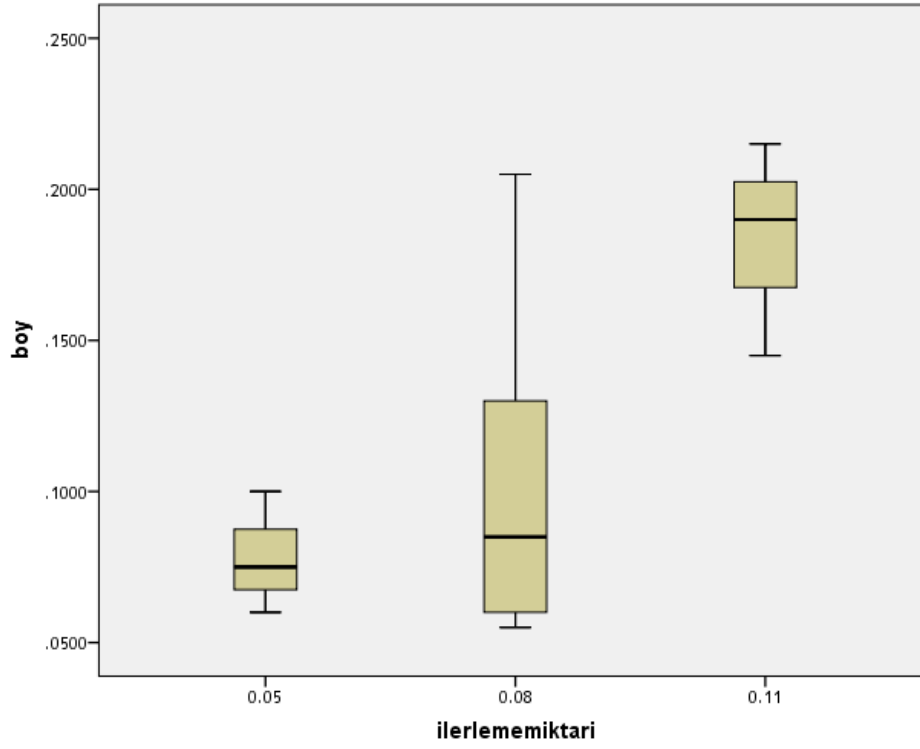
EK-34. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinin derinlik ile ilerleme miktarı arasındaki ANOVA tseti

ANOVA					
derinlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0,019	2	0,009	4,125	0,054
Within Groups	0,021	9	0,002		
Total	0,039	11			

EK-36. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinin derinlik ile ilerleme miktarı arasındaki 0.05 ve 0.11 ilerleme miktarı değerlerine sahip deneyler 0.08 değerine sahip olan deneyeler ile bir grupta yerleşmesinin çizelgesi

derinlik			
Tukey HSD			
İlerleme miktarı	N	Subset for alpha = 0,1	
		1	2
0,05	3	0,078333	
0,08	6	0,103333	0,103333
0,11	3		0,183333
Sig.		0,768	0,116
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.			
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.600.			
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.			

EK-37. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinde derinlik miktarı ile ilerleme miktarı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik



EK-38. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinde uzunluk ile kesme hızının arasındaki normallik testi

Tests of Normality							
	Kesme	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	hızı	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Uzunluk	30	0,267	3	0,0	0,951	3	0,575
	55	0,214	6	0,200*	0,877	6	0,255
	80	0,253	3	0,0	0,964	3	0,637

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

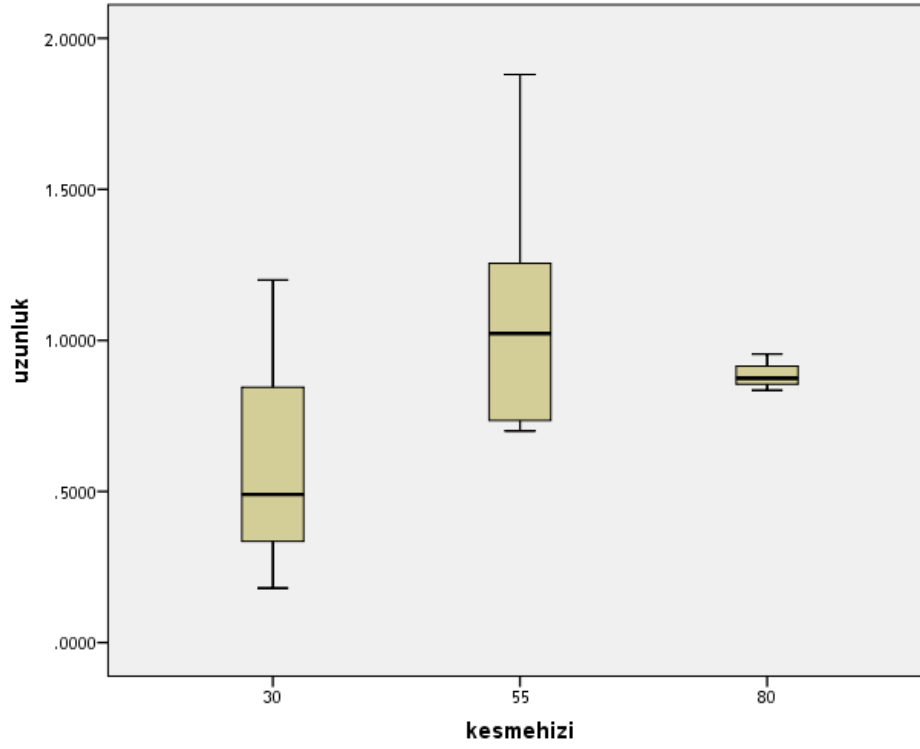
EK-39. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinde uzunluk ile kesme hızının arasındaki homojenlik testi

Test of Homogeneity of Variances			
Uzunluk			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,458	2	9	0,141

EK-40. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinde uzunluk ile kesme hızının arasındaki ANOVA testi

ANOVA					
uzunluk					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0,466	2	0,233	10,351	0,307
Within Groups	1,551	9	0,172		
Total	2,017	11			

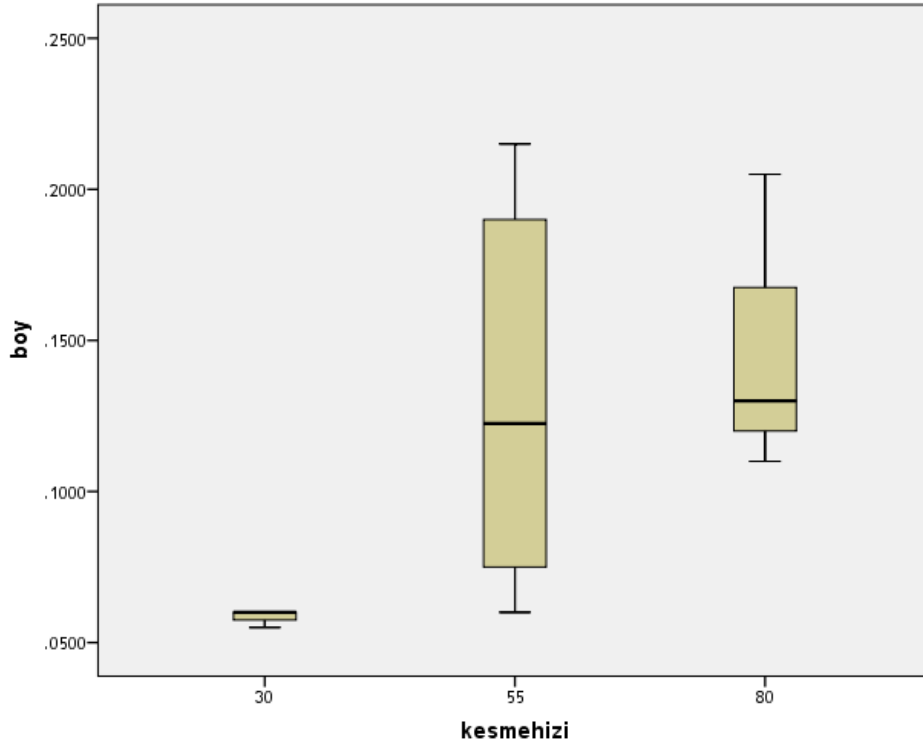
EK-41. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinde uzunluk ile kesme hızını arasındaki ilişkisini gösteren grafik



EK-43. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinin derinlik ile kesme hızının arasındaki Kruskal-Wallis'in H testi

Test Statistics ^{a,b}	
	derinlik
Chi-Square	5,630
df	2
Asymp. Sig.	0,060
a. Kruskal Wallis Test	
b. Grouping Variable: kesme hızı	

EK-44. Zıt yönlü frezeleme tipi için talaş çekiçlemesinde derinlik ile kesme hızını arasındaki ilişkisini gösteren grafik



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ATTARI MAMAGHANI, Sanaz
Uyruğu : İran
Doğum tarihi ve yeri : 19.09.1988, Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : (542) 202 41 36
e-mail : sanazattari.mamaghani@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makina Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Kar Üniversitesi / Makina Mühendisliği	2009
Lise	Atharan	2005

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Sanaz Attari, Yusuf Usta, *Investigation on type of wear on PVD coated inserts used on up and down milling*. International conference on applied mechanics, production and nanotechnology (AMPN'2015), Sept. 4-5, 2015 at Istanbul, Turkey.

Hobiler

Okuma, Gitar, Dans



GAZİ GELECEKTİR..