



## AIISI 1050 Çeliğinin Delinmesinde İtme Kuvvetinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu

Selçuk YAĞMUR<sup>1,\*</sup>, Ramazan ÇAKIROĞLU<sup>2</sup>, Adem ACIR<sup>3</sup>, Ulvi ŞEKER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Ankara

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara

### Öz

Bu çalışmada AISI 1050 delinebilirlik performansı araştırılmıştır. Giriş parametreleri olarak, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesici takım belirlenmiştir. Çalışmada ilk olarak Taguchi L18 ortogonal dizini esas alınarak deney tasarımı yapılmıştır. İkinci olarak kaplamasız ve kaplamalı (TiN/TiAl/TiCN) kesici takımlar ile üç farklı ilerleme hızı (0,15-0,20-0,25 mm/dev) ve kesme hızı (75-90-108 m/dak) kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Delik delme işlemleri CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Kesme esnasında meydana gelen kuvvetler Kistler 9257 B model dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen deney verileri kullanılarak Taguchi Metodu yardımıyla en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir. Uygulanan Taguchi yöntemi neticesinde, en uygun parametrenin kaplamalı takım için, kesme hızı 90 m/dak ve ilerleme hızı ise 0,15 mm/dev olarak bulunmuştur.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 26/10/2016

Kabul: 17/02/2017

### Anahtar Kelimeler

Delme  
Kesme Kuvvetleri  
Yekpare Sementit Karbür  
Matkap  
Kesme Parametreleri

### Keywords

Drilling  
Cutting Forces  
Solid Cemented Carbide  
Drill  
Cutting Parameters

### The Optimization of Thrust Force in Drilling Operation on AISI 1050 Steel with Taguchi Method

#### Abstract

In this study, drillability performance was investigated on AISI 1050. Cutting speed, feed rate and cutting tool were determined as input parameters. Firstly, experimental design was made based on Taguchi L18 orthogonal array. Secondly, the experiments were carried out with three different feed rate (0,15-0,20-0,25 mm/rev) and three different cutting speeds (75-90-108 m/min) by using uncoated and coated (TiN/TiAl/TiCN) cutting tools. Drilling operations were performed at the CNC vertical machining center. The forces which occurred during cutting were measured with the help of Kistler 9257 B dynamometer. Optimum cutting parameters were determined by using the obtained datas from experiments under favour of Taguchi Method. As a result of the applied Taguchi method, the most suitable parameter was found to be 90 m/min cutting speed and 0,15 mm/rev feed rate for coated drill.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Delik delme, kesici takımlarla bir iş parçasına silindirik delik açma yöntemlerini içerir. İmalat endüstrisinde modern talaşlı imalat yöntemleri geliştirilmesine rağmen, geleneksel delik delme yöntemi ekonomikliği ve basit uygulanabilirliği gibi sebeplerden dolayı hala en yaygın kullanılan işleme yöntemidir [1]. Delme işlemi; fatura açma (kademeli delik işleme), raybalama, havşa açma ve delik büyütme gibi talaş kaldırma işlemlerini kapsamaktadır. Bütün bu işlemlerde ortak olan, doğrusal bir ilerleme hareketi ile birlikte ana bir dönme hareketinin olmasıdır [2]. Delik delme işleminde kullanılan matkapların birçoğunda iki talaş kanalı ve iki kesici kenar vardır. Talaşlar, delik içerisinden helis kanalları yardımıyla boşaltılırlar [3]. Kapalı bir ortamda gerçekleşen delme işlemlerinde yaşanan en büyük sıkıntı talaş tahliyesidir. Tahliye edilemeyen talaşlar sebebiyle delme esnasında kesme kuvvetlerinin artması matkabın kırılmasına yol açabilir.

Delme işleminin imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılması, araştırmacıların delik delme konusunda yoğun olarak çalışmalarını sağlamıştır. Çalışmacıların önemli bir kısmı farklı malzemelerin delinmesi esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır [4-10]. Deneysel çalışmalar ile birlikte farklı modelleme, analiz ve optimizasyon yöntemleri ile kesme kuvvetleri üzerindeki etkili parametre belirlenmeye çalışılmıştır [11-18].

## 2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL and METHOD)

AISI 1050 çeliğinin delinmesinde üç farklı kesme hızı (75, 90, 108 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,15, 0,20 ve 0,25 mm/dev) seçilmiştir.

Deneylerde 14 mm çapında kaplamasız ve TiN/TiAlN/TiCN çok katmanlı kaplamalı yekpare sementit karbür olmak üzere iki farklı matkap kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan matkapların mekanik ve termal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Her deney için yeni bir takım kullanmak suretiyle (9 kaplamasız ve 9 kaplamalı) toplam 18 adet deney yapılmıştır.

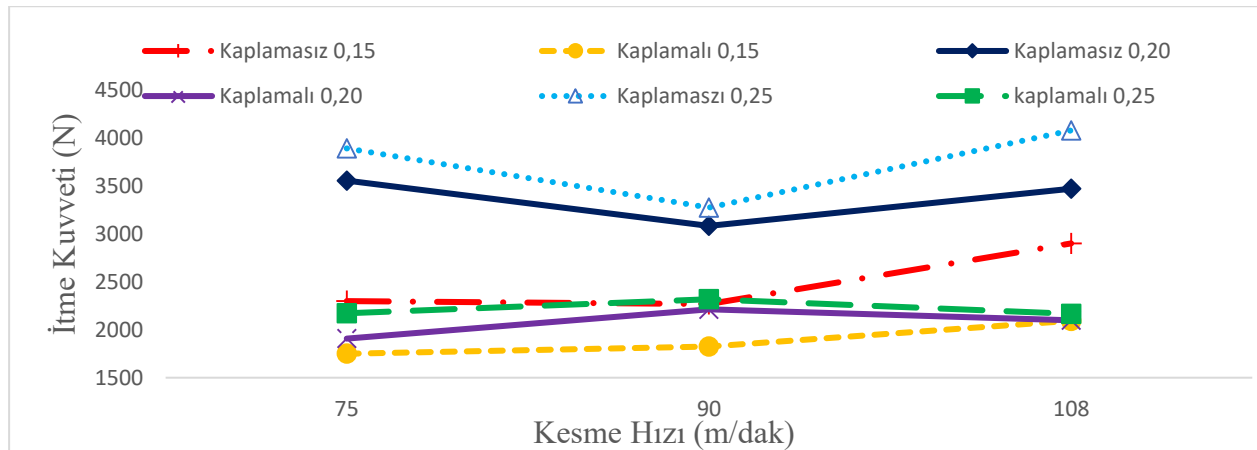
**Tablo 2.1.** Deneylerde kullanılan matkapların mekanik ve termal özellikleri

	Kaplamasız	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	14,6	12,6
Basma Dayanımı (MPa)	5000	4600
Young Modülü (GPa)	590	550
Poisson Oranı	0,22	0,22
Termal İletkenlik (W/mK)	70	45
Termal genleşme katsayısı (106/K)	5,6	6,7

Kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde var olan CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır. Tezgahın en yüksek devir sayısı 8000 dev/dak’dır. Sırasıyla x, y, ve z eksenindeki kurs boyları ise 600, 500, 600 mm’dir. Deneylerde kullanılan takım tezgahının teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için KISTLER 9257-B tipi dinamometre ve Kistler Type 5070 amplifier kullanılmıştır.

## 3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION of TEST RESULTS)

Metot bölümünde verilen kesme parametreleri kullanılarak yapılan deneyler sonrasında kesme esnasında meydana gelen itme kuvvetleri ölçülmüştür. Kesme hızları, ilerleme hızları ve kesici tipine göre itme kuvvetinin değişimi Şekil 1’deki grafiklerde verilmiştir.



**Şekil 3.1.** İlerleme kuvvetlerinin kesme hızı, kesici tipi ve ilerleme hızına bağlı olarak değişimi

Şekil 1'deki grafikten görüleceği gibi kesme hızında artış beklenenin, aksine itme kuvvetlerinde genel olarak bir artışa neden olmuştur. Delik delme işlemleri, tormalama ve frezeleme işlemlerinden farklılık arz etmektedir. Kesme hızlarının artması sonucu genel olarak itme kuvvetlerinin artması, kesme hızının artması ile artan enerji miktarının itme kuvvetleri üzerinde doğrudan etkisi olduğuna atfedilebilir. Ayrıca artan ilerleme hızı da itme kuvvetlerinin artmasına yol açmıştır. İlerleme miktarlarının artmasıyla itme kuvvetlerinin artması talaşlı imalatta beklenen bir durumdur. Bu durum; ilerleme miktarındaki artış sonucu artan talaş kesitine atfedilebilir. Talaş kesitinin artması sonucu talaş kaldırmak için ihtiyaç duyulan enerji artacak ve artan enerji de itme kuvvetlerin artmasına sebep olacaktır [9]. Kesici takımlara kaplama yapılmış olması sonucunda elde edilen itme kuvvetleri kaplamasız takımla elde edilen itme kuvvetlerinde daha düşük meydana gelmiştir. Kaplamalı takımların sürtünme katsayısının kaplamasız takımlara oranla düşük olması talaş tahliyesini kolaylaştırmış ve bu durum itme kuvvetlerinin düşmesine sebep olmuştur. Kaplamasız ve kaplamalı takımlar arasında meydana gelen en büyük itme kuvveti farkı 108 m/min kesme hızında ve 0,25 mm/rev ilerleme miktarında meydana gelmiştir. Bunu; kesme şartlarının nispeten daha zorlaşması halinde kaplamalı takımların kaplamasız takımlara göre daha iyi bir performans sergilemesine atfetmek mümkündür.

### 3.1. Sonuçların Taguchi Metodu ile Analizi (Analysis of the results by Taguchi Method)

Taguchi L18 ortogonal düzeni çerçevesinde her bir deneyden elde edilen kesme kuvvetleri baz alınarak o deney için söz konusu analiz değerleri belirlenmiştir. Kesme kuvvetleri için deney sonuçları ve S/N oranı ( $\eta$ ), Tablo 2'de verilmiştir.

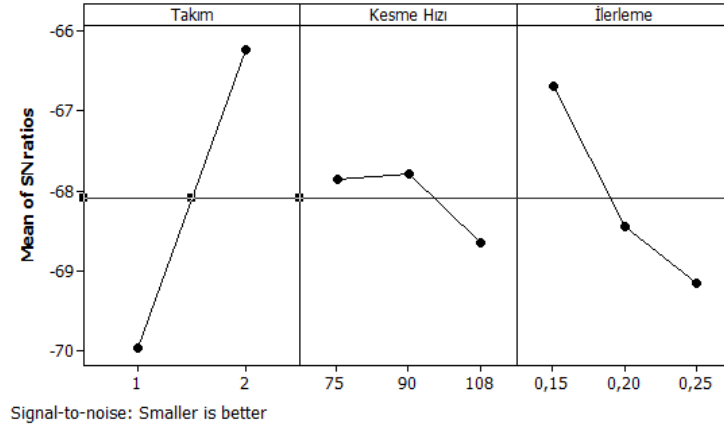
**Tablo 3.1.** Kesme kuvveti için deney sonuçları ve S/N oranı, ( $\eta$ )

Deney numarası	A (Takım)	B (Kesme hızı m/dak)	C (İlerleme hızı mm/dev)	Kesme kuvveti	
				Deney Sonucu (N)	S/N (dB)
1	Kaplamasız	75	0,15	2300	-67,2346
2	Kaplamasız	75	0,20	3558	-71,0241
3	Kaplamasız	75	0,25	3895	-71,8101
4	Kaplamasız	90	0,15	2269	-67,1167
5	Kaplamasız	90	0,20	3085	-69,7851
6	Kaplamasız	90	0,25	3276	-70,3069
7	Kaplamasız	108	0,15	2902	-69,2539
8	Kaplamasız	108	0,20	3474	-70,8166
9	Kaplamasız	108	0,25	4082	-72,2175
10	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	75	0,15	1750	-64,8608
11	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	75	0,20	1908	-65,6116
12	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	75	0,25	2125	-66,5472
13	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	90	0,15	1824	-65,2205
14	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	90	0,20	2214	-66,9036
15	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	90	0,25	2319	-67,3060
16	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	108	0,15	2094	-66,4195
17	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	108	0,20	2100	-66,4444
18	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	108	0,25	2167	-66,7172

Elde edilen deney sonuçlarının Taguchi metodu yardımıyla optimizasyonu yapılmıştır. Bu optimizasyon işleminde, Taguchi kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda gürültü oranı (S/N-Sinyal/Noise ratio) fonksiyonu olarak da ifade edilen 3 farklı amaca uygun fonksiyon bulunmaktadır. Buna göre, amacın “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi” ve “nominal en iyi” olmasına göre kullanılan eşitliklerden “en küçük en iyi” (Eşitlik 1) kullanılarak S/N oranları hesaplanmıştır.

$$\eta = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

Eşitliklerde,  $y_i$  : Performans yanıtının  $i$ . gözlem değeri,  $n$ : bir denemede test sayısı, Deneysel sonuçlar neticesinde S/N oranlarına bağlı olarak optimal parametreler tahmin edilmiştir. Şekil 2’ de kesme kuvveti değerleri için kontrol faktörlerinin S/N oranlarının grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.2. Kesme kuvveti için ortalama S/N oranı

Kesme kuvveti için yapılan optimizasyonda Şekil 2’den yararlanarak uygun kesme parametreleri “A2B2C1” olarak bulunur. Burada, kaplamalı matkap “A1”, kesme hızı “B2” (90 m/dak) ve ilerleme hızı “B1” (0,15 mm/dev)dir.

### 3.2. Kesme Kuvvetleri için ANOVA Sonuçları(ANOVA Results for Cutting Forces)

İstatistiksel bir yöntem olan varyans analizinde amaç, kesme kuvveti üzerinde hangi faktör ve seviyelerinin ne derece etkili olduğunu ortaya koymaktır. Deneylerde farklı faktör ve farklı seviye kullanılarak 18 deney yapılmış ve her bir deneyden farklı Fz değerleri ölçülmüştür.. Tablo 3 incelendiğinde kesme kuvvetine en çok etkileyen parametrenin %65’ lik oranla kesici takım olduğu görülmektedir. Ayrıca P etki değerlerine bakıldığında kesme hızının kesme kuvveti üzerinde bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Tablo 3. Kesme kuvveti için ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	KT	KO	F	P	% PCR
Kesici Takım	1	62.477	62.476	76.9	0	65.37
İlerleme	2	19.305	9.6523	11.88	0.001	18.74
Miktarı						
Kesme Hızı	2	2.801	1.4004	1.72	0.22	1.25
Hata	12	9.749	0.8124			14.64
Toplam	17	94.331				

SD: Serbestlik Derecesi; KT: Kareler Toplamı; KO: Karelerin Ortalaması PCR:Yüzde Katkı Oranları

### 3.3. Doğrulama Deneyleri Sonuçları (Verification Testing Results)

Taguchi metoduna göre, en uygun sonuçları verecek parametrelerin tahmininden sonra, optimizasyonda doğrulama deneyleri yapılmakta ve yapılan optimizasyonun doğruluğu kontrol edilmektedir. Önceden tespit edilen itme kuvveti için “A2B2C1” parametreleri kullanılarak, üç adet kontrol deneyleri sonucunda elde edilen deney sonuçlarının ortalaması alınarak sonuçların güvenilirliği irdelenmiştir. Buna göre en iyi kesme kuvveti değerlerinin elde edilmesinde, optimize edilmiş kesme parametreleri Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Kesme kuvveti için doğrulama test sonuçları

	Başlangıç kesme parametresi	Optimum kesme parametreleri	
		Tahmin	Deney
Seviye	A2B2C2	A2B2C1	A2B2C1
Kesme kuvveti (N)	1908	1483.11	1392
S/N oranı (dB)	-65.6115	-64.5057	-62.8727
İyileştirme oranı S/N	2.7388 dB		
Tahmini hata (dB)	1.633		

Doğrulama deneyleri sonunda elde edilen üç kesme kuvveti değerlerinin ortalaması 1392 N olarak bulunmuş ve ilk yapılan 18 deneyin kesme kuvveti ortalamasına (1908 N) göre %37 oranında iyileşme sağlanmıştır. Bütün bu değerler incelendiğinde Taguchi optimizasyon tekniği ile itme kuvveti değerlerinin azaldığı görülmektedir.

### 3. SONUÇ (RESULT)

AISI 1050 imalat çeliği malzemesi üzerinde yapılan delme deneyleri ile kesici takım kaplaması, kesme hızı ve ilerleme hızının itme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışmayla elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kaplamasız ve kaplamalı takımlarla yapılan deneylerin tamamında sabit kesme hızında ilerleme hızı arttıkça itme kuvvetlerinde bir artış olduğu görülmüştür. Bununla birlikte İlerleme hızının, itme kuvvetleri üzerindeki etkisinin kesme hızına göre daha yüksek olması sebebiyle, düşük ilerleme hızlarında düşük itme kuvveti değerleri elde edilmiştir.
- En uygun deney parametrelerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan Taguchi yöntemi neticesinde, kaplamalı takım için, kesme hızı 90 m/dak ve ilerleme hızı ise 0,15 mm/dev olarak bulunmuştur.
- Deney sonuçlarına uygulanan Varyans analizine göre değişkenlerin itme kuvveti üzerindeki etki oranları, %65.38 ile kesici takım, %18.74 ilerleme miktarı şeklinde bulunmuştur.
- Bütün kesme parametreleri kombinasyonlarında kaplamalı takımlardan elde edilen itme kuvveti değerleri kaplamasız takımlarla elde edilenlerden daha düşük olmuştur. Kaplamalı takımlarla elde edilen itme kuvveti değerleri kaplamasız takımlarla elde edilenlere göre ortalama %20-%88 daha düşük çıkmıştır.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Tönshoff, H. K., et al. "Machining of holes developments in drilling technology." CIRP Annals-Manufacturing Technology 43.2 (1994): 551-561.
- [2] Kıvak, Turgay, Gürcan Samtaş, and Adem Çiçek. "Taguchi method based optimisation of drilling parameters in drilling of AISI 316 steel with PVD monolayer and multilayer coated HSS drills." Measurement 45.6 (2012): 1547-1557.
- [3] Çakır, M.C., Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri", Vipaş A.Ş, Bursa, 2000.
- [4] Kim, Kug Weon, and Tae-Kil Ahn. "Force Prediction and Stress Analysis of a Twist Drill from Tool Geometry and Cutting Conditions." International Journal of Precision Engineering and Manufacturing

- 6.1 (2005): 65-72. [3] D. K. Hetrick, Dynamics of Nuclear Reactors, University of Chicago, Chicago, 1971.
- [5] Strenkowski, J. S., C. C. Hsieh, and A. J. Shih. "An analytical finite element technique for predicting thrust force and torque in drilling." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 44.12 (2004): 1413-1421.
- [6] Ertunc, H. M., and K. A. Loparo. A decision fusion algorithm for tool wear condition monitoring in drilling." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 41.9 (2001): 1347-1362.
- [7] Çakır, A., Nalbant, M., Duran, A., Ulaş, H. B., AA 7075 VE AA 6013 Alüminyum Malzemelere Delik Delme Operasyonu Sürecinde Kesme Parametrelerinin İncelenmesi", 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, (2012) 9-18
- [8] Rey, P. A., et al. "Modelling of cutting forces in orbital drilling of titanium alloy Ti-6Al-4V." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 106 (2016): 75-88.
- [9] Çiftçi, İ. "Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi." *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 20.2 (2005): 205-209.
- [10] Karnik, S. R., V. Gaitonde, and J. Paulo Davim. Integrating Taguchi principle with genetic algorithm to minimize burr size in drilling of AISI 316L stainless steel using an artificial neural network model." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 221.12 (2007): 1695-1704.
- [11] Günay, M., "AISI 316L Çeliğinin İşlenmesinde Takım Radyüsü ve Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu." *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University* 28.3 (2013).
- [12] Balaji, M., B. S. N. Murthy, and N. Mohan Rao. Optimization of Cutting Parameters in Drilling of AISI 304 Stainless Steel Using Taguchi and ANOVA. *Procedia Technology* 25 (2016): 1106-1113.
- [14] Sarıkaya, M., H. Dilipak, and G. Meral. AISI 1050 malzemenin delinmesinde ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün regresyon analiziyle modellenmesi. *Tubav Bilim Dergisi* 4.1 (2011): 31-41.
- [15] Singh, Gurmeet, et al. "Optimization of process parameters for drilled hole quality characteristics during cortical bone drilling using Taguchi method." *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 62 (2016): 355-365.
- [16] Meral, G., Sarıkaya, M., and Dilipak, H., Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 27.4 (2016).
- [17] Şeker, U., Takım tasarımı ders notları, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara. (1997)
- [18] Çakıroğlu, R., and A C I R, A., Al2014 Malzemesinin Delinmesinde Takım Talaş Ara Yüzey Sıcaklıkları ve Kesme Kuvvetinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* 10.2 (2013): 73-86.
- [19] Korucu, S. Mathematical modelling of stress on the cutting tool in drilling. Diss. PhD Thesis, Institute of Science and Technology, Gazi University, Turkey, 2007.