

CNC Frezelemede YüzeY Pürüzlülüğüne Etki Eden Parametrelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi

Mathematically Modeling Parameters Influencing Surface Roughness in CNC Milling

Engin NAS^a, GürcaN SAMTAŞ^{a*}, Halil DEMİR^b

^aDüzce Üniversitesi, Cumayeri Meslek Yüksekokulu, Endüstriyel Kalıpcılık Bölümü, 81700, Cumayeri, Düzce

^bKarabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük

Geliş Tarihi/Received : 08.08.2011, Kabul Tarihi/Accepted : 17.11.2011

ÖZET

Bu çalışmada; AISI 1050 çeliği CNC freze tezgâhında yüzeY frezeleme işlemine tabi tutularak, yüzeY pürüzlülüğünü etkileyen, kesme hızı, ilerleme hızı, kesici uç sayısı ve kesme derinliği gibi parametreler deneysel olarak araştırılmıştır. Parametreler için farklı kombinasyonlar oluşturularak dört farklı deney yapılmıştır. Yapılan deneylerde çelik ve küresel grafitli dökme demirlerin işlenmesinde kullanılan PVD yöntemiyle kaplanmış kesici takımlar kullanılmıştır. Kesici takımlarla beraber belirlenen parametreler kullanılarak elde edilen yüzeY pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve ölçülen yüzeY pürüzlülük değerleri ile parametreler arası ilişkiler eğri uydurma algoritmaları kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir. Matematiksel modeller belirleme katsayılarına (R^2) göre değerlendirilmiş, en ideal olanları teorik çalışmalar için önerilmiştir. Çalışmanın sonucunda; farklı parametre değerlerine göre yüzeY pürüzlülüğündeki değişimlerden bahsedilmiş ve her bir deney için önerilen matematiksel modellere maddeler halinde yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler : *YüzeY pürüzlülüğü, Kesme parametreleri, Matematiksel model, Eğri uydurma.*

ABSTRACT

In this study, steel AISI 1050 is subjected to process of face milling in CNC milling machine and such parameters as cutting speed, feed rate, cutting tip, depth of cut influencing the surface roughness are investigated experimentally. Four different experiments are conducted by creating different combinations for parameters. In conducted experiments, cutting tools, which are coated by PVD method used in forcing steel and spheroidal graphite cast iron are used. Surface roughness values, which are obtained by using specified parameters with cutting tools, are measured and correlation between measured surface roughness values and parameters is modeled mathematically by using curve fitting algorithm. Mathematical models are evaluated according to coefficients of determination (R^2) and the most ideal one is suggested for theoretical works. Mathematical models, which are proposed for each experiment, are stipulated.

Keywords: *Surface roughness, Cutting parameters, Mathematical model, Curve fitting.*

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : gurcansamtas@duzce.edu.tr (G. Samtaş)

1. GİRİŞ

Kesici takımdan veya üretim sürecindeki diğer problemlerden kaynaklanan yüzey düzensizlikleri pürüzlülük olarak tanımlanır. Pürüzlülük çapraz ilerleme izleri ile diğer düzensizlikleri kapsar. Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometri, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir. Buna kalite denilmektedir. Bu kalite; yüzey düzgünlüğü, ölçü tamlığı ve geometrik doğruluk olarak değerlendirilir. Parçanın yüzey doğruluğunu kapsayan yüzey kalitesi, talaş kaldırma işleminin belirlenmesini yönlendiren en önemli özelliğidir. Ölçü tamlığı, parçanın gerçek boyutları arasında müsaade edilen sapmalardır. Bu sapmalar boyut toleransları ile ifade edilir. Boyut toleransları imalat kalitesine ve boyutun büyüklüğüne göre tayin edilirler. Geometrik doğruluk, müsaade edilen şekil ve konum sapmalarını içerir. Bunlar ideal silindirik şekle göre sapmalar, ideal yüzeye göre sapmalar ve eksensel sapmalar olmak üzere üç gruba ayrılır (Korucu, 1996). Tedrici takım aşınması, kesici takım üzerinde tedrici aşınma talaş yüzeyi ve yan yüzey olmak üzere iki bölgede görülür ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden etmenlerden bir tanesidir. Talaş yüzeyindeki aşınma “krater aşınması” ve yan yüzeydeki aşınma da “yan yüzey (yanak) aşınması” olarak isimlendirilir. Krater aşınması, kesici takım talaş yüzeyinde talaşın hareketiyle oluşan içbükey alandır. Krater aşınmasının büyüklüğü, bu alanın derinliği ve alanı ölçülerek belirlenir. Yan yüzey aşınması ise yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile kesici takım yan yüzeyinin sürtünmesiyle oluşur. Yan yüzey aşınması bu aşınma bandının genişliği ile ölçülür. Kesici takımın iş parçası orijinal yüzeyi ile temasta olan yan yüzeyinde çoğunlukla daha fazla bir aşınma görülür. Çentik aşınması olarak adlandırılan bu aşınmanın sebebi iş parçası yüzeyinin soğuk haddeleme veya önceki işlemlerden dolayı sertleşmiş olması, dökümden kalan sert malzemeler ve diğer nedenlerdir (Çiftçi, 2005).

Göloğlu ve Arslan iş mili devri, ilerleme, talaş derinliği ve kesici yanal ilerlemesi ile spiral takım yolu gibi farklı kesme parametreleri kullanarak cep imalatı sonrası elde edilebilecek yüzey pürüzlülüğünü Genetik Programlama (GP) ile modellemiştirler. Farklı genetik

işlemci değerleri ile değişik deneyler yapmışlar ve geliştirdikleri modeller ile elde ettikleri yüzey pürüzlülük değerinde % 98 oranında başarıya ulaşmışlardır. Elde edilen sonuçlar, GP ile yapılan deneysel çalışmaların imalata önemli katkı sağlayacağını göstermiştir (Göloğlu ve Arslan, 2006). Brezocnik ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada parmak frezeleme işleminde 25,4 mm boyunda 6061 alüminyum malzeme işlenerek elde edilen yüzeylerin yüzey pürüzlülüğünü genetik programlama ile tahmin etmişlerdir. Çalışmada devir sayısı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve titreşimler bağımsız parametreler olarak kullanılmıştır. Kullanılan genetik program ile yüzey pürüzlülüğü için farklı modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller doğrultusunda yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli faktörün ilerleme hızı olduğu ve titreşimin yüzey pürüzlülüğünü artırdığı görüşü doğrulanmıştır (Brezocnik v.d., 2004). Kahraman'ın yaptığı çalışmada AISI 4140 çeliğinin tornalama işleminde merkezi kompozit tasarım (CCD-Central Composite Design) ile tepki yüzey yöntemi (RSM-Response Surface Methodology) regresyon modellemeyi kullanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme parametreleri arasındaki ilişkinin analizi ve tahmini için 2. dereceden bir denklem geliştirmiştir. Geliştirilen denklemde kesme parametreleri olarak devir sayısı, ilerleme hızı, kesme derinliği ile bir model oluşturulmuştur. Bu model doğrultusunda yapılan istatistik analizin sonucu olarak yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olan en önemli etkinin kesme hızı ve ilerleme hızı olduğu tespit edilmiştir. Geliştirilen kesme modeli, optimum kesme şartlarının belirlenmesinde kullanılmıştır (Kahraman, 2009). Özel ve Karpat, AISI H-13 çeliğinin CBN (Kübik Bor Nütrür) takımlarla tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve yanak aşınması üzerine etkisini regresyon analizi ile incelemiştirler. İlerleme oranının azalmasıyla en iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiğini ve kesme hızının artmasıyla takım aşınmasının arttığını tespit etmişlerdir (Özel ve Karpat, 2005). Zain ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada yapay sinir ağı modeli kullanarak frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreleri tahmin etmişlerdir. Yapılan çalışmada elde edilen analiz sonuçları; en iyi yüzey pürüzlülüğü değerinin yüksek devir,

düşük ilerleme ve radyal talaş açısı ile elde edilebileceğini göstermiştir (Zain v.d., 2010).

Yang ve arkadaşlarının, yarı iletken olarak iyon implantasyon elektron çubuklarında kullanılan yüksek saflıktaki grafit iş parçasının frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yapılan deneylerde kesme parametreleri olarak 160, 240 m/dak kesme hızı, 1.5, 4.5 mm kesme derinliği ve 0.1, 0.2 mm/dev ilerleme hızı kullanılmıştır. Kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün tahminine yönelik regresyon analizi yapılmıştır. Ayrıca, Varyans analizi ile parametreler arasındaki ilişki incelenerek yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli faktörün ilerleme hızı olduğu tespit edilmiştir (Yang v.d., 2009). Özler ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve ısıtma sıcaklıkları gibi belirlenen farklı kesme şartları altında östenitik manganlı çeliği işleyip, bitmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerlerini ölçmüşlerdir. Elde ettikleri verileri kullanarak regresyon analizi ile yüzey pürüzlülük değerini matematiksel olarak ifade etmişlerdir. Çalışma sonunda analiz ile elde edilen değerlerin deneysel değerlere yakın olduğu tespit edilmiştir (Özler v.d., 2000). Güllü ve Özdemir yaptıkları çalışmada; Ç1050 malzeme üzerinden farklı kesme hızları, ilerlemeler ve kesme derinlikleri gibi kesme parametrelerini kullanarak talaş kaldırmışlardır. İşlenen parça yüzeyinden ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerini AXUM istatistik programında kesme parametrelerine göre ayrı ayrı regresyon analizine tabi tutmuşlardır. Çalışmada, kesme derinliği ve ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirlenmiştir (Güllü ve Özdemir, 2003).

Asiltürk ve Çunkaş'ın yaptığı çalışmada; devir sayısı, ilerleme ve kesme derinliği gibi farklı kesme parametreleri kullanarak tormalama süresince yüzey pürüzlülüğü değerlerini ölçmüşlerdir. Deney tasarımı için, deneysel verilerin güvenilirliği ve güven sınırını artırmak için yapay sinir ağları ve çoklu regresyon analizi kullanmışlardır. Bu analizle AISI 1040 çeliğinin yüzey pürüzlülük değerleri için model oluşturulmuştur. Çoklu regresyon ve yapay sinir ağı modelleri, istatistik yöntemler kullanılarak mukayese edilmiştir. Analizler sonucunda, yapay sinir ağı modeli çoklu regresyon analiziyle mukayese edildiğinde, daha yüksek

hassasiyette yüzey pürüzlülüğünü tahmin ettiği görülmüştür (Asiltürk ve Çunkaş, 2011). Öktem ve arkadaşlarının AISI 1040 çeliğinin, ıslak kesme şartlarında düz uçlu karbür takımlarla frezelenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini yapay sinir ağı ile matematiksel model oluşturularak incelemişlerdir. Yapay sinir ağı (YSA) ile oluşturulan matematiksel model MATLAB programı kullanılarak analiz edilmiştir (Öktem ve Erzincanlı, 2010). Asiltürk ve arkadaşlarının Karbür kesici kullanarak sertleştirilmiş AISI 1040 çelik malzemenin üç farklı kesme hızı (220, 260, 300 m/dak.), ilerleme hızı (0.15, 0.2, 0.3 mm/diş) ve kesme derinliklerinde (0.3, 0.5, 0.8 mm) CNC freze tezgahında işleyerek yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerini elde etmişlerdir. Ra değerlerine göre lineer, ikinci dereceden ve üstel regresyon modelleri uygulanarak en uygun model tespit edilmiştir. Optimum kesme şartları ve yüzey kalitesine etki eden kesme faktörleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için, varyans analizi kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda en iyi tahmini ikinci dereceden regresyon modeli vermiştir. Deneylerde kullanılan bu model ile kesme parametrelerinden ilerleme hızının, yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametre olduğu tespit edilmiştir (Asiltürk ve Demirci, 2010). Özel ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise; seramik silici takma uçlar kullanarak AISI D2 takım çeliğinin tormalanmasında takım yanak aşınması ve bitmiş yüzey incelenmiştir. Takım yanak aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün tahmini için çoklu regresyon modelleri ve yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda; matematiksel modellerden elde edilen veriler ile deneysel veriler kıyaslandığında, takım aşınması ve yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmini için oluşturulan modellerin uygun olduğu görülmüştür (Özel v.d., 2007). Bouacha ve arkadaşlarının çalışmalarında; 64 HRC sertliğinde AISI 52100 dişli çeliğini CBN ile tormalayarak kesme hızı ve iş parçası sertliğinin değişimine karşı takım aşınması ve kesme kuvvetlerinin davranışlarını incelemişlerdir. İkinci olarak farklı değerlerde parametreler (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği) kullanılarak elde ettikleri deneysel verileri tepki yüzey yöntemi (RSM) ile analizini ve modellemesini yapmışlardır. Varyans (ANOVA) analizi ile bu parametrelerin birbiri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda yüzey pürüzlülüğüne etki

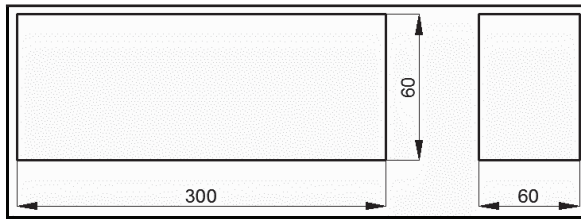
eden önemli parametrelerin ilerleme hızı ve kesme hızının olduğunu tespit etmişlerdir (Bouacha v.d., 2010).

Bu çalışmada; CNC freze tezgâhında AISI 1050 çeliğinin yüzeyinden talaş kaldırılarak, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametreleri deneysel olarak araştırılmıştır. Kesme hızı, ilerleme hızı, kesici uç sayısı ve kesme derinliği gibi kesme parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler için farklı kombinasyonlar oluşturularak dört farklı deney yapılmıştır. Belirlenen parametreler ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiler çeşitli eğri uygulama algoritmaları kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir. Matematiksel modeller belirleme katsayılarına (R^2) göre değerlendirilerek, en ideal olanları teorik çalışmalar için önerilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneylerde, kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilen AISI 1050 çelik malzeme kullanılmıştır. Deney malzemesi için; 300 mm uzunluğunda, 60 mm genişliğinde ve 60 mm kalınlığında olmak üzere, AISI 1050 çeliğinden 4 adet hazırlanmıştır (Şekil 1).

İşlenebilirlik testleri PVD yöntemiyle kaplanmış, çelik, paslanmaz çelik ve küresel grafitli dökme demirlerin işlenmesinde tercih edilen kesici takımlar kullanılmıştır. Bu takımlar; içerisinde 11.5 % kobalt bulunan çok katmanlı PVD kaplamalı çelikler için, termal şoklara karşı iyi aşınma direnci olan, kuru ve ıslak kesme şartlarına uygun, çelik malzemelerde 90-200 m/dak. ve paslanmaz çeliklerde 60-150 m/dak. kesme hızlarında kullanılabilir. Yapılan deney çalışmasında kesici takımlar ISO standartlarına uygun olan APKT1604 ile ifade edilen takım tutucu ile bağlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. İş parçası boyutları.

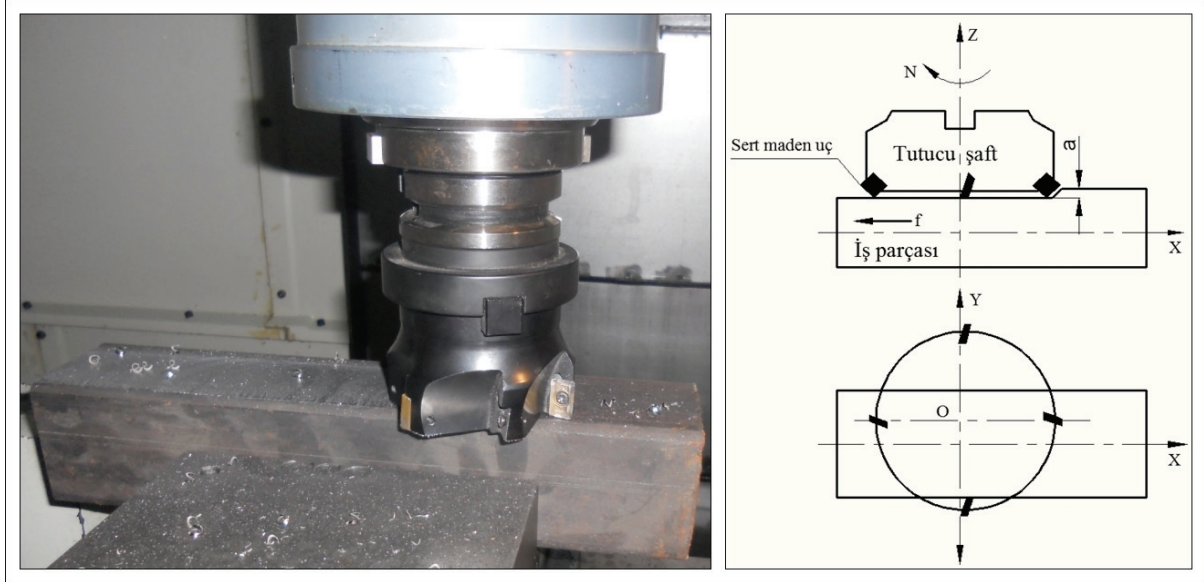
Şekil 2’de tutucu, tutucuya bağlanan kesiciler ve iş parçası sembolik olarak ön ve üst görünüş olarak gösterilmiştir. Şekil 2’de a kesme derinliği (mm), f ilerleme hızı (mm/dev) ve N devir sayısıdır (dev/dak). Çalışmada, 4 farklı deney yapılmış olup, kullanılan parametreler Tablo 2’de gösterilmiştir. Kesme hızı ve derinliği gibi parametreler, kesici takım üretici firma önerileri ve örnek literatür çalışmalarına bağlı kalarak tespit edilmiştir. Frezeleme işlemi sonucunda elde edilen işlenmiş yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde, “Mahr” marka Marsurf PS1 tipi, masa üstü ve yazılı çıktı alınabilen yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır. Ölçümler (ölçüm aralığı: 4 mm) işleme izlerine dik olacak şekilde ve yüzey üzerinde üç farklı bölgede yapılmıştır. Tablo 2’de görüldüğü gibi; İlk deneyde 5 farklı kesme hızına karşılık 5, ikinci deneyde 4 farklı diş sayısı için 4, üçüncü deneyde 3 farklı ilerleme ve diş sayısı için 9, dördüncü deney için üç farklı kesme derinliği ve diş sayısı için 9 deneysel çalışma yapılmıştır.

İstatistiksel deney tasarımının amacı minimum zaman, kaynak ve harcama ile maksimum anlamlı verileri toplamaktır. Bundan dolayı deney tasarımı geleneksel yöntemlerden uzak ve araştırmalara yeni bir yaklaşım getirir. Geleneksel deney tasarım yöntemleri yüksek malzeme maliyeti, uzun zaman ve kaynak gerektiren yöntemlerdir (Gökçe ve Taşgetiren, 2009). Çalışmada farklı parametrelerin kullanıldığı 4 farklı deneyde, her bir deney için yapılan deney sayısı az olmuştur. Bu sayede minimum zaman, kaynak ve harcama kullanılarak maksimum anlamlı veriler toplanmıştır. Dolayısıyla bu çalışma için deneysel tasarım kullanılmamıştır.

Ölçümler sonucu bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri hesaplanmıştır. Deneylerde kullanılan iş parçaları, fanuc kontrol ünitesine sahip taksan TMC500-OM CNC freze tezgâhında işlenmiştir.

Tablo 1. AISI 1050 Çelik malzemenin kimyasal bileşimi.

SAE/AISI	C	MN	SI	P	S
1050	0,45-0,54	0,60-0,90	0,10-0,30	0,04 en çok	0,05 en çok



Şekil 2. İş parçasının işlenmesi ve sembolik gösterimi.

Tablo 2. Deneylerde kullanılan parametreler.

Malzeme	Deney No	Kesme Hızı, V (m/dak)	İlerleme, f (mm/dev)	Kesme derinliği, a (mm)	Diş Sayısı, Z
AISI 1050	1	60-90-120-150-180	0.1	2	2
	2	120	0.1	2	1-2-3-6
	3	120	0.05-0.1-0.15	2	1-2-3
	4	120	0.1	1-2-3	1-2-3

3. DENEYLERİN ANALİZLERİ

Bir deneysel çalışmanın ifade edilmesinin en etkili yollarından birisi de matematik bir model oluşturmaktır. Deneysel verilerde matematik model, sistemden deneysel yolla elde edilmiş verilere dayanarak oluşturulmaktadır. Bu durumda belirli parametreler doğrultusunda, kısıtlı sayıda deneysel verilerin temsil ettiği model aranır. Eğri uydurma algoritmaları kısıtlı sayıda veriden hareketle en uygun matematik modeli kurmakta kullanılır. Bu model yardımıyla önceden bilinmeyen değerlerin hesabı mümkündür. Eğri uydurma ile ilgili olarak bilinen birçok algoritma mevcuttur. Bu algoritmaların bir kısmının (Fourier gibi) kullanılabilmesi için, değerlendirilecek en az 4 adet verinin bulunması gerekmektedir. Bu

nedenle analizlerde kullanılan veri sayıları dikkate alınarak, uygun algoritmaların seçilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada; deneylerden elde edilen veri sayıları dikkate alınarak her bir deney için, uygun olan eğri uydurma algoritmaları kullanılmıştır. Kullanılan bu algoritmalar ile, deneysel olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri için farklı matematiksel modeller oluşturulmuştur. Modeller oluşturulurken veri sayıları elde edilen matematiksel modellerin belirleme katsayıları (R^2) değerlendirilerek her bir deneysel uygulama için en uygun matematiksel modeller seçilmiştir. Oluşturulan ilişki tablolarında R^2 ile beraber hata kareler toplamına (SSE) ve artık kareler toplamına da (RMSE) yer verilmiştir.

Başka bir değişkene bağlı olmadan değerler alabilen değişkenlere bağımsız, başka bir değişkene veya değişkenlere bağlı olarak değerler alabilen değişkenlere de bağımlı değişken denir (Baykul, 1999). Bir bağımsız (Y) ve bir bağımlı değişkenin (X) bulunduğu rastgele dağılan değişkenlerde R^2 , 0 ya da 1'e eşit, ya da 0 ile 1 arasında ($0 \leq R^2 \leq 1$) değer almaktadır (Montgomery ve Runger, 2011). " $R^2=1$ ise, mükemmel bir çakışma ve $R^2=0$ ise, kötü bir çakışma (hiçbir veri çakışmamıştır) vardır. 0 ile 1 arasındaki R^2 değerleri için de; 1'e ne kadar yakınsa o kadar iyi, 0'a ne kadar yakınsa o kadar kötü bir çakışma vardır (Watson ve Teelucksingh, 2002). Bu çalışmada; 4 farklı deneydeki matematiksel modellerin elde edilmesinde, bir bağımsız değişken (Ra) için, birer adet bağımlı değişken kullanılmıştır. Analizler sonucunda bazı matematiksel modeller için, R^2 değerleri 1 olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla bu deneylerde; kullanılan eğri algoritmaları ile veriler tam olarak çakışmıştır (mükemmel çakışma). Analizlerin yapılmasında ve eğri uydurma algoritmalarının elde edilmesinde ise, MATLAB sayısal analiz programı kullanılmıştır.

3. 1. Yüzey Pürüzlülüğün ile Kesme Hızının Değerlendirilmesi

İlk deneyde; beş adet kesme hızı (60, 90, 120, 150, 180 m/dak), 2 mm kesme derinliği ve 0.1 mm/dev ilerleme hızı kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ile kesme hızı arasındaki ilişki için uygulanan eğri uydurma algoritmaları, matematiksel modeller ve istatistiksel değerler Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3'de gösterildiği gibi kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiler farklı eğri

uydurma algoritmaları ile değerlendirilmiştir (Şekil 3). Yapılan değerlendirmede belirleme katsayıları; üçüncü dereceden polinom için 0.997, üstel denklemde 0.943, Fourier denkleminde 0.997 ve Gaussian için 0.979 olmuştur. Elde edilen matematiksel modellerin içerisinde en yüksek % 99.7 doğruluk oranıyla üçüncü dereceden polinom ve Fourier denklemleri, bu deneysel tasarım için önerilmiştir.

Şekil 3'de Ra-V arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde kullanılan eğri uydurma algoritmalarının matematiksel modelleri, grafiksel olarak gösterilmiştir. Matematiksel modellere göre Ra değerleri, en iyi üçüncü dereceden polinom ve Fourier eğrisine yaklaştığı görülmektedir. Şekil 3'deki grafiklerde, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde iyileşme olduğu görülmektedir. Bu deneyde en ideal yüzey pürüzlülüğü, 180 m/dak kesme hızında elde edilmiştir.

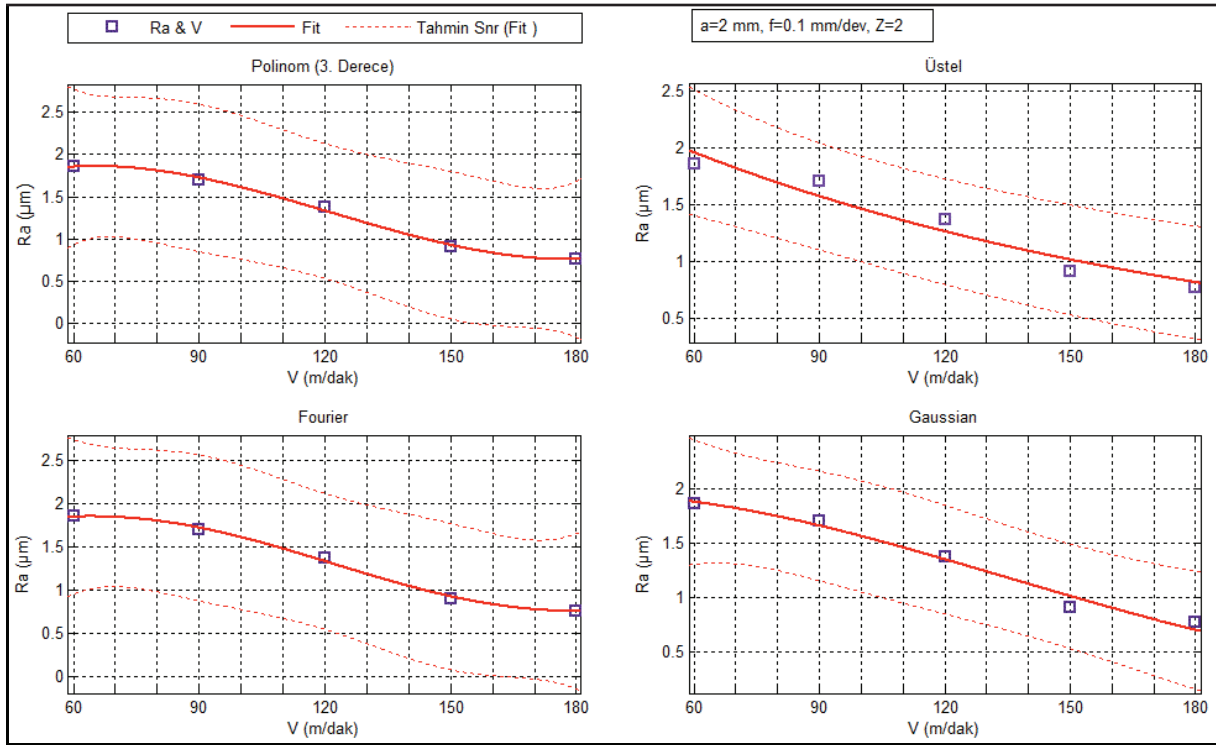
3. 2. Yüzey Pürüzlülüğü ile Kesici Diş Sayısının Değerlendirilmesi

İkinci deneyde; farklı diş sayısına (1, 2, 3, 6) sahip kesici takım, 2 mm kesme derinliğinde ve 0.1 mm/dev ilerleme hızı kullanılarak yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü ile diş sayısı ilişkisi için uygulanan eğri uydurma algoritmaları, matematiksel modelleri ve istatistiksel değerleri Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4'de gösterildiği gibi diş sayısı ve yüzey pürüzlülüğü arasında ilişkiler farklı eğri uydurma algoritmaları ile değerlendirilmiştir (Şekil 4). Yapılan değerlendirmede belirleme katsayıları; birinci dereceden polinom için 0.994, üstel denklemde 0.969 Fourier denkleminde 0.995 ve Gaussian için 0.992 olmuştur. Elde edilen matematiksel modellerin içerisinde en yüksek

Tablo 3. Ra-V arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi.

Deney	Eğri Uydurma	Denklem	R^2	SSE	RMSE
V-Ra a=2 mm f=0.1 mm/dev	Polinom (3. Derece)	$Ra = 0.00000153.V^3 - 0.00056.V^2 + 0.053V + 0.33$	0.997	0.002	0.051
	Üstel	$Ra = 3.04e^{-0.007.V}$	0.943	0.052	0.131
	Fourier	$Ra = 1.31 - 0.09 \cos(0.027V) + 0.54 \sin(0.027V)$	0.997	0.002	0.050
	Gaussian	$Ra = 1.96e^{\left(\frac{V-29.74}{147.7}\right)^2}$	0.979	0.018	0.096



Şekil 3. Ra-V arasındaki ilişkilerin grafiksel olarak değerlendirilmesi.

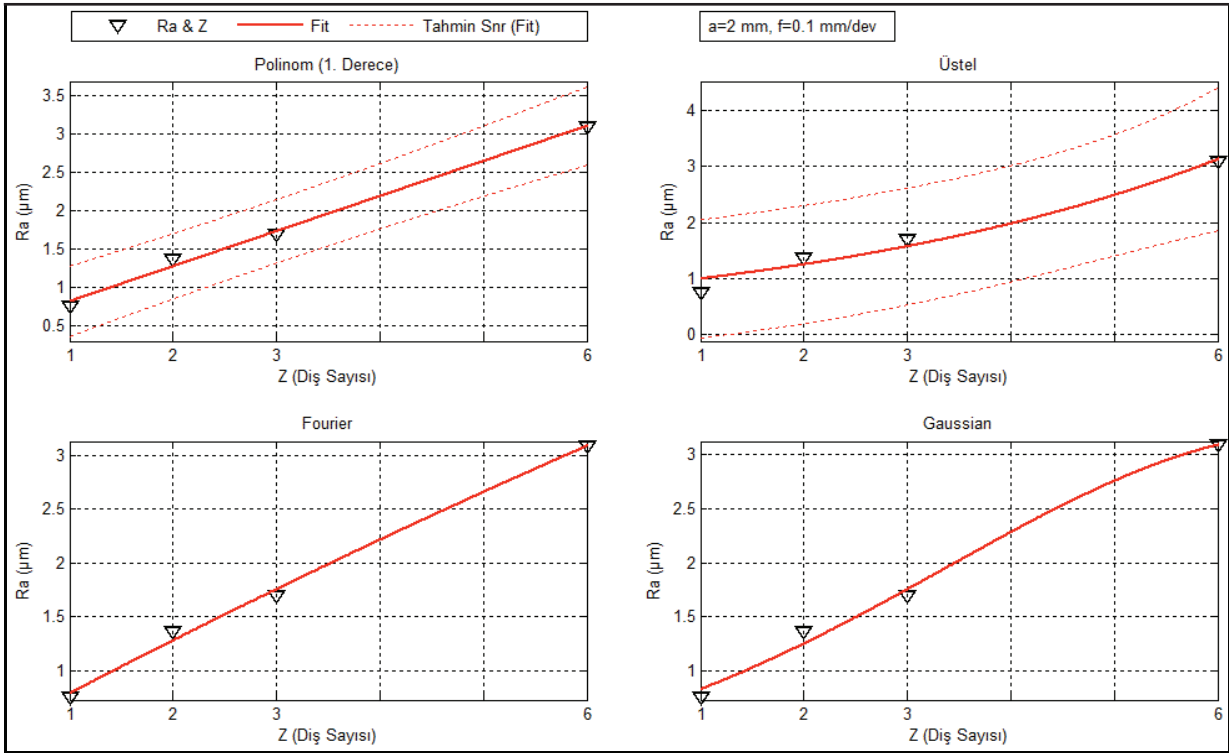
% 99.4 ve % 99.5 doğruluk oranıyla birinci dereceden polinom ve Fourier denklemleri, bu deneysel tasarım için önerilmiştir.

Şekil 4’de Z-Ra arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde kullanılan eğri uydurma algoritmalarının matematiksel modelleri, grafiksel olarak gösterilmiştir. Matematiksel modellere göre Ra değerleri, en iyi birinci

dereceden polinom ve Fourier eğrisine yaklaştığı görülmektedir. Şekil 4’deki grafiklerde, kesici takımında kullanılan diş sayısı azaldıkça yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği görülmektedir. Deneyde 6 adet kesici uç kullanıldığında yüzey pürüzlülüğü en yüksek noktaya ulaşmıştır. Bu deney için oluşturulan şartlarda, en ideal yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi için kesicinin diş sayısının 1 olması (Z=1) gerekmektedir.

Tablo 4. Ra-Z arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi.

Deney	Eğri Uydurma	Denklem	R ²	SSE	RMSE
Z-Ra a=2 mm f=0.1 mm/dev	Polinom (1. Derece)	$Ra = 0.46Z + 0.3565$	0.994	0.014	0.086
	Üstel	$Ra = 0.789e^{0.229.Z}$	0.969	0.089	0.211
	Fourier	$Ra = -6303000 + 6303000 \cos(-0.00005013.Z) - 10270 \sin(-0.000050)$	0.995	0.013	-
	Gaussian	$Ra = 3.212e^{\left(\frac{Z-7.025}{5.171}\right)^2}$	0.992	0.023	0.153



Şekil 4. Z-Ra arasındaki ilişkilerin grafiksel olarak değerlendirilmesi.

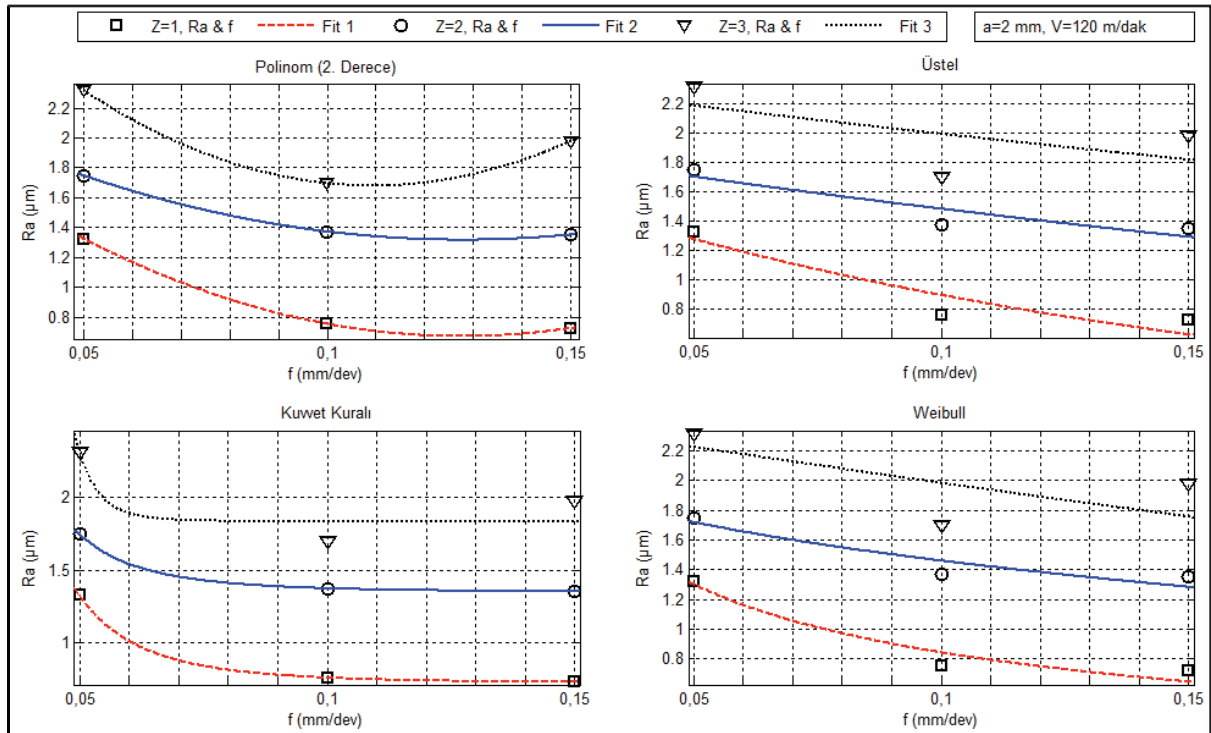
3. 3. Yüzey Pürüzlülüğünün Diş Sayısı ve İlerlemeyle Değerlendirilmesi

Üçüncü deneyde; farklı diş sayılarına sahip (1, 2, 3) kesici takım, 2 mm kesme derinliğinde, 120 m/dak sabit kesme hızı ve farklı ilerleme oranları (0.05, 0.1, 0.15 mm/dev) kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ile ilerleme arasındaki ilişki için uygulanan eğri uydurma algoritmaları, matematiksel modelleri ve istatistiksel değerler Tablo 5’de gösterilmiştir. Tablo 5’de üç farklı diş sayısına sahip kesici takım, 2 mm kesme derinliği, 120 m/dak kesme hızı ve üç farklı ilerleme hızlarında yapılan deneylerin sonuçlarında, ilerleme ve yüzey pürüzlülüğü ilişkisi farklı eğri

uydurma algoritmaları ile değerlendirilmiştir (Şekil 5). Yapılan değerlendirmeye göre kullanılan Z=1 için belirleme katsayıları, ikinci dereceden polinom ve kuvvet kuralı için 1 olmuştur. Z=2 için, ikinci dereceden polinom ve kuvvet kuralı için belirleme katsayısı burada da 1 olmuştur. Z=3 için yapılan değerlendirmede ise, sadece ikinci dereceden polinomun belirleme katsayısı 1 olmuştur. Dolayısıyla; Z=1 için uygulanan eğri uydurma algoritmalarından ikinci dereceden polinom ve kuvvet kuralı, Z=2 için ikinci dereceden polinom ve kuvvet kuralı ve Z=3 için ikinci dereceden polinom % 100 doğruluk oranıyla matematiksel model olarak önerilmiştir.

Tablo 5. Ra-f arasındaki ilişkilerin kesici diş sayısı ile beraber değerlendirilmesi.

Deney	Diş Sayısı (Z)	Eğri Uydurma	Denklem	R ²	SSE	RMSE
Ra-f/Z a=2 mm V=120 m/dak	1	Polinom (2. Derece)	$Ra = 108f^2 - 27.6f + 2.433$	1	2.73e-30	-
		Üstel	$Ra = 1.822e^{-7.144f}$	0.862	0.031	0.177
		Kuvvet Kuralı	$Ra = 0.00000352f^{-4.025} + 0.716$	1	1.75e-10	-
		Weibull	$Ra = 0.308f^{-0.536} e^{(-0.665f^{0.464})}$	0.937	0.014	0.119
	2	Polinom (2. Derece)	$Ra = 70.8f^2 - 18.12f + 2.475$	1	7.89e-31	-
		Üstel	$Ra = 1.95e^{(-2.77f)}$	0.820	0.017	0.133
		Kuvvet Kuralı	$Ra = 0.00000312f^{-3.927} + 1.345$	1	2.19e-10	-
		Weibull	$Ra = 1.403f^{-0.103} e^{(-1.565f^{0.896})}$	0.868	0.013	0.114
	3	Polinom (2. Derece)	$Ra = 181f^2 - 39.61f + 3.846$	1	5.42e-30	-
		Üstel	$Ra = 2.395e^{(-1.848f)}$	0.322	0.131	0.363
		Kuvvet Kuralı	$Ra = (2.65e - 016)f^{-11.73} + 1.836$	0.795	0.039	-
		Weibull	$Ra = 2.646f^{0.017} e^{(-2.602f^{1.017})}$	0.280	0.14	0.374



Şekil 5. Ra-f arasındaki ilişkilerin farklı kesici diş sayılarında grafiksel olarak değerlendirilmesi.

Şekil 5’de Ra-f arasındaki ilişki farklı kesici diş sayılarıyla beraber değerlendirilmiş, değerlendirmede kullanılan eğri uydurma algoritmalarının matematiksel modelleri, grafiksel olarak gösterilmiştir. Matematiksel modellere göre Ra değerleri; ikinci dereceden polinom eğrilerinde her üç diş için eğri üzerine oturmuştur. Üstel fonksiyon eğrisinde ise, değerlerin eğriye yaklaşmadığı görülmektedir. Kuvvet kuralı ile elde edilen denklem eğrilerinde ise; değerlerin 1 ve 2 adet dişlerde tam eğri üzerine oturduğu, 3 adet diş için eğriye uzak kaldığı görülmektedir. Weibull eğrisinde ise, her üç dişte de değerlerin eğriye yaklaşmadığı görülmektedir. Şekil 5’deki grafiklerde en ideal yüzey pürüzlülüğü, kesici diş sayısının 1 ($Z=1$) olduğu durumlarda gözlemlenmiştir. Kesici diş sayısının 3 ($Z=3$) olduğu durumlarda ise, yüzey pürüzlülüğü en yüksek aralıklarda seyretmektedir. İlerlemenin artmasıyla da, yüzey pürüzlülüğünde iyileşme olduğu görülmüştür. İlerlemenin 0.15 mm/dev olduğunda en ideal yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür.

3. 4. Yüzey Pürüzlülüğünün Kesme Derinliği ve Diş Sayısıyla Değerlendirilmesi

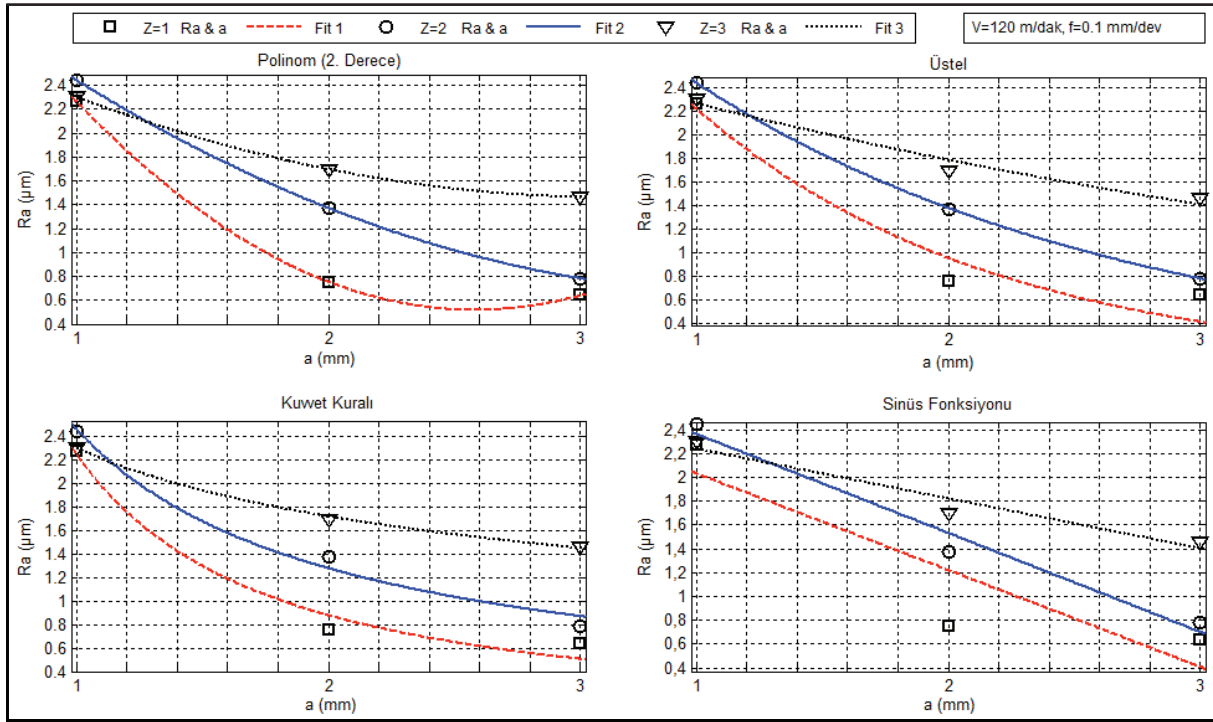
Yapılan son deneyde; üç farklı kesme derinliği (1, 2, 3 mm), 120 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme oranı ve üç farklı diş sayısı

(1, 2, 3) kullanılmıştır. Deneylerde ölçülen yüzey pürüzlülüğü ile kesme derinliği arasındaki ilişki için uygulanan eğri uydurma algoritmaları, matematiksel modelleri ve istatistiksel değerler Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6’da üç farklı kesme derinliği, üç farklı diş sayısı, 120 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme hızında yapılan deneylere göre, kesme derinliği ve yüzey pürüzlülüğü ilişkisi eğri uydurma algoritmaları ile değerlendirilmiştir (Şekil 6). Yapılan değerlendirmeye göre $a=1$ mm kesme derinliğinde belirleme katsayıları, ikinci dereceden polinom için 1 olmuştur. $a=2$ mm kesme derinliğinde, ikinci dereceden polinom ve kuvvet kuralı denklemlerinin belirleme katsayıları 1 olmuştur. $a=3$ mm kesme derinliğinde yapılan değerlendirmede ise, ikinci dereceden polinomun ve kuvvet kuralı denkleminin belirleme katsayıları sırasıyla 1 ile 0.998 olmuştur. Dolayısıyla; 1 mm kesme derinliği için uygulanan eğri uydurma algoritmalarından ikinci dereceden polinom, 2 mm kesme derinliği için ikinci dereceden polinom ile kuvvet kuralı ve 3 mm kesme derinliği için ikinci dereceden polinom % 100, kuvvet kuralı ise % 99.8 doğruluk oranıyla matematiksel model olarak önerilmişlerdir.

Tablo 6. Ra-a arasındaki ilişkilerin kesme derinliğiyle beraber değerlendirilmesi.

Deney	Diş Sayısı (Z)	Eğri Uydurma	Denklem	R ²	SSE	RMSE
Ra-a/Z f=0.1 mm/dev V=120 m/dak	1	Polinom (2. Derece)	$Ra = 0.701.a^2 - 3.616.a + 5.182$	1	1.07e-29	-
		Üstel	$Ra = 5.197e^{(-0.849.a)}$	0.942	0.095	0.309
		Kuvvet Kuralı	$Ra = 2.249.a^{-1.36}$	0.979	0.033	0.183
		Sinüs Fonk.	$Ra = 66.66 \sin(0.012.a + 3.099)$	0.801	0.327	-
	2	Polinom (2. Derece)	$Ra = 0.241.a^2 - 1.796.a + 3.999$	1	2.02e-30	-
		Üstel	$Ra = 4.335.e^{(-0.574.a)}$	1	5.04e-5	0.0071
		Kuvvet Kuralı	$Ra = 2.462.a^{-0.949}$	0.987	0.0172	0.1312
		Sinüs Fonk.	$Ra = 51.96 \sin(0.016.a + 3.08)$	0.972	0.0387	-
	3	Polinom (2. Derece)	$Ra = 0.188.a^2 - 1.172.a + 3.287$	1	2.21e-30	-
		Üstel	$Ra = 2.88.e^{(-0.239.a)}$	0.966	0.0127	0.112
		Kuvvet Kuralı	$Ra = 2.297.a^{-0.421}$	0.998	0.0007	0.027
		Sinüs Fonk.	$y = 23.95 \sin(0.0175.a + 3.03)$	0.937	0.023	-



Şekil 6. Ra-Z arasındaki ilişkilerin farklı kesme derinliklerinde grafiksel olarak değerlendirilmesi.

Şekil 6'da Yüzey pürüzlülüğü ile kesme derinliği arasındaki ilişki, farklı kesici diş sayıları ile beraber değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede kullanılan eğri uydurma algoritmalarının matematiksel modelleri, grafiksel olarak gösterilmiştir. İkinci dereceden polinom eğrilerinde üç farklı kesici diş sayısı için değerlerin eğrilerle tam olarak çakıştığı, üstel denklem grafiğinde ise sadece Z=2 için değerlerin eğriyle çakıştığı görülmektedir. Kuvvet kuralı eğrileri grafiğinde Z=3 için, değerlerin eğrilere çok yaklaştığı görülmektedir. Sinüs fonksiyonu denklemlerinde her üç diş sayısı için değerlerin eğrilere yaklaşmadığı görülmektedir. Şekil 6'da yer alan grafiklerde; 3 mm kesme derinliğinde, yüzey pürüzlülüğü değerlerinin diğer derinliklere göre düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, kesme derinlikleri arttıkça da yüzey pürüzlülüğünde iyileşme olduğu görülmektedir. Üç farklı kesici diş için, en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri ise kesme derinliği arttıkça Z=1 dişte elde edilmiştir. Kesme derinliği 1 mm iken, Z=1 ve Z=2 dişte yüzey pürüzlülüğü değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Kesici diş sayısı 1 (Z=1) ve a=3mm kesme derinliğinde ise tüm grafikler için yüzey pürüzlülüğü en ideal seviyededir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada; AISI 1050 malzemenin yüzey frezelenmesinde, kesme hızı, ilerleme hızı, kesici diş sayısı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri ortaya konmuştur. Ayrıca; elde edilen yüzey pürüzlülüğünün, bu parametreler ile olan ilişkilerinin matematik modellenmesi için çeşitli eğri uydurma algoritmaları kullanılmıştır. Kullanılan bu eğri uydurma algoritmalarından elde edilen matematiksel modeller, belirleme katsayıları (R2) kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan 4 farklı deneyde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri, her bir deney için eğriler üzerinde grafiksel olarak gösterilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçları şu şekilde özetlemek mümkündür;

- Sabit parametre olarak 2 mm kesme derinliği ve 0.1 mm/dev ilerleme hızının kullanıldığı ilk deneyde, kesme hızının artırılmasıyla yüzey pürüzlülüğü iyileşmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri ise, 180 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Bu deney için; kullanılan eğri uydurma algoritmalarından matematiksel model için, üçüncü dereceden polinom ve Fourier denklemleri önerilmiştir.

- İkinci deneyde; 2 mm kesme derinliği ve 0.1 mm/dev ilerleme hızı sabit parametre olarak tutulmuş, kullanılan kesicideki diş sayısı azaltıldıkça yüzey pürüzlülüğünde iyileşme olduğu görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü de $Z=1$ 'de elde edilmiştir. Matematiksel model için, birinci derece polinom ve Gaussian denklemleri önerilmiştir.
- 2 mm kesme derinliği ve 120 m/dak kesme hızının sabit parametre olarak kullanıldığı üçüncü deneyde, ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü, $Z=1$ ve 0.15 m/dak ilerleme hızında ölçülmüştür. Bu deneyde ise; $Z=1$ için ikinci dereceden polinom ve kuvvet kuralı, $Z=2$ için ikinci dereceden polinom ve kuvvet kuralı ve $Z=3$ için ikinci dereceden polinom denklemleri, matematiksel model için önerilmiştir.
- 120 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme hızı sabit tutularak yapılan son deneyde, kesme derinlikleri arttıkça yüzey pürüzlülüğünde de iyileşme olduğu görülmüştür. Bu deneyde en düşük yüzey pürüzlülüğü, $Z=1$ ve $a=3$ mm'de ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü $Z=1$ dış için, diğer diş sayılarına göre düşük seviyelerde seyretmiştir. Matematiksel model için; $a=1$ mm'de ikinci dereceden polinom, $a=2$ mm'de ikinci dereceden polinom ve kuvvet kuralı ve $a=3$ mm için ikinci dereceden polinom ile kuvvet kuralı denklemleri önerilmiştir.
- Eğri algoritmalarından elde edilen matematiksel modeller için parametrelerin doğru olarak tespit edildiği takdirde, bu modellere göre teorik olarak elde edilecek yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de önemli ölçüde geçerliliği olacaktır.

Bu çalışmada; 4 farklı deneyden toplam 32 adet matematiksel model elde edilmiştir. Bir sonraki çalışmada matematiksel modellerin hepsini içeren doğrulama testlerinin, gerçek ortamda yapılması düşünülmektedir. Bu sayede matematiksel ve deneysel olarak elde edilecek veriler kapsamlı olarak karşılaştırılarak, matematiksel modellerin etkinliği test edilecektir.

5. KAYNAKLAR

Asiltürk, İ., Demirci, T. M. 2010. Karbür kesici kullanarak sertleştirilmiş AISI 1040 çeliklerin frezelenmesindeki yüzey pürüzlülüğünün regresyonla modellenmesi, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 20-30.

Asiltürk, I. and Çunkaş, M. 2011. Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method, Expert Systems with Applications. (38), 5826–5832.

Baykul, Y. 1999. İstatistik Metotlar ve Uygulamalar, 442 s. Anı Yayıncılık, Ankara.

Bouacha K., Yallese, A. M., Mabrouki, T. and Rigal, J. 2010. Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool, Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials. (28), 349–361.

Brezocnik, M., Kovacic, M. and Ficko, M. 2004. Prediction of surface roughness with genetic programming, Journal of Materials Processing Technology. (157–158), 28–36.

Çiftçi, İ. 2005. “Kesici Takımlar ve Kesme Teorisi”, Z.K.Ü Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Ders Notları, Karabük, 3-15.

Gökçe, B. ve Taşgetiren, S. 2009. Kalite için deney tasarımı, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6 (1), 71-83.

Göloğlu, C. ve Arslan, Y. 2006. Genetik programlama ile imalat için yüzey pürüzlülük modeli geliştirilmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 21 (4), 667-674.

Güllü, A. ve Özdemir, A. 2003. Prizmatik parçaların frezelenmesinde kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkilerin deneysel olarak bulunması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. 16 (1), 127-134.

Kahraman, F. 2009. The use of response surface methodology for prediction and analysis of surface roughness of AISI 4140 steel, Materials and Technology. 43 (5), 267–270.

- Korucu, S. 1996. Hidrolik kopya aparatı yardımı ile elde edilen parçalarda yüzey pürüzlülüğünün deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Montgomery, D. C. and Runger, G. C. 2011. Applied Statistics and Probability for Engineers 5th ed., 784 s. Wiley, U.S.A.
- Öktem, H. ve Erzincanlı, F. 2010. AISI 1040 çelik malzemenin CNC frezeleme ile işlenmesi sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğünün yapay sinir ağıyla modellenmesi, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 221-229.
- Özel, T. and Karpat, Y. 2005. Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural Networks, International Journal of Machine Tools & Manufacture. (45), 467-479.
- Özler, L., Tosun, N. ve İnan, A. 2000. Östenitik manganlı çeliğin sıcak talaşlı işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences. (24), 287-296.
- Özel, T., Karpat, Y., Figueira, L. and Davim, P. 2007. Modelling of surface finish and tool flank wear in turning of AISI D2 steel with ceramic wiper inserts, Journal of Materials Processing Technology. (189), 192-198.
- Watson, P. K. and Teelucksingh, S. S. 2002. A Practical Introduction to Econometric Methods: Classical and Modern, 307 s. University of the West Indies Press, Jamaica.
- Yang, Y.K., Chuang, M. T., Lin, S.S. 2009. Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end milling process via design of experiments methods. Journal of Materials Processing Technology. (209), 4395-4400.
- Zain Mohd, A., Haron, H. and Sharif, S. 2010. Prediction of surface roughness in the end milling machining using Artificial Neural Network, Expert Systems with Applications. (37), 1755-1768.