

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Muzaffer Tacettin KÜLLAÇ tarafından hazırlanan**

**TORNALAMA İŞLEMLERİNDE GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ KULLANILARAK
TAKIM ÖMRÜNÜN İZLENMESİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21 / 05 / 2019 gün ve 1805 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Adnan ÇALIK

Üye : Prof. Dr. Olkan ÇUVALCI

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sabri DUMAN



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Tornalama işlemlerinde takım ömrünün belirlenebilmesi takım değiştirme zamanının optimize edilerek işlem verimliliğinin artırılması açısından önemlidir. Ömrünü tamamlamadan değiştirilen bir takım işlem süresini gereksiz yere uzatacak ve takımdan tam verim alınmadığı için takım masraflarını arttıracaktır. Ömrünü tamamlamaya yaklaşan veya tamamlayan bir takım ise zamanında değiştirilmediği takdirde kırılarak veya bozularak işlenen parçanın bozulmasına ve hatta işlem tezgahının hasara uğramasına sebep olabilmektedir. Bu tez çalışmasında takım ömrünün görüntü işleme yöntemleri kullanılarak takip edilebilmesi üzerine çalışılmıştır.

Çalışmalarım sırasında bilgisi ve tecrübesi ile bana her konuda destek olan sayın danışman hocam Prof. Dr. Olkan ÇUVALCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deneysel çalışmalarında benden yardımlarını esirgemeyen Trabzon Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi öğretim elemanlarına içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Muzaffer Tacettin KÜLLAÇ
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Tornalama İşlemlerinde Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Takım Ömrünün İzlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Olkan ÇUVALCI'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
12.06.2019

Muzaffer Tacettin KÜLLAÇ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER VE KISILTMALAR DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Tornalamaya Genel Bakış	1
1.1.1. Tornalamanın Kısa Tarihi ve Tornalama Tezgahları.....	2
1.1.2. Tornalamada Genel Parametreler ve İşlem Türleri.....	5
1.2. Tornalama İşlemlerinde Talaş Oluşumu ve Talaş Kaldırma Mekanikleri	7
1.3. Tornalama İşlemlerinde Kullanılan Kesici Takımlar	15
1.3.1. Kesici Takım Geometrisi ve Terminolojisi	18
1.4. Tornalama İşlemlerinde Takım Aşınması	21
1.4.1. Aşınma Tipleri	22
1.5. Tornalama İşlemlerinde Takım Ömrü.....	24
1.5.1. Tornalama İşlemlerinde Takım Ömrünün İzlenmesi	32
1.5.2. Görüntü İşleme Teknikleri ile Takım Ömrünün İzlenmesi	42
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	2
2.1. Deney Düzenegi.....	48
2.1.1. Takım Aşınmasının Ölçülmesi	49
2.1.2. İşlenmiş Yüzeyin Fotoğraflanması	51
2.2. Yüzey Fotoğraflarına Uygulanan Görüntü İşleme Yöntemleri ve Analizler	52
2.3. Deneylerin Yapılışı	56
3. BULGULAR VE İRDELEME	48
3.1. Aşınma	48
3.2. Aşınmanın Görüntü Parametreleri ile Karşılaştırılması	62

4.	SONUÇLAR	60
5.	ÖNERİLER.....	80
6.	KAYNAKLAR.....	80

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TORNALAMA İŞLEMLERİNDE GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ
KULLANILARAK TAKIM ÖMRÜNÜN İZLENMESİ

Muzaffer Tacettin KÜLLAÇ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Olkan ÇUVALCI
2019, 90 Sayfa

Bu tez çalışmasında tornalama işlemlerinde takım ömrünün belirlenebilmesi ve takım değiştirme zamanının optimize edilerek işlem verimliliğinin artırılması ile ilgili görüntü işleme teknikleri kullanılarak takım aşınmasının izlenebilirliği üzerine çalışmalar yapılmıştır. İşlenmiş yüzeylerden alınan görüntülerin Fourier dönüşümlerinden elde edilen parametrelerin zamana göre değişimleri takım aşınmasının zamana göre değişimi ile büyük oranda paralellik göstermiştir. Kesme parametrelerinin değiştirilmesi ile takım aşınma ilerlemesindeki eksponansiyel değişim, işlenmiş yüzey görüntülerinin Fourier dönüşümlerinden elde edilen parametrelerde de benzer oranda gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, işlenen yüzeylerden alınan görüntülerden çıkarılan parametreler ile takım aşınmasının dolayısı ile takım ömrünün takip edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Takım aşınması, Takım ömrü izleme, Görüntü İşleme

Master Thesis

SUMMARY

TOOL LIFE MONITORING IN TURNING OPERATIONS BY USING IMAGE
PROCESSING

Muzaffer Tacettin KÜLLAÇ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Olkan ÇUVALCI
2019, 90 Pages

In this thesis, studies on monitoring of tool wear by using image processing techniques related to determination of tool life in turning operations and optimizing tool change time and increasing process efficiency were carried out. Time-dependent changes of the parameters obtained from Fourier Transforms of the images taken from the machined surfaces showed a large degree of parallelism with the change of tool wear over time. By changing the cutting parameters, the exponential change in tool wear progression was observed at the similar rate in the parameters obtained from Fourier Transforms of the machined surface images. In the light of the obtained results, it was concluded that the tool life can be monitored due to the parameters obtained from the images taken from the processed surfaces.

Key Words: Tool wear, Tool life monitoring, Image Processing

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Isıl işlem görmüş yüksek sertlikte bir parçanın tormalanması	1
Şekil 2.	M.Ö. 300 yılına ait Antik Mısır duvar resimlerinde tormalama	2
Şekil 3.	H. Maudslay'in diş açma tezgahı	3
Şekil 4.	Modern bir CNC tormalama tezgahı	4
Şekil 5.	Tormalama işleminde genel parametreler	5
Şekil 6.	Tornalamada işlem türleri	6
Şekil 7.	Talaş kaldırma modelleri (a) Ortogonal Kesme (b) Oblik Kesme.	7
Şekil 8.	Talaşlı imalat işleminde deformasyon bölgeleri	8
Şekil 9.	Oblik ve Ortogonal kesmede kuvvetler.	9
Şekil 10.	Tornalamada aksenal ve radyal kuvvetler.....	10
Şekil 11.	Talaşı stabil mekanik dengede tutan kuvvet sistemi.	11
Şekil 12.	Takım ucuna yerleştirilmiş kuvvetler ve Merchant Dairesi.....	12
Şekil 13.	Talaş kalınlıkları ve kayma açısının geometrik ilişkisi	13
Şekil 14.	Oluşuma göre talaş türleri; (a)Süreksiz (b)Sürekli (c)Sıvanmalı.	14
Şekil 15.	Tormalama işlemlerinde kullanılan değiştirilebilir kesici uçlar.....	16
Şekil 16.	Çeşitli kesici takım malzemelerinin sertlik-tokluk karşılaştırması	17
Şekil 17.	Tornalamada kesici takım açıları	18
Şekil 18.	Uç yarıçapı yüzey pürüzlülüğü ilişkisi.	19
Şekil 19.	Değiştirilebilir kesici uç ve takım tutucu.....	20
Şekil 20.	“ISO 1832 Değiştirilebilir uçlar” kodlama sistemi	20
Şekil 21.	Kesici takım tutucuları kodlama sistemi.....	21
Şekil 22.	Tormalama işlemlerinde en sık karşılaşılan aşınma tipleri.....	22
Şekil 23.	Krater aşınması.....	23
Şekil 24.	Serbest yüzey aşınması.....	23
Şekil 25.	Serbest yüzey aşınmasının zamana karşı ilerlemesi.....	25
Şekil 26.	Değişen kesme hızlarında yüzey aşınmasının ilerlemesi.....	26
Şekil 27.	Tormalama kesici uçlarında bazı aşınma tipleri.....	27
Şekil 28.	Takım ömrü - Kesme hızı ilişkisi	28
Şekil 29.	Eşdeğer talaş kalınlığı.....	31

Şekil 30.	Çeşitli dolaylı yoldan ölçüm teçhizatlarının şematik görünümü.....	36
Şekil 31.	Çeşitli dinamometreler	37
Şekil 32.	Bir tornalama işleminde akustik emisyon kaynakları.....	39
Şekil 33.	Dijital bir görüntü ve piksel	42
Şekil 34.	3x3 Çözünürlükte 8bit renkli bir görüntü ve renk kanalları.....	43
Şekil 35.	3x3 Çözünürlükte 8bit-renkli bir görüntünün gri skalaya çevrilmesi	44
Şekil 36.	Gri skalada bir görüntünün iki boyutlu bir fonksiyon olarak tasviri.....	44
Şekil 37.	Görüntü işleme uygulamalarında konvolüsyonun görsel anlatımı.....	45
Şekil 38.	STJCR 25x25 takım tutucu ve TCMT 16T0308 kesici uç	2
Şekil 39.	CNC tezgahın işlem alanı	48
Şekil 40.	Deney düzeneği	48
Şekil 41.	Deney düzeneği tezgah işleme alanı.....	49
Şekil 42.	Taret üzerindeki kesici takıma takılan fotoğrafçılık aparatı.....	49
Şekil 43.	Ölçekli fotoğrafın hazırlanması.....	50
Şekil 44.	Kalibrasyon cetvellerinin mikroskop altında karşılaştırılması.....	50
Şekil 45.	ImageJ yazılımında kalibrasyon ve ölçüm.....	51
Şekil 46.	Taret üzerine takılan yüzey fotoğrafçılık aparatı.....	51
Şekil 47.	Yüzey fotoğrafçılığında kullanılan ışıklandırma.....	52
Şekil 48.	Yüzey fotoğraflardan işlem ve analizler için kesilen kısım.....	53
Şekil 49.	Orjinal gri görüntü (Sol) Gauss filtresi uygulanmış görüntü (Sağ).....	53
Şekil 50.	Keskinleştirilmiş görüntü ve keskinleştirme için kullanılan maske.....	54
Şekil 51.	Fourier dönüşümü alınmış bir görüntü	55
Şekil 52.	Deneylerde kullanılan çelik kütükler.....	56
Şekil 53.	Deney 1-5, değişen kesme hızlarında aşınma grafikleri.....	60
Şekil 54.	Deney 3,8 ve 9, değişen ilerleme değerlerinde aşınma	60
Şekil 55.	Deney 3 ve 10, artan kesme derinliğinde aşınma grafikleri.....	61
Şekil 56.	Tekrarlanan deneylerde aşınma grafikleri	61
Şekil 57.	Deney 1, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	62
Şekil 58.	Deney 2, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	63
Şekil 59.	Deney 3, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	63
Şekil 60.	Deney 4, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	64
Şekil 61.	Deney 5, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	64
Şekil 62.	Deney 6, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	65

Şekil 63.	Deney 7, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	65
Şekil 64.	Deney 1, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	66
Şekil 65.	Deney 2, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	66
Şekil 66.	Deney 3, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	67
Şekil 67.	Deney 4, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	67
Şekil 68.	Deney 5, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	68
Şekil 69.	Deney 6, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	68
Şekil 70.	Deney 7, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	69
Şekil 71.	Deney 1, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	69
Şekil 72.	Deney 2, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	70
Şekil 73.	Deney 3, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	70
Şekil 74.	Deney 4, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	71
Şekil 75.	Deney 5, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	71
Şekil 76.	Deney 6, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	72
Şekil 77.	Deney 7, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	72
Şekil 78.	Deney 8, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	73
Şekil 79.	Deney 9, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	73
Şekil 80.	Deney 8, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	74
Şekil 81.	Deney 9, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	74
Şekil 82.	Deney 8, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	75
Şekil 83.	Deney 9, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	75
Şekil 84.	Deney 3, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	76
Şekil 85.	Deney 10, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	76
Şekil 86.	Deney 3, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	77
Şekil 87.	Deney 10, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	77
Şekil 88.	Deney 3, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	78
Şekil 89.	Deney 10, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması	78
Şekil 90.	Değişen kesme hızı ile aşınma ve A değerlerinin değişimleri	60
Şekil 91.	Değişen kesme hızı ile aşınma ve A_f değerlerinin değişimleri	60
Şekil 92.	Değişen kesme hızı ile aşınma ve A_p değerlerinin değişimleri	80
Şekil 93.	Değişen ilerleme ile aşınma ve A değerinin dinamik değişimleri	80
Şekil 94.	Değişen ilerleme ile aşınma ve A_f değerinin dinamik değişimleri	81
Şekil 95.	Değişen ilerleme ile aşınma ve A_p değerinin dinamik değişimleri	81

Şekil 96.	Değişen kesme derinliği ile aşınma ve A değerinin değişimleri.....	82
Şekil 97.	Değişen kesme derinliği ile aşınma ve A_f değerinin değişimleri.....	82
Şekil 98.	Değişen kesme derinliği ile aşınma ve A_p değerinin değişimleri.....	83



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. TSE ve ISO Standartlarına Göre Takım Ömür Kriterleri	26
Tablo 2. GLS-200 model CNC tezgahına ait teknik özellikler.....	46
Tablo 3. Deneylerde kullanılan çeliğin standart gösterimleri ve kimyasal içeriği	56
Tablo 4. Deney numaraları ve deneylere ait parametreler.....	56
Tablo 5. Deneylere ait paso bilgileri.....	57



SEMBOLLER DİZİNİ VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_0	:	Kesilmemiş talaşın yüzey alanı
A_c	:	Kesilen talaşın yüzey alanı
C	:	Takım ömrü denklem sabiti
D_1	:	İşlenmemiş çap
D_2	:	İşlenmiş çap
D	:	Kesme derinliği
F	:	Talaş-Takım sürtünme kuvveti
F_C	:	Teğet Kesme Kuvveti
F_S	:	Kesme Kuvveti (kesme Düzlemi)
F_T	:	Eksenel Kesme Kuvveti
f	:	İlerleme
f_r	:	İlerleme oranı
k	:	Kesme oranı
N	:	Devir
N_f	:	Takımdan Talaşa etkiyen normal kuvvet
R	:	Talaşa etkiyen bileşke kuvvet (Takım yönünde)
R'	:	Talaşa etkiyen bileşke kuvvet (İş Parçası yönünde)
R	:	Uç radyüsü
q	:	Eşdeğer talaş kalınlığı
T	:	Takım ömrü
t_1	:	Kesilmemiş talaş kalınlığı
t_2	:	Kesilen talaş kalınlığı
V	:	Kesme Hızı
α	:	Talaş Açısı
θ	:	Kesme Kenar Sıcaklığı
σ	:	Basma Gerilmesi
T	:	Sürtünme Açısı
τ	:	Kesme Gerilmesi
φ	:	Kayma açısı
ψ	:	Kesme kenar açısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Tornalamaya Genel Bakış

Tornalama işlemlerinin endüstrideki yeri çok önemlidir. Miller, akslar, pernolar, başta olmak üzere çeşitli makine elemanlarının imalatı sırasında tornalama işlemlerine sıkça başvurulmaktadır. Tornalama işlemi; döndürülen bir iş parçasına kesici bir takım yardımıyla şekli verme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Tornalama çoğunlukla silindirik parçaların imalatı ve işlenmesi için kullanılıyor olsa da bazı silindirik olmayan parçalar da döndürülerek tornalama yöntemi ile işlenebilmektedir.

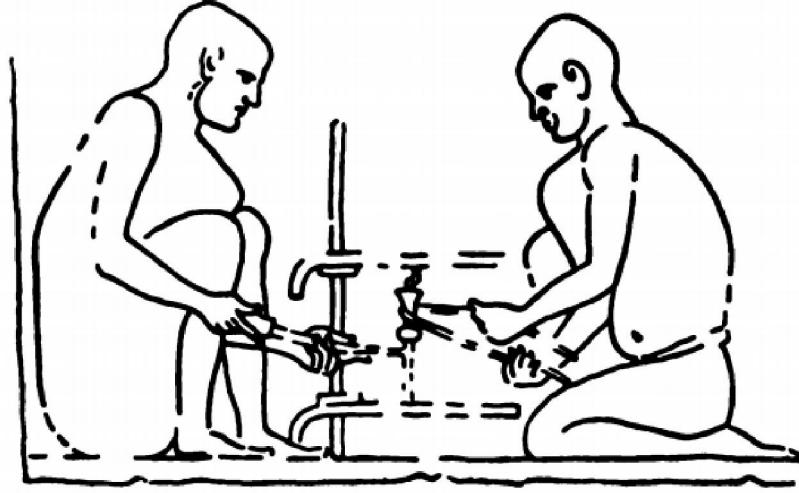
Günümüzde tornalama teknolojisi üzerine yapılan çalışmalar ve araştırmalar git gide artmaktadır. Bu tez çalışmasının da konusu olan “takım ömrü” üzerine yapılan çalışmaların yanı sıra; sert malzemelerin tornalanması (Şekil 1), yüksek hızda tornalama, aşırı hassas tornalama, kesme sıvısı kullanmadan tornalama, kriyojenik (mutlak sıfıra yakın) tornalama, kompozit malzemelerin tornalanması gibi birçok araştırma konusu bulunmaktadır. Asırlar önce tahta malzemelerin işlenmesi için kullanılan bir yöntemin günümüzde ulaştığı nokta hayranlık uyandırıcıdır.



Şekil 1. Isıl işlem görmüş yüksek sertlikte bir parçanın tornalanması

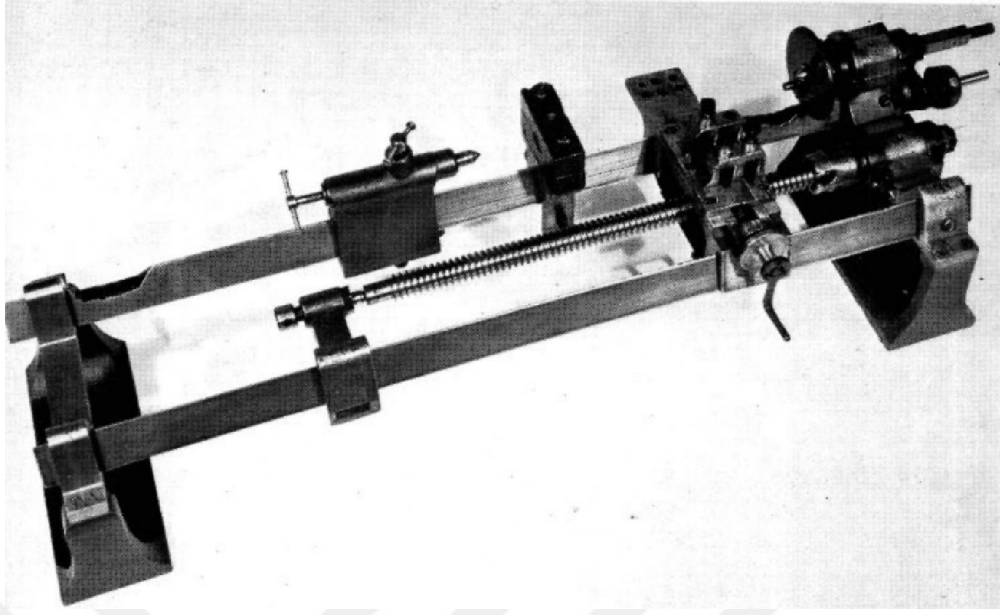
1.1.1. Tornalamanın Kısa Tarihi ve Tornalama Tezgahları

Döndürülen bir iş parçasına kesici bir takım yardımıyla şekil vermek insanlığın asırlardır kullandığı bir imalat yöntemidir. Tornalanarak yapılmış olduğu bilinen en eski parça M.Ö.7. yüzyıla ait olan tahta bir kasedir. Kasenin sahip olduğu düzgün dairesel simetri ve kase üzerindeki, kesici takıma ait ilerleme izleri kasenin tornalanarak üretildiği kanaatine varılmasına sebep olmuştur. Tornalama yöntemine dair yazılı bir anlatıma ise ilk defa Antik Mısır duvar resimlerinde rastlanmıştır. Bulunan en eski duvar resmi M.Ö. 3. yüzyıla ait olup, resimde iki insan, tahta olması muhtemel bir malzemeyi tornalarken betimlenmiştir (Şekil 2). Milattan sonra 18. yüzyıla kadar olan dönemde tornalama işlemi daha çok tahta malzemelerin tornalanması için kullanılsa da, özellikle endüstri devrimi ve sonrasında tornalama işlemi metal malzemelerin talaşlı imalatı için önemli bir imalat yöntemi olmuştur [1, 2].



Şekil 2. M.Ö. 300 yılına ait Antik Mısır duvar resimlerinde tornalama [1].

Tornalama teknolojisindeki gelişmeler endüstri devrimindeki büyük teknolojik atılımlarda önemli rol oynamışlardır. James Watt'ın buhar motorunun ticari başarısının altında John Wilkinson'ın geliştirdiği çift yataklı iç çap tornalama tezgahı yatmaktadır. Henry Maudslay'ın 19. yüzyılın başlarında geliştirdiği diş açma tezgahı (Şekil 2) ise endüstriyel anlamda standart civata üretimini mümkün kılarak değiştirilebilir parça kavramının gelişmesine katkı sağlamıştır [2, 3].



Şekil 3. H. Maudslay'in diş açma tezgahı [3]

Torna tezgahlarında hareket, buhar motorunun icadına kadar olan dönemde; insan, hayvan veya doğal kaynaklar (su ve rüzgar değirmenleri) yoluyla sağlanıyordu. Buhar motorunun imalathanelerde yerini almasıyla beraber tüm takım tezgahları gibi tornalama tezgahları da bu muazzam gelişmeden faydalanmaya başlamış, artan güç kapasitesiyle beraber üretim ve kalite de katlanarak artmaya başlamıştır.

Yirminci yüzyıla gelindiğinde ise elektrik motorlarının tezgahlara entegre edilmesiyle beraber günümüzde de kullanılan geleneksel tornalama tezgahları şekillenmeye başlamıştır.

1.1.1.1. Tornalama Tezgahlarında Otomasyon ve CNC Tezgahlar

Henry Maudslay'in 19. yüzyılın başlarında geliştirdiği diş açma tezgahı, devir ve ilerlemeyi senkronize etmesi ile torna tezgahlarının otomasyona geçişinin ilk adımını oluşturur. Thomas Blanchard'ın 1818'de geliştirdiği profil kopyalama tezgahı ile de kam sistemleri tornalama tezgahlarında otomasyon amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Torna tezgahlarının otomasyonu konusunda en büyük adım ise sayısal kontrol (ing. Numerical Control - NC) yönteminin bu tezgahlarda kullanılmaya başlanmasıyla atılmıştır. Makinelerin sayısal girdi ile programlanarak kullanılması olarak da tanımlanabilecek sayısal kontrol kavramı ilk defa 19. yüzyılda tekstil makinelerinin

delikli kartlar ile programlanarak kontrol edilmesi ile ortaya çıkmıştır. Servo motorlara sahip ilk sayısal kontrollü torna tezgahı 1950 yılında Amerikan Arma firması tarafından üretilmiştir. Delikli şeritlerle programlanan tezgahın kontrol ünitesi yüzlerce vakum tüpü transistörden oluşan elektronik bir sistemdir ve boyut olarak neredeyse tezgahın kendisine yaklaşmaktadır. İlerleyen zamanlarda, mikro işlemcilerin icadı ve geliştirilmesiyle beraber ortaya çıkan bilgisayarlar, takım tezgahlardaki devasa elektronik devrelerin yerini almış ve takım tezgahlarında bilgisayarlı sayısal kontrol (ing. Computer Numerical Control- CNC) dönemini başlatmışlardır [4-6].

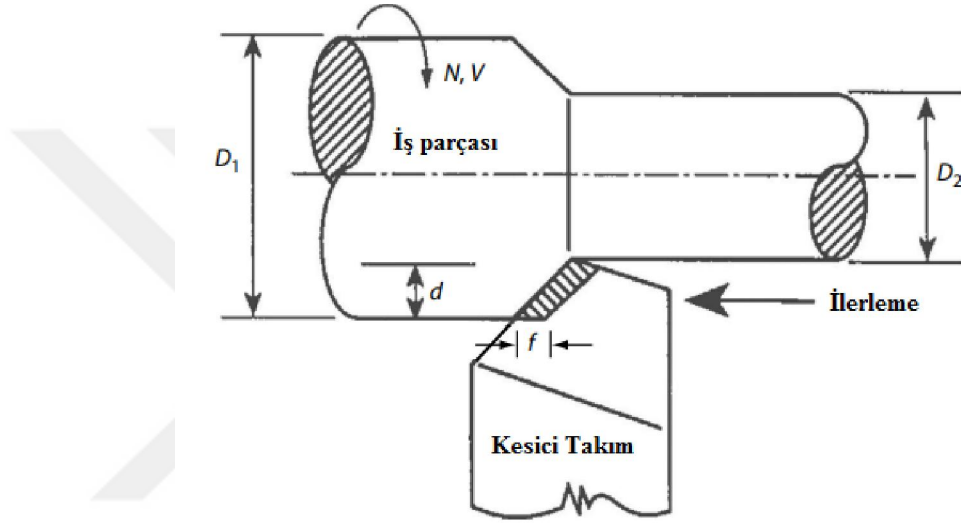
Hızlı ve kaliteli üretim kapasiteleri, tasarımdan imalata olan süreci kolaylaştırmaları, daha esnek parametreler ile çalışmaya izin vermeleri gibi üst düzey özellikleri ile CNC tornalama tezgahları günümüz endüstrisinde geleneksel tornalama tezgahlarının yerini hızla almaktadırlar. CNC takım tezgahları pazarı üzerine yayınlanmış 2018 tarihli bir raporda, CNC takım tezgahlarının 2016 yılı pazar hacminin 56 milyar amerikan doları olduğu ve bunun yaklaşık dörtte birinin CNC tornalama tezgahlarına ait olduğu belirtilmiştir [7].



Şekil 4. Modern bir CNC tornalama tezgahı

1.1.2. Tornalamada Genel Parametreler ve İşlem Türleri

Tornalama işlemlerinde iş parçasına şekil vermek, iş parçası ve takımın izafi hareketi ile mümkün olmaktadır. Belirlenen bir devirde (N) döndürülen iş parçasına belirlenen bir ilerleme (f) ile yaklaştırılan takım sayesinde işlem gerçekleştirilmektedir (Şekil 5). Kesici takımın hareketi iş parçasının döndürme eksenine paralel ve dik olabileceği gibi ikisinin birleşimi şeklinde de olabilmektedir.



Şekil 5. Tornalama işleminde genel parametreler [8].

Takım geometrisine ek olarak, bir tornalama işleminde genel parametreler; kesme hızı (V), ilerleme (f) ve kesme derinliği (d)'dir. Kesme hızı, kesici takımın iş parçası çapı etrafındaki izafi hızını ifade etmektedir. Parçanın; döndürülme devrine (N), işlenmiş ve işlenmemiş çaplarına (D₂ ve D₁) bağlı olan kesme hızı aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$V = \pi N \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (1)$$

İlerleme, iş parçasının her bir dönüşüne tekabül eden, mm cinsinden ilerleme miktarı (mm/devir) olarak ifade edilir. İlerleme ile ilgili bir başka parametre ise

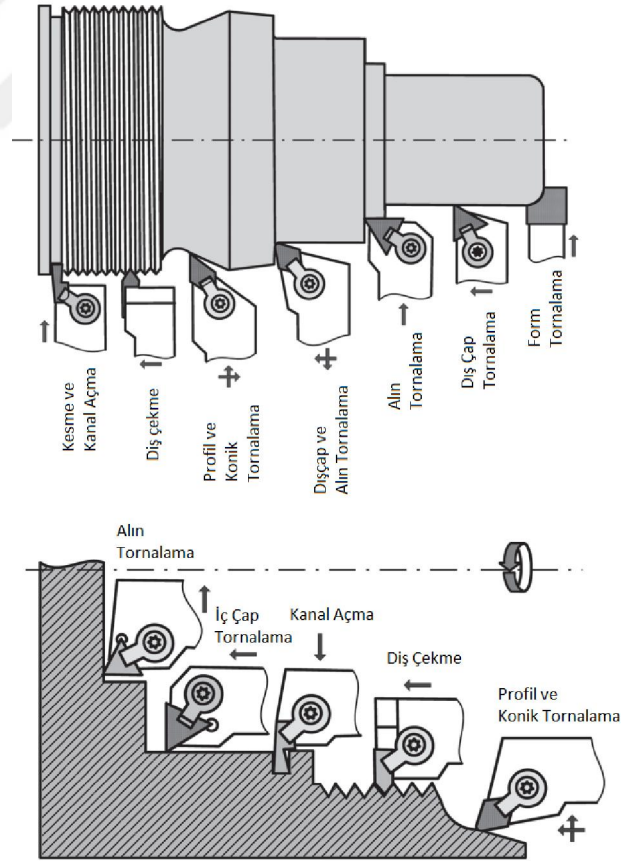
ilerleme oranıdır (f_r) . İlerleme oranının birimi mm/dk'dır ve aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$f_r = fN \quad (2)$$

Kesme derinliği, iş parçası yüzeyinden bir pasoda kaldırılan malzeme kalınlığıdır ve aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$d = \frac{D_1 - D_2}{2} \quad (3)$$

Tornalama işlemi kendi içerisinde; iç çap tornalama ve dış çap tornalama olarak ikiye ayrılmakta, her iki işlem ise işlem sırasında oluşturulan geometri ve şekiller itibariyle sınıflara ayrılmaktadır. Tornalamada işlem çeşitleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

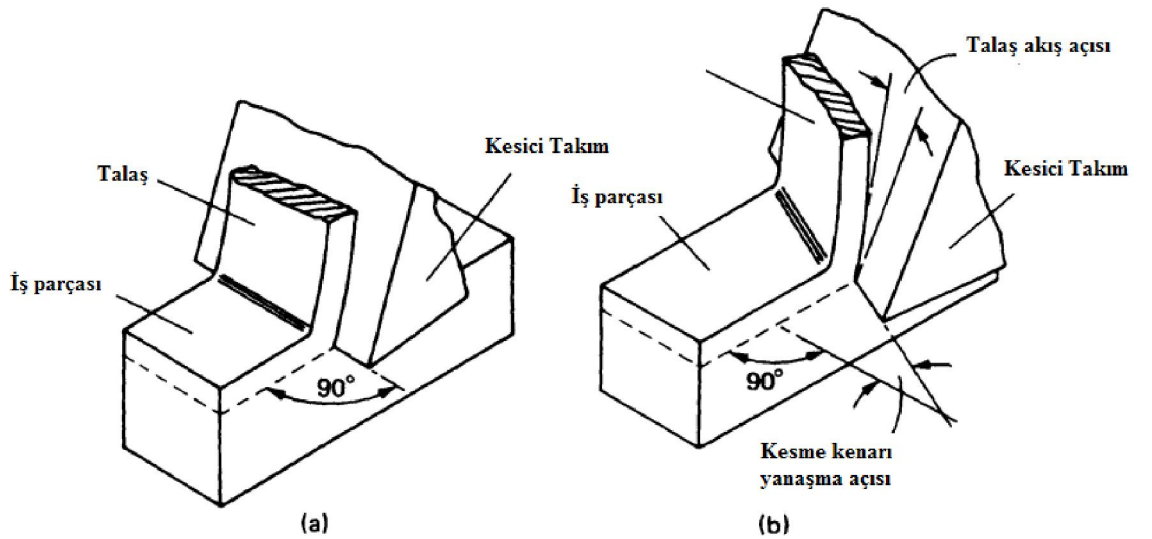


Şekil 6. Tornalamada işlem türleri [9].

1.2. Tornalama İşlemlerinde Talaş Oluşumu ve Talaş Kaldırma Mekanikleri

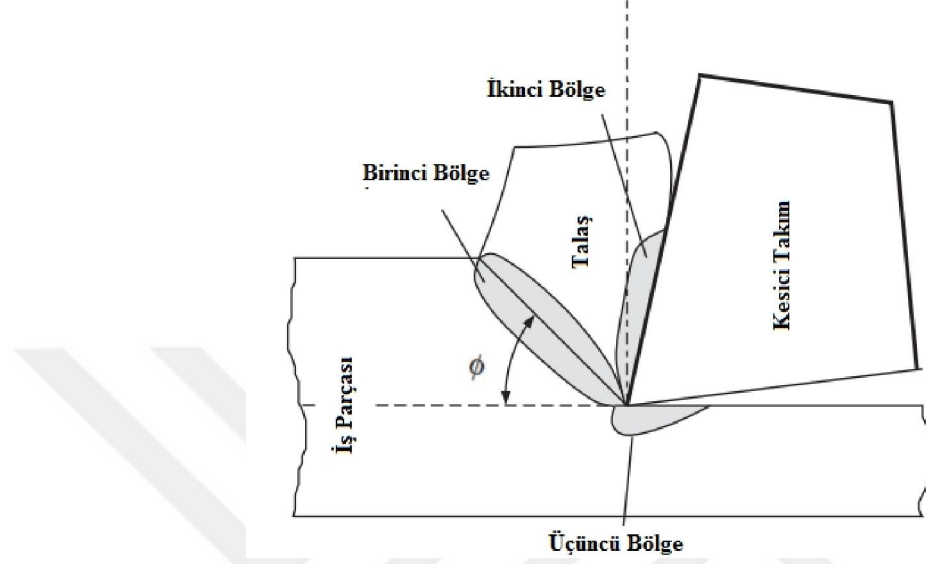
Diğer tüm talaşlı imalat yöntemlerinde olduğu gibi tornalama işlemlerinde de genel prensip; iş parçasından daha sert bir kesici takım yardımıyla talaş kaldırarak iş parçasına istenilen şekli vermektir. Talaş kaldırma mekaniklerinin ve talaş oluşumunun detaylı olarak araştırılmaya başlanması 19. yüzyılın sonlarına doğru olmuştur. İlk önceleri metallerdeki talaş kaldırma olayının da tahta malzemelerdeki gibi olduğu; metal talaşlarının da tahta talaşları gibi kesici takıma uygulanan kuvvet neticesinde ayrılarak koptukları düşünülüyordu. Daha sonraları metal talaşları üzerinde yapılan gözlemler, metal talaşlarının, kesme derinliğinden daha geniş olduklarını ortaya koymuş, metal talaşlarının tahta talaşları gibi koparak oluşmadıkları anlaşılmaya başlanmıştır [10].

Çoğu talaşlı imalat yöntemi üç boyutlu ve geometrik olarak karmaşık olsa da talaş kaldırma mekaniklerinin anlaşılması ve ifade edilmesi için çoğunlukla basitleştirilmiş iki model kullanılır; ortogonal kesme modeli ve oblik (eğik) kesme modeli (Şekil 7). Ortogonal kesme modelinde kesici kenar, takım-işparçası hareketine dik olarak konumlandırılmışken oblik kesme modelinde kesici kenar takım-işparçası hareketine açısal bir eğimle konumlandırılmıştır. Ortogonal kesme, iki boyutlu bir yaklaşım sunarak kesme olayının incelenmesini kolaylaştırmasından dolayı teorik ve deneysel çalışmalarda en çok kullanılan kesme modelidir [8, 10-12].



Şekil 7. Talaş Kaldırma Modelleri (a) Ortogonal Kesme (b) Oblik Kesme [13].

Metallerin talaşlı imalatı sırasında kesme bölgesinde üç adet deformasyon bölgesi oluşmaktadır. Bu üç bölge, Şekil 8'de gösterilen ortogonal kesme modeline göre; birinci, ikinci ve üçüncü bölge olarak adlandırılmaktadır.



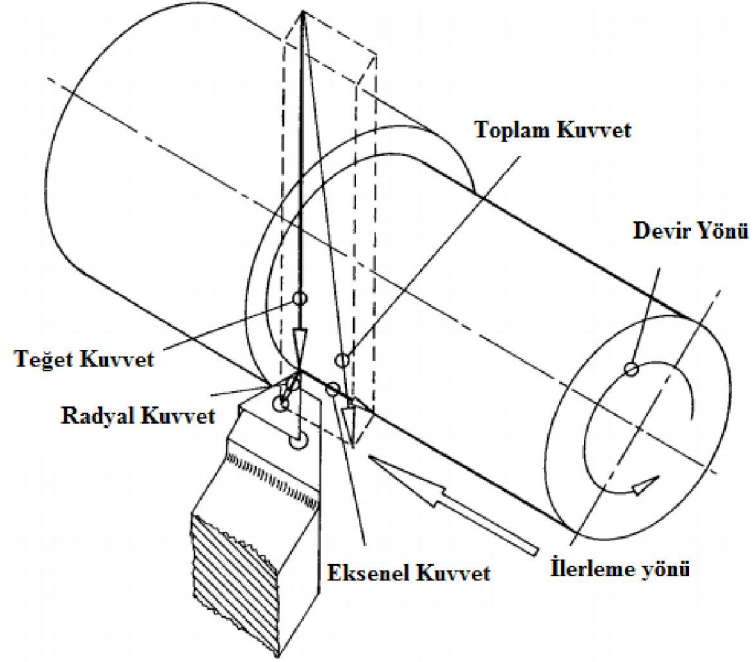
Şekil 8. Talaşlı imalat işleminde deformasyon bölgeleri [11]

Ortogonal kesme modeline göre, kesici takım iş parçası üzerinde ilerlemeye başladığında, kesici takımın önünde kalan malzeme birinci bölgede kesilmeye zorlanarak plastik deformasyona uğrar ve talaş oluşumunu başlatır. Talaş olarak adlandırdığımız kısmen deforme olmuş malzeme kesici takımın üzerinden ikinci deformasyon bölgesi boyunca sürtünerek uzaklaşır. Kesici takımın, iş parçasının işlenmiş yüzeyine sürtüdüğü yüzey ise üçüncü deformasyon bölgesi olarak tanımlanır. Malzemenin plastik deformasyona uğrayarak kesilmeye başladığı birinci bölgede plastik deformasyon sonucu oluşan kaymanın sonsuz incelikte bir düzlem üzerinde olduğu varsayımı yapılır. Kayma düzlemi olarak adlandırılan bu düzlemin kesme yönünde iş parçası ile yaptığı açıya ise kayma açısı denmektedir [10].

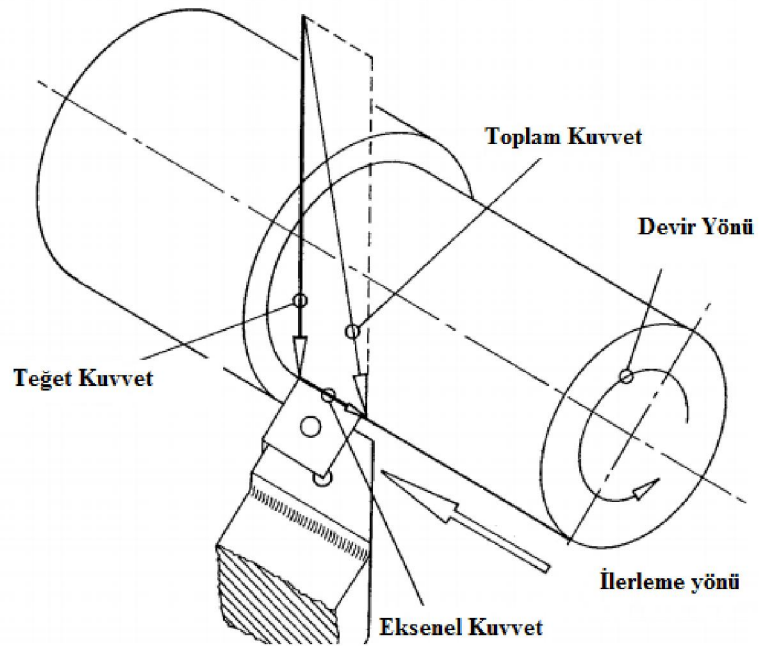
Metallerde talaş oluşumunu başlatmak için küçük bir alana görece büyük kuvvetler uygulamak gereklidir. Döndürülen parçaya uygulanan tork ve kesici takımın ilerletilmesi ile kesme bölgesinde etkin olan kuvvetler talaş oluşumunu başlatmaktadır. Tornalama işlemlerinin modellenmesinde kullanılan ortogonal kesme modeline göre kesici takıma etki eden kuvvetler Şekil 9a'da görüldüğü gibi iki eksende olup, bu kuvvetler; teğetsel kuvvet ve aksenal kuvvet olarak adlandırılırlar. Oblik kesme

modeline göre ise kesici takıma etki eden kuvvetler Şekil 9b'de görüldüğü gibi üç ekseninde olup, bu kuvvetler; teğetsel kuvvet, radyal kuvvet ve aksenal kuvvet olarak adlandırılırlar.

(a) Oblik Kesmede Kuvvetler



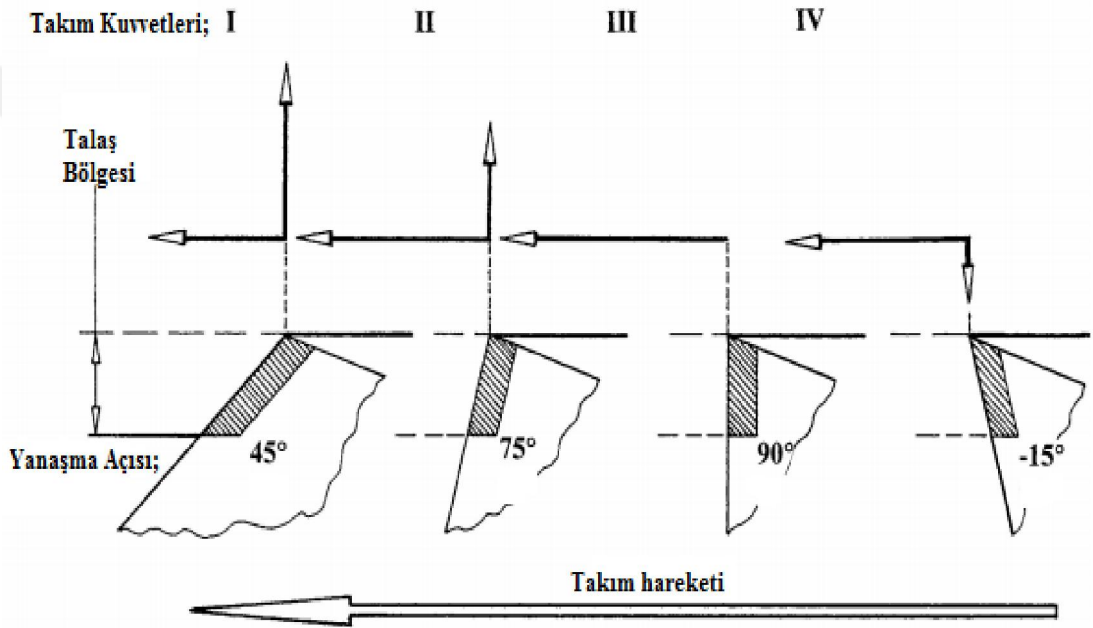
(b) Ortogonal Kesmede Kuvvetler



Şekil 9. Oblik ve Ortogonal kesmede kuvvetler [14].

Kesici takıma etki eden teğetsel kuvvet dönme yönünde iken, aksenal kuvvet ise ilerleme yönündedir. Radyal kuvvet; takımın iş parçası eksenine yaptığı yanaşma açısı sebebiyle oluşabileceği (Şekil 10) gibi kesici takımların teorideki gibi tam bir sivrilikte olmamasından ötürü uç geometrisi sebebiyle de oluşabilir.

Kesme kuvvetlerinin teorik olarak hesaplanmasına yönelik birçok modelleme ve çalışma yapılmış olmasına rağmen kesme mekanizmasını tam olarak ifade edebilen başarılı bir model oluşturulamamıştır. Kesme kuvvetlerinin belirlenmesi için çoğunlukla deneysel ölçümler yapılmaktadır [15].

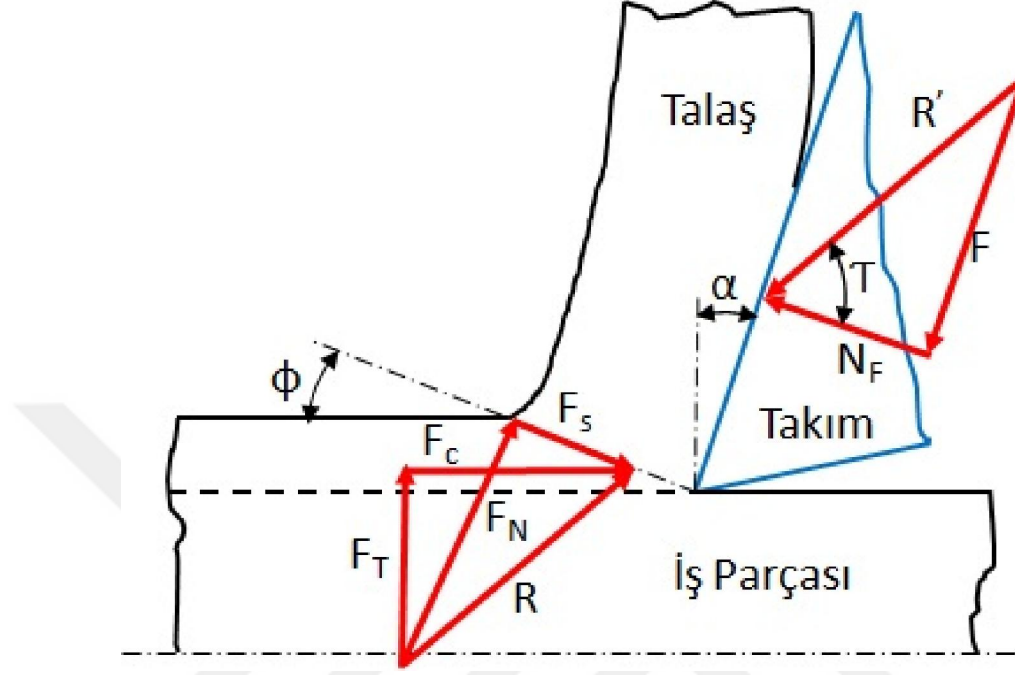


Şekil 10. Tornalamada aksenal ve radyal kuvvetler [14].

Talaş oluşumuna etki eden kuvvetlerin incelenmesi ve anlaşılması sırasında çoğunlukla basitlik sebebiyle radyal kuvvetin olmadığı varsayımı yapılır ve ortogonal kesme modeli kullanılır. Bu konu hakkında ilk önemli çalışma Merchant tarafından yapılmıştır. Merchant'ın çalışmasında ortaya koyduğu kuvvet diagramı günümüzde de çok sıklıkla kullanılmakta ve "Merchant Dairesi" olarak anılmaktadır.

Merchant [16] çalışmasında; kesme işlemiyle ilgili kuvvet sisteminin tutarlı olarak tasvir edilmesinin, sistemin mekanik analizi için çok önemli olduğuna vurgu yapmış, bunun basit bir yolunun; talaşı, eşit fakat zıt yönde iki adet bileşke kuvvetin etki ettiği ayrı bir gövde olarak değerlendirmek olduğunu belirtmiştir. Merchant'ın değindiği

bileşke kuvvetler; talaşın arka yüzeyine takım tarafından uygulanan kuvvet ve talaşın tabanına (kayma düzlemi) iş parçası tarafından uygulanan kuvuttur.

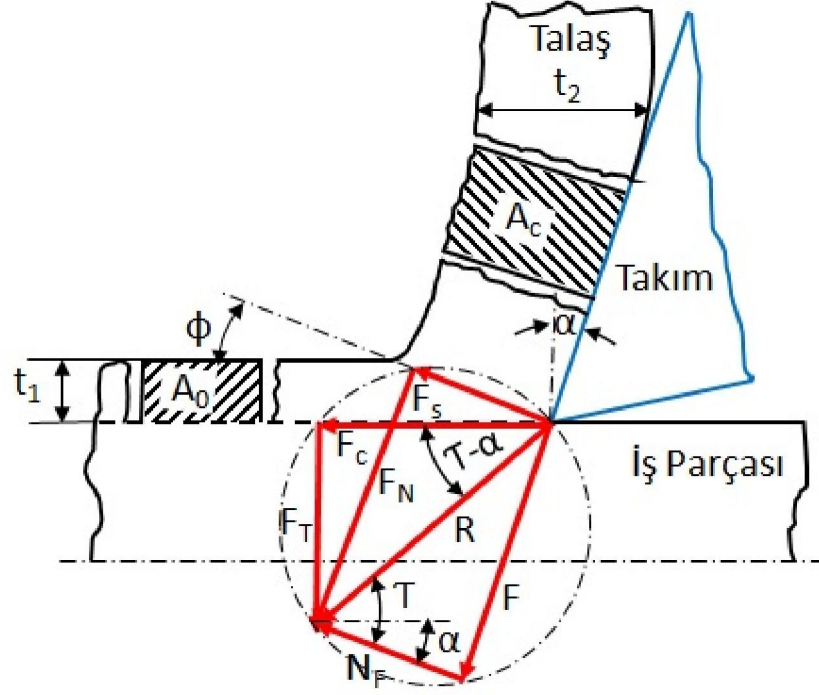


Şekil 11. Talaşın stabil mekanik dengede tutan kuvvet sistemi [16].

Şekil 11'de görülen ortogonal kesme durumuna ait kuvvet sisteminde R ve R' kuvvetleri talaşın dengede tutan eşit fakat zıt yönlü iki bileşke kuvvettir. Takımın talaşa uyguladığı R' kuvveti; talaşa, takım yüzeyi boyunca etki eden sürtünme kuvveti F, ve bu kuvvete dik olan N_F kuvveti şeklinde iki bileşkeye ayrılabilir. R' ve N_F arasında kalan T açısı sürtünme açısıdır. İş parçası tarafından talaşa uygulanan R kuvveti; talaş düzlemi üzerinde metali kesen kesme kuvveti F_S ve kesme düzlemine normal olarak etkiyen ve baskı kuvveti oluşturan F_N kuvveti olarak bileşenlerine ayrılabilir. Bileşke R kuvveti ayrıca takım-iş parçası izafi hareketinden doğan, teğet kesme kuvveti F_C ve aksenal kesme kuvveti F_T olarak bileşenlerine ayrılabilir.

Bileşke kuvvetler R ve R' eşit ve zıt yönlü olmalarından dolayı tüm bileşke kuvvetleri takımın uç tarafına yerleştirilen bir R vektörünün bileşkeleri olarak temsil edilebilirler. Kuvvet sisteminin takımın uç tarafına taşınması kolaylık amaçlı yapılmaktadır. Tüm kuvvet bileşenlerinin var olan geometrik ilişkilerini kolayca görebilmek için kuvvetler takımın ucuna etkiyormuş gibi düşünülür ve Şekil 12'de

gösterildiği gibi tüm kuvvetler oraya taşınır. Kuvvetlerin hepsinin “Merchant Dairesi” olarak adlandırılan ve çapı R (bileşke kuvvet) olan bir daire içinde kaldığı düşünülür.

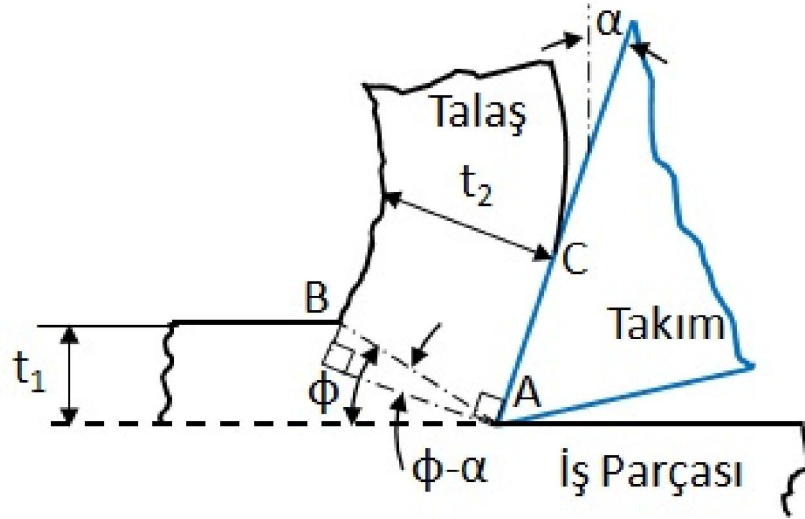


Şekil 12. Takım ucuna yerleştirilmiş kuvvetler ve Merchant Dairesi [16].

Şeki 12'deki kuvvet diagramı çizilirken, ölçülen kesme kuvvetleri F_C ve F_T ile bileşke R kuvveti yerleştirildikten sonra R kuvvetini çap olarak kabul eden bir daire yerleştirilir. Bu dairenin tüm kuvvetleri kapsaması gerekecektir. Talaş açısı α doğrultusunda, daire içerisinde çizilecek vektör sürtünme kuvveti F'yi verecektir. Daha sonra F kuvvetini R kuvveti ile dik bağlayan N_F kuvveti bulunabilir. F_S ve F_N kuvvetlerinin bulunması kayma açısı Φ 'nin bilinmesi ile mümkündür.

Kayma açısı; kesme oranı (k) dediğimiz bir değer kullanılarak hesaplanabilir. Kesilmemiş talaş kalınlığının (t_1) kesilmiş talaş kalınlığına (t_2) olan oranı şeklinde ifade edilen kesme oranı Denklem 4'te gösterilmiştir.

$$k = \frac{t_1}{t_2} \quad (4)$$



Şekil 13. Talaş kalınlıkları ve kayma açısının geometrik ilişkisi [10].

Denklem 4'te tanımlanan kesme oranı, Şekil 13 yardımıyla kayma açısına bağlı olarak Denklem 5'te görüldüğü gibi ifade edilebilir.

$$k = \frac{t_1}{t_2} = \frac{AB \sin \Phi}{AB \cos (\Phi - \alpha)} \quad (5)$$

Denklem 5'te kayma açısı ϕ , yalnız bırakılarak Denklem 6'da gösterildiği şekilde hesaplanabilir.

$$\Phi = \tan^{-1} \left(\frac{k \cos \Phi}{1 - r \sin \Phi} \right) \quad (6)$$

Kesme açısı bulunduktan sonra, takım ucundan dairenin çevresine, kayma düzlemi üzerinden çizilecek bir vektör ile kesme kuvveti F_S bulunabilir. Daha sonra F_S kuvvetini R kuvveti ile dik bağlayan F_N kuvveti bulunabilir.

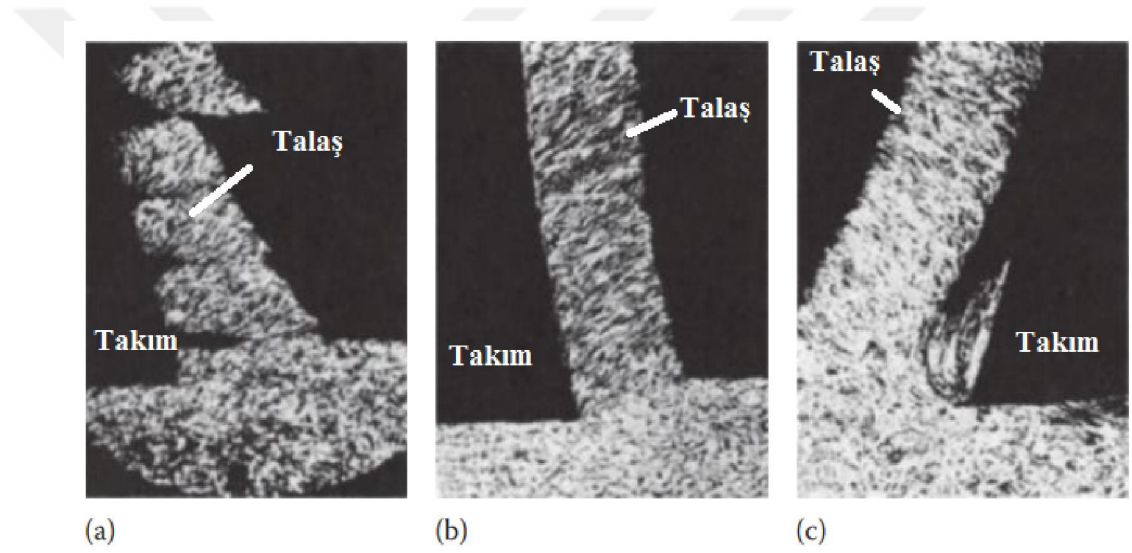
Kayma düzlemine etkiyen kuvvetlerin belirlenmesi ile talaş kaldırma sırasında kayma düzleminde oluşan kayma gerilmesi Denklem 7 ile hesaplanabilir hale gelmiş olur.

$$\tau = \frac{(F_c \cos \Phi - F_T \sin \Phi) \sin \Phi}{A_0} \quad (7)$$

Benzer bir şekilde talaş kaldırma sırasında oluşan basma gerilmesi ise Denklem 8 ile hesaplanabilir.

$$\sigma = \frac{(F_c \sin \Phi - F_T \cos \Phi) \sin \Phi}{A_0} \quad (8)$$

Burada A_0 kesilmemiş talaşın yüzey alanıdır (Şekil 12).



Şekil 14. Oluşuma göre talaş türleri; (a) Süreksiz (b) Sürekli (c) Sıvanmalı sürekli [17].

Tam bir ortogonal kesme işleminde dahi talaş tam olarak dikdörtgen bir kesit alanına sahip değildir. Sadece talaş yüzeyi tarafından zorlanan talaş diğer yönlere hareketinde serbesttir. Gerçek bir tornalama işleminde kesici uçlar çoğunlukla açılara ve talaşı yuvarlama ve kırma amaçlı girinti ve çıkıntılara sahiptirler. Bunların yanı sıra talaş her zaman tam bir süreklilikte oluşmamaktadır. Talaşın oluşumu İşlenen malzemelerin mekanik özelliklerine, kesme hızına, takım geometrisine ve daha birçok parametreye göre değişiklik gösterebilir. Talaş oluşumu çoğu gevrek malzemelerin işlenmesi sırasında “Süreksiz talaş” olarak adlandırılan kısa aralıklarla koparak oluşan tipte olabileceği gibi çoğu sünek malzemedeki gibi “Sürekli Talaş” olarak adlandırılan,

kesintisiz bir akış halinde de olabilmektedir. Görece düşük kesme hızlarında kesici takımın önünde “Yığılma Kenar” olarak adlandırılan, malzemenin takımın önüne sıvanmasıyla oluşan, kesme kenarın yerini alan bir birikme oluşabilir. Oluşan “yığılma kenar” belirli aralıklarla talaşa sıvanarak kesici ucu terketmektedir. Bu şekilde kesici ucu terk eden talaşlar “Sıvanmalı Sürekli Talaş” olarak adlandırılırlar (Şekil 14).

1.3. Tornalama İşlemlerinde Kullanılan Kesici Takımlar

Tüm talaşlı imalat yöntemlerinde olduğu gibi tornalama işlemlerinde de 1870 ve öncesinde metallerin işlenmesi için çoğunlukla yalın karbon çeliği kullanılıyordu. Genel bileşenleri; %1 oranında karbon, %0.2 oranında manganez ve geri kalanında demir olan yalın karbon çelikleri, düşük sıcak sertliğe sahip oldukları için çok yüksek kesme hızlarında çalışmıyor, kesici kenar 250°C gibi görece düşük sıcaklıklarda bozulmaya ve kırılmaya başlıyordu. Endüstri devrimi sonrası artan üretimle beraber kesici takımların da geliştirilmesi bir zaruret halini almış, çeşitli şirketler ve bilim adamları bu konu üzerindeki çalışmalarını hızlandırmaya başlamışlardır. Kesici takımların ticari olarak geliştirilmesinde ilk başarılı girişim 1868 yılında İngiliz metalurji uzmanı R. F. Mushet tarafından yapılmıştır. İçerik olarak; %2 karbon, %1,6 manganez, %5,5 tungsten ve %0,4 krom içeren Mushet’in geliştirdiği çelik, piyasalarda “R. Mushetin Özel Takım Çeliği” olarak anılmaya başlamıştır. Mushet’in çeliğinin öne çıkan özelliği, içerisindeki yüksek manganez ve krom içeriğinden dolayı su vermeye ihtiyaç olmadan, havada kendiliğinden soğurken sertleşmesidir. Bu sayede özellikle boyut olarak büyük ve karmaşık şekillere sahip takımların su verilirken çatlaması sorunu ortadan kalkmış ve takımlar biraz daha fazla çeşitlendirilebilmişlerdir. Ayrıca Mushet çeliği içindeki tungstenden kaynaklı olarak, sahip olduğu yüksek sıcak sertlik özelliği ile kesme hızlarını 5m/dk gibi değerlerden 8m/dk gibi değerlere çıkatarak kesme hızında %60’lık bir artış elde etmiştir. Mushet’in geliştirdiği bu çelik literatürde ilk yüksek hız çeliği olarak anılmaktadır [14, 18, 19].

Yüksek hız çelikleri bu isimlerini yüksek kesme hızlarında çalışabilmelerinden almaktadırlar. Yüksek hız çeliklerinin geliştirilmesine en büyük katkıyı hiç şüphesiz ki Frederic W. Taylor ve çalışma arkadaşı Maunsel White 20. yüzyılın başlarında yaptıkları çalışmalar ile sağlamışlardır. Taylor ve White’ın geliştirdikleri yüksek hız

çeliği Mushet çeliğinden farklı olarak daha fazla oranda tungsten ve krom, daha az oranda ise manganez içermektedir. Metalurjik olarak %1,9 karbon, %0,3 manganez, %8 tungsten ve %3.8 krom içeren bu çelik imalat aşamasında da farklı ısıl işlemlerden geçirilmektedir. Yüksek hız çelikleri üzerinde yapılan çalışmalar ilerleyen yıllarda da devam etmiş, yüksek sıcak sertlik dayanımına sahip olan yüksek hız çeliği takımlar ile 50m/dk gibi kesme hızlarına ulaşmak mümkün olmuştur.

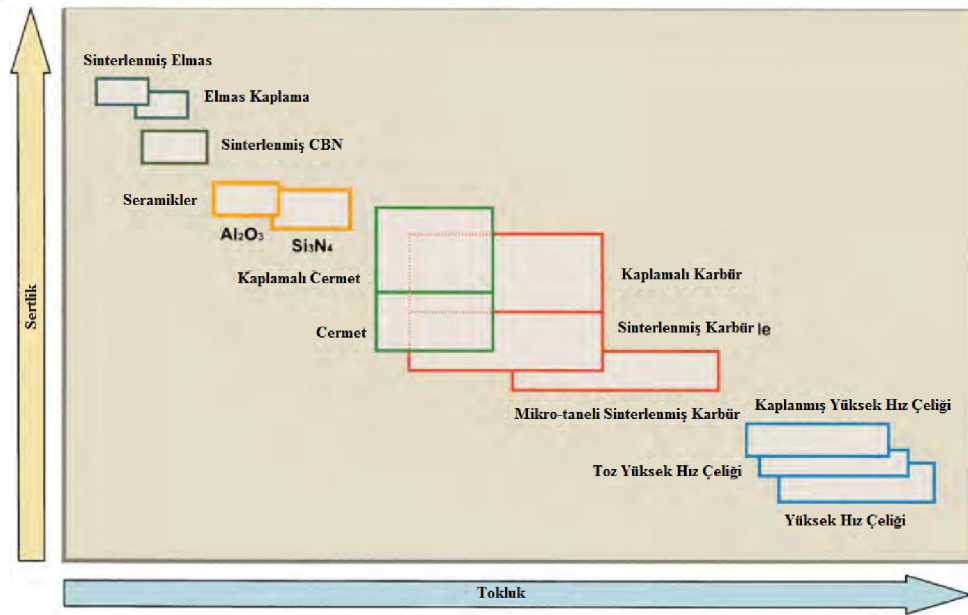
Yüksek hız çeliği takımlar uzun bir süre sanayide en çok kullanılan kesici takım malzemesi olmuşlardır. Günümüzde yüksek hız çeliği kesici takımlar çoğu talaşlı imalat yönteminde yer yer kullanılmaya devam edilseler de tornalama işlemlerinde yerlerini çoğunlukla sinterlenmiş karbür uçlara bırakmışlardır [14, 20-22].



Şekil 15. Tornalama işlemlerinde kullanılan değiştirilebilir kesici uçlar [14].

İlk sinterlenmiş karbür kesici takımlar 1927 yılında Alman Kurpps firması tarafından piyasaya sürülmüştür. Sert tungsten karbür tanelerinin (WC) sünek ve tok kobalt (Co) tozunda sinterlenmesiyle imal edilen kesici takımlar, sahip oldukları yüksek sıcak sertlik özellikleri ile yüksek hız çeliklerine göre 4-5 kata kadar daha yüksek kesme hızlarında çalışabilmekte ve çok daha uzun takım ömrü sunmaktaydılar. Zaman içerisinde, dökme demir ve demir olmayan metaller üzerinde yüksek performans gösteren bu malzemenin çeliklerin işlenmesinde aynı performansı gösteremediği

anlaşılmıştır. Bunun sebebi, çeliklerde uzayan talaş ile takım arasındaki sürtünmeden kaynaklı oluşan yüksek sıcaklıklarda ($\sim 1000^{\circ}\text{C}$), çelik içerisindeki demirin tungsten karbür taneleri ile katı çözelti oluşturarak takımı erken aşındırmasıdır. İlerleyen zamanlarda bu sorun, karışımın içine önce titanyum karbür (TiC) daha sonraları ise tantalum karbür (TaC) ve diğer bazı karbür malzemelerin eklenmesiyle aşılsa da bu işlem, malzeme içerisindeki kobaltın azaltılmasıyla yapıldığı için malzemenin tokluğunda düşüşe sebep olmuştur. Modern kaplama teknolojilerinin gelişmesiyle beraber bu teknolojiler sinterlenmiş karbür kesici takımlara da uygulanmaya başlanmış, 1960 yılı ve sonrası kimyasal buhar biriktirme (İngilizce: Chemical vapor deposition (CVD)), 1985 yılı ve sonrasında da fiziksel buhar biriktirme (İngilizce: Physical Vapor Deposition (PVD)) yöntemleri ile TiC, TiCN, TiN, Al_2O_3 ve bunların kombinsasyonlarıyla kaplanmış takımlar piyasaya yer edinmeye başlamışlardır. Tornalama işlemlerinde kullanılan sinterlenmiş karbür kesici takımlar, bir tutucu üzerinde sabitlenerek kullanılmak üzere küçük uçlar şeklinde üretilmekte ve bileşimleri, kaplamaları, geometrileri ve uygulamaları açısından binlerce çeşide ayrılmaktadırlar [14, 23, 24].

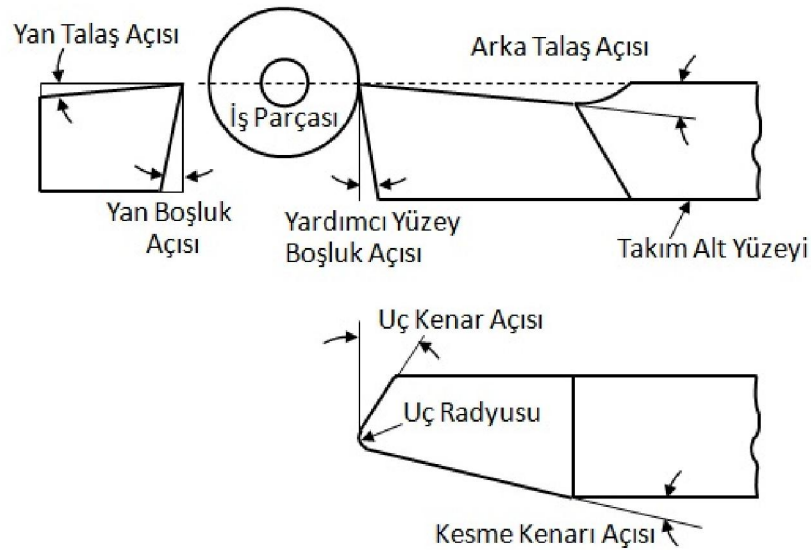


Şekil 16. Çeşitli kesici takım malzemelerinin sertlik-tokluk karşılaştırması [14].

Bir tutucu üzerinde sabitlenerek kullanılan kesici uçlar günümüz tornalama işlemlerinde kullanılan kesici takımların büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadırlar. Sinterlenmiş karbür uçların yanı sıra; seramik, cermet, küpsel bor nitrür (İngilizce: Cubic Boron Nitride (CBN)), çok taneli elmas (İngilizce: poly-crystalline diamond (PCD)) ve doğal elmas gibi malzemelerden yapılan kesici uçlar da mevcut olup çeşitli uygulama alanlarında kendilerine yer bulsalar da günümüz endüstrisinde kullanılan kesici uçların %80'e yakın bir bölümünü sinterlenmiş karbür uçlar ve kaplamalı sinterlenmiş karbür uçlar oluşturmaktadır. Çeşitli kesici takım malzemelerinin sertlik-tokluk karşılaştırılması Şekil 16'da gösterilmiştir [14, 25].

1.3.1. Kesici Takım Geometrisi ve Terminolojisi

Tornalama işlemlerinde kullanılan kesici takımlar belirli geometrik özelliklere sahiptirler. Yüksek Hız Çeliği takımlar çoğunlukla dikdörtgen bir çubuk olan kesici takım malzemesinin ön tarafına daha etkin bir talaş kaldırma olayı gerçekleştirebilmeleri için çeşitli açılar oluşturularak imal edilmektedirler. Genel bir kesici takım için bu açılar Şekil 17'de görülebilir.



Şekil 17. Tornalamada Kesici Takım açıları [26].

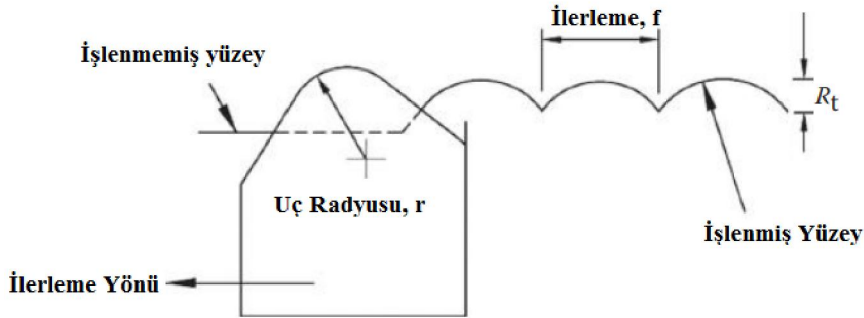
Arka talaş açısı ve yan talaş açısı talaşın kesici takım üzerinden kaydığı düzleme ait açılar olup, Şekil'17 deki gösterimleri pozitif olarak değerlendirilir. Talaş açıları takım ömrüne ve kesme kuvvetlerine doğrudan etki etmektedirler. Talaş açıları pozitiflerken kesme kuvvetleri ve kesici kenar dayanımı azalmaktadır. Negatif talaş açılarında ise takım ömrü, kesme kuvvetleri ve defleksiyon artmaktadır.

Yan boşluk açısı ve yardımcı yüzey boşluk açısı, kesici takımın iş parçasının işlenmiş yüzeyine yaptıkları açılardır. Boşluk açılarının amacı takımın yüzeyleri ile iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltmaktır. Boşluk açılarının çok büyük olması takımın uç dayanımını azaltmaktadır. Bu açılar çoğunlukla 5-7° arasındadırlar.

Uç kenar açısı ise takımın uç kenarının kesilmiş yüzeyden ayrılmasını sağlar. Bu açının büyük değerlerde seçilmesi takımın ömrünü azaltır.

Yanaşma açısı, kesici kenarın iş parçasına dalış açısıdır. Şekil'17 deki açı pozitif kabul edilirse; pozitif açı değerinin artırılması daha ince ve geniş talaş oluşumuna sebebiyet vermektedir. Pozitif yanaşma açısı radyal kesme kuvvetini artırır ve titreşime sebep olabilir fakat daha iyi takım ömrü sağlar. Profil tornalama işlemlerinde ve dışçap-alın tornalama işlemlerinde çoğunlukla negatif takımlar kullanılır.

Uç radyüsü teorik kesme şartlarında yüzey pürüzlülüğünün sebebidir. Uç radyüsü yüzey pürüzlülüğü ilişkisi Şekil'18 de görülebilir.



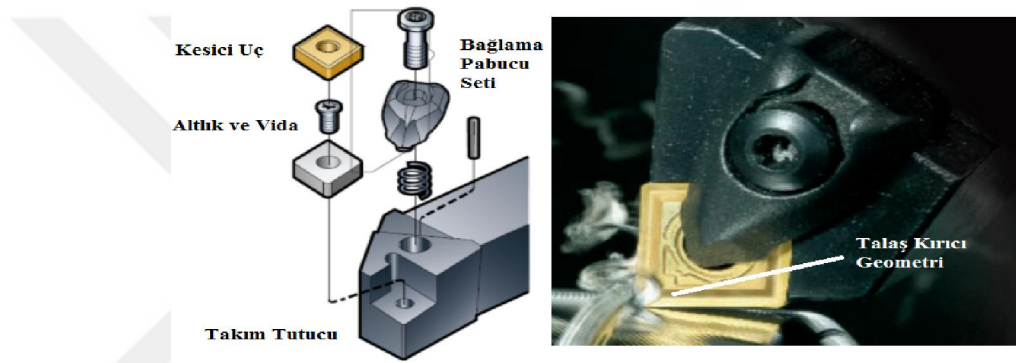
Şekil 18. Uç radyusu yüzey pürüzlülüğü ilişkisi [17].

Uç radyusu yüzey pürüzlülüğü bağıntısı Denklem 9'da gösterilmiştir.

$$R_t = \frac{f^2}{8r} \quad (9)$$

Uç radyüsü ayrıca takım ömrü ve radyal kuvvet üzerinde de etkilidir. Düşük radyüs takım ömrünü azaltmaktadır bu sebepten ötürü yüksek radyüslü takımlar çoğunlukla kaba işlemlerde kullanılmaktadırlar. Uç radyüsünün çok büyük olması radyal kuvveti arttıracığından dolayı titreşime sebep olabilmektedir.

Günümüzde tornalama işlemlerinin büyük bir bölümü bir tutucunun üzerine sabitlenen değiştirilebilir kesici uçlar yardımıyla yapılmaktadır (Şekil 19). Gerekli açılar; takım tutucusundan ve ucun kendi geometrisinden gelmektedir. Bunlara ek olarak bazı kesici uçların üzerinde, talaş kontrolü için girintili ve çıkıntılı, çeşitli geometriler mevcuttur.



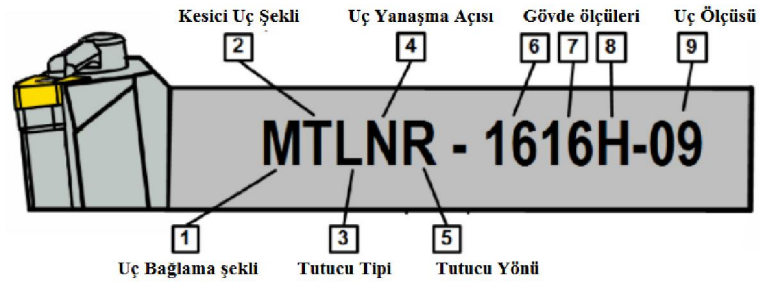
Şekil 19. Değiştirilebilir kesici uç ve takım tutucu [27].

Değiştirilebilir uçların ve takım tutucuların çeşitliliği bu konu hakkında bir kodlama sisteminin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. “ISO 1832- Değiştirilebilir uçlar” standartında belirtilen kesici uç kodlama sistemi ve açıklamaları Şekil 20’de görülebilir.

T	P	G	N	16	03	08	E	N	—	
1	2	3	4	5	6	7	8	9		13
1	Kesici Uç Şekli			Mecburi						
2	Kesici Uç boşluk Açısı									
3	Tolerans Sınıfı									
4	Bağlama Tipi ve/veya Talaş Kırıcı									
5	Kesme Kena Uzunluğu									
6	Kesici Uç Kalınlığı									
7	Köşe Radyüsü									
8	Kesme Kenar Durumu									
9 - 13	Diğer									

Şekil 20. “ISO 1832 Değiştirilebilir uçlar” kodlama sistemi

Kesici takım tutucular için, ISO 5608 numaralı standarta göre kodlama sistemi ve açıklamaları Şekil 21’de gösterilmiştir.



Şekil 21. Kesici takım tutucuları kodlama sistemi [27].

1.4. Tornalama İşlemlerinde Takım Aşınması

Metallerin talaşlı imalatı sırasında görece küçük alanlarda etkin olan yüksek sıcaklıklar ve büyük gerilimler söz konusudur. Tornalama işlemlerinde bu yüksek sıcaklıklara ve gerilimlere maruz kalan kesici takım her ne kadar çok yönlü bir dayanıma sahip olursa olsun bir süre sonra aşınmaktadır. Metallerin talaşlı imalatında dört çeşit aşınma mekanizması bulunmaktadır [17]. Bunlar; difüzyon aşınması, adezyon aşınması, abrasyon aşınması ve elektrokimyasal aşınmadır.

Difüzyon aşınması metalik kristal kafes yapıdaki atomların yer değiştirmesi ile meydana gelir; hareket, yüksek atom yoğunluğu bulunan bir alanından düşük atom yoğunluğu bulunan alana doğru olur. Kesme sırasındaki yüksek sıcaklıklarla katlanarak artan difüzyon oranı, kesici takımdan iş-parçasına ve talaşa olan difüzyonu hızlandırır.

Adezyon aşınması, iş parçası-takım arasındaki sürtünme mekanizmasının oluşturduğu kaynak noktalarının kırılması ile meydana gelir. Kırılan kaynak noktaları talaşın ya da iş parçasının yüzeyine taşınır.

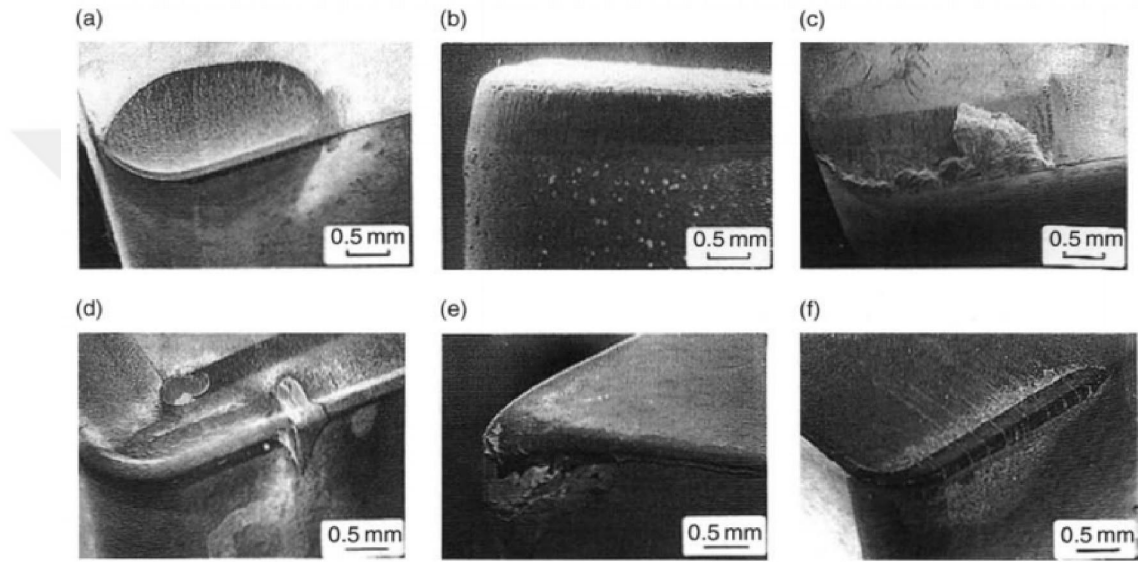
Abrasyon aşınması, talaş içerisindeki sert parçaların talaş-takım sürtünmesi sırasında takımı aşındırması ile meydana gelir. Talaş üzerindeki bu sert parçalar, iş parçası içerisindeki kalıntıları parçacıkları olabilecekleri gibi yığma kenar sonucu oluşan veya adezyon ile kesici takımdan kopan parçacıklar da olabilirler.

Elektro-kimyasal aşınma, takım-iş parçası arasındaki iyon geçişlerinin kesici takım yüzeyinde oksidasona sebep olması ile olur.

Metallerin talaşlı imalatında aşınma çoğunlukla adezyon ve abrasyon mekanizmaları ile gerçekleşir.

1.4.1. Aşınma Tipleri

Tornalama işlemlerinde aşınma birçok formda kendini gösterbilir. Yukarıda bahsedilen dört aşınma mekanizmasının rol oynamadığı aşınma tipleride vardır. Kesici takımın plastik deformasyona uğrayarak şekil değiştirmesi veya takım üzerinde oluşan termal çatlaklar buna örnek gösterilebilir. Tornalama işlemlerinde en sık karşılaşılan aşınma tipleri Şekil 22’de gösterilmiştir.



Şekil 22. Tornalama işlemlerinde en sık karşılaşılan aşınma tipleri (a) Krater Aşınması (b) Serbest Yüzey aşınması (c) Yığma kenar (d) Çentik aşınması (e) uç kütleşmesi (f) termal ve mekanik çatlaklar [28].

Krater aşınması; talaş yüzeyinde, kesici kenara çok yakın bir bölgede oluşur. Sebebi talaş yüzeyinden akan talaşın yüzeyi aşındırmasıdır. Çelik ve çelik alaşımları gibi sürekli talaş oluşturan sünek malzemelerin işlenmesi sırasında daha sık görülür. Krater aşınması takımı güçsüzleştirir, sürtünmenin ve sıcaklığın artmasına sebep olur. Krater oluşumu sürekli artan yapay bir talaş açısına sebep olur ve bu da kesme kuvvetlerini azaltır.

Yığıma kenar aşınması, talaş kaldırma sırasında iş parçasından kesilen talaşın takımın kesme kenarına kaynarak sıvanması ile oluşur. Genellikle düşük karbonlu çeliklerin, sünek paslanmaz çeliklerin ve alüminyum gibi demir alaşımı olmayan metallerin düşük hızlar ve ilerleme oranlarıyla işlenmesi sırasında oluşur. Yığıma kenar oluşumu döngüsel olarak gerçekleşir ve her döngüde kesici takımından ayrılan sıvanmış parçalar abrasyon aşınmasına sebep olurlar.

Çentik aşınması serbest yüzey aşınmasının bittiği yerde meydana gelir. Kesici takımın oksidasyonundan meydana gelebileceği gibi talaşın kenarının sürtünmesinden de olabilir. Takımın çabuk kırılmasına sebep olabilir. Yanaşma açısını arttırmak takımın temas yüzeyini arttıracığından ötürü çentik aşınmasını azaltır. Çok pasolu işlemlerde değişken kesme derinliği de çentik aşınmasını azaltabilir.

Uç küteşmesi, ya da kesici takımın uç kısımdan plastik deformasyona uğraması takımın mevcut işlem için yeteri kadar deformasyon direncine sahip olmamasından dolayı oluşur.

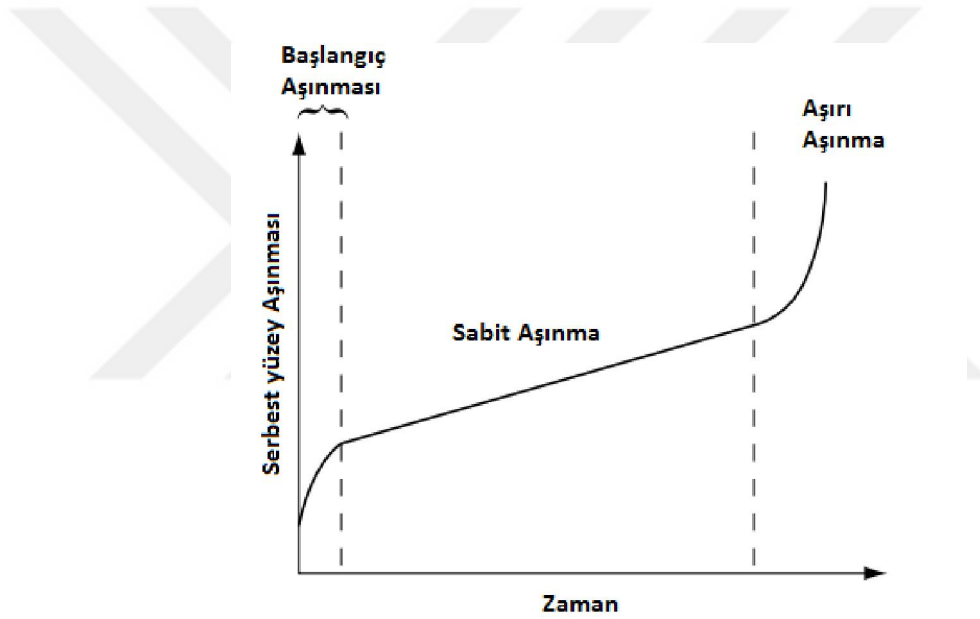
Termal çatlaklar, genellikle takım-iş parçası temasının aralıklarla kesildiği durumlarda görülür. Bu duruma süreksiz kesme denir ve freze işlemlerinin hepsi süreksiz işlemlerdir. Tornalama işlemlerinde de iş parçasının çap boyunca tam bir simetriye sahip olmaması işlemin süreksiz kesme karakterinde olmasına sebep olabilir. Kesici takımın iş parçası ile temasının çok kısa bir süre ile bile olsa kesilmesi özellikle kesme sıvısı kullanılan işlemlerde takımın sıcaklığında ani değişime sebep olur ve bu da termal çatlaklara sebep olabilir. Buna ilaveten, süreksiz kesme işlemlerindeki darbeler ise mekanik çatlaklara sebep olabilirler. Termal ve mekanik yüklemelerin neden olduğu çatlaklar kesici takımın bir süre sonra kırılmasına yol açabilir.

1.5. Tornalama İşlemlerinde Takım Ömrü

Takım ömrü kavramı, kesici takımın belirli bir takım ömrü kriterine ulaşmaya kadar geçen kesme zamanını ifade etmektedir. Takım ömrü kriterleri işlem türüne (kaba tornalama veya bitirme işlemleri), işlemden beklenenlere ve kesici takım malzemesine göre değişebilmektedir. Çeşitli aşınma ve bozunma tipleri takım ömrü kriteri olarak kabul edilebileceği gibi kesici takımın fiziksel durumundan bağımsız olarak kesme işleminden beklenen; yüzey pürüzlülüğü, talaş durumu, iş parçası ölçüleri vb.

parametreler de takım ömür kriteri olarak kullanılabilir. Sürekli aşınma tipleri olan serbest yüzey aşınması ve krater aşınması zamanla ilerleyen aşınma mekaniklerine sahip oldukları için takım-ömür kriteri olarak yaygın olarak kullanılmakla beraber serbest yüzey aşınması en sık kullanılan takım ömrü kriteridir bunun sebebi serbest yüzey aşınmasının çoğunlukla krater aşınmasına göre daha hızlı ilerlemesi ve kritik aşınma limitine daha çabuk ulaşmasıdır [8, 10, 13, 17, 29-34].

Serbest yüzey aşınmasının zamana karşı ilerlemesi üç aşamada olmaktadır (Şekil 25). Başlangıçta hızlı bir aşınma gösteren takım, daha sonra sabit aşınma bölgesine geçmektedir belirli bir zaman sonra ise aşınan yüzeyin büyümesi ile beraber aşınma hızlı bir artış göstererek takımı kullanılamaz hale getirmektedir [8, 11, 17, 32].

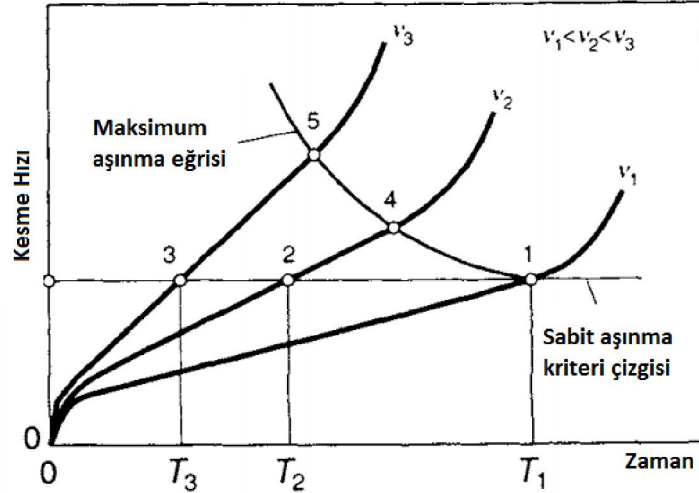


Şekil 25. Serbest yüzey aşınmasının zamana karşı ilerlemesi [8].

Başta kesme hızı olmak üzere farklı kesme parametrelerinde serbest yüzey aşınmasının zamana karşı ilerlemesi farklı olmaktadır (Şekil 26). Serbest yüzey aşınmasının takım ömrü kriteri olarak kullanıldığı durumlarda kabul edilebilir aşınma miktarının, sabit aşınma bölgesinin bitimine yakın bir değer olması kesici takımdan maksimum verim alınabilmesi için önemlidir. Bu durum özellikle yüksek hızlı CNC tezgahların kullanıldığı durumlarda daha verimli işlemlerin gerçekleşmesini sağlayacaktır fakat kesme işlemindeki parametrelerin çeşitliliği, işlemlerde maksimum

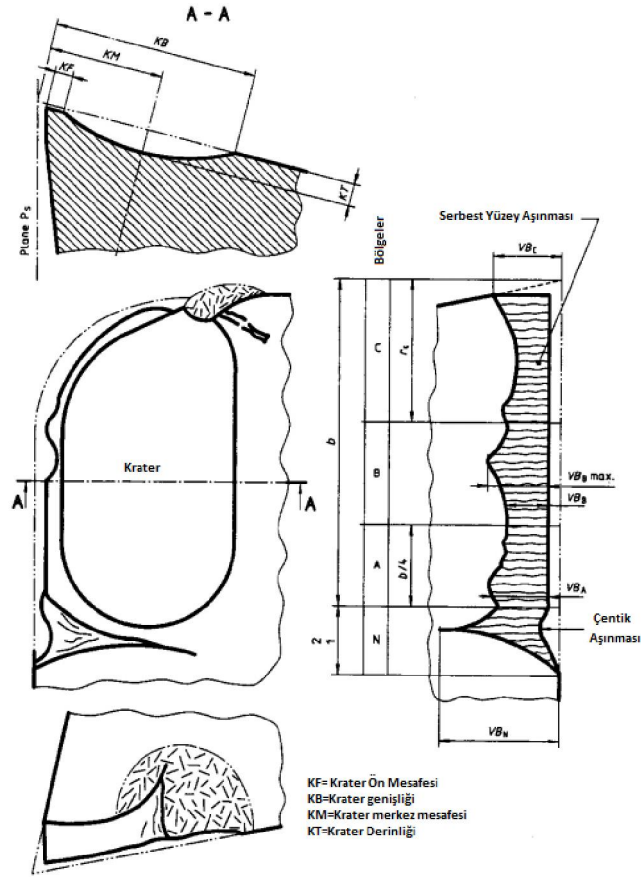
aşınma eğrisinin tespit edilmesini çok zorlaştırmaktadır bu sebepten ötürü takım ömrü kriteri olarak çoğu zaman ilgili standartlarda verilen değerler kullanılmaktadır [31].

Tornalama işlemlerinde takım ömrünün belirlenmesine dair olan standartlarda [29, 30] çeşitli kesici takımlar için verilen limit aşınma miktarları Tablo 1’de gösterilmiştir.



Şekil 26. Değişen kesme hızlarında serbet yüzey aşınmasının zamana karşı ilerlemesi [31].

Tornalama işlemlerinde takım ömrünün belirlenebilmesi takım değiştirme zamanının optimize edilerek işlem verimliliğinin artırılması açısından önemlidir. Ömrünü tamamlamadan değiştirilen bir takım işlem süresini gereksiz yere uzatacak ve takımdan tam verim alınamadığı için takım masraflarını arttıracaktır. Ömrünü tamamlamaya yaklaşan veya tamamlayan bir takım ise zamanında değiştirilmediği takdirde kırılarak veya bozularak işlenen parçanın bozulmasına ve hatta işlem tezgahının hasara uğramasına sebep olabilmektedir.



Şekil 27. Tornalama kesici uçlarında bazı aşınma tipleri [30].

Tablo 1. TSE ve ISO Standartlarına Göre Takım Ömür Kriterleri [29, 30].

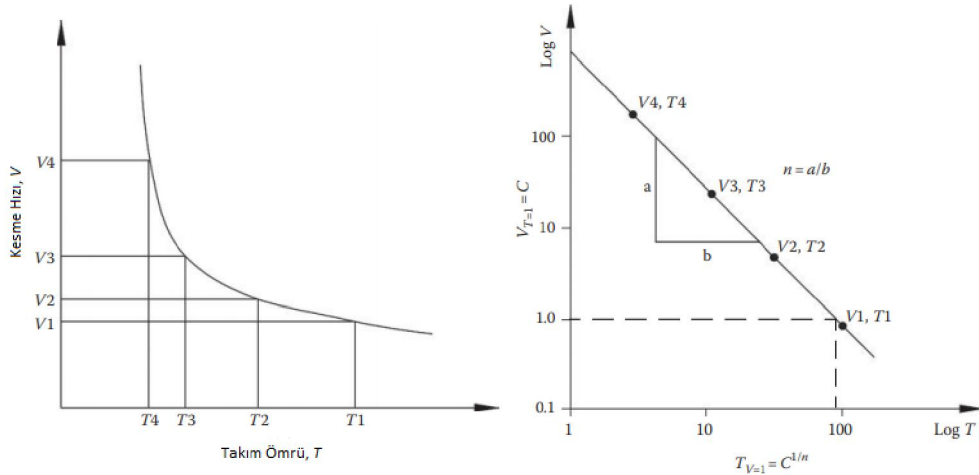
1) HSS(Yüksek Hız Çeliği) takımlar için genel kriterler (Şekil 27)	<p>a) B bölgesinde meydana gelen kazınma, dökülme veya çukarlaşıma gibi sistematik bir aşınma yoksa $VB_{Bmax}=0.6$ mm aşınma limitidir.</p> <p>b) B bölgesinde meydana gelen sistematik bir aşınma varsa $VB_B=0.3$ mm aşınma limitidir.</p> <p>c) Kullanılamaz hale getiren aşınma.</p>
2) Sinterlenmiş karbür takımlar için genel kriterler (Şekil 27)	<p>a) B bölgesinde meydana gelen sistematik bir aşınma yoksa $VB_{Bmax}=0.6$ mm aşınma limitidir.</p> <p>b) B bölgesinde meydana gelen kazınma, dökülme veya çukarlaşıma gibi sistematik bir aşınma varsa $VB_B=0.3$ mm aşınma limitidir.</p> <p>c) Krater derinliği mm olarak; $KT=0.06+0.3f$ kadar olabilir. (f mm/devir cinsinden ilerleme miktarıdır.)</p> <p>d) Kraterin ön mesafesinin; $KF=0.02$ mm ye düşmesi.</p> <p>e) Kraterin yan serbest yüzey tarafında kırılarak kötü bir işlem yüzeyi bırakması.</p>
3) Seramik takımlar için genel kriterler (Şekil 27)	<p>a) B bölgesinde meydana sistematik bir aşınma yoksa $VB_{Bmax}=0.6$ mm aşınma limitidir.</p> <p>b) B bölgesinde meydana gelen sistematik bir aşınma varsa $VB_B=0.3$ mm aşınma limitidir.</p>

Tornalama işlemlerinde takım ömrünün belirlenmesine yönelik ilk bilimsel çalışmalar F. W. Taylor ve arkadaşları [35] tarafından yapılmıştır. Taylor ve ekibinin çalışmaları 25 yıldan fazla sürmüş ve 200 bin amerikan dolarına mal olmuştur. Çalışmalarında 360 ton metali işleyerek 50 bine yakın deney gerçekleştiren Taylor ve ekibi bu çalışmalarının bulgularını ve sonuçlarını 1907 yılında “On The Art Of Cutting Metals” adlı 245 sayfalık ünlü makalelerinde yayımlamışlardır.

Taylor ve ekibi çalışmaları sonucunda günümüzde takım ömrü standardlarında[29, 30] da kullanılan ve “Taylor Takım Ömrü Denklemi” olarak anılan aşağıdaki deneysel denklemi ortaya koymuşlardır. Taylor takım ömrü denkleminin kullanıldığı çalışmalarda genellikle serbest yüzey aşınması takım ömrü kriteri olarak kabul edilir [36, 37].

$$VT^n = C \quad (11)$$

Bu denklemde; V kesme hızını, T dakika cinsinden takım ömrünü, C bir dakikalık takım ömrü için kesme hızını ve n ise logaritmik grafikteki takım ömrü eğrisinin eğimini ifade etmektedir (Şekil 28). Denklemdeki n ve C değerleri farklı kesici takım-iş parçası malzeme çiftleri için çeşitli kaynaklarda bulunabilir veya deneysel olarak elde edilebilir.



Şekil 28. Takım ömrü - Kesme hızı ilişkisi(Solda Lineer,Sağda Logaritmik) [17].

Taylor takım ömrü denklemi'nin kullanılabilmesi, sabit bir n değerinin olması (yani logaritmik V-T diagramının düz bir çizgi şeklinde olması) ile mümkündür. Colding [38]

çeşitli karbür uçlarla karbon çeliklerinin işlenmesine yönelik yaptığı çalışmasında logaritmik V-T diagramının her zaman düz bir şekilde oluşmadığını göstermiştir.

Barrow [39] yayımladığı bir makalede bu duruma örnek bazı diagramlar sunmuş; yüksek sertlik ve ısıl dirence sahip malzemelerin işlenmesinde, uzun takım ömrü veren kesme şartlarında ve yüksek talaş kaldırma oranlarının olduğu işlemlerde düz diagramların oluşamayabileceğine dikkat çekmiştir. Kronenberg [40] ise bu gibi durumlarda kullanılacak, matematiksel bir grafik düzeltme metodu geliştirmiştir.

Taylor takım ömrü denklemi sabit bir iş ve takım malzemesi için geçerli olup kesme hızı dışındaki parametreleri kapsamamaktadır. İş parçası, takım malzemesi veya kesme parametrelerinden herhangi birisi değiştiğinde n ve C değerleri tekrar belirlenmelidir. İlerleyen zamanlarda diğer parametreleri de içeren takım ömrü modellemeleri yapılmış olup literatürde sık karşılaşılan modellerden bazıları şunlardır;

- Genişletilmiş Taylor Denklemi [8, 17, 33]

$$VT^n f^{n_1} d^{n_2} = C \quad (12)$$

Bu denklem ilerleme ve kesme derinliğinin takım ömrü üzerindeki etkisini de kapsamaktadır. Denklemde Taylor takım ömrü denkleminden farklı olarak f mm/devir cinsinden ilerlemeyi, d ise mm cinsinden kesme derinliğini ifade etmektedir, n₁ ve n₂ ise bunlar ile ilgili katsayılarıdır. Katsayıların değerleri genellikle n<n₁<n₂ dir, bundan da anlaşılacağı üzere, takım ömrüne en fazla etki eden parametre kesme hızı en az etki eden parametre ise kesme derinliğidir.

- İş Parçası Sertliğini İçeren Genişletilmiş Taylor Denklemi [33]

$$VT^n f^{n_1} d^{n_2} BHN^{n_3} = C \quad (13)$$

Bu denklemde, Genişletilmiş Taylor Denklemi'nden farklı olarak BHN Brinell sertlik değeri cinsinden iş parçasının sertliğini, n₃ ise sertlik ile ilgili katsayıyı ifade etmektedir. Burada vurgulanması gereken husus, takım ömrünün;

iş parçasının sertliğinin yanı sıra iş parçasının mikro yapısına göre de değişebildiğidir. Aynı kesme koşullarında aynı sertliğe sahip iki parçanın işlenmesinde, iş parçalarının mikro yapılarındaki farklılıklar dolayısıyla iki farklı takım ömrü sonucuna ulaşılabilmektedir [33].

- Sıcaklık Tabanlı Takım Ömrü Denklemi [32]

$$\theta T^n = C \quad (14)$$

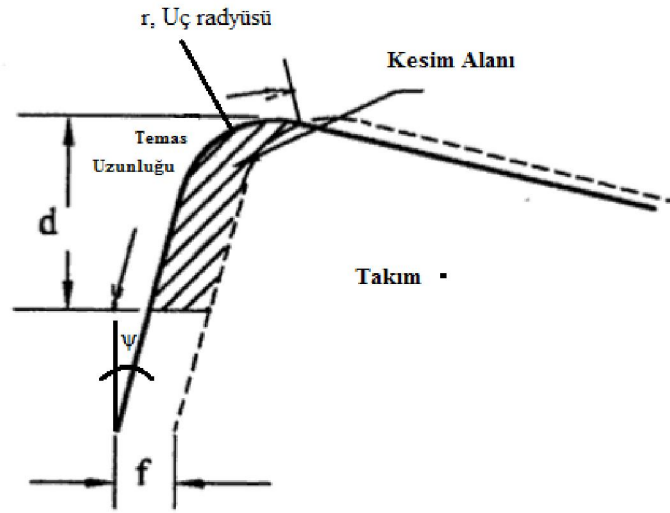
Taylor takım ömrü denkleminde farklı olarak kesme hızı yerine takımın kesme kenarının sıcaklığı- θ baz alınmıştır. İşlem sırasında takımın sıcaklığını ölçmek çok zor olsa da uygun ölçümler yapıldığı takdirde θ -T diagramı başarılı sonuçlar vermektedir. Genellikle 0.05 ve 0.1 arasında değişen n değeri sıcaklığın takım ömrü üzerindeki etkisini göstermektedir [32].

- Colding Denklemi [12, 41]

$$V T^n = C (q)^m \quad (15)$$

Colding [41] ortaya koyduğu bu takım ömrü denkleminde Woxen [42] tarafından tanımlanan “Eşdeğer Talaş Kalınlığı” (q) değişkenini kullanmıştır. Eşdeğer talaş kalınlığı; uç radyüsü (r), ilerleme (f), kesme derinliği (d) ve kesme kenar açısına (ψ) bağlı bir değer olup, temas uzunluğunun planlanan kesme alanına oranıdır (Denklem 16).

$$q = \frac{\frac{[d - r(1 - \sin\psi)]}{\cos\psi} + \left(\frac{\pi}{2} - \psi\right)r + f/2}{fd} \quad (16)$$



Şekil 29. Eşdeğer talaş kalınlığı [12]

Colding takım ömrü denkleminin Taylor takım ömrüne ek olarak içerdiği “Eşdeğer Talaş Kalınlığı” konsepti, ilerleme uç radyüsü kesme derinliği ve yanaşma açısını içerdiği için çok daha yaklaşık sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Taylor takım ömrü denklemine ek olarak m sabitinin de n sabiti ile beraber deneysel olarak tespit edilmesi gerekmektedir.

İşlem tezgahı, işlenen malzeme, soğutucu durumu, kesme parametreleri, kesici takım malzemesi ve geometrisi gibi aşınmayı ve takım ömrünü etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Tüm bu faktörleri içeren bir modelleme yapmak şu ana kadar mümkün olmamıştır. Her geçen gün gelişen malzeme teknolojisi ve özellikle bu malzemelerin işlenebilmesine yönelik artan taleple birlikte hızla gelişen kesici takım teknolojisi ise takım ömrünün belirlenmesini daha da karmaşıklaştırmıştır [43]. Jawahir ve arkadaşları [44] yayımladıkları bir makalede bu durumdan bahsetmiş, kesici takım üzerindeki talaş kırıcı geometrilerin dahi takım ömrünü etkilediğine vurgu yapmışlardır. Takım ömrünün belirlenebilirliğinin bu denli zor oluşu araştırmacıları başka yöntemler geliştirmeye sevk etmiş, dolaylı ya da doğrudan yollarla yapılan gözlemler üzerinden takım ömrünün belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

1.5.1. Tortalama İşlemlerinde Takım Ömrünün İzlenmesi

Diğer tüm imalat yöntemlerinde olduğu gibi tortalama işlemlerinde de verimliliğin ve kalitenin artırılması birçok şirket ve araştırmacının ortak hedefindedir. Tortalama işlemleri de diğer tüm talaşlı imalat yöntemleri gibi birçok parametrenin etkin olduğu karmaşık bir imalat yöntemidir. Bu durum tortalama işlemlerinde verimliliğin ve kalitenin artırılması için yapılan çalışmalarda bir çok değişik disiplinden faydalanılmasını ve gelişen teknolojik imkanların bu amaç doğrultusunda kullanılmasını kaçınılmaz kılmaktadır.

Tortalama işlemlerinde verimliliğin ve kalitenin artırılması üzerine yapılan çalışmaların başlarında kesici takım ömrünün belirlenebilmesi gelmektedir. Bu amaç doğrultusunda birçok teorik çalışma yapılmış ve yapıyor olup uygulama üzerinde tam manasıyla başarılı olan teorik bir model günümüze kadar geliştirilememiştir. Takım ömrünün izlenmesi için yeni yöntem arayışları ve var olan yöntemlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar, günümüzde daha da artan otonom ve insansız üretim akımlarıyla beraber çok daha büyük bir önem kazanmıştır.

Tortalama işlemleri sırasında oluşan bekleme zamanları istenmeyen durumlardır ve üretim maliyetlerine yansımaktadırlar. İş parçalarının taşınması/değiştirilmesi ve makinelerin bakıma girmesi gibi bazı bekleme zamanları kaçınılmaz olmakla beraber öngörülebilir durumlardır. Bunların yanı sıra takım aşınmasının sonucu olarak oluşan takım kırılmaları ve/veya bozulan iş parçaları sebebiyle yaşanan bekleme zamanları da olmaktadır. Kurada ve Bradley[45] modern takım tezgahlarındaki bekleme sürelerinin %20 lik kısmının takım kırılmaları kaynaklı bekleme süreleri olduklarını bildirmişlerdir. Bekleme süresinden kaynaklanan maliyet kayıplarının yanı sıra gereğinden fazla aşınmış takımın kullanılmaya devam edilmesi ise iş parçasını bozmakta ve sermaye kaybına sebep olmaktadır.

Bu gibi durumların önüne geçmek için takım aşınmasının takip edilip takım ömrünün belirlenilmeye çalışıldığı doğrudan veya dolaylı ölçüm ve takip yöntemleri geliştirilmiş olup bu yöntemler üzerine birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Yöntem ve ölçümlerin çıktılarının yorumlanması sırasında daha net sonuçlara ulaşabilmek adına gelişen yapay zeka biliminden de faydalanılmakta olup bu konu üzerine yapılan çalışmalarda giderek artmaktadır.

1.5.1.1. Doğrudan Yöntemler

Tornalama işlemlerinde doğrudan takım izleme yöntemleri takım aşınmasının ve/veya iş parçasının doğrudan ölçülmesi şeklinde olmaktadır. Çeşitli kameralar veya optik cihazlar ile yapılan görsel ölçümler, radyoaktif ölçümler, elektrik direnç ölçümleri ve çeşitli ölçüm aletleri ile yapılan ölçümler doğrudan izleme yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadırlar. Doğrudan yöntemler genellikle daha hasas sonuçlar sunsalarda uygulanmaları; işlem ortamının teçhizata zarar verme ihtimali, kesme sıvılarının görüşü ve ulaşımı kapatmaları/zorlaştırmaları, yetersiz veya uygun olmayan ışıklandırma gibi sebepler yüzünden genellikle zor olmaktadır. Ölçüm yapılması için çoğunlukla bir teçhizatın kurulması/düzenlenmesi gerektiği için işlem sonunda uygulanabilmekte ve genellikle işlem sürekliliğini aksatmaktadırlar[46, 47].

1.5.1.1.1. Optik Ölçümler

Çoğunlukla dijital kameralar yardımıyla elde edilen dijital fotoğraflar üzerinde görüntü işleme teknikleri kullanılarak yapılan ölçümlerdir. Takım aşınmasının doğrudan fotoğraflanması şeklinde olabileceği gibi iş parçasının da fotoğraflandığı yöntemler ve çalışmalar mevcuttur. Bu konuya ve konu üzerinde yapılan çalışmalara daha detaylı olarak başlık 1.5.2'de değinilmiştir.

1.5.1.1.2. Radyoaktif Yöntemler

Gözlemler veya ölçümler kesici takımın üzerine radyoaktif bir malzemenin uygulanması şeklinde olmaktadır. Cook ve Subramanian [48] yaptıkları bir çalışmada kesici takımın yan yüzeyinde takım ömrü limiti olarak belirledikleri bölgeye radyoaktif bir madde sürerek işlem aralarında Geiger cihazıyla ölçümler alarak sürülen maddenin kaybolup kaybolmadığını kontrol etmişler ve belirledikleri aşınma limitine ulaştığında radyoaktivitenin kaybolduğunu tespit ederek takımın belirlenen aşınma limitine ulaştığını anlayabilmişlerdir.

Lunde ve Anderson [49] nötron aktivasyon metodu ile karbür kesici takımın içerisinde bulunan tungsten, titanyum, tantalum, kobalt metallerinin izotoplarının

oluşmasını sağlamış kesme sırasında kesici takımdan talaşlara geçen radyoaktiviteyi ölçmüşlerdir. Çeşitli kesme hızlarında gerçekleştirdikleri deneyleri sonucunda kesici takımdan difüzyon aşınmasıyla talaşa geçen metallerin miktarlarını ve fazlarını tespit etmeye çalışmışlar, bu metodun kullanılmasıyla difüzyon aşınmasının daha iyi anlaşılabilceğini ve tespit edilebileceğini savunmuşlardır. Deneyleri sırasında radyoaktiviteden etkilenmemek için 5 cm kalınlığında kurşun bir duvar kullanmışlardır.

Yeşin ve Özel [50] nötron aktivasyon metodu ile radyoaktivite kazandırdıkları yüksek hız çeliği kesici takım ile gerçekleştirdikleri deneylerde talaşlara aktarılan radyoaktivitenin takım aşınması ile orantılı olduğunu belirtmişlerdir.

Radyoaktivitenin kullanıldığı yöntemler yüksek hassaslıkta sonuçlar verseler de, radyasyona maruz kalma riski ve bu konuda alınması gereken önlemler işlemlerin uygulanabilirliğini zorlaştırmakta ve ölçüm sürelerini uzatmaktadır. Bu tür çalışmaların pratik bir uygulama haline getirilebilmeleri ancak yüksek koruyucu önlemlerin alınmasıyla mümkün olabilmektedir.

1.5.1.1.3. Elektriksel Direnç Yöntemleri

Elektriksel direnç ölçümü; takım ve iş parçası arasında takım aşındıkça artan yüzey temasındaki direnç değişiminin ölçülmesi şeklinde olabileceği gibi iletken bir kaplama yapılmış takımın farklı iki noktasından alınan ölçümler şeklinde de olabilmektedir.

Wilkinson [51] kesici takım-iş parçası temasının değişmesinden kaynaklı direnç farkını ölçtüğü çalışmasında belirli bir takım ve iş parçası çifti için; değişen ilerleme, kesme derinliği ve kesme hızları için çok yaklaşık takım aşınması tahminlerinde bulunmuştur. Kesici takım-işparçası temas bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıkların malzemelerin iletkenliklerini etkilediğinden bahseden Wilkinson bu durumu dengelemek için matematiksel bir doğrulama değeri kullanmıştır. Kesme bölgesinde sıcaklığa en fazla etki eden parametre kesme hızıdır, Wilkinson da bu durumdan ötürü doğrulama sabitini kesme hızının bir fonksiyonu olarak belirlemiş ve değişen kesici takım-iş parçası çiftleri için bu sabitin deneysel olarak elde edilmesi gerektiğini bildirmiştir.

Sadilek ve ekibi [52] seramik bir kesici ucun kesici kenarlarına, limit aşınma sınırını geçmeyecek şekilde, şeritler halinde titanyum nitrat kaplama uygulamışlardır.

Kaplama şeritlerini kesici ucun altlığından çıkan iki adet pim ile kapalı bir devre oluşturacak şekilde kesici ucun etrafından altına kadar uzatılmışlardır. Altlıktaki pimler ile iki ucu arasına potansiyel fark uygulanan iletken titanyum nitrat şeridi, aşınmayla beraber küçülmüş, ölçülen direnç artmıştır. Akımın kesilmesiyle kesici ucun limit aşınma miktarına ulaştığı anlaşılmıştır. Deneyleri sırasında optik bir sıcaklık ölçer kullanan ekip, sıcaklığın dirence etkisini hesaplamak için deneysel ölçümler gerçekleştirip bir doğrulama sabiti oluşturmuşlardır. Değişen direnç ölçümleri ile yanak aşınması miktarı benzerlik göstermiştir. Kullandıkları yöntemde yığma kenar oluşumunun kısa devre oluşturup ölçümleri etkileyebileceğine vurgu yapmışlardır.

Elektriksel direnç yöntemleri hassas sonuçlar verebiliyor olsalar da farklı parametreler kullanıldığında hesaplanması gereken doğrulama katsayılarına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu durum bu yöntemin pratik uygulanabilirliğini zorlaştırmaktadır.

1.5.1.1.4. Yakınlık Sensörleri ile Ölçüm Yöntemleri

Kesici takım aşınması iş parçası ölçülerini değiştirmektedir. Kesme işlemi sırasında iş parçası üzerinden çeşitli kompratörler veya pnomatik sistemler ile alınan ölçümler üzerinden takım aşınması takip edilmeye çalışılmaktadır.

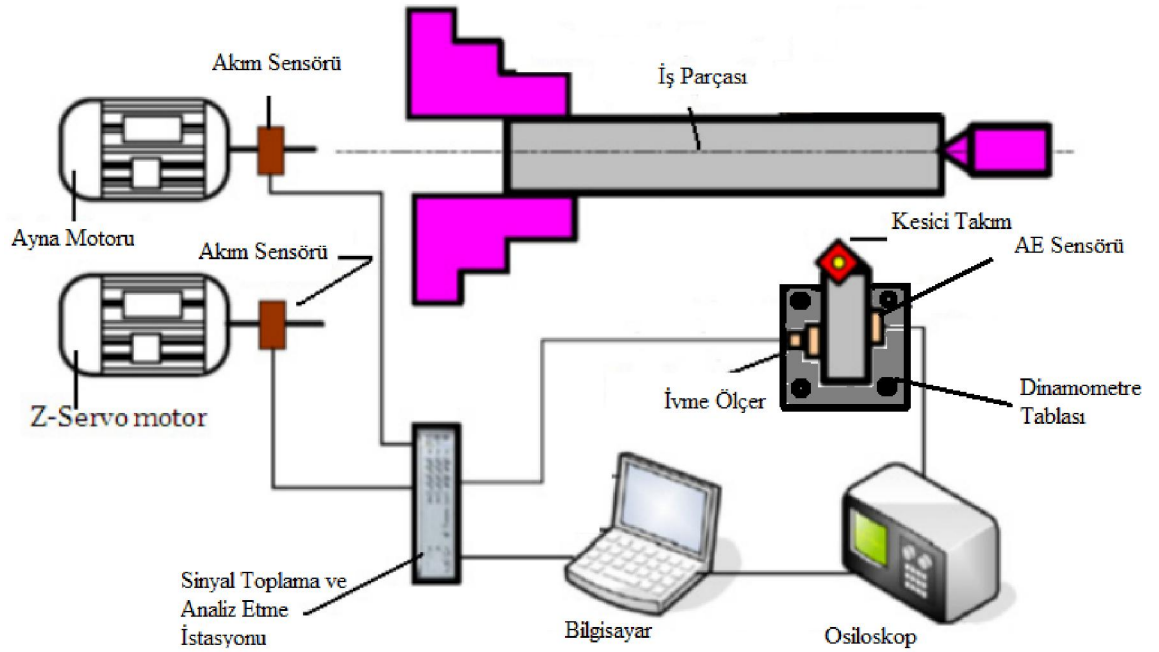
Takeyama ve ekibi [53] kesici takımın karşı tarafına yerleştirdikleri elektronik kompratör ile kesme sırasındaki çap farkı ile oluşan faturanın yüzeyinden, gerçek zamanlı ölçümler almışlardır. Aynı zamanda kesme kuvvetlerini ve sıcaklığı da ölçen ekip, ölçümlerine, takımın eğilmesinden ve ısıl uzamalardan ötürü oluşan ölçü farklarını dengeleyecek sabitler ekleyerek başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Stöferle ve Bellman [54] Takım tutucusu üzerine açtıkları kanallar üzerinden pnömatik bir sistem yardımıyla hem ana çap üzerine hem de kesme yönünde oluşan fatura üzerine hava püskürtmüşlerdir. Değişen ölçü ile beraber oluşan basınç farklarını kalibre ederek basınca göre ölçüm alabilen ekip, fatura üzerindeki ölçümlerin daha hassas olduğunu bildirmiş ve yöntemin yüksek başarı ile uygulanabilmesi için en azından 4-5 mm kadar bir kesme derinliğinin olması gerektiğini vurgulamışlardır.

1.5.1.2. Dolaylı Yöntemler

Dolaylı takım ömrü izleme yaklaşımlarında kesme kuvvetleri, titreşim, akustik yayılım, tezgahın güç kullanımı gibi yardımcı değerler ölçülmekte ve çeşitli doğrulama ve yorumlama metodları kullanılarak bunlar kesici takım ömrü kriterleri ile eşleştirilmektedir. Dolaylı yöntemler doğrudan yöntemler kadar hassas sonuçlar vermemektedirler fakat çoğu zaman pratikte uygulanmaları daha kolaydır. Ayrıca dolaylı yöntemler çoğu zaman gerçek zamanlı takip edilmektedirler bu da takım ömrünün gerçek zamanlı olarak takip edilebilmesi anlamına gelmektedir.[47]

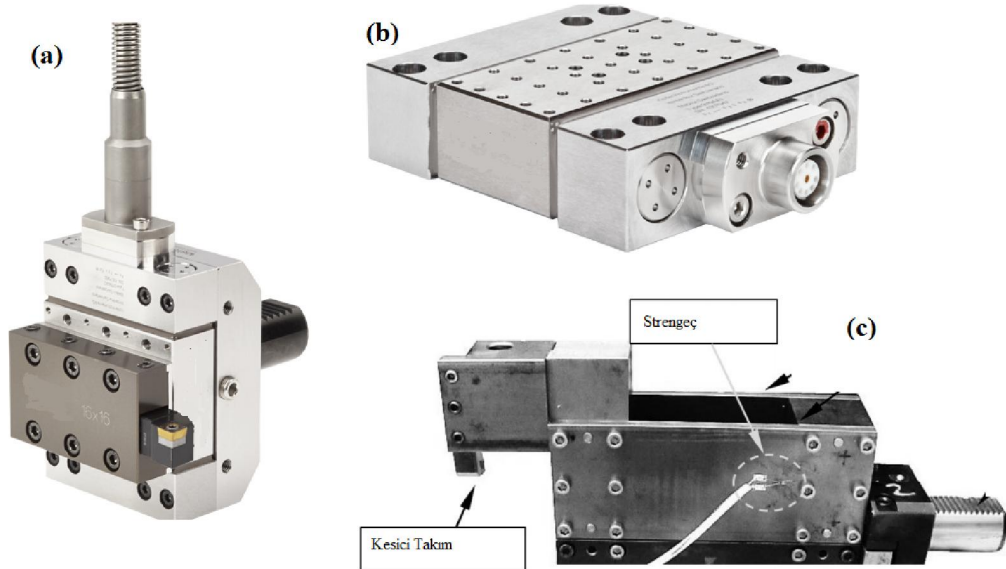
Dolaylı takım ömrü izleme yöntemlerinde genel olarak dört aşama bulunmaktadır bunlar; sensörlerden verileri/sinyalleri alma, verilerin/sinyallerin içerisinde belirleyici özelliklerin ve örüntülerin ayrılması, çeşitli yöntemler (örüntü tanıma, bulanık mantık, yapay sinir ağları vb.) ile özelliklerin analizi ve analiz edilen verilerin/sinyallerin anlamlandırılması için bir karar verme mekanizmasının oluşturulması. Çeşitli dolaylı yöntemlerin uygulanma şekilleri ve ilgili teçhizat şeması Şekil 30'da gösterilmiştir [55].



Şekil 30. Çeşitli dolaylı yoldan ölçüm teçhizatlarının şematik görünümü

1.5.1.2.1. Kesme Kuvvetleri Üzerinden Yapılan Ölçümler

Takım ömrü izleme konulu yapılan çalışmalarda en çok kullanılan yöntem kesme kuvvetlerinin izlenmesidir. Kesme kuvvetleri ile aşınma arasında doğrudan bir bağlantı vardır. Özellikle serbest yüzey aşınmasının kesme kuvvetleri üzerinden izlenmesini içeren birçok çalışma bulunmaktadır. Kesme kuvvetleri artan serbest yüzey aşınması ile beraber artan temas alanı dolayısıyla bir artış göstermektedirler. Kesme kuvvetlerinin ölçümü dinamometre plakaları ile ya da dinamometreli takım tutucular ile yapılmaktadır. Dinamometre plakaları, freze, matkap, vargel gibi iş parçasının sabit kaldığı işlemlerde, üzerlerine iş parçaları bağlanarak kullanılırken, dinamometreli takım tutucular tüm talaşlı imalat yöntemlerinde kullanılmaktadırlar. Dinamometreler strengaç tabanlı olabilecekleri gibi piezoelektrik dinamometrelerde bulunmaktadır. Çeşitli dinamometreler Şekil 31’de gösterilmiştir.



Şekil 31. (a) Piezoelektrik dinamometre takım tutucu (b) Piezoelektrik dinamometre plaka (c) Strengaç dinamometre takım tutucu[56]

Sikdar ve Chen [57] serbest yüzey aşınmasının kesme kuvvetlerine etkisini inceledikleri çalışmalarında kaplamalı değiştirilebilir karbür uçlar kullanarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. Kullandıkları takımlar 6° yanaşma açısına sahiptir ve radyal kuvvet oluşturmaktadırlar. Farklı kesme hızı/ilerleme değerlerinde gerçekleştirdikleri

deneysinde aşınma limitini 1 mm olarak belirleyen ekip, kesme kuvvetlerinin değişimini aşınma alanı ile karşılaştırmışlardır. Aşınma alanının büyümesi ile kuvvetlerde artış gözlemleyen ekip oransal olarak artışın en çok radyal kuvvette olduğunu belirtmişlerdir. Aşınma limitine ulaşan takımın kesme kuvvetlerinde sebep olduğu artış oranlarının; radyal kuvvet için %64, aksenal kuvvet için %13, teğet kuvvet için %6 olduğunu bildirmişlerdir. Başlangıçta diğer kuvvetlere nazaran daha düşük olan radyal kesme kuvvetinin, takımın kritik aşınma limitine ulaştığı sırada aksenal kuvvetten yaklaşık %3 oranında fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ghasemipoor ve ekibi [58] yaptıkları çalışmada tornalama işlemleri için gerçek zamanlı bir takım ömrü izleme sistemi kurmuşlardır. Ekip, üç çeşit aşınma tipinin (serbest yüzey aşınması, uç aşınması ve krater aşınması) derecelerini oluşturdukları yapay sinir ağı sistemiyle tahmin etmeye çalışmışlardır. Oluşturdukları yapay sinir ağı sistemini, deneyleri sırasında elde ettikleri kesme kuvvetleri verileriyle eğitmiş, başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Değişen, kesme şartları ve iş parçası-takım çiftleri için sinir ağının yeniden eğitilmesi gerekebileceğine vurgu yapmışlardır. Tahmin edilme oranı en düşük aşınma tipinin krater aşınması olduğunu bildiren ekip bunun sebebini; krater aşınması ile serbest yüzey aşınmasının kesme kuvvetleri üzerinde ters etkiye sahip olmalarına bağlamışlardır.

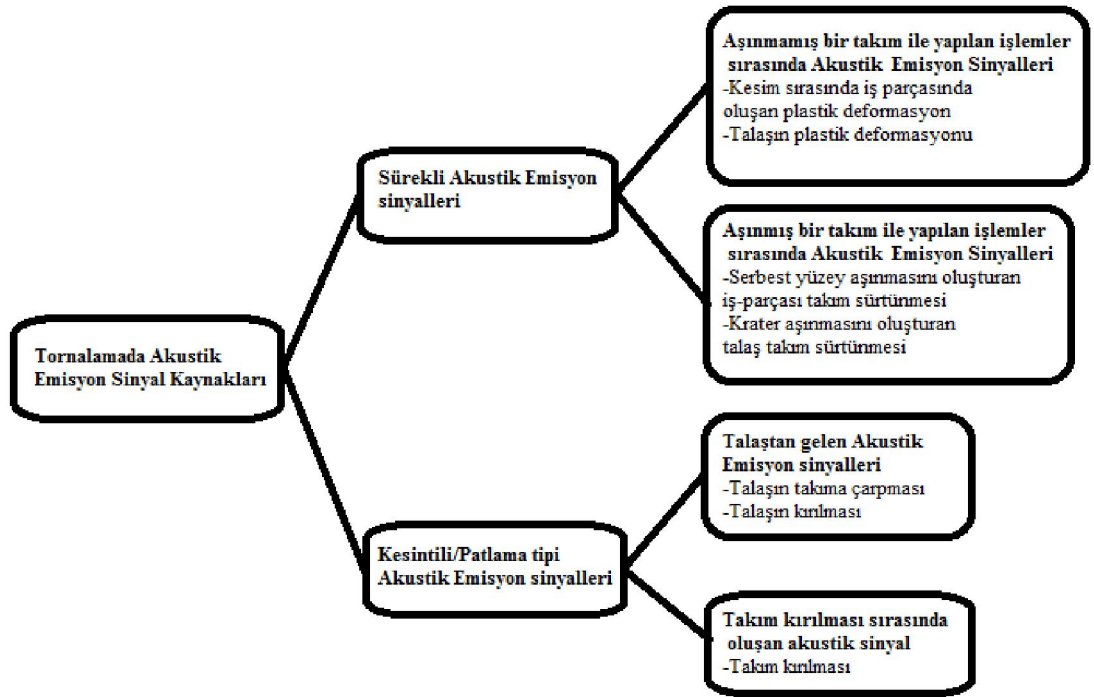
Çakır ve Işık [59] AISI 1050 çeliğinin tornalanması sırasında kesme kuvvetleri üzerinden takım kırılmasını tespit etmeye çalışmışlardır. Aynı kesici takımın kaplamalı ve kaplamasız olanını kullanan ekip farklı kesme şartlarında deneyler gerçekleştirmişlerdir. Geliştirdikleri yazılım sayesinde kırılan takımın sebep olduğu ani kuvvet değişimlerini saplayarak sistemin operatörü uyarmasını sağlamışlardır. Kesme işlemi sırasında; kesme parametrelerinin değişmesi ile ani kuvvet artışları da olabileceğinden bahseden ekip, bu sistemin doğru olarak çalışabilmesi için kuvvetlerde ani değişime sebep olabilecek kesme parametreleri değişikliklerinden kaçınılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Kesme kuvvetlerinin takım aşınması ile olan doğrudan ilişkisi bu yöntemin takım ömrü izlenmesi konusunda kullanılmasını avantajlı kılsa da, gerekli ekipmanların pahalı olması ve elde edilen verilerden çıkarım yapabilecek kabiliyette karar verme sistemlerinin geliştirilmesi gerekliliği bu yöntemin pratik uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır.

1.5.1.2.2. Akustik Yayınım Üzerinden Yapılan Ölçümler

Akustik emisyon, deformasyona ve/veya kırılmaya maruz kalan malzemelerden yayılan elastik enerji olarak tanımlanabilir. Bir akustik emisyon sinyalinin sahip olduğu enerji ve bu enerjinin yayılımı; deformasyon oranına, uygulanan gerilime ve sözkonusu malzemenin hacmine bağlıdır. Tüm talaş kaldırma işlemleri akustik emisyon kaynağıdır. Tornalama işlemlerinde oluşan akustik emisyon sürekli olabileceği gibi kısa süreli ani patlamalar şeklinde de olabilir [46].

Bir tornalama işleminde akustik emisyonuna sebep olan olaylar Şekil 32’de gösterilmiştir.



Şekil 32. Bir tornalama işleminde akustik emisyon kaynakları [46].

Takım durumunun izlenmesinde akustik emisyon ölçümlerinin en büyük avantajı akustik emisyon sinyal frekanslarının ortamdaki gürültü sinyallerinden ve titreşim sinyallerinden daha yüksek olmasıdır. Talaş kırılma sıklığı, takım kırılması gibi ölçümler sinyallerdeki ani artış sebebiyle farkedilmesi kolay akustik emisyon kaynakları olsalar da takım aşınması gibi sürekli bir akustik emisyon yayılımının söz konusu olduğu olayların anlaşılması çeşitli sinyal analiz yöntemlerinin kullanılması ile mümkün olmaktadır.

Ravindra ve ekibi [60] yaptıkları çalışmalarında, çok katmanlı kaplamaya sahip değiştirilebilir karbür kesici uçlarla C-60 çeliğini işledikleri deneyler gerçekleştirmişlerdir. Üç farklı kesme hızında gerçekleştirdikleri işlemler sırasında elde ettikleri akustik emisyon sinyallerinin; yükselme zamanlarını (genliklerin %10'dan %90'a yükselme zamanı), maksimum genliklerini ve ortalama karekök (RMS) değerlerini serbest yüzey aşınması ile karşılaştırmışlar, serbest yüzey aşınmasının bu değerlerde karşılık bulduğunu bildirmişlerdir.

Dolinsek ve Kopac [61] cermet ve sinterlenmiş karbür uçlar kullandıkları çalışmalarında akustik emisyon ölçümünü, kullandıkları kesme sıvısı üzerinden yapmışlardır. Takım malzemelerinin farklılığından kaynaklı olarak akustik emisyon sinyallerinin farklılaştığını belirten ekip, her iki kesici takım malzemesi içinde aşınmayla beraber akustik emisyon enerjilerinin arttığını bildirmişlerdir.

Bhuiyan ve ekibi [62] yaptıkları çalışmalarında talaş oluşumunu akustik emisyon sinyalleri üzerinden gözlemlemeye çalışmışlardır. Ekip, talaştan gelen akustik emisyon sinyallerini daha iyi alabilmek için özel bir düzenek kurmuşlardır. Kesimi yapan kesici takımın üzerine, aralarına kauçuk bir yalıtım malzemesi koyarak ters bir şekilde başka bir kesici takım yerleştirmişlerdir. Ters yerleştirilen kesici takım sadece oluşan talaş ile temas halindedir. Akustik emisyon ölçümlerini ters yerleştirdikleri bu kesici takım üzerinden alan ekip, takım aşınmasının; talaş oluşumunu ve talaş oluşumundan gelen akustik emisyon sinyallerini etkilediklerini bildirmişlerdir.

Hutton ve Yu [63] yaptıkları çalışmalarında tornalama işlemlerinde yığılma kenar oluşumunun akustik emisyon üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deneylerini; SAE 1018 ve AISI 4140 çeliğini farklı kesme hızlarında, aynı tip karbür kesici uç ile işleyerek gerçekleştiren ekip, yığılma kenar oluşumunun akustik emisyon enerjisinde artışa sebep olduğunu bildirmişlerdir.

Jemielniak ve Otman [64] yaptıkları çalışmalarında, takım kırılmasını akustik emisyon sinyalleri üzerinden tespit etmeyi amaçlamışlardır. Daha önceki bazı çalışmalarda; takım kırılmasının tespiti için akustik emisyon sinyallerinin ortalama karekök (RMS) değerlerindeki artışı kullanıldığından bahseden ekip, süreksiz kesme koşullarında bunun yanıltıcı olabileceğine vurgu yapmış, bu durumun önüne geçmek için bir istatistik analiz metodu sunmuşlardır.

1.5.1.2.3. Titreşim Üzerinden Yapılan Ölçümler

Tornalama işlemlerinde titreşim; kesme kuvvetlerinin dinamik bileşenlerinin döngüleri sonucunda ortaya çıkar. Takım aşınması ve kesme koşulları sebebiyle oluşan titreşimler genellikle periyodiktir. Bunun aksine takım kırılması ve işlem sırasındaki kesintiler rastgele titreşime sebep olurlar. İvme ölçerler ve titreşim sensörleri, diğer sensör uygulamalarına göre daha avantajlıdır. Uygulamaları kolaydır ve gerek kesici takım, gerek iş parçası üzerindeki uygulamalarında ekstra bir düzeneğe ihtiyaç duymazlar. Soğutucu sıvılara, talaşlara, elektromanyetik ve termal etkilere karşı dirençlidirler ve görece daha ucuzdurlar [65].

Rmili ve ekibi [66] yaptıkları çalışmalarında üç eksenli ivmeölçer kullanarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. İşparçası olarak gri dökme demir işleyen ekip kesici takım olarak aynı tip değiştirilebilir karbür uçlar kullanmışlardır. Deneylerinde serbest yüzey aşınmasını takım ömrü kriteri olarak belirlemiş aşınma limitini 0,3 mm olarak almışlardır. Radyal yönde (x - yönünde) olan titreşimlerin takım durumun izlenmesinde en belirgin titreşimler olduğunu bildiren ekip; takım kırılmasını, stabil aşınmayı ve ivmelenen aşınmayı bu yöndeki titreşimlerin analizleri ile belirleyebilmişlerdir.

Titreşim ölçümlerinin alınması diğer sensör uygulamalarına nazaran daha kolay olsada mekandan ve makineden kaynaklı gürültülerin azaltılması ve sinyallerin yorumlanması karmaşık sinyal işleme algoritmalarına ve sistemlerine ihtiyaç duymaktadır.

1.5.1.2.4. Motor Akımı ve Gücü Üzerinden Yapılan Ölçümler

Aşınmış takım; kendisinden beklenen kesme işlemini gerçekleştirebilmek için daha fazla kuvvete ihtiyaç duymaktadır. Artan bu kuvvet ihtiyacı motorun daha fazla akım çekmesine neden olmaktadır. Motor akımlarının ölçülmesi diğer yöntemlere göre ucuz ve daha uygulanabilir olsa da büyük ölçekli işlem merkezlerinde ve tornalarda aşınma kaynaklı görece küçük akım değişikliklerini ölçmek kolay olmamaktadır. Bu yöntemin kullanılması genellikle küçük tezgahlarda olmaktadır [55].

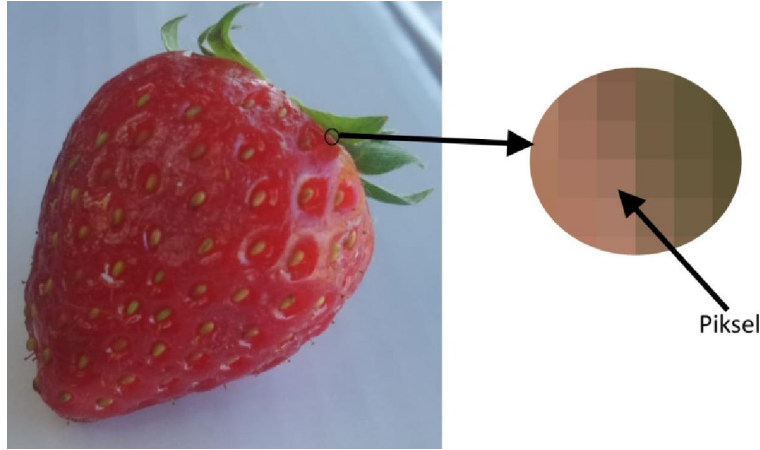
1.5.2. Görüntü İşleme Teknikleri ile Takım Ömrünün İzlenmesi

Görüntü işleme ile ilgili temel bilgiler verildikten sonra bu konu hakkında yapılan çalışmalardan bahsedilecektir.

1.5.2.1. Görüntü İşleme

Görüntü işleme basitçe, dijital ortama aktarılmış bir görüntünün iyileştirilmesi ve/veya o görüntünün dijital olarak anlaşılması için uygulanan yöntemler topluluğudur. Görüntü işleme yöntemlerinde görüntüler çoğunlukla iki boyutlu sinyaller olarak değerlendirilirler ve bu şekilde işleme tabi tutulurlar.

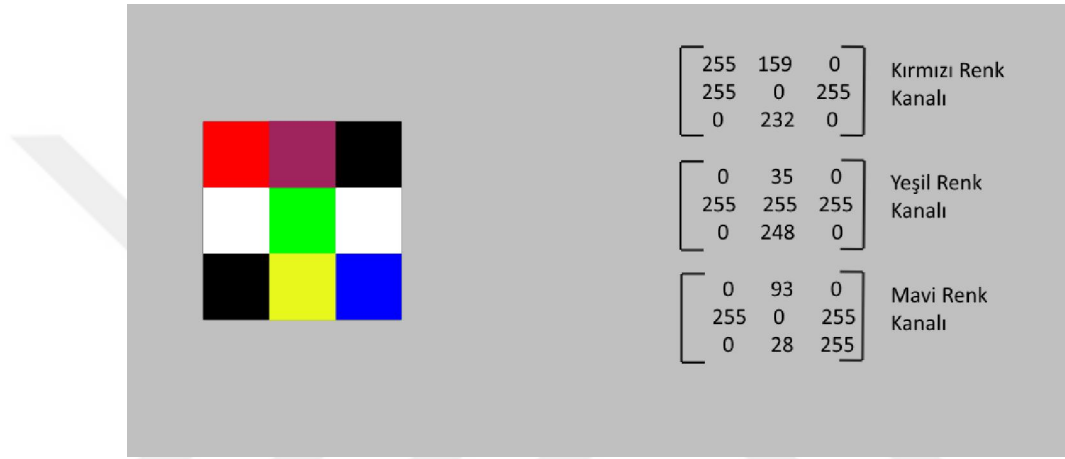
Dijital görüntüler piksel adı verilen küçük birimlerden oluşmaktadırlar. Şekil 33'te renkli bir dijital görüntü ve yakınlaştırılmış olarak piksel elemanı gösterilmiştir. Dijital bir görüntünün sahip olduğu; yatay doğrultudaki piksel sayıları ve dikey doğrultudaki piksel sayıları o görüntünün çözünürlüğü olarak ifade edilir. Mesela; yatay doğrultuda 640 piksele ve dikey doğrultuda 480 piksele sahip olan bir görüntü için 640x480 çözünürlüğe sahiptir denilir.



Şekil 33. Dijital bir görüntü ve piksel

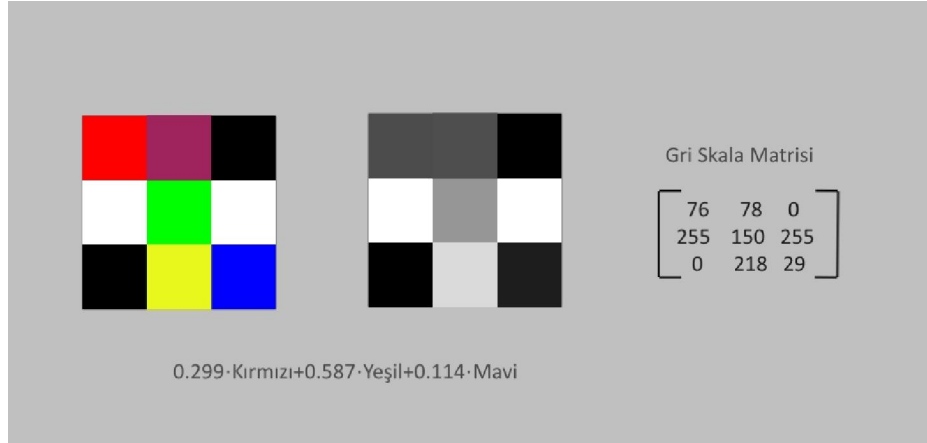
Dijital ortama aktarılan görüntüler renkli olabilecekleri gibi gri skalada da olabilirler. Renkli görüntülerin temsili çoğunlukla üç ana renk olan kırmızı, mavi ve yeşilin belirli oranlarda karıştırılması şeklinde olur. Bu çeşit görüntüler üç renk kanallı görüntüler olarak adlandırılırlar. Bu şekilde bir görüntünün dijital ortamda tutulması,

her biri çözünürlük boyutunda olan üç adet matris ile yapılmaktadır. Herbir renk kanalı için bir matris oluşturulur ve matrisin her bir elemanı o renk değerinin yoğunluğunu belirler. Renklerin yoğunluk değerleri 8bit'lik(2^8 ; 0-255 arası) aralıkta olabileceği gibi 16bit ve 32bit değer aralıklarında da olabilirler. Bu tez çalışmasında 8bit'lik görüntüler kullanılmıştır. Şekil 34'te 3x3 çözünürlüğe sahip 8bit renkli bir görüntünün büyütülmüş hali, renk kanal matrisleri ve matris elemanlarının 0-255 arası sahip oldukları değerler gösterilmiştir.



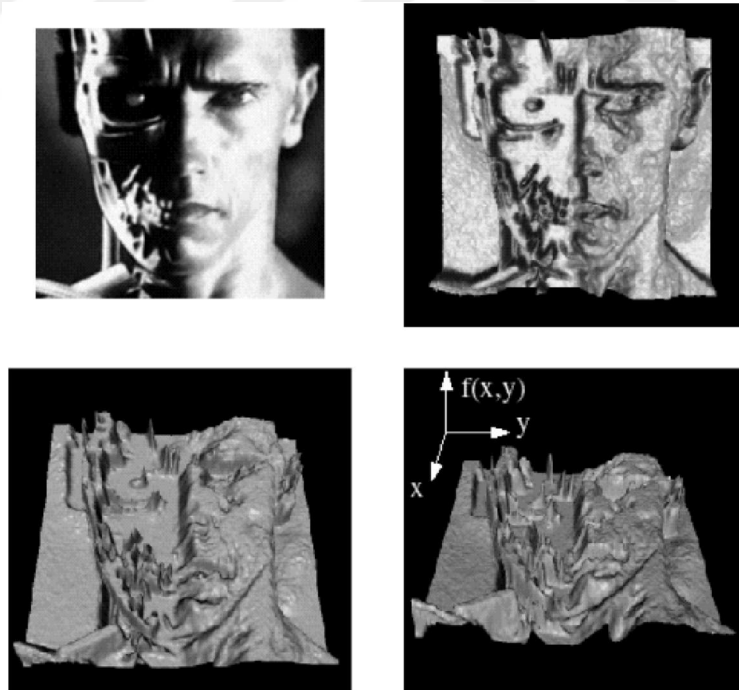
Şekil 34. 3x3 Çözünürlükte 8bit renkli bir görüntü ve renk kanalları

Görüntü işlemleri sırasında renk kanalları kullanılmayacaklarsa, görüntü basitlik açısından gri skalaya dönüştürülür. Dönüştürme işlemi, matrislerin her bir elemanının belirli bir katsayıyla çarpılıp sonrada toplanmalarıyla aynı değer aralığında tek bir matris oluşturulması şeklinde yapılır. Şekil 35'te kırmızı kanal için 0.299, yeşil kanal için 0.587, mavi kanal için 0.114 katsayıları kullanılarak yapılan bir gri skala dönüşümü görülebilir. Belirtilen katsayılar literatürde [67] de kullanılmakta olup bu tez çalışmasında kullanılan görüntü işleme kütüphanesi de gri skala dönüşümlerinde aynı katsayıları kullanmaktadır.



Şekil 35. 3x3 Çözünürlükte 8bit-renkli bir görüntünün gri skalaya çevrilmesi

Gri skala görüntüler ile yapılan görüntü işleme uygulamalarında, iki boyutlu görüntü matrisi çoğunlukla ayrık bir sinyal fonksiyonu olarak ele alınır ve işlemler bu doğrultuda uygulanırlar. Şekil 36'da gri skalada bir görüntünün iki boyutlu bir fonksiyon olarak tasvir edilmesi gösterilmiştir.



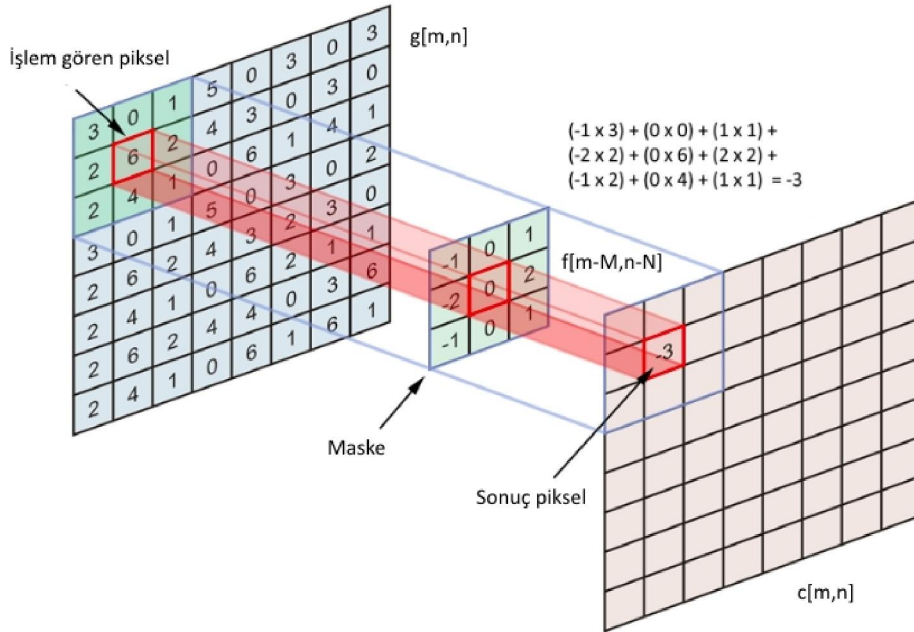
Şekil 36. Gri skalada bir görüntünün iki boyutlu bir fonksiyon olarak tasvir edilmesi

1.5.2.1.1. Konvolüsyon

Konvolüsyon fonksiyonlara uygulanan matematiksel bir işlem olup sinyal işleme ve görüntü işleme uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Görüntü işleme uygulamalarında kullanılan ayrık konvolüsyonun matematiksel ifadesi Denklem 17'de gösterilmiştir.

$$c[m, n] = f[m, n] * g[m, n] = \sum_{i=-M}^{+M} \sum_{j=-N}^{+N} f[m - M, n - N]g[m, n] \quad (17)$$

Görüntü işleme uygulamalarında konvolüsyonun görsel anlatımı Şekil 37'de gösterilmiştir.



Şekil 37. Görüntü işleme uygulamalarında konvolüsyonun görsel anlatımı

Görüntü işleme uygulamalarında konvolüsyon; maske adı verilen ayrık iki boyutlu bir fonksiyonun ana görüntüye uygulanması şeklinde yapılmaktadır. Görüntüdeki kenarları belirginleştirmek ve tespit etmek, görüntü piksellerini temizlemek/azaltmak, detayları belirginleştirmek gibi bazı görüntü işleme tekniklerinde amaca uygun çeşitli maskeler ile konvolüsyon sıkça uygulanmaktadır.

1.5.2.1.2. Fourier Dönüşümü

Periyodik fonksiyonlar çeşitli trigonometrik fonksiyonların toplamı olarak ifade edilebilmektedir. Jean-Baptiste Joseph Fourier tarafından 19. Yüzyılın başında ortaya koyulan bu teorem sinyal ve görüntü işleme uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Görüntü gibi iki boyutlu ayrık bir fonksiyonu oluşturan trigonometrik fonksiyonların bulunuşu “Ayrık Fourier Dönüşümü” olarak adlandırılan, Denklem 18’deki matematiksel işlem ile gerçekleştirilmektedir.

$$F[k, l] = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f[m, n] e^{-j2\pi\left(\frac{k}{M}m + \frac{l}{N}n\right)} \quad (18)$$

Görüntüye uygulanan fourier dönüşümü sayesinde görüntünün frekans bileşenleri incelenebilir, bu aşamada birçok filtreleme işlemi yapılabilir, görüntü üzerinde tekrarlayan paternler ve değişimleri incelenebilir.

Tornalamada takım aşınması ile ilgili görüntü işleme teknikleri kullanılarak yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu alandaki çoğu çalışma takımdan alınan görüntüler üzerinden, görüntü işleme uygulamaları ile serbest yüzey aşınması ve krater aşınması ölçümlerine [45, 68-70] yönelik olsa da yüzeyden elde edilen görüntüler üzerinden de takım aşınmasını takip etmeye yönelik çalışmalar mevcuttur [71-73].

Serbest yüzey aşınmasının takım ömrü kriteri olarak kullanıldığı durumlarda kabul edilebilir aşınma miktarının, sabit aşınma bölgesinin bitimine yakın bir değer olması kesici takımdan maksimum verim alınabilmesi için önemlidir. Bu bağlamda takım ömrünün izlenmesi büyük önem arz etmektedir. Takım ömrü izleme yöntemleri genellikle pahalı ekipmanlara ihtiyaç duymaktadır. Görüntü işleme yöntemleri ile yapılan takım ömrü çalışmaları görece daha az maliyetli ve uygulanabilir olmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında takım ömrü izleme konusunda görüntü işleme yöntemlerinin uygulanabilirliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

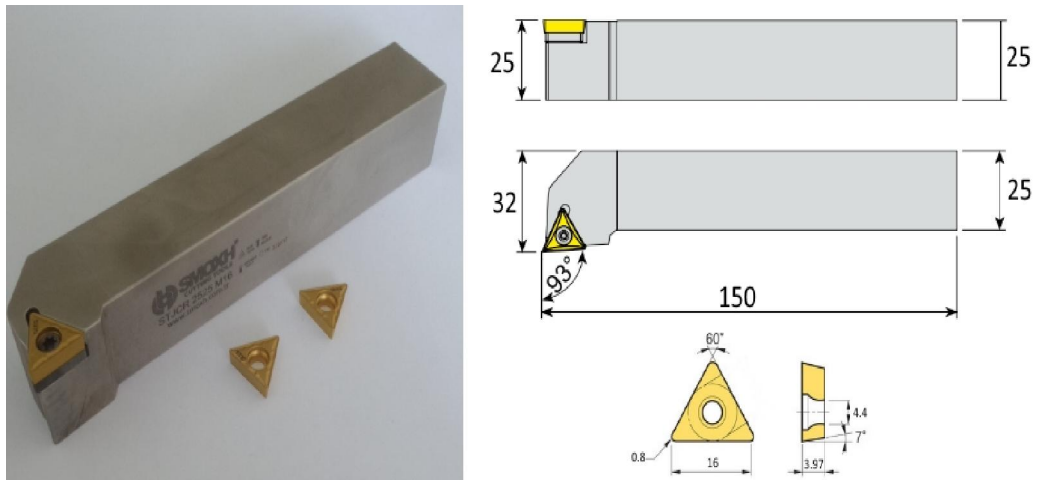
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında yapılan deneyler Trabzon Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde bulunan CNC tornalama tezgahında gerçekleştirilmiştir. Goodway marka GLS-200 model (Şekil 4) CNC tezgahına ait teknik özellikler Tablo'2 de gösterilmiştir.

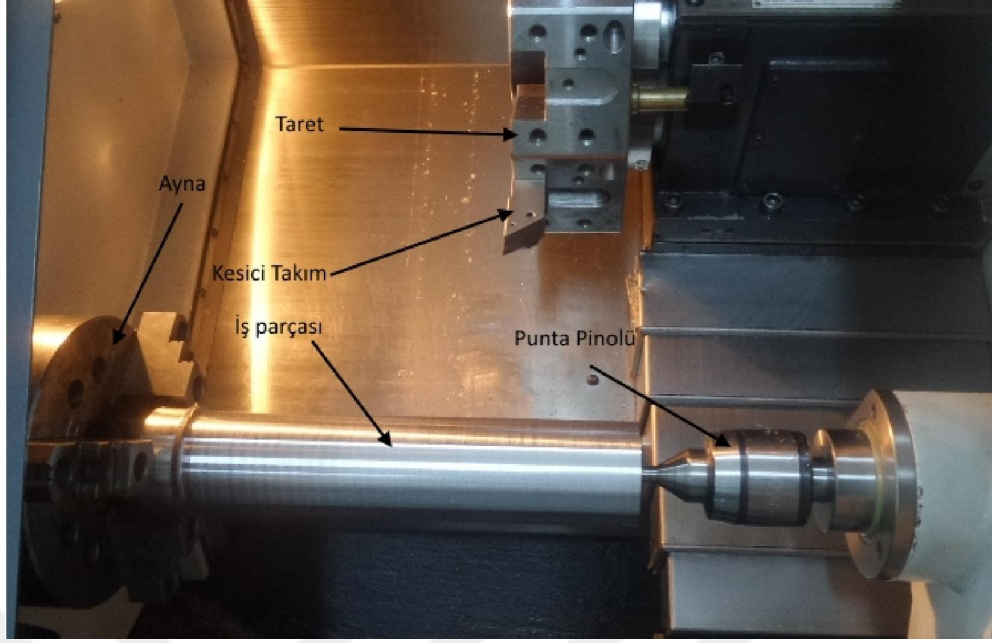
Tablo 2. GLS-200 model CNC tezgahına ait teknik özellikler

Maksimum tornalama boyu	500.00 mm
Maksimum tornalama çapı	380.00 mm
Kontrol Ünitesi	Fanuc Oi-Mate TD
İş mili Motor Gücü	15.0 kW
Dönüş Deviri	4200 Devir
Ayna Çapı	8 inç
X-Z eksen Motor Güçleri	2.7 kW

Deneyler kapsamında yapılan tornalama işlemlerinde Smoxh marka STJCR 25x25 takım tutucu ve Korloy marka TCMT16T308 – HMP NC5330 talaş kırıcı geometriye sahip kaplamalı sinterlenmiş karbür uçlar kullanılmıştır. Kullanılan takım tutucu ve kesici uç fotoğrafı ve geometrileri Şekil 38'de gösterilmiştir.



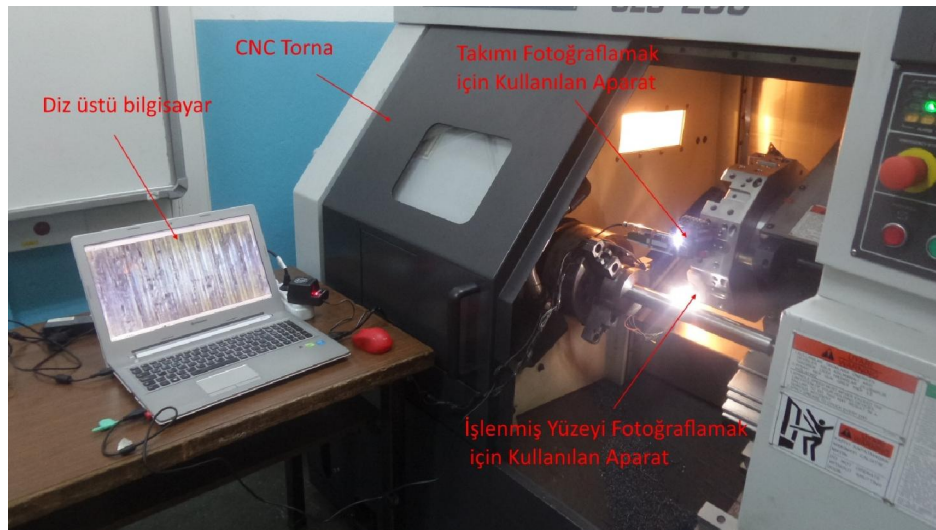
Şekil 38. STJCR 25x25 takım tutucu ve TCMT 16T0308 kesici uç



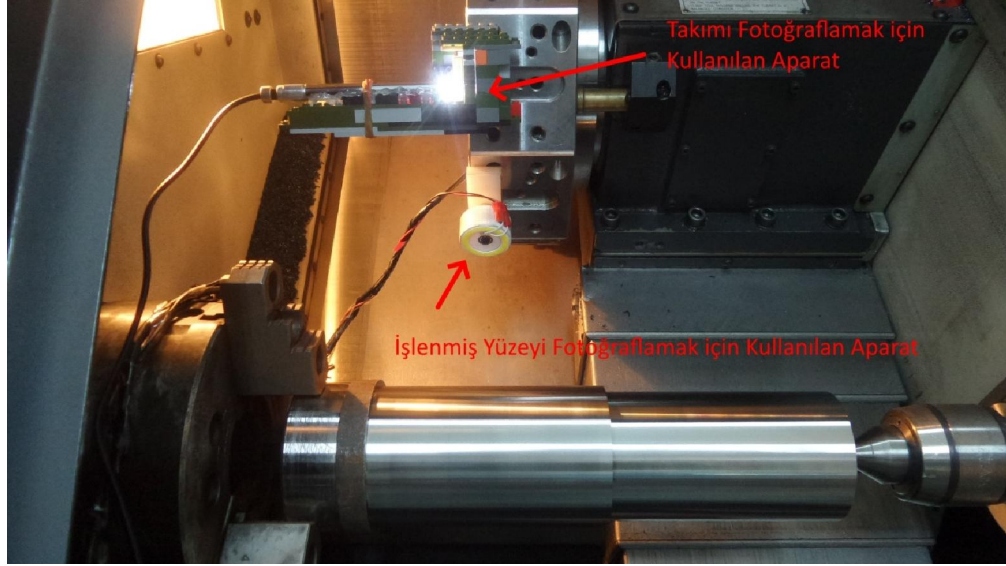
Şekil 39. CNC tezgahın işlem alanı

2.1. Deney Düzeneği

Deneyler kapsamında kurulan düzenek; CNC Tornalama tezgahı, kesici takımını fotoğraflamak için kullanılan bir aparat, işlenmiş yüzeyi fotoğraflamak için kullanılan bir aparat ve görüntülerin alındığı diz üstü bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil40-41).



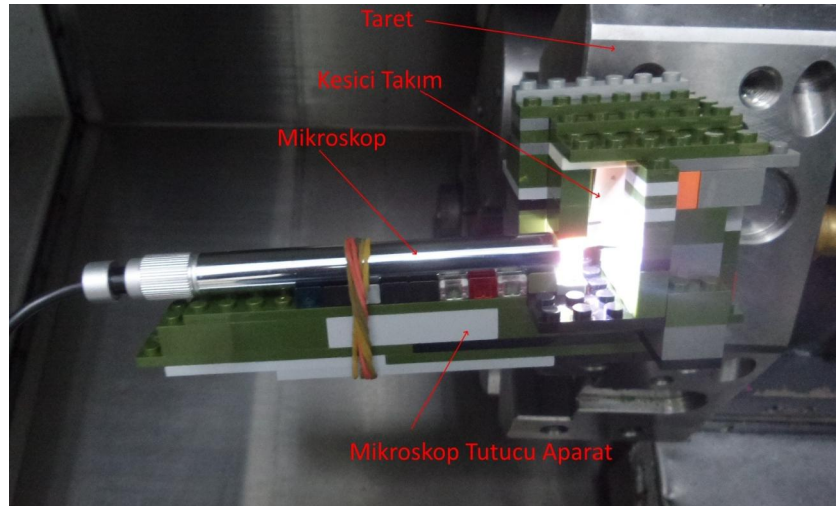
Şekil 40. Deney düzeneği



Şekil 41. Deney düzeneği tezgah işleme alanı

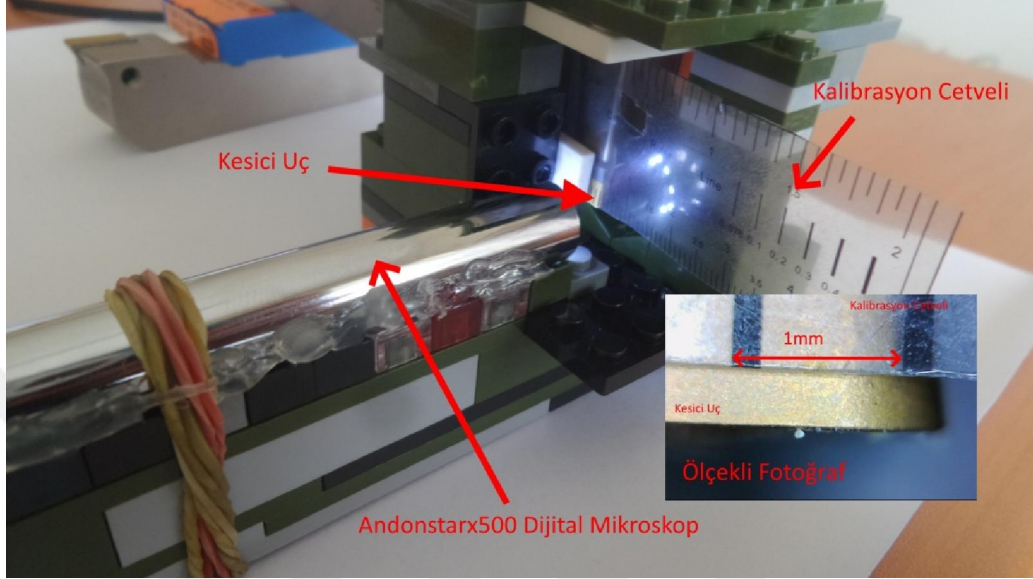
2.1.1. Takım Aşınmasının Ölçülmesi

Takım aşınmasının ölçülmesi; Andonstar 500X marka dijital kalem mikroskop ile alınan fotoğraflar üzerinden yapılmıştır. Mikroskop kesici takım üzerine takılabilen bir aparata silikon sıkılarak sabitlenmiştir. Fotoğraf alınması istenilen zamanlarda, aparat taret üzerindeki kesici takıma takılarak (Şekil 42) fotoğraf çekimi yapılmıştır. Bu sayede alınan her fotoğrafın aynı ölçekte olması sağlanmıştır.



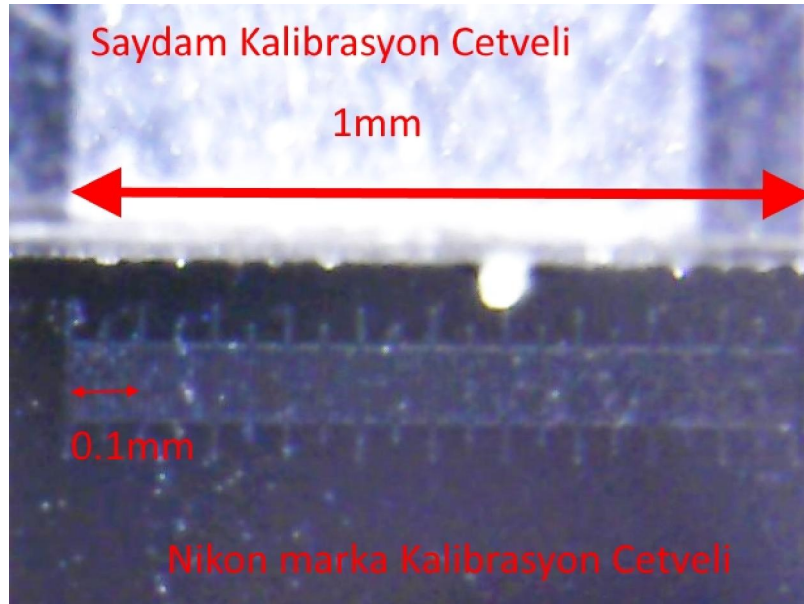
Şekil 42. Taret üzerindeki kesici takıma takılan fotoğraflama aparatı

Alınan fotoğraflardan aşınma miktarının ölçülebilmesi için; aparat kesici takıma takılıyken, kesici ucun önüne koyulan saydam bir kalibrasyon cetveli ile ölçeklendirilmiş bir fotoğraf elde edilmiştir (Şekil 43).



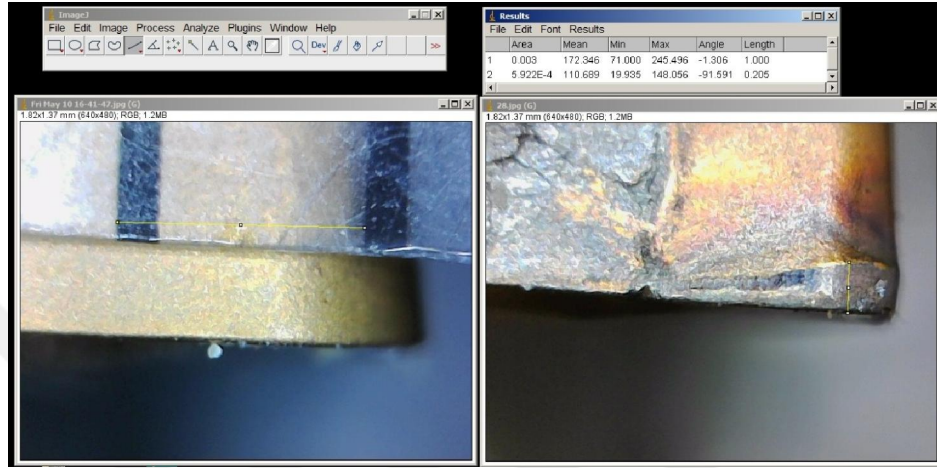
Şekil 43. Ölçekli fotoğrafın hazırlanması

Fotoğraf ölçeklendirmesinde kullanılan saydam kalibrasyon cetvelinin doğruluğu, Nikon marka profesyonel bir kalibrasyon cetveli ile kontrol edilmiştir.



Şekil 44. Kalibrasyon cetvelerinin mikroskop altında karşılaştırılması

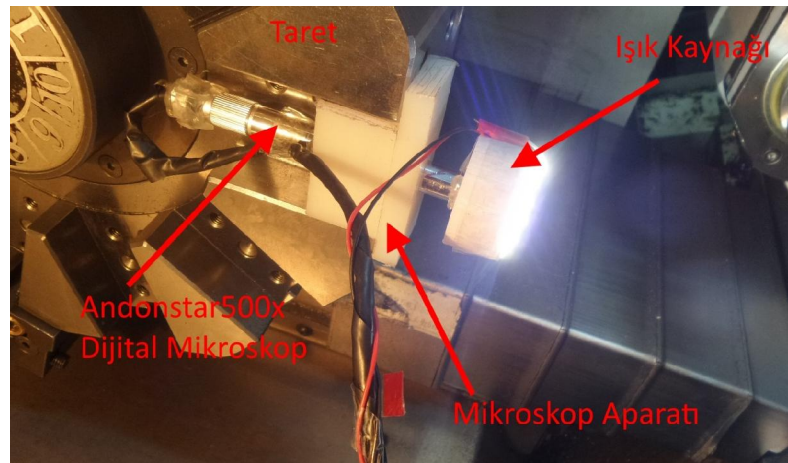
Takım aşınmasının ölçülmesi; kesici takımdan alınan fotoğraflar üzerinden, açık kaynak kodlu ve açık lisanslı olan ImageJ [74] yazılımı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 45). Yapılan çalışmalarda serbest yüzey aşınması takım ömrü kriteri olarak kabul edilmiş, yapılan ölçümlerde serbest yüzey aşınmasının maksimum değeri dikkate alınmıştır.



Şekil 45. ImageJ yazılımında kalibrasyon ve ölçüm

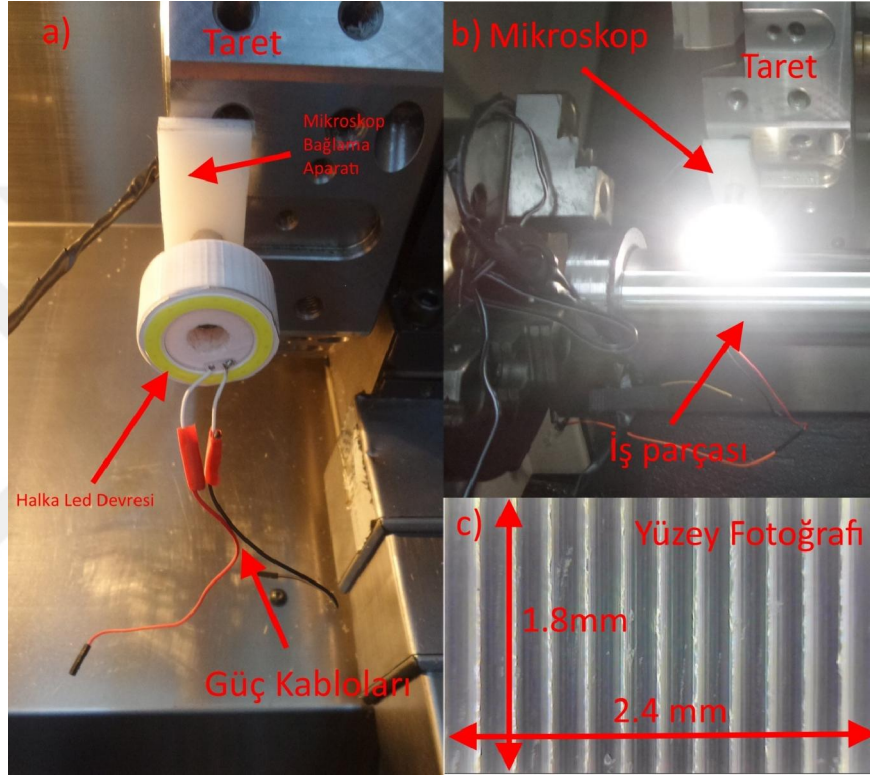
2.1.2. İşlenmiş Yüzeyin Fotoğraflanması

İşlenmiş yüzeylerin fotoğraflanması bir başka Andonstar 500X marka dijital kalem mikroskop kullanarak gerçekleştirilmiştir. Mikroskop bir aparat yardımı ile taret üzerindeki takım istasyonlarından bir tanesine sabitlenmiştir (Şekil 46).



Şekil 46. Taret üzerine takılan yüzey fotoğraflama aparatı

Mikroskop, aparat üzerine tam ortalanarak yerleştirilmiştir, bu sayede mikroskobun iş parçası teğet düzlemine normal olarak konumlanması sağlanmıştır. Fotoğraflama sırasında gerekli olan homojen ışıklandırma mikroskobun ucuna takılan halka şeklindeki led ışıklar sayesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 47a). Led ışık 3Volt adaptör ile çalıştırılmıştır. Fotoğraflar, taretin iş parçasına yakınlştırılması ile alınmıştır (Şekil 47b).



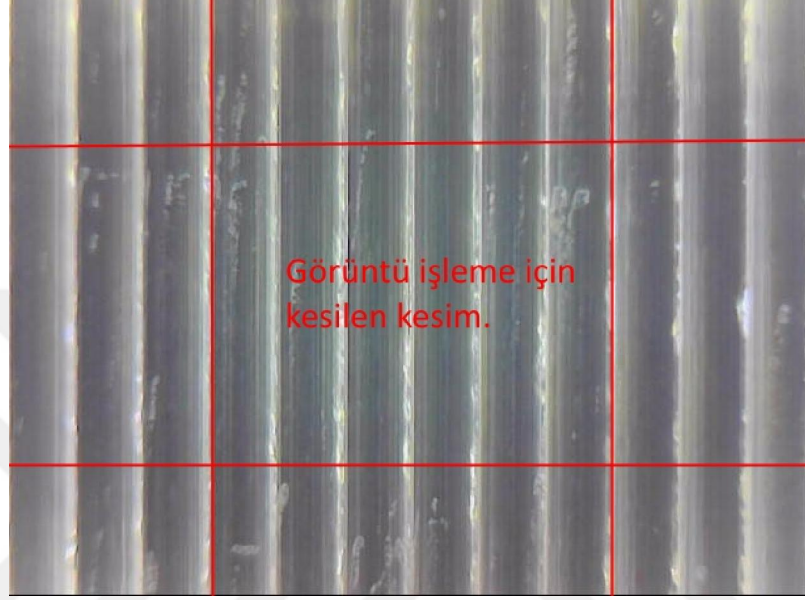
Şekil 47. Yüzey fotoğraflandırmada kullanılan ışıklandırma sistemi(a),yüzeyin fotoğraflandırılması(b) ve yüzey fotoğrafı(c)

İşlenmiş yüzeyden alınan fotoğraflar 640x480 piksel çözünürlüğünde alınmıştır. Her defasında 2.4 mm x 1.8 mm'lik bir alan fotoğraflanmıştır (Şekil 47c).

2.2. Yüzey Fotoğraflarına Uygulanan Görüntü İşleme Yöntemleri ve Analizler

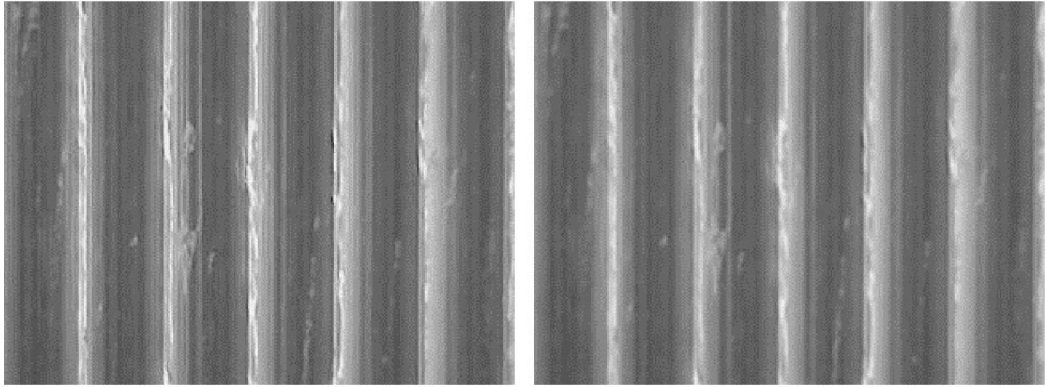
Alınan yüzey fotoğrafların işlenmesi ve analizleri için C++ programlama dili üzerinden açık kaynak kodlu ve açık lisanslı OpenCV 3.2.0.0 [75] görüntü işleme kütüphanesi kullanılmıştır.

Alınan fotoğrafların kenarlarına doğru mikroskopun odağının kaybolmasından dolayı 640x480 piksel çözünürlükteki fotoğrafların orta kısmından 320x240 piksel'lik bölüm kırpılmış ve tüm işlemler bu kırpılan bölümler üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 48).



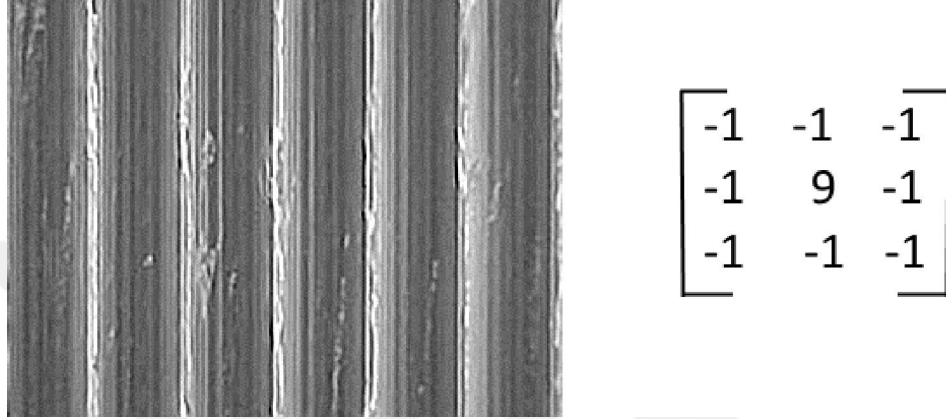
Şekil 48. Yüzey fotoğraflardan işlem ve analizler için kesilen kısım

Yapılan çalışmalarda renk kanalları incelenmeyeceği için ve işlemleri basitleştirmek amacıyla renkli olarak alınan görüntü tek kanallı gri skala görüntüye dönüştürülmüş, tüm piksellerin 0-255 değerleri arasında olması sağlanmıştır. Görüntüdeki gürültünün azaltılması için 1 standart sapma değeri ile 9x9'luk Gauss maskesi ile konvolüsyon uygulanmıştır (Şekil 49).



Şekil 49. Orjinal gri görüntü (Sol) Gauss filtresi uygulanmış görüntü (Sağ)

Gürültü temizleme işlemi aynı zamanda görüntüyü bulanıklaştırmaktadır. Bulanıklaşan görüntüde detayların belirgenleştirilmesi için görüntüye keskinleştirme işlemi uygulanmıştır. Keskinleştirme işlemi görüntüye bir keskinleştirme maskesinin konvolüsyon yapılarak uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan maske ve sonuç görüntü Şekil 50’de gösterilmiştir.



Şekil 50. Keskinleştirilmiş görüntü ve keskinleştirme için kullanılan maske

Zamanla değişimlerinin karşılaştırılması amacı ile filtrelenmiş görüntülerdeki piksel değerlerinin aritmetik ortalamaları alınmıştır.

$$A = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N g[i, j] \quad (19)$$

Denklem 19’da;

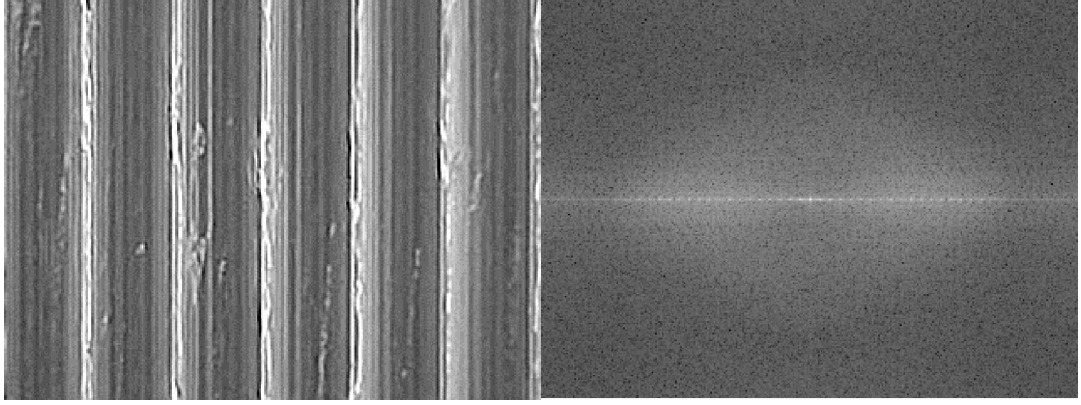
A – Pikesel değerlerinin aritmetik ortalaması.

M- Görüntü matrisinin satır piksel sayısı.

N- Görüntü matrisinin sütun piksel sayısı.

$g(i,j)$ – Görüntü matrisi.

Filtrelenmiş görüntülerin ayrık fourier dönüşümleri alınmış ve genlik matrisleri oluşturulmuştur. Fourier dönüşümü alınmış bir görüntü ve genlik matrisinin logaritmik skalaya indirgenmesi ile görüntüye çevrilmiş hali Şekil 51’de gösterilmiştir.



Şekil 51. Fourier dönüşümü alınmış bir görüntü ve genlik matrisinin logaritmik skalaya indirgenmesi ile görüntüye çevrilmiş hali

Oluşturulan genlik matrislerinin takım aşınması ile değişimlerinin bir göstergesi olarak incelemek amacı ile genlik değerlerinin aritmetik ortalamaları alınmıştır.

$$A_f = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N a[i, j] \quad (20)$$

Denklem 19'da;

A_f – Genlik değerlerinin aritmetik ortalaması.

M – Genlik matrisinin satır sayısı.

N – Genlik matrisinin sütun sayısı.

$a(i, j)$ – Genlik matrisi.

Aynı şekilde incelenmek üzere genlik matrisindeki pik değerlerin ortalamaları da alınmıştır.

$$A_p = \frac{1}{P} \sum_{i=0}^P p_i \quad (21)$$

Denklem 20'de;

A_p – Genlik matrisindeki pik değerlerin aritmetik ortalaması.

P – Genlik matrisindeki pik değerlerin sayısı.

p_i – Genlik matrisindeki pik değerler.

2.3. DeneYlerin Yapılışı

Bir kesici ucun sabit bir kesici kenarı ile, sabit parametreler kullanılarak, kesici kenar kullanılamaz hale gelinceye kadar yapılan tornalama işlemi, ve bu işlemin zaman aralıklarında yapılan görüntü alma işlemleri “deney” olarak tanımlanmıştır.

DeneYler; 350 mm boyunda 100 mm çapında, sıcak haddelenmiş, AISI 4140 kalite çelik kütükler (Şekil 52) tornalanarak gerçekleştirilmiştir. AISI 4140 çeliğinin kimyasal içeriği ve diğer standartlarda gösterimleri Tablo 3’de verilmiştir. Çeliklerin sıcak haddeleme dolayısıyla meydana gelen cürüflü yüzeyleri bir kaba talaş kalemi ile tornalanmıştır. Çelik kütükler 98 mm çapına getirilmiştir.



Şekil 52. DeneYlerde kullanılan çelik kütükler

Tablo 3. Deneyleerde kullanılan çeliğin standart gösterimleri ve kimyasal içeriği

Malzemenin farklı standartlardaki karşılıkları							
AISI/SAE		DIN		EN		JIS	
4140		1.7225		42CrMo4		SCM 440(H)	
Malzemenin kimyasal bileşimi							
C	Si	Mn	P-max	S-max	Cr	Mo	V
0.38-0.45	0.15-0.40	0.50-0.80	0.035	0.035	0.90-1.20	0.15-0.30	-

Çalışma kapsamında 8'i farklı parametreler ile olmak üzere 10 adet deney gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen Deneyler 1'den 10'a kadar numaralandırılarak isimlendirilmiştir. Deney numaraları ve deneylere ait parametreler Tablo 4'te gösterilmiştir. Deneyler çerçevesinde yapılan tornalama işlemleri iş parçasından 150 mm ve 300 mm'lik pasolar kaldırılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan pasolar ve çaplar Tablo 5'te gösterilmiştir. Kaldırılan her bir paso sonrası kesici takımdan ve iş parçasından görüntü alınmıştır. Her paso sonrası iş parçasından alınan görüntüler 150 mm'lik pasolarda iş parçasının başlangıcından 82 mm ileride olmak üzere bir adet, 300 mm pasolarda iş parçasının başlangıcından 82 mm ve 218 mm ileride olmak üzere iki adettir. Tornalama işlemlerinde kesme sıvısı kullanılmamıştır.

Tablo 4. Deney numaraları ve deneylere ait parametreler

Deney No	Kesme Hızı, V(m/dk)	İlerleme, f (mm/devir)	Kesme Derinliği, d (mm)
1	220	0.2	1
2	240	0.2	1
3	260	0.2	1
4	275	0.2	1
5	300	0.2	1
6	240	0.2	1
7	275	0.2	1
8	260	0.22	1
9	260	0.24	1
10	260	0.2	1.5

Tablo 5. Deneylere ait paso bilgileri

Deney Numarası	Paso apları ve Paso uzunlukları (mm)
1	Paso apları – 66...32 Paso uzunluğu – 300 Paso apları – 68...52 Paso uzunluğu – 150 Paso apları – 50...30 Paso uzunluğu - 300
2	Paso apları – 96...68 Paso uzunluğu – 150 Paso apları – 96...72 Paso uzunluğu – 150 Paso apları – 66...54 Paso uzunluğu - 150
3	Paso apları – 96...68 Paso uzunluğu – 150 Paso apları – 96...72 Paso uzunluğu – 150 Paso apları – 66...54 Paso uzunluğu - 150
4	Paso apları – 82...68 Paso uzunluğu – 150 Paso apları – 96...70 Paso uzunluğu – 150 Paso apları – 66...64 Paso uzunluğu - 150
5	Paso apları – 94...84 Paso uzunluğu – 300
6	Paso apları – 96...68 Paso uzunluğu – 300
7	Paso apları – 96...84 Paso uzunluğu – 150 Paso apları – 96...84 Paso uzunluğu – 150
8	Paso apları – 66...54 Paso uzunluğu – 300
9	Paso apları – 76...68 Paso uzunluğu – 300
10	Paso apları – 65...47 Paso uzunluğu – 300

3. BULGULAR VE İRDELEME

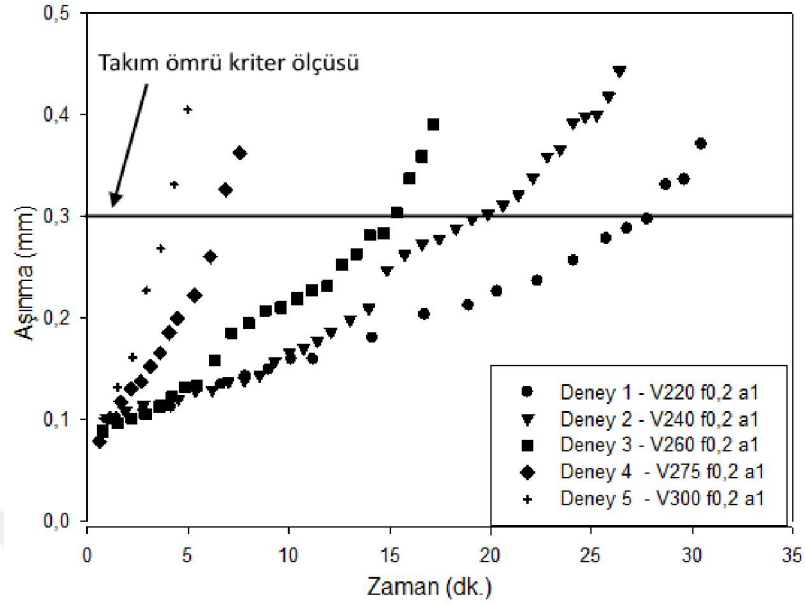
Deney 1’den Deney 5’e kadar ilerleme ve kesme derinliği sabit tutulmuş kesme hızı arttırılmıştır. Deney 6 ve Deney 7, Deney 2 ve Deney 4’ün farklı çaplarda ve pasalarda tekrarlanmış halidir. Deney 3, Deney 8 ve Deney 9’da kesme hızı ve kesme derinliği sabit tutulmuş ilerleme arttırılmıştır. Deney 3 ve Deney 10’da kesme hızı ve ilerleme sabit tutulmuş kesme derinliği arttırılmıştır. Takım ömrüne en fazla etki eden parametre kesme hızı olduğu için diğer parametrelerin sabit tutulduğu farklı kesme hızlarında yapılan deneylere ağırlık verilmiştir. Bulgular bu şekilde sınıflandırılmış ve değerlendirilmiştir.

3.1. Aşınma

Deneylerde aşığıda belirtilen sebepler neticesinde, takım ömrü standartlarına uygun şekilde takım ömrü kriteri olarak 0.3 mm serbest yüzey aşınması değeri kabul edilmiştir.

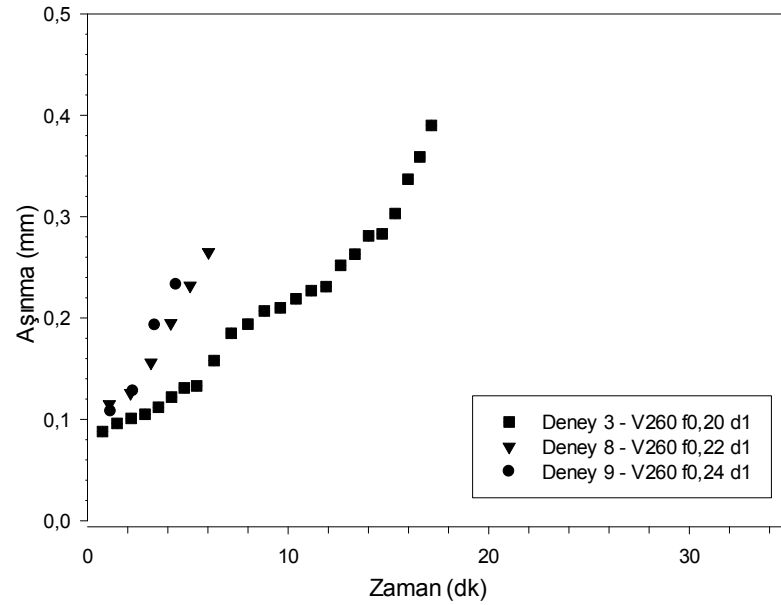
- Deneylerde stabil aşınma bölgesinden aşırı aşınma bölgesine geçişlerin tam olarak saptanamaması.
- Takım ömrü standartlarında genel takım ömrü kriteri olarak belirtilen 0.6 mm’lik serbest yüzey aşınma limitine ulaşılamadan kesici takımın kullanılamaz hale gelmesi.
- Aşınmanın 0.3 mm yi geçmesi ile beraber plastik deformasyon, yığma kenar oluşumu ve çentik aşınmalarında sistematik artışların gözlemlenmesi.
- Takım ömrü standartlarında önerilen maksimum serbet yüzey aşınmasının sistematik bir aşınma olması durumunda 0.3 mm olarak belirtilmiş olması.

Artan kesme hızlarında gerçekleştirilmiş deneylere ait olan (Deney 1-Deney 5) aşınma grafikleri Şekil 53’te gösterilmiştir. Artan kesme hızıyla beraber takım ömrünün kısılması Şekil 53’te görülmektedir.



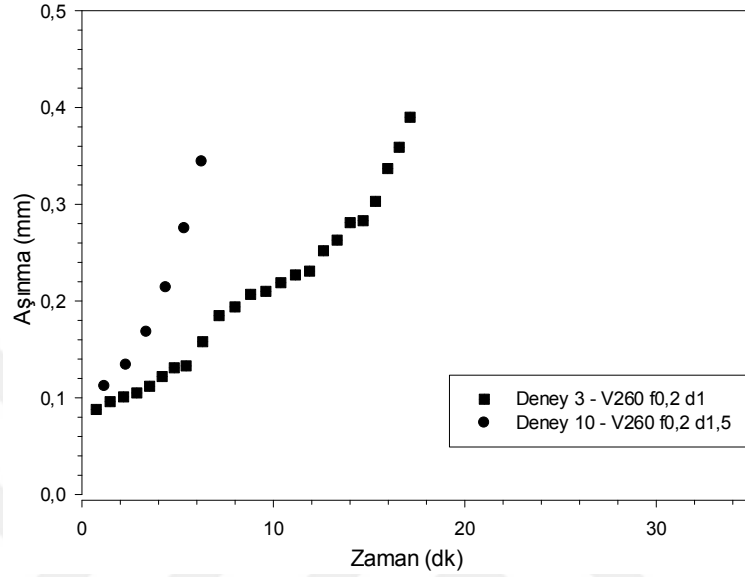
Şekil 53. Deney 1-5, değişen kesme hızlarında aşınma grafikleri

Artan ilerleme oranlarıyla gerçekleştirilmiş deneylere ait olan (Deney 3,Deney 8-9) aşınma grafikleri Şekil 54’de gösterilmiştir. Artan ilerleme oranlarıyla beraber takım ömrünün kısılması grafikte görülmektedir. Deney-8 ve Deney-9’da takım ömür kriteri olan 0.3 mm aşınma miktarına ulaşlamadan takımlar kırılmıştır.



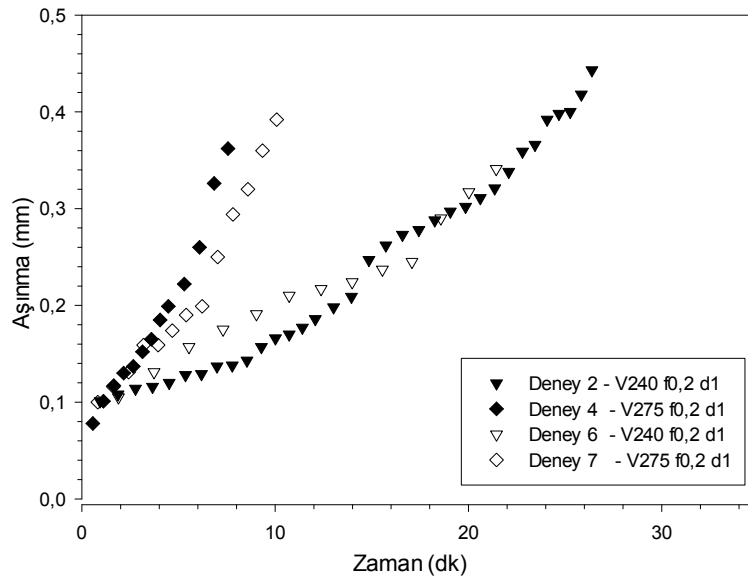
Şekil 54. Deney 3,8 ve 9, değişen ilerleme değerlerinde aşınma grafikleri

Artan kesme derinliğinde gerçekleştirilmiş deneylere ait olan (Deney 3 ve Deney 10) aşınma grafikleri Şekil 55'te gösterilmiştir. Artan kesme derinliğiyle beraber takım ömrünün kısılması grafikte görülmektedir.



Şekil 55. Deney 3 ve 10, artan kesme derinliğinde aşınma grafikleri

Aynı parametreler ile tekrarlanan deneylere ait olan (Deney 2,4,6 ve 7) aşınma grafikleri Şekil 56'da gösterilmiştir. Aynı parametreler ile yapılan deneylerde sonuçların benzer oldukları görülmüştür.

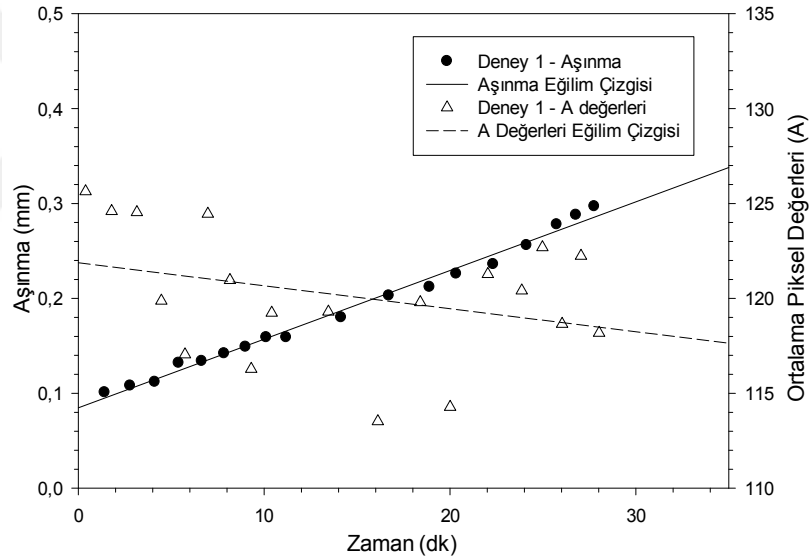


Şekil 56. Tekrarlanan deneylerde aşınma grafikleri

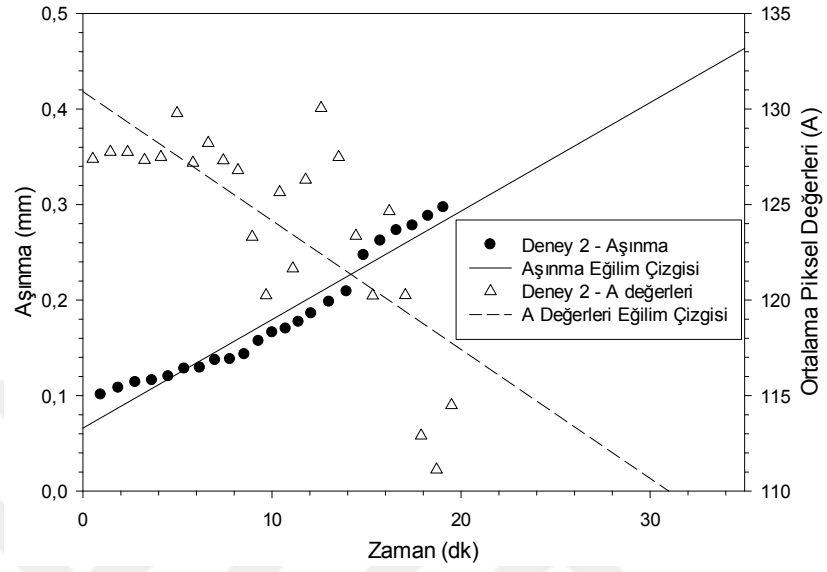
3.2. Aşınmanın Görüntü Parametreleri ile Karşılaştırılması

İşlenmiş yüzeylerden alınan görüntüler üzerinden elde edilen piksel değerlerinin aritmetik ortalamaları (A), fourier dönüşümlerinin genlik değerlerinin aritmetik ortalamaları (A_f) ve Fourier dönüşümlerinin genlik matrisindeki pik değerlerinin aritmetik ortalamaları (A_p) grafiklere dökülerek takım aşınma grafikleri ile karşılaştırılmıştır. Aşınmanın 0.3mm'yi geçtiği değerler, takımın ömrünü tamamlamış olarak kabul edilmesinden dolayı dikkate alınmamıştır.

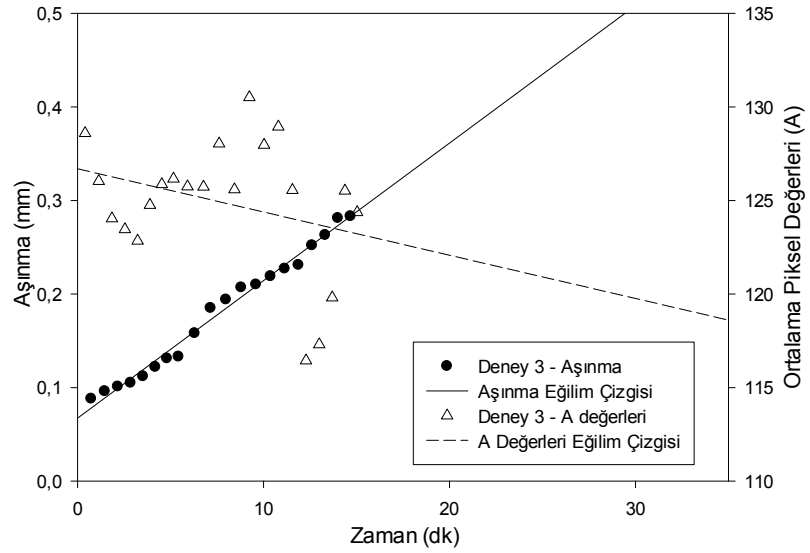
Diğer parametrelerin sabit tutulduğu kesme hızının değiştirildiği Deneysel 1-5'e ait; piksel değerlerinin aritmetik ortalamalarının (A), takım aşınmasıyla karşılaştırmalı grafikleri Şekil 57-61'de verilmiştir.



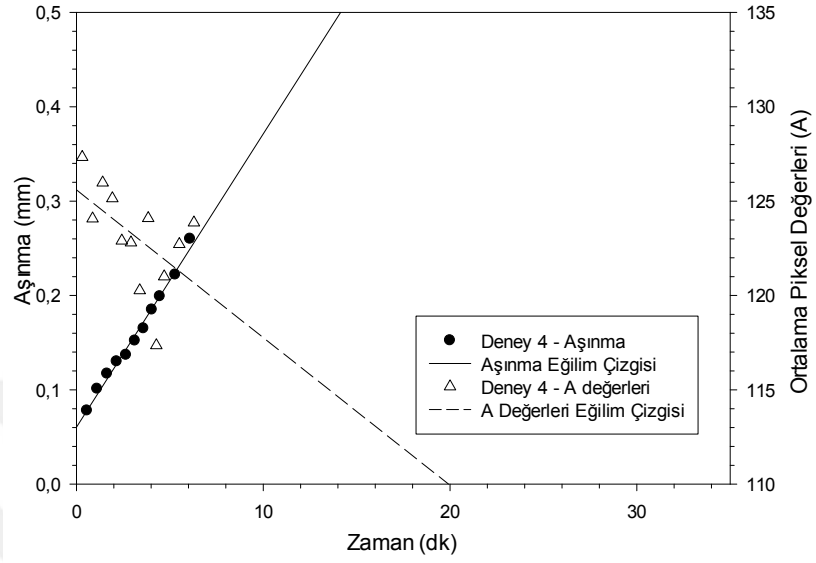
Şekil 57. Deneysel 1, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması



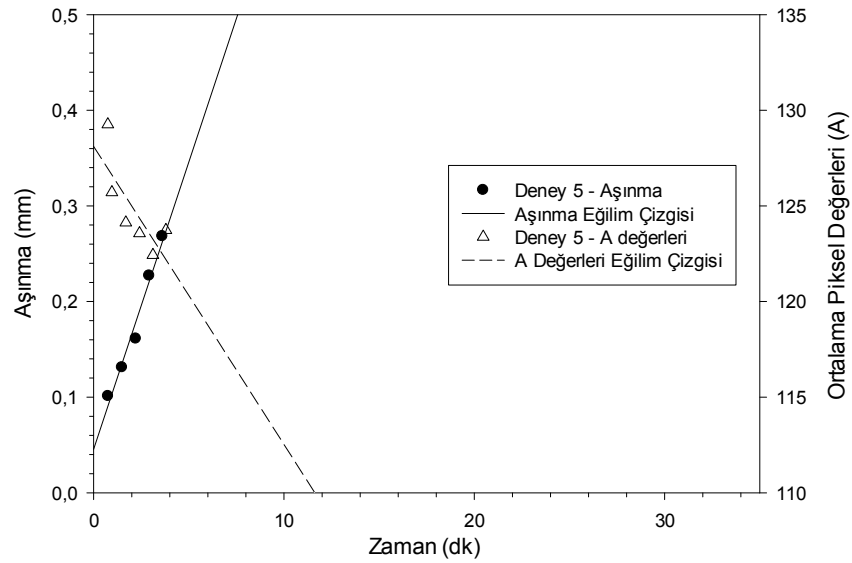
Şekil 58. Deneysel sonuçların karşılaştırılması



Şekil 59. Deneysel sonuçların karşılaştırılması

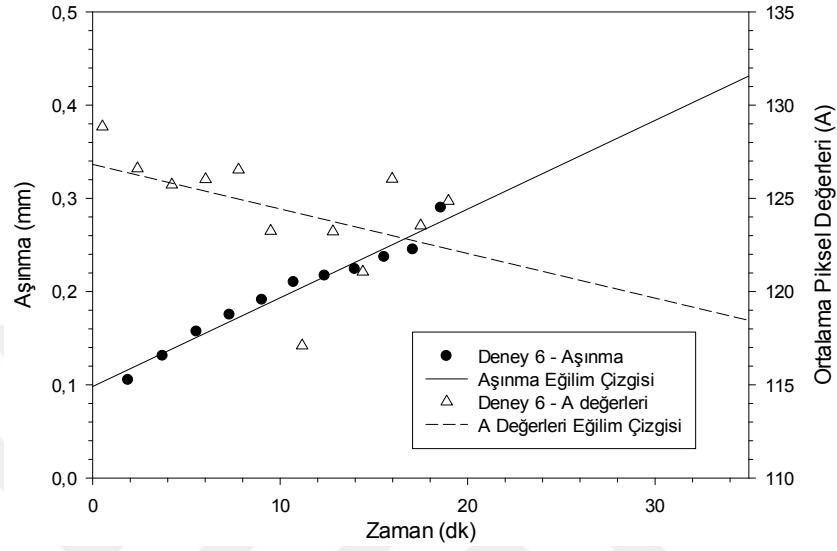


Şekil 60. Deneysel aşınma, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

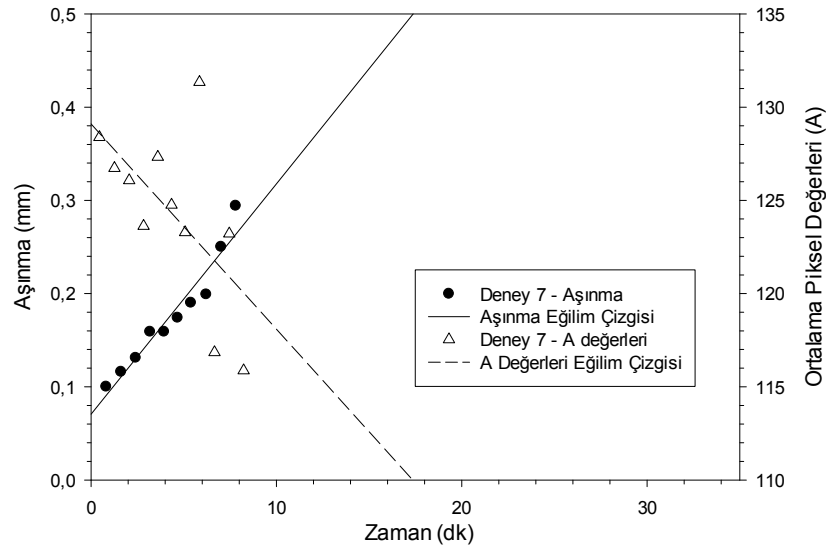


Şekil 61. Deneysel aşınma, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

Ortalama Piksel Değerlerinin (A) ilerleyen aşınma ile beraber düşüş eğiliminde oldukları görülmüştür. Deney 6 ve Deney 7'de de aynı durum söz konusudur. Deneylere ait grafikler Şekil 62 ve Şekil 63'te gösterilmiştir.

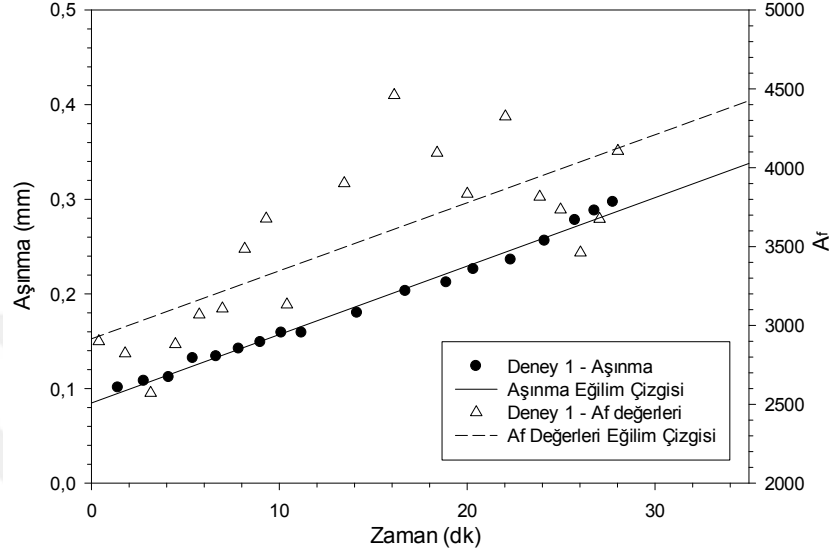


Şekil 62. Deney 6, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

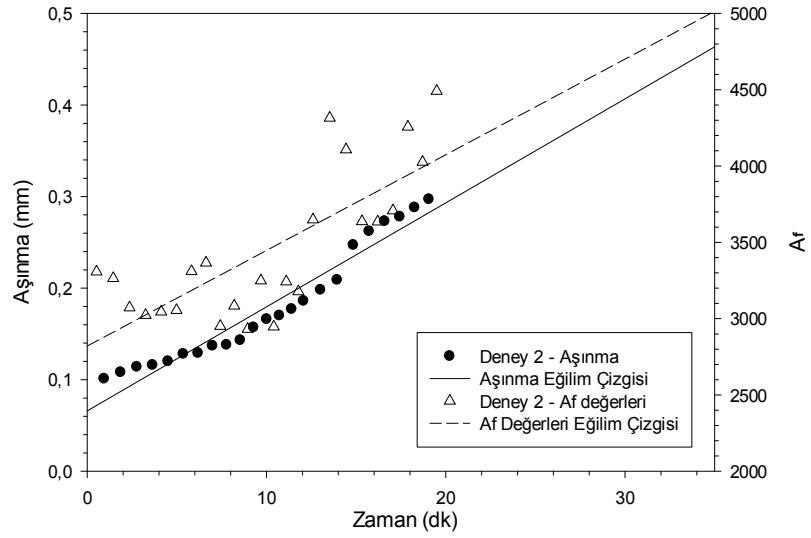


Şekil 63. Deney 7, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

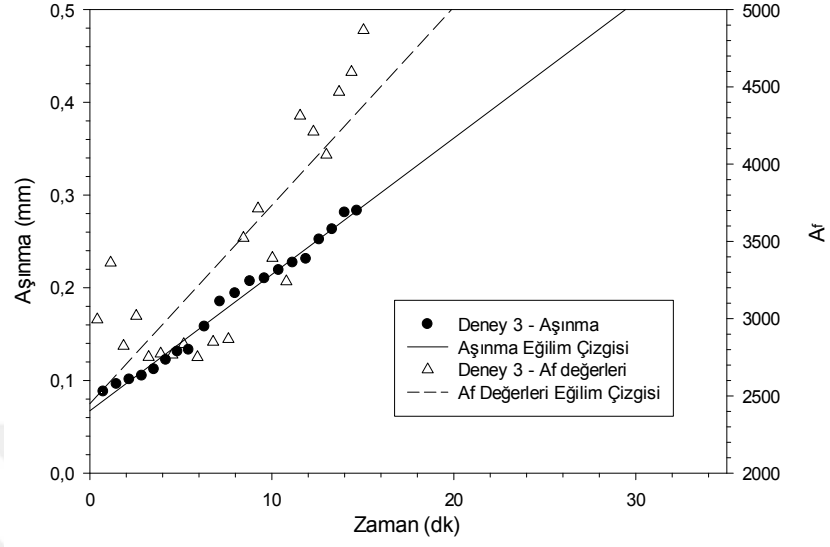
Diğer parametrelerin sabit tutulduğu, kesme hızının değiştirildiği Deney1-5'e ait Fourier dönüşümlerinin genlik değerlerinin aritmetik ortalamalarının (A_f), takım aşınmasıyla karşılaştırmalı grafikleri Şekil 64- 68'de verilmiştir.



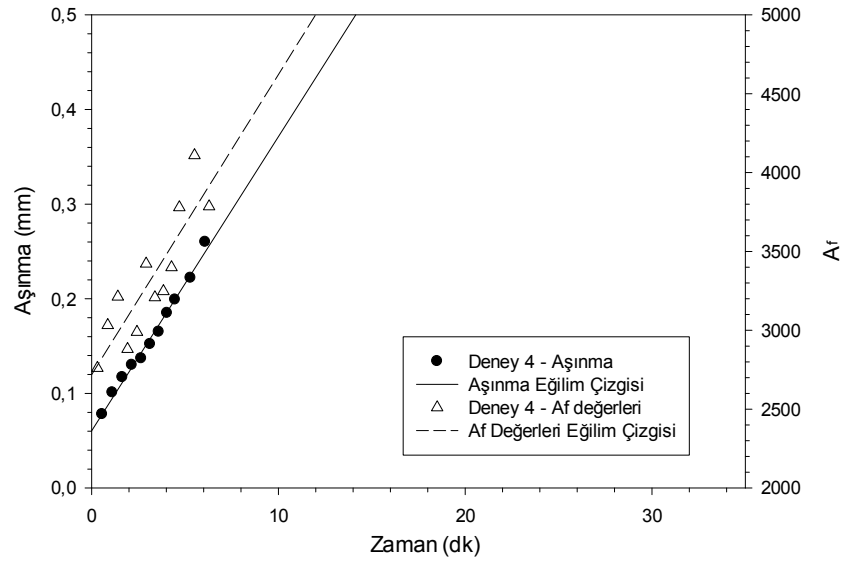
Şekil 64. Deney 1, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması



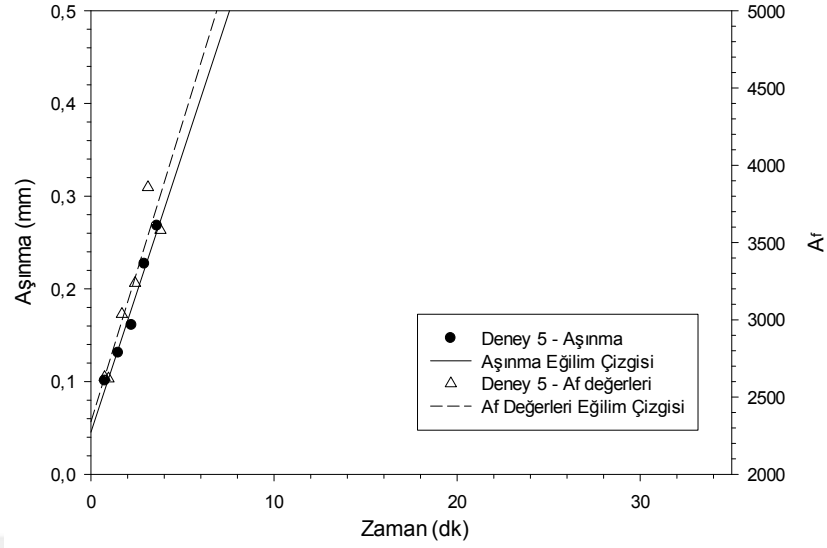
Şekil 65. Deney 2, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması



Şekil 66. Deneysel 3, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

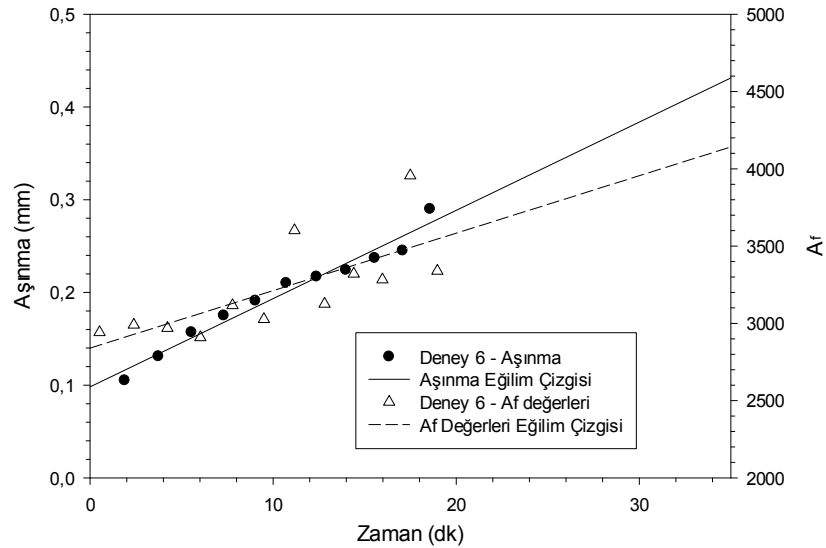


Şekil 67. Deneysel 4, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

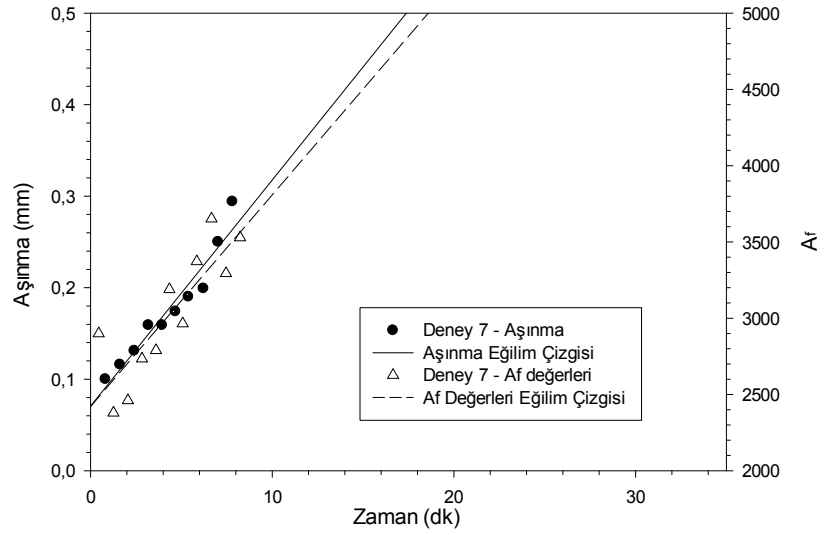


Şekil 68. Deneysel verilerin karşılaştırılması

Fourier dönüşümlerinin genlik değerlerinin aritmetik ortalamaları (A_f) ilerleyen aşınma ile beraber büyük ölçüde paralel bir artış eğilimi göstermektedir. Değişen kesme hızları kapsamında tekrarlanmış olan Deneysel 6 ve Deneysel 7’de de aynı durum söz konusudur, deneysel verilerin karşılaştırılması Şekil 69 ve Şekil 70’de gösterilmiştir.

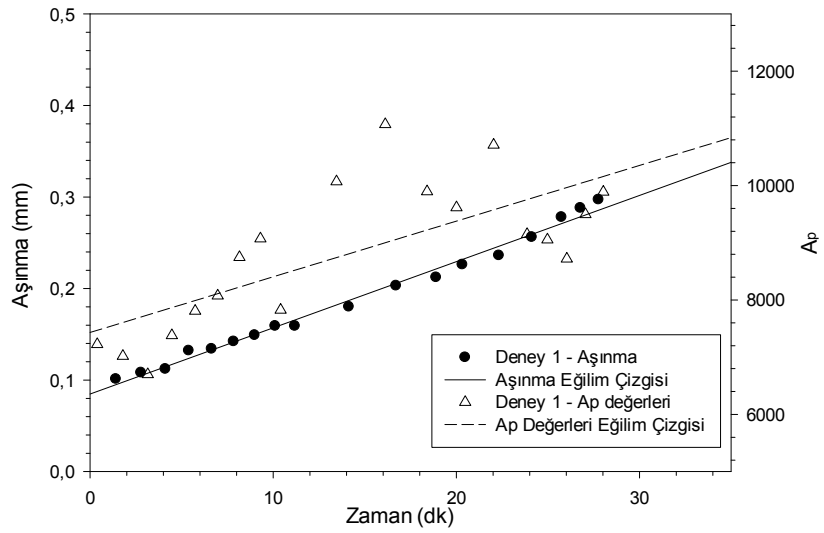


Şekil 69. Deneysel verilerin karşılaştırılması

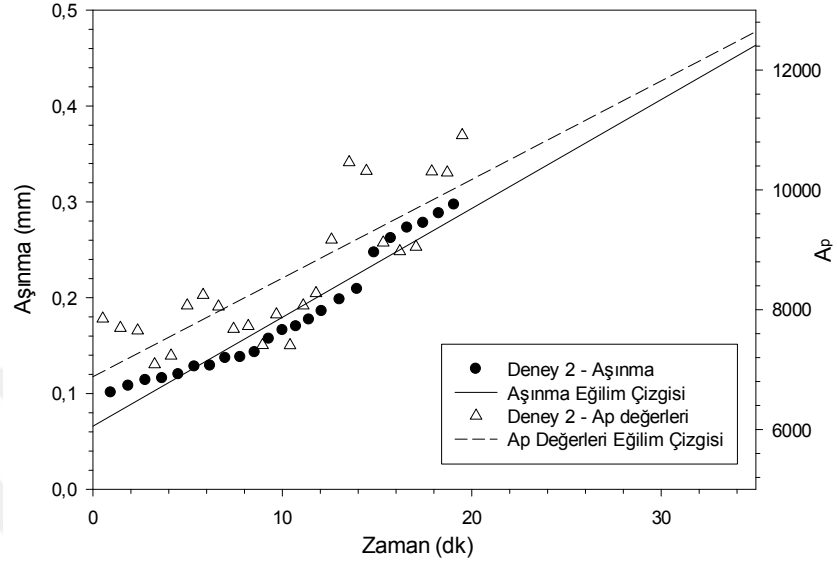


Şekil 70. Deney 7, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

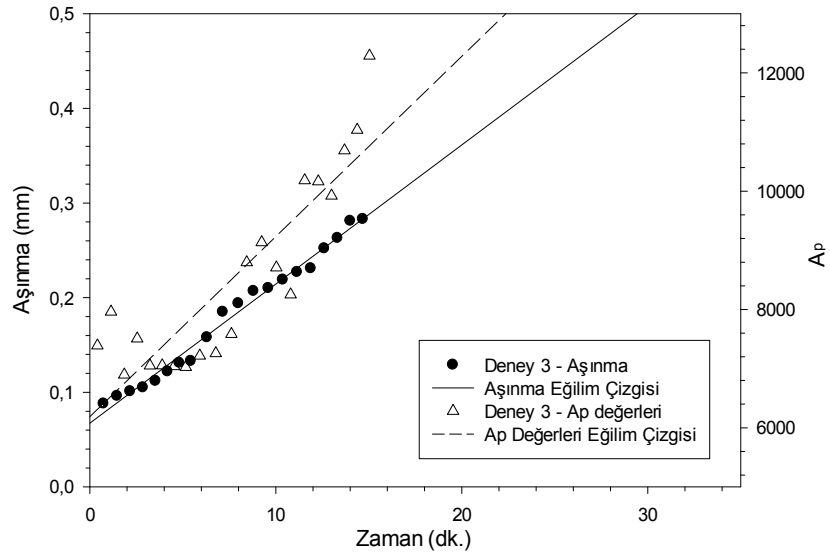
Diğer parametrelerin sabit tutulduğu, kesme hızının artırıldığı Deney 1-5'e ait Fourier dönüşümlerinin genlik matrisindeki pik değerlerin aritmetik ortalamalarının (A_p), takım aşınmasıyla karşılaştırmalı grafikleri Şekil 71-75'te verilmiştir.



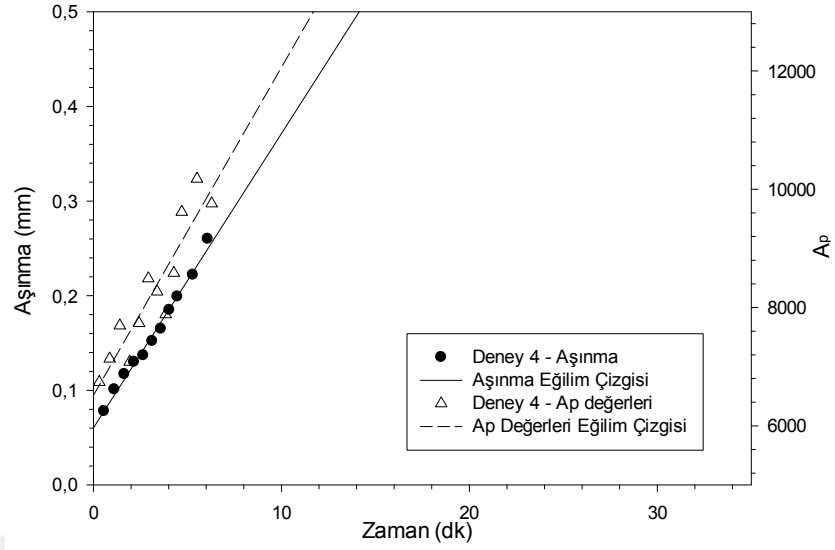
Şekil 71. Deney 1, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması



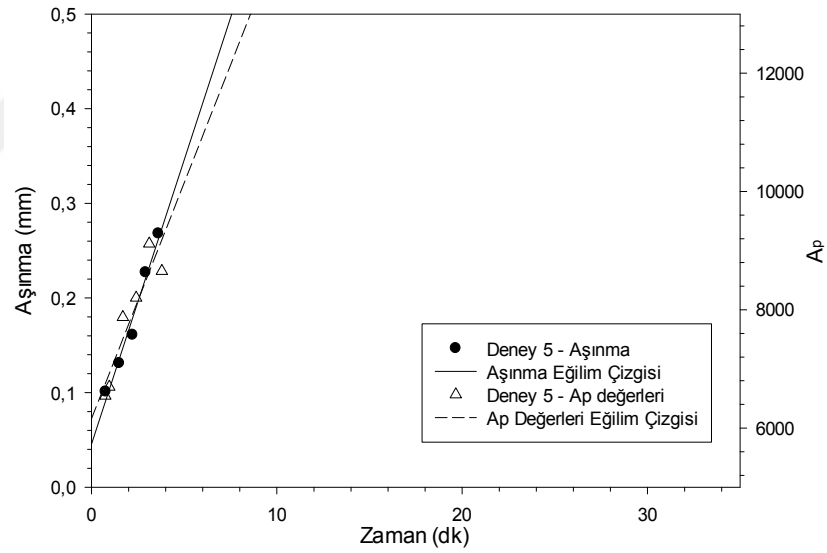
Şekil 72. Deneysel A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması



Şekil 73. Deneysel A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması



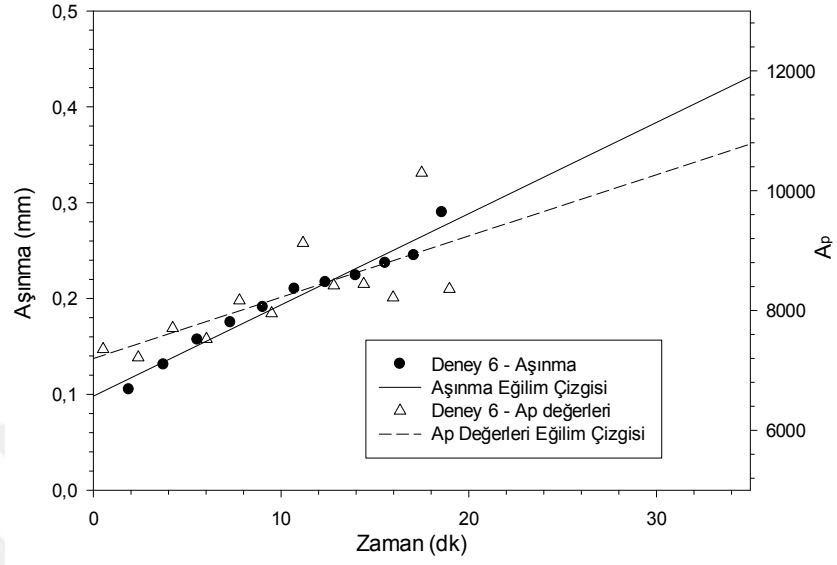
Şekil 74. Deneysel 4, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması



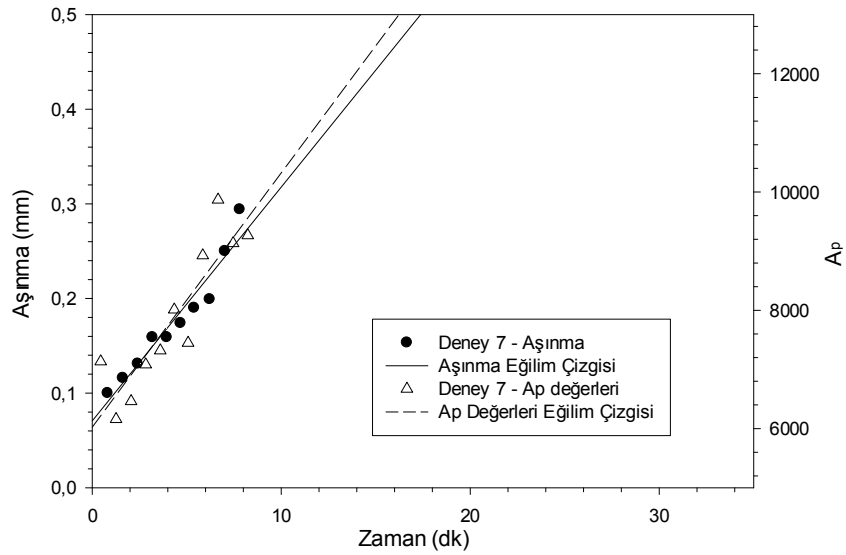
Şekil 75. Deneysel 5, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

Fourier dönüşümlerinin genlik matrisindeki pik değerlerinin aritmetik ortalamaları (A_p) ilerleyen aşınma ile beraber büyük ölçüde paralel bir artış eğilimi göstermektedir.

Değişen kesme hızları kapsamında tekrarlanmış olan Deneysel 6 ve Deneysel 7'de de aynı durum söz konusudur. Deneyselere ait grafikler Şekil 76 ve 77'de gösterilmiştir.

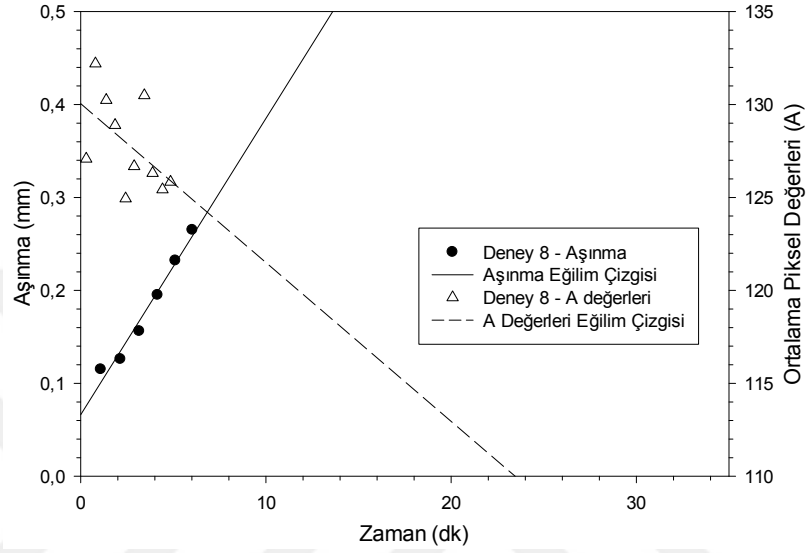


Şekil 76. Deneysel 6, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

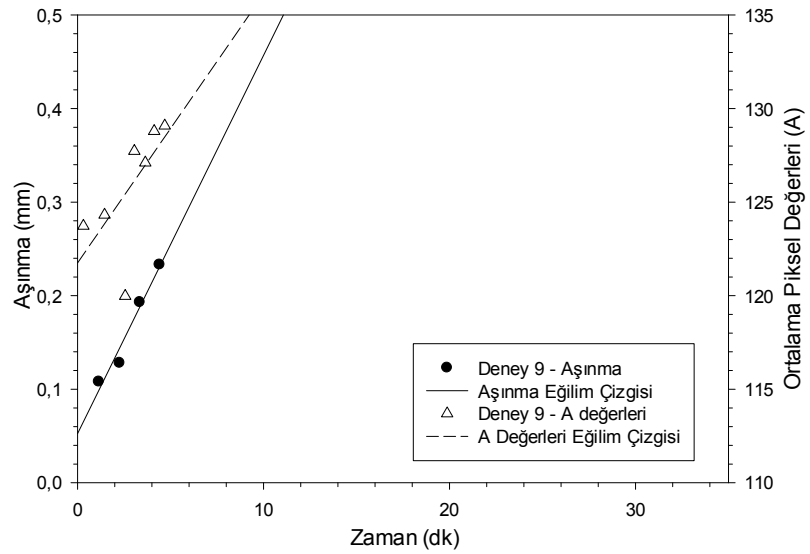


Şekil 77. Deneysel 7, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

Diğer parametrelerin sabit tutulduğu ilerleme oranının artırıldığı Deneysel 3,8,9'a ait; piksel değerlerinin aritmetik ortalamalarının (A), takım aşınmasıyla karşılaştırmalı grafikleri Şekil 59 ve Şekil 78-79'da verilmiştir.



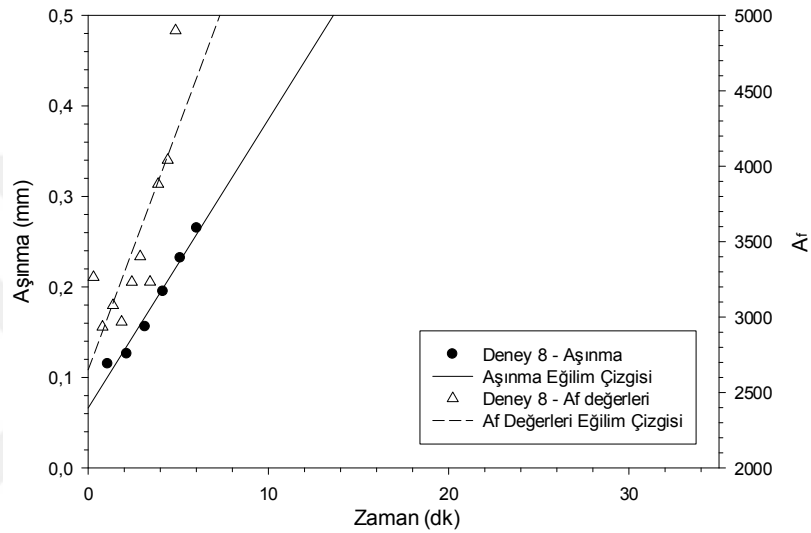
Şekil 78. Deneysel 8, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması



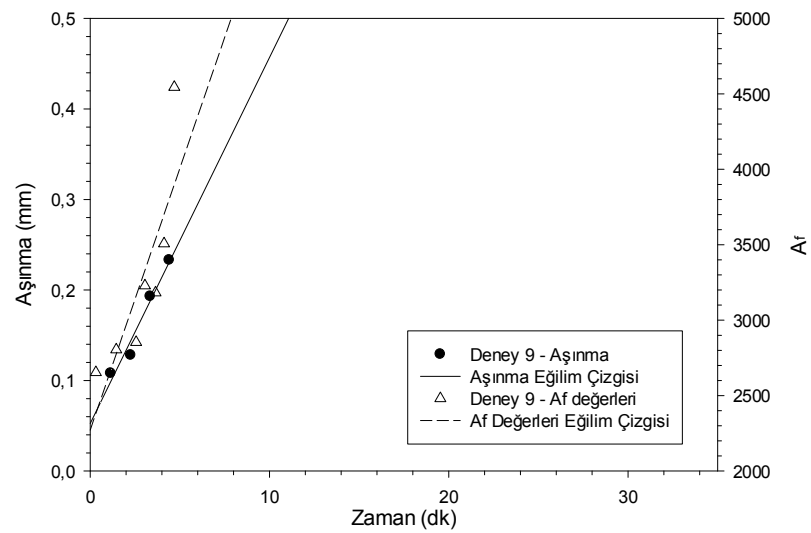
Şekil 79. Deneysel 9, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

Artan ilerleme oranlarıyla beraber aşınma eğilimlerinde artış gözlemlenmiştir. Deney 3 ve Deney 8 arası A_f değerlerindeki değişim eğilimi aşınma ile benzerlik gösterebilir. Deney 9’da benzer bir eğilim söz konusu değildir. Daha fazla deney olması koşulunda bu değerlerin ortak bir düşüş eğiliminde bulunacakları düşünülmektedir.

Diğer parametrelerin sabit tutulduğu ilerleme oranının değiştirildiği Deney 3,8,9’a ait; Fourier dönüşümlerinin genlik değerlerinin aritmetik ortalamalarının (A_f), takım aşınmasıyla karşılaştırmalı grafikleri Şekil 66 ve Şekil 80-81’de verilmiştir.



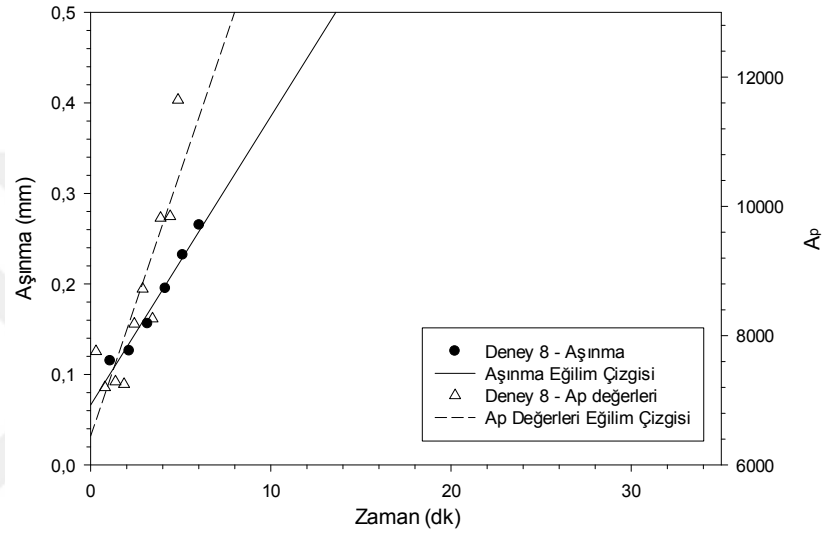
Şekil 80. Deney 8, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması



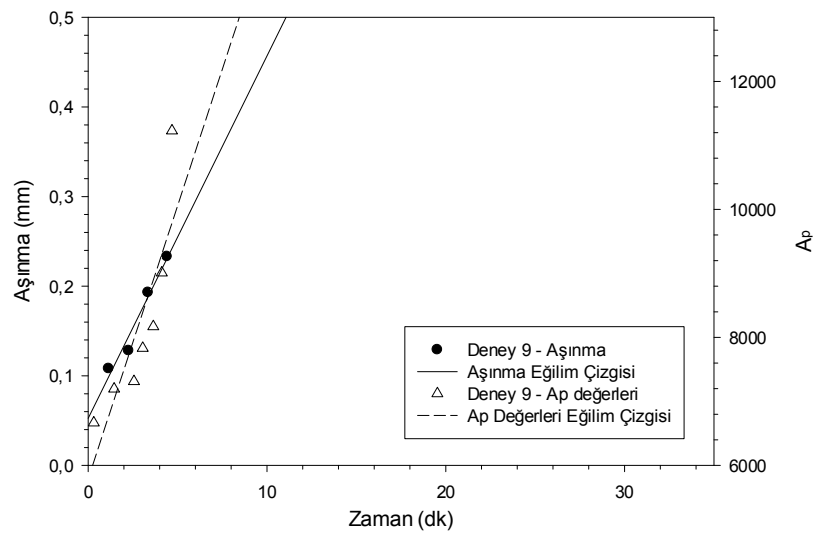
Şekil 81. Deney 9, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

Fourier dönüşümlerinin genlik değerlerinin aritmetik ortalamaları (A_f) ilerleyen aşınma ile beraber büyük ölçüde paralel bir artış eğilimi göstermektedir.

Diğer parametrelerin sabit tutulduğu, ilerleme oranlarının değiştirildiği Deney3,8,9'a ait; Fourier dönüşümlerinin genlik matrisindeki pik değerlerinin aritmetik ortalamalarının (A_p) ,takım aşınmasıyla karşılaştırmalı grafikleri Şekil 73 ve Şekil 82-83'te verilmiştir.



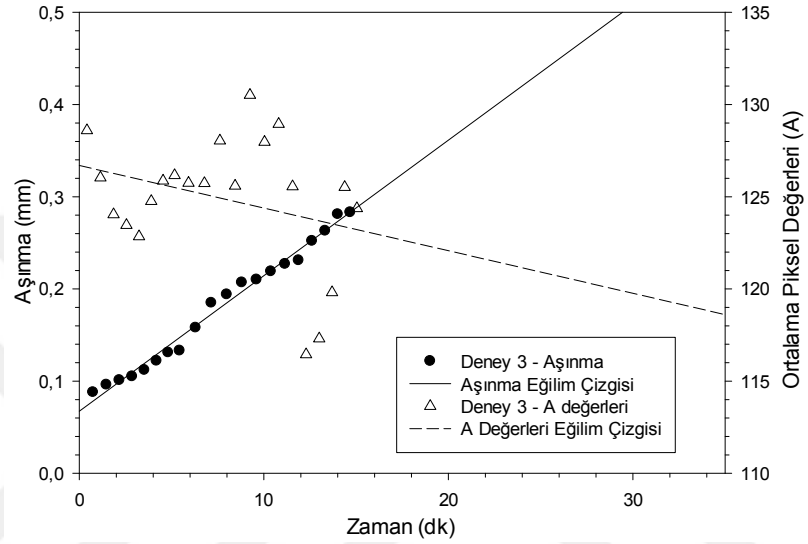
Şekil 82. Deney 8, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması



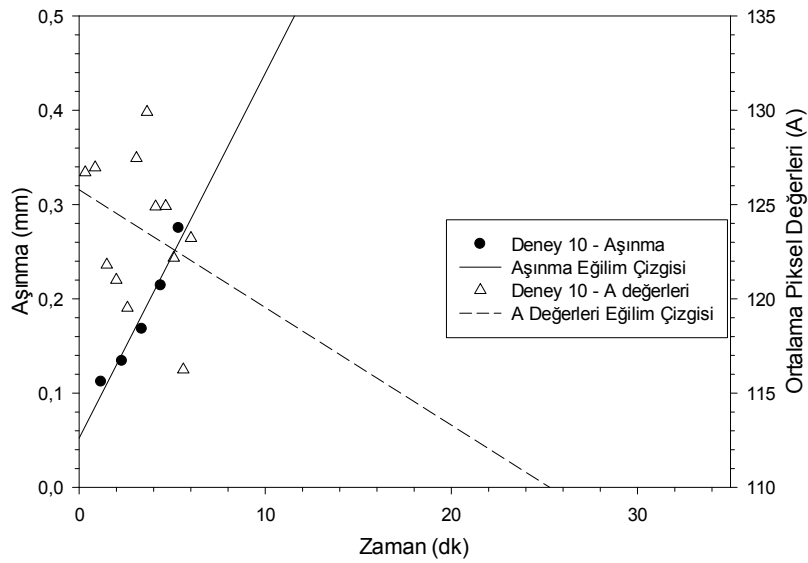
Şekil 83. Deney 9, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

Fourier dönüşümlerinin genlik matrisindeki pik değerlerinin aritmetik ortalamaları (A_p) ilerleyen aşınma ile beraber büyük ölçüde paralel bir artış eğilimi göstermektedir.

Diğer parametrelerin sabit tutulduğu kesme derinliğinin arttırıldığı Deneysel 3 ve Deneysel 10'a ait; piksel değerlerinin aritmetik ortalamalarının (A), takım aşınmasıyla karşılaştırmalı grafikleri Şekil 84-85'te verilmiştir.



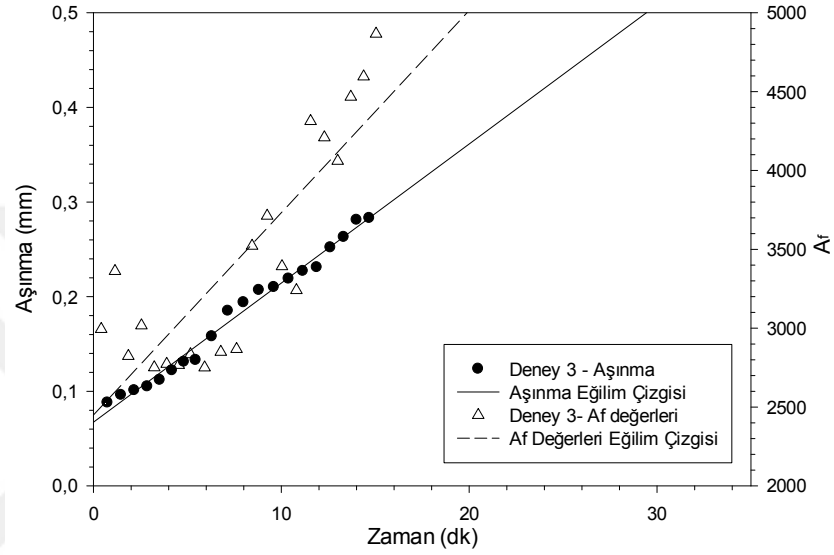
Şekil 84. Deneysel 3, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması



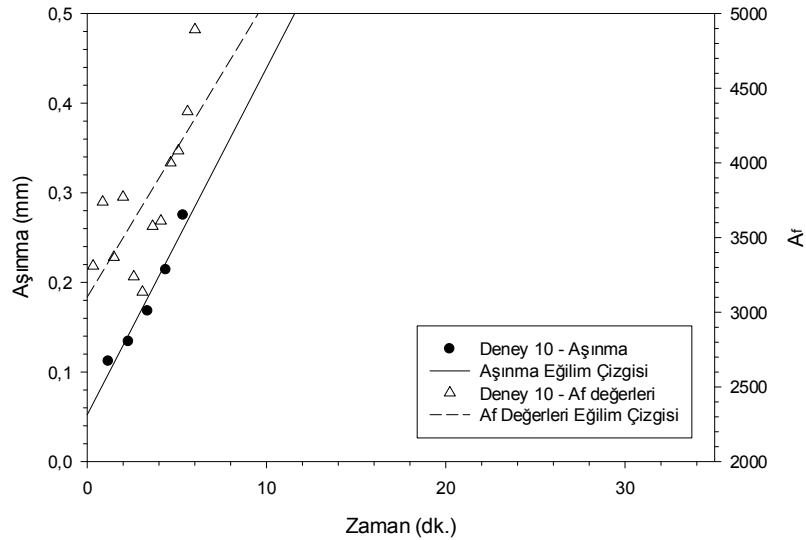
Şekil 85. Deneysel 10, A değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

Artan kesme derinliğiyle beraber aşınma eğilimlerinde artış gözlemlenmiştir. Piksel değerlerinin ortalamalarında bir düşüş eğilimi söz konusudur.

Diğer parametrelerin sabit tutulduğu kesme derinliğinin arttırıldığı Dene-3 ve Dene-10'a ait; Fourier dönüşümlerinin genlik değerlerinin aritmetik ortalamalarının (A_f), takım aşınmasıyla karşılaştırmalı grafikleri Şekil 86-87'de verilmiştir.



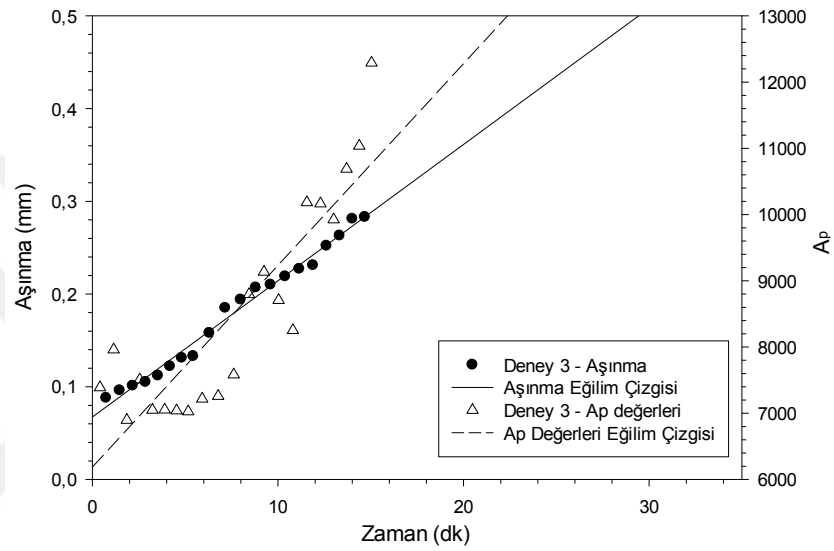
Şekil 86. Dene-3, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması



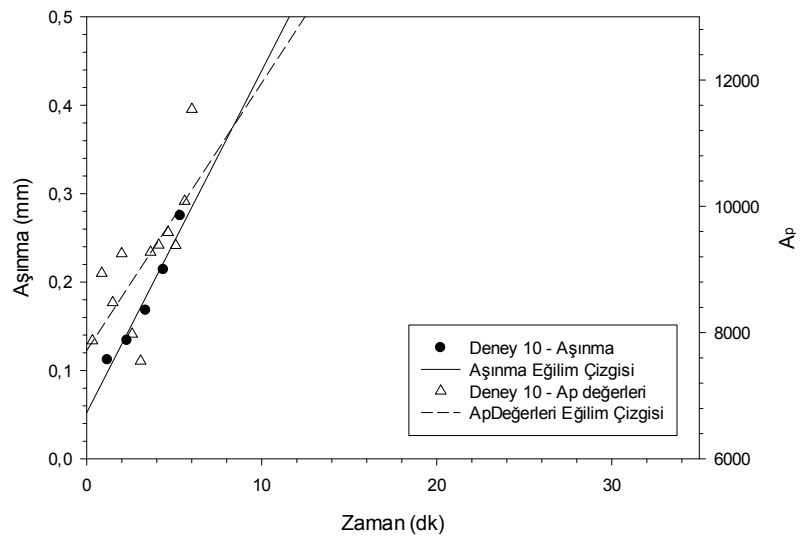
Şekil 87. Dene-10, A_f değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

Artan ilerleme oranlarıyla bearber aşınma eğilimlerindeki artış, Fourier dönüşümlerinin genlik değerlerinin aritmetik ortalamalarında da (A_f) gözlemlenmektedir.

Diğer parametrelerin sabit tutulduğu kesme derinliğinin arttırıldığı Dene-3 ve Dene-10'a ait Fourier dönüşümlerinin genlik matrisindeki pik değerlerinin aritmetik ortalamalarının (A_p) ,takım aşınmasıyla karşılaştırmalı grafikleri Şekil 88-89'da verilmiştir.



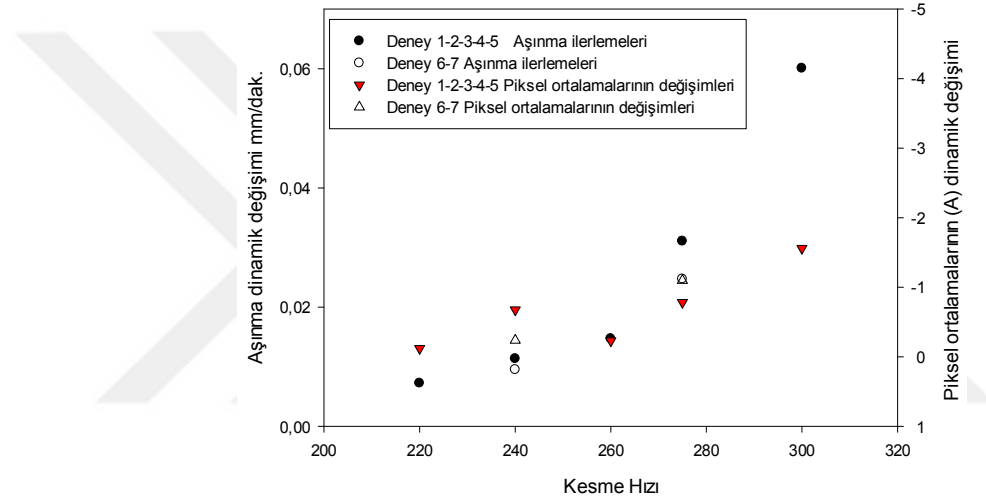
Şekil 88. Dene-3, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması



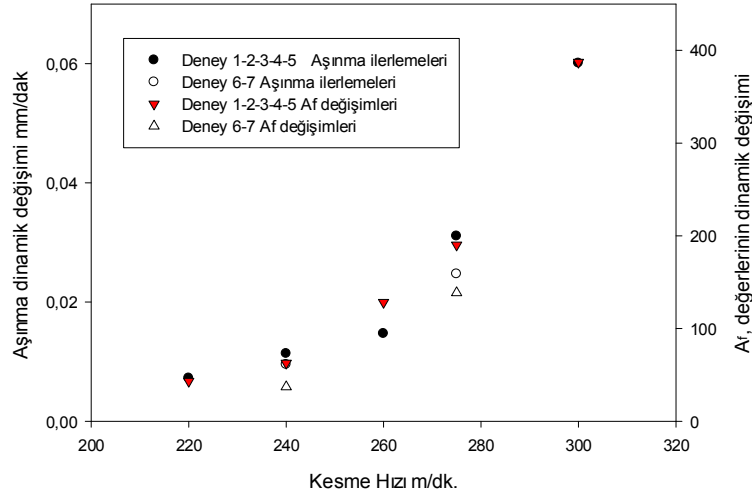
Şekil 89. Dene-10, A_p değerlerinin takım aşınması ile karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

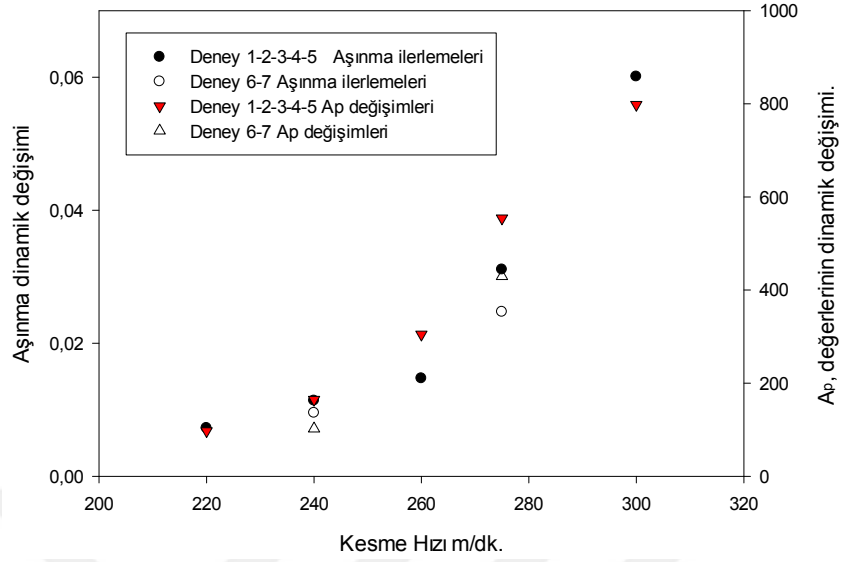
Görüntülerden elde edilen A , A_f ve A_p değerlerinin değişen kesme parametreleri doğrultusundaki değişimlerinin dinamik davranışları eğilim çizgilerinin eğimlerinin ölçülmesi ile incelendi. Aynı şekilde aynı parametrelerde aşınma grafiklerinin dinamik değişimleri de incelenerek karşılaştırıldı. Değişen kesme hızına göre ortalamaların ve aşınmanın dinamik değişim davranışları Şekil 90-91-92'de gösterilmiştir.



Şekil 90. Değişen kesme hızı ile aşınma ve A değerlerinin dinamik değişimleri

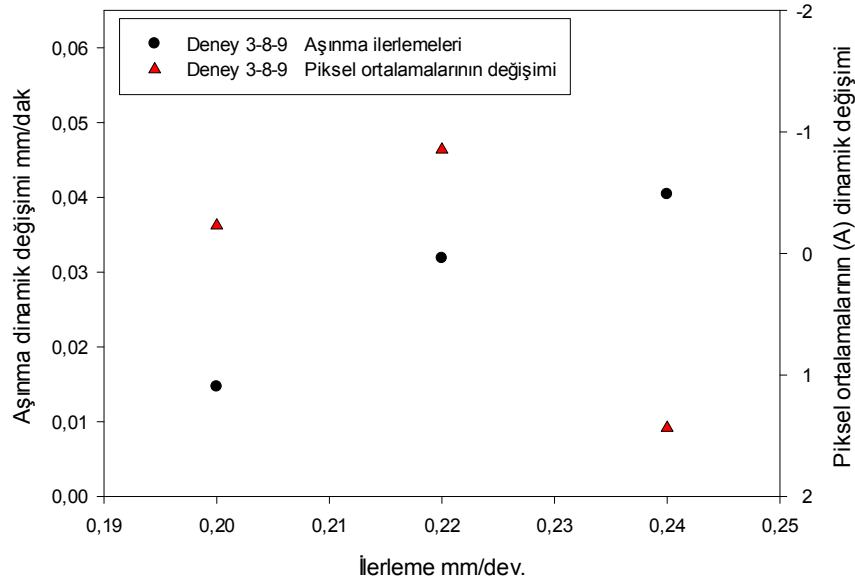


Şekil 91. Değişen kesme hızı ile aşınma ve A_f değerlerinin dinamik değişimleri

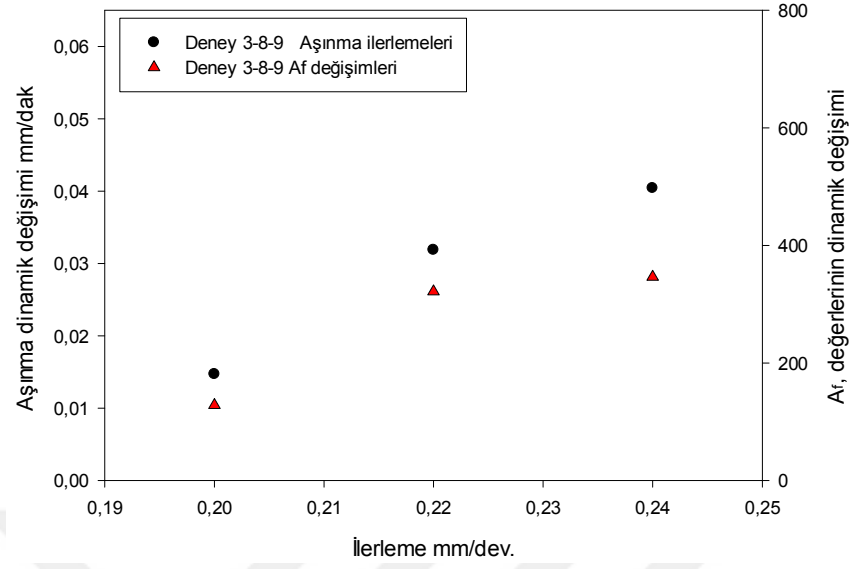


Şekil 92. Değişen kesme hızı ile aşınma ve A_p değerlerinin dinamik değişimleri

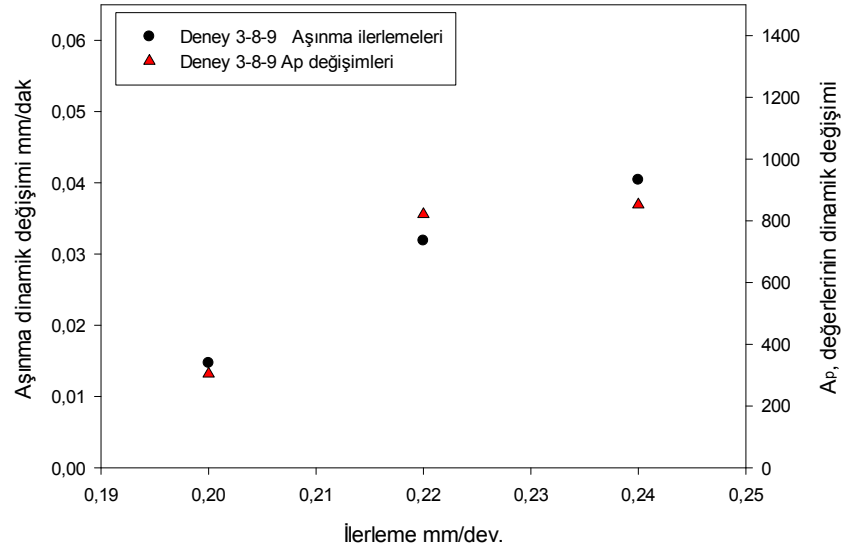
Değişen ilerleme miktarıyla ortalamaların ve aşınmanın dinamik değişim davranışları Şekil 93-94-95'te gösterilmiştir.



Şekil 93. Değişen ilerleme oranları ile aşınma ve A değerlerinin dinamik değişimleri

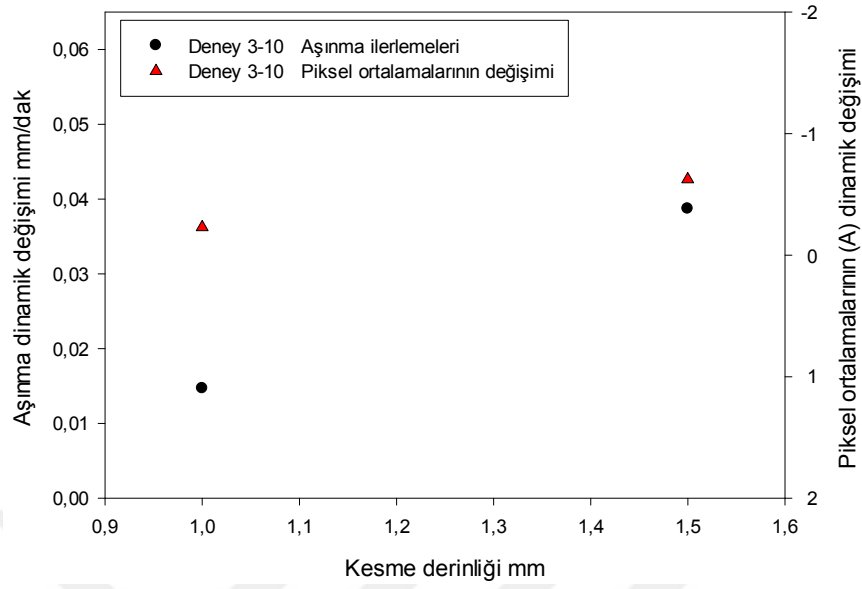


Şekil 94. Değişen ilerleme oranları ile aşınma ve A_f değerlerinin dinamik değişimleri

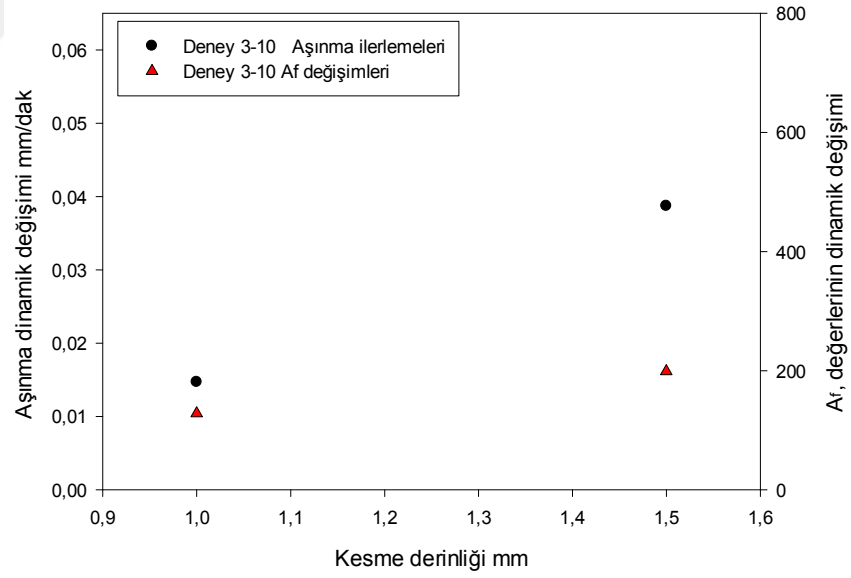


Şekil 95. Değişen ilerleme oranları ile aşınma ve A_p değerlerinin dinamik değişimleri

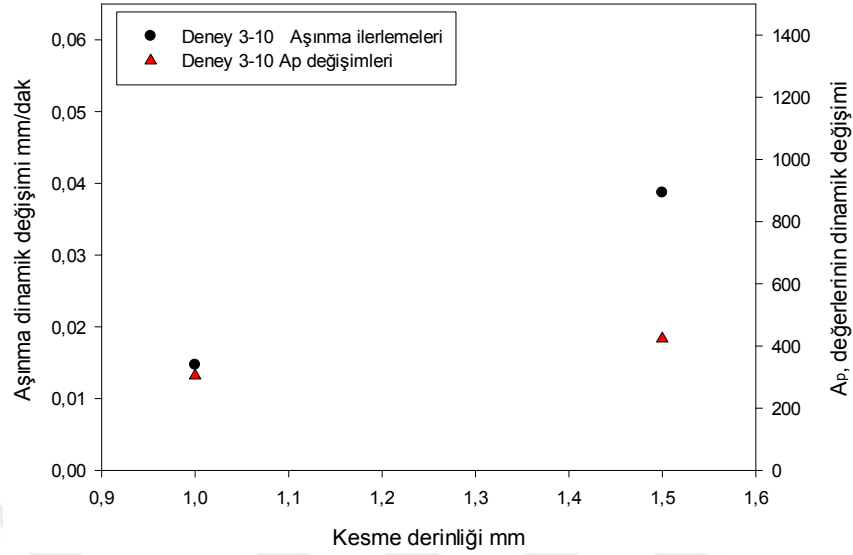
Değişen kesme derinliği ve aşınmanın dinamik değişim davranışları Şekil 96-97-98'de gösterilmiştir.



Şekil 96. Değişen kesme derinliği ile aşınma ve A değerlerinin dinamik değişimleri



Şekil 97. Değişen kesme derinliği ile aşınma ve A_f değerlerinin dinamik değişimleri



Şekil 98. Değişen kesme derinliği ile aşınma ve A_p değerlerinin dinamik mdeğişimleri

Değişen kesme parametreleri ile aşınmanın dinamik değışimi ve görüntülerden çıkarılan parametrelerin dinamik değışimlerinde benzerlikler bulunmaktadır. Piksel ortalama değerlerindeki dinamik değışimin takım aşınmasının takip edilmesi için yeterli bir parametre olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Fourier dönüşümlerinden elde edilen parametrelerin zamana göre değışimleri takım aşınmasının zamana göre değışimi ile büyük oranda paralelik göstermiştir. Kesme parametrelerinin değıştirilmesi ile takım aşınma ilerlemesindeki eksponansiyel değışim, işlenmiş yüzey görüntülerinin Fourier dönüşümlerinden elde edilen parametrelerde de benzer oranda gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, işlenen yüzeylerden alınan görüntülerin Fourier dönüşümlerinden elde edilen parametreler ile takım aşınmasının dolayısı ile takım ömrünün takip edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

5. ÖNERİLER

Deneyler kapsamında görüntü alma işlemleri her bir paso sonrasında gerçekleştirilmiştir. Kullanılacak bir yüksek hızlı kamera sistemi ile tornalama işlemi sırasında gerçek zamanlı yüzey görüntüleri alınarak görüntü parametrelerinin anlık değişimi analiz edilebilir. Bu sayede takım aşınmasının gerçek zamanlı takibi yapılabilir. Görüntü parametrelerindeki değişim bu şekilde takip edilerek takım aşınmasının stabil aşınma bölgesinden aşırı aşınma bölgesine geçişi anlık olarak tespit edilebilir bu sayede kesici takımın en verimli şekilde kullanılması sağlanabilir.

Görüntü analizleri için farklı görüntü işlem teknikleri kullanılarak farklı görüntü parametrelerinin nasıl bir davranış sergiledikleri incelenebilir.

Görüntü analizlerinin yorumlanması için yapay zeka tekniklerine başvurularak daha kesinlikte bir takibin yapılması sağlanabilir.

Görüntülerden elde edilen parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ile ilişkisi araştırılabilir.

Uygulanan görüntü analiz teknikleri farklı talaşlı imalat işlemlerinde takım aşınmasının takip edilmesi için denenebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Woodbury, R.S., History of the lathe to 1850; a study in the growth of a technical element of an industrial economy, Society for the History of Technology, Cleveland, 1961.
2. Roe, J.W., English and American Tool Builders, Yale University Press, 1916.
3. Rolt, L.T.C. ve Museum, S., Tools for the Job: A History of Machine Tools to 1950, H.M. Stationery Office, 1986.
4. Suh, S.H., Kang, S.K., Chung, D.H. ve Stroud, I., Theory and Design of CNC Systems, Springer London, 2008.
5. MacMillan, R.H., Automation, Friend Or Foe?, Cambridge University Press, 2012.
6. Nivin, S.R., Regional Innovation Potential: The Case of the U.S. Machine Tool Industry, Taylor & Francis, 2018.
7. Computer Numerical Control (CNC) Machine Market Size & Share Report By Type (Lathe, Milling, Laser, Grinding, Welding, Winding), By End Use (Industrial, Power & Energy, Automotive, Aerospace & Defense), And Segment Forecasts, 2018-2025, 2018, Grand View Research.
8. Stephenson, D.A. ve Agapiou, J.S., Metal Cutting Theory and Practice, CRC Press, 2016.
9. Davim, J.P., Modern Machining Technology: A Practical Guide, Elsevier Science, 2011.
10. Shaw, M.C., Metal Cutting Principles, Oxford University Press, 2005.
11. Altintas, Y., Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design, Cambridge University Press, 2012.
12. Juneja, B.L. ve Seth, N., Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools, New Age International Publishers, 2003.
13. Knight, W.A. ve Boothroyd, G., Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, Third Edition, Taylor & Francis, 2005.
14. Smith, G.T., Cutting Tool Technology: Industrial Handbook, Springer London, 2008.

15. Van Luttervelt, C.A., Childs, T.H.C., Jawahir, I.S., Klocke, F., Venuvinod, P.K., Altintas, Y., Armarego, E., Dornfeld, D., Grabec, I., Leopold, J., Lindstrom, B., Lucca, D., Obikawa, T., Shirakashi ve Sato, H., Present Situation and Future Trends in Modelling of Machining Operations Progress Report of the CIRP Working Group 'Modelling of Machining Operations', CIRP Annals, 47,2 (1998) 587-626.
16. Merchant, M.E., Mechanics of the Metal Cutting Process. I. Orthogonal Cutting and a Type 2 Chip, 16,5 (1945) 267-275.
17. El-Hofy, H.A.G., Fundamentals of Machining Processes: Conventional and Nonconventional Processes, Second Edition, Taylor & Francis, 2013.
18. Trent, E.M. ve Wright, P.K., Metal Cutting, Butterworth-Heinemann, 2000.
19. Roberts, G.A., Kennedy, R. ve Krauss, G., Tool Steels, 5th Edition, ASM International, 1998.
20. Becker, O.M., High-Speed Steel - The Development, Nature, Treatment, and use of High-Speed Steels, Together with Some Suggestions as to the Problems Involved in their Use, Read Books Limited, 2017.
21. Isakov, E., Cutting Data for Turning of Steel, Industrial Press, 2008.
22. High-Speed and Carbon Tool Steels, Read Books Limited, 2017.
23. Edwards, R. ve Edwards, R., Cutting tools, Institute of Materials, 1993.
24. Shute, D.H., Cemented-Carbide Tools: Carbides and Bonding Agents Used for Metal Cutting, the Design, Care and Maintenance of Tipped Tools (Classic Reprint), Fb&c Limited, 2018.
25. Tsuda, K., History of development of cemented carbides and cermet, 2016.
26. Rao, P.N., Manufacturing Technology: Metal Cutting and Machine Tools, McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2000.
27. Astakhov, V.P., Geometry of Single-point Turning Tools and Drills: Fundamentals and Practical Applications, Springer London, 2010.
28. Grzesik, W., Advanced Machining Processes of Metallic Materials: Theory, Modelling and Applications, Elsevier Science, 2008.
29. International Standard ISO 3685: Tool-life Testing with Single-point Turning Tools, 1993.
30. Türk Standardı TS 10329: Torna Kalemleri Ömür Deneyi, 1992.

31. Astakhov, V.P., Tribology of Metal Cutting, Elsevier Science, 2006.
32. Mills, B. ve Redford, A.H., Machinability of Engineering Materials, Applied Science Publishers, 1983.
33. Nee, J.G., Dufraigne, W., Evans, J.W., Engineers, S.o.M. ve Hill, M., Fundamentals of Tool Design, Sixth Edition, Society of Manufacturing Engineers, 2010.
34. Davim, J.P., Machining: Fundamentals and Recent Advances, Springer London, 2008.
35. Taylor, F.W., On the Art of Cutting Metals, American society of mechanical engineers, 1907.
36. Creese, R., Introduction to Manufacturing Processes and Materials, Taylor & Francis, 1999.
37. Committee, A.H., Metals handbook, American Society for Metals, 1978.
38. Colding, B.N., Machinability of metals and machining costs, International Journal of Machine Tool Design and Research, 1,3 (1961) 220-248.
39. Barrow, G., Proceedings of the Twelfth International Machine Tool Design and Research Conference, Tool-Life Equations and Machining Economics, F. Koenigsberger and S.A. Tobias editors, Macmillan Education UK, London, 481-493, 1972.
40. Kronenberg, M., Replacing the Taylor formula by a new tool life equation, International Journal of Machine Tool Design and Research, 10,2 (1970) 193-202.
41. Colding, B.N., A wear relationship for turning, milling and grinding: machining economics, Tekniska hogskolan, Stockholm, 1959.
42. Woxén, R., A theory and an equation for the life of lathe tools, Central tryckeriet, 1932.
43. Cheng, K., Machining Dynamics: Fundamentals, Applications and Practices, Springer London, 2008.
44. Jawahir, I.S., Ghosh, R., Fang, X.D. ve Li, P.X., An investigation of the effects of chip flow on tool-wear in machining with complex grooved tools, Wear, 184,2 (1995) 145-154.
45. Kurada, S. ve Bradley, C., A review of machine vision sensors for tool condition monitoring, Computers in Industry, 34,1 (1997) 55-72.

46. Siddhpura, A. ve Paurobally, R., A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning process, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 65,1 (2013) 371-393.
47. Teti, R., Jemielniak, K., O'Donnell, G. ve Dornfeld, D., Advanced monitoring of machining operations, CIRP Annals, 59,2 (2010) 717-739.
48. Cook, N.H. ve Subramian, K., Micro-isotope tool wear sensor, 27, 1978.
49. Lunde, G. ve Anderson, P.B., A study of the wear processes on cemented carbide cutting tool by a radioactive tracer technique, International Journal of Machine Tool Design and Research, 10,1 (1970) 79-93.
50. Yeşin, Y. ve yetkiner özel, Z., A study of cutting tool wear by neutron activation technique, 99, 1986.
51. Wilkinson, A.J., Constriction-resistance concept applied to wear measurement of metal-cutting tools, Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, 118,2 (1971) 381-386.
52. Sadílek, M., Kratochvíl, J., Petrů, J., Čep, R., Zlamal, T. ve Stancekova, D., Cutting tool wear monitoring with the use of impedance layers, 21, 2014.
53. Takeyama, H., Doi, Y., Mitsuoka, T. ve Sekiguchi, H., Advances in Machine Tool Design and Research 1967, Sensors Of Tool Life For Optimization Of Machining, S.A. Tobias and F. Koenigsberger editors, Pergamon, 191-208, 1968.
54. Stöferle, T. ve Bellmann, B., Proceedings of the Sixteenth International Machine Tool Design and Research Conference, Continuous Measuring of Flank Wear, F. Koenigsberger and S.A. Tobias editors, Macmillan Education UK, London, 573-578, 1976.
55. Ambhore, N., Kamble, D., Chinchankar, S. ve Wayal, V., Tool Condition Monitoring System: A Review, Materials Today: Proceedings, 2,4 (2015) 3419-3428.
56. Kiss, A. ve Bachrathy, D., Experimental Validation Of Cumulative Surface Location Error For Turning Processes, 3, 2016.
57. Sikdar, S.K. ve Chen, M., Relationship between tool flank wear area and component forces in single point turning, Journal of Materials Processing Technology, 128,1 (2002) 210-215.
58. Ghasempour, A., Jeswiet, J. ve Moore, T.N., Real time implementation of on-line tool condition monitoring in turning, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 39,12 (1999) 1883-1902.

59. Cakir, M.C. ve Isik, Y., Detecting tool breakage in turning aisi 1050 steel using coated and uncoated cutting tools, Journal of Materials Processing Technology, 159,2 (2005) 191-198.
60. Ravindra, H.V., Srinivasa, Y.G. ve Krishnamurthy, R., Acoustic emission for tool condition monitoring in metal cutting, Wear, 212,1 (1997) 78-84.
61. Dolinšek, S. ve Kopač, J., Acoustic emission signals for tool wear identification, Wear, 225-229 (1999) 295-303.
62. M.S.H, B., I.A, C. ve Y, N., An innovative approach to monitor the chip formation effect on tool state using acoustic emission in turning, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 58 (2012) 19-28.
63. V. Hutton, D. ve Yu, Q., On the Effects of a Built-Up Edge on Acoustic Emission in Metal Cutting, 112, 1990.
64. Jemielniak, K. ve Otman, O., Tool failure detection based on analysis of acoustic emission signals, Journal of Materials Processing Technology, 76,1 (1998) 192-197.
65. Bhuiyan, M.S.H., Choudhury, I.A. ve Dahari, M., Monitoring the tool wear, surface roughness and chip formation occurrences using multiple sensors in turning, Journal of Manufacturing Systems, 33,4 (2014) 476-487.
66. Rmili, W., Ouahabi, A., Serra, R. ve Leroy, R., An automatic system based on vibratory analysis for cutting tool wear monitoring, Measurement, 77 (2016) 117-123.
67. Gomes, J., Velho, L. ve Levy, S., Image Processing for Computer Graphics, Springer, 1997.
68. Dutta, S., Pal, S.K., Mukhopadhyay, S. ve Sen, R., Application of digital image processing in tool condition monitoring: A review, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 6,3 (2013) 212-232.
69. Xiong, G., Liu, J. ve Avila, A., Cutting tool wear measurement by using active contour model based image processing, 2011.
70. Wang, W.H., Wong, Y.S. ve Hong, G.S., 3D measurement of crater wear by phase shifting method, Wear, 261,2 (2006) 164-171.
71. Chethan, Y.D., Ravindra, H.V. ve Krishne gowda, Y.T., Machined Surface Monitoring in Turning Using Histogram Analysis by Machine Vision, Materials Today: Proceedings, 5,2, Part 2 (2018) 7775-7781.

72. Mannan, M.A., Mian, Z. ve Kassim, A.A., Tool wear monitoring using a fast Hough transform of images of machined surfaces, Machine Vision and Applications, 15,3 (2004).
73. Peng, C., Zheng, J.M., Li, X.B., Song, Y.C. ve Shi, J.J., Feature extraction on machined surface texture image of tool wear based on fractional brown motion, Design, Manufacturing and Mechatronics (Icdmm 2015), (2016) 706-714.
74. <https://imagej.nih.gov/ij/index.html> ImageJ. 10.10.2018 2019.
75. <https://opencv.org/> OpenCV. 10.10.2018.



ÖZGEÇMİŞ

Muzaffer Tacettin KÜLLAÇ, 1986 yılında Isparta'da doğdu. Lise öğrenimini Isparta Mürşide Ermumcu Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamladı. Lisans eğitimini 2010 yılında Ukrayna Ulusal Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. Lisans eğitiminden sonra 5 yıl özel sektörde görev yapan Küllaç, 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamış ve bu görevine halen devam etmektedir.

