



## EKSPONANSİYEL AĞIRLIKLI PARÇACIK SÜRÜ ALGORİTMASI İLE TORNALAMA İŞLEMLERİNDE KESME KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU

\*Yasin CANTAŞ<sup>1</sup>, Burhanettin DURMUŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Sakarya, [ycantas@sakarya.edu.tr](mailto:ycantas@sakarya.edu.tr)

<sup>2</sup>Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kütahya, [bdurmus@dpu.edu.tr](mailto:bdurmus@dpu.edu.tr)

*Geliş Tarihi: 04.06.2014*

*Kabul Tarihi: 22.08.2014*

### ÖZET

Bu çalışmada, Eksponansiyel Ağırlıklı Parçacık Sürü Optimizasyonu ( $e_2$  - PSO) algoritması tornalama işlemlerinde kesme koşullarının optimizasyonu için kullanılmıştır. İşleme parametrelerinden kesme hızı, ilerleme hızı, kaldırılacak talaş derinliği, paso sayısı kullanılarak minimum maliyet hesabı gerçekleştirilmiştir. Kısıtlamalarda takım ömrü, kesme kuvveti, güç, sıcaklık, yüzey pürüzlülüğü, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılmış ve  $e_2$  - PSO tabanlı hesaplama ile maliyetin düştüğü görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** *Optimizasyon, parçacık sürü optimizasyonu, tornalama, optimum kesme koşulları.*

### CUTTING CONDITIONS OPTIMIZATION OF TURNING OPERATIONS WITH EXPONENTIAL INERTIA IN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

### ABSTRACT

In this study, Exponential Inertia Particle Swarm Optimization ( $e_2$  - PSO) method has been used for optimization of cutting conditions in turning operations. The optimum cost has been performed using processing parameters such as cutting speed, feed, depth of metal to be removed and number of passes. Tool life, cutting force, power, temperature, surface roughness, cutting speed, feed and cutting depth are considered in constraints. The obtained results have been compared to other methods in the literature. And the results show that  $e_2$  - PSO has decreased cost.

**Keywords:** *Optimization, particle swarm optimization, turning, optimum cutting conditions.*

### 1. GİRİŞ

CNC (Computer Numerical Control) makineler imalat sektöründe büyük ilerlemeler getirmekte ve insan gücü gereksinimlerini azaltmaktadır. Özellikle metal kesme ve işlemenin büyük önem taşıdığı çağımızda hızlı, güvenilir ve verimli çözümler sunmaktadır. Zira malzemenin toplam işleme süresini ve toplam maliyeti en aza indirmek ve kârı en üst düzeye çıkarmak ekonomik açıdan önemlidir. İlerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliği metal kesme süreçlerinde doğrudan işleme maliyetini etkilemektedir. Parça işleme



koşullarının iyileştirilmesi amacıyla takım üreten firmalar tarafından iş parçası-takım kombinasyonları için önerilen ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliği gibi işleme parametreleri tabloları oluşturulmaktadır. Bu tablolar geniş bir aralıkta olduğundan maliyet değişkenlik göstermektedir. Bu dezavantajı azaltmak için matematiksel modeller kullanılarak işleme parametreleri belirlenmekte ve en uygun parametre değerleri belirlenmektedir [1].

Son yıllarda çeşitli optimizasyon teknikleri tornalama işlemlerine uygulanmaktadır. Shin ve Joo tornalama işlemlerinde maliyet için bir matematiksel model ifade etmişler ve optimizasyon için dinamik programlama (DP) kullanmışlardır [1]. Chen ve Tsai, çok geçişli tornalama operasyonlarının optimizasyonu için tavlama benzetimi yaklaşımı (SA/PS) ile yapmıştır [2]. Vijayakumar ve arkadaşları karınca koloni algoritmasını (ACO) kullanarak çok geçişli tornalama operasyonlarının optimizasyonunu yapmışlardır [3]. Chen ve Chen, gerçek kodlu genetik algoritma (FEGA) ile tornalama işlemlerinde maliyet optimizasyonu yapmışlardır [19]. Chen tornalama işlemlerinin optimizasyonunda dağınık arama yaklaşımını kullanmıştır [4]. Sankar ve arkadaşları evrimsel hesaplama yöntemi (MGA) ile tornalama işlemlerinde parametre seçimi yapmışlardır [20]. Yıldız, tasarım ve üretim problemlerinin çözümü için yeni bir optimizasyon yaklaşımı geliştirmiştir [5]. Srinivas ve arkadaşları çok geçişli operasyonların minimum üretim maliyeti için parçacık sürü algoritması (PSO) kullanmıştır [6]. Xie ve Guo genetik algoritma (GA) tabanlı bir yaklaşım kullanarak çok geçişli operasyonlarda parametre seçimi yapmışlardır [7]. Yıldız, yapay arı kolonisine dayalı bir yaklaşımla tornalama işlemlerinde kesme parametrelerini belirlemiştir, başka bir çalışmada ise kesme parametrelerini belirlemek için hibrid bir diferansiyel gelişim algoritması geliştirmiştir [21,22]. Hrelja ve diğerleri kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrünü PSO kullanarak belirlemişlerdir [23].

PSO, 1995 yılında Dr. Kennedy ve Dr. Eberhart tarafından geliştirilmiş popülasyon tabanlı sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır [8]. Kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenilerek geliştirilen PSO, yapısal bir basitliğe sahiptir ve az parametreye ihtiyaç duyar. Çok değişkenli doğrusal olmayan problemlerin çözümünde diğer optimizasyon algoritmalarına göre daha hızlı, daha güvenilir ve daha az bellekte yer tutan çözümler üretir [9]. Bu nedenle PSO birçok alanda uygulanmıştır [10-16]. Sonraki yıllarda ise PSO'nun çeşitli sürümleri geliştirilmiştir [17]. Bu sürümlerden biri de Chen ve arkadaşları tarafından geliştirilen ekspansiyel ağırlıklı PSO dur [18]. Önerilen algoritmada PSO nun temel parametrelerinden olan ağırlık vektörünün ekspansiyel bir şekilde değişimi gerçekleşmiştir. Bu sayede optimum çözüme daha hızlı bir yakınsama elde edilmiştir.

Bu çalışmada, ( $e_2$ -PSO) algoritması ile tornalama işlemlerindeki kesme koşullarının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Belirlenen kısıtlar altında malzeme işleme parametrelerinin uygun değerleri hesaplanarak minimum maliyet amaçlanmıştır. Hesaplama sonuçları literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

## Terminoloji

$UC$	Malzeme maliyeti hariç birim üretim maliyeti(\$/piece)
$C_I$	Yükleme ve boşaltma işlemleri ve takım boşta zamanından dolayı makine boşta iken maliyet (\$/Piece)
$C_M$	Kesme maliyeti (\$/Piece)
$C_R$	Takım yenileme maliyeti (\$/Piece)
$C_T$	Takım maliyeti (\$/Piece)



$d_r, d_s$	Her geçiş için kaba ve son pasoişleme kesme derinliği (mm)
$d_{rL}, d_{rU}$	Kabaişleme kesme derinliği alt ve üst sınırları (mm)
$d_{sL}, d_{sU}$	Son pasoişleme kesme derinliği alt ve üst sınırları (mm)
$d_t$	Toplam kaldırılacak metalderinliği (mm)
$D$	İş parçasının çapı (mm)
$f_r, f_s$	Her geçiş için kaba ve son paso işleme ilerleme hızı (mm/rev)
$f_{rL}, f_{rU}$	Kaba işleme ilerleme hızı alt ve üst sınırlar ı(mm/rev)
$f_{sL}, f_{sU}$	Son paso işleme ilerleme hızı alt ve üst sınırları (mm/rev)
$F_r, F_s$	Kaba ve son paso işleme boyunca kesme kuvvetleri (kg f)
$F_U$	İzin verilen maksimum kesme kuvveti (kg f)
$h_1, h_2$	Takım seyahat ve yaklaşma/gidiş süresi ile ilgili sabitler (mm)
$k_3, k_4, k_5$	Kaba ve son paso işleme parametre ilişkileri sabitleri
$k_f$	Takım-iş parçası kombinasyonu ile ilgili katsayı
$k_0$	İşçilik maliyeti (\$/min)
$k_q$	Sıcaklık denklemine ilişkin katsayı
$k_t$	Kesme kenarı maliyeti (\$/kenar)
$L$	İş parçasının uzunluğu (mm)
$n$	Kaba geçiş sayısı
$p, q, r$	Takım ömrü denklemi ile ilgili sabitler
$P_r, P_s$	Kaba ve son paso işleme süresince kesme gücü (kW)
$P_U$	İzin verilen maksimum kesme gücü (kW)
$Q_r, Q_s$	Kaba ve son paso işleme sırasında sıcaklıklar ( °C)
$Q_U$	İzin verilen maksimum sıcaklık ( °C)
$R$	Kesici takımın burun yarıçapı (mm)
$S_c$	Sabit kesme bölgesinin sınırı
$T$	Takım ömrü (min)
$t_c$	Hazırlık süresi (yükleme ve boşaltma gibi)(min)
$t_e, t_r$	Takım alışverişi için gerekli süre (min) ve takım değiştirme süresi (min)
$T_p$	Kaba ve son paso işleme göz önüne alındığında takım ömrü (min)
$T_r, T_s$	Kaba ve son paso işleme için takım ömürleri (min)
$t_v$	Boşta hareket süresi(takım yaklaşma ve uzaklaşma gibi) (min)
$t_i$	Toplam makine boşta kalma süresi (min)
$T_L, T_U$	Takım ömrü alt ve üst sınırı (min)
$t_m$	Kesme zamanı (min)
$t_{Mr}, t_{Ms}$	Kaba ve son paso işleme için gerçek işleme süresi (min)
$V_r, V_s$	Kaba ve son paso işleme kesme hızları (m/min)
$V_{rL}, V_{rU}$	Kaba işleme için kesme hızı alt ve üst sınırı (m/min)
$V_{sL}, V_{sU}$	Son paso işleme için kesme hızı alt ve üst sınırı (m/min)
$X$	İşleme parametrelerinin vektörü
$\theta$	$T_p$ için ağırlık, $0 < \theta < 1$
$\alpha, \beta, \gamma, C$	Takım ömrü sabitleri
$p, q, r, C_0$	$p = 1/\alpha$ , $q = \beta/\alpha$ , ve $C_0 = C^{1/\alpha}$
$k_2, \tau, \phi, \delta$	Talaş-takım arayüzü sıcaklık ifadesi ile ilgili sabitler
$S_R$	İzin verilen maksimum yüzey pürüzlülüğü (mm)

$\eta$	Enerji verimliliği
$\lambda, v$	Kesme bölgesinin ifadesi ile ilgili sabitler
$k_1, u, v$	Kesme kuvveti denkleminin sabitleri

## 2. ÇOK GEÇİŞLİ TORNALAMADA MATEMATİKSEL MODEL

### 2.1. Amaç Fonksiyonu

Bu problemde amaç, üretim maliyetinin minimum olmasıdır ve çok geçişli tornalama işlemleri için Shin ve Joo tarafından tanımlanan matematiksel formülasyon kullanılacaktır [1]. Birim üretim maliyeti ( $UC$ ) makine boшта iken maliyet ( $C_I$ ), kesme maliyeti ( $C_M$ ), takım yenileme maliyeti ( $C_R$ ) ve takım maliyeti ( $C_T$ ) toplamından oluşmaktadır.

#### 2.1.1. Kesme maliyeti

Tornalama işlemi çok geçişli kaba paso ve tek geçişli son paso süreçlerinden oluşur. Kesme maliyeti ( $C_M$ ) aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$C_M = k_0 t_m \quad (1)$$

Gerçek işleme süresi ( $t_m$ ) kaba paso işleme süresi ( $t_{Mr}$ ) ve son paso işleme süresinin ( $t_{Ms}$ ) toplamından oluşur:

$$t_m = t_{Mr} + t_{Ms} \quad (2)$$

Kaba paso işleme süresi ( $T_{Mr}$ ):

$$t_{Mr} = \frac{\pi DL}{1000 V_r f_r} n = \frac{\pi DL}{1000 V_r f_r} \left( \frac{d_t - d_s}{d_r} \right) \quad (3)$$

Son paso işleme süresi ( $t_{Ms}$ ):

$$t_{Ms} = \frac{\pi DL}{1000 V_s f_s} \quad (4)$$

Buradan,

$$C_M = k_0 \left[ \frac{\pi DL}{1000 V_r f_r} \left( \frac{d_t - d_s}{d_r} \right) + \frac{\pi DL}{1000 V_s f_s} \right] \quad (5)$$

#### 2.1.2. Makine boшта maliyeti

Makine boшта süresi maliyeti yükleme ve boşaltma ve takım yaklaşma ve uzaklaşma süresinden oluşur [1].

$$t_i = t_c + t_v \quad (6)$$



Boşta hareket süresi ( $t_v$ ) paso sayısı ve iş parçası uzunluğuyla bağlantılıdır. Böylece,

$$t_v = (h_1L + h_2)(n + 1) = (h_1L + h_2) \left( \frac{d_t - d_s}{d_r} + 1 \right) \quad (7)$$

Makine boşta süresi maliyeti ( $C_I$ ):

$$C_I = k_0 \left[ t_c + (h_1L + h_2) \left( \frac{d_t - d_s}{d_r} + 1 \right) \right] \quad (8)$$

### 2.1.3. Takım yenileme maliyeti

İşleme koşulları kaba paso ve son paso işlemede farklı olduğu için aşınma oranı değişmektedir. Kaba paso takım ömrü ( $T_r$ ), son paso takım ömrü ( $T_s$ ) ve toplam takım ömrü ( $T_p$ ) aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$T_p = T_r + T_s \quad (9)$$

$$T_r = \frac{C_0}{V_r^p f_r^q d_r^r} \quad (10)$$

$$T_s = \frac{C_0}{V_s^p f_s^q d_s^r} \quad (11)$$

Takım değiştirme süresi ( $t_r$ ), takım ömrü ( $T_p$ ), takım alışverişi için gerekli süre ( $t_e$ ), kesme zamanı ( $t_m$ ) cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$t_r = t_e \frac{t_m}{T_p} \quad (12)$$

Takım yenileme maliyeti ( $C_R$ ):

$$C_R = k_0 t_e \frac{t_m}{T_p} = k_0 t_r = k_0 \frac{t_e}{T_p} \left[ \frac{\pi DL}{1000 V_r f_r} \left( \frac{d_t - d_s}{d_r} \right) + \frac{\pi DL}{1000 V_s f_s} \right] \quad (13)$$

### 2.1.4. Takım maliyeti

Takım maliyeti  $C_T$  ile ifade edilir:

$$C_T = k_t \frac{t_m}{T_p} = \frac{k_t}{T_p} \left[ \frac{\pi DL}{1000 V_r f_r} \left( \frac{d_t - d_s}{d_r} \right) + \frac{\pi DL}{1000 V_s f_s} \right] \quad (14)$$

### 2.1.5. Birim üretim maliyeti

Yukarıdaki ifadelerle dayanarak birim üretim maliyeti ( $UC$ ):

$$UC = C_I + C_M + C_R + C_T$$

$$= k_0 \left[ \frac{\pi DL}{1000V_r f_r} \left( \frac{d_t - d_s}{d_r} \right) + \frac{\pi DL}{1000V_s f_s} \right] + k_0 \left[ t_c + (h_1 L + h_2) \left( \frac{d_t - d_s}{d_r} + 1 \right) \right] + k_0 \frac{t_e}{T_P} \left[ \frac{\pi DL}{1000V_r f_r} \left( \frac{d_t - d_s}{d_r} \right) + \frac{\pi DL}{1000V_s f_s} \right] + \frac{k_t}{T_P} \left[ \frac{\pi DL}{1000V_r f_r} \left( \frac{d_t - d_s}{d_r} \right) + \frac{\pi DL}{1000V_s f_s} \right] \quad (17)$$

## 2.2. Kesme Koşulları Kısıtlamaları

Çok geçişli tornalama işlemlerinin optimizasyonunda pratik kısıtlamaların dikkate alınması yeterlidir. Bu kısıtlamalar aşağıda açıklanmıştır:

### 2.2.1. Kaba paso işleme

$$\text{Kesme derinliği} \quad d_{rL} \leq d_r \leq d_{rU} \quad (18)$$

$$\text{İlerleme hızı} \quad f_{rL} \leq f_r \leq f_{rU} \quad (19)$$

$$\text{Kesme hızı} \quad V_{rL} \leq V_r \leq V_{rU} \quad (20)$$

$$\text{Takım ömrü kısıtlaması} \quad T_L \leq T_r \leq T_U \quad (21)$$

$$\text{Kesme kuvveti kısıtlaması} \quad F_r = k_1 f_r^u d_r^v \leq F_U \quad (22)$$

$$\text{Güç kısıtlaması} \quad P_r = \frac{F_r V_r}{6120\eta} = \frac{k_1 f_r^u d_r^v V_r}{6120\eta} \leq P_U \quad (23)$$

$$\text{Kesme bölgesi kısıtlaması} \quad V_r^\lambda f_r d_r^v \geq S_c \quad (24)$$

$$\text{Talaş-takım ara yüzü sıcaklığı kısıtlaması} \quad Q_r = k_2 V_r^\tau f_r^\phi d_r^\delta \leq Q_U \quad (25)$$

### 2.2.2. Son paso işleme

$$\text{Kesme derinliği} \quad d_{sL} \leq d_s \leq d_{sU} \quad (26)$$

$$\text{İlerleme} \quad f_{sL} \leq f_s \leq f_{sU} \quad (27)$$

$$\text{Kesme hızı} \quad V_{sL} \leq V_s \leq V_{sU} \quad (28)$$

$$\text{Takım ömrü kısıtlaması} \quad T_L \leq T_s \leq T_U \quad (29)$$

$$\text{Kesme kuvveti kısıtlaması} \quad F_s = k_1 f_s^u d_s^v \leq F_U \quad (30)$$

$$\text{Güç kısıtlaması} \quad P_s = \frac{F_s V_s}{6120\eta} = \frac{k_1 f_s^u d_s^v V_s}{6120\eta} \leq P_U \quad (31)$$

$$\text{Kesme bölgesi kısıtlaması} \quad V_s^\lambda f_s d_s^v \geq S_c \quad (32)$$

$$\text{Talaş-takım arayüzü sıcaklığı kısıtlaması} \quad Q_s = k_2 V_s^\tau f_s^\phi d_s^\delta \leq Q_U \quad (33)$$

$$\text{Son paso yüzey kısıtlaması} \quad \frac{f_s^2}{8R} \leq SR_U \quad (34)$$



### 2.2.3. Parametre ilişkileri

$$V_s \geq k_3 V_r \quad (35)$$

$$f_r \geq k_4 f_s \quad (36)$$

$$d_r \geq k_5 d_s \quad (37)$$

$$n = \frac{(d_t - d_s)}{d_r} \quad (38)$$

$$\frac{(d_t - d_s)}{d_{rU}} \leq n \leq \frac{(d_t - d_s)}{d_{rL}} \quad (39)$$

Çizelge 1. Kesme verileri.

Simge	Değer	Simge	Değer	Simge	Değer
$D$	50 mm	$L$	300 mm	$d_t$	6 mm
$V_{rU}$	500 m/min	$V_{rL}$	50 m/min	$f_{rU}$	0.9 mm/rev
$f_{rL}$	0.1 mm/rev	$d_{rU}$	3 mm	$d_{rL}$	1 mm
$V_{sU}$	500 m/min	$V_{sL}$	50 m/min	$f_{sU}$	0.9 mm/rev
$f_{sL}$	0.1 mm/rev	$d_{sU}$	3 mm	$d_{sL}$	1 mm
$p$	5	$q$	1.75	$r$	0.75
$u$	0.75	$v$	0.95	$\eta$	0.85
$\lambda$	2	$\tau$	0.4	$\nu$	-1
$\phi$	0.2	$\delta$	0.105	$R$	1.2 mm
$C_0$	$6 \cdot 10^{11}$	$h_1$	$7 \cdot 10^{-4}$	$h_2$	0.3
$T_L$	25 min	$t_c$	0.75 min/piece	$t_e$	1.5 min/piece
$P_U$	5 kw	$T_U$	45 min	$F_U$	200 kgf
$S_C$	140	$SR_U$	10 $\mu$ m	$Q_U$	1000°C
$k_0$	0.5 \$/min	$k_1$	108	$k_2$	132
$k_3$	1	$k_4$	2.5	$k_5$	1
$k_t$	2.5 \$/edge				



### 3. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

PSO kuş ve balık sürülerinden esinlenilerek geliştirilen popülasyon tabanlı bir arama algoritmasıdır [8]. Kuşlar bir bölgede yiyecek aramak için rastgele dağılırlar ve yiyeceğin yerini bilmedikleri için eş zamanlı olarak yön değiştirirler. Sonra bilgi paylaşımı yaparak yiyeceğin ve yiyeceğe en yakın kuşun pozisyonu hakkında bilgi sahibi olurlar. Böylece bu bilgilerle yiyeceğe ulaşırlar. PSO'da bu kuşlara parçacık adı verilmektedir. Bu parçacıkların bir araya gelmesiyle sürü oluşur. Sürüyü oluşturan her bir parçacığın arama uzayında rastgele değerler almasıyla arama işlemi başlatılır. Arama uzayı boyunca her bir parçacık kendi konumu ve hızını optimum parçacığa göre ayarlar. Her iterasyonda sürüde 'pbest' ve 'gbest' olarak iki tane en iyi değer vardır. Bir parçacığın elde ettiği en iyi kendi değeri 'pbest' ve bu 'pbest' değerlerinin en iyi değeride 'gbest' olarak adlandırılır. 'd' boyutlu arama uzayında i. parçacığın konumu ve hızı başlangıçta sırasıyla  $x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id}\}$  ve  $v_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id}\}$ . pbest ( $p_{ij}$ ) ve gbest ( $g_{best}$ ) değerlerini bulduktan sonra hız ve konum aşağıdaki gibi güncellenir:

$$v_{ij}(t+1) = w(t)v_{ij}(t) + c_1r_1(p_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + c_2r_2(g_{best} - x_{ij}(t)) \quad (40)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (41)$$

t: iterasyon sayısı  $j = 1, 2, \dots, d$

Burada  $w$  atalet ağırlığı,  $v_{ij}$  i. parçacığın hızı,  $c_1$  ve  $c_2$  değerleri hızlandırma katsayıları ve  $r_1$  ve  $r_2$  [0,1] aralığında üretilmiş rastgele değerlerdir[9].

#### 3.2. Eksponansiyel Ağırlıklı Parçacık Sürü Optimizasyonu (e<sub>2</sub>-PSO)

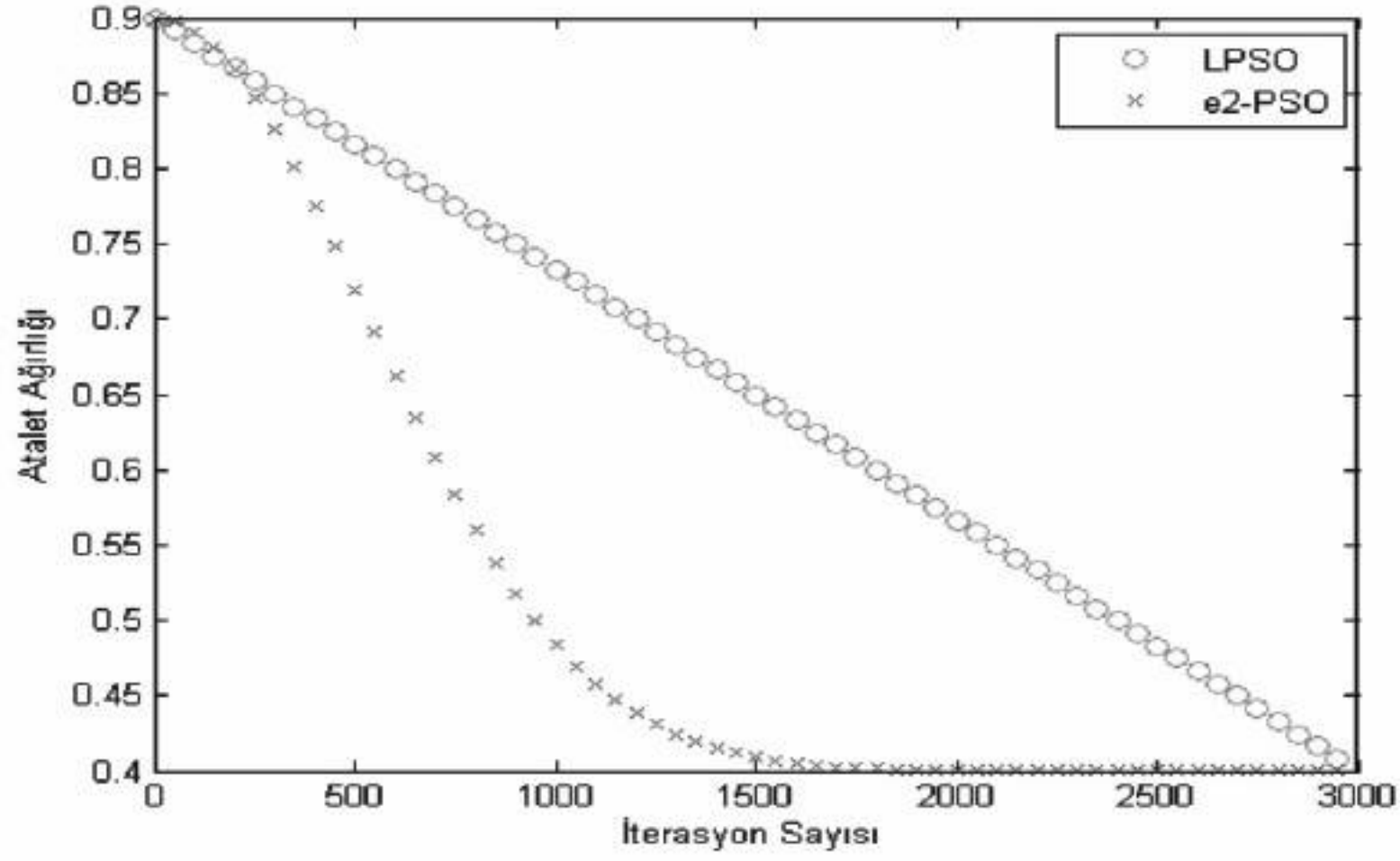
Atalet ağırlığı değerinin ( $w$ ) eksponansiyel olarak değişmesiyle oluşturulan PSO sürümüdür. Atalet ağırlığı aşağıdaki gibi ifade edilir [18]:

$$w(t) = w_{min} + (w_{max} - w_{min})e^{-[t/(\frac{maxiter}{4})]^2} \quad (42)$$

Burada,  $w_{min}$  atalet ağırlığının başlangıç değerini,  $w_{max}$  atalet ağırlığının bitiş değerini,  $t$  mevcut iterasyon sayısını,  $maxiter$  maksimum iterasyon sayısını gösterir.

Atalet ağırlığı iterasyonlar boyunca doğrusal bir azalma yerine eksponansiyel bir azalış göstermektedir. Bu strateji, algoritmanın arama işleminin ilk safhalarında optimum çözüm komşuluğuna hızlı bir yakınsama yapmasını sağlamaktadır. Şekil 1'de atalet ağırlığının doğrusal ve eksponansiyel azalma grafikleri gösterilmiştir.





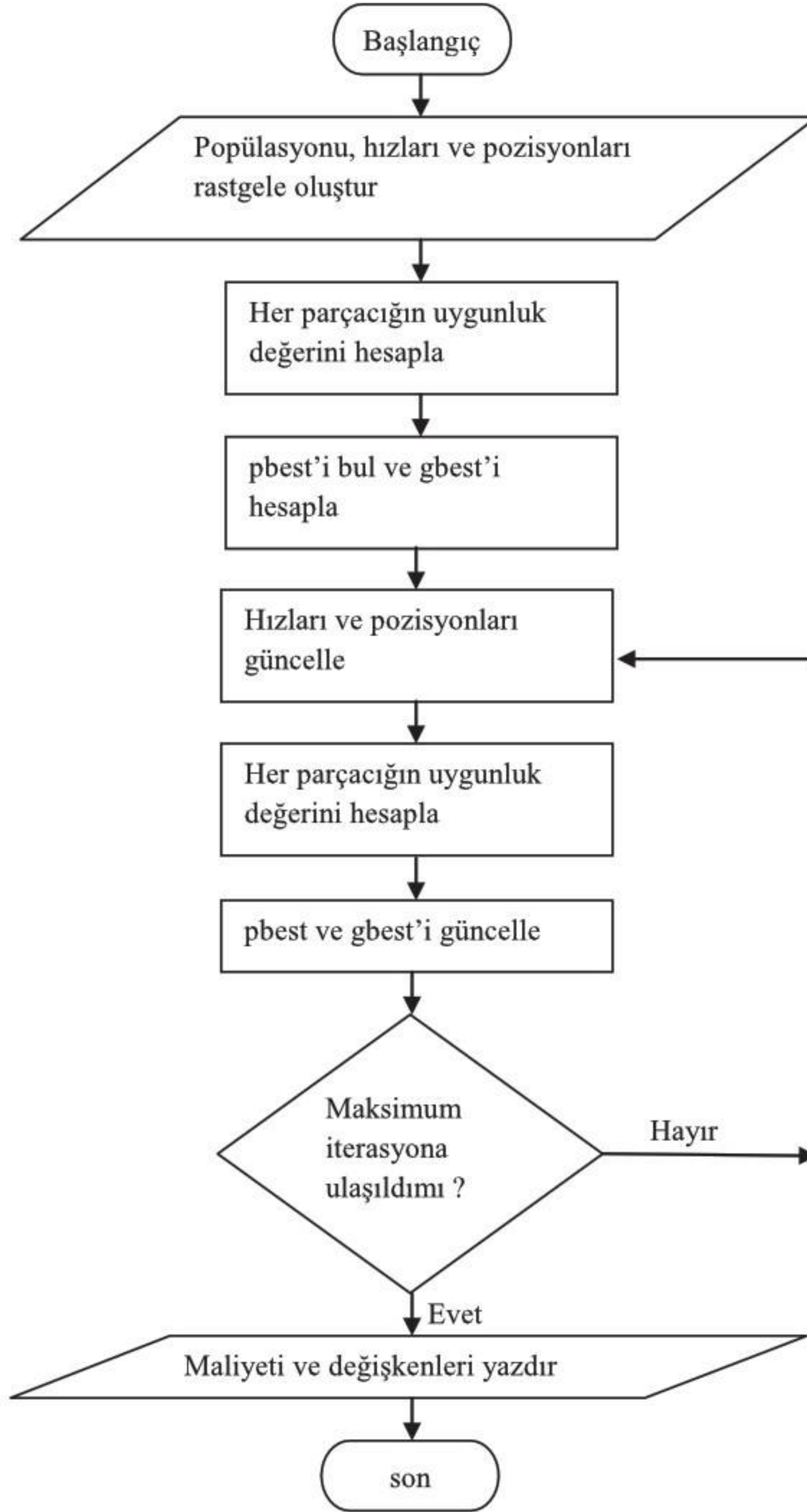
Şekil 1. Atalet ağırlıkları değişimi.

#### 4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu çalışmada, tornalama işlemlerinde minimum maliyet için parametrelerin kestiriminde e<sub>2</sub>-PSO tabanlı optimizasyon hesabı gerçekleştirilmiştir. e<sub>2</sub>-PSO tabanlı hesaplama için akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. Deneysel hesaplamalar 30 bağımsız çalıştırma üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara ait en iyi,

en kötü, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Problemin çözümünde iterasyon sayısı = 100,  $w_{max} = 0.9$ ,  $w_{min} = 0.4$ ,  $c_1 = c_2 = 2$ , parçacık sayısı = 20 alınmıştır. Ortalama maliyet için elde edilen optimum kesme koşulları ve yapılan çalışmalarda elde edilen kesme parametreleri Çizelge 3'te verilmiştir.





Şekil 2. Akış şeması.



Çizelge 2.  $e_2$ -PSO simülasyon sonuçları.

Algoritma	En iyi maliyet	Ortalama maliyet	En kötü maliyet	Standart sapma
$e_2$ -PSO	1.75 \$	2.0856 \$	2.2315 \$	0.1014

Çizelge 3. Optimum kesme parametreleri.

Algoritma	Kesme hızı (m/min)		İlerleme (mm/rev)		Kesme derinliği (mm)	
	Kaba paso	Son paso	Kaba paso	Son paso	Kaba paso	Son paso
	$V_r$	$V_s$	$f_r$	$f_s$	$d_r$	$d_s$
$e_2$ -PSO	118.664	200.387	0.895	0.358	2.067	1.865
PSO[7]	106.69	155.89	0.897	0.28	2	2
DP[1]	117.1	179.5	0.71	0.31	2.5	1

Çizelge 3’de elde edilen kesme parametrelerinde pratik kısıtlamalar dikkate alınmıştır. Bu değerler pratikte uygulanabilen değerlerdir.

Çizelge 4’te pratik kısıtlar kullanılarak elde edilen  $e_2$ -PSO sonuçları literatürdeki diğer sonuçlarla birlikte verilmiştir. Shin ve Joo’nun [1] yapmış olduğu matematiksel model kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları sonucunda en düşük maliyeti  $e_2$ -PSO sağlamaktadır.

Çizelge 4.  $e_2$ -PSO ve literatürdeki optimum maliyet değerleri.

Algoritmalar	DP [1]	SA/PS [2]	FEGA [19]	MGA [20]	PSO [6]	$e_2$ -PSO
Maliyet(\$)	2.387	2.2971	2.3065	2.2538	2.2721	<b>2.0856</b>

#### 4. TARTIŞMA

Bu çalışmada,  $e_2$ -PSO ile çok geçişli tornalama işlemlerinin maliyet optimizasyonu çalışılmıştır. Kaba ve son paso işlemede kesme hızı, ilerleme hızı, paso sayısı ve devir sayısı değişkenlerinin seçimi minimum maliyeti elde edecek şekilde hesaplanmıştır.  $e_2$ -PSO sonuçları genetik algoritma, tavlama benzetimi algoritması, evrimsel hesaplama algoritması sonuçları ile karşılaştırılmıştır.  $e_2$ -PSO çözümleri en uygun çözüm olarak elde edilmiştir. Bundan dolayı birçok kısıtlamaya sahip frezeleme, delme, tornalama, raybalama vb. işlemlerde optimum parametreleri belirlemek için  $e_2$ -PSO kullanılabilir. Ayrıca daha fazla eksene sahip tezgâhlarda minimum maliyet veya minimum üretim zamanı için de  $e_2$ -PSO kullanılarak kesme parametreleri belirlenebilir.



## 5. KAYNAKLAR

- [1] Y.C. Shin , Y.S. Joo, “Optimization of machining conditions with practical constraints”, *International Journal of Production Research*,30(12),2907-2919(1992).
- [2]. M.C. Chen, D.M. Tsai, “A simulated annealing approach for optimization of multi-pass turning operations”, *International Journal of Production Research*,34(10),2803-2825(1996).
- [3] K Vijayakumar, G Prabhakaran, P Asokan, R Saravanan, “Optimization of multi-pass turning operations using ant colony system”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*,43,1633-1639(2003)
- [4] M.C. Chen, ” Optimizing machining economics models of turning operations using the scatter search approach”, *Int J Prod Res*,42(13),2611-2625(2004)
- [5] A.R. Yıldız, ”A novel hybrid immune algorithm for global optimization in design and manufacturing”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*,25(2),261-270(2009).
- [6] J. Srinivas, R. Giri, SH. Yang, ”Optimization of multi-pass turning using particle swarm intelligence”, *Int J Adv Manuf Technol*,40(1-2),56-66(2009).
- [7] S. Xie, Y. Guo, “Intelligent Selection of Machining Parameters in Multi-pass Turnings Using a GA-based Approach”, *Journal of Computational Information Systems*, 7(5), 1714-1721(2011).
- [8] J. Kennedy, R. Eberhart, ”Particle swarm optimization”, *Proc. IEEE International Conference on Neural Networks*, Piscataway, NJ, 1942-1948(1995).
- [9] X. Hu, Y. Shi, R. Eberhart, “Recent advances in particle swarm”, *Evolutionary Computation*, Portland, 90-97(2004).
- [10] K.E. Parsopoulos, M.N. Vrahatis, “Particle swarm optimization method for constrained optimization problems” In: Kvasnic̃ka, V. et al. (Eds), *Proceedings of the second Euro-International Symposium on Computational Intelligence*, Kos̃ice, Slovakia, pp. 214–220(2002).
- [11] T. Ray, K.M. Liew, “A swarm with an effective information sharing mechanism for unconstrained and constrained single objective optimisation problems”, In: Kim, J.H. et al. (Eds.), *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation*, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, pp. 75–80(2001).
- [12] Q. Shen, W.M. Shi, W. Kong, B.X. Ye, “A combination of modified particle swarm optimization algorithm and support vector machine for gene selection and tumor classification”, *Talanta*, 71(4), 1679–1683(2007)
- [13] M. Clerc, J. Kennedy, “The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multi dimensional complex space”, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 6 (1), 58–73(2002).
- [14] R.A. Krohlingand, L. Dos Santos Coelho, “Coevolutionary particle swarm optimization using Gaussian distribution for solving constrained optimization problems”, *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. B, Cybern.*,vol. 36, no. 6, pp. 1407–1416, Dec. 2006.



- [15] N. Frankenand, A.P. Engelbrecht, "Particle swarm optimization approaches to coevolve strategies for the iterated prisoner's dilemma," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 9, no. 6, pp. 562–579, Dec. 2005.
- [16] G. Ciuprina, D. Ioan, I. Munteanu, "Use of intelligent-particle swarm optimization in electromagnetics" *IEEE Trans. Magn.*, vol. 38, no. 2, pp. 1037–1040, Mar. 2002.
- [17] Y. Shi, R. Eberhart, "A modified particle swarm optimizer", Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation, Piscataway, 69-73(1998)
- [18] G. Chen, X. Huang, J. Jia, Z. Min, "Natural Exponential Inertia Weight Strategy in Particle Swarm Optimization", Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, Dalian, 3672-3675(2006)
- [19] M.C. Chen, K.Y. Chen, "Optimization of multi pass turning operations with genetic algorithms: a note", *Int J Prod Res*, 41, 3385-3388(2003).
- [20] R.S. Sankar, P. Asokan, R. Saravanan, S. Kumanan, G. Prabhakaran, "Selection of machining parameters for constrained machining problem using evolutionary computation", *Int J Adv Manuf Technol*, 32, 892-901(2007).
- [21] A.R. Yildiz, "Optimization of cutting parameters in multi-pass turning using artificial bee colony-based approach." *Information Sciences* 220,399-407(2013).
- [22] A.R. Yildiz, "Hybrid Taguchi-differential evolution algorithm for optimization of multi-pass turning operations." *Applied Soft Computing* 13(3),1433-1439(2013).
- [23] M. Hrelja, S. Klančnik, T. Irgolic, M. Paulic, Z. Jurkovic, J. Balic, M. Brezocnik, "Particle swarm optimization approach for modelling a turning process", *Advances in Production Engineering & Management*, 9(1),21-30 (2014).



