

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE TORNALAMA İŞLEMLERİNDE

KESME KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

Yasin CANTAŞ

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran – 2014

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE TORNALAMA İŞLEMLERİNDE
KESME KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

Yasin CANTAŞ

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Burhanettin DURMUŞ

Haziran - 2014

KABUL VE ONAY SAYFASI

Yasin CANTAŞ'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE TORNALAMA İŞLEMLERİNDE KESME KOŞULLARININ BELİRLENMESİ başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

19/06/2014

Üye : Yrd. Doç. Dr. Burhanettin DURMUŞ (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Mehmet ŞENEL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Alparslan Serhat DEMİR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2014 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan GÖÇMEZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE TORNALAMA İŞLEMLERİNDE KESME KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

Yasin CANTAŞ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2014

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Burhanettin DURMUŞ

ÖZET

Bu çalışmada, çok geçişli tornalama işlemlerinde, temel işleme parametrelerinden olan kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin optimum değerlerinin belirlenmesi minimum maliyeti sağlayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Clerc modeli, üstel atalet ağırlıkları ve rastgele atalet ağırlığı gibi geliştirilmiş Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) varyasyonları kullanılmıştır.

Tornalama işleminde süreç kaba paso ve son paso olarak ikiye ayrılmıştır. Pratikte uygulanan kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, sıcaklık, yüzey pürüzlülüğü, güç ve takım ömrü kısıtları matematiksel modelde dikkate alınmıştır. PSO tabanlı hesaplamalardan elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atalet Ağırlığı, Kesme Parametreleri, Minimum Maliyet Optimizasyon, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Tornalama

DETERMINATION OF CUTTING CONDITION TURNING WITH PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Yasin CANTAŞ

Electric – Electronic Engineering, M.S. Thesis, 2014

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. Burhanettin DURMUŞ

SUMMARY

In this work, optimum processing parameters are determined that will provide minimum cost in turning operation. In optimization the most prominent parameters such as cutting speed, feed and depth of cutting have been selected to achieve minimum cost. Improved PSO variations are implemented as optimization method including Clerc model, exponential inertia weights and random inertia weight.

The process is divided into rough machining and finish machining in turning operation. The constraints are used including cutting speed, feed, depth of cutting, temperature, surface roughness, power and tool life in mathematical model. Obtained results are compared with similar works that available in literature.

Keywords: Cutting Parameters, Inertia Weight, Minimum Cost Optimization, Particle Swarm Optimization, Turning

TEŞEKKÜR

Bu alıőmamda, benden her tŒrlŒ yardım ve desteğini esirgemeyen tez danıőmanım Yrd. Do. Dr. Burhanettin DURMUŞ hocama en iten dileklerle teőekkŒrlerimi sunarım.

Tez alıőmam sŒresince maddi ve manevi her tŒrlŒ desteęi sağlayan anneme, babama ve kardeőime teőekkŒr ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. TORNALAMA	6
2.1. CNC Torna.....	7
2.1.1. Kayıt ve kızaklar	9
2.1.2. Fener mili ve gezer punta	10
2.1.3. Taret	11
2.1.4. Kontrol paneli	11
2.2. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler	12
2.2.1. Takım ömrü.....	13
2.2.2. Kesme hızı.....	13
2.2.3. Talaş derinliği	14
2.2.4. İlerleme	14
2.2.5. Takım geometrisi	14
2.2.6. Titreşim durumu.....	14
2.2.7. Soğutma sıvısı	15
2.2.8. Takım/İş parçası malzeme çifti	15
2.2.9. Takım burun yarıçapı	15
2.3. Kesici Takım Özellikleri Ve Malzemeleri	15
3. TORNALAMADA MALİYETİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ	19
3.1. Matematiksel Model.....	19
3.1.1. Kesme maliyeti (<i>CM</i>).....	19
3.1.2. Makine boşa maliyeti (<i>CI</i>).....	20
3.1.3. Takım yenileme maliyeti (<i>CR</i>)	20
3.1.4. Takım maliyeti (<i>CT</i>).....	21

İÇİNDEKİLER (devam)

	Sayfa
3.1.5. Birim üretim maliyeti (<i>UC</i>)	21
3.2. Kesme Koşulları Kısıtlamaları	21
3.2.1. Kaba paso işleme kısıtları	21
3.2.2. Son paso işleme kısıtları	22
3.2.3 Parametre ilişkileri	22
4. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU	23
4.1. Standart Parçacık Sürü Optimizasyonu	24
4.2. Geliştirilmiş PSO Yapıları	29
4.2.1. Atalet ağırlığı	29
4.2.2. Clerc modeli	30
4.2.3. Üstel atalet ağırlığı	31
4.2.4. Rastgele atalet ağırlığı	31
5. SONUÇLAR	32
6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR DİZİNİ	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. CNC torna tezgahı eksenleri	8
2.2. Eksen kızakları	8
2.3. CNC torna tezgahı işlemleri	9
2.4. Kayıt ve kızaklar	9
2.5. CNC torna tezgahı fener mili	10
2.6. Gezer punta	10
2.7. CNC torna tezgahı taretı	11
2.8. CNC torna tezgahı kontrol paneli	12
2.9. Kesici takım malzemelerinin yıllara göre işleme zamanı	16
2.10. CNC torna tezgahı kalem çeşitleri	18
4.1. Başlangıç popülasyonu	24
4.2. Uygunluk değerlerinin hesaplanması	24
4.3. p_{best} ve g_{best} 'in hesaplanması	25
4.4. Yeni hız vektörlerinin bulunması	25
4.5. Yeni konumların hesaplanması	26
4.6. Yeni uygunluk değerlerinin bulunması	26
4.7. p_{best} ve g_{best} 'in güncellenmesi	27
4.8. Standart PSO akış diyagramı	28
4.9. Atalet ağırlıkları değişimi	29

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. CNC tezgahların klasik tezgahlarla karşılaştırılması	6
2.2. Kesici takım malzemeleri	16
5.1. İşleme verileri	32
5.2. Clerc modeli için kesme parametreleri değerleri	33
5.3. e_1 -PSO için kesme parametreleri değerleri	34
5.4. e_2 -PSO için kesme parametreleri değerleri	35
5.5. Rastgele atalet ağırlığı için kesme parametreleri değerleri	36
5.6. Global maliyet sonuçlarının en iyi, ortalama, en kötü ve standart sapma değerleri	37
5.7. e_2 -PSO ve literatürdeki ortalama maliyetleri	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
UC	Malzeme maliyeti hariç birim üretim maliyeti(\$/Parça)
C_I	Yükleme ve boşaltma işlemleri ve takım boşta zamanından dolayı makine boşta iken maliyet (\$/Parça)
C_M	Kesme maliyeti (\$/Parça)
C_R	Takım yenileme maliyeti (\$/Parça)
C_T	Takım maliyeti (\$/Parça)
d_r , d_s	Her geçiş için kaba ve son paso işleme kesme derinliği (mm)
d_{rL} , d_{rU}	Kaba paso işleme kesme derinliği alt ve üst sınırları (mm)
d_{sL} , d_{sU}	Son paso işleme kesme derinliği alt ve üst sınırları (mm)
d_t	Toplam kaldırılacak metal derinliği (mm)
D	İş parçasının çapı (mm)
f_r , f_s	Her geçiş için kaba ve son paso işleme ilerleme hızı (mm/devir)
f_{rL} , f_{rU}	Kaba işleme ilerleme hızı alt ve üst sınırları (mm/ devir)
f_{sL} , f_{sU}	Son paso işleme ilerleme hızı alt ve üst sınırları (mm/ devir)
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 (\$/dk)
k_q	Sıcaklık denklemine ilişkin katsayı
k_t	Kesme kenarı maliyeti (\$/uç)
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)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
S_c	Sabit kesme bölgesinin sınırı
T	Takım ömrü (dk)
t_c	Hazırlık süresi (yükleme ve boşaltma gibi) (dk)
t_e, t_r	Takım alışverişi için gerekli süre (dk) ve takım değiştirme süresi (dk)
T_p	Kaba ve son paso işleme göz önüne alındığında takım ömrü (dk)
T_r, T_s	Kaba ve son paso işleme için takım ömürleri (dk)
t_v	Boşta hareket süresi (takım yaklaşma ve uzaklaşma gibi) (dk)
t_i	Toplam makine boşta kalma süresi (dk)
T_L, T_U	Takım ömrü alt ve üst sınırı (dk)
t_m	Kesme zamanı (dk)
t_{Mr}, t_{Ms}	Kaba ve son paso işleme için gerçek işleme süresi (dk)
V_r, V_s	Kaba ve son paso işleme kesme hızları (m/dk)
V_{rL}, V_{rU}	Kaba paso işleme için kesme hızı alt ve üst sınırı (m/dk)
V_{sL}, V_{sU}	Son paso işleme için kesme hızı alt ve üst sınırı (m/dk)
X	İşleme parametrelerinin vektörü
θ	T_p için ağırlık, $0 < \theta < 1$
α, β, γ, C	Takım ömrü sabitleri
p, q, r, C_0	$p = 1/\alpha$, $q = \beta/\alpha$, ve $C_0 = C^{1/\alpha}$
k_2, τ, ϕ, δ	Talaş-takım ara yüzü sıcaklık ifadesi ile ilgili sabitler
S_R	İzin verilen maksimum yüzey pürüzlülüğü (mm)
η	Enerji verimliliği
λ, v	Kesme bölgesinin ifadesi ile ilgili sabitler
k_1, u, v	Kesme kuvveti denkleminin sabitleri

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaşamak ve yaşam standardını yükseltmek için ilk çağlardan beri çeşitli aletlerin imalatına ihtiyaç duymuştur. İnsanlar geliştirdikleri yöntemlerle doğada bulunan hammaddelerden yeni ürünler üreterek bunları kullanmaya başlamışlardır. İnsan nüfusunun çoğalması talebin artmasına neden olmuştur. Talebin artması makineleşme sürecini hızlandırmış ve modern imalat yöntemleri ortaya çıkmaya başlamıştır (Erol ve Ulutaş, 2012).

İmalat yöntemleri mekanik ve kimyasal olmak üzere iki gruba ayrılır. Mekanik imalat yöntemleri de talaşlı ve talaşsız imalat yöntemleri olarak ikiye ayrılır. Ekonominin yapı taşlarını oluşturan otomotiv, makine, havacılık sektörleri ham maddeden ürün elde ederken kullandıkları en önemli teknoloji alanı talaşlı imalat teknolojileridir.

Talaşlı imalatta metal işlemede en çok kullanılan tezgâhlardan biri de torna tezgahıdır. Tüketici taleplerinin artması ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte torna tezgahı yerini yavaş yavaş bilgisayar sayısal denetimli (CNC) tezgahlara bırakmaya başlamıştır. Bilgisayarın tornalama işlemlerinde kullanılmasıyla birlikte işleme süresi azalmış böylece üretim miktarı artmıştır. Ayrıca CNC tezgahlar havacılık sektöründe hassas toleransa sahip parçaları yüksek hassasiyette işleme imkanı vermiştir. CNC tezgahlarda kullanılan takımlarda da büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Seri üretimi yapmayı kolaylaştıran ve iş parçasının pürüzlülüğünü azaltan uzun ömürlü takımlar üretilmiştir. Teknolojideki bu hızlı gelişmeler üreticinin en kaliteli ürünü, en az maliyetle, en kısa sürede üretmeye mecbur bırakmaktadır. Talaşlı imalatta da üretici, kaliteli ürünleri minimum maliyetle üreterek rekabette bir adım önde olmalıdır. Üreticinin bu rekabet şartlarında ayakta kalması imalat sürecinde en uygun şartların elde edilmesiyle gerçekleşir.

Tornalama işlemlerinde optimum şartların elde edilmesi kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametrelerinin seçimine bağlıdır (Shin ve Joo, 1992). Bu parametrelerin seçimi üretilecek parçanın işleme süresi, takım ömrü gibi işleme maliyetini doğrudan etkilemektedir. Tornalama işlemlerinde iş parçası genellikle önce kaba paso sonra son paso işleme işlemine tabi tutulur. Her iki işlem içinde optimum parametre seçimi yapılması gerekmektedir. Operatörün bu parametreleri elle seçmesi zaman kaybına ve her işlemede parça ölçülerinin farklı olmasına neden olacaktır (Güllü, 1995). İşleme parametrelerin iyi seçilmemesi sonucu ekonomik kayıplar ortaya çıkmaktadır. Bu kayıpları en aza indirmek için son yıllarda optimizasyon teknikleri frezeleme, tornalama vb. işleme türleri için minimum maliyet ve minimum üretim süresi kriterleri için kullanılmaktadır.

Optimizasyon, bir problemin tüm çözümleri arasından en iyi çözümü elde etme işlemidir. Optimizasyonda belirli aralıktaki parametre değerleri kullanılarak fonksiyonun amacına göre minimum ya da maksimum değeri bulunur. Optimum değer bulunurken problemin kısıtları varsa dikkate alınmalıdır. Kullanıcı problemin türüne göre algoritma seçmelidir. Bütün problemlerde optimum sonucu verebilecek bir optimizasyon çeşidi yoktur (Ortakçı, 2011).

Doğrusal olmayan problemlerin çözümü klasik optimizasyon teknikleri ile uzun zaman almakta ve istenilen optimum değerlere ulaşamamaktadır. Bu yüzden talaş kaldırma problemlerinde sürü tabanlı sezgisel optimizasyon teknikleri tercih edilmektedir (Tosun, 2006). Bu teknikler doğadan esinlenilerek geliştirilen, birden fazla çözüm bireyinin arama uzayında farklı hesaplama stratejileri ile arama yapan sürü tabanlı algoritmalarıdır. Dorigo ve arkadaşları karıncalardan, Karaboğa da arılardan esinlenmiştir (Karaboğa, 2005; Dorigo, vd., 1991). Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)'da kuş sürülerinin yiyecek arayışlarından esinlenerek geliştirilmiştir. Parametre sayısının az olması ve türev bilgisine ihtiyaç duymamasından dolayı son yıllarda endüstride ortaya çıkan problemlerin çözümünde sıkça kullanılmaktadır (Kennedy ve Eberhart, 1995).

Literatürde, talaşlı imalatta optimizasyon çalışmaları yirminci yüzyılın başlarında başlamıştır. Önceleri tek pasolu işlemler için yapılan çalışmalara sonradan çok pasolu işlemlerde dahil edilmiştir. Ayrıca tornalama vb. işlemlerin doğrusal olmayan modellerden oluşması ilk çalışmalarda kısıtların kullanımını engellemiştir. Yeni optimizasyon tekniklerinin geliştirilmesiyle kısıtlarıda kapsayan hesaplamalar ile daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir.

Talaşlı imalatta optimizasyon çalışmaları tek pasolu işlemlerle başlamıştır. Taylor, tek pasolu tornalama operasyonlarında optimum kesme hızını maksimum yapmak için çalışmıştır (Taylor, 1907).

Gilbert, tek pasolu tornalamada minimum işleme maliyeti için optimizasyon çalışması yapmıştır. Çalışmasında analitik yöntem kullanarak kesme hızını belirlemiştir (Gilbert, 1950).

Bertil, kesme hızı ve talaş miktarı parametrelerini kullanarak Gilbert'den farklı bir takım ömrü denklemi ifade etmiştir. Ayrıca kesme hızı, takım ömrü ve talaş derinliğini minimum maliyeti bulmak için kullanmıştır (Bertil, 1958).

Ermer ve Wu, minimum maliyet için kesme hızının diğer parametreler olmadan yeterli olmadığını belirlemiştir (Ermer ve Wu, 1966).

Ermer ve Shah geliştirdikleri analitik metotla frezeleme, delme, kılavuz çekme ve raybalama gibi işlemler için işleme parametrelerini optimum bir aralıkta değişeceğini gözlemlemişlerdir. Bu yaptıkları çalışma için analitik bir metot geliştirmişlerdir. Amaçları kesme şartlarını belirli bir aralıkta belirlemeyi amaçlamışlardır. (Ermer ve Shah, 1973).

Hati ve Rao, matematiksel programlama tekniğini kesme parametrelerini belirlemek için kullanmışlardır (Hati ve Rao, 1976).

Lambert ve Walveker, çok pasolu işlemlerde minimum maliyeti geometrik programlamayla yapmışlardır. Maliyet için kesme hızı ve ilerleme hızını pratik kısıtlarla belirlemişlerdir (Lambert ve Walveker, 1978).

Chang ve diğerleri frezeleme işlemleri için geliştirdikleri matematiksel modelde beş değişken tanımlamışlardır (Chang, vd., 1982).

Shin ve Joo, çok pasolu tornalamada işleme kısıtları ile ilgili matematiksel model sunmuşlardır. İşleme sürecini kaba paso işleme ve son paso işleme olarak ikiye ayırmışlardır. Matematiksel model, makine boşta iken geçen süre için maliyet, talaş kaldırma işlemi için geçen süre için maliyet, takım değiştirme maliyeti ve takım maliyetinin toplamından oluşan matematiksel bir model ortaya koymuşlardır. Dinamik programlama ile bu modeli optimize etmişlerdir (Shin ve Joo, 1992).

Agapiou, tek ve çok pasolu işlemler için optimum işleme koşullarını minimum üretim maliyeti ve minimum üretim süresi kriterine göre amaç fonksiyonu önermiştir. Doğrusal olmayan problemlerde kullanılan Nelder- Mead methodunu kullanmıştır (Agapiou, 1992).

Mesquita ve diğerleri çok pasolu tornalama operasyonları için optimum işleme şartları için çok kriterli bir model sunmuşlardır. Bu modelde ilerleme hızı, kesme hızı ve talaş derinliği kriterlerini kullanmışlardır. Minimum paso sayısı, minimum birim üretim maliyeti, minimum üretim süresini içeren çoklu amaç fonksiyonu önermişlerdir. Kullanıcı amaç fonksiyonunda istediği kriterin ağırlığını değiştirebilmektedir. Ayrıca amaç fonksiyonu için interaktif bir program geliştirmişlerdir (Mesquita, vd., 1995).

Gupta ve diğerleri minimum maliyet kriteri için optimum kesme derinliği için yeni bir yaklaşım belirlemişlerdir. İşleme sürecini kaba paso işleme ve son paso işleme olarak ikiye ayırmıştır (Gupta, vd., 1995).

Chen ve Tsai, tavlama benzetimi algoritmasını kullanarak çok geçişli tornalama işlemlerinde minimum üretim maliyetini belirlemişlerdir. Pratik kısıtlamaları işleme sürecinde kaba paso işleme ve son paso işlemede kullanmışlardır (Chen ve Tsai, 1996).

Tolouei-Rad ve Bidhendi, NC makinelerde frezeleme işlemleri için en uygun işleme parametrelerini belirleyen bir optimizasyon sistemi geliştirmişlerdir. Birim üretim zamanı, birim üretim süresi ve kar oranından oluşan çoklu bir optimizasyon modeli belirlemişlerdir (Tolouei-Rad ve Bidhendi, 1997).

Zeyveli, çok pasolu frezeleme işlemlerinde işleme parametrelerinin seçimi için bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Tam tarama optimizasyon yöntemini kullanarak maksimum üretim oranı ve minimum maliyet kriterlerini sağlayacak takım ömrü modelleri kullanmıştır (Zeyveli, 1997).

Çakır ve Gürarda, dinamik programlama tekniği kullanarak minimum üretim maliyeti kriterini işleme koşullarının optimum değerlerine göre belirlemişlerdir. Kısıt olarak ilerleme hızı, kesme hızı, takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, kesme gücünü kullanmışlardır. Amaç fonksiyonu üzerindeki etkileri grafiksel bir yazılımla göstermişlerdir (Çakır ve Gürarda, 1998).

Arezo ve diğerleri tornalama işlemlerinde bilgi tabanlı bir sistem geliştirerek takım tutucu, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve kesici uç seçmişlerdir. Kullanıcı kendi ihtiyaçları doğrultusunda sisteme müdahale edebilmektedir. Prolog programlama dili ile uzman bir sistem geliştirmişlerdir (Arezo, vd., 2000).

Al-Ahmari, kaba paso ve son paso tornalama operasyonlarında işleme parametrelerinin optimizasyonunu minimum üretim maliyetine göre belirlemiştir (Al-Ahmari, 2001).

Wang ve diğerleri çok geçişli frezeleme için optimum işleme şartlarını belirlemek için paralel genetik algoritma ve paralel genetik tavlama benzetimini kullanmışlardır. Pratik kısıtlamaları kullanarak kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği değerlerini belirlemişlerdir (Wang, vd., 2005).

Tosun, frezeleme işlemlerinde optimum kesme koşullarını genetik algoritma yaklaşımı ile optimum kesme koşullarını belirlemiştir. Birim üretim maliyeti ve birim üretim zamanı amaç fonksiyonunda kullanarak çoklu optimizasyon yapmıştır (Tosun, 2006).

Sardinas ve diğerleri tornalama işlemlerinde takım ömrü ve çalışma süresini aynı anda optimize etmişlerdir. Genetik algoritma ile kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametrelerini kullanarak çoklu optimizasyon yapmışlardır (Sardinas, vd., 2006).

Islam ve Cho, son paso işlemede teknik ve ekonomik parametrelere dayalı yeni bir optimizasyon stratejisi sunmuşlardır. Minimum maliyet ve maksimum üretim için öncelikle optimum kesme hızını belirlemişlerdir. Sonra dairesel yön arama optimizasyonunu ilerleme ve radyal kesme derinliğini bulmak için kullanmışlardır (Islam ve Cho, 2009).

Xie ve Guo, çok geçişli işlemlerde minimum maliyet için genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım sunmuşlardır. Problemin karmaşıklığını azaltmak için kesme derinliğini tekrar bölerek alt problemlere ayırmışlardır (Xie ve Guo, 2011).

Bu tez çalışmasının amacı; PSO varyasyonlarını kullanarak tornalama işlemlerinde minimum maliyeti sağlayacak ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliği parametrelerini belirlemektir. Tornalama süreci kaba paso işleme ve son paso işleme olarak ikiye ayrılmıştır. Optimum parametreler belirlenirken takım ömrü, kesme kuvveti, güç, sıcaklık, yüzey pürüzlülüğü kısıtları dikkate alınmıştır.

2. TORNALAMA

İmalatın temel amacı, ham maddeye istenilen şekli vermektir. Bu amaca yönelik yapılacak olan işe uygun üretim araçları belirlenir ve bu araç ile ürün elde edilir. Bu üretim araçlarına genel olarak tezgah adı verilir. Metal vb. malzemeler kesici takım yardımı ile takım tezgahı olarak adlandırılan araçlarda işlenerek ürün haline getirilir. Talaş kaldırma işlemlerinde en çok kullanılan takım tezgahları torna, freze ve matkap tezgahlarıdır (Şahin, 2000).

Talaş kaldırmada amaç kaliteli ürünü minimum sürede maksimum kazanç elde etmektir. Bu yüzden takımın ve işlenecek malzemenin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Malzemeye uygun takım seçilmelidir ve istenilen amaca uygun kesme şartlarının oluşturulmalıdır. Bu şartlar kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğidir ve bunların optimum olması gerekir. Takımın ömrünün uzun olması da kesme hızına, talaş derinliğine ve kesme derinliğine bağlıdır. Bu kriterler uygun seçilmezse takım ömrünün kısa olmasına neden olur ve bu da maliyeti artırır.

Klasik takım tezgahları, günümüzde işletmelerin amaçlarını gerçekleştirmede yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı üreticiler rekabete ortak olamamaktadır. Teknolojinin gelişmesi ve seri üretimin daha da önem kazanmasıyla klasik takım tezgahları yerini yavaş yavaş Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (CNC) tezgahlara bırakmaktadır. Çizelge 2.1’de CNC tezgahlarla klasik tezgahlar karşılaştırılmıştır (Oral, 2012). CNC tezgahlar endüstride yirminci yüzyılda kullanılmaya başlanmıştır. Dünya ekonomisine yön veren otomotiv, havacılık ve makine imalatı sektörlerinde CNC tezgahları önemli bir yere sahiptir. Günümüzdeki hızlı teknolojik gelişmeler de takım tezgahlarındaki çeşitliliği arttırmıştır. CNC tezgah çeşitlerinin artması takım çeşitliliğini de arttırmıştır. Böylece işleme yöntemlerinin sayısı da çoğalmıştır.

Çizelge 2.1. CNC tezgahların klasik tezgahlarla karşılaştırılması.

CNC Takım Tezgahı	Klasik Tezgah
Program için hafızaları vardır.	Hafızaları yoktur.
Takım değişimi otomatik yapılır.	Takım değişimi el ile yapılır.
Karmaşık parçalar seri bir şekilde işlenebilir.	Karmaşık parçaların üretimi zordur.
İşleme program tarafından yapıldığından dolayı operatör hataları azdır.	İşleme sırasında kontrol operatörde olduğundan hatalar fazladır.
İşleme süresi kısadır.	İşleme süresi uzundur.

CNC takım tezgahlarının avantajları:

- Operatörün işleme sürecinde etkisinin az olmasından dolayı aynı hassasiyette seri imalat mümkündür.
- Tezgah her zaman aynı tempoda ve yüksek hızlarda çalıştırılabilir.
- Manuel hareketlerden kaynaklanan zaman kayıpları azdır.
- Enerji sarfiyatı minimum seviyededir.
- Programlar hafızada saklanabildiğinden aynı veya benzer özellikte bir üretim gerçekleştirmek için yeni bir programa ihtiyaç yoktur
(<http://cncmakro.com/gazi%20%C3%BCniversitesi%20CNC%20Freze%20Torna%20notlar%C4%B1.pdf>).

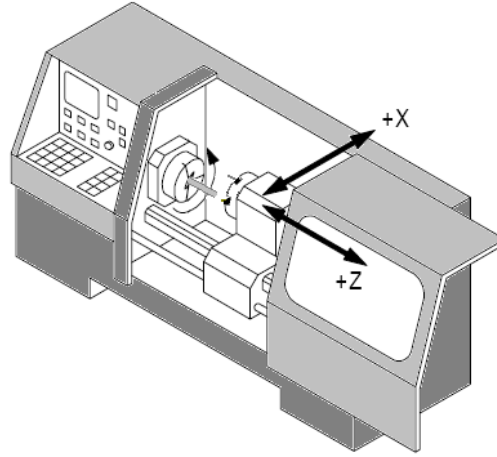
CNC takım tezgahlarının dezavantajları:

- İlk yatırım maliyeti pahalıdır.
- Tezgahın saat ücreti yüksektir.
- Kaliteli takım kullanılmalıdır.
- Kullanım ve bakımında titizlik gerekir.
- İmalat için detaylı bir çalışma yapılmalıdır.

2.1. CNC Torna

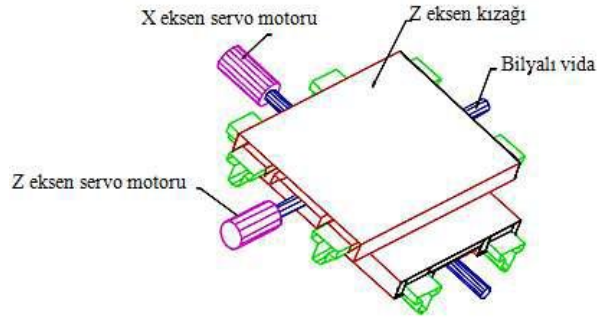
Tornalama işlemi, iş parçasının dairesel bir şekilde hareket ederken takımın enine ve/veya boyuna parçaya doğru bir ilerleme hareketi sonucunda gerçekleşir. Torna tezgahlarında takım X ve Z ekseninde hareket etmektedir. Şekil 2.1’de CNC torna tezgahının eksenleri gösterilmektedir (Köbeloğlu, 2011). Eksen sayısı 3 veya daha fazla olan CNC torna tezgahları da mevcuttur. 3. eksenin hareketi taretin kendi ekseninde yaptığı hareket olabilir. CNC torna tezgahları, kendi üzerinde bulunan kontrol panelinden veya bir bilgisayar yardımıyla sayısal komutların girilmesiyle istenilen ölçülerde seri bir şekilde üretim yapan tezgahlardır. (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Cnc%20Torna%20Tezg%C3%A2hlar%C4%B1.pdf).

Tezgahta bilgisayarlı bir kontrol ünitesinin bulunması işleme sürecinde istenilen anda müdahale edilmesine imkan vermektedir. Ayrıca hafızasında takımlarla ilgili teknik bilgiler ve yazılan komutlar da saklanabilir.



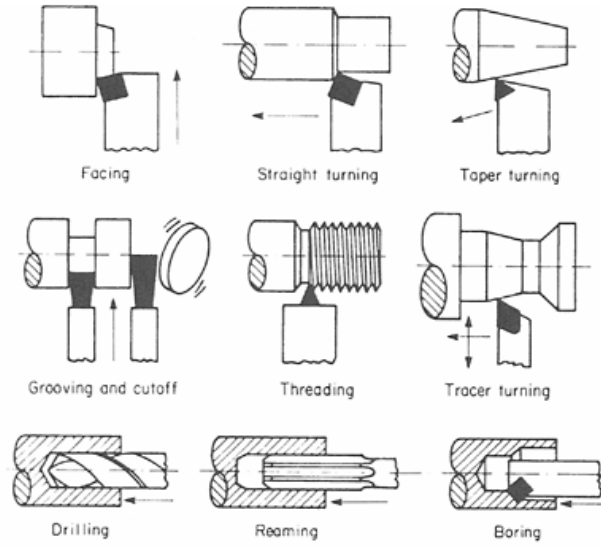
Şekil 2.1. CNC torna tezgahı eksenleri.

Eksen hareketleri bilyeli vida ve servo motor ile gerçekleştirildiğinden tezgah daha seri ve hızlı hareket etmektedir (Şekil 2.2) (http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/makine_tek/moduller/cnc_torna_tezgahlari.pdf).



Şekil 2.2. Eksen kızakları.

CNC torna tezgahları ile alın tornalama, düz tornalama, konik tornalama, kanal açma, kesme, diş açma, delme, raybalama, delik büyültme vb. işlemler gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.3) (<http://www.globalspec.com/reference/58157/203279/chapter-4-4-other-turned-parts>).

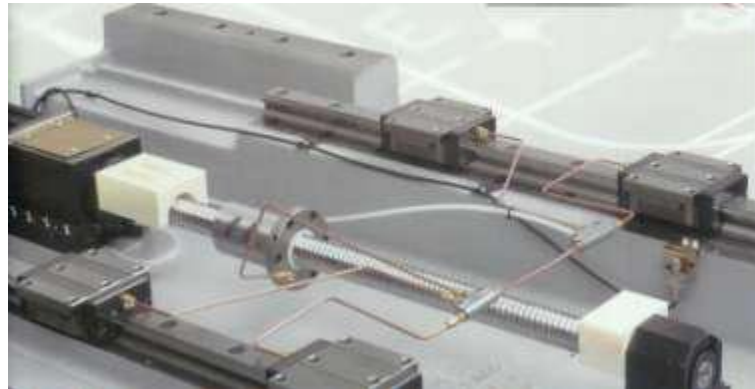


Şekil 2.3. CNC torna tezgahı işlemleri.

CNC torna tezgahının en önemli bileşenlerini kayıt ve kızaklar, fener mili ve gezer punta, taret ve kontrol paneli oluşturmaktadır (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Cnc%20Torna%20Tezg%C3%A2hlar%C4%B1.pdf).

2.1.1. Kayıt ve kızaklar

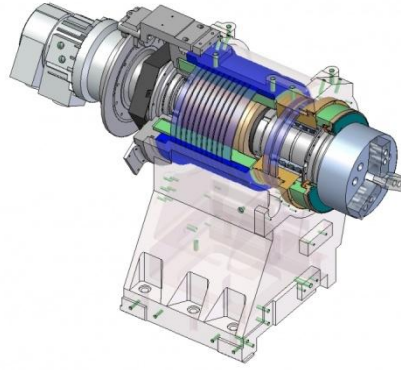
Kayıt ve kızaklar, CNC tezgahların hassas konumlama, ani yavaşlama ve hızlanma özelliklerinde büyük öneme sahip bir bileşenlerdir. Bu özelliklerin gerçekleşmesi için kayıt ve kızaklarda yüksek sertlikte ve titreşimleri sönmülemeyecek bilyeli kızaklar kullanılır. Şekil 2.4’de kayıt ve kızaklara ait örnek bir resim görülmektedir. Sürtünmenin neden olduğu aşınma, enerji kaybı ve sıcaklığın artmasını engellemek için kayıt ve kızaklar yağlanır.



Şekil 2.4. Kayıt ve kızaklar.

2.1.2. Fener mili ve gezer punta

Fener mili, torna aynası ile motor arasındaki bağlantıyı sağlayan elemandır. CNC tezgahlar yüksek devirlerde de çalıştığından fener milinde balans yüksek ise iş parçası istenilen ölçülerde olmayacaktır. Bu yüzden iş parçasının hassasiyetini etkileyen en önemli eleman fener milidir. Şekil 2.5’de CNC torna tezgahı fener mili gösterilmiştir.



Şekil 2.5. CNC torna tezgahı fener mili
(http://www.reiscnc.com/img/vturn_a26_85_cnc_torna___10_3.jpg).

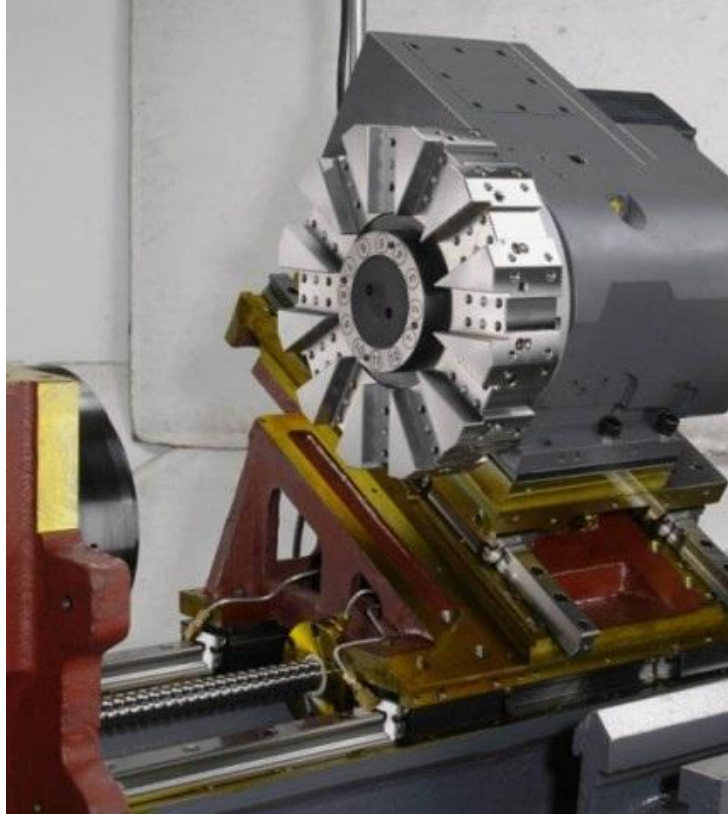
Gezer punta, uzun iş parçalarının işlenmesi amacıyla kullanılan ve tezgahın kayıtları üzerinde hareket eden yardımcı bir elemandır (Şekil 2.6) (<http://iys.inonu.edu.tr/webpanel/dosyalar/170/file/torna.pdf>).



Şekil 2.6. Gezer punta ([http://www.perpamakina.com/kullanici-dosyalari/urunler/HL25N%20\(2\).jpg](http://www.perpamakina.com/kullanici-dosyalari/urunler/HL25N%20(2).jpg)).

2.1.3. Taret

CNC tornada takımların takıldığı kısma taret denir. Dış çapta çalışan kesici takımlar katerler (takım tutucular), malafalar ve kovanlar ile, ana mil ekseninde çalışan takımlar ise pensler yardımıyla bağlanır. Şekil 2.7’de CNC torna tezgahına ait taret görülmektedir.



Şekil 2.7. CNC torna tezgahı taret (http://www.perpamakina.com/kullanici-dosyalari/urunler/HL25N%20(2).jpg).

2.1.4. Kontrol paneli

CNC tezgahlarının kontrolü, verilerin girilmesi, simülasyonların izlenmesi, tezgah milinin hareketi, eksenlerin gözlenmesi, takım seçimi, manuel olarak tezgah eksenlerinin hareketi bu panel ile gerçekleştirilir. Şekil 2.8’de örnek bir kontrol paneli verilmiştir.



Şekil 2.8. CNC torna tezgahı kontrol paneli

(http://www.macrotec.co.uk/uploads/12/assets/554/full_screen/Control%20Panel.jpg).

2.2. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler

İşlenecek malzemenin tezgaha nasıl bağlanacağı önemlidir. Malzemenin tezgaha bağlanması ve işlemeden sonra sökülmesi maliyeti etkilemektedir. Bağlama işleminde parça tezgaha uygun bir şekilde bağlanmalıdır. Aksi takdirde işleme sırasında parçanın fırlamasına, bozulmasına, takımın kırılmasına, operatörün yaralanmasına neden olabilir. İşleme sırasında talaş derinliğine de maliyet ve güvenlik açısından dikkat etmek gerekir. Tornalama işlemlerinde de kaba paso işleme sonrasında son paso işleme olarak iki aşamada yapılmalıdır (Shin ve Joo,1992). Tornalama işleminde en çok dikkat edilmesi gereken hususlardan biride takımın işe uygun olarak seçilmesi ve bağlanmasıdır. Bütün tornalama işlemlerinde takımın ve iş parçasının tezgaha bağlanıp sökülmesi iyi bilinmelidir. Talaş kaldırma işlemi esnasında talaş yüklenmesi ve sarsıntıyı önleyecek şekilde iş parçası bağlanmalıdır.

Talaş kaldırma işleminde, takımın iş parçasına belirli bir kuvvetle temas ettirilmesi ve bu kuvvet yönüne doğru hareketi sonrasında, takımın iş parçasına temas ettiği yerde gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmeler iş parçasının kopma sınırını aştığı anda talaş meydana gelir. İş parçasının mekanik özellikleri ve kesme şartlarına bağlı olarak farklı talaş tipleri ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı talaş kaldırma işlemine etki eden faktörlerin iyi bilinmesi ve bu etkenlerin birbirleriyle olan etkileri dikkate alınmalıdır. Talaş kaldırmayı etkileyen başlıca faktörler aşağıda belirtilmiştir (Şahin, 2000).

- Takım ömrü
- Kesme hızı
- Talaş derinliği
- İlerleme miktarı
- Takım geometrisi
- Titreşim durumu
- Soğutma sıvısı
- Takım/iş parçası malzeme çifti
- Takım burun yarıçapı

2.2.1. Takım ömrü

Takımın ilk kullanım anından belirli bir aşınma kriteri sağlanıncaya kadar geçen zamana takım ömrü denir. İstenilen işlemi yerine getiremeyen takıma aşınmıştır denir (Dinler, 1998). Bir takımın ömrü uç kırılması, istenilen ölçüyü veya pürüzlülüğü sağlamıyorsa son bulur. Takım ömrü gerek maliyet gerekse iş parçasının kalitesi açısından büyük önem taşır. Takım ömrünü etkileyen en önemli unsurlar kesme parametreleri olup bu parametrelerin uygun seçilmesi gerekir. Aksi takdirde uzun takım ömrü sağlanması istenirken maliyet artabilir (İlkaz, 2002).

2.2.2. Kesme hızı

Takımın iş parçası üzerinde metre cinsinden bir dakikada aldığı yol kesme hızı olarak ifade edilir. Denklem 1'de kesme hızı Denklemü ifade edilmiştir. Kesme hızının uygun seçilmesi takım ömrü ve işleme zamanı bakımından önemlidir. Kesme hızı düşük alınırsa işleme zamanı artacak ve zaman kaybı olacaktır. Kesme hızının yüksek alındığında ise sürtünme ve ısı normalden fazla artarak takımın çabuk aşınmasına neden olur. Bu aşınmada takım ömrünü azaltarak maliyeti arttırmaktadır. Ayrıca takımın sık değiştirilmesi de zaman kaybına neden olmaktadır.

$$V_C = \frac{\pi D n}{1000} (m/dk) \quad (1)$$

Burada; V_C : Kesme hızı (m/dk), D : İş parçası çapı (mm), n : devir sayısı (devir/dk)'nı göstermektedir.

Kesme hızı, CNC torna tezgahlarında iş parçasının çapı değiştiğinde fener mili durdurulmadan değiştirilebilir. Kesme hızının belirlenmesinde aşağıda belirtilen faktörler dikkate alınmaktadır (Şahin, 2000).

- İş parçası malzemesi
- Kesici takım malzemesi
- Gerekli bitirme yüzeyi
- Talaş derinliği
- Tezgah rijitliği ve tipi

2.2.3. Talaş derinliği

Takımın iş parçasından dikey olarak mm cinsinden aldığı mesafe talaş derinliği olarak ifade edilir. Talaş derinliğinin fazla olması takıma zarar verebilir, az olması ise işleme zamanını arttırmaktadır. Bu yüzden talaş derinliği uygun seçilmelidir.

2.2.4. İlerleme

İlerleme; takımın iş parçasın bir tur dönmesi sonucunda milimetre cinsinden aldığı yoldur. İş parçasının hareketi dönme eksenine paraleldir. Alın tornalamada ise ilerleme hareketi dikdir. İlerleme miktarının birimi genellikle mm/devir'dir. İlerleme miktarı f ile gösterilir (Şahin, 2000).

2.2.5. Takım geometrisi

Kesme işlemini gerçekleştirmek için tasarlanmış birçok kesici uç çeşidi vardır. Uç seçimi yapılacak işe ve işlenecek malzemenin cinsine göre yapılır (Aykut, 1999).

Takım geometrisi talaş oluşumunda kayma açısı ve talaş kalınlığına etki eder. Pozitif ve negatif olmak üzere iki tip uç geometrisi vardır. Pozitif uçta ucun üst yüzeyi alt yüzeyinden büyüktür. Negatif uçta ise alt ve üst yüzey aynı ölçüdedir (Şahin, 2003).

2.2.6. Titreşim durumu

Titreşim, takım ömrünü azaltır ve iş parçasının yüzeyinde dalgalanmalara neden olur. Talaş kaldırma sırasında titreşimi engellemek için aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır (Bodur, 1983).

- Tezgah ve takımlar rijit olmalı,
- İş parçasının bağlama mesafesi mümkün olan en kısa mesafeye indirilmeli
- Kesici takım altına altlık konulmalı,
- Tezgahın hareket eden kısımları arasındaki boşluk azaltılmalı,
- Kesme parametreleri iyi ayarlanmalı,
- Aşınmış takımlar kullanılmamalı,

2.2.7. Soğutma sıvısı

Soğutma sıvısı, kesme sırasında oluşan ısıyı azaltarak soğutma ve takım ile iş parçası arasında girerek yağlama işlevi görür (Akkurt, 1985). Soğutma sıvısı kullanımının faydaları:

- Takım ömrünü uzatmak,
- Yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek,
- Sürtünmeyi azaltmak,
- Paslanmayı engellemek,
- Talaşların süpürülmesini sağlamaktır.

2.2.8. Takım/iş parçası malzeme çifti

CNC torna tezgahına sahip işletmelerin dikkat etmesi gereken noktalardan biride takım-iş parçası arasındaki ilişkidir. İş parçası işlenirken en kısa sürede kaliteli bir şekilde minimum maliyetle üretilmelidir. Bu faktörlerin gerçekleştirilmesinde işe uygun takım seçilmelidir. Seçilecek takım hem istenilen işi en kısa sürede yapmalı hem de toplam maliyete fazla etki etmemelidir.

2.2.9. Takım burun yarıçapı

Takım burun yarıçapı, en az talaş derinliğini göstermektedir. Takım burun yarıçapı büyükse ucun daha fazla sürtünerek iş parçasının yüzeyinin sertleşmesine neden olur. Bunun sonucunda kötü bir yüzey kalitesi elde edilir ve takım daha çok ısınarak aşınır. Takım burun yarı çapı küçükse iş parçası yüzeyinde çentik etkisi oluşarak takımı hızla köreltebilir (Şahin, 2000).

2.3. Kesici Takım Özellikleri Ve Malzemeleri

CNC takım tezgahlarının işleme kapasitelerinin yüksek olmasından dolayı kesici uçlar büyük bir öneme sahiptir. Kesme işlemi sırasında takımlarda ki sıcaklık ve kesme kuvveti artmaktadır.

İyi bir kesici takım üretim miktarını arttırarak maliyetin düşmesine neden olur. Bu yüzden takım imalat firmaları çalışmalarını kesici uçların işleme özelliklerinin geliştirilmesine yoğunlaşmıştır. CNC tezgahlarda kullanılacak takımlar şu özelliklere sahip olmalıdır (http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/makine_tek/moduller/takim_seci_mi.pdf):

- Kesici uç değişimi kolay yapılabilmelidir.
- İş parçasından çıkan talaşları kırabilmelidir.

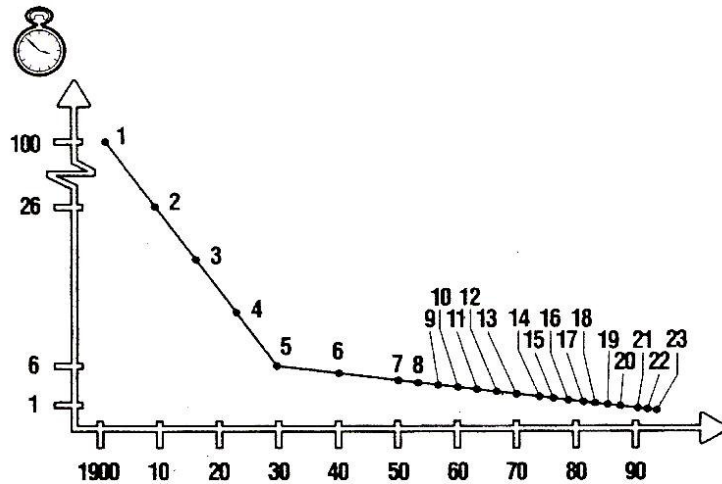
- Takım sağlam ve dengeli bir şekilde tarete bağlanabilmelidir.
- İşleme sırasında oluşan sıcaklıktan dolayı sertliğini kaybetmemelidir.

Talaşlı imalatta ilk zamanlardan günümüze kadar kullanılan kesici takımlar Çizelge 2.2’de verilmiştir (Çakır, 1999).

Çizelge 2.2. Kesici takım malzemeleri.

1. Karbon Çeliği	13. Kaplamalı karbürler (GC)
2. Yüksek hız çeliği (HSS)	14. Çok kristalli elmas (PCD)
3. Döküm alaşımlar	15. Kübik bor nitrür (CBN)
4. İyileştirilmiş HSS	16. Çok katlı kaplamalı karbürler
5. Dökme demir için sint. karbür	17. Delme için kaplamalı karbürler
6. Çelik için sinterlenmiş karbür	18. Frezeleme için kaplamalı karbürler
7. Değiştirilebilir sint. karbür uçlar	19. Paslanmaz için kaplamalı karbürler
8. Seramikler (CC)	20. Coronite (N)
9. Sentetik elmaslar	21. İyileştirilmiş Sermetler
10. İyileştirilmiş sinterlenmiş karbürler	22. Vida çekme için kaplamalı karbürler
11. Sermetler (CT)	23. Yeni nesil sinterlenmiş karbürler
12. Özel sinterlenmiş karbürler	

Şekil 2.9’da ise takım malzemelerinin işleme zaman grafiği gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde işleme süresinin günümüzde azaldığı görülmektedir (Çakır, 1999).



Şekil 2.9. Kesici takım malzemelerinin yıllara göre işleme zamanı.

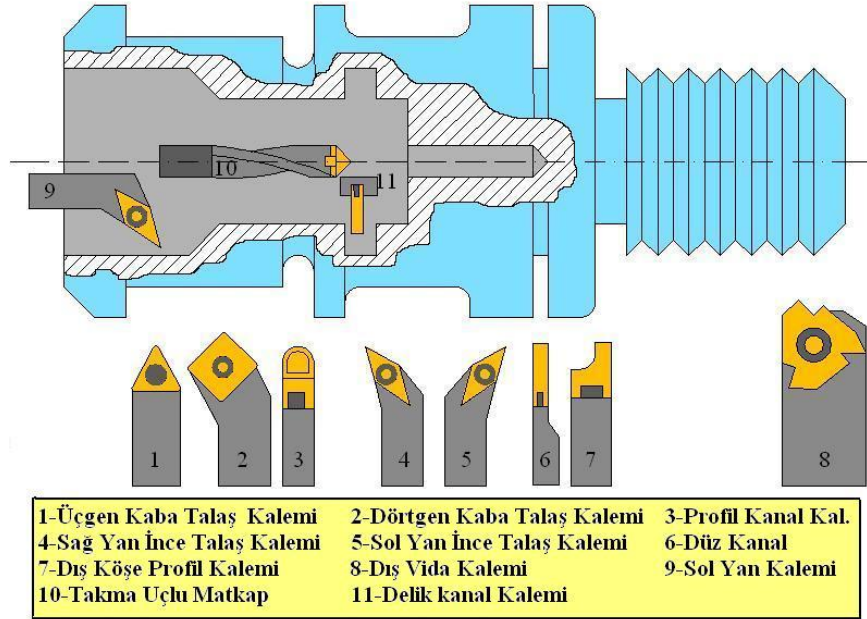
CNC tezgahlarında talaş kaldırma işlemi sırasında iş parçasının bozulmaması veya takım zarar görmemesi için yapılması gerekenlerden biri de uygun takım seçmektir. Bu yüzden

takım seçiminde aşağıdaki özelliklere dikkat edilmelidir (http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/makine_tek/moduller/takim_secimi.pdf):

- Tezgah gücü ve türü
- Parça geometrisi
- Kaldırılacak talaş miktarı
- İş parçası malzemesi
- İlerleme ve kesme hızı
- Parça sayısı
- Soğutma
- Bağlama aparatı türü

CNC torna tezgahlarında kesici takımlarda en önemli unsur uç ve kalemdir. Şekil 2.10'da CNC torna tezgahı kalem çeşitleri gösterilmektedir. En çok kullanılan uç geometrileri ise şunlardır (http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/makine_tek/moduller/takim_secimi.pdf):

- Dairesel uçlar
- Sağ yan kaba talaş uçları
- Sol yan kaba talaş uçları
- Sağ yan ince talaş uçları
- Sol yan ince talaş uçları
- Vida açma uçları
- Delik içi uçları
- Matkap uçları
- Kılavuzlar
- Kanal kalemleri
- C ekseninde kullanılan parmak freze takımları



Şekil 2.10. CNC torna tezgahı kalem çeşitleri.

Tornalama işlemlerinde istenilen verimin alınması takımla doğrudan ilişkilidir. Takıma uygun kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği belirlendiğinde istenilen miktarda talaş kaldırılır. Tornalama işlemlerinde maliyeti etkileyen en önemli unsurlar ise kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğidir (Şahin, 2003). Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği seçilirken aşağıdaki kriterlerden maksimum önceliği olan tercih edilmelidir (Domaç, 2011).

- 1) Birim maliyetin minimuma indirilmesi
- 2) Birim üretim süresinin minimuma indirilmesi
- 3) Takım ömrünün maksimum yapılması
- 4) Maksimum hassasiyetin sağlanması
- 5) En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi
- 6) Bir defada kaldırılacak talaş miktarının maksimum olması
- 7) Takım kırılmalarının en aza indirilmesi
- 8) Aşınma ve titreşimlerin en aza indirilmesi

3. TORNALAMADA MALİYETİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Tornalama işlemlerinde amaç kaliteli ürünü en düşük maliyet ve en kısa sürede üretmektir. Kaliteli ve ucuz bir ürünün elde edilmesi birçok değişkenin optimum değerde seçilmesine bağlıdır. Bu yüzden maliyet veya zamandan kazanç sağlamak için günümüzde birçok araştırmacı bu alanda optimizasyon çalışmaları yapmaktadır. CNC makinelerin ilk yatırım maliyetinin yüksek olması sebebiyle bu araştırmalar daha da önem kazanmaktadır. İş parçasının geometrisi, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, parçanın tezgaha bağlanması ve sökülmesi işlemleri, işlenecek malzemenin özellikleri, kullanılacak takım ve tezgah kapasitesi maliyeti belirleyen değişkenlerdir. Belirli kısıtlar içinde bu değişkenlerin optimum olarak seçilmesi maliyet veya zaman bakımından kazanç sağlayacaktır. Optimum değerlerin belirlenmesi optimizasyon yöntemlerinin matematiksel modele uygulanması ile bulunabilir.

3.1. Matematiksel Model

Bu çalışmada Shin ve Joo tarafından önerilen matematiksel model kullanılacaktır. Bu modelde çok geçişli tornalama işlemleri kaba paso ve son paso işleme olarak ikiye ayrılmıştır. İşlemlerde gerçek kısıtlar kullanılmıştır. Pratikte kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametreleri kullanıldığı için bu parametreler işleme sırasında dikkate alınacaktır. Amaç fonksiyonunda minimum üretim maliyeti belirlenmiştir. Birim üretim maliyeti (UC) makine boşa iken maliyet (C_I), kesme maliyeti (C_M), takım yenileme maliyeti (C_R) ve takım maliyeti (C_T) toplamından oluşmaktadır (Shin ve Joo, 1992).

3.1.1. Kesme maliyeti (C_M)

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}):

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

Son paso işleme süresi (t_{Ms}):

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

Kesme maliyeti (C_M), toplam işleme süresi ile işçilik maliyetinin çarpımı şeklinde ifade edilir (Denklem 5) (Shin ve Joo, 1992):

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

3.1.2. Makine boшта maliyeti (C_I)

Tornalama işlemi yaparken makinenin bošta kaldığı zamanda geçen süre (t_i), yükleme ve boşaltma zamanı (t_c) ve takım yaklaşma ve uzaklaşma zamanlarının (t_v) toplamından oluşur.

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

Takım yaklaşma ve uzaklaşma süresi (t_v) iş parçasının uzunluğu (L) ve paso sayısı (n) ile bağlantılıdır. Denklem 7'de t_v ifade edilmiştir:

$$t_v = (h_1 L + h_2)(n + 1) = (h_1 L + h_2) \left(\frac{d_t - d_s}{d_r} + 1 \right) \quad (7)$$

Makine bošta iken geçen sürede maliyet (C_I) aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$C_I = k_0 [t_c + (h_1 L + h_2)(n + 1)] = k_0 \left[t_c + (h_1 L + h_2) \left(\frac{d_t - d_s}{d_r} + 1 \right) \right] \quad (8)$$

3.1.3. Takım yenileme maliyeti (C_R)

Tornalama işleminde kaba paso ve son paso işlemede aşınma oranı değişmektedir. Takım ömrü (T_p), kaba paso takım ömrü (T_r) ve son paso takım ömrü (T_s) toplamından oluşmaktadır.

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

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

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

Takım değiştirme süresi (t_r), takım ömrü (T_p), takım değişimi 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):

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

3.1.4. Takım maliyeti (C_T)

Takım maliyeti (C_T), Denklem 14'teki gibi ifade edilir:

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

3.1.5. Birim üretim maliyeti (UC)

Yukarıdaki Denklemlere dayanarak birim üretim maliyeti (UC) aşağıdaki gibi düzenlenir:

$$\begin{aligned} UC &= C_M + C_I + C_R + C_T \quad (15) \\ &= k_0 \left[\frac{\pi DL}{1000 V_r f_r} \left(\frac{d_t - d_s}{d_r} \right) + \frac{\pi DL}{1000 V_s f_s} \right] + k_0 \left[t_c + (h_1 L + h_2) \left(\frac{d_t - d_s}{d_r} + 1 \right) \right] \\ &+ k_0 \frac{t_e}{T_p} \left[\frac{\pi DL}{1000 V_r f_r} \left(\frac{d_t - d_s}{d_r} \right) + \frac{\pi DL}{1000 V_s f_s} \right] + \frac{k_t}{T_p} \left[\frac{\pi DL}{1000 V_r f_r} \left(\frac{d_t - d_s}{d_r} \right) + \frac{\pi DL}{1000 V_s f_s} \right] \end{aligned}$$

3.2. Kesme Koşulları Kısıtlamaları

Çok geçişli tornalamada kaba paso işleme ve son paso işleme için gerçek hayatta da geçerli kısıtlamalar kullanılmıştır (Chen ve Tsai, 1996). Ayrıca temel parametreler arasındaki ilişki de bu bölümde incelenecektir. Son paso işleme kısıtlarında yüzey kalitesi önemli olduğu için yüzey pürüzlülüğü kaba paso işleme kısıtlarından farklı olarak dikkate alınmıştır.

3.2.1. Kaba paso işleme kısıtları

$$\text{Kesme derinliği kısıtlaması} \quad d_{rL} \leq d_r \leq d_{rU} \quad (16)$$

$$\text{İlerleme hızı kısıtlaması} \quad f_{rL} \leq f_r \leq f_{rU} \quad (17)$$

$$\text{Kesme hızı kısıtlaması} \quad V_{rL} \leq V_r \leq V_{rU} \quad (18)$$

$$\text{Takım ömrü kısıtlaması} \quad T_L \leq T_r \leq T_U \quad (19)$$

$$\text{Kesme kuvveti kısıtlaması} \quad F_r = k_1 f_r^u d_r^v \leq F_U \quad (20)$$

$$\text{Güç kısıtlaması} \quad P_r = \frac{F_r V_r}{6120 \eta} = \frac{k_1 f_r^u d_r^v V_r}{6120 \eta} \leq P_U \quad (21)$$

$$\text{Kesme bölgesi kısıtlaması} \quad V_r^\lambda f_r d_r^v \geq S_c \quad (22)$$

$$\text{Talaş-takım ara yüzü sıcaklığı kısıtlaması} \quad Q_r = k_2 V_r^t f_r^\phi d_r^\delta \leq Q_U \quad (23)$$

3.2.2. Son paso işleme kısıtları

$$\text{Kesme derinliği kısıtlaması} \quad d_{sL} \leq d_s \leq d_{sU} \quad (24)$$

$$\text{İlerleme kısıtlaması} \quad f_{sL} \leq f_s \leq f_{sU} \quad (25)$$

$$\text{Kesme hızı kısıtlaması} \quad V_{sL} \leq V_s \leq V_{sU} \quad (26)$$

$$\text{Takım ömrü kısıtlaması} \quad T_L \leq T_s \leq T_U \quad (27)$$

$$\text{Kesme kuvveti kısıtlaması} \quad F_s = k_1 f_s^u d_s^v \leq F_U \quad (28)$$

$$\text{Güç kısıtlaması} \quad P_s = \frac{F_s V_s}{6120\eta} = \frac{k_1 f_s^u d_s^v V_s}{6120\eta} \leq P_U \quad (29)$$

$$\text{Kesme bölgesi kısıtlaması} \quad V_s^\lambda f_s d_s^v \geq S_c \quad (30)$$

$$\text{Talaş-takım ara yüzü sıcaklığı kısıtlaması} \quad Q_s = k_2 V_s^t f_s^\phi d_s^\delta \leq Q_U \quad (31)$$

$$\text{Son paso yüzey kısıtlaması} \quad \frac{f_s^2}{8R} \leq (S_R) \quad (32)$$

3.2.3. Parametre ilişkileri

Kaba paso işleme parametreleri ile son paso işleme parametreleri arasındaki kısıtlar aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$V_s \geq k_3 V_r \quad (33)$$

$$f_r \geq k_4 f_s \quad (34)$$

$$d_r \geq k_5 d_s \quad (35)$$

$$n = \frac{(d_t - d_s)}{d_r} \quad (36)$$

$$\frac{(d_t - d_s)}{d_{rU}} \leq n \leq \frac{(d_t - d_s)}{d_{rL}} \quad (37)$$

4. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Bilim adamları, hayvan sürüsünde bulunan bir bireyin çevresiyle ve diğer bireylerle olan davranışlarını incelediklerinde bir sorunun çözümü için birbirleri ile etkileşimde olduklarını fark etmişlerdir. Örneğin kuş sürüsünde bulunan bir kuş yiyecek bulduğunda sürüde bulunan diğer kuşlarla iletişime geçerek yiyeceğe ulaşmalarına yardımcı olur. Bir balık sürüsünde bulunan balık tehlikeyi fark ettiğinde sürüyü tehlikeden haberdar ederek sürünün güvenliğine yardımcı olur. Arılarda da kuş sürülerine benzer şekilde bir iletişim söz konusudur; yiyecek bulan bir arı kolonide bulunan arıları bu durumdan haberdar eder. Karıncalar ise yiyeceğe giden en kısa yolu bulurken kimyasal bir madde salgılar ve sürüde bulunan diğer karıncalar bu yolu takip ederek en kısa yoldan yiyeceğe ulaşırlar (Karaboğa, 2005; Kennedy, vd., 1995; Dorigo, vd., 1991). Hayvanların sahip olduğu bu sürü zekasından faydalanılarak mühendislikte problemlerin çözümü için algoritmalar geliştirilmiştir. Sürüde bulunan bir birey sürüdeki diğer bireylerle iletişindedir ve bir bireyin hareketi sürüdeki diğer bireyleri de etkilemektedir. Sürüde merkezi bir yönetim olmadığından bireyler kendi kontrollerini kendileri yapmaktadırlar. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) da sürü tabanlı bir optimizasyon yöntemidir. PSO' da parametre sayısının az olması ve türev bilgisine ihtiyaç duyulmaması diğer optimizasyon yöntemlerine göre daha kolay uygulanabilirlik sağlamaktadır. Ayrıca parçacıklar, hem kendi konumlarını hem de sürüdeki en iyi konum değerlerini hatırladıkları için iyi bir hafızaya sahiptirler (Zhao, vd., 2005; Juang, vd., 2006).

PSO, Kennedy ve Eberhart tarafından balık ve kuş sürülerinin incelenmesi sonucu geliştirilmiş bir optimizasyon algoritmasıdır (Eberhart ve Kennedy, 1995). Yiyecek arayışında olan kuş sürüsünün bir süre sonra yiyeceğin olduğu bölgeye doğru eş zamanlı olarak hareket ettiği görülmektedir. Kuşlar ani ve eş zamanlı hareketlerle yön değiştirerek yiyeceğin olduğu bölgede yiyeceği ararlar. Sürekli iletişimde olan kuşlar yiyeceğe en yakın olan kuşu takip ederek kısa sürede yiyeceği bulurlar (Hu, vd., 2004).

PSO'da sürünün yiyecek araması, bir problemin optimum çözümünü bulmaya benzetilmiştir. Sürüde bulunan her bir birey PSO' da bulunan bir parçacıktır. Parçacıkların oluşturduğu popülasyona da sürü (swarm) denilmektedir. Sürüde bulunan her bir parçacık arama uzayındaki olası bir çözümdür. İlk hareketleri rastgele başlatılan parçacıklar arama uzayında optimum parçacığı izleyerek hareket eder. Parçacığın hafızasında koordinatları, hızı, kendi optimum değeri ve sürüdeki optimum değeri saklanır (Arumugam, vd., 2008). Kuşun yani parçacığın hızı parçacığın yer değiştirme miktarıdır. Parçacık hareket ederken sürüdeki en iyi koordinat değeri ve kendi en iyi koordinat değerini dikkate alır (Ratnaweera, vd., 2004).

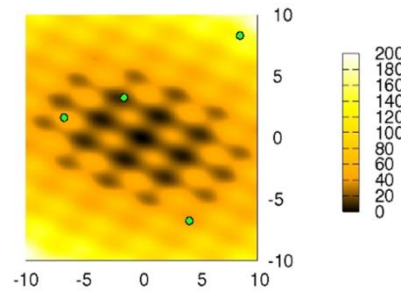
Parçacığın her hareketinin sonunda yeni koordinatlarını uygunluk fonksiyonuna gönderir ve parçacığın uygunluk fonksiyonu değeri yeniden belirlenir. Sürünün hareketi iterasyon sayısına veya parçacıklardan birinin optimuma ulaşmasına bağlıdır. PSO' da sürüde bulunan bir parçacığın optimuma ulaşması yeterlidir (Zhang, vd., 2007; Ghoshal, 2004).

4.1. Standart Parçacık Sürü Optimizasyonu

PSO'da parçacıklar ilk konum ve hız değerlerini rastgele olarak arama uzayına Şekil 4.1'de görüldüğü gibi dağılırlar. Her bir değişkenin sınırları içerisinde parçacığın başlangıç konumu aşağıdaki denklem ile üretilir.

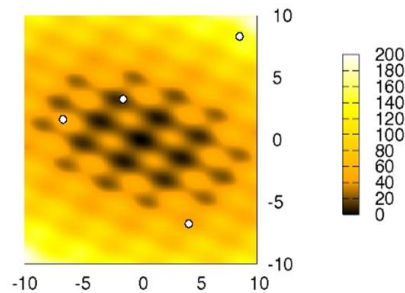
$$X_{ij} = X_{ij_min} + rand(0,1)(X_{ij_max} - X_{ij_min}), \quad i=1,2,\dots,n, \quad j=1,2,\dots,m \quad (38)$$

Bu denklemde X_{ij} i. bireyin j. parametresini, X_{ij_min} j. parametrenin alt sınırını, X_{ij_max} j. parametrenin üst sınırını, n parçacık sayısını, m parametre sayısını temsil etmektedir.



Şekil 4.1. Başlangıç popülasyonu (<http://iridia.ulb.ac.be/~mmontes/slidesCIL/slides.pdf>).

Arama uzayında rastgele dağılım sonunda ilk olarak her parçacığın amaç fonksiyonuna göre uygunluk değeri hesaplanır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Uygunluk değerlerinin hesaplanması (<http://iridia.ulb.ac.be/~mmontes/slidesCIL/slides.pdf>).

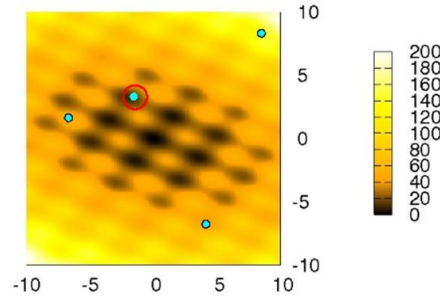
Her bir parçacığın başlangıçta elde ettiği bu fonksiyon değeri kendi yerel en iyi değer ve fonksiyon değeri en iyi olan parçacık ise global en iyi değer olarak atanır (Şekil 4.3). Yerel en iyi parçacığın konum değerleri Denklem 39’da ki gibi kaydedilir.

$$p_{i_best}^t = [p_{1_best}^t, p_{2_best}^t, p_{3_best}^t, \dots, p_{n_best}^t], \quad t=1,2,\dots,T \quad (39)$$

Burada $p_{i_best}^t$ i. parçacığın t. iterasyondaki yerel en iyi konum değeri, T toplam iterasyon sayısıdır. Tüm iterasyonlar boyunca global en iyi parçacığın konum değeri ise Denklem 40’da ki gibi gösterilmektedir.

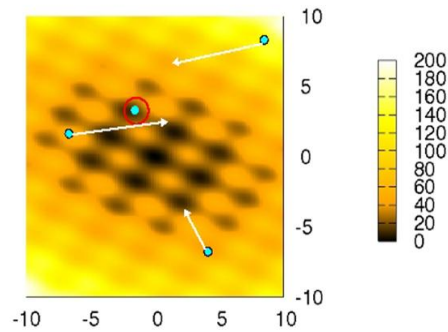
$$g_{best}^t = [g_{best}^1, g_{best}^2, g_{best}^3, \dots, g_{best}^T] \quad (40)$$

Burada g_{best}^t t. iterasyonda ki global en iyi parçacığın konumunu temsil eder.



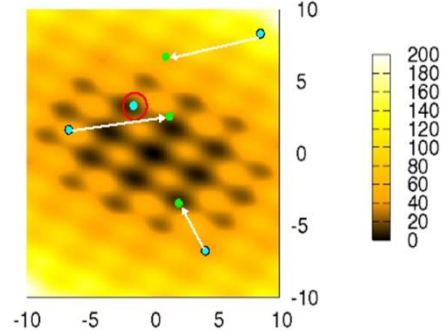
Şekil 4.3. p_{best} ve g_{best} ‘in hesaplanması (<http://iridia.ulb.ac.be/~mmontes/slidesCIL/slides.pdf>).

Her bir parçacık bir önceki iterasyonda elde edilen kendi yerel en iyi değerini ve global en iyi değeri kullanarak hız değerini günceller (Şekil 4.4).



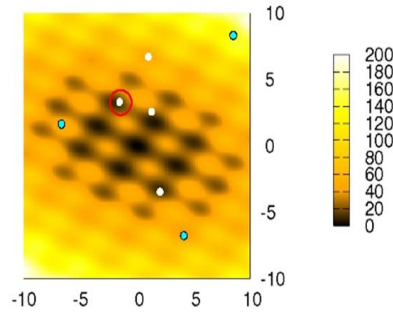
Şekil 4.4. Yeni hız vektörleri (<http://iridia.ulb.ac.be/~mmontes/slidesCIL/slides.pdf>).

Sonra ki adımda ise konum değerleri hesaplanır (Şekil 4.5).



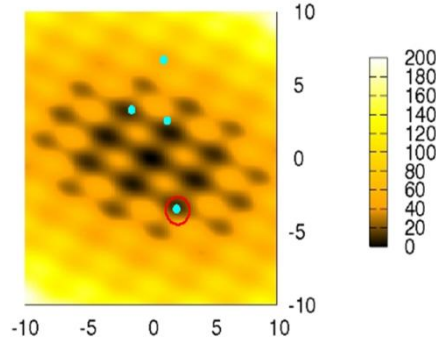
Şekil 4.5. Yeni konumların hesaplanması
(<http://iridia.ulb.ac.be/~mmontes/slidesCIL/slides.pdf>).

Bu güncellemelerden sonra bütün parçacıkların uygunluk fonksiyonu tekrar hesaplanır (Şekil 4.6). Sürünün yeni en iyi parçacığı belirlenir. Sürüde bulunan parçacıklar durdurma kriteri sağlanıncaya kadar arama uzayında en iyi çözümü bulmaya çalışırlar (Eberhart ve Kennedy, 1995).



Şekil 4.6. Yeni uygunluk değerlerinin bulunması
(<http://iridia.ulb.ac.be/~mmontes/slidesCIL/slides.pdf>).

Parçacık her iterasyonun sonunda geçmişte elde ettiği en iyi konum değeri ile yeni konum değerini kıyaslar ve yerel en iyi uygunluk değerini günceller (Şekil 4.7). Sürüdeki parçacıkların elde ettiği en iyi p_{best} değeri global en iyi değer g_{best} olarak atanır. Eğer (t). iterasyon sonunda global en iyi değerden daha iyi bir p_{best} değeri bulunmuşsa ($t + 1$). iterasyonda yeni g_{best} değeri o olur.



Şekil 4.7. p_{best} ve g_{best} 'in güncellenmesi
(<http://iridia.ulb.ac.be/~mmontes/slidesCIL/slides.pdf>).

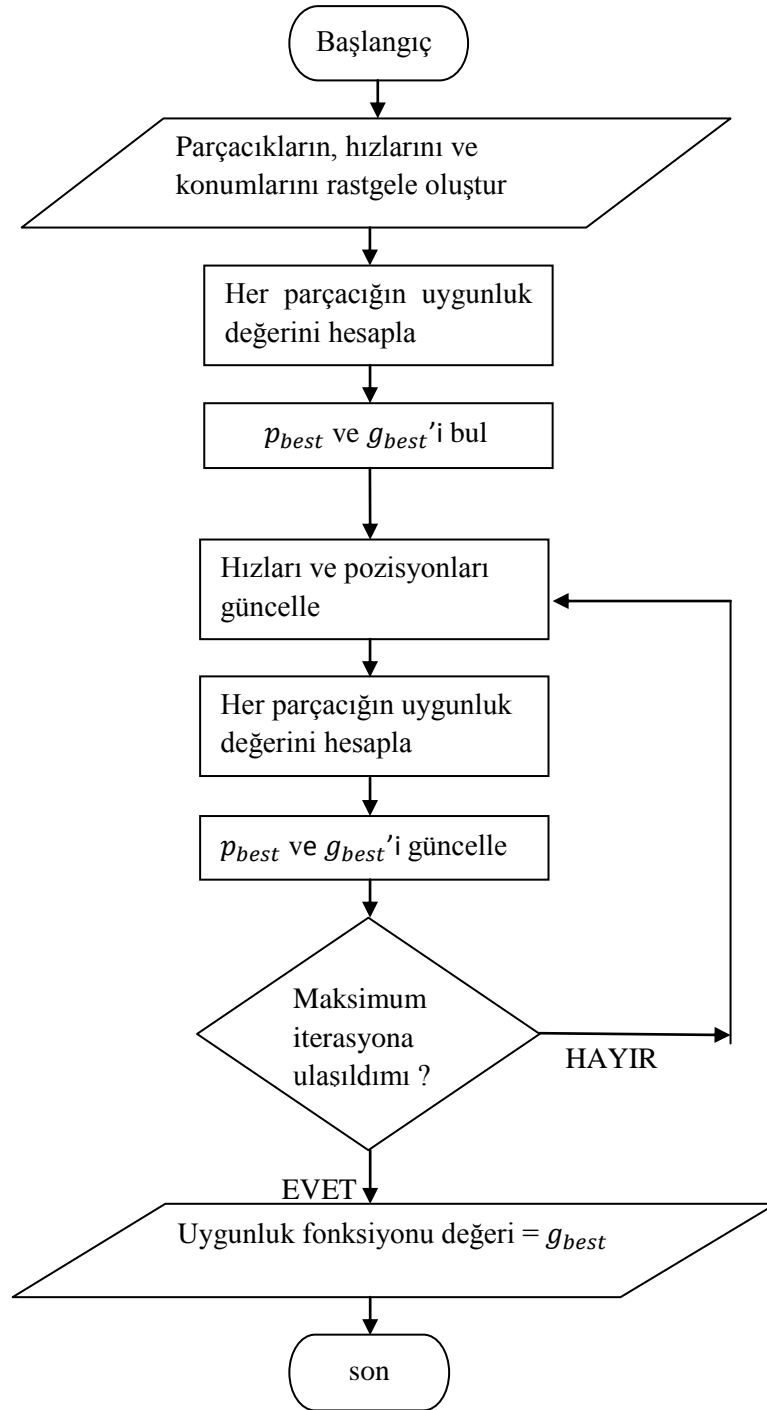
Yukarıdaki tanımlamalar doğrultusunda i . parçacığın $(t + 1)$. iterasyonunda standart PSO'da hız (Denklem 41) ve konum (Denklem 42) güncelleme denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$v_{ij}^{t+1} = v_{ij}^t + c_1 r_1 * (p_{best_{ij}}^t - X_{ij}^t) + c_2 r_2 * (g_{best}^t - X_{ij}^t) \quad (41)$$

$$X_{ij}^{t+1} = X_{ij}^t + v_{ij}^{t+1} \quad (42)$$

Denklemde 41'de görüldüğü gibi parçacığın $(t + 1)$. iterasyonda ki hızını önceki hızı, kendi en iyi konumu ve global en iyi konumu belirlemektedir. Hız vektörü, pozitif ve negatif değerler olarak arama uzayında parçacığın hareket yönünü belirler. Parçacığın hızında ani değişimler olmaması için bir önceki hız değeri (v_{ij}^t) kullanılır. c_1 ve c_2 değerleri hızlandırma katsayıları olarak tanımlanır. c_1 katsayısı bireysel en iyi konumu doğrultusunda hareket edeceği maksimum değerdir. c_2 ise global en iyi konum doğrultusundaki hareketin maksimum değeridir. c_1 ve c_2 genellikle $[0-2]$ aralığında değer alan sabitlerdir. Hızlandırma katsayıları farklı değerler olabilir. Ayrıca bu katsayıların büyük seçilmesi parçacıkların arama uzayında birbirlerinden uzaklaşmalarına küçük seçilmesi ise arama uzayının yeterince aranmamasına sebep olur (Valle, vd., 2008). r_1 ve r_2 ise $[0-1]$ aralığında rastgele değerler alan katsayılardır.

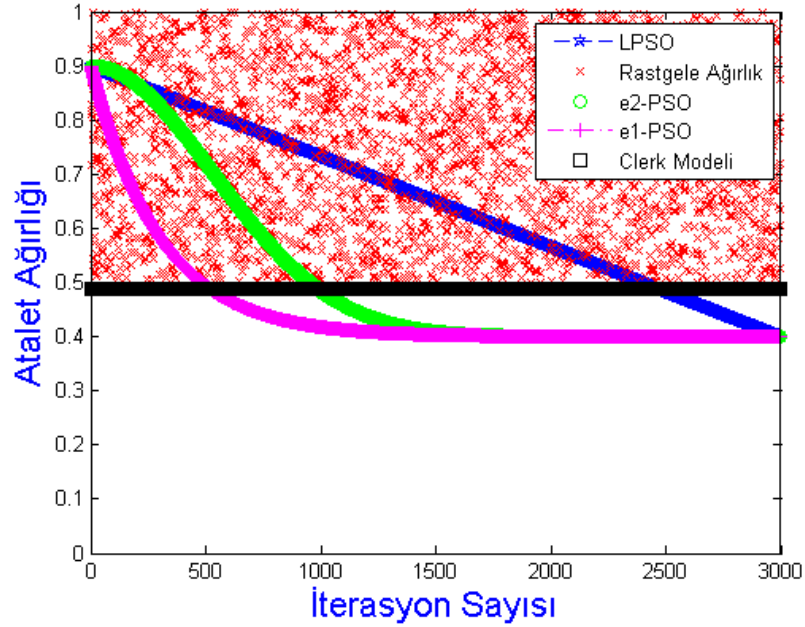
Denklem 42'de görüldüğü gibi parçacığın $(t + 1)$. iterasyonda ki yeni konumu (X_{ij}^{t+1}), (t) . iterasyonda ki konumu (X_{ij}^t) ile yeni hız vektörünün (v_{ij}^{t+1}) toplanmasıyla bulunur (Shi ve Eberhart, 1998). Parçacığın arama uzayının dışına çıkmasını engellemek için $[X_{min} - X_{max}]$ çözüm aralığında kısıtlamalar getirilebilir. Elde edilen konum bilgisi daha önceden tanımlanmış sınır değerlerine göre karşılaştırılır. Her hangi bir sınır aşımı gerçekleşmişse ilgili parametre en yakın sınır değerine çekilir. Şekil 4.8'de standart PSO'nun akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.8. Standart PSO akış diyagramı.

4.2. Geliştirilmiş PSO Yapıları

PSO algoritmasının geliştirilmesine yön veren çabaların başında atalet ağırlığı ile yapılan çalışmalar vardır. PSO'nun en büyük sorunu erken yakınsamasıdır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için de atalet ağırlığı kullanılır. Başka bir deyişle atalet ağırlığı global ve yerel arama yeteneklerini kontrol etmek için kullanılır (Bansal, vd., 2011). Bu başlıkta atalet ağırlığı, Clerc modeli, üstel atalet ağırlıkları, rastgele atalet ağırlığı incelenecektir (Shi ve Eberhart, 1998; Clerc, 1999; Clerc ve Kennedy, 2002; Chen, vd., 2006; Eberhart ve Shi, 2001). Bu ağırlıkların değişimi Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Atalet ağırlıkları değişimi.

4.2.1. Atalet ağırlığı

Standart PSO algoritması Denklem 43'de görüldüğü gibi atalet ağırlığına sahip değildir (Eberhart ve Kennedy, 1995). Daha sonra Shi ve Eberhart yaptıkları çalışmada hız Denklemine atalet ağırlığını (ω) mevcut hıza çarpan olarak eklemişlerdir (Shi ve Eberhart, 1998). Hız Denklemünün yeni ifadesi Denklem 43'de gösterilmiştir.

$$v_{ij}^{t+1} = \omega v_{ij}^t + c_1 r_1 * (p_{best_{ij}}^t - X_{ij}^t) + c_2 r_2 * (g_{best}^t - X_{ij}^t) \quad (43)$$

PSO için yapılan geliştirme çalışmaları içinde en önemli gelişme atalet ağırlığı katsayısının eklenmesi olarak gösterilebilir. Çünkü mevcut hızın yeni hıza etkisi kontrol altına

alınarak optimum değeri bulma şansını arttırmıştır (Shi ve Eberhart, 1998). Bu çalışmada ω [0.8-1.2] aralığında seçildiğinde yakınsama hızının arttığı görülmüştür. ω , 1.2 'den büyük değerler alındığında ise parçacığın hızı artarken yakınsamada hata meydana gelmektedir. ω , 0.8'den küçük seçildiğinde ise parçacığın hızı azaldığından optimuma ulaşamaz. Bu yüzden atalet ağırlığının 1.0'a yakın değerlerde algoritmanın performansını arttırdığı vurgulanmıştır (Shi ve Eberhart, 1998).

$$\omega(t) = w_{max} + (w_{min} - w_{max}) * \frac{Max. İterasyon Sayısı - t. iterasyon}{Max. İterasyon Sayısı - 1} \quad (44)$$

Atalet ağırlığının ortaya atılmasından sonra bu katsayının her iterasyonda farklı değerler almasının sürü üzerinde yaptığı etkiye yönelik çalışmalar yapılmıştır.

İlk yapılan çalışma da ω başlangıçta büyük değer alırken iterasyonlar devam ettikçe ω 'nin değeri azaltılmıştır. Denklem 44'de yer alan w_{min} bitiş, w_{max} parametresi ise başlangıç değerleridir. Shi ve Eberhart araştırmaları sonucunda en iyi sonuçları atalet ağırlığının ilk iterasyonda $\omega(t)$, 0.9 değerinden başlayıp her iterasyonda Denklem 46'da görüldüğü gibi azalarak iterasyon sonunda 0.4 değerine ulaştığında elde etmişlerdir (Shi ve Eberhart, 1999). ω ilk iterasyonlar da arama uzayının genelinde arama yaparken değerler küçülmeye başladığında yerel arama yapar. Böylece optimum değere daha hızlı ulaşılır (Shi ve Eberhart, 2001).

4.2.2. Clerc modeli

Clerc, yakınsama performansını artırmak amacıyla bir daraltma faktörü (χ) tanımlamıştır. Geliştirdiği bu modelde ω, c_1, c_2 değerlerini yakınsamayı sağlayacak şekilde seçilmesini sağlamıştır. Hız güncelleme işlemi Denklem 45'de ifade edilmiştir (Clerc, 1999; Clerc ve Kenndey, 2002).

$$v_{ij}^{t+1} = \chi * \left(v_{ij}^t + c_1 r_1 * (p_{best_{ij}}^t - X_{ij}^t) + c_2 r_2 * (g_{best}^t - X_{ij}^t) \right) \quad (45)$$

$$\chi = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}|}, \quad \varphi = c_1 + c_2, \quad \varphi > 4 \quad (46)$$

Daraltma faktörü (Denklem 46) standart PSO algoritmasına eklendiğinde test fonksiyonları için standart PSO algoritmasına göre daha iyi sonuçlar vermektedir (Zhou, vd., 2006).

4.2.3. Üstel atalet ağırlığı

Atalet ağırlığının üstel bir şekilde azalmasına dayanan iki farklı strateji önerilmiştir. Test fonksiyonları sonuçlarına göre üstel ağırlık stratejisi doğrusal olarak azalan atalet ağırlığından daha hızlı yakınsama göstermiştir. İlk strateji (e₁-PSO) Denklem 47’de, ikinci strateji (e₂-PSO) Denklem 48’de ki gibi ifade edilir:

$$\omega(t) = w_{min} + (w_{max} - w_{min}) * e^{-t. iterasyon / \left(\frac{Max. iterasyon sayisi}{10}\right)} \quad (47)$$

$$\omega(t) = w_{min} + (w_{max} - w_{min}) * e^{-\left[t. iterasyon / \left(\frac{Max. iterasyon sayisi}{4}\right)\right]^2} \quad (48)$$

$w_{max} = 0.9$, $w_{min} = 0.4$ alındığında iki stratejinin de etkili olduğu görülmüştür (Chen, vd., 2006).

4.2.4. Rastgele atalet ağırlığı

Dinamik sistemlerin optimize etmek için yeni bir atalet ağırlığı stratejisi önerilmiştir. Atalet ağırlığı [0.5-1] aralığında rastgele değer alır (Eberhart ve Shi, 2001). Denklem 49’da rastgele atalet ağırlığı Denklemi görülmektedir:

$$\omega(t) = 0.5 + \frac{random[0,1]}{2} \quad (49)$$

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında çok pasolu tornalama işlemleri kaba paso ve son paso işleme olarak ikiye ayrılmıştır. Minimum maliyetin elde edilmesi için geliştirilmiş PSO yapıları kullanılarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametreleri hesaplanmıştır. Optimum parametre değerlerinin gerçek hayatta da kullanılması amacıyla sıcaklık, yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü vb. kısıtlar dikkate alınmıştır.

Yapılan çalışmanın diğer optimizasyon metotları ile karşılaştırılması amacıyla literatürde yapılmış olan 50 mm çapında, 300 mm boyunda bir iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tornalama işleminde toplam talaş derinliği 6mm olacaktır. Tornalama sürecinde Çizelge 5.1’de ki veriler kullanılacaktır (Chen ve Tsai, 1996).

Literatürde yer alan Clerc modeli, üstel atalet ağırlıkları ve rastgele atalet ağırlığından oluşan 4 adet PSO varyasyonu Bölüm 3’te anlatılan matematiksel modelin optimizasyonu için hazırlanmıştır.

Çizelge 5.1. İşleme verileri.

Simge	Değer	Simge	Değer	Simge	Değer
D	50 mm	L	300 mm	d_t	6 mm
V_{rU}	500 m/dk	V_{rL}	50 m/dk	f_{rU}	0.9 mm/devir
f_{rL}	0.1 mm/dk	d_{rU}	3 mm	d_{rL}	1 mm
V_{sU}	500 m/dk	V_{sL}	50 m/dk	f_{sU}	0.9 mm/devir
f_{sL}	0.1 mm/devir	d_{sU}	3 mm	d_{sL}	1 mm
P	5	q	1.75	r	0.75
U	0.75	v	0.95	η	0.85
λ	2	τ	0.4	v	-1
ϕ	0.2	δ	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 dk	t_c	0.75 dk/parça	t_e	1.5 dk/parça
P_U	5 kw	T_U	45 dk	F_U	200 kgf
S_C	140	SR_U	10 μ m	Q_U	1000°C
k_0	0.5 \$/dk	k_1	108	k_2	132
k_3	1	k_4	2.5	k_5	1
k_t	2.5 \$/uç				

Clerc modeli için $\varphi = c_1 + c_2$, $\varphi > 4$ seçilmiştir (Clerc, 1999; Clerc ve Kenney, 2002). e_1 -PSO ve e_2 -PSO için $w_{max} = 0.9$, $w_{min} = 0.4$ değerleri kullanılmıştır (Chen, vd., 2006). Rastgele atalet ağırlığında ise rastgeleliği sağlayan değer [0.5-1] aralığında üretilmiştir

(Eberhart ve Shi, 2001). Deneysel hesaplamalarda her bir algoritma 30 defa bağımsız olarak çalıştırılmıştır. İterasyon sayısı= 100, parçacık sayısı= 20 olarak seçilmiştir.

Hesaplamalar sonucunda kaba paso ve son paso işleme için bulunan en düşük maliyete ait kesme parametre değerleri Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.2. Clerc modeli için kesme parametreleri değerleri.

Çalıştırma	V_r (m/dk)	f_r (mm/devir)	d_r (mm)	V_s (m/dk)	f_s (mm/devir)	d_s (mm)	Maliyet (\$)
1	112.1904	0.8162	2	164.073	0.3053	2	2.2328
2	147.6368	0.6603	2.3227	186.084	0.2101	1.3545	2.3739
3	125.5025	0.8937	2.0121	165.6868	0.3272	1.9758	2.1382
4	119.9261	0.7433	2.4178	161.0277	0.2844	1.9974	2.3014
5	102.7469	0.8642	2.0747	149.415	0.3434	2.0747	2.2119
6	151.3291	0.7426	2.0618	169.9882	0.2625	1.8764	2.244
7	129.8929	0.7934	2.2499	160.6896	0.3066	1.5003	2.1926
8	91.932	0.8804	2.1134	127.4054	0.3151	1.7733	2.3531
9	132.5322	0.7329	2.2035	174.2446	0.2846	1.593	2.2466
10	109.6159	0.836	2.1483	161.7232	0.3261	2.0005	2.207
11	161.3869	0.5592	2.1997	177.3584	0.22	1.6125	2.4195
12	128.6447	0.895	2.0305	147.6483	0.3571	1.939	2.1089
13	133.711	0.7872	2.2194	171.5249	0.3061	1.5612	2.185
14	130.3608	0.7424	2.2178	149.5822	0.2721	1.5645	2.2926
15	131.9395	0.6986	2.1394	188.1977	0.2795	2.0181	2.2839
16	125.0584	0.6892	2.2567	169.7945	0.2593	1.6567	2.343
17	125.6151	0.8783	2.0536	172.5068	0.3513	1.8992	2.1167
18	139.0021	0.7958	2.0605	169.7221	0.3064	1.879	2.1818
19	114.3189	0.8023	2.1179	138.4218	0.2953	1.7642	2.2992
20	122.7801	0.8052	2.253	154.3118	0.3192	1.5066	2.1962
21	118.4337	0.8868	2.0782	167.9384	0.3547	1.9179	2.1219
22	137.7164	0.8377	2.0712	168.0646	0.3336	1.8713	2.135
23	136.0248	0.7742	2.1937	177.7739	0.3097	1.8907	2.1986
24	148.4954	0.746	2.0912	180.5596	0.2912	1.8177	2.2122
25	147.0293	0.7569	2.0538	148.0721	0.2908	1.8927	2.2147
26	138.4386	0.7679	2.206	171.6659	0.3027	1.588	2.1912
27	133.8993	0.8017	2.16	147.6089	0.306	1.68	2.1965
28	152.6211	0.715	2.1064	187.7347	0.1866	1.7873	2.4077
29	104.3901	0.7712	2.1797	142.1672	0.3081	1.6406	2.3289
30	135.8828	0.808	2.1318	195.5183	0.3232	1.7559	2.1659

Çizelge 5.3. e₁-PSO için kesme parametreleri değerleri.

Çalıştırma	V_r (m/dk)	f_r (mm/devir)	d_r (mm)	V_s (m/dk)	f_s (mm/devir)	d_s (mm)	Maliyet (\$)
1	130.0393	0.7526	2.3942	167.3537	0.2628	1.2116	2.2641
2	113.8579	0.8847	2.1001	194.1827	0.3539	1.7998	2.1017
3	127.9832	0.8525	2.0967	189.2607	0.341	1.8099	2.1306
4	132.276	0.8456	2.1451	186.0005	0.3382	1.7103	2.1329
5	125.1947	0.8859	2.0928	189.8561	0.3544	1.8144	2.1054
6	129.9726	0.8318	2.2123	134.7491	0.3327	1.643	2.174
7	115.327	0.8801	2.1158	169.6664	0.352	1.7684	2.1278
8	125.3043	0.8009	2.2793	170.4883	0.3203	1.4414	2.175
9	127.2928	0.7499	2.3809	217.0587	0.3	1.2382	2.1986
10	131.6014	0.9	2.0407	163.5628	0.36	1.9187	2.0936
11	108.9925	0.8987	2.0277	203.8562	0.3595	1.9446	2.0789
12	134.5302	0.898	2.0096	155.9488	0.3591	1.9812	2.0916
13	105.7758	0.8797	2.1127	252.1007	0.3519	1.8483	2.0401
14	143.5087	0.7664	2.1277	148.2454	0.3065	1.7448	2.1905
15	108.5017	0.8963	2.0482	217.9204	0.3585	1.9036	2.0641
16	117.6584	0.5655	3	192.1393	0.2262	3	1.8952
17	133.7311	0.8595	2.0921	167.9756	0.3387	1.8157	2.1242
18	135.2784	0.8	2.1662	174.401	0.32	1.668	2.1644
19	123.7809	0.8696	2.1235	201.2315	0.3438	2.1235	2.1248
20	126.9944	0.8753	2.0908	195.265	0.3501	1.8183	2.1126
21	106.6968	0.8924	2.0849	210.2907	0.3516	1.8411	2.0826
22	130.8955	0.8487	2.1626	146.8304	0.3395	1.6748	2.1376
23	127.9193	0.8814	2	177.4897	0.3509	2	2.1147
24	131.4984	0.7138	2.4674	152.9713	0.2855	1.0665	2.2612
25	133.563	0.8896	2.0387	185.6561	0.3558	1.9236	2.1065
26	135.6835	0.8788	2	158.5198	0.3513	2	2.1055
27	106.3264	0.8852	2.0456	233.9589	0.3541	2.0453	2.054
28	135.3939	0.8647	2.0564	183.464	0.3149	1.9298	2.151
29	123.7438	0.8446	2.1857	208.0029	0.3272	1.6286	2.1363
30	114.5972	0.8095	2.1547	212.9025	0.3238	1.6907	2.1455

Çizelge 5.4. e₂-PSO için kesme parametreleri değerleri.

Çalıştırma	V_r (m/dk)	f_r (mm/devir)	d_r (mm)	V_s (m/dk)	f_s (mm/devir)	d_s (mm)	Maliyet (\$)
1	109.6151	0.8276	2.1573	243.7172	0.331	1.6855	2.0932
2	128.4352	0.5655	3	179.3479	0.2262	3	1.9218
3	130.5085	0.897	2.0765	151.7633	0.3588	1.9363	2.1004
4	91.1218	0.8514	2.0728	210.3858	0.3406	1.8544	2.1441
5	138.5918	0.8557	2.0232	176.6657	0.3423	1.9543	2.125
6	108.5147	0.8773	2.022	213.8528	0.3509	1.9561	2.0832
7	133.268	0.8667	2.0436	185.6561	0.3467	1.9127	2.122
8	114.1065	0.5655	3	201.0751	0.2262	3	1.8746
9	109.5807	0.5655	3	202.712	0.2262	3	1.8716
10	134.8555	0.8955	2.0089	143.9944	0.352	2.0089	2.1034
11	124.9839	0.8289	2.0942	191.1856	0.3316	1.8139	2.1489
12	109.7374	0.8527	2.1693	202.4421	0.3406	1.6614	2.121
13	136.3312	0.8694	2.0328	146.9529	0.3477	1.9344	2.1123
14	112.3322	0.898	2.0244	192.1504	0.3592	2.0105	2.0938
15	129.7961	0.7124	2.5	195.5089	0.285	1	2.2315
16	108.5237	0.8969	2	200.9538	0.3586	2	2.0835
17	117.9002	0.8564	2.1619	206.1384	0.3411	1.6768	2.1154
18	137.823	0.7823	2.1844	147.6979	0.3129	1.6315	2.185
19	118.6648	0.8958	2.0672	200.3879	0.3583	1.8656	2.0893
20	130.104	0.8877	2.1002	181.787	0.3417	1.7995	2.1152
21	133.2101	0.8008	2.2227	178.7448	0.32	1.5545	2.1634
22	99.8142	0.8938	2.0071	238.1424	0.3305	1.9858	2.0689
23	133.4567	0.8844	2.05	154.3357	0.3525	1.9	2.1034
24	132.1687	0.8961	2.0486	168.1247	0.3585	1.9028	2.096
25	109.5715	0.5655	3	265.2539	0.2262	3	1.7505
26	131.4261	0.8633	2.1247	146.1171	0.3453	1.7512	2.1253
27	130.5495	0.886	2.0963	161.526	0.3544	1.8074	2.1029
28	141.1214	0.7504	2.2013	165.9378	0.3001	1.5974	2.1993
29	120.4184	0.8808	2.1144	183.9265	0.3469	2.0543	2.1239
30	132.9108	0.8956	2.0377	173.2792	0.3583	1.9246	2.0977

Çizelge 5.5. Rastgele atalet ağırlığı için kesme parametreleri değerleri.

Çalıştırma	V_r (m/dk)	f_r (mm/devir)	d_r (mm)	V_s (m/dk)	f_s (mm/devir)	d_s (mm)	Maliyet (\$)
1	110.6552	0.8608	2.0016	200.5873	0.3443	1.9972	2.113
2	135.7863	0.8912	2.0018	152.3579	0.3564	2.0011	2.0954
3	109.754	0.8943	2.0019	212.4645	0.3577	2.0017	2.0712
4	145.56	0.8984	1.6747	153.5995	0.3594	1	2.4745
5	133.1663	0.8995	2.0285	158.8694	0.3598	1.9431	2.0917
6	130.0559	0.8957	2.0831	181.5833	0.3583	1.8348	2.0992
7	139.3356	0.8574	2.0082	160.9115	0.3429	1.9838	2.1163
8	131.9957	0.8986	2.049	133.0235	0.3595	1.9081	2.1104
9	133.6102	0.8996	2.0212	161.9212	0.3598	1.9651	2.092
10	105.7377	0.894	2.0035	235.1193	0.3576	2	2.0438
11	110.1798	0.8921	2.004	203.2866	0.3569	1.9923	2.0841
12	134.0196	0.8259	2.1551	166.7569	0.3303	1.6898	2.1435
13	135.6974	0.8845	2.0147	159.3493	0.3537	1.9708	2.1
14	113.1993	0.5655	3	205.4361	0.2262	3	1.8647
15	135.3774	0.8393	2.1056	157.3584	0.3356	1.789	2.1332
16	132.5402	0.8969	2.04	179.9758	0.3588	1.92	2.0993
17	138.3475	0.8697	2.0011	160.6711	0.3479	1.9998	2.1084
18	130.0415	0.5655	3	171.223	0.2262	3	1.9371
19	119.1144	0.8476	2.0364	191.7022	0.339	1.9272	2.1337
20	137.6202	0.8742	2.0041	155.9233	0.348	2.0041	2.1071
21	138.1452	0.8605	2.02	153.2491	0.3441	1.9605	2.1147
22	141.5093	0.8393	2.0099	145.9858	0.3357	2.0011	2.1301
23	133.7124	0.895	2.0276	152.9678	0.358	1.9452	2.0946
24	109.618	0.871	2.0002	198.2574	0.3484	1.9998	2.1078
25	133.8348	0.8856	2.0427	163.3117	0.3543	1.9147	2.1011
26	112.4358	0.8928	2.0216	199.4972	0.3571	1.9602	2.0887
27	125.787	0.7826	2.3204	199.9174	0.313	1.3593	2.1777
28	105.2374	0.8913	2.0316	217.9272	0.3565	1.9701	2.068
29	109.8268	0.8777	2.0478	209.6782	0.3501	2.032	2.0909
30	108.9062	0.879	2.003	209.8967	0.3516	1.9941	2.0863

Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5 incelendiğinde 30 bağımsız çalıştırma sonunda elde edilen kaba paso işleme ve son paso işleme kesme parametre değerleri, pratikte kullanılan kısıtlamalara göre hesaplanacağından bu değerler gerçek uygulamalarda da kullanılabilir.

PSO 'nun farklı varyasyonları ile yapılan hesaplamalarda en düşük maliyete sahip en iyi, ortalama, en kötü sonuç değerleri ile standart sapma değerleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Global maliyet sonuçlarının en iyi, ortalama, en kötü ve standart sapma değerleri.

PSO Varyasyonu	En İyi	Ortalama	En Kötü	Standart Sapma
Clerc Modeli	2.1089\$	2.2367\$	2.4195\$	0.086
e_1 -PSO	1.8995\$	2.1228\$	2.2641\$	0.0675
e_2 -PSO	1.7505\$	2.0856\$	2.2335\$	0.1014
Rastgele Ağırlık	1.8647\$	2.1026\$	2.4745\$	0.0909

Çizelge 5.6’da en iyi, ortalama ve en kötü değerler incelendiğinde en düşük maliyet e_2 -PSO ile elde edilmiştir. Bu yüzden Shin ve Joo’nun yapmış olduğu matematiksel modele ait literatürdeki optimizasyon çalışmaları e_2 -PSO birlikte Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. e_2 -PSO ve literatürdeki ortalama maliyetleri.

Algoritma	DP	SA/PS	FEGA	PSO	MGA	e_2 -PSO
Maliyet	2.387\$	2.2971\$	2.3065\$	2.2721\$	2.2538\$	2.0856\$

Shin ve Joo’nun yapmış olduğu deneysel çalışmayı baz alan bu çalışmalarda 300 mm boyunda, 50 mm çapında bir iş parçasından 6 mm lik bir talaş kaldırma işleme gerçekleştirilmiştir. Tornalama süreci kaba paso işleme ve son paso işleme olarak iki kısma ayrılmıştır. Son paso işleme için yüzey pürüzlülüğü kısıtı dikkate alınmıştır (Shin ve Joo, 1992; Chen ve Tsai, 1996; Chen ve Chen, 2003; Srinivas, vd., 2009; Sankar, vd., 2007). Yapılan çalışmada tornalama işlemlerinde maliyetin minimum olması için önerilen PSO varyasyonlarından e_2 -PSO, Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi literatürde yer alan diğer sonuçlara göre daha düşük maliyete sahiptir.

6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

CNC operatörleri normalde tornalama işlemlerinde talaş derinliği, ilerleme, kesme hızı parametrelerini geçmiş tecrübelerinden veya kataloglarda yer alan çizelgelerden seçmektedirler. Bu şekilde yapılan talaş kaldırma işlemi sonunda maliyetin minimum olma durumu söz konusu değildir. Ayrıca artan işleme maliyetleri üreticilerin rekabet gücünü azaltmaktadır. Bu yüzden üreticiler hammaddenin işlenmesi sırasında kaliteli ürünleri en az maliyetle üretmelidir.

Bu çalışmada, geliştirilmiş PSO varyasyonlarından Clerc modeli, üstel atalet ağırlıkları ve rastgele atalet ağırlıkları ayrı ayrı kullanarak minimum maliyeti sağlayacak optimum kesme şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Hesaplamalar sonucunda e_2 -PSO'nun literatürde ki sonuçlardan ve diğer PSO varyasyonlarından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Kesme parametreleri amaç fonksiyonunda minimum maliyeti sağlayacak şekilde seçilmektedir. Bu seçim yapılırken kaba paso ve son paso işlemede kesme derinliği, ilerleme, kesme hızı, takım ömrü, güç, sıcaklık ve yüzey pürüzlülüğü kısıtları dikkate alınmıştır. Bu kısıtlar pratikte kullanılmaktadır. Böylece elde edilen sonuçlar gerçek hayatta da kullanılabilir. Kesme parametrelerinin minimum maliyeti sağlayacak şekilde seçilmesi üreticilerin günümüzde ki rekabette söz sahibi olmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca optimizasyon çalışması sonucunda minimum maliyeti veren kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğini veren parametreler operatörden kaynaklanan hataları da azaltacaktır.

Bu çalışmada minimum maliyeti veren tek bir adet amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Burada ele alınan değişkenlerin yardımıyla minimum üretim zamanı gibi ikinci bir amaç fonksiyonu eklenerek çalışma genişletilebilir. Daha fazla eksene sahip tezgahlarda minimum maliyetin sağlanması amacıyla e_2 -PSO kullanılarak optimizasyon çalışmaları yapılabilir. Bu yüzden, daha kapsamlı araştırmalarda bu çalışma referans alınabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Agapiou, J.S., (1992), The Optimization of Machining Operations Based on a Combined Criterion, Part 1: The Use of Combined Objectives in Single- Pass Operations, Computers Ind. Trans. ASME, Cilt 114, s. 500-507.
- Akkurt, M., (1985), Takım tezgahları talaş kaldırma yöntemleri ve teknolojisi, Birsen yayınevi, İstanbul.
- Al-Ahmari, A.M.A., (2001), Mathematical Model For Determining Machining Parameters In Multipass Turning Operations With Constraints, Int. J. Prod. Res., Cilt 39, No. 15, s. 3367-3376.
- Arezoo, B., Ridgway, K., Al-Ahmari, A.M.A., (2000), Selection of Cutting Tools And Conditions of Machining Operations Using An Expert System, Computers in Industry 42, s. 43-58.
- Arumugam, M.S., Rao, M.V.C., Chandramohan, A., (2008), A New and Improved Version of PSO with Global-Local Best Parameters, Knowl Inf Syst 16, s. 331-357.
- Aykut, S., (1999), CNC tezgahlarında kullanılan kesici takımların tasarım esasları, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bansal, J.C., Singh, P.K., Saraswat, M., vd., (2011) Inertia Weight Strategies in Particle Swarm Optimization, Third World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC), s. 633-640.
- Bertil, N.C., (1958), A three dimensional, Tool-life Equation: Machining Economics, American Society of Mechanical Engineers.
- Bodur, O., H., (1983), Takım tezgahları, İTÜ, Birsen kitapevi yayınları, İstanbul.
- Chang, T.C., Wysk, R.A., Davis, R.P., Choi, B., (1982), Milling Parameter Optimization Through A Discrete Variable Transformation, Int. J. Prod. Res., Cilt 20, No. 4, s. 507-516.
- Chen, G., Huang, X., Jia, J., Min, Z., (2006), Natural Exponential Inertia Weight Strategy in Particle Swarm Optimization, Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, Dalian, China, s. 3672-3675.
- Chen, M.C., Chen, K.Y., (2003), Optimization of Multi Pass Turning Operations with Genetic Algorithms: A Note, Int. J. Prod. Res., Cilt 41, No. 14, s. 3385-3388.
- Chen, M.C., Tsai, D.M., (1996), A Simulated Annealing Approach for Optimization of Multi-Pass Turning Operations, Int. J. Prod. Res., Cilt 34, No. 10, s. 2803-2825.
- Clerc, M., (1999), The Swarm and the Queen: Towards a Deterministic and Adaptive Particle Swarm Optimization, Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation (CEC99), s. 1951-1957.
- Clerc, M., Kennedy, J., (2002), The Particle Swarm—Explosion, Stability, and Convergence in a Multidimensional Complex Space, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Cilt 6, No. 1, s. 58-73.
- Çakır, M.C., Gürarda, A., (1998), Optimization and Graphical Representation of Machining Conditions in Multi-Pass Turning Operations, Computer Integrated Manufacturing Systems, Cilt 11, No. 3, s. 157-170.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çakır, M.C., (2000), Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri, Vipaş A.Ş., Bursa, s. 219-346.
- Dinler, S., (1998), Talaş Kaldırmada Takım Aşınması Ve Takım Ömrü”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Domaç, H., (2011), Frezeleme işlemlerinde kesici uç yarıçapı ve uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Ankara.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., Colomi, A., (1999), Positive feed back as a search strategy, Tech. Rep., Politecnico di Milano, s. 91-016.
- Eberhart, R.C., Kennedy, J., (1995), A new optimizer using particle swarm theory, Proceedings of the Sixth international symposium on micro machine and human science, Nagoya, Japan. IEEE service center, Piscataway, s. 39-43.
- Eberhart, R.C., Shi, J., (2001),Tracking and Optimizing Dynamic Systems with Particle Swarms, Proceedings of the 2001 congress on evolutionary computation, vol 1, s. 94–100.
- Ermer, D.S., Shah, B.V., (1973), Analytical Sensitivity Studies of the Optimum Machining Conditions for Milling, Reaming, Drilling and Tapping, Journal of Engineering for Industry, Trans. Asme, Cilt 95, s. 312-316.
- Erol, D., Ulutaş, B., (2012), Endüstri mühendisleri için imalat süreçleri,s.13.
- Ghoshal, S.P., (2004), Optimizations of PID Gains by Particle Swarm Optimizations in Fuzzy Based Automatic Generation Control, Electric Power Systems Research 72, s. 203–212.
- Gilbert, W.W., (1950), Economics of Machining, Machining Theory and Practice, American Society for Metals, s. 465-485.
- Gupta, R., Batra, J.L., Lal, G.K., (1995), Determination of optimal subdivision of depth of cut in multipass turning with constraints, Int. J. Prod. Res., Cilt 33, No. 9, s. 2555-2565.
- Güllü, A., (1995), Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hati, S.K., Rao, S.S., (1976), Determination of Optimum Machining Conditions Deterministic and probabilistic Approaches, Journal of Engineering for Industry, Trans. Asme, Cilt 98, s. 507-516.
- <http://cncmakro.com/gazi%20%C3%BCniversitesi%20CNC%20Freze%20Torna%20notlar%204%B1.pdf>
- http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/makine_tek/moduller/cnc_torna_t_ezgahlari.pdf
- http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/makine_tek/moduller/takim_seci_mi.pdf
- <http://iridia.ulb.ac.be/~mmontes/slidesCIL/slides.pdf>
- <http://iys.inonu.edu.tr/webpanel/dosyalar/170/file/torna.pdf>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Cnc%20Torna%20Tezg%C3%A2hlar%C4%B1.pdf <http://w3.balikesir.edu.tr/~alioral/CNCTTEZ19022012.pdf>

<http://www.globalspec.com/reference/58157/203279/chapter-4-4-other-turned-parts>

http://www.macrotec.co.uk/uploads/12/assets/554/full_screen/Control%20Panel.jpg

[http://www.perpamakina.com/kullanici-dosyalari/urunler/HL25N%20\(2\).jpg](http://www.perpamakina.com/kullanici-dosyalari/urunler/HL25N%20(2).jpg)

http://www.reiscnc.com/img/vturn_a26_85_cnc_torna_10_3.jpg

Hu, X., Shi, Y. ve Eberhart R., (2004) Recent advances in particle swarm, Evolutionary Computation CEC2004 Congress on, CEC, 1:s. 90-97.

Islam, M. N., Cho, D.W., (2009), A New Strategy for End Milling Optimization, International Review of Mechanical Engineering, Cilt 3, No. 6, s.775-781.

İlkaz, S., (2002), CNC tornalama işlemlerinde kesme parametrelerinin bulanık mantık ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Juang, C.F., Lu, C.F., (2006), Load-frequency control by hybrid evolutionary fuzzy PI controller, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Cilt 153, No. 2, s. 196-204.

Karaboğa, D., (2005), An idea based honey bee swarm for numerical optimization, Technical Report- TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department.

Kennedy, J., Eberhart, R., (1995), Particle Swarm Optimization, Proc. IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway, s.1942-1948.

Köbeloğlu, A., (2011), Eğitim amaçlı masaüstü cnc torna tezgahı tasarımı ve prototipi, Yüksek lisan tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Lambert, B.K., Walveker, A.G., (1978), Optimization of Multi-Pass Machining Operations, Int. J. Prod. Res., Cilt 16, No. 4, s. 259-265.

Mesquita, R., Krasteva, E., Doytchinov, S., (1995), Computer-Aided Selection of Optimum Machining Parameters in Multipass Turning, Int. J. Adv. Manuf. Technol, Cilt 10, s. 19-26.

Ortakçı, Y., (2011), Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemlerinin Uygulamalarla Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Ratnawera, A., Halgamuge, S.K., Watson, H.C., (2004), Self-Organizing Hierarchical Particle Swarm Optimizer With Time-Varying Acceleration Coefficients, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Cilt 8, No. 3, s. 240-254.

Sankar, R.S., Asokan, P., Saravanan, R., Kumanan, S., Prabhakaran, G., (2007), Selection of Machining Parameters for Constrained Machining Problem Using Evolutionary Computation, Int. J. Adv. Manuf. Technol 32, s. 892-901.

Sardinas, R.Q., Santana, M.R., Brindis, E.A., (2006), Genetic Algorithm-Based Multi-Objective Optimization of Cutting Parameters in Turning Processes, Engineering Applications of Artificial Intelligence 19, s. 127-133.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Shi, Y., Eberhart, R., (1998), A Modified Particle Swarm Optimizer, Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation, Piscataway, s. 69-73.
- Shi Y., Eberhart, R.C., (1998), Parameter Selection In Particle Swarm Optimization, Evolutionary Programming VII, Proc. Springer-Verlag, New York, s. 591-600.
- Shi, Y., Eberhart, R.C., (1999), Empirical study of particle swarm optimization, Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, Piscataway, NJ: IEEE Service Center, s. 1945-1950.
- Shi, Y. Eberhart, R., (2001). Fuzzy Adaptive Particle Swarm Optimization, Proc. Congress on Evolutionary Computation, Seoul, Korea. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, s.101-106.
- Shin, Y.C.; Joo, Y.S., (1992), Optimization of Machining Conditions with Practical Constraints, Int. J. Prod. Res., Cilt30, No. 12, s. 2907-2919.
- Srinivas, J., Giri, R., Yang, S.H., (2009), Optimization of multi-pass turning using particle swarm intelligence , Int J Adv Manuf Technol 40, s. 56–66.
- Şahin, Y., (2000), Talaş kaldırma prensipleri 1, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, s. 1-300.
- Şahin, Y., (2003), İmal Usulleri, Gazi Yayınevi, Ankara, s. 1-280.
- Taylor, F.W.;, (1907), On The Art of Cutting Metals, Trans. Amer. Soc. Mec. Engrs., 28.
- Tolouei-Rad, M., Bidhendi, I.M.;, (1996), On the optimization of machining parameters for milling operations, Int. J. Mach. Tools Manufact., Cilt 37, No. 1, s. 1-16.
- Tosun, E., (2006), Frezeleme işlemlerinde genetik algoritma yaklaşımı ile kesme koşullarının optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Valle, Y.D., Venayagamoorthy, G.K., Mohagheghi, S., Hernandez, J.C., Harley, R.G., (2008), Particle Swarm Optimization Basic Concepts Variants and Applications in Power System, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Cilt 12, No. 2, s. 171-195.
- Wang, Z.G., Rahman, M., Wong, Y.S., Sun, J., (2005), Optimization of Multi-pass Milling Using Parallel Genetic Algorithm and Parallel Genetic Simulated Annealing, International Journal of Machine Tools and Manufacture 45, s. 1726–1734.
- Xie, S., Guo, Y., (2011), Intelligent Selection of Machining Parameters in Multi-pass Turnings Using a GA-Based Approach, Journal of Computational Information Systems 7:5,s. 1714-1721.
- Zeyveli, M., (1997), Frezeleme operasyonlarında optimum işleme parametrelerinin bilgisayarla seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zhang, J.R., Zhang, J., Lok, T.M., Lyu, M.R., (2007), A hybrid particle swarm optimization–back-propagation algorithm for feedforward neural network training, Applied Mathematics and Computation 185, s. 1026–1037.
- Zhao, F., Ren, Z., Yu, D., Yang, Y., (2005), Application of An Improved Particle Swarm Optimization Algorithm for Neural Network Training, In: Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks and Brain, Beijing, China, October, Cilt 3, s. 1693–1698.
- Zhou, J., Duan, Z., Li, Y., Deng, J., Yu, D., (2006), PSO-based neural network optimization and its utilization in a boring machine , Journal of Materials Processing Technology 178, s. 19–23.