



## MODELING WITH ANFIS OF SURFACE ROUGHNESS USING MINIMUM QUANTITY LUBRICATION TECHNIQUE IN MILLING PROCESS

Ömer Asal<sup>\*1</sup>, Hakan Dilipak<sup>1</sup>, Ayşegül Yalçınkaya<sup>1</sup>, Şeymanur Ünal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

### Abstract

Original scientific paper

Methods such as fuzzy logic and artificial neural networks have been used frequently recently in modeling. In this study, mathematical models for estimating surface roughness were created in surface milling processes using artificial intelligence techniques. Within the scope of the study, 1.2738 mold steel was used as workpiece material. The experiments were carried out under dry cutting conditions and using a minimum quantity lubrication technique. As cutting parameters, the cutting speeds and the feed rates are selected. In experiments; 80 mm/min, 130 mm/min, 180 mm/min values, 3 different cutting speeds and 0.5 mm/teeth, 0.8 mm/teeth and 1mm/teeth 3 different feed rates were used. A total of 27 experiments have been conducted and the results of the experiments were modelled using the MATLAB program and the effect of the minimum quantity lubrication (MMY) technique on surface roughness using an adaptive network-based fuzzy logic inference system (ANFIS) approach. At the same time, the mathematical model was created by performing regression analysis in MINITAB. The results obtained by ANFIS and regression analysis were compared. As a result, the ANFIS model provided 100% accuracy, while the regression model achieved 71% accuracy.

**Keywords:** ANFIS, 1.2738 mold steel, surface roughness, milling, minimum quantity lubrication (MQL), regression analysis.

## MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA TEKNİĞİ İLE FREZELEME İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ANFIS İLE MODELLENMESİ

### Özet

Orjinal bilimsel makale

Bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi yöntemler model oluşturmada son zamanlarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada yapay zeka teknikleri kullanılarak yüzey frezeleme işlemlerinde, yüzey pürüzlülüğünün tahminine yönelik matematiksel modeller oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında iş parçası malzemesi olarak 1.2738 kalıp çeliği kullanılmıştır. Deneyler kuru kesme şartlarında ve minimum miktarda yağlama tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesme parametreleri olarak, kesme hızı ve ilerleme seçilmiştir. Deneylerde; 80 mm/dak, 130 mm/dak, 180 mm/dak değerlerinde 3 farklı kesme hızı ve 0,5 mm/diş, 0,8 mm/diş, 1 mm/diş olmak üzere 3 farklı ilerleme miktarı kullanılmıştır. Toplam 27 adet deney yapılmış olup deney sonuçları MATLAB programı kullanılarak, minimum miktarda yağlama (MMY) tekniğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS) yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir. Aynı zamanda MİNİTAB' da regresyon analizi yapılarak matematiksel model oluşturulmuştur. ANFIS ve regresyon analizi ile elde edilen sonuçlar mukayese edilmiştir. Sonuç olarak ANFIS modeli %100 doğruluk sağlarken, regresyon modeli %71 oranında bir doğruluk sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** ANFIS, DIN 1.2738, frezeleme, minimum miktarda yağlama, regresyon analizi.

### 1 Giriş

Talaşlı üretim, otomotiv, havacılık, savunma ve diğer sektörlerde yıllarca kullanılmış ve günümüzde de etkisini arttırarak sürdürmektedir. Günümüzün teknolojik şartları bu sektörlerde işlenen parçaların yüzey kalitesinin ön plana çıkmasını sağlamaktadır. İşlenen parçaların kalitesi pek çok ölçüte bağlı olarak değişmektedir. Bu ölçütlerden önemli bir tanesi yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğünün iyi olması kullanılan takımlara,

malzemenin özelliğine, ilerleme, kesme hızı, soğutma sıvısı, vb. parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili çalışmalar 1900'lü yıllarda yapılmaya başlanmış ve günümüzde de devam etmektedir. Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle, veriler üzerinde istatistiksel çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu sayede istenilen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için belirlenen parametrelerin etki oranları belirlenirken, oluşturulan matematiksel

\* Corresponding author.

E-mail address: rtas@bartin.edu.tr (R.Tas)

Received 14 June 2021; Received in revised form 19 October 2021; Accepted 04 November 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.952306>

modellerle sonucun tahmin edilmesi de mümkün olmaktadır [1, 2].

Deneylerde kullanılan 1.2738 kalıp çeliği malzemesi homojen sertlik dağılımı, parlaklık, kolay kaynak edilebilirlik özelliklerine sahiptir. Kullanım alanlarını; arabaların tampon kalıpları, büyük gövdeli parçaların kalıpları, plastiklerin enjeksiyon, ekstrüzyon, pres ve şişirme kalıpları, vb. olarak sıralayabilmekteyiz [3].

Frezeleme işleminde talaş kaldırma sırasında parça ve takımın sürtünmesiyle ısı meydana gelmektedir. Bu ısının fazla olması parçanın yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Bozulmayı engellemek için soğutma sıvısı kullanımı önem arz etmektedir. Kesme sıvıları, kesici takım ömrünü uzatırken ürün kalitesinin artmasına da katkı sağlamaktadır [4].

Geleneksel yöntemde kullanılan ideal kesme sıvısı kimyasal içeriklere sahip olduğu için insan sağlığını ve doğayı olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuzluklar sebebiyle kuru kesme işlemleri yaygınlık kazanmıştır. Ancak kuru kesme şartları tam olarak iş parçasının işlenmesinde bir takım olumsuzluklara sebep olmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda minimum miktarda yağlama yöntemi talaşlı imalat işlemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Minimum miktarda yağlamanın kullanımı insana, doğaya olan zararı azaltarak, ekonomik açıdan yarar sağlayan bir yöntemdir [4].

Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), yapay sinir ağlarının akıl yürütme yeteneklerinin ve bulanık mantığın tahmin edebilme özelliklerinin birleştirilmesiyle oluşan bir metottur. ANFIS, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi analiz ederek veri setini oluşturan ağ tabanlı yapıdır [5].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, son yıllarda yüzey pürüzlülüğü çalışmalarında ANFIS kullanılan çalışmalar olduğu görülmektedir. Yıldız ve Dilipak AISI 304 ve AISI 316 L östenitik paslanmaz çelik malzemelerine kesme hızı, ilerleme ve sabit talaş derinliği parametrelerini uygulayarak yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. İlerleme ve yüzey pürüzlülüğünün doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametrenin ilerleme olduğu sonucuna ulaşmışlardır [6]. Tekaslan ve arkadaşları AISI 304 çeliğini tormalayarak kesme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Çalışmada, ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin kesme hızına göre daha etkili olduğu görülmüştür [7]. Yılmaz ve Güllü AISI 1050 çeliği kullanarak üç farklı ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliği ile tormalama işlemi yapmışlardır. Yapılan işlemler sonucunda yüzey pürüzlülüğü için en etkili kesme parametrelerini belirlemişlerdir. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Kesme hızı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne belirgin bir etkisi olmadığı görülmüştür [8]. Erçetin ve Usca AISI 1040 çeliğine tormalama işleminde farklı kesme hızları kullanarak yüzey pürüzlülüklerini incelemişlerdir. Deney sonucunda en iyi yüzey pürüzlülüğünü maksimum kesme hızında olduğu görülmüştür [9]. Şirin ve arkadaşları farklı sertlikteki AISI D2 soğuk iş takım çeliğine kuru işlem şartlarında yüzey frezeleme yapmışlardır. Çalışmada Taguchi L9 dikey dizilimi kullanılarak yüzey pürüzlülüğüne bakılmış ve optimum yüzey pürüzlülüğü değerleri belirlenmiştir. Deneyler

sonucunda Taguchi optimizasyon metodunun başarılı olduğu görülmüştür [10]. Yalçın ve arkadaşları AA2024 alüminyuma farklı kesme parametreleri uygulayarak frezeleme işlemi yapılmışlardır. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçülerek elde edilen değerlere Taguchi ve ANOVA analizi yapılarak, kesme kuvvetine ve yüzey pürüzlülüğüne en etkili faktörlerin ilerleme ve kesme hızı olduğu görülmüştür [11]. Çelik ve Kıvak 17-4 PH çeliğinin TiAlN-AlCrO kaplamalı sementit karbür ile minimum miktarda yağlama kullanılarak tormalanmasında farklı kesme yağı ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini araştırmışlardır. Optimum kesme parametrelerini belirlemek için Taguchi metodunu kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin kesme yağı cinsi olduğu sonucuna ulaşmışlardır [12]. Yıldırım ve arkadaşları AISI 4340 marenzik çeliğinin Alümina kaplamalı karbür uçlar kullanarak tormalama deneylerini yapmışlardır. Kesme parametreleri ve Minimum Miktarla Yağlama (MMY) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda bitkisel esaslı kesme yağının yüksek viskozitesi nedeniyle ortalama yüzey pürüzlülüğünü düşürdüğü tespit edilmiştir [13]. Kayır ve arkadaşları AISI 316Ti paslanmaz çeliğini tormalayarak Taguchi ve ANOVA analizleri yapmışlardır. Kesici uç yarıçapı, kesici uç formu ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlar ve yüzey pürüzlülüğüne en etkili parametrelerin ilerleme ve kesici uç yarıçapı olduğu görülmüştür [14]. Başak ve Baday orta karbonlu bir çeliğe farklı küreselleştirme ısıl işlemleri uyguladıktan sonra tormalama işlemini gerçekleştirmişlerdir. İşlem esnasında oluşan bağımlı değişkenleri (esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri) doğrusal regresyon metodu ile bağımsız değişkenlere (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği, ısıl işlem sıcaklığı ve süresi) bağlı olarak modellemişlerdir. Bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri ANOVA anlamlılık testi ile belirlemişlerdir. Yapılan ANOVA testleri sonucunda ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı parametrelerinin esas kesme kuvveti için anlamlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü için ise anlamlı parametrelerin sıcaklık, ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı olduğu anlaşılmıştır [15]. Erçetin ve arkadaşları toz metalurjisiyle üretilen biyomedikal Tz54 magnezyum alaşımını farklı kesme hızlarında mikro frezeleme deneyleri yapmışlardır. Deney sonucunda kesme kuvvetlerin, diğer biyomedikal malzemelerle kıyaslandığında nispeten küçük olduğu görülmüştür [16]. Varyans analizi kullanılarak yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin araştırıldığı çalışmalar görülmektedir. Varyans analizin sonuçları incelendiğinde yüzey pürüzlülüğüne en etkin parametrenin ilerleme olduğu görülmüştür [17, 18, 19, 20]. Dere ve Filiz 12mm ve 24 mm çaplarındaki otomat çeliğine tormalama işlemi uygulamışlardır. İlerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği ve farklı çıkıntı uzunlukları parametrelerini kullanarak bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada varılan sonuçlar kullanılarak, yüzey pürüzlülüğünü tahmin eden modeller ANFIS ile geliştirilmiş ve her parça için ayrı modeller oluşturulmuştur. İstatistiksel verilerin sonuçları incelendiğinde sapmaların düşük olması, yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmede ANFIS modellerin başarılı

olduğu sonucunu göstermiştir [1]. Bu çalışmaların yanı sıra ANFIS model kullanılarak yüzey pürüzlülüğü incelendiği birçok çalışma olduğu görülmektedir. Çalışmaların sonuçlarına bakıldığında ANFIS modelin istenilen başarıda olduğu görülmüştür [ 21, 22, 23, 24, 25]. Gerçekleştirilen bu çalışmada ise, 1.2738 kalıp çeliği 3 farklı kesme hızı ve 3 farklı ilerleme kullanılarak frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. MMY tekniğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ANFIS ile modellenmiştir. Bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının birlikte kullanıldığı bir model ile yüzey pürüzlülüğünün tahmini gerçekleştirilmiştir. ANFIS çalışması MATLAB'ta yapılmıştır.

**Tablo 1.** 1.2738 çeliğinin kimyasal bileşimi

Karbon	Krom	Molibden	Mangan	Nikel	Kükürt	Kalsiyum
%C	%Cr	%Mo	%Mn	%Ni	%S	%Ca
0,40	2,00	0,25	1,50	1,00	<0,005	+

## 2.2 CNC Tezgâh

Deneyler, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü İmalat Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Johnford VMC-550 marka sanayi tipi CNC freze tezgâhı kullanılmıştır. Tezgâhın gücü 5kW, en yüksek devir sayısı 6000 dev/dak, hassasiyeti 1µm ve işletim sistemi Fanuc'tur. Deneylerde kullanılan dik işlem tezgâhı Şekil 1'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Dik işlem tezgâhı

## 2.3 Kesici Takım ve Takım Tutucu

Deneylerde AKKO firmasına ait kesici uç ve SUMITOMO firmasına ait takım tutucu, ACP-200 kaplamalı uç ile kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici uç ve takım tutucuya ait şekil, takım kodları ve özellikler Tablo 2'te verilmiştir. Takım tutucuya 1 adet uç takılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

## 2.4 Minimum Miktarda Yağlama (MMY) Ve Kuru İşleme

Deney yapılırken minimum miktarda yağlama (MMY) ve kuru işleme yöntemleri kullanılmıştır. Minimum miktarda yağlama tekniğinde yağ, basınçlı hava ile kesme ortamına püskürtülerek kesici takım ile iş parçası arasında bir yağ filmi oluşturur. Bu sayede sürtünme azalır, kesici takım ve iş parçası arasındaki ısı atılmış olur. Bu yöntem çıkan talaşların kuruya yakın bir

MINITAB programında elde edilen denklem ile regresyon analizi yapılmıştır.


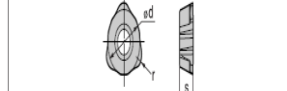
## 2 Materyal Ve Metot

### 2.1 İş Parçası Malzemesi

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak 1.2738 kalıp çeliği kullanılmıştır. 1.2738 kalıp çeliği, geleneksel freze tezgâhlarında işlenerek 65x100x50 mm ebatlarında getirilmiştir. Tablo 1'de 1.2738 çeliğinin kimyasal bileşimi gösterilmiştir. Ayrıca nitrasyon, krom kaplama ve desenlemeye çok uygundur.

şekilde kalmasını sağlaması sebebiyle de talaşların geri dönüşüm maliyetlerini azaltmaktadır[4]. Kuru işleme tekniğinde ise kesme ortamına herhangi bir yağlayıcı ve soğutucu verilmez. Çalışmada Şekil 2'de gösterilen SKF firmasının MMY sistemi kullanılmıştır. Soğutucu yağ için ise çelik malzemeler için üretilen "Lubrioil" isimli yağ tercih edilmiştir. Kullanılan yağın özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 2.** Takım tutucu ve kesici uç teknik özellikleri

Takım Tutucunun Teknik Özellikleri	Kesici Takımın Teknik Özellikleri
Takım Tutucunun Kodu: <b>AHFM-WD0603-D20</b>	Kesici Takımın Kodu: <b>WDMT0603ZDTR</b>
	
Takım Kodu	D Z d L l a
AHFM-WD0603-D20-C20-L150-Z03	20 3 20 150 70 2
	Cat. No. Coated Carbide Dimensions (mm) Max. d <sub>oc</sub>
	ACP 100 ACP 200 ACP 300
	d s r
	WDMT 0603 ZDTR 6,35 3,0 1,5 1,0
	WDMT 0603 ZDTR-H

**Tablo 3.** Lubrioil yağının özellikleri

MMY Sistem Yağı ve Standartlara Göre Özellikler		DIN 51757	DIN 51562	DIN ISO 2592
Yağ Cinsi	İçerik	Yoğunluk 20° C 'de [g/cm <sup>3</sup> ]	Viskozite 40° C 'de [mm <sup>2</sup> /s]	Yanma Noktası [C°]
Lubrioil	Ester Yağ Asidi	0,92	47	265



**Şekil 2.** SKF firmasının MMY sistemi

### 2.4.1 Minimum Miktarda Yağlama Sisteminin Debiinin Belirlenmesi

Sisteme verilecek yağ miktarı, deneylerden önce 0,45mL/dk olarak belirlenmiştir. Cihaz üstünde bulunan ortama yağ geçişini sağlayan ayarlanabilir valf tur sayısı ölçüğünde açılmıştır çünkü MMY sisteminin istenilen debiye ayarlanması gereklidir. Parçanın üzerine püskürtülecek yağ bir beher içerisine alınarak hassas terazi ile ölçülmüştür. Kaç turun ne miktarda yağa denk geldiği Tablo 4'te belirtilmiştir.

### 2.5 Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri

Deneylerde ilerleme (f), kesme hızı (V) ve işleme tekniği (i) parametreleri 1.2738 plastik enjeksiyon kalıp çeliğinin frezelenmesinde uygulanmış, parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Tablo 5'te kesme parametreleri ve seviyeleri verilmiştir.

**Tablo 4.** MMY sisteminin debi belirleme kriterleri

a	0 tur (kapalı konum)	1 dakikada 0,2514gr	0,25 mL/dak
b	3 tur açık olduğunda	1 dakikada 0,4656gr	0,45 mL/dak
c	6 tur açık olduğunda	1 dakikada 0,8792gr	0,90 mL/dak
d	9 tur açık olduğunda	1 dakikada 3,258gr	3,25 mL/dak
e	12 tur açık olduğunda	1 dakikada 16,289gr	16,25 mL/dak

**Tablo 5.** Kesme Parametreleri

Faktörler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
İşleme tekniği (i)	mL/dak	1(kuru)	4,5	9
İlerleme (f)	mm/diş	0,5	0,8	1
Kesme Hızı (V)	mm/dak	80	130	180

**Tablo 6.** Deney modeli

Deney no	v	i	f	Ra
1	80	1	0,5	1,456
2	80	1	0,8	1,719
3	80	1	1	2,095
4	80	4,5	0,5	0,864
5	80	4,5	0,8	1,183
6	80	4,5	1	1,424
7	80	9	0,5	0,766
8	80	9	0,8	0,995
9	80	9	1	1,433
10	130	1	0,5	0,879
11	130	1	0,8	1,234
12	130	1	1	1,676
13	130	4,5	0,5	0,994
14	130	4,5	0,8	1,254
15	130	4,5	1	1,556
16	130	9	0,5	0,839
17	130	9	0,8	1,201
18	130	9	1	1,594
19	180	1	0,5	0,917
20	180	1	0,8	1,212
21	180	1	1	1,589
22	180	4,5	0,5	0,809
23	180	4,5	0,8	1,204
24	180	4,5	1	1,391
25	180	9	0,5	0,785
26	180	9	0,8	1,117
27	180	9	1	1,322

### 2.6 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

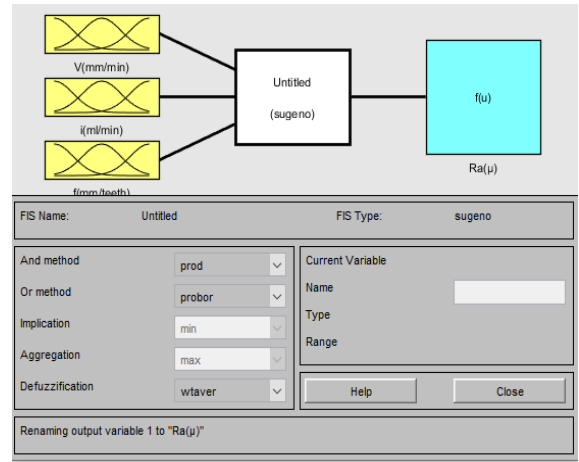
Adaptive Neuro Fuzzy Interference System kısaltması olarak kullanılarak ANFIS yöntemi, yapay sinir ağlarının hesaplama kabiliyeti ile bulanık mantığın çıkarım yöntemini birlikte kullanabilen karma şekilde tasarlanmış yapay zekâ sistemidir [26]. Bulanık mantık yönteminin, veriler üzerinde uygulanabilmesi için, MATLAB programı içerisinde yer alan ANFIS editör kullanılabilir. ANFIS yöntemi için, girdi ve çıktı değerlerinin olması gerekmektedir. Verilerin kümelenmesinde, 11 karma öğrenme algoritmaları üyelik fonksiyonu değerlerine göre sınıflandırmalar yapmaktadır [27]. Sinir Ağları ve bulanık mantık yönteminin beraber kullanıldığı ANFIS yönteminde, denemeler sonucu hatalar belirli bir seviyeye kadar azalır ve belirli bir seviyeden sonra azalma gözlenmez. Bu durum, ağı öğrenme durumunun tamamlandığını ve elde edilen sonuçtan daha iyi bir sonuç meydana getiremeyeceği

anlamına gelir [28]. ANFIS analizinin temelinde yer alan, bulanık mantık sisteminin ilk aşamasında problem belirlenir ve bu probleme uygun parametreler ile üyelik fonksiyonları oluşturulur. Oluşturulan parametre ve alt kümeler göre problemin özüne yönelik kurallar tanımlanır. Diğer aşamada, tümevarım ya da tümdengelim ile oluşturulan çıkarım yöntemleri seçilir. Son aşamada ise bulanık olan değerler durulaştırma yöntemiyle klasik sayılar olarak belirlenir [29]. Bulanıklaştırma işlemi, girdi ve çıktı değerleri, belirlenmiş bir üyelik fonksiyonuyla birlikte, üyelik derecesini belirleyen [0,1] aralığında bir değere çevrilerek bulanıklaştırılırlar. Kural tanımlama aşamasında, kural tabanı oluşturma, değerlendirme ve toplama adımlarının başlangıçları oluşturulur. Kural Tanımlama aşamasında yer alan EĞER-İSE ifadeleri kavramsal terimleri birbiriyle ilişkilendirir. Fazla girdi olduğu durumlarda ise VE-VEYA işlemcileri bu girdileri birbirine bağlar [30]. Bu çalışmada kullanılan ANFIS modeli MATLAB ile geliştirilerek analiz yapılmıştır.

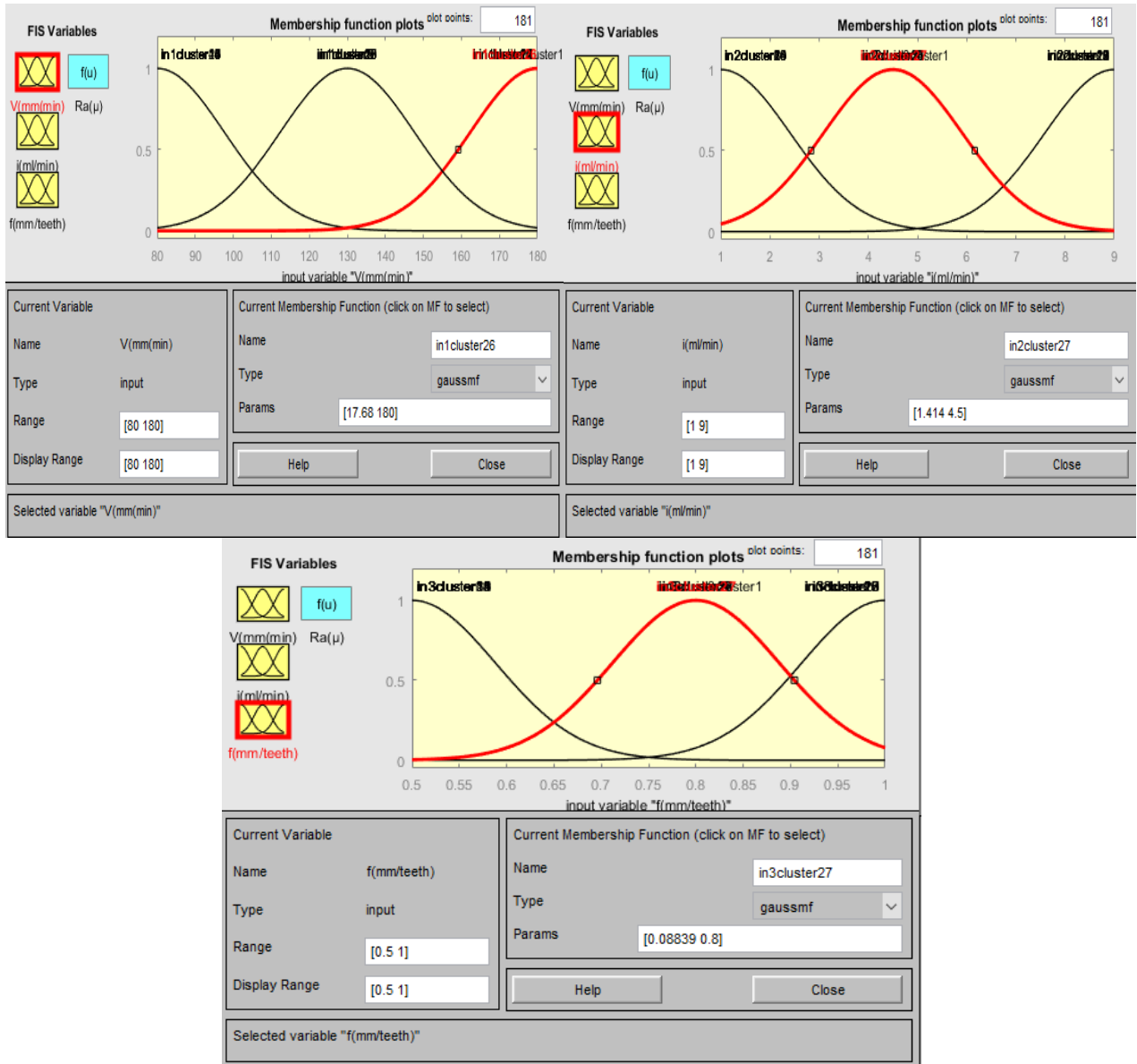
### 3 Deney Sonuçları

Çalışmada Matlab programının ANFIS yapısı kullanılarak, deneylerde elde edilen verilerin ANFIS modellemesi oluşturulmuştur. ANFIS modellemesinin amacı girdi parametreleri (kesme hızı, ilerleme, işleme tekniği) için olabilecek çıktı parametresini (yüzey pürüzlülüğü) tahmin etmektir. Şekil 3'te ANFIS'te oluşturulan girdi ve çıktı parametreleri yapısı gösterilmiştir.

Kesme hızı, işleme tekniği ve ilerleme parametrelerinin her biri için değer aralıkları ve üyelik fonksiyonu grafikleri Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 3. Girdi ve çıktı parametreleri yapısı

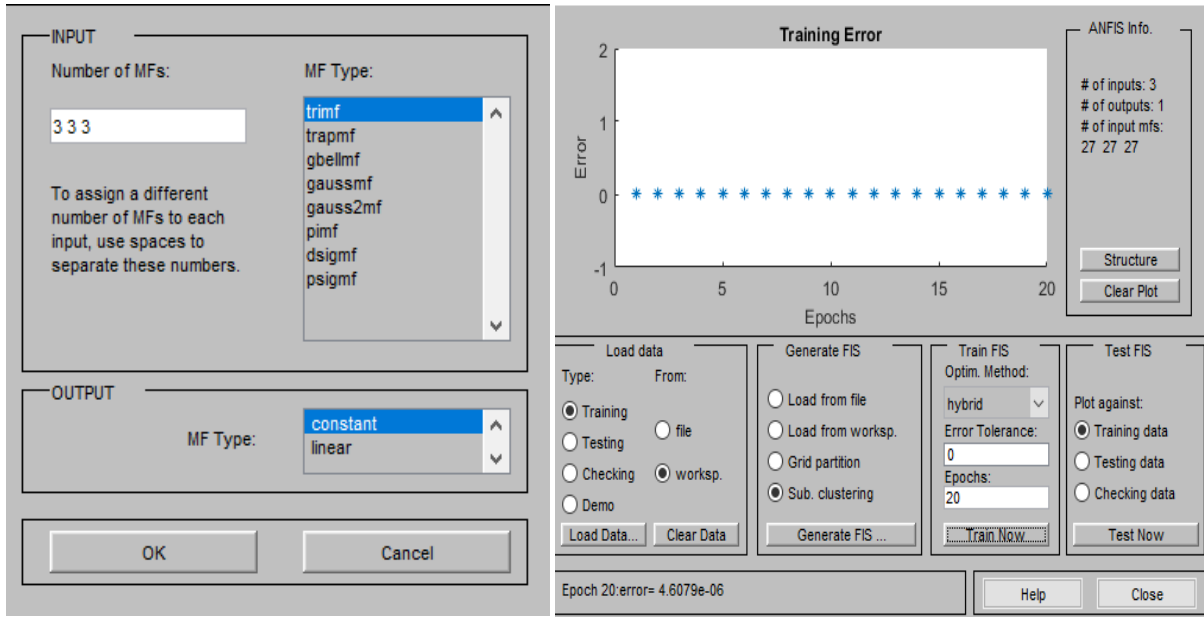


Şekil 4. Kesme hızı, işleme tekniği ve ilerleme için üyelik fonksiyonu grafik

ANFIS yapısı ile oluşturulan model için her bir değişkene, program üzerinden ayarlamalar yapılmıştır. 3 girdi değişkeni, 1 yanıt değişkeni ve 3 3 3 fonksiyon numarası kullanılmıştır.

Girdi değişkeni için trimf üyelik fonksiyon tipi, çıktı

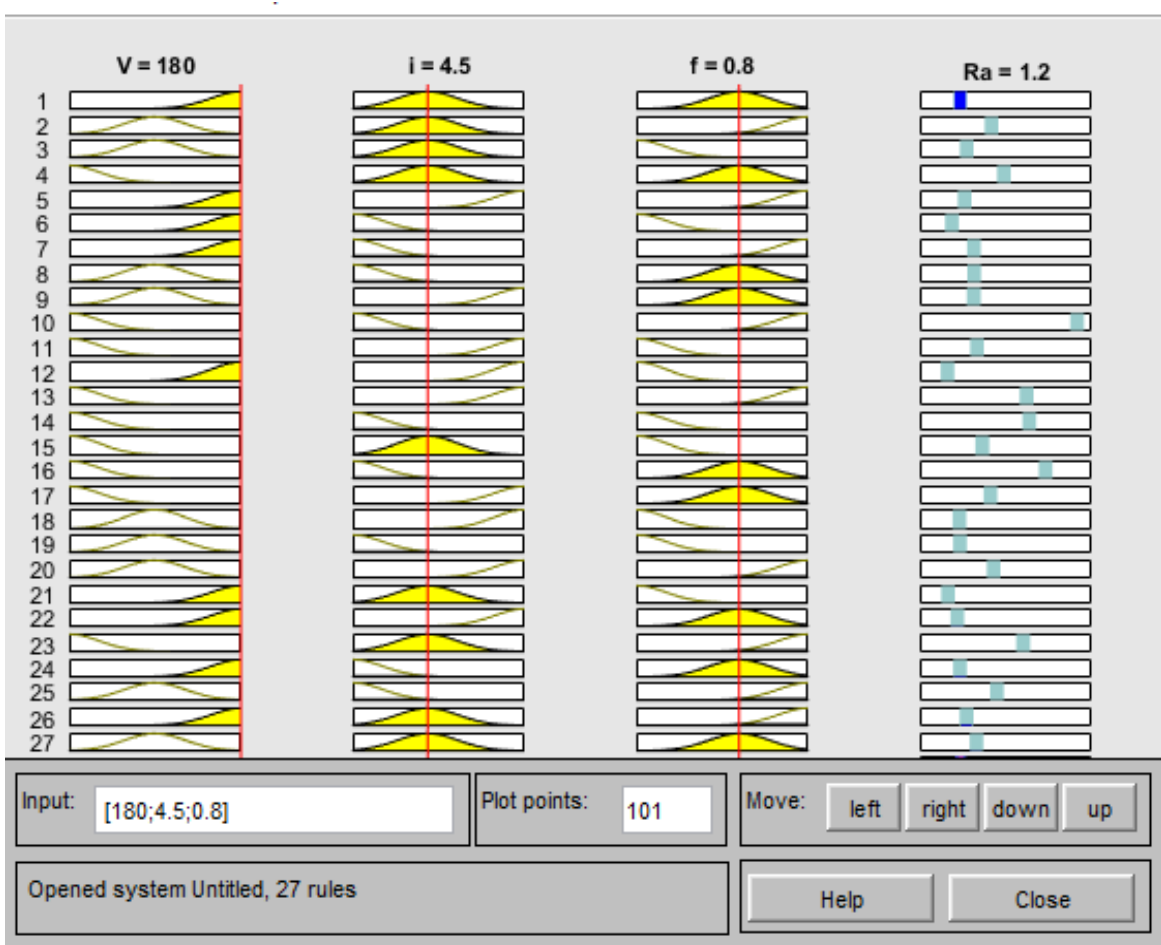
parametreleri için ise constant üyelik fonksiyon tipi kullanılarak denemeler yapılmıştır. Öğrenme algoritması (FIS) hibrit metoduyla 20 epoch'ta ve hata toleransı sıfır olacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Girdi ve çıktı üyelik fonksiyonlarının seçimi

Kesme hızı, işleme tekniği ve ilerleme parametrelerinden seçilen değerlere karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değeri, öğrenme algoritması (fis) kuralları ile elde edilmektedir. Algoritma girdi değerleri ve buna

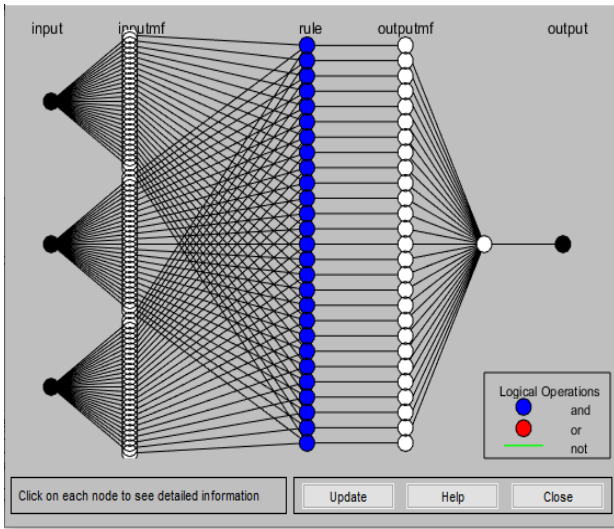
karşılık gelen çıktı değerini sunmaktadır. Şekil 6'da 180 mm/dak, 4,5 mL/dak ve 0,8 mm/dış parametrelerine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerinin 1,2  $\mu$  olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Öğrenme algoritması (fis) kuralları

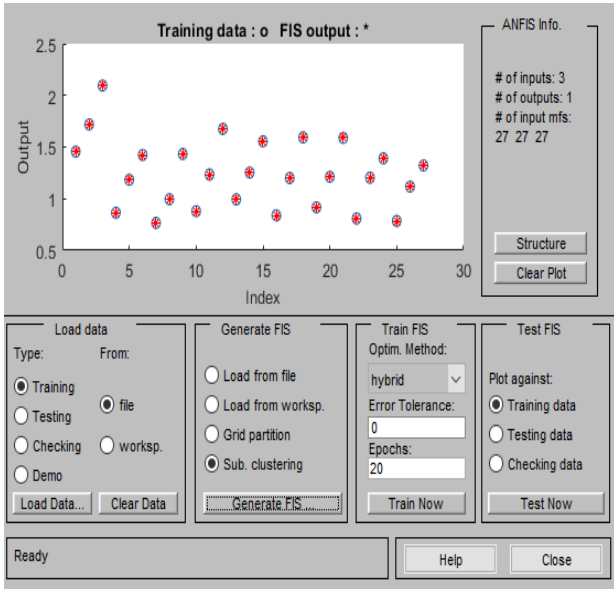
Sisteme girdi olarak üç bağımsız değişken girilmiştir. Üyelik fonksiyonlarını kullanarak 27 kural oluşturulmuştur. ANFIS 27 kuralın her birinden bir değer

elde etmiştir. Elde edilen değerler tek bir çıktı değerine dönüştürülmüştür. Şekil 7'de ANFIS modelin yapısı görülmektedir.

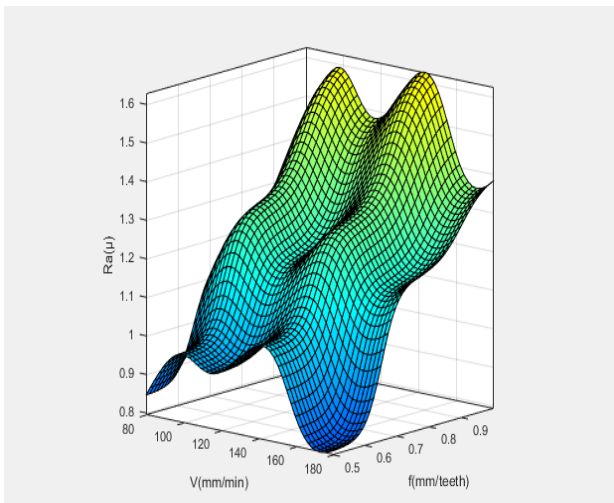


Şekil 7. ANFIS model yapısı

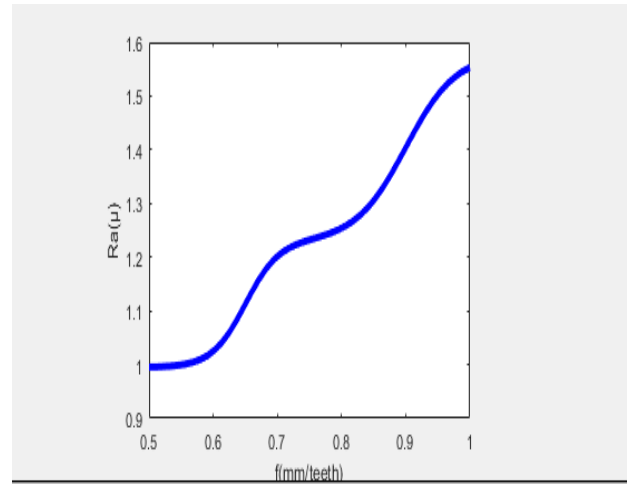
ANFIS modelin verileri ile deney verileri mukayese edildiğinde elde edilen verilerin aynı olduğu görülmüştür. Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. ANFIS yapısı için normalleştirilmiş çıktı grafiği

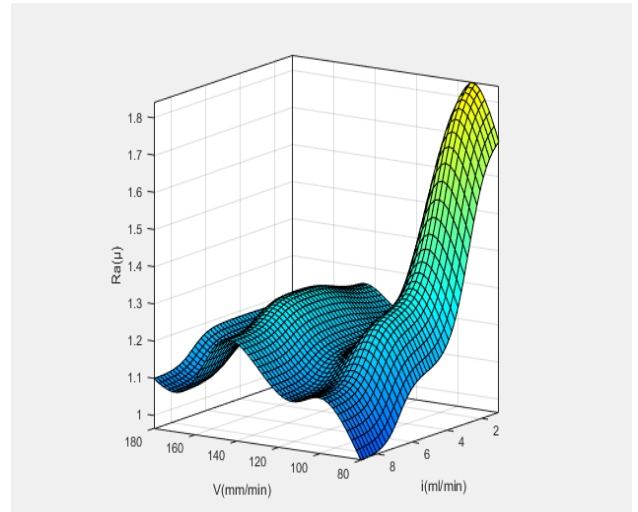


Şekil 9. Ra-V-f grafiği

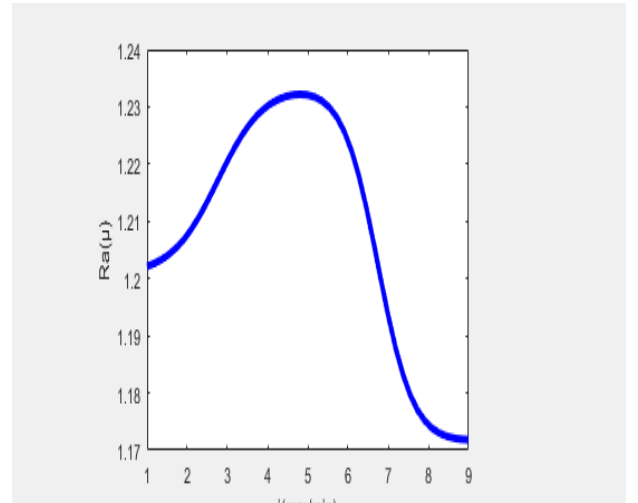


Şekil 10. Ra-f grafiği

MATLAB kullanılarak yüzey pürüzlülüğü üzerindeki kesme hızı ve ilerleme oranı etkisinin gösterildiği 3B yüzey grafiği oluşturulmuştur. Şekil 9'da ki Grafik incelendiğinde kesme hızı değerindeki değişimin Ra üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Buna karşın f değerinin değişimi Ra üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu net olarak Şekil 10'da görülmektedir.

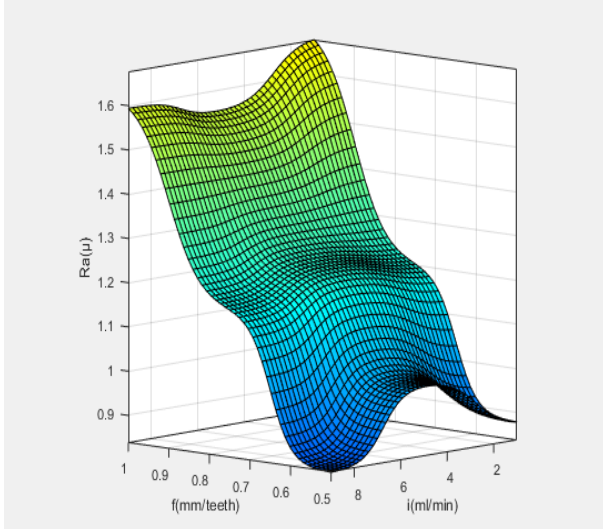


Şekil 11. Ra-V-i grafiği



Şekil 12. Ra-i grafiği

Kesme hızı ile işleme tekniğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 11'deki 3B yüzey grafiğinde net bir şekilde görülmektedir. Grafikte en büyük çıkıntı kuru kesme şartında olduğu dolayısıyla kuru kesme şartlarında yüzey pürüzlük değerinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra Şekil 12'de de görüldüğü üzere en küçük yüzey pürüzlülük değerinin 9 mL/dak işleme tekniği ve 80 mm/dak kesme değerinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 13. Ra-f-i grafiği

İlerleme ve işleme tekniğinin gösterildiği Şekil 13'te ki 3B yüzey grafiği incelendiğinde, ilerleme oranında meydana gelen artışın yüzey pürüzlülüğü değerini artırdığı görülmektedir.

### 3.1 ANFIS Model İle Regesyon Modeli Kıyaslaması

Deney sonuçları üzerinde MINITAB programı kullanılarak regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Korelasyon katsayısının karesi ( $R^2$ ) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise, regresyon modelindeki açıklama miktarının açıklanmayan miktara olan oranıdır. Regresyon katsayısı ise, ilgili bağımsız değişkenden bir birimlik artışın değişkende oluşturacağı değişim miktarıdır. Bu bilgiler sonucunda, regresyon analizi, işleme tekniği, ilerleme hızı ve kesme hızı gibi kesme parametreleri değişkenleri ile yüzey pürüzlülüğü değerlerini tahmin etmeyi sağlamaktadır [31]. Regresyon Analiz sonucunda elde edilen model aşağıda verilmiştir. Oluşturulan modelin  $R^2$  si %79,95 bulunmuştur. Deney sonuçları, ANFIS modeli ve regresyon ile elde edilen değerlerin kıyaslaması Tablo 7'de verilmiştir.

Regresyon denklemi

$$Ra = 0.680 - 0.001766V - 0,03680i + 1.263f \quad (1)$$

Tablo 7. Deney- Regresyon- ANFIS karşılaştırılması

Deney no	V	i	f	Ra(Deneyssel)	Ra(ANFIS)	Ra(Regresyon)
	80	1	1	2,095	2,09	1,76492
5	80	4,5	0,8	1,183	1,18	1,38352
7	80	9	0,5	0,766	0,766	0,83902
10	130	1	0,5	0,879	0,879	1,04512
14	130	4,5	0,8	1,254	1,25	1,29522
18	130	9	1	1,594	1,59	1,38222
21	180	1	1	1,589	1,59	1,58832
23	180	4,5	0,8	1,204	1,2	1,20692
25	180	9	0,5	0,785	0,785	0,66242

## 4 Sonuçlar

Bu çalışmada kesme parametreleri ile deneyler gerçekleştirilmiş, parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilebilmesi için, deneylerde elde edilen sonuçlar kullanılarak ANFIS ile bir model geliştirilmiştir. Modelin belirlenmesi için üyelik fonksiyon tipleri kullanılmıştır.

Denemeler yapılarak en düşük hata toleransını veren model elde edilmeye çalışılmıştır. Buna göre;

- Genel olarak bakıldığında Ra üzerinde en etkili parametrenin ilerleme oranı olduğu elde edilmiştir.

- İlerleme oranı değerinin artmasıyla yüzey pürüzlülük oranı değerlerinin arttığı belirlenmiştir.
- MMY tekniğinin Ra üzerinde etkili olduğu görülmüştür.
- Kuru işleme şartlarında yüzey pürüzlülük değerleri yüksek çıkarken, MMY uygulandığında Ra değerlerinde azalma olmuştur.
- Bu deney şartlarına göre, kesme hızı Ra üzerinde her hangi bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.
- Yapılan modelleme ile deney sonuçları ile model sonuç değerleri %100 oranında aynı olarak çıkmıştır.
- Regresyon analiz sonuçlarının %71 oranında doğruluk sağladığı görülmüştür.



## Açıklamalar

Bu çalışmada Etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

## Kaynakça

- [1] Dere, M., Filiz, İ. (2019). Otomat çeliğinin tornalama işleminde iş parçası çapı ve çıkıntı uzunluğunun yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi ve yüzey pürüzlülüğünün ANFIS ile modellenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 675-686.
- [2] Fedai, Y., Ünüvar, A., Akın, H. K., & Başar, G. (2019). 316L Paslanmaz çeliklerin frezeleme işlemindeki yüzey pürüzlülüğünün ANFIS ile modellenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 98-110.
- [3] Er, A.O., Orhan, S., Camuşcu, N. & Aslan, E. (2012). Sertleştirilmiş 1.2738 plastik kalıp çeliklerinin yüksek hızlarda işlenmesinde titreşimin işleme etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 354-361.
- [4] Gürbüz, H., Baday, Ş., & Gönülaçar, Y. E. (2017). Minimum miktarda yağlamanın frezeleme işlemleri üzerine etkisinin araştırılması: Derleme. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(2/2), 59-78.
- [5] Ergül, E., & Kurt, H., Matrisli Kompozitlere ANFIS, ANN ve Taguchi Yaklaşımları Uygulanarak Özelliklerin Karşılaştırılması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 406-416.
- [6] Yıldız, T., & Dilipak, H. (2019). Paslanmaz Çeliklerin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, 3. *International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, 4, 190-195.
- [7] Tekaslan, Ö., Gerger, N., & Şeker, U. (2008). AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 3-12.
- [8] Yılmaz, B., & Güllü, A., (2020). AISI 1050 çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerine etkilerinin araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 628-633.
- [9] Erçetin, A., & Usca, Ü. A. An experimental investigation of effect of turning AISI 1040 steel at low cutting speed on tool wear and surface roughness steel.
- [10] Şirin, E., Şirin, Ş., Turgut, Y., & Korkut, İ., (2015). AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün Taguchi metodu ile optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 132-144.
- [11] Yalçın, N., Kayır, Y., & Erkal, S., (2017). AA2024 alüminyum alaşımına uygulanan yaşlandırma yöntemlerinin işlenebilirliğe etkisinin taguchi ve anova ile araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 20(4), 743-751.
- [12] Çelik, E. & Kıvak, T. (2016). 17-4 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında minimum miktarda yağlamanın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri, 7 *th International Symposium On Machining*, 214-221.
- [13] Yıldırım, Ç.V., Kıvak, T., Sarıkaya, M. & Mert, Ş. (2016). AISI 4340'ın tornalanmasında minimum miktarda yağlama (mmy) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması, 7 *th International Symposium On Machining*, 222-231.
- [14] Kayır, Y., Aslan, S., & Aytürk, A. (2013). AISI 316Ti paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesici uç etkisinin Taguchi yöntemi ile analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2).
- [15] Başak, H., & Baday, Ş. (2016). Küreselleştirilmiş orta karbonlu bir çeliğin işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin regresyon analizi ile modellenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4), 253-258.
- [16] Erçetin, A., Aslantas, K., & Özgün, Ö. (2020). Micro-end milling of biomedical Tz54 magnesium alloy produced through powder metallurgy. *Machining Science and Technology*, 24(6), 924-947.
- [17] Akgün, M., Demir, H., & Çiftçi, İ. (2018). Mg2Si partikül takviyeli magnezyum alaşımlarının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu. *Politeknik Dergisi*, 21(3), 645-650.
- [18] Özdemir M., (2019). Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etki oranlarının Yüzey Yanıt Yöntemi kullanılarak Analizi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 7(3), 639-648.
- [19] Özlü, B., Akgün, M., & Demir, H., (2019). AA 6061 Alaşımının tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin analizi ve optimizasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 5(2), 151-158.
- [20] Karabatak, M., & Kara, F., (2016). AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün deneysel optimizasyonu. *Politeknik Dergisi*, 19(3), 349-355.
- [21] Kumar, S., Dhanabalan, S., & Narayanan, C. S. (2019). Application of ANFIS and GRA for multi-objective optimization of optimal wire-EDM parameters while machining Ti-6Al-4V alloy. *SN Applied Sciences*, 1(4), 1-12.
- [22] Jain, V., Raj, T., "Tool life management of unmanned production system based on surface roughness by ANFIS", *Int J Syst Assur Eng Manag*, 8, 458-467, 2017.
- [23] Jain, V., & Raj, T. (2017). Tool life management of unmanned production system based on surface roughness by ANFIS. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 8(2), 458-467.
- [24] Maher, I., Eltaib, M. E. H., Sarhan, A. A., & El-Zahry, R. M. (2015). Cutting force-based adaptive neuro-fuzzy approach for accurate surface roughness prediction in end milling operation for intelligent machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5-8), 1459-1467.
- [25] Aydın, M., Karakuzu, C., Uçar, M., Cengiz, A., & Çavuşlu, M. A. (2013). Prediction of surface roughness and cutting zone temperature in dry turning processes of AISI304 stainless steel using ANFIS with PSO learning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(1), 957-967.
- [26] Jang, J. S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.
- [27] Yücel, A. (2010) *Tedarikçi Seçimi Probleminde Bütünleşik Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı*. (Doctoral dissertation, Yıldız Technical University).
- [28] Öztemel E.(2010) *Yapay Sinir Ağları*. Ankara: Papatya Yayıncılık.
- [29] Ross, T.,(1995) *Fuzzy logic with engineering applications*. McGraw-Hill Inc.
- [30] Doğan, O. (2016). Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sisteminin (ANFIS) Talep Tahmini İçin Kullanımı ve Bir Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(1), 257-288.
- [31] Yılmaz, V., Dilipak, H., Sarıkaya, M., Yaman, Yılmaz, & C., Özdemir, M., (2014). Frezeleme işlemlerinde kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının modellenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 30(4), 220-226