

Frezeleme İşlemlerinde Titreşimi ve Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Parametrelerin Optimizasyonu

Volkan YILMAZ¹, Hakan DİLİPAK², Murat SARIKAYA³, Ceren Yaman YILMAZ⁴,
Güven MERAL⁵

¹ Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Böl., Ankara.

² Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Böl., Ankara.

³ Sinop Üniversitesi, Mes. Yük. Ok. Makine ve Metal Tek. Böl., Sinop.

⁴ Gazi Üniversitesi Atatürk MYO. Makine ve Metal Tek. Böl., Ankara.

⁵ Gazi Üniversitesi, Ostim Meslek Yüksekokulu, Ankara.

Özet

Bu çalışmada, frezeleme işlemlerinde kesme parametrelerinin titreşim ivme seviyesi ve yüzey kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmış ve optimum işleme parametreleri tespit edilmiştir. Deneylerde Taguchi tasarım tekniği kullanılmış ve 132, 220, 308 mm/min kesme hızı, 0,05, 0,1, 0,2 mm/tooth ilerleme, 1, 1,5 mm kesme derinliği ve 1, 2, 4 adet uç sayısı kontrol faktörleri olarak belirlenmiştir. İşleme parametrelerine uygun olarak deneylerde Taguchi L₁₈ (2¹x3³) orthogonal dizi seçilmiştir. Deney sonuçları değerlendirilirken Minitab 15 yazılımı yardımıyla sinyal/gürültü (S/N) oranı esas alınmış ve optimum titreşim ivmesi seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini veren kontrol faktörleri belirlenmiştir. Kontrol faktörlerinin sonuçlara etkisi varyans analizi (ANOVA) yardımıyla bulunmuştur. Sonuç olarak titreşim ivme seviyesi ve yüzey pürüzlülüğünün en fazla ilerleme değerinden etkilendiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Frezeleme, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, optimizasyon

Optimization of Parameters Affecting the Vibration and Surface Roughness in Milling Operations

Abstract

In this study, the effects have researched cutting of parameters on accelerations levels of vibration and surface quality and parameters of optimum machining have been determined. Technique of Taguchi design have used in experimental and 132, 220, 308 mm/min cutting speed, 0,05, 0,1, 0,2 mm/tooth feed rate, 1, 1,5 mm cutting depth and 1, 2, 4 the number of cutting edge have been determined as control factors. Taguchi L₁₈ (2¹x3³) orthogonal array have chosen in accordance with machining parameters in experimental. Minitab 15 software with the help of evaluate the results of the experimental signal / noise (S / N) ratios have based and control the factors have been determined that the optimum level of vibration acceleration and the values of surface roughness have obtained. Influence of control factors has found with the help analysis of variance (ANOVA) on surface of quality. Results, levels of vibration and surface roughness have determined the most affected the value of feed.

Key words: Milling, vibration, surface roughness, optimization

1. Giriş

Takım tezgâhları ile malzeme üzerinden talaş kaldırma işlemleri esnasında meydana gelen ve kontrol edilemeyen titreşimler, elde edilen üründeki ölçü tamlığını, yüzey kalitesini, kesici takım ömrünü ve takım tezgahını etkilemektedir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar, talaş kaldırma işlemi esnasında meydana gelen bu tür titreşimlerin son derece karmaşık bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Yılmaz, 2009). Talaşlı imalat işlemleri sırasında meydana gelen ve kontrol edilemeyen titreşimler, iş parçası yüzey kalitesinin bozulmasına, iş parçası ölçü tamlığının istenilen hassasiyette elde edilememesine, kesici takımın erken aşınmasına ve kırılmasına, takım tezgahı bileşenlerinin zarar görmesine ve yüksek gürültülere sebep olmaktadır. Yapılan çalışmalar talaşlı imalat işlemleri esnasında oluşan titreşimlerin karmaşık bir yapıda olduğunu ortaya koymuştur (Ay, 2003). Talaşlı imalat işlemleri sırasında meydana gelen titreşimler genel olarak zorlamalı titreşim (forced vibration) ve kendinden tahrikli titreşim (self-excited vibration) olarak ikiye ayrılmaktadır. Zorlamalı titreşim, genellikle takım tezgâhının tahrik sistemlerinden, bileşenlerinin dengesizliğinden, yanlış ayarlamalardan, motor ve pompalardan kaynaklanan bazı periyodik kuvvetler sonucu meydana gelmektedir. Genel olarak tırlama (chatter) olarak da isimlendirilen kendinden tahrikli titreşim, talaş kaldırma işlemi ile takım tezgahı yapısının etkileşiminden kaynaklanır (Kalpakjian, 1991). Talaşlı imalat alanında son yıllarda elde edilen üstün teknolojik gelişmeler, bu alandaki imalatı oldukça iyi bir düzeye çıkarmasına rağmen, hala işleme performansını etkileyen birçok sorun mevcuttur. Takım-iş parçası ara yüzeyinde fiziksel temasın varlığından ve takım tezgâhlarının hareketli elemanlarından (motor, dişli kutusu, kızak kayıt sistemleri v.b) kaynaklanan titreşimler kesici uçta etkisini göstererek yüzey kalitesini ve işleme performansını olumsuz etkilediği bir gerçektir. Ayrıca tezgahların üzerine monte

edildikleri zeminden gelen dış etkilerin oluşturduğu titreşimler de tezgahın bütünlüğünden dolayı işleme esnasında kesici uçta titreşim olarak kendini hissettirmekte ve kesme performansını olumsuz olarak etkilemektedir. Kesici takım titreşimleri, işlenen parça yüzeyinde kötü yüzey kalitesi ve ölçü hassasiyetine, kesici takımın çabuk aşınmasına ve kırılmasına sebep olduğu ve daha da önemlisi takım tezgahına önemli ölçüde zarar verdiği bilinmektedir (Sadettin vd., 2006; Taşkesen ve Ercan, 2003; Wiercigroch, 1997; Yellowley, 1987; Konodo vd., 1997). Talaşlı imalat yöntemleriyle işlenen malzemelerin yüzey kalitesini artırmak için bilimsel düzeyde araştırmalar çok yoğun bir şekilde devam etmektedir. Talaşlı imalat esnasında iş parçasının yüzey kalitesini etkileyen kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, talaş kaldıran takımın geometrisi, kesme derinliği vb.) en önemli parametrelerdir (Lin ve Hu, 1992; Choudhury ve Sharath, 1995). Ayrıca kesici takımda oluşan titreşimler, işlenen yüzeylerin kalitesini ve tezgâh verimini olumsuz etkilemektedir (Saxena, 1992). İyi kalitede bir ürün için işleme parametrelerinin doğru seçimi ve kontrol edilemeyen faktörlerin olumsuz etkilerini en aza indirebilecek parametre kombinasyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Taguchi'nin deneysel tasarım yöntemi yüzey pürüzlülüğünün ve kesici ömrü üzerine etkili parametrelerin belirlenmesi için araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Sağlam ve Yıldız, 2003; Tosun vd., 2004).

Bu çalışmada AISI 1050 çelik malzemenin frezelenmesinde kesme hızı, ilerleme, kesici uç sayısı ve kesme derinliğinin titreşim ve yüzey kalitesi üzerindeki etkisi Taguchi deneysel tasarım tekniği yardımıyla araştırılmış ve optimum işleme şartları tespit edilmiştir. Ayrıca varyans analizi ile kesme parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkisi bulunmuştur.

2. Materyal ve Metot

Kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilen AISI 1050 malzeme üzerinde yapılan frezeleme deneylerinde üç farklı kesme hızı (132, 220, 308 mm/min), üç farklı ilerleme (0,05, 0,1, 0,2 mm/tooth), iki farklı kesme derinliği (1, 1,5 mm) ve üç farklı uç sayısı (1, 2, 4) kullanılmıştır.

Tablo 1. AISI 1050 deney malzemesinin kimyasal bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr
0,430	0,212	0,730	0,0197	0,0390	0,0776
%Mo	%Ni	%Al	%Co	%Cu	%Fe
0,00752	0,0972	0,0110	0,00603	0,297	98,06

Deneyler ISO 8688-1 ve 8688-2’de belirtilen deney şartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiş ve deneylerde Bering marka TPKN 2204 PDR PK6030 TiN kaplı karbür kesici uç ile Takımsaş marka FKR 2017 0080 takım tutucu kullanılmıştır. Deneylerde JOHNFORD VMC-550 CNC freze tezgâhı kullanılmıştır. CNC tezgâhı; üç eksenle lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO formatlı programlanabilir FANUC kontrol üniteli bir Dik İşleme Merkezidir. Kesme parametrelerinin “girdi” olarak değerlendirildiği deneysel çalışmalar neticesinde “çıktı” olarak; titreşim ivme seviyeleri (RMS) ve yüzey kalitesi (ortalama yüzey pürüzlülüğü, Ra) değerlendirilmiştir. Titreşim ivme seviyelerinin ölçülmesinde Milli Eğitim Bakanlığı Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü Matbaa Bölümünde bulunan Commtest VB 3000 Titreşim analiz cihazı (spektrum Analizörü) kullanılmıştır. Yüzey kalitesini belirlemek amacıyla, işlenmiş yüzeylerde ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerini ölçmek için portatif bir yüzey pürüzlülük cihazı olan Mahr Perthometer M1 cihazı kullanılmıştır. Deneyler bölüm 3’ de Taguchi tekniğiyle belirlen sayıda yapılmıştır.

3. Deney Tasarımı

Deney tasarım ve analiz yöntemi olarak Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin

ana basamakları, (1) faktör ve etkileşimlerin belirlenmesi, (2) her bir faktörün seviyelerinin belirlenmesi, (3) uygun orthogonal matrisin seçilmesi, (4) faktör ve etkileşimlerin orthogonal matrislerin sütunlarına aktarılması, (5) deneylerin yapılması, (6) verilerin analizi ve optimal seviyelerin belirlenmesi, ve (7) doğrulama deneylerinin yapılmasıdır (Chen vd., 1996). Taguchi tekniğiyle en uygun parametreler seçilerek optimum titreşim ivme seviyesi ve yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi amaçlanmıştır. Belirlenen parametreler ve bunların seviyeleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deney faktörleri ve seviyeleri

Faktörler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesme derinliği (A)	mm	1	1,5	
İlerleme (C)	mm/tooth	0,05	0,1	0,2
Kesme hızı (B)	m/min	132	220	308
Uç sayısı (D)	adet	1	2	4

Tablo 2’deki kesme parametreleri dikkate alınarak deneysel çalışma için en uygun tasarım olarak 18 deneyli Taguchi $L_{18}(2^1 \times 3^3)$ orthogonal dizin seçilmiştir. Minitab 15 yazılımı yardımıyla belirlenen L_{18} lik deney tasarımı Tablo 3’de görülmektedir.

Tablo 3. Taguchi L_{18} orthogonal deney tasarımı

Deney No	Değişkenler	Kesme derinliği	İlerleme	Kesme hızı	Uç sayısı
1	A1B1C1D1	1	1	1	1
2	A1B1C2D2	1	1	2	2
3	A1B1C3D3	1	1	3	3
4	A1B2C1D1	1	2	1	1
5	A1B2C2D2	1	2	2	2
6	A1B2C3D3	1	2	3	3
7	A1B3C1D2	1	3	1	2
8	A1B3C2D3	1	3	2	3
9	A1B3C3D1	1	3	3	1
10	A2B1C1D3	2	1	1	3
11	A2B1C2D1	2	1	2	1
12	A2B1C3D2	2	1	3	2
13	A2B2C1D2	2	2	1	2
14	A2B2C2D3	2	2	2	3
15	A2B2C3D1	2	2	3	1
16	A2B3C1D3	2	3	1	3
17	A2B3C2D1	2	3	2	1
18	A2B3C3D2	2	3	3	2

4. Bulgular ve Tartışma

Kontrol faktörlerinin seviyeleri, yapılan işlenebilirlik deneylerinden elde edilen titreşim ivme seviyeleri (m/s/s), yüzey pürüzlülüğü (μm) sonuçları ve sinyal/gürültü (Sinyal to Noise ratio –S/N) oranları Tablo 4’de verilmiştir. Taguchi yönteminde performans belirlemede üç farklı analiz

mevcuttur (Şirvancı, 1997). Bu çalışmanın amacı en düşük titreşim ivmesi seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü değerini elde etmektir. Bu yaklaşımdan yola çıkarak “en küçük en iyidir” analizi kullanılmıştır. Titreşim ivme seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki her bir kontrol faktörünün S/N analizi Tablo 5’de görülmektedir.

Tablo 4. Deney sonuçları ve S/N oranları

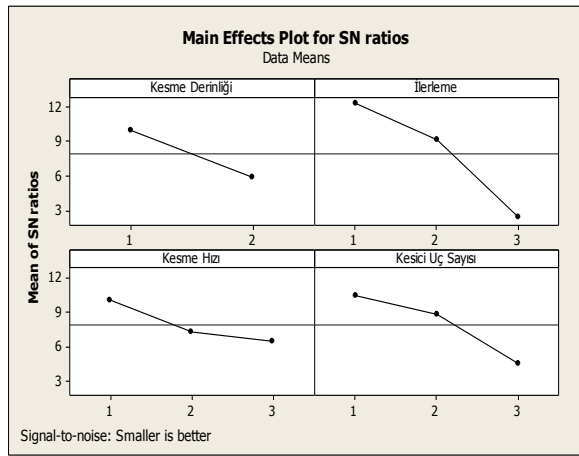
Dny. No	Titreşim		Yüzey pürüzlülüğü		Dny. No	Titreşim		Yüzey pürüzlülüğü	
	RMS (m/s/s)	S/N (dB)	Ra (μm)	S/N (dB)		RMS (m/s/s)	S/N (dB)	Ra (μm)	S/N (dB)
1	0,108	19,331	0,772	2,247	10	0,375	8,519	0,439	7,150
2	0,172	15,289	0,759	2,395	11	0,248	12,111	0,669	3,491
3	0,365	8,754	0,395	8,068	12	0,338	9,421	0,393	8,112
4	0,140	17,077	0,673	3,439	13	0,310	10,172	0,567	4,928
5	0,318	9,951	0,871	1,199	14	0,752	2,475	0,806	1,873
6	0,427	7,391	0,875	1,159	15	0,414	7,660	0,298	10,515
7	0,478	6,411	1,239	-1,861	16	1,159	1,281	1,652	4,360
8	0,848	1,432	1,592	-4,038	17	0,767	2,304	0,527	5,563
9	0,629	4,027	0,621	4,138	18	0,860	1,310	1,385	2,829

Tablo 5. Parametre seviyelerinin S/N yanıt tablosu

Seviyeler	Kesme Derinliği		İlerleme		Kesme Hızı		Uç sayısı	
	RMS	Ra	RMS	Ra	RMS	Ra	RMS	Ra
1	9,963	1,8609	12,238	5,2442	10,038	1,9241	10,419	4,8994
2	5,855	3,8274	9,121	3,8527	7,261	1,7474	8,759	1,9908
3	-	-	2,367	-0,5646	6,427	4,8608	4,549	1,6421
Delta	4,108	1,9665	9,871	5,8088	3,611	3,1134	5,870	3,2573
Sıralama	3	4	1	1	4	3	2	2

4.1 Titreşim ivmesi sonuçlarının optimizasyonu ve değerlendirilmesi

Parametre seviyelerinin S/N oranları incelendiğinde (Tablo 5) titreşim ivme seviyeleri üzerinde en etkili parametrelerin sırasıyla ilerleme, kesici uç sayısı, kesme derinliği ve kesme hızı olduğu görülmüştür. Taguchi teknikleri ile Şekil 1'den, tablo 2'de verilen kontrol parametrelerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir. S/N değerinin büyük olduğu seviye, tüm faktörlerin seviyeleri arasında optimum seviyedir.



Şekil 1. Titreşim ivmesi sonuçları için kontrol faktörlerinin S/N oran grafikleri

Herhangi bir parametre için en iyi değer o parametrenin tüm seviyeleri içerisinde elde edilen en büyük S/N oranına göre bulunmuştur. Buna göre optimum yani en düşük titreşim seviyesi kesme derinliğinin birinci seviyesinde (A1), ilerlemenin birinci seviyesinde (B1), kesme hızının birinci seviyesinde (C1) ve kesici uç sayısının birinci seviyesinde (D1) elde edilmiştir (tablo 6).

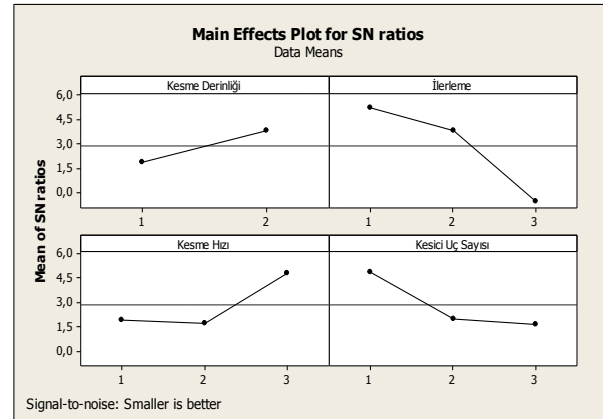
Tablo 6. Titreşim ivmesi (RMS) için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol Faktörleri	Optimum seviye	Optimum değer
Kesme derinliği (A)	1	1 mm
İlerleme (B)	1	0,05 mm/tooth
Kesme hızı (C)	1	132 m/min
Kesici uç sayısı (D)	1	1 adet

Şekil 1'de frezeleme esnasında oluşan titreşim ivmesi değerlerinin kontrol faktörlerine göre sapmaları görülmektedir. Buna göre titreşim ivme seviyesi dört kontrol parametresinin de artmasıyla artmıştır.

4.2 Yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının optimizasyonu ve değerlendirilmesi

Parametre seviyelerinin S/N oranları incelendiğinde (Tablo 5) yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrelerin sırasıyla ilerleme, uç sayısı, kesme hızı ve kesme derinliği olduğu tespit edilmiştir. Taguchi teknikleri ile Şekil 2'den, Tablo 2'de verilen kontrol parametrelerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir.



Şekil 2. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları için kontrol faktörlerinin S/N oran grafikleri

Herhangi bir parametre için en iyi değer o parametrenin tüm seviyeleri içerisinde elde edilen en büyük S/N oranına göre bulunmuştur.

Tablo 7. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol Faktörleri	Optimum seviye	Optimum değer
Kesme derinliği (A)	2	1,5 mm
İlerleme (B)	1	0,05 mm/tooth
Kesme hızı (C)	3	308 m/min
Kesici uç sayısı (D)	1	1 adet

Buna göre optimum yani en düşük yüzey pürüzlülüğü, kesme derinliğinin ikinci seviyesinde (A2), ilerlemenin birinci seviyesinde (B1), kesme hızının üçüncü seviyesinde (C3) ve

kesici uç sayısının birinci seviyesinde (D1) elde edilmiştir (Tablo 7).

4.3 Varyans analizi (Anova)

Deney sonuçları kullanılarak Tablo 8 ve Tablo 9'da titreşim ivme seviyesi ve yüzey

pürüzlülüğü için varyans analizi (ANOVA) tabloları oluşturulmuştur. Bu tablolarda, titreşim ivme seviyesi ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin etki oranları yüzde (%) olarak görülmektedir.

Tablo 8. Titreşim ivme seviyesi için oluşturulan ANOVA tabloları

	Faktörler	SD	KT	KO	F Değeri	P	YD
A	Kesme derinliği	1	0,16781	0,16781	22,06	0,001	%11,7
B	İlerleme	2	0,89237	0,44618	58,66	0,000	%62,5
C	Kesme hızı	2	0,02810	0,01405	1,85	0,208	%2
D	Kesici uç sayısı	2	0,26421	0,13211	17,37	0,001	%18,5
	Hata	10	0,07607	0,00761	-	-	%5,3
	Toplam	17	1,42856	-	-	-	%100

SD:Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, KO: Kareler ortalaması, P:Anlamlılık<0,05, YD:Yüzde dağılımı

Titreşim ivme seviyesine etki eden faktörler Tablo 8'de incelendiğinde en etkili faktörlerin sırasıyla %62,5 ile ilerleme, %18,5 ile kesici uç sayısı, %11,7 ile kesme derinliği ve %2 ile kesme hızı olduğu

görülmüştür. $P < 0,05$ anlamlılık düzeyinde kesme hızı dışındaki tüm faktörlerin titreşim ivme seviyesine etkisinin önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Tablo 9. Yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan ANOVA tabloları

	Faktörler	SD	KT	KO	F Değeri	P	YD
A	Kesme derinliği	1	0,06254	0,06254	0,70	0,423	%2,2
B	İlerleme	2	1,21566	0,60783	6,77	0,014	%43,3
C	Kesme hızı	2	0,19359	0,09679	1,08	0,377	%6,9
D	Kesici uç sayısı	2	0,43713	0,21857	2,44	0,138	%15,6
	Hata	10	0,89752	0,08975	-	-	%32
	Toplam	17	2,80645	-	-	-	%100

SD:Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, KO: Kareler ortalaması, P:Anlamlılık<0,05, YD:Yüzde dağılımı

Yüzey kalitesine etki eden faktörler Tablo 9'da incelendiğinde en etkili faktörlerin sırasıyla %43,3 ile ilerleme, %15,6 ile kesici uç sayısı, %6,9 ile kesme hızı ve %2,2 ile kesme derinliği olduğu görülmüştür. $P < 0,05$ anlamlılık düzeyinde sadece ilerleme değerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir.

4.4 Doğrulama deneyleri

Taguchi optimizasyon metodunu kullanarak, yapılan deneysel çalışma da titreşim ivme seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin

optimal sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar bazen mevcut deneylerden herhangi biri olabilirken, bazen ise yapılan deneylerin haricinde bir deney sonucu olabilmektedir. Nitekim yaptığımız bu çalışmada da durum bu şekilde ortaya çıkmıştır. Titreşim seviyesi için optimum sonuca mevcut deneylerden (A1B1C1D1) ulaşılırken, yüzey pürüzlülüğü için optimum sonuca mevcut deneylerden farklı olarak A2B1C3D1 deney şartlarında ulaşılmıştır. Doğrulama deneyinden elde edilen sonuçlar, yapılan optimizasyonun başarısını yansıtmaktadır. Bu doğrultuda optimal

şartların tahmin edildiği ve hesaplamalar sonucu elde edilen değerler ile doğrulama deneyleri sonucunda elde edilen titreşim

seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü değerleri Tablo 10 ve Tablo 11’de sunulmuştur.

Tablo 10. Titreşim seviyesi için optimum sonuçlar ve doğrulama deneyleri

Taguchi Opt.	Tahmin edilen sonuç				Doğrulama deneyi sonucu			
Seviye	A1B1C1D1				A1B1C1D1			
Kesme şartları	1	0,05	132	1	1	0,05	132	1
Titreşim ivmesi (m/s/s)	0,108				0,108			

Tablo 11. Yüzey pürüzlülüğü için optimum sonuçlar ve doğrulama deneyleri

Taguchi Opt.	Tahmin edilen sonuç				Doğrulama deneyi sonucu			
Seviye	A2B1C3D1				A2B1C3D1			
Kesme şartları	1,5	0,05	308	1	1,5	0,05	308	1
Yüzey pürüzlülüğü (µm)	0,251				0,264			

Doğrulama deney sonuçları incelendiğinde titreşim ivme seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü için elde edilen bütün sonuçların yeterli olduğu ve Taguchi optimizasyonunun başarıyla uygulandığı görülmektedir.

5. Sonuçlar

Literatürde yapılan çalışmalar da dikkate alınarak deney sonuçlarının daha sağlıklı ve kabul edilebilir değerlerde olmasına yardımcı olacağı ve optimal değerlere daha kısa zamanda ulaşarak zaman ve maliyetten kazanımların olacağı düşünülerek Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Taguchi $L_{18}(2^1 \times 3^3)$ orthogonal deney tasarımı ile 54 deney yerine 18 deney verisi ile sonuçlar kısa zamanda tespit edilmiş ve optimum kesme parametrelerine ulaşılmıştır. Bu çalışmanın sonucu ile yapılan değerlendirmelere göre;

Taguchi yöntemi ile işleme şartlarında istenmeyen faktörlerin etkisi kısa zamanda tespit edilmiş, zaman ve maliyet düşürülerek ürün kalitesi arttırılmıştır.

Titreşim ivme seviyeleri; kesme derinliği, ilerleme, kesme hızı ve kesici uç sayısı artışından olumsuz bir şekilde etkilenmiştir. En iyi sonuca kesme parametrelerinin en düşük seviyelerinde ulaşılmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü; ilerleme ve kesici uç sayısının artmasıyla olumsuz bir şekilde artış gösterirken; kesme hızı artışıyla ise azalma eğilimi göstermiştir. En iyi sonuca ilerleme ve kesici uç sayısının en düşük seviyesinde, kesme hızının ise en yüksek seviyesinde ulaşılmıştır.

Titreşim ivme seviyesini en fazla etkileyen parametre ilerleme değeri, en az etkileyen parametrenin ise kesme hızı olduğu görülmüştür.

Yüzey pürüzlülüğünü en fazla etkileyen parametrenin ilerleme değeri, en az etkileyen parametrenin ise kesme derinliği olduğu tespit edilmiştir.

Son olarak doğrulama deneyleri neticesinde Taguchi optimizasyonunun başarıyla uygulandığı görülmüştür.

6. Kaynaklar

[1] Ay, M. 2003. CNC Freze Tezgâhında Frezeleme Esnasında Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Ve Titreşimlerin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-3, 30-33, 48-50.

- [2] Chen, Y. H., Tam, S. C., Chen W. L. ve Zhengy, H. Y. 1996. Application of Taguchi Method in the Optimization of Laser Micro-Engraving of Photomasks, *International Journal of Materials & Product Technology*, 11, 333-344.
- [3] Choudhury, S. K., Sharath, M.S. 1995. On Line Control of Machine Tool Vibration During Turning, *J. Mater. Proc. Technol.* 47:251
- [4] Kalpakjian, S. 1991. Manufacturing Processes for Engineering Materials Second Edition, *Addison, Wesley*, 42-75.
- [5] Konodo, E., Ota, H., Kawai, T. 1997. A New Method To Detect Regenerative Chatter Using Spectral Analysis, Part 1: Basic Study On Criteria For Detection of Chatter, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 119:461-466.
- [6] Lin, S. C., Hu, M. R. 1992. Low Vibration Control System in Turning, *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, 32:629.
- [7] Sadettin, O., Ali Osman, E., Necip, C., Ersan, A. 2006. Tool Wear Evaluation by Vibration Analysis During End Milling of AISI D3 Cold Work Tool Steel With 35 HRC Hardness', *2DT&E International*, 121-126.
- [8] Sağlam, H. ve Yıldız, S. 2002. Frezelemede Kesme Parametreleri ile Kesme Kuvvetlerinin Değişimi ve Bunların Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, *Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enst. Dergisi*, Cilt 15, No 1.
- [9] Saxena, J. P. 1982. Effect of Machining Conditions on Cutting Tool Vibrations, *Advances in Machine Tool Design and Manufacturing Technology*, Proceedings of the 10th All India Machine Tool Design and Research Conference, Durgapur, India, 98:106.
- [10] Şirvancı, M. 1997. Kalite İçin Deney Tasarımı, *Literatür Yayınları*, 110.
- [11] Taskesen, A., Ercan, Y. 2003. Dik Kesme İşlemi Sırasında Takım Tezgahı Titreşimlerinin Ve Kararlılığının Bir Serbestlik Dereceli Kesme Modeli İle Nonlineer Analizi Ve Tırlamanın Tahmini, *11. Makina Teorisi Sempozyumu*, Ankara, 503-515.
- [12] Tosun, N., Cogun, C., Tosun, G. 2004. A Study on Kerf and Material Removal Rate in Wire Electrical Discharge Machining Based on Taguchi Method, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 152, 316-322.
- [13] Wiercigroch, M. 1997. Chaotic Vibration of a Simple Model of the Machine Tool- Cutting Process System, *ASME Journal of Engineering for Industry*, 119: 468-475.
- [14] Yellowley, I. 1987. A Simple Predictive Model of Orthogonal Metal Cutting, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 27:357-365.
- [15] Yılmaz, V. 2009. Frezeleme Uygulamalarında İşleme Parametrelerinin Sebep Olduğu Titreşimlerin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.