YÜKSEK HIZLI TALAŞLI İŞLEMEDE YÜZEY KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

[1]Mustafa Hamamcı, [2*]Eyüp Sabri Topal
[1] Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri, mhamamci@erciyes.edu.tr
[2] Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri, topal@erciyes.edu.tr

Özet

Bu çalışmada yüzey kalitesinin iyileştirilmesi üzerine yapılmış deneysel çalışmalar, kullanılan optimizasyon yöntemleri ve belirlenen şartlarla elde edilen yüzey pürüzlülükleri üzerine bir derleme yapılmıştır. Bu kapsamda, yüksek hızlı işleme teknolojisiyle frezelenen parçaların yüzey kalitesi, farklı seviyelerdeki kesme parametreleri (kesme hızı, yanal adım, ilerleme hızı ve talaş derinliği) ve farklı kesici takımların, farklı malzeme türleri üzerindeki etkileri ile seçilen optimizasyon yöntemlerinin başarı oranları araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yüksek hızlı işleme, yüzey pürüzlülüğü, optimizasyon

1. Giriş

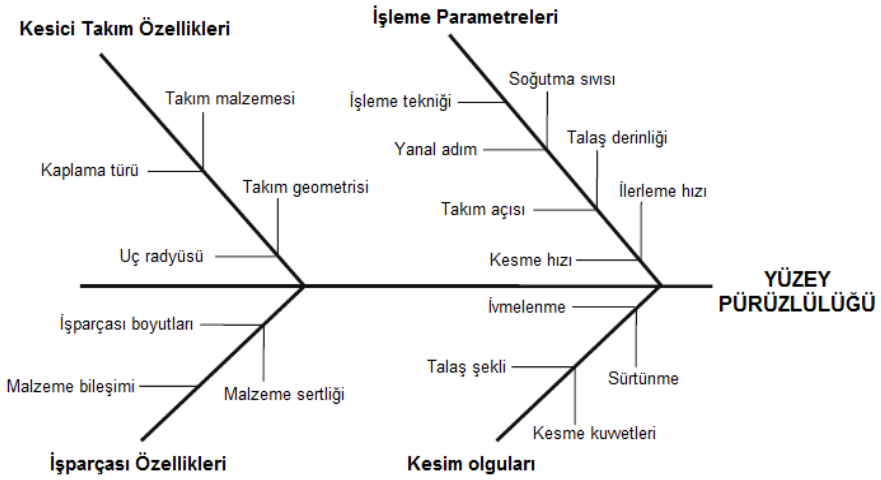
İmalatta en ekonomik ve en iyi yüzey kalitesi elde etmek için işleme parametrelerinin uygun seviyelerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu parametrelerin doğru şekilde seçilmesi ve birbirleri ile olan ilişkilerin deneysel çalışmalarla ortaya konulması imalat sektöründe büyük bir ihtiyaç haline gelmiştir. Genel olarak imalatta optimum şartlarda işleme yöntemleri ile işleme parametrelerinin takım aşınmalarına ve yüzey kalitesine etkileri, Yapay Zeka, İstatistik ve Analitik modeller kullanılarak incelenmektedir. Optimizasyon problemlerini çözmede literatürde sıklıkla karşılaşılan metotlar şunlardır; Performans zarfı, Lagrange çarpanları, Geometrik programlama, Lineer programlama, Dinamik programlama, Grafik metotlar, Pareto analizi, Anova analizi, Tamsayı programlama, Taguchi metodu ve Yapay sinir ağlarıdır. Optimum işleme parametrelerinin belirlenmesinde ve tahmininde en çok Yapay Sinir Ağları kullanılmış, son zamanlarda ise, deney sayısını ve dolayısıyla deney maliyetini azaltması nedeniyle Taguchi Metoduyla yapılan optimizasyon çalışmaları yoğunluk kazanmıştır.

2. Yüzey kalitesini etkileyen faktörler

Talaşlı imalat yöntemlerinde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar; iş parçası malzeme türü, kesici takım türü, kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği, oluşan ısı, soğutma sıvısı ve tezgahın konstrüksiyonu gibi faktörlerdir. Bu faktörlerden birinin değişmesi ile

*Sorumlu yazar: Adres: Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri TÜRKİYE. E-mail adres: topal@erciyes.edu.tr, Cep: +905338111894

yüzey pürüzlülüğü de değişmektedir. İşleme sırasında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen temel faktörler Şekil 1'de gösterilen balık kılçığı diyagramıyla ifade edilebilir.



Şekil 1. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen temel faktörler [1].

2.1. İşleme parametreleri

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde büyük etkiye sahip olduğu bilinen işleme parametreleri, kesme hızı, ilerleme hızı, yanal adım, talaş derinliği ve işleme tekniği olarak sıralanabilir. İşleme parametrelerinin farklı değerleri kullanılarak yapılan yüksek hızlı frezeleme sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Fallböhmer ve arkadaşları [2] kalıp üretiminde kullanılan dökme demir ve çelik alaşımları gibi sert malzemelerin yüksek hızlarda frezelenmesi sonucunda oluşan yüzey kalitesini incelemişlerdir. İşlenen yüzeyde yaklaşık sabit talaş kuvveti oluşturacak şekilde iş mili devrini ve ilerleme miktarını ayarlayıp maksimum 14000 dev/dak iş mili hızına sahip yüksek hızlı freze tezgahında, TiN, TiAlN ve TiCN kaplanmış karbür kesici takımlarla, H-13, P-20 ve dökme demir malzemelerini işlemişlerdir. Dökme demirin işlenmesinde sabit ilerleme değerinde (fz=0.5 mm/diş) düşük kesme hızlarında (2.8-10 m/dak) yüzey kalitesi kötü olmuştur. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü azalmış, Vc=750 m/dak maksimum kesme hızında Rz değeri 8.3 µm'ye düşmüştür. P20 kalıp çeliğinin 550 m/dak kesme hızında frezelenmesi sonucu Rz pürüzlülük değeri 5 µm'nin altına düşmüştür. Diğer farklı kaplanmış takımlarda da benzer sonuçları elde etmişlerdir.

Ozcelik ve Bayramoglu [3] ıslak kesim şartları altında yüksek hızlı frezelemede, iş mili hızı, ilerleme değeri, talaş kalınlığı ve talaş genişliği gibi kesme değişkenlerini kullanarak yüzey pürüzlülüğünün tahmini için istatistiksel bir model geliştirmişlerdir. Deneyleri maksimum 12000 dev/dak iş mili hızına sahip 5 eksenli yüksek hızlı CNC freze tezgahında, AISI 1040 çelik malzeme üzerinde 10 mm çapında TiAlN kaplı karbür takım kullanarak gerçekleştirmişlerdir. İş mili hızını 4000-10000 dev/dak, ilerleme hızını 640-4800 mm/dak, talaş derinliğini 0.1-0.9 mm

ve yanal ilerleme mesafesini 1-5 mm aralığından seçerek 30 adet işleme yapmışlar ve ölçümler sonucunda en düşük Ra pürüzlülük değerini 8500 dev/dak iş mili devrinde, 1320 mm/dak ilerleme hızında, 0.3 mm talaş derinliğinde 0.55 µm olarak ölçmüşlerdir. En yüksek Ra değeri ise 5500 dev/dak iş mili devrinde, 3400 mm/dak ilerleme hızında, 0.7 mm talaş derinliğinde 2.74 µm ölçülmüştür.

Vorasri ve arkadaşları [4] sert takım çeliklerinin yüksek hızda frezelenmesinde işlenen yüzeyin pürüzlülüğüne çeşitli kesme faktörlerinin etkisini araştırmak için kalıpçılıkta yaygın olarak kullanılan SKD 61 sıcak iş takım çeliği malzeme üzerinde 54 farklı yüksek hızlı frezeleme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Numuneler, 14 mm çapında karbür kesici uç ile 300-600 m/dak kesme hızı, 500-1500 mm/dak ilerleme hızı, 0.1-0.5 mm talaş kalınlığı değerleri kullanılarak işlenmiş ve pürüzlülük değerleri ANOVA yöntemiyle değerlendirilmiştir. En düşük Ra pürüzlülük değeri 0.1 mm talaş kalınlığı, 300 m/dak kesme hızı ve 500 mm/dak ilerleme değerlerinde 0.08 µm olarak elde edilmiştir. Yüksek hızda işlemede talaş kalınlığı ve ilerleme değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin kesme hızından daha fazla olduğu, düşük ilerleme değeri, düşük talaş kalınlığı ve yüksek kesme hızlarında en iyi yüzey kalitesinin elde edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Alam ve arkadaşları [5] işlenmesi zor olarak kabul edilen Ti6Al4V Titanyum alaşımının küçük çaplı takımlar kullanılarak yüksek hızda işlenmesinde değişik kesme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneyler maksimum 50000 dev/dak iş mili hızına sahip freze tezgahında, 126-252 m/dak kesme hızlarında, 10-30 µm talaş derinliklerinde, 1-5 µm/dev ilerleme hızı değerlerini kullanarak 27 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. En düşük Ra pürüzlülük değeri 189 m/dk kesme hızı, 10 µm talaş derinliği ve 1 µm/dev ilerleme hızında 0.13 µm olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak zaman alıcı ve maliyeti artırıcı taşlama ve parlatma gibi işlemlerin yüksek hızda işlemeyle giderilebileceğini belirtmişlerdir.

Urbanski ve arkadaşları [6] sertleştirilmiş AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin yüksek hızlarda, farklı freze takımı ve kesme parametreleriyle işlenmesi sonucu oluşan takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini incelemişlerdir. Deneylerde maksimum 20000 dev/dak hıza sahip CNC tezgah kullanılmıştır. Kesici takım olarak 12 mm çapında, kaplamasız, TiCN, ve TiAlCrYN kaplanmış değiştirilebilir uçlu takım ve TiAlN kaplı karbür freze kullanılmıştır. Değiştirilebilir uçlu takımla yapılan deneylerde kesme hızı 150-250 m/dk, talaş derinliği 1 mm, yanal adım 0.5 mm, diş başı ilerleme 0.1 mm/diş, TiAlN kaplı karbür freze ile yapılan deneylerde kesme hızı 250-350 m/dak aralığından alınmış diğer parametreler değiştirilmemiştir. Yüzey pürüzlülüğü R_a, 250 ve 350 m/dak kesme hızlarında ilk başlarda 1 µm'den düşük olmuş, fakat daha sonra takım aşınmasına bağlı olarak artmıştır.

Toh [7] yaptığı çalışmada sertleştirilmiş çelik malzemenin yüksek hızlarda frezelenmesi sonucunda en iyi yüzey kalitesini elde etmek için uygun takım yolunun belirlenmesini amaçlamıştır. İş parçası malzemesi olarak AISI H13 sıcak iş takım çeliği seçilmiş ve yüzeyi ön frezelemeyle işlenmiştir. Kesici takım olarak 10 mm çapında, 45° helis açılı, 6 kesici uçlu, 2.5 µm AlTiN kaplı küresel uçlu karbür freze kullanılmıştır. İş parçası yatayla 75° açı yapacak şekilde, maksimum 400 m/dak kesme hızında, 0.1 mm/diş ilerleme hızında, radyal ve eksenel talaş derinliği sabit 0.5 mm tutularak kuru şartlarda, yatay ve dikey doğrultuda, aşağı ve yukarı yönde farklı takım yolları oluşturacak şekilde işlenmiştir. En düşük pürüzlülük değerinin takımın

iş parçasıyla temas alanının en az olduğu dikey doğrultuda yukarı yönde işlemeyle elde edildiği, dikey doğrultuda aşağı yönlü işlemede pürüzlülük değerinin arttığını, aşağı yönlü yatay doğrultuda işlemeyle de yüzey pürüzlülüğünün en kötü değere ulaştığını gözlemlemiştir.

Axinte ve Dewes [8] sertleştirilmiş H13 sıcak iş takım çeliğinin yüksek hızda frezelenmesinde kesme hızı, ilerleme değeri ve iş parçası yüzey eğim açısının yüzey pürüzlülüğü, mikro yapı, mikro sertlik ve artık gerilmeler üzerindeki etkilerini Minitab programında deneysel modelleme yaparak incelemişlerdir. Deneyler maksimum 45000 dev/dak iş mili hızına sahip tezgahta, kuru şartlarda (hava), 6 mm çapında TiAlN kaplı karbür frezeyle, 0.2 mm sabit talaş derinliği ve genişliğinde, 0.05-0.1 mm/diş ilerleme değerlerinde, iki farklı (200 ve 300 m/dak) kesme hızı kullanarak, 0° ve 60° iş parçası yüzey eğim açılarında aşağı yönlü işleme metoduyla her iki açıda 4 işleme olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçülen R_a yüzey pürüzlülük değerleri 0.36 µm ile 2.18 µm arasında olmuştur. Pürüzlülük değeri, kesme hızının artması ve diş başına ilerleme değerinin azalmasıyla artma eğilimi göstermiştir. 60° açıya sahip iş parçasında oluşan yüzey pürüzlülüğü, 0° deki iş parçasında görülen takım merkezi-yüzey temasından kaynaklanan sürtünme etkisi olmadığı için daha düşük değerde olmuştur.

3. İşlem parametrelerinin optimizasyonu

Bir sistemin veya sürecin işleyişini belirli bir amaç doğrultusunda en iyi olacak şekilde düzenleme işlemi olan optimizasyon, özellikle imalat sektöründe üretilen parçaların boyut tamlığı, yüzey kalitesi, işleme zamanı, üretim maliyeti, iş gücü sarfiyatı gibi unsurları etkileyen kontrol edilebilen parametrelerin veya girdi faktörlerinin, belirlenen hedefler doğrultusunda minimize veya maksimize edilmesinde önemlidir ve değişik yöntemlerle yapılabilen matematiksel bir programlama terimidir.

Üretilen parçaların yüzey kalitesini etkileyen faktörlerin çok farklı optimizasyon yöntemleriyle değerlendirilmesine karşılık, yüzey pürüzlülüğünün en düşük değerini elde etmek için optimum işleme parametrelerini belirlemede ve oluşacak yüzey pürüzlülüğü değerini tahmin etmede Yapay Sinir Ağları kullanılmış, son zamanlarda ise Taguchi Metoduyla yapılan çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Bu bağlamda aşağıda, yüksek hızlı işleme teknolojisi kullanarak frezelenen yüzeylerin kalitesini artırmaya yönelik yapılan güncel optimizasyon çalışmaları ve elde edilen başarı oranları incelenmiştir.

3.1. Yapay sinir ağları ile optimizasyon

İnsan beyninin çalışma prensibinden esinlenerek geliştirilen ve beynin işlevlerini belirli bir yazılım aracılığı ile gerçekleştirmeye çalışan mantıksal bir programlama tekniği olan Yapay Sinir Ağları (YSA), imalat sektöründe de, frezelenen parçaların yüzey pürüzlülük değerini tahmin etmede ve kalitesini artırmada sıklıkla tercih edilmektedir. Farklı işleme parametreleri ile elde edilen pürüzlülük değerlerinin farklı ağ mimarilerine eğitilmesiyle yapılan tahmin ve optimizasyon çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Liu ve arkadaşları [9] yüksek hızlı işlemede kesme parametreleriyle yüzey kalitesi arasındaki ilişkiyi analiz ve tahmin eden bir yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. Matlab programında

giriş parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme değeri, eksenel ve radyal talaş kalınlığı, çıkış parametreleri olarak ise frezelemeden sonra ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri alınarak üç katmanlı model tasarlamışlardır. Deneyler 12000 dev/dak hıza sahip üç eksenli tezgahta, soğutucu kullanılmadan, üst kısmı yarım silindir şeklindeki TC4 Titanyum alaşımı numuneler üzerinde, 6 mm çapında TiCN kaplı karbür takım ile talaş kaldırılarak gerçekleştirilmiştir. İşleme parametreleri olarak, kesme hızı 119-280 m/dak, ilerleme hızı 0.01-0.05 mm/diş, talaş kalınlığı 0.008-0.072 mm ve talaş genişliği için 0.039-0.361 mm aralığından beş farklı değer alınmış ve toplamda 32 frezeleme işlemi yapılmıştır. İki gizli katman ve dokuz sinir hücresiyle oluşturulan model üzerinde farklı parametreler girilerek tahmin edilen pürüzlülük değerleri ile test edilen değerler birbirine çok yakın çıkmıştır. Kesme hızının artmasıyla pürüzlülük değeri önemli derecede azalmış ve 250 m/dak hızında en düşük değere ulaşmıştır. Talaş genişliğinin pürüzlülüğe etkisinin talaş derinliğine göre az olduğu, 0.2 mm talaş derinliğinde, ilerleme değerinin 0.02 mm/diş'ten 0.03 mm/diş değerine yükselmesiyle en iyi yüzey kalitesinin oluştuğu, 0.04 mm/diş değerini geçtikten sonra ise takım ucu aşınmasının artmasıyla pürüzlülüğün arttığı gözlemlenmiştir.

Vivancos ve arkadaşları [10] sertleştirilmiş DIN 1.2344 çeliğinin yüksek hızda frezelenmesinde yüzey kalitesini etkileyen kesme parametrelerinin optimizasyonunu yapmak için matematiksel bir modelleme geliştirmişlerdir. Deneyler maksimum 18000 dev/dak hıza sahip üç eksenli tezgahta, kuru işleme şartlarında, 6 mm çapında AlTiN kaplı karbür freze takımla, eş yönlü ve zıt yönlü kesme metodu kullanarak yarım silindir şeklindeki 28 parça üzerinde yapılmıştır. Her 8 parça işlendikten sonra takım değiştirilmiştir. Kesme hızı 150-250 m/dak, ilerleme değeri 0.02-0.06 mm/diş, talaş derinliği ve talaş genişliği ise 0.1-0.3 mm aralığından seçilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü silindirik yüzey üzerinde 7 farklı açıdan alınan değerlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Talaş genişliği arttıkça ortalama pürüzlülük değeri R_a artmış ve en iyi yüzey kalitesi (R_a=0.2 µm) zıt yönlü kesme türünün uygulandığı 250 m/dak kesme hızı, 0.02 mm/diş ilerleme değeri ve 0.1 mm talaş derinliğinde elde edilmiştir.

Kasim ve arkadaşları [11], İnconel 718 alaşımının minimum soğutma sıvısı (MQL) kullanarak yüksek hızlarda frezelenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliğinin etkilerini araştırmışlardır. Kesme hızını 100, 120 ve 140 m/dak, ilerleme oranını 0.1, 0.15 ve 0.2 mm/diş, talaş derinliğini 0.5, 0.75 ve 1 mm, yanal adım değerini 0.2, 1 ve 1.8 mm değerinde alıp 29 adet deney gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde 10 mm çapında TiAlN ve AlCrN kaplı değiştirilebilir uçlu karbür freze takımı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri frezeleme yönüne paralel olacak şekilde farklı noktalardan en az 9 adet ölçüm alınarak yapılmış, elde edilen değerler 0.173 µm ile 0.3 µm arasında olmuştur. En düşük pürüzlülük değerini elde etmek için belirlenen optimum kesme parametreleri kesme hızı için 135.92 m/dak, ilerleme oranı için 0.1 mm/diş, talaş derinliği için 0.55 mm ve yanal adım değeri için 1.38 mm belirlenmiş ve bu değerlerle yapılan frezeleme sonunda 0.117 µm pürüzlülük değeri ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünü en çok yanal adım ve ilerleme oranının etkilediğini gözlemlemişlerdir. Deneysel çalışmalarda elde edilen ölçümler tahmin edilen pürüzlülük değerlerinden %3'lük bir sapma göstermiştir.

Thangarasu ve Sivasubramanian [12] yaptıkları çalışmada, yüksek hızlı frezeleme teknolojisinde kesme parametrelerini, en iyi yüzey kalitesi ve en yüksek talaş kaldırma oranını elde etmek için

optimize etmişlerdir. Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 304 paslanmaz çelik, kesici takım olarak 12 mm çapında düz ve küresel uçlu freze takımı kullanmışlardır. Deney tasarımını L27 ortogonal matris kullanarak oluşturmuşlardır. Kesme hızını 3000,7500 ve 12000 dev/dak, ilerleme hızını 600, 1200 ve 1800 mm/san, talaş derinliğini 0.1, 0.2 ve 0.3 mm değerlerinde alarak deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonunda en düşük pürüzlülük değerini 7500 dev/dak kesme hızı, 600 mm/san ilerleme hızı ve 0.2 mm talaş derinliğinde 0.002 µm olarak ölçmüşlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün artan ilerleme hızı ve talaş derinliğiyle arttığını, kesme hızının artmasıyla da azaldığını gözlemlemişlerdir.

Xiuli ve arkadaşları [13] 7050-T7451 Alüminyum alaşımının yüksek hızlarda farklı işleme şartları altında frezelenmesinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini incelemiş, istenilen yüzey kalitesi ve maksimum talaş kaldırma oranı için optimizasyon çalışması yapmışlardır. Kesme hızı değerini 1000-1500 m/dak, talaş kalınlığını 0.5-2 mm, talaş genişliğini 4-16 mm, ilerleme hızını 600-1800 mm/dak aralığından seçerek, 20, 32 ve 100 mm çapındaki takımlarla 16 farklı işleme gerçekleştirmişlerdir. Yüksek kesme hızında (1200 m/dak) düşük pürüzlülük değerinin oluştuğunu (Ra=0.198 µm), farklı takımlarla işlendiğinde dahi kesme hızı arttıkça pürüzlülük değerinin azaldığını, ilerleme hızının artmasıyla pürüzlülük değerinin de arttığını, talaş genişliğinin etkisinin fazla olmadığını gözlemlemişlerdir. Maple programında bir model oluşturmuşlar ve yapılan deneylerden elde edilen değerlerle paralel sonuçlar elde etmişlerdir.

Lee ve arkadaşları [14] yüksek hızda frezelemeyle işlenen yüzeylerin kalitesini incelemek için STD 11 malzemesini, 10 mm çapında tungsten karbür freze takımıyla, soğutma sıvısı kullanmadan, 10.000-15.000 dev/dak iş mili devri, 0.02-0.05 mm/diş ilerleme hızı, 0.1-0.5 mm talaş kalınlığı ve sabit 10 mm talaş genişliği değerlerini kullanarak 9 farklı şekilde frezelemişlerdir. En iyi yüzey kalitesi (R_a=0.32 µm) 10.000 dev/dak iş mili hızı, 0.05 mm/diş ilerleme hızı ve 0.3 mm talaş kalınlığında elde edilmiştir. Aynı değerler için tahmin edilen R_a değeri 0.26 µm olmuştur.

4.1. Taguchi metodu ile optimizasyon

Literatürde araştırmacılar tarafından en çok kullanılan deney tasarım yöntemlerinden biri olan Taguchi metodu, parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş deney tasarım ve optimizasyon tekniğidir. Kalite güvence sistemleri kapsamında toplanan verilerin istatistiksel analizinde yaygın olarak kullanılan Taguchi deney tasarımı, farklı parametrelerin farklı seviyeleri arasından optimum kombinasyonun belirlenmesinde oldukça yararlı bir yöntemdir. Farklı parametre seviyeleri ve ortogonal dizimler kullanılarak yapılan Taguchi optimizasyon çalışmaları ve elde edilen başarı oranları aşağıda özetlenmiştir.

Hamdan ve arkadaşları [15] AISI 304 paslanmaz çeliğinin yüksek hızlarda frezelenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini etkileyen kesme parametrelerini Taguchi tekniği kullanarak optimize etmişlerdir. 4 faktör (kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği ve soğutucu türü) ve her faktöre ait 3 seviyeden oluşan L9 ortogonal dizime yerleştirilen deney kombinasyonları, 12 mm çapında kaplanmış karbür freze kullanarak, maksimum 20000 dev/dak hıza sahip freze tezgahında uygulanmıştır. Deney sonuçları ‘en düşük en iyi’ yaklaşımıyla analiz edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne en fazla etkiyi % 80,8 oranında ilerleme hızı, % 8.2 kesme hızı,

%7.5 talaş derinliği ve %3.3 soğutucu türü yapmıştır. Optimum parametre seviyeleri kesme hızı için 350 m/dak, ilerleme değeri için 0.05 mm/diş, talaş derinliği için 0.5 mm ve minimum soğutma sıvısı kullanımı (A2B1C1D3) olarak belirlenip doğrulama deneyi yapılmış, son pürüzlülük değeri 0.44 µm olarak ölçülmüştür. Taguchi optimizasyon tekniğiyle yüzey kalitesinde % 41.3 oranında iyileşme sağlamışlardır.

Park ve arkadaşları [16] ultra yüksek hızda (40000 dev/dak) frezelemede yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve kesme sıcaklığının ölçülerek optimum kesme şartlarının belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Kesme hızı, ilerleme değeri, talaş derinliği, hava basıncı ve yağlayıcı akışının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini Minitab programını kullanarak analiz etmişlerdir. En büyük etkiyi ilerleme değeri daha sonra yağlayıcı akışı ve iş mili hızı gösterirken talaş derinliği ve hava basıncı yüzey pürüzlülüğünü fazla etkilememiştir. Kesici uç sayısı ve takım tutucu tipi sıcaklık ve pürüzlülüğü etkilememiş, kesici takımın geometrisi ve malzemesi ise çok az etkilemiştir. Yüzey pürüzlülüğü en fazla 0.89 µm, en az 0.79 µm olarak ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda üretilen yüzey modelinde amaçlanan 0.1 µm R_a pürüzlülük değeri için optimum şartlar, 28.485 dev/dak iş mili hızı, 300 mm/dak ilerleme değeri, 6 mm talaş derinliği ve 6 L/dk soğutucu akışı olarak belirlenmiştir.

Ghani ve arkadaşları [17] AISI H13 çeliğinin TiN kaplı değiştirilebilir uçlu takımla yüksek hızlarda frezelenmesinde kesme parametrelerinin, düşük kesme kuvveti ve düşük yüzey pürüzlülüğü için Taguchi metoduyla optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Deneylerde her biri 3 seviyeden oluşan kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş kalınlığı ve 3 mm sabit yanal adım değeri kullanarak L27 deney tasarımı oluşturmuşlardır. Deneylerin sonucunda yapılan analizlere göre en iyi yüzey kalitesi için yüksek kesme hızı (355 m/dak), düşük ilerleme hızı (0.1 mm/diş) ve düşük talaş derinliğinin (0.5 mm) gerektiği sonuçlarına varmışlardır.

Thangarasu ve Sivasubramanian [18] Alüminyum alaşımının yüksek hızlarda frezelenmesinde yüzey kalitesi ve maksimum talaş hacmi oluşumu üzerinde etkili faktörleri Taguchi metodu kullanarak incelemişlerdir. Deney faktörlerini, her birisinden üçer seviyede, kesme hızı, ilerleme hızı, talaş kalınlığı ve kesici uç türü olarak belirlemiş, deney tasarımını L27 ortogonal matris kullanarak oluşturmuşlardır. Yapılan analizler sonucunda yüzey pürüzlülüğünün talaş derinliği ve ilerleme hızından daha fazla etkilendiği, kesme hızı ve kesici takım malzemesinden fazla etkilenmediğini belirtmişlerdir. 11280 dev/dak iş mili hızı, 0.6 mm talaş derinliği ve 1430 mm/s ilerleme hızında en iyi yüzey kalitesine ve yüksek talaş hacmine ulaşmışlardır.

Zhang ve arkadaşları [19] alüminyum alaşımının frezelenmesinde kontrol faktörleri olan kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin, gürültü faktörleri olan sıcaklık ve takım aşınmasının, kalite değişkeni olan yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini Taguchi metoduyla incelemiş ve optimize etmişlerdir. Üç faktörlü üç seviyeli deney için L9 tasarım matrisini seçmişlerdir. Yapılan Anova analizi sonucunda yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili faktörün kesme hızı ve ilerleme hızının olduğunu, en düşük pürüzlülük değerinin 3500 dev/dak iş mili hızında oluştuğunu, talaş derinliği etkisinin çok az olmakla beraber düşük talaş derinliğinin pürüzlülük değerini düşürdüğü sonucuna varmışlardır. İlerleme hızının ikinci seviyesi (762 mm/dak), kesme hızının üçüncü seviyesi (3500 dev/dak), talaş derinliğinin birinci seviyesi (1.52 mm) optimum parametre seviyeleri olarak belirlenmiş ve 15 kere tekrarlanan doğrulama deneyleri sonucunda

ortalama pürüzlülük değeri, ilk yapılan deneylerde elde edilen en düşük R_a değerine (0.6 µm) çok yakın değerde (0.58 µm) bulunmuştur. Sonuç olarak Taguchi metodunun deney maliyetini azaltmada ve yüzey kalitesi için optimum parametre seviyelerinin bulunmasında en etkili yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Gopalsamy ve arkadaşları [20] sertleştirilmiş takım çeliğinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrünü etkileyen kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği ve yanal adım değerlerini Taguchi metoduyla optimize etmişlerdir. 4 faktörlü 3 seviyeli L18'lik deney tasarımında deneyler, hataları azaltmak için üçer kez tekrarlı yapılmıştır. Takım aşınması 0.1 mm olduğunda işleme durdurulup 10 mm çapındaki takım yenisiyle değiştirilmiştir. Yapılan analizler sonunda yüzey kalitesini etkileyen en önemli faktör kesme hızı olmuştur. Optimum parametreler, 204 m/dak kesme hızı, 0.2 mm/diş ilerleme değeri, 0.2 mm yanal adım ve 0.2 mm talaş derinliği olarak belirlenmiştir.

Kumar ve arkadaşları [21] titanyum alaşımının frezelenmesinde işleme parametrelerinin yüzey kalitesi açısından Taguchi yöntemiyle optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Dört farklı parametreye (kesme hızı, ilerleme hızı, talaş kalınlığı, takım türü) ait üç seviye ile L24 ortogonal dizim seçilerek gerçekleştirilen deneylerin sonucu 'en düşük-en iyi' yaklaşımıyla analiz edilmiş ve Anova tabloları oluşturulmuştur. Yüzey kalitesine en büyük etkiyi %30.3 oranla iş mili devri ve %29.93 oranla takım türü yapmıştır. Optimum seviyeyi A3B1C1D3 olarak, yani yüksek iş mili devri, düşük ilerleme hızı, düşük talaş kalınlığı ve karbür takım kullanımı olarak belirlemişlerdir.

5. Sonuçlar

Yukarıda özetlenen çalışmalara ışığında işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri genel olarak incelendiğinde, kesme hızının artmasıyla pürüzlülük değerinin azaldığı, yüksek iş mili devri veya kesme hızlarında minimum pürüzlülük değerlerinin elde edildiği görülmüştür. İlerleme hızının ve yanal adım miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı, düşük talaş derinliği değerlerinde daha iyi yüzey kalitesinin oluştuğu sonuçlarına varılmıştır. Geleneksel frezeleme yöntemiyle de elde edilebilecek bu sonuçlar yüksek hızlı işleme teknolojisiyle daha üst noktalara taşınmış ve kısa işleme süresinde daha iyi yüzey kaliteleri elde edilmiştir.

Üretim aşamasında kullanılan malzemeler ve bu malzemeleri işlemede kullanılan kesici takım özellikleri çok farklı oldukları için en iyi yüzeyi elde etmede genel bir parametre seviyesi ortaya konulamamaktadır. Bu nedenle farklı malzeme ve farklı kesici takımlarla yapılan frezeleme işlemlerinde en iyi yüzeyi elde etmek için belirlenen optimum parametre seviyelerinin çok farklı olduğu görülmüştür. Bu geniş aralık içerisinden bir parametrenin hangi seviyesinin en iyi sonucu vereceğini bulmak için yüzlerce deneyin yapılması gerektiği düşünüldüğünde, geliştirilen optimizasyon tekniklerinin maliyet, zaman, güvenirlik ve uygulanabilirlik açısından imalat sektörüne büyük kolaylık sağlayacağı söylenebilir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde, metal malzemelerin farklı kesme parametreleriyle

frezelenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin Yapay Sinir Ağlarıyla veya Taguchi metodu ile değerlendirilip optimum seviyelerinin belirlenmesinde ve oluşacak yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesinde oldukça başarılı teknikler olduğu görülmektedir. Yapay sinir ağlarının farklı bir parametre seviyesinin oluşturacağı pürüzlülük değerini başarılı bir şekilde tahmin etmesi isteniyorsa oluşturulan yapay sinir ağı modelinin de iyi eğitilmesi gerekmektedir. Bu ise, çalışmalarda da gözlemlendiği gibi veri sayısının dolayısıyla deney sayısının artırılmasıyla sağlanabilir. Bu noktada Taguchi optimizasyon tekniğinin yapay sinir ağlarına göre daha avantajlı olduğu söylenebilir. Fakat Taguchi tekniğinde elde edilen model üzerinden farklı değerlere sahip parametrelerin kullanılmasıyla elde edilebilecek yüzey pürüzlülüğü hakkında herhangi bir çıkarım yapma imkanı bulunmamaktadır.

Yukarıda değinilen husus göz önüne alınarak, gelecekte yapılacak muhtemel çalışmalarda yüksek dereceli bir ortogonal dizi kullanılarak yapılan yüksek hızlı frezeleme işlemi ve ölçülen pürüzlülük değerleri önce Taguchi tekniği ile değerlendirilebilir, optimum parametre seviyeleri elde edilip doğrulama deneyi ile başarı oranı araştırılabilir. Sonrasında ise aynı veriler oluşturulan mimari ağ yapısına öğretilerek Taguchi tekniğinde bulunan optimum parametre seviyeleri bu ağ modelinde giriş grubu olarak kullanılıp yaptığı tahmini pürüzlülük değerinin daha önce yapılan doğrulama deneylerinde elde edilen pürüzlülük değerine hangi oranda yaklaştığı üzerine bir çalışma yapılabilir. Böylece, Yapay sinir ağları ve Taguchi tekniğinin kombinasyonuyla literatüre farklı bir bakış açısı getirilmiş olacaktır.

Referanslar

[1] Hamamcı, M., 2012. Yüksek Hızlı İşlemede Kesme Parametrelerinin Yüzey Kalitesi Açısından Optimizasyonu. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 140 s.

[2] Fallböhmer, P., Rodriguez, C. A., Özel. T., Altan, T., 2000. High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing. Journal of Materials Processing Technology, 98: 104-115.

[3] Ozcelik, B., Bayramoglu, M., 2006. The statistical modeling of surface roughness in high-speed flat end milling. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46: 1395-1402.

[4] Vorasri, M., Jirapattarasilp, K., Kaewkuekool, S., 2011. The effect of high-speed milling on surface roughness of hardened tool steel. World Academy of Science, Engineering and Technology, 59: 469-472.

[5] Alam, S., Amin, A. N., Patwari, A. U., 2010. Surface texture investigation in high speed flat end milling of Ti-6Al-4V, January 9-10,2010. International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Dhaka, Bangladesh.

[6] Urbanski, J. P., Koshy, P., Dewes, R. C., Aspinwall, D. K., 2000. High speed machining of moulds and dies for net shape manufacture. Materials and Design, 21 : 395-402.

[7] Toh, C. K., 2004. Surface topography analysis in high speed finish milling inclined hardened steel. Precision Engineering, 28 : 386-398.

[8] Axinte, D. A., Dewes, R. C., 2002. Surface integrity of hot work tool steel after high speed milling-experimental data and empirical models. Journal of Material Processing Technology, 127: 325-335.

[9] Liu, Z., Zhang, D., Qi, H., 2006. Surface roughness modeling of high speed machining TC4 based on artificial neural network method. Systems and Control in Aerospace and Astronautics, 1st International Symposium, 920-924.
[10] Vivancos, J., Luis, C. J., Costa, L., Ortiz, J. A., 2004. Optimal machining parameters selection in high speed milling of hardened steels for injection moulds. Journal of Materials Processing Technology, 155–156: 1505-1512.
[11] Kasim, M. S., Che Haron, C. H., Ghani, J.A., Sulaiman, M.A., 2013. Prediction surface roughness in high-speed milling of inconel 718 under mql using rsm method. Middle-East Journal of Scientific Research, 13 (3): 264-272.
[12] Thangarasu, V. S., Sivasubramanian, R., 2012. High speed cnc machining of aısı 304 stainless steel; optimization of process parameters. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 1 (3): 9-21.
[13] Xiuli, F., Yongzhi, P., Yi, W., Xing, A., 2010. Research on predictive model surface roughness in high speed milling for aluminum alloy 7050-T7451. International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering: 186-189.
[14] Lee, K. Y., Kang, M. C., Jeong, Y. H., Lee, D. W., Kim, J. S., 2001. Simulation of surface roughness and profile in high-speed end milling. Journal of Material Processing Technology, 113: 410-415.
[15] Hamdan, A., Sarhan, A. A. D., Hamdi, M., 2011. An optimization method of the machining parameters in high-speed machining of stainless steel using coated carbide tool for best surface finish. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 58: 81-91.
[16] Park, S. J., Kim, D. H., Lee, C. M., 2012. A study determining the optimal machining conditions for a 40,000 rpm ultra high speed spindle system. Precision Engineering, 36: 451-457.
[17] Ghani, J. A., Choudhury, I. A., Hassan, H. H., 2004. Application of taguchi method in the optimization of end milling parameters. Journal of Materials Processing Technology, 145 :84-92.
[18] Thangarasu, V. S., Sivasubramanian, R., 2012. Study of high speed cnc milling of aluminium: optimization of parameters using taguchi based rsm. European Journal of Scientific Research, 74 (3) : 350-363.
[19] Zhang, J. Z., Chen, J. C., Kirby, E. D., 2007. Surface roughness optimization in an end-milling operation using the taguchi design method. Journal of Materials Processing Technology, 184 :233-239.
[20] Gopalsamy, B. M., Mondal, B., Ghosh, S., 2009. Taguchi method and anova: an approach for process parameters optimization of hard machining while machining hardened steel. Journal of Scienntific Industrial Research, 68: 686-695.
[21] Kumar, J. P., Thirumurugan, K., 2012. Optimization of machining parameters for milling titanium using taguchi method. International Journal of Advanced Engineering Technology, 3 (2): 108-113.