



## 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

Mustafa Dere<sup>1\*</sup>, İ. Hüseyin Filiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gaziantep Vocational School of Technical Sciences, University of Gaziantep, Gaziantep, 27310, Turkey

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, University of Gaziantep, Gaziantep, 27310, Turkey

### Highlights:

- Experimental effects of cutting speed, feed rate, depth of cut and diameter and overhang length of the workpiece on the surface roughness
- Models for the prediction of surface roughness are developed
- Effects of diameter and overhang length are reduced as diameter increases. Feed rate remains as the most effective factor on the surface roughness

### Keywords:

- Surface roughness
- Cutting parameters
- Workpiece diameter and overhang length,
- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

### Article Info:

Received: 14.09.17

Accepted: 24.02.18

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416524

### Acknowledgement:

The authors are thankful for the support of University of Gaziantep Research Projects Fund under project no. MF.09.05

### Correspondence:

Author: Mustafa Dere  
e-mail: dere@gantep.edu.tr  
phone: +90 342 317 1774

### Graphical/Tabular Abstract

Selection of reasonable cutting parameters (cutting speed, feed rate and depth of cut) is important in order to obtain required surface quality in turning operations.

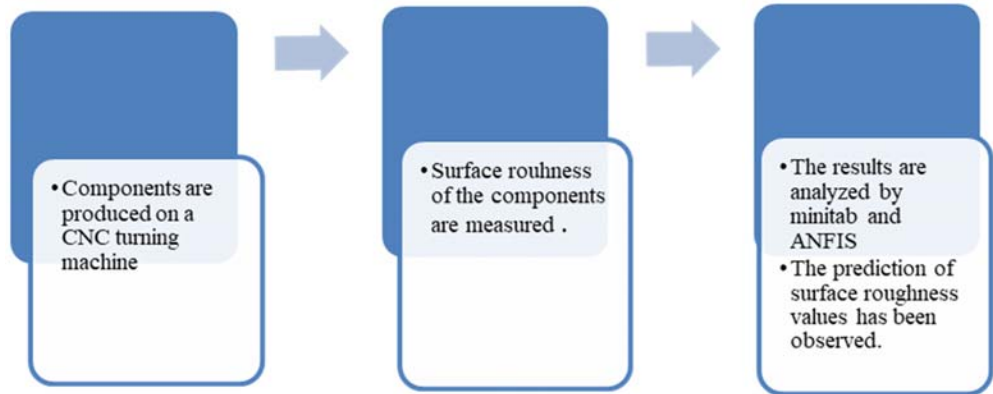


Figure A. Prediction of surface roughness via minitab and ANFIS

**Purpose:** In this paper, in addition to cutting parameters, the effects of work piece dimensions (overhang length and diameter) on the surface roughness are investigated experimentally and surface roughness prediction models are developed from the experimental results.

### Theory and Methods:

Feed rate, cutting speed, depth of cut and overhang lengths are taken as variable parameters for the work pieces at two different diameters machined on a CNC lathe. A total of 34 = 81 different cutting experiments have been performed for the work pieces (for each diameter) based on the three-level full factorial design of experiments.

### Results:

Using the results from the experiments, models have been developed for the prediction of surface roughness based on Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). The best model is selected for each diameter. These models are considered as a guide for metal removing industry environment in order to obtain a desired surface quality.

### Conclusion:

Feed rate is the most influential factor for surface roughness for all cases.



## Otomat çeliğinin tornalama işleminde iş parçası çapı ve çıkıntı uzunluğunun yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi ve yüzey pürüzlülüğünün ANFIS ile modellenmesi

Mustafa Dere\*<sup>1</sup>, İ. Hüseyin Filiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gaziantep Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü, Gaziantep, 27100, Türkiye

<sup>2</sup>Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, 27100, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve iş parçasının çap ve çıkıntı uzunluğu parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerinin deneysel incelenmesi
- ANFIS ile yüzey pürüzlülüğünü tahmin eden modeller geliştirilmesi.
- Çap ve çıkıntı uzunluklarının etkisi çap arttıkça azalmaktadır. İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili faktör olduğu tespit edildi.

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 14.09.2017

Kabul: 24.02.2018

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416524

### Anahtar Kelimeler:

Yüzey pürüzlülüğü,  
kesme parametreleri,  
iş parçası çap ve çıkıntı  
uzunluğu, adaptif sinir Ağına  
dayalı bulanık çıkarım sistemi

### ÖZET

Torna tezgâhlarında imal edilen parçalarda istenilen yüzey kalitesini elde etmek için, uygun kesme parametrelerinin seçilmesi (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) oldukça önemlidir. Bu çalışmanın amacı, kesme parametrelerine ilave olarak, yüzey pürüzlülüğünün iş parçası boyutuna (çap ve çıkıntı uzunluğu) bağlı olarak nasıl etkilendiğini deneysel olarak incelemek ve verilen parametrelere göre yüzey pürüzlülüğünü tahmin eden bir model ortaya koymaktır. İlerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği ve farklı çıkıntı uzunlukları değişken parametreler olarak alınıp iki farklı çapta iş parçası CNC torna tezgâhında tornalanmıştır. Deneyler tam faktöriyel deney tasarımı yöntemine göre tasarlanmış olup, 4 farklı parametre 3 seviye için, iki farklı çapta (her çap için) 34 = 81 deney yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılarak, Adaptif Sinir Ağına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ile yüzey pürüzlülüğünü tahmin eden modeller geliştirilmiş ve her çap için en iyi model seçilmiştir. Oluşturulan modeller endüstride talaşlı imalat işlemlerinde istenilen yüzey kalitesini elde etmede işlem parametrelerinin doğru ve uygun seçimi için bir yol gösterici olacaktır.

## 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

### H I G H L I G H T S

- Experimental investigation of the Effects of cutting speed, feed rate, depth of cut and diameter and overhang length of the workpiece on the surface roughness.
- Models for the prediction of surface roughness are developed.
- Effects of diameter and overhang length are reduced as diameter increases. Feed rate remains as the most effective factor on the surface roughness

### Article Info

Research Article

Received: 14.09.2017

Accepted: 24.02.2018

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416524

### Keywords:

Surface roughness,  
cutting parameters,  
workpiece diameter and  
overhang length, adaptive  
neuro-fuzzy inference system

### ABSTRACT

Selection of reasonable cutting parameters (cutting speed, feed rate and depth of cut) is important in order to obtain required surface quality in turning operations. In this paper, in addition to cutting parameters, the effects of work piece dimensions (overhang length and diameter) on the surface roughness are investigated experimentally and surface roughness prediction models are developed from the experimental results. Feed rate, cutting speed, depth of cut and overhang lengths are taken as variable parameters for the work pieces at two different diameters machined on a CNC lathe. A total of 34 = 81 different cutting experiments have been performed for the work pieces (for each diameter) based on the three-level full factorial design of experiments. Using the results from the experiments, models have been developed for the prediction of surface roughness based on Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). The best model is selected for each diameter. These models are considered as a guide for metal removing industry environment in order to obtain a desired surface quality.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: dere@gantep.edu.tr, hfiliz@gantep.edu.tr / Tel: +90 342 317 1774

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzün teknolojik şartları, yüksek yüzey kalitesine sahip parçaların imal edilmesini gerektirmektedir. Ürün kalitesi genellikle makinenin hassasiyetiyle ilişkilidir. CNC takım tezgâhları oldukça hassas olmalarına rağmen, üretilecek parça için uygun kesme parametreleri ve kesici takımlar seçilmezse, bu tezgâhlarda bile yüzey kalitesi problemleri ile karşılaşılabilir. Tornalama işlemlerinde, tezgâh ve bağlama elemanlarının etkilerine ilaveten yüzey kalitesini etkileyen faktörler üç gruba ayrılabilir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği birinci grupta, kesici takım parametreleri (malzeme ve takım geometrisi) ikinci grupta ve iş parçası malzemesi ve iş parçası geometrisi (çıkıntı uzunluğu ve iş parçası çapı) ise üçüncü grupta düşünülebilir.

Birinci ve ikinci grupta yer alan parametrelerin yüzey kalitesine etkisi birçok çalışmada irdelenmiş ve bu çalışmalarda yüzey kalitesini belirli ölçülerde etkileyen faktörlerin; ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme hızı, kesici uç geometrisi (özellikle kesici uç yarıçapı), kesici takım malzemesi, iş parçası malzemesi ve sertliği olduğu yaygın olarak belirtilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü ve kesme koşulları arasındaki ilişkilerin belirlenmesine ilişkin deneysel çalışmalar 1940 yılına kadar geriye gitmekte ve günümüzde devam etmektedir. Albrecht [1] çelik iş parçasında kesme hızının, ilerlemenin, kesme derinliğinin ve kesici takım uç yarıçapının yüzey bitirme üzerine etkisini araştırdı. Olsen [2] kesme hızı, ilerleme, kesici takım uç yarıçapı, takım aşınması ve iş parçası malzemesi sertliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi üzerine bir çalışma yaptı. Takeyama ve Onu [3] ilerleme hızı, kesme hızı kesme derinliği ve kalem uç yarıçapının çelik parçalarının yüzey bitirme üzerine etkilerini çalıştırdılar ve kesme hızının yüzey bitirme üzerine karmaşık etkileri olduğunu gözlemlədiler. Nassirpour ve Wu [4] kesme hızı arttığında yüzey bitirmenin iyileştiğini ileri sürdüler.

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte, yüzey kalitesi gereksinimi için optimum şartlar, farklı teknikler kullanılarak oluşturulan yüzey pürüzlülüğü, matematiksel modeller ile belirlenmeye başlanmıştır. Choudhury vd. [5], Suresh vd. [6], Sahin ve Motorcu [7] verilen kesme şartları için yüzey pürüzlülüğü tahmininde tepki yüzey metodolojisini kullandılar. Sundaram ve Lambert [8], Özel ve Karpaz [9] ve Özel vd. [10] seçilen kesme koşulları fonksiyonu olarak yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde regresyon modellerini kullandılar. Risbood vd. [11], Kesici takım tutucusundaki radyal titreşimlerin artmasını geri bildirim olarak alıp yapay sinir ağlarını (ANN) kullanarak yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal sapmaları tahmin eden bir çalışma yaptılar. Swaroop vd. [12], yaptıkları çalışmada, EN8 (080M40) alaşımsız orta karbonlu çelikten imal edilmiş parçaların CNC tornada, tornalama sırasında motor akımına dayalı olarak yüzey pürüzlülüğünü tahmin için ANFIS kullanmışlardır. Karayel [13] Bilgisayar Sayısal Kontrollü

(CNC) torna tezgâhlarında yüzey pürüzlülüğünün tahmini için bir Yapay sinir ağı yaklaşımı sundu. Değişken parametreler olarak üç kesme parametresi; kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme hızı alındı. Takım ucu yarıçapı, bağlama uzunluğu, iş parçası uzunluğu, iş parçası çapı ve iş parçası malzemesi gibi diğer parametrelerin her biri sabit olarak alınarak incelemeler yapılmıştır. Asiltürk ve Cunkas [14] tornalama işleminde AISI 1040 karbon çeliğinin yüzey pürüzlülüğünü modellemek için Yapay sinir ağları (YSA) ve çoklu regresyon yaklaşımlarını kullandılar. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği kesme parametreleri olarak alınmıştır.

Kharola [15] orta karbonlu çeliğin tornalamasında yüksek hızlı çelik kesici takımı kullanarak yüzey pürüzlülüğünün tahmini için ANFIS tabanlı bir yaklaşım ortaya koymuştur. Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmede kullanılan girdi parametreleri geri talas açısı, yan eğim açısı, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğidir.

Cica ve Sredanovic [16] yüzey pürüzlülüğü ve kalem ömrünü tahmin etmede esnek hesaplama yöntemleri olarak ANFIS ve YSA modellerini karşılaştırdılar. Bu çalışmada değişken parametreler olarak sadece ilerleme ve kesme hızı alınmış ve iş parçası malzemesi olarak 100Cr6 rulman çeliği kullanılmıştır. Sonuç olarak ANFIS modelin tahmin etmede YSA modelinden daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Anil Raj vd. [17] sert tornalamada minimum kesme sıvısı kullanarak yüzey pürüzlülüğünü ANFIS ile modellediler. Bu çalışmada kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği giriş parametreleri olarak alınmış ve iş parçası malzemesi olarak H13 takım çeliği kullanılmıştır.

Kumar ve Chauhan [18] tornalamada Al 7075 numunelerinin yüzey pürüzlülüğünü, kesme hızı, ilerleme hızı ve yaklaşım açısı parametrelerine bağlı olarak araştırmışlardır. Biswajit vd. [19] Al-4.5Cu-1.5TiC kompozit malzeme için, analiz ve yüzey pürüzlülüğünü tahmin eden bir yapay sinir ağları (ANN) modeli geliştirdiler. Manivel ve Gandhinathan [20] sert tornalama işleminde kesme parametrelerini optimize eden bir çalışma yaptılar. Tomov vd. [21] yüzey pürüzlülük parametrelerini tahmin eden bir matematik model sundular.

Karabulut [22] torna tezgâhında işlenen iş parçasının çap hatası üzerinde araştırma yapmıştır. Tornalama esnasında kesme kuvvetleri etkisindeki iş parçasından meydana gelen sehim, lazer uzunluk sensörü ile iş parçasına temas etmeden ölçülmüştür. Çap hatasının sehim miktarı ile orantılı olarak değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca, çap hatasına sebep olan kesme derinliği, ilerleme hızı ve kesme hızı gibi faktörler belirlenmiştir.

Pul vd. [23] yaptıkları çalışmada, %5, %10 ve %15 takviye-hacim oranlarındaki Al/MgO kompozit numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü açısından en yüksek (Ra) değeri %15 MgO takviyeli numunede tespit edilmiştir.

Carou vd. [24] Bu deneysel çalışmada, tormalamış magnezyum alaşım numuneleri farklı kesme şartları altında üretilmiş olup, tam faktöriyel deney tasarım yöntemi kullanılarak ANOVA analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda, kesme şartlarından ilerleme hızının en etkili parametre olduğu görülmüştür.

Yukarıda sunulan çalışmalar ve diğer benzeri çalışmalarda, iş parçası boyutları yüzey kalitesini etkileyen bir faktör olarak göz önüne alınmamıştır. Literatürde, boyutları dikkate alan sadece birkaç çalışma görülmektedir. Izelu vd. [25] kesme derinliği, kesme hızı ve iş parçası çıkıntı boyunun yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelediler ve tüm bu faktörlerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna vardılar. Cooper ve DeRuntz [26], iş parçası bağlama boyunun çapa oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi üzerine daha detaylı bir çalışma yaptılar. Bu çalışmalarda iş parçası çapı sabit tutularak ve bağlama boyu değişken alınarak destekli ve desteksiz tormalama işlemleri yapılmıştır.

Yüzey kalitesi, işleme sürecinde önemli bir faktördür ve bir ürünün kalitesini değerlendirmek ve belirlemek için kullanılır. Tormalama işlemi sanayide en yaygın işleme türlerinden birisidir. Tormalamada bir iş parçasının yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi ve öngörülmesinin, imalat sanayinde önemli rol oynadığı düşüncesinden hareketle, bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü ile torna kesme parametrelerine (ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği) ilave olarak, iş parçası çıkıntı uzunluğu ve çapı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi veren ve parametrelere göre yüzey pürüzlülüğünü tahmin eden bir model ANFIS ile oluşturulmuştur.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD)

Tormalama işlemleri, CNC TNL-85a (9kw motor gücü, 4800devir/dak , 264mm dönme çapı ve 400mm tormalama

çapı) torna tezgahında gerçekleştirildi. İş parçaları, kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve 2'de gösterilen otomat çeliğinden (11SMnPb30) üretilmiştir. Kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve çıkıntı uzunluğu değişken parametreler olarak alınmış ve Tablo 3'te görüldüğü gibi her bir parametre için üç seviye tanımlanmıştır. Tormalama işlemlerinde, kesme hızı ile devir arasında ek etkileşim oluşmaması için CNC programda sabit hız kodu kullanılmıştır. Farklı iki çapta (12 ve 24 mm) hazırlanan iş parçaları ile yapılan deney sonuçları, çapların yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmak için ayrı, ayrı değerlendirilmektedir. Tormalama işlemleri karşı punta kullanılmadan ve soğutma sıvısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Burun yarıçapı 0.4 mm olan VBMT 160404 –NC 5330 kesici uç ve AKKO SVJBR2525M16 takım tutucusu kullanılmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri “Mahr” yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı (MarSurf XR 20 with GD 25) ile yapılmıştır. Endüstride yaygın olarak kullanıldığından, yüzey kalitesi ölçümü için ortalama pürüzlülük (Ra) değerleri esas olarak alınmış ve ölçümler, iş parçasının ön ucundan yaklaşık 5 mm lik bölgeden alınmıştır. Örnek uzunluk 0.8mm ve ölçme uzunluğu 4mm olarak alınmıştır. Yüzey pürüzlülükleri, iş parçası çevresinde dört eşit aralıkta (0°, 90°, 180°, 270° derece açılarda) ölçülmüş ve daha sonra ortalaması alınmıştır. Ölçümler ISO standartlarına [ISO 4288] göre gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Tüm ölçümler Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Yenilik Merkezinde yapılmıştır. Giriş parametreleri (V, f, a<sub>p</sub> ve L) ye göre, ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) numune çapı 12 ve 24 mm'ye göre sırasıyla Tablo 4 ve 5'te verilmektedir. Bu parametrelerle yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki ilişki ANFIS modeli ile oluşturulmuştur.

**Tablo 1.** Otomat çeliği (11SMnPb30) kimyasal bileşimi(%) (Chemical Composition of Free machining steel (11SMnPb30),(%))

C	Si	Mn	P	S	Pb
0,14	0,05	0,3-1,3	0,11	0,27-0,33	0,2

**Tablo 2.** Otomat çeliği (11SMnPb30) mekanik özellikleri (Mechanical Composition of Free machining steel (11SMnPb30))

Malzeme	Sut(Mpa) (kopma dayanımı)	Sy(Mpa) (≥) Akma dayanımı	Elongation (≥%) % uzama
11SMnPb30	590	410-375	7

**Tablo 3.** Parametreler ve seviyeleri (Parameters and levels)

Parametreler	Seviyeler		
	1	2	3
Kesme hızı, V(m/dak)	50	85	120
İlerleme hızı, f (mm/devir)	0,12	0,18	0,24
Kesme derinliği, a <sub>p</sub> (mm)	0,4	0,8	1,2
İş parçası çıkıntı uzunluğu, L(mm)	16	30	44

**Tablo 4.** D=12 mm çap ölçüsü için deneysel sonuçlar (Experimental results for workpieces with D=12mm)

No	V	f	a <sub>p</sub>	L	Ra	No	V	f	a <sub>p</sub>	L	Ra	No	V	f	a <sub>p</sub>	L	Ra
1	50	0,12	0,4	16	1,64	28	50	0,12	0,4	30	2,09	55	50	0,12	0,4	44	2,89
2	50	0,12	0,8	16	1,67	29	50	0,12	0,8	30	2,22	56	50	0,12	0,8	44	3,22
3	50	0,12	1,2	16	1,73	30	50	0,12	1,2	30	2,16	57	50	0,12	1,2	44	2,76
4	50	0,18	0,4	16	3,16	31	50	0,18	0,4	30	3,58	58	50	0,18	0,4	44	4,51
5	50	0,18	0,8	16	3,18	32	50	0,18	0,8	30	3,52	59	50	0,18	0,8	44	3,85
6	50	0,18	1,2	16	3,18	33	50	0,18	1,2	30	3,45	60	50	0,18	1,2	44	3,71
7	50	0,24	0,4	16	6,26	34	50	0,24	0,4	30	6,90	61	50	0,24	0,4	44	6,97
8	50	0,24	0,8	16	6,41	35	50	0,24	0,8	30	6,82	62	50	0,24	0,8	44	6,66
9	50	0,24	1,2	16	6,46	36	50	0,24	1,2	30	6,55	63	50	0,24	1,2	44	8,11
10	85	0,12	0,4	16	1,81	37	85	0,12	0,4	30	2,44	64	85	0,12	0,4	44	3,61
11	85	0,12	0,8	16	1,56	38	85	0,12	0,8	30	1,89	65	85	0,12	0,8	44	2,69
12	85	0,12	1,2	16	1,54	39	85	0,12	1,2	30	2,16	66	85	0,12	1,2	44	2,61
13	85	0,18	0,4	16	3,12	40	85	0,18	0,4	30	3,59	67	85	0,18	0,4	44	5,59
14	85	0,18	0,8	16	2,76	41	85	0,18	0,8	30	3,23	68	85	0,18	0,8	44	4,40
15	85	0,18	1,2	16	2,81	42	85	0,18	1,2	30	3,12	69	85	0,18	1,2	44	4,91
16	85	0,24	0,4	16	6,14	43	85	0,24	0,4	30	6,16	70	85	0,24	0,4	44	7,98
17	85	0,24	0,8	16	6,18	44	85	0,24	0,8	30	6,43	71	85	0,24	0,8	44	7,40
18	85	0,24	1,2	16	6,16	45	85	0,24	1,2	30	6,50	72	85	0,24	1,2	44	7,58
19	120	0,12	0,4	16	1,68	46	120	0,12	0,4	30	2,19	73	120	0,12	0,4	44	2,82
20	120	0,12	0,8	16	1,49	47	120	0,12	0,8	30	1,82	74	120	0,12	0,8	44	2,31
21	120	0,12	1,2	16	1,50	48	120	0,12	1,2	30	1,86	75	120	0,12	1,2	44	2,19
22	120	0,18	0,4	16	2,88	49	120	0,18	0,4	30	3,30	76	120	0,18	0,4	44	4,66
23	120	0,18	0,8	16	2,76	50	120	0,18	0,8	30	3,16	77	120	0,18	0,8	44	4,58
24	120	0,18	1,2	16	2,76	51	120	0,18	1,2	30	3,13	78	120	0,18	1,2	44	4,66
25	120	0,24	0,4	16	5,87	52	120	0,24	0,4	30	6,24	79	120	0,24	0,4	44	6,98
26	120	0,24	0,8	16	5,89	53	120	0,24	0,8	30	6,52	80	120	0,24	0,8	44	7,48
27	120	0,24	1,2	16	6,11	54	120	0,24	1,2	30	6,52	81	120	0,24	1,2	44	7,42

**Tablo 5.** D=24 mm çap ölçüsü için deneysel sonuçlar (Experimental results for workpieces with D=24mm)

No	V	f	a <sub>p</sub>	L	Ra	No	V	f	a <sub>p</sub>	L	Ra	No	V	f	a <sub>p</sub>	L	Ra
1	50	0,12	0,4	16	2,53	28	50	0,12	0,4	30	2,84	55	50	0,12	0,4	44	2,67
2	50	0,12	0,8	16	2,32	29	50	0,12	0,8	30	2,15	56	50	0,12	0,8	44	3,85
3	50	0,12	1,2	16	2,37	30	50	0,12	1,2	30	2,35	57	50	0,12	1,2	44	3,46
4	50	0,18	0,4	16	4,69	31	50	0,18	0,4	30	4,42	58	50	0,18	0,4	44	6,47
5	50	0,18	0,8	16	4,39	32	50	0,18	0,8	30	4,37	59	50	0,18	0,8	44	5,02
6	50	0,18	1,2	16	4,54	33	50	0,18	1,2	30	4,21	60	50	0,18	1,2	44	4,89
7	50	0,24	0,4	16	8,08	34	50	0,24	0,4	30	8,56	61	50	0,24	0,4	44	9,05
8	50	0,24	0,8	16	7,57	35	50	0,24	0,8	30	8,21	62	50	0,24	0,8	44	7,53
9	50	0,24	1,2	16	7,24	36	50	0,24	1,2	30	7,55	63	50	0,24	1,2	44	7,15
10	85	0,12	0,4	16	2,66	37	85	0,12	0,4	30	2,61	64	85	0,12	0,4	44	4,31
11	85	0,12	0,8	16	2,11	38	85	0,12	0,8	30	2,05	65	85	0,12	0,8	44	3,09
12	85	0,12	1,2	16	1,91	39	85	0,12	1,2	30	1,94	66	85	0,12	1,2	44	3,02
13	85	0,18	0,4	16	4,47	40	85	0,18	0,4	30	4,78	67	85	0,18	0,4	44	4,59
14	85	0,18	0,8	16	3,85	41	85	0,18	0,8	30	3,98	68	85	0,18	0,8	44	3,47
15	85	0,18	1,2	16	3,89	42	85	0,18	1,2	30	4,00	69	85	0,18	1,2	44	3,23
16	85	0,24	0,4	16	7,95	43	85	0,24	0,4	30	8,10	70	85	0,24	0,4	44	7,04
17	85	0,24	0,8	16	7,37	44	85	0,24	0,8	30	7,86	71	85	0,24	0,8	44	6,92
18	85	0,24	1,2	16	7,23	45	85	0,24	1,2	30	7,25	72	85	0,24	1,2	44	6,86
19	120	0,12	0,4	16	2,06	46	120	0,12	0,4	30	2,06	73	120	0,12	0,4	44	2,85
20	120	0,12	0,8	16	1,59	47	120	0,12	0,8	30	1,40	74	120	0,12	0,8	44	2,66
21	120	0,12	1,2	16	1,65	48	120	0,12	1,2	30	1,63	75	120	0,12	1,2	44	2,05
22	120	0,18	0,4	16	3,74	49	120	0,18	0,4	30	3,86	76	120	0,18	0,4	44	3,68
23	120	0,18	0,8	16	3,69	50	120	0,18	0,8	30	3,81	77	120	0,18	0,8	44	2,90
24	120	0,18	1,2	16	3,75	51	120	0,18	1,2	30	3,97	78	120	0,18	1,2	44	2,90
25	120	0,24	0,4	16	7,16	52	120	0,24	0,4	30	7,04	79	120	0,24	0,4	44	5,75
26	120	0,24	0,8	16	7,08	53	120	0,24	0,8	30	7,21	80	120	0,24	0,8	44	5,90
27	120	0,24	1,2	16	7,18	54	120	0,24	1,2	30	7,15	81	120	0,24	1,2	44	6,13

### 3. ADAPTİF AĞ TEMELLİ BULANIK MANTIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS) (VERIFICATION OF ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM)

Adaptif ağ temelli bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), üyelik fonksiyonlarını geliştirmek için yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneği ile bulanık mantığın insan gibi karar verme özelliklerinin birleşmesi ile ortaya çıkan melez bir modeldir [27-28]. Şekil 1'de görüldüğü üzere ANFIS, bulanık çıkarım sistemi ile adaptif ağların bütünleşmiş halidir. Adaptif ağ, çeşitli sayıda birbirine bağlanmış düğümler içeren, eldeki girdi ve çıktı veri setini ortaya koymaya yarayan ağ yapısını ifade eder [29]. Adaptif ağlardaki düğümler arası bağlantılar, birleştirilen düğümlerle aradaki nedensellik ilişkisini belirtir. Bulanık çıkarım sistemleri ise, giriş değişkenlerinin çıkış değişkenlerine dönüşümünde bulanık kümeleri sunan sistemlerdir [30]. ANFIS öğrenme yöntemi YSA'larına benzer şekilde çalışır. ANFIS sistemlerde, verilen giriş/çıkış veri kümesi kullanılarak, üyelik fonksiyonları parametreleri; ya yalnızca bir geri yayılım algoritması ile ya da en küçük kareler yöntemi ve geri yayılım algoritmasının birleşimi (hibrid) ile ayarlanır [31]. Bu ayarlamalar, modellenecek verilerden bulanık sisteminin eğitilmesine olanak sağlar.

İki giriş verisine sahip ( $x$  ve  $y$ ), düğüm fonksiyonu ile ilişkili dilsel etiketleri ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$  ve  $B_2$ ), normalize edilmiş ateşleme dayanımı ( $W_i$ ) ve düğüm etiketi ( $\Pi$ ) olan tipik bir ANFIS mimarisi Şekil 2'de görülmektedir. ANFIS, 5 katmanlı ileri beslemeli ağ yapısına sahip Sugeno-tipi bir bulanık sistemdir. Birinci katmanda bulanıklaştırma işlemi gerçekleştirilir, ikinci katman kural katmanıdır ve bu katmandaki her bir nöron basit Sugeno-tip bulanık bir kuralı temsil eder. Üçüncü katmanda üyelik fonksiyonları

normalleştirilir. Kuralların sonuçlandırma kısımlarının çalıştırıldığı yer durulama katmanı olan 4. Katmandır. 5. Katman tüm giriş sinyallerinin toplamı olarak tüm ANFIS çıkışlarını hesaplar [32].

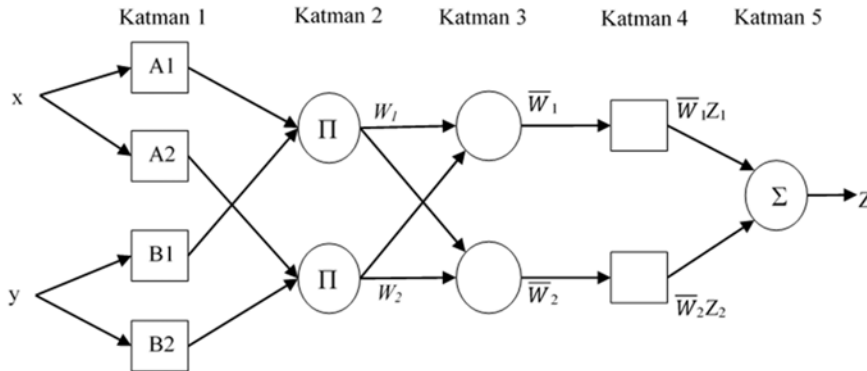
#### 3.1. ANFIS Modelinin Oluşturulması ve Sonuçların Değerlendirilmesi (Modelling and Evaluation of ANFIS Results)

Modelleri oluşturmak için MATLAB programının ANFIS araç kutusu kullanılmıştır. Bu araç kutusu, bir geri yayılım algoritması ve/veya en küçük kareler yöntemi ile birlikte kullanılarak bulanık sistemler oluşturmaya yardımcı olur [33]. 2 farklı çap için ANFIS modellerinde, deneysel verilerin, %67'si eğitim (54 adet) ve %33'ü (27 adet) ise test veri dataları olarak rastgele seçilmiş ve programa yüklenmiştir. Test ve eğitim veri set değerleri tamamen rastlantısal olarak seçilmiştir. Girdi parametresi olarak; kesme hızı,  $V$ (m/dak), ilerleme hızı,  $f$  (mm/devir), kesme derinliği,  $a_p$  (mm) ve iş parçası çıkıntı uzunluğunun çapa oranı  $L/D$  alınmıştır. Çıktı parametresi ise ortalama yüzey pürüzlülüğü  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ )dır.

ANFIS ile kurulan modellerde, uygun üyelik fonksiyonunun ve sayılarının belirlenmesi sürecinde, her bir fonksiyon için hesaplanan eğitim ve test verilerinin sonuçları incelenmiş, en düşük hata payını veren trimf, gauss ve gbell üyelik fonksiyon tipleri kullanılmıştır. Çıkış parametreleri için ise lineer ve sabit gibi tüm üyelik fonksiyon tipleri kullanılarak denemeler yapılmıştır. Her bir parametre için üyelik fonksiyon sayıları 2-2-2-2-2 ten 5-5-5-5-5'e kadar değiştirilerek tüm üyelik fonksiyonları sayıları denendikten sonra kabul edilebilir sonuçlara ulaşıldığında elde edilen ANFIS mimarisi ve parametreleri Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmiştir.



Şekil 1. ANFIS model sistemi (ANFIS model system)



Şekil 2. Tipik bir ANFIS mimarisi [31] (A typical ANFIS architecture)

Modellerin hassasiyeti ve doğruluğu, belirlilik katsayısı  $R^2$  (korelasyon katsayısının karesi), hata kareleri ortalaması (Mean Square Error - MSE), ortalama mutlak hata (Mean Absolute Error-MAE gibi istatistiksel verilere göre değerlendirilmektedir.

Bu parametreler 12 mm ve 24 mm çaplar için Tablo 8 ve Tablo 9'da verilmiş ve en iyi değerler koyu yazılarak belirtilmiştir. Buna göre, eğitim verilerinin istatistiksel sonuçlarına bakıldığında, tüm fonksiyon tiplerinin öğrenme yeteneklerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. (Test

**Tablo 6.** D= 12mm çap ölçüsü için ANFIS mimarisi ve parametreleri (ANFIS architecture and parameters for D=12mm)

Üyelik fonksiyon (MF) tipi	Gauss	Gbell	Trimf
Üyelik fonksiyon sayısı	2423	2424	2423
Düğüm sayısı	125	159	125
Lineer parametre sayısı	240	320	240
Non-lineer parametre sayısı	22	36	33
Toplam parametre sayısı	262	356	273
Eğitim verileri çifti sayısı	54	54	54
Test verileri çifti sayısı	27	27	27
Bulanık kural sayısı	48	64	48
Çıktı fonksiyon tipi	Doğrusal	Doğrusal	Doğrusal

**Tablo 7.** D= 24mm çap ölçüsü için ANFIS mimarisi ve parametreleri (ANFIS architecture and parameters for D=24mm)

Üyelik fonksiyon (MF) tipi	Gauss	Gbell	Trimf
Üyelik fonksiyon sayısı	2423	2423	3423
Düğüm sayısı	125	125	175
Lineer parametre sayısı	240	240	360
Non-lineer parametre sayısı	22	33	36
Toplam parametre sayısı	262	273	396
Eğitim verileri çifti sayısı	54	54	54
Test verileri çifti sayısı	27	27	27
Bulanık kural sayısı	48	48	72
Çıktı fonksiyon tipi	Doğrusal	Doğrusal	Doğrusal

**Tablo 8.** D= 12mm çap ölçüsü için en iyi ANFIS modelleri istatistiksel değerleri  
(Best statistical results for ANFIS models for D=12mm)

Üyelik Fonksiyon Sayısı	Üyelik Fonksiyon Tipi	İstatistiksel parametreler	Eğitim	Test	Toplam
2423	Gauss	$R^2$	1,0000	0,9515	0,9828
		MAE	3,31E-06	2,95E-01	9,84E-02
		MSE	2,42E-11	2,10E-01	7,00E-02
2424	Gbell	$R^2$	1,0000	0,9499	0,9822
		MAE	4,14E-06	3,01E-01	1,00E-01
		MSE	4,01E-11	2,17E-01	7,25E-02
2423	Trimf	$R^2$	1,0000	0,9498	0,9821
		MAE	2,51E-06	3,05E-01	1,02E-01
		MSE	1,27E-11	2,20E-01	7,32E-02

verilerine bakıldığında, çap 12 için gauss fonksiyon tipi ile üretilen modelin belirlilik katsayısının daha yüksek olduğu ( $R^2= 0,9515$ ) diğer istatistiksel verilere bakıldığında ise ortalama mutlak hata (MAE) ve hata kareleri ortalaması (MSE) değerleri için Trimf fonksiyon tipi ile kurulan modelin öğrenmede diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Modellerin test verilerini tahmin etme başarısı karşılaştırıldığında ise, Gauss modelinin diğer iki modelin tüm istatistiksel verilerinden ( $R^2=0,9515$ ,  $MAE=0,295$  ve  $MSE=0,21$ ) daha iyi olduğu görülmektedir.

Çap 24 için ise (Tablo 9), tüm modellerin öğrenme başarısı karşılaştırıldığında Trimf ile oluşturulan modelin istatistiksel değerlerinin ( $MAE= 9.13E-07$  ve  $MSE=1.58E-12$ ) daha iyi olduğu görülmektedir. Test verilerine bakıldığında ise gauss fonksiyon tipi ile üretilen modelin tüm istatistiksel verilerde en iyi olduğu görülmektedir ( $R^2=0,9382$ ,  $MAE=0,334$  ve  $MSE=0,29$ ). Şekil 3 ve şekil 4'te sırasıyla Çap 12 ve çap 24 için yüzey pürüzlülüğünün ölçülen (deneysel) verileri ile en iyi ANFIS modellerinin tahmin değerlerinin karşılaştırılması yapılmaktadır. Şekil 3-a ve Şekil 4-a incelendiğinde ANFIS modellerinin çok iyi eğitildiği, ANFIS sonuçları ile deneysel verilerin birebir örtüşmesinden anlaşılmaktadır. Oluşturulan ANFIS modellerinin oldukça iyi tahmin ettikleri test grafiklerinde (Şekil 3-b ve Şekil 4-b) sapmaların oldukça az olmasından anlaşılmaktadır.

#### 4. PARAMETRELERİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF INPUT PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS)

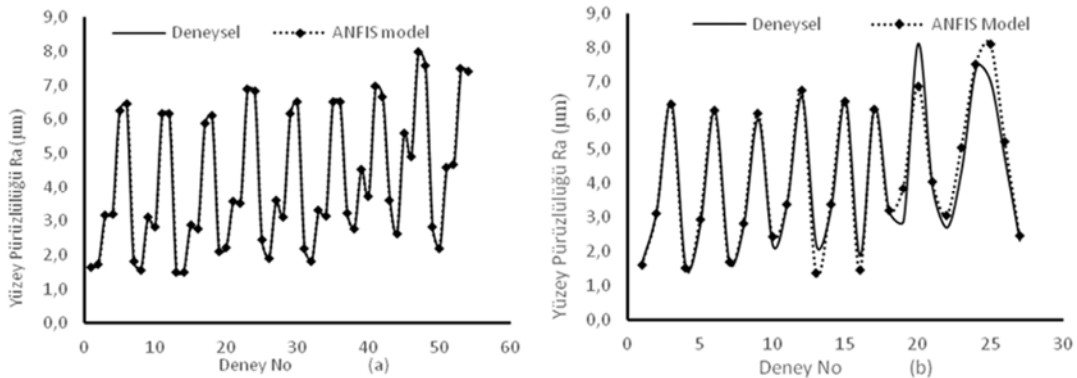
Parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri her iki çaptaki iş parçaları için aşağıda verilmiştir.

Deneylerde çıkıntı uzunluğu /çap oranı (16/12, 30/12, 44/12) değerlerini almaktadır. Şekil 5 incelendiğinde, ilerleme hızının birinci derecede etkili olduğu, L/D oranının ise ikinci en etkili parametre olduğu görülmektedir. Çıkıntı uzunluğu arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. L/D oranının 2 ve daha küçük olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğündeki değişiklik önemsizdir. L/D oranının 2'den büyük olduğu durumlarda ise yüzey pürüzlülüğü önemli ölçüde artmakta yani yüzey kalitesi düşmektedir. Sehim etkisi oldukça hissedilmektedir. Deney parametrelerinden kesme hızındaki ve kesme derinliğindeki artışlar yüzey pürüzlülüğünde çok az bir düşüşe sebep olmaktadır.

Deneylerde çıkıntı uzunlukları her iki çap için aynı değerlerde olduğundan, L/D oranları 0.8, 1.25 ve 1.83 tür ve 2'den küçüktür. Şekil 6'da parametrelerin karşılıklı etkileşimleri incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu ve kesme hızının

**Tablo 9.** D= 24mm çap ölçüsü için en iyi ANFIS modelleri istatistiksel değerleri  
(Best statistical results for ANFIS models for  $D=24mm$ )

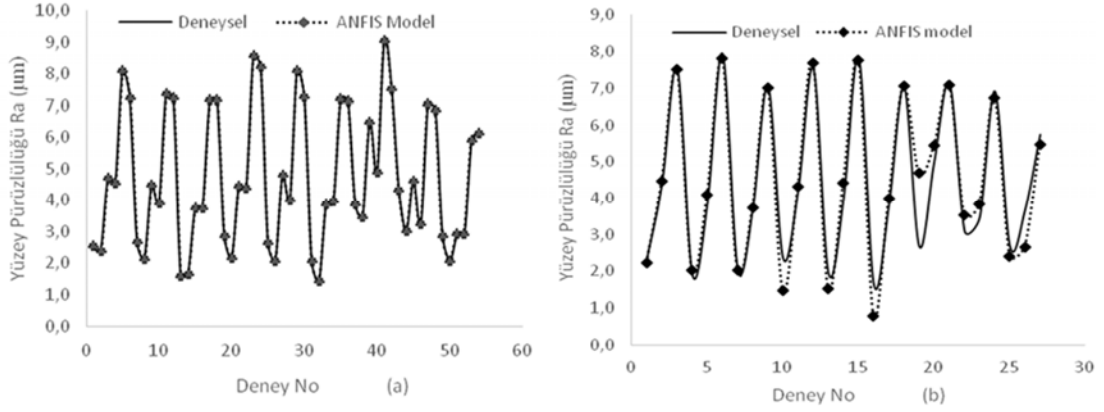
Üyelik Fonksiyon Sayısı	Üyelik Fonksiyon Tipi	İstatistiksel parametreler	Eğitim	Test	Toplam
2423	Gauss	$R^2$	1,0000	0,9382	0,9794
		MAE	5,04E-06	3,34E-01	1,11E-01
		MSE	4,61E-11	2,90E-01	9,66E-02
2423	Gbell	$R^2$	1,0000	0,9357	0,9787
		MAE	4,18E-06	3,53E-01	1,18E-01
		MSE	2,72E-11	3,00E-01	1,00E-01
3423	Trimf	$R^2$	1,0000	0,9341	0,9781
		MAE	9,13E-07	4,01E-01	1,34E-01
		MSE	1,58E-12	3,09E-01	1,03E-01



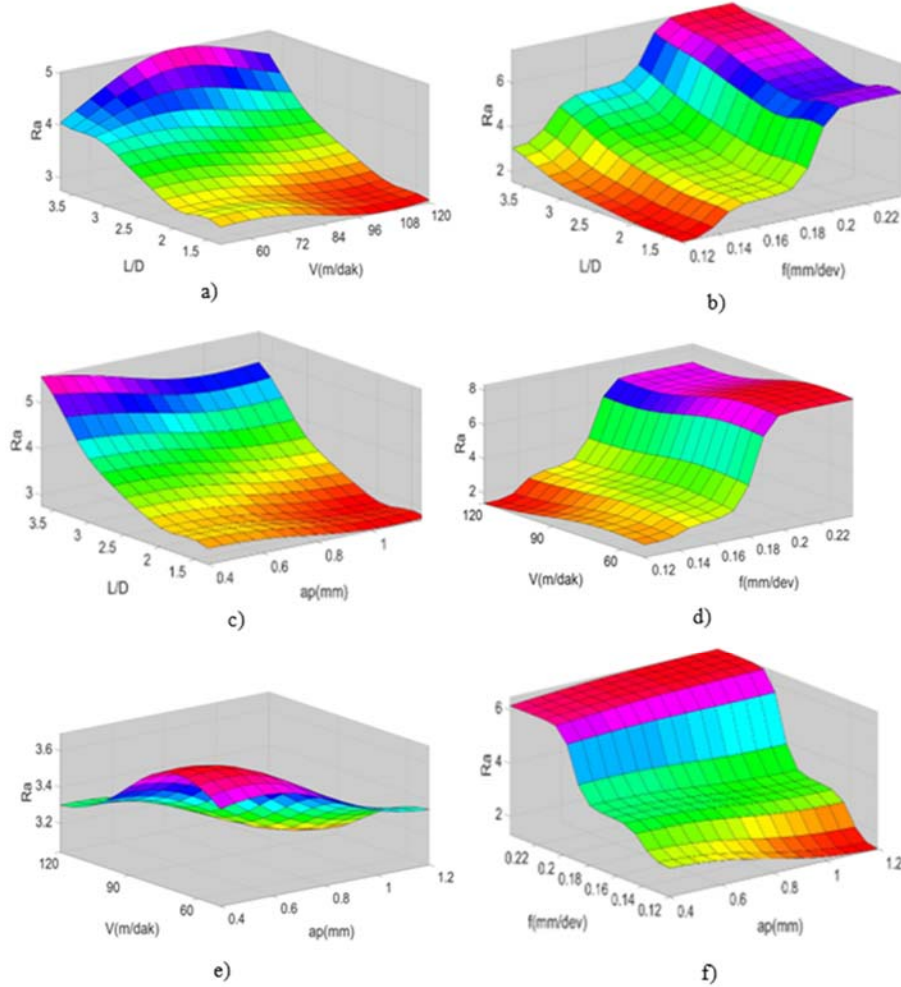
**Şekil 3.** D=12mm çap ölçüsü için yüzey pürüzlülüğünün ölçülen ve ANFIS modelinin tahmin değerlerinin karşılaştırılması a) eğitim b) test verileri

(Comparison of ANFIS predicted values and measured values of surface roughness (a)training (b) test data for  $D=12mm$ )





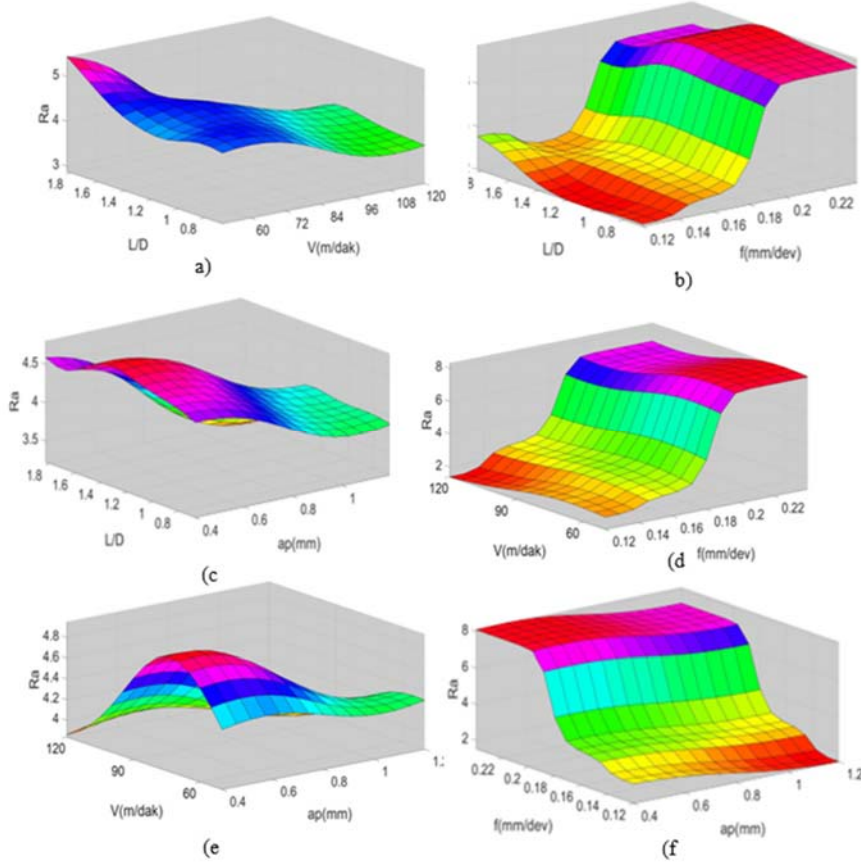
**Şekil 4.** D=24mm çap ölçüsü için yüzey pürüzlülüğünün ölçülen ve ANFIS modelinin tahmin değerlerinin karşılaştırılması a) eğitim b) test verileri (D=24mm)  
(Comparison of ANFIS predicted values and measured values of surface roughness (a)training (b) test data for D=24mm)



**Şekil 5.** 12 mm çaptaki parçalar için parametrelerin karşılıklı etkileşimleri  
(Interaction effects of parameters for workpieces with 12mm diameter)

ikinci derece etkili parametre olduğu gözükmemektedir. Yüzey pürüzlülüğü L/D oranlarına bağlı olarak önemsiz değişiklik göstermektedir. Kesme derinliğinin etkisi beklendiği gibi

yine en azdır. Kesme hızı sabit tutulup çap artırılırsa devir sayısı azalacağından yüzey pürüzlülüğü olumsuz olarak etkilenir.



**Şekil 6.** 24 mm çaptaki iş parçaları için parametrelerin karşılıklı etkileşimleri  
(Interaction effects of parameters for workpieces with 24mm diameter)

## SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, kesme parametreleri ile iş parçası çapı ve çıkıntı uzunluğu/çap oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri bir seri deneyler yapılarak incelenmiştir. Deneylerde karşı punta kullanılmamıştır. Deneyler, tam faktöriyel deney tasarımı olarak tasarlanıp, 4 farklı parametre ve 3 seviye için, iki farklı çapta sürdürülmüş, ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değeri esas alınarak farklı çaptaki ve farklı çıkıntı uzunluğundaki numunelerin yüzey kalitesi karşılaştırılmıştır.

Deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılarak, ANFIS ile yüzey pürüzlülüğünü tahmin eden modeller geliştirilmiş ve her çap için modeller oluşturulmuştur. Buna göre;

Çap 12 mm için, Gauss modelinin en iyi model olduğu istatistiksel verilerden ( $R^2=0,9515$ ,  $MAE=0,295$  ve  $MSE=0,21$ ) anlaşılmaktadır. Çap 24 mm için istatistiksel sonuçlara bakıldığında, gauss fonksiyon tipi ile üretilen modelin tüm istatistiksel verilerde en iyi olduğu görülmektedir ( $R^2=0,9382$ ,  $MAE=0,334$  ve  $MSE=0,29$ ).

Gerek istatistiksel veriler, gerekse Şekil 3 ve Şekil 4'teki sapmaların oldukça az olması kurulan ANFIS modellerinin yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmede oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

Kesme parametreleri ve iş parçası çapı ve çıkıntı uzunluğu/çap oranı temel alınıp, ANFIS modeller oluşturularak farklı çaplar için elde edilen 3-boyutlu grafikler incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır.

1. İlerleme hızı, tüm durumlarda yüzey pürüzlülüğü için en etkili faktördür.
2. 12mm çapındaki iş parçalarında parametrelerin karşılıklı etkileşimleri Şekil 5'te verilmiştir. 5a, 5b ve 5c incelendiğinde L/D oranının 2 ve daha küçük olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğünde önemli hiçbir değişiklik olmadığı görülmüştür. L/D oranının 2'den büyük olduğu durumlarda ise yüzey pürüzlülüğünün önemli ölçüde arttığı ve L/D oranının ilerleme hızından sonra ikinci etkili parametre olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, Cooper ve DeRuntz [26] yaptıkları çalışmada sabit kesme şartları altında (kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve iş parçası çapı sabit alınarak), iki farklı kesme metoduna göre (karşı puntalı ve karşı puntasız) 7 farklı L/D oranı (1:1, 1.5:1, 2:1, 2.5:1, 3:1, 3.5:1, 4:1) için yüzey pürüzlülüğünün nasıl değiştiğini tartışmışlardır. Sonuç itibarıyla karşı punta kullanılmadan L/D oranının 2'den küçük ve eşit durumda olduğu hallerde yüzey pürüzlülüğünün pek değişmediği görülmüş ve ayrıca puntalı ve puntasız metotların çok yakın sonuçları verdiğini ve dolayısıyla karşı punta kullanılmasına

gerek olmadığı sonucuna varmışlardır. Puntasız metotta, L/D oranının 2'den büyük olduğu durumlarda ise L/D arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Puntalı metotta ise L/D oranının artmasıyla önemli değişiklik görülmemiştir. Puntasız metotta elde edilen yüzey pürüzlülüğü puntalı metotta elde edilen değerlere göre yüksek çıkmıştır.

Bu çalışmada, 12 mm çap için parametrelerin karşılıklı etkileşimleri Şekil 5'te sunulmuştur. L/D oranının 2 ve daha küçük olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğünde değişikliğin olmaması Cooper ve DeRuntz'un çalışmalarıyla örtüşmektedir. L/D oranının 2'den büyük olduğu durumlarda ise yüzey pürüzlülüğü artmakta ve bu sonuçlarda yukarıdaki araştırma ile paralellik göstermektedir. Yüzey kalitesinin değişmesi istenmezse, karşı punta kullanılması gereği ortaya çıkmaktadır. 24 mm çapındaki iş parçalarında ise L/D oranı 0.8-1.83 arasındadır ve 2'den küçüktür. Şekil 6'da da gösterildiği gibi çapın artması L/D oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini azaltmıştır.

3. Kesme hızı 24mm çapındaki parçalarda 12mm çaplı parçalara göre daha etkilidir. Şekil 6a,6d ve 6e'de görüldüğü gibi kesme hızının etkisi L/D oranının etkisinden daha fazladır. Değişik bir deyimle, çap arttıkça, L/D oranı küçülmekte ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi azalmaktadır. Çıktı uzunluğunun ve çapın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri ters yöndedir. Küçük çapta çıkıntı uzunluğu, büyük çapta kesme hızı daha etkilidir.

Sonuç olarak denilebilir ki, tornalama işlemlerinde yüzey kalitesini etkileyen faktörlere (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) ve kesici takım parametrelerine (malzeme ve takım geometrisi) ilave olarak iş parçası geometrisi (çıkıntı uzunluğu ve iş parçası çapı) de göz önüne alınması gereken faktörlerdir. Bu çalışma, literatürde bu konudaki eksikliğe dikkat çekmek için yapılan ve bu konuya katkıda bulunan bir çalışma olarak değerlendirilebilir.

Oluşturulan modeller, istenilen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için parametrelerin gerek kesme parametrelerinin gerekse iş parçası boyutu (çap ve çıkıntı uzunluğu) doğru ve uygun seçimi için endüstrideki kullanıcılara kolaylık sağlayacaktır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmanın deneylerinin yapılmasında verilen destek için Gaziantep Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri yönetimine teşekkür ederiz. Proje no.MF.09.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Albrecht A.B., How to secure desired surface finish in turning operations, Journal of Advanced Manufacturing Technology, 6, 133-136, 1956.
2. Olsen K.V., Surface Roughness on Turned Steel Components and the Relevant Mathematical Analysis. Production Engineer, 593-606, 1963.
3. Takeyama M., Ono T., Study on roughness of turned surface. Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering, 1, 4, 274-279, 1967.
4. Nassirpour F., Wu S.M., Statistical evaluation of surface finish and its relationship to cutting parameters in turning. International Journal of Machine Tool Design and Research, 17, 4, 197-208, 1977.
5. Choudhury I., El-Baradie M., Surface roughness prediction in the turning of high-strength steel by factorial design of experiments. Journal of Materials Processing Technology, 67, 55-61, 1997.
6. Suresh P.V.S., P.Venkateswara Rao, S.G.Deshmukh, A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 42, 675-680, 2002.
7. Sahin Y., Motorcu A.R., Surface roughness model in machining hardened steel with cubic boron nitride cutting tool. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 26, 84-90, 2008.
8. Sundaram R.M., Lambert B.K., Mathematical models to predict surface finish in fine turning of steel. Part II. International Journal of Production Research, 19, 547-556, 1981.
9. Özel T., Karpat Y., Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 45, 467-479, 2005.
10. Özel T., Karpat Y., Figueira L., Davim J.P., Modelling of surface finish and tool flank wear in turning of AISI D2 steel with ceramic wiper inserts. Journal of Materials Processing Technology, 189, 192-198, 2007.
11. Risbood K., Dixit U., Sahasrabudhe A., Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process. Journal of Materials Processing Technology, 132, 203-214, 2003.
12. Swaroop S., Bhosale V.V., Gilke N.R., Surface roughness prediction in CNC Turning based on motor current using ANFIS. International Journal of Mechanical And Production Engineering, ISSN: 2320-2092. 4, 9, 2016.
13. Karayel D., Prediction and control of surface roughness in CNC lathe using artificial neural network. Journal of materials processing technology, 209, 3125-3137, 2009.
14. Asilturk İ., Çunkaş M., Modelling and prediction of surface roughness in turning process using artificial neural network and multiple regression method. Expert systems with applications, 38, 5, 5826-5832, 2011.
15. Kharola, A., Development of an hybrid neuro-fuzzy controller for surface roughness prediction in of mild steel during turning. International journal of recent advances in mechanical engineering (IJMECH), 4, 3, 73-79, 2015.
16. Cica D., Sredanovic.M., Modelling of tool life and surface roughness in hard turning using soft computing techniques: a comparative study. Int. J. Materials and Product Technology, 50, 1, 49-64, 2015.

17. Anil Raj R., Dev Anand M., Leo Dev Wins K., Varadarajan A.S., ANFIS based Model for Surface Roughness Prediction for Hard Turning with Minimal Cutting Fluid Application. *Indian Journal of Science and Technology*, 9 (13), Doi: 10.17485/ijst/2016/v9i13/90562, 2016.
18. Kumar R., Chauhan S., Study on surface roughness measurement for turning of Al 7075/10/SiCp and Al hybrid composites by using response surface methodology (RMS) and artificial neural networking (ANN), *Measurement* 65, 166-180, 2015.
19. Biswajit Das, Susmita Roy, R.N. Rai, S.C. Saha, Studies on effect of cutting parameters on surface roughness of Al-Cu-TiC MMCs: An Artificial Neural Network Approach. *Procedia computer Science*, 45, 745-752, 2015.
20. Manivel D., Gandhinathan R., Optimization of surface roughness and tool wear in hard turning of austempered ductile iron (grade 3) using Taguchi method. *Measurement*, 93, 108–116, 2016.
21. Tomov, M., Kuzinovski, M., Cichose, P., Development of mathematical models for surface roughness parameter prediction in turning depending on the process condition. *International Journal of Mechanical Sciences* 113, 120–132, 2016.
22. Karabulut A., Experimental investigation of diametric errors during cylindrical turning, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25, 2, 257-265, 2010.
23. Pul M., Çalın R., Çıtak R., Şeker U., An investigation of surface quality of turning in Al matrix MgO reinforced composite materials, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26 (1), 81-88, 2011.
24. Carou D., Rubio E.M., Lauro C.H., Davimarabulut J.P., Experimental investigation on surface finish during intermittent turning of UNS M11917 magnesium alloy under dry and near dry machining conditions, *Measurement*, 56, 136–154, 2014.
25. Izelu C.O., Eze S.C., Oreko B.U., Edward B.A., Effect of depth of cut, Cutting speed and Work-piece Overhang on Induced Vibration and Surface Roughness in the Turning of 41Cr4 Alloy steel. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4, 1, 1-5, 2014.
26. Cooper J., DeRuntz B., The relationship between the workpiece extension length/diameter ratio and surface roughness in turning applications. *Journal of Industrial Technology*, 23, 2, 1-7, 2007.
27. Jang J.S.R., Sun C.T., Mizutani E., *Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence*. Prentice Hall, Inc., 1997.
28. Kim J., Kasabov N., ANFIS: Adaptive Neurofuzzy inference systems and their application to nonlinear dynamical systems. *Neural Networks*, 1301-1319, 1999.
29. Yücel, A., Güneri, A.F., Application of Adaptive Neuro Fuzzy Inference System to Supplier Selection Problem. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 224-234, 2010.
30. Subaşı S., Şahin İ., Çomak B., Tahribatsız Test Sonuçları Kullanılarak Uçucu Kül İkameli Betonlarda Basınç Dayanımının ANFIS ile Tahmini. *International Journal of Technologic Sciences*, 9-16, 2010.
31. Jang J.S.R., ANFIS: Adaptive-networkbased fuzzy inference systems. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern*, 665-685, 1993.
32. Demirel Ö., ANFIS ve ARMA Modeller İle Elektrik Enerjisi Yük Tahmini. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 2009.
33. Cakir M.V., Eyercioglu O, Gov K., Sahin M., Cakir S.H., Comparison of Soft Computing Techniques for Modelling of the EDM Performance Parameters. *Advanced in Mechanical Engineering*, 2013, Article ID 392531, 15, 2013.