

Titreşim ve Kesme Kuvveti Esaslı Takım Aşınmasının Bulanık Mantıkla İzlenmesi ve Tahmini

Aydin SALIMIASL¹, Mohammad RAFIGHI^{2*}

¹Payame Noor Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, , Tabriz, İran

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.

(Geliş/Received : 04.06.2016 ; Kabul/Accepted : 11.10.2016)

ÖZ

Talaş kaldırma sürecinde, izlenmeyen takım aşınması parça bozukluğunu ve hurda sayısını artırmakla beraber, aynı zamanda takımın kırılmasına ve pahalı CNC takım tezgâhlarında yüksek hasarlara sebep olmaktadır. Aşınma oranına dayalı, takıma verilmesi gereken takım aşınma telafi değerlerinin doğru tespiti, takımın oluşun aşınmanın iş parçasının boyutlarında ve yüzey kalitesinde kabul edilemez bir sınıra geleceği anın bilinmesi ve kırılma olmadan önce yeni bir takım ile değiştirilmesi için talaş kaldırma sürecini izleyen bir otomasyon takip sistemi gereklilik olmuştur. Bu çalışmada, talaşlı imalatta bir otomasyon sistemi kurmak ve yan yüzey takım aşınma miktarını anlık tahmin etmek için kuvvet ve titreşim algılayıcıları kullanılarak bir bulanık mantık sistemi tasarlanmıştır. Sistemin kurulması için, talaş kaldırma parametreleri, kesme kuvveti ve titreşim değişkenleri girdi olarak ve takım aşınma miktarı çıktı olarak bulanık mantık sistemine verilmiştir. Taguchi metodu kullanılarak deney tasarımı yapılmıştır. Ölçülen ve tahmin edilen sonuçlar, takım aşınmasının tespiti için, bulanık mantık metodunun güvenilir olduğunu göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Takım Aşınmasının İzlenmesi, Kesme Kuvveti, Takım Titreşimi, Bulanık Mantık.

Monitoring and Estimating of Vibration and Cutting Force Based Tool Wear via Fuzzy Logic

ABSTRACT

During the chip removal process, the unmonitored tool wear not only increase the number of scraped parts but also causes the untimely tool breakage and the high costly damage on the expensive CNC machine tools. For applying the correct tool offset on the cutting tool based on the wear ratios, for determining the critical tool wear rates influencing on the work piece dimensions and surface quality and for replacing a new tool with a worn one before tool breakage during the machining operations, an automation system is required for monitoring the operation accurately. For establishing the automation system for online monitoring and estimating the tool wear in this research, a fuzzy logic system is designed by using of cutting force and vibration sensors. Cutting parameters, cutting forces and vibration variables are applied as input and the wear rate as output data to the fuzzy logic for constructing the system. Taguchi method is applied to design an experimental table for carrying out the tests. The measured and estimated results confirm the reliability of the fuzzy logic method for tool wear estimation.

Keywords: Tool Wear Monitoring, Cutting Force, Tool Vibration, Fuzzy Logic.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Takım aşınmasını izlemek için genelde dolaysız ve dolaylı olmak üzere iki yöntem kullanılır [1]. Dolaysız yöntemde takım aşınması, takım üzerinden ölçülmekte ve talaş kaldırma işlemini durdurmak gerekmektedir. Dolaylı yöntemde, takım aşınmasının elde edilmesi için onunla ilişkili olan ve sürekli değişen başka bir değişken (kuvvet, titreşim vb.) ölçülür ve bir katsayı ile çarpıldığında aşınma miktarı elde edilir [2, 3]. Bu yöntemde motor akımı, kuvvet ve moment, titreşim, akustik ve yüzey pürüzlülüğü algılayıcı yardımıyla farklı zamanlarda takımın oluşun aşınma miktarlarını ölçüp ve çeşitli analiz ve tahmin yöntemleri kullanılarak istenilen zaman aralığındaki aşınma miktarı belirlenmiştir [3, 4]. Bu yöntemler, istatistiksel yöntemlerden başlayarak bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritma gibi modern ve güncel prosedürlere dayanmaktadır. Yapay

zekâ kullanılarak süreç modelleme işlemi, çeşitli araştırmacılar tarafından gerçekleştirilmiş ve yapılan çok sayıda araştırmaya rağmen, takım aşınmasının izlenmesi için henüz sanayide pratik bir yöntem bulunamamıştır [5, 6]. Talaşlı imalatta takımın anlık izlenmesi, talaş kaldırma işlemlerinin optimize edilmesi, kontrolü ve tahmin edilmesi için çalışmalar hala sürdürülmektedir.

Talaşlı imalatta, kesicide oluşan kuvvet, kesme işlemini en iyi yansıtan değişkenlerden biri olarak kabul edilmiştir [7, 8]. Bu yüzden, kesme kuvvetini izleme prosedürleri takımın durumunu [9-12] ve parça doğruluğunu, sıklıkla teşhis ve tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [13-16]. Kesme operasyonu, malzmeden talaş kaldırmak için gereken miktarda kuvvet ihtiyacını doğurmaktadır. Analitik modellerin doğrulamasında, kesicide oluşan kuvvetlerin talaş kaldırma süresince izlenmesi ve takımın kırılmasının önceden belirlenmesi için çeşitli yöntemlerin araştırmacılarla önerildiği görülmektedir [17].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: m.rafighi@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2017.20.1 111-120

Kesici takımında oluşan titreşim değişkenlerinin ölçülmesi başka bir yöntem olarak, aşınmanın izlenmesi ve tahmin etmesi için araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir [18-20]. Talaş kaldırma süresince ortaya çıkan titreşimler iki gruba ayrılmaktadır. (i) kesme sürecine bağımlı olan titreşimler ve (ii) kesme sürecinden bağımsız olan titreşimler. Talaş kaldırma işleminden kaynaklanan takım aşınması, takımın titreşimine sebep olduğunda bu titreşim türüne kesme sürecine bağımlı olan titreşimler denir. Dolayısıyla takım aşınmasının izlenmesi, kesme sürecine bağlı olan titreşimlerin kaydedilmesini ve izlenmesini beraberinde gerektirmektedir. Takımın aşınması, kesme süresince artar ve bu artışlar titreşimin genliğinin artmasına yol açar [18].

Bu çalışmada, tornalama işlemlerinde takım aşınmasının tahmini prosedüründe değişkenler olmak üzere kesme kuvveti değişimi ve takım titreşiminin genliği kaydedilmiştir. Tahmin sistemi kurmak için bulanık mantık yönteminden faydalanılmıştır. Yan yüzey aşınması, takım ömrü kriteri olarak kullanılmış ve ISO 3685 standardına göre sırasıyla 0 ve 0,3 mm aralıklarına bölünmüştür. Talaş kaldırma parametreleri, kesme kuvveti ve titreşim değişkenleri girdi olarak bulanık mantık sistemine verilmiş ve takım aşınması çıktı olarak sistemden elde edilmiştir. Çalışmada, tahmin sistemi geliştirmek için MATLAB yazılımının bulanık mantık araç kutusu kullanılmıştır. Bulanık mantık sisteminin tasarlanması için, kesme hızı (V), kesme derinliği (d), ilerleme (f), bileşke kesici kuvveti (F) ve titreşim genliği (T) girdi olarak ve takım aşınması çıktı olarak dikkate alınmıştır. Verileri değerlendiren bir simülasyon blok diyagramı yapılmıştır. Sisteme, algılayıcılardan alınan

kesme kuvveti ve titreşim değerleri girdi olarak verildiğinde, aşınma miktarı, anlık değişme uyarısı olarak değişme göstermektedir. Ölçülen ve tahmin edilen değerler, bulanık mantık metodunun takım aşınmasının tahmini için kullanılmasının güvenilir olduğunu göstermiştir.

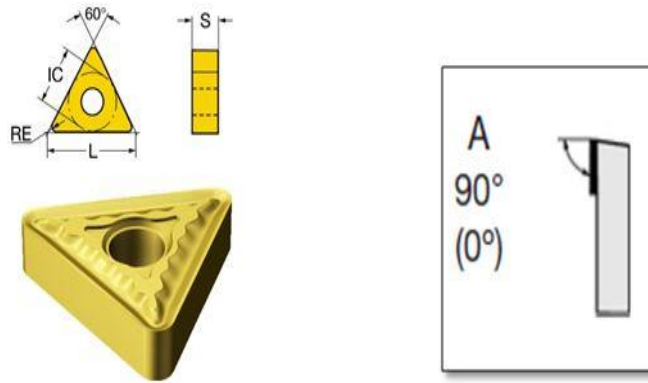
2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada, kesici kuvvet ve titreşim genliği kullanılarak takım aşınma miktarının izlenmesi ve tahmini yapılmıştır. Deneylerin yapılması için FANUK kontrol ünitesine ve 30-3500 rpm aralıkları devir sayısına sahip olan Johnford TC-35 CNC takım tezgâhı seçilmiştir. Bu tezgâh aynı zamanda 250 mm bağlama aynası boyutuna sahiptir. Talaş kaldırmak için Sandvik-Coromant kaplamasız uç (TNMG 1604-QM H13) ve TIZIT Simple (CTANR 2525M16) markalı bir takım tutucu kullanılmıştır (Şekil 1). Deneylerde tercih edilen kesici takımın geometrik özellikleri Çizelge 1'de ve Şekil 1'de gösterilmiştir

Deneyleri yapmak için $\varnothing 100 \times 1000$ mm boyutunda olan bir SAE 1050 malzemeden silindirik ham iş parçası hazırlanmıştır. İş parçasının kimyasal bileşimi Çizelge 2'de verilmiştir. Talaş kaldırma operasyonu için kullanılan parametreler, ISO 3685 standardına göre hazırlanmıştır (Çizelge 3). Kesici takımın yanak aşınması miktarının ölçülmesi için bir Dino Capture 2 (AD7013MTL) dijital mikroskobu kullanılmıştır. Bu cihazın ayırma özelliği 2592x1944 piksel ve büyütme boyu 10x-90x aralıklarındadır (Şekil 2).

Çizelge 1. Kesici takımın geometrik özellikleri (The geometric properties of cutting tools)

Kesici uç	SANDVIK TNMG 16 04 04-QM H13A				
Geometrik değerleri	Kesici uç Kalınlığı (S)	Teğet Daire çapı (IC)	Köşe Yarıçapı (RE)	Kesici Uç ağırlığı (WT)	Kesme Kenarı uzunluğu (L)
	4,762 mm	9,525 mm	0,4 mm	0,007 kg	16,497 mm



Şekil 1. Kesici uç geometrisi ve takım tutucusu (Cutting insert geometry and tool holder)

Çizelge 2. İş parçasının kimyasal bileşimi (Chemical information of the workpiece)

İş parçası	SAE1050 (AISI 1050)							
Kimyasal Bileşimi (%)	C	Si	Mn	Cr	P	S	Mo	N
	0,49	0,19	0,65	0,03	0,01	0,005	0,01	0,08

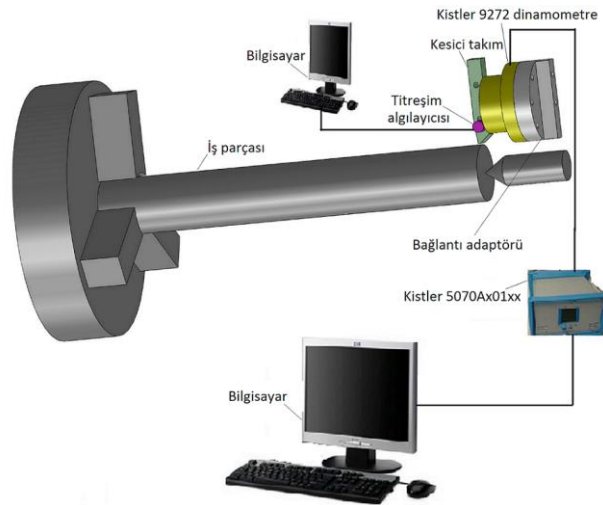
Çizelge 3. Kesme parametreleri (Cutting parameters)

Kesme hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Kesme derinliği (mm)	Yanak aşınması aralıkları (mm)
100	0,18	1	0,0-0,1 mm, 0,1-0,2 mm ve 0,2-0,3 mm
125	0,23	1,5	
150	0,28	2	

**Şekil 3.** Takım yanak aşınmasının ölçmesi için kullanılan mikroskop (Microscope which is used to measure tool flank wear)

Üç yönde, F_c (Esas kesme kuvveti), F_t (İlerleme kuvveti) ve F_r (radyal kuvveti) kuvvet miktarlarının ölçülmesi için, Kistler 9272 4-bileşenli dinamometre ve Kistler 5070Ax01xx yükselteç seçilmiş ve veriler bilgisayara kaydedilmiştir. Aynı zamanda kesici takım üzerinde titreşim genliğini ölçmek için TV300 markalı titreşim ölçer algılayıcısı kullanılmıştır. Titreşim algılayıcısı, titreşimin miktarını değerlendirme amacıyla, ivme, hız ve yer değiştirme olmak üzere, üç farklı değişkeni ölçebilmektedir. Kullanılan algılayıcı, bu değişkenlerin

karekök ortalamalarını vermektedir. Araştırma kapsamında ivme değişkeninin karekök ortalaması 10 Hz - 10 KHz frekans aralıklarında ölçülmüştür. Titreşim algılayıcısından alınan veriler veri görüntüleme yazılımında analiz edilmiş ve zamana bağlı grafikler çıkarılmıştır. Takım aşınma miktarlarının tahmini, ISO 3685 standardı göz önüne alarak 0-0,3 mm aralığında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te deneylerin yapılması için kurulan deney düzeneğini gösterilmektedir.

**Şekil 2.** Deney düzeneği (Test setup)

2.1. Deneysel Prosedürü (Test Procedure)

Yanak aşınmasının tahmin sistemini kurmak için, yeni, orta aşınmış, çok aşınmış ve aşınmış takım aralıkları sırasıyla: 0-0,1-0,2-0,3 mm olarak derecelendirilmiştir. Bu çalışmada ISO 3685 standardına göre V_b değeri takımın ömrünün ve takımın değiştirilmesinin kriteri olarak dikkate alınmıştır. Çalışma esnasında ölçülen bir kesici uç yanak aşınması Şekil 4a'da verilmiştir. Daha iyi bir deney düzeneğinin kurulması için tüm deneyler üç kez tekrar edilmiştir.

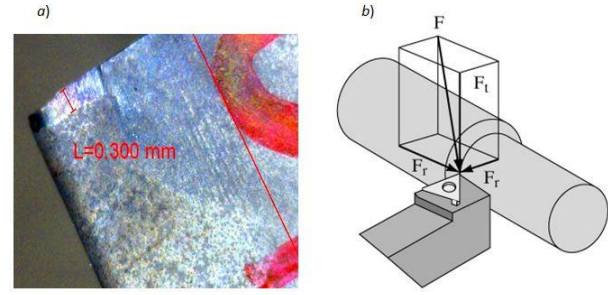
Deneylerin yapılması için farklı kesme parametreleri ve Taguchi deney tasarımı metodunda, JMP programı kullanılarak bir L9 deney düzeneği hazırlanmıştır. Taguchi metodu sonrasında elde edilen 9 deney tasarımı Çizelge 4'te gösterilmiştir. Aşınma aralıklarını kullanarak, talaş kaldırma boyunca kesme kuvvetini ve titreşim miktarını ölçmek için 36 (4x9) deney sayısı yapılmıştır. Talaş kaldırma boyunca 3 farklı kuvvet meydana gelmekte (Şekil 4b.) ve güvenilir bir izleme sistemi kurmak için meydana gelen 3 kuvvetin bileşkesinin kullanılması gerekmektedir. Çizelge 5'te gösterildiği gibi 3 faktör kullanılarak JMP programında elde edilen genel L9 ortogonal deney düzeneği verilmiştir.

Çizelge 4. L9 deney düzeneği (L9 test setup)

Kesme hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Kesme derinliği (mm)
100	0,18	1
125	0,28	1
150	0,23	1
100	0,23	1,5
125	0,18	1,5
150	0,28	1,5
100	0,28	2
125	0,23	2
150	0,18	2

Çizelge 5. 3 faktör kullanılarak JMP programında elde edilen genel L9 ortogonal deney düzeneği (The general L9 orthogonal test setup obtained in the JMP software by using of 3 factors)

Deney numarası	Sütun (Faktörler)		
	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Kesme derinliği (mm)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2



Şekil 4. a: Ölçülen bir yanak aşınması örneği, b: Takımın ucunda oluşan kuvvetler (a: An example of a measured flank wear, b: The forces generated at the tip of tool)

Bileşke kuvvetinin hesaplanan miktarı aşağıdaki eşitlikte verilmiştir:

$$F \sqrt{F_c^2 + F_t^2 + F_r^2} \quad (1)$$

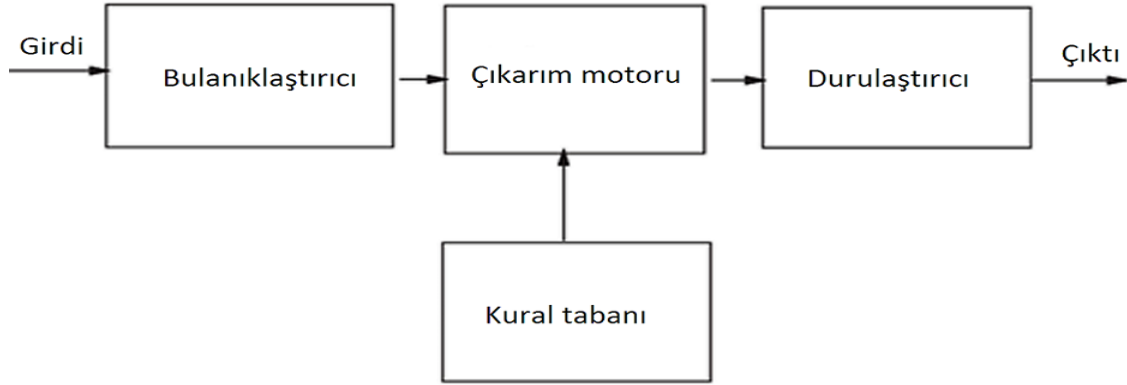
Titreşim miktarının tespiti için aşınma aralıklarında ve belirtilen frekans aralıklarında ivme dalgalarının genliği ölçülmüştür.

2.2. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Bulanık mantık kavramı ilk kez, 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Zadeh'in bu konu üzerinde ilk makalelerinin yayınlamasıyla duyulmuştur [21]. O tarihten sonra önemi gittikçe artarak günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanabilir. Bulanık mantık kavramı, insanların kesin olmayan ifadelerle düşünme yeteneğiyle örtüşen mantık sistemidir. Başka bir deyişle, bulanık mantık soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, yüksek-alçak gibi ikili değişkenlerden oluşan keskin yorumu, az soğuk-az sıcak, az hızlı-az yavaş, az yüksek-az alçak gibi esnek niteleyicilerle gerçek dünyaya dönüştürme aracı olarak dikkate alınır [21, 22].

2.2.1. Bulanık çıkarım sistemi (Fuzzy inference system)

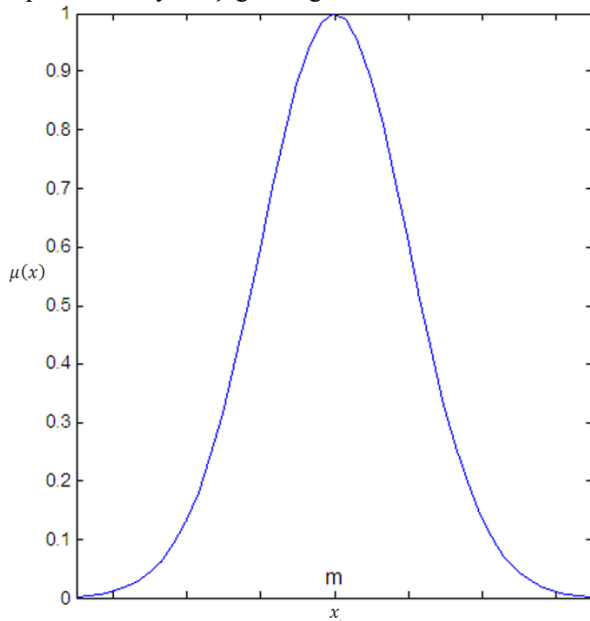
Bulanık çıkarım, bulanık mantık kullanarak girdilerden çıktı elde etme işlemidir. Bulanık çıkarım bulanık üyelik fonksiyonlarının, üyelik değerlerinin, IF-THEN kurallarının, bulanık mantık operatörlerinin kullanıldığı bir yapılaşma sürecidir. Genelde, Mamdani ve Sugeno olarak adlandırılan, iki tür çıkarım metodu kullanılmaktadır ve sonuç belirleme işleminde kısmen birbirlerinden farklı olur. Bu çalışma kapsamında da dikkate alınan Mamdani çıkarım metodu literatürde de tercih edilen metod olmuştur [23]. Bulanık çıkarım sistemi, genel itibarıyla Şekil 5'te gösterildiği gibi dört kategoriden oluşmaktadır. Bunlar; bulanıklaştırma, çıkarım motoru, kural tabanı ve durulaştırma olarak ifade edilmektedir



Şekil 5. Bulanık çıkarım sisteminin genel modeli (General model of fuzzy inference system)

2.2.2. Bulanık mantık modellemesi (Fuzzy logic modeling)

Bir bulanık mantık modeli oluşturmak için, yukarıda alt başlıklarda verilen bütün adımların sırasıyla atılması gerekmektedir. Çalışmada girdi ve çıktı verilerinin durulaştırılması için, MATLAB paketinde bulunan bütün üyelik fonksiyonları denenmiştir ve çalışmanın amacına en uygunu seçilmiştir. Diğerlerine nazaran Gauss üyelik fonksiyonu en güvenilir sonucu vermiştir. Gauss esaslı üyelik fonksiyonu, Şekil 6'da görüldüğü gibi x ekseninde bir merkezi m miktarıyla ve $k > 0$ bir standart sapma miktarıyla, aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.



Şekil 6. Gauss üyelik fonksiyonu (Gaussian membership function)

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-m)^2}{2k^2}} \quad (2)$$

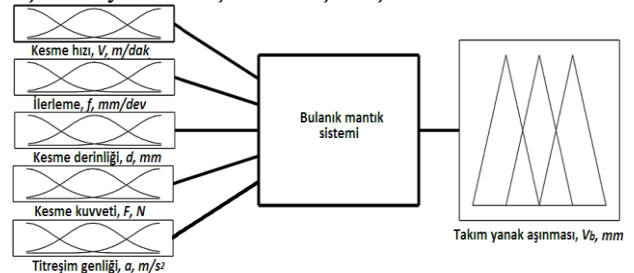
Girdi ve çıktı değişkenleri için seçilen bulanık kümeleri göz önüne alınacak şekilde, birkaç örnek kural aşağıda verilmiştir

- If ilerleme is f_1 and kesme derinliği is d_1 and kesme hızı is V_1 and bileşke kesme kuvveti is F_1 and titreşim genliği is a_1 then takım aşınması is V_{b1}
- If ilerleme is f_2 and kesme derinliği is d_2 and kesme hızı is V_2 and kesme kuvveti is F_2 and titreşim genliği is a_2 then takım aşınması is V_{b2}
- If ilerleme is f_3 and kesme derinliği is d_3 and kesme hızı is V_3 and kesme kuvveti is F_3 and titreşim genliği is a_3 then takım aşınması is V_{b3}

Tüm kurallar yazıldıktan sonra, bulanık mantık sisteminde sonuçlar elde edilmiştir.

2.2.3. Bulanık mantık tahmin sistemi (Fuzzy logic estimation system)

Bu çalışmada, MATLAB yazılımının bulanık mantık araç kutusu tahmin edici sistemin tasarımı için kullanılmıştır. Bulanık mantık sistemini kurmak için, kesme hızı (V), kesme derinliği (d), ilerleme (f), bileşke kesici kuvvet (F) ve titreşim genliği (a) girdi olarak ve takım aşınması çıktı olarak bulanık mantık sisteminin tasarlanmasında dikkate alınmıştır. MAMDANI metodunun bulanık sistem anlatımı Şekil 7'de verilmiştir. Kesme parametrelerinin sayısı üç ve her birisi üçer seviye olacak şekilde seçilmiştir.



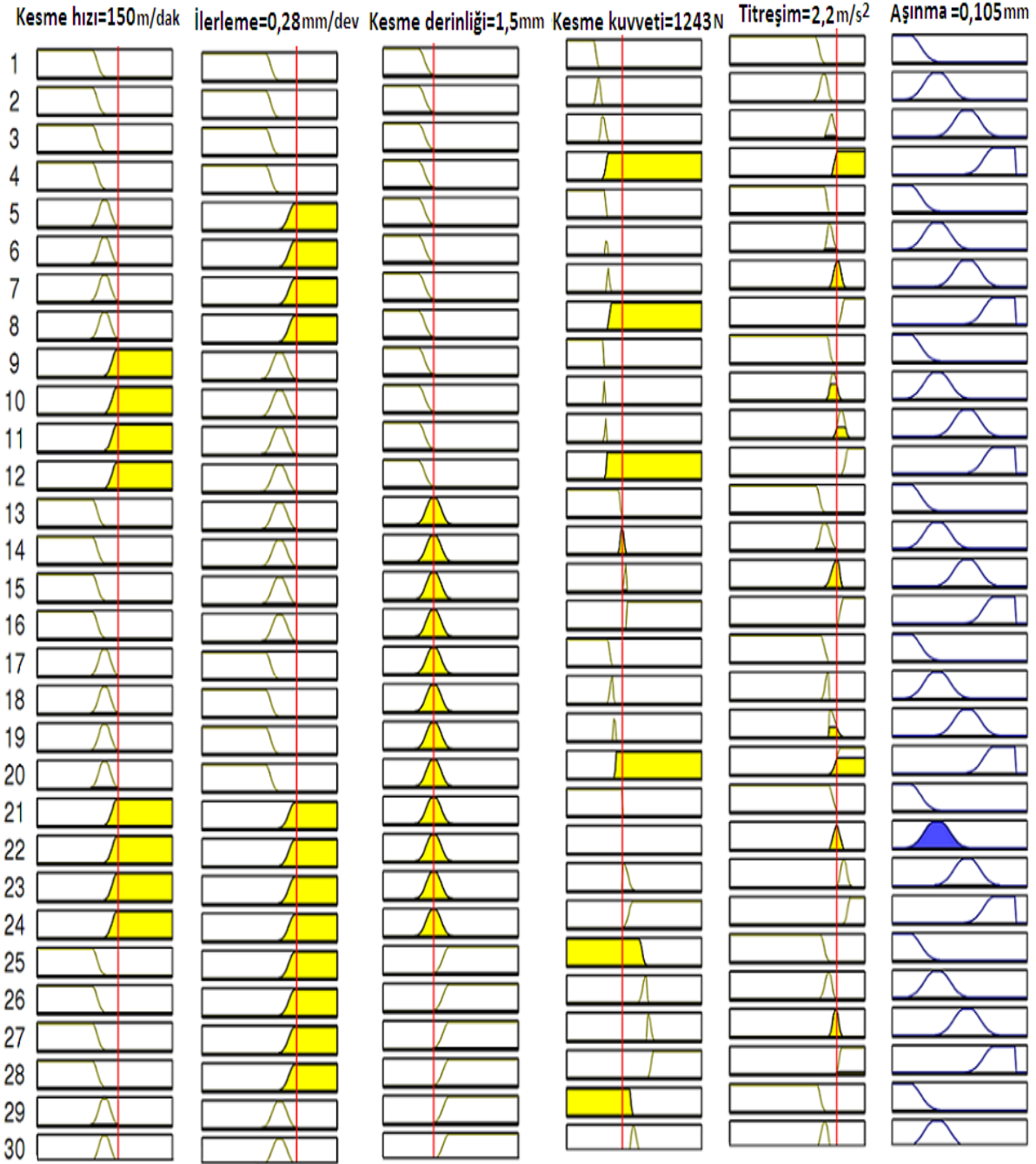
Şekil 7. Takım aşınmasının tahmini için tasarlanan bulanık mantık modeli (Fuzzy logic model designed for estimation of tool wear)

Tasarlanan sistemde, kesme parametrelerinin bulanıklaştırılması için, üç bulanık kümesi kullanılmıştır. Kesme kuvveti ve titreşim genliği için, deneylerin sayısına uygun olacak 36 bulanık kümesi seçilmiştir. Diğer taraftan, seçilen 0 - 0,1 - 0,2 ve 0,3 mm aşınma

aralıkları için dört bulanık kümesi kullanılmıştır. Deneylere göre, çıkarım motorunu oluşturmak için kurallar yazılmıştır. Bulanık mantık çıkarım sistemi Şekil 8'de görülmektedir. Girdi miktarları sisteme girildiğinde, takım aşınması tahmin edilmektedir. Bulanık sisteminin girdi bölümünde kesme parametrelerinin, kesme

koşullarda çalışacağını belirlemektedir. Bir başka ifadeyle, sabit kesme parametreleri seçildiğinde, talaş kaldırma süresince takım aşınması, kaynaklı kesme kuvveti ve titreşim değerleri artmaktadır.

Takım aşınma sürecinin izlenilmesi için, MATLAB programında bir simülasyon blok diyagramında



Şekil 8. Aşınma tahmini için bulanık mantık çıkarım sistemi (Fuzzy logic inference system for wear estimation)

kuvvetinin ve titreşim genliğinin değiştirildiğinde aşınma miktarının doğru değeri otomatik olarak değişir. Girdilerin arasında, aşınmayı tahmin etmek için kesme kuvveti ve titreşim genliği değişkenleri en etkin role sahiptirler. Kesme parametreleri ise, sistemin hangi

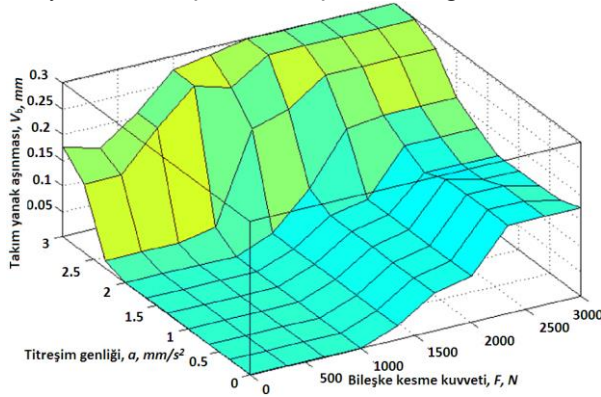
yapılmıştır. Bu blok diyagrama kesme parametreleri, algılayıcılardan alınan kesme kuvveti ve titreşim değerleri girdi olarak verilir ve aşınma miktarı anlık olarak tahmin edilir. Tüm deneyler için tahmin edilen takım yanak aşınması çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Ölçülen ve tahmin edilen takım yanak aşınması değerleri (Measured and estimated values of tool flank wear)

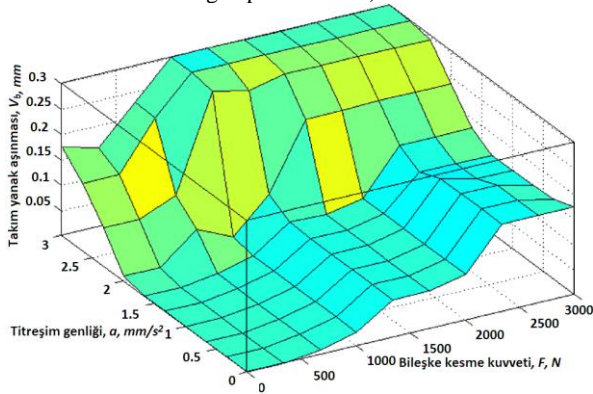
Deney Sayısı	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Kesme derinliği (mm)	Kesme kuvveti (N)	Ölçülen takım aşınması(mm)	Tahmin edilen takım aşınması (mm)
1	100	0,18	1	603,844	0	0,0069
2	100	0,18	1	716,766	0,1	0,0985
3	100	0,18	1	800,850	0,2	0,196
4	100	0,18	1	939,852	0,3	0,302
5	125	0,28	1	851,315	0	0,0027
6	125	0,28	1	889,973	0,1	0,103
7	125	0,28	1	909,612	0,2	0,2
8	125	0,28	1	992,299	0,3	0,298
9	150	0,23	1	828,004	0	0,0069
10	150	0,23	1	832,124	0,1	0,103
11	150	0,23	1	859,598	0,2	0,197
12	150	0,23	1	896,702	0,3	0,298
13	100	0,23	1,5	1149,429	0	0,0069
14	100	0,23	1,5	1230,629	0,1	0,103
15	100	0,23	1,5	1332,336	0,2	0,198
16	100	0,23	1,5	1346,939	0,3	0,299
17	125	0,18	1,5	902,575	0	0,0069
18	125	0,18	1,5	1019,993	0,1	0,104
19	125	0,18	1,5	1063,401	0,2	0,198
20	125	0,18	1,5	1108,774	0,3	0,298
21	150	0,28	1,5	1231,604	0	0,0025
22	150	0,28	1,5	1243,881	0,1	0,105
23	150	0,28	1,5	1257,394	0,2	0,202
24	150	0,28	1,5	1493,175	0,3	0,298
25	100	0,28	2	1598,163	0	0,0069
26	100	0,28	2	1771,536	0,1	0,103
27	100	0,28	2	1808,244	0,2	0,197
28	100	0,28	2	1941,211	0,3	0,298
29	125	0,23	2	1394,473	0	0,007
30	125	0,23	2	1471,303	0,1	0,103
31	125	0,23	2	1643,882	0,2	0,197
32	125	0,23	2	1853,714	0,3	0,298
33	150	0,18	2	1176,293	0	0,0025
34	150	0,18	2	1265,147	0,1	0,103
35	150	0,18	2	1374,902	0,2	0,202
36	150	0,18	2	1462,103	0,3	0,298

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Takım aşınmasının anlık olarak tahmini için, bir bulanık mantık sistemi tasarlanmıştır. Bu çalışmanın amacı, titreşim ve kesme kuvveti değişkenlerini kullanarak anlık olarak takım aşınmasının izlenmesini ve tahminini sağlayan bir bulanık sistemin uygulamasıdır. Takım aşınmasının, kesme kuvvetinin ve titreşim genliğinin ilişkileri 3 boyutlu olarak Şekil 9'da verilmiştir. Ayrıca farklı kesme parametrelerine ait olan takım aşınmasının yüzey modeli, titreşim genliği ve kesme kuvvetine bağlı 3 boyutlu olarak, Şekil 10 ve Şekil 11'de görülmektedir.

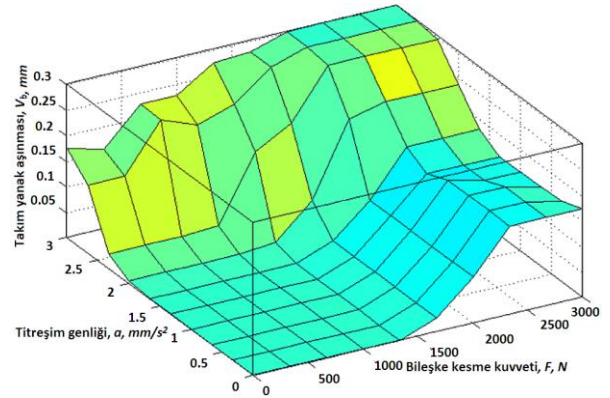


Şekil 9. Takım aşınması, kesme kuvveti ve titreşim arasında oluşan ilişki; kesme hızı: 150 m/dak, ilerleme: 0,28 mm/dev ve kesme derinliği: 1,5 mm. (The relation between tool wear, shear force and vibration; cutting speed: 150 m/min, feed rate: 0.28 mm/rev and cutting depth: 1.5 mm.)



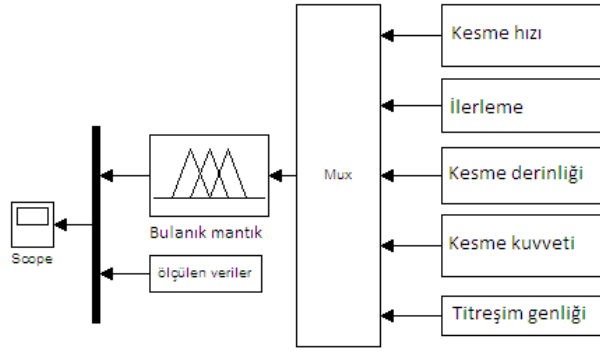
Şekil 10. Takım aşınması, kesme kuvveti ve titreşimin arasında oluşan ilişki; kesme hızı: 100 m/dak, ilerleme: 0,18 mm/dev ve kesme derinliği: 1 mm. (The relation between tool wear, shear force and vibration; cutting speed: 100 m/min, feed rate: 0.18 mm/rev and cutting depth: 1 mm.)

Şekillerde görüldüğü gibi, talaş kaldırma sürecinde takım aşınma ve kesme kuvveti arasında hızlı bir gelişme gözükmemektedir. Aynı zamanda takım aşınması arttığında, titreşim genliği değerleri artmaktadır. Ayrıca, yeni ve aşınmış uç arasında, kesme kuvveti yaklaşık %70 farklılık göstermiştir. Bu nedenle takım aşınmasının tahmini için kesme kuvveti en etkin değişkendir. Şekil

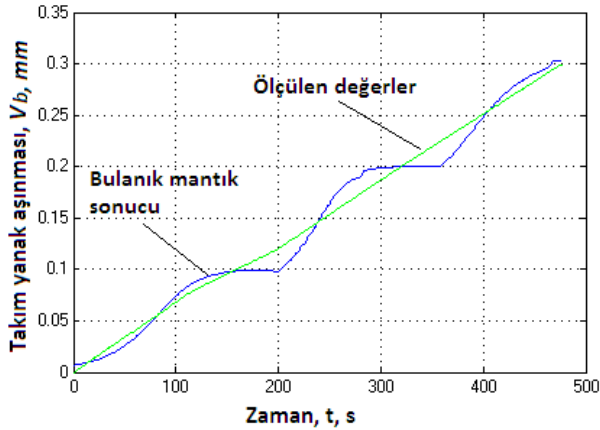


Şekil 11. Takım aşınması, kesme kuvveti ve titreşimin arasında oluşan ilişki; kesme hızı: 125 m/dak, ilerleme: 0,23 mm/dev ve kesme derinliği: 2 mm. (The relation between tool wear, shear force and vibration; cutting speed: 125 m/min, feed rate: 0.23 mm/rev and cutting depth: 2 mm.)

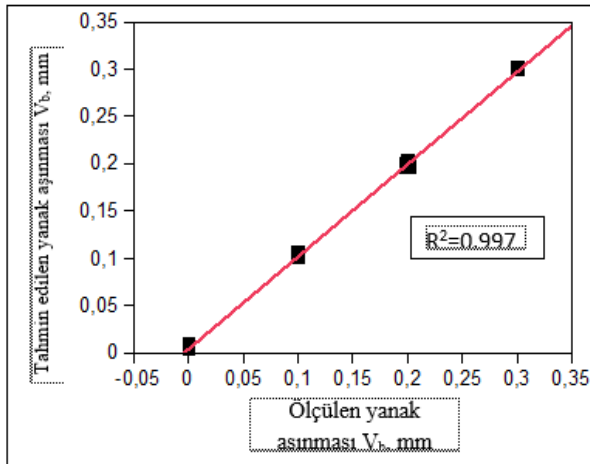
9'da görüldüğü gibi, talaş kaldırma işlemine başlanmadan önce takım aşınması sıfır olarak belirlenmiştir. Talaş kaldırma işlemi sürecinde kesme kuvveti artmakta ve aynı zamanda takım aşınmaya devam etmektedir. Aşınma miktarı 0,3 mm olduğunda, takım aşınmış ve ömrü tükenmiş kabul edilmiştir. Dolayısıyla yanak aşınma miktarı 0,3 mm olduğunda takımın değişmesi gerekir ve kesme işlemi durdurulur, ancak kesme işlemi durdurulmazsa bulanık sistemi yanak aşınma değerini sabit 0,3 mm olarak göstermeye devam edecektir. Aynı durum Şekil 10 ve Şekil 11'de görülmektedir. Bu sistemde, kesme parametrelerinin en önemli rolleri, sadece yeni bir takım için kesme kuvveti ve titreşim genliği miktarlarının değişmesidir. Ancak, talaş kaldırma süresinde takım aşınmaya başladığında bu sabit kesme parametrelerinin etkisi düşmektedir. Bundan dolayı takım aşınmasının tahmini ve izlenmesi, dinamometre ve titreşim ölçerinin kullanılmasıyla gerçekleşir. Ancak, kesme kuvvetinin etkisi titreşime göre daha güvenilir bulunmuştur. Talaş kaldırma süresinde, başka ses ve gürültülerden bağımsız olarak titreşim ölçmenin zorluğu, sinyallerin güvenilir bir şekilde ölçülmesi gerekliliğini zayıflatmaktadır. Aşınmanın izleme boyunca güvenilir verilere dayalı olması gerekli bulunmaktadır. Şekil 12'de, tasarlanan simülasyon sistemi kullanılarak belli bir kesme parametreleri için ölçülen ve tahmin edilen aşınma miktarlarının simülasyonu yapılmıştır. Şekil 13'te, simülasyondan alınan takım aşınma miktarlarının ve ölçülen miktarların zaman boyunca değişimi görülmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi, bulanık mantıktan alınan sonuçlar, yüksek doğrulukla ölçülen sonuçlarla örtüşmektedir. Ayrıca, bütün veriler için, bulanık mantıktan alınan sonuçlar, ölçülen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Şekil 14'te görüldüğü gibi bu karşılaştırma sonucunun göstergesi olan R^2 değeri 0,997 olarak elde edilmiştir.



Şekil 12. Takım aşınması tahmin sisteminin simülasyonu (Simulation of tool wear estimation system)



Şekil 13. Talaş kaldırma sürecince takım aşınmasının karşılaştırılması; kesme hızı: 100 m/dak, ilerleme: 0,18 mm/dev ve kesme derinliği: 1 mm. (Comparison of tool wear during chip removal; cutting speed: 100 m/min, feed rate: 0.18 mm/rev and cutting depth: 1 mm)



Şekil 14. Bulanık mantıkla tahmin edilen ve ölçülen takım aşınmalarının karşılaştırılması (Comparison of estimated and measured tool abrasions with fuzzy logic)

Önerilen yöntemin en önemli olumlu yönü, belli bir deney sayısı için tahmin sistemi kurmanın bulanık

mantık yöntemiyle kolay ve pratik olmasıdır. Bu yöntem CNC makinelerinde üretim yapan tüm işletmelerde kesen-kesilen çiftine dayalı veri tabanı oluşturmak için son derece hızlı ve kolay uygulandığı bulunmuştur. Diğer taraftan statiksel yöntemlerle veya yapay sinir ağlarıyla takım aşınmasının izlenme ve tahmin prosedürü, bulanık mantık yöntemi ile mukayese edildiğinde de son derece az parametre sayısı ile güvenilir sonuçların elde edileceğini ortaya koymuştur ($R^2=0.997$). Titreşim ölçer veya dinamometre gibi algılayıcılar kullanılarak, sürekli talaşlı imalat yapan birimlerin tarafından bu yöntemin gerçekleştirilmesi mümkün görülmektedir. Ayrıca, bulanık mantık üzerine yapılan tahmin sistemi, talaşlı imalat işlemlerinde adaptif kontrolün kullanılmasına da zemin hazırlar. Bulanık mantık metodunun adaptif kontrol üzerine uygulanması, bir sonraki araştırmanın önceliği olarak dikkate alınacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, 07/2012-23 kodu ile Gazi Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir. Destekten dolayı yazarlar G.Ü. B.A.P birimine teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Zhu Kumpeng, W., HongGeokSoon, "Wavelet analysis of sensor signals for tool condition monitoring: A review and some new results. ", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 49: 537–553, (2009).
- [2] Xiaoli Li, S. K. T., "Drill wear monitoring based on current signals", *Wear*. 231: 172–178, (1999).
- [3] Teti, R., Jemielniak, K., O'Donnell, G., *et al.*, "Advanced monitoring of machining operations", *Cirp Annals-Manufacturing Technology*. 59: 717-739, (2010).
- [4] Jantunen, E., "A summary of methods applied to tool condition monitoring in Drilling", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 42: 997–1010, (2002).
- [5] Liang, S. Y., Hecker, R. L. and Landers, R. G., "Machining process monitoring and control: The state-of-the-art", *Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of the Asme*. 126: 297-310, (2004).
- [6] Niu, Y., Wong, Y. and Hong, G., "An intelligent sensor system approach for reliable tool flank wear recognition", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 14: 77-84, (1998).
- [7] Dong, J., Subrahmanyam, K. V. R., Wong, Y. S., *et al.*, "Bayesian-inference-based neural networks for tool wear estimation", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 30: 797-807, (2006).
- [8] U. Zuperl, F. C., J. Balic, "Intelligent cutting tool condition monitoring in milling", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 49: 477-486, (2011).
- [9] Ertekin, Y. M., Kwon, Y. and Tseng, T.-L., "Identification of common sensory features for the control of CNC milling operations under varying cutting conditions", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 43: 897-904, (2003).
- [10] Chen, S.-L. and Jen, Y. W., "Data fusion neural network for tool condition monitoring in CNC milling

- machining”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 40: 381-400, (2000).
- [11] Liu, Y.and Wang, C., “Neural network based adaptive control and optimization in the milling process”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 15: 791-795, (1999).
- [12] Yusuf, A., “In-process detection of tool breakages using time series monitoring of cutting forces”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 28: 157-172, (1988).
- [13] Zhang, J.and Chen, J., “The development of an in-process surface roughness adaptive control system in end milling operations”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 31: 877-887, (2007).
- [14] Benardos, P. G.and Vosniakos, G. C., “Prediction of surface roughness in CNC face milling using neural networks and Taguchi’s design of experiments”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 18: 343-354, (2002).
- [15] Azouzi, R.and Guillot, M., “On-line prediction of surface finish and dimensional deviation in turning using neural network based sensor fusion”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 37: 1201-1217, (1997).
- [16] El Ouafi, A., Guillot, M.andBedrouni, A., “Accuracy enhancement of multi-axis CNC machines through on-line neurocompensation”, *Journal of Intelligent Manufacturing*. 11: 535-545, (2000).
- [17] Byrne, G., Dornfeld, D.andDenkena, B., “Advancing Cutting Technology”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 52: 483-507, (2003).
- [18] Kilundu, B., Dehombreux, P.andChimentin, X., “Tool wear monitoring by machine learning techniques and singular spectrum analysis”, *Mechanical Systems and Signal Processing*. 25: 400-415, (2011).
- [19] Ding, F.and He, Z., “Cutting tool wear monitoring for reliability analysis using proportional hazards model”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 57: 565-574, (2011).
- [20] Noh, M.-S.and Hong, D., “Implementation of remote monitoring system for prediction of tool wear and failure using ART2”, *Journal of Central South University of Technology*. 18: 177-183, (2011).
- [21] Zadeh, L. A., “Fuzzy sets”, *Information and Control*. 338-353, (1965).
- [22] Amrita Sarkar, G. S. a. U. C. S., “APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN TRANSPORT PLANNING”, *International Journal on Soft Computing*. 3: 1-21, (2012).
- [23] Sharma, V., Sharma, S. K.andSharma, A., “Cutting tool wear estimation for turning”, *Journal of Intelligent Manufacturing*. 19: 99-108, (2008).