

AISI 1040 ÇELİK MALZEMENİN CNC FREZELEME İLE İŞLENMESİ SIRASINDA OLUŞAN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN YAPAY SİNİR AĞIYLA MODELLENMESİ

Hasan ÖKTEM *, Fehmi ERZİNCANLI **

* hoktem@kocaeli.edu.tr Kocaeli Üniversitesi, Gebze Meslek Yüksekokulu, End. Kalıpçılık, 41420-Kocaeli
** erzincanli@gyte.edu.tr Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, 41400-Kocaeli

ÖZET

İmalat endüstrisindeki son gelişmeler CNC frezeleme işlemlerinin önemini hızla artırmıştır. CNC frezeleme işlemleriyle imal edilen parçaların yüzey kalitesinin tespit edilebilmek için yüzeylerin pürüzlülüğünün ölçülmesi gerekir. Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek, oldukça zahmetli, zaman alıcı ve maliyetli bir süreçtir. Yüzeylerden elde edilen başlangıç pürüzlülük değerleriyle tahmin yapabilen modeller oluşturularak, bu süreç en aza indirilebilir. Bu çalışmada, AISI 1040 çelik malzemenin sıvı kesme şartlarında düz uçlu karbür esaslı takımlarla frezelenmesi sırasında meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleriyle tahmini matematiksel model oluşturulması hedeflenmiştir. Deneysel tasarıma göre dizilmiş bir yapay sinir ağı (YSA), yüzey pürüzlülük değerleriyle tahmini matematiksel modelin oluşturulmasında kullanılmıştır. Bu çalışmada, geri beslemeli-ileri sürümlü öğrenme algoritmasına dayanan bir yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur ve MATLAB programıyla analiz edilmiştir. Oluşturulan bu matematiksel modelden elde edilen tahminler ile deneylerden elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın dağılım sergilemiştir. Yüzey pürüzlülüğü için YSA ile oluşturulan matematiksel modelden % 9.98 eğitim ve % 5.44 test hataları elde edilmiştir. Bu sonuçlar, YSA yöntemiyle oluşturulan tahmini pürüzlülük modelinin güvenilir ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Frezeleme, Yüzey Pürüzlülüğü, Yapay Sinir Ağı, Tahmini Model

ABSTRACT

Recent developments in manufacturing industry have increased quickly to the significance of CNC milling processes. To determine the surface quality of the parts manufactured by using CNC milling process, it is required to measure these part surfaces. Surface roughness measurement is a process which is rather cost, difficult and long time. This process can be decreased to be a smaller stage by creating the prediction models with the primary roughness values measured from material surfaces. In this study, it is proposed to create the prediction mathematical model by utilizing surface roughness values when milling of AISI 1040 steel material with solid carbide end-mills within wet conditions. An Artificial Neural Network (ANN) arranged to the design of experiments techniques was employed to

build to the prediction mathematical model by exploiting roughness values. In this study, the ANN based on back-propagation learning algorithm was created and analyzed in MATLAB program. The prediction results obtained from the created mathematical model match very close to the results measured from the experiments. The mathematical model created for surface roughness by using ANN has presented to the training error is 9.98 %, and the testing error is 5.44 %. These results show that the prediction roughness model created with the ANN method is reliable and usable.

Keywords: Milling, Surface Roughness, Artificial Neural Network, Prediction Model

1. GİRİŞ

Malzemelerin işlenmesi için gerekli olan metal kesme operasyonlarından en önemlisi, CNC frezeleme işlemidir. Malzemelerin yüzeylerinin frezelenmesi sırasında meydana gelen ve parça imalat maliyetini doğrudan etkileyen en önemli problem, yüzey kalitesidir. Parçalarının yüzey kalitesinin yüksek olması, elde edilecek son ürünün de yüksek yüzey kalitesinde olmasını sağlayacaktır. İyi planlanmış bir CNC frezeleme işlemi parçaların yüzey kalitesini artırırken, yüzey temizleme işlemlerinden olan ince yüzey temizleme işleminin etkisini de en aza indirecektir [1-2].

CNC frezeleme işlemlerinde uygun malzeme ve kesici seçimi oldukça büyük avantajlar sağlar. Bu avantajlar arasında verimliliğin, kalitenin artırılması ve imalat masraflarının azaltılması yer alır. CNC frezeleme işlemlerinde yüksek verimlilik, kesme, ilerleme ve eksenel-radyal kesme derinliği gibi parametrelerin doğru seçilmesi ile elde edilebilir. Seçilen parametreler uygulanan metal kesme stratejisiyle de doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla, istenen zamanda istenen kalitede doğru ve hassas parça yüzeyleri elde edilir [3-5]. Yüzey pürüzlülüğü, bir metal kesme işleminin performansının belirlenmesinde en önemli kriterdir ve imal edilmiş bir parçaya ait ömür aşamaları yüzey pürüzlülüğüyle tespit edilebilir. Tüm bu sebeplerden dolayı uzun yıllardan beri, yüzey pürüzlülüğü birçok teorik ve deneysel araştırma için çalışma konusu olmuştur. [6-7].

CNC frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ölçüm verileri, metal kesme operasyonlarına ilişkin gelecek tahminlerinin oluşturulmasında oldukça önemlidir. Bu operasyonlara ilişkin tahminlerin doğru ve güvenilir olması, ölçümlerin elde edildiği deney sayısı ve şartlarına bağlıdır. Deneylerin belli bir düzen ve sırada yapılabilmesi için uygun deney tasarım teknikleri seçilmelidir. Deneylerden elde edilen ölçüm verileri, sonuç hakkında tahmin yürütmek amacıyla matematiksel modeller haline getirilir. Matematiksel modeller sayesinde, metal kesme operasyonlarının geleceği için tahminler yapılır. Bahsedilen bu amaçlar için deneysel tasarım tekniklerine dayalı göre planlanmış frezeleme operasyonları sonucunda metal malzeme yüzeylerinden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri kullanılarak yapay sinir ağlarına (YSA) dayalı tahmini pürüzlülük modelleri oluşturmuşlardır [8]. Yüzey pürüzlülüğünü [9], tahmin etmek için geri beslemeli öğrenme algoritmasına dayanan YSA yöntemini kullanılarak, CNC frezeleme deneylerinden ölçülen pürüzlülük değerleriyle tahmini matematiksel model oluşturmuşlardır. Diğer bir kaç araştırmacı [10], çalışmalarında; bir YSA modeli oluşturarak ısı dirençli bir malzemenin yüksek hızla kesilmesi sırasında frezeleme parametreleri arasında meydana gelebilecek ilişkiyi tahmin etmişlerdir. Araştırmacılar, kesme parametrelerinin her birine karşılık gelen yüzey pürüzlülük değerlerini incelemişlerdir. Çalışmadan; kesme hızının artmasıyla yüzey

pürüzlülüğünün arttığını, ilerleme, kesme derinliği, kesme zamanı ve soğutma sıvısı gibi parametrelerle ise yüzey pürüzlülüğünün doğrusal olarak değişmediği gözlemlenmiştir. Bu deneysel çalışmada, AISI 1040 çelik malzeme üzerinde üç seviyeli deneysel tasarım tekniklerine göre planlanmış 81 frezeleme deneyi sırasıyla yapılarak yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bu pürüzlülük değerleriyle geri beslemeli-ileri sürümlü YSA yöntemine dayalı tahmini matematiksel modeller oluşturulmuştur. YSA yöntemine dayalı tahmini modeller MATLAB programında analiz edilmiştir. Oluşturulan pürüzlülük modelleri sayesinde metal kesme operasyonlarında karşılaşılan yüzey kalitesi problemlerinin tahmin edilmesinde kesici takım üreticileri bu çalışmadaki yüzey pürüzlülük değerlerini kullanabilirler.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, yüzey pürüzlülüğünün tahmini için gerekli olan deneysel verilerin CNC frezeleme işlemi boyunca elde edilmesi incelenmiştir. Deneylerin planı, deney parametreleri, malzeme, kesici takım, CNC tezgahı, frezeleme işlemi ve yüzey pürüzlülük ölçümleri bu bölümde ifade edilmiştir. Deneysel çalışmalarda verilerin bir plan ve düzen içinde elde edilmesi, uygulanan deneysel yöntemin verimliliğini önemli ölçüde artırır. Dört frezeleme parametresiyle üç seviyeli deneysel tasarıma göre 81 frezeleme deneyi yapılarak pürüzlülük verileri toplanmıştır. Dört frezeleme parametresi ve bu parametrelerin üç seviyesi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. AISI 1040 çelik malzemenin frezeleme parametreleri ve seviyeleri

Deney seviyesi	f_t mm/diş	V_c m/dak	a_e mm	a_r mm
1	0.07	140	0.5	1
2	0.095	190	1	3
3	0.12	240	1.5	5

Dört frezeleme parametresiyle toplam 81 deney AISI 1040 çelik malzeme üzerinde gerçekleştirilmiştir. AISI 1040 çelik malzemenin iş parçası ölçüleri, 40 x 40 x 30 mm³ dir. Her numunenin tüm yüzeyleri temizlenmiştir ve tezgaha bağlamak için uygun hale getirilmiştir. AISI 1040 çelik malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 2 ve Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 2. AISI 1040 çelik malzemenin mekanik özellikleri

Çekme mukavemeti (MPa)	Akma mukavemeti (MPa)	Kesme mukavemeti (MPa)	Elastiklik modülü (MPa)	Yüzde Uzama (%)	Sertlik (HB)
600	361	410	190-210	25	190

Tablo 3. AISI 1040 çelik malzemenin kimyasal bileşimi (%)

Karbon (C)	Mangan (Mn)	Fosfor (P)	Kükürt (S)
0.37-0.40	0.60	0.04	0.05

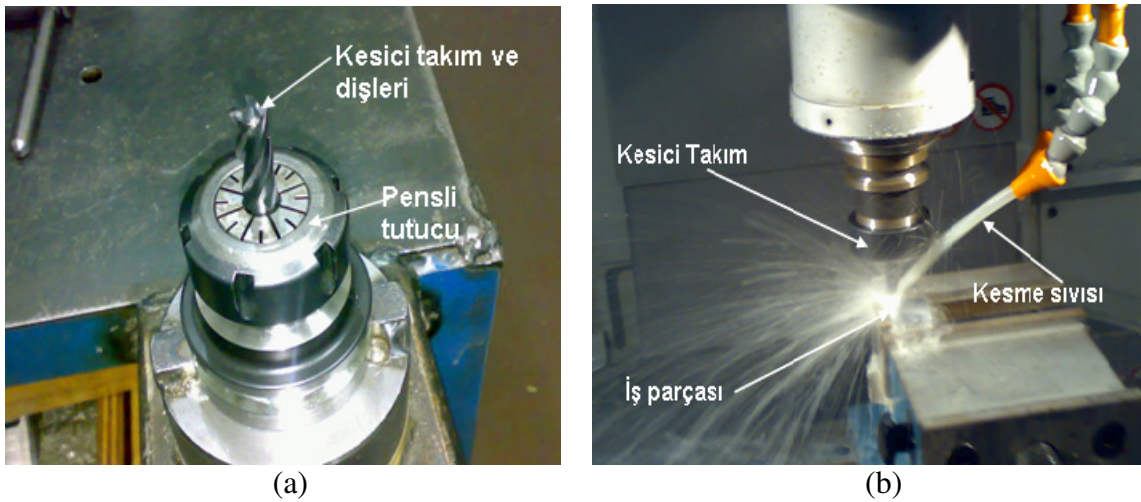
Frezeleme deneylerinin gerçekleştirilmesi için toplam 10 adet PVD AlTiN kaplamalı 10 mm çapında dört dişli (ağızlı) düz tip kesici takımlar kullanılmıştır. Her kesici başına 8

deney düşmüştür. Bu kesici takımların kesme deneyleri sonrasında kesicilerin aşınma miktarlarının çok düşük olduğu (0.032 ile 0.065 mm) bir PHILIPS marka taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) x 1000 büyültme altında kontrol edilmiştir. Dolayısıyla, aşınmadan kaynaklanan herhangi bir bozucu etki oluşmamıştır ve yüzey pürüzlülüğü artışının olmadığı düşünülmüştür. Kesici takımların kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Kesici takımların teknik özellikleri

Kesici takımın özellikleri	Teknik değerler
Kesici çapı	10 mm
Diş sayısı	4 diş
Helis açısı	30 °
Yan kenar açısı	0.25x 45 °
Sıkışma mukavemeti	1600 HV
Yoğunluk	14.45 gr/cm ³
Tanecik boyutu	0.8 µm
Kaplama tipi (tek kat)	PVD TiAlN
Sertlik	32-37 (RC)

Bu çalışmada, 15 kW motor gücüne sahip bir Fanuc O-IMC kontrollü 3 eksen MANFORD marka bir CNC tezgahında kullanılmıştır. Şekil 1, deneylerde kullanılan kesici takım ve AISI 1040 çelik malzemenin bu 3 eksen CNC freze tezgahındaki deney sürecini göstermektedir.



Şekil 1. Kesici takım ve CNC frezeleme deneyi

Ortalama pürüzlülük (R_a), yüzey pürüzlülüğünün en önemli ve en çok kullanılan parametresidir. DIN/ISO 4287 uluslararası ölçüm standartlarına göre R_a sembolüyle ve “µm” birimiyle birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. R_a parametresi aynı zamanda ortalama merkezi çizgi (center line average) adıyla da kullanılmaktadır. R_a parametresi, numune uzunluğu boyunca profili referans çizgisinden ayıran pürüzlülük düzensizliklerinin ortalama mutlak değeridir [10-11]. Toplam 81 CNC frezeleme deneyi sonrasında AISI çelik malzemelerin (numunelerin) yüzeylerinden ölçülen pürüzlülük değerleri, tahmini modelin oluşturulmasında kullanılmıştır. Bundan dolayı, her çelik numunenin yüzeyinden toplam 8 ölçüm alınmıştır. Daha sonra her bir ölçüm en az üç kez

tekrarlanarak, ortalama yüzey pürüzlülük değeri alınmıştır. AISI 1040 çelik malzeme numuneleri üzerinde yapılan yüzey pürüzlülük ölçümleri, Şekil 2’de gösterilmiştir.



(a) (b)
Şekil 2. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ve ölçüm işlemi

3. YAPAY SİNİR AĞLARIYLA (YSA) MODELLEME

Yapay sinir ağları (YSA) teknolojinin gelişmesine uyum sağlayarak mühendislik uygulamaları ve birçok ticari sistemde yaygın kullanım alanı bulmuştur. Yapay sinir ağları bilgilerin toplanması, öğrenme, karar verme, problemleri çözme ve bilimsel buluşların modellenmesi gibi özelliklerinden dolayı sürekli ve hızlı gelişmeye açık bir bilim dalı olmuştur. Bilgisayarlar ve yazılımları, matematiksel olarak çözülemeyen ya da çözümü çok zor olan problemleri tahmin yöntemlerini kullanarak çözmeye başlamıştır. Bu amaçlar için Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network-ANN) adı verilen akıllı öğrenme yöntemleri geliştirilmiştir. YSA’ları olaylara ve problemlere çözüm üretirken var olan bilgiye bağlı olarak karar verirler ve öğrendikleri bilgileri sonraki olayları tahmin etmek için kullanırlar [13-14].

YSA’lar proses elemanları (nöronlar) olarak bilinen çok sayıda işlem yapma biriminin bulunduğu giriş ve çıkış katmanları arasına yerleştirilmiş bir veya daha fazla ara katmandan (layers) yapılmış olan çoklu birimlerdir. YSA’lar, girdiler ile çıktılar arasında doğrusal olmayan ilişkilerin gerekli olduğu durumlarda kullanılırlar. YSA’larda bir proses elemanın 5 temel bileşeni vardır. Bunlar; girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olarak sıralanabilir [15]. Bu 5 temel bileşen, YSA’ların matematiksel yapısını oluşturur ve bu matematiksel yapı aşağıdaki denklemlere dayalı olarak hesaplanır. Çok katmanlı bir YSA’nın ölçülen bir değere karşılık tahmin edeceği değer için uyguladığı adımlar, denklem (1-5) yardımıyla hesaplanır:

$$net_j = \sum_{i=0}^N w_{ij} x_i \quad (1)$$

$$Out_j = f(net_j) = \frac{1 - e^{-net_j}}{1 + e^{-net_j}} \quad (2)$$

$$W_{ij}^{yeni} = W_{ij}^{eski} + \Delta W_{ij} \quad (3)$$

$$\Delta W_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ij}} out_j \quad (4)$$

$$E_i = \frac{1}{2} (d_i - (\sum_{j=0}^N W_{ij} X_i))^2 \quad (5)$$

Burada;

- N : Ara katmandaki j . proses elemanının giriş sayısı
- W_{ij} : İleri katmandaki i . den - j . ye kadar olan proses elemanın ağırlık katsayısı
- X_i : Geri katmandaki i . proses elemanından elde edilen giriş değeri
- $f(net_j)$: Tanjant hiperbolik gibi bir aktivasyon (transfer) fonksiyonu
- Out_j : Net çıkış değeri
- ΔW_{ij} : Hesaplanan ağırlıkların değişim miktarını,
- W_{ij}^{yeni} : Eski ağırlık değerlerini
- W_{ij}^{eski} : Ağırlıkların değişim miktarının toplamını,
- E_i : Ortalama hataların kareleri toplamı (MSE),
- d_i : İstenen veya beklenen pürüzlülük değerlerini
- η : Öğrenme parametresini göstermektedir.

Bu çalışmada, çok katmanlı geri beslemeli-ileri sürümlü bir YSA yüzey pürüzlülük modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Ölçülen değer ile tahmin edilen değer arasındaki hataların hesaplanmasında, en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada yer alan YSA'nın giriş katmanında dört proses elemanı, iki ara katmanda (21-21) proses elemanı ve çıkış katmanında bir proses elemanı kullanılmıştır. Net çıkış değerinin hesaplanması için Tanjant Hiperbolik tipi doğrusal olmayan bir transfer (aktivasyon) fonksiyonu kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

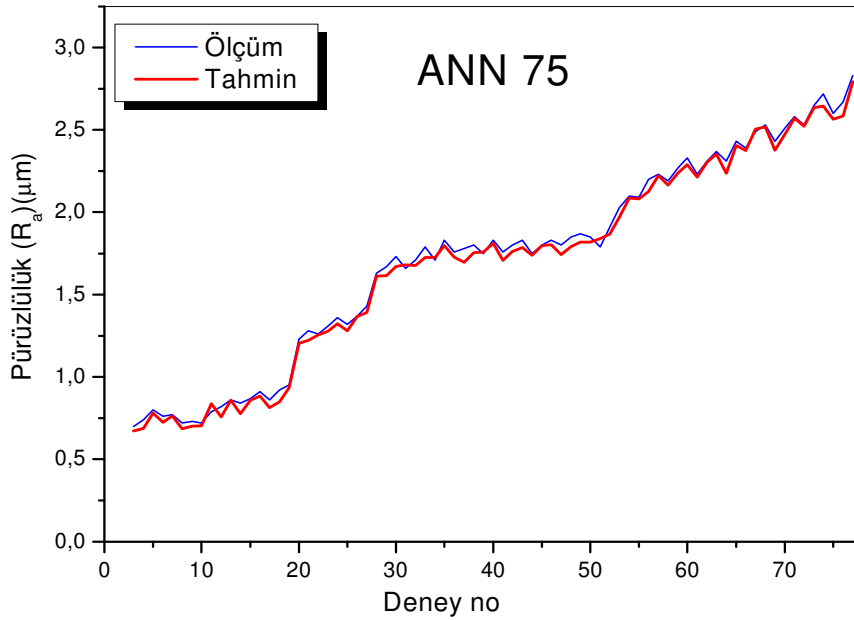
Bu bölümde, çalışmadan elde edilen belirli kesme şartları altında gerçekleştirilen deneysel ve istatistiksel sonuçlar, analizler ve bunların yorumlanması incelenmiştir. Frezeleme deneylerinden elde edilen 81 R_a değeri, YSA yöntemiyle tahmini pürüzlülük modeli oluşturmak için MATLAB programında analiz edilmiştir. YSA ile 81 R_a değerinin 75'i tahmini pürüzlülük modelinin oluşturulmasında (eğitilmesinde), geriye kalan 6 R_a değeri ise oluşturulan modelin test edilmesinde kullanılmıştır.

81 R_a değeri için YSA yöntemiyle oluşturulan tahmini pürüzlülük modeli, % 9.98 eğitim ve % 5.44 civarında test hatası üretmiştir. Şekil 3, eğitim seti olarak adlandırılan 75 R_a değerinin ölçüm ve tahmin sonuçlarını göstermektedir. Şekil 3 incelendiğinde, YSA yöntemiyle oluşturulan YSA modelin tahmin ettiği ve deneylerden ölçülen R_a değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülebilir. Şekil 4 ise, test seti olarak adlandırılan (75 R_a değeri içinde olmadığı) 6 R_a değerinin ölçüm ve tahmin sonuçlarını göstermektedir. Burada, YSA ile oluşturulan pürüzlülük modelinin % 5.44 civarında test hatası üretmesi, YSA pürüzlülük modelinin iyi bir tahmin yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, YSA ile oluşturulan tahmini pürüzlülük modelinden, ortalama karesel hata;

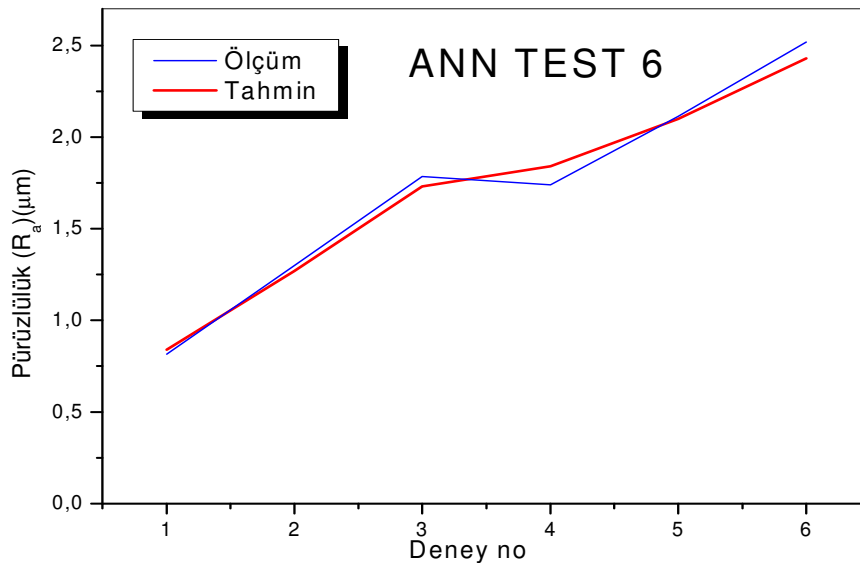
0.061644 ve maksimum sapma; 0.100109 olarak elde edilmiştir. 81 R_a değeri için YSA yöntemiyle pürüzlülük modeli oluşturmak için kullanılan işlem parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: 81 R_a değeri için YSA modelin parametreleri

Parametreler	Değerleri
Ara katman sayısı	2
Proses eleman sayısı	21-21
Aktivasyon fonksiyonu	Tanjant hiperbolik
Öğrenme katsayısı	0.0005
İterasyon sayısı	607,000
İterasyon süresi	1.4 saat



Şekil 3. 75 R_a değeri için YSA modelin tahmin ve ölçüm değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4. 6 R_a değeri için YSA modelin tahmin ve ölçüm değerlerinin karşılaştırılması

5. SONUÇ

Bu çalışmada, AISI 1040 çelik malzeme numuneleri üzerinde ve sıvı kesme şartlarında gerçekleştirilen CNC frezeleme deneylerinden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleriyle YSA yöntemine dayalı olarak geliştirilen bir tahmini matematiksel modelin üretmiş olduğu sayısal sonuçlar incelenmiştir. YSA yöntemiyle oluşturulan tahmini pürüzlülük modeli küçük eğitim ve test hataları üretmiştir. Bu sonuçlara dayanılarak, endüstrideki kesici takım üreticilerine deneysel parametrelerin kullanılması hakkında önemli bilgi, tavsiye ve destek verilebilir. Kesici takım üreticileri, benzer veya yakın kesme şartlarını modelledikleri zaman deney yapmadan ya da çok az deney yaparak bu çalışmadaki yüzey pürüzlülük sonuçlarını güvenli bir biçimde kullanabilirler.

6. KAYNAKÇA

[1] BOOTHROYD, G., ve KNIGHT, W. A., **Fundamentals of machining and Machine Tools**, Second Edition, Marcel Dekker Inc., New York, (1989).

[2] COROMANT, S., **Die and Mould Making with Sandvik Coromant**, Tool and Method, First Edition, Sweden, (2002).

[3] ATAŞİMŞEK, S., **Plastik ve Metal Kalıpcılık Teknikleri**, Birsen Yayınevi, İstanbul, (2002).

[4] ALBERTI, M., CIURANA, J., RODRIGUEZ, C. A., Experimental analysis of dimensional error vs. cycle time in high-speed milling of aluminium alloy, **Int. Journal of Machine Tools & Manufacture**, 47, 236-246, (2007).

[5] TOH, C.K., Design, evaluation, and optimisation of cutter path strategies when high speed machining hardened mould and die materials, **Materials & Design**, 26, 517-533, (2005).

[6] SANDER, M., **A Pratical Guide to the Assesment of Surface Texture**, First Edition, Gottingeti, Germany, (1991).

[7] DAGNAL, H., **Exploring Surface Texture**, Second Edition, Rank Taylor Habson Limited, England, (1986).

[8] BENARDOS, P. G., ve VOSNIAKOS, G. C., Predicting surface roughness in machining: a review, **Int. Journal of Machine Tools & Manufacture**, 43, 833-844, (2003).

[9] TSAI, Y. H., CHEN, J. C., LOU, S. J., An in-process surface recognition system based on neural networks in end milling cutting operations, **Int. Journal of Machine Tools & Manufacture**, 39, 583-605, (1999).

[10] EZUGWU, E. O., FADARE, D. A., BONNEY, J., DA SILVA, R. B., SALES, W. F., Modelling the correlation between cutting and process parameters in high-speed machining of Inconel 718 alloy using an artificial neural network, **Int. Journal of Machine Tools & Manufacture**, 45, 1375-1385, (2005).

- [11] GADELMAWLA, E. S., KOURA, M. M., MAKSOUUD, T. M. A, ELEWA, I. M., SOLIMAN, H. H., Roughness parameters, **Journal of Materials Processing Technology**, 123, 133-145, (2002).
- [12] BHUSHAN, B., **Surface Roughness Analysis and Measurement Techniques**, The Ohio State University, CRC Press LCL, (2001).
- [13] ÖZTEMEL, E., **Yapay Sinir Ağları**, 1.Basım, Papatya Yayıncılık, İstanbul, (2003).
- [14] EFE, M. Ö., KAYNAK, O., **Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları**, 1.Basım, Boğaziçi Üniversitesi Basımevi, İstanbul, (2000).
- [15] BRICENO, J. F., MOUNAYRI, H., MUKHOPADHYAY, S., Selecting an artificial neural network for efficient modelling and accurate simulation of the milling process, **Int. Journal of Machine Tools & Manufacture**, 42, 663-674, (2002).