

Yüzey Pürüzlülüğünün Tahmininde Farklı Yöntemlerin İncelenmesi

Mehmet Fatih DEMİRDÖĞEN ORCID 0000-0002-0545-3733

Süleyman KILIÇ^{*2} ORCID 0000-0002-1681-9403

Fahrettin ÖZTÜRK^{3,4} ORCID 0000-0001-9517-7957

¹Uygurlar Makina, Organize Sanayi Bölgesi, 40100, Kırşehir

²Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 40100, Kırşehir

³Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara

⁴Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara,

Geliş tarihi: 11.05.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atf şekli/ How to cite: DEMİRDÖĞEN, M.F., KILIÇ, S., ÖZTÜRK, F., (2022). Yüzey Pürüzlülüğünün Tahmininde Farklı Yöntemlerin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 531-541.

Öz

Kalıplılık sektöründe talaşlı imalat en yaygın kullanılan yöntemlerden birisi olup maliyeti önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle istenilen yüzey pürüzlülüğü/kalitesini düşük maliyetle minimum işleme zamanında elde etmek temel amaçtır. Yüzey kalitesi: kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, titreşim, soğutma sıvısı, kullanılan kesici uç özellikleri/geometrisi gibi birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, sıcak iş takım çeliğinin farklı parametrelerde tornalanması sonucu yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Aynı zamanda, elde edilen deneysel verilerden regresyon, yapay sinir ağları ve bulanık mantık tahmin modelleri oluşturulmuştur. Bu sayede farklı parametrelerdeki yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Deneysel sonuçlarla model sonuçları karşılaştırıldığında, yaklaşık %5 hata ile en yakın tahmin Sugeno bulanık mantık modeli ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağları, Sugeno, Anfis, Regresyon, Yüzey pürüzlülüğü

Investigation of Different Methods for Estimating Surface Roughness

Abstract

Machining is one of the most widely used manufacturing processes in the mold industry and which affects the manufacturing cost significantly. Particularly, the desired surface roughness/quality at a low cost at minimum machining time is the ultimate target. Surface quality depends on many parameters such as cutting speed, feed, depth of cut, vibration, coolant, insert properties/geometry used. In this study, surface roughnesses after turning of hot work tool steel at different parameters are investigated. At the

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Süleyman KILIÇ, suleymankilic@gmail.com

same time, regression, artificial neural network, and fuzzy logic prediction models are developed from the experimental data. Therefore, surface roughness values at the different parameters are determined. The closest estimate with approximately 5% error is obtained by the Sugeno fuzzy logic model when it compared to experimental results.

Keywords: Artificial neural networks, Sugeno, Anfis, Regression, Surface roughness

1. GİRİŞ

İmalatta, yüzey pürüzlülüğü/kalitesi oldukça önemli bir parametredir. Kullanılan imalat yöntemine göre yüzey kalitesi farklılık göstermektedir. Parçanın kullanım yerine göre yüzey pürüzlülük değeri belirlenmekte ve yüzeye uygun imalat yöntemi seçilmektedir. Örneğin frezeleme işlemiyle 0,4 ile 25 μm (N5-N11, R_a) yüzey pürüzlülük değerleri elde edilebilirken, taşlama yöntemiyle 0,012 ile 6,3 μm (N1-N9, R_a) yüzey pürüzlülük değerleri elde edilebilmektedir [1]. Yüzey pürüzlülüğü; uç yarıçapı, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği gibi birçok parametreye göre değişmekte ve bu parametrelerin etkileri incelenmektedir [2-4].

Regresyon, değişken sayısına bakılmaksızın, değişkenlerin arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan bir analiz yöntemidir. Regresyon yöntemi, diğer bilim dallarında olduğu gibi yüzey pürüzlülüğü tahmininde de kullanılmaktadır. Gökçe [5], 1050-H14 alüminyum alaşımının matkapla delme işleminde yüzey pürüzlülüğü gibi parametreleri deneysel olarak incelemiş ve regresyon modellerini oluşturmuştur. Regresyon analizi sonucunda yüzey pürüzlülüğü üzerinde etken parametreleri belirlemiştir. Gürbüz ve arkadaşları [6], kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış kesici takımlar ile AISI1050 çeliğinin tornalaması işleminde yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetinin analizini yapmışlardır. Deneysel verilerde regresyon modelleri oluşturmuşlar ve yaklaşık %99 oranında doğru sonuçlar elde etmişlerdir. Çelik ve arkadaşları [7], AISI 2507 süper dubleks paslanmaz çeliğinde tornalama işleminde yüzey kalitesini incelemişlerdir. İncelemiş oldukları parametrelerden yüzey pürüzlülüğüne en etkin parametrenin ilerleme olduğunu tespit etmişlerdir. Regresyon modelinde ise lineer ve kuadratik yöntemler karşılaştırılmıştır.

Kuadratik regresyon modeli ile daha yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilmiştir.

Yapay sinir ağları (YSA) imalat sanayinde yüzey pürüzlülüğü, kuvvet, geri esneme vb. alanlarda kullanılmaktadır. Kılıç [8], 7075 alüminyum alaşımında geri esnemenin tahmininde regresyon ve YSA modelleri ile geri esnemeyi tahmin etmeye çalışmıştır. YSA modellerinin regresyon modellerinden daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Erdemir ve Özkan [9], tırnaklı birleştirmede sıkma/çözme kuvvetlerinin hesaplamasında YSA modeli oluşturmuşlardır. Malzeme cinsi ve tırnaklı bağlantının uç açısı verilerek bağlantı elemanlarında sıkma/çözme kuvvetini hesaplayan bir program geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri programın, %99 oranında doğru tahmin yaptığı belirtilmiştir. Çakıroğlu ve Uzun [10], frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetini yapay sinir ağları yöntemiyle modellemiştir. Oluşturdukları YSA yöntemiyle, bileşke kuvvet ve yüzey pürüzlülüğünü başarılı bir şekilde elde etmişlerdir. Akkuş [11], AISI 1040 çeliğinde yüzey pürüzlülüğü tahmininde farklı modeller (regresyon, Taguchi, YSA, bulanık mantık) kullanmıştır. Girdi parametreleri olarak; kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği parametrelerini kullanmıştır. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin ilerleme olduğu belirtilmiştir. En yakın tahmin, bulanık mantık modeli ile elde edilmiştir.

Bulanık mantık yöntemleri, klasik yöntemlerden farklı olarak ihtimalden bahsetmekte ve klasik mantık yöntemlerinin doğru sonuç vermediği birçok alanda yüksek doğrulukta sonuçlar vermektedir. Örneğin eğitim sektöründe öğrencilerin verdiği cevaplara göre yeteneklerin belirlenmesi [12], seralardaki iklimlendirme çalışmalarında [13], fan kontrol sistemlerinde [14], hibrit yenilebilir enerji sistemlerinde enerji yönetiminde [15], robot ellerinin hassas kavrama

yapabilmesinde [16], hisse senedi yatırım getirisi tahmininde [17], talaşlı imalat yönteminde yüzey pürüzlülüğü tahmininde [18], günlük buharlaşma miktarının tahmininde [19], basınç dayanımı tahmininde [20], EDM yönteminde parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne ve elektrot aşınmasına etkisinde [21], hidrodinamik darbe yüklemesinin malzemelere etkisinin tahmin edilmesi [22] gibi çalışmalarda yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği görülmektedir. Sugeno modelinde modelin tahmin kabiliyetinin artırılması içinde çalışmalar devam etmektedir [23]. Dilipak ve arkadaşları [24], yüzey frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesinde yapay zeka yöntemlerini ve regresyon analizini incelemiştir. Çalışmalarında 1.2738 kalıp çeliği kullanılmıştır. Parametre olarak kesme hızı ve ilerleme kullanılmıştır. Sugeno (Anfis) modeli %100 doğruluk verirken, regresyon modeli ile %71 doğruluk elde etmişlerdir. Velmurugan ve arkadaşları [25], anfis yöntemi kullanarak EDM parametrelerinin yüzey pürüzlülüğündeki etkilerini araştırmışlardır. Anfis modelinin yüzey pürüzlülüğündeki hata oranının %1,67 olduğu söylenmiştir. Kumar ve arkadaşları [26], anfis ve genetik algoritma yöntemlerini kullanarak termal delme işlemindeki parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Deneysel ve tahminlerin arasında yüksek derecede yakınlık olduğu görülmüştür.

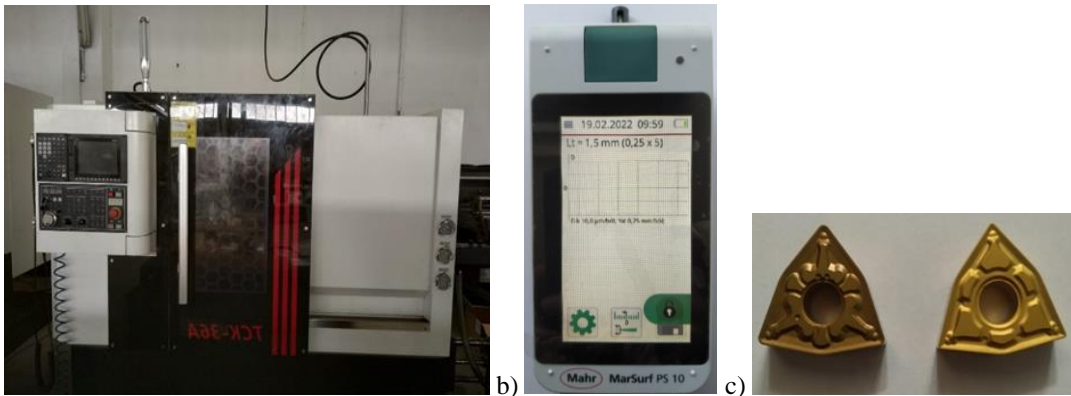
Bu çalışma kapsamında kesici uç yarıçapı, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği parametrelerinin

yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel verilerle regresyon, yapay sinir ağları ve Sugeno bulanık mantık modelleri kullanılarak yüzey pürüzlülüğü değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmada DIN 1.2344 (AISI H13- ISO X40CrMoV5) sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Bu çelik, ekstrüzyon takımları, enjeksiyon kalıpları, dövme takımlarının imalatında kullanılan ve talaşlı imalat ile son haline getirilen bir malzemedir. Talaşlı imalat işlemlerinden dolayı yüzey pürüzlülüğü önem arz etmektedir. Yüzey pürüzlülüğü: imalat yöntemlerinden dolayı yüzeyde meydana gelen düzensizliklere denilmekte ve R_a , R_z , R_{mak} sembolleriyle ifade edilmektedir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerine (aritmetik ortalama) R_a , örnekleme bölgesindeki en yüksek beş tepe ve çukurun farkının ortalaması R_z , en yüksek tepe ile en düşük çukurun arasındaki mesafe ise R_{mak} olarak adlandırılmaktadır.

Bu çalışmada CNC tezgâhında farklı kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme miktarlarında farklı uç yarıçapına (4 ve 8 mm) sahip kesici takımlar kullanılarak yüzey işlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde Mahr MarSurf PS10 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan a) CNC tezgâhı, b) yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı, c) farklı uç yarıçapına sahip kesici uçlar

Yüzey pürüzlülüğü ile kesici uç yarıçapı ve ilerleme arasında (1) numaralı denklemde verilen ilişki bulunmaktadır. Her ne kadar bu ilişkiye göre ilerleme ve kesici uç yarıçapına göre yüzey pürüzlülüğü belirlenebilse de diğer etken parametrelerden (tezgâhın durumu, iş parçasının bağlanması, titreşim vb.) dolayı sapmalar oluşmaktadır.

$$R_a = \frac{f^2}{8r} \quad (1)$$

Eşitlik 1’de r : kesici uç yarıçapı (mm), f : ilerleme (mm/dev) ifade etmektedir.

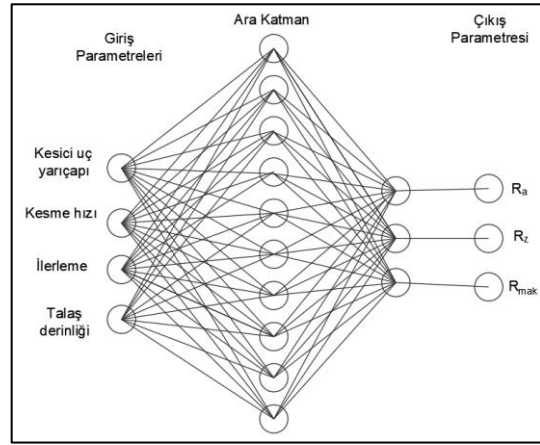
Deneyssel olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Bu verilerden regresyon analizi, yapay sinir ağları ve Sugeno bulanık mantık yöntemi kullanılarak yüzey pürüzlülüğü tahminleri yapılmış ve karşılaştırılmıştır.

Regresyon analizi, doğrusal olabileceği gibi doğrusal olmayan şekilde de yapılabilir. Bu çalışmada, doğrusal regresyon yöntemi kullanılarak 4 parametreye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) tahmin denklemleri elde edilmiştir. Benzer şekilde doğrusal olmayan bir yüzey pürüzlülüğü tahmin denklemi elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Regresyon analizinde sadece R_a yüzey pürüzlülüğü değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

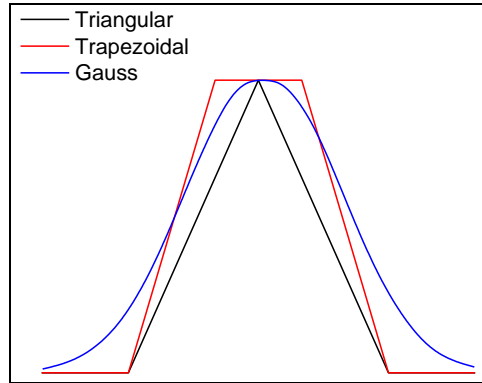
YSA modelinde ise R_a , R_z ve R_{mak} değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bunun için farklı eğitim/test veri oranları, farklı nöron sayıları ve katmanların tahmin üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Oluşturulan YSA modeli 4 girişli (kesici uç yarıçapı, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği) ve 3 çıkışlı (R_a , R_z ve R_{mak})’dır. Şekil 2’de şematik tek katmanlı YSA modeli verilmiştir.

Klasik mantık sistemi “var ve yok” ile ilgilenirken, bulanık mantık sistemi “olabilir” ihtimalini de hesaba katmaktadır. Her bir veri, derecelere ifade edilmekte ve bulanıklaştırılmaktadır. Bu derecelendirme işleminde çeşitli fonksiyonlar

kullanılmakta ve bunların ilişkisi belirlenmektedir. Bulanıklaştırma işleminde, eğer ve ise şartları ile kurallar oluşturulmaktadır. Bulanıklaştırma için farklı üyelik fonksiyonları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Şekil 3’de gösterilmiştir. Bunlar deneme yanılma yöntemiyle belirlenmektedir. Bulanık mantıkta en yaygın kullanılan modeller Sugeno ve Mamdani modelleridir. Sugeno modeli çalışma yapısı ve oluşturulan Sugeno (anfis) yapısı Şekil 4’te gösterilmiştir. Sistem giriş, bulanıklaştırma, durulaştırma, çıktı gibi katmanlardan oluşmaktadır [27,28].



Şekil 2. Yüzey pürüzlülüğü tahmininde tek katmanlı YSA modeli



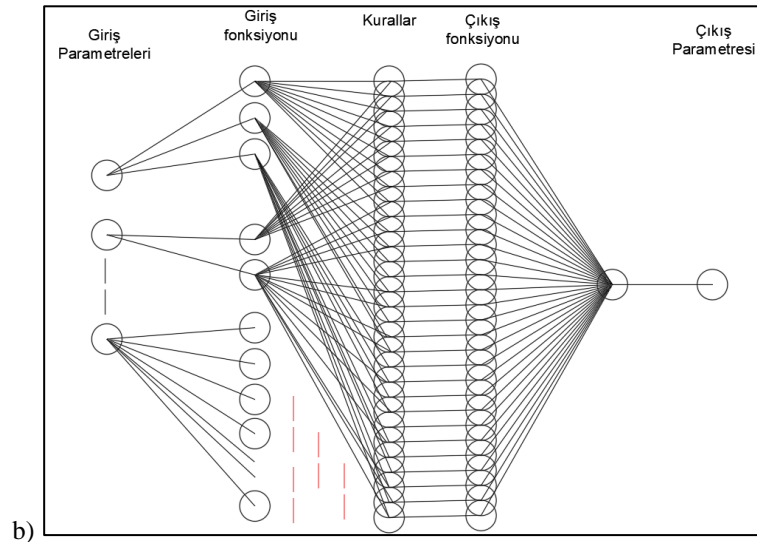
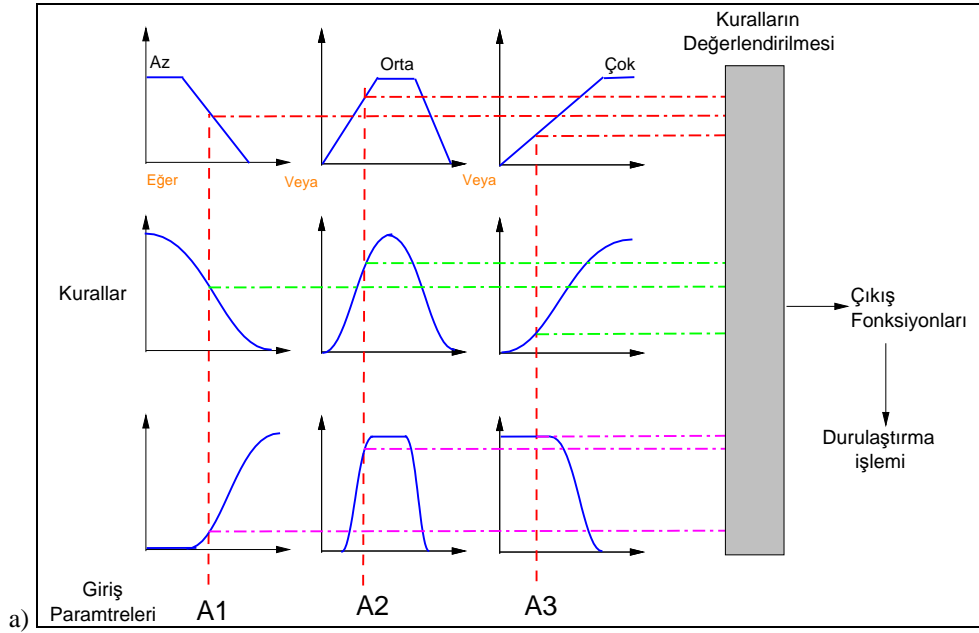
Şekil 3. Bulanık mantık üyelik fonksiyonları

Sugeno modelinde oluşturan her bir kural, her giriş parametresi için oluşturulur ve çıkış değerleri bir fonksiyon şeklinde verilir. Durulaştırma işleminde

tüm verilerin ağırlıklı ortalaması yerine birkaç veri noktalarının ağırlıklı ortalaması kullanması sebebiyle hesaplama açısından daha verimli olduğu söylenmektedir [29]. Çıkış fonksiyonunun ve durulaştırma işleminin genelleştirilmiş formu 2 ve 3 numaralı denklemlerde verildiği şekildedir. Eşitlik 2 ve 3'te a, b, c katsayılar, x ve y ise giriş değerlerini ifade etmektedir.

$$f_i = a_i x + b_i y + c_i \quad (2)$$

$$f = \sum \frac{w_i y_i}{w_i} \quad (3)$$



Şekil 4. a) Sugeno bulanık mantık çalışma yapısı, b) Oluşturulan Sugeno bulanık mantık modeli

Çizelge 1. Deney parametreleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri

Kesici uç yarıçapı	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	R_a (μm)	R_z	R_{mak}
4	150	0,2	0,3	0,678	3,857	4,104
4	150	0,2	0,6	0,727	4,121	4,284
4	150	0,2	0,9	0,752	3,976	4,29
4	150	0,25	0,3	0,901	4,88	5,071
4	150	0,25	0,6	0,935	4,846	5,197
4	150	0,25	0,9	0,967	5,166	5,501
4	150	0,3	0,3	1,12	5,43	5,959
4	150	0,3	0,6	1,144	5,399	5,906
4	150	0,3	0,9	1,165	5,768	6,215
4	200	0,2	0,3	0,942	4,025	4,455
4	200	0,2	0,6	1,004	4,396	4,632
4	200	0,2	0,9	1,034	4,446	4,682
4	200	0,25	0,3	1,133	5,268	5,626
4	200	0,25	0,6	1,152	5,396	5,496
4	200	0,25	0,9	1,164	5,61	5,802
4	200	0,3	0,3	1,135	5,584	6,498
4	200	0,3	0,6	1,201	5,88	6,194
4	200	0,3	0,9	1,179	5,948	6,733
8	150	0,2	0,3	1,021	4,285	4,476
8	150	0,2	0,6	0,796	3,648	3,94
8	150	0,2	0,9	0,848	3,921	4,265
8	150	0,25	0,3	1,055	4,632	4,721
8	150	0,25	0,6	1,138	5,326	7,306
8	150	0,25	0,9	1,012	4,817	5,477
8	150	0,3	0,3	1,153	6,083	6,616
8	150	0,3	0,6	1,113	5,32	5,812
8	150	0,3	0,9	1,231	5,813	6,639
8	200	0,2	0,3	0,992	4,281	4,561
8	200	0,2	0,6	0,997	4,157	4,365
8	200	0,2	0,9	1,07	4,495	4,694
8	200	0,25	0,3	1,171	4,836	5,232
8	200	0,25	0,6	1,151	4,754	5,322
8	200	0,25	0,9	1,164	5,273	5,642
8	200	0,3	0,3	1,166	5,18	5,647
8	200	0,3	0,6	1,257	5,389	6,222
8	200	0,3	0,9	1,271	5,881	6,958

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kesici uç yarıçapı, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği parametreleri yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerdir. Bu parametrelerin arasındaki ilişkinin matematiksel olarak modellenmesi işlemine regresyon analizi denilmektedir. Matematiksel modelin elde edilmesiyle, elimizde olmayan deney parametrelerinde oluşabilecek yüzey pürüzlülüğü

hakkında bilgi sahibi olmaktadır. Regresyon analizinde üç farklı veri seti kullanılarak matematiksel denklemler elde edilmiştir. İlk modelde 30 eğitim verisi 6 test verisi, ikinci modelde ise 26 eğitim verisi 10 test verisi, üçüncü modelde ise 20 eğitim verisi 16 test verisi rastgele seçilmiştir (4 numaralı eşitlik). Dördüncü modelde ise tüm veriler kullanılarak üstel bir matematiksel denklem elde edilmiştir (5 numaralı eşitlik). Elde edilen matematiksel modellerin denklem

katsayıları Çizelge 2’de verilmiştir. Eşitlik 4 ve 5’te U_r : kesici uç yarıçapı, V_c : kesme hızı, F : ilerleme, D : talaş derinliğini ifade etmektedir.

$$R_{1,2,3} = \alpha + U_r * \alpha_1 + V_c * \alpha_2 + F * \alpha_3 + D * \alpha_4 \quad (4)$$

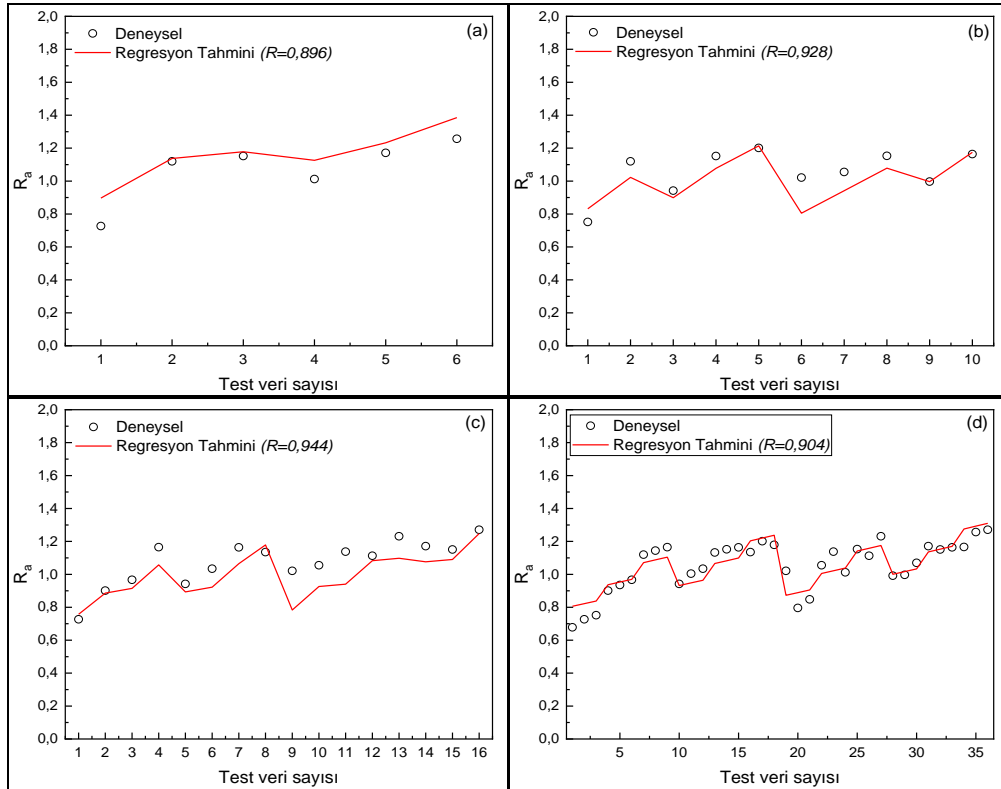
$$R_4 = \alpha + \exp(\beta + U_r * \alpha_1 + V_c * \alpha_2 + F * \alpha_3 + D * \alpha_4) \quad (5)$$

Çizelge 2. Model katsayıları

Model No	Parametre katsayıları						R
	α	α_1	α_2	α_3	α_4	β	
1	-0,198	0,019	0,003	2,625	0,073	-	0,896
2	-0,345	0,014	0,003	2,733	0,138	-	0,928
3	-0,332	0,010	0,003	2,854	0,048	-	0,944
4	-4,30510	0,003250	0,000486	0,505864	0,010312	1,441229	0,904

ANOVA analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre ilerleme miktarıdır. Literatürdeki çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [5,7,11,24]. Şekil 5’de 4 ve 5 numaralı denklem tahminlerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması verilmiştir. Eğitim veri sayısının artmasıyla, korelasyon katsayısı (R) düşmektedir ki bu da bilinen bir

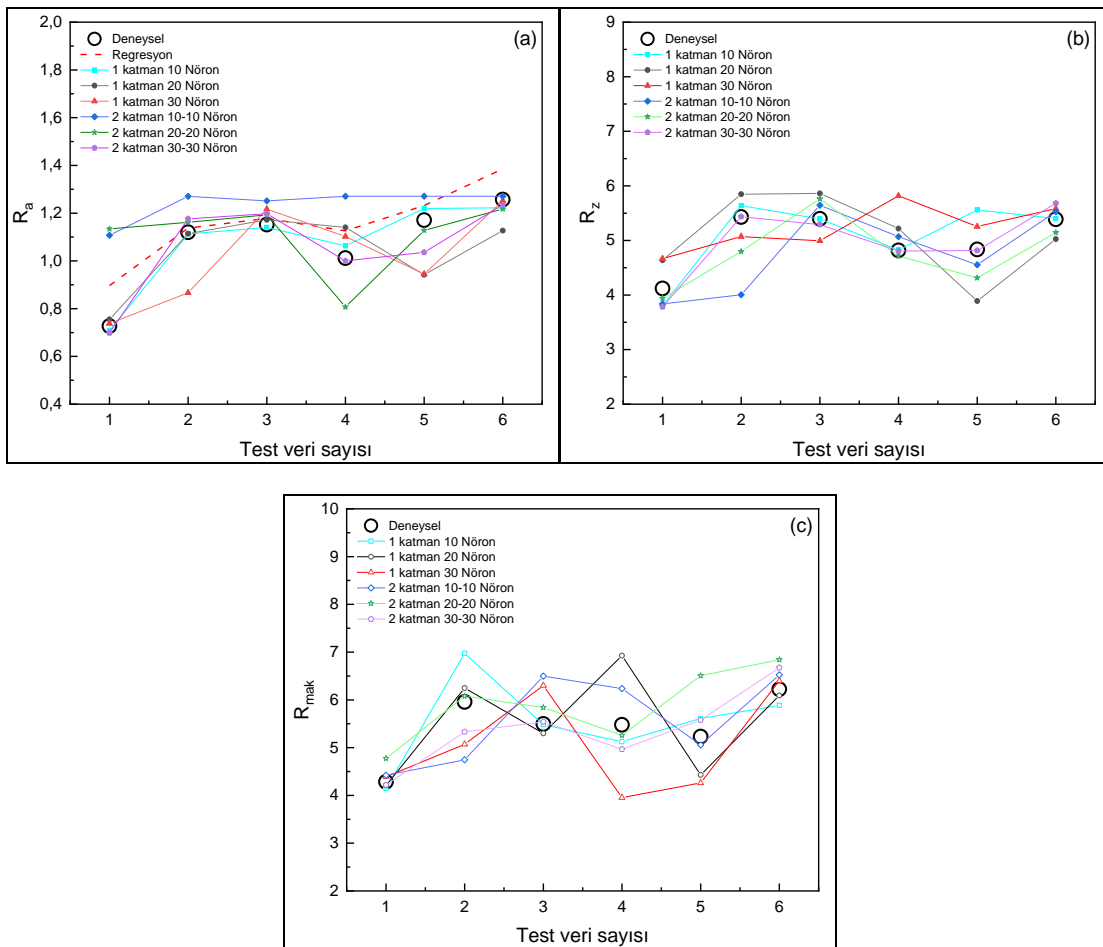
gerçektir. Çünkü, sonuç olarak yapılan işlem bir eğri uydurma işlemidir. Eğitim veri sayısı arttıkça eğri uydurma işlemi zorlaşmaktadır. Korelasyon katsayısının 1’e yakın olması veriler arasındaki uyumun yüksek olduğunu ifade etmektedir. Üstel matematiksel modelinde deneysel verilere yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 5. Regresyon modelinde test veri sayısına bağlı olarak tahminler, a) 30 eğitim, b) 26 eğitim, c) 20 eğitim, d) doğrusal olmayan (üstel) regresyon

YSA da nöron sayısına göre tahmin sonuçları değişmekte ve deneme yanılma yoluyla en uygun nöron sayısı elde edilmektedir [8]. Öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt, Bayesian Regularization ve scaled conjugate gradient (SCG) algoritmaları kullanılmaktadır. Bu çalışmada, yapay sinir ağlarının eğitiminde hız ve kararlılık sağladığı için Levenberg-Marquardt algoritması tercih edilmiştir [30]. Hata oranı $1e-08$, deneme sayısı 1000 olarak belirlenmiştir. Şekil 6'da farklı

nöron ve katman sayısının tahmin üzerindeki etkisi verilmiştir. R_a üzerinde tek katmanda nöron sayısının artması tahmin doğruluğunu düşürmekteyken, iki katmanda nöron sayısının artması tahmin doğruluğunu artırmaktadır. Bu yüzden deneme yanılma yöntemiyle katman ve nöron sayılarının en uygun değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

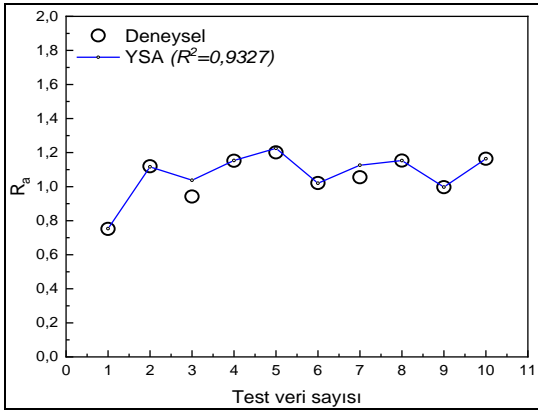


Şekil 6. Farklı nöron ve katman sayısının tahmin üzerindeki etkisi, a) R_a , b) R_z , c) R_{mak}

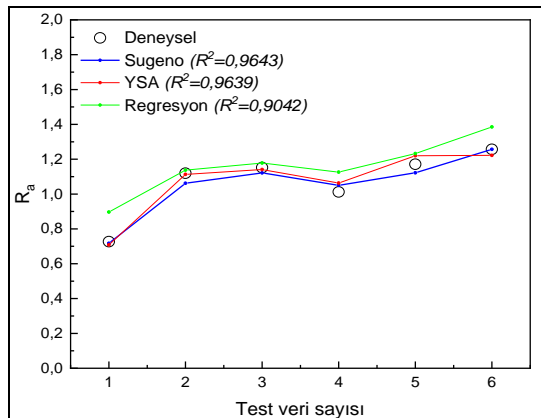
Şekil 7'de 26 eğitim, 10 test verisiyle YSA model tahminleri verilmiştir. Sonuçların bazı değerler hariç oldukça iyi olduğu görülmektedir ($R^2=0,9327$). Bu çalışmada 20 nöron en yakın sonucu vermiştir.

Aynı zamanda bu çalışmada bulanık mantık modellerinden Sugeno modeli kullanılmıştır. Modelde 30 eğitim, 6 test verisi rastgele seçilerek test edilmiştir. Verilerin bulanıklaştırılması işleminde farklı yöntemler kullanılabilenekte olup

belirli bir yöntem yoktur. Buradaki işlem tamamen tecrübeye dayalı bir süreçtir. Bu çalışmada en uygun sonuçlar gauss2mf üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilmiştir. Diğer üyelik fonksiyonlarında hata oranları çok yüksek çıkmıştır. Üyelik fonksiyonlarıyla ilgili detaylı bilgi [26] numaralı referansından ulaşılabilir. Kesici uç yarıçapı, kesme hızı ve talaş derinliğinde 3, ilerleme de 2 fonksiyonlu yapı kullanarak 54 kurallı bir mantık yapısı oluşturulmuştur. Bazı fonksiyonlarda öğrenme çok iyi gerçekleşirken, test sonuçları tahmininde hata oranı çok yüksek çıkmıştır. Bu yüzden her bir fonksiyon tipinin ve sayısının denemesi gerekmektedir. Şekil 8.'de Sugeno bulanık mantık model sonuçları verilmiştir. Sugeno ve YSA modeli birbirine yakın sonuç vermiştir.

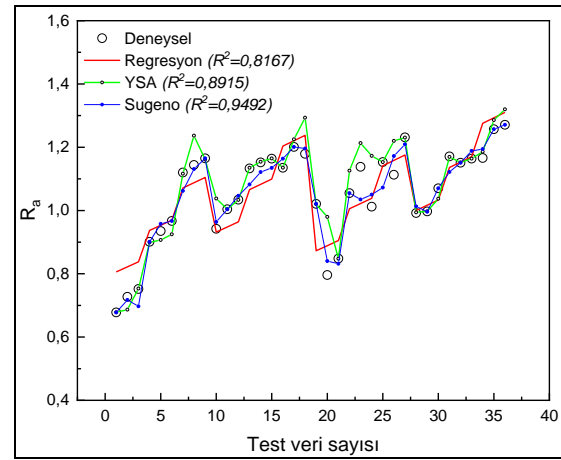


Şekil 7. 26 Eğitim verisi ile YSA modelinin tahmin sonuçları (R_a)



Şekil 8. Sugeno bulanık mantık model sonucu

Şekil 9'da 36 adet deneysel veri ile model sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Deneysel verilere en yakın tahmini Sugeno modelinin yaptığı görülmüştür ($R^2=0,9492$). YSA modelinde nöron ve katman sayısı önem arz ederken, Sugeno modelinde üyelik fonksiyonları ve kural sayısının oldukça önemli olduğu görülmüştür. Her iki modeldeki bu durum deneme yanılma yöntemi ile bulunması oldukça zahmetli bir işlemdir.



Şekil 9. Modellerin karşılaştırılması

4. SONUÇ

Yüzey pürüzlülüğü/kalitesi imalat endüstrisi için önemli maliyet faktörlerindedir ve en uygun parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, CNC torna tezgâhında DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinden farklı parametrelerde talaş kaldırarak yüzey pürüzlülüğü deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel veriler ile farklı modeller oluşturulmuş ve parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ilerleme miktarı yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre olduğu tespit edilmiştir. Regresyon modeli basit şekilde yüzey pürüzlülüğü hakkında bilgiler vermektedir. YSA modelinde, katman ve nöron sayısının tahmin üzerinde etkisi büyük olup deneme yanılma yöntemiyle belirlenmesi bir dezavantaj oluşturmaktadır. Sugeno bulanık mantık yöntemi, modeller içerisinde en yakın yüzey pürüzlülüğü değerini tahmin etmiştir. Sugeno modelinde de üyelik fonksiyonu ve kural

sayısının tahmin üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Sugeno bulanık mantık yöntemiyle yüzey pürüzlülüğü değerleri yaklaşık %5'lik bir hata oranı belirlenmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: MMF.A4.22.008 (This work was supported by Ahi Evran University Scientific Research Projects Coordination Unit. Project Number: MMF.A4.22.008)

6. KAYNAKLAR

1. MEB, 2003. Metal Mesleğinde Tablolar, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 304.
2. Bodur, M.S., 2022. AISI 304 Paslanmaz Çelik Talaşlı Şekil Verme İşlemlerinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Güç Tüketimini Azaltmaya Yönelik İstatiksel Yaklaşım. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(2), 379-86.
3. Pul, M., Özerkan, H.B., 2022. Al 6061 Alaşımının İşlenmesinde Kesme Derinliği ve Kesici Takım Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğüne ve Takım Aşınma Davranışına Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 37(4), 2013-2024.
4. Mamedov, A., 2021. Taguchi Yöntemleri Kullanılarak Frezeleme İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Araştırılması. Mühendis ve Makina, 62(703), 321-331.
5. Gökçe, H., 2021. Al 1050-H14 Alaşımının Delinmesi Sürecinde Yüzey Pürüzlülüğü, Çapak Oluşumu, Takım Aşınması, Çaptan ve Silindiriklikten Sapmanın Modellenmesi ve Tahmini. İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları, 2(1), 23-40.
6. Gürbüz, H., Baday, Ş., Ersöz, E., 2021. Kriyojenik İşlem Uygulanmış Kesici Takımlarla AISI 1050 Çeliğinin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerinin Regresyon Analizi. 5th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference, 15-16 Ocak 2021, Mardin, Turkey.
7. Çelik, E., Şirin, Ş., Kıvak, T., 2021. AISI 2507 Süper Dupleks Paslanmaz Çeliğinin Hibrit Soğutma/Yağlama Yöntemleri Altında Tornalanmasında Yüzey Kalitesinin İncelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(2), 929-942.
8. Kılıç, S., 2019. Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Yöntemleri ile Geri Esneme Tahmini. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(2), 433-446.
9. Erdemir F., Özkan, M.T., 2018. Tırnaklı Birleştirmelerde Sıkma/Çözme Kuvvetinin Malzeme Türü ve Sürtünme Katsayısına Göre Yapay Sinir Ağları Metodu ile Modellenmesi. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4(3), 207-215.
10. Çakıroğlu, R., Uzun, G., 2021. Yüksek İlerleme ile Frezeleme İşlemi Esnasında Oluşan Kesme Kuvvetinin ve İş Parçası Yüzey Pürüzlülüğünün Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), 58-66.
11. Akkuş, H., 2021. AISI 1040 Çeliğinin İşlenebilirliği Sırasında Oluşan Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Farklı Tahmin Modelleri ile Araştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(2), 84-92.
12. Ridwan, W., Wiranto, I., Dako, R.D.R., 2021. Computerized Adaptive Test Based on Sugeno Fuzzy Inference System. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1098(3), 032077.
13. Haj Hamad, I., Chouchaine, A., Bouzaouache, H., 2021. A Takagi-Sugeno Fuzzy Model for Greenhouse Climate. Engineering, Technology & Applied Science Research, 11(4), 7424-7429.
14. Robson, W., Ernawati, I., Nugrahaeni, C., 2021. Design of Multisensor Automatic Fan Control System Using Sugeno Fuzzy Method. Journal of Robotics and Control, 2(4), 5.
15. Zangeneh, M., Aghajari, E., Forouzanfar, M., 2022. Design and Implementation of an Intelligent Multi-input Multi-output Sugeno Fuzzy Logic Controller for Managing Energy Resources in a Hybrid Renewable Energy Power System Based on Arduino Boards. Soft Computing, 26(3), 1459-1473.

16. İşlek, C., 2021. Robot Elin Hassas Kavrama Görevi için Bulanık Mantık ile Kavrama Kuvvetinin Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Hatay, 133.
17. Molla, B., Çağlı, G., Uyaroğlu, Y., 2021. BİST 100 Getiri Zaman Serisinin Kaotik Analizi ve Anfis ile Kısa Dönemli Öngörülebilirliği. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 36(2), 577-592.
18. Avcı, M., 2021. Döküm Yöntemi ile Üretilen AISI304 Paslanmaz Çeliğin Frezelenmesinde İşleme Parametrelerinin Araştırılması. Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, 91.
19. Özdülkar, K., Üneş, F., Demirci, M., Kaya, Y.Z., 2019. Günlük Buharlaştırma Miktarının Bulanık Mantık Yöntemleri Kullanılarak Bölgesel Olarak Modellenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2(1), 23-29.
20. Yıldırım, E., Avcı, E., Yılmaz, B., 2021. Serbest Basınç Dayanımının Tahmininde Sugeno Bulanık Mantık Yaklaşımı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 26(1), 97-108.
21. Salcedo, A.T., Arbizu, I.P., Pérez, C.J.L., 2017. Analytical Modelling of Energy Density and Optimization of the Edm Machining Parameters of Inconel 600. Metals, 7(5), 166.
22. Jamali, A., Babaei, H., Nariman-Zadeh, N., Ashraf Talesh, S., Mirzababaie Mostofi, T., 2020. Multi-Objective Optimum Design of Anfis for Modelling and Prediction of Deformation of Thin Plates Subjected to Hydrodynamic Impact Loading, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part L: Journal of Materials: Design and Applications, 234(3), 368-378.
23. Sun, J., Dai, Y., Zhao, K., Jia, Z., 2021. Second Order Takagi-sugeno Fuzzy Model with Domain Adaptation for Nonlinear Regression. Information Sciences, 570(1), 34-51.
24. Dilipak, H., Asal, Ö., Yalçınkaya, A., Ünal, Ş., 2021. Minimum Miktarda Yağlama Tekniği ile Frezeleme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün Anfis ile Modellenmesi. International Journal of Innovative Engineering Applications, 5(2), 162-170.
25. Velmurugan, N., Muniappan, A., Harikrishna, K.L., Sakthivel, T.G., 2021. Surface Roughness Modelling in Wire Edm Machining Aluminium of Al6061 Composite by Anfis. Materials Today: Proceedings, In Press.
26. Kumar, R., Hynes, N.R.J., 2020. Prediction and Optimization of Surface Roughness in Thermal Drilling Using Integrated Anfis and Ga Approach. Engineering Science and Technology, an International Journal, 23(1), 30-41.
27. Mathur, N., Glesk, I., Buis, A., 2016. Comparison of Adaptive Neuro-fuzzy Inference System (Anfis) and Gaussian Processes for Machine Learning (Gpml) Algorithms for the Prediction of Skin Temperature in Lower Limb Prostheses. Medical Engineering & Physics, 38(10), 1083-1089.
28. Sharma, D., Bhowmick, A., Goyal, A., 2022. Enhancing EDM Performance Characteristics of Inconel 625 Superalloy Using Response Surface Methodology and Anfis Integrated Approach. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 37(1), 155-173.
29. MathWorks, 2022. Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems, <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference-systems.html>, Erişim Tarihi: 18.05.2022.
30. Çavuşlu, M.A., Becerikli, Y., Karakuzu, C., 2012. Levenberg-marquardt Algoritması ile YSA Eğitiminin Donanımsal Gerçeklenmesi, Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 5(1), 1-7.

