

MONEL 400 NİKEL ESASLI SÜPER ALAŞIMIN TORNALANMASINDA OLUŞAN KESME KUVVETİ BİLEŞENLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ

Barış ÖZLÜ¹, Levent UĞUR^{2*}

¹ Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Aksaray, 68000, Türkiye

²Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya, 05100, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 09.08.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 25.12.2023 DOI: 10.54365/adyumbd.1340057

ÖZET

Yapılan çalışma iki bölümden oluşmaktadır. Birinci Bölüm, Monel 400 alaşımının farklı kesme parametrelerinde tornalanması sonucu kesme parametrelerinin kesme kuvveti bileşenlerine ve esas kesme kuvvetine etkileri değerlendirilmiştir. İkinci bölüm ise farklı kesme parametrelerinde yapılan tornalama deneylerinde ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinin Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemiyle tahmininden oluşmaktadır. Çalışmada kesme parametresi olarak üç farklı kesme hızı (60-85-110 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,05-0,07-0,09 mm/dev) ve üç farklı kesme derinliği (0,4-0,8-1,2 mm) seçilmiştir. Kesme kuvveti bileşenlerinin (F_z , F_x ve F_y) ölçümü A KISTLER 9257 B tipi piezoelektrik dinamometre ile gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvveti bileşenlerinin tahmininde YSA yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak, Monel 400 alaşımının tornalanmasında en düşük kesme kuvveti bileşenleri 0,4 mm kesme derinliğinde, 110 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında F_z :227,48 N, F_y :154 N ve F_x :99,16 N ölçülmüştür. Kesme hızının artması ile esas kesme kuvveti değerleri azalırken, ilerleme miktarının ve kesme derinliğinin artırılması esas kesme kuvveti değerlerinin artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. YSA yöntemini ile tahmin edilen kesme kuvveti bileşenleri ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında YSA yöntemini ile yapılan tahminlerin yüksek doğruluk içerdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tornalama, Monel 400 Alaşımı, Kesme Kuvveti Bileşenleri, Yapay Sinir Ağı.

EVALUATION OF CUTTING FORCE COMPONENTS IN TURNING OF MONEL 400 NICKEL BASED SUPERALLOY AND MODELING WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT

The study consists of two parts. The first part evaluates the effects of cutting parameters on the cutting force components and the actual cutting force as a result of turning Monel 400 alloy at different cutting parameters. The second part consists of the prediction of the cutting force components measured in turning tests at different cutting parameters by Artificial Neural Networks (ANN) method. Three different cutting speeds (60-85-110 m/min), three different feed rates (0.05-0.07-0.09 mm/rev) and three different depths of cut (0.4-0.8-1.2 mm) were selected as cutting parameters. The measurement of the cutting force components (F_z , F_x and F_y) was carried out with a KISTLER 9257 type B piezoelectric dynamometer. ANN method was used to predict the shear force components. As a result, the lowest cutting force components F_z :227.48 N, F_y :154 N and F_x :99.16 N were measured at 0.4 mm depth of cut, 110 m/min cutting speed and 0.05 mm/rev feed rate for turning Monel 400 alloy. When the cutting force components predicted by ANN method and experimental results are analyzed, it is seen that the predictions made by ANN method have high accuracy.

Keywords: Turning, Monel 400 Alloy, Cutting Force Components, Artificial Neural Network.

1. Giriş

Nikel alaşımlar, yüksek korozyon direnci, yüksek gerilme mukavemeti, yüksek sıcaklıklarda dayanım kabiliyeti ve hafiflik gibi özellikleri nedeni ile günümüzde havacılık, nükleer, denizcilik,

e-posta¹ : barisozlu@aksaray.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8594-1234>

* e-posta² : levent.ugur@amasya.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3447-3191> (Sorumlu Yazar)

biyomedikal ve otomobil sektörlerinde kullanılmaktadır [1-3]. Bu alaşımlar yüksek sertlik, düşük elastik modül, yüksek sıcaklıkta takım malzemesiyle kimyasal reaktivite ve düşük termal iletkenlik gibi özellikleri nedeni ile işlenmesi zor malzemeler olarak bilinirler. Ayrıca nikel bazlı alaşımlarda, ikinci faz parçacıklarının oluşumu alaşımları daha güçlü, aşındırıcı ve işlenmesi zor hale getirmektedir [3, 4]. Nikel bazlı alaşımlardan biri olan Monel 400 özellikle sıfırın altındaki sıcaklıklarda bile iyi mekanik özelliklere sahiptir [5].

Nikel esaslı malzemelerin endüstride kullanılabilir hale getirilmesi için konvansiyonel yöntemlerle işlenmesi gerekmektedir. Ancak bu işlemler sırasında hızlı takım aşınması, yüksek kesme kuvveti ve yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri gibi birçok problemlerle karşılaşmaktadır [6]. Bu nedenle literatürde nikel esaslı süper alaşımların işlenmesi üzerine yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Akgün, Monel K500 alaşımının sıcak işlenmesinde kesme sıcaklığını ve talaş oluşumunu nümerik olarak incelemiştir. Sonuç olarak sıcak işleme koşullarında kesme kuvvetinin azaldığını ve sürekli talaş oluşumunu gözlemlemiştir [7]. Ross ve arkadaşları, Monel 400'ün tornalanmasında farklı soğutma koşullarının tribolojik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak, CMQL soğutmanın sürtünmeyi azalttığı mümkün ve en iyi yüzeyi yaratan en iyi etkili soğutma tekniği olduğunu ifade etmişlerdir. CMQL koşulu, kuru, MQL ve CO2 koşullarına kıyasla yanak aşınmasının azaldığını tespit etmişlerdir [8]. Pawade ve arkadaşları, Inconel 718 tornalanmasında kesici takım geometrisinin ve işleme parametrelerinin kesme kuvvetine ve yüzey bütünlüğüne etkilerini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak radyal ve ilerleme kuvveti bileşenlerinin hemen hemen eşit olduğu ve esas kesme kuvveti bileşeninin, ilerleme ve radyal kuvvet bileşenlerinin iki ile üç katı olduğunu görülmüştür. Bilenerek artı pahlı kesici kenarlı kesici takımların, kesme kuvvetlerinin önemli ölçüde azaltılmasında etkili olduğunu gözlemlemiştir. Kesme kuvvetini artıran kesici takımlarda daha geniş yüzey hasarları yanı sıra zayıf yüzey pürüzlülüğüne neden olduğunu bildirmişlerdir [9]. Özlü ve Uğur yaptıkları çalışmada, Ti-6Al-4V alaşımının tornalama kesme parametreleri ile kesme kuvveti arasındaki ilişki sayısal ve istatistiksel olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak, düşük kesme hızlarında, yüksek ilerleme miktarında ve talaş derinliğinde kesme kuvvetinin arttığını bildirmişlerdir. İstatistiksel analizler sonucu kesme kuvveti üzerine en etkin kesme parametresinin kesme derinliğinin olduğunu ifade etmişlerdir [10]. Dhananchezian yaptığı çalışmada, kaplamasız ve TiAlN kaplı takımlarla Monel 400 alaşımının farklı kesme parametrelerinde ve kesme boylarında yapılan tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü değişimi incelemiştir. Monel 400 alaşımının TiAlN kaplamalı kesici takımla 14 m/dak kesme hızında, 0,122 mm/dev ilerleme miktarında, 1 mm kesme derinliğinde ve 17-25 mm işleme boyunda tornalanması sonucu en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,667 μm olarak ölçülmüştür. TiAlN kaplı kesici takım yapılan deneylerde ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri, kaplamasız kesici takımla yapılan deneylerde ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerine göre önemli ölçüde azaldığını bildirmiştir [11]. Dhananchezian yaptığı başka bir çalışmada, karbür kesici uç ile Ti-6Al-4V, Monel 400 ve Inconel 600 alaşımlarının kuru tornalanmasında kesme sıcaklığına, yüzey pürüzlülüğüne, talaş kalınlığına, talaş formuna ve kesici takım aşınmasına kesme parametrelerinin etkilerini incelemiştir. Bu üç malzemenin farklı kesme parametrelerinde tornalanması sonucu en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,723 μm ile Ti-6Al-4V alaşımında elde edilmiştir. Diğer alaşımlara göre en yüksek talaş kalınlığı ve testere dişi formunun Monel 400 alaşımında elde edildiği rapor etmiştir [12]. Hanief ve Chao yaptığı çalışmada, Monel-400 alaşımının tornalanmasında kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve iş parçası sıcaklığının yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine etkilerinin modellenmesi ve optimizasyonu amaçlamıştır. Önerilen modellemenin yüzey pürüzlülüğünü ve yanak aşınmasını tahmin etme konusunda yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü azalırken, sıcaklık ve kesme derinliğinin artması yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmuştur. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğindeki artış yanak aşınmasının artmasına neden olduğu görülmüştür. Sıcaklığın belli bir sınıra kadar artması takım aşınmasını azaltmış, ancak dahada artan sıcaklığın yanak aşınmasını artırdığı tespit edilmiştir. Ancak sıcaklığın belirli bir sınıra kadar artması takım aşınmasını azaltmış, daha sonra sıcaklığın artmasıyla birlikte yanak aşınmasını artırdığı rapor edilmiştir [13]. Dhananchezian ve Rajkumar yaptıkları çalışmada, kaplamasız ve TiAlN kaplı tungsten karbür kesici takımlarla Monel 400 alaşımının kuru koşullar altında değişen kesme hızlarında tornalanması sırasında kesme performansını araştırmışlardır. Kesici takım performansını incelemek için kesme kuvveti, kesme

sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve talaş morfolojisinin, çeşitli kesme hızlarında takım aşınmasıyla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. TiAlN kaplı kesici takımlar, kaplamasız kesici takımlara göre daha düşük kesme sıcaklığına ve kesme kuvvetine neden olduğu görmüşlerdir. Bununda kesme hızı ile birlikte daha iyi yüzey kalitesi ve daha az kesici uç aşınmasına yol açacağını rapor etmişlerdir[14]. Nikel esaslı farklı alaşımların tornalanması, frezelenmesi ve delinmesi gibi farklı işleme teknikleri ile incelenmiş çalışmalar vardır [15-20].

Son yıllarda nikel esaslı alaşımların işlenmesi üzerinde deneysel, nümerik ve istatistiksel çalışmaların giderek arttığı görülmüştür. Ancak yapılan literatür incelenmesinde Monel 400 alaşımının tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti bileşenlerine ve esas kesme kuvvetine etkilerinin değerlendirildiği ve elde edilen verilerin YSA ile tahmin edildiği çalışmaların yok denecek kadar az olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada, Monel 400'ün tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti bileşenleri ve esas kesme kuvveti üzerine etkileri değerlendirilmiş ve elde edilen kesme kuvveti bileşenleri yapay sinir ağları ile modellenmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1.İş Parçası Malzemesi

Bu çalışmada, üstün mekanik özellikleri nedeni ile özellikle havacılık, nükleer, denizcilik, biyomedikal ve otomobil sektörlerinde kullanılan ve işlenmesi zor malzeme sınıfına giren Monel 400 alaşımının iş parçası olarak seçilmesinde büyük etkisi olmuştur. Bu nedenle tornalama deneylerinde iş parçası olarak 35 mm çapında ve 270 mm uzunluğunda Monel 400 alaşımı kullanılmıştır. Monel 400 nikel esaslı süper alaşımın kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca işlenebilirlik deneylerinde sağlıklı sonuçlar alabilmek için Monel 400 alaşımının üretiminde iş parçasının yüzeyinde oluşabilecek oksitler ve dekarbürizasyon bölgeleri 1 mm talaş kaldırılarak temizlenmiştir.

Çizelge 1. Monel 400 nikel esaslı süper alaşımın kimyasal kompozisyonu.

Malzeme	Elementler						
	Ni	Fe	C	Mn	Si	S	Cu
Monel 400	64,95	1,42	0,0001	0,71	0,15	0,01	32,37

2.2.Takım Tezgâhı, Kesici Takım ve Kesme Parametreleri

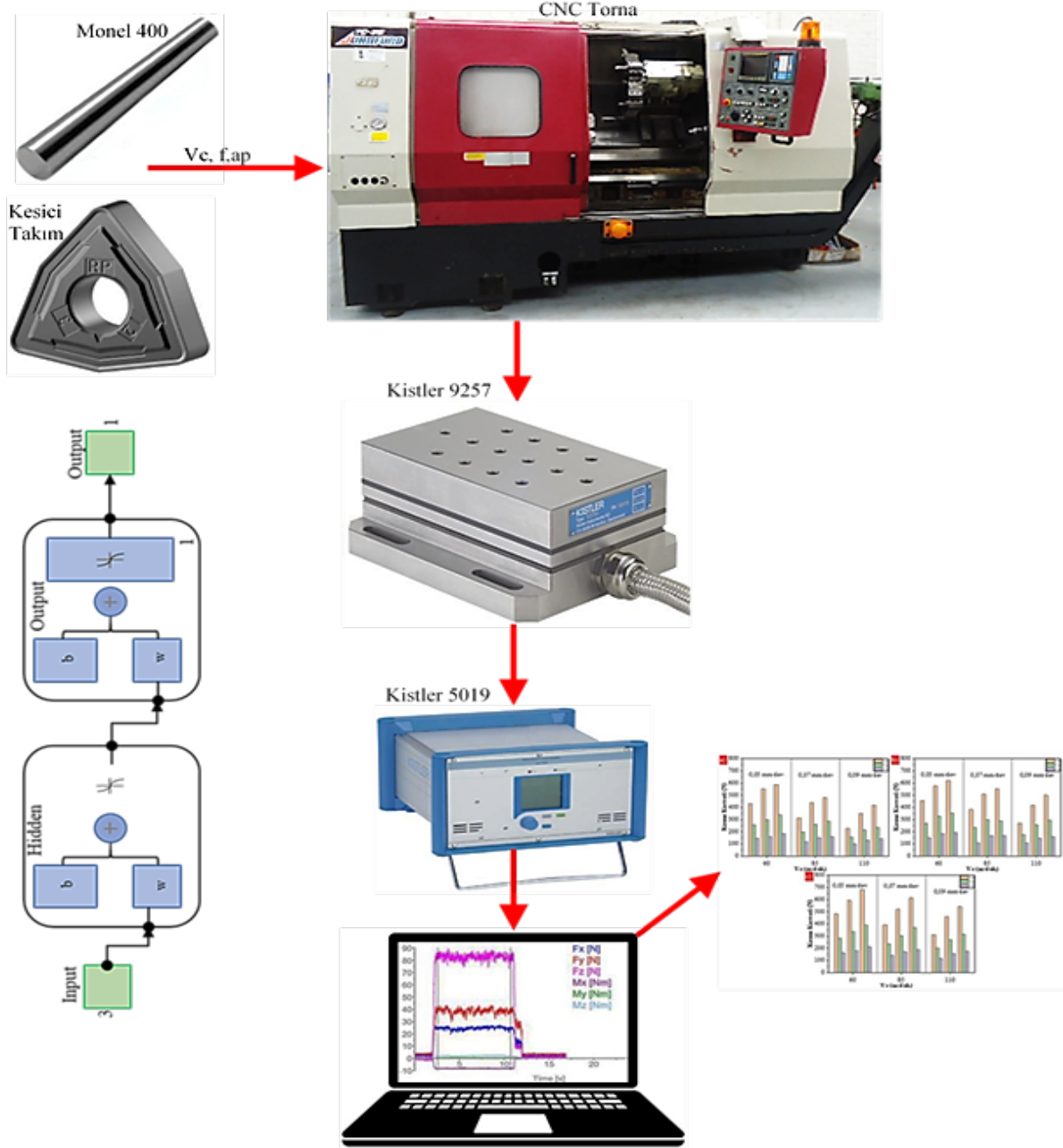
Tornalama deneyleri, 10 kW motor gücüne ve iş mili maksimum 3500 dev/dk çıkabilen Johnford marka TC35 model CNC torna tezgâhında yapılmıştır. Deneylerde Kennametal KCU10 kalite ve WNMG080408FN ISO tanımlamasında kaplamalı karbür kesici takım tercih edilmiştir. Tüm kesici takım uçlarının köşe yarıçapı 0,8 mm'dir. Kesici takımların bağlanması DWLNR 2525 M08 KC04 takım tutucu seçilmiştir. Her test için yeni bir kesici uç kullanılmıştır. Monel 400 nikel esaslı süper alaşımın tornalanması için seçilen kesme parametreleri ve seviyeleri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Kesme parametreleri ve seviyeleri

Semboller	Kesme Parametreleri	Birimler	Seviyeler		
			I	II	III
Vc	Kesme hızı	m/dak	60	85	110
f	İlerleme miktarı	mm/dev	0,05	0,07	0,09
ap	Kesme derinliği	mm	0,4	0,8	1,2

2.3. Kesme Kuvveti Ölçümü

Tornalama deneyleri boyunca meydana gelen kesme kuvveti bileşenlerini (F_z , F_x ve F_y) aynı anda ölçebilen A KISTLER 9257 B tipi piezoelektrik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometreden gelen sinyaller RS32 veri aktarım kablosu ile veriler KISTLER 5070A amplifier aktarılmış ve son olarak veriler DynoWare yazılımı ile sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Bu çalışma için hazırlanan deney düzeneği Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği

2.4. Yapay Sinir Ağları

İşlenebilirlik çalışmalarında, kesme parametrelerinin deney sonuçları üzerine etkilerinin araştırılmasında gereken işleme süreçlerinde tahmine dayalı modeller faydalı araçlar olarak değerini

kanıtlamıştır. YSA incelenen kesme parametreleri aralığında kesme parametreleri için deney sonuçlarının tahmininde kullanılan en bilinen tahmine dayalı modellerden biridir. Özellikle YSA birçok çalışmada araştırmacılar tarafından tornalama deneylerinde sürecin modellenmesinde başarıyla kullanılmıştır [21-23].

3. Sonuçlar

Nikel alaşımlı Monel 400 alaşımı için farklı kesme parametreleri ile tornalama deneyleri yapılmış ve kesme parametrelerinin kesme kuvveti bileşenlerine (F_z , F_y ve F_x) ve esas kesme kuvvetine etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca YSA ile tahmin edilen kesme kuvveti bileşenleri ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneyler sonrası elde edilen kesme kuvveti bileşenleri ile YSA ile tahmin edilen kesme kuvveti bileşenleri Tablo 3’de verilmiştir.

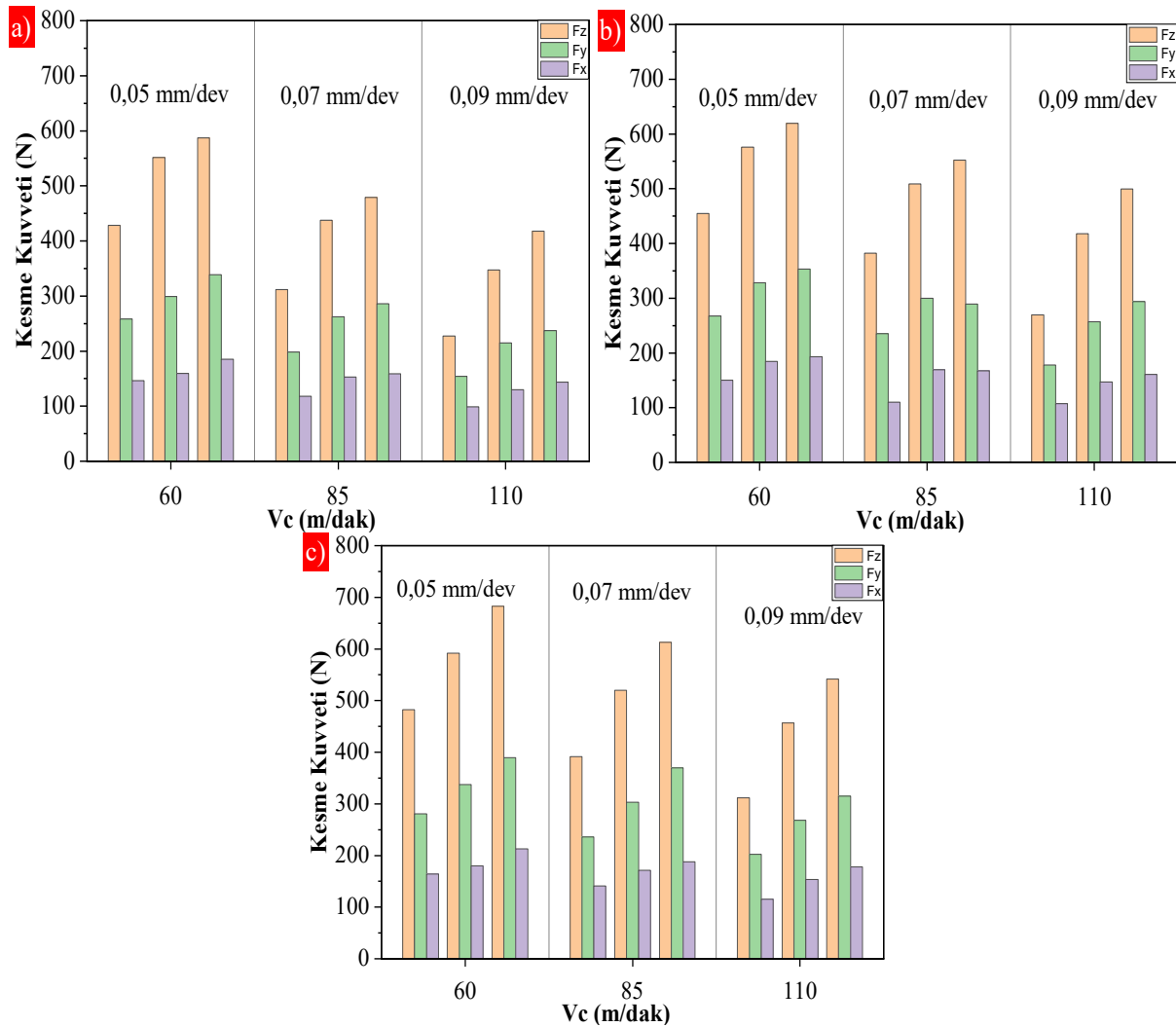
Tablo 3. Deneysel ve YSA ile tahmin edilen kesme kuvveti bileşenleri

Deney No	ap	Vc	f	F_z (N)	F_y (N)	F_x (N)	YSA F_z (N)	YSA F_y (N)	YSA F_x (N)
1	0,4	60	0,05	428,44	258,48	146,40	429,33	259,16	139,96
2	0,4	60	0,07	551,86	299,19	159,26	549,53	301,38	165,87
3	0,4	60	0,09	587,19	338,86	185,09	549,91	288,90	169,42
4	0,4	85	0,05	311,88	198,20	118,26	308,59	193,02	116,90
5	0,4	85	0,07	437,49	262,01	152,66	439,48	266,29	151,80
6	0,4	85	0,09	479,12	285,82	159,07	480,61	279,34	158,12
7	0,4	110	0,05	227,48	154,01	99,16	243,97	162,45	104,29
8	0,4	110	0,07	347,36	214,94	130,13	343,70	212,39	131,67
9	0,4	110	0,09	417,56	237,04	143,68	418,32	240,32	144,11
10	0,8	60	0,05	454,71	267,62	149,97	455,29	267,42	152,37
11	0,8	60	0,07	576,16	328,34	184,33	577,77	327,97	178,10
12	0,8	60	0,09	619,26	352,89	193,11	620,12	351,58	188,13
13	0,8	85	0,05	382,44	235,48	109,90	379,85	235,02	125,50
14	0,8	85	0,07	508,63	299,58	169,45	509,33	295,70	163,98
15	0,8	85	0,09	552,33	289,43	167,37	548,56	297,04	173,87
16	0,8	110	0,05	269,28	177,90	107,61	271,59	183,44	106,95
17	0,8	110	0,07	417,75	257,14	146,73	418,51	253,70	141,29
18	0,8	110	0,09	499,21	293,87	161,09	486,21	261,27	158,06
19	1,2	60	0,05	482,67	280,60	163,96	482,93	279,64	163,44
20	1,2	60	0,07	591,76	337,14	180,23	591,01	340,20	181,33
21	1,2	60	0,09	682,85	389,69	213,00	657,78	378,90	197,48
22	1,2	85	0,05	391,49	236,01	141,16	420,75	221,39	132,92
23	1,2	85	0,07	519,88	303,20	171,26	521,88	303,08	170,82
24	1,2	85	0,09	613,16	369,84	187,58	612,69	361,80	191,16
25	1,2	110	0,05	311,86	202,19	115,26	311,62	200,58	111,43
26	1,2	110	0,07	456,38	268,45	153,39	454,27	272,34	152,07
27	1,2	110	0,09	541,83	315,18	177,75	543,50	313,69	179,17

3.1. Kesme Kuvveti Bileşenleri

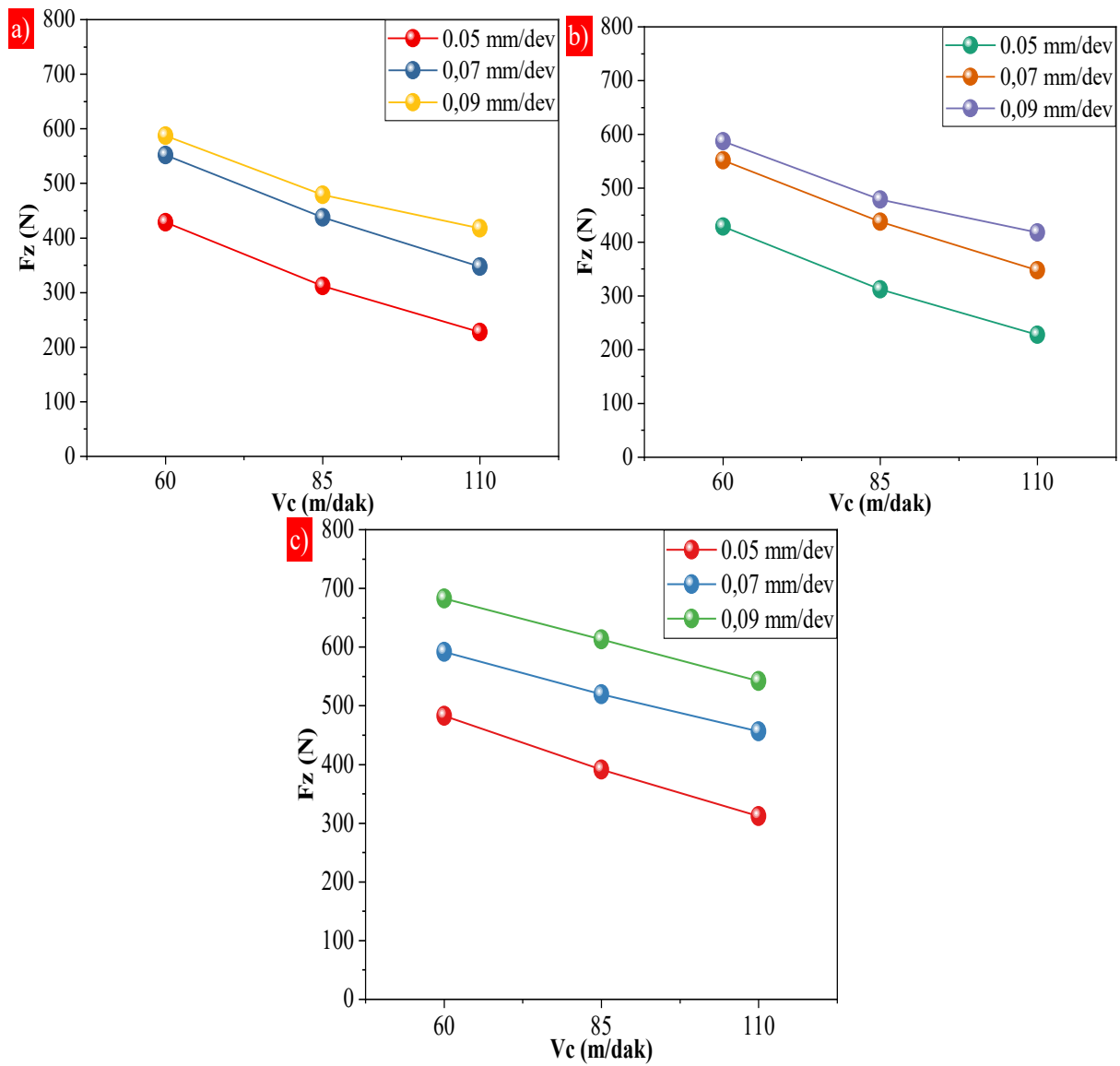
Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesi esnasında oluşan yüksek kesme kuvvetleri ve sürtünme bu malzemelerin işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple bu malzemelerin işlenmesi esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin ölçülmesi işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde büyük önem taşımaktadır [24, 25]. Bu nedenle yapılan çalışmada Monel 400 nikel esaslı süper alaşımın üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ve üç farklı kesme derinliğinde yapılan tornalama deneyleri sonucu ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve esas kesme kuvvetleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Tornalama deneyleri sonucu kesme parametrelerine bağlı kesme kuvveti bileşenlerindeki değişim Şekil 2’de verilmiştir. Tornalama deneyleri sonucu oluşan kesme kuvveti bileşenleri arasında teorik olarak $F_z:F_y:F_x=4:2:1$ gibi bir ilişkinin olduğu ifade edilmiştir. Bu eşitliğe göre esas kesme kuvveti (F_z), ilerleme kuvvetinin (F_y) iki katı iken pasif kuvvetin (F_x) dört katına eşittir [26]. Yapılan çalışmada elde edilen kesme kuvveti bileşenlerinden esas kesme kuvveti 227,48-682,85 N, ilerleme kuvveti 154,01-389,69 N ve pasif kuvvetin 99,16-213 N arasında değiştiği görülmektedir. Bu sonuçlarda daha önce Ahmed ve arkadaşlarının [27], Vadgeri ve arkadaşlarının [28], Jialong ve arkadaşlarının [29] yaptıkları çalışmalarla paralellik göstermektedir. Genel olarak Şekil 2’de kesme hızının artması ile bütün kesme kuvveti bileşenlerinin azaldığı görülmüştür. Ancak ilerleme miktarının ve kesme derinliğinin artırılması kesme kuvveti bileşenlerinin artmasına neden olmuştur.



Şekil 2. Monel 400 süper alaşımının tornalanmasında ölçülen kesme kuvveti bileşenleri;
a) $a_p=0,4$ mm, b) $a_p=0,8$ mm ve c) $a_p=1,2$ mm

Kesme kuvveti bileşenlerinden kesme hızı vektörü doğrultusunda olan esas kesme kuvveti genellikle oluşan en yüksek kesme kuvveti bileşenidir. Bu nedenle işlenebilirlik çalışmalarında kesme kuvvetinin değerlendirilmesinde birincil düzeyde önem taşımaktadır. Yapılan çalışmada kesme parametrelerine bağlı esas kesme kuvvetinin değişimi Şekil 3’de sunulmuştur. Yapılan çalışmada kesme parametrelerine bağlı esas kesme kuvveti 227,48-682,85 N arasında değişmektedir. Şekil 3a’da 0,4 mm kesme derinliğinde 60 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında esas kesme kuvveti 428,44 N ölçülmüştür. İlerleme miktarının sırası ile 0,07 mm/dev ve 0,09 mm/dev çıkarılması ile esas kesme kuvvetinde sırası ile %28,8 ve %37 oranlarında artış olmuştur. İlerleme miktarının 0,05 mm/dev’de sabit tutarak kesme hızının sırası ile 85 m/dak ve 110 m/dak çıkarılması ile esas kesme kuvvetlerinde sırası ile %37,37 ve % 88,34 oranlarda azalmanın olduğu görülmüştür. 0,07 mm/dev ve 0,09 mm/dev ilerleme miktarlarında kesme hızının 60 m/dak’dan 110 m/dak çıkarılmasında benzer şekilde esas kesme kuvveti değerlerinde azalmanın olduğu görülmüştür. Şekil 3b-c’de kesme derinliğinin 0,8 mm ve 1,2 mm çıkarılması ile esas kesme kuvvetlerinde sırası ile ortalama %13 ve %21,2 oranlarında artışın olduğu görülmüştür.

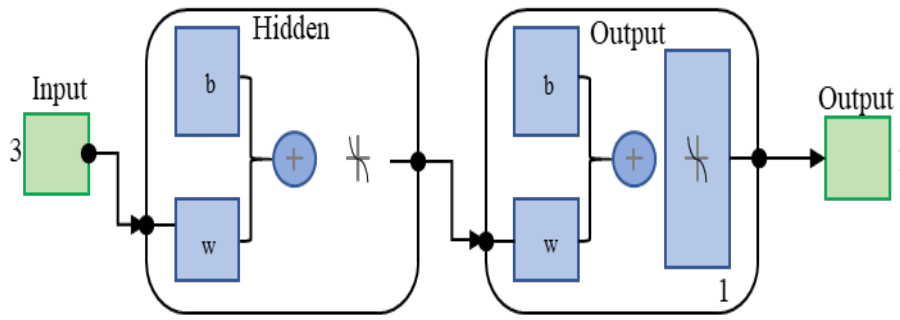


Şekil 3. Monel 400 süper alaşımasının tornalanmasında ölçülen esas kesme kuvveti;
a) $a_p=0,4$ mm, b) $a_p=0,8$ mm ve c) $a_p=1,2$ mm

Yapılan çalışmada, elde edilen bileşke kuvvet değerleri (Şekil 2) ve esas kesme kuvveti (Şekil 3) değerlerinin kesme hızının artması ile azaldığı görülmektedir. Kesme hızının artması ile kesme kuvveti bileşenlerinin ve esas kesme kuvvetinin azalması kesme bölgesindeki ısının yükselmesi iş parçasının kayma dayanımının azalması ve takım/talaş ara yüzeyi temas alanının azalması ile açıklanabilir [26, 30, 31]. İlerleme miktarının artışına bağlı kesme kuvveti bileşenlerinin ve esas kesme kuvvetinin artması literatürde yaygın olarak karşılan bir durumdur [32-34].

3.2.Yapay Sinir Ağı Modeli

YSA, biyolojik sinir sistemlerinden ilham alarak tasarlanan makine öğrenimi modelleridir. YSA'lar doğrusal/doğrusal olmayan sistemlerdeki bilgi akışlarını işleyebildikleri için çok yönlü uygulamalarda kullanılmıştır [35]. Bu uygulamalardan biri de imalat sektörüdür. YSA yaklaşımı, yüzey pürüzlülüğü ve giriş parametreleri arasında doğrusal olmayan yüksek bir korelasyon kurmak için deneysel bir veri setinden öğrenme yeteneğine sahiptir [36]. Talaşlı imalatla çok çeşitli kesme parametreleri kullanıldığı için, kesme kuvvetlerinin kesme parametrelerine karşı tepki yüzey grafiğinin oldukça doğrusal olmayan özellikler göstermesi beklenir. Bu nedenle bu çalışma, kesme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) dayalı olarak kesme kuvveti bileşenlerini (F_z , F_y ve F_x) modellemek ve tahmin etmek için bir YSA tekniği kullanılmıştır. Genel bir YSA'nın basit birçok katmanlı mimarisi Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Şematik ANN diyagramı [37]

Tablo 4. Farklı yapıya sahip YSA modellemesi kullanılarak optimum YSA parametrelerinin belirlenmesine yönelik istatistiksel veriler

Öğrenme Algoritması	Aktivasyon Fonksiyonu	Nöron Sayısı	Eğitim	Test	En İyi Doğrulama Performansına Sahip MSE
Trainlm	logsig	15	0,97421	0,98965	315,548
		25	0,98799	0,95514	569,875
		50	0,95025	0,60787	756,654
		100	0,88654	0,67889	896,548
		125	0,71685	0,53535	279,355
	purelin	15	0,97582	0,98092	3548,581
		25	0,89554	0,85616	2341,696
		50	0,9536	0,97235	6523,657
		100	0,9687	0,97781	1554,548
		125	0,9290	0,92543	500,549
	tansig	15	0,99715	0,99748	18,900
		25	0,99430	0,99254	10,548
		50	0,99525	0,99125	5,556
		100	0,99901	0,99841	0,055

		125	0,99678	0,99485	12,549
		15	0,52700	0,84563	3729,396
		25	0,38962	0,98331	1794,216
	logsig	50	0,02782	0,92284	4089,915
		100	0,07196	0,33847	3938,887
		125	0,69591	0,81152	3887,087
		15	0,99935	0,99151	88,333
		25	0,99329	0,99087	3917,198
	purelin	50	0,99824	0,97685	26,960
		100	0,99682	0,99620	48,609
		125	0,99900	0,99650	420,359
		15	0,96312	0,99724	4098,761
		25	0,96634	0,94695	6823,524
	tansig	50	0,97067	0,58884	7184,963
		100	0,85721	0,66743	2256,394
		125	0,69584	0,54567	4487,602

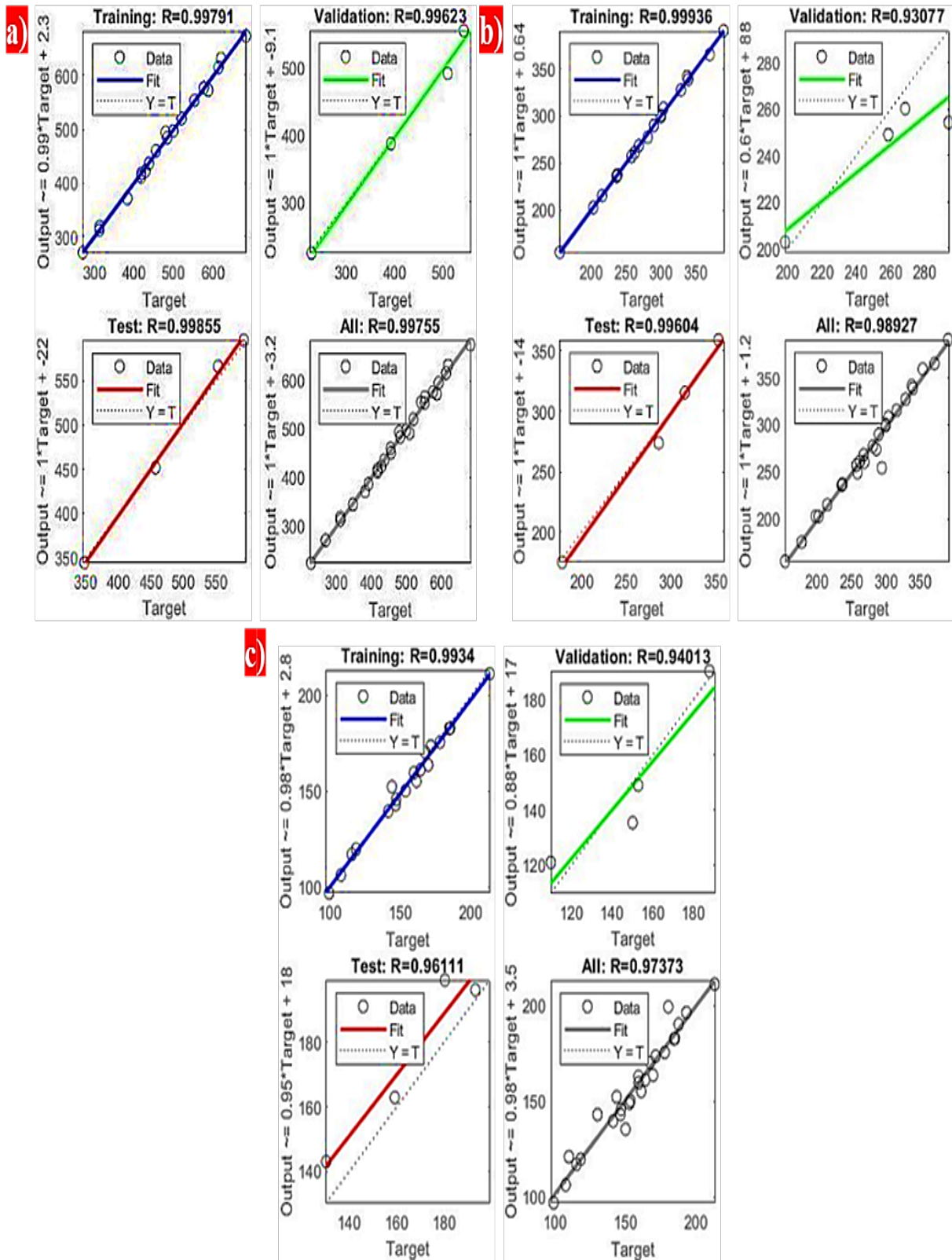
Tablo 4. Devamı

Tablo 5. YSA modelinin eğitim parametreleri.

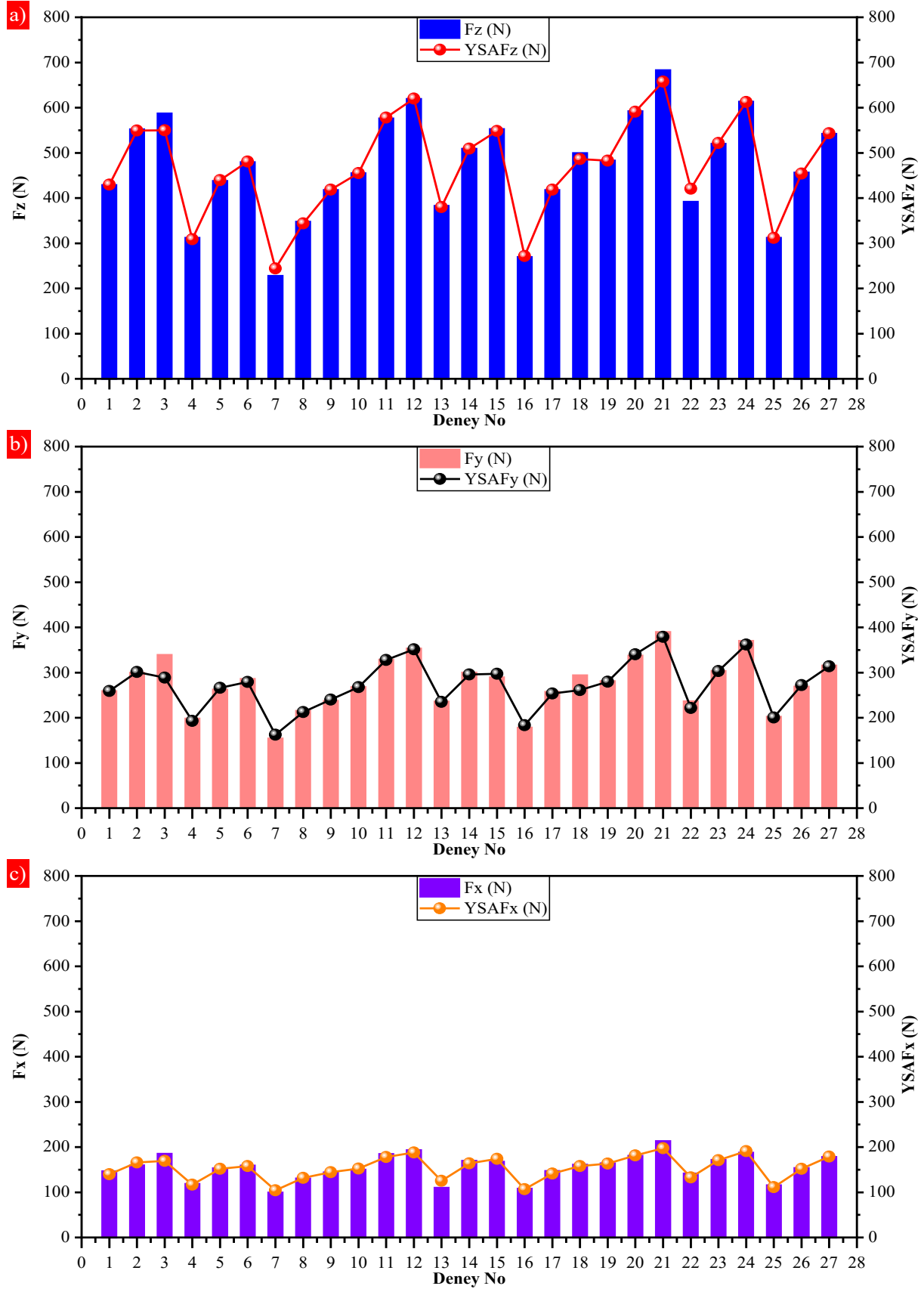
Parametre	Değer
Katmandaki nöron sayısı	1-100-1
Öğrenme algoritması	Levenberg–Marquardt'tır (trainlm)
Aktivasyon fonksiyonu	tansig (tangent sigmoid)
Gizli katman sayısı	1
Nöron sayısı	100
İterasyon sayısı (epochs)	2000
Eğitim veri oranı (rastgele)	%70
Test veri oranı (rastgele)	%15
Doğrulama veri oranı (rastgele)	%15

Çalışmada YSA modeli oluşturmak için MATLAB R2022a programı kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen kesme kuvveti bileşenlerine ait veriler Matlab programına aktarılmıştır. Model, Matlab YSA aracında geliştirilmiştir. YSA veri setinin %70'i eğitim, %15'i doğrulama ve %15'i test için kullanılmıştır. Belirlenen oranlarda kullanılacak veriler YSA arka planında giriş ve çıkış verilerinden rastgele seçilir. Eğitim işlevi Levenberg–Marquardt'tır (trainlm) ve performans işlevi ortalama karesel hatadır. YSA modelini oluşturmak için farklı kombinasyonlarla birçok girişimde bulunulmuştur. Bu denemelerde, ağ türünün neredeyse tamamı ileri beslemelidir ve biri kademeli ileri yayılım tipidir. En yüksek R oranını ve en düşük MSE oranını bulmak için nöron sayısı, gizli katman sayısı ve aktivasyon fonksiyonu deneme yanılma yoluyla değiştirilmiştir. Tablo 4'de görüleceği gibi en iyi model seçimi için performans kriteri olarak ortalama kare hata (MSE) ve regresyon katsayısı (R) değerleri kullanıldı. Yapılan deneyler sonucunda yüksek R ve düşük hata oranına göre en iyi model belirlenmiştir. Bahsedilen denemeler için kullanılan parametreler Tablo 5'de verilmiştir.

YSA modelini geliştirmek için, ağ bir dizi deneysel değer kullanılarak eğitilmiştir. Başarılı bir eğitimden sonra ağ, doğrulama ve test için kesme kuvvetini tahmin etmek üzere kullanılmıştır. Her bir kesme kuvveti için YSA sonuçları Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekil 5'ten, eğitim sırasında tüm deneysel ve tahmin edilen değerlerin regresyon çizgisi üzerinde mükemmel bir şekilde çıktığı ve Fz (N), Fy (N) ve Fx (N) kuvvetleri için eğitimde sırasıyla $R^2 = 0,99791$, $R^2 = 0,99936$ ve $R^2 = 0,9934$ olduğu görülmektedir. R^2 değeri doğrulama ve test için Fz (N) kuvveti için sırasıyla 0,99623 ve 0,99855, Fy (N) kuvveti için sırasıyla 0,93077 ve 0,99604 ve Fx (N) kuvveti için sırasıyla 0,94013 ve 0,96111 bulunmuştur. Deneysel değerlerin modelin öngördüğü değerlerle karşılaştırılması Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6'da deneysel ve tahmin edilen değerler arasındaki hatanın önemli ölçüde azaldığı açıkça görülmektedir.



Şekil 5. YSA sonuçları a) Fz (N) b) Fy (N) c) Fx (N)



Şekil 6. Deneyssel ve YSA ile tahmin edilen kesme kuvveti bileşenleri değerlerinin karşılaştırılması.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada, Monel 400 alaşımının tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti bileşenlerine ve esas kesme kuvvetine etkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Ayrıca deneyler sonucu elde edilen kesme kuvveti bileşenleri ile yapay sinir ağları ile tahmin edilen kesme kuvveti bileşenleri karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Monel 400 alaşımının tornalanmasında kesme hızının artırılması kesme kuvveti bileşenlerinin azalmasına neden olurken, ilerleme miktarının ve kesme derinliğinin artırılması ise kesme kuvveti bileşenlerinin artmasına neden olduğu görülmüştür.
- En düşük kesme kuvveti bileşenleri 0,4 mm kesme derinliğinde, 110 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında F_z :227,48 N, F_y :154 N ve F_x :99,16 N ölçülmüştür.
- En yüksek kesme kuvveti bileşenleri 1,2 mm kesme derinliğinde, 60 m/dak kesme hızında ve 0,09 mm/dev ilerleme miktarında F_z :682,85 N, F_y :389,69 N ve F_x :213 N ölçülmüştür.
- Yapılan çalışmada YSA yöntemini ile tahmin edilen kesme kuvveti bileşenleri ile deneysel sonuçlar incelendiğinde YSA yöntemini ile yapılan tahminlerin yüksek doğruluk içerdiği görülmüştür.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- [1] I. Choudhury and M. El-Baradie, "Machinability of nickel-base super alloys: a general review," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 77, no. 1-3, pp. 278-284, 1998.
- [2] A. K. Parida and K. Maity, "Modeling of machining parameters affecting flank wear and surface roughness in hot turning of Monel-400 using response surface methodology (RSM)," *Measurement*, vol. 137, pp. 375-381, 2019.
- [3] A. K. Parida and K. Maity, "Comparison the machinability of Inconel 718, Inconel 625 and Monel 400 in hot turning operation," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 21, no. 3, pp. 364-370, 2018.
- [4] M. Davami and M. Zadshakoyan, "Investigation of tool temperature and surface quality in hot machining of hard-to-cut materials," *International Journal of Materials and Metallurgical Engineering*, vol. 2, no. 10, pp. 252-256, 2008.
- [5] Y. Zhu, H. Liu, D. Zhang, J. Wang, and F. Yan, "Effect of polarization potentials on tribocorrosion behavior of Monel 400 alloy in seawater environment," *Tribology International*, vol. 168, p. 107445, 2022.
- [6] E. Ezugwu, Z. Wang, and A. Machado, "The machinability of nickel-based alloys: a review," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 86, no. 1-3, pp. 1-16, 1999.
- [7] M. Akgün, "Monel K-500 Alaşımının Isı Destekli İşlenmesi Üzerine Sayısal Bir Çalışma," *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, vol. 14, no. 1, pp. 23-29, 2022.
- [8] N. S. Ross, M. Ganesh, D. Srinivasan, M. K. Gupta, M. E. Korkmaz, and J. Krolczyk, "Role of sustainable cooling/lubrication conditions in improving the tribological and machining characteristics of Monel-400 alloy," *Tribology International*, vol. 176, p. 107880, 2022.
- [9] R. Pawade, S. S. Joshi, P. Brahmanekar, and M. Rahman, "An investigation of cutting forces and surface damage in high-speed turning of Inconel 718," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 192, pp. 139-146, 2007.

- [10] B. Özlü and L. Uğur, "Optimization of cutting forces on turning of Ti-6Al-4V Alloy by 3D FEM simulation analysis," *Journal of Engineering Research and Applied Science*, vol. 10, no. 2, pp. 1789-1795, 2021.
- [11] M. Dhananchezian, "Experimental investigation on dry turned Monel 400 alloy surface parameters with uncoated and coated tool," *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 8303-8306, 2021.
- [12] M. Dhananchezian, "Comparison of the turning performance of Ti-6Al-4V, monel 400 and inconel 600 alloy with carbide insert," in *AIP Conference Proceedings*, 2021, vol. 2395, no. 1: AIP Publishing.
- [13] M. Hanief and M. Charoo, "Modeling and optimization of flank wear and surface roughness of Monel-400 during hot turning using artificial intelligence techniques," *Metallurgical and Materials Engineering*, vol. 26, no. 1, pp. 57-69, 2020.
- [14] M. Dhananchezian and K. Rajkumar, "Cutting velocity influenced machinability of Monel 400 by coated tool," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 38, no. 1, pp. 116-125, 2023.
- [15] Ç. V. Yıldırım, T. Kivak, and F. Erzincanlı, "Nikel esaslı Waspaloy süper alaşımının seramik takımlarla frezelenmesinde kesme kuvvetinin Taguchi Metodu ile optimizasyonu," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 5, no. 2, pp. 400-414, 2017.
- [16] E. Nas and F. Kara, "Optimization of EDM machinability of hastelloy C22 super alloys," *Machines*, vol. 10, no. 12, p. 1131, 2022.
- [17] F. Meydaneri and U. Gültekin, "Rene 41 Süper Alaşımının Tornalama Yöntemiyle İşlenebilirliğinin Araştırılması," *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, vol. 3, no. 2, pp. 32-38, 2022.
- [18] H. Gökçe, "Modelling and optimization for thrust force, temperature and burr height in drilling of custom 450," *Experimental Techniques*, vol. 46, no. 4, pp. 707-721, 2022.
- [19] M. Akgün and H. Demir, "Estimation of surface roughness and flank wear in milling of Inconel 625 superalloy," *Surface Review and Letters*, vol. 28, no. 04, p. 2150011, 2021.
- [20] H. Kazan and E. U. Ergül, "Kesme Parametrelerinin Haynes 242 Nikel Bazlı Süper Alaşım Malzemenin Tornalamasında Güç Tüketimi Üzerindeki Etkilerinin RSM ve GA ile İncelenmesi," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 22, no. 5, pp. 1204-1213, 2022.
- [21] F. Djavanroodi, B. Omranpour, and M. Sedighi, "Artificial neural network modeling of ECAP process," *Materials and Manufacturing processes*, vol. 28, no. 3, pp. 276-281, 2013.
- [22] J. P. Davim, V. Gaitonde, and S. Karnik, "Investigations into the effect of cutting conditions on surface roughness in turning of free machining steel by ANN models," *Journal of materials processing technology*, vol. 205, no. 1-3, pp. 16-23, 2008.
- [23] S. Ranganathan, T. Senthilvelan, and G. Sriram, "Evaluation of machining parameters of hot turning of stainless steel (Type 316) by applying ANN and RSM," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 25, no. 10, pp. 1131-1141, 2010.
- [24] D. Zhu, X. Zhang, and H. Ding, "Tool wear characteristics in machining of nickel-based superalloys," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 64, pp. 60-77, 2013.
- [25] Ş. Şirin and T. Kivak, "Effects of hybrid nanofluids on machining performance in MQL-milling of Inconel X-750 superalloy," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 70, pp. 163-176, 2021.
- [26] B. Özlü, "Sleipner soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve talaş şekli üzerine etkisinin incelenmesi," *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, vol. 36, no. 3, 2021.
- [27] T. Ahmed, N. Mollick, S. Mahmud, and T. Ahmad, "Analysis of effects of machining parameters on cutting force components in turning AISI 201 stainless steel using cemented carbide cutting tool insert," *Materials Today: Proceedings*, vol. 42, pp. 832-837, 2021.
- [28] S. S. Vadgeri, S. R. Patil, and S. T. Chavan, "Static and fatigue analysis of lathe spindle for maximum cutting force," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 2, pp. 4438-4444, 2018.

- [29] J. He, S. Wang, G. Li, Z. Yang, L. Hu, and K. Wu, "Compilation of NC lathe dynamic cutting force spectrum based on two-dimensional mixture models," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 98, pp. 251-262, 2018.
- [30] I. Ciftci, "Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools," *Tribology international*, vol. 39, no. 6, pp. 565-569, 2006.
- [31] B. Özlü, H. Demir, M. Türkmen, and S. Gündüz, "Examining the machinability of 38MnVS6 microalloyed steel, cooled in different mediums after hot forging with the coated carbide and ceramic tool," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 235, no. 22, pp. 6228-6239, 2021.
- [32] M. Akgün, B. Özlü, and F. Kara, "Effect of PVD-TiN and CVD-Al₂O₃ coatings on cutting force, surface roughness, cutting power, and temperature in hard turning of AISI H13 steel," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 32, no. 3, pp. 1390-1401, 2023.
- [33] B. ÖZLÜ, "Evaluation Of energy consumption, cutting force, surface roughness and vibration In machining toolox 44 steel using taguchi-based gray relational analysis," *Surface Review and Letters*, vol. 29, no. 08, p. 2250103, 2022.
- [34] M. Akgün and F. Kara, "Analysis and optimization of cutting tool coating effects on surface roughness and cutting forces on turning of AA 6061 alloy," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2021, pp. 1-12, 2021.
- [35] T. Wu and K. Lei, "Prediction of surface roughness in milling process using vibration signal analysis and artificial neural network," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 102, no. 1-4, pp. 305-314, 2019.
- [36] A. M. Zain, H. Haron, and S. Sharif, "Prediction of surface roughness in the end milling machining using Artificial Neural Network," *Expert Systems with Applications*, vol. 37, no. 2, pp. 1755-1768, 2010.
- [37] M. Ramezani and A. Afsari, "Surface roughness and cutting force estimation in the CNC turning using artificial neural networks," *Management Science Letters*, vol. 5, no. 4, pp. 357-362, 2015.