

## TALAŞLI İMALATTA ON-LINE TAKIM DURUMU İZLEME YÖNTEMLERİ

*Yahya IŞIK\**

**Özet:** Bu çalışmada talaşlı imalatta kesici takımların durumlarının izlenmesi ve kırılma anının tahmin edilebilmesi için literatürde geliştirilen modeller araştırılmıştır. Takım durumu izlemede kullanılan doğrudan ve dolaylı ölçme yöntemlerinin özellikleri incelenmiştir, ayrıca takım durumu izlemede kullanılan algılayıcılar ve kullanılan yöntemler karşılaştırılmıştır. Kesici takımların on-line olarak izlenmesinde kullanılan sistemler üç unsurdan oluşmaktadır. Bunlar; tanımlama, matematiksel işlemler ve karar verme-analizdir. Kullanılan algılayıcıların ve kullanılan yöntemlerin uluslararası standartlarda olmasına rağmen henüz endüstrinin isteklerine tam olarak cevap verebilecek bir takım durumu izleme modeli oluşturulamamıştır, bununla birlikte bu alanda araştırmaların yoğun olarak devam ettiği görülmektedir. Talaş kaldırma işlemlerinde takım durumunu izleyebilen bir sistemin endüstride kullanılabilir duruma getirilmesi üretim maliyeti, ürün kalitesi, ürün miktarı, tezgah kararlılığı, takım seçimi ve kesme parametrelerinin analizi konularına önemli katkılar sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Takım durumu izleme, Aşınma, Kesme kuvveti, Takım ömrü.

### On Line Tool Condition Monitoring in Cutting Processes

**Abstract:** In this work on line tool condition monitoring prior to fracture in cutting processes are investigated. There are many methods used in tool condition monitoring. This paper describes an experimental and analytical method for direct and indirect methods are investigated. It usually consists of three steps. The first step is to sense some monitoring signals. The second step is to process the signals, from which a set of monitoring indices. The last step is classification. Many of these domestic research activities meet international standards, but even these are still far from commercialization. This gap is expected to be narrowed by industry. But even this necessity has been recognized by many researchers. The tool life and condition monitoring systems can be used effectively in the industry. It reduces the cost of production, increases quality and quantity of the production, stability of machine tools and helps to analyse the cutting conditions.

**Key Words:** Tool condition monitoring, Wear, Cutting forces, Tool life.

## 1. GİRİŞ

Talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç; kesici takımın yüksek performansla istenilen özelliklerde, maksimum takım ömründe talaş kaldırabilmesidir. Kesici takımdan beklenen bu davranışlar sonunda takımın kullanılamaz duruma gelmeden önce operatörün uyarılması son derece önemlidir.

Takım aşınması ve kırılmasının on-line olarak izlenmesi için geliştirilen tekniklerin bir çoğu pratik kullanıma uygun değildir. Prensipte olarak ölçüm sırasında talaş kaldırma işlemi durdurulmamalıdır. Kesme kuvvetleri değişimine bağlı takım durumu izleme yöntemi, çalışma ortamından etkilenmemesi ve kesme işlemi sırasında ölçüm yapılabilmesi sebebi ile adaptif kontrol için tercih edilen bir yöntemdir. Teorik modellerin çok az sayıda ölçülebilen değişken ve algılayıcı verisine dayanması nedeniyle kullanımları kısıtlıdır. Bu modeller yerine deney verilerine dayalı ampirik modeller daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Dan ve Mathew 1990).

Kesici takımların on-line izlenmesinde kullanılan sistem üç unsurdan oluşmaktadır. Bunlar; tanımlama, matematiksel işlemler ve karar verme-analizdir. Tanımlama işlemi, takım durumu ile ilgili parametrelere bağlı sinyallerden oluşmaktadır. Burada yüzey kalitesi dikkate alınmadan işlem performansının gerçek durumu ölçülmekte, kesme kuvvetleri ve serbest yüzey aşınma miktarı izlenmektedir. Matematiksel

\* Uludağ Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bursa.

işlemlerde bu değerler giriş verilerine göre hesaplanabilmektedir. Karar verme analizi bölümünde ise on-line izleme bilgileri ile istenilen bilgiler karşılaştırılmaktadır.

Talaşlı üretimde takım durumunun on-line olarak izlenmesi kaliteli ve ekonomik üretimde önemli bir yer tutar. CAD/CAM, FMS, CIM, vb. alanlardaki gelişmeler talaş kaldırma olayının izlenmesini zorunlu kılmıştır. Bu alanda sağlanan gelişmeler sonucu makine elemanlarının niteliklerinde iyileşmeler sağlanmıştır. Takım Durumu İzleme (TDİ) modelleri aşağıda belirtilen konularda analizler yapabilmek ve bilgiler sağlamak için kurulmaktadır (Dimla A. ve Dimla S. 2000):

1. Takım ve talaş kaldırma işlemine ilişkin gelişmiş bir uyarı sistemi.
2. Talaş kaldırma işleminin durumu konusunda güvenilir bilgiler edinme.
3. İş parçası toleransının sağlanması için takım aşınmasına ait bilgiler edinme.
4. Takım kırılması için erken uyarı sistemi.

Takım durumu izleme konusunda yapılan araştırmalar uluslararası standartlarda olmasına rağmen henüz talaş kaldırma olayını tam olarak açıklamaktan uzaktır. Teti (1995) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, TDİ konusunda 1960-1995 yılları arasında yapılan araştırmalara ilişkin yayınların sayısı 500'den fazladır.

Choi ve diğ. (1994), tornada talaş kaldırma ve matkap ile delik delme işlemlerinde akustik yayım ve füzyon modeli ile aşınma miktarına bağlı olarak takım kırılma anının on-line izlendiği bir model oluşturmuşlardır. Talaş kaldırma işleminde akustik yayım (AY) takım aşınmasını veya kırılmasını algılamakta kullanılmaktadır. Özellikle takım kırılması anında iş parçası ile takım temas alanında, kesme kuvvetlerinde ve buna bağlı olarak akustik yayım sinyallerinde kademeli bir artış görülmektedir. Sistemin yüksek genliği, hızlı sinyal cevaplama özelliği ve yüksek duyarlılığı sayesinde takım kırılması zamanında algılanmaktadır. Akustik yayım sinyallerindeki ani artışlarla birlikte kesme kuvvetlerinde görülen ani artışlar ve azalmalar kesici takımın kırıldığının göstergesidir. Deneyler sayısal denetimli torna tezgahında yapılmıştır. AY sinyalleri gürültüden etkilenmemeleri için filtre edilmişlerdir. Yapılan deneylerde torna ve matkap tezgahlarında kesici takımların kırılma anının tespit edilmesi mümkün olmuştur.

Emel ve diğ. (1989), tarafından yapılan çalışmada kesme parametrelerinin malzeme sertliğinin, aşınmanın, ilerlemenin, talaş derinliğinin ve kesme hızının, kesme kuvveti, radyal kuvvet ve ilerleme kuvvetine olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Ölçülen sinyaller okunabilecek seviyeye yükseltilmiş ve filtre edilmiştir. Algılayıcı sinyallerinin işlenmesi ve matematiksel nonlinear ilişkilerin çözümlenmesi ile farklı kesme parametrelerinde takım kırılması belirlenmeğe çalışılmıştır. Elde edilen veriler analiz edildiğinde akustik yayım sinyalleri ve kuvvet sensörleri ile aşınma miktarı %94 oranında, yalnızca akustik yayım sinyalinin kullanılması ile takım kırılması %96 oranında tahmin edilebilmektedir.

Jemielniak ve Szafarczyk (1992), tornalama işlemlerinde kesici takımların kırılma anının tespiti amacıyla yaptıkları çalışmada sayısal bir algılayıcı ile kırılma anında kesme kuvvetlerinde oluşan değişiklikleri ölçmüşlerdir. Laboratuvar ortamında yapılan deneylerde kesme kuvvetlerini ölçmek için dinamometre ve sensörler kullanılmıştır. Kurulan sistemde kesme kuvvetlerinde görülen ani artışlar takımın kırıldığının göstergesi olarak nitelendirilmektedir. Ancak kuvvetlerdeki ani artışların doğru analiz edilebilmesi için artışların iş parçasının en az bir devrinde devam etmesi gerekmektedir. Takım kırıldıktan 2-3 milisaneye sonra kuvvetler; takım ile iş parçası arasındaki temasın sona ermesi nedeniyle tamamen yok olmaktadır. Bununla birlikte kesme kuvvetlerindeki artışların iş parçası malzemesinin iç yapısı, talaş derinliğindeki değişimler, talaş oluşumundaki farklılıklar ve takım açılarının değişimi gibi farklı nedenlerden dolayı meydana geldiği gözlenmiştir; bazı kesme koşullarında kuvvetlerde herhangi bir artış olmadan takımın aşınmasının ve kırılmasının sistemin çalışmasını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Yapılan deneylerde kesici takımların iki farklı şekilde kırıldığı tespit edilmiştir.

- Takım ömrü serbest yüzey aşınması veya krater aşınmasına bağlı olarak yavaş yavaş sona ermektedir.
- Aşınmalar belirli bir değere ulaştığında 1-2 saniye içerisinde serbest yüzey aşınması hızlı bir artış göstermekte, kesici kenarları plastik deformasyona neden olmakta ve takım kırılmaktadır.

Jeong-Du ve In-Hyu (1996), tarafından yapılan çalışmada çoklu sensör yöntemi ile takım kırılma uyarı modeli geliştirilmiştir. Kesme kuvvetleri, ivmelenme ve yer değiştirme miktarının ölçüldüğü modelde verilerin analizi için sensör füzyon algoritmaları kullanılmıştır.

Takım kırılmasının tespiti amacıyla çoklu algılayıcıların kullanıldığı bu modelde kesme kuvveti, ivmelenme ve yer değiştirme miktarının ölçüldüğü yöntemde ölçüm değerleri sınır değerlerine ulaştığında uyarı sinyali oluşmaktadır. Bununla birlikte farklı takım-iş parçası malzemeleri ve kesme parametreleri için veri tabanının önceden oluşturulması gerekmektedir. Verilerin analizinde sensör füzyonu algoritmaları kullanılmıştır. Yapılan deneylerde %90 oranında takım kırılması tespit edilmiştir. yanlış uyarıların oranı %2 ve kırılmanın tespit edilemediği durumlar %8'dir (Jeong-Du ve In-Hyu 1996, Rangwala ve Dornfeld 1987).

Wardnay ve Elbestawi (1997), tarafından yapılan çalışmada seramik kesicilerin kullanılması ile elde edilen bilgiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Kurulan deneysel modelde serbest yüzey aşınması, krater aşınması veya takım kırılması gibi nedenlerle takımın kullanılamaz duruma gelmesine neden olan etkenler ile bunların takım durumu üzerine olan etkileri istatistiksel olarak incelenmiştir. Teorik olarak ifade edilen takım ömrü denklemindeki katsayı ve üs değerleri deneysel verilerden elde edilmiştir. İstatistiksel olarak yapılan analizlerde seramik kesici takım yapılarındaki bozulmaların % 20'si ilk birkaç saniyede oluşmakta ve kesme hızının artması ile birlikte yapısal bozulmalar artmaktadır.

Dong-Woo ve diğ. (1998), talaş kaldırma işlemlerinde takım durum izleme yöntemleri konusunda Kore'de yapılan araştırmaları incelemiştir. Torna ve freze tezgahlarında talaş kaldırma işlemleri en çok incelenen işleme biçimleri olup takım aşınması, titreşim, takım kırılması, talaş oluşumu ve tipi ile takım geometrisi en yaygın olarak ele alınan konulardır. Yukarıda adı geçen konular ile ilgili yapılan analizlerde kesme kuvvetleri, akustik yayım ve ivmelenme ölçümleri en çok tercih edilen yöntemlerdir. Takım durum izlemede kullanılan algılayıcıların ve kullanılan yöntemlerin uluslararası standartlarda olmasına rağmen henüz endüstrinin isteklerine tam olarak cevap verebilecek bir model oluşturulamamıştır. Bununla birlikte bu alanda araştırmaların yoğun olarak devam ettiği görülmektedir.

Ghasemipoor ve diğ. (1999), talaş kaldırma işlemlerinde on-line olarak takım durumunun izlenmesi amacıyla bir model oluşturmuşlardır. Aşınma mekanizması ile kesme kuvvetleri ve kesme parametreleri arasındaki ilişkilerin matematiksel olarak ifade edilmesine ihtiyaç duymayan bu model atölye ortamlarına uygulanabilir niteliktedir. Modelde farklı kesme parametrelerinde kesme kuvvetleri  $F_s$ ,  $F_r$ ,  $F_v$  ölçülmekte ve krater, serbest yüzey ve kesici uçta meydana gelen aşınma miktarları belirlenebilmekte; aşınmaların gelişimini direkt ve dolaylı olarak etkileyen parametreler grafik olarak izlenmekte ve takımın durumu konusunda bilgi edinilmektedir. Yapılan deneylerde tahmin edilen ve ölçülen aşınma miktarları arasında büyük bir paralellik görülmektedir.

Yao ve diğ. (1999), tarafından yapılan çalışmada kesme parametrelerine bağlı olarak aşınma miktarının on-line olarak tespiti amacıyla bir model oluşturulmuştur. Kurulan modelde akustik yayım sinyalleri ve motor güç tüketiminde takım aşınmasına bağlı değişimler incelenmiştir. Motor güç tüketimi, kesme parametreleri ( $v$ ,  $f$ ,  $a$ ) ve takımın aşınma oranı ile lineer olarak değişirken, aşınmanın hızla arttığı aralıkta motorun harcadığı güçte belirgin bir artış görülmektedir. Bu değişimin on-line olarak izlenmesi ile ölçülen sinyaller yükseltılarak bir tam dalga düzelticiden geçirilmekte ve sinyal genliğindeki değişimler izlenmektedir. Takım kırıldığı anda sinyal aniden düşmektedir. Testlerle takımın maksimum aşınma sınırında motorun çektiği akım tespit edilerek işlem esnasında bu sınıra ulaşıldığında takım aşınmış kabul edilmektedir. Kesme kuvvetleri ve titreşim genliğinin ölçümlerine göre güvenilirliği az olmakla beraber farklı kesme şartlarında takım kırılmasının tespit edilmesinde kullanılabilir niteliktedir (Gomayel ve Bregger 1986).

## 2. TAKIM DURUMU İZLEME YÖNTEMLERİ

Kesici takımın aşınma miktarı; takım ömrü ve takım değiştirme zamanının belirlenmesinde kullanılan en önemli veridir (Jemielniak diğ. 1985, Ehmann ve diğ. 1991, Teti 1995). Takım durumu izlemede iki yöntem kullanılmaktadır.

1- Doğrudan ölçme yöntemleri: Bu yöntemde kesme işlemi sırasında değişik teknikler kullanılarak üretimin durduğu anlarda ölçme işlemi yapılır ve takım ömrünün sona ermediği saptanır. Doğrudan ölçme yöntemleri: optik ölçme, temas problemleriyle ölçme, elektrik dirençleri yöntemi, radyoaktif ışınlar yöntemi, iş parçası boyutlarındaki değişimin gözlenmesi, kesici takım-iş parçası uzaklığının gözlenmesi.

2- Dolaylı ölçme yöntemleri: Talaş kaldırma sırasında yapılan ölçme işlemleri ile kesici takımın durumu hakkında veriler elde edilir. Dolaylı ölçme yöntemleri ise şunlardır: Kesme kuvvetlerinin ölçümü,

akustik yayım, ses, titreşim, motor gücü ve akımı, kesme noktasında ısının ölçümü, yüzey pürüzlülüğünün ölçümü ve çoklu ölçümü yöntemleridir.

Doğrudan ölçme yöntemlerinde kesici takım kullanılmadığı anlarda kesici takımdaki hacimsel azalmaların ölçülmesi ile takım ömrü ve aşınma miktarı belirlenmektedir. Dolaylı ölçme yöntemlerinde ise kesme fonksiyonlarına ait parametrelerin ölçümü yapılmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanı kesme kuvvetlerinin ölçülmesidir. Ölçme işlemi talaş kaldırma sırasında yapılmakta ve ölçülen kuvvet değişkenlikleri kesici takımın durumu ile ilgili bilgiler vermektedir.

Doğrudan ölçme tekniğinin iki önemli sakıncası bulunmaktadır. Bunlardan birincisi ölçme işleminin yapılabilmesi için kesme işleminin durması gereklidir. İkinci olumsuzluk ise ilk kesme anında oluşan aşınmalar nedeniyle normal kesme anında kesici takımda oluşan aşınmalar farklılık göstereceğinden, yapılan hacimsel ölçümler hatalı sonuçlar vermektedir.

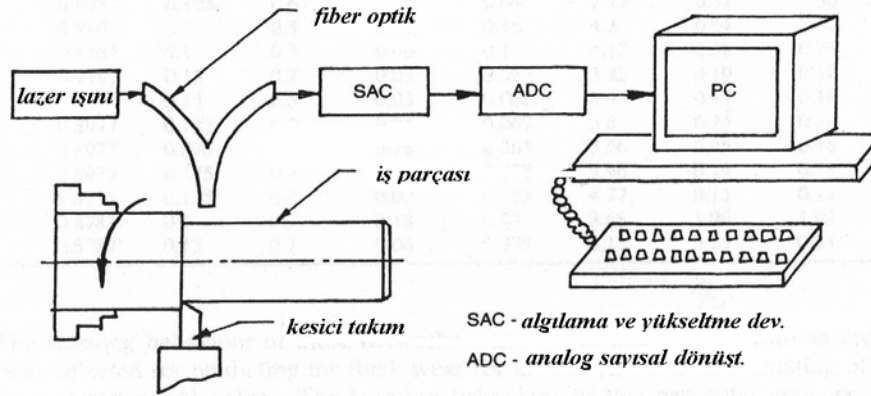
## 2.1. Doğrudan Ölçme Yöntemleri

Belli başlı doğrudan ölçme yöntemleri şunlardır:

a) Optik ölçme yöntemi; talaş kaldırma işlemi sırasında belirli zaman aralıklarında işlemin durdurulup takım ucunun görüntüsünün analizi amacıyla optik ve elektro-optik tekniklerin kullanılmasıdır. Optik okuyucuların kesici takım üzerinde oluşan ışık yansımalarını gözlemlemesi ile aşınma miktarı ölçülmektedir. Şekil 1.'de fiber optik ışınlar ile ölçme sistemi görülmektedir. Bu yöntem yüksek bir tamlığa sahip olmakla beraber kesme kenarında yığıla talaş oluşumu aşınmış alanların incelenmesini güçleştirmektedir.

b) Temas problemleri ile ölçme; kesici takım durumunun belirlenmesinde kullanılan problemler ile belirli zaman aralıklarında kesme işlemi durdurularak takımla kesme yapılan noktadan ölçme yapılmaktadır. Ölçüm sonuçları ile kesici takımın ilk ölçüleri kullanılarak bir karşılaştırmaya imkan sağlayan bir yazılım kullanılır.

c) Elektrik dirençleri yöntemi; bu yöntem kesici takımın aşınmasıyla takım iş parçası arasındaki elektrik direncinin değişmesi esasına dayanır. Direnç değişiminin ölçümü kolay olmakla beraber sıcaklık değişimi, kesme kuvvetleri ve üretilen elektromotor kuvvetindeki değişimlerden etkilenmesi yöntemin olumsuz yönleridir.



Şekil 1.

Fiber optik ışınları ile ölçme sistemi (Choudhury ve diğ. 1999)

d) Radyoaktif ışınlar yöntemi ile ölçme; Talaş kaldırma işlemi sırasında kesici takım ucundan kopan parçacıkların bir çoğu talaş yüzeyine yapışarak ortamdaki uzaklaşırlar. Radyoaktif ışınlar yönteminde kimyasal ve radyoaktif analiz yoluyla farklı kimyasal kompozisyona sahip parçacıklar, talaşlardan ayrılarak aşınma miktarı tespit edilmektedir. Bu yöntem pratik olarak takım aşınmasının on-line izlenmesinde kullanılamaz. Ayrıca aşınma tipinin ayırt edilmesi mümkün değildir (Kaye diğ. 1995, Kuljanic 1992).

e) İş parçası boyutlarındaki değişimin ölçülmesi yöntemi; kesici takım aşınırken iş parçası ölçüsünde de değişim meydana gelir. İş parçası boyutundaki değişimin ölçülmesi ile takım aşınması ölçülebilir. Bu yöntem çap değişimine bağlı takım aşınmasını tespit etmekle beraber takımda oluşan tahribatı algılamada ve aşınma tipini belirlemede yeterli değildir. Ayrıca iş parçasının ısıl genleşmesi, titreşimler ve tez-

gah takım hareket mekanizmalarından kaynaklanan hatalar ölçü tamlığını etkilemektedirler (Choi ve Jeong 1997, Colwell ve diğ. 1978).

f) Kesici takım-iş parçası uzaklığı ölçme yöntemi; talaş kaldırma işlemi sırasında işlenmiş yüzey ile takım arasındaki uzaklığın ölçümü esasına dayanır. Ölçme işleminde elektronik mikrometreler, yansıtılmış ultrasonik dalgalar, pnomatik komparatörler ve algılayıcılar kullanılmaktadır. Ancak; iş parçası sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü, kesme sıvısı, sehim, titreşim ve iş parçası çapındaki değişimler ölçme hassasiyetini etkilemektedirler.

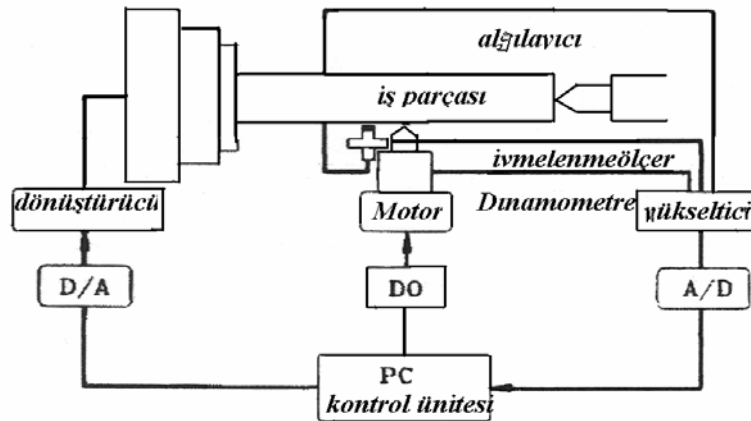
## 2.2. Dolaylı Ölçme Yöntemleri

TDİ'de kullanılan dolaylı ölçme yöntemleri ise şunlardır:

a) Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi yöntemi; talaş kaldırma işlemlerinde kesme kuvvetlerinin ölçülmesi ile takım durumu konusunda bilgi sahibi olmak mümkündür. Takımdaki aşınmanın artması kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır. Takım ömrü süresince kesme kuvvetlerindeki değişimlerin ölçülmesi ile takım durumu ve kırılmasının tespitinde kullanılabilen birçok model geliştirilmiş ve deneysel çalışmalarla desteklenmiştir. Bu yöntemin uygulanmasında karşılaşılan güçlükler kuvvetlerin farklı nedenlerden dolayı değişebilmesi ve ilave düzeneklere ihtiyaç duyulmasıdır. Bununla birlikte bu yöntem takım durumu izlemede en yaygın olarak kullanılan yöntemdir (Arsecularatne ve diğ. 1991, Santochi ve diğ. 1991).

b) Akustik yayım ölçme yöntemi (AY); deformasyon, kırılma veya her ikisine de maruz kalan bir malzemedeki geçici elastik enerjinin dalga enerjisi olarak serbest kalmasıdır. Kesici takım ile iş parçasının elastik ve plastik deformasyonu, sürtünme, talaş akışı, aşınma ve kırılma gibi bir çok etkenlerden oluşmaktadır. Akustik yayım aşınma ve kırılmanın algılanmasında kullanılmaktadır. Şekil 2'de akustik yayım algılayıcılarının kullanıldığı bir ölçme sistemi görülmektedir. Yüksek genliği, hızlı sinyal cevaplama özelliği ve yüksek duyarlılığı ile sayısal denetimli tezgahlarda, kesici takımda oluşan çatlakları, talaş sıvanmasını ve takım kırılmasını uyararak erken uyarı modellerinde kullanılmaktadır (Jemielniak ve Otman 1998).

c) Ses ölçümü yöntemi; talaş kaldırma işlemi sırasında kesme bölgesine yakın yerde ses ölçümü takım durumu hakkında bilgi vermektedir. Takım ömrü sonuna yakın frekans genliğinde artış meydana gelmektedir. Takımın yeni ve aşınmış olmasına bağlı olarak frekans 2,75-3,50 kHz ve gürültü ise 9-24 dB arasında değişmektedir. Pratikte atölye ortamında bulunan farklı kaynaklardan gelen gürültüden kurulan sistemin etkilenmesi hassas ölçümler yapılmasına engel olmaktadır. (filtreleme ile elimine edilebilmektedir)



Şekil 2.

Akustik yayım ile ölçme sistemi (Jemielniak 2000)

d) Titreşim ölçümü yöntemi; talaş kaldırma işlemlerinde iş parçası ve talaşın kesici takım ile temasından dolayı titreşim meydana gelmektedir. Titreşim miktarının takım aşınmasıyla birlikte artması titreşim ölçümünü takım durumunu tespit etme yöntemlerinden biri durumuna getirmiştir (Jun ve diğ. 1999).

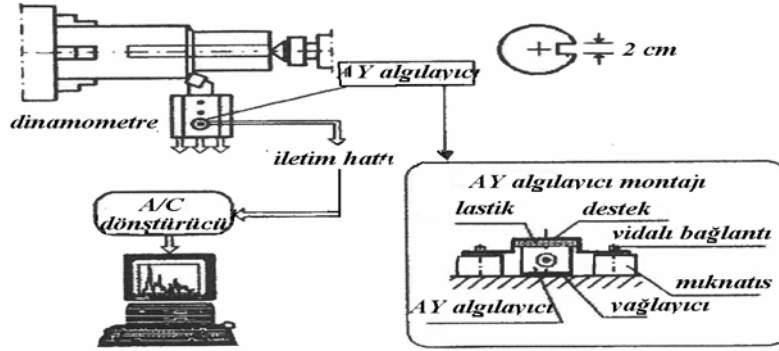
e) Motor gücü ve akımının ölçülmesi yöntemi; motor güç tüketimi takımın aşınma miktarı ile doğrusal olarak artmaktadır. Ölçülen sinyaller yükseltilerek bir tam dalga düzelticide sinyalin genliğindeki

değişimler analiz edilerek takım durumu belirlenmektedir. Takım kırıldığı zaman sinyaller aniden azalmaktadır. Yöntemin uygulanması kolay olup talaş kaldırma işlemini etkilememektedir.

f) Kesme noktasında ısının ölçülmesi yöntemi; talaş kaldırma işlemi plastik bir deformasyon olduğundan takım talaş ara yüzünde yüksek ısı meydana gelir. Kesme sıcaklığı aşınmaya ve ilerlemeye bağlı olarak değişir. Oluşan ısının yaklaşık %75-80'i talaş, %5-10'u iş parçası, %10-20'si takım ile uzaklaştırılır. Kesme işlemlerinde takım aşınması arttıkça artan sürtünme ve temas alanı nedeniyle takım sıcaklığı artmaktadır. Böylece kesme işlemi boyunca takım sıcaklığındaki değişimlerin ölçülmesi ile takım durumu konusunda bilgiler elde edilmektedir (Aspinwall ve diğ. 1999).

g) Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü yöntemi; iş parçasının yüzey yapısı kesici takımın ucunun durumunu yansıtmaktadır. Fiber optik algılayıcılar ile yapılan ölçümlerde işlenmiş yüzeylerin ışık yansıtma özelliğinin yüzey pürüzlülük artışı ile ters orantılı olarak arttığı görülmüştür. Bu değişim takım durumunun belirlenmesinde kullanılmaktadır.

h) Çoklu ölçümü yöntemi; talaş kaldırma işlemi birçok değişkenden etkilenen karmaşık bir işlem olduğundan, tek bir ölçüm yöntemi ile takım durumunu istenilen tamlıkta tespit etmek mümkün değildir. Bu nedenle kesme kuvveti, ivmelenme, titreşim ölçümleri aynı anda yapılmak suretiyle takım durumu izlenmektedir. Şekil 3'de çoklu ölçüm sistemi (kesme kuvveti ve ivmelenme) görülmektedir.



Şekil 3.

Çoklu ölçüm sistemi (Jeong-Du ve In-Hyu 1996)

Bu metotta iki önemli kriter, yeterli giriş algılayıcısı seçimi ve etkin bir füzyon modelinin kurulmasıdır. Sensör çıkışlarının algılanan özellikler ile doğrusallık göstermeleri beklenir. Teorik modeller, çok az sayıda ölçülebilen değişkenlere ve sensör verisine dayandığından kullanımları kısıtlıdır. Bu nedenle çoğunlukla kurulan modellerde deneysel veriler kullanılmaktadır. Birçok modelinde iki veya üç farklı algılayıcı (kesme kuvveti, ivmelenme ve akustik yayım) ile yapılan ölçüm verileri kullanılmıştır (Lister ve Barrow 1989, Lister ve diğ. 2000).

### 3. ALGILAYICI UYGULAMA MODELLERİ

Takım durumu izlemede algılayıcılar ile talaş kaldırma sırasında meydana gelen değişkenliklerin izlenmesi amaçlanmıştır. Dolaylı ölçüm yapanların, doğrudan ölçüm yapan algılayıcılara göre kullanımı daha kolaydır. Deneysel uygulamalarda çoğunlukla dolaylı ölçüm yapan algılayıcılar kullanılmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmaların %85'inde titreşim, takım kırılması ve aşınma davranışları incelenmiştir. Bu amaçla yapılan ölçümlerde kesme kuvveti, akustik yayım ve ivmelenme ölçümleri kullanılmıştır. Takım durumu izlemede (TDİ) kullanılan algılayıcıların seçiminde aşağıdaki kriterler kullanılmaktadır (Choudhury ve diğ. 1998, Danai ve Ulsoy 1986, Lee ve diğ. 1992).

- Algılayıcıların uygulama yerlerine sabitlenmesi ve kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek arızaların giderilmesi kolay olmalı ve algılayıcılar ekonomik olmalıdır.
- Algılayıcılar takım tutuculardan etkilenmemelidir.
- Talaş kaldırma sırasında meydana gelebilecek olumsuzluklardan etkilenmemelidir.
- Algılayıcıların hassasiyeti yüksek olmalı ve her zaman doğru sonuçlar alınabilmelidir.

- Talaş kaldırılan noktaya çok yakın uzaklıkta kullanılabilir.
- Algılayıcılar kolay ölçülebilir.
- Elde edilen sinyaller gürültüden olumsuz etkilenmemelidir.

Yapılan deneylerde kesme kuvvetleri, akustik yayım ve ivmelenme ölçümünde kullanılanların, yukarıda belirtilen özellikleri sağladıkları görülmüştür. Motorun çektiği akımda meydana gelen değişimlerin ölçülmesinde de olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte tek bir algılayıcı yerine kesme kuvveti, titreşim, akustik yayım sinyallerinden ikisinin kullanıldığı çoklu algılayıcı uygulamaları daha güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. Çizelge 1'de takım durumu izleme modelleri görülmektedir.

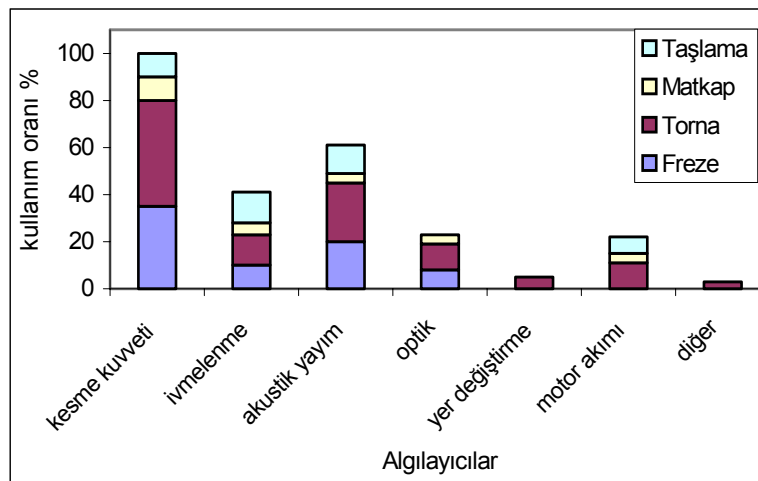
**Çizelge 1.**  
**Takım durumu izleme modeli**

| Takım durumu izleme modeli |                                  |                           |
|----------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Veri toplama               | Sinyal işleme                    | Karar verme               |
| Algılayıcı                 | Veri analizi                     | Yapay sinir ağları        |
| Amplifier                  | FFT                              | F Füzyon modeli           |
| Filtre                     | Zaman serileri modeli (AR, ARMA) | Model oluşturma           |
| A/D                        | İstatistiksel analiz             | Sınır değerleri tanımlama |
|                            | RMS, varyans analiz              | Sayısal analiz            |

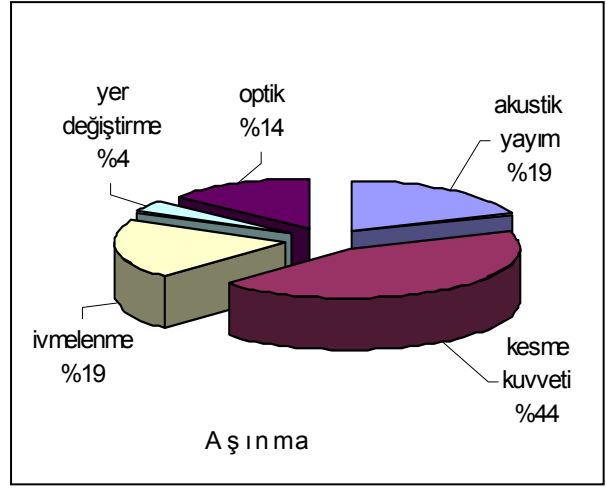
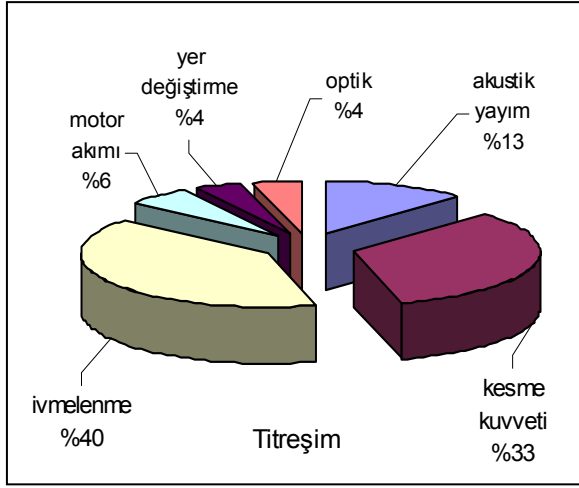
Torna ve freze tezgahlarında takım durumu izleme konusunda yapılan araştırmalar tüm araştırmaların %80'ini oluşturmaktadır. Taşlama tezgahı matkap tezgahından daha fazla incelenmiştir. Ölçme yöntemi olarak en çok kullanılan kesme kuvvetleri, ivmelenme ve akustik yayımdır (Ünüvar ve Sağlam 1999, Zhou ve diğ. 1997). Şekil 4'de takım tezgahlarında algılayıcıların kullanım oranları ve Şekil 5'de takım durumu izlemede algılayıcıların kullanım alanları görülmektedir.

Talaş kaldırma olayı birçok değişkenden etkilenen son derece karmaşık bir olaydır. Bu nedenle tek bir algılayıcı ile takımın durumunu tam olarak belirlemek mümkün değildir (Jeong-Du ve In-Hyu 1996, Teti 1995, Ghasemipoor ve diğ. 1999). Dolayısıyla araştırmaların çoğunda çoklu ölçüm yöntemleri kullanılmıştır. Bununla birlikte geliştirilen modellerin birçoğu pratik uygulamalara uygun değildir. Prensipte ölçüm sırasında kesme işlemi durdurulmamalıdır.

Kesme kuvvetleri değişimine bağlı takım durumu izleme yöntemi çalışma ortamından etkilenmesi ve talaş kaldırma sırasında ölçüm yapılabilmesi nedeniyle tercih edilen bir yöntemdir (Lindstorm ve diğ. 1987, Sukvittayawong ve Inasaki 1991, Işık 2001). Bu yöntem titreşim ölçüm yöntemine göre daha hassastır. Sensör füzyonu tekniğinde sensör sinyalleri matematiksel olarak analiz edilmektedir. Kesme parametrelerine göre anlamlı bilgiler elde edebilmek için operatör kendi bilgi ve gözlemlerini de kullanabilmektedir. Kurulan bu model ile aşınma, yüzey pürüzlülüğü vb. özellikleri tahmin etmek mümkündür (Dan ve Mathew 1990, Liu ve Altıntaş 1999).

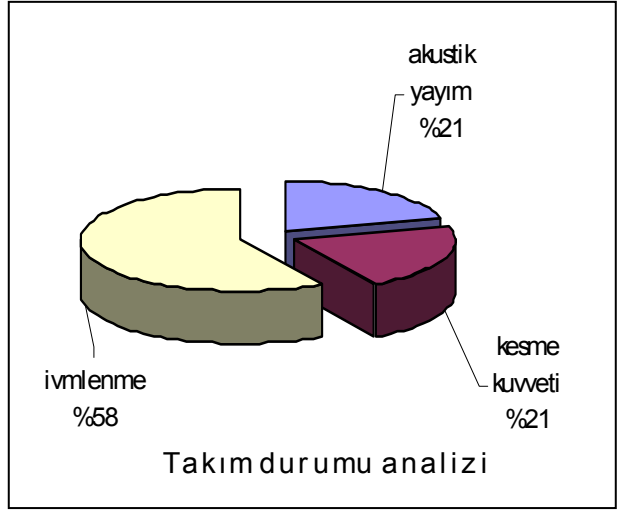
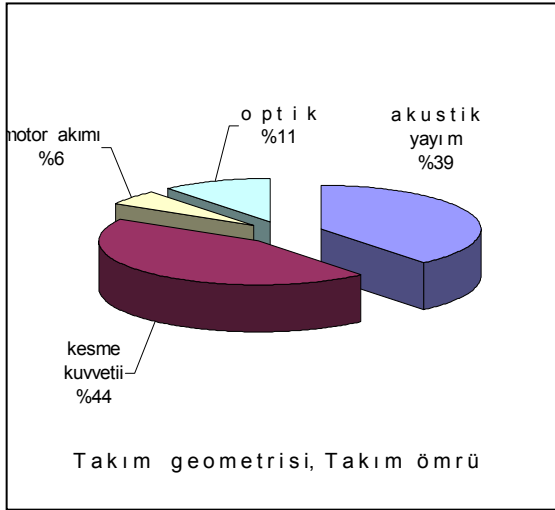


**Şekil 4.**  
*Takım tezgahlarında algılayıcıların kullanımı (Dong-Woo ve diğ. 1998)*



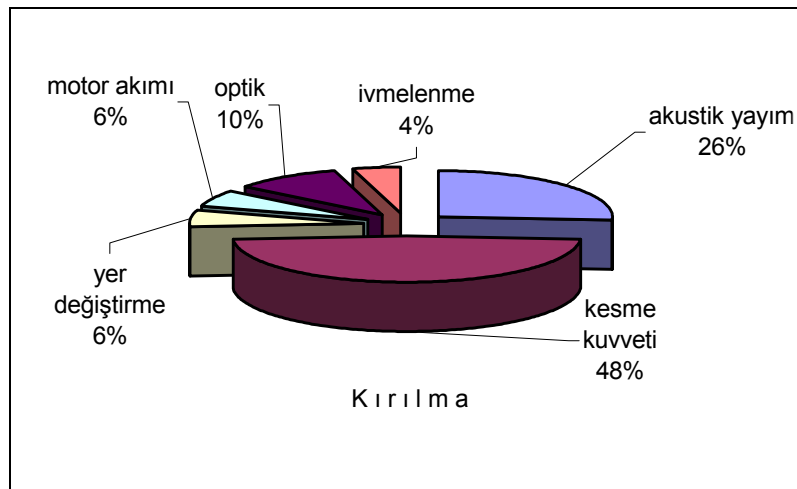
Şekil 5-a).

Takım durumu izlemede kullanılan yöntemleri (Dong-Woo ve diğ. 1998)



Şekil 5-b).

Takım durumu izlemede kullanılan yöntemleri (Dong-Woo ve diğ. 1998)



Şekil 5-c).

Takım durumu izlemede kullanılan yöntemleri (Dong-Woo ve diğ. 1998)



## 4. SONUÇ

Talaş kaldırma işlemlerinde takım durumunu izlemek amacıyla bir çok yöntem geliştirilmiş olup bunlardan çok azı başarılı olarak kullanılmaktadır. Kullanılan algılayıcıların ve kullanılan yöntemler uluslararası standartlarda olmasına rağmen henüz endüstrinin isteklerine tam olarak cevap verebilecek bir takım durumu izleme modeli oluşturulamamıştır.

Takım durumu izlemede en önemli konu; doğru karar verebilmek için sinyallerin doğru zaman ve şartlarda kaydedilmesi ve uygun veri işleme yöntemleri ile analiz edilmesi, değerlendirilmesi ve karar verilmesidir. Takım durumu izleme ve erken uyarı sistemlerine ilişkin geliştirilecek modellerde tek algılayıcı kullanılması durumunda talaş kaldırma işleminin karmaşık yapısı nedeniyle elde edilecek verilerin analizinde algılayıcıdan kaynaklanan ölçme ve algılama eksiklikleri olabilmektedir. Bu nedenle çoklu algılayıcılar kullanılması sistemin güvenilirliğini artıracaktır. Kurulacak modellerin endüstride etkin olarak kullanılabilmesi için atölye ortamında uygulanabilecek yöntemler araştırmalarda tercih edilmeli ve kullanılan yöntem ekonomik olmalıdır.

Takım durumu izleme konusunda kullanılan dolaylı ve direkt yöntemlerin endüstride etkin olarak kullanılabilmesine yönelik araştırmalarda aşağıda belirtilen unsurların dikkate alınması geliştirilecek modellerin etkinliğini artıracaktır.

- Kullanılan sensörlerin yüksek kapasiteli olması
- Yapay sinir ağlarının geliştirilmesi
- Veri iletiminde ve analizinde kullanılan donanım ve yazılımların geliştirilmesi
- Sayısal denetimli kontrol üniteleri ve takım durumu izleme modellerinin iyileştirilmesi
- Çoklu algılayıcı modellerinin etkin olarak kullanılma yöntemleri

## 5. KAYNAKLAR

1. Arsecularatne, J. A., Hinduja, S., Barrow, G., (1991) Force Data Aquisition Using Computer Process Monitoring, *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, 204, 275-285.
2. Aspinwall, D. K., Brazil, D., Monaghan, J., (1999) Modelling of Temperature and Forces When Orthogonally Machining Hardened Steel, *Int., Journal of Machine Tools &Manufacture*, 39, 885-903.
3. Choudhury, S. K., Appa, Rao, I. V. K., (1998) Optimization of Cutting Parameters for Maximizing Tool Life, *Machine Tools & Manufacture*, 343-353.
4. Choi, I. H., Jeong, D. K., (1997) Devolpment of Monitoring System on the Diamond Tool Wear, *Int. Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39, 505-515.
5. Choi, D. K., Chu, C. N., Lee, J. M., (1994) Real Time Breakage Monitoring for Monitoring and Drilling, *Ann, Crp*, 43, 81-84.
6. Choudhury, S. K., Jain, V. K., Rama Rao, Ch. V., (1999) On-Line Monitoring of Tool Wear in Turningğ using a neural network, *Int. J. Mach. Tools and Manufact.*, 39, 489-504.
7. Colwell, L. V., Mazur, J. C., Devries, W. R., (1978) Analytical Strategies for Automatic Tracking of Tool Wear, *Proc. of the 6<sup>th</sup> NAMRC*, 276-282.
8. Danai, K. And Ulsoy, A. G., (1986) A dynamic State Model for On-Line Tool Wear Estimation in Turning, *Sensors and Controls for Manufacturing, PED.*, 18, 137-148.
9. Dan, L., Mathew, J., (1990) Tool Wear and Failure Monitoring Techniques For Turning, *Int. J. Machine Tools Manufacturing*, 30(4), 579-598.
10. Dimla, E., Dimla, Snr., (2000) Sensor Signals For Tool Wear Monitoring in Metal Cutting Operations a Review of Methods, *Int., Journ. of Machine Tools &Manufacture*, 40, 1073-1098.
11. Dong-Woo, Cho., Sang, J. L., Chong, N. C., (1998) The State of Machining Process Monitoring Research in Korea, *Int., Journal of Machine Tools &Manufacture*, 39, 1697-1715.
12. Ehmann, K. F., Kapoor, S. G., Devor, R. E., Lazoglu, I., (1991) Machining Process Modeling: A Review, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 119, 667-689.

13. Emel, E., Kannatey, E., Asibu, J., (1989) Acoustic Emission And Force Sensor Fusion For Monitoring the Cutting Process, *Int. J. Mec. Sci.*, 31(11/12), 795-809.
14. Ghasemipoor, A., Jeswiet, J., Moore, T. N., (1999) Real Time Implementation of On-line Tool Condition Monitoring in Turning, *Int. Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39, 1883-1902.
15. Ghasemipoor, A., Jeswiet, J., Moore, T. N., (1999) Real Time Implementation of On-line Tool Condition Monitoring in Turning, *Int. Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39, 1883-1902.
16. Gomayel, J. I. El., Bregger, K. D., (1986) On-Line Tool Wear Sensing for Turning Operations, *J. Enging. Ind.*, 108, 44-49.
17. Işık, Y., (2001), Takım Ömrü Süresince Kesici Takım Davranışlarının İncelenmesi ve Kırılma Anının Önceden Tahmini İçin Bir Erken Uyarı Modelinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, U.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü.
18. Jemielniak, K., Szarfarczyk, M., Zawistowski, J., (1985), Difficulties in Tool Life Predicting when Turning with Variable Cutting Parameters, *Ann, CIRP*, 34, 113-116.
19. Jemielniak, K., Szarfarczyk, M., (1992) Detection of Cutting Edge Breakage in Turning, *Ann, CIRP*, 41, 97-100.
20. Jeong-Du, K., In-Hyu, C., (1996) Development of a Tool Failure Detection System Using Multi-sensors, *Int. Journal of Machine Tools and Manufacture*, 36, 861-870.
21. Jemielniak, K., (2000) Some Aspect of AE Application in Tool Condition Monitoring, *Ultrasonics*, 38, 604-608.
22. Jemielniak, K., Otman, O., (1998), Tool Failure Detection Based on Analysis of Acoustic Emission Signals, *Int. Journal of Materials Processing Technology*, 76, 192-197.
23. Jeong-Du, K., In-Hyu, C., (1996) Development of a Tool Failure Detection System Using Multi-sensors, *Int. Journal of Machine Tools and Manufacture*, 36, 861-870.
24. Jun, C. H., Suh, S. H., (1999) Statistical Tool Breakage Detection Schemes Based on Vibration Signals in NC Milling, *Int. Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39, 1733-1746.
25. Kaye, J. E., Yan, H., Popplewe, N. L., Balakrishnan, S., (1995), Predicting Tool Flank Wear Using Spindle Speed Change, *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, 1309-1312.
26. Kuljanic, E., (1992) Macro Plastik Deformation of Cutting-Edge A Method for Maximum Utilization of Cutting Tool, *Annals of the CIRP*, 41, 151-154.
27. Lee, K. S., Lee, L. C., Teo, S. C., (1992) On-Line Tool Wear Monitoring Using a PC, *Journal Of. Mat. Proc. Technology*, 29, 3-13.
28. Lister, P. M., Barrow, G., (1989) Tool Condition Monitoring Systems, *Ann, CIRP*, 37, 271-287.
29. Lister, P. M., Dimla, Sr. D., E., (2000) On-line Metal Cutting Tool Condition Monitoring. II: Tool State Clasifications Using Multi-layer Perceptron Neural Networks, *Int., Journal of Machine Tools Manufacture*, 40, 769-781.
30. Lindstorm B., Lindberg, B., (1987) Measurement of Dynamic Cutting Force in the Cutting process, *A New sensor for in-process Measurements, Proc, 24<sup>th</sup> Int. MTDR Conf.*, 137-142.
31. Liu, Q., Altıntaş, Y., (1999) On-line Monitoring of Flank wear in Turning with Multilayered Feed-forward Neural Network, *Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39, 1945-1959.
32. Rangwala, D., Dornfeld, D., (1987) Integration of Sensors via Neural Networks for Detection of Tool Wear Stares, *Int. Intelligent and Integrated Manufacturing Analysis and Synthesis, ASME.*, 451-462.
33. Rahman, M., (1998) In-process Detection of Chatter Threshold, *Journal of Engineering for Industry*, 110, 44-50.
34. Rangwala, D., Dornfeld, D., (1987) Integration of Sensors via Neural Networks for Detection of Tool Wear Stares, *Int. Intelligent and Integrated Manufacturing Analysis and Synthesis, ASME.*, 451-462.
35. Santochi, M., Dini, G., Tantussi, G., (1991) A Sensor-Integrated Tool for Cutting Force Monitoring, *Annals of the CIRP.*, 46, 49-52.
36. Sukvittayawong ve Inasaki, (1991) Optimization of Turning Process by Cutting Force Measurement, *JSME International Journal, Series III*, 34 (4), 67-76.
37. Ünüvar, A., Sağlam, H., (1999) Takım Aşınmasına Dayalı on Line Takım Durumu İzleme Sistemleri ve Verilerin Değerlendirilmesi, *Makina-İmalat Teknolojileri Sempozyumu*, Konya, 27-39.
38. Teti, R., (1995) A Review of Tool Condition Monitoring Literature Database, *Annals of the CIRP*, 44, 659-666.
39. Wardany, T. E. El., Elbestawi, M. A., (1997) Prediction of Failure Rate in Turning Hardened Steels, *Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology.*, 13, 1-16.

40. Xiaoli, L., Dong, S., Zhejun, Y., (1999) Discrete Wavelet Transform for Tool Breakage Monitoring, *Int. Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39, 1935-1944.
41. Yao, Y., Li, X, Zhejun, Y., (1999) Tool Wear Detection with Fuzzy Classification and Wavelet Fuzzy Neural Network, *Int. Journal of Machine tools and Manufacture*, 39, 1525-1538.
42. Zhou, J., M., Anderson, M., Stahl, J. E., (1997) Cutting Tool Fracture Prediction and Strength Evaluation by Stress Identification, Part I: stress model, *Int., Journal of Machine Tools & Manufacture*, 37, 1691-1714.