



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TORNALAMADA AKUSTİK EMİSYON VE
KESME KUVVETİ SİNYALLERİ
KULLANARAK TAKIM KIRILMASI VE
İLERLEYEN TAKIM AŞINMASININ TAHMİN
EDİLMESİ**

Mustafa KUNTOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2016
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa Kuntoğlu tarafından hazırlanan ‘‘Tornalamada Akustik Emisyon ve Kesme Kuvveti Sinyalleri Kullanarak Takım Kırılması ve İlerleyen Takım Aşınmasının Tahmin Edilmesi’’ adlı tez çalışması 30.06/2016 tarihinde aşğıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç.Dr. Süleyman NEŞELİ

Danışman

Prof.Dr. Hacı SAĞLAM

Üye

Yrd.Doç.Dr. Ahmet CAN

İmza

.....
.....
.....

.....
Yukarıdaki sonucu onaylarım.

.....
Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mustafa KUNTOĞLU

30.06.2016



ÖZET

YÜKSEK LİSANS

TORNALAMADA AKUSTİK EMİSYON VE KESME KUVVETİ SİNYALLERİ KULLANARAK TAKIM KIRILMASI VE İLERLEYEN TAKIM AŞINMASININ TAHMİN EDİLMESİ

Mustafa KUNTOĞLU

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hacı SAĞLAM

2016, 81 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hacı SAĞLAM
Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ
Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN

İlerleyen takım aşınması ve takım kırılmasının tahmin edilmesi ve talaşlı imalat işlemlerinin anlık olarak izlenmesi kesme parametrelerinin optimizasyonu ile veri tabanlarının oluşturulması bakımından önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında deneyler Tezsan marka T 165-MF konvansiyonel torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Kuvvet sinyalleri ve sıcaklık sinyalleri dinamometre üzerinden doğrudan, AE sinyalleri bir veri toplama kartı aracılığı ile bilgisayara aktarılmıştır. Deneysel çalışmada 3 farklı kesme hızı, ilerleme ve takım tipi kullanılarak tam faktöriyel tasarım ilkesine göre 27 adet deney gerçekleştirilmiştir. Çıktı olarak ise işleme esnasında sensörlerden AE, kesme kuvvetleri ve sıcaklık ölçümleri, bunlara ilave olarak işleme durdurulup kesici uçlardan serbest yüzey aşınması ölçülmüştür. Sensörlerden alınan veriler grafik olarak incelenmiş ve kesme parametrelerinin aşınma ilerlemesi üzerine katkısı incelenmiştir. Sonuç olarak Ç1050 iş parçası malzemesinin konvansiyonel bir torna tezgâhında belirli kesici uçlarla ve kesme şartlarında işlenmesinde optimizasyon yapılmıştır. Bunun için Taguchi parametre tasarımında L₉ ortogonal dizisi ve Minitab programı kullanılarak sinyal-gürültü oranı (Signal to Noise Ratio) analizi ve varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiş, kesme parametrelerinin, kalite karakteristikleri olan serbest yüzey aşınması, teğetsel kesme kuvveti, AE ve takım sıcaklığı üzerine etkileri incelenmiştir.

Bu tezde torna tezgâhında dinamometre, sıcaklık sensörü ve akustik emisyon (AE) sensörü kullanılarak ilerleyen serbest yüzey aşınmasının eş zamanlı olarak algılanması ve takım kırılması tespiti için deneysel bir çalışma yapılmıştır. İş parçası malzemesi olarak endüstride sıklıkla kullanılan Ç1050, kesici takım olarak 3 farklı takım geometrisine sahip kesici uç kullanılmıştır. Yapılan bu deneysel çalışma oluşturulan sensör füzyonunun farklı takım-iş malzemeleri kullanılarak endüstriyel uygulamalarda başarı ile kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Akustik Emisyon, Takım Aşınması, Takım Kırılması, Kuvvet Sinyalleri, Ortogonal Dizi, Takım Durumu İzleme, Varyans Analizi

ABSTRACT

MS THESIS

THE PREDICTION OF TOOL FRACTURE AND PROGRESSIVE TOOL WEAR IN TURNING USING ACOUSTIC EMISSION AND CUTTING FORCE SIGNALS

Mustafa KUNTOĞLU

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Hacı SAĞLAM

2016, 81 Pages

Jury

Prof. Dr. Hacı SAĞLAM

Assoc. Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ

Asst. Prof. Dr. Ahmet CAN

It is important the prediction of tool fracture and progressive tool wear and on-line monitoring of machining operations in terms of constitution of databases with the optimization of cutting parameters.

In the scope of work, experiments was performed at Tezsan's T 165-MF conventional turning lathe. Force signals and temperature signals was transmitted directly by dynamometer, on the other hand AE signals was transmitted through a data acquisition card to computer. In the experimental work, 27 experiments was accomplished based on full factorial design principle by using 3 different cutting speed, feed and tool tip. During machining, measurements of cutting forces, AE and temperature was obtained from sensors as output, when the machining was stopped measurement of flank wear was obtained from the cutting tools additionally. The gained data from sensors was analyzed and contribution of cutting parameters to progressive tool wear was observed. Consequently, optimization was done for machining AISI 1050 steel at conventional turning lathe with determined cutting tools. For this purpose, L₉ orthogonal array in Taguchi parameter design and using Minitab, ANOVA and Signal to Noise Ratio Analysis was done, the influence of cutting parameters on quality features which are flank wear, cutting force, AE and tool temperature was investigated.

In this thesis, an experimental work was done by using dynamometer, temperature sensor and acoustic emission (AE) sensor for on-line sensing of progressive tool wear and detection of tool breakage in turning. AISI 1050 as workpiece material which is frequently used in industry and cutting tools which have different tool geometry was used. This committed experimental work showed that composed sensor fusion can be used succesfully in industrial applications using with different tool-workpiece materials.

Keywords: Acoustic Emission, Analysis of Variance (ANOVA), Force Signals, Orthogonal Array, Tool Breakage, Tool Condition Monitoring, Tool Wear

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında öncelikle bana en fazla emeği geçen, danışmanım Prof. Dr. Hacı SAĞLAM'a ve çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen hocam Doç. Dr. İlhan ASİLTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim. Deney tesisatının kurulması aşamasında yardımlarını aldığım Teknoloji Fakültesi teknisyeni İlker ÇAYIR'a da ayrıca teşekkür ederim. Son olarak beni yetiştirip bugünlere getiren aileme de sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Mustafa KUNTOĞLU
KONYA-2016



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. TEORİK ESASLAR	15
3.1. Tornalamada Kesme	15
3.2. Takım Durumu İzleme Sistemleri.....	20
3.2.1. Tornalamada Yapılan Çalışmalar	23
3.3. Sinyal İşleme Yöntemleri	24
3.4. Takım Aşınması ve Takım Kırılması.....	26
3.4.1. Aşınma Mekanizmaları	28
3.4.2. Aşınma Tipleri	30
3.4.2.1. Serbest Yüze Aşınması	30
3.4.2.2. Krater Aşınması	31
3.4.2.3. Plastik Deformasyon.....	32
3.4.2.4. Çentik Aşınması.....	32
3.4.2.5. Yığıma Talaş	33
3.4.2.6. Parçacık Kopması	33
3.4.3. Takım Kırılması	33
3.5. Kesme Kuvvetleri	34
3.6. Takım Sıcaklığı	36
3.7. Akustik Emisyon.....	37
4. MATERYAL VE METOT	44
4.1. Tezgâh, Kesici Uç ve İş Parçası Malzemesi Seçimi	44
4.2. Kesme Parametrelerinin Tayin Edilmesi	46
4.3. Deney Tesisatının Kurulması.....	48
4.4. Deney Planı	51
4.5. Deneylerin Yapılması ve Deney Sonuçları.....	52
5. YORUMLAMA VE ANALİZ	59
5.1. Kesme Hızının Akustik Emisyon, Teğetsel Kesme Kuvveti, Sıcaklık ve Serbest Yüze Aşınması Üzerine Etkisi	59
5.2. İlerlemenin Akustik Emisyon, Teğetsel Kesme Kuvveti, Sıcaklık ve Serbest Yüze Aşınması Üzerine Etkisi	61

5.3. Takım Tipinin Akustik Emisyon, Teğetsel Kesme Kuvveti, Sıcaklık ve Serbest Yüzey Aşınması Üzerine Etkisi	63
5.4. Paso Artışının Akustik Emisyon, Teğetsel Kesme Kuvveti, Sıcaklık ve Serbest Yüzey Aşınması Üzerine Etkisi	64
5.5. Verilerin Analizi ve Optimizasyonu	67
5.5.1. Aşınma Analizi ve Optimizasyonu	68
5.5.2. Kesme Kuvveti Analizi ve Optimizasyonu.....	71
5.5.3. AE Analizi ve Optimizasyonu	72
5.5.4. Sıcaklık Analizi ve Optimizasyonu	73
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ.....	81



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

TDİ	: Takım Durumu İzleme
AE	: Akustik Emisyon
RMS	: Root Mean Square
VB	: Serbest Yüzey Aşınması
F _C	: Teğetsel Kesme Kuvveti
t°C	: Sıcaklık



1. GİRİŞ

İmalat, ham malzemeye şekil verilerek belirli bir son ürün elde edilmesidir. Yakın tarihe bakıldığında endüstri devrimi ile buhar makinesinin bulunuşuna kadar yaygın olarak kullanılan iş parçası malzemesinin ağaç olduğu görülmektedir. Bu döneme kadar insanlar takım ve iş parçasının tutulması için ellerini, bugün bildiğimiz ilerleme ve tezgâh devri hareketleri için kas gücünü, kesici uç ve iş parçasının konumlandırılması, karar verme ve değerlendirme için gözlerini kullanmakta idiler. Değerlendirme adı altında, işleme ekonomisi, iş parçasının istenen özelliklerde olması, takım aşınması gibi özellikler sayılabilir. Sanayi devrimi sonrası konvansiyonel tezgâhların yaygınlaşmasından CNC tezgâhların geliştirilmesine kadar geçen dönemde ise artık iş parçası ve takımın el ile tutulmasına gerek kalmamış, kas gücünün yerini ise basit makineleri oluşturan mekanizmalar almıştır. Günümüze geldiğimizde ise artık neredeyse tamamen otomasyon ile idare edilen, insan müdahalesini asgari düzeyde kullanan, iş parçası ve takım değişikliklerinden işlenmesi en zor imalat parçalarına kadar tüm üretim zinciri zeki imalat sistemlerine emanet edilmektedir.

İmalatın uzak ve yakın tarihi incelendiğinde gelişimin her zaman insan müdahalesini azaltmak üzerine olduğu açıkça görülmektedir. Bunun en önemli nedeni insanın her zaman dikkatsizlik, yorgunluk vb. nedenler ile hata yapmaya müsait olmasıdır. Rekabetin her geçen gün arttığı, imalat teknolojilerinin sürekli gelişme gösterdiği ve buna paralel olarak yeni taleplerin ortaya çıktığı günümüz imalat endüstrisinde yarışın içinde yer almak için en az hata, en fazla verim ve en düşük maliyet ilkeleri benimsenmek zorundadır. Bu anlamda elde edilecek başarı ise işlemin ne ölçüde kontrol edilebildiği ile bağlantılıdır.

Talaşlı imalattaki gelişmeler otomatizasyonu çok ileri noktalara götürmüş olsa da bugün üreticilerin insansız üretim ile ilgili en büyük sorunu takım aşınmasıdır. Takımın iş parçası ile sürekli etkileşim halinde olması, işleme bölgesindeki yüksek basınç ve sıcaklıklar, işlemedeki girdi ve çıktı parametrelerinin sayısının fazla oluşu, aşınma izlemeyi zorlaştırmaktadır. Kontrol edilmeyen takım aşınması iş parçası kalitesini düşürür, ilerleyen takım aşınmalarında takım değiştirme zamanı doğru tespit edilmezse kırılarak iş parçasına, daha ileri boyutlarda tezgâha zarar verebilir. Bunun önüne geçmek ve telafisi mümkün olmayan sonuçlardan kaçınmak için, talaşlı imalatta TDİ sistemleri uzun yıllardır pek çok çalışmaya başarı ile uygulanmaktadır.

İşlemeden tatmin edici sonuçlar almak, işlemedeki kontrolü artırmakla mümkündür. Kontrolü artırmak ise ancak işlemeyi anlık olarak izlemekle olur. TDİ'de doğrudan izleme sistemleri işlemeyi kesintiye uğratması sebebi ile anlık olarak işleme izlemeye fırsat vermemektedir. Dolaylı metotlar ise endüstriyel çalışmalarda her geçen gün başarı ile uygulanmaktadır.

TDİ sistemleri temelde belirli değişkenlerin zaman içerisindeki değişimlerini anlık olarak takip eder, geçmişten günümüze operatörlerin yaptığı işi sensörlerle daha hassas algılar, böylece işlemden elde edilecek sonuçları daha güvenilir hale getirir. İşleme esnasında birbirinden bağımsız anlık olarak değişebilen ve bütün işlemeyi etkileyen değişkenler bulunduğu için TDİ eş zamanlı olarak yapılır. TDİ sistemleri ile kontrol edilmek istenen parametre ile değişken ya da değişkenleri sensörler aracılığı ile izleyerek veri toplanır ve veriler değerlendirilerek değişkenlerin sonuç/sonuçlar üzerindeki etkileri analiz edilir.

Bu tez çalışmasında bir konvansiyonel torna tezgâhında ilerleyen takım aşınması ve takım kırılmasının AE, kuvvet ve sıcaklık sensörleri ile izlenerek tahmin edilmesi ve sisteme erken müdahale edilmesi için bir deneysel çalışma yapılmıştır. Ç-1050 iş parçası malzemesi ve sinterlenmiş karbür uçlar kullanılarak 27 adet deney yapılmış, kesme parametrelerinin ve takım tipinin takım aşınması ve kırılmasına etkileri, sensör sinyallerinden alınan veriler ile bütünleşik olarak irdelenmiştir. Ayrıca dinamometre, sıcaklık sensörü ve AE sensörleri ile sensör füzyonu oluşturularak deney sonuçlarında kıyaslama yoluna gidilmiştir. Son olarak işlemeden en iyi verileri elde etmek için hangi girdilerin en doğru değerler olduğunu tespit etmek adına optimizasyona gidilmiştir. Burada amaç 40 yılı aşkın bir geçmişe sahip ancak daha gidilecek çok yolu olan talaşlı imalat çalışmalarında literatüre katkıda bulunmaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatüre bakıldığında talaşlı imalatta takım aşınması ve takım kırılması izlemede çalışmaların 40 yılı aşkın bir geçmişe sahip olduğu görülmektedir. Modüler takımların yaygın olarak kullanılmaya başlandığı 1990'ların başından itibaren bu alanda da buna paralel olarak çalışmalar artmıştır. İlerleyen takım aşınması ve takım kırılmasının izlenmesinde başta torna ve frezede olmak üzere farklı talaşlı imalat tezgâhlarında yapılmış çalışmalar da yer almaktadır. Burada yer verilen çalışmalar torna ve freze üzerine yapılanlar arasından seçilmiştir. Ayrıca literatür taraması iki bölüme ayrılmış, ilk bölümünde ilerleyen takım aşınması ve takım kırılmasının takip edilmesini içeren makale ve tezler, ikincisinde ise bu tezde yapılan istatistiksel analize benzer çalışmaların bulunduğu makalelere yer verilecektir.

Diei ve Dornfeld (1987a) takım aşınmasının anlık tespiti için AE sensörü ve dinamometre kullanarak dik freze tezgâhında yüzey frezeleme deneyleri yapmışlardır. Takım malzemesi olarak karbür uçlar, iş parçası malzemesi olarak Ç4340 çeliği kullanılmıştır. Sinyal işleme yöntemi olarak ise zaman alanı ortalaması (Time Domain Average-TDA) kullanılırken; AE, kesme kuvvetlerinin normal ve ilerleme bileşenleri ve serbest yüzey aşınması ölçümleri yapılmıştır ve bunların birbiri ile ilişkisi gözlenmiştir. AE ile özgül kesme kuvveti arasında doğru bir orantı olduğu görülmüştür. AE ve özgül kesme kuvvetinin serbest yüzey aşınmasının ilerlemesi ile arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, metal kesmede AE sinyallerinin analizinde TDA sinyal işleme yönteminin etkili olduğu da deneylerle kanıtlanmıştır.

Inasaki ve ark. (1987) tornalamada parçacık kopması ve takım kırılması tespiti yapmak için, S55C iş parçası malzemesi ve HSS takım kullanarak deneyler yapmışlardır. Deneylerde AE sensörü kullanılmış, sinyal işlemede ise Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) analizi yapılmış, ayrıca serbest yüzey aşınması ölçülmüştür. Parçacık kopması olduğu anda AE sinyali pik yapmaktadır ve hazırlanan algoritma ile sinyal belirlenen eşik değeri geçtiği anda parçacık kopmasının az ya da çok oluşu tespit edilebilmektedir. İki farklı kesme şartında deneyler yapılmış ve oluşturulan sistemin parçacık kopmasını %90 başarı ile tespit edebildiği görülmüştür.

Emel ve Kannatey-Asibu Jr. (1988) AE sensör sinyalini model tanıma sistemi (Pattern Recognition) ile işleyerek, tornalamada takım kırılması ve aşınması tespiti yapmak için bir yöntem geliştirmiştir. Kaplanmış karbür uçlar ve AISI 4340 çeliği kullanıldı ve serbest yüzey aşınması ile AE sinyali ölçümü yapılmıştır. Minimum

maliyet ve minimum hata ile sonuç elde etmek ve sürekli sinyali, geçici sinyalden, aşınmış takım, keskin takımdan, talaş gürültüsünü takım kırılmasından ayırmak için sinyal işlemede model tanıma sistemi, özellik seçimi ve sınıflandırılması yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda takım kırılmasının herhangi bir türünün algılanmasında %84-94 başarı elde edildiği görülmüştür.

Teti (1989) AE sensörü kullanarak tornalamada işleme esnasında ilerleyen takım aşınmasını incelemiştir. HSS takım ve Ç1050 iş parçası malzemesi kullanılarak sabit talaş derinliğinde farklı ilerleme ve kesme hızlarında deneyler yapılmıştır. AE sinyalinin Count Rate (sinyalin belirlenen eşik değerini aşma sayısı) parametresi kullanılarak, serbest yüzey ve krater aşınmalarının gelişimi AE-aşınma ve zaman-aşınma grafiklerine dökülerek incelenmiştir. Yazar, aşınma gelişimini üç bölgeye ayırmış ve aşınma grafiklerinde 2. bölgeden 3. bölgeye geçişi, takım ömrünün sonuna gelindiğinin işareti olarak yorumlamıştır. Çalışmada ayrıca, AE yöntemi ile aşınma takibindeki eksiklikler de ortaya konulmuştur.

Blum ve Inasaki (1990) S45C çeliğinin torna tezgâhında işlenmesi esnasında AE sinyali üretimi ve birinci ve ikinci kesme bölgelerinde harcanan enerji üzerinde etkisi olan belli bazı faktörleri incelemiştir. Kesme hızı, ilerleme, talaş açısı, kesme derinliği ve serbest yüzey aşınması ile AE sinyali ve harcanan enerji dışında kesme kuvvetleri, takım-talaş temas alanı, uzunluğu gibi özelliklerin değişimi ortaya konulmuştur. AE sensörü özel tasarlanmış bir takım tutucuya yerleştirilmiştir.

Rangwala ve Dornfeld (1991) kesme hızı ve takım-talaş temas uzunluğu gibi değişkenlerin tornalamada dik kesme işlemlerinde AE sinyal enerjisini nasıl etkilediğini bulmak için iki farklı deney parametre takımı belirlemiştir. İlki sabit takım-talaş temas uzunluğunda farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde yapılırken, ikincisinde kesme hızı ve temas uzunluğu değerleri değiştirilmiş ve ilerleme değeri sabit tutulmuştur. Deneyler torna tezgâhında yapılmış ve AE sensörü katere bağlanmıştır. Dislokasyon sönümlenmesinin yüksek gerinme oranlarında bir AE kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır.

Ravindra ve ark. (1993) tornalamada aşınmanın zamana ve değişen kuvvetlere göre değişimini incelemek için titreşim sensörü ve dinamometre kullanarak takım durumu izleme yapmıştır. Deneyde iş parçası malzemesi olarak dökme demir, takım malzemesi olarak kaplanmış karbür tercih edilmiştir. Dinamometre ve ivmeölçer kullanılmış ve Çoklu Regresyon Analizi (iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi bulmak için kullanılan analiz metodu) yöntemi ile matematiksel model oluşturularak

veri analizi yapılmıştır. Doğrudan kuvvet bileşenlerini kullanmak yerine kuvvet bileşenleri arasındaki oran kullanılarak hem gürültü sebebi ile oluşan malzeme özelliklerindeki değişim elimine edilmiş hem de bunun aşınma ilerlemesini göstermede daha başarılı olduğu görülmüştür. Serbest yüzey aşınmasını bulmak için regresyon analizine dayanan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modelde kuvvet modelleri kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine bağlı eşik değerini belirlemek için regresyon analizi kullanılarak oluşturulmuştur. Serbest yüzey aşınması da kuvvet bileşenleri ve titreşime bağlı bir model kullanılarak oluşturulmuştur.

Deneysel çalışma keskin takım ve serbest yüzey aşınmasının farklı aşamaları için tasarlanmış ve veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler ise kesme şartlarının kesme kuvvetleri ve takım aşınması üzerindeki etkisini bulmak için kullanılmıştır. Yüksek kesme hızı ve büyük talaş derinliği değerlerinde aşınmanın hızlı ilerlediği görülmüştür. Bu da aşınmanın sıcaklığa bağlı olarak arttığı şeklinde yorumlanmıştır.

Lee ve ark. (1994) piezoelektrik kuvvet sensörü ve AE sensörü kullanarak tornalamada takım kırılmasını tespit eden bir sistem tasarlamıştır. Takım malzemesi tungsten karbür, iş parçası malzemesi Ç1045 seçilmiştir. Deneysel kesme hızı ve talaş derinliği sabit tutulurken, ilerleme değeri takım kırılana kadar artırılmıştır. Sinyal işlemede ise takım kırılmasını tespit eden bir algoritma hazırlanarak dijital sinyal işleme devre kartına (Digital Signal Processing Board) aktarılmıştır. Bu çalışmadaki algoritma, AE sinyalinin genliğinde meydana gelen ani bir artış ve hemen ardından kesme kuvvetlerinde meydana gelen ani düşüş sayesinde takım kırılmasını tespit etmektedir. Eğer sadece AE patlaması meydana geliyorsa bu normal bir işleme belirtisidir. Fakat birbiri ardına gelen iki farklı sinyaldeki ani değişim takım kırılmasının bir göstergesidir. Çalışmanın sonucunda tornalamada takım kırılması 0,2 saniyede tespit edilmiş ve bu da sistemin mükemmel bir gerçek zamanlı izleme olduğunu ispatlamıştır.

Ravindra ve ark. (1997) tornalamada aşınma tespiti yapmak için bir model tanıma sistemi ve AE sensörü kullanarak deneyler yapmıştır. Takım malzemesi olarak kaplanmış karbür, iş parçası malzemesi olarak Ç-1060 kullanılmıştır. Sinyal işlemede zaman serileri modelleme (Time Series Modelling) ve model tanıma sistemi (Pattern Recognition) kullanılmıştır. Bir serbest yüzey aşınması sınır değeri belirleyerek, bu değeri geçen takımların aşınmış, geçmeyenlerin ise kullanılabilir olduğunu gösteren sistemde, önce AE sinyalleri işlenmiş, ardından zaman serileri modelleme yöntemi ile 3 adet özellik parametresi çıkarılmıştır. Ardından model tanıma sistemi ile teşhis yapılmıştır. Oluşturulan sistemin aşınmış ve aşınmamış takımı birbirinden ayırma

başarısı %82,35 çıkmıştır. Bununla birlikte AE sinyallerinin kesici takım kaybının anlık izlenmesinde kullanılabileceği ve teşhis için yeterince hassas olduğu görülmüştür.

Inasaki (1998) tornalamada AE sensörü kullanarak, yapay sinir ağı yardımı ile tırlama tespiti ve talaş yapısının belirlenmesi üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Talaş derinliği sabit tutularak 64 adet deney yapılmıştır. Talaşın sürekli ya da süreksiz olması şeklinde bir sınıflandırma yapılmış ve 3 saniye gibi kısa bir sürede talaş şekli belirlenebilmiştir. Aynı şekilde tırlama için de bu deney şartları oluşturularak tırlama oluşumu yapay sinir ağı kullanılarak tespit edilmiştir.

Jemielniak ve Otman (1998) tornalamada telafisi olmayan takım kaybı (CTF) ve parçacık kopmasını tespit etmek için AE sensörü ve dinamometre kullandı. İş parçası malzemesi olarak Ç1045 takım malzemesi olarak ise kaplanmış karbür uç tercih edildi. Parçacık kopması ve CTF tespitinde daha önceki çalışmalarda AE sinyalinin enerjisini gösteren RMS (Root Mean Square) değeri ani bir artış gösterdiği için kullanılmıştır. Bu çalışmanın yapılmasının sebebi özellikle küçük çaplı takım kırılmalarında ve parçacık kopmasında AE sinyalinin RMS değerinin çok ta başarılı olmamasıdır. Bunun sebebi özellikle kesintili talaş kaldırma şartlarında AE RMS değerinde önemli bir değişimin olmamasıdır. Bu çalışmada CTF'nin tespit edilmesine hassas olan ve AE RMS'e dayanan bir ölçüm tekniği kullanılmıştır. Sonuçta AE'nin skew ve kurtosis değerleri kullanılarak CTF tespitindeki başarısı değerlendirilmiştir.

Dolinsek ve Kopac (1999) AE jet sensör kullanarak tornalamada farklı tipte kesici uçlar ve takım kaplamaları kullanarak meydana gelen aşınma mekanizmalarını incelemiştir. CNC torna tezgâhında kaplanmış sermet ve kaplanmış karbür uçlarla, Ç1045 iş parçası malzemesinin işlendiği deneyler, sabit ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı değerlerinde yapılmıştır. AE RMS, bitirme yüzey pürüzlülüğü ve serbest yüzey aşınması için ölçümler yapılmıştır. AE sinyalleri işlendikten sonra spektral analizi yapılarak genlik-frekans grafikleri çıkarılmıştır.

Kullanılan AE jet sensörün özelliği, kesme bölgesinden aldığı sinyalleri soğutma sıvısını ya da buharını iletim ortamı olarak kullanarak piezoelektrik elemana iletmesidir. Karbür uç ile yapılan deneylerde yeni uç 0,3 μ m, serbest yüzey aşınması 0,2 mm olan uç 0,6 μ m yüzey pürüzlülüğü ortaya çıkarmıştır. Bunun 2 katı sürede kullanılan sermet uçlar ise 0,3 mm serbest yüzey aşınmasında 0,4 μ m yüzey pürüzlülüğünde yüzey oluşturmuştur. Bunun sebebi olarak sermet takımları karbür takıma oranla daha yüksek sönümleme kabiliyetindedir ki bu da sinyalin güç dağılımına yansımıştır. Ayrıca takım aşınmasının AE sinyalinin şiddetini artıran en önemli faktör olduğu görülmüştür.

Dimla (2000) AE, takım uç- kesme kenarları sıcaklığı, kesme kuvvetleri, titreşim ve doğrusal olmayan diğer yöntemlerle takım aşınmasının izlendiği çalışmaların derlemesini yapmıştır. Sonuçta Dimla, metal kesmenin karmaşık yapısına daha uygun, takım durumunu anlık olarak daha güvenilir izleyebilen daha gelişmiş TDI sistemlerinin gerekliliğine dikkat çekmektedir.

Sağlam (2000) frezelemede serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için yapay sinir ağı uygulaması yapmış ve değerlendirmiştir. Sensör olarak dinamometre, iş parçası malzemesi olarak Ç1040 kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve aşınma değerlerinin tahmini ve yapılan ölçümler birbiri ile karşılaştırılmış ve yapılan ölçümler birbirine yakın bulunmuştur. Sonuçta takım aşınması %77, yüzey pürüzlülüğü %79 başarı ile tahmin edilmiş ve YSA modelinin TDI'de başarılı olduğu görülmüştür.

Jemielniak (2000) takım aşınmasının izlenmesinde ve parçacık kopması ile takım kırılmasının tespitinde AE sensörü, Ç1045 iş parçası malzemesi ve sinterlenmiş karbür takım kullanarak tornalamada deneyler yaptı. AE sinyalinin istatistiksel analizine dayanan parametreler ile krater aşınması grafikleri incelenerek yorumlandı.

Takım aşınmasının izlenmesinde 5 grup sinyal ölçümü yapıldı. Sinyalin belirlenen eşik değeri saniyedeki geçme sayısı, AE sinyal gücü, AE RMS'in ortalama değeri ve standart sapması gibi farklı ölçümler krater aşınmasını takip etmek için kullanıldı. Bu anlamda AE RMS ve patlama oranı özellikleri başarılı olmuştur.

Takım kırılmasının takip edilmesinde ise AE RMS yerine, istatistiksel dağılımın fonksiyonları olan skew ve kurtosis katsayıları kullanıldı. Bunun nedeni RMS'in özellikle kesintili kesme deneylerinde takımın işe girmesi ve çıkmasından kaynaklı patlama sinyalleri üretmesidir. Kurtosis değeri parçacık kopması ve takım kırılmasına hassas bulundu.

Choudhury ve ark. (2001) AISI 4340 iş parçası malzemesi ve HSS takım kullanarak, tornalamada takım aşınmasının anlık olarak izlenmesi, iş parçası çapının kontrolü ve bu sayede işlenen parçada koniklik oluşumundan kaçınmak amacı ile bu çalışmayı yapmıştır. Bunun için temassız ölçüm yapan fiber optik transduser kullanılmış, aşınmaya bağlı iş parçası çapındaki değişme izlenmiştir. Bir yapay sinir ağı yazılımı geliştirilmiş ve bu sayede radyal doğrultudaki takım aşınması telafi edilmek istenmiştir. Serbest yüzey aşınmasının uzunluğu tahmin edildikten sonra, step motor yardımı ile takım iş parçasından uzaklaştırılmıştır. Deneyler iki bölümde yapılmış, birinde geri besleme kullanılırken diğerinde kullanılmamıştır. Geri beslemesiz

deneylerde kesme uzunluğu arttıkça iş parçası çapı da sürekli olarak artmıştır. Bu sistem ile iş parçası çapındaki boyutsal hata 0,03 mm'nin altında tutulmuştur.

Işık ve Çakır (2001) tornalamada takım kırılmasını önceden tespit etmek için Ç1050 malzeme ve hss kesici takım kullanarak deneyler yapmıştır. Bu çalışmada amaç, kesici uç kırılmadan sisteme müdahale etme şansı tanıyan bir sistem tasarlamaktır. Sensör olarak dinamometre, sinyal işlemede ise kesme kuvvetinin önceden belirlenen eşik değeri geçmesi durumunda uyarı sinyali veren bir yazılım kullanılmıştır. Hazırlanan yazılım ile takım ömrü süresince ilerleyen serbest yüzey aşınmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki artış izlenmiştir. Takım ömrü kriteri olarak serbest yüzey aşınmasının 0,6 mm değere gelmesi kabul edilmiştir. Aşınmadaki değişime göre kesme kuvvetleri dalgalanmakta ve takım ömrü hakkında bilgi vermektedir. Sonuçta, kesme kuvvetlerinde meydana gelen %25'lik artışın takım kırılması tespitinde önemli bir işaret olduğu görüldü. 12 deneyin sonucunda kırılma tespitinde %84 başarı elde edilmiştir.

Haili ve ark. (2003) tornalamada takım kırılması tespiti yapmak için Ç1045 malzeme ve karbür uçlar, AE ve motor güç sensörü kullanarak deneyler yapmıştır. AE sinyallerinin işlenmesinde zaman-frekans analizi, motor güç sinyallerinin işlenmesinde DVM (Delayed Variance Method) yöntemi kullanılmıştır. Takım durumuna karar verilmesinde yapay sinir ağına dayanan bir yöntem kullanılmıştır. Gerçekleştirilen 20 deneyde takım kırılması tespit etmede %95 başarılı olunmuştur.

Sağlam ve Kaçar (2003) frezelemede yüzey pürüzlülüğü ve maksimum profil derinliğini tahmin etmede yapay sinir ağı kullanmıştır. İş parçası olarak Ç1040 çeliği ve kesici uç olarak P15 ve P30 sertlikte kaplamasız karbür uçlar kullanılmıştır. Serbest yüzey aşınmasının yüzey pürüzlülüğü ve maksimum profil derinliği üzerinde etkisinin büyük olduğu görülmüştür. Deneysel sonuçlar ve yapay sinir ağından elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğünde %5,9 ve maksimum profil derinliğinde %3,9 hata oranı tespit edilmiştir.

Choudhury ve Srinivas (2004) Ç1045 iş parçası malzemesi ve HSS takım kullanarak tornalamada serbest yüzey aşınması gelişimini izlemek için hem matematiksel modelleme hem de deneysel bir çalışma yapmış ve ikisinin sonuçlarını karşılaştırmıştır. Difüzyon oluşumu, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliğinin serbest yüzey aşınması üzerine etkisini incelemiştir. Sonuçta oluşturulan model ile deneysel sonuçlar arasındaki bağıntı katsayısı 0,988 olarak bulunmuştur. Bu da modelin güvenilir ve aşınma izlemeye uygun olduğunu göstermiştir.

Guo ve Ammula (2005) tornalamada AE sensörü kullanarak sert iş parçalarının işlenmesinden sonra ortaya çıkan beyaz katmanı incelemek için deneyler yapmıştır. Beyaz katman serbest yüzey aşınmasının ilerlemesi ile iş parçasında meydana gelen ve yorulma ömrünü etkileyen bir oluşumdur. Bu nedenle beyaz katman-bitirme yüzeyi-aşınma ve AE sinyalleri arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. İş parçası malzemesi olarak AISI 52100, kesici takım olarak ise CBN uç kullanılmış ve deneyler kuru kesme şartlarında sabit kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinde yapılmıştır. Sonuçta AE sinyal parametrelerinden genlik, frekans, RMS ve Count Rate özelliklerinden genlik dışında diğer üçünün beyaz katman, yüzey pürüzlülüğü ve aşınma ile bağlantılı olduğu görülmüştür.

Luo ve ark. (2005) kaplanmış karbür uç ve düşük karbonlu çelik kullanarak tornalamada kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklığına dayanan aşınma ölçüm deneyleri yapmıştır. Talaş derinliğini sabit tutarak 3 farklı ilerleme ve kesme hızlarında deneyler yapıldı ve serbest yüzey aşınması ölçülmüştür. Ampirik deneylerin yanısıra, simule deneyler de gerçekleştirilmiş ve ikisinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçta, kesme hızının takım ömrü üzerinde ilerlemeye oranla etkisinin çok daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca tahmin edilen serbest yüzey aşınması değerleri ile ölçülen değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Çakır ve Işık (2005) tornalamada dinamometre kullanarak hazırlanan yazılım ile takım kırılması tespiti yapmıştır. Bunun için Ç1050 iş parçası malzemesinin yanısıra kaplanmış ve kaplanmamış tungsten karbür uçlar kullanılarak deneyler gerçekleştirildi. 3 farklı ilerleme, 3 farklı talaş derinliği değeri ve birçok kesme hızı değeri ile kuru kesme şartlarında işleme yapılmıştır. Kesme kuvvetlerinden takım kırılmasını en iyi tespit eden teğetsel kuvvet, serbest yüzey aşınması ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Sinyal işleme ise teğetsel kuvvetin önceden belirlenen eşik değeri geçmesi ile bilgisayar ekranına uyarı mesajı gönderen bir yazılım ile yapılmıştır. Sonuçta, yapılan deneylerde kırılma tespitinde başarı oranı %74-84 çıkmıştır.

Yağın ve Sağlam (2007) tornalamada takım kırılmasının önceden algılanmasını sağlayan ve bunu önleyen bir TDİ sistemi tasarlamıştır. Bu amaçla bir yazılım geliştirdi ve AE sensörü ile dinamometre kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde farklı derinlikte kanal açılmış ve sertlikleri farklı çelik iş parçası malzemeleri üzerinde (AISI 1040 ve AISI 4140) üzerinde farklı kalitelere TiC kaplı sinterlenmiş karbür takımlar ile gerçekleştirilmiştir. Sinyal işlemede AE sinyallerinin RMS değeri hesaplanırken, sinyaller belirlenen eşik değeri geçtiği takdirde bilgisayar

ekranına gelen uyarı mesajı ile kırılmanın önlenmesi amaçlanmıştır. Sonuçta; farklı takım kalitelerinin, ilerlemedeki değişimin, farklı kanal derinliklerinin, AE ve kesme kuvveti sinyallerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca AE sinyalinde meydana gelen piklerin eşik değeri aşması sonucunda takım kırılmasının gerçekten meydana geldiği gözlenmiştir. Sinyalin pik yapmasına rağmen eşik değeri geçmemesi durumunda ise parçacık kopması meydana geldiği görülmüştür.

Özdemir ve Çakır (2008) tornalamada kesme parametrelerinin ve takım geometrisinin başlangıç aşınması üzerine etkisini incelemek için deneysel bir çalışma yapmıştır. 3 farklı kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği ve 2 farklı yaklaşma açısı değeri olarak, dökme demir iş parçası malzemesi ve sinterlenmiş karbür takım ile deneyler gerçekleştirilmiştir. İşlemenin ilk 10 saniyesinde takım ömrünün 3'te 1'i tüketilmektedir. Bu nedenle 10. saniyede aşınma ölçülmüştür. Aşınma miktarı 0,1 mm'ye çok kısa sürede gelmektedir ve işleme şartlarından yola çıkarak optimizasyona gidilmiştir.

Çakır ve ark. (2009) soğuk işlenmiş takım çeliği AISI P20'nin tornalanmasında işleme parametrelerinin ve iki farklı kaplama malzemesine sahip karbür ucun yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Deneysel çalışmanın yanısıra yüzey pürüzlülüğü en küçük kareler metodu uygulanarak regresyon analizi ile matematiksel olarak modellenmiştir. Deneyler kuru kesme şartlarında 3 farklı kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçta ilerlemenin, kesme hızına göre etkisinin daha fazla olduğu, talaş derinliğine ise önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Tasarlanan matematiksel modelin %4-5 hata paylarında olduğu ve böylece güvenilir olduğu görülmüştür. Son olarak CVD kaplamalı uçlarda yüksek kesme hızı değerlerinin yüzey pürüzlülüğüne olumlu etki ettiği, PVD kaplamalarda ise olumsuz etki ettiği görülmüştür.

Abellan-Nebot ve Subiron (2010) TDİ sistemlerine küresel çapta bir bakış açısı eksikliğine çözüm üretebilmek adına literatür taraması yapmıştır. Bu anlamda, uygulamada kolaylık sağlaması için bir TDİ sistemlerini altı konu başlığına ayırmış, öncelikle sensörlerin her birinin avantaj ve dezavantajlarına, hangi özellikleri izlemek için ideal olduklarına değinmiş daha sonra da sinyal işleme düzenini beş başlık altında incelemiştir.

Hase ve ark. (2012) AE sensörü kullanarak bir pim-disk mekanizmasında aşındırıcı aşınması ve yapışma aşınmasını sinyal frekansı ile birbirinden ayırt etmek için deneyler yapmıştır. Yapışma aşınmasında, pim diske sürtülerek demir-demir, bakır-

demir, gümüş-demir malzeme kombinasyonlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı aşınmasında ise demir pim farklı tane boyutlarında zımpara kâğıtlarına sürtülerek deneyler yapılmıştır. Yapışma aşınması deneylerinde yüksek frekans bölgesinde büyük bir pik, aşındırıcı aşınmasında düşük frekans bölgesinde birkaç pik meydana gelmiştir. AE sinyallerinin frekans analizi de yapıldıktan sonra, iki aşınma tipi frekans dağılımı ile ayrt edilebilmiştir.

Papacharalampopoulos ve ark. (2013) takım geometrisinin AE sinyal yayılımına etkisine daha farklı bir bakış açısı kazandırmak için 2 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile simülasyona dayanan bir çalışma yapmıştır. Kesici takımdan AE dalgası yayılımı farklı durumlar için değerlendirilmiştir: aşınmış takım/aşınmamış takım, kaplanmış/kaplanmamış takım, takımın mesnet noktasının değişimi ya da takımın mesnetli/ mesnetsiz olması. Sonuç olarak mesnetin varlığının AE'nin yoğun olduğu frekansları yükselttiği, mikro yapının AE dağılımının maksimum ve minimum noktalarını düşürdüğü görülmüştür.

Doukas ve ark. (2013) parmak freze ile işlemede titreşim ve mil akımı/mil torku ölçümü yaparak ilerleyen aşınmayı tahmin eden bir sistem tasarlamıştır. Üzerinde öndelmiş delikler olan dökme demir bir pleyti (CGI 450) karbür uçlar ile işlerken 2 farklı kesme hızı ve sabit bir ilerleme ve talaş derinliği değeri kullanmıştır. İşleme esnasında belirli aralıklarla işlem durdurulmuş ve serbest yüzey aşınması ölçülmüştür. 5 kesici uça meydana gelen aşınmanın aritmetik ortalaması alınmıştır. Mil akımı sinyallerinin RMS değeri ölçülürken, titreşim sinyallerine frekans anı analizi uygulanmıştır. Sonuç olarak, takım aşınmasının ölçümünde bahsedilen sensör çiftinin başarılı olduğu ve aşınma takibinde kullanılabilceği görülmüştür.

Salgado ve ark. (2013) farklı iş parçası malzemeleri ile deney sayısını azaltarak bunun yanında hata payını da düşürerek aşınma tespiti için bu çalışmayı yapmıştır. Deneylerde çelik ve Al alaşımı olmak üzere iki farklı iş parçası malzemesi ve TiN kaplamalı 5 farklı takım kullanılmıştır. Motor mil akımını ve titreşimini ölçerek, serbest yüzey aşınması ile bu sensör sinyalleri arasında ilişki kuran bir yapay sinir ağı kurulmuştur. Deneyler torna tezgâhında gerçekleştirilmiş ve titreşim sinyalleri SSA (Singular Spectrum Analysis) ile işlenirken, akım sinyalleri yapay sinir ağı ile işlenmiştir. Sonuç olarak literatürdeki çalışmalara kıyasla çok daha az deney yaparak ve farklı iş malzemelerinin kullanıma imkân veren bir sistem tasarlanmıştır. 30 deneyle sınırlandırılan deney planı 70 deneye kadar çıkarılmış ve ilkinde göre çok az bir değişim olduğu görülmüştür ve bu da sistemin güvenilirliğini ortaya koymuştur.

Bhuiyan ve ark. (2014) tornalamada AE ve titreşim sensörü kullanarak takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumunu incelemiştir. TiN kaplı tungsten karbür kesici uç ve karbon çeliği malzeme ile 4 farklı kesme hızı, 4 farklı ilerleme ve 2 farklı talaş derinliğinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Serbest yüzey aşınması, yüzey pürüzlülüğü ölçülürken, farklı tipte talaş örnekleri alınmıştır. 3 titreşim sinyal bileşeni ve AE sinyallerinin tümünün RMS değeri hesaplanarak sinyal işleme yapılmıştır.

Yapılan çalışma sinyal işleme açısından özgün olmasa da daha önce literatürde görülmeyen bazı önemli bulgular ortaya çıkarmıştır: AE sensörü takım aşınmasının izlenmesinde, titreşim sensörü ise yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumunun izlenmesinde etkili olmuştur. Talaş oluşumunda sırası ile ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı parametrelerindeki değişimden en fazla etkilenmiştir. AE sinyal frekansı 51-620 kHz aralığında, titreşim bileşenleri ise 98 Hz-40 kHz aralığında dalgalanma göstermiştir. Ham AE sinyalleri AE RMS değerinden daha iyi bir takım durumu izleme aracı olarak kendini göstermiştir. Sonuçta, AE ve titreşim sinyalleri kullanılarak tornalamada aşınma, talaş oluşumu ve yüzey pürüzlülüğü gibi oluşumlar etkili bir şekilde belirlenebilmiştir.

Neslusan ve ark. (2015) sert bir iş parçası olan 100Cr6'nın seramik uçlar ile tornalanmasında 3 farklı AE sinyal parametrelerinin oranlarını kullanarak takım aşınmasının farklı safhalarını tespit etmiş ve CTF tespiti yapmıştır. Bunun yanısıra ham AE sinyalleri talaş tipinin belirlenmesinde kullanılmış ve işleme parametrelerinin talaş oluşumuna etkisi incelenmiştir. 2 farklı talaş derinliği, sabit bir ilerleme değeri ve çeşitli kesme hızlarında, kuru kesme şartlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Sinyal işleme yöntemi olarak AE sinyal parametrelerinin oranları kullanılmıştır. Ayrıca talaş oluşumu, serbest yüzey aşınması ve AE sinyali ölçümleri yapılmıştır.

Talaş oluşumunda 2 farklı frekans aralığı mevcuttur. Bu nedenle deneylerde 2 farklı frekans aralığına ve aynı zamanda ortak bir alana da sahip olan 2 AE sensörü kullanılmıştır. Düşük frekans aralığındaki sensör (15-180 kHz), serbest yüzeyde çatlak başlangıcı ve takım ucuna doğru ilerlemesinde, yüksek frekanslı sensör (100-1000 kHz) yoğun dönüşümlerin yaşandığı takım-talaş, takım-iş parçası ara yüzlerini ve süreksiz mikro çatlakları ve plastik deformasyonu algılamada kullanılmıştır.

Sonuçta, düşük frekanslı sensör ile çatlak oluşumu, yüksek frekanslı sensör ile faz dönüşümleri veya plastik deformasyon tespit edilmiştir. Bulunan parametreler aşınmanın farklı safhalarını tespit edebilmiş fakat serbest yüzey aşınmasının artışı gösterememiştir. Yine bulunan parametreler CTF tespitinde başarılı olmuştur.

Ambhore ve ark. (2015) TDİ sistemlerine genel bir bakış ortaya koymuştur. Bu bağlamda TDİ sistemlerini dolaylı ve doğrudan olmak üzere 2 farklı grupta incelemiştir. Dolaylı izleme yöntemlerini; sensörden sinyalin alınması, sinyalin işlenmesi ve özellik çıkarımı, yapay zekâ yöntemleri ile aşınmanın sınıflandırılması ve tahmin edilmesi, sensörler alınan bilgiye dayanarak işleme işlemini kontrol edecek karar verme yönteminin geliştirilmesi şeklinde 4 adıma ayırmıştır. Dolaylı izleme yöntemlerinin yanısıra, veri eldesi ve işlenmesinde zaman alanı analizi, frekans alanı analizi, zaman-frekans alanı analizi, Hilbert ve Hilbert-Huang dönüşümü ve istatistiksel alan gibi sinyal analiz yöntemlerinden bahsetmiştir. Son olarak takım hakkında karar verme sistemlerinde yapay zekâ tekniklerinden bahsetmiştir.

Literatür özetinin ikinci kısmında optimizasyonda kullanılan istatistiksel analiz metotları olan Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise S/N Ratio) ve Varyans Analizi (ANOVA) yöntemlerinin kullanıldığı bazı makalelere yer verilmiştir.

Yang ve Chen (2001) parmak frezeleme işleminde en küçük yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için Taguchi tasarımında $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ dizisi seçilerek 3 faktör ve 3 seviyeli olarak deneyler gerçekleştirilmiştir. İlerleme, devir sayısı ve talaş derinliği faktörler olarak, takım çapı ise doğrulama için seçilmiştir. Hesaplamalar düşük olan en iyidir prensibine göre yapılmıştır. Neticede ilerlemenin yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen parametre olduğu bulunmuştur.

Kopac ve ark. (2002) soğuk ön-şekillendirilmiş iş parçalarının arzu edilen yüzey pürüzlülüğünde olması için en iyi işleme parametrelerinin belirlenmesi için sinyal gürültü oranı ve varyans analizi yapmıştır. C15 E4 çeliğinin tornalanmasında Taguchi parametre tasarımı $L_{16}(2^{15})$ kullanılmış, deneyler 5 faktör ve 2 seviyeli olarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan faktörler kesme hızı, kesici takım malzemesi, iş parçası malzemesi, talaş derinliği ve paso sayısıdır. Hesaplamalar düşük olan en iyidir prensibine göre yapılmıştır. Sonuçta en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri ve bunu sağlayan işleme parametreleri belirlenmiştir.

Gaitonde ve ark. (2009) tornalamada semente karbür takım kullanarak en küçük yüzey pürüzlülüğü ile en fazla talaş kaldırma oranını elde etmek için Taguchi yöntemini kullanmıştır. Sinyal gürültü oranı ve varyans analizi ile L_9 serisi kullanılmış ve deneyler 3 faktör, 3 seviyeli olarak gerçekleştirilmiştir. Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği kesme parametreleri olarak kullanılmıştır. Hesaplamalarda yüzey pürüzlülüğü için en küçük, talaş kaldırma oranı için en büyük en iyidir prensibi kullanılmıştır. Optimizasyon

sonucunda orta derecede ilerleme ile yüksek kesme hızlarında ve talaş derinliğinde en fazla talaş kaldırarak en iyi yüzeyin elde edilebileceği görülmüştür.



3. TEORİK ESASLAR

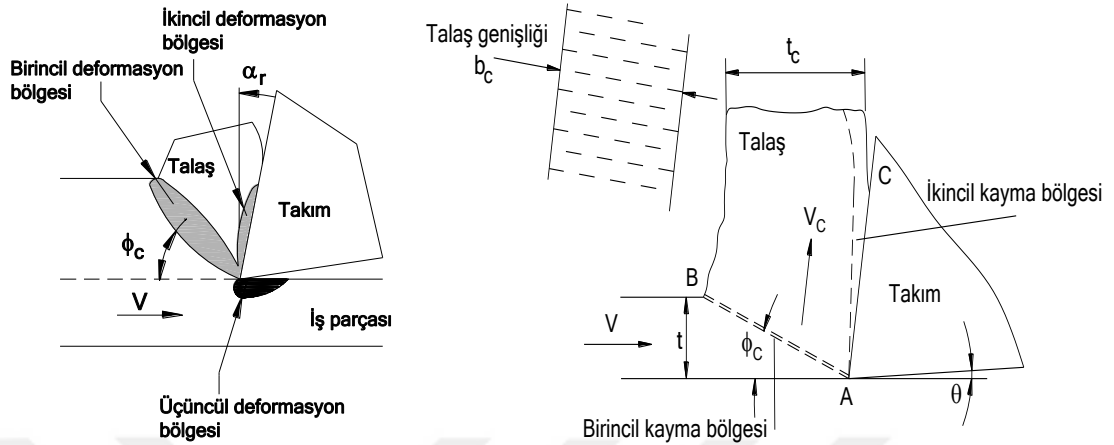
Tornalama işlemlerinde takım aşınması ve takım kırılması üzerine pek çok çalışma yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir. Bu tez çalışmasında da tornalamada AE, kesme kuvvetleri ve kesici uçtaki sıcaklığın ölçülmesine dayanan ve ilerleyen aşınmanın yanı sıra takım kırılmasını da tespit eden bir tahmin sistemi kurulmuştur. Bu bölümde de sözü edilen izleme sistemlerinden, sensörlerden ve bu sistemlerin uygulamalarının teorisinden bahsedilecektir.

3.1. Tornalamada Kesme

Torna tezgâhında gerçekleştirilen en temel iki işlem silindirik ve alın tornalama işlemleridir. Eğer kesici uç aynaya paralel ekseninde hareket ederse parça boyu kısaltılmak sureti ile alın tornalama, dik ekseninde hareket ederse parça çapı azaltılarak silindirik tornalama gerçekleştirilmiş olur. Alın tornalamada merkeze yaklaştıkça yarıçap azalır. $V=w*r$ formülünden yola çıkılarak yarıçap azalması ile paralel kesme hızının azalacağı da aşikârdır. Bu değişimi önlemek adına merkeze yaklaştıkça açıl hız artırılrsa da yine de tamamen önlenemez. Merkezde yarıçap sıfır olacağı için çevresel hızın sonsuza gitmesi gerekir.

Takım ve iş parçası temas halinde iken takımın malzemeye uyguladığı basınç ve oluşan sıcaklık ile malzemedeki tabakalar halinde talaş kaldırılır. Bu şekilde iş parçasına son şeklin verilmesi amaçlanır. Talaş kaldırma işlemi takım-iş parçası temas bölgesinde plastik deformasyon meydana gelmesi ile gerçekleşir. Oluşan temas bölgesi üç farklı temas alanını meydana getirir. Bunlar takım-iş parçası, takım-talaş ve iş parçası-talaş temas alanlarıdır. Talaş-iş parçası temasının meydana geldiği yerde kayma düzlemi meydana gelir ve plastik deformasyonun en yoğun olarak olduğu yer burasıdır. Dik kesme ya da ortogonal kesme işlemi metal kesme işleminin basit bir hali olarak tanımlanabilir. Gerçekte üç boyutlu olarak gerçekleşen işleme işlemi, kâğıt üzerinde basitleştirilerek takım, iş parçası ve talaş ile bunların birbiri ile temas bölgelerini göstermekte, teorik hesaplamaları daha kolay bir hale getirmektedir. Bu sayede genel olarak talaş kaldırma mekaniğinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Dik kesmede üç adet deformasyon bölgesi mevcuttur. Bunlar talaş ve iş parçası yani kesilmiş ve kesilmemiş malzemenin birbirinden ayrıldığı kısım, takım ve talaş arasındaki sürtünme

özelliklerini belirleyen kısım ve takım ile iş parçası arasında iş parçası yüzey özelliklerini belirleyen kısım şeklindedir (Şekil 3.1)..



Şekil 3.1. Dik Kesmede Kayma ve Deformasyon Bölgeleri (Saglam, 2004)

Malzemeden talaş kaldırılırken plastik deformasyon meydana gelmektedir ya da başka bir deyişle metal kesme bir talaş şekillendirme işlemidir ve bu da plastik deformasyon ile mümkündür. Tıpkı bir ağaç yontulduğunda ortaya çıkan talaşın tekrar ağaç olamayacağı gibi plastik deformasyon meydana geldiğinde de artık geri dönüş mümkün değildir. Metal de bu şekilde talaşa dönüştüğünde artık özelliğini kaybetmiştir ki bu durum malzeme yapısına bakılarak anlaşılabilir.

Metal kesme işlemleri yüksek basınç ve sıcaklık altında gerçekleşmektedir. Yüksek sıcaklıklar takım-ış malzeme yapısını bozduğu için mevcut ısının hemen ortamdaki uzaklaştırılması gerekir. Talaş oluşturma bu sebeple oldukça önem kazanmaktadır. Çünkü çıkan talaş, ortamdaki uzaklaşırken ısının da yaklaşık %65'ini beraberinde götürür. Isının kalan bölümü ise takım ve iş parçası üzerinde paylaşılır. Takımın ısınması ile aşınma direnci azalır, çünkü takımdaki elementler iş parçasına geçmeye başlar ve takım ömrü kısalmaya başlar. Talaş yapısını değiştirmek için takım geometrisi üzerinde oynama yapmak gerekir. Takımın talaşla temas süresi mümkün olduğunca kısaltılmalıdır. Böylece takıma geçen ısı transferi en aza indirilebilir.

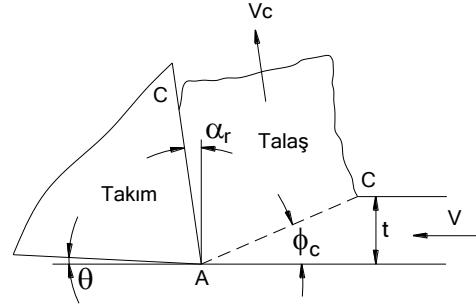
Talaşlı imalat işlemlerinin tamamında tezgâh, iş parçası, kesici uç ve talaş oluşumunun incelenebileceği düşünüldüğünde ve bunların her birinin içindeki farklı parametrelerin birbirleri ile meydana getirebileceği kombinasyonlar göz önüne alındığında gerçekleştirilmek istenen işlemin her anlamda istenen derecede iyi olması bu işlemleri zor hale getirmektedir.

Temel olarak bu üç kesme parametresinin takım, iş parçası ve talaş oluşumu ile ilgili en önemli kriterler üzerindeki etkileri incelendiğinde şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- Kesme hızının düşük olması tırlamaya sebep olur, kesici uçta kopmalar meydana gelir ve bu hem takım ömrü bakımından olumsuzluk yaratır, hem de istenen yüzey kalitesi elde edilemez. Diğer yandan yüksek kesme hızlarında $P=F \cdot V$ formülünden yola çıkılarak kesme kuvvetleri düşer ve harcanan güç azalır. Ancak yüksek kesme hızları yüksek basınç ve sürtünme dolayısı ile yüksek sıcaklıklar meydana getirir, kısa sürede kırılma meydana gelir ve takım ömrü kısalmır. Tüm aşınma mekanizmaları yüksek sıcaklık kaynaklı olduğu ve sıcaklığı da en çok etkileyen parametre kesme hızı olduğu için kesme hızı aşınmayı ve takım ömrünü en çok etkileyen kesme parametresidir. Kesme hızının artışı ile birlikte sıcaklık ve dolayısı ile aşınma da hızlanmakta, bu durum takımdan malzeme kaybının neticesinde takım-iş temas alanının değişmesine ve AE'nin artmasına neden olmaktadır. Kesme hızı aynı zamanda AE'yi de en çok etkileyen parametredir.
- İlerleme esas olarak talaş oluşumunu ve köşe radyüsü ile birlikte yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir. $F=k_s \cdot f \cdot a_p$ formülünden yola çıkılarak, ilerleme artışının kesme kuvvetlerini artırdığı da söylenebilir. İlerlemenin sıcaklık ve AE üzerinde oldukça az etkisi olduğu görülmektedir. Takım ömrü üzerinde ise kesme hızından sonra en etkili ikinci parametredir.
- Talaş derinliğinin kesme kuvvetleri ve harcanan güç üzerinde etkisi olsa da oldukça azdır. Ayrıca takım ömrü üzerinde de etkisinin az olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada talaş derinliği sabit tutularak parametrenin değişim etkileri göz önüne alınmamıştır.

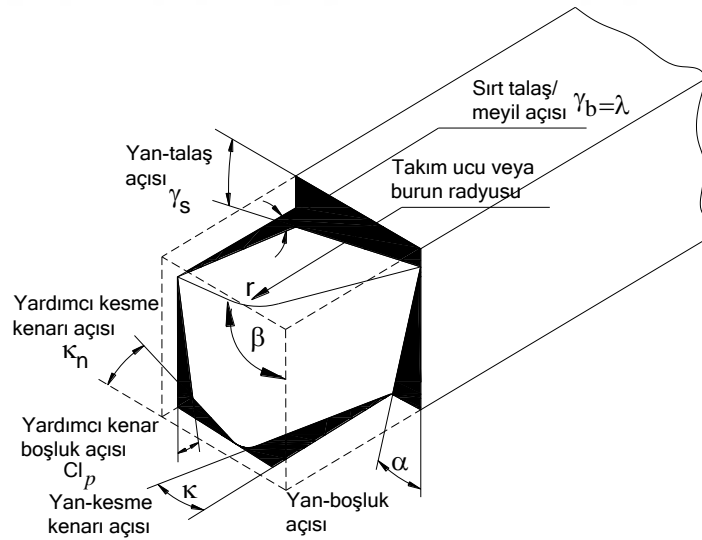
Tornalamada ekonomik işleme yapabilmek için sırası ile önce talaş derinliği, daha sonra ilerleme seçilir ve son olarak bunlara uygun devir sayısı seçimi yapılır. Bu tez çalışmasında hem kullanılan tezgâhın çalışma aralığının kısıtlı olması hem de ilerleyen aşınmanın takip edilecek olması nedeni ile deney süresini kısaltmak ve deney numune sayısını azaltmak için yüksek devir sayıları seçiminin ardından sırası ile talaş derinliği ve ilerleme için kullanılacak değerlerin seçimi yapılmıştır.

Talaş kaldırma üzerine Taylor'ın yapmış olduğu takım ömrü ve takım aşınması çalışmaları ve Merchant'ın ortogonal modeli bu alanda meydana gelmiş en büyük gelişmeler olarak tarihteki yerini almıştır. Talaş kaldırma teorisinin temellerini atan bu çalışmalar günümüzde de halen kullanılmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. İki Boyutlu Ortogonal Kesme İşlemi (Saglam, 2004)

Talaşlı imalat işlemlerinde girdi parametrelerinden olan takım geometrisinin optimizasyonu önemli rol oynamaktadır. Yaklaşma açısı, uç radyusu, boşluk açısı, kayma açısı, kama açısı, talaş açısı ve meyil açısı takım geometrisini oluşturan parametrelerdir ve her birinin işleme üzerinde önemli etkileri vardır. Kesici uçtaki açılar Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Kesici Uçtaki Açılar (Saglam, 2004)

Yaklaşma Açısı: Takıma üstten bakıldığında esas kesme kenarının takım ilerleme doğrultusu ile yaptığı açıdır. Açı değeri 90° olursa bu durum takımın ani yüklenmeye neden olacaktır. Kesici uç işleme başladıktan sonra belirli bir $f^*_{ap}=A$

alanına aniden girer. Eğer açı 90° den küçük olursa alan artışı başta noktasal sonra yüzeysel olacaktır. Açı 90° den çok küçük olursa, bu kez de takım talaş temas uzunluğu artacaktır. Bu nedenle ideal açı değeri bulunmalıdır. Optimize edilmesi takım ömrü üzerinde belirleyicidir.

Meyil Açısı: Takıma yandan bakıldığında esas kesme kenarının yatay düzlem ile yapmış olduğu açıdır. Negatif meyil açısı kesici uç mukavemetini artırmak için tercih edilmektedir. Açının pozitif ve negatif olma durumu, boşluk ve kama açılarının değerlerine bağlı olarak belirlenir. Farklı işleme operasyonlarında gereksinimler ve önceliklere göre seçim yapılır.

Talaş Açısı: Talaş açısı takıma yandan bakıldığında talaşın aktığı yüzeyin yatay eksenle yaptığı açıdır. Talaş açısının artması takımın kesme kabiliyetini artırırken, mukavemetin düşmesine neden olur.

Kama Açısı: Kama açısının artışı uç dayanımını artırırken, çok yönlülük ve dar yüzeylere ulaşılabilirlik azalır. Yine kama açısının artışı titreşim eğilimini ve harcanan güç sarfiyatını artırır. Gerçekleştirilecek işleme uygun olarak seçimi yapılmalıdır.

Boşluk Açısı: Takıma yandan bakıldığında kesici ucun ön yüzü ile dikey eksen arasında kalan açıdır. Kesici ucun işleme esnasında iş parçasına sürtünmesini önlemek için verilir. Bu açının artması aşınmayı azaltırken, mukavemeti düşürür.

Kayma Açısı: Ortogonal kesme şekline bakıldığında kayma düzleminin yatay eksen ile yaptığı açıdır. Talaş kaldırma için harcanan enerjinin büyük kısmı burada harcandığı için önem arz eder. Kesilmiş ve kesilmemiş talaş kalınlıkları ile talaş açısına bağlı olarak değişir. İnce talaşta kayma açısı küçülürken uygulanan kuvvet artar. Aynı iş parçasına farklı kayma açıları oluşturacak şekilde kuvvet uygulanırsa küçük kayma açısında kesme kuvvetleri ve dolayısı ile harcanan güç artar.

Uç Radyusu: Takım ucu sivriligi optimum değerde olmalıdır. Uç çok sivri olursa kesme kuvvetleri azalır, uç kısma radyus verilirse takımın kullanım ömrü artar. Uç çok düz olursa tırlama meydana gelir, ucun fazla düzleşmesi ise tartaklamaya ve bu da aşırı titreşime neden olur. Uç radyusu ilerleme ile birlikte yüzey pürüzlülüğünü en

çok etkileyen iki faktördür. Uç radiusunun esas işlevi ise ucun mukavemetini artırmak ve ısıyı yüzeye homojen bir şekilde dağıtmaktır. Uç radiusunun işlevlerinden birisi de talaşın akış yönünü belirlemesidir. Radiusun küçük ya da büyük olması takıma gelen kuvvetleri, talaş akışını ve yüzey pürüzlülüğünü etkilediği için işleme göre seçim yapılır.

3.2. Takım Durumu İzleme Sistemleri

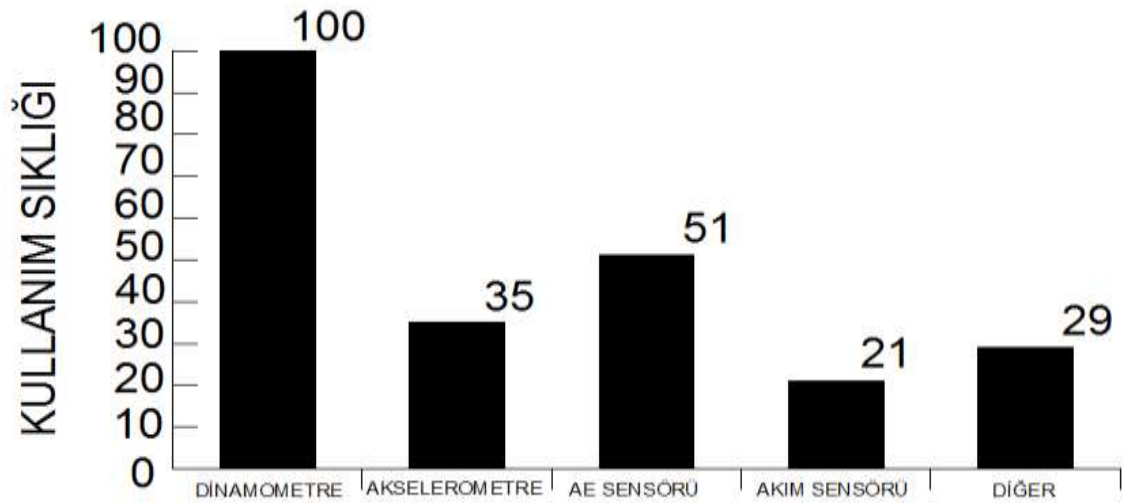
Talaşlı imalatta parametre ve değişken sayısının fazla olması, bunlar arasında lineer denklem sistemlerinin oluşturulmasına engel olmaktadır. Takımda meydana gelen aşınma kesici ucun iş parçası ekseninden sapmasına neden olur. Takım-ış temas noktasının değişimi, iş parçasının silindirik yapısını ve yüzeyini bozduğu için, tezgâhta titreşim meydana gelir. Yine artan aşınmaya bağlı olarak kesme kuvvetleri değişir ve harcanan güç artar. İşleme esnasında basınç ve sıcaklığın etkisi ile talaş oluşturan kesici uçta aşınma meydana gelmesi kaçınılmazdır. Kesici uçta meydana gelen aşınmanın kontrol edilmesi ve aşınma üst değerini aştığında takımın değiştirilmesi gerekir. Bu değer işleme esnasında meydana gelebilecek anormallikler dışında, iş parçası yüzey pürüzlülüğü, yüzey tamlığı, talaş tipi ve harcanan güce bağlıdır. Ayrıca girdi ve çıktı parametreleri arasındaki denklemler, deneysel çalışmanın yapısını belirler. Hangi çıktı parametresi değerlendirilmek, yorumlanmak isteniyorsa, ona etki edecek, onun fonksiyonu olan girdi parametreleri değişken olarak seçilir.

Metal kesmede en önemli verimlilik parametresi takım aşınmasıdır. Ayrıca talaşlı imalatta üreticilerin en çok zorlandıkları olgu da takım aşınmasıdır. Takım durumunu izleme gerekliliği de takım aşınmasından gelir. Takım aşındıkça iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve tamlığında değişim meydana gelir, talaş kontrolü zorlaşır, kesme kuvvetleri değiştiği için tezgâhın çektiği akım ve harcadığı güç artar. Aşınma hızlandıkça bahsedilen olumsuzlukların yanısıra takım değiştirme sıklığı ve işleme maliyeti artar. Takım aşınması non-lineerdir. Bu nedenle aşınma matematiksel model ile tespit edilemez. Bunlar uzman sistemler, yapay sinir ağları, bulanık mantık ile bulunur. Bu şekilde takımın kaç parçada aşınmaya uğradığı bulunur ve takım maliyeti hesaplanır.

Sensörün yerleştirileceği konum geçmişteki çalışmalarda değişkenlik gösterse de kesin olan bir şey vardır ki o da sensörün kesme bölgesine en yakın yere sabitlenmesi gereğidir. Bu sayede en güçlü sinyaller algılanabilir. Bu nedenle sensörün takıma veya takım tutucuya yerleştirilmesi kesme bölgesine uzaklığı korumak anlamında önemlidir.

Metal kesme için kullanılan enerji farklı şekillerde ortaya çıkar. Bunlar, takıma gelen kuvvetler, sürtünme etkisi ile oluşan sıcaklık, tezgâhta meydana gelen titreşimler, kesme kuvvetlerinin değişimine bağlı olarak motorun çektiği akım ve metal atomlarının birbirinden kopması esnasında oluşan AE'dir. TDİ'de dolaylı ölçüm yapan başlıca sensörler sıcaklık sensörü, akseleometre, dinamometre ve AE sensörü olmakla birlikte her biri farklı bir enerji sinyalini algılar ve daha sonra işlenerek anlaşılır hale getirecek olan sinyal işlemeye gönderir.

TDİ'de kullanılan sensörlerin kullanım sıklıklarına göre değerlendirilmesi Cho ve ark. (1999) tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4). Dinamometrenin hemen her çalışmada, AE sensörünün iki çalışmadan birinde kullanıldığı görülmektedir. Dinamometrenin sinyal güvenilirliğinin yüksek olması, AE sensörünün ise tahribatsız muayene imkânı tanınması ve iki sensörün çoklu ölçümde kullanılabilmesi bu tablonun oluşmasında etkili olmaktadır.



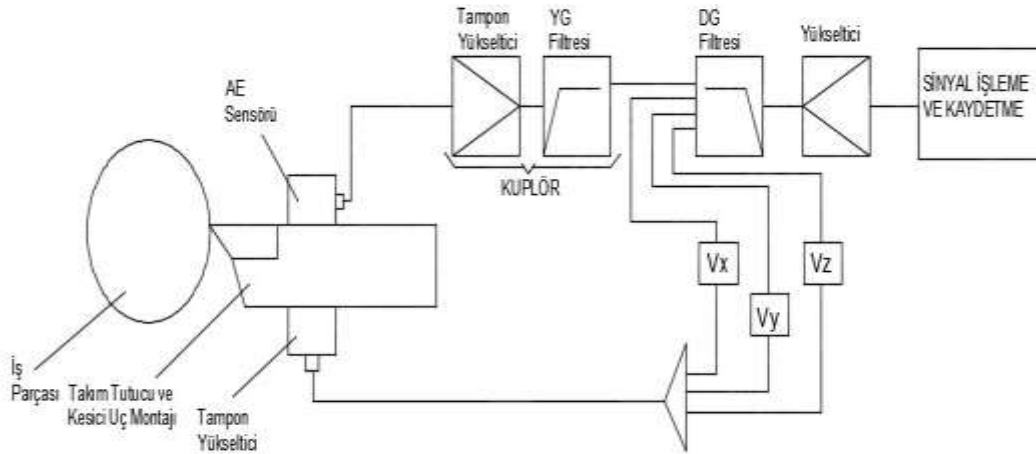
Şekil 3.4. İzlemede kullanım sıklığına göre sensörler (Cho ve ark., 1999)

Şekil 3.5'te takım durumu izlemede kullanılan tüm parametreler görülmektedir. Bu parametrelerden takım geometrisi, takım malzemesi, takım sertliği, iş parçası malzemesi, tezgâh ve kesme parametreleri girdi parametreleri olarak kullanılır. Bu grubun dışında kalan takım ömrü, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve iş parçası tamlığı, talaş tipi ve enerji parametreleri çıktı parametreleri olarak kullanılır. İlerleyen bölümlerde bu tez çalışmasının konusu olan takım aşınmalarından serbest yüzey aşınması ve ilave olarak krater aşınması, ayrıca takım kırılması, kesme kuvvetleri, sıcaklık ve AE yöntemleri hakkında bilgi verilecektir.



Şekil 3.5. Takım Durumu İzlemede Evrensel Olarak Kullanılan Parametreler

Çoklu Ölçümler: Çoklu ölçümler frekansları birbirini tamamlayan sensörler arasında (ivmeölçer ve AE sensör füzyonu) veya iki farklı olayı aynı anda izlemek (Dinamometre ve AE sensörü ile takım aşınması ve takım kırılması izlemek) amacı ile oluşturulur. Örneğin Bhuiyan ve ark. (2014) malzemedeki yüksek frekanslı iç değişimleri göstermek için AE, düşük frekanslı dış değişimleri göstermek için ivmeölçer kullanarak bir sensör füzyonu oluşturmuş ve başarılı olmuştur (Şekil 3.6). Böylelikle AE ve titreşim sensörleri birlikte tüm frekans alanını algılayabilecek kapasiteye sahip olmuşlardır. Ancak birbirini tamamlamayan veya aynı bilgiyi farklı güvenilirlikte veren sensör çiftleri sensör füzyonu oluşturmak için yeterli değildir. Örneğin kesme için harcanan güç veya akım ile kesme kuvvetleri arasında bir ilişki bulunmaktadır. Akım ya da güç sensörü ile dinamometre kullanımı aynı bilginin hassas ve daha az hassas olanının elde edilmesine neden olacaktır. Bir başka çalışmada Doukas ve ark. (2013) frezelemede titreşim sensörü ve mildeki torku ölçerek aşınma izleme yapmıştır. Bu çalışma ile bir kesintili kesme işleminde bu sensör füzyonunun kullanılabileceği görülmüştür. Bir diğer çalışmada ise (Diei ve Dornfeld, 1987b) dinamometre ve AE sensörü ile frezelemede aşınma izlemede başarılı olunmuştur.



Şekil 3.6. Titreşim sensörü ve AE sensörü ile bir çoklu ölçüm örneği (Bhuiyan ve ark., 2014)

3.2.1. Tornalamada Yapılan Çalışmalar

TDİ çalışmalarının büyük çoğunluğunun tornalama işlemleri üzerinde yapıldığı görülmektedir. Ayrıca en sık kullanılan sensörler de dinamometre ve AE sensörleridir. Yine sensör füzyonunun işlemeden daha hassas ve güvenilir bilgiyi sağladığı göz önüne alındığında tornalamada en çok kullanılan TDİ yönteminin dinamometre ve AE sensörü füzyonu ile oluşturulması kaçınılmazdır. Bununla birlikte sadece aşınma izlemede (Guo ve Ammula, 2005; Papacharalampopoulos ve ark., 2013) ve sadece kırılma izlemede (Inasaki ve ark., 1987; Cakir ve Isik, 2005) bu sensörlerin tek başlarına kullanıldıkları çalışmalar da bulunmaktadır.

Jemielniak ve Otman'a (1998) ait bir çalışmada parçacık kopması tespiti yapmak ve takım kırılmasını algılamak için bir tesisat oluşturulmuş ve başarılı olmuştur. Yine Yalçın ve Sağlam (2007) takım kırılmasının anlık tespiti için AE sensörü ve dinamometre kullanmıştır. Ravindra ve ark. (1993), dinamometre ve titreşim sensörü kullanarak, Bhuiyan ve ark. (2014), AE ve titreşim sensörü kullanarak tornalamada aşınma izleme deneyleri yapmıştır.

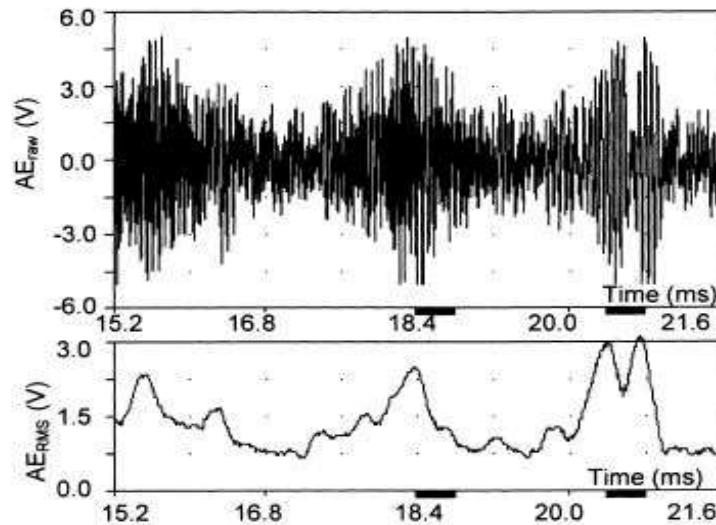
Neslusan ve ark. (2015), biri düşük diğeri yüksek frekans aralığına sahip iki farklı AE sensörü kullanarak tornalamada TDİ yapmıştır. İki sensör de takım tutucuya yerleştirilmiştir. Takım ve aşınmasının farklı safhaları, takım kırılması ve talaş oluşumu incelenmiştir. Burada talaş oluşumunun iki farklı frekans aralığında meydana geldiği ve bu sebeple iki farklı AE sensörü kullanılabileceği düşünülmüştür. Düşük frekanslarda serbest yüzeyde meydana gelen çatlak başlangıcı ve takım ucuna doğru ilerlemesi,

yüksek frekans olarak ise yoğun dönüşümlerin meydana geldiği takımın iş parçası ve talaş ile temas ettiği ara yüzler, süreksiz mikro çatlak ve plastik deformasyon olayları ele alınmıştır. Bu çalışma ucuz ve kurulumu kolay olan AE sensörleri ile tüm işleme frekanslarını tahribatsız kontrol etme olanağı tanıdığından geçmişteki çalışmalardan farklılık göstermektedir.

3.3. Sinyal İşleme Yöntemleri

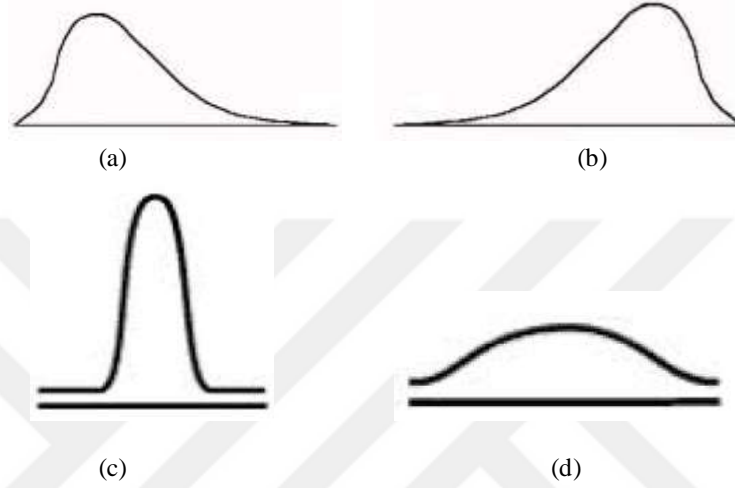
Sinyal işlemede genellikle bir eşik değeri belirlenip sinyalin bu değeri geçmesi durumunda bir anormallik olduğu gözlemlenip sisteme müdahale edilir. Elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilebileceği gibi bir öğretim işlemi sonrası yapay zekâ uygulamaları ile TDİ yapılabilir. Bu anlamda sinyal işleme yöntemleri 2 gruba ayrılmaktadır. Birinci gruptakiler sinyal işleme yöntemleri olan analiz ve modelleme iken, ikinci gruptakiler karar yapıları olan yapay zekâ yöntemleridir.

RMS: Karekök ortalama yöntemi olarak isimlendirilmektedir. Bir değişkenin bir zaman aralığı içerisindeki değerlerinin ortalamasının hesaplanmasında kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. AE sinyallerinin işlenmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Tez çalışmasında da sensörden AE sinyallerinin RMS değeri alınarak değerlendirme yapılmıştır. Şekil 3.7 'de görüldüğü gibi ham sinyallere kıyasla RMS değeri hesaplanan AE sinyalleri değerlendirme yapmak ve karar vermek için çok daha uygundur.



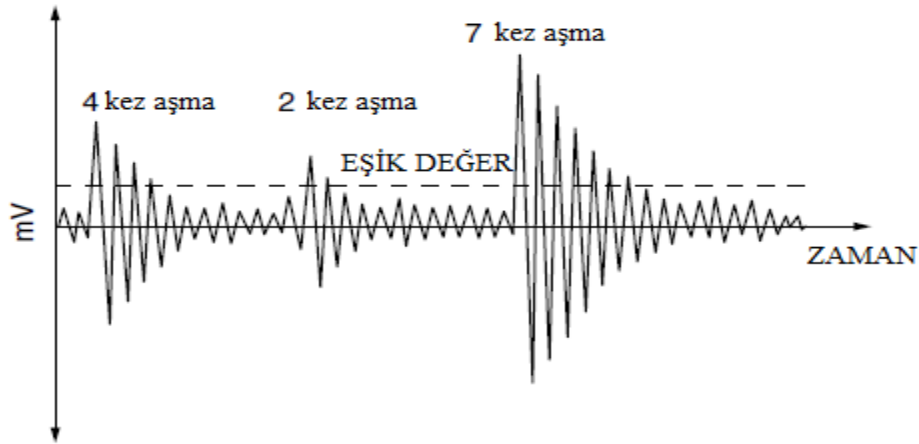
Şekil 3.7. Ham ve RMS yöntemi ile işlenmiş AE sinyalleri (Jemielniak, 2000)

Skew ve Kurtosis Katsayıları: Skew dağılım simetrisini ya da başka bir deyişle simetrideki eksikliği ölçerken kurtosis pik keskinliğini ölçer. Pozitif bir skew, dağılım hacmindeki değişimin sağa doğru değiştiğini, negatif bir skew ise sola doğru değiştiğini gösterir. Büyük bir kurtosis değeri keskin bir dağılım pik değeri yani küçük bir bölgede yoğunlaşma olduğunu gösterir. Küçük bir kurtosis değeri ise düz bir yapıya sahiptir (Inasaki, 1998), (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Sırası ile sağa (a) ve sola (b) doğru değişen skew, büyük (c) ve küçük (d) pik yapan kurtosis

Count Rate And Total Count: İzlenen sinyalin işleme süresince, önceden belirlenmiş bir genlik değerini aşma sayısını gösterir. Ön-belirlenmiş eşik değer olarak adlandırılabilir. Dinamik ya da statik eşik değerleri belirlenerek aşınma ve kırılma takibinde TDİ'de başarı ile uygulanmaktadır. Şekil 3.9 önceden belirlenmiş bir eşik değer bir işleme süresince belirli zaman aralıklarında farklı sayılarda aşıldığını göstermektedir.



Şekil 3.9. Belirlenen eşik değeri aşma sayısını gösteren bir işlem

Zaman Alanı Analizi: Zamanın fonksiyonu olarak bir cevap parametresi ortaya konulur. Zaman alanındaki sinyaller çoğunlukla kuvvet sinyalleri ile belirlenir (Ambhore ve ark., 2015).

Frekans Alanı Analizi: Bu analiz frekans alanında dönüştürülmüş sinyale dayanır. Titreşim özellikleri ve ses sinyalleri genellikle frekans alanı kullanılarak çıkarılır. Bu amaçla FFT analizi kullanılır. Frekans alanının zaman alanına göre üstünlüğü kolaylıkla tanımlanabilir olması ve belli bazı frekans bileşenlerini izole etmesidir (Ambhore ve ark., 2015).

Zaman-Frekans Alanı Analizi: AE sinyalinin analizinde sıklıkla kullanılmıştır. Karışan sinyaller aynı anda hem zaman hem de frekans alanında gözlemlenip değerlendirilebilir.

Çeşitli kaynaklardan pek çok frekansta AE sinyali üretildiği için ya da takım kırılması, parçacık kopması talaş sıkışması gibi pek çok olgu meydana geldiği için bu kaynaklardan takım kırılması özelliklerinin nasıl çıkarılacağına çözümlenmesi gerekmektedir. Geçmişte AE sinyalini analiz etmek için spektral yoğunluk, RMS gibi yöntemler kullanılmıştır. Fakat pek çok AE kaynağı kesme süresince oluşup zaman frekans alanında karıştığı için farklı AE sinyallerini yalnız zaman ya da yalnız frekans alanında ayırmak zordur. Bu nedenle zaman-frekans analizi kullanılır (Haili ve ark., 2003).

Regresyon Analizi: Regresyon analizi bilinen değerler kullanılarak analiz yolu ile değişken ya da değişkenleri bularak bunların arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan yöntemdir.

3.4. Takım Aşınması ve Takım Kırılması

Takım durumu izlemeye en fazla önem arz eden konuların başında kesici uçta meydana gelen aşınma ilerlemesi ve devamındaki takım kırılması gelmektedir. Çünkü bir üretim hattında takibi ve müdahalesi en zor olan bölüm yüksek basınç ve sıcaklık altında işlemenin gerçekleştiği kesme bölgesidir. Kesici uçta meydana gelen aşınmanın ilerleyen boyutlarda iş parçasına ve tezgâha zarar vereceği bilinmektedir. Literatüre

bakıldığında TDİ üzerine yapılan çalışmalarda yüzey pürüzlülüğü ile birlikte en çok çalışılan konuların başında takım aşınması ve takım kırılması gelmektedir. Bu çalışmalarda ise en çok kullanılan sensörler dinamometre ve AE sensörü olmuştur

Aşağıdaki tabloda TDİ’de en çok kullanılan sensörlere ait maliyet, çalışma şartlarındaki elverişlilik ve sinyal güvenilirliği ile yapılan başarılı uygulamalar görülmektedir (Şekil 3.10)..

Sensör	Maliyet	Elverişsizlik	Sinyal Güvenilirliği	Temel Uygulama
Dinamometre	★★★	★★★	★★★	Takım Aşınma Teşhisi Takım Kırılma Tespiti Yüzey Pürüzlülük Tahmini Parça Tamlığı Tahmini
Akselerometre	★★	★★	★★	Yüzey Pürüzlülük Tahmini Takım Aşınma Teşhisi
AE	★★	★★	★★	Takım Kırılma Tespiti Takım Aşınma Teşhisi
Akım Sensörü	★	★	★	Takım Aşınma Teşhisi Takım Kırılma Tespiti

Şekil 3.10. Sensörlerin avantaj ve dezavantajları (Abellan-Nebot ve Subirón, 2010)

Dinamometre yatırım maliyeti yüksek bir cihazdır. Bununla birlikte kesme bölgesinin hemen altında yer aldığı için talaş, kesme sıvısı vb. gibi etkilere de maruz kalmaktadır. Ancak kesme bölgesine bu kadar yakın olması ve kesme işlemlerinde kesici ucun altında yer alması takıma gelen kuvvetlerin doğrudan sensöre aktarılmasını sağlamakta ve bu da anlık izlemede büyük öneme sahip olan hassas ve güvenilir sinyalleri elde etme olanağı tanmaktadır.

Kesme kuvvetleri takım kırılmasının tespitinde de kullanılmaktadır. Ancak burada bir dezavantaj söz konusudur. Takımda meydana gelebilecek bir kırılma dinamometrenin hasar görmesine neden olabilir. Kısacası kesme bölgesine yakınlık güvenilir bir veri kaynağı olmayı sağlarken, diğer yandan da oluşacak problemlerde büyük maddi kaybı beraberinde getirmektedir.

Takım kırılmasının tespit edilmesinde ise AE sensörü ilk sırayı almaktadır. AE sensörü farklı olayları farklı sinyal frekanslarında gösterebildiği için sisteme müdahale etmeyi de kolaylaştırmaktadır. Talaş kırılması, parçacık kopması, standart kesme bölgesi ve takım kırılması gibi olaylarda sensör verileri gözle görülür şekilde değişiklik göstermektedir. Özellikle takım kırılması anında sinyalin büyük bir pik yapması takım

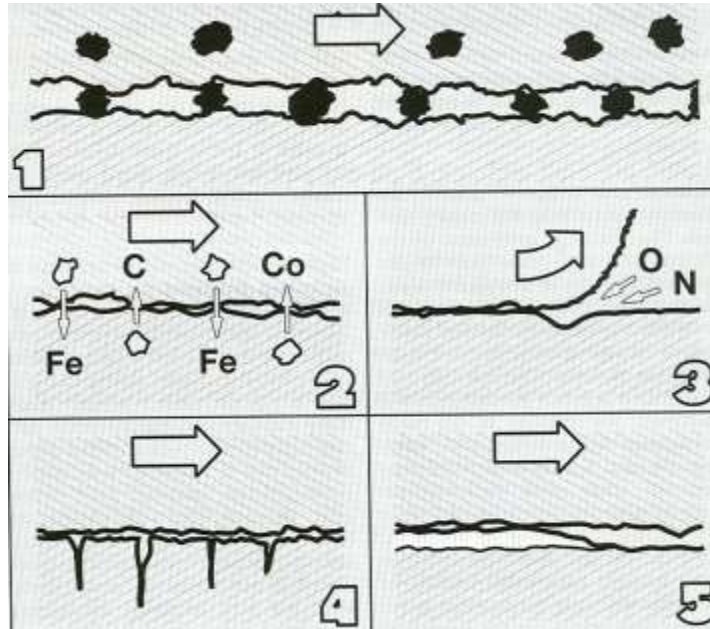
kırılmasının önceden algılanmasını sağlamakta ve kırılmanın önlenmesini mümkün kılmaktadır.

AE sensörü dinamometreye kıyasla daha düşük maliyetli olsa da onun kadar kesme bölgesinin içinde olmadığı ve dolayısı ile sinyal güvenilirliğinin de daha düşük olduğu görülmektedir. Takım aşınmasını tespit etmede kullanıldığı bilinmektedir ancak gerek malzeme yapısındaki düzensizliklerden gerekse parçacık kopmalarından kaynaklı yanlış sinyaller verebilmektedir.

Dinamometrenin ve AE sensörünün takım kırılması ve takım aşınmasında ilk iki sırada kullanılmalarının nedeni öncelikle bu olgulara hassas olmalarıdır. İkinci olarak ise bu sensörlerin sensör füzyonu oluşturmak için müsait olmalarıdır. Özellikle hem takım kırılması hem de aşınması izlemek için birbirlerini tamamlayıcı özellikte oldukları görülmektedir.

3.4.1. Aşınma Mekanizmaları

Serbest yüzey ve krater aşınmaları aşınma tiplerinden sadece 2'si olmakla birlikte plastik deformasyon, çentik aşınması, yağma talaş oluşumu, burun aşınması, parçacık kopması gibi farklı aşınmalar da meydana gelmektedir. Bu aşınmalar, aşınma mekanizmaları olarak adlandırılan şu oluşumlar sonucunda meydana gelmektedir:



Şekil 3.11. Temel Aşınma Mekanizmaları (Coromant, 1994)

1.Aşındırıcı Aşınması: Kesici takım iş parçasından talaş kaldırırken, iş parçası da kendisinden daha sert olan kesici takımdan küçük boyutlarda olsa da malzemenin kopmasına neden olur. Kopan bu malzemeler kesme bölgesinde takım ve iş parçası arasında sıkışarak aşındırıcı aşınmasına neden olur. Aşındırıcı aşınması mekanizması kesici uçta serbest yüzey aşınması, krater aşınması ve burun aşınmasına neden olmaktadır.

2.Difüzyon Aşınması: Metal kesme işlemi yüksek basınç ve sıcaklık altında gerçekleşmektedir. Yüksek sıcaklıklar temas halinde olan takım ve iş malzemesi arasında metal atomlarının yoğunluğun çok olduğu bölgeden az olduğu bölgeye geçmesine neden olur. Bu mekanizma esas olarak kullanılan malzemeler arasındaki kimyasal ilgiye ve yüksek sıcaklığa bağlı olarak gelişim gösterir. Kesici uçta yoğun olarak bulunan belirli bazı metal atomları iş parçası ve talaşa difüze olur ve bu da takımın zayıflaması ve parçacık kopmasına neden olur. Difüzyon aşınması krater aşınması oluşumuna sebebiyet verir.

3.Oksidasyon Aşınması: Kesici takım ve iş parçasındaki atomlar, yüksek sıcaklık ve havadaki oksijen sebebi ile oksidasyona uğrar. Bu mekanizma takım-iş parçası temas bölgelerinde yeni moleküllerin oluşmasına neden olur. Bu aşınma mekanizması takım serbest yüzeyinin talaş derinliğinde çentik aşınmasının oluşumuna sebebiyet verir.

4.Yorulma Aşınması: Yorulma aşınması özellikle kesintili kesme gibi takımın iş parçası ile kesintili temas ederek çalıştığı işleme işlemlerinde meydana gelir. Bu işlemlerde takım, kesintili olarak yüke maruz kalırken bu olay mekanik yorulmaya, diğer taraftan yüksek sıcaklıkların mevcudiyeti de termal yorulmaya yol açar. Meydana gelen tekrarlı yorulma kesici uçta çatlakların oluşumuna ve ilerleyen çatlaklar birleşerek takımdan parçacık kopmasına ve kırılmaya neden olur. Yorulma aşınmasının meydana getirdiği aşınma tipleri parçacık kopması ve plastik deformasyondur. Meydana gelen tahribat su çekilen toprağa benzer.

5.Yapışma Aşınması: Kesme işleminin gerçekleşmesi için kesici takımın işlenen malzemedен sert olması gerekir. Sertlik farkı çok arttığı zaman iş parçası malzemesi kesici takıma yapışarak beraberinde kesici uçtan da bir miktar malzeme götürür. Bu mekanizma yapışma aşınması olarak isimlendirilir. Yapışma aşınması mekanizması

kesici uçta yığma talaş oluşumuna, parçacık kopmasına, çentik oluşumuna ve serbest yüzey aşınmasına neden olur.

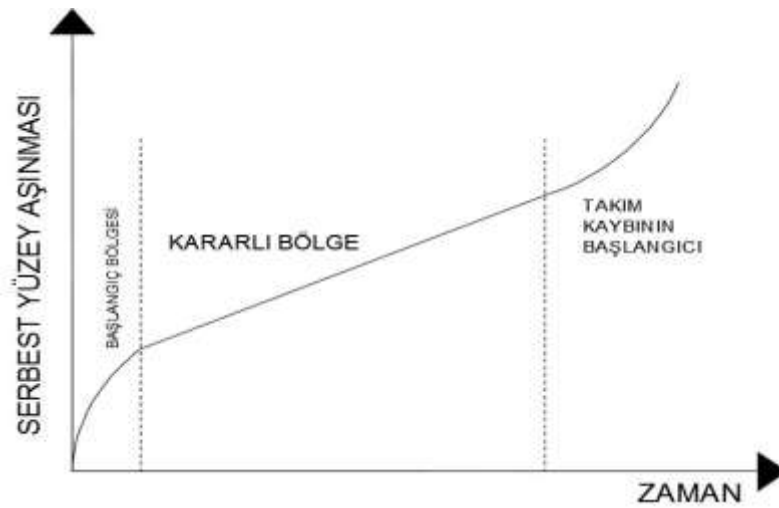
3.4.2. Aşınma Tipleri

Sözü edilen aşınma mekanizmalarının meydana getirdiği takım kaybını hızlandıran, her biri işleme üzerinde farklı etki ve kayıplara neden olan çeşitli aşınma tipleri bulunmaktadır.

3.4.2.1. Serbest Yüzey Aşınması

Serbest yüzey aşınması (VB), kesici ucun işlenen iş parçası yüzeyi ile arasında kalan bölgede meydana gelen yoğun olarak aşındırıcı aşınmasından, buna ilave olarak difüzyon ve yapışma aşınma mekanizmalarının da etkili olduğu bir aşınma tipidir. Takımın serbest yüzeyi olarak adlandırılan, iş parçası işlenen yüzeyi ile arasında boşluk açısı bulunan bu kenarda, aşınma ile birlikte boşluk açısı da azalır (Şekil 3.13).

Serbest yüzey aşınması takım ömrünün belirlenmesinde kullanılan en önemli parametre olup, TDİ çalışmalarında da dolaylı metot olarak takım aşınma tipleri arasında en çok kullanılan aşınmadır.

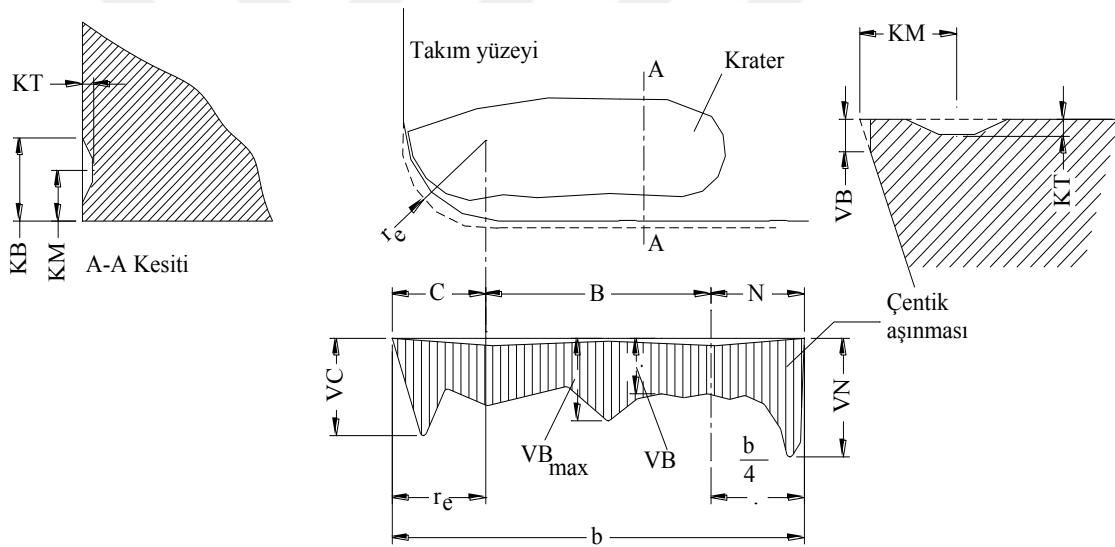


Şekil 3.12. Serbest yüzey aşınmasının ilerleyen işleme ile değişimi

Serbest yüzey aşınması işlemenin ilk evrelerinde hızlı bir artış gösterir, ikinci evrede daha kararlı duruma gelirken, üçüncü evrede tekrar hızlanır ve bu andan sonra

takım kaybının oluşması muhtemeldir (Şekil 3.12). Aşınmanın ilerlemesi ile kesici uç ile iş parçasının temas alanı artar, bu durum sürtünmeyi ve meydana gelen sıcaklığı artırarak aşınmayı hızlandırır. Ayrıca aşınmanın artışı ile artan sürtünme yüzey kalitesini bozacak, takım-iş parçası temas alanı değişeceği için parça takımdan uzaklaşacak ve bu da parça tamlığını değiştirecektir.

Serbest yüzey aşınmasının belirlenmesinde Şekil 3.13'te görüldüğü gibi belirli bir b uzunluktaki aşınma şeridi boyunca maksimum aşınma değeri VB_{max} veya ortalama bir değer olarak VB şeklinde alınabilir. Bu tercih aşınmanın gelişimine göre yapılmalıdır. Örneğin aşınma şeridi çok genişlemiş ve farklı bölgelere ait VB_{max} değeri ortaya çıkmış ise bu durumda bir ortalama değer almak daha doğru olacaktır. Eğer şerit boyu kısa ise veya tek bir maksimum aşınma tepesi oluşmuş ise bu durumda VB_{max} değeri almak daha uygun olacaktır.

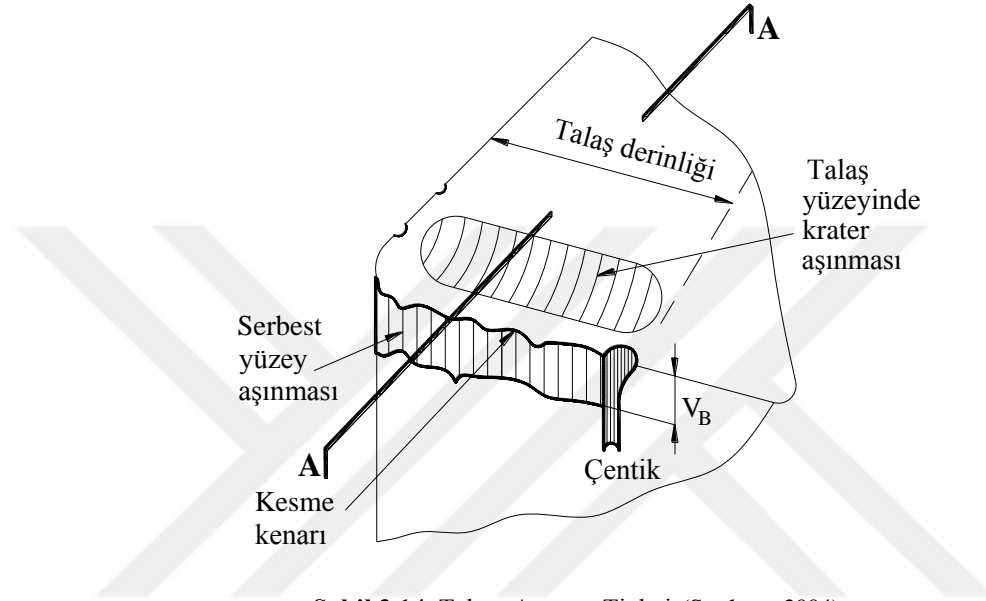


Şekil 3.13. ISO kriterlerine göre takım (ISO, 1972)

3.4.2.2. Krater Aşınması

Krater aşınması takımın talaş yüzeyinde yüksek sıcaklıklar ve talaş yükünün etkisi ile meydana gelen, difüzyon aşınmasının sebep olduğu takım talaş temas yüzeyinde meydana gelen bir aşınma tipidir (Şekil 3.14). Takım ömrünün belirlenmesinde serbest yüzey aşınmasından sonra kullanılan ikinci tip aşınmadır. Temelde difüzyon aşınması kaynaklı olarak meydana gelse de aşındırıcı aşınması, plastik deformasyon ve yapışma aşınması da krater aşınması gelişimine sebep olur.

Krater aşınmasının önlenmesi difüzyon aşınmasının önlenmesine dolayısı ile kesici uç ile takımın kimyasal ilgisi az olan malzemelerden seçilmesine bağlıdır. Yine kaplamalı takım kullanımı ve kesme sıvısı kullanımı ile krater aşınması gelişimi yavaşlatılabilir. Krater aşınması önlenmediği takdirde aşınmanın kesici uca kadar ilerlemesi, kesici uçta parçacık kopmalarına ve kırılmaya sebebiyet verebilir. Krater aşınmasının ölçümünde temel alınan iki faktör ise krater derinliği ve genişliğidir.



Şekil 3.14. Takım Aşınma Tipleri (Saglam, 2004)

3.4.2.3. Plastik Deformasyon

Metal kesme işlemlerinin yüksek sıcaklık ve basınç altında meydana gelmesi nedeni ile plastik deformasyon meydana gelmektedir. İlerleme değeri ve özellikle kesme hızının artması sıcaklığı artıracığından plastik deformasyonu hızlandırmaktadır. Ayrıca yüksek kesme sıcaklıkları talaş yapışmasına ve talaş akışının değişmesine, takım geometrisinin bozulmasına ve sonuçta kesici uç mukavemetinin azalmasına neden olur. Plastik deformasyon hızını kontrol etmek kesme hızı ve ilerleme değerlerinin değiştirilmesinin yanısıra kesici uç geometrisinin doğru seçilmesi ile mümkündür.

3.4.2.4. Çentik Aşınması

Çentik aşınması yapışma aşınması ve oksidasyon aşınması sebebiyle havanın kesme bölgesi ile temas etmesi sonucu oluşan bir aşınma tipidir. Çentik aşınmasının

ilerlemesi ile kesici kenarda bozulmalar ve sonuçta iş parçası kalitesinde düşüş meydana gelir.

3.4.2.5. Yığıma Talaş

Bu aşınma tipi düşük sıcaklıklarda yumuşak iş parçası malzemesinin sert takım malzemesine yapışması ile meydana gelir. Özellikle kesme hızının düşük olduğu durumlarda iş parçası ve kesici uç arasındaki kimyasal ilginin de yüksek olması iş parçası malzemesinin takım yüzeyine kaynamasına ve ilerleyen süreçte kaynamış malzemenin takım malzemesinden parça kopmasına neden olur. Yığıma talaş, takım geometrisinin bozulmasına ve takımın hızlı bozunumuna neden olur. Bu oluşumun hızını azaltmak kesme hızını ve dolayısı ile kesme sıcaklığını artırmakla mümkündür.

3.4.2.6. Parçacık Kopması

Parçacık kopması kesici uç malzemesinin küçük parçalar halinde kırılması olarak tanımlanabilir. Bu olgu takıma gelen tekrarlı yükler nedeni ile özellikle kesintili kesme işlemlerinde ortaya çıkmaktadır. Bu anlamda parçacık kopması bir yorulma mekanizması neticesinde ve yapışma aşınması ile yığıma talaş oluşumunun devamında meydana gelen bir aşınma tipidir.

3.4.3. Takım Kırılması

Metal kesme işlemlerinde bir kesici takımdan beklenen, istenen yüzey kalitesi ve parça tamlığında işleme yapmasıdır. Bunun yanında takımın mümkün olduğunca en fazla kullanım ömrüne sahip olması istenir. Bu nedenle, sözü edilen beklentileri karşılamadığı ve kesme için eskisinden fazla güç harcanmaya başladığı zaman takımın ömrünü doldurduğu anlaşılır. Kesici takımlar aşınma veya kırılma nedeni ile kesme kabiliyetini yitirdiğinde bilendir veya yenisi ile değiştirilir.

Kesici takım kırılması kesici ucun büyük bölümünün kaybedilmesi olarak tanımlanabilir. Bu anlamda kesici takım aşınması takım malzemesinin yavaş kaybı, parçacık kopması da küçük parçacık kaybı olarak değerlendirilmektedir. İlerleyen aşınma ve parçacık kopması erken tespit edilemezse takım kırılması meydana gelir.

Kırılmanın şekline bağlı olarak, kırılmanın ardından takım-iş temas alanı artarak ani piklere neden olabileceği gibi, büyük bir kırılmada sinyal genliğinde ani düşüş gerçekleşebilir. Bunun sebebi takımın işten tamamen ayrılmış olmasıdır. AE ve kesme kuvvetlerinde takım kırılması anında ani artışın sebebi takım-iş temas alanının ani artışıdır. Sonra temas kaybolduğu için ani düşüş meydana gelir.

Kırılmanın yüksek sıcaklıklar, ilerleyen aşınma ve parçacık kopması, kesme kuvvetlerinin çok yükselmesi, takım geometrisinin değişimi gibi çeşitli sebepleri bulunmaktadır.

Takım kırılması ile ilgili çalışmalarda şu bulgulara rastlanmıştır: Kesme kuvvetlerinden teğetsel kuvvetin takım kırılmasını göstermede diğer iki kuvvet bileşenine nazaran daha etkili olduğu görülmüştür (Haili ve ark., 2003; Cakir ve Isik, 2005). Bazı çalışmalarda karbür uçların takım ömrünün %50'sinin takım kırılması neticesinde sona erdiği görülmüştür. Takım kırılmalarının %15'inin nedeni ise kesme verilerinin yanlış seçiminden kaynaklanmaktadır. Takımın erken kaybı temel olarak kırılmadan, parçacık kopmasından ve çatlamadan yani kesici uca uygulanan aşırı gerilme sonucu meydana gelmektedir (Cakir ve Yahya, 2005). Aşınmaya bağlı olarak F_c kuvveti artmakta, aşınma sonucu kesici takımdan kopan parçacıklar sonucu kaldırılan talaş miktarında azalmalar olmakta ve F_c kuvveti kademeli olarak azalmaktadır (Cakir ve Yahya, 2005).

3.5. Kesme Kuvvetleri

Kesme kuvvetlerine dayalı izleme, ölçümleri kolay ve güvenilir olması nedeni ile oldukça fazla tercih edilmektedir. Özellikle dinamometre ile kesme kuvvetleri ölçümü kesme bölgesinin hemen altında olması ve en küçük değişimleri bile algılayabilmesi çalışmacıları bu alana itmektedir. Farklı çalışmalarda kesme kuvvetleri ile birlikte kesme kuvvetlerinin arasındaki oranın da kullanıldığı görülmektedir. Bunun temel sebebi kesme kuvvetlerinin değişken olması ve bu sebeple duyarlılığının az olmasıdır.

Kesici uçlarda aşınma ilerlemesi ile birlikte kesme kuvvetlerinde de artış meydana gelir. Bu artış kesme kuvvetlerinin izlenmesi ile takım aşınmasının takibinde kullanılmaktadır. Takım ömrü tamamlanınca kesme kuvvetleri aniden artar ve sonra aniden düşer. Kesme kuvvetlerindeki büyük değişimler takım kırılmasına işarettir.

Böylece takım ömrünün tahmin edilmesinde ve takım değiştirme zamanının tahmin edilmesinde kesme kuvvetleri kullanılabilir.

Dinamometreler aşınmayı güvenli izleme imkânı sağladığı için takım aşınması ve takım kırılmasının izlenmesinde hemen her çalışmada kullanılmaktadır. Yine aşınmanın kırılma, yüzey pürüzlülüğü ve tamlık gibi değişkenleri de etkilemesi nedeni ile dinamometre kullanımı daha da önemli hale gelmektedir. TDI'de sinyal güvenilirliği özellikle önem arz ettiği için ve dinamometreler işleme bölgesinin hemen altında yer aldıkları için bu anlamda avantaj sağlamaktadır. Ayrıca işleme anında ölçüm yapılabildiği, güç ve titreşim ölçümüne göre daha hassas olduğu ve çalışma ortamından etkilenmediği için de dinamometreler sıklıkla bu alanda tercih edilmektedir.

Kuvvet ölçümünde gerinme ölçerli ya da piezoelektrik kristalli dinamometreler kullanılmaktadır. Piezoelektrik kristal kaliteli quartz cam malzemeye verilen isimdir. Bu malzemeler sıkıştırılması sonucu gerilim üretir ve daha çok dinamik şartlar için tercih edilmektedir. Uzama ölçer kullanılan dinamometrenin cevap süresi piezoelektrik kullanılanlara göre daha uzundur. Bu da sinyalin bilgisayara geç ulaşması ve dolayısı ile sisteme geç müdahale edilmesi demektir.

Dinamometrelerde kuvvet ölçümünde gerinme ringleri kullanılır ve bu ringlerde oluşan deformasyon ile uygulanan kuvvet arasında ilişki kurulur. Uzama ölçerli dinamometrelerin üzerinde ringler, ringlerin üzerinde de uzama ölçerler bulunur. Ringler tıpkı yay gibidir, belli bir esneme payları vardır. Üzerlerindeki uzama ölçerler ise uzama-direnç ilişkisi ile çalışır. Dinamometrenin ringlerine bağlanan uzama ölçerler bir Wheat-stone köprüsü oluşturur. Bu köprüye uzayan ve kısalan uzama ölçerler çapraz bağlanır. Köprü denge halinde iken karşılıklı dirençlerin çarpımı birbirine eşit olur.

Dinamometrede ölçüm yapılırken 3 eksenden yalnızca birinde değer okunmalı, diğer yönlerde en küçük değer okunmalıdır. Buna çapraz duyarlılık adı verilmektedir. Dinamometreler tıpkı bir terazi gibi çalışmalıdır, yük nereye uygulanırsa uygulansın aynı değeri göstermelidir. Dinamometrelerin tasarlandıkları kapasiteye kadar yüklenmelidir. Eğer dinamometre bundan daha büyük yüke maruz kalırsa kalıcı olarak deforme olur.

Dinamometre tezgâhta bağlı ve üzerinde iş parçası var iken, hem üzerine gelen kuvvet sinyallerini, hem de tezgâhta oluşan titreşim sinyallerini algılar. Bu durum sinyal kirliliğine yol açacağından dinamometre doğal frekansı tezgâh frekansının en az dört katı olmalıdır.

Tornalamada kesme esnasında takıma üç farklı ekseninde kuvvet gelmektedir. Bunlardan teğetsel kuvvet (F_t) kesici ucu iş parçasının dönme eksenine doğrultusunda aşağı bastırma kuvveti, radyal kuvvet (F_r) takımı iş parçasından uzaklaştıran yani dışarı itmeye çalışan kuvvet, ilerleme kuvveti (F_f) ise takımın ilerleme doğrultusunda ters yönde oluşan kuvvetlerdir.

Deneysel olarak kesme kuvvetinin üç bileşeninin takımda oluşan değişik aşınma şekillerine farklı reaksiyonlar verdiğini göstermiştir. Mesela, ilerleme kuvveti (F_x veya F_f) krater aşınmasına duyarlı iken, ilerleme ve radyal kuvvetler (F_f veya F_r) takım aşınmasından ana kesme kuvvetinden (F_z veya F_t) daha fazla etkilenirler.

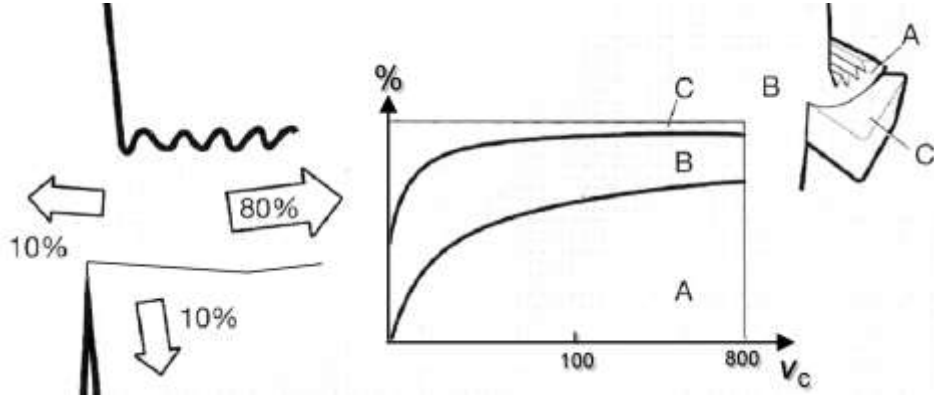
Bir başka çalışmada, baskın aşınma tipi serbest yüzey aşınması olduğunda, krater aşınmasına kıyasla ilerleme ve pasif kuvvetin daha fazla olduğu ortaya konuldu (Jemielniak ve Kosmol, 1995). Üstelik krater aşınması takım geometrisini değiştirir ve böylece kesme kuvvet bileşenlerinin değişimine neden olur (Ertekin ve ark., 2003). Bir diğer çalışmada Liang ve ark. (2002), ilerleme ve radyal kuvvetin takım aşınmasına kesme kuvvetinden daha hassas olduğunu ortaya çıkarılmıştır.

3.6. Takım Sıcaklığı

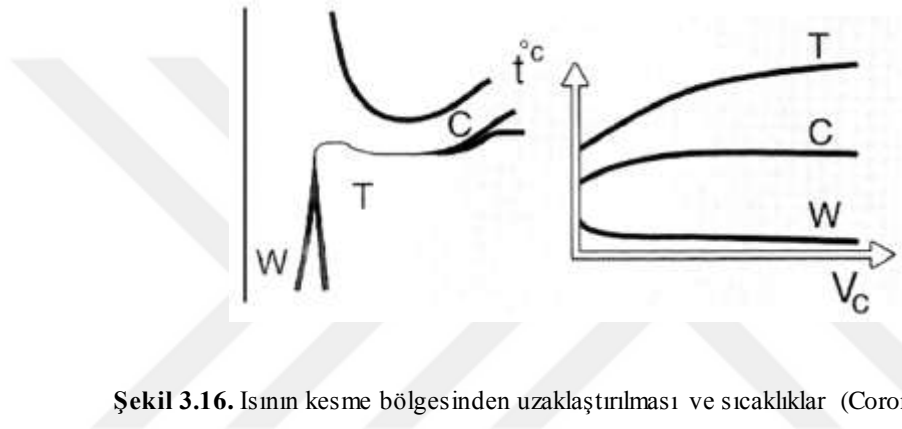
Metal kesme işlemi yüksek basınç ve sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Talaş oluşturma işlemi plastik deformasyon ile meydana gelmekte ve bu esnada yüksek sıcaklıklar meydana gelmektedir. Talaşlı imalat işlemlerinde tezgâha verilen enerjinin büyük bölümü ısı enerjisine dönüştürülür. Oluşan sıcaklıklar ise takım-iş parçası ve talaş arasında paylaşılır. Isının büyük bir bölümü talaş ile uzaklaştırılırken kalan kısmı takım ve iş parçası arasında paylaşılır (Şekil 3.15 ve Şekil 3.16).

Kesme esnasında aşınmanın artışı ile birlikte takım geometrisinde değişimler meydana gelir ve takım kesme kabiliyetini kaybettiği kesici uçta meydana gelen sıcaklıklar değişir. Bu değişim, TDI'de aşınma izlemede kullanılabilir.

Sıcaklık ölçümünde termo-çift yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Termo-çift yönteminde kesici uçtaki sıcaklığı ölçmek için termo çift adı verilen sıcaklık ölçerler takıma yapıştırmak ya da gömülme sureti ile yerleştirilir. Termo-çift kesme bölgesinden uzağa yerleştirildiği için hassas ölçüme engel olmaktadır. Diğer yandan ısı transferi esnasında meydana gelen gecikme nedeniyle de güvenilir sonuç vermemektedir.



Şekil 3.15. Metal kesmede üretilen ısı dağılımı (Coromant, 1994)



Şekil 3.16. Isının kesme bölgesinden uzaklaştırılması ve sıcaklıklar (Coromant, 1994)

Yüksek sıcaklıklar kesici uç ve iş parçası yapısını bozarak aşınma direncini düşürür. Bu sebeple ısının ortamdaki bir an önce uzaklaştırılması gerekir. Bu anlamda talaşın ortamda fazla kalmaması önem arz eder. Yüksek sıcaklıklar aşınma mekanizmalarını da tetikleyen bir numaralı faktör olduğu için talaş ile temas süresinin uzaması takım ve iş malzemesinin yapısını bozarak aşınmayı hızlandıracaktır. Kesme parametreleri arasında ise kesme hızı sıcaklığı en fazla artıran faktör olarak bilinmektedir. Bunu sırası ile talaş derinliği ve ilerleme takip eder.

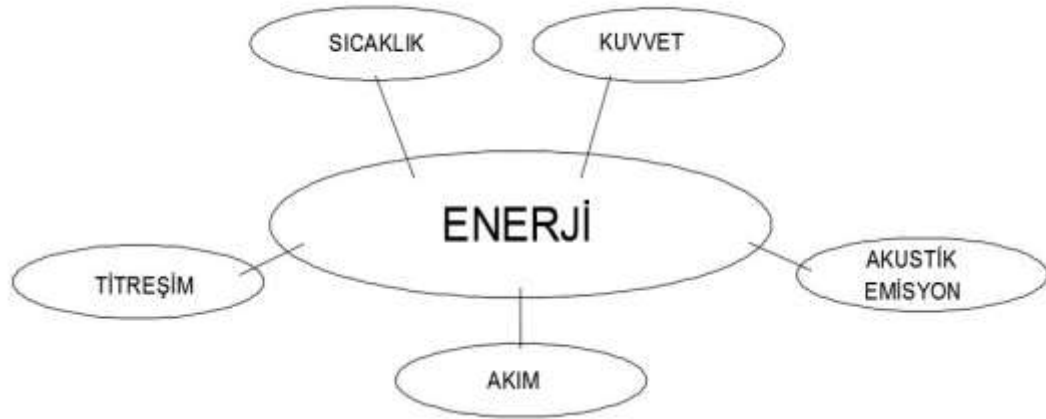
3.7. Akustik Emisyon

Tanım

Malzemeye bir gerilme uygulandığında malzemede bir gerilme (deformasyon ya da uzama) meydana gelmektedir. Bu gerilmeye sebep olan dislokasyon hareketleridir. Meydana gelen deformasyon ise kayma düzlemi meydana getirir ve

dislokasyonlar bu kayma düzleminde kayar. Malzeme içerisinde meydana gelen bu mikroyapısal hareketlilik ya da mikroyapıdaki enerji salınımı AE olarak adlandırılır.

Metal kesme için tezgâha verilen enerji çok farklı şekillerde ortaya çıkmaktadır. Bunlar tezgâh titreşimleri, kesme kuvvetleri, tezgâhın çekmiş olduğu akım ve harcanan güç ve kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklıktır (Şekil 3.17). Bunlara ilave olarak bir de AE bulunmaktadır. AE bu anlamda metal kesme için tezgâha verilen enerjinin mikro yapı boyutunda ortaya çıkan halidir denebilir.



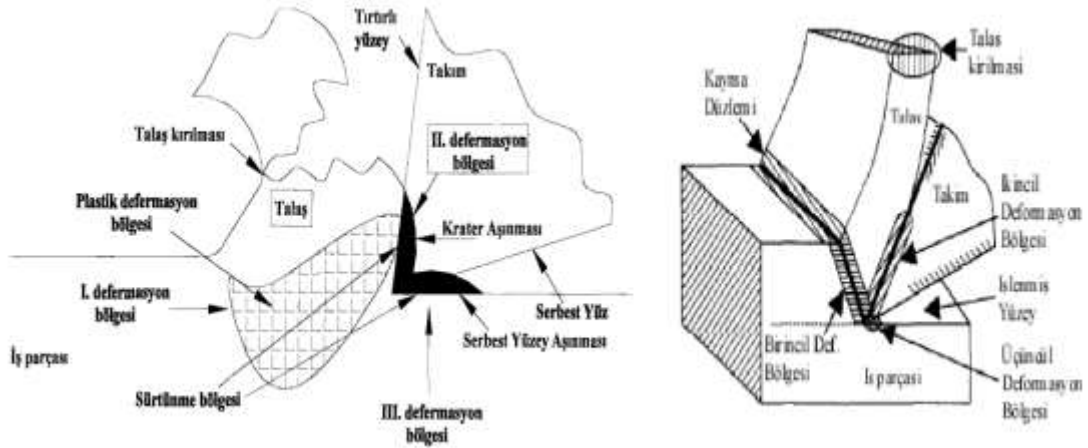
Şekil 3.17. Tezgâha verilen enerjinin ortaya çıkan halleri

Metal kesme bir talaş şekillendirme işlemidir ve bunun için malzemenin plastik olarak deforme edilmesi gerekmektedir. Malzemede plastik deformasyon için kristal kafes yapısının komşu atomlarla bağımlı koparıp bir düzlem boyunca kayması gerekir ki bu düzlem kayma düzlemdir. Kayma düzleminde kayan dislokasyonlar ile atomsal yapı kalıcı şekil değişimine uğrar ve mikro yapı tekrar düzenlenir. Bu esnada malzemeye uygulanan kuvvetin sonucu olarak malzemede gerilme dalgası serbest kalır. Bu gerilme dalgası AE olarak adlandırılır.

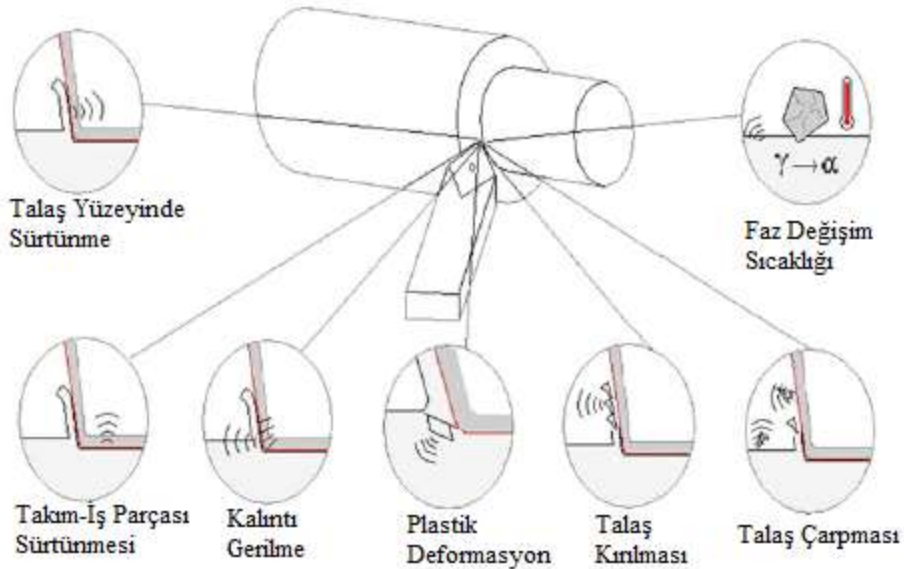
Geçmişteki çalışmalarda AE ile ilgili şu tanımlamalar yapılmıştır: AE, kırılan ya da deforme olan malzemelerde enerjinin ani salınımı sonucu meydana gelen gerilme dalgası üretimi anlamına gelir (Diei ve Dornfeld, 1987b). AE, gerilmeye maruz kalan malzemelerde kaynak ya da kaynaklardan enerji salınımı sonucu geçici elastik dalga üretimi anlamına gelir. Bu enerji salınımı iç gerilmenin aniden yeniden dağıtılması ve bunun sonucunda gerilme dalgasının malzeme boyunca yayılması ile oluşur (Lee ve ark., 1994).

AE Kaynakları

Metal kesmede AE'nin çeşitli kaynakları vardır. Bunlar iş parçası ve takımındaki deformasyon, takımında oluşan aşınma ve kırılma, talaş sürtünmesi, kırılması ve karmaşasıdır. Malzemede deformasyon kayma, ikizlenme, tane sınırı kayması ve sürünme şeklinde ortaya çıkar. Şekil 3.18 ve 3.19'da farklı çalışmacılara ait AE sinyal kaynakları sunulmuştur.



Şekil 3.18. AE sinyal kaynakları (Sun, 1998)



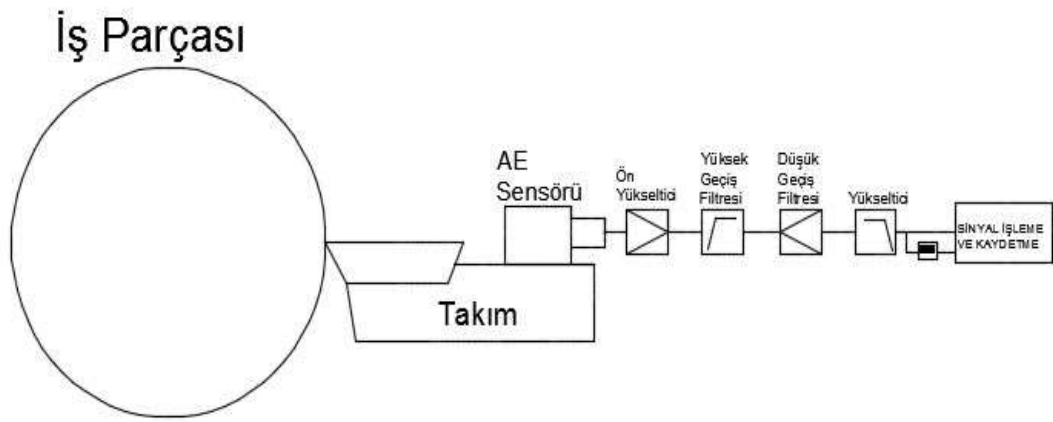
Şekil 3.19. Metal Kesmede AE Sinyal Kaynakları (Teti ve ark., 2010)

AE Sinyal Tipleri

AE sinyal grafiklerinde sürekli ve patlama olmak üzere iki farklı yapıda sinyal olduğu görülmektedir. İki boyutlu bir dik kesme işleminin şematik resmi incelendiğinde

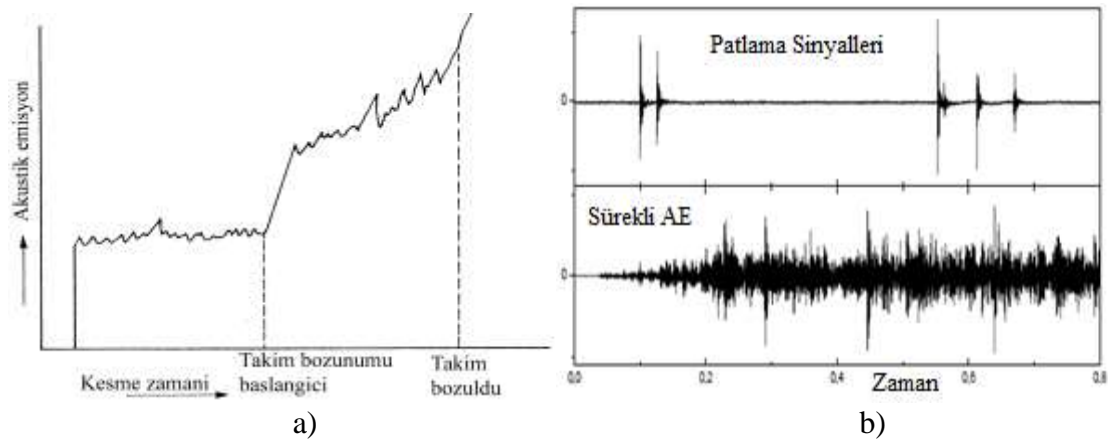
üç farklı kayma bölgesi görülür. Kayma bölgelerindeki deformasyon ve takım yüzeyindeki aşımın oluşturduğu AE sinyalleri sürekli tip, talaş veya takım kırılmasında meydana gelenler geçici veya patlama tip olarak adlandırılır.

Şekil 3.20'de AE ölçüm zinciri görülmektedir. Kesme bölgesinden alınan sinyaller sensörün yüksek dirençli olması sebebiyle ön yükselticiden geçirilir. Sonrasında düşük ve yüksek frekanslı gürültü sinyallerinin elimine edilmesi için yüksek ve düşük geçiş filtrelerinden geçirilir. Gürültü sinyallerinden temizlenen sinyaller son olarak yükselticiden geçirilerek işlenir ve kaydedilir.



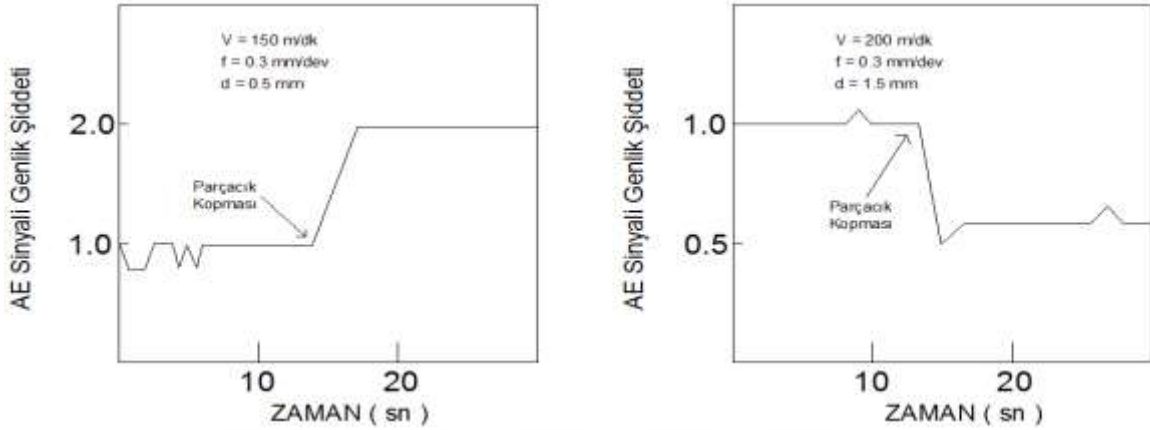
Şekil 3.20. AE ölçüm sistemlerinde ölçüm zinciri (Jemielniak, 2000)

Inasaki'ye göre (1998) AE sinyalleri patlama tip ve sürekli tip olmak üzere ikiye ayrılır. Sürekli tip sinyaller sünek malzemede plastik deformasyon ile ortaya çıkarken, patlamalı tip sinyaller malzemede çatlak büyümesi ile ortaya çıkar. Ayrıca talaş etkisi ve talaş karmaşası da patlama tip AE sinyali üretir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. İki farklı AE Sinyal Tipi, a (Saglam, 2004) ve b (Grosse ve Ohtsu, 2008)

Şekil 3.22, Inasaki ve ark. (1987)'nin torna tezgâhındaki çalışmasının farklı kesme şartlarında AE sinyallerindeki farklılığını göstermektedir. İki durumda da parçacık kopması meydana gelmiştir. Kesme hızı düşükken parçacık kopması miktarı küçüktür ve burada sinyal pik yapmıştır. Kesme hızı ve talaş derinliği arttığında ise parçacık kopması miktarı büyük olduğundan bu kez sinyal aniden düşmüştür, çünkü takım ve iş parçası artık temas etmemektedir.



Şekil 3.22. AE sinyali genlik şiddetinde farklı kesme koşullarındaki değişim (Inasaki ve ark., 1987)

AE Avantaj ve Dezavantajları

AE sinyalleri öncelikli olarak kırılma izlemeye uygundur. Aşınma izlemede bazı problemler olsa da bu alanda da ilave bilgi sağlamak için kullanılmaktadır.

AE sensörlerinin temel avantajı işleme işlemindekilerden daha yüksek sinyal frekanslarının üstesinden gelme yeterliliğinde olmasıdır, böylece üretilen sinyallere gürültü girişini sınırlandırır (Li, 2002; Lee ve ark., 2006).

AE sensörlerinin avantajlarından biri de tahribatsız olarak ölçme imkânı sunmasıdır. Bu durum kurulumu kolaylaştırır, alet yüzeyi bozulmadan transduserin yerleştirilmesini sağlar. Ayrıca hassastır, bu sayede anlık olaylara hızlı cevap verir. Güvenli olması sebebiyle petrokimyasal işletmeler gibi tehlikeli yerlerde kullanılabilir.

Bunların yanında AE sensör sinyali kesme şartlarındaki değişimlerden kolaylıkla etkilendiği için belirlenen eşik değerini aşar. Bu da sistemin zayıflığı olarak kabul edilir. Bu açıdan AE sensöründen gelen sinyalin anlık değerleri değil bu sinyalin belirlenen süre sürekli kalması dikkate alınır.

AE İle İlgili Çalışmalar

Malzemedeki talaş kaldırmak için enerji harcanır. Malzemede bir kırılma durumunda bu enerji açığa çıkar. Bu enerjinin oluşacağı önceden bilinir ise tıpkı deprem sensöründe olduğu gibi takım kırılması önlenir. Bu da AE sensörü ile yapılabilir.

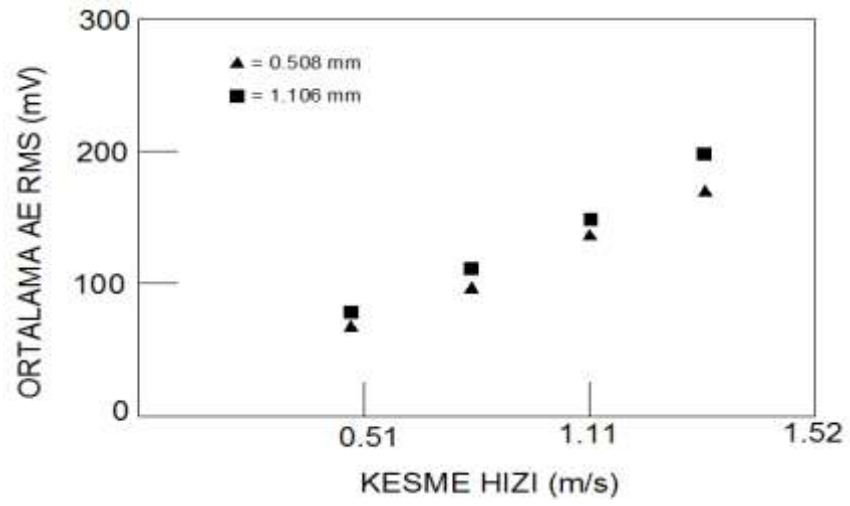
AE sinyalinin fiziksel olarak anlaşılmasının zorluğu ve onun sensör yeri ve kesme parametrelerine olan hassasiyeti, işleme izlemede bu teknolojinin uygulanmasına engel olmaktadır. AE sensörünün hassasiyeti ile ilgili çalışmaların birinde (Haber ve ark., 2004) sensör mengene çenesine ve mile takım aşınması teşhisi için yerleştirilmiş mengenedeki daha hassas bulunmuştur. Buna karşın bir başka çalışmada, (Lan ve Dornfeld, 1982) mile yerleştirilen sensörün daha hassas olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle yeterli AE sinyali algılamak için AE sensörlerini yerleştirmek tartışmalı bir konudur ve AE sinyali taşınma yolunu anlamayı gerektirir (Abellan-Nebot ve Subirón, 2010).

AE sensörü geçmişte pek çok çalışmada TDI'de kullanılmış ve bazı araştırmacılar tarafından kullanılması tavsiye edilmiştir. AE sensörü kimi araştırmacılar tarafından takım kırılması izlemeye en uygun sensör olarak gösterilmiştir (Jetly, 1984; Dornfeld, 1988).

AE sinyallerinin tespit edilmek istenen aşınma tipine göre yerleştirilmesi ile ilgili olarak Papacharalampopoulou ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, sensörün takım sapında ölçülen AE sinyallerinin iş parçasına göre değişen bir yapıda olduğunu ve krater aşınmasından oldukça fazla etkilendiğini, diğer yandan serbest yüzey aşınmasının iş parçası üzerinden ölçülen AE sinyalleri ile daha iyi tespit edildiğini göstermiştir.

Geçmişteki çalışmalardan elde edilen deneysel veriler, tornalamada AE sinyalinin kesme hızına, iş parçası sertliğine ve temas alanına oldukça hassas olduğunu; fakat ilerleme ve kesme genişliğinden fazla etkilenmediğini ortaya koymuştur (Kannatey-Asibu, 1980; Inasaki ve Yonetsu, 1981; Lan ve Dornfeld, 1982; Lan, 1984).

Şekil 3.23 incelendiğinde AE sinyalinin farklı kesme derinliklerinde kesme hızı ile değişimi görülür. Bu grafik esasen TDI'de bir sensör kullanımının en iyi örneğidir. Farklı veri kümeleri ile yapılan deneylerden elde edilen bu grafikte, kesme hızı ve talaş derinliğinin AE sinyalleri üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 3.23. AE Sinyalinin farklı kesme derinliklerinde kesme hızının fonksiyonu olarak değişimi (Diei ve Dornfeld, 1987b)



4. MATERYAL VE METOT

Deneysel çalışma kapsamında deneyler Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi atölyesinde gerçekleştirildi. Öncelikle tezgâh, dinamometreye uygun takım tutucu, kesici uç ve iş parçası seçimi, ardından deney parametrelerinin belirlenmesi işlemleri gerçekleştirildi. Deney tesisatı kurulduktan sonra deney planı tam faktöriyel tasarım ilkesine göre oluşturuldu ve deneyler universal torna tezgâhında gerçekleştirildi.

4.1. Tezgâh, Kesici Uç ve İş Parçası Malzemesi Seçimi

Deneyler Tezsan marka T 165-MF torna tezgâhında gerçekleştirildi. Tezgâhın tek dezavantajı universal tezgâhlardaki genel bir problem olan deney parametrelerine ait çalışma aralığının kısıtlı olmasıdır. Bu anlamda optimizasyon, tezgâh şartları ve tezgâh çalışma hızı aralığı göz önüne alınarak gerçekleştirildi.



Şekil 4.1. Torna Tezgâhı T 165 MF

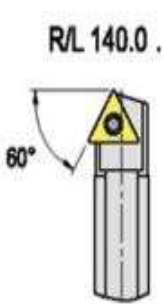
Tezgâhın devir sayıları ve ilerleme değerlerine ait tablo Tablo-4.1’de gösterilmiştir. Seçilen parametreler yani deney parametreleri kırmızı ile işaretlenmiştir.

Tablo 4.1. Sırası ile tezgâhın ilerleme ve devir sayılarına ait çalışma aralıkları

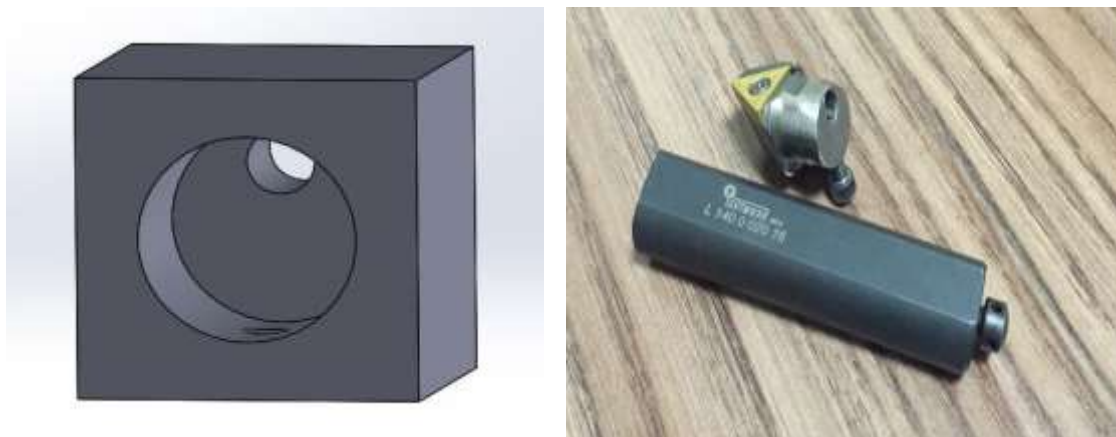
0,043	0,053	0,064	0,075	35	60	93	175
0,085	0,107	0,128	0,15	248	430	660	1240
0,171	0,214	0,256	0,299	70	120	186	350
0,342	0,428	0,513	0,598	496	860	1320	2480

Takım tutucu olarak Takımsaş marka R/L 140 0 20 16 kodlu 60° yaklaşma açılı bir kartuş (delik barası) kesilip dinamometreye entegre edilerek kullanılmıştır. Takım tutucuya ait özellikler Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Takımsaş delik barası özellikleri

Uygulama Application	Kod Code	Stok Stock		Ölçüler Dimensions							Uç Tipi Insert Type	Uç Vidası Insert Screw	Torx Anahtar Torx Wrench
		R	L	h	h ₁	d	l ₁	l ₂	l ₃	f			
	RL 140 0 8 08	○	○	7	7	8	30	10,5	—	1,47	TC...0602..	7722113	T07
	10 09	○	○	8,5	8,5	10	50	14,0	—	1,7	TC...0902..		
	12 11	○	○	10,5	10,5	12	68	15,3	60	2,2	TC...1103..	7815101	T08 IP
	16 11	○	○	14,0	14,0	16	98	15,3	90	2,2	TC...1103..		
	20 16	○	○	17,0	17,0	20	128	18,0	120	2,3	TC...1673..	7815102	T15 IP

Takım tutucunun dinamometreye adapte edilebilmesi için Şekil 4.2’te görülen aparat tasarlandı ve delik barası kesildikten sonra takım tutucuya son şekil verilmiştir.

**Şekil 4.2.** Takım tutucunun entegrasyonunda kullanılan aparat ve delik barasının son hali

Kesici uç seçiminde tezgâhın devir sayısı ve ilerleme aralığı ve takım tutucu göz önünde bulundurulmuş ve bunlara uygun olmak üzere 3 farklı kalitede takım seçimi yapılmıştır. Bu doğrultuda tezgâh kesme hızı (103-135-194-207 m/dak) ve ilerleme değerleri (0,15-0,171-0,214-0,256 mm/dev) göz önüne alınarak bunları karşılayan uçlar belirlenmiştir. Kataloglarda hem kesme hızı değerleri 100-200 m/dak, hem de ilerleme değerleri 0,05-0,25 aralığında olan takımlar arasından seçim yapılmıştır. Sonuç olarak takım tutucuya da uygun olan Böhler marka TCMT 16T304 takım geometrili P10 P25 ve P35 kaliteli kesici uçlar seçilmiştir.

İş parçası malzemesi olarak endüstride sıklıkla makine elemanları imalatında kullanılan Ç-1050 malzemesi seçilmiştir. Her deneyde bir numune kullanılmış ve numunelerin her biri 50 mm çapta ve 400 mm uzunlukta olacak şekilde hazırlanmıştır. Burada yine endüstride sıklıkla kullanılan Ç-1040 ile kıyaslandı ve aşınma ve kırılma izlemede daha uygun olacağı dikkate alınarak daha yüksek karbon ve mangan oranına sahip olması ve takımı daha hızlı aşındıracağı değerlendirilerek Ç-1050 tercih edilmiştir.

Tablo 4.3. Ç1050 iş parçası malzeme bileşimi

C	Si _{MAX}	Mn	P _{MAX}	S _{MAX}
0,45-0,55	0,40	0,6-0,9	0,035	0,035

4.2. Kesme Parametrelerinin Tayin Edilmesi

Bu çalışma kapsamında deneylerde kullanılacak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerlerinin belirlenmesinde optimizasyona gidilmiştir. Optimizasyon için öncelikle deney parametreleri belirlendi, bu esnada en iyi işleme değerlerini bulmak için deneme çalışmaları yapıldı. Deney parametreleri ise deneme çalışmaları sırasında elde edilen verilerden çalışmanın sonucunda yorumlamayı kolaylaştırmak için bu verilerden en iyi özeti çıkarma işleminin sonucudur.

Optimizasyon, eldeki universal torna tezgâhı için gerçekleştirildi. Bir başka tezgâhta-ki bu universal ya da CNC olabilir- aynı deneylerde optimize edilmiş değerler kuşkusuz farklı olacaktır. Burada takıma gelen kuvvetler ve titreşim gibi faktörler önemli rol oynar.

Kesici uçların belirlenmesinden sonra 4 farklı ilerleme, 4 farklı kesme hızı ve 3 farklı talaş derinliği arasından hangi parametrelerin deneyde kullanılacağı belirlenmesi için deneysel bir ön çalışma planı hazırlanmış ve ön denemeler yapılmıştır

(Tablo 4.4). Bu tabloda önceden belirlenen 3 farklı kalitede takımın yanı sıra hangi talaş derinliği ve ilerleme değerlerinin kullanılacağına karar vermek için oluşan talaş, tezgâhtaki tirlama ve iş parçası yüzeyi değerlendirilerek bir ön optimizasyon yapılmıştır. Tabloda siyah ✓ ile işaretlenen deneylerde değerlendirilen parametrede işlemeyi etkileyecek kadar büyük bir etkinin olmadığı anlatılmak istenmiştir. Buna karşın ✓ işaretli deneylerde sözü edilen parametrenin deneyi zorlaştırdığı, ✓✓ işaretli deneylerde ise işlemenin çok zor hatta imkânsız hale geldiği anlatılmak istenmiştir.

Tablo 4.4. İşleme Parametrelerinin Belirlenmesi Öncesinde Yapılan Ön-İşleme Çalışması

TALAŞ DERİNLİĞİ	TEZGÂH DEVRİ	İLERLEME	P25			P10			P35		
			Talaş	Tirlama	Parça Yüzeyi	Talaş	Tirlama	Parça Yüzeyi	Talaş	Tirlama	Parça Yüzeyi
3	1320	0,15	✓	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓✓
		0,171	✓	✓	✓✓	✓✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓
		0,214	✓	✓✓	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓
		0,256	✓	✓✓	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓
	1240	0,15	✓	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,171	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,214	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,256	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓
	860	0,15	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,171	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,214	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓✓
		0,256	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓✓
2,5	1320	0,15									
		0,171									
		0,214									
		0,256									
	1240	0,15				✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,171				✓✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓
		0,214				✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓
		0,256									
	860	0,15				✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,171				✓✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓
		0,214				✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓
		0,256									
2	1320	0,15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,171	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,214	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,256	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	1240	0,15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,171	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,214	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,256	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	860	0,15	✓	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,171	✓	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,214	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		0,256	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Kesme Hızı Optimizasyonu: Tezgâh çalışma aralığı göz önüne alındığında devir sayılarında 660-860-1240-2480 dev/dak değerleri en muhtemel değerler olarak öne çıkmaktadır. Deneylerin amacının aşınma ilerlemesi ve kırılmasını gözlemlemek olduğu düşünüldüğünde 660 dev/dak değerinin bu anlamda bir dezavantaj oluşturacağı öngörülerek birkaç işlemeden sonra düşük olduğu gerekçesi ile deney planından

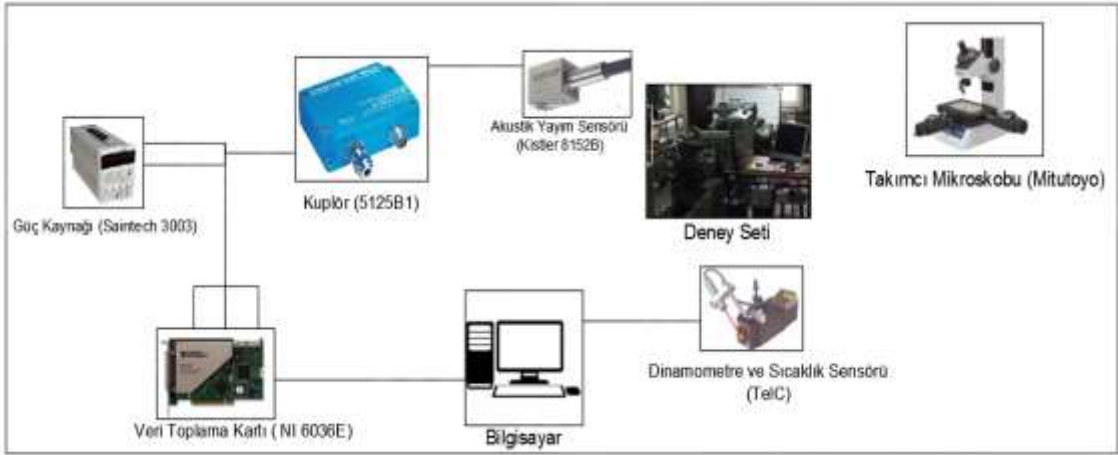
çıkarılmıştır. 2480 dev/dak ise tezgâhın boшта çalışma esnasında bile çok fazla titreşim meydana getirdiği için yine deney planından çıkarılmıştır. Geriye kalan 3 değer devir sayısı olarak seçilmiş ve kesme hızı dönüşümleri yapılmıştır. Bu çalışma için kesme hızı seçiminde en büyük değer en iyi değerdir prensibi izlenmiştir. Elbette burada endüstriyel uygulamalarda olduğu gibi işlemenin en az titreşim, en az güç harcama gibi diğer değişkenleri de göz önüne alarak yapılması gerektiği değerlendirilmiştir.

Talaş Derinliği Optimizasyonu: Kesme hızının ardından talaş derinliği için optimizasyona gidilmiştir. Burada da izlenen yol en büyük değer seçilmesi üzerinedir. Bu durum endüstriyel uygulamalarda da işleme zamanını kısaltmak için bu şekildedir. Buradan hareketle önce 3 mm sonra 2,5 mm ve son olarak 2mm'de işleme gerçekleştirilmiştir. 3 mm talaş derinliğinde orta sert ve tok uçlarda özellikle yüksek kesme hızlarında tezgâhta tırlama titreşimleri meydana gelmiştir. Sert uçta ise talaş kontrolü zor olmuş, çıkan talaşlar iş parçasına dolaşmıştır. 2,5 mm'de de tok uçta tırlama, sert uçta talaş kontrolü zorluğu oluşmuştur. Burada 3mm'de gözlenen gelişimler değerlendirilerek daha az deneme yapılmıştır. Neticede hem 3 mm hem de 2,5 mm değerleri deney planından çıkarılmıştır. 2 mm'de ise yalnızca düşük devir ve düşük ilerlemede talaş karışması meydana gelmiştir. Yapılan deneysel çalışmada talaş derinliği bir değişken değildir. Tüm deneyler 2 mm'de gerçekleştirilmiştir.

İlerleme Optimizasyonu: Tabloda yer alan 0,15-0,171-0,214-0,256 değerleri dışında en düşük 4 ve en yüksek 4 değer tırlama oluşturacağı öngörülerek deney planından çıkarılmıştır. Geriye kalan değerlerden tablo dışındakiler ilk denemelerde tırlama titreşimlerine neden oldukları için deney planından çıkarılmış ve kalan 4 değer ön çalışma için seçilmiştir. Bu değerlerden 0,15 0,171'e oranla daha fazla tırlama ve talaş kontrolü zorluğuna neden olduğu için deney planından çıkarılmıştır.

4.3. Deney Tesisatının Kurulması

Deney tesisatı tüm TDİ çalışmalarında olduğu gibi tezgâh, ölçüm cihazları ve bilgisayardan oluşmaktadır. AE sensörü, dinamometre ve sensörü kullanılan ölçüm cihazlarıdır. Aşınma ölçümünde ise doğrudan takımcı mikroskobu kullanılmıştır. Şekil 4.3'te deney tesisatının şematik görünüşü görülmektedir.



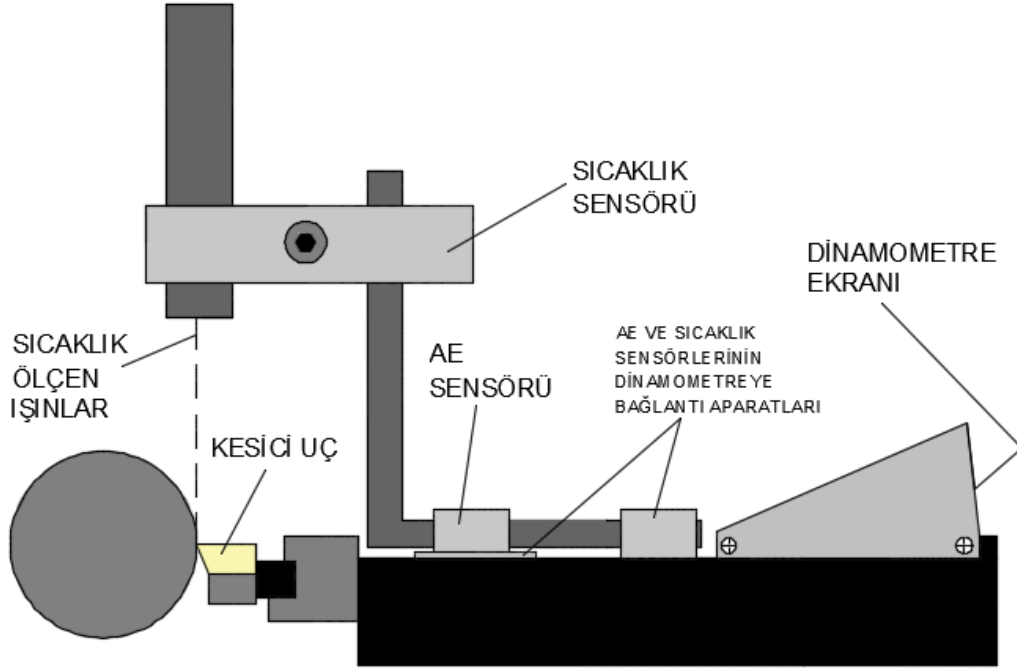
Şekil 4.3. Deney Tesisatının Şematik Görünüşü

Dinamometre ve sıcaklık sensöründen alınan kuvvet ve sıcaklık sinyalleri doğrudan bilgisayara aktarılmıştır. AE sensöründen alınan sinyaller ise önce kuplöre ardından veri toplama kartına, buradan bilgisayara aktarılmıştır. Sensörlerin tezgaha bağlantısı Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.4. Dinamometre, termometre ve AE sensörünün tezgaha bağlantısı

AE ölçümünde Kistler marka 8152B111/121 kodlu sensör kullanılmıştır. Sensör 50kHz-400kHz aralığında ölçüm yapabilmektedir. Paslanmaz çelikten üretilmiştir ve 29 gr ağırlığındadır. Sensör Şekil 4.4'te de görüleceği gibi dinamometrenin üzerine vidalanmak suretiyle işleme noktasına mümkün olan en yakın yere sabitlenmiştir. Sensörlerin bağlantısını gösteren şematik resim Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5. Sensör bağlantılarının şematik resmi

Sensörden alınan sinyaller kuplörde yüksek ve düşük geçiş filtrelerinden geçirilerek gürültü sinyaller yani tezgâhtan ve çevreden gelen gürültülerden arındırılarak veri toplama kartına iletilir. Burada analog sinyaller dijitale dönüştürülür ve değerlendirilmek üzere bilgisayara aktarılır. Akustik yayım sensörü Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6. AE Sensörü

Kullanılan dinamometre ve termometre Şekil 4.7'de görülmektedir (TelC). Saniyede 10 ölçüm yapabilen cihaz 3 eksenle kuvvet ölçümü yapabilmenin yanısıra

takım ucundaki sıcaklığı da ölçebilmektedir. Ölçülen değerler yazılımı yüklendikten sonra bilgisayara kaydedilebilir veya üzerindeki ekrandan okunabilir.

Sıcaklık ölçer ise vida bağlantısı ile dinamometreye monte edilmekte ve kesici uçtaki sıcaklık ışıma yolu ile ölçülmektedir. Takım ucuna ideal uzaklığı 100 mm'dir ve 300-800 °C aralığında ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 4.7. Dinamometre ve Termometre

Deneyleerde kullanılan veri toplama kartı (National Instruments 6036-E) 2 analog çıkışa, 8 dijital giriş ve çıkışa sahip, saniyede 200.000 veri işleme kapasitesine sahiptir. Takım kırılması anlık gerçekleşen bir olgu olduğu için yüksek veri işleme hızı kabiliyeti nedeni ile bu kart tercih edilmiştir.

4.4. Deney Planı

Tablo 4.5. Deney Parametreleri

PARAMETRELER/DENEY NO	1-27
İLERLEME (mm/dev)	0,171 – 0,214 – 0,256
TEZGAH DEVRİ (dev/dk)	860 – 1240 – 1320
KESME HIZI (m/dak)	135 – 194 – 207
TAKIM TİPİ (T)	P10 – P25 – P35
TALAŞ DERİNLİĞİ (mm)	2
İŞ PARÇASI MALZEMESİ	Ç1050
KESME SIVISI	KESME SIVISI YOK
YAKLAŞMA AÇISI	60°

Deney planının hazırlanmasında kullanılan parametreler ve değerler Tablo 4.5'te görülmektedir. Bu parametre değerleri kullanılarak 3 değişkenli ve 3 seviyeli tam faktöriyel bir deney planı yapılmıştır. Parametrelerin her bir deney için dağılımı Tablo 4.6'da görülmektedir. Her bir parametrenin sonuç üzerindeki etkisini daha detaylı olarak gözlemlemek açısından tam faktöriyel tasarım tercih edilmiştir.

Tablo 4.6. Deney Planı

DENEY NO	FAKTÖR SEVİYESİ		
	I	v	f
1	P35	135	0,171
2	P35	135	0,214
3	P35	135	0,256
4	P35	194	0,171
5	P35	194	0,214
6	P35	194	0,256
7	P35	207	0,171
8	P35	207	0,214
9	P35	207	0,256
10	P25	135	0,171
11	P25	135	0,214
12	P25	135	0,256
13	P25	194	0,171
14	P25	194	0,214
15	P25	194	0,256
16	P25	207	0,171
17	P25	207	0,214
18	P25	207	0,256
19	P10	135	0,171
20	P10	135	0,214
21	P10	135	0,256
22	P10	194	0,171
23	P10	194	0,214
24	P10	194	0,256
25	P10	207	0,171
26	P10	207	0,214
27	P10	207	0,256

4.5. Deneylerin Yapılması ve Deney Sonuçları

Yapılan deneylerin her birinde farklı bir iş parçası kullanılmış, toplamda 27 adet kesici uçta serbest yüzey aşınması ölçümü yapılmıştır. İş parçaları ayna-punta arasında bağlanmış, deneyler kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. 3 farklı kesme hızı, ilerleme ve takım tipinde değerler seçilerek $3^3=27$ adet deney gerçekleştirilmiştir.

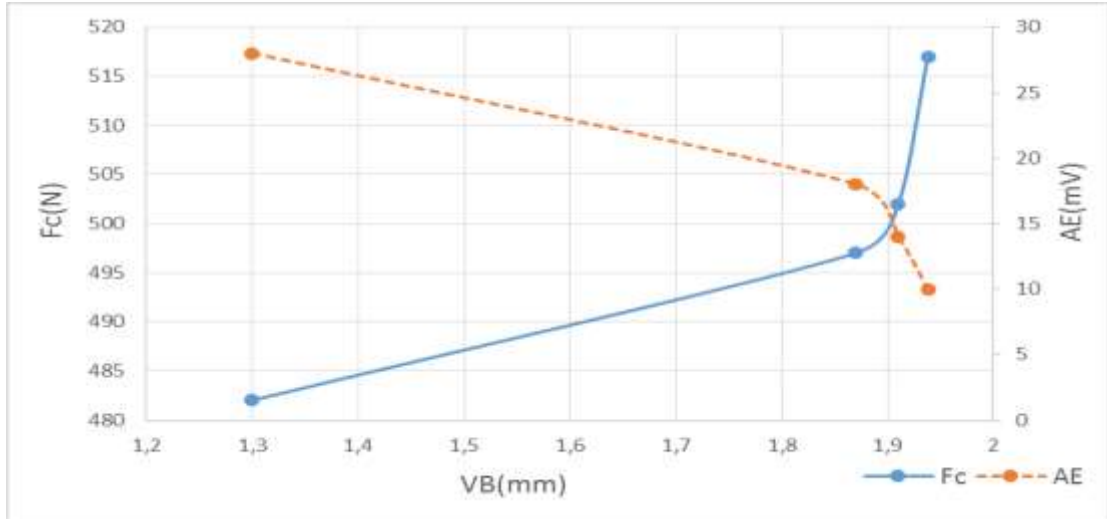
Bir kesici uçtaki aşınmayı incelemek için numunelerden toplamda 12 paso talaş kaldırılmıştır. Kesici uçlar için deneyler 1-2-3 vs. paso sayıları için 1.1-1.2-1.3 vs. şeklinde numaralandırılmıştır. 3, 6, 9 ve 12. pasonun sonlarında kesici uç sökülmiş ve serbest yüzey aşınması ölçülmüştür. Bu şekilde kesici uçlardaki aşınma ilerlemesi ölçülmüş ve işleme sırasında gerçekleşen takım kırılması gözlenmiştir.

AE, sıcaklık ve kesme kuvvetleri ölçümleri tüm işleme işlemleri boyunca takım kırılması gerçekleşmesi ihtimaline karşılık kaydedilmiş, bunların ortalama değer olarak ölçümleri de aşınma ölçümleri esnasında gerçekleştirilmiştir. Bir kesici uçtaki aşınma ilerlemesi ve bunlara karşılık gelen AE, F_c , $t^{\circ}C$ değerleri Tablo 4.7, 4.8 ve 4.9'daki tablolarda sunulmuştur. Bu tablolarda 3 farklı takım tipinden her birine bir örnek oluşturulması maksadı ile yer verilmiştir. Diğer girdi parametreleri sabit tutulmuş ve takım tipinin etkisi incelenmiştir.

Tablo 4.7. Deney 1'e ait girdi ve çıktı değerler tablosu

Deney No	v(m/dak)	f(mm/dev)	d(mm)	T	VB(mm)	AE(mV)	Fc(N)	t($^{\circ}C$)
1.3.	135	0,171	2	P35	1,3	28	482	388
1.6.	135	0,171	2	P35	1,87	18	497	390
1.9.	135	0,171	2	P35	1,91	14	502	397
1.12.	135	0,171	2	P35	1,938	10	517	407
ORTALAMA					1,7545	18	499,5	395,5

Tablo 4.7'de 1. deneye ait 135 m/dak kesme hızında, 0,171 mm/dev ilerleme, 2 mm talaş derinliğinde P35 kalite takımla yapılan işlemede ortaya çıkan değerler görülmektedir. Burada ilerleyen aşınma ile birlikte kesme kuvvetlerinde ve kesme sıcaklıklarında az da olsa bir artış olduğu, AE sinyallerinin şiddetinde önemli miktarda azalma olduğu görülmektedir. Şekil 4.8'de birinci deneye ait VB-AE- F_c değişimi görülmektedir.



Şekil 4.8. 1.Deneyde artan paso sayısına göre ilerleyen aşınma ile AE ve Fc değişimi

Parçacık kopmalarında takım-iş parçası temas alanı azaldığı için AE sinyal şiddetinde ani azalmalar meydana gelmektedir. Burada aşınmanın kademeli olarak arttığı ve ona oranla daha hızlı olsa da yine kademeli olarak AE şiddetinin azaldığı görülmektedir. Bu da aşınmadan kaynaklı takım malzemesinde meydana gelen hacimsel azalmaya ve devamında takım-iş parçası temas alanının küçülmesine bağlanabilir.

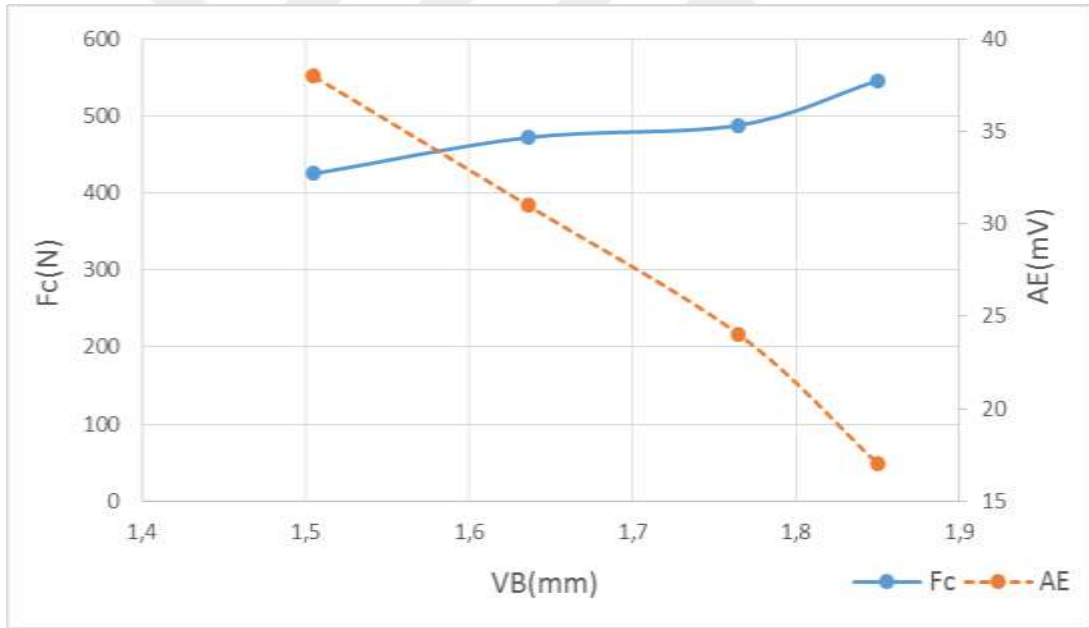
Tablo 4.7 ve 4.8'de verilen tablolarda çıkan sonuçlar incelendiğinde Şekil 4.6'dakine benzer şekilde artan aşınma ile birlikte kesme kuvveti ve sıcaklık sinyallerinde az miktarda artış meydana gelmiştir. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da deney 10 ve 19'a ait grafikler görülmektedir.

Tablo 4.8. Deney 10'a ait girdi ve çıktı değerler tablosu

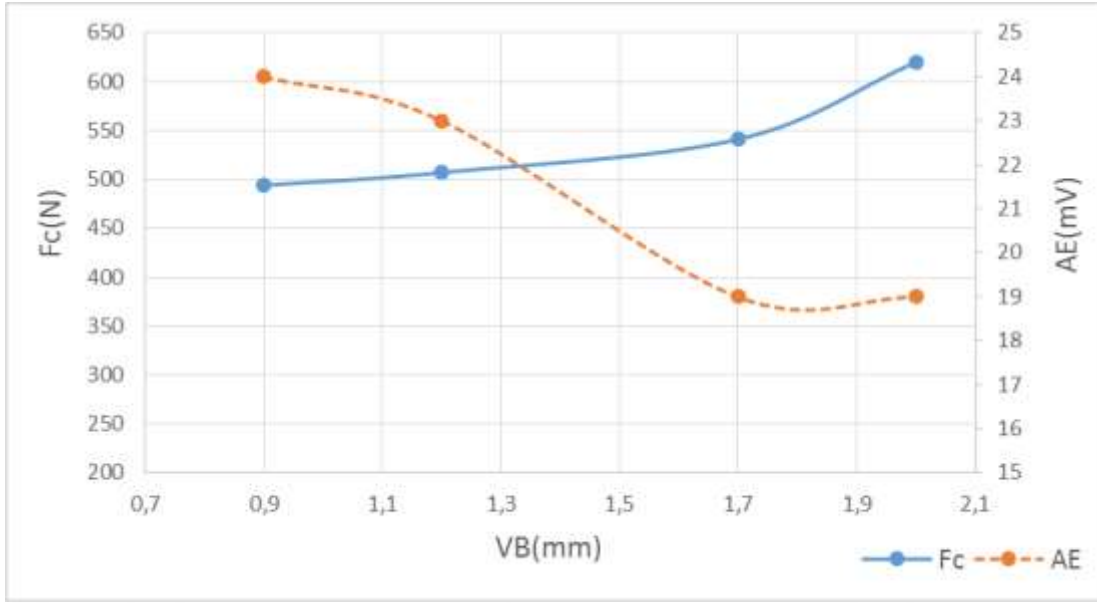
Deney No	v(m/dak)	f(mm/dev)	d(mm)	T	VB(mm)	AE(mV)	Fc(N)	t(°C)
10.3.	135	0,171	2	P25	1,505	38	425	391
10.6.	135	0,171	2	P25	1,636	31	472	399
10.9.	135	0,171	2	P25	1,765	24	488	409
10.12.	135	0,171	2	P25	1,85	17	546	415
ORTALAMA					1,689	28	482,75	403,5

Tablo 4.9. Deney 19'a ait girdi ve çıktı değerler tablosu

Deney No	v(m/dak)	f(mm/dev)	d(mm)	T	VB(mm)	AE(mV)	Fc(N)	t(°C)
19.3.	135	0,171	2	P10	0,9	24	494	368
19.6.	135	0,171	2	P10	1,2	23	507	382
19.9.	135	0,171	2	P10	1,7	19	541	391
19.12.	135	0,171	2	P10	2	19	620	401
ORTALAMA					1,45	21	540,5	385,5



Şekil 4.9. 10. Deneyde artan paso sayısına göre ilerleyen aşınma ile AE ve Fc değişimi



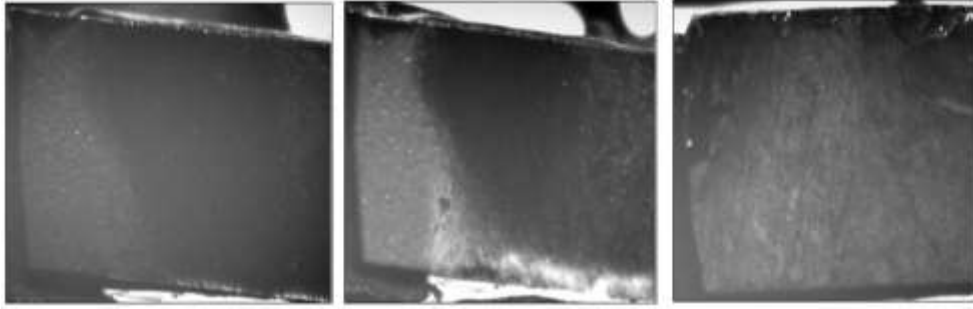
Şekil 4.10. 19. Deneyde artan paso sayısına göre ilerleyen aşınma ile AE ve Fc değişimi

P35-P25-P10 sıralaması ile gidildiğinde takım malzemesinin gittikçe sertleştiği bilinmektedir. Bunun değerlendirilmesi yapılırken P35 ve P25'e farklı P10'a farklı yaklaşmak gerekir. Çünkü P10'a ait deneylerde ilk ölçümden itibaren parçacık kopmasının meydana geldiği görülmüştür. Bu durum diğer iki deneye göre kuvvet ve sıcaklık değerlerinde önemli bir farka neden olmazken serbest yüzey aşınmasının en büyük değerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Bu da aynı anda iki aşınma tipinin ilerlemesi ile açıklanabilir. Ayrıca son iki ölçüm incelendiğinde kesme kuvvetinde önemli bir artış gerçekleşirken, AE değeri değişmemiştir. Bunun sebebi de yine parçacık kopmasına bağlanabilir.

Deney 1 ve deney 10'a bakıldığında deney 1'de aşınma ilerlemesinin daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Deney 10'da ise daha yavaş ilerleyen bir aşınma gelişimi ile sıcaklık sinyali değerlerinde önemli bir farklılık olmadığı görülmektedir. Burada AE sinyal şiddetindeki azalma hızlarının da aşınma gelişimi hızı ile doğru orantılı olduğu görülmektedir.

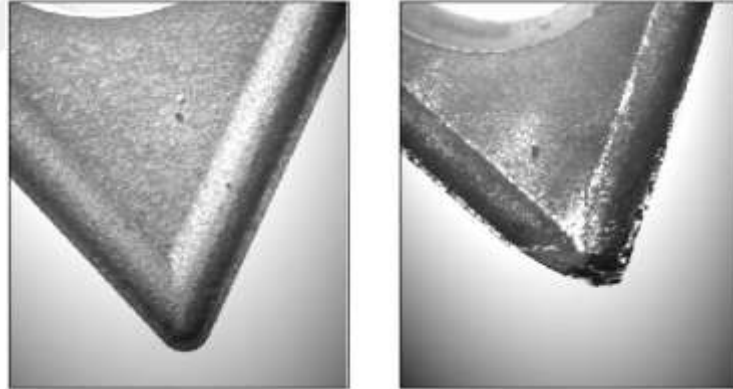
Son olarak hem en yüksek AE sinyali şiddeti hem de ortalaması göz önüne alındığında bunların orta sert uçta tok uca kıyasla daha yüksek seyrettiği görülmektedir. Bu durum orta-sert uçta tok uca göre daha fazla hacimsel malzeme kaybı ve akabinde takım-iş parçası temas alanının azalması ile açıklanabilir. Bu durum kesme kuvvetlerindeki hızlı artışa bakılarak ta görülebilir.

Deneyleer 1, 10 ve 19'da meydana gelen aşınma gelişimleri Şekil 4.11'de görülebilir.



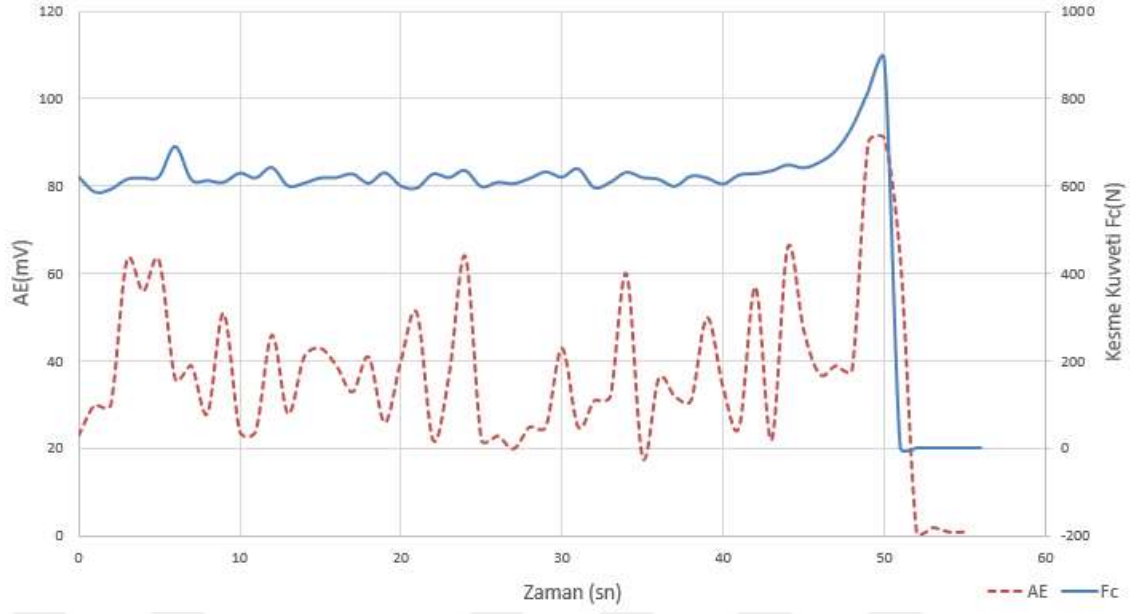
Şekil 4.11. P35, P25 ve P10 uçta 1,10 ve 19. deneylerde meydana gelen aşınma gelişimi

Yapılan deneylerde P25 ve P35 uçlarda sadece ilerleyen serbest yüzey aşınması gözlenirken, P10 uçlarda parçacık kopması da ortaya çıkmıştır. Misal olarak 25. deneyin 7. pasosu esnasında takım kırılmıştır. Bu deneye ait kesici ucun işlenmeden önceki hali ve kırılmadan sonraki hali şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Kırılan ucun işlemeden önceki ve kırıldıktan sonraki hali

Kırılmanın meydana geldiği deneye ait sinyal grafiği Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Deney parametreleri $v=207$ m/dak, $f=0,171$ mm/dev, $T=P10$ şeklindedir. AE sinyallerine bakıldığında işleme boyunca parçacık kopmalarının meydana geldiği anlaşılmaktadır. Kırılma olduğu anda hem AE hem de kuvvet sinyalinin pik yaptığı ve takım-iş teması sona erdikten sonra ani bir düşüş meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.13. Deney 25.7'ye ait AE ve kesme kuvveti sinyalleri ($v=207$ m/dak, $f=0,171$ mm/dev, $T=P10$)

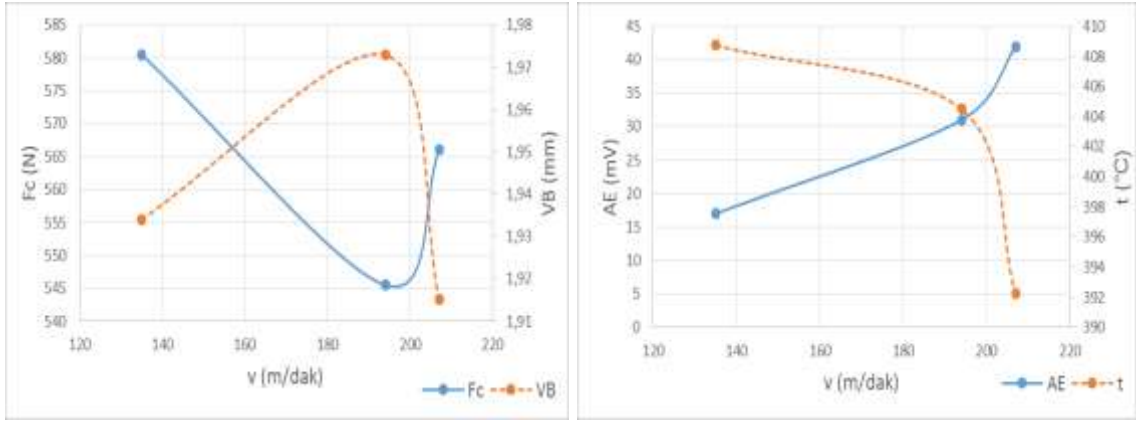
5. YORUMLAMA VE ANALİZ

Bu tez çalışması kapsamında 27 adet deney gerçekleştirilmiştir. 3 kesme hızı, 3 ilerleme ve 3 takım tipi girdi parametreleri olarak, teğetsel kesme kuvveti (F_C), akustik emisyon (AE), sıcaklık (t) ve serbest yüzey aşınması (VB) ise çıktı parametreleri olarak ele alınmıştır. Bu çalışmada girdi parametrelerindeki değişimin çıktıları nasıl etkilediğini görmek ve ilerleyen takım aşınması ve takım kırılmasını tahmin etmek hedeflenmiştir. Burada sırası ile kesme hızının, ilerlemenin ve takım tipinin AE, F_C , t ve VB üzerine etkileri incelenecektir. Ayrıca deneylerde, bir deney kapsamında bir kesici uç ile toplamda 12 paso talaş kaldırılmıştır. Her paso sonunda tezgâh durdurulmuş, veri kaydı kesilmiş ve aynı parametreler ile işlem 12 kez tekrarlanmıştır.

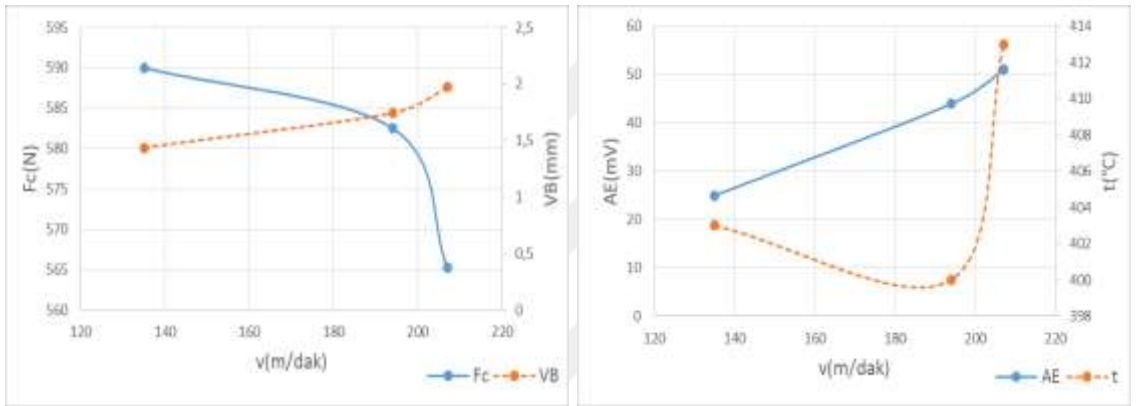
Son olarak çıktıların optimizasyonu yapılarak en az aşınmanın yanısıra minimum kesme kuvveti minimum AE ve minimum sıcaklığın meydana geldiği en uygun işleme parametreleri belirlenecektir. Bunun için Varyans Analizi ve Sinyal-Gürültü Oranı hesaplamaları öngörülmüştür.

5.1. Kesme Hızının Akustik Emisyon, Teğetsel Kesme Kuvveti, Sıcaklık ve Serbest Yüzey Aşınması Üzerine Etkisi

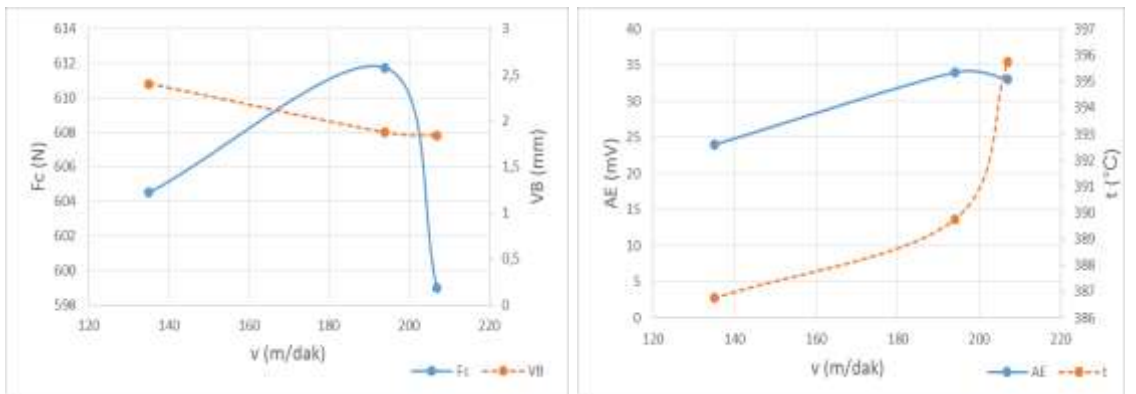
Burada kesme hızı artışına bağlı aşınma gelişimi kesme kuvvetleri, AE ve sıcaklıktaki değişimler göz önüne alınarak değerlendirme yapılmıştır. Bu doğrultuda Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te üç farklı sertlikte uca ve aynı ilerleme değerine ait deneylerdeki kesme hızı artışına göre kesme kuvveti F_C , serbest yüzey aşınması, AE ve sıcaklıkta meydana gelen değişimler verilmiştir.



Şekil 5.1. P35 kesici uç ile ve 0,214 mm/dev ilerleme değerinde kesme hızı artışına göre Fc, VB, AE ve t değerleri



Şekil 5.2. P25 kesici ucu ve 0,214 mm/dev ilerleme değerinde kesme hızı artışına göre Fc, VB, AE ve t değerleri



Şekil 5.3. P10 kesici ucu ve 0,214 mm/dev ilerleme değerinde kesme hızı artışına göre Fc, VB, AE ve t değerleri

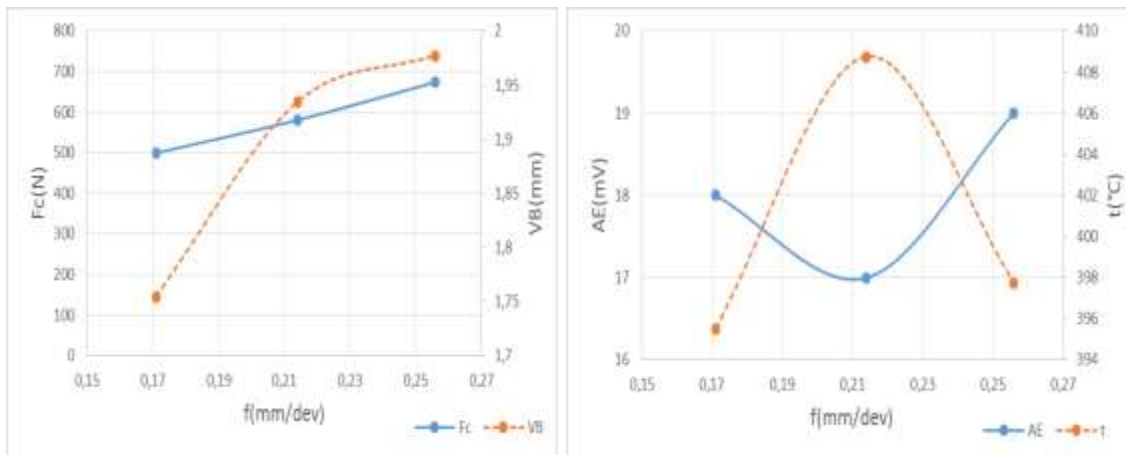
Yukarıdaki grafikler örnek olarak verilmiştir. Tüm deneyler gözönüne alınarak kesme hızının etkisi ile ilgili şu çıkarımlar yapılabilir:

- Genel olarak kesme hızı artışı ile VB artmakta ve Fc azalmaktadır.

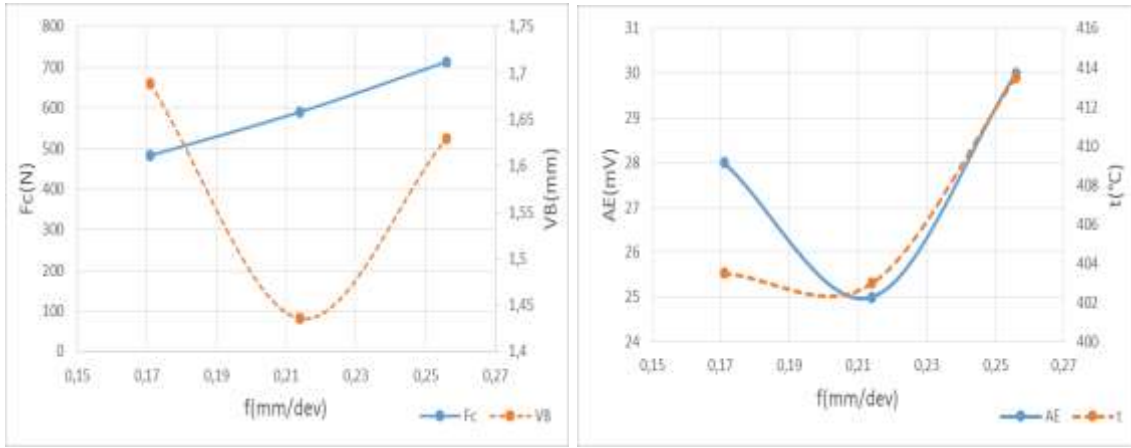
- Kesme hızındaki değişimin VB ve AE üzerinde etkisinin fazla olduğu, F_c üzerinde etkisinin çok az olduğu söylenebilir.
- Uç sertliği arttıkça kesme hızı artışının AE'ye etkisi azalmaktadır.
- İlerleme arttıkça kesme hızı artışının AE'ye etkisi azalmaktadır.
- Kesme hızındaki değişimin sıcaklığa etkisinin ne çok belirgin, ne de etkili olduğu söylenemez. Bunun nedeni, kesici uçtaki sıcaklığın değil talaş sıcaklığının ölçülmesidir. Yine de ölçülen değerler göz önüne alındığında kesici ucun sertliği arttıkça, kesme hızı artışı ile sıcaklık artışının daha belirgin olduğu görülmektedir.
- Analiz sonuçları da kesme hızının AE üzerinde %80, VB üzerinde %45, sıcaklık üzerinde %44 ve F_c üzerinde %2 etkisi olduğunu göstermektedir. Bu değerler Tablo 5.3, Tablo 5.6, Tablo 5.9 ve Tablo 5.12'de kesme hızına ait kareler toplamının toplam değere bölünmesi ile bulunmaktadır.

5.2. İlerlemenin Akustik Emisyon, Teğetsel Kesme Kuvveti, Sıcaklık ve Serbest Yüzey Aşınması Üzerine Etkisi

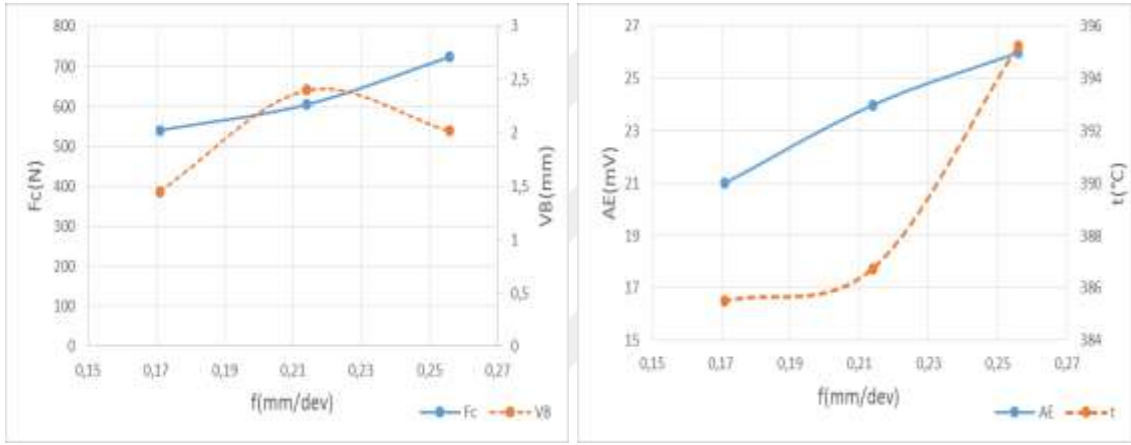
Bu bölümde ilerlemeye bağlı aşınma gelişimi kesme kuvvetleri, AE ve sıcaklıktaki değişimler göz önüne alınarak değerlendirme yapılmıştır. Bu anlamda örnek olması açısından Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da üç farklı sertlikte kesici uç ve sabit kesme hızında ilerleme artışı ile F_c , VB, AE ve sıcaklık değerlerindeki değişim verilmiştir.



Şekil 5.4 P35 kesici ucu ve 135 m/dak kesme hızı değerinde ilerleme artışına göre F_c , VB, AE ve t değerleri



Şekil 5.5 P25 kesici ucu ve 135 m/dak kesme hızı değerinde ilerleme artışına göre F_c , VB, AE ve t değerleri



Şekil 5.6 P10 kesici ucu ve 135 m/dak kesme hızı değerinde ilerleme artışına göre F_c , VB, AE ve t değerleri

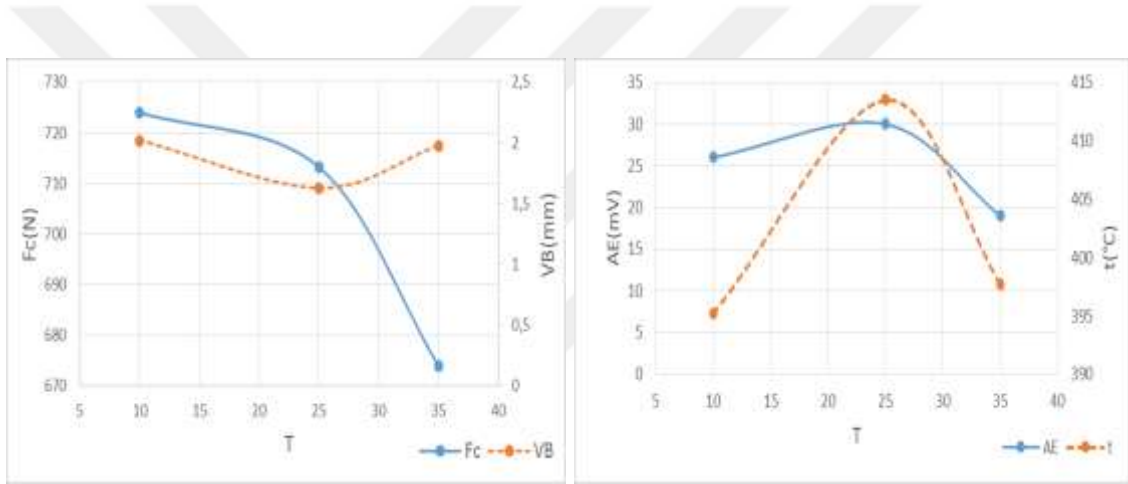
Tüm deneylerden alınan grafikler gözönünde bulundurularak ilerleme artışının etkileri şu şekildedir:

- Genel olarak ilerleme artışının kesme kuvveti F_c üzerinde gözle görülür bir artışa neden olduğu görülmektedir.
- Takım sertliği ve kesme hızındaki değişimlerin ilerlemenin kuvvet üzerindeki etkisini çok az etkilediği görülmektedir.
- İlerlemenin kesme kuvveti F_c dışında sıcaklık, AE ve VB üzerinde oldukça az etkisinin olduğu görülmektedir.
- Analiz sonuçları da bu maddeleri destekler niteliktedir. İlerlemenin F_c üzerinde %88, VB üzerinde %18, AE üzerinde %5, sıcaklık üzerinde %1,7 etkisi olduğu görülmektedir. Bu değerler Tablo 5.3, Tablo 5.6, Tablo 5.9 ve Tablo 5.12'de

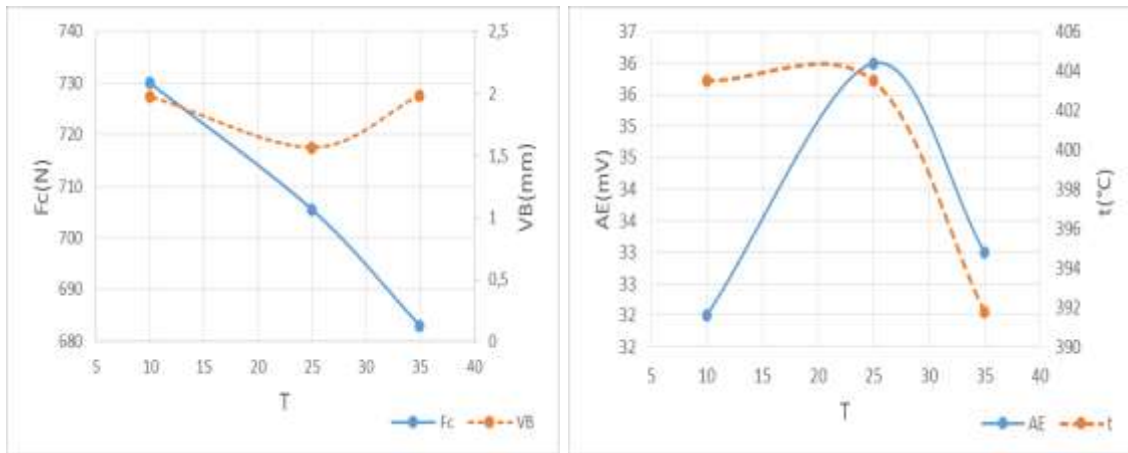
ilerleme değerine ait kareler toplamının toplam değere bölünmesi ile bulunmaktadır.

5.3. Takım Tipinin Akustik Emisyon, Teğetsel Kesme Kuvveti, Sıcaklık ve Serbest Yüzey Aşınması Üzerine Etkisi

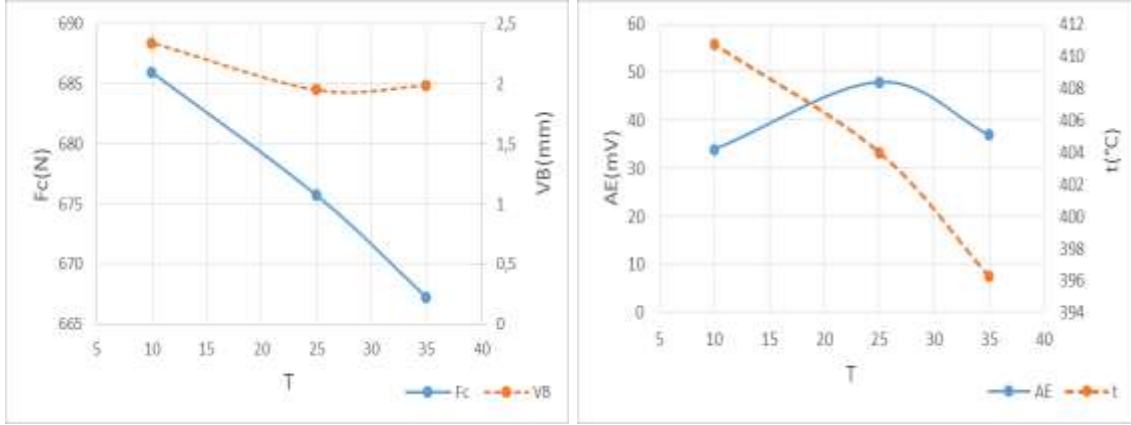
Bu bölümde takım tipine bağlı aşınma gelişimi kesme kuvvetleri, AE ve sıcaklıktaki değişimler göz önüne alınarak değerlendirme yapılacaktır. Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da örnek olarak aynı ilerleme ve 3 farklı kesme hızlarında sert, orta sert ve yumuşak kesici uçlardaki VB, AE, kesme kuvvet F_c ve sıcaklıktaki değişimler verilmiştir.



Şekil 5.7 0,256 mm/dev ilerleme ve 135 m/dak kesme hızı değerinde takım tipine göre F_c , VB, AE ve t değerleri



Şekil 5.8 0,256 mm/dev ilerleme ve 194 m/dak kesme hızı değerinde takım tipine göre F_c , VB, AE ve t değerleri



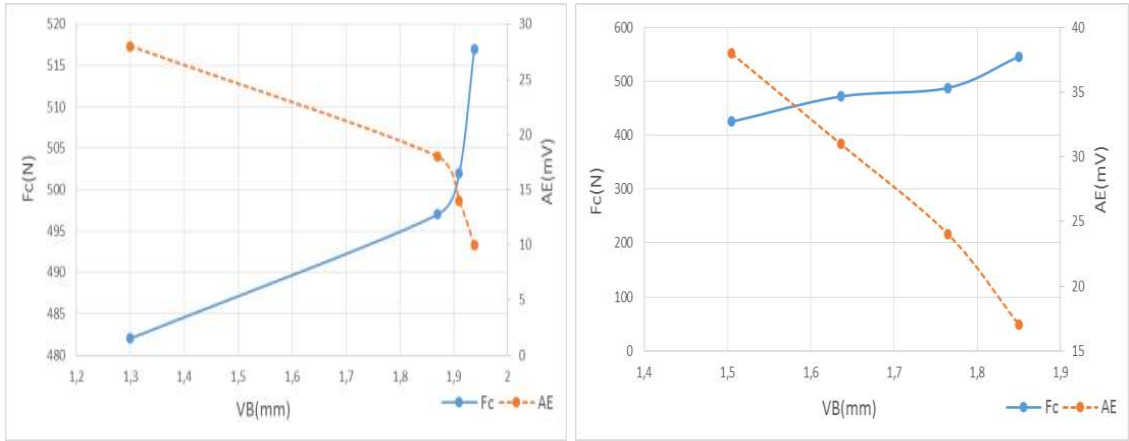
Şekil 5.9. 0,256 mm/dev ilerleme ve 207 m/dak kesme hızı değerinde takım tipine göre F_C, VB, AE ve t değerleri

Tüm deneylerden alınan grafikler gözönünde bulundurularak takım tipi değişiminin etkileri şu şekildedir:

- Düşük ve orta kesme hızlarında orta sert uçta aşınmanın daha az ilerlediği görülmektedir.
- Düşük ve orta kesme hızlarında tok ve orta sert uçta, yüksek kesme hızlarında sert uçta sıcaklığın daha yüksek seyrettiği görülmektedir.
- Aynı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde sert uçta daha büyük kesme kuvveti meydana gelmiştir.
- Kesme hızı yükseldikçe tüm uç tiplerinde daha büyük AE değerleri oluştuğu görülmektedir.
- Analiz sonuçları da takım tipinin sıcaklık üzerinde %45, VB üzerinde %35, AE üzerinde %13 ve F_C üzerinde %9 etkisi olduğunu göstermektedir. Bu değerler Tablo 5.3, Tablo 5.6, Tablo 5.9 ve Tablo 5.12’de takım tipine ait kareler toplamının toplam değere bölünmesi ile bulunmaktadır.

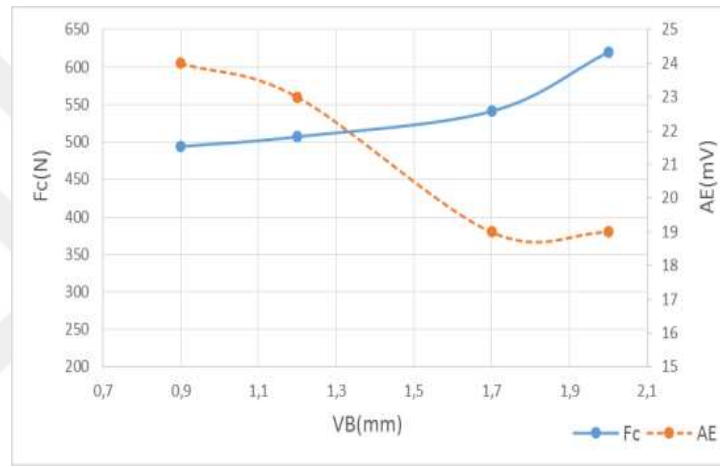
5.4. Paso Artışının Akustik Emisyon, Teğetsel Kesme Kuvveti, Sıcaklık ve Serbest Yüzey Aşınması Üzerine Etkisi

Bu bölümde paso sayısının artışına bağlı aşınma gelişimi kesme kuvvetleri ve AE’deki değişimler göz önüne alınarak değerlendirme yapılmıştır. Şekil 5.10’da örnek olarak 1, 10, 19 ve 25. deneylere ait paso artışına göre ilerleyen aşınma ve kırılma ile bu deneylerdeki AE ve F_C sinyalleri görülmektedir.

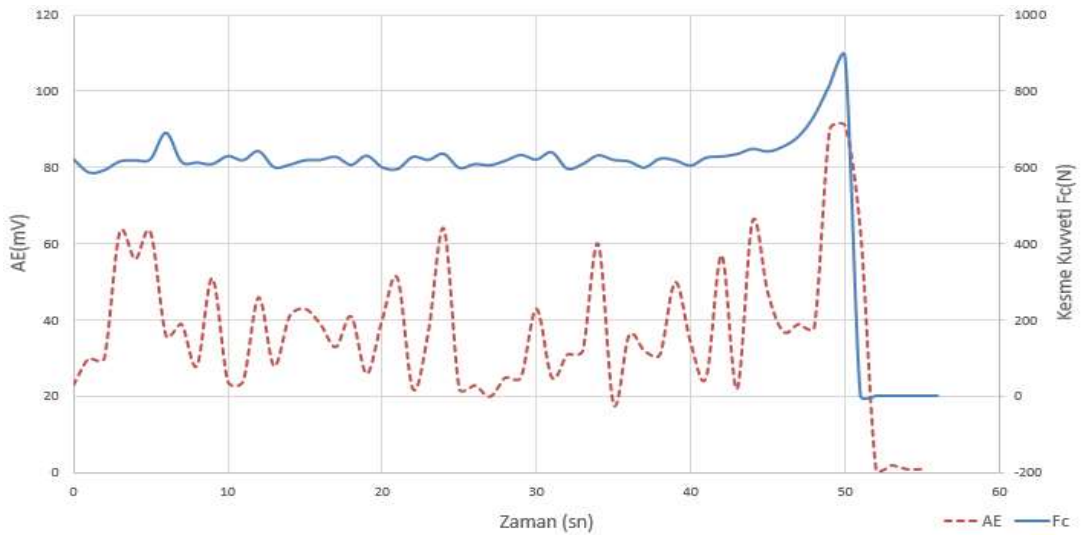


a) 1. D deney (135 m/dak, 0,171 mm/dev, P35)

b) 10. D deney (135 m/dak, 0,171 mm/dev, P25)



c) 19. D deney (135 m/dak, 0,171 mm/dev, P10)



d) 25. D deney (207 m/dak, 0,171 mm/dev, P10)

Şekil 5.10. Çeşitli deneylere ait artan paso sayısına göre ilerleyen aşınma ve kırılma durumlarında AE ve Fc sinyalleri

Öncelikle aşınma ilerlemesi deneylerine bakılırsa kesici uç sertliği arttıkça (Şekil 5.10, a,b ve c grafikleri) 3. pasonun sonunda yani ilk ölçümde maksimum aşınma noktasına daha hızlı ulaşıldığı görülmektedir. Artan kesme hızı ile bu durum daha da belirgin hale gelmekte ve aynı zamanda maksimum aşınma miktarı da artmaktadır. Tok uçlarda aşınma ilk ölçümden sonra hızlanmakta ve ikinci ölçümden itibaren eğim azalmaktadır. Orta sert uçlarda ilk ve son ölçüm arasındaki fark diğerlerine nazaran azdır. Bununla birlikte maksimum aşınmanın da en küçük değerleri bu uç tipinde ortaya çıkmaktadır. Sert uçlarda parçacık kopmasının da etkisi ile kesme kuvvetleri ve aşınma hızı miktarı çok yükselmektedir. Yukarıdaki grafikler incelendiğinde kesme kuvvetleri ile aşınma gelişiminin doğru orantılı olarak ilerlediği açıkça görülmektedir. Bununla birlikte kesme kuvvetlerindeki artış hızlandıkça, aşınma hızı gitgide azalmaktadır. Bunun nedeni kesme geometrisinin bozularak takım-iş temas ekseninin değişmesidir. Bu grafikler aşınma ilerlemesinin takibinde kesme kuvvetlerinin etkili olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.10'da 3 aşınma ilerlemesi grafiğine ilave olarak bir de kırılmanın gerçekleştiği deney grafiği görülmektedir. Kırılma anlık bir olay olduğu için burada yalnızca kırılmanın gerçekleştiği pasoya ait verilerle oluşturulmuş grafiğe yer verilmiştir. İşleme başladığı andan itibaren AE sinyalinin pikler yaptığı görülmektedir. Buna karşın kesme kuvveti sinyali çok daha küçük bir genlikte hareketlilik göstermektedir. Buradan hareketle sinyal davranışlarından yola çıkılarak şunlar söylenebilir:

- Kesme kuvveti sinyalleri geçmişte aşınma izlemede kullanılmıştır. Bunun temel nedeni dinamometrenin kesici ucun altında olması ve bu sayede çok hassas ölçüm yapabilmesidir. Bu sayede en küçük değişimleri algılamaktadır. Ancak kırılma çok hızlı gerçekleştiği, dinamometre yatırım maliyeti yüksek bir sensör olduğu ve takımın hemen altında yer alarak zarar görmeye müsait bir alanda olduğu için kırılma izlemede tercih edilmemektedir. Buna ilave olarak şekil 5.10(d)'da kırılma esnasında iki sinyalin de pik yaptığı, AE sinyalinin kısa bir süre sabit kaldığı ve daha sonra ani düşüş gösterdiği görülmektedir. Buna karşın kesme kuvveti sinyali çok keskin bir pik yaparak sonrasında düşüş göstermiştir. Bu kısa süreli sabit kalma durumu AE sinyali ile izlemede sisteme müdahale etme fırsatı tanmaktadır.
- Sert uçlar ile gerçekleştirilen deneylerde mikroskopla yapılan ölçümlerde parçacık kopmaları olduğu gözlemlenmiştir. Böylece AE sinyalinin yukarıdaki

grafiklerde de görüldüğü üzere hem parçacık kopması hem de takım kırılması izlemede başarılı olduğu ispatlanmıştır.

- Burada dinamometreden alınan sinyallerin de göz önünde bulundurulmasında fayda vardır. Esasen kuvvet sinyalleri de burada kırılmanın gerçekleşeceğini tasdik etmektedir. Bu şekilde farklı sensör sinyallerinin kıyaslamasını yapmak, takım durumu hakkında daha güvenilir sonuçlar alınmasını ve dolayısı ile sisteme daha doğru müdahale edilmesini sağlar. Bu çalışma ile oluşturulan sensör fizyonunun hem ilerleyen takım aşınmasını, hem de takım kırılmasını tespit etmede başarılı olduğu ispatlanmıştır.

5.5. Verilerin Analizi ve Optimizasyonu

Torna tezgâhında 3 farklı ilerleme, 3 farklı takım tipi ve 3 farklı kesme hızı ile deneyler gerçekleştirilmiş, sonuç olarak AE, sıcaklık, kesme kuvveti ve aşınma ölçümleri yapılmıştır. Burada da her çıktı parametresi veya gürültü faktörü için en iyi değerlerin seçilmesi adına bir istatistiksel analiz çalışması yapılmıştır. Bu amaçla Taguchi parametre tasarımı yapılmış ve deneysel tasarımdan elde edilen sonuçlar Minitab programı kullanılarak sinyal gürültü oranı ve varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Taguchi parametre tasarımında L_9 ortogonal dizisi kullanılmıştır. Çalışmanın amacı en az aşınma, en düşük kesme kuvveti, AE ve sıcaklık değeri elde edecek girdi parametrelerini belirlemektir. Bu amaçla en küçük en iyidir prensibi uygulanmıştır. Sonuç olarak deneylerin gerçekleştirildiği torna tezgâhında Ç1050 malzemenin işlenmesinde en iyi deney parametreleri seçilerek optimizasyona gidilmiştir. Bunun yanında her bir çıktı parametresini en çok etkileyen girdi parametresi belirlenmiştir. Tablo 5.1 'de deneysel tasarımda kullanılan faktörler ve faktör seviyeleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Faktörler ve Faktör Seviyeleri

Parametre	Sembol	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
Kesme Hızı (m/dk)	v	135	194	207
İlerleme (mm/dev)	f	0,171	0,214	0,256
Takım Tipi	T	10	25	35

Tablo 5.2. L₉ Ortogonal Dizisi

Deney Planı			Değerler			Çıktılar			
v	f	T	v	f	T	AE(mv)	F(N)	t(°C)	w(mm)
1	1	1	135	0,171	10	21.666.045	540,5	385,5	1,45
1	2	2	135	0,214	25	25.094.505	590	403	1,44
1	3	3	135	0,256	35	19.391.689	674	397,75	1,98
2	1	2	194	0,171	25	43.252.411	476,25	413	1,74
2	2	3	194	0,214	35	31.173.628	545,5	404,5	1,97
2	3	1	194	0,256	10	32.414.362	730	403,5	1,98
3	1	3	207	0,171	35	47.629.970	463	400,5	2,14
3	2	1	207	0,214	10	33.663.958	599	395,75	1,84
3	3	2	207	0,256	25	48.731.246	675,75	404	1,95

Tablo 5.1’de verilen değerlerin L₉ ortogonal dizi sütunlarına atanması Tablo 5.2’de verilmiştir. Ayrıca deneylerden elde edilen sonuçlar da tabloda yer almaktadır.

Bu bölümde sırası ile aşınma, kesme kuvveti, AE ve sıcaklık için Minitab programı ile gerçekleştirilen Taguchi analizinin sonuçları incelenecektir. Öncelikle S/N oranı tablosu, daha sonra S/N oranı için varyans analizi ve S/N oranı için cevap tabloları oluşturulacaktır. Buradan hareketle grafikler çizilecek ve her bir çıktı parametresini en çok hangi kesme parametresinin etkilediği, çıktı değerini optimize etmek için en uygun değerlerin hangileri olduğu belirlenecektir.

5.5.1. Aşınma Analizi ve Optimizasyonu

Minitab programı kullanılarak S/N oranı tablosu oluşturulmuş, ardından bu oranlar için varyans analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 5.3’te görülmektedir. S/N tablosu verilerinden yola çıkarak programın vermiş olduğu değerler, yapılan deneysel çalışmanın aşınma analizinin %98,2 güvenli olduğunu ortaya koymuştur.

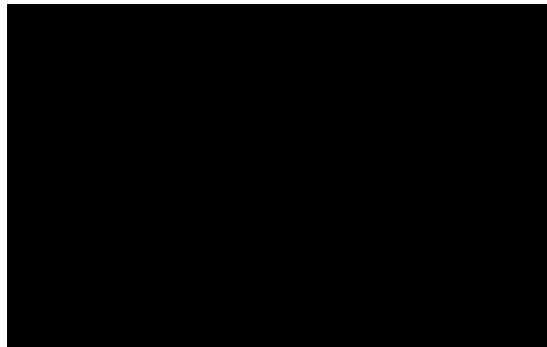
Tablo 5.3. ANOVA Tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kare Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Kesme Hızı	2	5,4005	2,7002	24,32	0,039
İlerleme	2	2,244	1,122	10,11	0,09
Takım Tipi	2	4,2103	2,1051	18,96	0,05
Hata	2	0,222	0,111		
Toplam	8	12,0767			

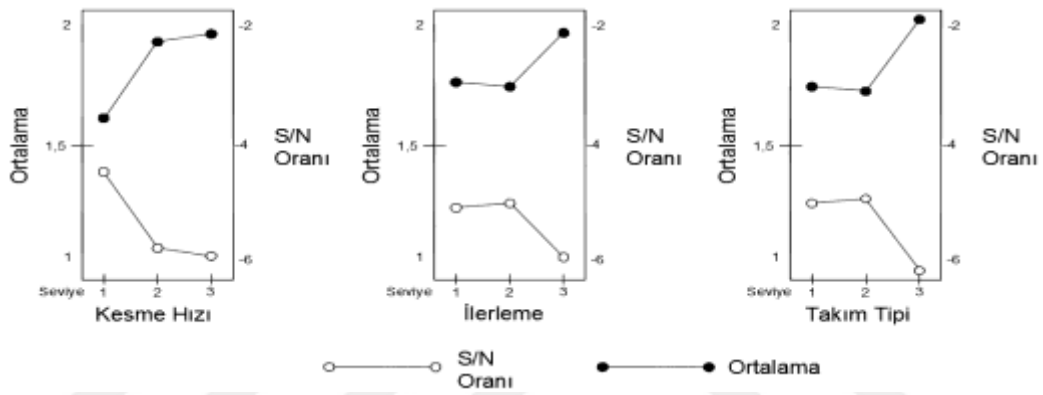
Deneylemlerden alınan ham veriler toplandıktan sonra Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'te görülen ortalama etki cevap tabloları oluşturulmuştur. Burada Tablo 5.4 Minitab programından alınan S/N oranı cevap tablosunu, Tablo 5.5 ise deneylemlerden alınan ham verilerin ortalama cevap tablosunu göstermektedir. Kesme hızının birinci seviyesini hesaplamak için Tablo 5.2'nin 1-3, ikinci seviyesi için 4-6, üçüncü seviyesi için 7-9 deney verileri kullanılmıştır. Benzer şekilde ilerleme ve takım tipinin farklı seviyeleri için hesaplama yapılmıştır.

Tablo 5.4. S/N Oranı İçin Ortalama Etki Cevap Tablosu

Seviye	Kesme Hızı	İlerleme	Takım Tipi
1	-4,109	-4,882	-4,819
2	-5,545	-4,784	-4,593
3	-5,902	-5,889	-6,144
Fark	1,792	1,105	1,551
Sıra	1	3	2

Tablo 5.5. Ham veriler için ortalama etki cevap tablosu

Tablo 5.4 ve tablo 5.5'teki veriler göz önüne alınarak Şekil 5.1 oluşturulmuştur. Burada kesme parametrelerinin her birinin farklı seviyelerinin ortalama ve S/N oranının değişimi görülmektedir. Yüksek S/N oranı en az değişimi göstereceğinden en yüksek kalite de bu değerlerde elde edilmiş olur. Hem tablo 5.4 ve tablo 5.5 değerleri hem de Şekil 5.11'e bakılarak kesme hızındaki birinci seviyesinin en yüksek S/N oranına sahip olduğu görülebilir. Böylece en küçük aşınma değerini elde etmek için kesme hızının birinci seviyesinin kullanılması gerektiği anlaşılır. Benzer şekilde ilerlemenin ikinci seviyesinin ve takım tipinin ikinci seviyesinin optimum aşınmanın elde edilebilmesi için seçilmesi gerektiği anlaşılır.



Şekil 5.11. Kesme parametrelerinin cevap grafikleri

Yine tablo değerleri incelendiğinde kesme parametrelerinin seviyeleri arasındaki en büyük farklar göz önüne alınarak aşınmaya en fazla etki eden parametrenin kesme hızı olduğu görülür. Buna ilave olarak takım tipinin ikinci ve ilerlemenin de üçüncü sırada olduğu görülebilir.

Sonuç olarak belirlenen kesme şartlarında en küçük aşınmayı elde etmek için seçilmesi gereken en doğru kesme parametreleri; $v_1=135$ m/dak, $f_2=0,214$ mm/dev, $T_2=P25$ şeklindedir.

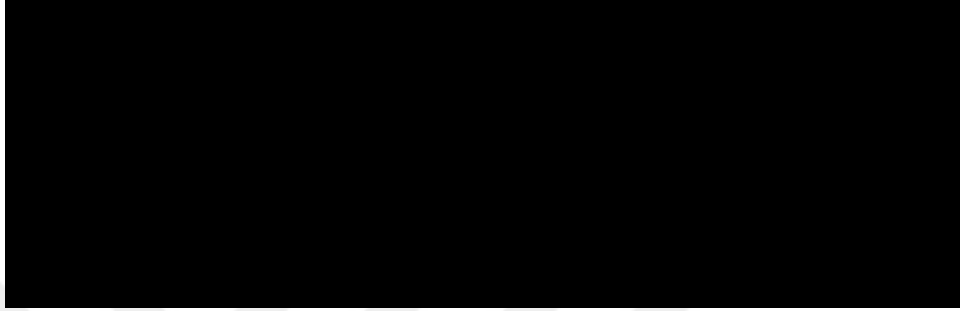
$$W_{optimize} \rightarrow v_1=135 \text{ m/dak}, f_2=0,214 \text{ mm/dev}, T_2=P25$$

$$W_{etki} \rightarrow v > T > f$$

5.5.2. Kesme Kuvveti Analizi ve Optimizasyonu

Aşınmanın optimizasyonunda yapılan hesaplama ve analizler burada da tekrarlanmıştır. Sırası ile varyans analizi, S/N oranı ve ham veriler için ortalama etki cevap tabloları Tablo 5.6, Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’de görülmektedir.

Tablo 5.6. ANOVA Tablosu



Tablo 5.7. S/N Oranı İçin Ortalama Etki Cevap Tablosu



Tablo 5.8. Ham veriler için ortalama etki cevap tablosu

Seviye	Kesme Hızı	İlerleme	Takım Tipi
1	601,5	441,58	577,83
2	583,91	578,16	580,66
3	571,25	493,25	667,66
Fark	22,25	251,67	89,83
Sıra	3	1	2

Analiz sonuçlarından elde edilen verilere göre kesme kuvveti F_c ’den alınan deney sonuçlarının %99,9 güvenilirlikte olduğu görülmüştür. Tablo 5.7 ve 5.8 incelendiğinde kesme kuvvetini en çok etkileyen parametrelerin sırası ile ilerleme, takım tipi ve kesme hızı olduğu görülmektedir. Bunun yanında belirlenen kesme

şartlarında en küçük kesme kuvvetini elde etmek için seçilmesi gereken en doğru kesme parametreleri; $v_3=207$ m/dak, $f_1=0,171$ mm/dev, $T_3=P35$ şeklindedir.

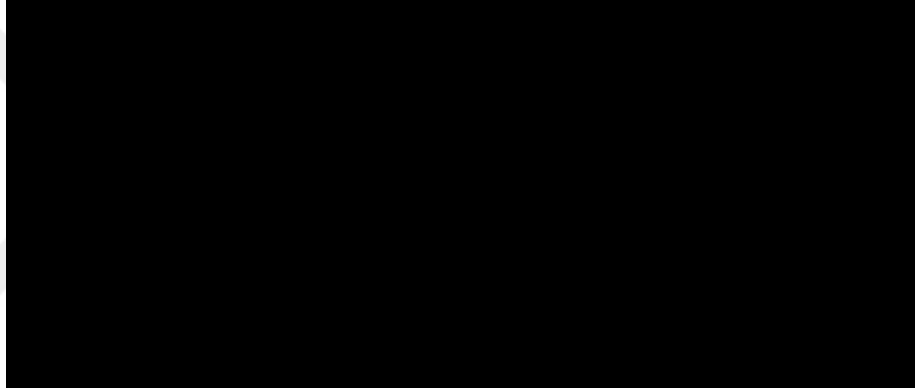
$$F_{\text{optimize}} \rightarrow v_3=207 \text{ m/dak}, f_1=0,171 \text{ mm/dev}, T_3=P35$$

$$F_{\text{etki}} \rightarrow f > T > v$$

5.5.3. AE Analizi ve Optimizasyonu

AE optimizasyonunda tıpkı kesme kuvveti ve aşınmada olduğu gibi sırası ile varyans analizi, S/N oranı ve ham veriler için ortalama etki cevap tabloları Tablo 5.9, Tablo 5.10 ve Tablo 5.11'de görülmektedir.

Tablo 5.9. ANOVA Tablosu



Tablo 5.10. S/N Oranı İçin Ortalama Etki Cevap Tablosu

Seviye	Kesme Hızı	İlerleme	Takım Tipi
1	-146,8	-151	-149,2
2	-150,9	-149,5	-151,5
3	-152,6	-149,9	-149,7
Fark	5,8	1,5	2,3
Sıra	1	3	2

Tablo 5.11. Ham veriler için ortalama etki cevap tablosu

Seviye	Kesme Hızı	İlerleme	Takım Tipi
1	22050746,33	37516142	29248121,67
2	35613467	29977363,67	39026054
3	43341724,67	33512432,33	32731762,33
Fark	21290978,33	7538778,333	9777932,333
Sıra	1	3	2

Analiz sonuçlarına göre AE'den alınan deney sonuçlarının %98,1 güvenilirlikte olduğu görülmüştür. Tablo 5.10 ve 5.11 incelendiğinde akustik emisyonu en çok etkileyen parametrelerin sırası ile kesme hızı, takım tipi ve ilerleme miktarı olduğu görülmektedir. Bunun yanında belirlenen kesme şartlarında en küçük akustik yayımı elde etmek için seçilmesi gereken en doğru kesme parametreleri; $v_1=135$ m/dak, $f_2=0,214$ mm/dev, $T_1=P10$ şeklindedir.

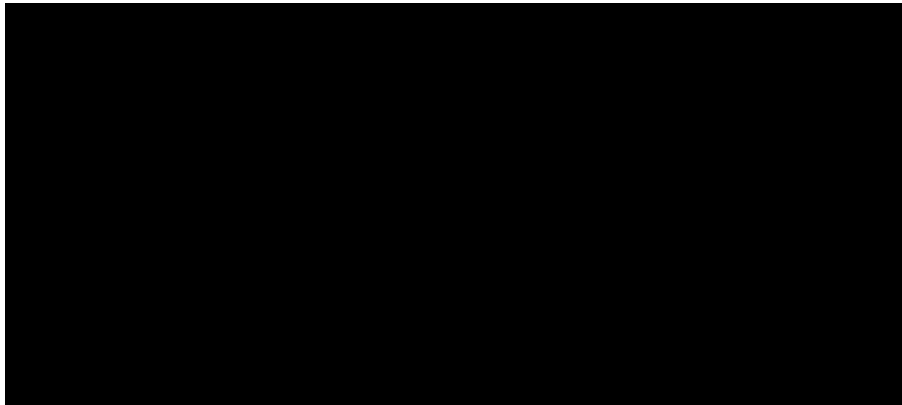
$$AE_{optimize} \rightarrow v_1=135 \text{ m/dak}, f_2=0,214 \text{ mm/dev}, T_1=P10$$

$$AE_{etki} \rightarrow v > T > f$$

5.5.4. Sıcaklık Analizi ve Optimizasyonu

Sıcaklık optimizasyonunda tıpkı kesme kuvveti, aşınma, ve AE'de olduğu gibi sırası ile varyans analizi, S/N oranı ve ham veriler için ortalama etki cevap tabloları Tablo 5.12, Tablo 5.13 ve Tablo 5.14'de görülmektedir.

Tablo 5.12. ANOVA Tablosu



Tablo 5.13. S/N Oranı İçin Ortalama Etki Cevap Tablosu

Tablo 5.14. Ham veriler için ortalama etki cevap tablosu

Seviye	Kesme Hızı	İlerleme	Takım Tipi
1	395,417	399,6667	394,917
2	407	401,0833	406,667
3	400,083	401,75	400,917
Fark	6,91667	2,083333	11,75
Sıra	2	3	1

Analiz sonuçlarından elde edilen verilere göre sıcaklık değerinden alınan deney sonuçlarının %91,8 güvenilirlikte olduğu görülmüştür. Tablo 5.13 ve 5.14 incelendiğinde sıcaklığı en çok etkileyen parametrelerin sırası ile takım tipi, kesme hızı ve ilerleme olduğu görülmektedir. Bunun yanında belirlenen kesme şartlarında en küçük sıcaklık değerini elde etmek için seçilmesi gereken en doğru kesme parametreleri; $v_1=135$ m/dak, $f_1=0,171$ mm/dev, $T_1=P10$ şeklindedir.

$$t_{optimize} \rightarrow v_1=135 \text{ m/dak}, f_1=0,171 \text{ mm/dev}, T_1=P10$$

$$t_{etki} \rightarrow T > v > f$$

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüz imalat teknolojilerinde rekabet iyice artmış, zamana karşı bir yarış başlamıştır. İnsansız imalat hem daha hızlı hem de riski olabildiğince azalttığı için yapılan tüm çalışmalar buna yöneliktir. Tamamen otomasyonla idare edilen bir üretim hattı verimliliği artırarak daha ekonomik sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Üreticilerin otomasyona yönelik çalışmalarının önündeki en büyük engel hiç kuşkusuz takım aşınmasıdır. Kesme bölgesindeki yüksek sıcaklık ve basınç bu bölgeye ulaşmayı zorlaştırmaktadır. Ayrıca girdi ve çıktı parametrelerinin fazla oluşu ve girdilerin birinde meydana gelen değişimin birden fazla çıktıyı etkilemesi söz konusu olmaktadır. TDİ sistemleri ile talaşlı imalat işlemleri anlık olarak izlenebilmekte ve olası problemler ortaya çıkmadan müdahale etme şansı doğmaktadır.

Bu tez çalışmasında da tornalamada 27 adet deney gerçekleştirilmiş, ilerleyen takım aşınması takip edilmiş ve takım kırılmasının tespiti gerçekleştirilmiştir. Deneylerde takım tipinin, ilerlemenin, kesme hızının ve paso artışının etkileri incelenmiş, sensör füzyonu oluşturularak AE, kesme kuvveti F_c , sıcaklık ve VB ölçümleri alınmıştır. Aşınmanın ilerlemesinde kesme parametrelerinin etkileri irdelenmiş, yine çıktı parametrelerini hangi girdilerin en çok etkilediğini bulmak ve en doğru kesme parametrelerini belirlemek için Taguchi parametre tasarımı ve Minitab programı kullanılarak varyans analizi ile optimizasyon yapılmıştır. Kırılma anı başarılı bir şekilde tespit edilmiştir ve kaydedilmiştir. Deneysel çalışmanın sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- **Kesme Hızı:** Kesme hızındaki değişimin özellikle AE ve VB üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Kesici uç sertliği ve ilerleme arttıkça kesme hızının AE üzerindeki etkisinin azaldığı görülmüştür. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda kesme hızının AE üzerinde %80, VB üzerinde %45, sıcaklık üzerinde %44 ve kesme kuvveti F_c üzerinde %2 etkili olduğu görülmüştür.
- **İlerleme:** İlerlemedeki değişimin en büyük etkiyi F_c üzerinde gösterdiği ve takım sertliği ve kesme hızındaki değişimin ilerlemenin F_c üzerindeki etkisini çok az değiştirdiği gözlemlenmiştir. Analiz sonucuna göre ise ilerlemenin F_c üzerinde %88, VB üzerinde %18, AE üzerinde %5 ve sıcaklık üzerinde %1,7 etkili olduğu görülmüştür.

- **Takım Tipi:** Takım tipi olarak 3 farklı sertlikte kesici uç kullanılmıştır. Takım sertliğindeki değişimin en büyük etkiyi sıcaklık ve VB üzerinde yarattığı görülmüştür. En büyük kesme kuvvetlerinin sert uça ortaya çıktığı görülmüştür. Ayrıca düşük ve orta kesme hızlarında orta sertlikteki uça (P25) en az aşınma gelişiminin meydana geldiği görülmüştür. Takım sertliğindeki değişimin sıcaklık üzerinde %45, VB üzerinde %35, AE üzerinde %13 ve Fc üzerinde %9 etkili olduğu analiz sonucunda ortaya çıkmıştır.
- **Paso Artışı:** Paso sayısının artışı ile bir kesici uça ilerleyen aşınma ve meydana gelen kırılmanın tespit edilmesi amaçlanmıştır. Sert uçlarda 3. pasonun sonunda alınan ilk ölçümde, tok uçlarda ise 6. pasonun sonunda yani ikinci ölçümde maksimum aşınma noktasına çok yaklaştığı görülmüştür. Paso artışı ile gelişen aşınma grafikleri, kuvvet-aşınma ilişkisi göz önünde bulundurularak incelenmiştir. İlerleyen aşınmanın izlenmesinde dinamometre ve parçacık kopması ve kırılma takibinde AE sensörünün etkili olduğu deneysel çalışma istatistiksel analiz sonucunda ispatlanmıştır. Aşınma, kesme kuvveti ve akustik emisyon analizlerinin en az %98, sıcaklık analizinde bu oranın %91,8 olduğu görülmüştür. Sıcaklık analizindeki düşüşün gerçek sıcaklık olan takım ucundaki sıcaklık yerine talaş sıcaklığının ölçülmesinden kaynaklandığı yorumu yapılabilir.
- **Kırılma Anı:** Dinamometre ve AE sensörü kullanılarak oluşturulan sensör füzyonunun kırılma izlemede başarılı olduğu görülmüştür. Sisteme ilave edilecek servo motor ile kesici takım geri çekilmek sureti ile takım kırılmasının önleneceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Abellan-Nebot, J. V. ve Subirón, F. R., 2010, A review of machining monitoring systems based on artificial intelligence process models, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47 (1-4), 237-257.
- Ambhore, N., Kamble, D., Chinchani, S. ve Wayal, V., 2015, Tool Condition Monitoring System: A Review, *Materials Today: Proceedings*, 2 (4), 3419-3428.
- Bhuiyan, M., Choudhury, I. ve Dahari, M., 2014, Monitoring the tool wear, surface roughness and chip formation occurrences using multiple sensors in turning, *Journal of Manufacturing Systems*, 33 (4), 476-487.
- Blum, T. ve Inasaki, I., 1990, A study on acoustic emission from the orthogonal cutting process, *Journal of Engineering for Industry*, 112 (3), 203-211.
- Cakir, M. C. ve Isik, Y., 2005, Detecting tool breakage in turning aisi 1050 steel using coated and uncoated cutting tools, *Journal of Materials Processing Technology*, 159 (2), 191-198.
- Cakir, M. C. ve Yahya, I. S., 2005, Finite element analysis of cutting tools prior to fracture in hard turning operations, *Materials & design*, 26 (2), 105-112.
- Cakir, M. C., Ensarioglu, C. ve Demirayak, I., 2009, Mathematical modeling of surface roughness for evaluating the effects of cutting parameters and coating material, *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (1), 102-109.
- Cho, D.-W., Lee, S. J. ve Chu, C. N., 1999, The state of machining process monitoring research in Korea, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39 (11), 1697-1715.
- Choudhury, S., Jain, V. ve Krishna, S. R., 2001, On-line monitoring of tool wear and control of dimensional inaccuracy in turning, *Journal of manufacturing science and engineering*, 123 (1), 10-12.
- Choudhury, S. ve Srinivas, P., 2004, Tool wear prediction in turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 153, 276-280.
- Coromant, S., 1994, Modern Metal Cutting-A Practical Handbook, Sweden, p.
- Diei, E. ve Dornfeld, D., 1987a, Acoustic emission from the face milling Process—the effects of process variables, *Journal of Engineering for Industry*, 109 (2), 92-99.
- Diei, E. ve Dornfeld, D., 1987b, Acoustic emission sensing of tool wear in face milling, *Journal of Engineering for Industry*, 109 (3), 234-240.
- Dimla, D. E., 2000, Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting operations—a review of methods, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40 (8), 1073-1098.
- Dolinšek, S. ve Kopač, J., 1999, Acoustic emission signals for tool wear identification, *Wear*, 225, 295-303.
- Dornfeld, D., 1988, Monitoring of cutting process by means of AE sensor, *Proc. 3rd Int. Mach. Tool Eng. Conf.*, 268-271.
- Doukas, C., Stavropoulos, P., Papacharalampopoulos, A., Foteinopoulos, P., Vasiliadis, E. ve Chryssolouris, G., 2013, On the estimation of tool-wear for milling operations based on multi-sensorial data, *Procedia CIRP*, 8, 415-420.

- Emel, E. ve Kannatey-Asibu, E., 1988, Tool failure monitoring in turning by pattern recognition analysis of AE signals, *Journal of Engineering for Industry*, 110 (2), 137-145.
- Ertekin, Y. M., Kwon, Y. ve Tseng, T.-L. B., 2003, Identification of common sensory features for the control of CNC milling operations under varying cutting conditions, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43 (9), 897-904.
- Gaitonde, V., Karnik, S. ve Davim, J. P., 2009, Multiperformance optimization in turning of free-machining steel using taguchi method and utility concept, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 18 (3), 231-236.
- Grosse, C. ve Ohtsu, M., 2008, Acoustic Emission Testing, p.
- Guo, Y. ve Ammula, S., 2005, Real-time acoustic emission monitoring for surface damage in hard machining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45 (14), 1622-1627.
- Haber, R. E., Jiménez, J. E., Peres, C. R. ve Alique, J. R., 2004, An investigation of tool-wear monitoring in a high-speed machining process, *Sensors and Actuators A: Physical*, 116 (3), 539-545.
- Haili, W., Hua, S., Ming, C. ve Dejin, H., 2003, On-line tool breakage monitoring in turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 139 (1), 237-242.
- Hase, A., Mishina, H. ve Wada, M., 2012, Correlation between features of acoustic emission signals and mechanical wear mechanisms, *Wear*, 292, 144-150.
- Inasaki, I. ve Yonetsu, S., 1981, In-process detection of cutting tool damage by acoustic emission measurement, *Proc. 22nd Inter. Machine Tool Design and Res. Conf*, 261-268.
- Inasaki, I., Aida, S. ve Fukuoka, S., 1987, Monitoring system for cutting tool failure using an acoustic emission sensor, *JSME international journal*, 30 (261), 523-528.
- Inasaki, I., 1998, Application of acoustic emission sensor for monitoring machining processes, *Ultrasonics*, 36 (1), 273-281.
- ISO, 1972, Tool Life Testing with Single Point Turning Tools
- Işık, Y., 2001, Takım Ömrü Süresince Kesici Takım Davranışlarının İncelenmesi ve Kırılma Anının Önceden Tahmini İçin Bir Erken Uyarı Modelinin Geliştirilmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Jemielniak, K. ve Kosmol, J., 1995, Tool and process monitoring-state of art and future prospects, *Scientific papers of the institute of mechanical engineering and automation of the Technical University of Wrocław*, 61, 90-112.
- Jemielniak, K. ve Otman, O., 1998, Tool failure detection based on analysis of acoustic emission signals, *Journal of Materials Processing Technology*, 76 (1), 192-197.
- Jemielniak, K., 2000, Some aspects of AE application in tool condition monitoring, *Ultrasonics*, 38 (1), 604-608.
- Jetly, S., 1984, Measuring Cutting-Tool Wear Online-Some Practical Considerations, *Manufacturing Engineering*, 93 (1), 55-60.

- Kannatey-Asibu, E., 1980, Investigation of the metal cutting process using acoustic emission signal analysis, University of California, Berkeley, p.
- Kopač, J., Bahor, M. ve Soković, M., 2002, Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold pre-formed steel workpieces, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42 (6), 707-716.
- Lan, M.-S., 1984, Investigation of tool wear, fracture and chip formation in metal cutting using acoustic emission, *Diss. Abstr. Int.*, 45 (3), 163.
- Lan, M. ve Dornfeld, D., 1982, Experimental studies of tool wear via acoustic emission analysis, *Proceedings of the 10th North American Manufacturing Research Conference*, 305-311.
- Lee, D.-E., Hwang, I., Valente, C. M., Oliveira, J. ve Dornfeld, D. A., 2006, Precision manufacturing process monitoring with acoustic emission, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46 (2), 176-188.
- Lee, J., Choi, D. ve Chu, C., 1994, Real-time tool breakage monitoring for NC turning and drilling, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 43 (1), 81-84.
- Li, X., 2002, A brief review: acoustic emission method for tool wear monitoring during turning, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42 (2), 157-165.
- Liang, S. Y., Hecker, R. L. ve Landers, R. G., 2002, Machining Process Monitoring and Control: The State-of-the-Art, *ASME 2002 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 599-610.
- Luo, X., Cheng, K., Holt, R. ve Liu, X., 2005, Modeling flank wear of carbide tool insert in metal cutting, *Wear*, 259 (7), 1235-1240.
- Neslušan, M., Mičeta, B., Mičietová, A., Čilliková, M. ve Mrkvica, I., 2015, Detection of tool breakage during hard turning through acoustic emission at low removal rates, *Measurement*, 70, 1-13.
- Özdemir, K. ve Çakır, M. C., 2008, Kesme Parametrelerinin Başlangıç Aşınmasına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Uhudağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13 (2), 99-109.
- Papacharalampopoulos, A., Stavropoulos, P., Doukas, C., Foteinopoulos, P. ve Chryssolouris, G., 2013, Acoustic emission signal through turning tools: a computational study, *Procedia CIRP*, 8, 426-431.
- Rangwala, S. ve Dornfeld, D., 1991, A study of acoustic emission generated during orthogonal metal cutting—1: Energy analysis, *International journal of mechanical sciences*, 33 (6), 471-487.
- Ravindra, H., Srinivasa, Y. ve Krishnamurthy, R., 1993, Modelling of tool wear based on cutting forces in turning, *Wear*, 169 (1), 25-32.
- Ravindra, H., Srinivasa, Y. ve Krishnamurthy, R., 1997, Acoustic emission for tool condition monitoring in metal cutting, *Wear*, 212 (1), 78-84.
- Saglam, H. ve Kacar, H., 2003, Cutting Tool Condition Monitoring Using Surface Texture Via Neural Network, *Mathematical & Computational Applications*, 8 (2), 235-243.

- Sağlam, H., 2004, İmalatta Gerçek Zamanlı Takım Durumu İzleme Sistemleri-Yüksek Lisans Ders Notları, p.
- Sağlam, H., 2000, Frezelemede Yapay Sinir Ağları Kullanarak Çok Elemanlı Kuvvet Ölçümüne Dayanan Takım Durumu İzleme, *Selçuk Üniversitesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Salgado, D., Cambero, I., Olivenza, J. H., Sanz-Calcedo, J. G., López, P. N. ve Plaza, E. G., 2013, Tool wear estimation for different workpiece materials using the same monitoring system, *Procedia Engineering*, 63, 608-615.
- Sun, F., 1998, Optimizing machining operations using tool wear information.
- Teti, R. ve Micheletti, G., 1989, Tool wear monitoring through acoustic emission, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 38 (1), 99-102.
- Teti, R., Jemielniak, K., O'Donnell, G. ve Dornfeld, D., 2010, Advanced monitoring of machining operations, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 59 (2), 717-739.
- Yalçın, G. ve Sağlam, H., 2007, Akustik Emisyon Sinyalleri Kullanarak Tornalamada Takım Kırılmasının Eş-Zamanlı Olarak Algılanması, *Politeknik Dergisi*, 10 (2).
- Yang, J. L. ve Chen, J. C., 2001, A systematic approach for identifying optimum surface roughness performance in end-milling operations, *Journal of industrial technology*, 17 (2), 1-8.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa Kuntoğlu
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Selçuklu 11.01.1991
Telefon : 0 506 271 4909
Faks : -
e-mail : mkuntoglu@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Karatay S.D.M.P. Anadolu Lisesi, Selçuklu, Konya	2009
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2013
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013-	Selçuk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

- Hacı Sağlam ve **Mustafa Kuntoğlu**, Üç nokta temaslı delik işleme/tornalama başlığı tasarımı, *5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 23–25 Ekim 2014, Bursa.
- **Mustafa Kuntoğlu** ve Hacı Sağlam, On-line Tool Breakage Detection Using Acoustic Emission, Cutting Force and Temperature Signals in Turning, *IOSR-JMCE*, 2016.

(Bu akademik yayın bu tez çalışmasından yapılmıştır.)