

# Tepki yüzey modeli ve genetik algoritma kullanılarak AISI 316' nın delinmesinde oluşan çapak yüksekliğinin modellenmesi ve optimizasyonu

**Erol KILIÇKAP\*, Mesut HÜSEYİNOĞLU**

*Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır*

## Özet

*İmalat sektöründe tam otomatik cihazların kullanımının yaygınlaşması ile birlikte üretim sürecinin modellenmesi büyük önem kazanmıştır. Bununla birlikte optimum üretim şartlarının belirlenmesi, üretimin gelişimi ve ürün kalitesi için önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmanın amacı, minimum çapak yüksekliğini belirlemede optimum delme parametrelerini bulmak için Tepki yüzey modeli ve Genetik algoritma kullanarak sistematik bir prosedür ortaya koymaktır. Optimum üretim için, üç-düzeyle üç faktörlü tam deneysel tasarım, Tepki Yüzey Yöntemi ve Genetik Algoritma kullanılmaktadır. Delme işlemleri üç ilerleme hızı (0.1, 0.2 ve 0.3 mm/dev), üç kesme hızı (4, 8 ve 12 m/dak) ve farklı uç açısına (90°, 118° ve 135°) sahip HSS matkap takımları kullanılarak yapıldı. Deneyler Box Behnken tasarımı dikkate alınarak yapıldı. Tepki yüzey metodolojisi kullanılarak çapak yüksekliği için bir matematiksel tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu matematiksel tahmin modelinden faydalanılarak minimum çapak yüksekliği için optimum delme parametrelerini belirlemede Genetik algoritma kullanıldı. Genetik algoritma optimizasyon sonuçlarında minimum çapak yüksekliğinin 4 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme hızı ve 135° uç açısında olduğu görüldü.*

**Anahtar Kelimeler:** *Delme, Çapak yüksekliği, Tepki yüzey modeli, Genetik algoritma.*

## Optimization and modelling of burr height by using response surface methodology and genetic algorithm in drilling AISI 316

### Extended abstract

Drilling is one of the most commonly used industrial machining processes for production of holes in mechanical components. It is also an important machining process employed as finish step in the fabrication of machine parts. Typical problems associated with drilling include rapid tool/drill wear, hole delamination, burr formation, hole geometry, dimensional accuracy and hole surface quality. Two machining parameters are effective in a drill operation, cutting speed and feed rate. Therefore it is vital to evaluate these two parameters in order to achieve the desired hole shape and dimension. Burr formation affects workpiece accuracy and quality in several ways; dimensional distortion on part edge, challenges to assembly and handling caused by burrs in sensitive locations on the workpiece and damage done to the work subsurface from the deformation associated with burr formation. Burr formation is however important as it requires additional manufacturing process like deburring which attracts additional production time and cost. The drilling process produces burrs on both the entrance and the exit surface of a workpiece. An entrance burr forms where the drill undergoes plastic flow. The exit burr is the extension of the material off the exit surface of the workpiece. Since the exit burr is much larger than the entrance burr, most of the burr related problems reported to be associated with the exit burr (Kim, J., Dornfeld, D.A., 2002; Dornfeld, D, 2004).

Response surface methodology (RSM) is a collection of mathematical and statistical techniques, which are useful for the modelling and analyzing the engineering problems and developing, improving, and optimizing processes. It also has important applications in the design, development, and formulation of new products, as well as in the improvement of existing product designs, and it is an effective tool for constructing optimization models.

Genetic Algorithm (GA), which imitates the evolution mechanism of nature, is used for finding a particular data in a dataset. GA produces ever-

improving solutions based on the rule 'the best one survives'. For this purpose, it uses a fitness function that selects the best, and operators like regeneration and mutation to produce new solutions. Another feature of GA is that it involves a group solution. By the way optimum solutions among other ones could be picked and disqualified ones are eliminated.

Due to widespread use of highly automated devices in manufacturing, the manufacturing process modelling has gained importance. However, determination of optimal manufacturing conditions has an important role for production development and product quality.

The purpose of this study is to demonstrate a systematic procedure by using RSM and GA to find a combination of optimal drilling parameters to obtain low burr height. The three-factor three-level full experimental design, Response surface methodology and Genetic algorithm are used for optimum production. Drillings are performed by using three feed rates (0.1, 0.2 and 0.3 mm/rev), three cutting speeds (5, 10 and 15 m/min) and different point angles (90°, 118° and 135°). The experiments were conducted based on Box-Behnken design. A mathematical prediction model was developed using Response Surface Methodology (RSM) for the burr height. Genetic algorithm is used for selection optimum drilling parameters to obtain minimum burr height by utilizing the mathematical prediction model. The GA optimization results have reveal that the minimum burr height was obtained at 4 m/min cutting speed, 0.1 mm/rev feed rate and 135° point angle.

**Keywords:** Drilling, Burr height, Response surface methodology, Genetic algorithm.

## Giriş

İmalatın amacı, hammadde ile ürün arasındaki dönüşümü sağlamaktır. Bu dönüşümün sağlanabilmesi için farklı teknolojik yöntemler kullanılabilir. İmal Usulleri adı verilen bu teknolojik yöntemler, talaşlı imalat ve talaşsız imalat yöntemleri olarak iki temel gruba ayrılabilir. Bu iki temel grup arasındaki fark; talaşlı imalat yöntemlerinde (tornalama, frezeleme, delme...) hammadde-ürün dönüşümü sırasında hammadde üzerinden talaş kaldırılması, talaşsız imalat yöntemlerinde (kaynak, döküm, dövme...) ise hammadde üzerinden talaş kaldırmadan bu dönüşümün sağlanabilmesidir (Özdemir ve Erten, 2003).

Talaşlı imalat; kesici takımın iş parçasına göre nispi hareketleri sonucunda, iş parçasının belirli bir bölümünde plastik deformasyon oluşturarak gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir (Özdemir ve Erten, 2003). Delme işlemi talaşlı imalatla yaygın olarak gerçekleştirilen operasyonlardan biridir, bu nedenle bu işlemde kullanılan tezgâhların sayısı her yıl büyük ölçüde artmaktadır (Gaitonde vd., 2008). Delme işlemi genel olarak dönen ve aksel hareket eden iki ağıza sahip bir kesici takım ile iş parçası üzerinde silindirik boşluklar elde etme işlemi olarak tanımlanır. Bir delme takımı iki veya daha fazla kesici kenara ve helisel veya düz kanala sahip, dönen bir takımdır. Bu işlemlerde kullanılan kesici takımlara genel olarak matkap denir. Matkaplar talaşlı üretimde en çok kullanılan kesici takım gruplarından biridir. Sadece Amerika’da yaklaşık olarak yılda 250 milyon matkap takımı kullanıldığı tahmin ediliyor (Pletting, 1999). Başka bir çalışmada, havacılık sanayinde gerçekleştirilen delme işlemlerinin tüm metal işleme işlemlerinin % 40’ını oluşturduğu bildirilmiştir (Subramanian ve Cook, 1977).

Delme işleminde, delik yüzey kalitesi, delik geometrisi, boyutsal doğruluk, çapak oluşumu ve hızlı takım aşınması gibi tipik sorunlar mevcuttur. Oluşan çapağın temizlenmesi ek üretim süreci ve maliyet gerektiren bir operasyondur. Bu nedenle delme işlemi esnasında çapak oluşumunun engellenmesi

oldukça önemlidir. Çapak oluşumu deliğin giriş ve çıkışında meydana gelir. Delik çıkışında oluşan çapak delik girişinden çok daha büyük olur. Çıkış çapak yüksekliği, girişten daha büyük olduğu için çapak ile ilgili problemlerin birçoğunun çıkış çapak yüksekliği ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Kim ve Dornfeld, 2002). Çapak oluşumu delik yüzey kalitesini ve boyutsal doğruluğunu olumsuz yönde etkiler (Dornfeld, 2004). Bu nedenle parça işletmeye alınmadan önce oluşan çapak temizlenmeli ve yüzey kalitesi iyileştirilmelidir. İmalat sürecinde yapılan bu ikinci operasyon yüksek beceri gerektiren ve büyük zaman ve para kaybına yol açan bir işlemdir. Çapak temizleme ve delik kenarlarının düzeltilmesi, parça maliyetini % 30 arttırabilir (Gillespie, 1979). Maliyet olarak sadece Almanya’da yılda en fazla 500 milyon euro harcama yapıldığı tahmin ediliyor (Aurich vd., 2009).

Son yıllarda imalat sektöründeki teknoloji, bilgisayar destekli cihazların kullanımı sayesinde tam otomasyon safhasına geçmektedir. Bu nedenle üretim sürecinin modellenmesi ve optimizasyonu gerek üretilen ürünün kalitesi gerekse ürün maliyeti için oldukça önemlidir. Üretim süreçleri, süreç değişkenleri ile dinamik olarak etkileşen bir çeşitlilik ile karakterize edilir. Çapak yüksekliği ve şekli, kesme hızı, ilerleme oranı, matkap tipi, iş parçası malzemesi vb. gibi çeşitli kesme koşullarına (üretim süreç değişkenleri) bağlıdır. Buna göre oluşturulan modelin optimizasyonu yapılarak optimum kesme koşulları bulunur. Çapak yüksekliği modelinin geliştirilmesi ve optimizasyonunu daha iyi anlamak için bu konuda yapılan çalışmaların mevcut durumuna bakmak gerekir. Kim ve Dornfeld (2002) sünek malzemelerin delinmesinde çapak oluşumu için analitik bir model geliştirdiler. Bu model çapak oluşumu için iş parçası malzemesinin plastik deformasyonu esnasında yüksek derecede kırıkların olduğu sünek malzemeler için geçerlidir. Gaitonde ve diğerleri (2008) AISI 316L paslanmaz çeliğin delinmesinde delme koşulları ve geometrisinin çapak yüksekliği ve kalınlığına olan etkisini araştırmışlardır. Optimum delme parametrelerini belirlemek için

Genetik Algoritma (GA) yöntemini kullanmışlardır. Lin (2002) paslanmaz çelik malzemenin TiN kaplı karbür takımla yüksek hızda işlenmesinde takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve çapak oluşumunu araştırmıştır. Araştırma sonucunda dört tip çapak oluşumu gözlemlemiştir. Stein ve Dornfeld (1997) 304L paslanmaz çeliğin üzerinde açılan deliklerin çevresinde 0.91 mm çapının kapladığı alanı incelemişler ve bu bölgede oluşan çapak yüksekliği, kalınlığı ve geometrisi üzerine bir çalışma sunmuşlardır. Çapak oluşumunun kontrolü için deneylerden elde edilen verileri süreç planlama yönteminin bir kısmı olarak kullanmışlardır. Delme işlemi esnasında çapak oluşumunu minimize etmek için, Ko ve Lee (2001) ve Ko ve diğerleri (2003) matkap geometrisinin çapak oluşumuna üzerine etkisini araştırmışlardır. Saunders ve Mauch (2001) matkap geometrisinin ve ilerleme oranının çapak oluşumuna üzerine etkisini araştırmışlardır. Minimum çapak oluşumunun düşük kesme hızında oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Gaitonde ve diğerleri (2006) AISI 316L paslanmaz çeliğin delinmesinde çapak oluşumunu minimize etmek için Taguchi metodunu kullanmışlardır.

Bu çalışmanın temel amacı delme işlemi esnasında sürecin modellenmesi ve optimizasyonu için sistematik bir yöntem ortaya koymak ve minimum çapak yüksekliğinin olduğu optimum delme parametrelerini bulmaktır.

## Tepki yüzey yöntemi ve genetik algoritma

### Tepki yüzey yöntemi (TYT)

Tepki yüzey yöntemi (TYT), ilgilenilen tepkinin birkaç değişken tarafından etkilendiği ve amacın bu tepkiyi optimize etmek olduğu problemlerin modellenmesi ve analizi için kullanılan istatistiksel tekniklerin ve matematiksel ifadelerin birleşimidir. TYT yeni bir ürünün formülasyonunda, var olan ürün tasarımının iyileştirilmesinde, süreç optimizasyonunda, sürecin geliştirilmesinde ve iyileştirilmesinde yaygın olarak kullanılır (Montgomery, 1997).

Gerçek tepki fonksiyonunun biçimi bilinmediğinden tepki ve bağımsız değişkenler arasındaki gerçek fonksiyonel ilişki için uygun bir yaklaşım bulunmalıdır. Sistemin yanıtı, bağımsız değişkenin bir lineer fonksiyonu olarak iyi bir uyum veriyorsa, yaklaşım birinci dereceden bir modeldir;

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \varepsilon \quad (1)$$

Eğer sistemin yanıt yüzeyinde bir eğrilik varsa, ikinci dereceden bir model daha uygun olabilir;

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_jx_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj}x_j^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij}x_ix_j + \varepsilon \quad (2)$$

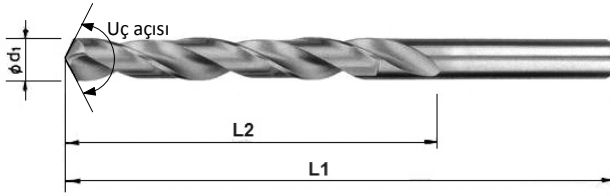
Bu eşitlikte;  $y$  tepki değişkenini,  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  bilinmeyen regresyon parametrelerini,  $x_i, x_j$  süreç (karar) değişkenlerini ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) ve ( $j = 1, 2, 3, \dots, k$ ) ve  $\varepsilon$  hata terimini göstermektedir (Myers ve Montgomery, 1995).

### Genetik algoritmalar (GA)

Yapay zekanın gittikçe genişleyen bir kolu olan GA evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmaktadır. Evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçası olan GA adından da anlaşıldığı üzere, Darwin' in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulmuştur (Tunalıoğlu ve Öcalan, 2007). Evrimsel hesaplama ilk olarak 1960' larda I. Rechenberg tarafından "Evolution Strategies" isimli eserinde tanıtılmıştır. Onun fikri daha sonra başka araştırmacıların da ilgisini çekmiş ve geliştirilmiştir. John Holland 1975 yılında yaptığı çalışmaları "Adaptation in Natural and Artificial Systems" adlı kitabında bir araya getirmiştir. İlk olarak Holland evrim yasalarını genetik algoritmalar içinde eniyileme problemleri için kullanmıştır. Daha sonra öğrencisi olan David Goldberg tezinde gaz boru hattının kontrolünü içeren bir problemin çözümünü GA ile gerçekleştirmiştir (Michalewicz, 1996).

GA doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralı gereğince devamlı olarak iyileşen çözümler üretir. Bunu gerçekleştirebilmek için “iyi”nin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk (fitness) fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için yeniden kopyalama (recombination), değiştirme (mutation) gibi operatörleri kullanır. GA ’ın bir diğer önemli özelliği de bir grup çözümlerle uğraşmasıdır. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyileri seçilip kötülere elenebilir (Goldberg, 1989).

GA evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit ederler. Diğer en iyileme yöntemlerinde olduğu gibi çözüm için tek bir yapının geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan meydana gelen bir küme oluştururlar. Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu küme GA terminolojisinde popülasyon adını alır. Popülasyonlar; vektör, kromozom veya birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir. Popülasyondaki bireyler evrimsel süreç içinde GA işlemcileri tarafından belirlenirler (Pakkan ve Ermiş, 2010).



Uç açısı	: 90°, 118°, 135°
d <sub>1</sub> (mm)	: 8
L <sub>1</sub> (mm)	: 117
L <sub>2</sub> (mm)	: 75

Şekil 1. Deneylerde kullanılan matkap takımının geometrisi.

Çapak yüksekliği optik mikroskop (Nikon EPIPHOT 200) yardımıyla ölçüldü. Box-Behnken tasarımını kullanarak çapak yüksekliğinin matematiksel modelini oluşturmak için 17 deney belirlendi. Box-Behnken tasarımı seviyelerin -1, 0 ve +1 şeklinde kodlandığı ve özellikle sadece 3 seviye gerektiren bir tepki yüzey tasarımıdır. Orta (0) seviyedeki tüm faktörler merkez noktaları oluştururlar. Deneysel çalışmalar için kesme hızı (V), ilerleme oranı (f) ve kesici takım uç açısı (θ) değişken delme parametreleri olarak seçildi. Bu parametreler Tablo 2’ de verilmiştir.

## Deneysel çalışmalar

Delme işlemleri SX XHMT marka sütunlu matkap tezgahında yapıldı. Deneylerde iş parçası malzemesi olarak 100x25x5 mm3 boyutlarında standart AISI 316 paslanmaz çelik kullanıldı. İş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi Tablo 1’ de görülmektedir.

Tablo 1. AISI 316 paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi

Element	C	Cr	Fe	Mn	Mo	Ni	P	Si	S
Ağırlık (%)	0.07	16.0-18.0	61.8-72.0	1.7	2.0-3.0	10.0-14.0	0.045	0.90	0.025

Deneylerde 90°, 118° ve 135° uç açılı kaplamasız HSS spiral matkap takımları kullanıldı. Kullanılan kesici takımın geometrisi Şekil 1’ de verilmiştir.

Tablo 2. Deney parametreleri ve seviyeler.

Sembol	Delme parametresi	Seviye 1 (-1)	Seviye 2 (0)	Seviye 3 (1)
A	Kesme hızı, V (m/dak)	4	8	12
B	İlerleme oranı, f (mm/dev)	0.1	0.2	0.3
C	Uç açısı, θ (°)	90 (1)	118 (2)	135 (3)

## Deney sonuçları ve tartışma

### Çapak yüksekliğinin tepki yüzey yöntemine dayalı matematiksel modeli

Talaşlı işlemede çapaksız bir yüzey elde etmek önemli bir durumdur. Özellikle delme işlemine çapak oluşumu takım geometrisi, takım malzemesi, kesme parametreleri ve iş parçası malzemesine bağlıdır. İş parçası malzemesi sünek bir malzeme ise büyük bir çapak oluşmaktadır.

Kesme hızı, ilerleme oranı ve takım geometrisi gibi farklı delme parametrelerinde gerçekleştirilen delme işlemi sonucunda oluşan çapak, çeşitli şekil ve boyutlara sahiptir. Bu amaçla kesme hızı, ilerleme oranı ve matkap uç açısının çapak yüksekliği üzerine etkilerini araştırmak üzere bir dizi deneyler yapıldı. Bu çalışmadaki deneyler Box-Behnken deney tasarım planı kullanılarak gerçekleştirildi ve deney sonucunda elde edilen performans çıktıları Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Tasarım planı ve deneysel sonuçları

Deney No.	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Uç açısı (°)	Çapak yüksekliği (mm)
1	-1	-1	0	0.56
2	1	-1	0	1.21
3	-1	1	0	1.06
4	1	1	0	1.79
5	-1	0	-1	1.05
6	1	0	-1	1.91
7	-1	0	1	0.56
8	1	0	1	1.24
9	0	-1	-1	0.83
10	0	1	-1	1.52
11	0	-1	1	0.66
12	0	1	1	1.34
13	0	0	0	1.26
14	0	0	0	1.28
15	0	0	0	1.27
16	0	0	0	1.19
17	0	0	0	1.23

Elde edilen deney sonuçları için Design Expert paket programı kullanılarak istatistiksel analizler yapılmış olup, uygun olan bir

regresyon modeli oluşturulmuştur. Çapak yüksekliği (H) için oluşturulan ikinci derece denklem;

$$H = 0.44 + 0.0784V + 6.5825f + 0.153\theta + 2.3E-004V^2 - 9.675f^2 - 0.0617\theta^2 + 0.04Vf - 9.0E-004V\theta - 0.02f\theta \quad (3)$$

Elde edilen çapak yüksekliği ile ilgili modelin ve modeldeki katsayıların doğruluğunu belirleyen F testi ve delme parametrelerinin çıktı parametrelerine katkısını belirlemek için varyans analizi(ANOVA) uygulanmıştır. Tablo 4 çapak yüksekliği için uygun görülen kuadratik model varyans analizi sonuçlarını göstermektedir.

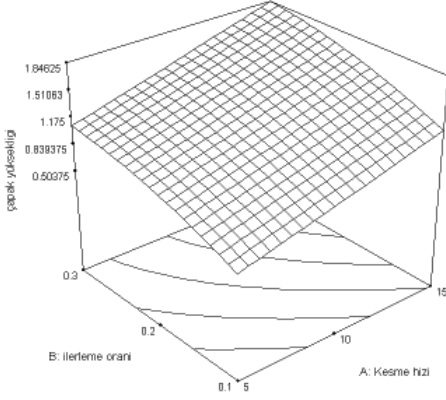
Tablo 4. Kuadratik model için ANOVA tablosu

Kaynak	Karelerin toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F oranı	P değeri
Model	2.17	9	0.24	16.70	0.0006
V	1.07	1	1.07	73.83	<0.0001
f	0.75	1	0.75	51.98	0.0002
θ	0.29	1	0.29	19.74	0.0030
V <sup>2</sup>	1.392E-4	1	1.392E-4	9.644E-4	0.9245
f <sup>2</sup>	0.039	1	0.039	2.73	0.1424
θ <sup>2</sup>	0.016	1	0.016	1.11	0.3266
Vf	1.600E-3	1	1.600E-3	0.11	0.7489
Vθ	8.100E-3	1	8.100E-3	0.56	0.4782
fθ	2.500E-5	1	2.500E-5	1.732E-3	0.9680
Residual hata	0.10	7	0.014		
Toplam	2.27	16			

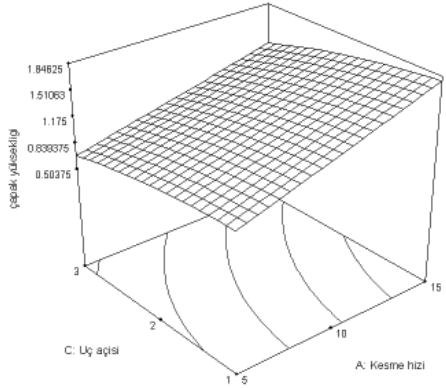
Tepki yüzey yöntemi kullanılarak türetilen çapak yüksekliği (3) denkleminin yeterliliği ve uygunluğu, F testi uygulanarak belirlenmiştir. Determinasyon katsayısı olarak isimlendirilen R2 terimi, bağımsız değişkenlerden türetilen bağımlı değişkendeki değişim oranıdır. Çapak yüksekliği modeli için hesaplanan R2 (0.95) değeri, Denklem 3' deki V, f ve θ değişkenlerinden belirlenebilen çapak yüksekliğindeki (H) değişimin %95 olduğunu ifade etmektedir. Tablo 4' deki F oranı hangi delme parametresinin çapak yüksekliği üzerine önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Buna göre, F oranı büyüklüğüne göre önem sıraları deneysel hatalar göz ardı edilerek kesme

hızı, ilerleme ve matkap uç açısı şeklinde sıralanabilir.

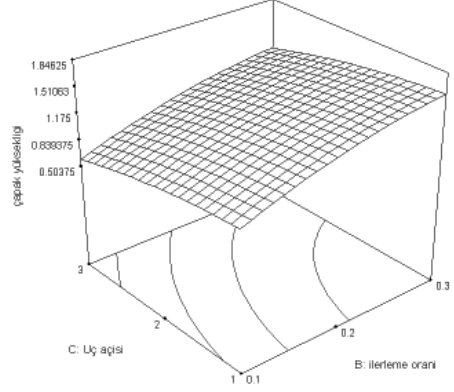
Delme parametrelerinin çapak yüksekliği üzerine etkileri Şekil 2-4' te görülmektedir.



Şekil 2. Kesme hızı- ilerleme oranının fonksiyonu olarak 3 boyutlu çapak yüksekliği grafiği



Şekil 3. Kesme hızı- matkap uç açısının fonksiyonu olarak 3 boyutlu çapak yüksekliği grafiği



Şekil 4. İlerleme oranı- matkap uç açısının fonksiyonu olarak 3 boyutlu çapak yüksekliği grafiği

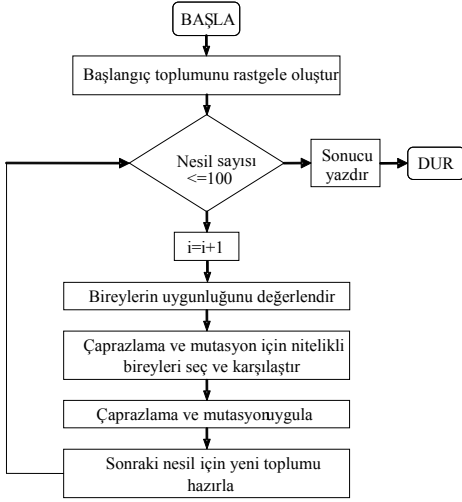
Şekil 2-4'ten kesme hızının ve ilerlemenin artması ile çapak yüksekliğinin arttığı belirlenmiştir. Kesme hızını sabit tutulduğunda ilerleme oranının artması çapak yüksekliğinin artmasına neden olduğu görülmektedir. Ayrıca, matkap uç açısı sabit tutulduğunda kesme hızının artması ile çapak yüksekliğinin arttığı görülmüştür. Kesme hızı sabit tutulduğunda, tüm ilerleme oranı değerlerinde en yüksek çapak yüksekliği 118°'li matkap ucunda olduğu tespit edildi. Kesme hızı için çapak yüksekliğinin en düşük olduğu değer 4 m/dak, ilerleme için 0.1 mm/dev ve matkap uç açısı için ise 135° olduğu görülmüştür.

#### Çapak yüksekliğinin GA ile optimizasyonu

Bu çalışmanın temel amacı AISI 316 paslanmaz çeliğin delinmesinde oluşan çapak yüksekliğini minimum yapan delme parametrelerini bulmaktır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler yardımıyla sürecin matematik modeli TYY kullanılarak oluşturuldu. Bu model (Eş. 3) çapak yüksekliğinin delme parametreleri ile olan ilişkisini gösterir.

GA problem çözümünde uygunluk fonksiyonunu dikkate alarak çözüm üretir. Bu uygunluk fonksiyonu sistemi ne kadar iyi tanımlarsa elde edilen sonuçlar gerçeğe o kadar yakın olur. Uygunluk fonksiyonu amaç fonksiyonu olarak

da adlandırılır. Bu çalışma için Eşitlik (3) TYY yöntemiyle elde edilen amaç fonksiyonudur. GA ile optimizasyon işleminde yapılan işler akış diyagramı olarak Şekil 5' de gösterilmiştir.



Şekil 5. GA akış diyagramı

Genellikle uygulamada karşılaşılan optimizasyon problemlerinde değişkenler için çeşitli sınırlamalar mevcuttur. GA ile çözüm yapılırken bu sınırlayıcıları amaç fonksiyonu ile birlikte değerlendirmek gerekir. Eşitlik (3) ile verilen amaç fonksiyonu için delme parametrelerinin alt ve üst sınırları aşağıda verilmiştir.

*Sınırlayıcılar:*

$$4 \leq A(V) \leq 12$$

$$0.1 \leq B(f) \leq 0.3$$

$$1 \leq C(\theta) \leq 3$$

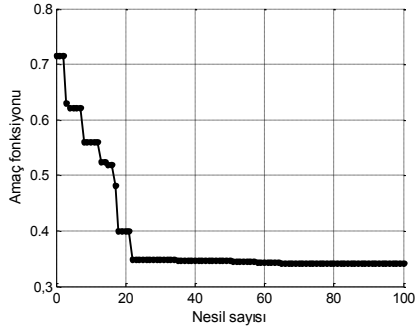
Mevcut sınırlayıcılar ve Eşitlik (3)' teki amaç fonksiyonu kullanılarak GA ile minimum çapak yüksekliği için optimum delme parametreleri bulundu. GA programında başlangıç toplumdaki birey sayısı 30 olarak seçildi. GA ile optimizasyon problemi çözümünde algoritmanın nasıl ve ne zaman sonlandırılacağına kullanıcı karar vermektedir. Bu çalışmada

sonlandırma kriteri olarak nesil sayısı seçildi ve program 100 nesilden sonra durduruldu.

GA programında elde edilen en iyi çözümleri kaybetmemek için seçkinci (elitist) strateji kullanılmıştır. Seçkinci stratejiye göre her neslin en iyi belli sayıda kromozomu hiç bozulmadan bir sonraki nesle aktarılır (Şerifoğlu ve Ulusoy, 2002). Programda her neslin en iyi iki kromozomu bir sonraki nesle olduğu gibi aktarılmıştır.

GA farklı çaprazlama, seçme ve mutasyon operatörleri kullanır. Optimizasyon probleminin çözümünde en iyi sonuç iki noktadan (Two point) çaprazlama, rulet tekerleği (roulette) seçimi ve uniform mutasyon operatörlerinden elde edildi. Çaprazlama olasılığı 0.85 ve mutasyon olasılığı 0.008 olarak seçildi.

Gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra yapılan optimizasyon işleminde, amaç fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi Şekil 6' da görülmektedir.



Şekil 6. Amaç fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi

Şekil 6 incelendiğinde artan nesil sayısı ile birlikte amaç fonksiyonunun değerinde bir azalma görülmektedir. Ancak 65 nesilden sonra amaç fonksiyonunun değerinde herhangi bir değişiklik olmamaktadır.



GA ile yapılan optimizasyon işleminde minimum çapak yüksekliği  $H_{min}=0.342$  mm olarak elde edildi. Bu çapak yüksekliğinin olduğu optimum delme parametreleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Minimum çapak yüksekliği için en iyi bireyler

Delme parametresi	Değişken	Değer
Kesme hızı, $V$ (m/dak)	A	4.001
İlerleme oranı, $f$ (mm/dev)	B	0.105
Uç açısı, $\theta$ (°)	C	2.994 (135°)

Tablo 5’deki delme parametreleri dikkate alınarak 4 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme hızı ve 135° uç açılı HSS matkap takımı kullanılarak üç delme deneyi yapıldı. Yapılan deneyler sonucunda oluşan çapak yükseklikleri ölçülerek ortalama çapak yüksekliği  $H=0.36$  mm olarak tespit edildi. Bu durumda deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların GA’ dan elde edilen sonuçlar ile uyumlu olduğu söylenebilir.

## Sonuçlar

Bu çalışmada AISI 316’ın delinmesinde optimum delme parametrelerinin belirlenmesi için TYY ve GA kullanıldığı sistematik bir prosedür sunulmuştur.

TYY, farklı delme parametrelerine göre çapak yüksekliğini modellemek için kullanıldı. TYY kullanılarak quadratik model geliştirildi ve varyans analizi için quadratik model kullanıldı.

GA, tek değişkenli ve çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde oldukça etkilidir. Bu nedenle GA kullanılarak TYY ile oluşturulmuş çapak yüksekliği modeli için optimum değerler bulunabilir.

TYY ve GA’ dan elde edilen sonuçlar ile ölçülen değerler birbirine oldukça yakındır. Bu sebeple verilen model delme parametrelerinin seviyesini belirlemek için kullanılabilir. Bu modelin kullanımıyla imalat sürecinde zaman kaybı ve maliyet azaltılabilir.

Sonuç olarak, bu çalışmada optimum değerleri belirlemek için TYY (Box-Behnken tasarımı) ile GA birlikte kullanılmasının mümkün olabileceği görülmüştür. TYY ve GA’ nın birlikte kullanılması, modelleme ve optimizasyon için etkin ve sistematik bir yaklaşım sağlar.

## Kaynaklar

- Aurich J.C., Dornfeld D., Arrazola P.J., Franke V., Leitz L. (2009). Burrs-Analysis, control and removal, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 58(2), 519-542.
- Dornfeld, D. Strategies for Preventing and Minimizing Burr Formation., [http://repositories.cdlib.org/lma/codef/dornfeld\\_1\\_04](http://repositories.cdlib.org/lma/codef/dornfeld_1_04), 2004, 1-18.
- F.S. Şerifoğlu ve G. Ulusoy, (2002). Çok İşlemcili İşlerin Çok Katmanlı Paralel İşlemcili Akış Atölyelerinde Çizelgelenmesi, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 13, 4.
- Gaitonde V.N., Karnik S.R., Siddeswarapa B., Achyutha B.T., (2008). Integrating Box-Behnken design with genetic algorithm to determine the optimal parametric combination for minimizing burr size in drilling of AISI 316L stainless steel, *Int J Adv Manuf Technol*, 37,230–240.
- Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Achyutha, B.T., (2006). Siddeswarappa, B, Taguchi approach with multiple performance caharacteristics for burr size minimization in drilling, *Journal of Scientific & Industrial Research*, 65, 977-981.
- Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Achyutha, B.T., Siddeswarappa, B., (2008). Genetic algorithm-based burr size minimization in drilling of AISI 316L stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 197(1-3), 225-236.
- Gillespie, L. K., (1979). Deburring Precision Miniature Parts. *Precision Engineering*, 1(4), 189-198.
- Goldberg D.E., (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, *Addison-Wesley, Reading*, MA, 1989.
- Kim, J., Dornfeld, D.A., (2002). Development of an Analytical Model for Drilling Burr Formation in Ductilite Materials. *Transactions of the ASME* 2002, 124,192-198.
- Ko, S.L., Chang, J.E, Yang, G.E., (2003). Burr minimizing scheme in drilling. *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1-3), 237-242.

- Ko, S.L., Lee, J.K. (2001). Analysis of burr formation in drilling with a new-concept drill. *Journal of Materials Processing Technology*, 113, 392-398.
- Lin, T.R. (2002). Cutting behavior of a TiN-coated carbide drill with curved cutting edges during the high-speed machining of stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 127, 8-16.
- Michalewicz, Z., (1996). *Genetic Algorithm + Data Structure = Evaluation Programs*, Third Edition, Springer Verlag, USA.
- Montgomery, D.C., (1997), *Design and Analysis of Experiments*, 4th ed., John Wiley and Sons Inc., New York.
- Myers, R.H., (1995). Montgomery, D.C. *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Özdemir, U., Erten, M., (2003), Talaşlı İmalat Sırasında Kesici Takımda Meydana Gelen Hasar Mekanizmaları ve Takım Hasarlarını Azaltma Yöntemleri, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1, 37-50.
- Pakkan B. ve Ermiş M., (2010). İnsansız Hava Araçlarının Genetik Algoritma Yöntemiyle Çoklu Hedeflere Planlanması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Cilt:4 Sayı:3, 77-84.
- Pletting, J., (1999). Superior Tooling Builds Outstanding Workmanship, *Pletting and Associates*.
- Saunders, L.M.L., Mauch, C.A. An exit Burr Model for Drilling of Metals. *J. Manufacturing Science and Engineering* 2001, 123, 562-566.
- Stein, J.M., Dornfeld, D.A., (1997). Burr Formation in Drilling Miniature Holes. *Annals of the CIRP* 1997, 46(1), 63-66.
- Subramanian, K., Cook, N. H., (1977), "Sensing of Drill Wear and Prediction life", *Journal of Engineering for Industry*, 99, 295-301.
- Tunalıoğlu N., Öcalan T., (2007). Üç Boyutlu Karayolu Güzârgah Optimizasyonunda Karar Destek Sistemi Olarak Genetik Algoritmaların Kullanımı, *11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.