



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Farklı kesme parametreleri ve MQL debilerinde elde edilen deneysel değerlerin S/N oranları ve YSA ile analizi

Analysis of experimental values obtained at different cutting parameters and MQL flows with S/N ratios and ANN

Yazar(lar) (Author(s)): Hüseyin GÜRBÜZ¹, Yunus Emre GÖNÜLAÇAR²

ORCID¹: 0000-0003-1391-172X

ORCID²: 0000-0002-1565-8564

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Gürbüz G., Gönülaçar Y. E., “Farklı kesme parametreleri ve MQL debilerinde elde edilen deneysel değerlerin S/N oranları ve YSA ile analizi”, *Politeknik Dergisi*, 24(3): 1093-1107, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.833833

Farklı Kesme Parametreleri ve MQL Debilerinde Elde Edilen Deneysel Değerlerin S/N Oranları ve YSA ile Analizi

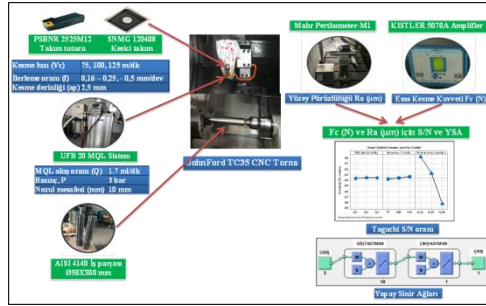
Analysis of Experimental Values Obtained at Different Cutting Parameters and MQL Flows with S/N Ratios and ANN

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Kesme ve işleme şartlarının F_c ve R_a değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. / It was determined that cutting and machining conditions have a significant effect on F_c and R_a values.
- ❖ S/N oranı ve YSA, kesme parametrelerini ve koşullarını başarıyla optimize etmiştir. / S/N ratio and ANN successfully optimized cutting parameters and conditions.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Deneyler sonucunda elde edilen F_c ve R_a değerleri S/N oranı ve YSA ile incelenmiştir. / F_c and R_a values obtained as a result of the experiments were examined with the S/N ratio and ANN.



Şekil. Deney düzeneği / Figure. The experimental setup

Amaç (Aim)

Bu çalışmanın amacı, işleme koşullarının ve kesme parametrelerinin F_c ve R_a 'ya etkisini araştırmaktır. / The purpose of this study is to investigate the effect of machining conditions and cutting parameters on F_c and R_a .

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

S/N oranı ve YSA kullanılarak faktörler arasındaki etkileşimler ve ana faktör etkileri analiz edilmiştir. / Interactions between factors and main factor effects were analyzed using S/N ratio and ANN.

Özgünlük (Originality)

Bu çalışmada, AISI 4140 çeliğin tornalanmasında farklı işleme ve kesme şartlarının F_c ve R_a değerleri üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmış ve deneysel değerler S/N ve YSA kullanılarak analiz edilmiştir. / In this study, the effect of different machining and cutting conditions on F_c and R_a values in turning AISI 4140 steel was experimentally investigated and the experimental values were analyzed by using S/N and ANN.

Bulgular (Findings)

MQL debi oranının, kesme hızının ve ilerleme oranının F_c ve R_a değerlerini etkilediği görülmüştür. Elde edilen R^2 değerlerine göre S/N oranı ve YSA'nın F_c ve R_a değerlerini tahmin etmede başarılı ve yeterli olduğu tespit edilmiştir. / It was observed that the MQL flow rate, cutting speed and feed rate affect F_c and R_a values. According to the obtained R^2 values, it was determined that S/N ratio and ANN are successful and sufficient in predicting F_c and R_a values.

Sonuç (Conclusion)

S/N oranı ve YSA istatistiksel olarak geçerli ve güvenilir olduğu bulunmuştur. İşleme ve kesme parametrelerinin F_c ve R_a üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. S/N oranı ve ANN were found to be statistically valid and reliable. It was observed that machining and cutting parameters have a significant effect on F_c and R_a .

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Farklı Kesme Parametreleri ve MQL Debilerinde Elde Edilen Deneysel Değerlerin S/N Oranları ve YSA ile Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Hüseyin GÜRBÜZ^{1*}, Yunus Emre GÖNÜLACAR²

¹Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Batman Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Siirt Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 30.11.2020 ; Kabul/Accepted : 22.12.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 01.01.2021)

ÖZ

Bu çalışmada, AISI 4140 çeliğinin tornalanması işleminde kesme hızı, ilerleme oranı ve MQL debisinin esas kesme kuvvetleri (Fc) ve ortalama yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisi hem deneysel hem de istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu doğrultuda deney sonuçlarının değerlendirilmesinde sinyal/gürültü (S/N) oranları ve yapay sinir ağları (YSA) kullanılmıştır. İşleme deneylerinde, kesme parametreleri olarak üç farklı kesme hızı (75, 100, 125 m/dk), üç farklı ilerleme oranı (0,16 - 0,25 - 0,5 mm/dev), üç farklı MQL debisi (0,35 - 0,8 - 1,7 ml/dk) ve sabit kesme derinliği (2,5 mm) seçilmiştir. İşleme deneylerinde MQL debi artışının Fc üzerinde Ra'ya göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tüm MQL debi uygulamalarında hem Fc hem de Ra'nın ilerleme oranı ile arttığı ve kesme hızı ile genel olarak azaldığı görülmüştür. Fc ve Ra için S/N oranları ve YSA ile elde edilen R² değerleri R²_{S/N(Fc)}=0,9996, R²_{S/N(Ra)}=0,9984, R²_{YSA(Fc)}=0,9990 ve R²_{YSA(Ra)}=0,9884 bulunmuştur. S/N oranlarına göre Fc ve Ra üzerindeki en etkili kontrol faktörlerinin sırasıyla; ilerleme oranı, kesme hızı ve MQL debi olduğu belirlenmiştir. Elde edilen regresyon değerlerine bağlı olarak S/N oranlarının ve YSA'nın deneysel verileri yüksek güven aralığında tahmin etmede geçerli olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: YSA, S/N oranı, minimum miktarda yağlama (MQL), esas kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü.

Analysis of Experimental Values Obtained at Different Cutting Parameters and MQL Flows with S/N Ratios and ANN

ABSTRACT

In this study, the effect of cutting speed, feed rate and MQL flow rate on main cutting forces (Fc) and average surface roughness (Ra) in the turning process of AISI 4140 steel was investigated both experimentally and statistically. Accordingly, signal/noise (S/N) ratios and artificial neural networks (ANN) were used to evaluate the experimental results. As cutting parameters in machining experiments, three different cutting speeds (75, 100, 125 m/min), three different feed rates (0.16 - 0.25 - 0.5 mm/rev), three different MQL flow rates (0.35 - 0.8 - 1.7 ml/min) and a constant depth of cut (2.5 mm) were selected. In machining experiments, it was determined that the increase in MQL flow rate is more effective on Fc than Ra. It was also seen that both Fc and Ra increased with the feed, and generally decreased with the cutting speed in all MQL flow rate applications. R² values obtained through S/N ratios and ANN for Fc and Ra were found to be R²_{S/N(Fc)}=0.9996, R²_{S/N(Ra)}=0.9984, R²_{YSA(Fc)}=0.9990 and R²_{YSA(Ra)}=0.9884. According to S/N ratios, it was determined that the most effective control factors on Fc and Ra are feed rate, cutting speed and MQL flow rate, respectively. Depending on the regression values obtained, it was determined that S/N ratios and ANN are valid in predicting experimental data at high confidence intervals.

Keywords: ANN, S/N ratio, minimum quantity lubrication (MQL), main cutting force, surface roughness.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalatın önemli bir uygulama alanı olan tornalama ile talaş kaldırma esnasında oluşan Fc ve talaş kaldırma sonucu oluşan Ra, imalatta dikkate alınması gereken en önemli temel parametrelerdendir. Çünkü talaş kaldırma işlemlerinde asıl amaç en yüksek üretim miktarının en düşük maliyetle gerçekleştirilmesidir. Bu da tornalama sonucu oluşan Fc ve Ra değerlerinin

minimize edilmesiyle mümkün olabilir. Fc ve Ra minimizasyonu kesme parametrelerinin ve işleme şartlarının optimize edilmesine bağlıdır. Günümüz endüstrisinde talaşlı imalat uygulamalarında önemli bir yer tutan tornalama operasyonlarında, işleme ve kesme parametrelerinin optimizasyonu, araştırmacıların odaklandığı başlıca konulardan birisidir. Bu nedenle Fc ve Ra sonuçlarının istatistiksel analizi, modellenmesi ve optimizasyonu için Taguchi metodu ve YSA kullanılması çok sayıda araştırmaya konu olmuştur [1-20].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : huseyin.gurbuz@batman.edu.tr

Sivaiah ve Chakradhar, çalışmalarında 17-4 PH paslanmaz çeliğin tormalanmasında soğutma tiplerinin ve kesme parametrelerinin optimizasyonun ve modellenmesini Taguchi L_9 ortogonal dizilim kullanarak yapmışlardır. Yazarlar, S/N oranlarına göre kriyojenik soğutmanın MQL ve kuru işleme göre daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Ra ve takım aşınması için yapılan matematiksel modellemelerden elde edilen tahmin sonuçları ile deneysel değerlerin birbirleriyle tutarlı olduklarını bulmuşlardır [1]. Venkatesan ve ark., kuru ve MQL şartlarında PVD ve CVD kesici takımlarla Nimonic 90 alaşımının tormalanmasında Fc, Ra, takım aşınması ve talaş morfolojisi üzerinde işleme parametrelerinin etkisi incelemek için Taguchi L_{16} ortogonal dizilim kullanmışlardır. Elde etmiş oldukları sonuçlar ışığında Fc ve Ra açısından nano-MQL yönteminin kuru işleme göre hem PVD hem de CVD kaplamalı takımlarda daha iyi bir performans sergilediğini ortaya koymuşlardır [2]. Zaman ve Dhar, orta karbonlu çeliğin tormalanmasında MQL tekniğinde çift nozulun işlenebilirlik üzerinde etkisini ortaya koymak için Taguchi L_{18} ortogonal dizilim ve S/N oranı kullanmışlardır. Yazarlar, bütün işleme şartlarında çift nozulu MQL tekniğinin, hem kuru kesmeden hem de tek nozulu MQL tekniğinden Fc, Ra ve kesme sıcaklığı açısından daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. Doğrulama testleri yaparak tahmin sonuçları ve deneysel sonuçlarının birbirleriyle tutarlı olduğunu ortaya koymuşlardır [3]. Kaladhar tarafından, kesici takım kaplama malzemesinin AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesi sırasında oluşan Ra, talaş kaldırma oranı ve takım aşınması üzerinde etkisini Taguchi L_{16} ortogonal dizilimi kullanarak ortaya koymuştur. Yazar, PVD kaplı kesici takımlar diğer kesici takımlara göre Ra ve takım aşınması açısından daha iyi performans sergilediğini bulmuştur. Geliştirdiği matematiksel modellerle elde etmiş olduğu tahmin sonuçları ile deneysel değerler birbirleriyle yakın değerler sergilediğini tespit etmiştir [4]. Viswanathan ve ark. tarafından Taguchi methodu kullanarak Mg alaşımının tormalanmasında işleme şartlarının ve kesme parametrelerinin optimizasyonunu ve analizini yapmışlardır. Yazarlar, optimizasyon sonuçlarına göre Fc, kesme sıcaklığı ve takım aşınması için optimal sonuçları, kuru işleme şartlarında ilerleme oranı, kesme hızı ve kesme derinliğinin en düşük değerlerinde elde etmişlerdir. Ra için ise optimal sonuçları MQL işleme şartlarında en yüksek kesme hızı en düşük ilerleme oranı ve kesme derinliğinde tespit etmişlerdir. Analitik sonuçlara göre MQL ile işleme kuru işleme göre kesme bölgesindeki sıcaklıkları düşürdüğünü ve takım ömrünü artırdığını bulmuşlardır [5]. Yıldırım ve ark., Inconel 625 tormalanmasında işleme parametrelerin takım aşınması ve ömrü, Ra ve sıcaklık üzerine etkisini hem deneysel hem de istatistiksel olarak araştırmışlar ve deneysel tasarım için Taguchi L_{16} ortogonal dizisini kullanmışlardır. Yazarlar, elde etmiş oldukları sonuçlara göre takım ömrü üzerinde en etkili parametrenin kesme hızı, Ra üzerinde ilerleme oranının ve kesme sıcaklığı üzerinde ise soğutma

tipinin olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca; takım ömrü, Ra ve sıcaklık için Taguchinin S/N oranlarına göre optimizasyon yaparak optimum işleme şartlarını belirlemişlerdir [6]. Das ve ark., AISI 4340 çeliğin tormalanmasında MQL tekniğinde çeşitli kesme sıvılarının performans değerlendirilmesini Taguchi metodunu kullanarak ortaya koymuşlardır. Yazarlar, kesici takım yan yüzey aşınması üzerinde nanofluid kesme sıvıları arasında en iyi performansı suda çözülür soğutmanın sergilediğini bulmuşlardır. Yazarlar, deney sonuçlarını tahmin etmede kullandıkları 2. dereceden matematiksel modellerden elde etmiş oldukları sonuçlar % 95 güven aralığında olduğunu tespit etmişlerdir [7]. Dutta ve Narralla, Taguchi metodu kullanarak Magnezyum alaşımının işlenmesinde tormalama parametrelerinin optimizasyonu yapmışlardır. Elde etmiş oldukları sonuçlar ışığında Fc değerleri üzerinde en etkili parametrenin kesme derinliği Ra değerleri üzerinde ise ilerleme oranının etkili olduğunu bulmuşlardır [8]. Özbek, AISI H11 çeliğin tormalanmasında kesici takım performansı üzerinde kriyojenik işlemin etkisini Taguchi metodu kullanarak ortaya koymuştur. S/N oranlarına bağlı olarak Ra ve kesici takım yan yüzey aşınması için optimum şartları tespit etmiştir. Kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımların daha iyi performans sergilediğini ve en iyi Ra değeri 24 saat kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla elde ettiğini çalışmada vurgulamıştır [9]. Baday ve ark., AISI 150 çeliğin tormalanması sonucu oluşan Fc değerlerinin analizi için Taguchi metodu kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada ilerleme oranının diğer parametreler göre Fc üzerinde daha etkili olduğunu bulmuşlardır [10]. Akgün ve ark., Mg_2Si partikül takviyeli magnezyum alaşımlarının tormalanmasında yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu için S/N oranı kullanmışlardır. Yazarlar, optimum yüzey pürüzlülük değerini; uç radüsü 0,8 mm, ilerleme oranını 0,1 mm/dev ve kesme hızı 350 m/dk elde etmişlerdir. Ayrıca analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkin parametrenin ilerleme oranı olduğunu tespit etmişlerdir [11].

YSA, mühendislikteki birçok üretim yönteminin deneysel çalışması için süreç değişkenliğini azaltmak, süreç etkinliğini ve süreç kabiliyetini artırmak için yaygın olarak kullanılan etkili bir matematiksel model tekniğidir. YSA yöntemini uygulayan araştırmacılar, mühendisler ve bilim adamları, çok az deneyle güvenilir ve geçerli sonuçlar elde ederek zamandan, kaynaktan ve paradan tasarruf sağlayabilirler. Bu yüzden birçok araştırmacı çalışmada YSA kullanmıştır [12-20]. Mia ve Dhar, yüksek basınçlı soğutma altında sert tormalama sonucu oluşan Ra değerlerini farklı YSA yapıları kullanarak tahmin etmişlerdir. YSA yapısını ve eğitimini en düşük ortalama kare hata köküne (RMSE) bağlı olarak tespit etmişlerdir. YSA da kullandıkları modellerin regresyon katsayıları 0,997'den büyük çıkmıştır. Ayrıca yüksek basınçlı soğutma yönteminin Ra değerlerini azaltmada etkili olduğunu ifade ederken iş parçası sertliğinin ise Ra değerlerini artırdığını bulmuşlardır [12]. Hanief ve ark., YSA ve regresyon analizi kullanarak

C32300 pirinç malzemesinin tormalanması sırasında oluşan Fc'nin tahmini ve modellemesini yapmışlardır. YSA'nın Fc değerlerini tahmin etmede regresyon modellerinden daha başarılı olduğunu bulmuşlardır [13]. Kara ve ark., farklı kesme şartlarında AISI D2 çeliğin tormalanması sonucu oluşan Ra değerlerini tahmin etmek için YSA kullanmışlardır. Elde etmiş oldukları regresyon katsayısı ve RMSE değerlerine göre YSA öğrenme kapasitesinin Ra'yı tahmin etmede güçlü olduğunu bulmuşlardır [14]. Cica ve ark., farklı soğutma yöntemlerinde tormalama sonucu oluşan Fc'yi tahmin etmek için YSA kullanmışlardır. Uygulamış oldukları modellerde tahmin edilen değerler ile deneysel değerlerin birbirleriyle yüksek bir tutarlığa sahip olduğunu bulmuşlardır [15]. Mia ve ark., tormalamada Fc ve Ra değerlerini tahmin etmek için YSA kullanmışlardır. YSA'nın deneysel değerleri tahmin etmede başarılı olduğunu tespit etmişlerdir [16]. Badiger ve ark., MDN431 çeliğin kaplamalı kesici takımlarla tormalaması sonucu oluşan Fc ve Ra değerlerini YSA kullanarak değerlendirmişlerdir. Deneysel değerleri tahmin etmede YSA'nın oldukça başarılı olduğunu ortaya koymuşlardır [17]. Baday, kuru kesme şartlarında AISI 1050 çeliğin tormalanmasında Fc değerlerini tahmin etmek için YSA kullanmıştır. YSA'nın Fc'yi tahmin etmede oldukça başarılı olduğunu tespit etmiştir [18]. Daha sonraki yıllarda Baday ve Ersöz, kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla tormalama sonucu oluşan Fc değerlerini tahmin etmede YSA kullanmışlardır. YSA ile tahmin edilen değerler ile deneysel değerlerin birbirleriyle yüksek tutarlılık içinde olduğunu bulmuşlardır [19]. Gürbüz ve ark., AISI 1050 çeliğinin tormalanmasında, kesme parametrelerinin ve farklı talaş kırıcı formlarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkilerini YSA kullanarak araştırmışlardır. Elde etmiş oldukları $R^2=0,978$ değerine bağlı olarak YSA'nın yüzey pürüzlülüğü değerlerini tahmin etmede başarılı olduğunu bulmuşlardır [20].

Sonuç olarak; literatürden tormalama operasyonlarının, işleme ve kesme parametrelerin optimizasyonu ile daha verimli hale getirilmesi, önemli bir araştırma alanı

Çizelge 1. İş parçasının kimyasal bileşimi ve sertlik değeri (Chemical composition and hardness values of workpiece)

% C	% Cr	% Si	% Mn	% S	% P
0,38-0,45	0,90-1,20	0,40 (max)	0,60-0,90	0,020-0,035	0,025 (max)
% Cu	% Mo	% Ni	% Ti	% Sn	Jominy 50 Test
0,30 (max)	0,15-0,30	0,30 (max)	0,050 (max)	0,050 (max)	34-45 HRC



Şekil 1. MQL debilerinin belirlenmesi (Determination of MQL flow rates)

MQL sistemi olarak SKF firmasına ait UFB20-Basic soğutma sistemi kullanılmıştır. Deneylerde MQL uygulaması için DIN 51562 standartına uygun Lubrioil

olduğu rahatlıkla anlaşılabilir. Bu çalışmanın amacı; AISI 4140 çeliğinin işlenmesi sonucu oluşan Fc ve Ra değerleri üzerinde farklı kesme hızı, ilerleme oranı ve MQL debilerinin etkisini ve birbirleriyle olan ilişkilerini hem deneysel hem de istatistiksel olarak araştırmaktır. Bu deneysel ve istatistiksel analiz çalışmaları yapılarak gerek bu alanda çalışacak araştırmacılar için gerekse de imalat endüstrisinde talaş kaldırma işlemlerinde önemli bir yer tutan tormalama işlemlerinde çalışacak araştırmacılar için iyi bir kaynak olacaktır.

2. MATERYAL VE METOT, S/N ORANI VE YSA (MATERIAL and METHOD, S/N RATIO and ANN)

2.1. İş Parçası Malzemesi, Kesici Uçlar ve Takım Tutucu (Workpiece Material, Cutting Tool and Tool Holder)

Deneylerde günümüz imalat ve otomotiv sanayilerinde geniş bir kullanım alanı olan AISI 4140 iş parçası malzemesi kullanılmıştır. Deneysel numunesinin çapı 50 mm ve boyu 300 mm olarak belirlenmiştir. Kullanılan iş parçasının kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir. Deneylerde, Mitsubishi kesici takım firmasının UTI20T/P30 kalitesine sahip SNMG 120408MS formunda kaplamasız karbür kesici uçlar ve bu uçlara uygun PSBNR 2525M12 takım tutucu kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan (MS) formulu kesici takımın geometrisi, burun yarıçapı: 0,8 mm, talaş açısı: 15°, boşluk Açısı: 0° ve yanaşma açısı 75° dir [21].

2.2. Minimum Miktarda Yağlama (MQL) (Minimum Quantity Lubrication)

Deneyler gerçekleştirilmeden önce MQL sisteminin hangi debilerde uygulanacağını belirlemek için bazı işlemler yapılmıştır. MQL debilerinin belirlenmesinde önce yağ-hava karışımı bir dakika boyunca boş bir beher içine gönderilmiş ve daha sonra hassas terazi ile ölçüm yapılarak ml/dk cinsinden debiler elde edilmiştir. MQL debilerinin belirlenmesi Şekil 1'de verilmiştir.

cinsi yağ kullanılmış ve özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Deneylerde çift nozul kullanılmıştır. İşleme deneylerinde aynı şartları sağlamak için kullanılan

nozulların yeri sabit tutularak özellikle kesici takım ve iş parçasının etkileşim bölgesi olan kesme bölgesine nüfuz edecek şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 2. Lubrioil yağın özellikleri (Properties of Lubrioil lubricant)

Yoğunluk (20 °C) 0.92 g/cm ³	Viskozite (40 °C) 47 mm ² /s	Tutuşma sıcaklığı 265 °C	Akma noktası - 27 °C	Renk Sarı
---	---	--------------------------------	----------------------------	--------------

2.3. İşleme Deneyleri ve Kesme Parametreleri

(Machining Experiments and Cutting Parameters)

İşleme deneylerinin gerçekleştirilmesinde JohnFord TC35 marka CNC torna tezgâhı kullanılmıştır. Kesme parametreleri, ISO 3685 şartlarına uygun ve üretici kesici takım firmasının (Mitsubishi) önerileri dikkate alınarak belirlenmiştir [21,22]. İşleme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri Çizelge 3’te verilmiştir.

2.4. Fc ve Ra’nın Ölçümü (Measurement of Fc and Ra)

Kesme deneyleri sonucu oluşan Fc değerleri, kuartz kristal esaslı KISTLER 9257B tipi dinamometre kullanılarak ölçülmüştür. Dinamometre tarafından kaydedilen Fc verileri Kistler Type 2825A1-2 Dynoware yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. İşleme deneyleri sonucu oluşan iş parçası yüzeyindeki Ra değerleri ise Mahr Perthometer-M1 ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Her bir deney numunesinin işlenmiş yüzeyinden 5,6 mm ölçme boyunda üç ayrı ölçüm

alınarak aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. Deneysel ve istatistiksel çalışma Şekil 2’de şematik olarak verilmiştir.

Çizelge 3. Tornalama deneylerinde kullanılan kesme parametreleri (Cutting parameters used in turning experiments)

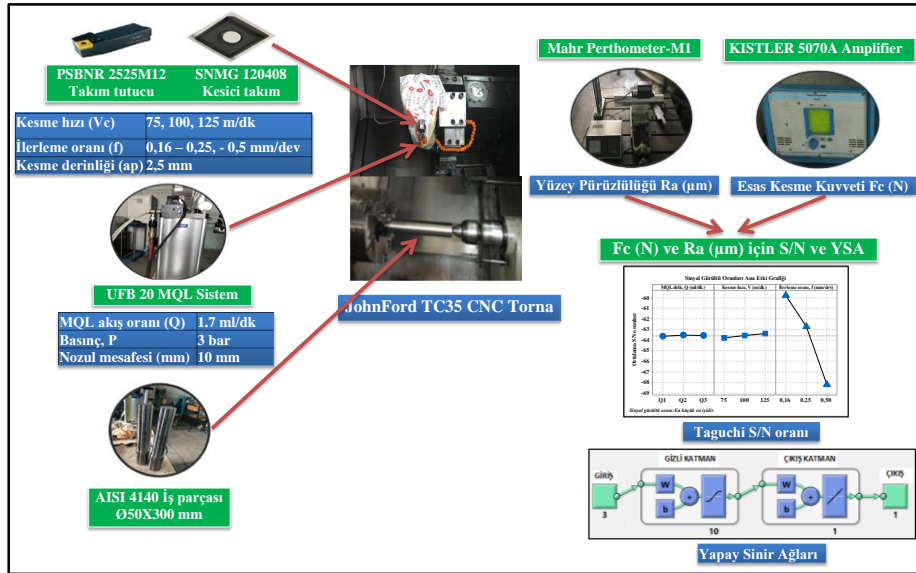
Kesme Hızı, V (m/dk)	75 – 100 – 125 – 150
İlerleme oranı, f (mm/dev)	0,16 – 0,25 – 0,5
Kesme derinliği, a (mm)	2,5
MQL Debisi, Q (ml/dk)	0,35 – 0,8 – 1,7
Basınç, P (bar)	3

2.5. S/N Oranı (S/N Ratio)

Taguchi yöntemi, imalat alanlarında yaygın olarak kullanılan işleme parametrelerini optimize etmek için güçlü bir istatistiksel ve deneysel tasarım tekniğidir [1-11]. Talaş kaldırmada asıl amaç olan en yüksek üretim miktarının en düşük maliyetle gerçekleşmesi, Fc ve Ra değerlerinin minimize edilmesiyle mümkün olabilir. Bundan dolayı elde edilen sonuçların değerlendirilmesi açısından Fc ve Ra değerlerinin en düşük seviyede kalması istenilmektedir. Bu istenen gereksinim için S/N oranının hesaplanmasında “en küçük en iyidir” formülü kullanılmış ve Eşitlik 1’de verilmiştir [23].

1) En küçük en iyidir karakteristik,

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum x^2 \right) \quad (1)$$



Şekil 2. Deney düzeneği (The experimental setup)

Burada; x ölçülen Fc ve Ra değeri, n ise yapılan deney sayısını ifade etmektedir. Optimal işleme parametresi seviyesi, kategorilerin her biri için en yüksek S/N oranı dönüşüm değeriyle sonuçlanan seviyedir. Kontrol faktörleri ve seviyeleri için MQL debisi (Q), kesme hızı

(V) ve ilerleme oranı (f) seçilmiştir ve Çizelge 4’te gösterildiği gibi belirlenmiştir. AISI 4140 tornalanmasında optimal kesme parametreleri ve işleme parametrelerinin etkisini belirlemek için en uygun tam faktöriyelli ortogonal dizilim L₂₇ (3³) seçilmiştir.

Çizelge 4. Tornalama parametreleri ve seviyeleri (Turning parameters and levels)

Kesme parametreleri	Sembol	Faktörlerin seviyeleri		
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesme hızı (V) m/dk	B	75	100	125
İlerleme oranı (f) mm/dev	C	0,16	0,25	0,50
MQL debi (Q) ml/dk	A	Q1	Q2	Q3

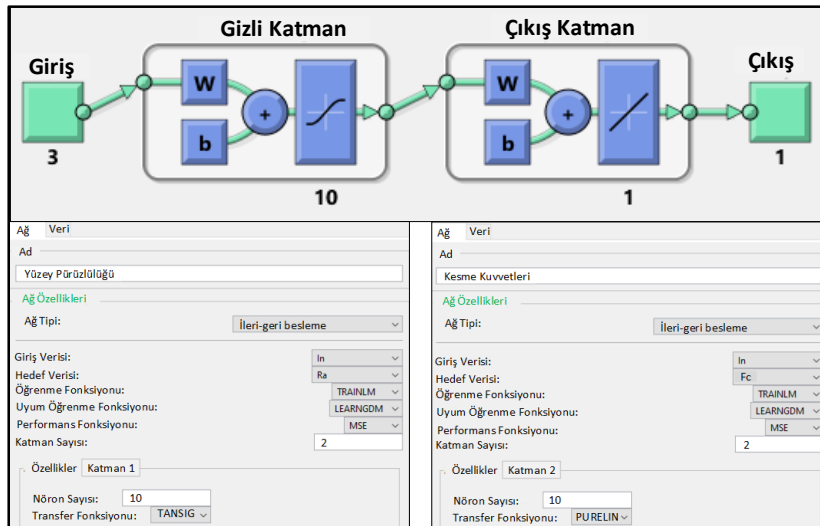
2.6. YSA (ANN)

YSA, optimum işleme performansı için işlem parametrelerini tahmin etmek için etkili bir matematiksel matematiksel model tekniğidir. YSA'nın temel amacı, girdi ve çıktı değişkenlerine ilişkin daha fazla bilgi elde etmektir. Mühendislikteki birçok imalat yönteminin deneysel çalışması için süreç varyasyonunu azaltmak, süreç etkinliğini ve süreç kapasitesini artırmak için yaygın olarak kullanılan güçlü kalite iyileştirme tekniklerinden/yöntemlerinden biri de YSA'dır. Bu yüzden bu çalışmada farklı kesme parametreleri ve MQL debilerinde elde edilen Fc ve Ra değerlerini tahmin etmek için YSA kullanılmıştır. Fc ve Ra değerleri için oluşturulan YSA özellikleri Çizelge 5'te verilmiştir. Giriş

katmanı parametreleri olarak ilerleme oranı, kesme hızı ve MQL debisi çıkış katmanları olarak Fc ve Ra seçilmiştir. YSA modellemesinde, deneysel verilerin eğitimi ve testi için yazılım olarak Matlab programında bulunan "nntool" kullanılmıştır. Giriş katmanındaki veriler Tansig transfer fonksiyonu ile gizli katmana gönderildikten sonra bias ağırlıkları ile dengelenerek gizli katmandaki nöron oluşturulmuştur. Gizli katmanda Fc ve Ra sonuçları hesaplanarak Pureline transfer fonksiyonu ile çıkış katmanına aktarılmıştır. Deney verileri için oluşturulan YSA modeli Şekil 3'te gösterilmiştir. Seçilen parametrelere bağlı olarak Fc ve Ra değerleri için YSA yapısı eğitilmiş ve Şekil 4'te verilmiştir.

Çizelge 5. YSA özellikleri (ANN properties)

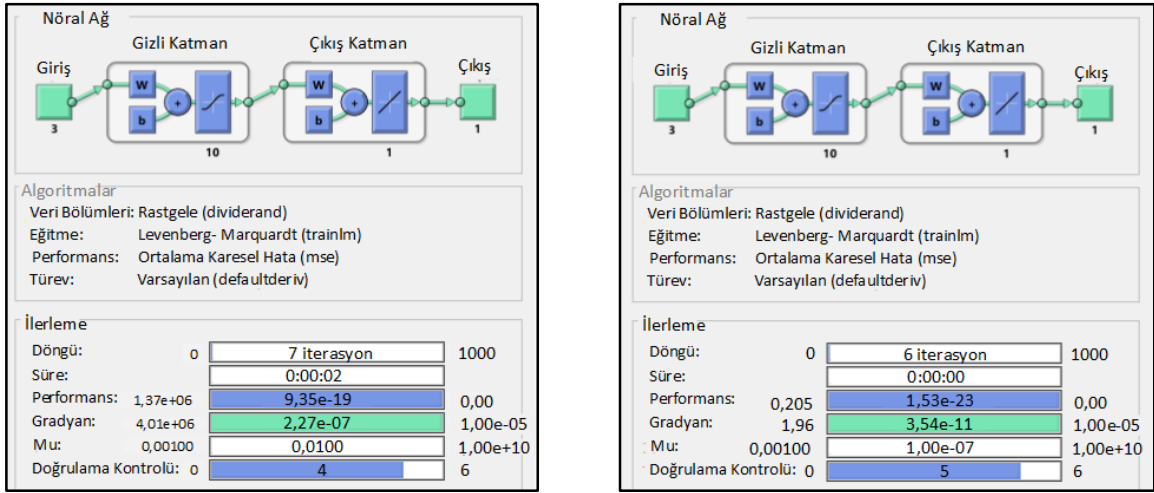
Giriş verileri (Input data)	Kesme hızı, ilerleme oranı ve MQL debisi
Çıkış verileri (Output data)	Fc ve Ra
Giriş katman sayısı (Input layer numbers)	1 Giriş katman
Gizli katman sayısı (Hidden layer numbers)	1 Gizli katman
Çıkış katman sayısı	1 Çıkış katman
Ağ yapısı (Network Type)	Feed-forward back propagation
Adaptasyon öğrenme fonksiyonu (Adaption learning function)	LEARNGD
Eğitim fonksiyonu (Training function)	TRAINLM
Performans fonksiyonu (Performance function)	MSE



Şekil 3. Fc ve Ra değerleri için YSA modeli (ANN model for Fc and Ra values)

Şekil 4'te Fc ve Ra için oluşturulan YSA modeli incelendiğinde, veri setindeki girdi parametresi 3 tane olduğundan giriş katmanında buluna nöron sayısı 3, veri setindeki çıktı parametresi bir olduğundan çıkış katmanında 1 nöron ve gizli katmanda 10 nöron olacak

şekilde YSA eğitilmiştir. Fc ve Ra değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA yapısı Levenberg-Marquardt tarafından eğitilmiş ve MSE (Ortalama Kare Hata) ile değerlendirilmesi yapılmıştır.



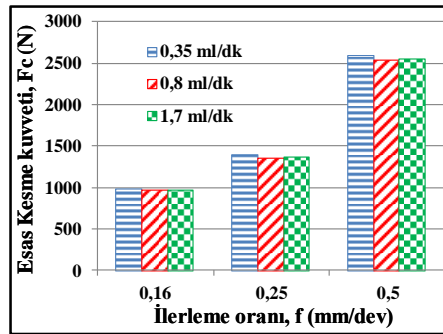
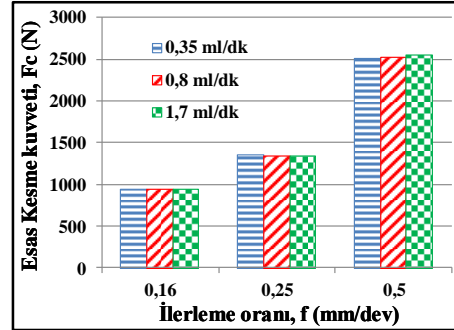
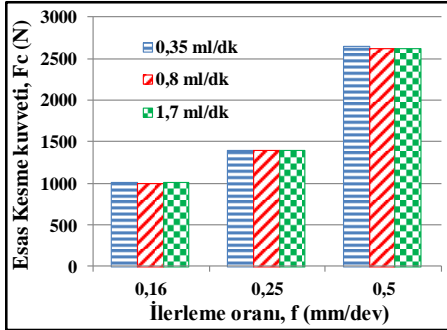
Şekil 4. Oluşturulan YSA'nın eğitilmesi (Training of the ANN created)

3. DENEYSEL VE İSTATİKSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL AND STATISTICAL STUDIES)

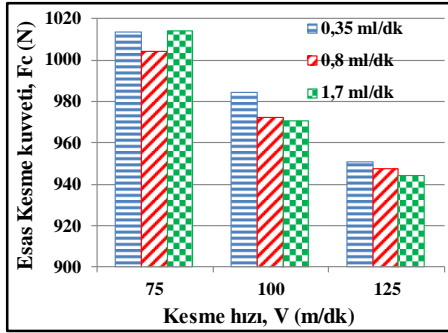
3.1. Esas Kesme Kuvveti (Fc) (Main Cutting Force)

AISI 4140 çeliğinin tormalanmasında MQL debileri, ilerleme oranları ve kesme hızlarındaki değişimin Fc değerleri üzerindeki etkileri Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 5'te görülen grafikler incelendiğinde, ilerlemenin artmasıyla Fc'nin de arttığı

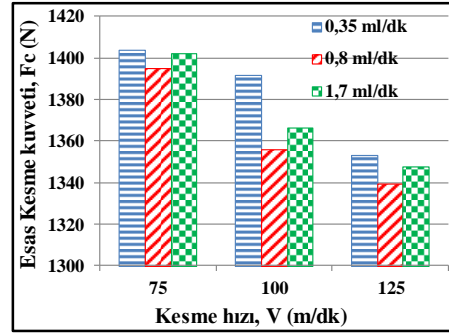
görülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda da ilerlemedeki artışın Fc değerlerini yükselttiği belirtilmiştir [24-26]. İlerlemenin artışıyla talaş kesit alanının artması Fc değerlerinin de artmasına sebep olmuştur [26]. Şekil 6'daki grafiklere bakıldığında kesme hızının artışıyla Fc değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durum literatürde yapılan çalışmalarla paralellik göstermektedir [26-29].



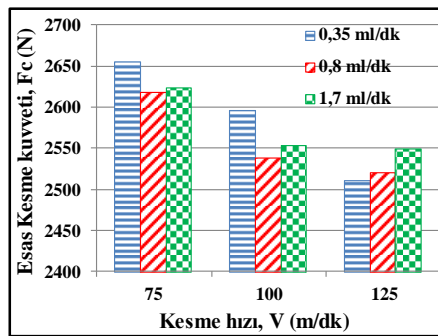
Şekil 5. Farklı kesme hızlarında MQL debileri ve ilerleme oranlarının F_c 'ye etkisi (The effect of MQL flow rates and feed rates on F_c at different cutting speeds)



a) $f = 0,16$ mm/dev için (For $f = 0,16$ mm/rev)



b) $f = 0,25$ mm/dev için (For $f = 0,25$ mm/rev)



c) $f = 0,50$ mm/dev için (For $f = 0,50$ mm/rev)

Şekil 6. Farklı ilerleme oranlarında kesme hızı ve MQL debilerinin F_c 'ye etkisi (The effect of cutting speed and MQL flow rates on F_c at different feed rates)

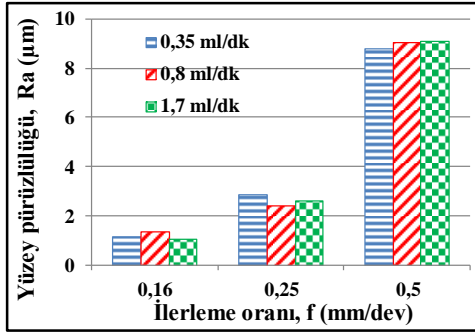
Artan kesme hızı ile F_c değerlerindeki düşüş sıcaklık artışı nedeniyle kesici takım talaş yüzeyindeki temas alanının azalması ve kısmen de akma bölgesinde kayma dayanımının azalması ile açıklanmıştır [26]. Şekil 5 ve Şekil 6'daki grafikler incelendiğinde debi oranının 0,35 ml/dk'dan 0,8 ml/dk'ya artmasıyla F_c değerlerinde genel olarak azaldığı ve debi oranının 0,8 ml/dk'dan 1,7 ml/dk'ya artmasıyla F_c değerlerinin genel olarak bir artış olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan bu sonuç, F_c değerlerinin artan debi ile belirli bir yere kadar azaldığını göstermektedir. Bunun nedeni, MQL uygulamasında sınır yağlama şartının var olmasıdır. Sınır yağlama şartlarında, yağlama etkisi yalnızca yağlayıcı miktarına bağlı değil, aynı zamanda yağlayıcı maddenin özelliği, iş parçasının ve kesici takımın malzeme özelliği, iş parçasının bitiş yüzeyi gibi faktörlere de bağlıdır. Bundan dolayı MQL uygulamasında yağlayıcının maksimum efektif miktarı söz konusudur. Yağlayıcı akış hızı, maksimum efektif miktarının üzerine çıktığında, kesme alanına nüfuz eden yağlayıcı maddenin efektif miktarı değişmeyecektir [30]. Dolayısıyla debi artışı başlangıçta kesici takım-talaş temasında sürtünmeyi azaltarak F_c değerlerinin genel olarak düşmesine neden olmuş, ancak daha sonra yağlayıcı miktarının maksimum efektif miktarının üzerine çıkmasıyla diğer faktörlere de bağlı olarak F_c değerlerinin genel olarak bir artış meydana gelmiştir [30, 31].

3.2. Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) (Surface Roughness)

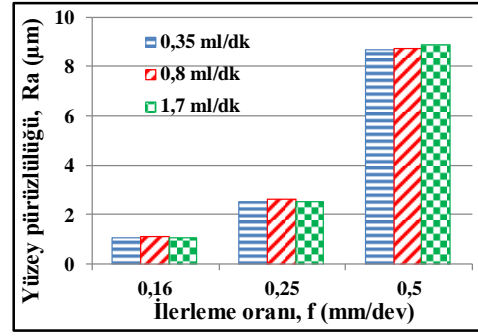
MQL debileri, ilerleme oranları ve kesme hızlarındaki değişimin R_a değerleri üzerindeki etkileri Şekil 7 ve Şekil 8'deki grafiklerde verilmiştir. Şekil 7'deki grafikler incelendiğinde, ilerlemenin artmasıyla R_a değerlerinin de arttığı görülmektedir. Benzer sonuçlara literatürde de rastlanmaktadır [32-36]. Bu durum, aşağıda verilen teorik ideal yüzey pürüzlülüğü denklemi doğrultusunda açıklanabilir [32].

$$R_a = \frac{0,0321xf^2}{r_e} \quad (2)$$

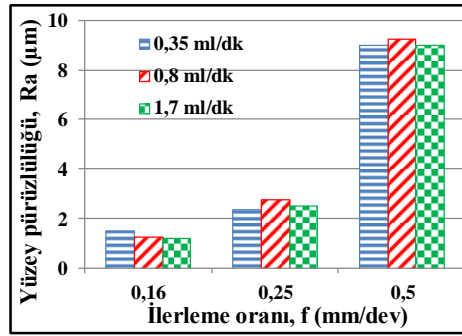
Bu eşitlikte R_a ortalama yüzey pürüzlülüğü, f ilerleme oranı ve r_e ise kesici takım uç yarıçapıdır. Eşitlik 1'den R_a ve ilerleme oranının birbiriyle doğru orantılı olduğu ve ilerleme oranının artmasıyla R_a değerinin de artacağı görülmektedir. Şekil 8'deki grafikler incelendiğinde genel olarak kesme hızı artığında R_a değerleri azalmıştır. Kesme hızının artmasıyla R_a değerlerinin azalması sıklıkla karşılaşılan bir durumdur [30-33]. Kesme hızının artması sonucu artan sıcaklığın plastik deformasyonu ve talaş akışını kolaylaştırması, R_a değerlerinin azalmasına neden olmuştur [37]. Ancak Şekil 8'deki grafikler incelendiğinde kesme hızının artışıyla R_a değerlerindeki bu azalışın düzenli olmadığı ve kesme hızının artışına göre R_a değerlerinde düzensiz değişimler olduğu görülmektedir.



a) V= 75 m/dk için (For V= 75 m/min)

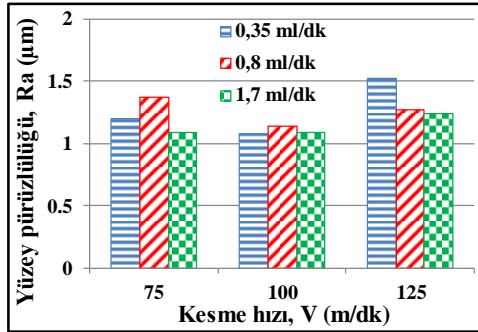


b) V= 100 m/dk için (For V= 100 m/min)

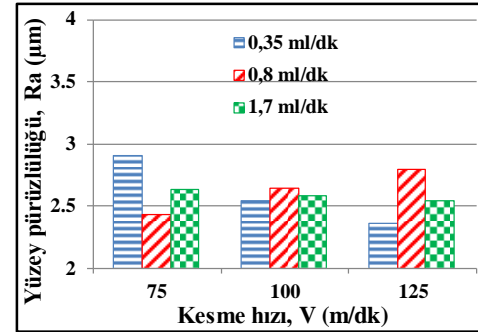


c) V= 125 m/dk için (For V= 125 m/min)

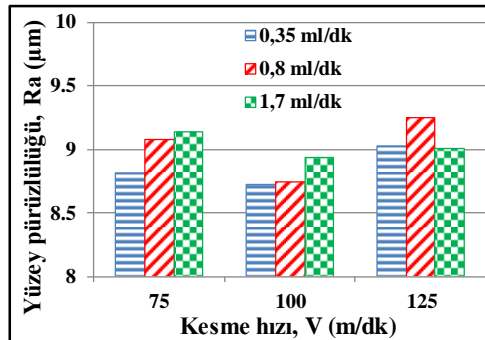
Şekil 7. Farklı kesme hızlarında MQL debileri ve ilerleme oranlarının Ra'ya etkisi (The effect of MQL flow rates and feed rates on Ra at different cutting speeds)



a) f= 0,16 mm/dev için (For f=0.16 mm/rev)



b) f= 0,25 mm/dev için (For f=0.25 mm/rev)



c) f= 0,50 mm/dev için (For f=0.50 mm/rev)

Şekil 8. Farklı ilerleme oranlarında kesme hızı ve MQL debilerinin Ra'ya değerlerine etkisi (The effect of cutting speed and MQL flow rates on Ra values at different feed rates)

Bazı deneylerde kesme hızının artmasıyla oluşan sürekli talaşın daha kontrolsüz davranış sergileyerek malzeme yüzeyini deformasyona uğratması Ra değerlerinde düzensiz değişimlere neden olmuştur [38]. Şekil 7 ve Şekil 8'deki grafiklere bakıldığında debi artışına göre Ra değerlerinde düzensiz değişimler olduğu görülmektedir. Genelde MQL debi oranının artmasıyla Ra değerlerinin

azalması beklenmektedir. Ancak bazı deneylerde oluşan istenmeyen uzun formulu talaş tiplerinin iş parçasını sarması (Şekil 9) sonucunda kesici takım-iş parçası ara yüzüne yağlayıcının ulaşmasını engellemesi, Ra değerlerinde beklenmeyen artış ve azalışlara sebep olmuş ve bu nedenle debi oranının artmasıyla Ra grafiklerinde düzenli bir eğilim görülmemiştir [39].

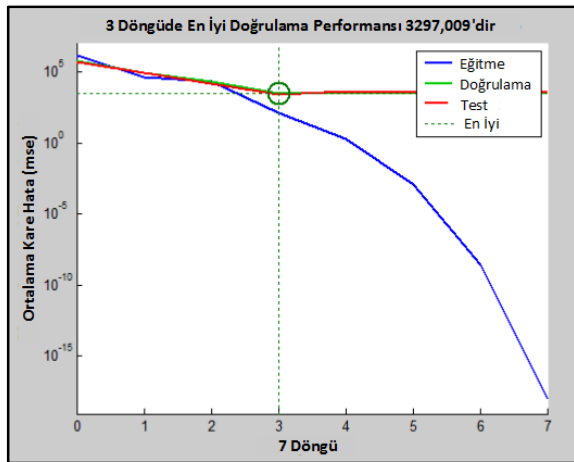


Şekil 9. Deneysel olarak elde edilen uzun formulu talaş tiplerinin iş parçasını sarma görüntüsü (The image of wrapping the workpiece of the long-formed chip types formed in the experiments)

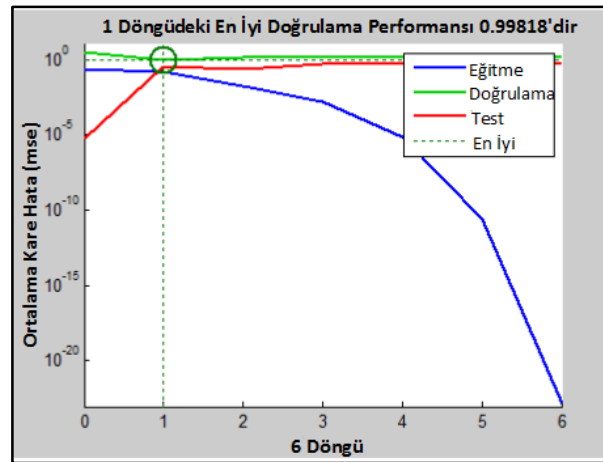
3.3. Fc ve Ra için Elde Edilen YSA Sonuçları (ANN Results for Fc and Ra)

Fc ve Ra değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA yapısı Levenberg-Marquardt tarafından eğitilmiş ve MSE ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Fc ve Ra değerleri için YSA performansı Şekil 10'da verilmiştir. Fc değerlerinin performansını değerlendirmek için 7 döngü

gerçekleştiren YSA, 3. döngüde en iyi performansı elde ederek ağı sonlandırmıştır. Fc değerlerinin tahmini için elde edilen en iyi performans değeri 3297,009 N'dur. Şekil 10b'deki Ra değerlerinin performansını değerlendirmek için 6. döngü gerçekleştiren YSA, 1. döngüde en iyi performansı elde ederek ağı sonlandırmıştır. Ra değerlerinin tahmini için elde edilen en iyi performans değeri 0,99818 µm dir.



a) Fc için (For Fc)

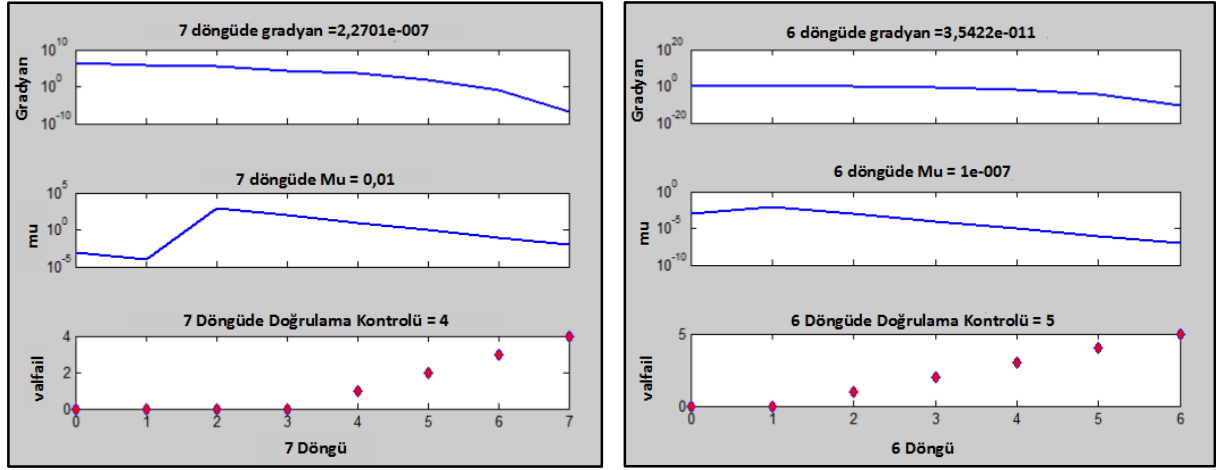


b) Ra için (for Ra)

Şekil 10. YSA performansı (ANN performance)

Fc ve Ra değerleri için YSA eğitim durumu Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 11 incelendiğinde Fc değerleri için YSA eğitim durumu 3. döngüden sonra sonlandırılmıştır. Ra değerleri için YSA eğitim durumunu incelemek için Şekil 11b'ye bakıldığında 1. Döngüde sonlandırılmıştır. Ortaya çıkan bu durum Fc ve Ra değerlerini tahmin etmek için gerekli olan hata payını aşmasından dolayı kaynaklanmaktadır. Deneysel sonuçta elde edilen Fc ve Ra değerleri için YSA regresyon sonuçları Şekil 12'de verilmiştir. Şekil 12-a incelendiğinde Fc değerleri için regresyon değerleri eğitim, doğrulama, test ve bütün bu değerlerin ortalaması olan hepsi için sırasıyla;

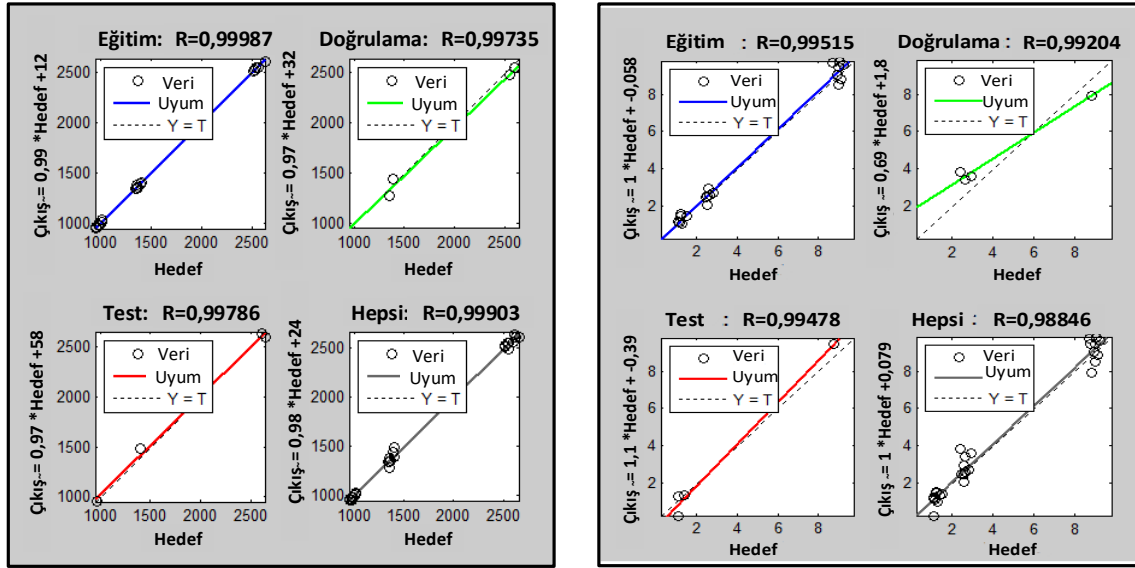
R=0,99987, R= 0,99735, R= 0,99786 ve R=0,99903 sonuçları elde edilmiştir. Ra değerleri için Şekil 12-b verilen regresyon değerleri incelendiğinde eğitim, doğrulama, test ve hepsi sırasıyla; R=0,99515, R= 0,99204, R= 0,99478 ve R=0,98846 olduğu ortaya çıkmıştır. Fc ve Ra değerlerini tahmin etmek için oluşturulan bütün regresyon değerleri 0,9 ve 1 aralığında olduğu için verilerin tahmininde yüksek bir başarı oranı elde edilmiştir. Bu da YSA'nın Fc ve Ra değerlerini yüksek güven aralığında tahmin etmede geçerli olduğunu göstermektedir.



a) Fc için (For Fc)

b) Ra için (For Ra)

Şekil 11. YSA eğitim durumu (ANN Training State)



a) Fc için (for Fc)

b) Ra için (for Ra)

Şekil 12. YSA Regresyon sonuçları (ANN Regression results)

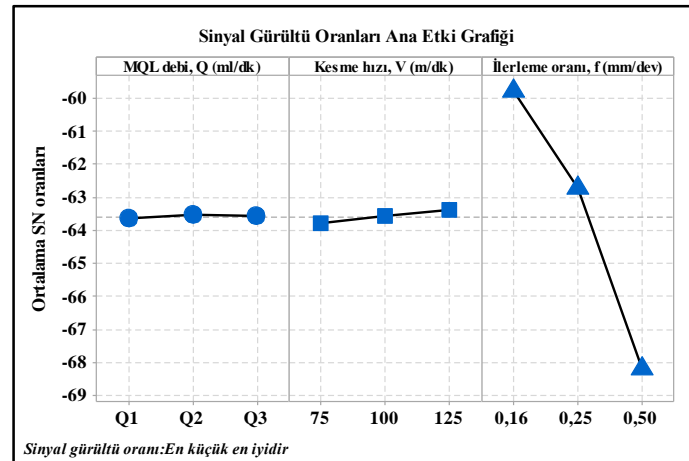
3.4. Fc ve Ra için (S/N) Oranının Analizi (Analysis of (S/N) Ratio for Fc and Ra)

Taguchi yönteminde deneysel verileri analiz etmek için en temel kriter S/N oranıdır. Tornalama deneylerinden elde edilen Fc ve Ra değerleri ve S/N oranlarının sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge 6 incelendiğinde ortalama Fc ve Ra değerleri 1641,67 (N) ve 4,26 (μm) olarak hesaplandığı görülmektedir. Benzer şekilde Fc ve Ra için ortalama S/N oranı değerleri sırasıyla; -63,59 (dB) ve -9,669 (dB) olarak bulunmuştur. Fc ve Ra üzerindeki her bir kontrol faktörünün (MQL debi, kesme hızı ve ilerleme oranı) S/N yanıt analizi Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelge 7 incelendiğinde Fc ve Ra değerleri üzerinde en etkili kontrol faktörlerin sırasıyla ilerleme oranı, kesme hızı ve MQL debi olduğu belirlenmiştir. Optimal Fc ve Ra değerleri için kontrol

faktörlerinin optimal seviye değerleri, Şekil 13 ve Şekil 14'te gösterilmiştir. S/N değerinin büyük olduğu seviye, tüm bağımsız değişkenlerinin seviyeleri arasında optimum seviyedir. Herhangi bir bağımsız değişken parametresi için en iyi değer, o bağımsız değişken parametresinin tüm seviyeleri içerisinde elde edilen en büyük S/N oranına göre tespit edilmiştir. Buna göre Şekil 13 ve Şekil 14'teki ana etki grafiği ile Çizelge 6'daki S/N oranları incelendiğinde, optimum Fc değeri, MQL debisinin ikinci seviyesinde (A2=Q2), ilerleme değerinin birinci seviyesinde (C1=0,16 mm/dev) ve kesme hızının üçüncü seviyesinde (B3=125 m/dak) elde edildiği belirlenmiştir. Optimum Ra değeri ise MQL debisinin üçüncü seviyesinde (A3=Q3), ilerleme değerinin birinci seviyesinde (C1=0,16 mm/dev) ve kesme hızının ikinci seviyesinde (B2=100 m/dk) tespit edilmiştir.

Çizelge 6. Fc ve Ra için S/N oranı değerleri ve deneysel sonuçlar (S/N ratio values and experimental results for Fc and Ra)

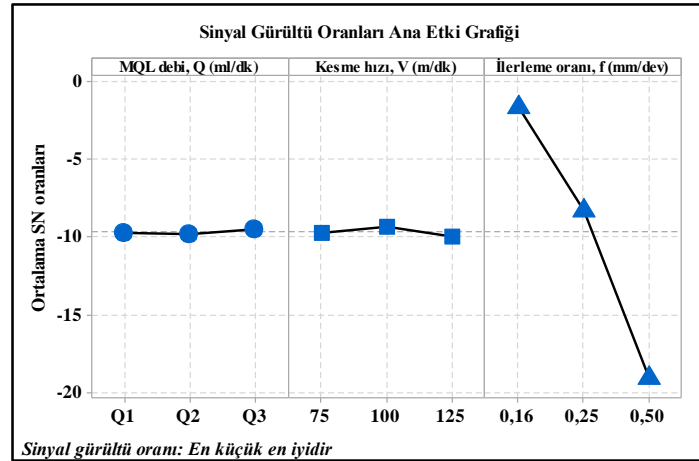
Deney numarası	Kontrol faktörleri			Fc (N)	Fc için S/N oranı (dB)	Ra (µm)	Ra için S/N oranı (dB)
	MQL debi (Q)	Kesme hızı (V)	İlerleme oranı (f)				
1	Q1	V1	f1	1013,64	-60,12	1,194	-1,538
2	Q1	V1	f2	1403,96	-62,95	2,908	-9,271
3	Q1	V1	f3	2655,79	-68,48	8,815	-18,9
4	Q1	V2	f1	984,69	-59,87	1,080	-0,668
5	Q1	V2	f2	1391,9	-62,87	2,541	-8,1
6	Q1	V2	f3	2596,57	-68,29	8,720	-18,81
7	Q1	V3	f1	950,88	-59,56	1,515	-3,61
8	Q1	V3	f2	1352,92	-62,63	2,361	-7,463
9	Q1	V3	f3	2511,09	-68	9,023	-19,11
10	Q2	V1	f1	1004,45	-60,04	1,366	-2,709
11	Q2	V1	f2	1394,93	-62,89	2,431	-7,715
12	Q2	V1	f3	2617,52	-68,36	9,080	-19,16
13	Q2	V2	f1	972,24	-59,76	1,140	-1,136
14	Q2	V2	f2	1355,89	-62,64	2,643	-8,443
15	Q2	V2	f3	2538,15	-68,09	8,741	-18,83
16	Q2	V3	f1	947,61	-59,53	1,266	-2,046
17	Q2	V3	f2	1339,62	-62,54	2,797	-8,933
18	Q2	V3	f3	2520,77	-68,03	9,246	-19,32
19	Q3	V1	f1	1014,12	-60,12	1,090	-0,749
20	Q3	V1	f2	1401,91	-62,93	2,633	-8,408
21	Q3	V1	f3	2624,19	-68,38	9,138	-19,22
22	Q3	V2	f1	970,73	-59,74	1,081	-0,679
23	Q3	V2	f2	1366,62	-62,71	2,580	-8,231
24	Q3	V2	f3	2552,87	-68,14	8,938	-19,02
25	Q3	V3	f1	944,22	-59,5	1,232	-1,815
26	Q3	V3	f2	1347,8	-62,59	2,537	-8,086
27	Q3	V3	f3	2550,01	-68,13	9,008	-19,09
Toplam ortalama değerler				1641,67	-63,59	4,26	-9,669



Şekil 13. Fc için S/N oranı ana etki grafiği (S/N ratio main effect plot for Fc)

Optimum Ra ve Fc değerleri için S/N oranları sırasıyla Q3 (S/N = -9,478), V2 (S/N = -9,573) ve f1 (S/N = -1,661), Q2 (S/N = -63,54), V3 (S/N = -63,57) ve f1 (S/N = -59,80) bulunmuştur. Sonuç olarak; S/N oranlarına göre, optimum Fc ve Ra değerleri elde etmede kesme parametreleri ve işleme şartları açısından, ilerleme

oranının kesme hızından ve MQL debisinden daha etkili bir parametre olduğu ortaya çıkmıştır. Regresyon modellerinde, tahmin edilen değerler ile deneysel olarak ölçülen değerler arasındaki farklar hata veya artık olarak ifade edilmektedir.



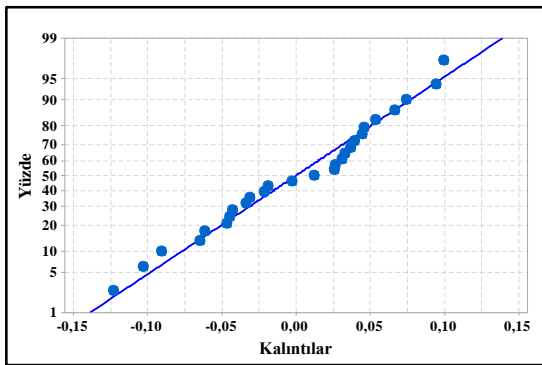
Şekil 14. Ra için S/N oranı ana etki grafiği (S/N ratio main effect plot for Ra)

Çizelge 7. Fc ve Ra için S/N yanıt çizelgesi (S/N response table for Fc and Ra)

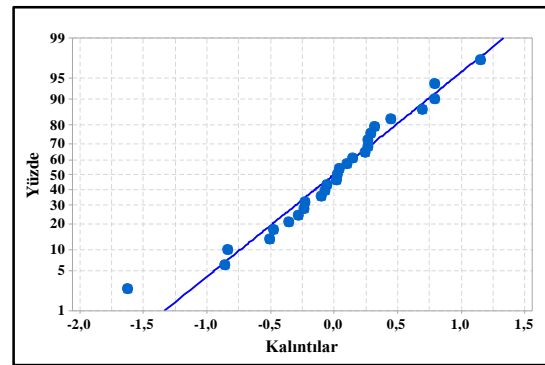
Seviyeler	Kontrol faktörleri					
	Fc			Ra		
	MQL debi (A)	Kesme hızı (B)	İlerleme oranı (C)	MQL debi (A)	Kesme hızı (B)	İlerleme oranı (C)
Seviye 1	-63,64	-63,81	-59,80	-9,719	-9,772	-1,661
Seviye 2	-63,54	-63,57	-62,75	-9,810	-9,573	-8,294
Seviye 3	-63,58	-63,39	-68,21	-9,478	-9,663	-19,052
Delta	0,10	0,42	8,41	0,332	0,616	17,391
Sıralama	3	2	1	3	2	1

Fc ve Ra değerleri için S/N oranlarına göre hesaplanan normal olasılık grafiği Şekil 15'te verilmiştir. Şekil 15'te verilen normal olasılık grafiği gerçek değerler ile tahmin sonuçları arasındaki farklardan yola çıkılarak

hesaplanmaktadır. Fc ve Ra için verilen Şekil 15'teki grafikte noktaların doğruya yakın olarak dağılım göstermeleri oluşturulan modelin istatistiksel olarak başarılı olduğuna işaret etmektedir [40].



a) Fc için (For Fc)



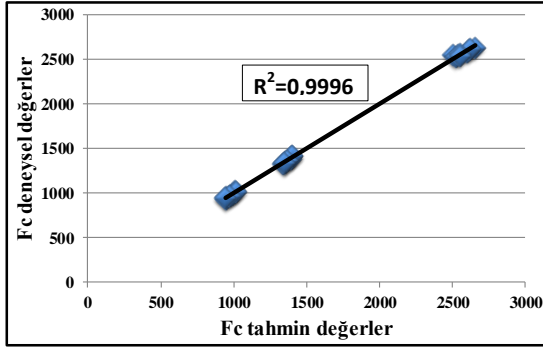
b) Ra için (for Ra)

Şekil 15. Fc ve Ra için normal olasılık grafikleri (Normal probability plot for Fc)

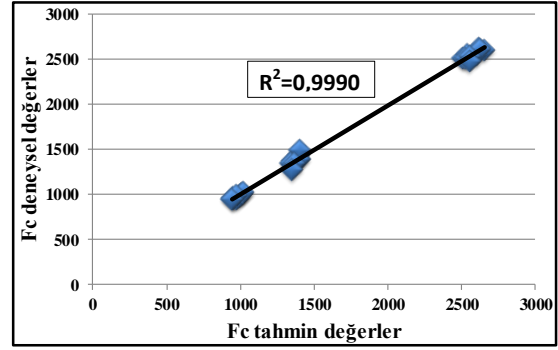
3.5. (S/N) Oranı ve YSA'ya göre Fc ve Ra Tahmin Değerlerinin Karşılaştırılması (Comparison of Fc and Ra Estimates According to (S/N) Ratio and ANN)

Fc ve Ra değerlerini tahmin etmede S/N oranı ve YSA'nın başarı oranlarının karşılaştırılması yapılmıştır. S/N oranları ve YSA'ya göre deneysel değerlerin tahmin sonuçları sırasıyla Şekil 16 ve Şekil 17'de verilmiştir.

Şekil 16 ve Şekil 17 incelendiğinde Fc ve Ra değerleri için S/N oranları ile elde edilen R^2 değerleri sırasıyla; 0,9996 ve 0,9984 olarak bulunurken YSA'ya göre elde edilen R^2 değerleri sırasıyla; 0,9990 ve 0,9884 olarak bulunmuştur. R^2 değerleri incelendiğinde, Taguchi S/N oranının ve YSA'nın Fc ve Ra değerlerini tahmin etmede başarılı ve yeterli olduğu söylenebilir.

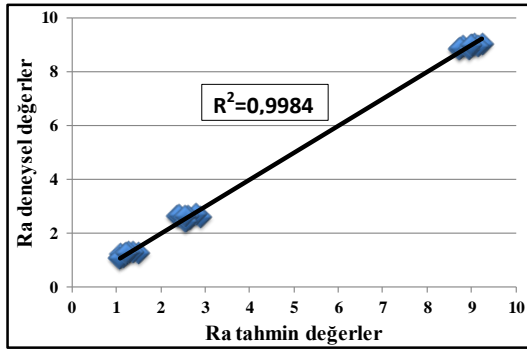


a) S/N oranına göre (According to S/N ratio)

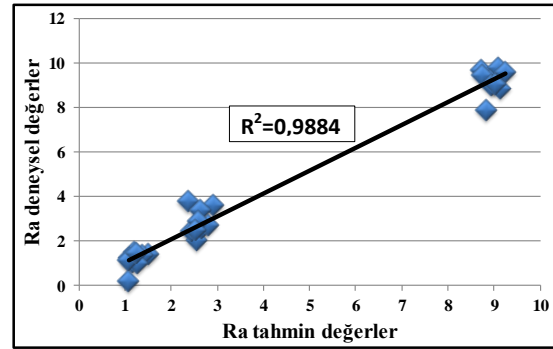


b) YSA'ya göre (According to ANN)

Şekil 16. Fc için deneysel ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of experimental and predicted values for Fc)



a) S/N oranına göre (According to S/N ratio)



b) YSA'ya göre (According to ANN)

Şekil 17. Ra için deneysel ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of experimental and predicted values for Ra)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu deneysel ve istatistiksel çalışmada, YSA ve S/N oranı kullanılarak Fc ve Ra değerlerini tahmini için modelleme ve optimizasyon yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- İlerleme oranının artmasıyla Fc değerlerinin de arttığı ve kesme hızının artmasıyla Fc değerlerinin azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.
- İlerleme oranının artışıyla Ra değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Kesme hızındaki artışla Ra değerlerinin düzenli olmasa da azalma eğilimi olduğu görülmüştür.
- MQL debi oranının 0,35 ml/dk'dan 0,8 ml/dk'ya artmasıyla Fc değerlerinin azaldığı, Ra değerlerinde düzenli bir eğilim olmadığı görülmüştür.
- S/N oranlarına göre Fc ve Ra üzerindeki en etkili kontrol faktörlerinin sırasıyla ilerleme oranı, kesme hızı ve MQL debi olduğu ortaya çıkmıştır.
- Optimum Fc değeri, MQL debisinin ikinci seviyesinde (Q2=0,8 ml/dk), ilerleme oranının birinci seviyesinde (f1=0,16 mm/dev) ve kesme hızının üçüncü seviyesinde (V3=125 m/dk) elde edilmiştir. Optimum Ra değeri ise MQL debisinin üçüncü seviyesinde (Q3=1,7 ml/dk), ilerleme oranının birinci seviyesinde (f1=0,16 mm/dev) ve kesme hızının ikinci seviyesinde (V2=100 m/dk) belirlenmiştir.
- Fc ve Ra değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA yapısı Levenberg-Marquardt tarafından

eğitilmiş ve MSE değerlendirmesi yapılmıştır. YSA performans değerlendirilmesi Fc için 7 döngü içerisinde 3. döngüde en iyi performansı elde ederken Ra için 6 döngü içerisinde 1. döngüde en iyi performansı elde etmiştir.

- Fc ve Ra için S/N oranları ile elde edilen R² değerleri sırasıyla; 0,9996 ve 0,9984 olarak bulunurken YSA'ya göre elde edilen R² değerleri sırasıyla; 0,9990 ve 0,9884 bulunmuştur.
- Elde edilen R² değerlerine göre Taguchi S/N oranı ve YSA'nın Fc ve Ra değerlerini tahmin etmede başarılı ve yeterli olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Yazarlar, (BTÜBAP-2017-Yüksek Lisans-2) numaralı proje ile bu araştırmaya sağladığı mali desteklerden dolayı Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve laboratuvar imkanlarından faydalandığımız Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesine teşekkür ederiz.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Hüseyin GÜRBÜZ: Deney tasarımı yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

Yunus Emre GÖNÜLAÇAR: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Sivaiah P., Chakradhar D., "Modeling and optimization of sustainable manufacturing process in machining of 17-4 PH stainless steel", *Measurement*, 134: 142-152, (2019).
- [2] Venkatesan K., Devendiran S., Sachin D., Swaraj J., "Investigation of machinability characteristics and comparative analysis under different machining conditions for sustainable manufacturing", *Measurement*, 154: 107425, (2020).
- [3] Zaman P. B., Dhar, N. R., "Design and evaluation of an embedded double jet nozzle for MQL delivery intending machinability improvement in turning operation", *Journal of Manufacturing Processes*, 44: 179-196, (2019).
- [4] Kaladhar M., "Evaluation of hard coating materials performance on machinability issues and material removal rate during turning operations", *Measurement*, 135: 493-502, (2019).
- [5] Viswanathan R., Ramesh S., Subburam V., "Measurement and optimization of performance characteristics in turning of Mg alloy under dry and MQL conditions", *Measurement*, 120: 107-113, (2018).
- [6] Yıldırım Ç. V., Sarıkaya M., Kıvak T., Şirin, Ş., "The effect of addition of hBN nanoparticles to nanofluid-MQL on tool wear patterns, tool life, roughness and temperature in turning of Ni-based Inconel 625", *Tribology International*, 134: 443-456, (2019).
- [7] Das A., Patel S. K., Biswal B. B., Sahoo N., Pradhan A., "Performance evaluation of various cutting fluids using MQL technique in hard turning of AISI 4340 alloy steel", *Measurement*, 150: 107079, (2020).
- [8] Dutta S., Narala, S. K. R., "Optimizing turning parameters in the machining of AM alloy using Taguchi methodology", *Measurement*, 169: 108340, (2021).
- [9] Özbek N. A., "Effects of cryogenic treatment types on the performance of coated tungsten tools in the turning of AISI H11 steel", *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4): 9442-9456, (2020).
- [10] Baday Ş., Başak H., Sönmez F., "The assessment of cutting force with taguchi design in medium carbon steel-applied spheroidization heat treatment", *Measurement and Control*, 50(4): 89-96, (2017).
- [11] Akgün M., Demir, H., Çiftçi, İ., "Mg₂Si partikül takviyeli magnezyum alaşımlarının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu", *Politeknik Dergisi*, 21(3): 645-650, (2018).
- [12] Mia M., Dhar, N. R., "Prediction of surface roughness in hard turning under high pressure coolant using Artificial Neural Network", *Measurement*, 92: 464-474, (2016).
- [13] Hanief M., Wani M. F., Charoo, M. S., "Modeling and prediction of cutting forces during the turning of red brass (C23000) using ANN and regression analysis", *Engineering science and technology, an international journal*, 20(3): 1220-1226, (2017).
- [14] Kara F., Karabatak M., Ayyıldız, M., Nas, E., "Effect of machinability, microstructure and hardness of deep cryogenic treatment in hard turning of AISI D2 steel with ceramic cutting", *Journal of Materials Research and Technology*, 9(1): 969-983, (2020).
- [15] Cica D., Sredanovic B., Lakic-Globocki G., Kramar D., "Modeling of the cutting forces in turning process using various methods of cooling and lubricating: an artificial intelligence approach", *Advances in Mechanical Engineering*, 5: 798597, (2013).
- [16] Mia M., Khan M. A., Dhar N. R., "Study of surface roughness and cutting forces using ANN, RSM, and ANOVA in turning of Ti-6Al-4V under cryogenic jets applied at flank and rake faces of coated WC tool", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93(1-4): 975-991, (2017).
- [17] Badiger P. V., Desai V., Ramesh M. R., Prajwala B. K., Raveendra, K., "Cutting forces, surface roughness and tool wear quality assessment using ANN and PSO approach during machining of MDN431 with TiN/AlN-coated cutting tool", *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(9): 7465-7477, (2019).
- [18] Baday Ş., "Küreselleştirme Isıl İşlemi Uygulanmış AISI 1050 Çeliğin Tornalanmasında Esas Kesme Kuvvetlerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi", *Technological Applied Sciences*, 11(1): 1-9, (2016).
- [19] Baday Ş., Ersöz O., "Estimation of Cutting Forces Obtained by Machining AISI 1050 Steel with Cryo-Treated and Untreated Cutting Tool Insert by Using Artificial Neural Network", *Journal of Soft Computing and Artificial Intelligence*, 1(2): 1-10, (2020).
- [20] Gürbüz H., Sözen A., Şeker U., "Modelling of effects of various chip breaker forms on surface roughness in turning operations by utilizing artificial neural networks", *Politeknik Dergisi*, 19(1): 71-83, (2016).
- [21] Mitsubishi Carbide, "Guide to turning inserts", Japan, (2019).
- [22] STN ISO 3685, "Tool-Life Testing with Single-Point Turning Tools", (1999).
- [23] Mia M., Dey P. R., Hossain M. S., Arafat M. T., Asaduzzaman, M., Ullah, M. S., Zobaer, S. T., "Taguchi S/N based optimization of machining parameters for surface roughness, tool wear and material removal rate in hard turning under MQL cutting condition", *Measurement*, 122: 380-391, (2018).
- [24] Abhang L. B., Hameedullah M., "Experimental investigation of minimum quantity lubricants in alloy steel turning", *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(7): 3045-3053, (2010).
- [25] Rahim E. A., İbrahim M. R., Rahim A. A., Aziz S., Mohid Z., "Experimental Investigation of Minimum Quantity Lubrication (MQL) as a Sustainable Cooling Technique", *Procedia CIRP*, 26: 351-354, (2015).
- [26] Saini A., Dhiman S., Sharma R., Setia S., "Experimental estimation and optimization of process parameters under minimum quantity lubrication and dry turning of AISI-4340 with different carbide inserts", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28(6): 2307-2318, (2014).

- [27] Hwang Y. K., Lee C. M., "Surface roughness and cutting force prediction in MQL and wet turning process of AISI 1045 using design of experiments", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 24(8): 1669-1677, (2010).
- [28] Hadad M., Sadeghi B., "Minimum quantity lubrication-MQL turning of AISI 4140 steel alloy", *Journal of Cleaner Production*, 54: 332-343, (2013).
- [29] Dhar N. R., Ahmed, M. T., Islam, S., "An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 748-753, (2007).
- [30] Ji X., Li B., Zhang X., Liang S. Y., "The Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Machining Force, Temperature, and Residual Stress", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 15(11): 2443-2451, (2014).
- [31] Behera B. C., Ghosh S., Rao P. V., "Modeling of cutting force in MQL machining environment considering chip tool contact friction", *Tribology International*, 117: 283-295, (2018).
- [32] Hagiwara M., Chen S., Jawahir I. S., "Contour finish turning operations with coated grooved tools: Optimization of Machining Performance", *Journal of Materials Processing Technology*, 209(1): 332-342, (2009).
- [33] Sarıkaya M., Güllü A., "Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL", *Journal of Cleaner Production*, 65: 604-616, (2014).
- [34] Hemaïd A., Tawfeek T., Ibrahim A. A., "Experimental investigation on surface finish during turning of aluminum under dry and minimum quantity lubrication machining conditions", *American Journal of Materials Engineering and Technology*, 4(1): 1-5, (2016).
- [35] Kumar S., Singh D., Kalsi N. S., "Analysis of Surface Roughness during Machining of Hardened AISI 4340 Steel using Minimum Quantity lubrication", *Materials Today: Proceedings*, 4: 3627-3635, (2017).
- [36] Paturi U. M. R., Maddu Y. R., Maruri R. R., Narala S. K. R., "Measurement and analysis of surface roughness in WS₂ solid lubricant assisted minimum quantity lubrication (MQL) turning of Inconel 718", *Procedia CIRP*, 40: 138-143, (2016).
- [37] Sarıkaya M., Güllü A., "Multi-response optimization of minimum quantity lubrication parameters using Taguchi-based grey relational analysis in turning of difficult-to-cut alloy Haynes 25", *Journal of Cleaner Production*, 91: 347-357, (2015).
- [38] Çakır A., Yağmur S., Kavak N., Küçükçtürk G., Şeker U., "The effect of minimum quantity lubrication under different parameters in the turning of AA7075 and AA2024 aluminium alloys", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84: 2515-2521, (2016).
- [39] Diniz A. E., Ferreira J. R., Filho F. T., "Influence of refrigeration/lubrication condition on SAE 52100 hardened steel turning at several cutting speeds", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 317-326. (2003).
- [40] Sahoo A. K., Sahoo B., "Performance studies of multilayer hard surface coatings (TiN/TiCN/Al₂O₃/TiN) of indexable carbide inserts in hard machining: Part-II (RSM, grey relational and techno economical approach)". *Measurement*, 46(8): 2868-2884, (2013).