

Inconel 718'in Frezelenmesi Sonucunda Oluşan Yüzey Pürüzlülüğünün Yapay Sinir Ağlarıyla Belirlenmesi

Hasan Öktem

Babür Özçelik
Y. Doç. Dr.

Hasan Kurtaran

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Tasarım ve İmalat
Mühendisliği Böl.
41400 Gebze-Kocaeli

Yüzey pürüzlülüğü, frezeleme işlemlerinin performansının değerlendirilmesinde göz önüne alınabilecek en önemli kriterlerden biridir. Bir frezeleme işleminde, yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler, uygulanan operasyon tipine ve üretilen malzeme cinsine göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışma, Inconel 718 gibi süper alaşımlı bir malzemenin düz uçlu kesicilerle frezelenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğünün yapay sinir ağlarıyla tahmin edilerek bir pürüzlülük modeli oluşturulmasını kapsar. Toplam 81 deney, kesici kataloglarından seçilen kesme parametreleriyle kesme sıvısı kullanarak yapılmıştır. Deneylerden elde edilen pürüzlülük değerleri, optik ölçüm metoduna göre çalışan yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçülmüştür. İleri beslemeli bir yapay sinir ağı, işlenen yüzeylerden elde edilen pürüzlülüğü tahmin etmek için kullanılmıştır. Kesme hızı (V_c), ilerleme (f_z), eksenel kesme derinliği (a_p) ve radyal kesme derinliği (a_e) gibi parametreler, yapay sinir ağının giriş katmanını oluştururken, yüzey pürüzlülüğü çıkış katmanını oluşturmuştur. Yapay sinir ağı modeli, MATLAB programı yardımıyla tasarlanarak eğitilmiştir. Geliştirilen tahmini model, deneylerden elde edilen pürüzlülük değerlerine karşı test edilerek modelin doğruluğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Düz frezeleme, kesme parametreleri, yüzey pürüzlülüğü, yapay sinir ağları

GİRİŞ

Düz frezeleme işlemi, üretim endüstrisinde özellikle Inconel 718 gibi çok sert malzemelerin yüzey işlemlerinin yapılmasında kullanılan en yaygın ve en önemli yöntemdir. Bu işlem, hızlı üretim zamanlarında düşük üretim maliyeti için kaliteli parça yüzeylerinin elde edilmesi yönünden de etkin bir prosestir. Bu çalışmada kullanılan, nikel alaşımlı Inconel 718 malzeme, yaygın olarak uçak ile nükleer endüstrisi ve tıbbi uygulamalarda kullanılmaktadır. Inconel 718 iyi dayanım, uzun yorulma ve sürünme ömrüne sahip olduğu için uçak motorlarının gövdesinde yer alan kanatçıkların üretilmesinde yaygın olarak kullanılan süper alaşımlı bir malzemedir [1]. Diğer taraftan, bu malzeme yüksek kopma mukavemeti, aşınmaya dirençli olma, yüksek çalışma sertliği, düşük ısı iletkenlik, güçlü oranda kaynak yapmaya eğilimli olma, kesme sırasında takım (kesici) ucunu şekillendirme ve yüksek kesme hızlarında kesicilerin aşınmasına sebep olma gibi özelliklerinden dolayı üretilmesi çok zor malzemeler arasında yer almaktadır [2-3]. Inconel 718 işlendiği

zaman, yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı kesicilerde aşınma, pürüzlü yüzeyler ve bozuk yüzey alanları oluşmasına neden olur [4]. Boothroyd [5] ve Dagnal [6], süper alaşımlı malzemelerin işlenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğünün sürtünme, aşınma, temas sonucu deformasyon, ısı transferi, yağlama ve kaplama gibi parçaların karakteristik özelliklerine önemli ölçüde etki eden bir faktör olduğunu söylemişlerdir. Sharman ve diğerleri [7], kaliteli yüzeylere sahip bir parçanın, korozyon direnci ve kayma mukavemetinin yüksek olduğundan bahsetmişlerdir.

Yüzey pürüzlülüğü, literatürde ve bir çok el kitabında yer alan analitik formüllerle doğru bir biçimde hesaplanamaz. Çünkü, bu analitik formüller yalnızca ilerleme hızı ve takım yarıçapını kullanarak hesaplama yapmaktadır. Ancak, yüzey pürüzlülüğünün çok sayıda faktöre ve bu faktörlere dayalı olarak ortaya çıkan etkileşimlere bağlı olduğu Boothroyd ve Knight [5] tarafından ifade edilmiştir. Bu nedenle, istenen yüzey pürüzlülüğü kesme hızı, ilerleme, eksenel ve radyal kesme derinliği gibi

kesme parametreleri kullanılarak daha doğru bir biçimde hesaplanabilir.

Oluşturulan yüzey pürüzlülük modeli bir optimizasyon programı yardımıyla çalıştırılarak, en uygun ve efektif kesme parametreleri hesaplanabilir. Bu çalışmada, elde edilen ölçüm değerleri ile modelin ürettiği değerlerin doğruluğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Alauddin ve diğerleri [8] düz frezeleme işlemlerinde kesme hızı ile ilerleme parametrelerini kullanarak Inconel 718'in işlenmesi üzerine bir pürüzlülük modelinin yer aldığı çalışmayı yapmışlardır. Tsai ve diğerleri [9] frezeleme işlemlerinde geri beslemeli öğrenme metoduna dayalı olan bir yapay sinir ağı modelini çok sayıda ölçüm sonucu kullanarak üretmişlerdir. Benardos ve diğerleri [10] ileri beslemeli bir yapay sinir ağının çeşitli kesme parametreleri üzerindeki etkisini ve deneylerden elde edilen sonuçlarla tahmini modelin ürettiği sonuçları kıyaslayarak geliştirilen modelin doğruluğunu tespit etmişlerdir. Chien ve diğerleri [11] çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı modelini, 304 paslanmaz çeliğin işlenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesinde kullanmışlardır. Tosun ve Özler [12] sıcak işleme prosesinde regresyon analizi ve yapay sinir ağı kullanarak kesici ömrünü incelemişlerdir.

Bu makalede, ileri sürümlü ve geri beslemeli öğrenme metoduna dayalı olan bir yapay sinir ağı modeli, karbür düz uçlu frezeler kullanılarak Inconel 718' in işlenmesinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Kesme hızı (V_c), ilerleme (f_z), eksenel kesme derinliği (a_p) ve radyal kesme derinliği (a_e) gibi parametreler yapay sinir ağının giriş katmanı olarak kullanılırken, elde edilen yüzey pürüzlülüğü çıkış katmanı olarak kullanılmıştır. Yapay sinir ağı, eğitim ve test seti olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Eğitim seti için elde edilen tahmin sonuçları, test setindeki verilerle kıyaslanarak modelin doğruluğu kontrol edilmiştir. Üretilen yüzey pürüzlülük modelinin gerçek uygulamalar içinde kullanılabileceği, deney sonuçlarıyla doğrulanmıştır.

DENEYLERİN HAZIRLANMASI VE KESME ŞARTLARI

Kesme Şartları

Sıvı kesme şartında yüzey frezeleme işlemi için 15 kW motor gücü ve 12,000 dev/dak dönme hızına sahip bir beş eksen DECKEL MAHO DMU 60 P CNC freze tezgahında 81 deney yapılmıştır. Parça yüzeylerini işlemek için Pro/Engineer CAD/CAM programı Windows 2000® işletim sistemiyle çalışan Intel Pentium-IV 1.6 GHz işlemciye sahip bir bilgisayarda yapılmıştır. Deneylerin tam-faktoriyel dizaynı, Inconel 718'in işlenmesinde yüzey

pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin etkisini göstermek amacıyla kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada, Sandvik kesici kataloğundan seçilen kesme parametrelerinin üç aralığı Tablo 1' de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kesme parametrelerinin seviyeleri

Kesme Hızı (V_c) (m/dak)	İlerleme (f_z) (mm/diş)	Eksenel kesme derinliği (a_p) (mm)	Radyal kesme derinliği (a_e) (mm)
40	0.07	0.4	1
45	0.095	0.6	2
50	0.12	0.8	3

Aynı yönlü kesme metodu (down milling), daha iyi yüzey kalitesi, daha az ısı üretimi, uzun kesici ömrü ve daha hassas parça geometrisi elde etmek için seçilmiştir.

Kesici Takımlar

Çalışmada kullanılan kesici takımlar, Inconel 718' in işlenmesine (frezelenmesine) uygun özellikte olup, Sandvik Coromant kesici kataloğundan seçilmiştir [13]. Toplam 10 adet kesici deneylerin yapılması için kullanılmıştır. Daha iyi yüzey kalitesi elde etmek amacıyla, kesici ucundaki diş sayısı dört olarak seçilmiştir. Kesicilerdeki aşınma miktarı kesme şartlarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu nedenle, her kesici için deney sayılarının etkisi eşit bölünemeyeceğinden aşınma miktarı esas olarak alınmıştır. Literatürde, kesicilerin yan kenar aşınması 0.3 mm'ye kadar devam ettirilmiştir [2]. Bu çalışmada, kesicilerin yan kenar aşınması 0.2 mm olunca, kesme işlemi durdurulmuştur ve yeni bir kesici bağlanmıştır. Kesicilerde meydana gelen aşınmalar (x100) büyültme özelliğine sahip bir optik mikroskopla ölçülmüştür. Kesici takımların eksenel sapmaları Mitutoyo ID-C112B marka bir komparatörle ortalama 0.001 mm olarak ölçülmüştür. Böylece, eksenel sapmanın yüzey pürüzlülüğüne etkisi ortadan kaldırılmıştır. Eksenel sapmayı önlemek için bağlanan komparatör, aynı zamanda parça ile kesicinin birbirine dikliğini kontrol etmek amacıyla da kullanılmıştır. Kesme işlemi boyunca kesicilerin tutucu ile bağlama mesafesi oldukça düşük tutulmuştur. Buna ek olarak, meydana gelebilecek titreşimleri ve sapmaları en aza indirmek amacıyla pensli tutucular kullanılmıştır. Kullanılan kesicilere ait özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kesici takımların özellikleri

Mekanik ve Kimyasal Özellikler	
Kesici Çapı	10 mm
Diş Sayısı	4
Bağlama Boyu	40 mm
Helis Açısı	45 °
Rake Açısı	10 °
Helis Düşümü	12-15 °
Sıkıştırma mukavemeti	600 N/mm ²
Yoğunluk	14.5 gr/cm ³
Tanecik Büyüklüğü	0.5-0.9 µm
Kaplama (tek kat)	PVD AlTiN

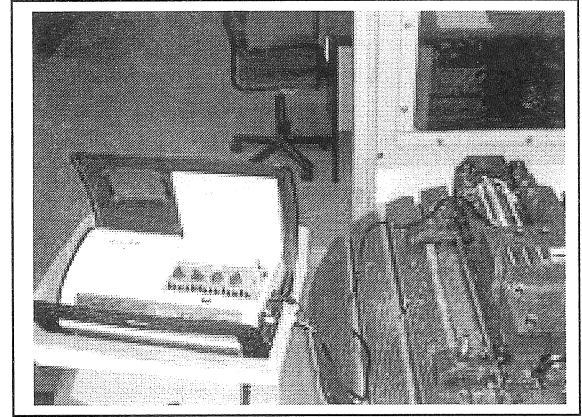
İş Parçası

Kesme deneyleri, bir Inconel 718 bloğunda kesme sıvısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İş parçası, maksimum rijitliği sağlamak amacıyla doğrudan makinenin mengenesine bağlanmıştır. İş parçası, çalışma esnasında meydana gelebilecek geometrik hataları en aza indirmek amacıyla kesicinin bağlı bulunduğu tutucuya dik, tablaya paralel olarak bağlanmıştır. Çalışmada kullanılan Inconel 718, sıcak dövülmüş ve 649 ° C'de tavlanmıştır. Parçanın sertliği, Instron Wolpert Testor 2100 sertlik ölçüme cihazıyla 415 HB olarak ölçülmüştür. İş parçasının geometrik ölçüleri, 120 mm x 40 mm x 50 mm'dir. Parçaya ait özellikler, Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Inconel 718 malzeme, kesme esnasında talaş kopmasına çok dirençli olduğu için, bu malzemenin en önemli mekanik özellikleri olan kopma ve akma mukavemetleri verilmiştir. Buna ek olarak, literatürdeki yayınlarda yüzde uzama (%) bu iki özellikle birlikte verilmektedir.

Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

İşlenen yüzeyler, taşınabilir bir pürüzlülük ölçüm cihazı (Surftest 301) kullanılarak kesmenin yapıldığı yöne dik olarak ölçülmüştür. Ölçüm cihazının izleyici (stylus) ucunun daha fazla yüzey alanını taraması için, 2.5 mm'lik pürüzlülük ölçüm aralığı (cut-off length) kullanılarak 81 adet pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Böylece; ölçüm sonuçlarının daha güvenilir ve kullanılabilir olması sağlanmıştır. Her ölçüm yüzeyi için pürüzlülük ölçümleri, en az üç kez tekrarlanarak ortalama değerler kaydedilmiştir. 2.5 mm'lik ölçüm aralığı için ölçüm cihazının verdiği sonuçlar doğrudan kaydedilmiştir. 0.8 mm ve 0.25 mm'lik ölçüm aralıklarıyla da ölçümler yapılmıştır. 0.25 ve 0.8 mm'lik ölçüm aralıkları, serbest ve eğimli yüzeylerin pürüzlülüğünün ölçülmesinde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Traverse length, bir çok yayında cut-off length yerine kullanılmıştır [16]. Ölçüm cihazıyla kullanılan aparat, izleyicinin ölçüm yüzeylerine paralel bir şekilde durmasını sağlamaktadır. Kesilen yüzeylerde oluşan pürüzlülüğü ölçmek için kurulan deney seti Şekil 1'te gösterilmiştir.



Şekil 1. Yüzey pürüzlülük ölçümünün yapılması

Tablo 3. Inconel 718'in kimyasal bileşimi (% , wt)

Ni	Cr	Fe	Cb+ Ta	Mo	Ti	Al	Co	Si	N	Mn	Cu	C
3.91	18.10	17.76	5.40	2.88	1.01	0.48	0.32	0.10	0.068	0.06	0.04	0.026

Tablo 4. Inconel 718'in mekanik özellikleri

Kopma Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
1392	1163	14
1230	1041	19

YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ İÇİN YAPAY SİNİR AĞI MODELİ

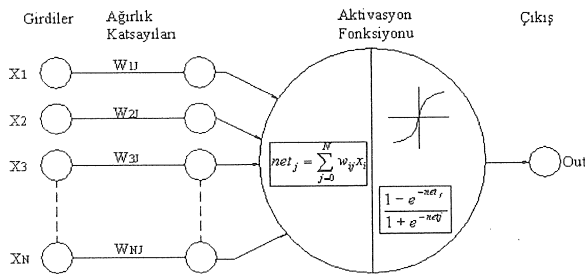
Çeşitli parametrelerle yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi çok sayıda ölçüm sonucunun kullanılmasını gerektirir. Buna rağmen çok sayıda deneyin yapılması zaman ve maliyet açısından bir yük getirir. Bunun için, daha basit ve etkili bir model yapay sinir ağının yardımıyla yaratılabilir. Yapay sinir ağları, proses elemanları (nöronlar) olarak bilinen çok sayıda işlem yapma biriminin bulunduğu giriş ve çıkış katmanları arasına yerleştirilmiş bir veya daha fazla ara katmandan (layer) yapılmış olan çoklu birimlerdir. Yapay sinir ağlarındaki katmanlar, daha önceden belirlenmiş değişken ağırlıklarıyla bağlantılıdır. Yapay sinir ağında, her proses elemanı bir önceki katmanda yer alan proses elemanlarının hepsinden toplam giriş değeri alır. Toplam giriş değeri, (1) no'lu formüldeki gibi ifade edilebilir:

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

Burada, net_j toplam veya net giriş, N ara katmandaki j . proses elemanın giriş sayısı, w_{ij} ileri katmandaki i . proses elemanından ara katmandaki j . proses elemanına kadar olan bağlantının ağırlık katsayısı, x_i geri katmandaki i . proses elemanından elde edilen giriş değeridir. Ağda yer alan bir proses elemanın değeri, *tanjant hiperbolik* gibi bir aktivasyon fonksiyonu yardımıyla net giriş değerinin işleme tabii tutulması sonucu hesaplanabilir [15]. Net çıkış değeri (out_j) aşağıdaki gibi ifade edilir:

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

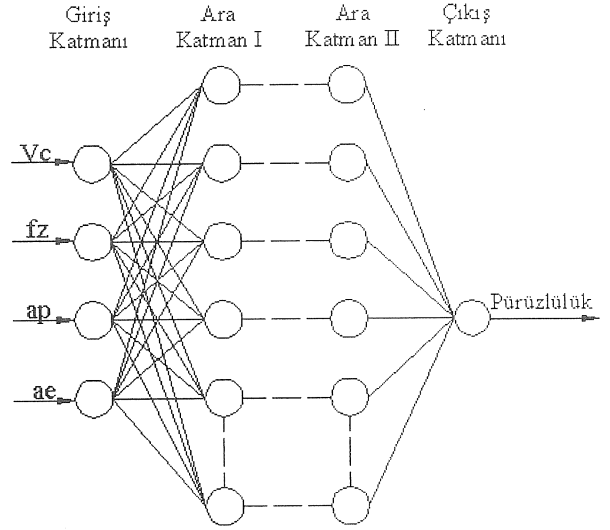
Yapay sinir ağında yer alan her bağımsız proses elemanın bağlantı yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Ağda yer alan her proses elemanın bağımsız yapısı

Bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağ yapısı ve proses elemanlarıyla parametrelerin birbiri arasındaki

ilişki Şekil 3'de gösterilmiştir. Ağ yapısı, MATLAB programı yardımıyla tasarlanmıştır [14]. Yapay sinir ağında, giriş katmanı için 4 proses elemanı ve çıkış katmanı için 1 proses elemanı ve ara katmanlar için 50 (25-25) proses elemanı kullanılmıştır. Her iki katman için 50 proses elemanı, en düşük tahmin hatasını elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Kesme hızı (V_c), ilerleme (f_z), aksel kesme (a_p) ve radyal kesme derinliği (a_e) gibi kesme parametreleri yardımıyla yüzey pürüzlülüğü tahmini yapılmıştır. Çıkış katmanına karşılık yüzey pürüzlülüğü kullanılmıştır.



Şekil 3. Dizayn edilen yapay sinir ağı modeli

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

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

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

(3),(4),(5) no'lu eşitlikler, yapay sinir ağı içerisindeki değerlerin hesaplanmasında kullanılır. Burada, Δw_{ij} hesaplanan ağırlıkların değişim miktarını, w_{ij}^{yeni} ise eski ağırlık değerleri ile ağırlıkların değişim miktarının toplamını, E_i ortalama hataların kareleri toplamı (Mean Square Error-MSE), d_i istenen veya beklenen pürüzlülük değerini ve η öğrenme parametresini gösterir. Öğrenme parametresi, genellikle 0 ile 1 arasındadır. Bu çalışmada, 0.0005 olarak seçilmiştir.

DENEYSEL SONUÇLAR VE SONUÇLARIN YORUMLANMASI

Bu çalışmada, Tablo 1'de yer alan 3 ilerleme değerinin birimi mm/diştir ve kesici ucunun diş başına mm cinsinden aldığı yol olarak ifade edilir. Şekil 3, 4, 5' teki ilerlemeler ise tezgah tablasının ilerlemesidir ve birimi mm/dak'dır. Aşağıdaki formüllerle ifade edilir:

$$n = \frac{V_c 1000}{\pi D} \quad (6)$$

$$V_f = f_z \times n \times Z_n \quad (7)$$

V_f =Tabla ilerlemesi (mm/dak) (Feedrate)

f_z =Diş başına ilerleme (mm/diştir) (Feed)

n =Devir sayısı (dev/dak)

V_c =Kesme hızı (m/dak)

D =Kesici Çapı (mm)

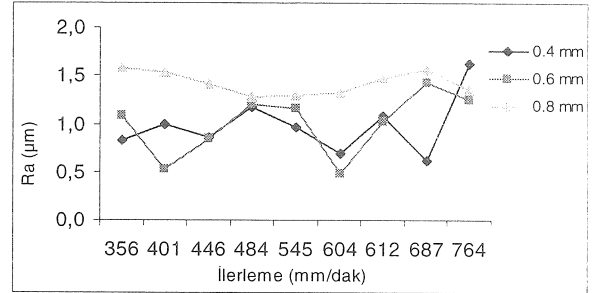
Z_n =diş sayısı (4)

Tablo 1'deki f_z (feed) ve V_c (cutting speed) değerleri, tezgaha kesme yapabilmek için V_f (tabla ilerlemesi) ve n (devir sayısı) değerlerine dönüştürülmek zorundadır. 3 ilerleme değeri ($f_z = \text{feed}$) ile 3 kesme hızı (V_c), (6) ve (7)'nolu eşitliklerde yerine yazılırsa, 9 tabla ilerleme değeri ($V_f = \text{Feedrate}$) elde edilir. 9 tabla ilerleme değeri, 81 adet ölçüm sonucunun değişimini göstermek amacıyla Şekil 3, 4, 5' te verilmiştir. Yani, 9 tabla ilerleme değeri için tekrar ölçüm yapılmamıştır.

Çalışmada ölçülen R_a değerleri üç ayrı grafikte ifade edilmiştir. Bu üç grafik, toplam 9 tabla ilerleme (feedrate) değerine karşılık yüzey pürüzlülük sonuçlarının 3 eksenel kesme derinliğindeki değerlerini ($a_p=0.4$ mm, 0.6 mm ve 0.8 mm) göstermektedir. Her bir grafik, üç ayrı radyal kesme derinliği için oluşturulmuştur. 1 mm'lik radyal kesme derinliğinde, tabla ilerleme (V_f) değerlerine karşılık üç eksenel kesme derinliğinde meydana gelen yüzey pürüzlülük sonuçları Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu grafikte, 0.4 mm'lik eksenel kesme derinliği için en yüksek R_a değeri 764 mm/dak'lık ilerlemeye karşılık 1.620 μm olarak bulunmuştur. En küçük R_a değeri ise, 0.6 mm'lik eksenel kesme derinliği için 401 mm/dak'lık tabla ilerlemesine karşılık 0.520 μm olarak bulunmuştur.

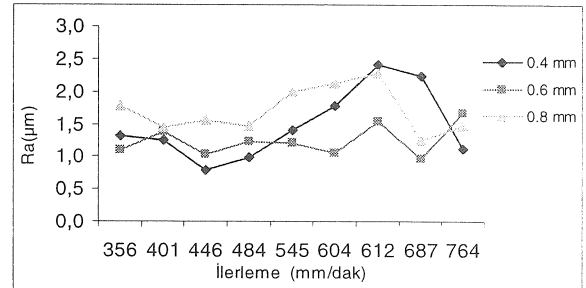
2 mm'lik radyal kesme derinliği için, yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri Şekil 5'de ifade etmektedir. En yüksek R_a değeri, 0.4 mm'lik eksenel kesme derinliğinde elde edilmiştir. Bu grafikte, pürüzlülük değeri 612 mm/dak'lık tabla ilerleme değerinde en büyük sapmayı göstermiştir. Bu noktadan sonra, 0.6 mm ve 0.8 mm'lik eksenel kesme derinliklerine ait grafikler azalıp tekrar yükselirken, 0.4 mm'lik eksenel kesme derinliğine ait grafik azalmaya devam

etmiştir. Birinci olarak, Şekil 4-6'da, Tabla ilerleme değerlerine karşılık gelen pürüzlülük verilerinin uygun bir karakteristiğe sahip olmadığı bilinmektedir.



Şekil 4. Radyal kesme derinliği (1 mm) için ilerlemeye karşılık gelen R_a değerleri

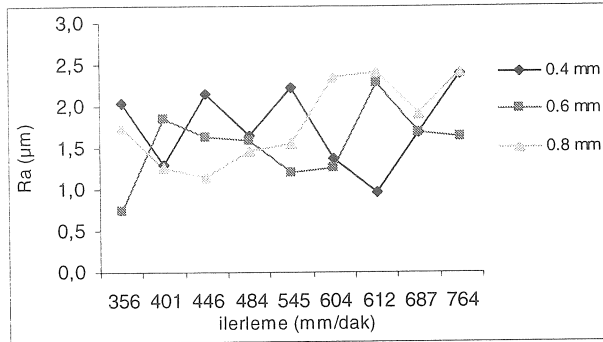
Ancak, kullanılan kesme parametreleri, malzeme ve diğer bütün şartlar endüstri ortamından alınmıştır. Dolayısıyla, endüstride bu tip bir pürüzlülük problemi meydana geldiğinde çözüm üretebilmek için yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Aynı zamanda bu çalışmada, oluşturulan yapay sinir ağı mevcut verilere göre iyi performans sergilemiştir. Eğitim hatasının % 0.17 ve test hatasının % 10 civarında olması, bu verilerle bir pürüzlülük modelinin oluşturabileceğini göstermektedir. İkinci olarak, elde edilen 81 pürüzlülük değerlerinin tabloda gösterilmesi sayfa sayısının artmasına neden olacaktır, bunu önlemek amacıyla grafiksel gösterim tercih edilmiştir.



Şekil 5. Radyal kesme derinliği (2 mm) için ilerlemeye karşılık gelen R_a değerleri

Pürüzlülük ölçümlerini ifade eden Şekil 6, 3 mm'lik radyal kesme derinliği için elde edilen R_a değerlerinin sonuçlarını göstermektedir. Diğer iki grafikten farklı olarak, bu grafikte her bir eksenel kesme derinliği için elde edilen sonuçlar birbiriyle zıtlık göstermiştir. Grafiklerin biri azalmaya eğilimli iken, diğeri artmaya eğilimlidir. 687 mm/dak'lık ilerleme değerine kadar, bu dengesiz artış ve azalış devam etmiştir. Bu noktadan sonra, 0.4 mm ve 0.8 mm'lik eksenel kesme derinliklerine ait grafikler artmaya başlarken, 0.6 mm'lik grafikte yüzde seviyesinde azalma olmuştur. En büyük R_a değeri,

764 mm/dak tabla ilerlemesinde 0.8 mm eksenel kesme derinliği için 2.411 μm olarak bulunmuştur. En küçük R_a değeri ise, 0.6 mm'lik eksenel kesme derinliği için 0.745 μm olarak bulunmuştur.



Şekil 6. Radyal kesme derinliği (3 mm) için ilerlemeye karşılık gelen R_a değerleri

YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ İÇİN ÖĞRENME SETİNİN OLUŞTURULMASI

Deneylerin Dizaynı

81 adet pürüzlülük ölçümü, üç seviyeli tam-faktoriyel dizayn kullanılarak yapılmıştır. Tam-faktoriyel dizaynda, değişken aralığı en düşük ve en yüksek seviyelere bölünmüştür. Bu çalışmada; kullanılan üç seviyeli tam-faktoriyel dizayn, düşük (-1), orta (0) ve yüksek (1) olmak üzere değişkenlerin en düşük, orta ve en yüksek değerlerine karşılık olarak kullanılmıştır. Üç seviyeli tam-faktoriyel dizayn 3^n sayıda eğitim verisi üretir. Burada, n değişkenlerin sayısını (n =deney için kullanılan kesme parametrelerinin sayısı) ifade etmektedir ve bu çalışmada $n=4$ olarak belirlenmiştir. öğrenme setindeki toplam veri sayısı $3^n=3^4=81$ olarak hesaplanmıştır. Üç seviyeli tam-faktoriyel dizayn kullanılarak seçilen kesme parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Öğrenme Seti

Eğitim Seti

81 adet öğrenme verisinden (kesme deneylerinden elde edilen 81 adet pürüzlülük ölçüm sonucu ve yapay sinir ağının oluşturulması için kullanılan pürüzlülük değerleri), 75'i eğitim seti oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. Bu verileri

eğitmek amacıyla, ağırlık katsayıları hesaplanmıştır. Ağırlık katsayıları başlangıçta mantıklı sınırlar içinde rastgele seçilmiştir. Daha sonra bu ağırlıklar, eğim düşümü (gradient descent method) yöntemiyle belli değerlere yaklaşıncaya kadar hesaplanarak uygun yerlere ilave edilmiştir. Eğim düşümü yöntemi, yapay sinir ağının tahmini ile gerçek değerler (pürüzlülük ölçüm sonuçları) arasındaki ortalama hataların kareleri toplamını en aza indirgeyinceye kadar ağırlıkları sürekli yeniler. Yani, yapay sinir ağının her bir adımını ifade eden iterasyon devam eder [15]. Yapay sinir ağının tahmin ettiği değerler ile gerçek ölçüm sonuçlarının bir kısmını Tablo 5'de gösterilmektedir.

Tablo 5'deki tahmini değerler, yapay sinir ağından elde edilmiş olan analiz sonuçlarıdır. Yapay sinir ağı (4-25-25-1), en düşük test hatasını 1.10^{-7} lik ortalama karesel hatada üretmiştir. Ortalama karesel hatanın 1.10^{-7} ye kadar yaklaşması, analiz süresinin 2 saat sürmesine neden olmuştur. Analizden elde edilen eğitim hatasının çok düşük olması değerlerinin birbirine yaklaşmasını sağlamıştır.

Tablo 5'deki sonuçlar incelendiğinde, eğitim seti için elde edilen tahmin başarısının oldukça yüksek olduğu görülebilir. Ağ, eğitim seti için istenilen başarıyı sağlamıştır. 75 deneyden sadece 24 tanesi gösterilmiştir. Kalan 51 veride de aynı doğrulukta sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan yapay sinir ağı, her bir set için sapma değerlerini hesaplamamaktadır. Bunun yerine, tüm setlerin ortalama sapmasını hesaplar. Tablo 5 ve Tablo 6'da yer alan sonuçlara ait setlerin maksimum eğitim ve test sapma değerleri, Tablo 8'de gösterilmiştir. Tablo 8 incelendiğinde, test setlerinin ortalama sapmasının eğitim setlerinin ortalama sapmasından daha büyük olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, proses elemanlarının sayısının artırılmasından çok, iterasyon sayısının artırılmasına bağlı olarak yaklaşma kriteri sağlanmıştır. Veri sayısı, 75 (eğitim seti) adet olduğu için iterasyon süresi çok uzun sürmemiştir ve bu sayede ağı ezberleme yapması önlenmiştir. Oluşturulan yüzey pürüzlülük modeli için iterasyon sayısı ve performans kriteri (yaklaşma kriteri), deneme-yanılma yöntemiyle bulunmuştur. 832438 iterasyon ve 1×10^{-7} performansta program otomatik olarak durmuştur. Programın çalışma süresi, yaklaşık 2 saat'tir. Yüzey pürüzlülük modeli için oluşturulan ağ yapısı; bir giriş katmanı, 2 ara katman ve bir çıkış katmanından oluşmuştur. Bu çalışmada yer alan ağ parametreleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5. Eğitim seti için tahmini değerler ile gerçek değerler

Deney numarası	Tahmini Değerler	Gerçek Değerler	Deney numarası	Tahmini Değerler	Gerçek Değerler
1	0.819949	0.820	43	1.780128	1.780
4	1.169902	1.170	47	2.114896	2.115
7	0.612891	0.613	51	2.034859	2.035
10	0.519669	0.520	55	2.215024	2.215
14	0.479718	0.480	58	2.379941	2.380
18	1.579982	1.580	62	1.592947	1.593
22	1.323096	1.323	64	1.252503	1.253
26	1.306909	1.307	67	1.636847	1.637
30	1.402963	1.403	70	1.455965	1.456
34	1.104818	1.105	72	2.344897	2.345
37	1.225391	1.225	73	2.409105	2.409
40	1.524925	1.525	75	2.411077	2.411

Tablo 6. Kullanılan ağ parametreleri

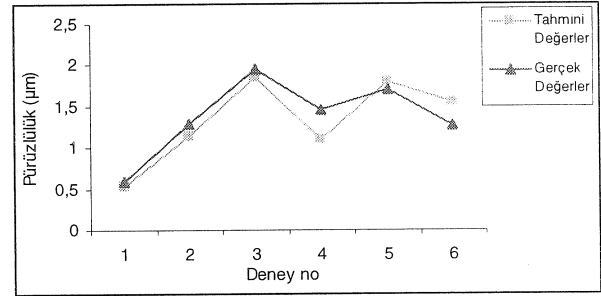
Parametreler	Değerleri
Öğrenme Katsayısı	0.0005
Örnek Gösterimi	Tam-faktoriyel
İterasyon Sayısı	832438
Ortalama Karesel Hata	1.10^{-7}
Eğitim Süresi	2 saat

Test Seti

Ağırlık katsayıları hesaplandıktan sonra eğitilen yapay sinir ağının performansı, kullanılabilirlik ve yeniden üretim için test edilmelidir. Ağ, eğitim sırasında bütün örneklere doğru cevaplar üretiyor olabilir, fakat bu sonuç ağın performansının çok iyi olduğu anlamına asla gelmemelidir. Bu nedenle; öğrenme işlemine tabii tutulan ağlar, eğitim seti dışında yer alan verilerle test edilerek performans değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu çalışmada üretilmiş olduğumuz ağ için 6 test verisi (kontrol verisi) ağın performansını test etmek amacıyla ağın dışından seçilmiştir. Test seti için, yapay sinir ağının tahmini ile gerçek değerlerin karşılaştırılması Tablo 7'de verilmiştir. Şekil 7, test seti için yapay sinir ağının tahmin ettiği değerler ile gerçek değerleri karşılaştırmaktadır.

Tablo 7. Test seti için kullanılan değerler

Deney numarası	Tahmini Değerler	Gerçek Değerler
1	0.536346	0.579
2	1.138250	1.280
3	1.856396	1.955
4	1.099912	1.456
5	1.798128	1.697
6	1.548927	1.263



Şekil 7. Test seti için tahmini ve gerçek değerlerin karşılaştırılması

Test seti için elde edilen tahmin başarısının, eğitim setine göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Test seti için kullanılan 6 veri, öğrenme seti dışından seçilmiştir. Bu nedenle, tahmin başarısının daha düşük olması beklenen bir durumdur. Oluşturulan yapay sinir ağı daha yüksek hesap maliyetini kabul ederse, katman sayısı ve katman başına düşen proses elemanı artırılarak daha iyi sonuç elde edilebilir.

Katman sayısının ve katmanlarda yer alan proses elemanlarının artırılması, oluşturulan ağın kısa sürede sonuç elde etmesini sağlar. Fakat, bazen bu durum bir ağ için istenmeyebilir. Mevcut veri karakterine bağlı olarak, ağ öğrenme yerine ezberleme yapabilir. Böylece, istenilen tahmin başarısı elde edilemez. Bazı ağlarda ise, iterasyon (deneylerden elde edilen verilerin eğitilmesi için alınan işlem) sayısı oldukça fazla olabilir. İterasyon

sayısının fazla olması, hesap maliyetinin artmasına yol açar. Yapay sinir ağının üretmiş olduğu istatistikî bilgiler Tablo 8’ de verilmiştir.

Tablo 8. Yapay sinir ağının üretmiş olduğu istatistikî bilgiler

Eğitim verileri için ortalama karesel hata	Test verileri için ortalama karesel hata
9.98×10^{-7}	0.1282621
Eğitim seti için maksimum sapma	Test seti için maksimum sapma
0.001388	0.534604
Maksimum eğitim hatası	Maksimum test hatası
% 0.165828	% 10.0987

TARTIŞMA

Günümüzde bir çok metal kesme operasyonunda en çok tercih edilen işleme biçimi, düz frezeleme metodudur. Endüstride üretilen parçaların çoğu frezeleme işleminden sonra taşlama prosesine tabii tutulmaktadır. Fakat, parçaları üretmek için kullanılan malzemelerin yapısı genelde orta sertliktedir. Bu parçaların işlenmesi ve ikinci bir proses olan taşlamadan geçirilmesi kolaydır. Bu çalışmada, Inconel 718 gibi çok sert ve çok sayıda kimyasal bileşenden meydana gelmiş bir malzemenin frezelenmesiyle elde edilen pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Bu malzemenin frezelenmesi için gerekli olan kesme parametreleri tam olarak literatürde tespit edilememiştir. Bunun sonucu olarak; Inconel 718, bir çok akademik çalışmanın odak noktası haline gelmiştir.

Bu çalışmada; toplam 81 adet kesme deneyi, 10 adet düz uçlu (karbür) kesici kullanılarak yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümleri, kesme yönüne dik olacak biçimde bir pürüzlülük cihazıyla yapılmıştır. Elde edilen pürüzlülük değerleri kullanılarak, bir yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. 81 adet ölçüm verisi (öğrenme seti), eğitim seti ve test seti olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Eğitim verisi 75 adet iken, test verisi 6 adet olarak seçilmiştir. Test verileri, eğitim seti içinde yer almamaktadır.

SONUÇ

Deneylerden elde edilen ölçüm sonuçlarına göre, üç ayrı grafik oluşturulmuştur. Bu grafiklerde, 9 ayrı tabla ilerleme değerine (Feedrate) karşılık yüzey pürüzlülük sonuçları ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, oluşturulan modelin veri karakterini önemli ölçüde doğrulamıştır. Genel olarak aksel ve radyal kesme derinliklerinin artkça, yüzey pürüzlülüğünde artma gözlenmiştir. Tabla ilerlemesi deneylerin çoğunda yüzey pürüzlülüğünü artırmamıştır. Sonuç

olarak; çeşitli parametreler altında deneysel verilerle donatılmış yapay sinir ağı modeli, yüzey pürüzlülüğü için oluşturulmuştur. Bu çalışmada yapay sinir ağlarıyla tahmin edilen pürüzlülük değerlerinin olumlu sonuçlar vermesi, kullanılan kesme parametrelerinin endüstriyel uygulamalar için kullanılabileceğini göstermiştir.

PREDICTION OF SURFACE ROUGHNESS IN END MILLING INCONEL 718 USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Surface roughness is one of the most important factors considered in determining of performance milling processes. In a milling process, cutting parameters that affected surface roughness change according to the type of material used and machining conditions. This paper is to present an approach for predicting of surface roughness in end milling Inconel 718 by utilizing solid carbide flat-end mills. 81 surface roughness values obtained from the machined surfaces are utilized for training of neural network. The results obtained from experiments were measured using a portable surface roughness tester based optical measurement method. A feed forward neural network model is used to predict surface roughness of milled surface under wet cutting conditions. Using cutting speed (V_c), feed (f_z), axial (a_p), and radial depth of cut (a_e) as input neurons, surface roughness is accepted as output neuron. The network model is designed and trained using Matlab Neural Network Toolbox. The accuracy of neural network is determined by testing the predictive model generated against surface roughness values obtained from experiments.

Keywords: End milling, cutting parameters, surface roughness, artificial neural networks

KAYNAKÇA

1. Alauddin, M., El-Baradie, M.A. and Hasmi, M.S.J., "End Milling Machinability of Inconel 718", *Proc.Inst. Mech. Eng. Part B, Engineering Manufacture* vol.210, pp.11-23, 1996.
2. Jawaid, A., Koksai, S., Sharif, S., "Cutting Performance and wear characteristics of PVD coated and uncoated carbide tools in face milling Inconel 718 aerospace alloy", *Journal of Materials Processing Technology*, vol.116, pp.2-9, 2001.
3. Ezugwu, E.O., Tang, S.H., "Surface abuse when machining cast iron G-17 and nickel-base superalloy (Inconel 718) with ceramic tools", *Journal of Materials Processing Technology*, vol.55, pp.63-69, 1995.

4. Choudhury, A., El-Baradie, M.A., "Machining nickel base superalloys:Inconel 718", *Proc.Inst. Mech. Eng. Part B, Engineering Manufacture*, vol.212, pp. 195-206, 1998.
5. Boothroyd, G., Knight W.A., *Fundamentals of machining and machine tools, Second edition*, Marcel Dekker Inc., Newyork, 1989.
6. H. Dagnal., M.A, *Exploring surface texture*, Rank Taylor Habson Limited, England, 1986.
7. Sharman, A., Dewes, R.C., Aspinwall, D.K., "Tool life when high speed ball nose end milling Inconel 718", *Journal of Materials Processing Technology*, vol.118, pp.29-35, 2001.
8. Alauddin, M., El-Baradie, M.A. and Hasmi, M.S.J., "Optimization of surface finish in end milling Inconel 718", *Journal of Materials Processing Technology*, vol.56, pp.54-65, 1996.
9. Tsai, Yu-H., Chen, J.C., Lou, Shi-J., "An in-process surface recognition system based on neural networks in end milling cutting operations", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol.39, pp.583-605, 1999.
10. Benardos, P.G., Vosniakos, G.C., "Prediction of surface roughness in CNC face milling using neural networks and Taguchi's design of experiments", *Robotics and Computer Integrated Manufacture*, vol.18, pp.343-354, 2002.
11. Chien, Wen.T., Chou, Chung-Y., "The predictive model for machinability of 304 stainless steel", *Journal of Materials Processing Technology*, vol.118, pp.442-447, 2001.
12. Tosun, N., Özler, L., "A study of tool life in hot machining using artificial neural networks and regression analysis method", *Journal of Materials Processing Technology*, vol.124, pp.99-104, 2003.
13. S. Coromant, *Die and mould making with sandvik coromant, Tool and Methods, Tool Catalog*, Sweden, 2002.
14. Matlab User Manual, Version 6.5R13, The MathWorks Inc., 2002.
15. Efe, M.Ö, Kaynak, O., *Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları*, Boğaziçi Üniversitesi Basımevi, İstanbul, 2000.
16. Wang, Y.M., Chang, Y.H., Experimental study of surface roughness in slot end milling AL2014-T6, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol.44, pp.51-57, 2004.