

Tornalamada Ayna ve Punta Basıncının Titreşim ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisinin YSA Yöntemi Kullanılarak Tahmini

Hüseyin GÜRBÜZ^{1,a}, Şehmus BADAY^{1,b}, Mehmet Emin DEMİR^{1,c}

¹Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye

^aORCID: 0000-0003-1391-172X; ^bORCID: 0000-0003-4208-8779; ^cORCID: 0000-0001-9630-6378

Makale Bilgileri

Geliş : 17.03.2025

Kabul : 22.04.2026

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1659519

Sorumlu Yazar

Hüseyin GÜRBÜZ

huseyin.gurbuz@batman.edu.tr

Anahtar Kelimeler

Yapay sinir ağları

Ayna ve punta basıncı

Yüzey pürüzlülüğü

Titreşim

K-fold çapraz doğrulama

Atf şekli: GÜRBÜZ, H., BADAY, Ş., DEMİR, M.E., (2026). Tornalamada Ayna ve Punta Basıncının Titreşim ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisinin YSA Yöntemi Kullanılarak Tahmini. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 41(2), 467-477.

ÖZ

Bu çalışmada, sabit kesme şartlarında beş farklı ayna ve punta basıncı seçilerek iş parçaları işlenmiş ve yüzey pürüzlülük ile titreşimleri değerleri elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük ve titreşim değerleri giriş parametresi olarak belirlenen ayna ve punta basınçlarına bağlı olarak yapay sinir ağı (YSA) ile eğitilmiştir. YSA modelinde, Levenberg–Marquardt eğitim algoritması kullanılmıştır. Daha sonra K-fold çapraz doğrulama yöntemi ile de elde edilen sonuçların doğruluğu test edilmiştir. Eğitilen YSA modeli sonucunda, titreşim değerleri için test, doğrulama, eğitim ve tüm regresyon katsayı değerleri sırasıyla 0,96702 – 0,91189 – 0,98019 ve 0,85546 olarak elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri için ise test, doğrulama, eğitim ve tüm regresyon katsayı değerlerinin sırasıyla 0,87425 – 0,9952 – 0,87581 ve 0,84159 olduğu belirlenmiştir. K-fold çapraz doğrulama sonucunda hata oranları oldukça düşük çıkmış ve elde edilen YSA modelinin güvenli bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Prediction of the Effect of Chuck and Tailstock Pressure on Vibration and Surface Roughness in Turning Using ANN Method

Article Info

Received : 17.03.2025

Accepted : 22.04.2026

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1659519

Corresponding Author

Hüseyin GÜRBÜZ

huseyin.gurbuz@batman.edu.tr

Keywords

Artificial neural network

Chuck and tailstock pressure

Surface roughness,

Vibration, AISI 304,

K-fold cross-validation

How to cite: GÜRBÜZ, H., BADAY, Ş., DEMİR, M.E., (2026). Prediction of the Effect of Chuck and Tailstock Pressure on Vibration and Surface Roughness in Turning Using ANN Method. Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 41(2), 467-477.

ABSTRACT

In this study, the workpieces were machined under constant cutting conditions using five different chuck and tailstock pressure levels, and the corresponding surface roughness and vibration values were obtained. The surface roughness and vibration values were trained using an artificial neural network (ANN) based on the chuck and tailstock pressures defined as input parameters. In the ANN model, the Levenberg–Marquardt training algorithm was used. Subsequently, the accuracy of the obtained results was evaluated using the K-fold cross-validation method. As a result of the trained ANN model, the regression coefficient values for the vibration data were obtained as 0.96702, 0.91189, 0.98019, and 0.85546 for the test, validation, training, and overall datasets, respectively. For the surface roughness values, the regression coefficient values were determined to be 0.87425, 0.9952, 0.87581, and 0.84159 for the test, validation, training, and overall datasets, respectively. As a result of the K-fold cross-validation, the error rates were found to be quite low, indicating that the developed ANN model can be used reliably.

1. GİRİŞ

Tornalama işlemlerinde, iş parçalarının tezgâha uygun bir ayna ve punta basıncı altında doğru bir şekilde bağlanması oldukça önemlidir. Çünkü uygun bir ayna ve punta basıncında bağlanamayan bir iş parçası salgılı ve eksenden kaçık dönmesinden dolayı iş parçasında bozulmalara, yüksek değerlerde titreşimlere ve yüzey pürüzlülük değerlerine sebep olmaktadır. Bu olumsuzlukları gidermek için işleme parametrelerinin yanında, doğru bir ayna ve punta basıncını seçmek oldukça önemlidir. Tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülük ve titreşim değerleri önemli bir yer tutmaktadır [1-8].

Yapılan literatür araştırmasında, YSA kullanarak yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin eden bir çok çalışma mevcuttur [9-17]. Asiltürk ve Çunkaş, AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmini için bir YSA modeli kullanmışlardır. Uyguladıkları YSA ve çoklu regresyon yaklaşımlarının yüzey pürüzlülüğünü tahmin edebildiğini tespit etmişlerdir. YSA modelinin, çoklu regresyon modeline kıyasla yüzey pürüzlülüğünü yüksek doğrulukla tahmin ettiğini belirlemişlerdir. [8]. Akkuş çalışmasında yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmini için YSA modeli kullanmıştır. YSA ağında giriş parametreleri olarak kesme parametreleri, çıkış parametresi olarak ise yüzey pürüzlülük değerlerini seçmiştir. Ağ modelinde, YSA'nın eğitilmesi için Levenberg-Marquardt eğitim fonksiyonunu, ileri beslemeli geriye yayılım algoritmasını ve tansig aktivasyon fonksiyonunu kullanmıştır. Deney sonuçlarını yaklaşık olarak %78,92 doğruluk ile tahmin etmiştir [9]. Gürbüz ve Gönülaçar işleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerini ve kesme kuvvetlerini Taguchi Sinyal/Gürültü (S/N) oranları ve YSA kullanarak değerlendirmişlerdir. Taguchi S/N oranları ve YSA'dan elde edilen R^2 değerlerinin, deneysel sonuçların değerlerini tahmin etme açısından oldukça yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca S/N oranlarına göre kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili kontrol faktörün ilerleme hızı olduğunu bulmuşlardır [10]. Bober ve ark., AISI 304 çeliğinin işlenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmek için YSA modeli kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmede kullandıkları YSA modelinin oldukça başarılı sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. ANN modeli ile polinom modelini kıyasladıklarında, ANN modelinin kısmen daha iyi bir performans sergilediğini belirtmişlerdir [11]. Demirdöğen ve ark., sıcak iş takım çeliğinin farklı işleme parametrelerinde tornalanmasında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini birkaç farklı optimizasyon yöntemi ile kıyaslamışlardır. ANOVA sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli işleme parametresinin ilerleme oranı olduğunu tespit etmişlerdir. Sugeno metodunda kural sayısı ve üyelik fonksiyonlarının, YSA modelinde ise katman ve nöron sayısının önem arz ettiğini vurgulamışlardır [12].

Akkuş bir diğer çalışmasında, deney düzeneğini yüzey yanıt yöntemine (RSM) göre belirleyerek AISI 1040 çeliğini torna tezgahında işlemiştir. İşleme sonucunda iş parçasının yüzeyinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri için RSM modeli ve YSA modeli oluşturulmuştur. RSM modelinin yaklaşık %90 doğrulukla deney sonuçlarını tahmin ettiğini belirtmiştir [13]. Gürbüz ve ark., AISI 1050 çeliğini farklı kesme parametreleri ve kesici takımlarla tornalamışlardır. İş parçasının yüzeyinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini YSA kullanarak tahmin etmişlerdir. YSA modeliyle elde etmiş oldukları sonuçların kabul edilebilir değerler içerisinde olduğunu belirtmişlerdir [14]. Serin ve ark., Ti6Al4V malzemesinin tornalanmasında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini incelemişlerdir. Deneysel sonuçların tahmini için YSA kullanmışlardır. YSA modelinin yüzey pürüzlülük için hata oranının %6,1 olarak elde edilmesi kullanılan modelin güvenilirliğini teyit etmiştir [15]. Arapoğlu ve ark., farklı iş parçalarının farklı kesme parametrelerinde tornalanmasında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmede YSA modeli uygulamışlardır. YSA modeli ile yüzey pürüzlülüğünü etkileyen değişkenlerin seçiminde ve tornalamada yüzey pürüzlülüğünün tahmininde başarılı sonuçlar elde etmişlerdir [16]. Bayram ve ark., farklı işleme parametrelerinde kuru tornalamada elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmek için YSA algoritmaları kullanılarak matematiksel tahmin modelleri geliştirilmişlerdir. YSA tahminlerinin deneysel sonuçlara göre %87,6 doğruluğa sahip olduğu ve YSA yönteminin yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermişlerdir [17].

Literatürde, farklı ayna ve punta basınçlarına bağlı olarak iş parçasında oluşacak titreşim ve yüzey pürüzlülük değerlerini inceleyen çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan bu çalışma, hem deneysel hem de istatistiksel olarak farklı ayna ve punta basınçlarının yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerleri üzerindeki

etkilerini incelemektedir. Elde edilen sonuçların, işleme süresini ve maliyetlerini azaltarak tornalama işlemlerine katkı sağlaması ve literatüre önemli bir katkı sunması beklenmektedir. Bu çalışmada, sabit kesme parametrelerinde farklı punta ve ayna basıncına bağlı olarak AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin boyuna tornalanması sonucunda elde edilen titreşim ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tahmini için bir YSA modeli sunulmuştur. Daha sonra işleme deneylerinden elde edilen titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri ile YSA modelinde elde edilen tahmin değerleri arasındaki farklar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma işlemi K-fold çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. İş Parçası Malzemesi

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 304 çeliği kullanılmış olup VARZENE metal sanayi ve ticaret anonim şirketi firmasından temin edilmiştir. Deney numunesinin çapı 35 mm ve boyu 300 mm olarak belirlenmiştir. AISI 304 iş parçasının sertlik değeri ve kimyasal bileşimi Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. İş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi ve sertlik değeri

% C	% P	% Si	% Mn	% S
0,070-0,024	0,045-0,036	1,00-0,39	2,0-1,45	0,030-0,029
% N	% Cr	% Co	% Ni	Sertlik
0,100-0,085	19,50-17,50	0,15(max)	10,50-8,00	215 HB

2.2. Takım Tezgâhı, Kesici Takımlar ve Takım Tutucu

İş parçalarının tornalanmasında TAKİSAWA EX-310 marka CNC torna tezgâhı kullanılmıştır. Deneylerde OKE takım üretici firmasından temin edilen P25/M25 kalitesine sahip PVD kaplamalı WNMG 080408-OMM formunda kesici takımlar ve bu kesici takımlara uygun PWLNR 2525M08 takım tutucu temin edilmiştir.

2.3. Kesme Parametreleri

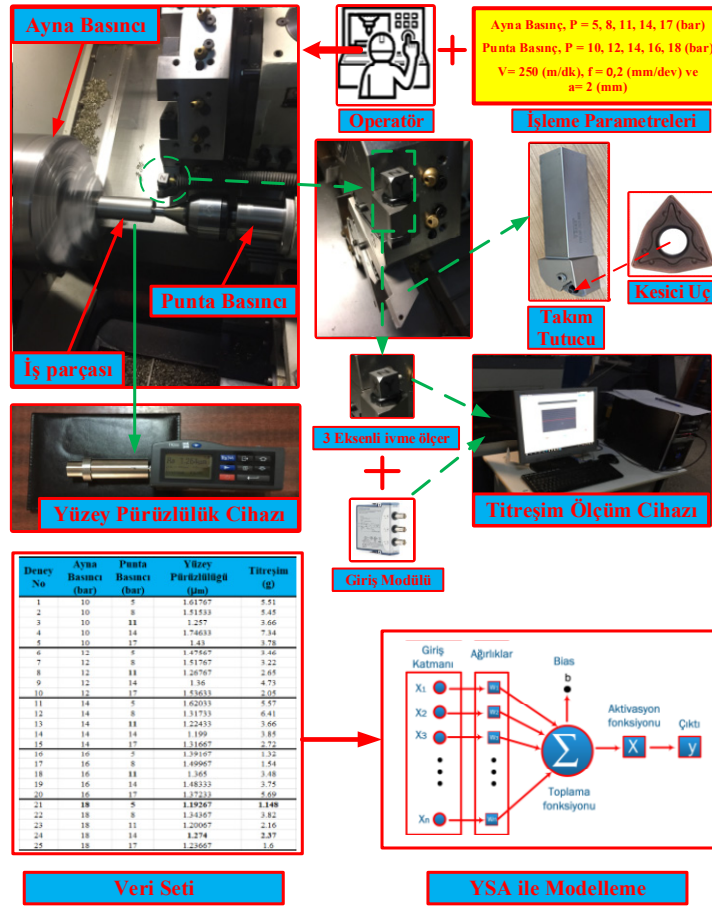
Tornalama deneylerinde kullanılan kesme parametreleri, kesici takım üretici firmasının önerisi ve ISO 3685 şartları göz önünde bulundurularak alınarak belirlenmiştir. İşleme deneylerinde beş farklı ayna ve punta basıncı sabit kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği kullanılmıştır. İşleme deneylerinde kullanılan ayna ve punta basıncı ve kesme parametreleri değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Tornalamada kullanılan işleme parametreleri

İşleme parametreleri	Değerler
Punta basınç, P (bar)	10, 12, 14, 16, 18
Ayna basınç, P (bar)	5, 8, 11, 14, 17
Kesme derinliği, a (mm)	2
İlerleme, f (mm/dev)	0,2
Kesme hızı, V (m/dk)	250

2.4. Yüzey Pürüzlülük ve Titreşim Ölçümü

AISI 304 iş parçasının tornalanması sonucunda oluşan yüzey pürüzlülükleri TR 200 ölçüm cihazıyla ölçülmüştür. Her iş parçasının işlenmiş yüzeyinin 5 farklı noktasından 5 mm ölçme boyunda alınan değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Farklı ayna ve punta basınçlarında AISI 304 iş parçasının işlenmesi sırasında meydana gelen titreşimler, NI-9230 marka cihaz ile ölçülmüştür. Her deney numunesinin işlenmesi sırasında bilgisayar bağlantılı bir şekilde 3 boyutlu ivmeye bağlı olarak veriler toplanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim deney düzeneği Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği ve YSA modelleme

2.5. YSA ve K-Fold Çapraz Doğrulama

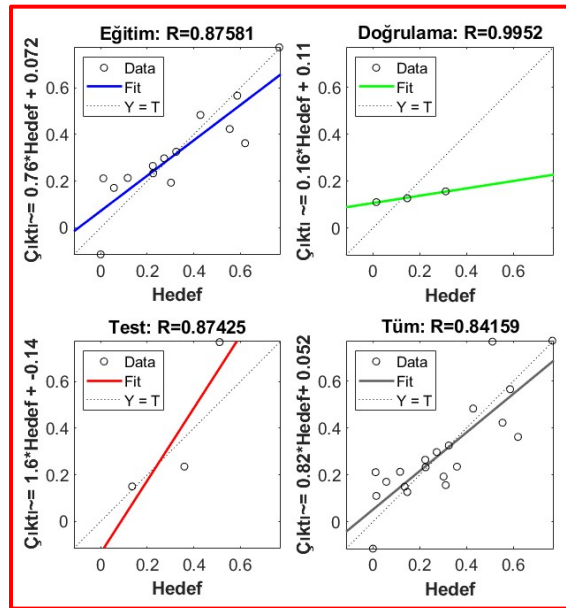
Şekil 1’de verilen deney parametreleri tam faktöriyel tasarıma göre gerçekleştirilmiş olup deney tekrarları yapılmamıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümleri 5 farklı noktasından 5 mm aralıklarla ölçülmüş olup bunların ortalaması alınmıştır. Titreşim genliklerinin ölçümlerinde ise NI-9230 marka cihaz ile ölçümler alınmış ve elde edilen titreşim genliklerin ortalaması alınmıştır. YSA’da verilerin işlenmesinde K-fold çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. YSA modelinde, çok katmanlı geri yayılım ve ileri beslemeli (back propagation and feed forward) bir ağ kullanılmıştır. Doğrusal olmayan en küçük kareler problemlerini çözmek için geri yayılım yöntemi olarak verimliliği nedeniyle Levenberg-Marquardt (LM) algoritması uygulanmıştır. Kare hataların toplamını en aza indirmek için optimize edilmiştir. Geliştirilen YSA modelinin geçerliliğini değerlendirmek ve aşırı uyumu önlemek için K-katlı çapraz doğrulama tekniği uygulanmıştır. Veri seti rastgele beş parçaya bölünmüş ve bu işlem, her parça bir kez test verisi olarak kullanılarak beş kez tekrarlanmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

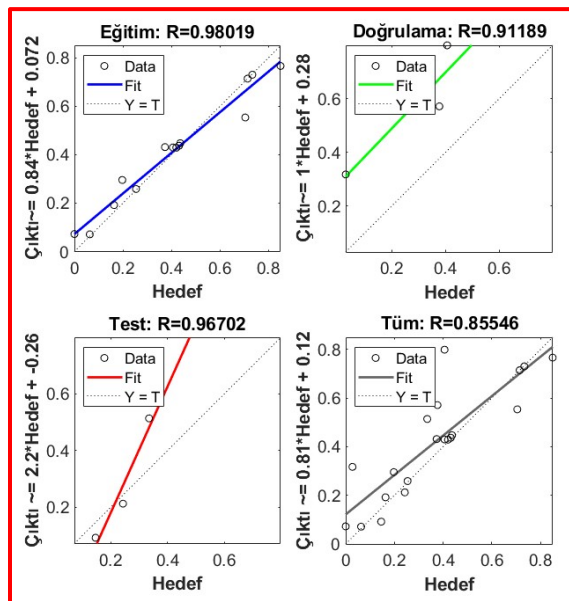
3.1. YSA Analizi

Literatür çalışmaları incelendiğinde farklı ayna ve punta basıncına bağlı olarak işleme esnasında elde edilen titreşim değerleri ve işleme sonrası işlenmiş yüzey üzerinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini inceleyen hem deneysel hem de istatistiksel bir çalışmaya rastlanmıştır. Günümüz imalat sanayinde talaşlı üretim süreçlerinin enerji verimliliği açısından iyileştirilmesi, işleme sürelerinin azaltılması, işleme ve kesme parametrelerin etkin biçimde yönetilmesi, sürdürülebilirlik odaklı üretim anlayışının temel unsurları arasında yer almaktadır. Bu doğrultuda, üretim performansının artırılması için uygun ayna ve punta basıncında iş parçalarını işlenmesi talaşlı imalatla istenmeyen yüksek yüzey pürüzlülük ve titreşim değerlerinin düşürülmesinde belirleyici bir kriter haline gelmiştir. Farklı punta ve ayna basıncına bağlı

olarak sabit kesme parametrelerde işlenen AISI 304 iş parçasının işlenmesi sonucu oluşan titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri YSA tarafından eğitilmiştir. Titreşim ve yüzey pürüzlülük sonuçlarına ait deneysel veriler eğitildikten sonra elde edilen regresyon (R) grafikleri Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3'teki titreşim ve yüzey pürüzlülüğü için verilen grafikler test, doğrulama, eğitim ve tüm regresyon grafiklerini göstermektedir. Regresyon grafiklerinde hedef ve çıktının 45 derecelik açıya sahip çizginin etrafında yakın değerlerde olması ve elde edilen regresyon katsayı değerlerinin 1'e yakın olması arzu edilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü değerleri için test, doğrulama, eğitim ve tüm regresyon katsayı değerleri sırasıyla 0,87425 – 0,9952 – 0,87581 ve 0,84159 olarak ortaya çıkmıştır. Titreşim değerlerinde ise test, doğrulama, eğitim ve tüm regresyon katsayı değerleri sırasıyla 0,96702 – 0,91189 – 0,98019 ve 0,85546 olarak elde edilmiştir. Bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi tahmin etmek için kullanılan regresyon (R) değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Hem yüzey pürüzlülüğü hem de titreşim için elde edilen regresyon değerlerinin 1'e yakın elde edilmesi, YSA modelinde ağırlık iyi eğitildiğini, güvenilir olduğunu ve deneysel veriler ile tahmin değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğunu ispatlamaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma ile YSA'nın yüzey pürüzlülük ve titreşim değerlerinin tahmin etmede bir model olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

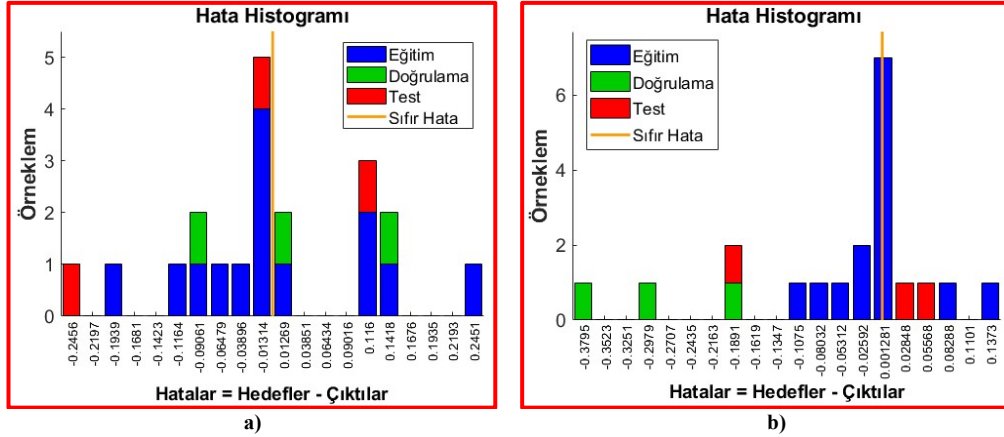


Şekil 2. Yüzey pürüzlülüğü için ölçülen sonuçlar ile tahmini değerler arasındaki ilişki grafikleri



Şekil 3. Titreşim değerleri için ölçülen sonuçlar ile tahmini değerler arasındaki ilişki grafikleri

Farklı işleme parametrelerine bağlı olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerleri için ağ performansını incelemek için, hata dağılım grafikleri Şekil 4a ve Şekil 4b’de verilmiştir. Hata dağılım grafiğinde kırmızı alanlar test, yeşil alanlar doğrulama ve mavi kısımlar ise eğitimi göstermektedir. Şekil 4a ve Şekil 4b’deki hata dağılım grafiğine bakıldığında, yüzey pürüzlülüğü ve titreşim için hataların çoğunun sırasıyla 0,01314 ve 0,001281 değerlerinde yükseldiği ve sıfıra yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerleri için genel veri kümelerinin hata değerlerinin sırasıyla 0,2456’dan ve 0,3795’den az olduğu belirlenmiştir. Geliştirilen YSA modeli, deneysel veriler için yüksek doğrulukta sonuçlar vermesi modelin tutarlı ve doğru olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Hata dağılım grafiği: a) Yüzey pürüzlülüğü b) Titreşim

Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim için YSA’ların eğitiminde sağlamış olduğu hız ve kararlılık nedeni ile kullanılan Levenberg–Marquardt eğitim algoritması Çizelge 3 ve Çizelge 4’te gösterilmiştir. Çizelge 3 ve Çizelge 4’e bakıldığında eğitim algoritmaları yüzey pürüzlülüğü ve titreşim için sırasıyla 7. ve 8. döngüde tamamlanmıştır. Levenberg–Marquardt algoritmasının eğitim sürecinde Mu değeri yüzey pürüzlülük ve titreşim değerleri için başlangıçta 0,001 olarak belirlenmiştir. Daha sonra eğitim süreci ilerledikçe yüzey pürüzlülük için $1e-07$ ve titreşim için ise $1e-08$ değerine kadar düşmüştür. Sonuç olarak deneysel veriler için Mu değerinin başlangıçtan itibaren belirgin şekilde azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 3. Yüzey pürüzlülüğü için Levenberg–Marquardt eğitim algoritması süreci

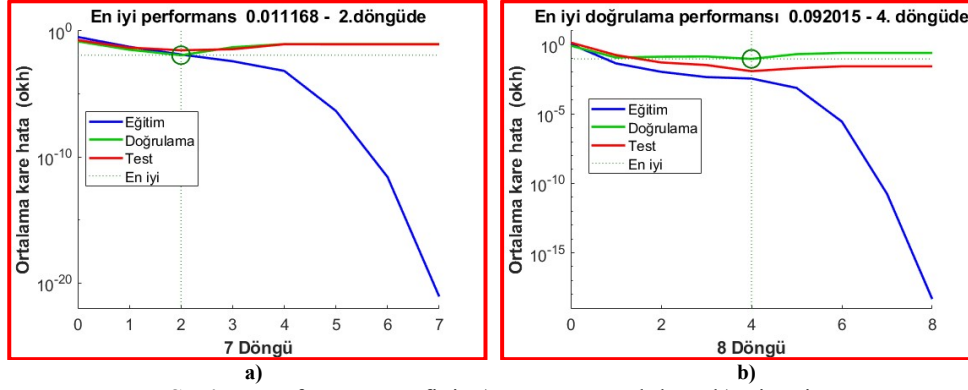
Eğitim işlemi	Başlangıç değeri	Durma değeri	Hedef değeri
Döngü	0	7	1000
Geçen süre	-	00:00:00	-
Performans	0,309	$8,59e-22$	0
Gradient	0,48	$3,75e-12$	$1e-07$
Mu	0,001	$1e-08$	$1e+10$
Doğrulama kontrolleri	0	5	6

Çizelge 4. Titreşim için Levenberg–Marquardt algoritması eğitim süreci

Eğitim işlemi	Başlangıç değeri	Durma değeri	Hedef değeri
Döngü	0	8	1000
Geçen süre	-	00:00:00	-
Performans	1,08	$4,65e-19$	0
Gradient	1,72	$8,77e-11$	$1e-07$
Mu	0,001	$1e-07$	$1e+10$
Doğrulama kontrolleri	0	4	6

Sabit kesme parametrelerde farklı ayna ve punta basınçlarında elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve titreşime ait deneysel verilerin performans grafikleri Şekil 5’te gösterilmiştir. Performans grafiğinde kırmızı çizgi testi, yeşil çizgi doğrulamayı, mavi çizgi eğitimi ve sürekli kesik çizgide en iyiyi ifade etmektedir. Şekil 5a’daki yüzey pürüzlülük değerleri için elde edilen model 7. döngüye kadar eğitildiği ve en iyi performansın 2. döngüde ortalama kare hata değeri 0,011168 olarak ortaya çıkmıştır. Şekil 5b’de ise titreşim değerleri için modelin 8. döngüye kadar eğitildiği ve en iyi performansın 4. döngüde ortalama kare hata değeri

0,092015 olarak tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim için gerçek değerler ve tahmini değerler arasındaki hata oranı sırasıyla 2. ve 4. döngüden sonra arttığından dolayı program bu döngülerde sonlanmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ve titreşime ait eğitim hata değerlerinin artan döngü sayısı azaldığı Şekil 5a ve Şekil 5b’de verilen performans grafiklerinden tespit edilmiştir. Şekil 5a ve Şekil 5b’de verilen performans grafiklerinde ortalama kare hata değerinin sıfıra yakın olması deneysel araştırmanın doğruluğunu, YSA modelinin çok iyi eğitildiğini ve dolayısıyla geliştirilen modelin hedef değerlere çok yakın değerleri tahmin edebileceğini göstermektedir.



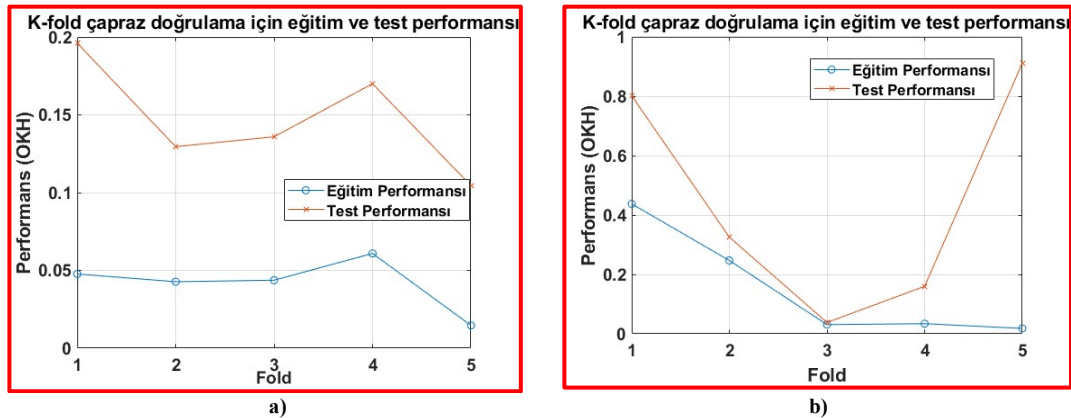
Şekil 5. Performans grafiği: a) Yüzey pürüzlülüğü b) Titreşim

Farklı parametrelere bağlı olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerleri için K-fold çapraz doğrulama için eğitim ve test performans değerleri Çizelge 5’te verilmiştir. Deneysel veriler için modellere uygulanan test ve eğitim verilerinin karşılaştırılmasına olanak sağlayan çapraz doğrulama (K-fold cross validation) sayısı 5’dir. Çizelge 5’teki K-fold eğitim ve test performans değerleri incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü ve titreşim için ortalama değerler sırasıyla 0,041928 - 0,147221 - 0,144194 ve 0,424737 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5. Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim için K-fold eğitim ve test performans değerleri

	Yüzey pürüzlülüğü (μm)		Titreşim (g)	
	Eğitim performansı	Test performansı	Eğitim performansı	Test performansı
Fold 1	0,047680	0,196089	0,423253	0,809782
Fold 2	0,042709	0,129532	0,234251	0,344284
Fold 3	0,043691	0,135932	0,023467	0,028372
Fold 4	0,060906	0,170025	0,022358	0,018930
Fold 5	0,014655	0,104524	0,017643	0,922317
Ortalama değer	0,041928	0,147221	0,144194	0,424737

Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim veri seti için K-fold çapraz doğrulama eğitim ve test performans Ortalama Kare Hata (OKH) sonuçları Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. K-fold eğitim ve test performans değerleri a) Yüzey pürüzlülüğü b) Titreşim

Şekil 6'daki grafikler incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü ve titreşim veri seti için K-fold çapraz doğrulama eğitim ve test değerlerinin birbirine en yakın çıktığı performans OKH değerler sırasıyla K-fold 2 ve K-fold 3'te elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim deneysel verilerinin tahminin başarılı olduğu K-fold eğitim ve test performans değerleri grafiklerinden anlaşılmaktadır.

3.2. ANOVA Analizi ve Tukey Testi

Ayna ve punta basıncının yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerleri üzerinde etkisini gösteren ANOVA analizleri Çizelge 6 ve Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelge 6'daki ayna basıncının değişimine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri için elde edilen ANOVA sonuçlarındaki P değeri incelendiğinde bu değer $P < 0,05$ 'ten küçük olduğu görülmektedir. İstatistiksel olarak bir değer anlamlı olabilmesi için P değerinin $0,05$ 'ten küçük olması gerekmektedir. Bundan dolayı ayna basıncının yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmaktadır. Ayna basıncı için Çizelge 7'deki P değerine bakıldığında bu değer $0,028$ çıktığı görülmüş ve $0,05$ 'ten küçük olması nedeniyle yapılan analizin istatistiksel olarak geçerli olduğu görülmüştür. Punta basıncının yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkisine bakıldığında elde edilen P değerlerinin $0,05$ 'ten büyük olmasından ötürü, yapılan analizin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı değerlendirilmiştir.

Çizelge 6. Ayna basıncının yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkisinin ANOVA analizi

	Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Ra (μm)	Ayna basıncı	4	0,2033	0,0508	3,04	0,041
	Hata	20	0,3346	0,0167		
	Toplam	24	0,5379			
g (m/s^2)	Kaynak	DF	SS	MS	F	P
	Ayna basıncı	4	26,72	6,68	3,41	0,028
	Hata	20	39,20	1,96		
	Toplam	24	65,92			

Çizelge 7. Punta basıncının yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkisinin ANOVA analizi

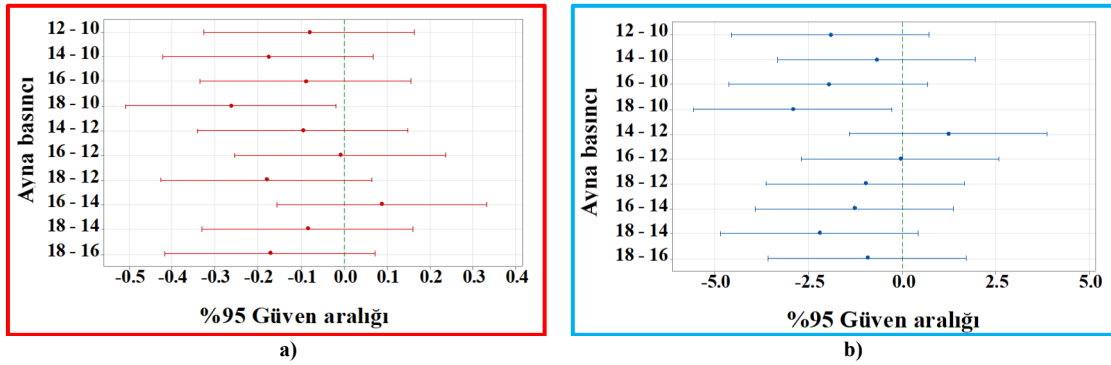
	Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Ra (μm)	Ayna basıncı	4	0,12	0,0300	1,44	0,259
	Hata	20	0,4179	0,0209		
	Toplam	24	0,5379			
g (m/s^2)	Kaynak	DF	SS	MS	F	P
	Ayna basıncı	4	6,69	1,67	0,56	0,691
	Hata	20	59,22	2,96		
	Toplam	24	65,92			

ANOVA analizinden sonra uygulanan çoklu karşılaştırma yöntemlerinden biri de Tukey testidir. Bu testin temel amacı, giriş parametreleri arasındaki ortalama farklarını belirlemek ve hangi parametrenin birbirinden anlamlı derecede farklı olduğunu ortaya koymaktır. Tukey testi ANOVA'dan farklı olarak test sonuçlarının P değerlerinin anlamlılığından ziyade hangi parametrelerin kendi arasında anlamlı olduğunu tespit etmemize yardımcı olur. Tukey testi hem ayna basıncı hemde punta basıncı için uygulanmamıştır. Çünkü Tukey testi uygulanabilmesi için ANOVA çizelgesinde yer alan P değeri anlamlı olması gerekmektedir. Çizelge 6 ve 7'deki değerler incelendiğinde P değeri anlamlı olan ayna basıncı oluğu için Tukey testi sadece ayna basıncına uygulanmıştır. Yüzey pürüzlülük ve titreşim değerleri için ayna basıncı arasındaki değerlerin birbiriyle olan ilişkisini gösteren Tukey testi sonuçları Çizelge 8 'de verilmiştir. Çizelge 8'deki titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri için ayna basıncı değerlerinin birbiriyle olan ilişkisine bakıldığında ayna basıncı 18 ile 10 bar olduğunda anlamlı olduğunu tespit edilmiştir. Çizelge 8'deki diğer değerlerin birbiriyle ilişkisinin anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 8. Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerleri için ayna basınçları arasındaki Tukey testi

Ayna basıncı seviyeleri	Yüzey pürüzlülük değerleri için				Titreşim değerleri için			
	Ort. fark	95% Güven aralığı	T-değeri	P-değeri	Ort. fark	95% Güven aralığı	T-değeri	P-değeri
12 - 10	-0.0818	(-0.3265; 0.1629)	-1.00	0.852	-1.926	(-4.574; 0.722)	-2.18	0.229
14 - 10	-0.1777	(-0.4224; 0.0670)	-2.17	0.230	-0.706	(-3.354; 1.942)	-0.80	0.928
16 - 10	-0.0909	(-0.3356; 0.1538)	-1.11	0.799	-1.992	(-4.640; 0.656)	-2.25	0.202
18 - 10	-0.2637	(-0.5084; -0.0190)	-3.22	0.031	-2.928	(-5.577; -0.280)	-3.31	0.026
14 - 12	-0.0959	(-0.3406; 0.1488)	-1.17	0.766	1.220	(-1.428; 3.868)	1.38	0.648
16 - 12	-0.0091	(-0.2538; 0.2356)	-0.11	1.000	-0.066	(-2.714; 2.582)	-0.07	1.000
18 - 12	-0.1819	(-0.4266; 0.0628)	-2.22	0.211	-1.002	(-3.651; 1.646)	-1.13	0.788
16 - 14	0.0869	(-0.1578; 0.3316)	1.06	0.823	-1.286	(-3.934; 1.362)	-1.45	0.603
18 - 14	-0.0860	(-0.3307; 0.1587)	-1.05	0.829	-2.222	(-4.871; 0.426)	-2.51	0.128
18 - 16	-0.1729	(-0.4176; 0.0718)	-2.11	0.253	-0.936	(-3.585; 1.712)	-1.06	0.825

Yüzey pürüzlülük ve titreşim değerleri için Tukey sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 7’deki grafikler incelendiğinde hem yüzey pürüzlülük hem de titreşim değerleri için ayna basıncının birbiriyle ilişkisini gösteren değerlerin sıfır çizgisiyle kesişip kesişmediğine bağlı olarak anlamlı veya anlamsız olduğu değişmektedir. Ayna basınç değerlerinin %95 güven aralığında sıfırının altında olması anlamlı olduğunu göstermektedir. Buna bağlı olarak ayna basıncı 18 ile 10 bar birbiriyle anlamlı bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır. Diğer ayna basınç değerleri ise sıfır çizgisiyle kesiştiği için anlamsızdır.



Şekil 7. Tukey sonuçlarının grafiksel gösterimi a) Yüzey pürüzlülük b) Titreşim değerleri

4. SONUÇLAR

AIISI 304 iş parçasının işlenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülük ve titreşim değerleri üzerinde farklı ayna ve punta basınçlarının etkisini görmek için YSA uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetler verilmiştir.

- Titreşim değerlerinde ise test, doğrulama, eğitim ve tüm regresyon katsayı değerleri sırasıyla 0,96702 – 0,91189 – 0,98019 ve 0,85546 olarak elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerleri için test, doğrulama, eğitim ve tüm regresyon katsayı değerleri sırasıyla 0,87425 – 0,9952 – 0,87581 ve 0,84159 olarak ortaya çıkmıştır.
- Levenberg-Marquardt algoritmasının eğitim sürecinde Mu değeri yüzey pürüzlülük ve titreşim değerleri için başlangıçta 0,001 olarak belirlenmiş ve deneysel veriler için Mu değerinin başlangıçtan itibaren belirgin şekilde azaldığı tespit edilmiştir.
- Titreşim değerleri için modelin 8. döngüye kadar eğitildiği ve en iyi performansın 4. döngüde ortalama kare hata değeri 0,092015 olarak tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri için elde edilen model 7. döngüye kadar eğitildiği ve en iyi performansın 2. döngüde ortalama kare hata değeri 0,011168 olarak ortaya çıkmıştır.
- K-fold eğitim ve test performans değerleri incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü ve titreşim için ortalama değerler sırasıyla 0,041928 - 0,147221 - 0,144194 ve 0,424737 olarak hesaplanmıştır.
- Hata dağılım grafiği, yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerleri için genel veri kümelerinin hata değerlerinin sırasıyla 0,2456’dan ve 0,3795’den az olduğu göstermiştir.

- Hem yüzey pürüzlülüğü hem de titreşim için elde edilen regresyon değerlerinin 1'e yakın elde edilmesi, YSA modelinde ağın iyi eğitildiğini, güvenilir olduğunu ve deneysel veriler ile tahmin değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğunu ispatlamaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma ile YSA'nın yüzey pürüzlülük ve titreşim değerlerinin tahmin edilmesinde bir model olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.
- Elde edilen sonuçlar ışığında bir iş parçasının CNC torna tezgahlarında ideal punta ve ayna basıncında bağlanması, iş parçası işlenirken oluşacak salgıları, esnemeyi ve titreşim olayını azaltarak yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük çıkmasına katkı sağlayacaktır.
- ANOVA sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerleri üzerinde ayna basıncının istatistiksel olarak anlamlı olduğu fakat punta basıncının ise istatistiksel olarak anlamsız olduğu bulunmuştur.
- Tukey testine göre yüzey pürüzlülük ve titreşim değerleri için ayna basıncının 18 ile 10 bar olması anlamlı iken diğer değerlerde ise anlamsız olduğu tespit edilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

TÜBİTAK (2209/B destek programı), Yavuzlar Kardeşler ve Batman Üniversitesi'ne sunmuş oldukları desteklerden dolayı teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Kam, M. & Demirtaş, M. (2021). Analysis of tool vibration and surface roughness during turning process of tempered steel samples using Taguchi method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E*, 235(5), 1429-1438.
2. Abellán-Nebot, J.V., Vila Pastor, C. & Siller, H.R. (2024). A review of the factors influencing surface roughness in machining and their impact on sustainability. *Sustainability*, 16(5), 1917.
3. Akkuş, H. & Yaka, H. (2022). Optimization of cutting parameters in turning of titanium alloy (Grade 5) by analysing surface roughness, tool wear and energy consumption. *Exp Tech*, 46, 945-956.
4. Şahinoğlu, A. & Ulas, E. (2020). An investigation of cutting parameters effect on sound level, surface roughness, and power consumption during machining of hardened AISI 4140. *Mechanics & Industry*, 21(5), 523.
5. Mahajan, K.A., Pawade, R.S. & Mishra, V. (2022). Tool vibration effect on surface roughness of polymethylmethacrylate in diamond turning. *Materials and Manufacturing Processes*, 37(3), 271-282.
6. Yousefi, S. & Zohoor, M. (2019). Effect of cutting parameters on the dimensional accuracy and surface finish in the hard turning of MDN250 steel with cubic boron nitride tool, for developing a knowledge based expert system. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 14, 1-13.
7. Şahinoğlu, A. & Rafighi, M. (2020). Investigation of vibration, sound intensity, machine current and surface roughness values of AISI 4140 during machining on the lathe. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45, 765-778.
8. Asiltürk, I. & Çunkaş, M. (2011). Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method. *Expert Systems With Applications*, 38(5), 5826-5832.
9. Akkuş, H. (2021). AISI 1040 Çeliğinin işlenebilirliği sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin farklı tahmin modelleri ile araştırılması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 84-92.
10. Gürbüz, H. & Gönülaçar Y.E. (2021). Analysis of experimental values obtained at different cutting parameters and MQL flows with S/N ratios and ANN. *Journal of Polytechnic*, 24(3), 1093-1107.
11. Bober, P., Zgodavová, K., Čička, M., Mihalíková, M. & Brindza, J. (2024). Predictive quality analytics of surface roughness in turning operation using polynomial and artificial neural network models. *Processes*, 12(1), 206.
12. Demirdöğen, M.F., Kılıç, S. ve Öztürk, F. (2022). Yüzey pürüzlülüğünün tahmininde farklı yöntemlerin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(2), 531-542.
13. Akkuş, H. (2020). AISI 1040 çeliğinin tornalanması sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin RSM ve YSA ile araştırılması. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(100. Yıl Özel Sayı), 186-197.
14. Gürbüz, H., Sözen, A. & Şeker, U. (2016). Modelling of effects of various chip breaker forms on surface roughness in turning operations by utilizing artificial neural networks. *Journal of Polytechnic*, 19(1), 71-83.

15. Serin, G., Kahya, M., Özbayoğlu, M. ve Ünver, H.Ö. (2019). Ti6Al4V malzemesinin tornalama işleminde özgül kesme enerjisi ve yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi ve yapay sinir ağları temelli tahmin modeli geliştirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 517-536.
16. Arapoğlu, R.A., Sofuoğlu, M.A. & Orak, S. (2017). An ANN-based method to predict surface roughness in turning operations. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42, 1929-1940.
17. Bayram, B.S., Yıldız, O. ve Korkut, İ. (2025). Yüzey pürüzlülüğünün makine öğrenmesi ile tahmin edilmesi. *Politeknik Dergisi*, 28(1), 187-195.

