



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

316L Paslanmaz Çeliklerin Frezeleme İşlemindeki Yüzey Pürüzlülüğünün ANFIS ile Modellenmesi

Yusuf FEDAI^{a,*}, Ali ÜNÜVAR^b, Hediye Kırılı AKIN^a, Gökhan BAŞAR^a

^a Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: yusuffedai@osmaniye.edu.tr

ÖZET

Paslanmaz çelikler, mükemmel korozyon direnci, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesi, kolay şekillendirilebilmesi ve iyi estetik görünüme sahip olmasından dolayı birçok alanda kullanılabilen bir malzemedir. Bu çalışmada, 316L paslanmaz çeliğin yüzey pürüzlülüğü kesme parametrelerine bağlı olarak adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS) yaklaşımı kullanılarak bir model geliştirilmiştir. Kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve kesme genişliği seçilmiştir. Matlab 8.5 programının ANFIS editörü kullanılarak ANFIS modellemesi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen ANFIS modelinin tahmin sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında en büyük yüzde hata değerinin 9,58 ve ortalama yüzde hata değerinin 5,25 olduğu tespit edilmiştir. ANFIS modelinin korelasyon katsayısı 0,997 olarak bulunmuştur. Sonuçlar, ANFIS modelinin 316L paslanmaz çeliğin frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesinde etkin bir yöntem olabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: 316L paslanmaz çelik, ANFIS, Yüzey pürüzlülüğü, Frezeleme

ANFIS Modeling of Surface Roughness in Milling Operation of 316L Stainless Steels

ABSTRACT

Stainless steel is a material that can be used in many areas because it resists corrosion excellently, can be used at low and high temperatures, is easy to shape and has a pleasant aesthetic appearance. In this study, a model has been developed using the adaptive network based fuzzy logic inference system (ANFIS) approach based on the surface roughness cutting parameters of 316L stainless steel. Cutting speed, feed, cutting depth and cutting width are selected as cutting parameters. ANFIS modeling was performed using the ANFIS editor of the Matlab 8.5 program. When the experimental values were compared with the predicted values of the developed ANFIS model, it was found that the maximum percentage error value was 9.58 and the average percentage error value was 5.25. The correlation coefficient of the ANFIS model was 0.997. The results showed that ANFIS can be an effective method for estimating surface roughness in 316L stainless steel milling process.

Keywords: 316L stainless steel, ANFIS, Surface roughness, Milling

I. GİRİŞ

Günümüzde birçok endüstri alanında özellikle havacılık, savunma ve otomotivde işlenmiş parçaların yüzey kalitesi ön plana çıkmaktadır. Uluslararası teknolojik rekabet şartları içerisinde firmalar bir yandan ürün kalitesini geliştirmek için uğraşırken diğer yandan artan kalitenin getirdiği maliyetlerle de rekabet edebilmek durumundadır. Malzemenin işlendiği CNC takım tezgahlarındaki gelişmeler bu sorulara cevap vermekle birlikte temelde işlenen parçaların kalitesi pek çok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Frezeleme işleminde de optimum kesme parametrelerinin seçimi bu faktörlerden birisidir. Malzeme kalitesini belirleyen en önemli göstergelerden birisi de yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek ve ilerleme veya kesme hızı vb. işleme parametrelerinin uyumunu değerlendirmek ürün kalitesini yükseltir ve istenilen yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesini sağlar. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili çalışmalar 20. Yüzyılın ikinci çeyreğine kadar gitmektedir. Yüksek yüzey kalitesi için gerekli kesme parametreleri bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte matematiksel modeller ile belirlenmeye başlanmıştır [1].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, özellikle son yıllarda ANFIS kullanılarak yapılan çalışmaların sayısında bir artış görülmüştür. [2]. Çelik ve Kıvak, 17-4 PH çeliğin TiAlN-AlCrO kaplamalı sementit karbür ile minimum miktarda yağlama kullanılarak tornalanmasında kesme hızı, debi ve kesme yağı cinsinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Taguchi metodu kullanarak optimum kesme parametrelerini belirlemişlerdir. Sonuçlar, yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin kesme yağı cinsi olduğunu göstermiştir [3]. Kayır vd. 316Ti paslanmaz çeliğin TiCN-Al₂O₃-TiN kaplamalı karbür ile tornalanmasında, kesici uç formu, kesici uç yarıçapı, kesme hızı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülük üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Optimum kesme parametreleri, Taguchi metodu kullanılarak belirlenmiştir. Varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülük üzerinde en etkili faktörlerin ilerleme % 75,97 ve kesici uç yarıçapı % 13,26 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, uç yarıçapı küçük olan kesicilerin daha çok aşındığı tespit edilmiştir [4]. Kara vd. AISI 4140 ıslah çeliğinin tornalanmasında, kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerine etkilerini Taguchi metodunu kullanarak optimize etmişlerdir. ANOVA sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerine etki eden en önemli parametrenin ilerleme hızı olduğu belirlenmiştir [5]. Shivakoti vd. 202 paslanmaz çeliğin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma oranı için tahmini ANFIS modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirilen ANFIS modelleri, L₁₆ ortogonal dizine göre tasarlanmıştır. Ayrıca, kesme parametrelerinin etki oranlarını tespit etmek amacıyla ANOVA uygulamışlardır. ANOVA sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametre % 95,71 ile devir sayısı iken malzeme kaldırma oranına etki eden en önemli parametrenin % 53,33 ile kesme derinliği olduğu tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için geliştirilen modelinin korelasyon katsayısı 0,99 iken, malzeme kaldırma oranı için geliştirilen modelinin korelasyon katsayısı 0,94'dür. Sonuçlar, ANFIS modellerinin yüksek tahmin yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir [6]. Basmacı çalışmasında, 316L paslanmaz çeliğin tornalama işleminde; ilerleme, kesme derinliği ve soğutma sisteminin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerine etkisini araştırmıştır. ANOVA sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametre ilerleme iken, kesme kuvvetine etki eden en önemli parametrenin kesme derinliği olduğu belirlenmiştir [7]. Yıldırım çalışmasında, 316 paslanmaz çeliğin frezeleme işleminde, grafit parçacık takviyeli nano akışkan kullanarak yüzey pürüzlülüğünü ve kesme sıcaklığını Taguchi metodu ile optimize etmiştir. İşleme parametreleri olarak, işleme koşulu, yağ debisi ve püskürtme basıncı seçilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametre püskürtme basıncı iken, kesme kuvvetine etki eden en önemli parametrenin işleme koşulu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, regresyon analizi kullanılarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme

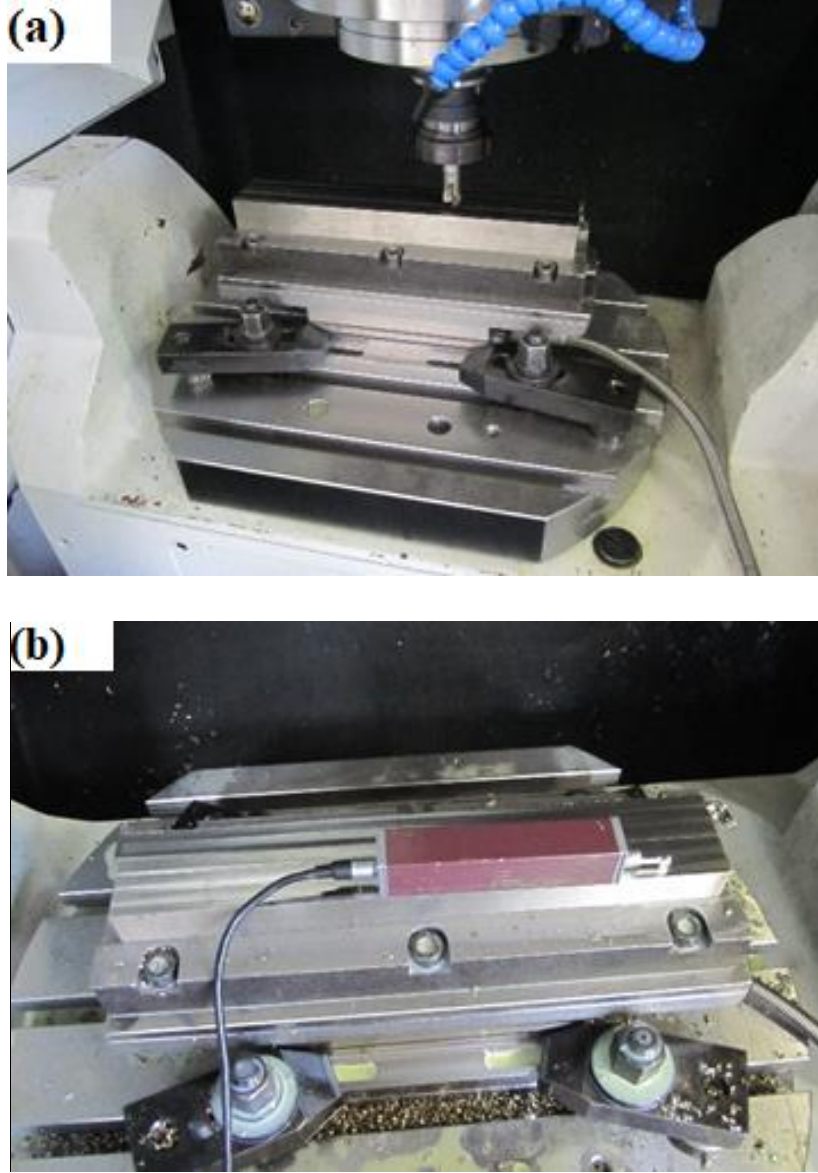
sıcaklığı için matematiksel denklemler elde etmiştir. Son olarak, doğrulama deneyleri ile gerçekleştirilen optimizasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini belirtmiştir [8]. Kara vd. 316L paslanmaz çeliğin tornalanması sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri için Yapay Sinir Ağları (YSA) ve çoklu regresyon analizini kullanarak tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Sonuçlar, YSA modelinin tahmin kabiliyetinin çoklu regresyon yönteminden daha üstün olduğunu göstermiştir [9]. Korkut vd. 304 östenitik paslanmaz çeliğinin sementit karbür kesici takım ile tornalanmasında, kesme hızının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, kesme hızının artmasına bağlı olarak takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığını göstermiştir [10]. Şirin vd. ısıtılmış işlem uygulanmış faklı sertliklere sahip AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin TiAl+Al₂O₃+ZrN kaplanmış sementit karbür ile frezelenmesinde kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına olan etkisini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre, en iyi yüzey kalitesi düşük ilerleme ve düşük kesme hızında elde edilmiştir. Yüksek ilerleme ve yüksek kesme hızında takım aşınmasının artmasına bağlı olarak yüzey kalitesinin kötüleştiğini tespit etmişlerdir [11]. Bahçeci ve Özer, 303 östenitik ve 410 martensitik paslanmaz çeliklerin TiC kaplı sementit karbür ile tornalanmasında, kesme parametrelerini sabit tutarak kesme kuvvetlerini, talaş formunu ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir [12]. Kara vd. 316L paslanmaz çeliğin, üç farklı kesici takım tipi (kaplamasız, TiCN+Al₂O₃+TiN ve Al₂O₃ kaplamalı), beş farklı kesme hızı (75, 100, 150, 200 ve 250 m/dak) ve dört farklı ilerleme (0,05, 0,1, 0,2 ve 0,3 mm/dev) ile tornalama işleminde meydana gelen kesme kuvvetlerini incelemiştir. Tornalama işleminin simülasyonunu gerçekleştirmek için DEFORM 2D yazılımını kullanmışlardır. Kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçları yüksek oranda benzerlik göstermiştir. Nümerik kesme kuvvetleri ile nümerik kesme sıcaklıklarını tahmin edebilmek için bir YSA modeli geliştirmişlerdir. Sonuçlar, modelin deneysel kesme sıcaklığının tahmininde oldukça etkili olduğunu göstermiştir [13]. Tekaslan vd. 304 östenitik paslanmaz çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği) yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini araştırmışlardır [14]. Maher vd. (60/40) pirinç alaşımının CNC frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için ANFIS modeli geliştirmişlerdir. Devir sayısı, ilerleme hızı ve kesme derinliği değişken olarak belirlenmiştir. Geliştirilen ANFIS modelini doğrulamak için doğrulama deneyleri yapmışlardır. Tahmini yüzey pürüzlülük değerleri, deneysel verilerle karşılaştırılmış ve en büyük yüzde hata değeri 6,25 iken, ortalama yüzde hata değerinin 2,75 olduğu belirlenmiştir [15]. Hossain ve Ahmad, alüminyumun frezelenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini araştırmışlardır. Deney veri setini eğitim ve test olarak ayırmışlardır. Yüzey pürüzlülüğünün tahmini için eğitim veri seti ile farklı ANFIS modelleri oluşturmuşlardır. Test veri setini ANFIS modellerini doğrulamak için kullanmışlardır. Ayrıca test sonuçlarını regresyon, teorik denklem ve ANFIS modelinden elde ettikleri sonuçları ortalama yüzde hata bakımından karşılaştırarak sırasıyla 30, 43 ve 38 değerlerini elde etmişlerdir [16]. Asiltürk ve Çunkaş, 1040 çeliğinin tornalanmasında YSA ve çoklu regresyon metodu ile yüzey pürüzlülüğü tahmin etmek için model geliştirmişlerdir. Sonuçlar, YSA modelinin tahmin yeteneğinin çoklu regresyon metodundan daha üstün olduğunu göstermiştir [17].

Bu çalışmada, kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmini için ANFIS ile model oluşturulmuştur.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada gıda, kimya ve petrokimya endüstrisinde, buhar kazanlarında, deniz suyu teçhizatlarında, civata ve somunlarda yaygın olarak kullanılan 316L paslanmaz çeliği iş parçası

malzemesi olarak kullanılmıştır. Deneylerde 50x50x300 mm ebatlarında kare kesitli paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. İşleme sırasında titreşimin etkisini en aza indirmek için takım boyu mümkün olduğunca kısa tutulmuştur (Şekil 1 (a)). Freze çakısındaki kesici ağız sayısının artması, yüzey kalitesinin kötüleşmesine sebep olmaktadır [18]. Yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasındaki kararlılığı sağlamak amacıyla, PVD kaplamalı iki kesici ağız kullanılmıştır [19].



Şekil 1. (a) Deney düzeneği ve (b) Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü

Bu çalışmada, kesme parametreleri olarak; kesme hızı (v), ilerleme (f), kesme derinliği (A_p) ve kesme genişliği (A_e) seçilmiştir. Tablo 1’de kesme parametreleri ve seviyeleri verilmiştir. Kesme parametrelerinin sınır değerleri (en büyük-en küçük), kesici takım firmasından alınan görüşler doğrultusunda kataloglardan ve tecrübeler ışığında belirlenmiştir.

Tablo 1. Kesme parametreleri ve seviyeleri

Seviyeler	V (m/dk)	f (mm/diş)	Ap (mm)	Ae (mm)
+2	283	0,226	11,95	2,59
+1	200	0,16	10	1,5
0	141	0,113	8,37	0,866
-1	100	0,08	7	0,5
-2	71	0,028	2,92	0,144

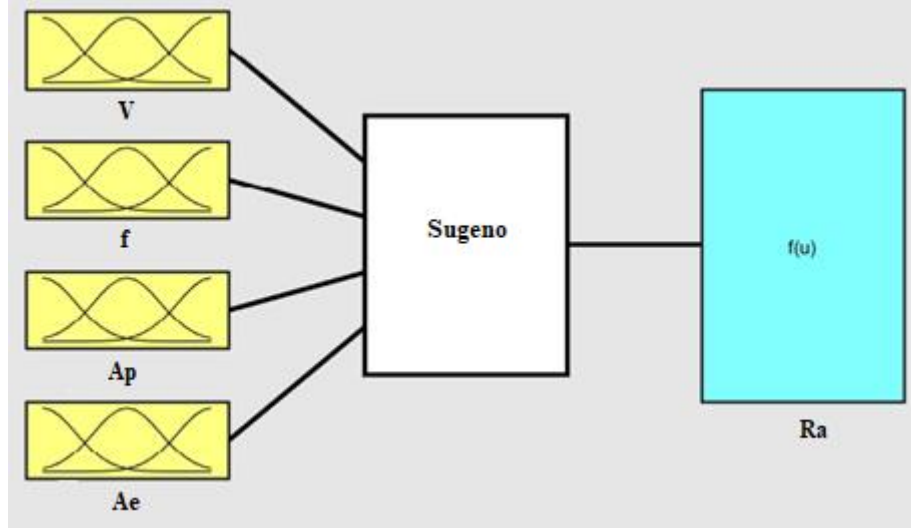
Elde edilen kesme parametreleri seviyelerine göre 25 deney ve 5 tekrardan oluşan bir deney tasarım planı çıkarılmıştır (Tablo 2). Deneylerde frezeleme işlemi, Mazak Variaxis 500-5X, 5 eksen CNC dik işleme tezgâhında yapılmıştır. 50 mm'lik yüzeyin işlenmesiyle bir paso oluşmuş ve her paso sonunda kesilen parçaların yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Ölçüm işlemi, parçanın 3x3 matris şeklinde 9 noktasından yapılarak ortalaması alınmıştır. Yapılan ölçümler Mitutoyo marka SurfTest SJ-301 Portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile yapılmıştır (Şekil 1 (b)).

Tablo 2. Deney tasarımı

Deney No	v	f	Ap	Ae	Deney No	v	f	Ap	Ae
1	100	0,08	0,5	10	14	200	0,08	1,5	7
2	200	0,08	0,5	10	15	100	0,16	1,5	7
3	100	0,16	0,5	10	16	200	0,16	1,5	7
4	200	0,16	0,5	10	17	71	0,113	0,866	8,37
5	100	0,08	1,5	10	18	283	0,113	0,866	8,37
6	200	0,08	1,5	10	19	141	0,028	0,866	8,37
7	100	0,16	1,5	10	20	141	0,226	0,866	8,37
8	200	0,16	1,5	10	21	141	0,113	0,144	8,37
9	100	0,08	0,5	7	22	141	0,113	2,59	8,37
10	200	0,08	0,5	7	23	141	0,113	0,866	2,92
11	100	0,16	0,5	7	24	141	0,113	0,866	11,95
12	200	0,16	0,5	7	25	141	0,113	0,866	8,37
13	100	0,08	1,5	7					

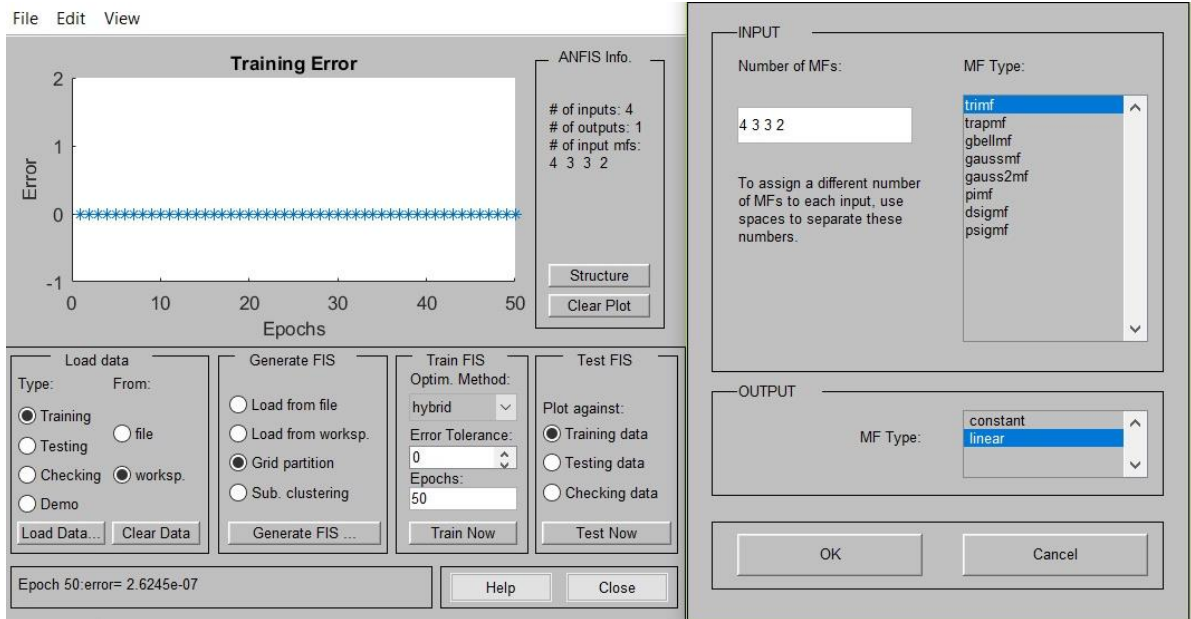
III. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan ANFIS modeli deneylerden elde edilen v, f, Ap, Ae kesme parametrelerini giriş olarak bu değerler için olabilecek yüzey pürüzlülük değerini ise çıkış olarak tahmin etmektedir. ANFIS yapısı Matlab programının altında çalışmaktadır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerin ANFIS modellemesi Matlab 8.5 programının ANFIS editörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğitim esnasında öğrenme algoritması, girdi çıktı fonksiyonları, üyelik değerleri gibi değişkenlerle en uygun tahmin değeri bulunmaya çalışılmaktadır. Oluşturulan ANFIS sisteminin amacı, sisteme verilen girdi parametrelerinden çıkarım yaparak “Ra” yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmektir (Şekil 2).



Şekil 2. Oluşturulan ANFIS modelinin yapısı

ANFIS ile kurulan modellerde, uygun üyelik fonksiyonunun ve sayılarının belirlenmesi sürecinde, her bir fonksiyon için hesaplanan eğitim verilerinin sonuçları incelenmiş, en düşük hata payını veren trimf üyelik fonksiyon tipi kullanılmıştır. Çıkış parametreleri için ise lineer ve sabit gibi tüm üyelik fonksiyon tipleri kullanılarak denemeler yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Fismat yapısının belirlenmesi ve giriş çıkış üyelik fonksiyonlarının seçimi

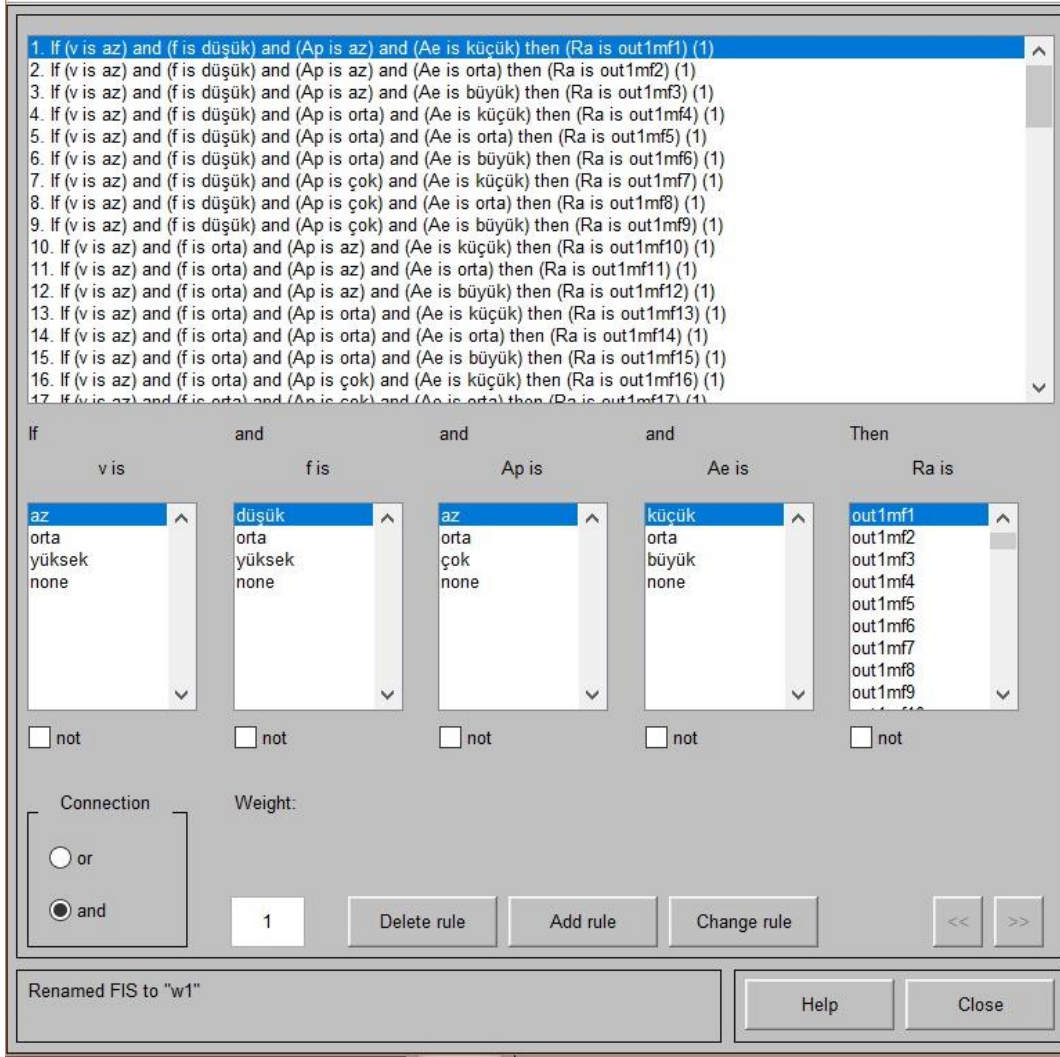
En uygun modeli oluşturabilmek için her bir değişken ANFIS parametreleri üzerinde ayarlamalar yapılır. Giriş üyelik fonksiyon tipi olarak fonksiyon çeşitlerinin tümü, Üyelik fonksiyon sayıları da 2-2-2-2'den 4-4-4-4'e kadar değiştirilerek kabul edilebilir sonuçlara ulaşıldığında elde edilen ANFIS mimarisi ve parametreleri Tablo 3'te verilmiştir. Çıkış fonksiyon tipi olarak constant ve lineer fonksiyonlarıyla Hybrid öğrenme optimizasyon metodu uygulanarak 50 epoch'ta ve sıfır hata toleransında eğitilmiştir. Çok sayıda yapılan eğitimler sonucunda RMSE (Ortalama karesel hatanın

karekökünün) performansına göre 4 3 3 2 üyelik fonksiyonlu, Trapezoidal giriş ve lineer fonksiyonuna sahip model en düşük değeri alarak modeli oluşturmuştur (Tablo 3).

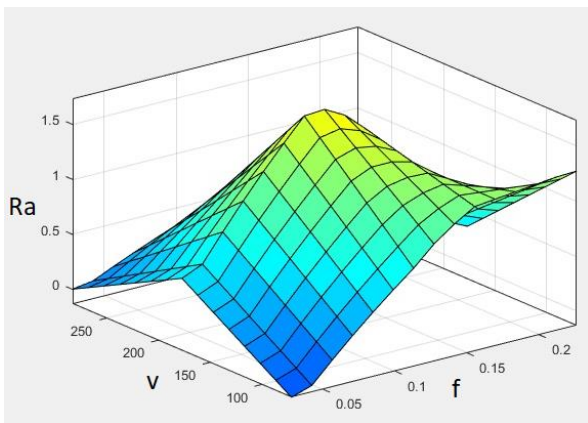
Tablo 3. Farklı ANFIS yapılarında üyelik fonksiyon tipi ve sayılarına göre eğitim hataları

Giriş Üyelik fonksiyonu	Çıkış Üyelik fonksiyonu	Üyelik yapısı ve Sayılarına göre eğitim hatası (RMSE)		
		Üyelik fonksiyonu	Hata RMSE	Test sonucu
Triangular-trimf	Constant	3 3 3 3	8×10^{-6}	0,781
	Lineer	3 3 3 3	$4,5 \times 10^{-7}$	0,88
Trapezoidal-Trapmf	Constant	3 3 3 3	$1,2 \times 10^{-3}$	0,85
	Lineer	3 3 3 3	$7,2 \times 10^{-6}$	0,644
Generalized bell-shaped-Gbellmf	Constant	3 3 3 3	3×10^{-6}	0,758
	Lineer	3 3 3 3	1×10^{-6}	0,742
Gaussian-Gaussmf	Constant	3 3 3 3	3×10^{-6}	0,715
	Lineer	3 3 3 3	1×10^{-6}	0,809
Gaussian combination – Gauss2mf	Constant	3 3 3 3	$4,6 \times 10^{-4}$	0,881
	Lineer	3 3 3 3	2×10^{-6}	0,553
Pi-shaped - pimf	Constant	3 3 3 3	$4,6 \times 10^{-3}$	0,644
	Lineer	3 3 3 3	1×10^{-6}	0,891
Difference between two sigmoidal-Dsigmf	Constant	3 3 3 3	$6,7 \times 10^{-4}$	0,667
	Lineer	3 3 3 3	2×10^{-6}	0,67
Product of two sigmoidal-Psigmf	Constant	3 3 3 3	$6,7 \times 10^{-6}$	0,89
	Lineer	3 3 3 3	2×10^{-6}	0,792
Triangular-trimf	Constant	4 4 4 4	3×10^{-6}	0,72
Triangular-trimf	Lineer	4 4 4 4	1×10^{-6}	1,3
Trapezoidal-Trapmf	Lineer	4 4 4 4	1×10^{-6}	0,278
Triangular-trimf	Lineer	2 3 4 2	$3,7 \times 10^{-6}$	0,59
Triangular-trimf	Lineer	4 3 3 2	$2,6 \times 10^{-7}$	0,52
Triangular-trimf	Lineer	4 3 3 4	$3,2 \times 10^{-6}$	0,665

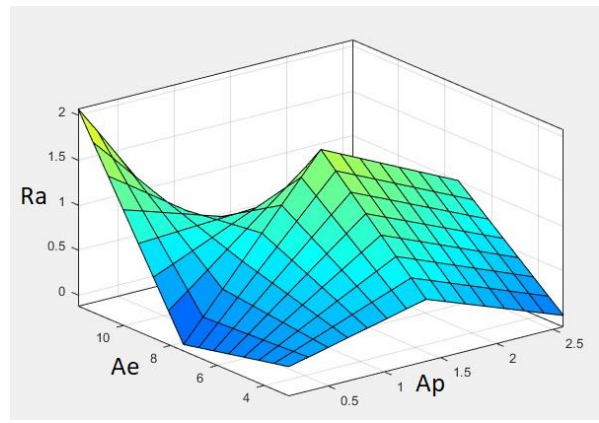
Eğitimler sonucu ANFIS, 175 düğüm sayısı, 360'ı lineer, 36'sı nonlineer olmak üzere 396 parametre ve 25 eğitim datası ile 72 kural oluşturmuştur. Bu kurallar kümesinden bazıları Şekil 4'de görülmektedir. Eğitim sonrasında yüzey pürüzlülüğü ile ilerleme, kesme derinliği ve kesme genişliği arasındaki ilişkileri gösteren 3D grafikler ise Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde, literatüre uygun olarak ilerleme değerinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmektedir. Ayrıca kesme derinliğinin artması yüzey pürüzlülüğünü de artırmıştır.



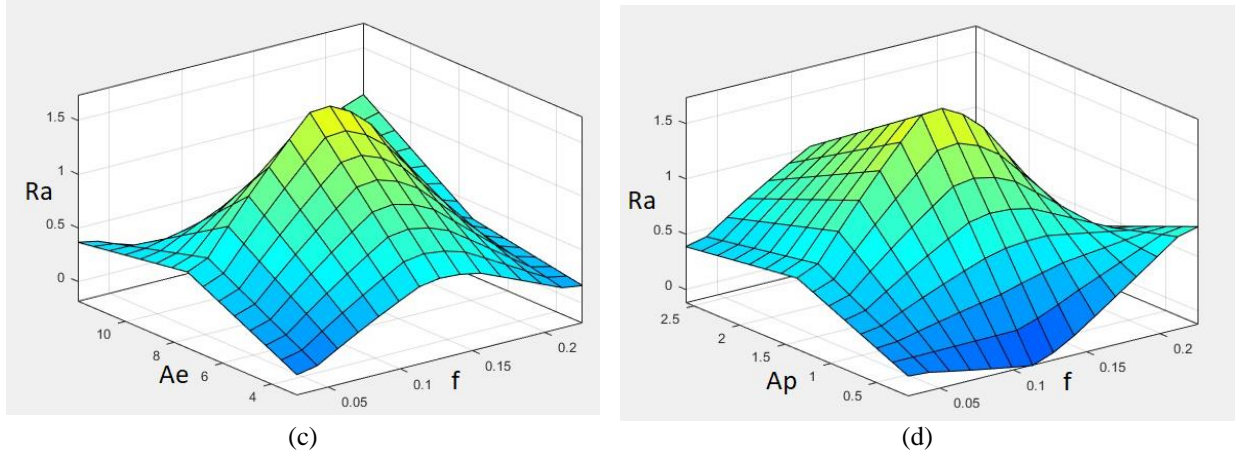
Şekil 4. ANFIS kurallar kümesi



(a)



(b)



Şekil 5. (a) Ra - v - f grafiği, (b) Ra - Ap - Ae grafiği, (c) Ra - Ae - f grafiği, (d) Ra - Ap - f grafiği

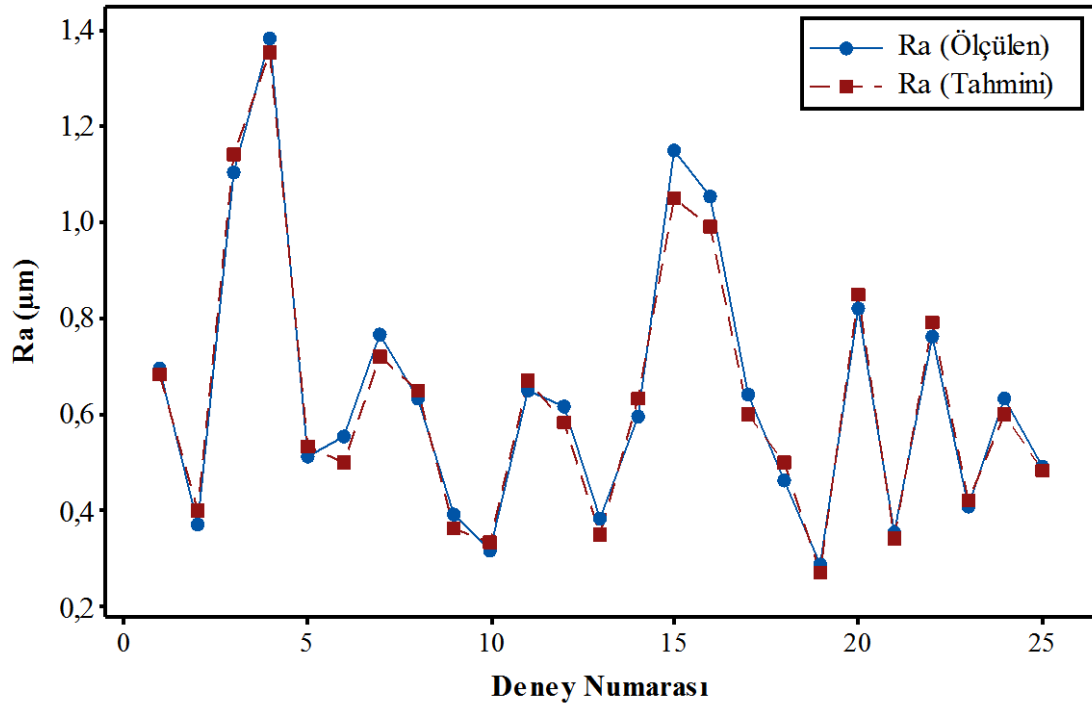
Geliştirilen ANFIS model sonuçları deneysel sonuçlara uygulandığında; yüzde hata oranı (absolute percentage error, APE), ortalama mutlak yüzde hata oranı (mean absolute percentage error, MAPE) ve belirlilik katsayısı (R^2) performans kriterleri olarak kullanılmıştır. Bu kriterler Eşitlik 1-3'te verilmiştir.

$$APE = \left| \frac{t_j - t_o}{t_j} \right| \times 100 \quad (1)$$

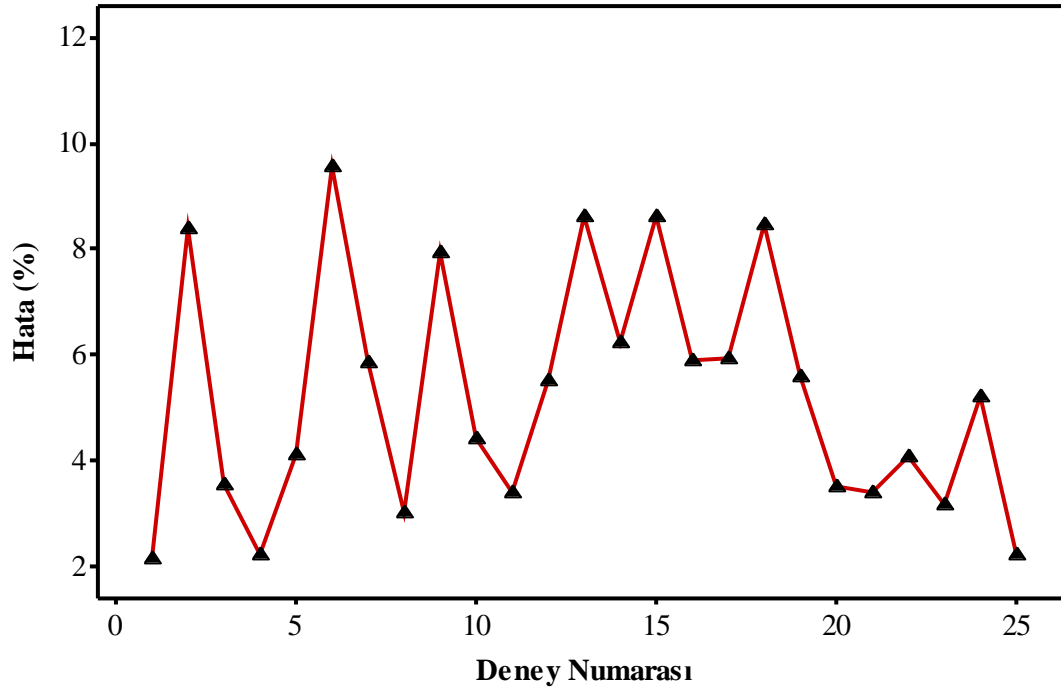
$$MAPE = \frac{1}{p} \sum_i \left| \frac{t_i - t_o}{t_i} \right| \times 100 \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_i (t_i - o_i)^2}{\sum_i o_i^2} \right) \quad (3)$$

Burada, p , t_i ve o_i sırasıyla deney sayısını, deney sonucu elde edilen çıktı değerini ve ANFIS sonucu bulunan çıktı değerini göstermektedir. Modelin performans kriterlerinden APE ve MAPE'nin mümkün olduğunca sıfıra yakın olması arzu edilir. R^2 , deney sonuçları ile matematiksel model sonuçları arasındaki uyumu belirten bir katsayıdır. R^2 değeri 1'e yaklaştıkça geliştirilen modelin başarı oranı yükselmektedir [17]. Geliştirilen ANFIS modelde sırasıyla; en büyük APE değeri 9,58, en küçük APE değeri 2,16, MAPE değeri 5,25 ve R^2 değeri 0,997 elde edilmiştir. Özellikle, R^2 değeri modelin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Deneysel olarak ölçülen ve modelden elde edilen tahmini yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 6'da, mutlak yüzde hata oranları ise Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Ölçülen ve Tahmini yüzey pürüzlülük değerleri



Şekil 7. Deneylerin mutlak yüzde hata oranları

IV. SONUÇ

Ürünün yüzey kalitesi, imalat endüstrisinde malzemenin kullanılabilirliğini ve maliyetlerini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Bu sebeple, imalat aşamasından önce en uygun yüzey pürüzlülüğü değerlerini belirlemek için yapay zekâ teknikleri kullanılarak modeller geliştirilmektedir. Bu çalışmada, kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi incelemek için bir seri deneyler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılarak, ANFIS ile yüzey pürüzlülüğünü tahmin eden bir model geliştirilmiştir. Modeli belirlemek için lineer ve sabit tüm üyelik fonksiyon tipleri kullanılarak bir dizi denemelerle en düşük hata payını veren model belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre;

- i. En iyi tahmin eden ANFIS mimari yapısı sırasıyla; 4 3 3 2 üyelik sayısı, triangular Lineer üyelik fonksiyonu ve $2,6 \times 10^{-7}$ RMSE ile oluşturulmuştur.
- ii. 3D grafikler incelendiğinde; genel olarak ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülük değerinin arttığı ve kesme derinliğinin artmasıyla da yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir.
- iii. ANFIS tahmini ve deneysel sonuçlar arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelendiğinde; en büyük APE değeri 9,58, en küçük APE değeri 2,16, MAPE değeri 5,25 ve R^2 değeri 0,997 olarak belirlenmiştir.
- iv. İstatistiksel sonuçlardan geliştirilen ANFIS modelinin yüksek doğrulukta tahmin edebilme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.
- v. ANFIS ile oluşturulan model sayesinde, deney için harcanan zaman ve maliyet azaltılarak yüzey pürüzlülüğü iyi bir şekilde tahmin edilebilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Dere ve İ. H. Filiz, “Experimental investigation of the effects of workpiece diameter and overhang length on the surface roughness in turning of free machining steel and modelling of surface roughness by using ANFIS,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2018.
- [2] Y. Fedai ve A. Ünüvar, “Frezelemede optimum kesme parametrelerini belirlemek için yapay zeka sistemlerinden oluşan adaptif bir sanal operatörün geliştirilmesi,” *5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Bursa, Türkiye, 2014, ss. 129-143.
- [3] E. Çelik ve T. Kıvak, “17-4 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında minimum miktarda yağlamanın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri,” *7. Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2016, ss. 214-221.
- [4] Y. Kayır, S. Aslan ve A. Aytürk, “AISI 316Ti paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesici uç etkisinin Taguchi yöntemi ile analizi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 28, s. 2, ss. 363-372, 2013.

- [5] F. Kara, O. Özbek, M. Kam and H. Saruhan, "Optimization by Taguchi method of surface roughness and vibration in turning of AISI 4140 steel," *II. International Academic Research Congress - (INES 2017)*, Antalya, Türkiye, 2017, pp. 1132-1140.
- [6] I. Shivakoti, G. Kibria, P. M. Pradhan, B. B. Pradhan and A. Sharma, "ANFIS based prediction and parametric analysis during turning operation of stainless steel 202," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 34, no. 1, pp. 112-121, 2019.
- [7] G. Basmacı, "Optimization of machining parameters for the turning process of AISI 316 L stainless steel and Taguchi design," *Acta Physica Polonica A*, vol. 134, no. 1, pp. 260-264, 2018.
- [8] Ç. V. Yıldırım, "Grafit parçacık takviyeli nano akışkan kullanılarak AISI 316'nın frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığının optimizasyonu," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 326-341, 2019.
- [9] F. Kara, K. Aslantas and A. Çiçek, "ANN and multiple regression method-based modelling of cutting forces in orthogonal machining of AISI 316L stainless steel," *Neural Computing and Applications*, vol. 26, no. 1, pp. 237-250, 2015.
- [10] I. Korkut, M. Kasap, I. Ciftci and U. Seker, "Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel," *Materials and Design*, vol. 25, no. 4, pp. 303-305, 2004.
- [11] E. Şirin, Y. Turgut ve İ. Korkut, "Farklı sertlikteki AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezeleme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkisi," *Politeknik Dergisi*, c. 15, s. 1, ss. 9-14, 2012.
- [12] E. Bahçeci ve A. Özer, "TiC kaplamalı takımla işlenen AISI 303 ve AISI 410 paslanmaz çeliklerin işlenebilirlik özelliklerinin değerlendirilmesi," *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 15, s. 3, ss. 45-52, 2013.
- [13] F. Kara, K. Aslantaş and A. Çiçek, "Prediction of cutting temperature in orthogonal machining of AISI 316L using artificial neural network," *Applied Soft Computing*, vol. 38, pp. 64-74, 2016.
- [14] Ö. Tekaslan, N. Gerger ve U. Şeker, "AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması," *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 10, s. 2, ss. 3-12, 2016.
- [15] I. Maher, M. E. H. Eltaib, A. A. Sarhan and R. M. El-Zahry, "Investigation of the effect of machining parameters on the surface quality of machined brass (60/40) in CNC end milling—ANFIS modeling," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 74 (1-4), pp. 531-537, 2014.
- [16] M. S. J. Hossain and N. Ahmad, "A neuro-fuzzy approach to select cutting parameters for commercial die manufacturing," *Procedia Engineering*, vol. 90, pp. 753-759, 2014.

[17] İ. Asiltürk and M Çunkaş, “Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method,” *Expert systems with applications*, vol. 38, no. 5, pp. 5826-5832, 2011.

[18] H. Dilipak ve A. Gezgin, “AISI D3 çeliğinin frezelenmesinde, kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin araştırılması,” *Politeknik Dergisi*, c. 13, s. 1, ss. 29-32, 2010.

[19] Y. Fedai, “Frezeleme işlemlerinde sanal zeki adaptif kontrol sisteminin geliştirilmesi”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2016.