

Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Regresyon Analizi ile Modellenmesi

Ahmet MAVİ, İhsan KORKUT

ÖZET

Bu çalışmada farklı mikro yapıya sahip vermiküler grafitli dökme demirlerin işlenebilirliği deneysel olarak araştırılmış ve kesme parametrelerinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi çoklu regresyon analizi ile modellenmiştir. Deneylerde dört farklı kesme hızı (150, 170, 190 ve 210 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,2, 0,25, 0,30 mm/dev) kullanılmıştır. Kesme derinliği ise tüm deneylerde sabit 2,5 mm alınmıştır. Deneyler sonucunda kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin değerlendirilebilmesi için SPSS 15.0 programında çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Ayrıca mikroyapı (perlitik, ferritik, perlitik+ferritik), kesme hızı ve ilerleme miktarının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin belirlenmesinde ANOVA (Varyans Analizi) tablosu kullanılmıştır. Sonuç olarak kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin belirlenerek matematiksel model geliştirilmiştir. Çoklu regresyon analizi ve varyans analizi ile geliştirilen her iki modelin de %95 güven aralığında ve kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Vermiküler Grafitli Dökme Demir, İşlenebilirlik, Kesme kuvveti, Yüzey pürüzlülüğü

Modeling With Regression Analysis of the Effect of Cutting Parameters on Cutting Forces and Surface Roughness in Machining Vermicular Graphite Cast Iron

ABSTRACT

In this study, machinability of vermicular graphite cast iron with different micro-structure was investigated and modeled with regression analysis the effect of cutting parameters on cutting forces and surface roughness. Machinability experiments were carried out at constant cutting depth for three different feed rates and four different cutting speeds. The experiment results showed that in order to define detailed the values of cutting force and surface roughness multiple regression analysis, SPSS 15.0 program was used, should be used. In the determination of microstructure (perlitic, ferritic, ferritic + pearlitic), cutting speed and feed rate effects on cutting force and surface roughness ANOVA (analysis of variance) table was used. As a result, parameters affecting the cutting force and surface roughness were defined and mathematical model was developed. It is defined that both of the developed models has 95% accuracy ratio and they can be used.

Key Words : Vermicular Graphite Cast Iron, Machinability, Cutting force, Surface roughness

1. GİRİŞ

Dökme demirlerin işlenebilirliği, dökümün tipine ve mikro yapısına bağlıdır. Beyaz dökme demirin işlenebilirliği oldukça zor iken, ferritik dökümün işlenebilirliği ise en kolaydır. Dökme demirin diğer çeşitleri olan Vermiküler Grafitli Dökme Demir, Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD), alaşımlı dökme demir ve temper dökme demir'lerin işlenebilirlikleri, beyaz döküm ile ferritik döküm arasındadır (1).

Vermiküler grafitli dökme demir, farklı üretim teknolojileri gerektiren özellikleriyle, 1965'ten itibaren dökme demir ailesindeki yerini almıştır (2).

Vermiküler grafitli dökme demirlerin grafit yapısı oldukça karmaşıktır ve içerisinde hiç lamel grafit olmayan, ortalama %20 oranında küresel grafit ve %80 oranında vermiküler grafit bulunan bir mikro yapıya sahiptir. Vermiküler grafitler lamel grafitlerden daha kalındırlar ve lamel uçları yuvarlatılmıştır (2,3).

Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin otomotiv endüstrisinde son 10 yıldan beri çok yaygın olarak kullanılmakta, fren diskleri, eksoz manifoldları, motor kapağı ve motor blokları gibi parçaların yapımında oldukça fazla seçilen bir malzeme olmuştur. Üstün mukavemet özelliklerine sahip bu malzeme, gri dökme demirle karşılaştırıldığında, yüksek basınçlı yanma odalarının imalatına daha elverişli olup daha verimli yanma

Makale 18.02.2011 tarihinde gelmiş 02.05.2011 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

*A.MAVİ, Hacettepe Üni. Hacettepe Meslek Yüksekokulu
e-posta: amavi@hacettepe.edu.tr*

*İ. KORKUT, Gazi Üniv. Teknoloji Fakültesi Makine Bölümü
e-posta: ikorkut@gazi.edu.tr*

Digital Object Identifier 10.2339/2010.13.4, 281-286

ve düşük emisyon değerleri elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Daha ince et kalınlığında parça üretmek mümkün olup daha hafif motorların imalatı söz konusu olmaktadır. Bunun yanı sıra bu malzemenin işlenmesi esnasında işlenebilirlik açısından birçok problem mevcuttur (4,5). Phillips yapmış olduğu deneysel çalışmada, ferritik ve perlitik vermiküler grafitli dökme demir ile ferritik, perlitik gri ve küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliklerini karşılaştırmış ve ferritik vermiküler grafitli dökme demirin işlenebilirliğinin perlitik vermiküler grafitli dökme demire göre daha iyi olduğunu tespit etmiştir (6).

Literatür taraması sonucunda genellikle vermiküler grafitli dökme demirler ile gri dökme demir ve küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliklerinin karşılaştırıldığı görülmüştür (7-12).

İşleme problemlerinde optimizasyon analizinin esas gayesi en uygun kesme parametrelerini seçmektir. Sonuçta seçilen parametre kombinasyonu, en düşük maliyet, en yüksek üretim miktarı için iyileştirilmiş olacaktır (13). Optimum işleme şartlarını elde edebilmek için çok sayıda deneye ihtiyaç duyulmaktadır. Bir deneysel çalışmanın yapılabilmesi için öncelikle deney şartlarının sağlanması gerekmektedir. Bunun için oldukça fazla zamana ve maliyete gereksinim vardır. Günümüzde matematiksel analiz yöntemleri çıktı parametresine etki eden faktörlerin kısa zamanda bulunması ve matematiksel bir modelin oluşturulmasında oldukça faydalı olmaktadır. Literatürde, ölçüsel değerlerin tahmin edilmesi ve sonuçlara etkiyen parametrelerin belirlenmesi için kullanılan en yaygın dört yöntem şunlardır (14).

- Çoklu regresyon analizi,
- Matematiksel modelleme,
- Bulanık küme tabanlı teknikler,
- YSA modellemesi.

Literatürde tahmin tekniğinin kullanılarak birçok çalışmanın yapıldığı gözlenmiştir. Tahmin tekniği olarak, çoklu regresyon modelleme, regresyon modeli, lineer regresyon, ikinci dereceden regresyon, üstel regresyon ve yapay sinir ağları yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir (15-18). Frezeleme (15, 18, 19) ve tornalama (18,19) operasyonlarında kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün tahmin edildiği çalışmalarda, bağımsız değişken parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, takım uç yarıçapı ve kesici uç kaplamalarının kullanıldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada üç farklı mikro yapıya sahip vermiküler grafitli dökme demirlerin işlenebilirliği deneysel olarak araştırılmış ve kesme parametrelerinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi çoklu regresyon analizi ile modellenmiştir.

Bu çalışmada, vermiküler grafitli dökme demir'lerden (VGDD) üretilen üç farklı mikro yapıdaki deney numunelerinin tornalanmasında, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin matematiksel analizlerle detaylı olarak belirlenip matematiksel model geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 DENEY MALZEMESİ VE EKİPMANLAR

İşlenebilirlik deneylerinde iş parçası malzemesi olarak, üç farklı mikro yapıya sahip vermiküler grafitli dökme demirden imal edilen 25 mm çapında ve 250 mm boyunda numuneler kullanılmıştır. Deney malzemeleri COMPONENTA DÖKTAŞ DÖKÜMCÜLÜK TİCARET VE SANAYİ A.Ş.'nin Bursa/Orhangazi'deki fabrikasında dökülmüş ve kimyasal bileşimleri aynı firmanın üretim hattında belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan Vermiküler grafitli dökme demirlerin yüzde Ferrit, Perlit ve Grafit miktarları Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Laboratuvarı imkânları ile "Leica Q550 MW" görüntü analiz programı kullanılarak ölçülmüş ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Farklı yapıdaki vermiküler grafitli dökme demirin mikroyapı oranları.

Mikro yapı	%Perlit	%Ferrit	%Grafit
Perlitik	83	9,8	7,2
Ferritik	23,3	58,5	17,2
Perlitik+Ferritik	52,3	32,2	15,5

Deneylerde kullanılan numune iş parçaları Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Talaş Üretim Anabilim Dalı CNC Atölyesinde bulunan FANUC kontrol ünitesine sahip "Johnford TC-35" sanayi tipi CNC torna tezgâhında işlenmiştir. Kesici uç kalitesi Vermiküler grafitli dökme demirler için tavsiye edilen kimyasal buhar çökeltme metodu (CVD) ile 9 µm'luk TiCN - Al₂O₃ - TiN katmanları ile çok katlı olarak kaplanmış ISO K10 sınıfı kaplamalı sinterlenmiş karbür kesici uçlar kullanılmıştır. Her bir deneyde yeni kesici uç kullanılmıştır ve toplam her bir malzeme için 12 deney ve toplamda 36 deney yapılmıştır. Üç farklı yapıdaki (ferrit, perlit ve ferrit + perlit) vermiküler grafitli dökme demir için karşılaştırma amaçlı aynı kesme parametreleri kullanılmıştır.

İşlenebilirlik deneyleri, ISO 3685'deki deney şartlarına uygun gerçekleştirilmiştir. Bu standardın öngördüğü şekilde seçilen kesme parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kesme parametreleri

Mikro yapı P, F, PF	Kesme derinliği a (mm)	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme miktarı f (mm/dev)
Perlitik (P) Ferritik (F) Perlitik + Ferritik (PF)	2,5	150	0,20
			0,25
			0,30
		170	0,20
			0,25
			0,30
		190	0,20
			0,25
			0,30
		210	0,20
			0,25
			0,30

2.2 İstatistiksel Analiz

Kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin detaylı bir şekilde belirlenmesi ve matematiksel modellerin elde edilmesi için SPSS 15.0 yazılımı kullanılarak çoklu regresyon analizleri yapılmıştır. SPSS 15.0 yazılımında %95 güven aralığı düzeyinde çalışılmış ve ANOVA (Varyans Analizi) tabloları ile matematiksel model için katsayılar elde edilmiştir. Analizler için deney girdi parametreleri (mikro yapı, kesme hızı ve ilerleme miktarı) bağımsız değişkenler, deney çıktı parametreleri (kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü) bağımlı değişkenler olarak kabul edilmiştir. ANOVA tabloları kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreleri net bir şekilde ortaya koymaktadır.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Kesme Kuvveti Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Yapılan deneyler neticesinde kesme kuvvetleri; mikro yapı, kesme hızı ve ilerleme miktarına göre değiştiği kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak analizlerde kesme kuvveti bağımlı değişken, kesme kuvvetini etkileyen parametreler ise bağımsız değişken olarak alınarak, varyans analizi (ANOVA) ve çoklu regresyon analizi yapılmıştır.

Tablo 3’de verilen model özeti sonuçlarına göre analiz sonucunda geliştirilen matematiksel modelin belirlilik katsayısının $R^2 = 0,982$ olarak bulunması modelin uygunluğunun yüksek olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, bağımsız değişkenler olan mikro yapı, kesme hızı, ilerleme miktarının, bağımlı değişken kesme kuvveti üzerindeki etkisi %98,2’dir.

Tablo 3. Kesme kuvveti modeli özeti

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini hata
Kesme Kuvveti	0,991	0,982	0,980	13,191366

Geliştirilen matematiksel modelin uygunluğu varyans analizi kullanılarak kontrol edilmiş (Tablo 4) ve

Tablo 4. Kesme kuvveti modeli için varyans analizi

Kesme hızı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Regresyon	318748	5	63749,6	419,536	0,000
Hata(artık)	3187	31	102,8		
Toplam	321935	36			

Tablo 5. Kesme kuvveti ANOVA sonuçları

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Varyans	F değeri	P değeri	%KO
P	1	4635	4635	7,65	0,283	%1,43
F	1	20120	20120	108,61	0,000	%6,24
PF	1	29720	29720	132,64	0,000	%9,23
V	3	7197	7197	9,35	0,000	%2,23
f	2	257086	257086	693,91	0,000	%79,85
Artık	28	3187	3187			%1,22
Toplam	36	321935				%100

modelin P (anlamlılık katsayısı) değerine bağlı olarak %95 güven aralığı düzeyinde uygun olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5’de verin varyans analizi sonuçlarına göre %95 güven aralığında kesme kuvvetleri üzerinde en etkili parametrenin %79,85 katkı oranı ile ilerleme değeri (f) olduğu ortaya çıkmıştır. Kesme kuvvetleri üzerindeki diğer parametrelerin etkisi sırasıyla perlitik+ferritik (PF) mikro yapı, ferritik (F) mikro yapı, kesme hızı (V) olmuştur. Perlitik (P) mikro yapının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinin anlamsız olduğu, başka bir deyişle %95 güven aralığında perlitik mikro yapının kesme kuvvetleri üzerinde etkisinin olmadığı görülmüştür.

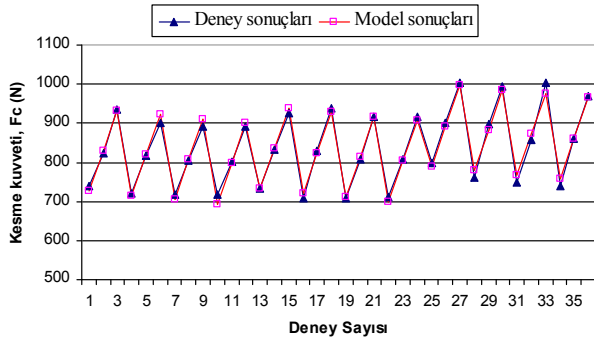
Kesme kuvveti için yapılan regresyon analizi sonucu, matematiksel model sabiti ve değişkenlerin katsayı tablosu Tablo 6’da verilmiştir. Faktörlerin etkileri incelendiğinde varyans analizi sonuçlarına paralel olarak kesme kuvvetine, bağımsız değişkenler içerisinde en büyük etkiyi ilerlemenin (f) yaptığı ortaya çıkmıştır. Kesme kuvvetine, perlitik mikro yapının ve kesme hızının ters etki ettiği görülmüştür. Bağımsız değişkenlerin (P, F, PF, V, f) kesme kuvvetine olan etkileri dikkate alınarak Denklem 1’de verilen matematiksel model geliştirilmiştir.

Tablo 6. Kesme kuvveti model sabitleri ve katsayılar tablosu

Model	Katsayılar		Standart katsayılar	t	P
	B	Hata			
Sabit	396,828	22,561		17,589	0,000
P	-6,086	5,385	-0,032	-1,130	0,283
F	23,953	7,269	0,185	5,240	0,000
PF	57,908	5,385	0,300	10,753	0,000
V	-0,526	0,098	-0,130	-5,355	0,000
f	2069,967	53,854	0,930	38,437	0,000

Kesme kuvveti modeli için model sabitleri ve katsayılar kullanılarak geliştirilen matematiksel model denklem 1’de verilmiştir.

$$F_c = 396,8 - 6,1 * P + 24 * F + 57,9 * PF - 0,53 * V + 2070 * f \quad (1)$$



Şekil 1. Kesme kuvvetleri deney sonuçları ile model sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 1’de verilen grafikte görüldüğü üzere geliştirilen model (Denklem 1) sonuçları ile deney sonuçları değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Başka bir deyişle kesme kuvveti için geliştirilen modelde hata (artık) miktarının az olduğu tespit edilmiştir. Hata miktarının az oluşunun sebebi geliştirilen modelin belirlilik katsayısının $R^2 = 0,982$ (Tablo 3) ile çok yüksek olmasındandır. Belirtme katsayısı R^2 ’nin 1’e yakın olması geliştirilen modelin güçlü olduğunu ve hataların az olduğunu göstermektedir.

Tablo 8. Yüzey pürüzlülüğü modeli için varyans analizi

Yüzey pürüzlülüğü	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Regresyon	16,809	5	3,3618	283,279	0,000
Hata(artık)	0,460	31	0,0148		
Toplam	17,269	36			

Tablo 9. Yüzey pürüzlülüğü ANOVA sonuçları

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Varyans	F değeri	P değeri	%KO
P	1	0,4095	0,4095	10,12	0,004	%0,02
F	1	0,0925	0,0925	5,79	0,018	%0,005
PF	1	0,0913	0,0913	4,22	0,021	%0,006
V	3	0,0889	0,0889	1,85	0,023	%0,005
f	2	16,1268	16,1268	507,69	0,000	%0,027
Artık	28	0,460	0,460			%0,937
Toplam	36	17,269				

3.2. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Deneyler sonucunda yüzey pürüzlülüğünün mikro yapı, kesme hızı ve ilerleme miktarına göre değiştiği kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak analizlerde yüzey pürüzlülüğü bağımlı değişken, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametreler ise bağımsız değişken olarak alınmış ve varyans analizi (ANOVA) ile çoklu regresyon analizi uygulanmıştır.

Tablo 7’de verilen model özeti sonuçlarına göre analiz sonucunda geliştirilen matematiksel modelin belirlilik katsayısının $R^2 = 0,973$ olarak bulunması modelin uygunluğunun yüksek olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, bağımsız değişkenler olan mikro

yapı, kesme hızı ve ilerleme miktarının, bağımlı değişken (yüzey pürüzlülüğü) üzerindeki etkisi %97,3’dir.

Tablo 7. Yüzey pürüzlülüğü modeli özeti

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini hata
Yüzey pürüzlülüğü	0,987	0,973	0,970	0,121796

Geliştirilen matematiksel modelin uygunluğu varyans analizi kullanılarak kontrol edilmiş (Tablo 8) ve modelin P (anlamlılık katsayısı) değerine bağlı olarak %95 güven aralığı düzeyinde uygun olduğu görülmüştür.

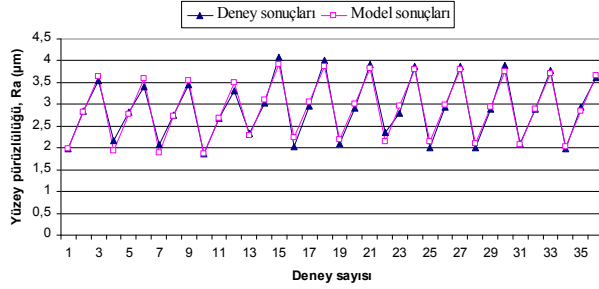
Yüzey pürüzlülüğü için yapılan regresyon analizi sonucu matematiksel model sabiti ve değişkenlerin katsayı tablosu Tablo 10’da verilmiştir. Faktörlerin etkileri incelendiğinde varyans analizi sonuçlarına paralel olarak değişkenlerden yüzey pürüzlülüğüne en büyük etkiyi ilerlemenin (f) yaptığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğüne, perlitik mikro yapının ve kesme hızının ters etki ettiği görülmüştür. Bağımsız değişkenlerin (P, F, PF, V, f) kesme kuvvetine olan etkileri dikkate alınarak denklem 2’de verilen matematiksel model geliştirilmiştir.

Tablo 10. Yüzey pürüzlülüğü model sabitleri ve katsayılar tablosu

Model	Katsayılar		Standart katsayılar	t	P
	B	Hata			
Sabit	-0,8061	0,195		-3,87	0,001
P	0,18417	0,051	-0,194	-3,30	0,002
F	0,12417	0,047	0,140	2,50	0,018
PF	0,085	0,041	0,095	1,82	0,019
V	-0,0022	0,001	-0,071	-2,42	0,021
f	16,4417	0,497	0,969	33,07	0,000

Yüzey pürüzlülüğü modeli için model sabitleri ve katsayılar kullanılarak geliştirilen matematiksel model denklem 2’de verilmiştir.

$$Ra = -0,806 - 0,184 * P + 0,124 * F + 0,085 * PF - 0,002 * V + 16,442 * f \quad (2)$$



Şekil 2. Yüzey pürüzlülüğü deney sonuçları ile model sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 2’de verilen grafikte görüldüğü üzere geliştirilen model (Denklem 2) sonuçları ile deney sonuçları değerlerinin birbirlerine çok yakın çıktığı gözlenmektedir. Başka bir deyişle geliştirilen modelde hata (artık) miktarının az olduğu görülmektedir. Hata miktarının az oluşunun sebebi geliştirilen modelin belirlilik katsayısının $R^2 = 0,973$ (Tablo 7) yüksek olmasındandır. Belirtme katsayısı R^2 ’nin 1’e yakın olması geliştirilen modelin güçlü olduğunu ve hataların az olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR

1. Deney sonuçlarından elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına etki eden parametrelerin belirlenip matematiksel model geliştirilmiştir. Her iki modelin de %95 güven aralığı seviyesinde kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

2. Modellerden elde edilen sonuçlar da hata miktarının az ve sonuçların deneysel sonuçlara çok yakın olduğu görülmüştür.

3. Perlitik, ferritik, perlitik+ferritik, kesme hızı ve ilerleme miktarının kesme kuvvetini açıklama oranı %98,2 olmuştur. Bu parametrelerden kesme kuvvetini etkileyen en önemli parametrenin yaklaşık %80 ile ilerleme miktarı olduğu ortaya çıkmıştır.

4. İlerleme miktarının artışı ile kesme kuvveti de artmıştır.

5. Perlitik mikro yapıya sahip malzemenin kullanılması ve kesme hızının artışıyla az da olsa kesme kuvvetlerinde azalma olduğu görülmüştür. Üç farklı yapıya sahip vermiküler dökme demirler içerisinde perlitik+ferritik mikro yapıya sahip malzemelerin işlenmesi esnasında kesme kuvveti daha fazla olmuştur.

6. Perlitik, ferritik, perlitik+ferritik, kesme hızı ve ilerleme miktarının oluşan yüzey pürüzlülüğünü açıklama oranı %97,23 olmuştur. Bu parametrelerden yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin yaklaşık %94 ile ilerleme miktarı olduğu ortaya çıkmıştır.

7. İlerleme miktarının artışı ile yüzey pürüzlülüğü de belirgin bir şekilde artmıştır. Perlitik mikro yapıya sahip malzemenin kullanılması ve kesme hızının artışıyla az da yüzey pürüzlülüğünde azalma olduğu gözlenmiştir. Üç farklı yapıya sahip vermiküler dökme demirler içerisinde perlitik+ferritik mikro yapıya sahip malzemelerin işlenmesi esnasında ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) daha fazla olmuştur. Fakat bu artışlar ilerleme miktarının artışıyla meydana gelen yüzey pürüzlülüğü ile kıyaslandığında çok daha az miktarda olduğu tespit edilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın yapılmasındaki desteklerinden dolayı, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (41/2007-06) ve COMPONENTA Döktaş Dökümcülük Tic. Ve San. A.Ş. Kalite Kontrol Müdürü Sayın Bülent ŞİRİN’e teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Murthy, V.S.R., Kishore, Seshan, S., “Characteristics of Compacted Graphite Cast Iron”, Transactions of the American Foundrymen's Society, 92:373-380 (1984).
2. “Modern metal cutting – A practical handbook”, Sandvik Coromant, Sweden, 1-3 (1994).
3. Stefanescu, D. M., “Compacted Graphite Iron”, ASM Handbook, 1:1480-1489 (1988).
4. Cooper, K. P., Loper, C. R., “Some Properties of Compacted Graphite Cast Iron”, American Foundry Society Transactions, 86: 241-248(1978).
5. Melleras, E., Guesser, W.L., Boehs, L., “Study of Machinability of Compacted Graphite Iron for Drilling Process”, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 26, 22-27, (2004).
6. Phillips, C. W., “Machinability of Compacted Graphite Iron”, American Foundry Society Transactions, 86:41-52(1982).
7. Walton, C.F., “Iron Casting Handbook”, Iron casting society, 29, 128-397 (1981).
8. Sahm, A., Schulz, H., “Wear mechanism when machining compacted graphite iron”, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 51, 53-56 (2002).
9. Sergeant, G. F., Evans, E. R., “The Production and properties of Compacted Graphite Irons”, British Foundryman, 75(5):115-124 (1978).
10. Dawson, S., Hollinger, I., Robbins, M., Daeth, J., Schulz, H., Reuter, U., “The Effect of Metallurgical Variables on the Machinability of Compacted Graphite Iron”, Emerging Casting Processes and Materials for the Automotive Industry, 1:1-409 (2001).
11. Dawson, S., Schroeder, T., “Practical Applications for Compacted Graphite Iron”, American Foundry Society Transactions, 1-9 (2004).
12. Riposan, I., Chisamera, M., Sofroni, L., “Contribution to the Study of Some Technological and Applicational Properties of Compacted Graphite Cast Iron”, American Foundry Society Transactions, 35-48 (1985).
13. Köksal, S., “Face Milling of Nickel-based Superalloys with Coated and Uncoated Carbide Tools”, PhD. Thesis, School of Engineering, Coventry University, England, 1-60 (2000).

14. Taşdemir, Ş., Neşeli, S., Sarıtaş, İ., Yıldız, S., 2008, "Prediction Of Surface Roughness Using Artificial Neural Network In Lathe", Compsystech'08, Gabrovo, Bulgaristan.
15. Mike, S., L., Joseph, C., "Caleb M., Surface Roughness Prediction Technique For Cnc End-Milling", Journal Of Industry Technology, 15, 1, 1-1-6, (1998).
16. Thamma, R., "Comparision Between Multiple Regression Models Tostudy Effect Of Turning Parameters On The Surface Roughness", Proceedings Of The 2008 Iajc-Ijme International Conference, 133-145, Usa, (2008).
17. Tosun, N., Özler, L., "A Study Of Tool Life In Hot Machining Using Artificial Neural Networks And Regression Analysis Method", Journal Of Material Processing Technology, 124, 99-104, (2002).
18. Yang, Y. K., Chuang, M. T., Lin, S. S., "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, (2009).
19. Kaçal, A., Gülesin, M., "Azdırma Freze Çakılarında Kesme Kuvveti Bileşenlerinin Deneysel Ve İstatistiksel Olarak İncelenmesi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 24(3): 453-460, 2009